RMTC2025

NMT Association

ครั้งที่ 10

การประชุมวิชาการราชมงคล ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

The 10th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2025

ประจำปี 2568

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์อัจฉริยะในการผลิตและการจัดการสมัยใหม่

(Applying Smart AI in Modern Manufacturing and Management)

RMUTI KKC

28-30 พฤษภาคม 2568

ณ อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น

คำนำ

เล่มรายงานการประชุมวิชาการ (Proceedings) ของการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (The 10th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference: RMTC 2025) จัดทำขึ้นโดยสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT) ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

การประชุมวิชาการครั้งนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการครบรอบ 10 ปี ของการจัดประชุมวิชาการที่ได้สร้างสรรค์เวทีแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการอย่างต่อเนื่อง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมการพัฒนานวัตกรรม การวิจัย และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการจัดการของประเทศไทย

เล่มรายงานการประชุมวิชาการฉบับนี้รวบรวมบทความวิจัยจากนักวิชาการ นักวิจัย และผู้เชี่ยวชาญทั้งจากสถาบันการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม ที่ได้นำเสนองานวิจัยและนวัตกรรมในหลากหลายสาขาวิชา ครอบคลุมตั้งแต่เทคโนโลยีการผลิต การจัดการโซ่อุปทาน การจัดการคุณภาพ วิศวกรรมอุตสาหการ เทคโนโลยีสารสนเทศ และการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งล้วนแต่เป็นองค์ความรู้ที่มีคุณค่าและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการพัฒนาประเทศ

การประชุมวิชาการครั้งนี้ได้รับการตอบรับอย่างกว้างขวางจากชุมชนวิชาการและอุตสาหกรรม สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญและความต้องการในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และประสบการณ์ เพื่อร่วมกันขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการของประเทศให้ก้าวหน้าและสามารถแข่งขันในเวทีโลกได้อย่างยั่งยืน

ผมขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้สละเวลาในการพิจารณาและให้คำแนะนำบทความวิจัยต่างๆ เพื่อให้ได้บทความที่มีคุณภาพและมาตรฐานสากล ขอบคุณคณะกรรมการจัดงาน อาสาสมัคร และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ร่วมแรงร่วมใจในการจัดงานให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงผู้สนับสนุนและผู้ให้ความร่วมมือทุกภาคส่วนที่ทำให้การประชุมวิชาการครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า เล่มรายงานการประชุมวิชาการฉบับนี้จะเป็นแหล่งอ้างอิงที่มีคุณค่า และเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่สนใจในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ อันจะนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมและการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

นายกสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ผู้ดำเนินการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568

ผู้จัดงาน (Organizer)

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT)

เจ้าภาพหลัก (Host)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

เจ้าภาพร่วม (Co-host)

ผู้สนับสนุนการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568

AUTO DIDACTIC CO.,LTD.

สานส์จากนายกสมาคม
เครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

รองศาสตราจารย์.ดร.อนินท์ มีมนต์

ในนามของสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT) รู้สึกเป็นเกียรติและยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้ต้อนรับทุกท่านเข้าสู่การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (RMTC 2025) ซึ่งจัดขึ้นโดยความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ในครั้งนี้ ภายใต้ทีมการจัดประชุมวิชาการในหัวข้อ “การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์อัจฉริยะในการผลิตและการจัดการสมัยใหม่”

ตลอดระยะเวลาเกือบ 10 ปีที่ผ่านมา การประชุมวิชาการ RMTC ได้เป็นเวทีสำคัญในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ นวัตกรรม และประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากทั่วประเทศ ความสำเร็จของการประชุมวิชาการที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความมุ่งมั่นของเครือข่ายราชมงคลในการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองต่อความท้าทายในภาคการผลิตและการจัดการของประเทศ

ในยุคที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องปรับตัวและเตรียมพร้อมรับมือกับความท้าทายใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นในโลกของการผลิตและการจัดการ การประชุมวิชาการ RMTC 2025 นี้จึงมุ่งเน้นการบูรณาการองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อยกระดับขีดความสามารถของภาคอุตสาหกรรมไทยสู่ความยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่กำลังเกิดขึ้นทั่วโลก

ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงาน วิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้นำเสนอผลงานวิชาการ ผู้สนับสนุนการจัดงาน และผู้เข้าร่วมทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการสร้างเวทีแห่งการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่มีคุณค่านี้ มีความเชื่อมั่นว่าการประชุมวิชาการครั้งนี้จะเป็นโอกาสอันดีในการสร้างเครือข่ายความร่วมมือ แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และต่อยอดองค์ความรู้เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย

สุดท้ายนี้ ขออวยพรให้การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะได้รับประโยชน์และความรู้อันมีค่าจากการเข้าร่วมการประชุมในครั้งนี้

ด้วยความปรารถนาดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์)
นายกสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

สานส์จากอธิการบดี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร

ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน รู้สึกเป็นเกียรติและยินดีอย่างยิ่งที่ได้รับโอกาสเป็นเจ้าภาพร่วมในการจัดการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (RMTC 2025) ร่วมกับสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มีความภาคภูมิใจที่ได้มีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนและพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ซึ่งสอดคล้องกับวิสัยทัศน์ของมหาวิทยาลัยในการเป็น "มหาวิทยาลัยผลิตบัณฑิตนักปฏิบัติ ที่มีพลังนวัตกรรม เพื่อพัฒนาสังคม มั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน"

ในยุคที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การบูรณาการองค์ความรู้จากศาสตร์ต่างๆ เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมและแก้ไขปัญหาร่วมกันจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มุ่งมั่นที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ระหว่างผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่างๆ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย

การประชุมวิชาการ RMTC 2025 ในครั้งนี้ จะช่วยเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการและความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษา ภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ที่จะตอบสนองต่อความต้องการของประเทศ โดยเฉพาะในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีศักยภาพในการพัฒนาทั้งด้านอุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมการผลิต และการบริการ

ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงาน วิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิจัย และผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่าน ที่ได้มาร่วมแบ่งปันความรู้และประสบการณ์อันมีค่า และขอขอบคุณสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่ไว้วางใจให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เป็นเจ้าภาพร่วมในการจัดการประชุมวิชาการครั้งสำคัญนี้

สุดท้ายนี้ ขออวยพรให้การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 (RMTC 2025) ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะได้รับประโยชน์สูงสุดจากการเข้าร่วมการประชุมในครั้งนี้

ด้วยความปรารถนาดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

สานส์จากสารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์

ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ผมรู้สึกเป็นเกียรติและยินดีอย่างยิ่งที่ได้มีส่วน ร่วมในการจัดการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (RMTC 2025) อันทรงคุณค่านี้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการมา อย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการผลิตบัณฑิตนักปฏิบัติที่มีความเชี่ยวชาญทั้งด้านทฤษฎีและทักษะปฏิบัติควบคู่ไปกับการส่งเสริม งานวิจัยที่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและชุมชนอย่างแท้จริง ซึ่งสอดคล้องกับพันธกิจหลักของการเป็นสถาบันอุดมศึกษาด้านวิชาชีพและเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการ RMTC 2025 ในครั้งนี้นับเป็นเวทีสำคัญที่เปิดโอกาสให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และ ผู้ประกอบการได้แลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ และนวัตกรรมใหม่ๆ ในยุคที่เทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มขีดความสามารถใน การแข่งขันของประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์มีความมุ่งมั่นที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยเฉพาะ อย่างยิ่งในด้านวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมการผลิต และระบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาอุตสาหกรรม 4.0 และอุตสาหกรรมแห่งอนาคต เรามุ่งเน้นการบูรณาการองค์ความรู้จากสหสาขาวิชาเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงและก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ

การจัดประชุมวิชาการครั้งนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้หากปราศจากความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ผมขอขอบคุณ สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT) คณะกรรมการจัดงานวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้นำเสนอ ผลงานวิชาการ ตลอดจนบุคลากรและนักศึกษาทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการจัดงานครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผมขออวยพรให้การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมครั้งนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของความร่วมมือ ทางวิชาการที่จะนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ยั่งยืนสำหรับประเทศไทยต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

สานส์จากหัวหน้าสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

อาจารย์ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย

ในนามของสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ผมรู้สึกยินดีและเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้มีส่วนร่วมในการจัดการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (RMTC 2025) ในครั้งนี้

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการเป็นศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพ การเพิ่มผลิตภาพ การควบคุมคุณภาพ การจัดการโซ่อุปทาน และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการยกระดับขีดความสามารถของภาคอุตสาหกรรมไทยในยุคการเปลี่ยนผ่านสู่อุตสาหกรรม 4.0

ในช่วงเวลาที่โลกกำลังเผชิญกับความท้าทายใหม่ๆ ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว การแข่งขันทางเศรษฐกิจที่รุนแรง และความต้องการพัฒนาอย่างยั่งยืน บทบาทของวิศวกรอุตสาหการจึงมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในการออกแบบและปรับปรุงระบบการผลิตและการจัดการที่สามารถตอบสนองต่อความท้าทายเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการของเรามุ่งมั่นในการผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ความสามารถทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ พร้อมทั้งส่งเสริมงานวิจัยและพัฒนานวัตกรรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม เรามีความภาคภูมิใจในการเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายวิชาการที่ร่วมกันขับเคลื่อนการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีด้านการผลิตและการจัดการของประเทศ

การประชุมวิชาการ RMTC 2025 ในครั้งนี้จึงเป็นเวทีสำคัญที่เปิดโอกาสให้นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ประกอบการได้แลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ประสบการณ์ และผลงานวิจัยที่ทันสมัย อันจะนำไปสู่การพัฒนาและต่อยอดนวัตกรรมด้านวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมไทยในเวทีโลก

ผมขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงาน วิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้นำเสนอผลงาน และผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการสร้างสรรค์การประชุมวิชาการที่มีคุณค่านี้ และขอขอบคุณสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่ได้จัดการประชุมวิชาการที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการวิชาการและอุตสาหกรรมไทย

สุดท้ายนี้ ผมขออวยพรให้การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อยและประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่านจะได้รับความรู้และประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนางานวิจัยและการปฏิบัติงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี

(อาจารย์ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย)
หัวหน้าสาขาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ประวัติการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (The Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference: RMTC) เป็นเวทีทางวิชาการที่เกิดจากความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่งทั่วประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ นวัตกรรม และประสบการณ์ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม

จุดเริ่มต้น

การประชุมวิชาการ RMTC จัดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) จากแนวคิดในการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่ง ซึ่งประกอบด้วย:

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
3. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
8. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

โดยมีความมุ่งหมายที่จะเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการและงานวิจัยในด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ซึ่งเป็นจุดแข็งและรากฐานสำคัญของเครือข่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

พัฒนาการและความต่อเนื่อง

ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การประชุมวิชาการ RMTC ได้จัดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี โดยหมุนเวียนให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลแต่ละแห่งเป็นเจ้าภาพ ซึ่งแต่ละครั้งมีการกำหนดหัวข้อหลัก (Theme) ของการประชุมที่สอดคล้องกับสถานการณ์และความท้าทายในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เนื้อหาของการประชุมมีความทันสมัยและตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและสังคม

ในปี พ.ศ. 2565 (ค.ศ. 2022) ได้มีการจัดตั้ง "สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ" (RNMT) อย่างเป็นทางการ เพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งของความร่วมมือ และเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ RMTC อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การเติบโตและการขยายเครือข่าย

นับตั้งแต่การจัดประชุมครั้งแรกจนถึงปัจจุบัน การประชุมวิชาการ RMTC ได้เติบโตอย่างต่อเนื่องทั้งในแง่ของจำนวนผู้เข้าร่วมและคุณภาพของผลงานวิชาการ โดยได้รับความสนใจจากนักวิชาการ นักวิจัย และผู้ประกอบการทั้งในและนอกเครือข่ายราชมงคล รวมถึงนักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่สนใจในด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

การประชุมวิชาการ RMTC ไม่ได้จำกัดการนำเสนอผลงานเฉพาะบุคลากรในเครือข่ายราชมงคลเท่านั้น แต่ยังเปิดโอกาสให้นักวิจัย อาจารย์ นักศึกษา และบุคคลทั่วไปจากหน่วยงานและสถาบันการศึกษาอื่นๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และประสบการณ์ที่หลากหลายและกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

รูปแบบการจัดประชุม

การประชุมวิชาการ RMTC ประกอบด้วยกิจกรรมหลากหลายรูปแบบ ได้แก่:

1. การบรรยายพิเศษโดยวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ - เป็นการให้ความรู้และมุมมองเกี่ยวกับแนวโน้มและทิศทางของเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการในบริบทต่างๆ
2. การนำเสนอผลงานวิชาการแบบบรรยาย (Oral Presentation) - เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยในห้องประชุมย่อยตามกลุ่มหัวข้อที่กำหนด
3. กิจกรรมเสวนาและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น - เป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่างๆ

การจัดประชุมวิชาการ RMTC ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568

การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 (The 10th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference: RMTC 2025) จัดขึ้นโดยสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RNMT) โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น เป็นเจ้าภาพร่วม ซึ่งนับเป็นก้าวสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความเข้มแข็งและความต่อเนื่องของความร่วมมือทางวิชาการในเครือข่ายราชมงคลตลอดช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา

การจัดประชุมวิชาการ RMTC ที่ผ่านมาในทุกครั้งได้สร้างคุณูปการที่สำคัญต่อวงการวิชาการและอุตสาหกรรมไทย โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของประเทศได้อย่างเป็นรูปธรรม

ผลงานและความสำเร็จ

ตลอดระยะเวลา 10 ปีของการจัดประชุมวิชาการ RMTC มีผลงานวิจัยและบทความวิชาการกว่าพันเรื่องที่ได้รับการนำเสนอและตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceedings) ซึ่งหลายผลงานได้ถูกนำไปต่อยอดและพัฒนาเป็นนวัตกรรมที่สร้างประโยชน์ให้กับภาคอุตสาหกรรมและสังคม นอกจากนี้ ยังมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างนักวิจัย สถาบันการศึกษา และภาคอุตสาหกรรม ซึ่งนำไปสู่โครงการวิจัยร่วมและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและสังคม

การประชุมวิชาการ RMTC ยังเป็นเวทีสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของนักวิจัยรุ่นใหม่ โดยเฉพาะนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและอาจารย์รุ่นใหม่ให้มีประสบการณ์ในการนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ และได้รับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง

วิสัยทัศน์และเป้าหมายในอนาคต

ในอนาคต การประชุมวิชาการ RMTC มุ่งมั่นที่จะพัฒนาให้เป็นเวทีระดับนานาชาติที่ได้รับการยอมรับในวงกว้าง โดยส่งเสริมการนำเสนอผลงานวิจัยที่มีคุณภาพสูงและการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้กับนักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญจากนานาประเทศ รวมทั้งการสร้างความร่วมมือกับองค์กรและสถาบันการศึกษาในระดับนานาชาติเพื่อยกระดับมาตรฐานและคุณภาพของการประชุมวิชาการ

นอกจากนี้ ยังมีเป้าหมายในการส่งเสริมให้ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ RMTC ได้รับการพัฒนาต่อยอดและนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และสังคมอย่างเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น เพื่อให้องค์ความรู้และนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่เกิดขึ้นจากการประชุมวิชาการ RMTC ได้สร้างคุณค่าและประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศอย่างยั่งยืน

สาขาในการประชุม

1. สาขาการจัดการการผลิตและการดำเนินงาน (Production and Operations Management)
2. สาขาวิศวกรรมการผลิต (Manufacturing Engineering)
3. สาขาวัสดุศาสตร์และการประยุกต์ใช้งาน (Materials Science and Applications)
4. สาขาโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ (Supply Chain and Logistics)
5. สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial Education)
6. สาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (Technology and Innovation)

ลำดับการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ครั้งที่	ผู้จัดงาน (Organizer)	เจ้าภาพหลัก (Host)	เจ้าภาพร่วม (Co-host)	สถานที่	ช่วงเวลา	จำนวนบทความ
1	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	28 – 29 กรกฎาคม 2559	56
2	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	โรงแรมเคปราชา จังหวัดชลบุรี	4 – 8 ธันวาคม 2560	65
3	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	ณ โรงแรมดีวาน่า พลาซ่า จังหวัดกระบี่	30 – 31 พฤษภาคม 2561	125
4	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่	30 – 31 พฤษภาคม 2562	128
5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ณ โรงแรม เค พี แกรนด์ จังหวัดจันทบุรี	3 – 4 กันยายน 2563	213

ครั้งที่	ผู้จัดงาน (Organizer)	เจ้าภาพหลัก (Host)	เจ้าภาพร่วม (Co-host)	สถานที่	ช่วงเวลา	จำนวนบทความ
			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย			
6	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (จัดในรูปแบบ Online) จังหวัดนครปฐม	1 – 3 กันยายน 2564	153
7	สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย	ณ โรงแรมแคนทารี โคราช จังหวัดนครราชสีมา	6 – 8 กรกฎาคม 2565	200
8	สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือตัดไทย สมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์	โรงแรมอมารี พัทยา / โอโซ่นอร์ธ พัทยา จังหวัดชลบุรี	24 – 26 พฤษภาคม 2566	224
9	สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	ณ โรงแรมเฮอริเทจ เชียงราย โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น จังหวัดเชียงราย	1 – 3 พฤษภาคม 2567	199

ครั้งที่	ผู้จัดงาน (Organizer)	เจ้าภาพหลัก (Host)	เจ้าภาพร่วม (Co-host)	สถานที่	ช่วงเวลา	จำนวนบทความ
			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือตัดไทย สมาคมนวัตกรรมและเทคโนโลยีสร้างสรรค์ สำนักงานส่งเสริมการจัดประชุมและนิทรรศการ (องค์การมหาชน)			
10	สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันไทย-เยอรมัน สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือตัดไทย สมาคมนวัตกรรมและเทคโนโลยีสร้างสรรค์ สมาคมอุตสาหกรรมหล่อโลหะไทย สำนักงานส่งเสริมการจัดประชุมและนิทรรศการ (องค์การมหาชน)	อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น	28 – 30 พฤษภาคม 2568	178

รายชื่อคณะกรรมการสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ลำดับ	รายชื่อ	สังกัด
1	รศ.ดร.อนินท์ มีมนต์	คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2	รศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3	ผศ.ดร.ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์	คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4	ผศ.ดร.สุรัตน์ วรรณศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา
5	รศ.ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา
6	อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
7	รศ.ดร.วัชรินทร์ สิทธิเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
8	ผศ.ดร.แมน ตุ้ยแพร่	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัฒน์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
11	ว่าที่ร้อยเอก ศุภัทร ศิลาลอย	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติ หมอรักษา	คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
13	ผศ.ดร.ประจักร จัตกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชระ กัญจนกาญจน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
15	ผศ.ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
16	อาจารย์สัญญา คำจริง	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
17	ผศ.ดร.คณน สุจารี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
19	ผศ.ดร.เนรัญชลา กำไลทอง	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
18	รศ.ดร.นิวัฒน์ มูเก็ม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
20	ผศ.ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
21	รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
22	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ซูไฮดี สนิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
23	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
24	รศ.ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
25	ผศ.ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลำดับ	รายชื่อ	สังกัด
26	ผศ.ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
27	อาจารย์ ดร.กชกร วิรัชกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
28	อาจารย์ ดร.อิทธิพล เนคมานุรักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
29	อาจารย์สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
30	นายชัยวัฒน์ ปินตา	เจ้าหน้าที่ธุรการสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

วิทยากรบรรยายพิเศษ (Keynote Speaker)

ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา แก่นอากาศ

- รองผู้อำนวยการสถาบันวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Engineering Institute: AIEI)
- รองคณบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรม และการต่างประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การบรรยายพิเศษ เรื่อง

“AI-Powered Manufacturing: Trends Driving the Smart Factory Revolution”

อาจารย์ทัศพันธุ์ สุวรรณทัต

- ผู้อำนวยการศูนย์เครือข่ายพัฒนาบุคลากรด้านเมคคาทรอนิกส์ในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC)
- สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การบรรยายพิเศษ เรื่อง

“Education and Research Development: An Example Cases of Working with Industries in EEC”

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewer)

อ.ดร.ดอน แก้วดก	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยนิกร กุลวงษ์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุจิรา โคตรหานาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
อ.ดร.วิทวัส สิงห์สังข์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเวช เชื้อวงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญ์ บุญแซม	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุชิต คงฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรจนี หอมชาลี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร.อัจฉราวดี ศรีจรูญ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร.ทองปาน ปริวัตร	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร อินทนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนพงษ์ จำปาหอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิตา บุญโฉม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณา หอมจะขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปริญญวัตร ทินบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.กนกอร นุ้ยเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ฉกาจ เชื่อดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ฉัตรชัย สุตีกษณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ดร.พัชราภรณ์ สมดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ธีรวุฒิ เชื่อนแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.นายพีรวิทย์ โชคเหมาะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ปรวิทย์ เจียนดอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ภูริพัส แสนพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.มานพ ดอนหมื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

อ.ดร.รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.รุ่งวสันต์ ไกรกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.วรรณนิศา นุชคุ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.วาสนา พ่วงพรพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.ศุภฤกษ์ รัศมีแพทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.อิงอร สิทธิธนาดล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.นรารักษ์ บุตรชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ปริมประภา จุลลาบุดดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ปัญญา วินทะไชย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.อรรถสิทธิ์ เครือคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพงศ์ เกิดลาภี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิกานต์ สุวรรณประทีป	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุฒิ สิริเกษมสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภูษณะ ฉายินทุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุวัฒน์ บำรุงกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อ.ดร.บัณฑิต ฤทธิ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อ.ดร.ปกรณ์ ชุมรุม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จตุพร ใจดำรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ซูไฮดี สนิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.ดร.กิตติ วิโรจรัตนาภาพิศาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ.ดร.อุกฤษฎ์ ธนทรัพย์ทวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมพล คล้ายนิล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนรัญชลา กำไลทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ์ เมืองน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี หมัดสะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสาน แสงเขียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยะวรรณ สูนาสวน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศกร หลีตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูเก็ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.ภาสุรีย์ ล้ำสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.ดาราวรรณ วีรานันต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐิติ หมอรักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักร จัตกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชนะชัย จูมผา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อิทธิผลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณรัชิ นิติสิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ อภิโชติธนกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.โกวิทย์ พลหาญ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.คมกริช จันทรเสนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตินักรบ แสงสว่าง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา คำจันทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อธิวัฒน์ บุญมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ชลธิดา หลงพลอยพัด	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.วิเรขา คำจันทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจารี แสงเสถียร	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อามิณฑ์ หล้าวงศ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรศิริ คำหล้า	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เกยูร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาผา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อ.ณัฐนันท์ นิติสิริ	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อ.ดร.ลิขิตา เฉลิมพลโยธิน	มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

กำหนดการ

การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568

(The 10th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference: RMTC 2025)

ระหว่างวันที่ 28 – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ณ อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จ.ขอนแก่น

วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา 15:00 – 17:00 น. ลงทะเบียนล่วงหน้าสำหรับผู้นำเสนอบทความและผู้สนับสนุน ณ ลาน Chill & Connect อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น

วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา 08:00 – 09:00 น. ลงทะเบียน ณ ลาน Chill & Connect อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น

เวลา 09:00 – 09:30 น. พิธีเปิดการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568 ณ คอนเวนชั่น 2 อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น

- กล่าวต้อนรับ โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- การแสดงพิธีเปิด ชื่อชุดการแสดง “ฮ้อยฮักฮุ่งเฮืองเมืองแคนแก่นคูน”
- กล่าวรายงานการจัดประชุม โดย รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์ นายกสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
- กล่าวเปิดการประชุมวิชาการฯ โดย ผศ.ประพันธ์ ยาวระ รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
- มอบของที่ระลึกเครือข่าย 9 มทร.
- มอบของที่ระลึกผู้สนับสนุน
- มอบของที่ระลึก Keynote Speaker

เวลา 09:30 – 09:45 น. รับประทานอาหารว่าง

เวลา 09:45 – 10:30 น. การบรรยายพิเศษ เรื่อง “AI-Powered Manufacturing: Trends Driving the Smart Factory Revolution”
โดย ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา แก่นอากาศ

- รองผู้อำนวยการสถาบันวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์
(Artificial Intelligence Engineering Institute: AIEI)
- รองคณบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรม และการต่างประเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เวลา 10:30 – 11:15 น. การบรรยายพิเศษ เรื่อง “Education and Research Development : An Example Cases of Working with Industries in EEC”
โดย อาจารย์ทัศพันธุ์ สุวรรณทัต
- ผู้อำนวยการศูนย์เครือข่ายพัฒนาบุคลากรด้านเมคคาทรอนิกส์ในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC)
- สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

เวลา 11:15 – 12:00 น. MiniExpo ช่วงที่ 1

เวลา 12:00 – 13:00 น. รับประทานอาหารกลางวัน

เวลา 13:00 – 15:00 น. การนำเสนอบทความวิชาการ/บทความวิจัย แบบกลุ่มย่อย

เวลา 15:00 – 15:15 น. รับประทานอาหารว่าง

เวลา 15:15 – 17:15 น. การนำเสนอบทความวิชาการ/บทความวิจัย แบบกลุ่มย่อย

เวลา 17:15 – 18:00 น. MiniExpo ช่วงที่ 2

เวลา 18:00 – 18:30 น. ลงทะเบียนเข้าร่วมงานเลี้ยงต้อนรับ ณ คอนเวนชั่น 1-2 อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์
คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น

เวลา 18:30 – 22:00 น. งานเลี้ยงต้อนรับผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการฯ
- การมอบรางวัลบทความยอดเยี่ยมในแต่ละสาขา
- พิธีมอบธงเจ้าภาพ

วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา 08:30 – 10:30 น. การนำเสนอบทความวิชาการ/บทความวิจัย แบบกลุ่มย่อย

เวลา 10:30 – 10:45 น. รับประทานอาหารว่าง

เวลา 10:45 – 12:15 น. การนำเสนอบทความวิชาการ/บทความวิจัย แบบกลุ่มย่อย

เวลา 12:15 – 13:15 น. รับประทานอาหารกลางวัน

หมายเหตุ กำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

กำหนดการนำเสนอบทความ

การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2568

(The 10th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference: RMTC 2025)

ณ อวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จ.ขอนแก่น

	Ratchaphruek 1	Ratchaphruek 2	Ratchaphruek 3	Ratchaphruek 4	Ratchaphruek 5	Ratchaphruek 6
29 พฤษภาคม 2568						
ช่วงเวลา	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**
13:00-13:15	POM-115	MFE-234	MSA-305	SCL-401	IED-510	TIN-636
13:15-13:30	POM-167	MFE-251	MSA-336	SCL-404	IED-506	TIN-638
13:30-13:45	POM-147	MFE-237	MSA-328	SCL-407	IED-501	TIN-629
13:45-14:00	POM-114	MFE-246	MSA-319	SCL-405	IED-509	TIN-623
14:00-14:15	POM-161	MFE-226	MSA-331	SCL-410	IED-505	TIN-618
14:15-14:30	POM-158	MFE-230	MSA-332	SCL-403	IED-507	TIN-627
14:30-14:45	POM-149	MFE-243	MSA-333	SCL-406	รับประทานอาหารว่าง	TIN-635
14:45-15:00	POM-127	MFE-215	MSA-318	SCL-409	MFE-206	TIN-626
15:00-15:15	รับประทานอาหารว่าง	รับประทานอาหารว่าง	รับประทานอาหารว่าง	SCL-408	MFE-235	รับประทานอาหารว่าง
15:15-15:30	POM-163	MFE-249	MSA-306	รับประทานอาหารว่าง	MFE-238	TIN-639
15:30-15:45	POM-142	MFE-248	MSA-302	POM-123	MFE-208	TIN-620
15:45-16:00	POM-138	MFE-201	MSA-317	POM-133	MFE-213	TIN-616
16:00-16:15	POM-117	MFE-233	MSA-303	POM-159	MFE-223	TIN-632
16:15-16:30	POM-137	MFE-253	MSA-314	POM-150	MFE-216	TIN-621
16:30-16:45	POM-105	MFE-252	MSA-323	POM-166	MFE-224	TIN-637

	Ratchaphruek 1	Ratchaphruek 2	Ratchaphruek 3	Ratchaphruek 4	Ratchaphruek 5	Ratchaphruek 6
16:45-17:00	POM-109	MFE-222	MSA-334	POM-162	MFE-241	TIN-624
17:00-17:15	POM-118	MFE-204	MSA-315	POM-121	MFE-250	TIN-606
30 พฤษภาคม 2568						
ช่วงเวลา	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**	**PaperID**
08:30-08:45	POM-103	MFE-202	MSA-320	POM-132	MFE-236	TIN-604
08:45-09:00	POM-124	MFE-229	MSA-313	POM-151	MFE-240	TIN-615
09:00-09:15	POM-104	MFE-207	MSA-327	POM-106	MFE-225	TIN-603
09:15-09:30	POM-128	MFE-232	MSA-307	POM-156	MFE-218	TIN-633
09:30-09:45	POM-164	MFE-228	MSA-335	POM-102	MSA-304	TIN-614
09:45-10:00	POM-126	MFE-205	MSA-322	POM-113	MSA-308	TIN-610
10:00-10:15	POM-143	MFE-247	MSA-321	POM-140	MSA-340	TIN-611
10:15-10:30	POM-120	MFE-242	MSA-343	POM-110	MSA-325	TIN-625
10:30-10:45	รับประทานอาหารว่าง	MFE-244	รับประทานอาหารว่าง	รับประทานอาหารว่าง	MSA-342	รับประทานอาหารว่าง
10:45-11:00	POM-111	รับประทานอาหารว่าง	MSA-301	POM-122	รับประทานอาหารว่าง	TIN-617
11:00-11:15	POM-144	MFE-219	MSA-344	POM-157	POM-145	TIN-619
11:15-11:30	POM-141	MFE-220	MSA-338	POM-148	POM-152	TIN-631
11:30-11:45	POM-119	MFE-221	MSA-324	POM-116	POM-169	-
11:45-12:00	POM-112	MFE-245	MSA-339	POM-165	POM-153	-
12:00-12:15	-	MFE-217	MSA-329	POM-168	POM-154	-
12:15-12:30	-	-	-	POM-170	POM-155	-

สารบัญ

หน้า

คำนำ ก

ผู้ดำเนินการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ข

ผู้สนับสนุนการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ค

สาส์นจากนายกสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ง

สาส์นจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ

สาส์นจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ฉ

สาส์นจากหัวหน้าสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ช

ประวัติการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ซ

ลำดับการจัดประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฎ

รายชื่อคณะกรรมการสมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฑ

วิทยากรบรรยายพิเศษ (Keynote Speaker) ณ

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewer) ด

กำหนดการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ท

กำหนดการนำเสนอบทความการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ น

บทความ

1. สาขาการจัดการการผลิตและการดำเนินงาน (Production and Operations Management)

POM-102 การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนและเทคโนโลยีดิจิทัลในการพัฒนางานสารบรรณ กรณีศึกษา 1

POM-103 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าด้วยการปรับลดเวลาการผลิตและต้นทุนโดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงสาเหตุและการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ 10

POM-104 การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนท่อไอเสียรถยนต์เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตที่หลุดรอดไปถึงลูกค้า 20

POM-105 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับปรุงงานตามแนวทางของวิศวกรรมอุตสาหการกรณีศึกษา: บริษัทตัวอย่าง 30

POM-106 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานเพื่อลดเวลาในกระบวนการประกอบคลิปยึดอุปกรณ์แผงตกแต่งภายในรถยนต์ 38

POM-109 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ ปลาแดดเดียว กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน จังหวัดฉะเชิงเทรา 47

POM-110	การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาสีในกระบวนการพ่นสีฝุ่นของผลิตภัณฑ์ที่พยุงตัวผู้สูงอายุด้วยการออกแบบการทดลอง	56
POM-111	การเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ กรณีศึกษา:โรงงานผลิตพรมรถยนต์	65
POM-112	การออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยและการจำลองด้วย Tecnomatix Plant Simulation	71
POM-113	การศึกษาและปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ กรณีศึกษา	80
POM-114	การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการประกอบรถขุด กรณีศึกษา	86
POM-115	การพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต กรณีศึกษา	92
POM-116	การเลือกรูปแบบการจัดคลังสินค้าสำเร็จรูป โดยกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น กรณีศึกษา: โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแห่งหนึ่ง	98
POM-117	การวางแผนพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาเครื่องขัดยางรถยนต์	104
POM-118	การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับแป้นเกลียวเชื่อม M12x1.25 มิลลิเมตร	113
POM-119	การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนเปลี่ยนเส้นทางการเดินแนวแกนของเครื่องมือตัดเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	115
POM-120	การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์	117
POM-121	การเพิ่มผลตอบแทนในกระบวนการผลิตมันทอดเขากลอย	123
POM-122	การจัดตารางการซ่อมแซมแม่พิมพ์เพื่อลดความล่าช้าในการส่งมอบโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	131
POM-123	การลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงานโดยใช้หลักการ DMAIC กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรนิกส์	141
POM-124	การศึกษาการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ขนาด 80 x 220 ซม. เพื่อหาแนวทางในการบริหารต้นทุนการผลิตและผลตอบแทน กรณีศึกษา กลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมืองตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์	148
POM-126	การประยุกต์เครื่องมือคุณภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ	155

POM-127	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสหการ	162
POM-128	การพัฒนากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป	172
POM-132	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการการแปรรูปขนมงา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดสงขลา	177
POM-133	การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่งเพื่อการส่งออกโดยใช้เทคนิคแบบลีน	184
POM-137	การศึกษาโซ่อุปทานในกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันเพื่อวิเคราะห์หาแนวทาง เพิ่มประสิทธิภาพ	194
POM-138	การลดความสูญเปล่าในการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก	200
POM-140	การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บสินค้าบนพาเลท	206
POM-141	การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก: กรณีศึกษา	211
POM-142	การปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้แนวคิด ECRS ร่วมกับ การจัดคลังแบบลีน	212
POM-143	การประยุกต์ใช้วิธีการตามหลัก ECRS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่า ในกระบวนการแปรรูปอาหาร	218
POM-144	ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน ในเขตกรุงเทพมหานคร	226
POM-147	การปรับปรุงโรงฝึกปฏิบัติการตามแนวทางการตรวจประเมิน 7ส: กรณีศึกษา โรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม	234
POM-148	แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างในโรงฝึกงานตามมาตรฐาน OSHA	241
POM-149	การมีส่วนร่วมในการพัฒนาแม่พิมพ์และแก้ไขข้อบกพร่องในการฉีดพลาสติก	248
POM-150	การลดของเสียในกระบวนการผลิตฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปรับอากาศ	255
POM-151	การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยเทคนิคการกระจาย หน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)	261
POM-152	การปรับปรุงระบบการวัดที่ใช้ในการย้ำเทอร์มินอลของชุดสายไฟรถยนต์ โดยใช้ระบบการวิเคราะห์การวัด	267
POM-153	แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มกรณีศึกษา โรงน้ำดื่ม ในจังหวัดนครพนม	275
POM-154	การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักความสูญเสีย 7 ประการ กรณีศึกษาโรงงานลูกชิ้นจังหวัดสกลนคร	277

POM-155 การปรับปรุงการทำงานกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผากรณีศึกษา กลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร 284
POM-156 การออกแบบอุปกรณ์จิ๊กและฟิกเจอร์ในการเพิ่มผลิตภาพการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหาร 291
POM-157 แนวทางการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบโดยใช้เทคนิค 5W1H และหลักการ ECRS 302
POM-158 การปรับปรุงผังโรงงานด้วยการวางผังอย่างมีระบบร่วมกับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 308
POM-159 การลดของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูป: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ 309
POM-161 การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย ด้วยเทคนิค Lean Six-Sigma กรณีศึกษา ธุรกิจลูกชิ้นปลาอินทรี 315
POM-162 การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่าง 323
POM-163 การลดของเสียบริเวณผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ 325
POM-164 การปรับปรุงกระบวนการผลิตชุดเสริมความแข็งแรงแผงหน้าปัดรถยนต์ 327
POM-165 การปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนยานยนต์ 329
POM-166 การศึกษาตัวแปรการขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ 339
POM-167 การลดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติกโดยการวิเคราะห์ผังกระบวนการไหล 346
POM-168 การลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิค FMEA สำหรับการผลิตอะไหล่รถยนต์ทางการเกษตร 354
POM-169 การศึกษาความต้องการผักสลัดของลูกค้าด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ 361
POM-170 การเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับความบกพร่องของชิ้นงานด้วยวิธีการประมวลผลภาพ 369

2. สาขาวิศวกรรมการผลิต (Manufacturing Engineering)

MFE-201 อิทธิพลพารามิเตอร์ต่อช่องว่างรอยตัดในกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์ 377
MFE-202 การออกแบบและสร้างเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ 384
MFE-204 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสแกน 3 มิติเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) 391
MFE-205 การพัฒนานวัตกรรมสายการผลิตการรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชแบบอัตโนมัติ 400

MFE-206	การศึกษาความหยาบผิวต่อการเคลือบ TiN และ TiAlN บนเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH	407
MFE-207	การออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด	414
MFE-208	ผลของการชุบผิวแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนจากถ่านยูคาลิปตัส	422
MFE-213	การทำนายอัตราการขจัดเนื้องานและความหยาบผิวชิ้นงานในกระบวนการกัดอาร์ค ด้วยกระแสไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20	434
MFE-215	ผลของปัจจัยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการเติมอนุภาค SiC ในแนวเชื่อม ต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมอลูมิเนียมต่างชนิด	439
MFE-216	การวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงต่อความหยาบผิว ของเหล็กกล้า SKD 11	448
MFE-217	วิศวกรรมย้อนรอยของรอยเชื่อมรางรถไฟด้วยกระบวนการเชื่อมเทอร์มิต	450
MFE-218	การพัฒนากระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์โดยใช้แบบไม้และเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้ง	456
MFE-219	ตัวแปรที่เหมาะสมของการเชื่อมประสาน CMT แบบจุดระหว่าง อะลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304	462
MFE-220	ผลกระทบของความสูงแหวนจิกที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ ตัดโลหะแผ่น	471
MFE-221	ผลกระทบของอุณหภูมิการอบอ่อนหลังกระบวนการที่ส่งผลต่อพฤติกรรม แอนไอโซทรอปิกและความสามารถในการลากขึ้นรูปของโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304	479
MFE-222	การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกล ของอะลูมิเนียมผสม เกรด 6061 ด้วยกระบวนการ GMAW โดยใช้หุ่นยนต์เชื่อม	481
MFE-223	การปรับปรุงกระบวนการปั่นแยกผลึกน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบ: กรณีศึกษา	483
MFE-224	การวิเคราะห์และลดข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ด้วยหลักการทางวิศวกรรม	489
MFE-225	การเจาะรูลึกด้วยเทคนิคแบบผสมเพื่อลดเวลาในการทำงาน	495
MFE-226	การยืดอายุการใช้งานของพันช์เจาะรูด้วยการเคลือบผิว	500
MFE-228	การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อของสายการผลิต Molding KDM	502
MFE-229	อิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในกระบวน การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20	508

MFE-230	การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของคมตัดโดยวิธีการกัดชิ้นงานแบบโทรคอยด์	514
MFE-232	การออกแบบและสร้างหัวพิมพ์ชิ้นงานสามมิติสำหรับพิมพ์ช็อกโกแลต	520
MFE-233	อิทธิพลของเครื่องมือตัดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดเจาะแผ่นอลูมิเนียมอัลลอยด้วยแม่พิมพ์ตัดเจาะ	526
MFE-234	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire EDM) สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	534
MFE-235	การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบตะขอแขวนเสื้อด้วยเทคนิคโทโพโลยี	543
MFE-236	การศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า	554
MFE-237	การพัฒนารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจากโครงสร้างรถจักรยานยนต์เดิม	560
MFE-238	ผลกระทบของการเชื่อมหลายกระบวนการต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับงานผลิตถังภาชนะรับแรงดัน	568
MFE-240	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานไม่สมมาตรเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 โดยใช้ตรอบิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	574
MFE-241	การศึกษาการอัดขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยก้านกล้วย	581
MFE-242	การศึกษาอิทธิพลและปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุดด้วย Robot 6 Axis	588
MFE-243	การลดเวลาและต้นทุนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	595
MFE-244	การศึกษาและวิเคราะห์โมเดลของล้อแม็กโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม	603
MFE-245	การวิจัยการขึ้นรูปโลหะในประเทศไทย: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ	612
MFE-246	การพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องวัดด้วยภาพ	619
MFE-247	การประเมินประสิทธิภาพการตัดวัสดุอะคริลิคใสด้วยเครื่องตัดเลเซอร์โดยประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง	621
MFE-248	อิทธิพลของทิศทางการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L ในการทดสอบแรงดึง	628
MFE-249	อิทธิพลการขึ้นรูปของ Ti-6Al-4V ในการทดสอบความแข็งแรงดึงด้วยมาตรฐาน ASTM E8	634
MFE-250	การเพิ่มประสิทธิภาพการกัดซีเอ็นซีเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)	643

ภายใต้การหล่อลื่นปริมาณน้อยด้วยวิธีทากูชิ

MFE-251 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยไหม้ในกระบวนการกัดขึ้นรูปต่างหูจิวระเบิดที่ทำจากไม้มะฮอกกานี 650

MFE-252 การศึกษาประสิทธิภาพของการเคลือบผิวแข็งในการต้านทานการสึกหรอของหัวพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์สามมิติที่ใช้วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 657

MFE-253 การศึกษาชนิดของวัสดุที่มีผลต่ออายุการใช้งานของหัวพิมพ์ขึ้นรูปงานสามมิติด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 663

3. สาขาวัสดุศาสตร์และการประยุกต์ใช้งาน (Materials Science and Applications)

MSA-301 การศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับกากกาแฟ 669

MSA-302 การศึกษาสมบัติเชิงกลพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซิเมทิลีนและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด 677

MSA-303 การประยุกต์ใช้ ไฟไนต์เอเลเมนต์ในกระบวนการขึ้นรูปแบบสัมผัสเป็นจุด 683

MSA-304 การศึกษาสมบัติความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาคในงานเชื่อม 689

MSA-305 การศึกษาความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัวของเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ด้วยการทดสอบอิมแพลนต์ 696

MSA-306 การศึกษาสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟสสำหรับการตรวจสอบรอยบกพร่องในวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส 703

MSA-307 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งของเหล็กกล้าผสม เกรด A335 P91 และ A335 P22 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อม GTAW 709

MSA-308 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้า S45C 715

MSA-313 การเพิ่มมูลค่าเศษต้นกระวานเหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียง 719

MSA-314 การศึกษาคุณสมบัติทางกลของรูปแบบการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ 725

MSA-315 ผลของสเปรย์โพรโพลิสในช่องปากต่อแรงยึดติดแบบเฉือนและรูปแบบความเสียหายระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟัน 732

MSA-317 การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 เคลือบผิวแบบแคโทดิกอาร์คโดยการทดสอบการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ไป-กลับ และแนวรัศมี 738

MSA-318 ผลกระทบธาตุโครเมี่ยม แมงกานีส และสตรอนเชียมและเวลาการกระแทกต่อเฟสซิลิคอนและสารประกอบเชิงโลหะในโลหะผสม Al-7Si-1Fe 747

โดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

MSA-319 การศึกษาการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์แนวโน้มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตอลูมิเนียมหล่อ–ลวดเหล็ก เพื่อพยากรณ์การทดลองเชิงปฏิบัติ 757

MSA-320 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของการเชื่อมซ่อมแซมชิ้นงานเหล็กหล่อ FC 250 763

MSA-322 การปรับปรุงกระบวนการชุบแข็งมีดที่ขึ้นรูปจากเหล็กตะไบของชาวบ้านม่วงหวาน 769

MSA-323 การศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิต สำหรับการใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม 777

MSA-324 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเฉือน พฤติกรรมการแตกหักและการก่อตัวของชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างอะลูมิเนียมผสมกับเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ 779

MSA-325 Effect of Solution Parameters During Electrospinning Process on Morphological Features of PVP Nanofibrous Membranes 781

MSA-327 การเปรียบเทียบรูปแบบการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ตามข้อกำหนด ASTM E8 782

MSA-328 การวิเคราะห์ความเค้นในแผ่นเกราะอะลูมิเนียมอัลลอยที่มีหน้าสัมผัสหลายชั้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 790

MSA-329 พฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก $(1–x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3–xBiFeO_3$ 802

MSA-331 การพัฒนาออกแบบกลไกการหมุนของแขนหมุนในเครื่องหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน 804

MSA-332 การพัฒนาหวายเทียมจากขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์หลายชั้นฟิล์ม 808

MSA-333 การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากชิ้นส่วนพลาสติกของยานยนต์หมดอายุการใช้งานและเส้นใยคาร์บอนรีไซเคิลจากของเสียอุตสาหกรรม 811

MSA-334 ระบบการรีไซเคิลกันชนรถยนต์จากกันชนรถยนต์ที่ชำรุด 814

MSA-335 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งและน้ำหนักของวัสดุเรซิ่นผสมแป้งมันสำปะหลังในกระบวนการหล่อขึ้นรูป 816

MSA-336 การศึกษาการรีไซเคิลและปรับปรุงคุณสมบัติถุงบรรจุภัณฑ์เจลลี่ไลท์ผสมกับพอลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง 818

MSA-338 การสกัดไมโครคริสตัลเซลลูโลสอย่างยั่งยืนจากขยะกระดาษลังรีไซเคิล 821

MSA-339 การพิสูจน์ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD11 ด้วยวิธีการทดสอบแบบโจมินี 828

MSA-340 ศึกษาผลของโลหะแม่ (Al-Cr) ที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ของอะลูมิเนียมผสมเกรด A383 835
MSA-342 Fabrication of Composite Sheets from Jute/Polypropylene Yarn Using Compression Molding 840
MSA-343 Recycling of multi-layer plastic packaging to reduce aluminum composite core material in green building 842
MSA-344 Predictive Accuracy of Compressive Strength Using Central Composite Design with Regression Techniques 844

4. สาขาโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ (Supply Chain and Logistics)

SCL-401 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งไข่ไก่สดของร้านทุ่งแพรฟาร์มหาดใหญ่ 851
SCL-403 การประยุกต์ใช้ ABC Analysis และ Visual Control ในการจัดการคลังวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการไหลวัสดุ: กรณีศึกษาคลังโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม 852
SCL-404 การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมในการขนส่งน้ำแข็งหลอด 859
SCL-405 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งสินค้าทางการแพทย์: กรณีศึกษาการจัดส่งน้ำยาล้างไตของบริษัทไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด 865
SCL-406 การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้าในระบบโลจิสติกส์ของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน: กรณีศึกษาบริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท บางบัวทอง 873
SCL-407 การศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกเพื่อการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และการศึกษาความเป็นไปได้: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมชุดชั้นในสตรี 880
SCL-408 การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต 890
SCL-409 การพัฒนาระบบการเบิกจ่ายอุปกรณ์และอะไหล่สำรอง 891
SCL-410 การเปรียบเทียบรูปแบบการพยากรณ์ยอดขายสินค้าอาหารเสริม: กรณีศึกษาบริษัท AAA 897

5. สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial Education)

IED-501 การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยวิธีการเพื่อนช่วยเพื่อนในรายวิชาการเขียนโปรแกรมวิชวลและเชิงวัตถุ 905
IED-505 ความผูกพันต่อองค์กรของพนักงานฝ่ายสนับสนุน กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้า 907

RDC บุรีรัมย์
IED-506 การพัฒนาชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะในรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ 909
IED-507 การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น 913
IED-509 การศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง 917
IED-510 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศศิษย์เก่า 930

6. สาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (Technology and Innovation)

TIN-603 การออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุเส้นก๋วยจั๊บกึ่งอัตโนมัติ 932
TIN-604 การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ 934
TIN-606 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล 940
TIN-610 การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 948
TIN-611 การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 956
TIN-614 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานทรงกระบอกระบบกึ่งอัตโนมัติ 965
TIN-615 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล 972
TIN-616 การประยุกต์ใช้งานโรบอทวิชั่นสำหรับการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานอุตสาหกรรม 978
TIN-617 การประยุกต์ใช้แดชบอร์ดแสดงผลทันทีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร กรณีศึกษา: บริษัทชิ้นส่วนรถยนต์ 982
TIN-618 การออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด 989
TIN-619 การพัฒนาแผ่นวัสดุผสมชีวภาพที่มีมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุรีไซเคิลเพื่อการประยุกต์ใช้งานอย่างยั่งยืน 995
TIN-620 อุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลอง 997
TIN-621 ผลของอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพบางประการของเงาะ 1004
TIN-623 การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรด 1011
TIN-624 เว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC 1013

TIN-625	นวัตกรรมของมาตรวัดการเอียงตัวด้วยการใช้มาตรวัดความเครียด แบบโรเซท	1020
TIN-626	Design and Implementation of a Climate Simulator for Environmental Durability Testing	1028
TIN-627	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนในการสร้างต้นแบบแผนผังโรงงาน เพื่อสนับสนุนการขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง. 4) : กรณีศึกษา บริษัท สินธ์สุวรรณ น้ำดื่มไทย จำกัด	1034
TIN-629	การศึกษาและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด	1042
TIN-631	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเค็มของดินบริเวณ พื้นที่ใกล้นากุ้งจังหวัดจันทบุรี	1051
TIN-632	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ: กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงสัตว์บ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	1057
TIN-633	การออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ	1066
TIN-635	การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำทุเรียนผสมมังคุด	1073
TIN-636	การออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์	1075
TIN-637	ออกแบบและพัฒนาระบบยืม-คืนสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาของ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์	1081
TIN-638	การศึกษาและควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าด้วย PLC ผ่านโปรโตคอลมอดบัส RTU	1088
TIN-639	การจำแนกมังคุดด้วยการประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึม เพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว	1094

การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนและเทคโนโลยีดิจิทัลในการพัฒนางานสารบรรณ กรณีศึกษา ศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Application of Lean Concepts and Digital Technology for Improving Administrative Processes: A Case Study of the Research, Academic Service, and Testing Center, RMUTI, Khon Kaen Campus

เบญจมาศ ทินบุตร[1]
[1] สำนักงานวิทยาเขตขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Benjamas Dhinnabutra[1]
[1]Khon Kaen Campus Office,Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: benjamas.ti@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธาของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น โดยมุ่งเน้นการลดเวลาที่ใช้ในการจัดทำเอกสาร ลดข้อผิดพลาด และกำจัดขั้นตอนซ้ำซ้อน ปัญหาหลักที่พบ ได้แก่ การใช้เวลามากเกินไปในการจัดทำเอกสาร ข้อผิดพลาดจำนวนมาก และความซ้ำซ้อน ในกระบวนการงานวิจัยใช้เทคนิค 7 Wastes, แผนผังสาเหตุและผล, 5 Why Analysis โดยเน้นวิเคราะห์ผ่าน 4M ผลการ วิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าปัญหาหลักมาจากความไม่ชัดเจนในกระบวนการทำงานและขาดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ข้อเสนอแนะคือการจัดทำมาตรฐานการทำงาน (SOP), การกำหนดการไหลของงาน เพื่อลดขั้นตอนซ้ำซ้อนและการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น Google Sheets, Google Doc และ Function Mail Merge หลังปรับปรุงสามารถลดเวลาการจัดทำเอกสารได้ถึง 74.44% ลดการใช้กระดาษได้ 66.67% และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ การพัฒนานี้เป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในหน่วยงานอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในระยะยาว

คำหลัก งานสารบรรณ, แนวคิดลีน, 7 Wastes, Mail Merge, Google Sheets, Google Doc

Abstract

The purpose of this study is to examine and improve the administrative procedure for delivering civil engineering test results at the Research, Academic Service, and Testing Center, RMUTI, Khon Kaen Campus. The key goals are to shorten document preparation time, reduce errors, and eliminate unnecessary stages. Key concerns found include unnecessary documentation time, frequent errors, and workflow redundancies. The study used the 7 Wastes Analysis, Cause and Effect Diagram, and 5 Why Analysis, with a focus on the 4M framework (Man, Method, Machine, and Material).The results show that the most pressing issues are unclear workflows and a lack of digital solutions such as Google Sheets Google Doc and Mail Merge Function. The recommendations include developing standard operating procedures (SOPs), using workflow tools to speed up procedures, and adopting digital technology. Following implementation, document preparation time was decreased by 74.44%, the use of paper was reduced by 66.67%, and overall efficiency increased considerably. This study serves as an example for other companies facing similar challenges in enhancing efficiency and minimizing long-term costs.

Keywords: Administrative Work, Lean Concept, 7 Wastes, Mail Merge, Google Sheets,Google Doc

1. บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานทดสอบวัสดุทางโยธาเป็นหนึ่งในบทบาทสำคัญของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่มุ่งเน้นการสนับสนุนงานด้านวิชาการและการพัฒนาท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการดำเนินงานสารบรรณในการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธา ยังประสบปัญหาหลายประการ เช่น ความล่าช้าในกระบวนการจัดทำเอกสาร ความผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานด้วยมือ และการจัดเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นระบบ [1],[2] ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานและความพึงพอใจของผู้รับบริการ

แนวคิดลีน (Lean Concept) ซึ่งเป็นหลักการบริหารจัดการที่เน้นการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงงานสารบรรณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและเพิ่มคุณค่าให้แก่กระบวนการ [3] การใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น ฟังก์ชั่นจดหมายเวียน (Mail Merge) ใน Google Doc [4] และระบบจัดการฐานข้อมูลร่วมกันใน Google Sheets สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการงานสารบรรณได้อย่างมาก [5] และสนับสนุนการดำเนินงานให้มีความคล่องตัวและแม่นยำมากขึ้น

การพัฒนาและผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับแนวคิดลีนได้ถูกนำไปใช้ในหลากหลายองค์กรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น สามารถลดเวลากระบวนการทำงานที่เกิดความสูญเปล่าลงได้ มากกว่า 50 % และสามารถช่วยลดภาระงานของผู้ประสานงานได้เป็นอย่างมาก[6]

สำหรับประเทศไทย งานวิจัยในหน่วยงานราชการหลายแห่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและแนวคิดลีนมาใช้ในกระบวนการสารบรรณ เช่น การลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นในกระบวนการจัดทำเอกสาร และการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อรองรับการให้บริการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น[7]

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการจัดการสารบรรณโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น Google Doc และ Google Sheets เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดข้อผิดพลาด และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษาแนวคิดลีน (Lean Concept) ในการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน (Womack & Jones, 2003)
2. ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเช่นฟังก์ชัน Mail Merge ใน Google Doc เพื่อสร้างเอกสารอัตโนมัติ และการใช้ Google Sheets [4] เป็นฐานข้อมูลที่สามารถแชร์และปรับปรุงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์
3. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสารบรรณในองค์กรและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

2.2 การวิเคราะห์กระบวนการปัจจุบัน

1. เก็บข้อมูลกระบวนการจัดการสารบรรณปัจจุบันโดยสร้างแผนผังกระบวนการปัจจุบัน (As-Is Process Map) เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงาน และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ ความสูญเปล่าในกระบวนการ (Waste Analysis) [8] แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram [9] และ 5 Whys Technique [10]

2.3 การออกแบบและพัฒนากระบวนการใหม่

1. ประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น
2. ออกแบบการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ได้แก่การสร้างฐานข้อมูลใน Google Sheets สำหรับจัดเก็บข้อมูลเอกสาร และการใช้ Mail Merge ใน Google Doc เพื่อสร้างเอกสารอัตโนมัติ
3. จัดทำแผนผังกระบวนการใหม่

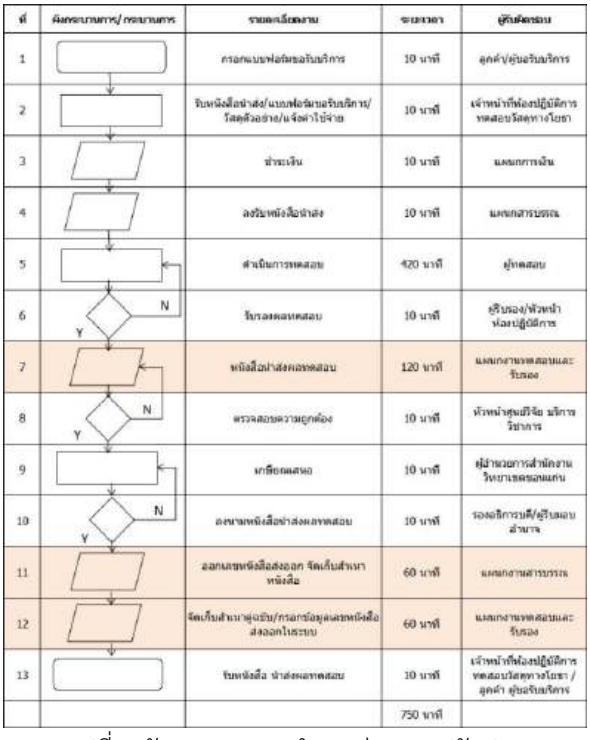
2.4 การทดลองและปรับปรุงกระบวนการ

1. ทดสอบการใช้งานกระบวนการใหม่ในสถานการณ์จริง (Pilot Testing) โดยใช้ระยะเวลา 6 เดือน
2. เก็บข้อมูลเปรียบเทียบ เวลาในการจัดการเอกสารและเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ ต้นทุนการใช้เอกสาร เป็นต้น

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษากระบวนการทำงานก่อนการปรับปรุง

การศึกษาสภาพกระบวนการทำงานก่อนการปรับปรุง แสดงในรูปที่ 1



ที่	ผังกระบวนการ/กระบวนการ	รายละเอียดงาน	ระยะเวลา	ผู้รับผิดชอบ
1		กรอกแบบฟอร์มขอรับบริการ	10 นาที	ลูกค้า/ผู้ขอรับบริการ
2		รับหนังสือนำส่ง/แบบฟอร์มขอรับบริการ/วัสดุตัวอย่าง/แจ้งค่าใช้จ่าย	10 นาที	เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางโยธา
3		ชำระเงิน	10 นาที	แผนกการเงิน
4		ลงรับหนังสือนำส่ง	10 นาที	แผนกสารบรรณ
5		ดำเนินการทดสอบ	420 นาที	ผู้ทดสอบ
6	N / Y	รับรองผลทดสอบ	10 นาที	ผู้รับรอง/หัวหน้าห้องปฏิบัติการ
7		หนังสือนำส่งผลทดสอบ	120 นาที	แผนกงานทดสอบและรับรอง
8	N / Y	ตรวจสอบความถูกต้อง	10 นาที	หัวหน้าศูนย์วิจัย บริการวิชาการ
9		เกษียณผลทดสอบ	10 นาที	ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตขอนแก่น
10	N / Y	ลงนามหนังสือนำส่งผลทดสอบ	10 นาที	รองอธิการบดี/ผู้รับมอบอำนาจ
11		ออกเลขหนังสือส่งออก จัดเก็บสำเนาหนังสือ	60 นาที	แผนกงานสารบรรณ
12		จัดเก็บสำเนาคู่ฉบับ/กรอกข้อมูลเลขหนังสือส่งออกในระบบ	60 นาที	แผนกงานทดสอบและรับรอง
13		รับหนังสือ นำส่งผลทดสอบ	10 นาที	เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางโยธา / ลูกค้า ผู้ขอรับบริการ
			750 นาที	

รูปที่ 1 ผังกระบวนการทำงานก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 1 มีกิจกรรมทั้งหมด 13 กิจกรรม โดยใช้ระยะเวลาในกระบวนการเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จโดยเฉลี่ยทั้งหมด 750 นาที ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ลูกค้า/ผู้รับบริการ กรอกแบบฟอร์มขอรับบริการ (ใช้เวลา 10 นาที)

ขั้นตอนที่ 2 เจ้าหน้าที่รับแบบฟอร์มและแจ้งค่าใช้จ่าย (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 3 แผนกงานการเงินดำเนินการรับชำระเงินและออกใบเสร็จรับเงิน (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 4 เอกสารเข้าสู่กระบวนการลงทะเบียน โดยแผนกงานสารบรรณ สำนักงานวิทยาเขต (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 5-6 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ และรวบรวมผล โดยห้องปฏิบัติการทดสอบทางโยธา (ใช้เวลา 420 นาที)

ขั้นตอนที่ 7 ทำหนังสือนำส่งผลการทดสอบและรวบรวมผล โดยงานสารบรรณศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ (ใช้เวลา 120 นาที)

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบความถูกต้องของผลโดยหัวหน้าศูนย์วิจัย (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 9 เกษียณหนังสือเสนอ โดยผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขต (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 10 ลงนามรับรองผล โดยรองอธิการบดีประจำวิทยาเขต (10 นาที)

ขั้นตอนที่ 11 ออกเลขหนังสือนำส่งผลทดสอบ, ลงทะเบียน, และจัดเก็บเอกสารสำเนา (รวม 60 นาที)

ขั้นตอนที่ 12 งานสารบรรณศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ จัดเก็บสำเนาคู่ฉบับ และประสานเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางโยธา (รวม 60 นาที)

รวมระยะเวลา: กระบวนการทั้งหมดใช้เวลา **750 นาที (12 ชั่วโมง 30 นาที)**

หลังจากการนำกระบวนการงานสารบรรณการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธาของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบจุดที่สังเกตได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด ได้แก่

1. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (420 นาที)กระบวนการนี้เป็นกระบวนการทดสอบที่ปฏิบัติไปตามมาตรฐาน จึงไม่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อลดเวลาได้

2. การออกเลขหนังสือและจัดเก็บเอกสาร (120 นาที) โดยงานสารบรรณศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ

จุดที่อาจมีความซ้ำซ้อน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 11-12 ออกเลขหนังสือ, ลงทะเบียน, และจัดเก็บเอกสารในระบบ (รวม 120 นาทีสำหรับขั้นตอนสุดท้าย) โดยงานสารบรรณศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ อาจมีการทำงานที่คล้ายคลึงกัน ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ความสูญเปล่าตามแนวคิด 7 Wastes ของลีน, การวิเคราะห์ด้วย แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และ 5 Whys Technique

3.2 ผลการตรวจสอบความสูญเปล่าตามแนวคิด 7 Wastes ของลีน

เพื่อเป็นการระบุปัญหาในกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non-Value Added Activities) ผู้วิจัยได้นำความสูญเปล่าตามแนวคิด 7 Wastes ของลีน มาทำการวิเคราะห์โดยสามารถนำมาใช้ในงานสารบรรณของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่นได้ ดังนี้

1. Defects (ความผิดพลาด)

ความสูญเปล่า

1. การพิมพ์ผิดหรือข้อมูลในเอกสารไม่ถูกต้อง
2. การจัดส่งเอกสารผิดปลายทาง
3. การใช้แบบฟอร์มที่มีข้อมูลไม่ครบถ้วนหรือซ้ำซ้อน
4. การต้องกลับมาแก้ไขเอกสารหลายครั้ง

แนวทางแก้ไข

1. ใช้ Mail Merge ของ Google Doc เพื่อลดการป้อนข้อมูลผิดพลาด
2. ตรวจสอบข้อมูลก่อนจัดทำเอกสาร

2. Overproduction (การผลิตเกินความจำเป็น)

ความสูญเปล่า

1. การทำสำเนาเอกสารหลายชุดเพื่อสำรองโดยไม่ได้ใช้งานจริง
2. การสร้างรายงานหรือเอกสารที่ไม่ได้ใช้งาน

แนวทางแก้ไข

1. ประเมินความต้องการก่อนพิมพ์เอกสาร
2. ใช้เอกสารในรูปแบบดิจิทัลแทนการพิมพ์กระดาษ

3. Waiting (การรอคอย)

ความสูญเปล่า

1. บุคลากรที่เกี่ยวข้องรอเอกสารจากหัวหน้าก่อนดำเนินการต่อ
2. การต้องรอการลงนามจากหลายฝ่าย
3. การรอการอนุมัติเอกสารในหลายขั้นตอน

แนวทางแก้ไข

1. ใช้ระบบจัดการเอกสารออนไลน์ เพื่อช่วยลดเวลาการรอ เช่น Google Sheets หรือระบบ Workflow
2. ลดจำนวนขั้นตอนการอนุมัติที่ไม่จำเป็น

4. Non-utilized Talent (การไม่ใช้ศักยภาพของบุคลากร)

ความสูญเปล่า

1. บุคลากรที่มีทักษะสูงต้องใช้เวลาทำงานซ้ำซ้อนหรืองานที่ไม่จำเป็น
2. ขาดการฝึกอบรมเพื่อพัฒนาทักษะใหม่ ๆ

แนวทางแก้ไข

1. จัดอบรมเกี่ยวกับเทคโนโลยี เช่น การใช้ Google Doc และ Google Sheets
2. มอบหมายงานให้ตรงกับความเชี่ยวชาญของบุคลากร

5. Transportation (การเคลื่อนย้าย)

ความสูญเปล่า

1. การเคลื่อนย้ายเอกสารระหว่างแผนกที่ไม่จำเป็น
2. การต้องเดินไป-กลับเพื่อส่งเอกสาร

แนวทางแก้ไข

1. ใช้ระบบจัดเก็บเอกสารดิจิทัลที่แชร์ผ่าน Google Drive
2. ลดการเคลื่อนย้ายเอกสารด้วยการส่งผ่านอีเมลหรือระบบออนไลน์

6. Inventory (สินค้าคงคลังเกินจำเป็น)

ความสูญเปล่า

1. การเก็บเอกสารสำเนาหลายชุดโดยไม่มีการใช้งาน
2. พื้นที่จัดเก็บเอกสารที่เต็มไปด้วยเอกสารที่หมดอายุ

แนวทางแก้ไข

1. จัดการเอกสารในรูปแบบดิจิทัลและกำจัดเอกสารที่ไม่จำเป็น
2. ใช้ระบบจัดการเอกสารที่สามารถค้นหาและอัพเดตข้อมูลได้ง่าย

7. Motion (การเคลื่อนไหวเกินจำเป็น)

ความสูญเปล่า

1. การค้นหาเอกสารในชั้นเก็บที่ไม่มีระบบ
2. การต้องเดินไปยังจุดต่าง ๆ เพื่อขอข้อมูล

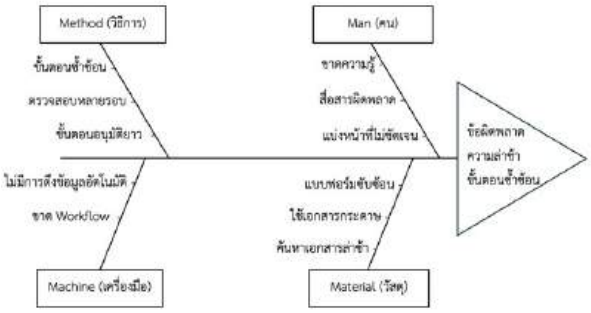
แนวทางแก้ไข

1. จัดเก็บเอกสารในระบบดิจิทัลที่ค้นหาได้ง่าย เช่น Google Drive
2. ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นด้วยการใช้เครื่องมือออนไลน์

3.3 การวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในงานสารบรรณของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ด้วย แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

โดยแบ่งปัจจัยหลักได้แก่ Man (คน),Method (วิธีการ),Machine (เครื่องมือ) และ Material (วัสดุ) [11] เพื่อให้การแก้ไขปัญหาที่ได้พิจารณาจากทุกปัจจัย เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ด้วย แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากรูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผลช่วยระบุสาเหตุหลักของปัญหาในกระบวนการจัดการงานสารบรรณ โดยพบว่าสาเหตุหลักมาจาก 4 ปัจจัย คือ Man, Method, Machine, Material การแก้ไขปัญหาควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาทักษะของบุคลากร การปรับปรุงกระบวนการทำงาน การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ และการปรับปรุงแบบฟอร์มและระบบจัดเก็บข้อมูล เพื่อลดข้อผิดพลาด ความล่าช้า และขั้นตอนซ้ำซ้อนในกระบวนการ

หลังจากวิเคราะห์พบว่า ใช้เวลามากเกินไปในการจัดทำเอกสาร,ข้อผิดพลาดในเอกสารจำนวนมาก,และมีขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน จึงนำ 5 Whys Technique มาวิเคราะห์ความสูญเปล่าและแนวทางแก้ไขในงานสารบรรณของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

3.4 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วย 5 Whys Technics

หลังจากที่มีการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่า ปัญหาข้อผิดพลาดในเอกสารมีจำนวนมากและมีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ผู้วิจัยจึงนำปัญหามาทำการวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วย 5 Whys Technics เพื่อวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขปัญหาให้แม่นยำมากยิ่งขึ้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปัญหา พบข้อผิดพลาดในเอกสารจำนวนมาก

1. ทำไมถึงมีข้อผิดพลาดในเอกสารจำนวนมาก?

ตอบ เพราะมีการพิมพ์ข้อมูลผิดพลาดในระหว่างการจัดทำเอกสาร

2. ทำไมถึงเกิดข้อผิดพลาดในการพิมพ์ข้อมูล

ตอบ เพราะข้อมูลต้องถูกป้อนด้วยมือทุกครั้ง

3. ทำไมถึงต้องป้อนข้อมูลด้วยมือทุกครั้ง?

ตอบ เพราะไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูลจากฐานข้อมูล

4. ทำไมถึงไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูลจากฐานข้อมูล?

ตอบ เพราะยังไม่มีระบบจัดการฐานข้อมูลที่รองรับการทำงาน

5. ทำไมถึงไม่มีระบบจัดการฐานข้อมูล?

ตอบ เพราะยังไม่มีการนำข้อมูลหรือรวบรวมข้อมูลให้ชัดเจน

แนวทางแก้ไข

1. จัดทำฐานข้อมูลใน Google Sheets หรือระบบคลังข้อมูลส่วนกลาง

2. ใช้เทคโนโลยีเชื่อมโยงข้อมูล เช่น Mail Merge ในการดึงข้อมูลอัตโนมัติ

ปัญหา มีขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน

1. ทำไมถึงมีขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน?

ตอบ เพราะกระบวนการทำงานไม่มีการกำหนดขั้นตอนที่ชัดเจน

2. ทำไมกระบวนการทำงานถึงไม่มีการกำหนดขั้นตอนที่ชัดเจน?

ตอบ เพราะไม่มีการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (SOP)

3. ทำไมถึงไม่มีการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน?

ตอบ เพราะยังไม่เคยวิเคราะห์หรือปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างจริงจัง

4. ทำไมถึงไม่เคยวิเคราะห์หรือปรับปรุงกระบวนการทำงาน?

ตอบ เพราะผู้รับผิดชอบมีหน้าที่หรือแผนงานในการทำงานหลากหลาย จึงไม่ได้ทำแผนงานเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

5. ทำไมถึงขาดผู้รับผิดชอบหรือแผนงานในการปรับปรุงกระบวนการ?

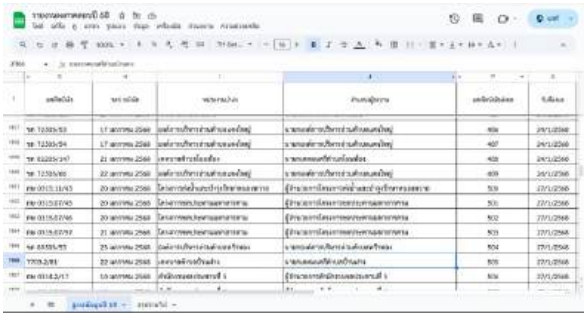
ตอบ เพราะมีการปรับเปลี่ยนหน้าที่งานและผู้รับผิดชอบบ่อย

แนวทางแก้ไข

1. จัดทำ SOP (Standard Operating Procedure) เพื่อกำหนดขั้นตอนที่ชัดเจน

3.5 ทำฐานข้อมูลด้วย Google Sheet และเชื่อมโยงข้อมูลกับ Google Doc ผ่าน Mail Merge

หลังจากการเก็บข้อมูลกระบวนการจัดการสารบรรณ โดยวิเคราะห์จากแผนผังกระบวนการก่อนการปรับปรุง (As-Is Process Map) วิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการ (Waste Analysis) วิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram และ5 Whys Technique พบว่า ควรมีการทำฐานข้อมูล เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลด้วยมือ ผู้วิจัยจึงทำการสร้างฐานข้อมูลด้วย Google Sheets ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบสารบรรณกระบวนการงานสารบรรณการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธาด้วย Google Sheets

จากรูปที่ 3 ผู้วิจัยได้สร้าง Google Sheets ระบบสารบรรณกระบวนการงานสารบรรณการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธา โดยฐานข้อมูลจาก Google Sheets ได้ทำการเชื่อมโยงกับ Google Doc ผ่าน Mail Merge เพื่อช่วยในการจัดทำเอกสารอัตโนมัติ เพื่อจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ และให้ผู้ใช้งานหลายคนสามารถเข้าถึงได้พร้อมกัน หนังสือนำส่งใช้โปรแกรม Google Doc ผ่าน Mail Merge โดยนำฐานข้อมูลจาก Google Sheets ดังรูปที่ 4 และหนังสือนำส่งผลทดสอบที่ผ่านการดึงข้อมูลด้วยการ Mail Merge โดยนำฐานข้อมูลจาก Google Sheets เรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 5

รูปที่ 4 ระบบสารบรรณหนังสือนำส่ง Google Doc ผ่าน Mail Merge ฐานข้อมูลจาก Google Sheets

รูปที่ 5 หนังสือนำส่งที่ใช้ Google Doc ผ่าน Mail Merge ฐานข้อมูลจาก Google Sheets

3.6 ผลจากการปรับปรุงกระบวนการ

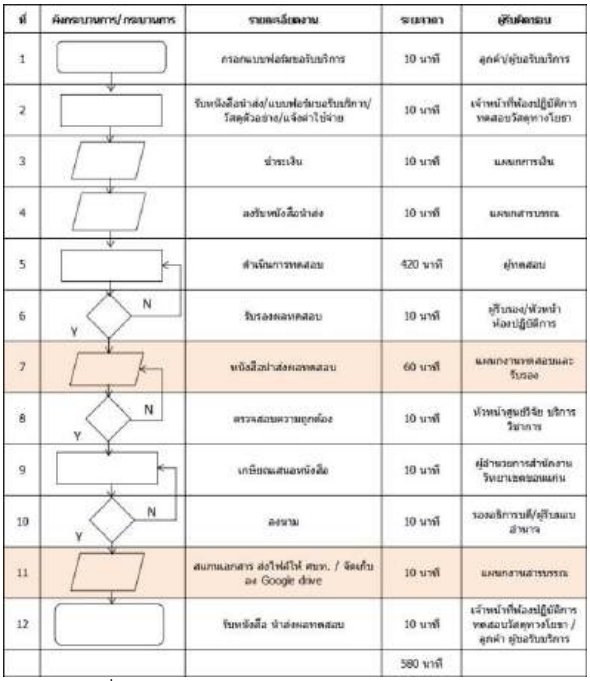
ในเบื้องต้นผู้วิจัย มีแนวคิดที่จะลดขั้นตอนซ้ำซ้อน เช่น การรวมขั้นตอนลงทะเบียนและตรวจสอบ มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการลดขั้นตอน ผู้วิจัย จึงนำปัญหาดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ร่วมกับผู้ปฏิบัติงานในส่วนงานที่เกี่ยวข้อง พร้อมหาวิธีการลดเวลาและความซ้ำซ้อนในการทำงาน จากเดิมมีกระบวนการทั้งหมด 13 ขั้นตอน ลดเหลือ 12 ขั้นตอน โดยลดขั้นตอนเฉพาะส่วนงานสารบรรณของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ

เดิมกระบวนการสารบรรณของศูนย์ฯ อยู่ในขั้นตอนที่ 7, ขั้นตอนที่ 11 และขั้นตอนที่ 12 สำหรับขั้นตอนที่ 7 ในการทำหนังสือส่งผลทดสอบจะทำการกรอกข้อมูลต่างๆ ด้วยมือ

ซึ่งทำให้เสียเวลาเป็นอย่างมาก จึงทำการปรับปรุงโดยจัดทำฐานข้อมูลใน Google Sheets และได้ทำการเชื่อมโยงกับ Google Doc ผ่าน Mail Merge เพื่อช่วยในการจัดทำเอกสารอัตโนมัติ สามารถลดเวลาทำงานได้ จาก 120 นาที เหลือเพียง 60 นาที

เดิมในขั้นตอนที่ 11 การออกเลขหนังสือส่งออกโดยกรอกด้วยมือและจัดเก็บสำเนาหนังสือ ใช้เวลา 60 นาที และขั้นตอนที่ 12 การเก็บสำเนาคู่ฉบับและกรอกข้อมูลเลขหนังสือส่งออกในระบบใช้เวลา 60 นาที สำเนาคู่ฉบับมีจำนวน 3 แผ่นต่อฉบับ

เมื่อขั้นตอนที่ 11 และขั้นตอนที่ 12 ผู้วิจัยมองว่า เป็นขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน จึงได้รวมขั้นตอนที่ 11 และขั้นตอนที่ 12 เป็นขั้นตอนเดียวกันและเก็บสำเนาผลทดสอบเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ใน Google drive แทนแบบสำเนาคู่ฉบับที่เป็นกระดาษและสามารถระบุหมายเลขหนังสือส่งออกได้ทันที ทำให้ทั้งสองขั้นตอนนี้ จาก 120 นาที เหลือเพียง 10 นาที ซึ่งสามารถลดการสำเนาคู่ฉบับ จาก 3 แผ่นต่อฉบับ เหลือเพียง 1 ฉบับ รายละเอียด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังกระบวนการทำงานหลังการปรับปรุง

3.7 ผลการลดความซ้ำซ้อนของการทำงานและการจัดเก็บสำเนาอิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้กระดาษ

ในการออกผลทดสอบ โดยการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า มีการออกผลทดสอบทางโยธาโดยเฉลี่ยวันละ 30 ฉบับ มีจำนวนการทำงาน 22 วันต่อเดือน ก่อนการปรับปรุงศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น มีการออกผลทดสอบทางโยธาและสำเนาเป็นกระดาษ จำนวน 3 แผ่นต่อฉบับ หลังจากปรับปรุงการทำงานซ้ำซ้อนและใช้วิธีเก็บสำเนาอิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้กระดาษ ทำให้การออกผลทดสอบ 1 แผ่นต่อฉบับ ต้นทุนการสำเนา 0.75 บาทต่อแผ่น

กำหนดตัวแปร

a = จำนวนฉบับต่อวัน (30)

b = จำนวนวันทำงานต่อเดือน (22)

c = จำนวนแผ่นต่อฉบับก่อนปรับปรุง (3 แผ่น)

d = จำนวนแผ่นต่อฉบับหลังปรับปรุง (1 แผ่น)

e = ต้นทุนต่อแผ่น (0.75 บาท)

f = ระยะเวลาที่ปรับปรุงแล้ว (6 เดือน)

กำหนดสมการ

จำนวนแผ่นก่อนปรับปรุงต่อเดือน (x)

$x = a \times b \times c$

$x = 30 \times 22 \times 3 = 2{,}310$ แผ่น/เดือน

จำนวนแผ่นหลังปรับปรุงต่อเดือน (y)

$y = a \times b \times d$

$y = 30 \times 22 \times 1 = 770$ แผ่น/เดือน

จำนวนแผ่นที่ลดได้ต่อเดือน (z)

$z = x - y$

$z = 2{,}310 - 770 = 1{,}540$ แผ่น/เดือน

ต้นทุนที่ลดได้ต่อเดือน ($T_{เดือน}$)

$T_{เดือน} = z \times e$

$T_{เดือน} = 1{,}540 \times 0.75 = 1{,}155$ บาท/เดือน

ต้นทุนที่ลดได้ใน 6 เดือน ($T_{รวม}$)

$T_{รวม} = T_{เดือน} \times f$

$T_{รวม} = 1{,}155 \times 6 = 6{,}930$ บาท

ผลลัพธ์ จากการลดการใช้กระดาษ 3 แผ่น/ฉบับ เหลือ 1 แผ่น/ฉบับ ใน 6 เดือน สามารถลดต้นทุนการใช้กระดาษได้ 6,930 บาท หรือ 66.67%

3.8 ผลการลดต้นทุนจากขั้นตอนการทำงานในขั้นตอนที่ 7, 11 และ 12

ข้อมูลเบื้องต้น ในการทำงานของเจ้าหน้าที่ในการออกผลทดสอบทางโยธาเวลาทำงานก่อนปรับปรุง 4.5 ชั่วโมงต่อวัน จำนวนวันทำงาน 22 วันต่อเดือน ค่าจ้าง15,000 บาทต่อเดือน เวลาทำงานหลังการปรับปรุง 1.15 ชั่วโมงต่อวัน

กำหนดสมการและการคำนวณ

เวลาทำงานทั้งหมดก่อนปรับปรุงต่อเดือน ($T_{เดิม}$)

$T_{เดิม}$ = 4.5ชั่วโมง/วัน×22วัน = 99 ชั่วโมง/เดือน

เวลาทำงานทั้งหมดหลังปรับปรุงต่อเดือน ($T_{ใหม่}$)

$T_{ใหม่}$ = 1.15ชั่วโมง/วัน×22วัน = 25.3 ชั่วโมง/เดือน

เวลาที่ลดลงต่อเดือน ($T_{ลดลง}$)

$T_{ลดลง} = T_{เดิม} - T_{ใหม่}$ = 99−25.3 = 73.7 ชั่วโมง/เดือน

ค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง ($W_{ชั่วโมง}$)

$W_{ชั่วโมง}$ = ค่าจ้างต่อเดือน/ $T_{เดิม}$ = 15,000/99

≈ 151.52 บาท/ชั่วโมง

ต้นทุนที่ลดได้ต่อเดือน ($C_{ลดลง}$)

$C_{ลดลง} = T_{ลดลง} \times W_{ชั่วโมง}$ =73.7×151.52

≈ 11,166.66 บาท/เดือน

ต้นทุนที่ลดได้ใน 6 เดือน

$C_{6\ เดือน} = C_{ลดลง} \times 6$=11,166.66×6 ≈ 66,999.96 บาท

ผลลัพธ์

การลดเวลาทำงานจาก 4.5 ชั่วโมง/วัน เหลือ 1.15 ชั่วโมง/วัน สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 11,166.66 บาทต่อเดือน หรือ 66,999.96 บาท หรือ ทำให้สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 74.44% ใน 6 เดือน

4. สรุป

1. กระบวนการนำส่งผลทดสอบวัสดุทางโยธาของศูนย์วิจัย บริการวิชาการและทดสอบ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พบว่าปัญหาหลัก 3 ประการ ได้แก่ การใช้เวลามากเกินไปในการจัดทำเอกสาร ข้อผิดพลาดในเอกสารจำนวนมาก ขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน

2. ปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (SOP) และกำหนดการไหลของงาน เพื่อกำจัดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อนและลดการสำเนากระดาษ ทำให้สามารถลดต้นทุน ได้ถึง 66.67 %

3. ปรับปรุงโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ได้แก่ Mail Merge และ Google Sheets เพื่อเพิ่มความเร็วและลดข้อผิดพลาดในการทำงาน ทำให้ลดเวลาทำเอกสารและสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 74.44%

5. สรุปและอภิปรายผล

1. การใช้เวลามากเกินไปในการจัดทำเอกสารสะท้อนถึงการพึ่งพางานแบบดั้งเดิมที่ต้องพิมพ์ข้อมูลด้วยมือ ซึ่งส่งผลให้เสียเวลาและลดประสิทธิภาพ การแก้ปัญหาด้วยการนำเทคโนโลยี Mail Merge และฐานข้อมูลร่วม (Google Sheets) มาใช้สามารถช่วยลดเวลาและเพิ่มความแม่นยำได้อย่างมาก

2. ข้อผิดพลาดในเอกสารสะท้อนถึงการไม่มีระบบจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ เช่น การเชื่อมโยงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลเดียว การแก้ปัญหาด้วยการสร้างฐานข้อมูลร่วมใน Google Sheets และการใช้ฟังก์ชัน Mail Merge เพื่อลดข้อผิดพลาดในการพิมพ์ข้อมูลด้วยมือ สามารถลดข้อผิดพลาดได้ นอกจากนี้ การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (SOP) จะช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากบุคลากร

3. ขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อนสะท้อนถึงการขาดการจัดระเบียบและการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน การจัดทำ SOP เพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน และการนำระบบ Workflow Automation มาปรับปรุงกระบวนการสามารถช่วยลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อนและลดเวลาในกระบวนการอนุมัติเอกสารได้ การแก้ปัญหาดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความโปร่งใสและประสิทธิภาพในงานสารบรรณ

2. ข้อเสนอแนะ

เพื่อช่วยให้องค์กรปรับปรุงงานสารบรรณให้มีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาด และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้ดียิ่งขึ้น

1. เพิ่มการติดตามผลหลังจากปรับปรุงกระบวนการควรมีการติดตามผลและประเมินประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงเพิ่มเติมตามความเหมาะสม

2. ควรจัดสรรงบประมาณสำหรับการนำเทคโนโลยีมาใช้ในระยะยาว เช่น ระบบจัดเก็บเอกสารออนไลน์

3. ส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่ให้บุคลากรมีความพร้อมในการเปลี่ยนแปลงและยอมรับเทคโนโลยีใหม่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานวิทยาเขตขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1]สมพร พุทธาพิทักษ์ผล. (2546). การจัดการสารสนเทศในมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาเทคโนโลยีเพื่อการจัดการสารสนเทศ หน่วยที่ 1* (น. 2-16). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[2]อินทุอร ปะจิคะ, และ ชเนตตี ชเนตตี. (2565). การปรับเปลี่ยนกระบวนการจัดเก็บเอกสารโดยใช้แนวคิดของการคิดเชิงออกแบบเพื่อการยกระดับสู่สำนักงานอัจฉริยะ. วารสารการจัดการโซ่คุณค่าและกลยุทธ์ทางธุรกิจ, 1(2), 54-66.

[3]Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. London: Simon & Schuster.

[4]Microsoft. (2021). Use mail merge for bulk email, letters, labels, and envelopes. Retrieved from https://support.microsoft.com/

[5]ปิ่นกมล สมพีร์วงศ์และ สฤษฏ์ชัย ปรีดาวัลย์. (2564). การประยุกต์ใช้ Google Sheet สำหรับการจัดทำแผนปฏิบัติงานของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดชลบุรี. *วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข*, 15(4), 490-510.

[6] พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม, อณัญญา จันทวุฒิ, และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. (2566). การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนและโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการติดตามผลการดำเนินงานของงานสำคัญในสำนักงาน. วิศวสารลาดกระบัง, 40(1), 10-26.

[7]คุณากร วิวัฒนากรวงศ์. (2567). การใช้เทคนิคลีนขจัดความสูญเปล่าจากความล่าช้าในกระบวนการจัดการเอกสารด้วยระบบสารบรรณอิเล็กทรอนิกส์: กรณีศึกษาบริษัท AAA. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ร่มพฤกษ์*, 42(2), 161-186.

[8] สมเกียรติ นินถึก. (2559). ระบบการผลิตแบบโตโยตา (ความสูญเปล่า 7 ประการ). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[9]ชาญชัย เหลาหา. (2567). *ระบบการผลิตแบบลีน*. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[10] Serrat, O. (2017). “The five whys technique,” in Knowledge solutions: Tools, methods, and approaches to driveorganization alperformance (Singapore: SpringerSingapore), 307–310. doi:10.1007/978-981-10-0983-9_32

[11]ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2545). การวางแผนการผลิตและควบคุมการผลิต. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าด้วยการปรับลดเวลาการผลิตและต้นทุน โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงสาเหตุและการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่

Enhancing the Production Efficiency of Electric Window Regulators by Reducing Production Time and Costs through Root Cause Analysis and Process Redesign

สมภาร ดอนจันดา[1] ดนัย สอนสุภาพ[2*] ยุทธณรงค์ จงจันทร์[3] ศรินยา ประทีบชนะชัย[4] ไวรุจน์ อิ่มโพ[5] และ สุวิทย์ ธรรมแสง[6]
[1,5]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
[2,6]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

Sompan Donchanda[1] Danai Sornsuphap[1] Yuthanarong Jongjun[2*] Sarinya Prateepchanachai[3]
Wairut Impho[5] and Suwit Thammasang[6]
[1.5]Department of Mechanical and Production Engineering, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University
[2,6]Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
[3]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[4]Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
E-mail: Danai.so@Rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า โดยมุ่งเน้นการลดระยะเวลาการผลิตและต้นทุน ผ่านการวิเคราะห์เชิงสาเหตุและการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ ปัญหาหลักที่พบได้แก่ การไหลของงานที่ไม่ต่อเนื่อง การจัดเก็บและเบิกจ่ายมอเตอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และปัญหาเพลาหลุดออกจากอุปกรณ์จับยึด ทำให้เกิดการเวลาสูญเสียในเวลาการผลิต ซึ่งส่งผลให้กำลังการผลิตต่อวันลดลง ผู้วิจัยใช้หลักการสามจริงในการสำรวจสภาพปัจจุบันและเก็บข้อมูล จากนั้นหลักการตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" ถูกนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อระบุรากเหง้าของปัญหาและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม การปรับปรุงแก้ไขดำเนินการด้วยการแยกขั้นตอนเตรียมงานออกจากสายการผลิตหลัก เพื่อลดการรอคอยระหว่างสถานีงาน จากนั้นออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพลาใหม่โดยเพิ่มแท่งแม่เหล็กเพื่อยึดเพลาให้มั่นคงเพื่อลดความล่าช้าในกระบวนการและสุดท้ายการออกแบบชั้นวางมอเตอร์แบบรถเข็นเพื่อเพิ่มความเป็นระเบียบในสายการผลิต ผลการปรับปรุงแก้ไขสามารถลดเวลาสูญเสียจาก 7,200 วินาทีต่อวัน เหลือ 0 วินาทีต่อวัน คิดเป็นลดลง 100% กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 891 ชิ้นต่อวัน เป็น 1,231 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 38.16% นอกจากนี้ประสิทธิภาพสายการผลิตยังปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก 87.25% เป็น 87.74%

คำหลัก ประสิทธิภาพการผลิต การตั้งคำถาม ทำไม ทำไม อุปกรณ์ช่วยในการทำงาน แท่งแม่เหล็ก

Abstract

This research aims to enhance the production efficiency of electric window regulators by focusing on reducing production time and costs through root cause analysis and process redesign. The primary issues identified include discontinuous workflow, disorganized motor storage and dispensing, and shaft misalignment from fixtures, all of which lead to production time losses and reduced daily production capacity. The researchers utilized the "Three Realities" principle to survey the current conditions and collect data. Subsequently, the "Why-Why" technique was applied to analyze and identify the root causes of the problems and to develop appropriate improvement strategies. The improvement measures included separating the preparation stage from the main production line to minimize waiting times between workstations. Additionally, a new shaft-holding fixture was designed with a magnetic rod to firmly secure the shaft, reducing delays in the process. Finally, a mobile trolley for motor storage and dispensing was introduced to enhance orderliness within the production line. The results of the improvements demonstrated a reduction in production time losses from 7,200 seconds per day to 0 seconds per day, representing a 100% decrease. The daily production capacity increased from 891 units to 1,231 units, reflecting a 38.16% improvement. Furthermore, the production line efficiency improved from 87.25% to 87.74%.

Keywords: Production Efficiency, Why-Why Analysis, Work-Assisting Devices, Magnetic Rods

1. บทนำ

ในยุคที่อุตสาหกรรมทั่วโลกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตกลายเป็นเป้าหมายสำคัญขององค์กรที่ต้องการความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว [1] แนวโน้มสำคัญในกระบวนการผลิตปัจจุบันมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก และการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพ [2] บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตเบาะและอุปกรณ์ตกแต่งภายในรถยนต์ ด้านประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า ซึ่งใช้เวลาและทรัพยากรมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ หากปัญหาดังกล่าวไม่ได้รับการแก้ไข อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันของบริษัทในปี 2569 ซึ่งเป็นปีที่คาดว่าอุตสาหกรรมยานยนต์จะเผชิญกับแรงกดดันด้านความยั่งยืนและต้นทุนที่สูงขึ้นจากการเปลี่ยนผ่านสู่ยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเต็มรูปแบบ [3]

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าโดยวิธีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงสาเหตุลดเวลาสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตด้วยการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบกระบวนการผลิตใหม่

การออกแบบกระบวนการผลิตใหม่มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และรองรับความต้องการของตลาดในปัจจุบัน กระบวนการนี้มุ่งลดความสูญเสียผ่าน Lean Manufacturing และ Six Sigma ควบคู่กับการออกแบบเชิงระบบ (Systems Design) ที่พิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน การจัดการห่วงโซ่อุปทานช่วยให้การไหลของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูงสุด การนำเทคโนโลยี เช่น Automation และ AI มาช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดข้อผิดพลาด [4] นอกจากนี้ยังเน้นการออกแบบเพื่อความยั่งยืน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างกระบวนการผลิตที่ยั่งยืนและแข่งขันได้ในระยะยาว คล้ายกับงานวิจัย [5] ปรับปรุงกระบวนการหยิบสินค้าในคลังสินค้าอะไหล่รถยนต์แบบหลายรอบด้วยวิธีการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ที่รวม

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งใช้การวิเคราะห์สถานการณ์คลังแบบเรียลไทม์ผ่านกระบวนการตัดสินใจของมาร์คอฟ (Markov Decision Process) พร้อมการปรับปรุง ได้แก่ การจัดตำแหน่งสินค้า การเข้ารหัสข้อมูลแบบไดนามิก และการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนโยบาย การทดลองแสดงให้เห็นว่า ADRL มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี DRL แบบเดิมถึง 40.6% และเร็วกว่าวิธีการอื่นหลายร้อยถึงพันเท่า โดยยังรักษาความแม่นยำได้ใกล้เคียงกันไม่เกิน 3%

2.2 การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ

การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ (Causal Analysis) [6] เป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเพื่อวางแผนแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดนี้มุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างเหตุ (Cause) และผล (Effect) โดยใช้องค์ประกอบสำคัญ เช่น การระบุปัญหา การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการแยกสาเหตุหลักออกจากสาเหตุรอง เครื่องมือที่นิยมใช้ ได้แก่ แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) การถามตั้งคำถาม 5 Whys การวิเคราะห์รูปแบบนี้มีบทบาทสำคัญในงานด้านการจัดการคุณภาพ การลดความเสี่ยง และการแก้ปัญหาเชิงระบบ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดของเสีย สุดท้าย การวิเคราะห์เชิงสาเหตุไม่เพียงช่วยแก้ปัญหาในระยะสั้น แต่ยังสร้างแนวทางแก้ไขที่ยั่งยืนในระยะยาว คล้ายกับงานวิจัย [7] วิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่น BESTRON OIL ของบริษัท PT. Cisadane Jaya Perkasa โดยใช้วิธีการควบคุมคุณภาพทางสถิติ (Statistical Quality Control - SQC) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ประเภท ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างตามวัตถุประสงค์ (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้แก่ แผนผังก้างปลา (Cause-Effect Diagram) และวิธี 5W+1H ผลการวิจัยพบว่าวิธีการควบคุมคุณภาพทางสถิติ มีประสิทธิภาพในการลดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์และช่วยเพิ่มคุณภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.3 หลักการ 3 จริง (3 Gen)

หลักการ 3 จริง [5] ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) เป็นแนวคิดสำคัญที่พัฒนาโดย Taiichi Ohno ซึ่งประกอบด้วย Genba (สถานที่จริง), Genbutsu (สิ่งของจริง) และ Genjitsu (ข้อมูลจริง) โดยเน้นให้ผู้จัดการหรือผู้รับผิดชอบลงพื้นที่จริงเพื่อสังเกตและวิเคราะห์ปัญหาจากข้อเท็จจริง Genba คือการไปยังสถานที่เกิดปัญหา เช่น สายการผลิต เพื่อสังเกตสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมในการทำงาน Genbutsu คือการตรวจสอบสิ่งของจริง เช่น สินค้าที่มีข้อบกพร่องหรือเครื่องจักรที่ขัดข้อง เพื่อระบุสาเหตุโดยตรง ส่วน Genjitsu คือการใช้ข้อมูลจริง เช่น สถิติการผลิตและจำนวนสินค้าที่เสียหาย เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาจากข้อเท็จจริง ข้อดีของหลักการนี้คือช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ เพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ซึ่งอาจต้องรวบรวมข้อมูลและความชำนาญในการวิเคราะห์ เมื่อนำไปใช้อย่างถูกต้องจะช่วยให้องค์กรสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [8]

2.4 การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys)

การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหาที่พัฒนาโดย Sakichi Toyoda และใช้ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า "ทำไม" เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน [9] การถามคำถาม "ทำไม" ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุแท้จริงคือการขาดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน

2.5 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือที่เพิ่มประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยง และสร้างความสะดวกสบายให้กับผู้ปฏิบัติงาน หลักการสำคัญประกอบด้วย การยศาสตร์ (Ergonomics) ที่ช่วยปรับอุปกรณ์ให้เหมาะกับสรีรศาสตร์ของมนุษย์ การเพิ่มประสิทธิภาพงานโดยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการ และการเสริมความปลอดภัยเพื่อลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ [10] นอกจากนี้ยังเน้นความสะดวกในการใช้งานและออกแบบให้เหมาะกับลักษณะงานเฉพาะเจาะจง

กระบวนการออกแบบจะรวมถึงการวิเคราะห์งาน การใช้เทคโนโลยี การสร้างต้นแบบ และการปรึกษาผู้ใช้งาน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน [11] เช่น การพัฒนา Jig และ Fixture ในโรงงาน การใช้เฟอร์นิเจอร์ปรับระดับในสำนักงานและอุปกรณ์ช่วยในงานแพทย์ การออกแบบอุปกรณ์ช่วยที่เหมาะสมไม่เพียงช่วยลดต้นทุน แต่ยังเพิ่มคุณภาพงานและความพึงพอใจให้กับผู้ปฏิบัติงานในระยะยาว

2.6 ประสิทธิภาพสายการผลิต

หมายถึง การวัดความสามารถของสายการผลิตในการใช้ทรัพยากร (เวลา, แรงงาน, และเครื่องจักร) ให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดในการผลิตสินค้าตามเป้าหมาย โดยวัดผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับความคาดหวังหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 1 [12]

$$\text{Production Line Efficiency (\%)} = \frac{\text{Total CT x100}}{\text{Total St x BN}} \quad (1)$$

Total CT = ผลรวมรอบเวลาการผลิตทุกสถานีงาน
Total St = ผลรวมจำนวนสถานีงาน
BN = จุดงานที่เป็นคอขวดในสายการผลิต

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

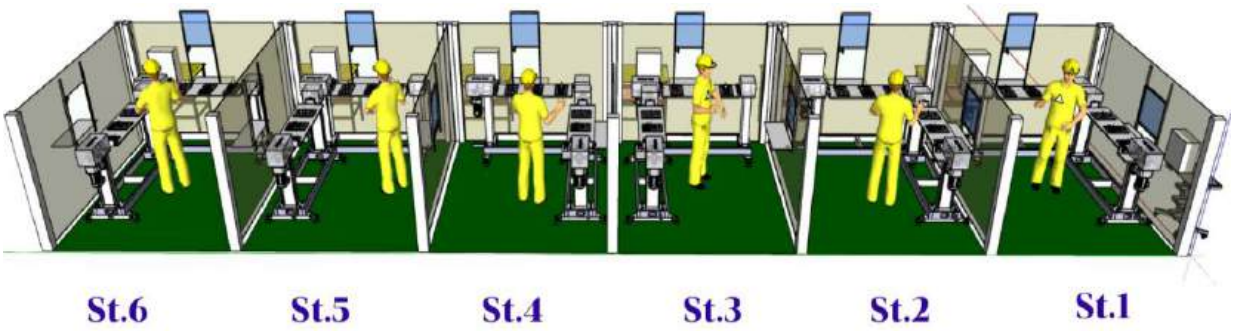
Ghani, J. A., Ismanizan, M. A., Rahman, H. A., Haron, C. H. C., Juri, A. Z., Kasim, M. S., & Rizal, M., [13] วิเคราะห์กระบวนการตัดเฉือนโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน S45C โดยใช้ Finite Element Method (FEM) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Abaqus CAE สำหรับการจำลองการตัดโลหะ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัด เช่น ความเร็วการตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ผลการทดสอบพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ความเร็ว 160 ม./นาที อัตราการป้อน 0.1 มม./รอบ และความลึก 0.15 มม. ซึ่งช่วยลดแรงตัดเฉือนเหลือเพียง 71 นิวตัน การวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นว่าอัตราการป้อนมีผลกระทบมากที่สุดต่อแรงตัด รองลงมาคือความลึกและความเร็วการตัด

Juan, D. C. S., Lateb, M. A. A., & Hamzah, N. H., [14] ออกแบบและปรับปรุงจิ๊กเจาะแบบ 3 แกน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยมุ่งเน้นการลดต้นทุน ลดความผิดพลาด และเพิ่มความแม่นยำในกระบวนการผลิต การศึกษานี้เริ่มจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในจิ๊กแบบดั้งเดิม เช่น การไม่มีระบบบอกตำแหน่ง (Marking System) การไม่สามารถรองรับชิ้นงานที่มีพื้นผิวโค้งได้ การออกแบบใหม่ใช้ SURFCAM Software สำหรับการจำลองกระบวนการผลิต และวัสดุหลัก เช่น SKD11, S45C และเหล็กกล้าอัลลอย สำหรับชิ้นส่วนจิ๊ก ผลการปนรับปรุงพบว่าจิ๊กใหม่ช่วยลดเวลาการตั้งค่า เพิ่มความยืดหยุ่น และลดของเสีย โดยสามารถคืนทุนได้ถึง 68.98% ภายในระยะเวลาอันสั้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สำรวจกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ผู้วิจัยใช้หลักการ 3 จริง ลงสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังขั้นตอนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ดังนี้

สถานีงานที่ 1 ขั้นตอน Spot Gear Arm เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการผลิตในการจัดการชิ้นส่วนโครงสร้างหลักหรือการเตรียมงานที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกลไกในระบบซึ่งเป็นการเตรียมงาน ตั้งแต่การตรวจสอบเบื้องต้นและวางตำแหน่งชิ้นส่วนให้เหมาะสมเพื่อให้พร้อมสำหรับการดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

สถานีงานที่ 2 ขั้นตอน Riveting Guide (1) เป็นกระบวนการยึดชิ้นงานให้ติดกันโดยใช้หมุดย้ำ (Riveting) โดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า Guide (ไกด์) เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความผิดพลาดในการดำเนินงาน

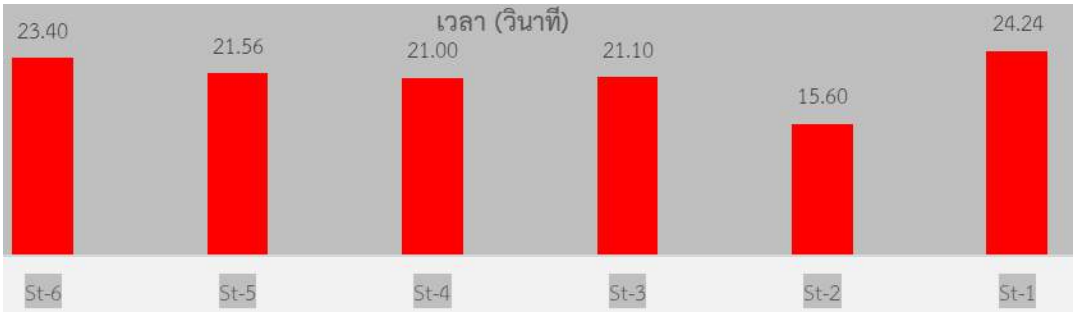
สถานีงานที่ 3 ขั้นตอน Riveting Guide (2) ใช้ระบบไกด์ตัวแรก (Riveting Guide No.1) สำหรับการจัดตำแหน่งเพิ่มเติมหลังจากผ่านการปรับตำแหน่งเบื้องต้นใน St.2 ไกด์เน้นการจัดระยะของชิ้นส่วนที่ต้องเชื่อมต่อให้แนบสนิทโดยใช้ระบบ Hydraulic Clamp เพื่อการยึดจับที่แน่นหนาไม่สามารถขยับได้ระหว่างการหมุดย้ำ

สถานีงานที่ 4 Riveting Base ขั้นตอนการยึดชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำ (Riveting) เพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนให้ติดกันอาจใช้เครื่อง Riveting แบบอัตโนมัติเพื่อให้หมุดย้ำแน่นและแข็งแรง

สถานีงานที่ 5 Assembly Motor ขั้นตอนประกอบมอเตอร์ (Motor) เข้ากับระบบที่ได้รับการยึดเรียบร้อยโดยการวางตำแหน่งมอเตอร์การเชื่อมต่อชิ้นส่วนทางกลโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติร่วมกับแรงงานคนในการติดตั้ง

สถานีงาน 6 Inspectionขั้นตอนสุดท้ายในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์ก่อนการส่งออกหรือขั้นตอนถัดไปการตรวจสอบอาจครอบคลุม

โดยมีรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) แต่ละสถานีงานดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รอบเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 2 แสดงรอบเวลาการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าแต่ละสถานีงานก่อนการปรับปรุง ผู้วิจัยนำมาคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิต โดยใช้สมการที่ 1

ประสิทธิภาพสายการผลิต = [(126.90 x 100)] / [6 x 24.24]
= (12,690) / (145.44)
= 87.25%

จากการคำนวณประสิทธิภาพของสายการผลิต ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าพบว่าอยู่ที่ 87.25% ซึ่งถืออยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามการปรับปรุงเพิ่มเติมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้อีกโดยเฉพาะการจัดการคอขวดในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มความสมดุลในสายการผลิตทั้งหมด ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเวลาที่เกิดความสูญเสีย (Loss) ในกระบวนการ แล้วคิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาสูญเสียในกระวนการก่อนการปรับปรุง

สาเหตุของเวลาสูญเสีย (Loss)	จำนวนเฉลี่ย (ครั้ง/ต่อวัน)	เวลาที่สูญเสีย (วินาที)
ตั้งเครื่อง	6	5,400
เก็บชิ้นงานหล่น	12	1,200
จัดเรียงมอเตอร์ใหม่	4	600
เวลาสูญเสีย (Loss) ทั้งหมด		**7,200**

จากตารางที่ 1 สามารถแจกแจงเป็นข้อมูลเพื่อคำนวณหากำลังการผลิต (Capacity) ได้ดังนี้

1) เวลาทำงานเฉลี่ยต่อวัน = 28,800 วินาที/วัน
2) เวลาสูญเสียจากการผลิต = 7,200 วินาที/วัน
3) เวลาผลิตจริงต่อวัน = 21,600 วินาที/วัน
4) จุดงานคอขวด = 24.24 วินาที

กำลังการผลิตต่อวัน = เวลาผลิตจริงต่อวัน/จุดงานคอขวด
= 21,600 / 24.24
= 891 ชิ้นต่อวัน

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไข

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายการผลิตผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ปัญหาด้วยการใช้ หลักการตั้งคำถาม "ทำไมทำไม" (5 Whys) เพื่อนำข้อมูลไปกำหนดแนวทางการแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าใช้เวลามาก

จากรูปที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าใช้เวลามาก ผู้วิจัยสรุปข้อมูลสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายการผลิตได้ 4 ประเด็น แสดงดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปประเด็นปัญหาจากการวิเคราะห์ด้วยหลักการตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys)

ประเด็นปัญหา	รายละเอียดปัญหา	สาเหตุที่ตรวจพบ	รูปภาพ
ประเด็นที่ 1 พนักงานขาดความชำนาญ	พนักงานไม่เข้าใจกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และการอบรมยังไม่เพียงพอ	การอบรมไม่ครอบคลุมพอ และพนักงานมีการหมุนเวียนสูง	
ประเด็นที่ 2 การไหลของงานไม่ต่อเนื่อง	เกิดการรอคอยเมื่อต้องเปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์ ต้องเสียเวลาในการตั้งค่าอุปกรณ์จับยึดใหม่	ต้องปรับตั้ง Jig ใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์	
ประเด็นที่ 3 การเบิกจ่ายมอเตอร์ไม่มีความเป็นระเบียบ	วางมอเตอร์ไม่เป็นระบบ ทำให้เสียเวลาในการค้นหา และมีความเสี่ยงต่อการตกหล่น	ระบบจัดเก็บไม่ชัดเจนและไม่มีมาตรฐาน	
ประเด็นที่ 4 เพลาหลุดจากอุปกรณ์จับยึด	เพลาในกระบวนการประกอบหลุดจากเบ้ารองรับของ Jig ทำให้ต้องหยิบชิ้นงานมาประกอบใหม่	อุปกรณ์จับยึดไม่มีระบบยึดเพลาที่มั่นคง	

จากตารางที่ 2 สรุปประเด็นปัญหาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค 5 Whys พบว่าเกิดจากพนักงานขาดความชำนาญงานไม่ต่อเนื่อง การจัดเก็บมอเตอร์ไม่เป็นระเบียบ และเพลาหลุดจากอุปกรณ์จับยึด ซึ่งล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพสายการผลิตโดยรวม ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาทำการกำหนดแนวทางการแก้ไขดังแสดงในตารางที่ 3

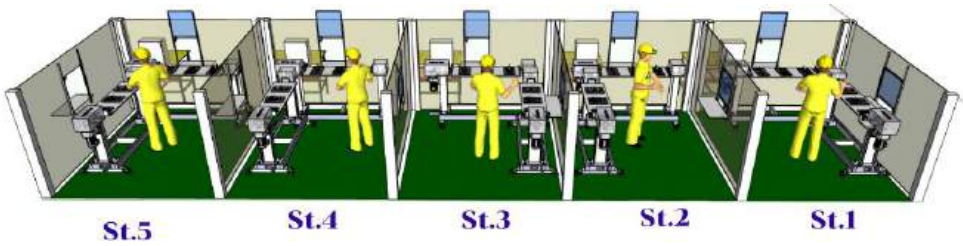
ตารางที่ 3 สรุปการกำหนดแนวทางการแก้ไขในประเด็นของปัญหา

ประเด็นปัญหา	แนวทางการแก้ไข
ประเด็นที่ 1 พนักงานขาดความชำนาญ	จัดการอบรมเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการผลิต แต่พบว่าไม่ใช่สาเหตุหลัก เนื่องจากมีการหมุนเวียนพนักงานตลอดเวลา
ประเด็นที่ 2 การไหลของงานไม่ต่อเนื่อง	แยกขั้นตอนเตรียมงาน (สถานีงานที่ 1) ออกจากสายการผลิตหลัก ให้พนักงานจัดเตรียมงานนอกสายการผลิตแล้วส่งเข้าเริ่มงานที่สถานี 2
ประเด็นที่ 3 การเบิกจ่ายมอเตอร์ไม่มีความเป็นระเบียบ	ยกเลิกชั้นวางมอเตอร์แบบเดิม ออกแบบใหม่เป็นรถเข็นที่จัดเรียงมอเตอร์ได้อย่างมีระเบียบและสามารถเข็นเข้าสายการผลิตได้ทันที
ประเด็นที่ 4 เพลาหลุดจากอุปกรณ์จับยึด	ออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพลาใหม่ โดยเพิ่มแท่งแม่เหล็กตรงกลางเพื่อยึดเพลาไม่ให้หลุดออกจากอุปกรณ์ระหว่างการประกอบ

3.3 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

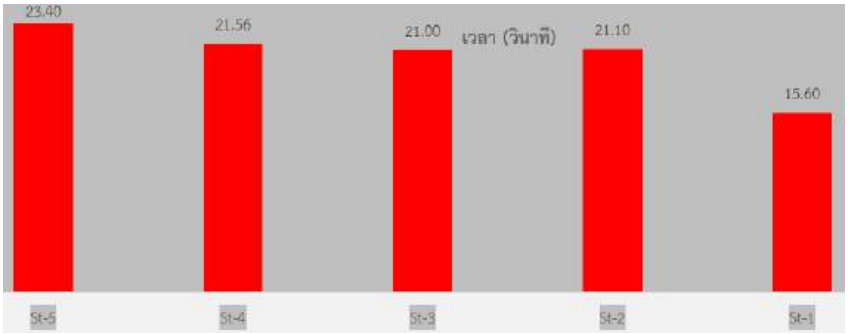
จากการกำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า โดยผู้วิจัยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการ เช่น การปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดเพลา และการออกแบบชั้นวางมอเตอร์ใหม่เพื่อลดความล่าช้า และผลลัพธ์ที่ต้องการคือการเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต และการลดรอบเวลาเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 การปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากประเด็นที่ 2 การไหลของงานไม่ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังขั้นตอนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4 ทำการแยกสถานีงานที่ 1 จากสายการผลิตออกไปเตรียมงานต่างหาก โดยในส่วนของการเตรียมงานจะมีการปรับปรุงในประเด็นของเพลาหลุดออกนอกตำแหน่งการวางของอุปกรณ์จับยึดผลของรอบเวลา ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รอบเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานหลังการปรับปรุง

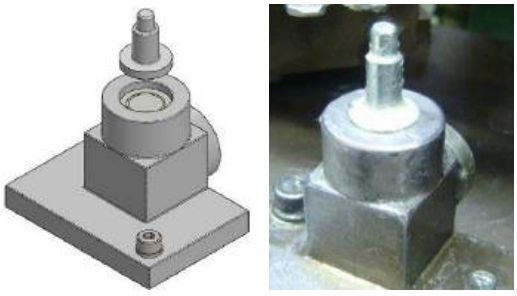
จากรูปที่ 5 แสดงรอบเวลาการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้าแต่ละสถานีงานหลังการปรับปรุง ผู้วิจัยนำมาคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิต โดยใช้สมการที่ 1

ประสิทธิภาพสายการผลิต = [(102.66 x 100)] / [5 x 23.40]
= (10,266) / (117)
= 87.74%

3.3.2 การปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากประเด็นที่ 3 การเบิกจ่ายมอเตอร์ให้สายการผลิตไม่มีความเป็นระเบียบ ผู้วิจัยทำการยกเลิกการใช้ชั้นวางมอเตอร์ (Motor) แบบเดิม แล้วออกแบบชั้นวางแบบใหม่เป็นแบบรถเข็นสามารถเคลื่อนที่ได้และมีการจัดเรียง มอเตอร์ (Motor) เข็นเข้าสายการผลิตได้เลย โดยไม่ต้องนำมาทำการจัดใหม่ง แสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ชั้นวางแบบใหม่แบบรถเข็น

3.3.3 การปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากประเด็นที่ 4 เพลาหลุดออกนอกตำแหน่งการวางของอุปกรณ์จับยึด ผู้วิจัยทำการการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพลา (Shaft) ใหม่โดยมีการเพิ่มแท่งแม่เหล็ก (Magnet) ไว้ตรงกลางอุปกรณ์จับยึด เพื่อยึดเพลาไม่ให้หลุดออกจากอุปกรณ์จับยึด แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อุปกรณ์จับยึดหลังการปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเวลาที่เกิดความสูญเสีย (Loss) ในกระบวนการ แล้วคิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาสูญเสียในกระบวนการหลังการปรับปรุง

สาเหตุของเวลาสูญเสีย (Loss)	จำนวนเฉลี่ย (ครั้ง/ต่อวัน)	เวลาที่สูญเสีย (วินาที)
ตั้งเครื่อง	6	5,400
เก็บชิ้นงานหล่น	0	0
จัดเรียงมอเตอร์ใหม่	0	0
เวลาสูญเสีย (Loss) ทั้งหมด		**5,400**

จากตารางที่ 4 เวลาสูญเสียจากการตั้งเครื่องยังเท่าเดิม เนื่องจากกระบวนการผลิตต้องมีการเปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์ ในการผลิต 1 วันจะมีทั้งหมด 6 รุ่น แต่เป็นกระบวนการที่อยู่ในสถานีงานที่ 1 ซึ่งถูกแก้ไขโดยการแยกออกจากสายการผลิต ส่วนการเก็บชิ้นงานหล่นและจัดเรียงมอเตอร์ใหม่ มีการแก้ปัญหาตามการกำหนดแนวทาการแก้ไขทำให้ไม่เกิดเวลาสูญเสียอีก ซึ่งสามารถนำมาคำนวณกำลังการผลิต (Capacity) การปรับปรุงได้ดังนี้ได้ดังนี้

1) เวลาทำงานเฉลี่ยต่อวัน = 28,800 วินาที/วัน
2) เวลาสูญเสียจากการผลิต = 0 วินาที/วัน
3) เวลาผลิตจริงต่อวัน = 28,800 วินาที/วัน
4) จุดงานคอขวด = 23.40 วินาที

กำลังการผลิตต่อวัน = เวลาผลิตจริงต่อวัน/จุดงานคอขวด
= 28,800 / 23.40
= 1,231 ชิ้นต่อวัน

การคำนวณกำลังการผลิตหลังการปรับปรุงพบว่า เพิ่มขึ้นจาก 891 ชิ้นต่อวัน เป็น 1,231 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้น 340 ชิ้นต่อวัน คิดเป็น 38.16%

5. อภิปลายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปลายผลการวิจัย

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตชุดเลื่อนกระจกไฟฟ้า พบว่าการแยกขั้นตอนเตรียมงานออกจากสายการผลิตหลักช่วยลดการรอคอยระหว่างสถานีงานได้อย่างชัดเจน การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพลาใหม่ที่ใช้แท่งแม่เหล็กช่วย

แก้ปัญหาเพลาหลุดออกจากตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการออกแบบชั้นวางมอเตอร์แบบรถเข็นช่วยเพิ่มความเป็นระเบียบ ลดความสูญเสียที่เกิดจากการจัดเก็บที่ไม่มีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ที่ได้คือเวลาสูญเสียลดลงจาก 7,200 วินาทีต่อวันลดลงเหลือ 0 วินาที และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 891 ชิ้นเป็น 1,231 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 38.16% นอกจากนี้ แม้ว่าเวลาของแต่ละสถานีงานที่ 2 ถึง 6 หลังการปรับปรุง จะไม่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง แต่ประสิทธิภาพสายการผลิตกลับเพิ่มขึ้นจาก 87.25% เป็น 87.74% ซึ่งเป็นผลมาจากการตัดขั้นตอนสถานีงานที่ 1 ออกไปจัดการแยกต่างหาก ทำให้ลดจำนวนสถานีงานในสายการผลิตจาก 6 เหลือ 5 และลดจุดคอขวดลง ส่งผลให้สายการผลิตโดยรวมมีความสมดุลและคล่องตัวมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการติดตามผลในระยะยาวเพื่อประเมินความเสถียรของการปรับปรุงที่ดำเนินการ รวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีอัตโนมัติ เช่น IoT และ AI มาใช้ในสายการผลิต เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดข้อผิดพลาด สำหรับอนาคต ควรขยายการวิจัยไปยังผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อประยุกต์ใช้แนวทางการปรับปรุงในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย และสร้างผลกระทบที่ยั่งยืนต่อประสิทธิภาพการผลิต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์และมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ร่วมกันในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนที่ให้กำลังใจในทุกช่วงเวลาของการวิจัยนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Dombrowski, U., & Richter, T., Lean Production Systems: Application and Case Studies, (2020).

[2] Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M. T., & Wahlster, W., Industry 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies, (2021).

[3] McKinsey & Company., The State of AI in 2023: Insights into business transformation, (2023).

[4]. Womack, J. P., & Jones, D. T., Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation., (2003).

[5] Wang, X., Zhang, L., Wang, L., Zuniga, E. R., & Wang, X. V., Dynamic multi-tour order picking in an automotive-part warehouse based on attention-aware deep reinforcement learning. Elsevier Manufacturing, (2025).

[6] Ohno, T., Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press., (1988).

[7] Pratama, S. P., Analisis Kecacatan Produk dengan Menggunakan Metode Statistical Quality Control dalam Meningkatkan Kualitas Produk Bestron Oil. Universitas Mercu Buana Jakarta, (2025).

[8] Kelendar, H., Lean thinking from Toyota manufacturing to the healthcare sector. Researchgate.net., (2020).

[9] Liker, J. K., The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill Education., (2004).

[10] Helander, M. G., A Guide to Human Factors and Ergonomics. CRC Press, (2006).

[11] Kroemer, K. H., Kroemer, H. B., & Kroemer-Elbert, K. E., Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency. Prentice Hall, (2001).

[12] Nurramdhani, I., Raharjo, J., & Sasmono, S., Electricity supply for hydrogen plant through power swap based reliability and risk: Case study Pertamina Power's electrolyzer in Sumatra. International Journal of Current Science Research and Review., (2025).

[13] Ghani, J. A., Ismanizan, M. A., Rahman, H. A., Haron, C. H. C., Juri, A. Z., Kasim, M. S., & Rizal, M., Machining analysis of S45C carbon steel using finite element method. Jurnal Tribologi, 40, 226–246, (2024).

[14] Juan, D. C. S., Lateb, M. A. A., & Hamzah, N. H., Innovative Design of Three-Axis Jig for Drilling Enhancement. Advanced and Sustainable Technologies, 3(2), 90–101, (2024).

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนท่อไอเสียรถยนต์เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตที่หลุดรอดไปถึงลูกค้า

Improvement of the exhaust pipe quality inspection process to reduce the number of defective products reaching customers in the manufacturing process

ดนัย สอนสุภาพ[1] ยุทธณรงค์ จงจันทร์[2*] ศรินยา ประทีบชนะชัย[3] ชนาธิป กาลจักร[4] สุทธิดา การระเวก[5] และภีม พรประเสริฐ[6]
[1,4]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น
[2,5]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[6]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Danai Sornsuphap[1] Yuthanarong Jongjun[2*] Sarinya Prateepchanachai[3] Chanathip Kalachakra[4]
Sutthida Karawek[5] and Peema Pornprasert[6]
[1,4]Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
[2,5]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[3]Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[6]Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University
E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับช่วงต่อในการผลิตก้อนแคทตาไลติกเพื่อจัดส่งให้กับบริษัทยานยนต์ชั้นนำภายในประเทศหลายรายปัจจุบันพบปัญหาการจัดส่งผลิตภัณฑ์ผิดรุ่นปะปนไปกับงานที่ลูกค้าสั่งผลิต ในช่วงเดือนธันวาคม 2567 มีการร้องเรียนจากลูกค้าจำนวน 9 ppm หรือ 0.0009% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด แม้ปริมาณความผิดพลาดจะน้อยแต่ส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าอย่างมาก ผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายในการป้องกันการเกิดและการหลุดรอดของชิ้นงานผิดพลาดให้อยู่ในระดับบีของเครือข่ายการประกันคุณภาพ เริ่มจากการสำรวจปัญหาโดยใช้หลักการ 3 จริง พบว่าสาเหตุเกิดจากมีการผลิตก้อนแคทตาไลติกพร้อมกันหลายรุ่น โดยแต่ละรุ่นมีขนาดและรูปร่างคล้ายกัน แตกต่างกันเพียงหมายเลขรหัสบนผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการบรรจุ เนื่องจากพนักงานหยิบชิ้นงานผิดรุ่นมาเติมลงกล่องจากความตั้งใจที่จะทำให้ครบตามคำสั่งบัตรงาน แต่ไม่มีมาตรฐานการหยิบงานที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงดำเนินมาตรการแก้ไขโดยจัดทำเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน และจัดทำแผนการฝึกอบรมพนักงานใหม่ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งเน้นย้ำกระบวนการ "หยุด เรียก รอ" ในกรณีพบความผิดปกติ ผลการปรับปรุงสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ผิดรุ่นที่หลุดไปถึงลูกค้าได้ 100%

คำหลัก แคทตาไลติก ข้อร้องเรียนจากลูกค้า เครือข่ายการประกันคุณภาพ เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน

Abstract

A sample company serves as a subcontractor for the production of catalytic blocks, delivering to several leading domestic automotive companies. Recently, it encountered issues with product mis deliveries-specifically, incorrect product models being mixed into customer orders. In December 2024, customer complaints were recorded at a rate of 9 ppm, or 0.0009% of total products. Although the error rate is minimal, it significantly affects customer confidence. The researcher applied risk analysis and assessment tools to improve production quality, aiming to prevent both the occurrence and escape of defective items, targeting compliance with Level B of the Quality Assurance Network. Initial problem identification using the "Three Reals" principle revealed that the root cause was the simultaneous production of multiple catalytic block models, which are similar in size and shape, differing only by model codes printed on the products. This similarity led to errors during the packing process, as workers mistakenly placed incorrect models into boxes while trying to fulfill work card orders—without a clear standard for selecting the correct parts. To address this, the researcher implemented corrective actions by developing a Standard Operating Procedure (SOP) document and creating a training plan for employees to follow the procedures strictly. Additionally, emphasis was placed on the "Stop, Call, Wait" process when abnormalities are detected. As a result of these improvements, the number of incorrect product models reaching customers was reduced by 100%.

Keywords: Catalytic, Customer Complaints, Quality Assurance Network, Standard Operating Procedure

1. บทนำ

หลังปี ค.ศ. 2004 ระบบท่อไอเสียของรถยนต์ได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดเพื่อตอบสนองต่อมาตรฐานการปล่อยมลพิษที่เข้มงวดขึ้นทั่วโลก เช่น Euro 4, Euro 5 และ Euro 6 รวมถึงมาตรฐาน EPA ในสหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีใหม่ๆ ได้รับการติดตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดมลพิษ เช่น แคทตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบไอเสียของรถยนต์ที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซพิษ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ให้กลายเป็นก๊าซที่ไม่เป็นพิษอย่าง คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (H_2O) ผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยโครงสร้างรังผึ้ง (Honeycomb Structure) ที่เคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยา เช่น แพลทินัม (Platinum), พาลาเดียม (Palladium) และโรเดียม (Rhodium) ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิอยู่ช่วง 400-800 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันมีการพัฒนาเพิ่มเติม เช่น Diesel Particulate Filter (DPF) สำหรับลดฝุ่นละออง และ Selective Catalytic Reduction (SCR) สำหรับลด NOx ในรถดีเซล แคทตาไลติกคอนเวอร์เตอร์มีบทบาทสำคัญในการลดมลพิษทางอากาศและสอดคล้องกับมาตรฐานการปล่อยมลพิษสากล อย่างไรก็ตาม ด้วยต้นทุนการผลิตที่สูงและประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อเสื่อมสภาพ ยังคงเป็นความท้าทายในการพัฒนาเพื่อความยั่งยืนในอนาคต [1]

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของท่อไอเสีย

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับช่วงต่อจากบริษัทผู้ผลิตท่อไอเสียรถยนต์ในการผลิตก้อนแคทตาไลติก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของชุดท่อแคทตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ โดยมาตรฐานแล้วก้อนแคทตาไลติก จะประกอบด้วยทองคำขาวประมาณ 3-7 กรัม (หรือประมาณ 0.106-0.247 ออนซ์) ขึ้นอยู่กับยี่ห้อ รุ่น ปีผลิตของรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ก้อนแคทตาไลติก

จากรูปก้อนก้อนแคทตาไลติก (Catalytic) รุ่น 40211 ซึ่งปัจจุบันบริษัทผู้รับช่วงผลิต ประสบปัญหาการเคลมงานจากบริษัทประกอบท่อแคทตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) จากสาเหตุมีก้อนแคทตาไลติกผิดรุ่นปะปนไปกับรุ่นที่สั่งผลิต โดยข้อมูลเดือน ธันวาคม 2567 จำนวน 9 ppm หรือ 0.0009% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณเกินกว่าจำนวนของเสียที่ตกลงไว้กับลูกค้าที่ 0.06 ppm ส่งผลกระทบด้านความเชื่อมั่นต่อบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยตรง

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ลดปริมาณข้อบกพร่องในกระบวนการตรวจสอบก้อนแคทตาไลติกที่ส่งผิดรุ่นให้อยู่ในระดับไม่เกิน 0.06 ppm ตามข้อตกลงกับลูกค้าเพื่อลดปัญหาการเคลมงานจากลูกค้าและเสริมสร้างความน่าเชื่อถือของบริษัทในระยะยาว

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดของเสียในกระบวนการผลิต

การลดของเสียในกระบวนการผลิต หมายถึง กระบวนการและแนวทางในการขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต เพื่อลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือบริการ แนวคิดนี้เน้นการระบุและขจัดของเสียที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า เช่น การผลิตเกินความต้องการ (Overproduction) การรอคอย (Waiting) การขนส่งที่เกินความจำเป็น (Transport) และข้อบกพร่อง (Defects) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการลดของเสียคือการลดต้นทุนการผลิตโดยการขจัดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นหรือไม่ก่อให้เกิดมูลค่า นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดข้อบกพร่อง และลดการใช้ทรัพยากรเกินความจำเป็น ทำให้องค์กรสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูงและส่งมอบได้ตรงเวลา สิ่งนี้ส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าและความสามารถในการแข่งขันในตลาด

แนวทางการลดของเสีย เช่น ระบบการผลิตแบบลีนที่เน้นการขจัดความสูญเปล่าและเพิ่มความคล่องตัวในการผลิตแบบซิกส์ซิกมา ที่มุ่งเน้นการลดความแปรปรวนของกระบวนการด้วยหลักสถิติ และการบริการจัดการคุณภาพโดยรวมที่เน้นการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายในองค์กร และระบบไคเซ็นที่มุ่งเน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันความความเผลอเรอ (Poka-Yoke) การนำแนวคิดเหล่านี้มาใช้ในองค์กรช่วยให้กระบวนการผลิตมีความยั่งยืนมากขึ้น ลดการใช้ทรัพยากรอย่างไม่จำเป็น ลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มความมั่นใจของลูกค้าในสินค้าที่ได้มาตรฐานสูงสุด ดังนั้นการลดของเสียจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญสำหรับการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุดในระยะยาว [2]

2.2 เครือข่ายการประกันคุณภาพ

เครือข่ายการประกันคุณภาพ (QA Network) คือระบบที่ใช้ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตและการให้บริการเพื่อสร้างความมั่นใจว่าสินค้าหรือบริการเป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดที่กำหนดไว้ หลักการสำคัญประกอบด้วยการตรวจสอบคุณภาพในทุกขั้นตอน (Quality Inspection) เช่น การใช้การควบคุมกระบวนการผลิตทางสถิติ (SPC) การวิเคราะห์และป้องกันข้อผิดพลาด (Error Prevention) รวมถึงการควบคุมกระบวนการผลิต (Process Control) ด้วยการตั้งค่ามาตรฐาน เช่น เอกสารการปฏิบัติงานมาตรฐาน (SOP)และผังการไหล (Flowchart) เพื่อความสม่ำเสมอ ระบบประกันคุณภาพ (QA) ยังเน้นการตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) ด้วยระบบไคเซ็น (Kaizen) มีรูปแบบการใช้งานทั้งเครือข่ายการประกันคุณภาพ

(QA Network) ภายใน (Internal) ที่เน้นตรวจสอบภายในองค์กร และระหว่างองค์กร (External) ที่ดูแลคุณภาพในซัพพลายเชน ประโยชน์ของเครือข่ายการประกันคุณภาพ ได้แก่ การเพิ่มความมั่นใจในคุณภาพ ลดข้อบกพร่อง ลดต้นทุน และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าอย่างยั่งยืน [3]

เครือข่ายการประกันคุณภาพ (QA Network) จะใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการควบคุมคุณภาพผ่านแผนภาพเมทริกซ์ (Matrix Diagram) เพื่อวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญในการจัดการความผิดพลาด ที่มีการแบ่งระดับออกเป็นตัวอักษร A, B, C, D, E, F ซึ่งมีความหมายดังนี้

ระดับการป้องกันการเกิด (Prevention Controls)

A: มีการควบคุมที่สมบูรณ์แบบและเชื่อถือได้สูงสุด

B: มีการควบคุมที่ดี แต่ยังคงมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาด

C: มีการควบคุมระดับปานกลาง (ตรวจสอบด้วยสายตา)

D: มีการควบคุมเบื้องต้นแต่โอกาสเกิดข้อผิดพลาดยังสูง

E: ไม่มีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ

F: ไม่มีการควบคุมใด ๆ หรือไม่มีมาตรการป้องกัน

ระดับการป้องกันการหลุดรอด (Detection Controls)

A: สามารถตรวจพบข้อผิดพลาดได้อย่างสมบูรณ์

B: สามารถตรวจพบข้อผิดพลาดได้แต่ยังมีโอกาสหลุดรอด

C: สามารถตรวจพบข้อผิดพลาดในระดับปานกลาง

D: สามารถตรวจพบข้อผิดพลาดได้บ้าง แต่ไม่ครอบคลุม

E: ตรวจพบข้อผิดพลาดได้ต่ำ

F: ไม่สามารถตรวจพบข้อผิดพลาดได้เลย

สรุปความสัมพันธ์ระหว่างการป้องกันการเกิดและการหลุดรอด เป้าหมายสูงสุด: คือการมีการป้องกันการเกิดและการหลุดรอดอยู่ในระดับ A ทั้งสองด้าน เพื่อให้กระบวนการผลิตปลอดภัยและมีความน่าเชื่อถือสูงสุดพื้นที่เสี่ยงสูง: ถ้ามีระดับ D-F ในการป้องกันและตรวจจับ ควรพิจารณาปรับปรุงทันทีเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด

2.3 ประสิทธิภาพการผลิต

ประสิทธิภาพการผลิต (Production Efficiency) คือการที่หน่วยผลิตสามารถบรรจุเป้าหมายการผลิตผลผลิตจำนวนหนึ่ง ๆ ได้โดยวิธีก่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตจะทำให้หน่วยผลิตมีการจัดสรรทรัพยากรที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น คล้ายกับงานวิจัย [4] เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเศษอลูมิเนียมที่เหลือจากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการอัดให้เป็นก้อนด้วยเครื่องอัด จากข้อมูลพบว่าเครื่องอัดสามารถอัดเศษอลูมิเนียมได้สูงสุด 1,440 กิโลกรัมต่อการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง แต่ปัจจุบันเครื่องสามารถอัดเศษอลูมิเนียมได้เฉลี่ยเพียง 266 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 18.47 ของประสิทธิภาพการทำงานจริง สาเหตุเกิดจากเศษอลูมิเนียมที่นำมาอัดมีขนาดความหนามากเกินไปแนวทางการแก้ไขเสนอให้มีการย่อยเศษอลูมิเนียมให้มีขนาดเล็กเท่ากันก่อนนำเข้าเครื่องอัดโดยผ่านระบบสายพานลำเลียงเพื่อลดเวลาและความเมื่อยล้าของพนักงาน ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักของก้อนอลูมิเนียมเฉลี่ยได้ 1.86 กิโลกรัมต่อก้อน คิดเป็น ร้อยละ 93.00 ของประสิทธิภาพเครื่องอัด อัดเศษอลูมิเนียมได้เฉลี่ย 1,339 กิโลกรัมต่อการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 93.00 เพิ่มขึ้นร้อยละ 74.53 ของประสิทธิภาพการอัดก่อนการปรับปรุง และเพิ่มมูลค่าการขายจาก 9,857 บาทต่อวัน เป็น 49,550 บาทต่อวัน เพิ่มขึ้น 39,693 บาทต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 402

2.4 หลักการ 3 จริง (3 Gen)

หลักการ 3 จริง (3 Gen) [5] ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) เป็นแนวคิดสำคัญที่พัฒนาโดย Taiichi Ohno ซึ่งประกอบด้วย Genba (สถานที่จริง), Genbutsu (สิ่งของจริง) และ Genjitsu (ข้อมูลจริง) โดยเน้นให้ผู้จัดการหรือผู้รับผิดชอบลงพื้นที่จริงเพื่อสังเกตและวิเคราะห์ปัญหาจากข้อเท็จจริง Genba คือการไปยังสถานที่เกิดปัญหา เช่น สายการผลิต เพื่อสังเกตสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมในการทำงาน Genbutsu คือการตรวจสอบสิ่งของจริง เช่น สินค้าที่มีข้อบกพร่องหรือเครื่องจักรที่ขัดข้อง เพื่อระบุสาเหตุโดยตรง ส่วน Genjitsu คือการใช้ข้อมูลจริง เช่น สถิติการผลิตและจำนวนสินค้าที่เสียหาย เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาจากข้อเท็จจริง ข้อดีของหลักการนี้คือช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ เพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ อย่างไรก็ตาม ต้องใช้เวลารวบรวมข้อมูลและความชำนาญในการวิเคราะห์ เมื่อนำไปใช้อย่างถูกต้องจะช่วยให้องค์กรสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [6]

2.5 การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys)

การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหาที่พัฒนาโดย Sakichi Toyoda และใช้ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า "ทำไม" เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน [7] การถามคำถาม "ทำไม" ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุแท้จริงคือการขาดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ข้อดีของเทคนิคนี้คือความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ควรใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น Ishikawa Diagram เพื่อความแม่นยำมากขึ้น หลังจากวิเคราะห์ด้วย 5 Whys แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การจัดทำแผน PM หรืออบรมพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ ทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

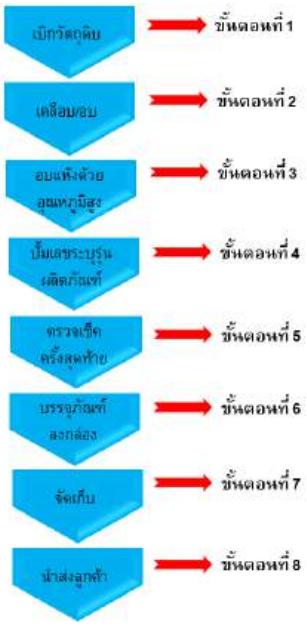
Stefanic, Leksic และ Veza [8] ศึกษาผลกระทบของการใช้เครื่องมือ Lean Manufacturing ต่าง ๆ เช่น Kaizen, 5S และ Poka-Yoke ต่อการลดของเสียในกระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้เครื่องมือเหล่านี้อย่างเหมาะสมช่วยลดข้อบกพร่องและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ การจัดการของเสียและการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแข่งขันขององค์กร งานวิจัยยังเน้นความสำคัญของการใช้แนวทาง Lean อย่างต่อเนื่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท

Goyal, Agrawal และ Chokhani [9] นำเสนอการใช้แนวทาง Kaizen ในการลดของเสียในกระบวนการผลิตของบริษัทในประเทศอินเดีย โดยเน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกระดับ ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้แนวทางนี้สามารถลดของเสียได้ถึง 13.8% พร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดต้นทุนในการผลิต งานวิจัยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของวัฒนธรรมองค์กรในการสนับสนุนการปรับปรุงอย่างยั่งยืน แนวทางนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สำรวจกระบวนการผลิตก้อนแคทตาไลติก

ขั้นตอนการผลิตก้อนแคทตาไลติก มีทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตก้อนแคทตาไลติก

จากรูปที่ 3 สามารถอธิบายกระบวนการทำงานได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เบิกวัตถุดิบ (Raw Material Acquisition) จากคลังตรวจสอบคุณภาพ เช่น ความสะอาดและความสมบูรณ์ หากไม่ผ่านเกณฑ์ต้องแยกออก

ขั้นตอนที่ 2 เคลือบ/อบ (Coating/Baking) วัตถุดิบด้วยสารเคมี/สี เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษ เช่น ป้องกันสนิม และควบคุมความสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 3 อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง (High-Temperature Drying)เพื่อให้สารเคลือบติดแน่น ควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาอย่างเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 ปั๊มระบุรุ่นผลิตภัณฑ์ (Product Identification

Stamping) ปั๊มข้อมูลผลิตภัณฑ์ เช่น Serial Number เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจเช็คครั้งสุดท้าย (Final Inspection) เป็นการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย เช่น ขนาด รูปทรง และความเรียบร้อย หากพบข้อบกพร่องจะแยกออกทันที

ขั้นตอนที่ 6 บรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่อง (Packaging) เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องที่แข็งแรงพร้อมติดฉลากระบุข้อมูลสำคัญก่อนส่งลูกค้า

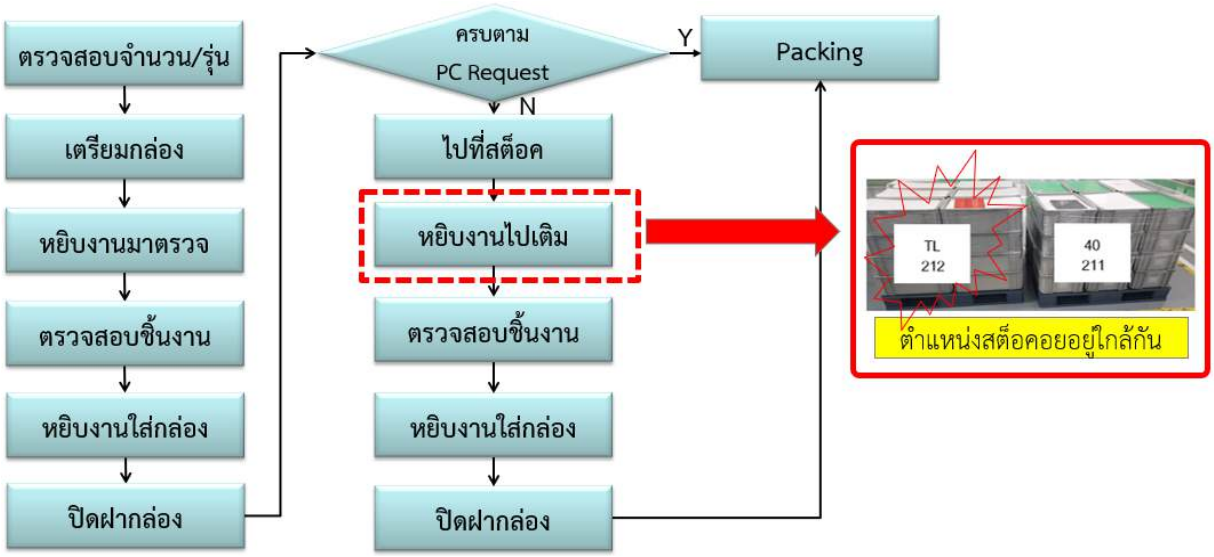
ขั้นตอนที่ 7 จัดเก็บ (Storage) เป็นการนำจัดกล่องผลิตภัณฑ์ที่ปิดผนึกเรียบร้อยเก็บในคลังสินค้าอย่างเป็นระเบียบ โดยใช้ระบบ FIFO/LIFO และควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม

นำส่งลูกค้า (Shipping to Customer)

ขั้นตอนที่ 8 จัดส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าพร้อมเอกสารกำกับสินค้า ตรวจสอบความถูกต้องและความปลอดภัยก่อนส่งมอบ

3.2 สำรวจปัญหาและกำหนดเป้าหมายในการแก้ไข

ผู้วิจัยใช้หลักการ 3 จริง (3 Gen) สำรวจกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (กระบวนการย่อย) ชื่อชิ้นส่วน: 40211 ที่สถานที่จริง ชิ้นงานที่ทำการผลิตจริง และเก็บข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง ด้วยการใช้ผังการไหลของกระบวนการ (Flow chart) ดังแสดงในรูปที่ 4



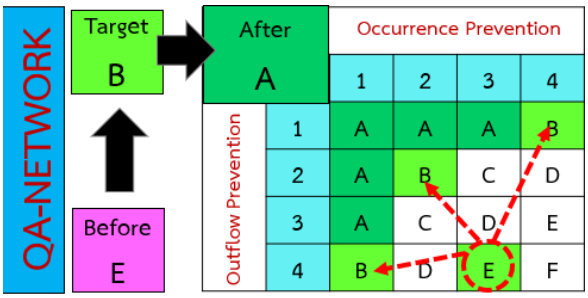
รูปที่ 4 ผังการไหลของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายขั้นตอนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายได้ดังนี้ เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบจำนวนและรุ่นชิ้นงานให้ตรงกับคำสั่งใน PC Request หากไม่ครบถ้วนจะต้องไปที่สต๊อกเพื่อหยิบงานเพิ่ม หลังจากนั้นเตรียมกล่องสำหรับบรรจุ และหยิบงานมาทำการตรวจสอบชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกนำไปบรรจุในกล่อง หากงานไม่ผ่านการตรวจสอบ จะต้องดำเนินการแก้ไขก่อน หลังจากการบรรจุงานลงกล่อง จะมีการปิดฝากล่องและส่งไปยังขั้นตอนต่อไปในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ (Packing) ปัญหาความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Occurrence) เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยสำคัญ เช่น ตำแหน่งสต๊อกที่ใกล้กันทำให้พนักงานหยิบชิ้นงานผิดรุ่นได้ง่ายและลักษณะชิ้นงานแต่ละรุ่นที่คล้ายคลึงกันทั้งในขนาดและรูปทรงส่งผลให้การแยกแยะด้วยสายตามีโอกาสผิดพลาดสูงนอกจากนี้ กระบวนการตรวจสอบตาม PC Request ยังขาดความเข้มงวดหรือความระมัดระวังในขั้นตอนการเติมงานในสต๊อกอีกทั้งไม่มีการใช้เครื่องมือช่วยยืนยันส่งผลให้ชิ้นงานที่ผิดรุ่นอาจถูกบรรจุลงกล่องและส่งไปยังขั้นตอนถัดไป คือ ขั้นตอนตรวจสอบชิ้นงาน โดยไม่ถูกตรวจพบซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดที่ชิ้นงานไม่ตรงตามมาตรฐานหรือรุ่นที่กำหนด ถูกปล่อยผ่านไปยังขั้นตอนการบรรจุ (Packing) ซึ่งจากการสังเกตขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานในผังการไหล ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ลักษณะปัญหาจากขั้นตอนการตรวจสอบ

จากรูปที่ 5 สภาพการเกิดความผิดพลาดที่ชิ้นงานที่ไม่ตรงตามมาตรฐานหรือรุ่นที่กำหนด (Out Flow) ถูกปล่อยผ่านไปยังขั้นตอนการบรรจุ (Packing) กระบวนการตรวจสอบด้วยสายตาที่ใช้ยืนยันรุ่นชิ้นงานตาม PC Request อาจเกิดความผิดพลาดจากการมองข้ามรายละเอียดหรือความคล้ายคลึงกันของชิ้นงาน เช่น รุ่น "40211" และ "TL212" ส่งผลให้เกิดการผสมรุ่นในกล่องเดียวกัน เมื่อชิ้นงานผ่านการตรวจสอบโดยไม่ได้แก้ไขข้อผิดพลาด จะถูกบรรจุลงกล่องและส่งต่อไปถึงลูกค้าซึ่งจะกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงทันทีเนื่องจากการเคลมงานกลับของลูกค้าหมายถึงความเชื่อมั่นในการสั่งผลิตภัณฑ์ในอนาคต

จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ผิดรุ่นที่หลุดไปถึงลูกค้าในเดือนธันวาคม 2567 จำนวน 9 ppm หรือ 0.0009% ซึ่งหมายถึง 1 ล้านชิ้นจะมีงานหลุดไปถึงมือลูกค้า 9 ชิ้น ในความเป็นจริงอาจดูไม่มากแต่เมื่อเทียบกับความเชื่อมั่นของลูกค้าอาจส่งผลถึงใบสั่งผลิตในอนาคตเนื่องจากหากลูกค้านำผลิตภัณฑ์ผิดรุ่นไปประกอบอาจจะทำให้ประสิทธิภาพการกรองไอเสียไม่ได้ตามกฎหมายหรือไม่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต (QA Network) โดยกำหนดเป้าหมายให้กระบวนการสามารถป้องกันการเกิดและป้องกันการหลุดรอดของชิ้นงานได้ ในระดับ B ดังสามารถแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครือข่ายการประกันคุณภาพ

จากรูปที่ 6 แสดงกระบวนการตามแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพโดยเริ่มจากสถานะปัจจุบัน (Before: ระดับ E) ไปสู่สถานะเป้าหมาย (Target: ระดับ B) ผ่านการวางแผนและปรับปรุงตามระบบเครือข่ายการประกันคุณภาพ (QA-Network) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้องกันการเกิด (Occurrence Prevention) และการป้องกันการหลุดรอด (Outflow Prevention) โดยมีแนวทางการแก้ไขดังนี้

1) วิเคราะห์ปัญหา (Before): ระดับ E สะท้อนถึงความเสี่ยงสูงจากการป้องกันการเกิดและหลุดรอดที่ไม่เพียงพอ

2) ปรับปรุงการป้องกันการเกิด (Occurrence Prevention): ใช้เทคโนโลยี และปรับกระบวนการตรวจสอบ PC Request ให้เข้มงวดขึ้น

3) ปรับปรุงการป้องกันการหลุดรอด (Outflow Prevention): เพิ่มจุดตรวจสอบสุดท้ายโดยใช้ระบบอัตโนมัติและแยกพื้นที่ชิ้นงาน ผ่าน-ไม่ผ่านการตรวจสอบ

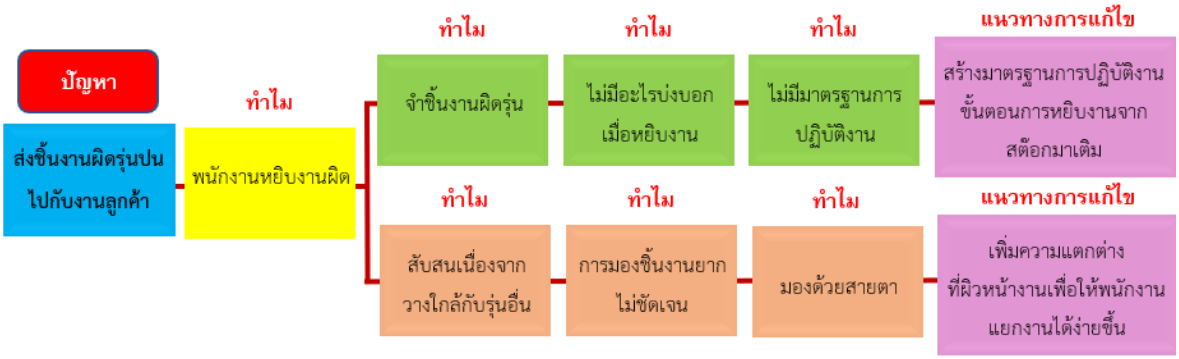
4) เป้าหมาย (Target): ยกระดับจาก E ไป B ด้วยมาตรการที่ลดความเสี่ยงทั้งการเกิดและหลุดรอด

5) ติดตามผล: ตั้งทีม QA เพื่อติดตามการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและประเมินผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการ

3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไข

จากปัญหาความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตการหยิบชิ้นงานผิดรุ่น (Occurrence) และการเกิดความผิดพลาดที่ชิ้นงานที่ไม่ตรงตามมาตรฐานหรือรุ่นที่กำหนดถูกปล่อยผ่านไปยังขั้นตอนการบรรจุ (Out Flow) ซึ่งเกิดจากตำแหน่งการจัดเก็บชิ้นงานที่ไม่ได้แยกชัดเจน และลักษณะชิ้นงานที่คล้ายกันแยกแยะได้ยาก ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" ช่วยวิเคราะห์ปัญหา ดังนี้

3.3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Occurrence) และความผิดพลาดที่ชิ้นงานที่ไม่ตรงตามมาตรฐานหรือรุ่นที่กำหนด ถูกปล่อยผ่านไปยังขั้นตอนการบรรจุ (Packing) แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

จากรูปที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาการส่งชิ้นงานผิดรุ่นไปยังลูกค้าเกิดจากการหยิบชิ้นงานผิดในกระบวนการผลิต ซึ่งมีต้นตอจากการขาดมาตรฐานและระบบสนับสนุนในขั้นตอนการหยิบงาน สาเหตุหลักมาจากการไม่มีสิ่งบ่งบอกชิ้นงานที่ชัดเจน ไม่มีมาตรฐานปฏิบัติงาน และตำแหน่งการจัดเก็บชิ้นงานรุ่นต่าง ๆ ที่ใกล้กันจนเกิดความสับสนและส่งผลให้การตรวจสอบด้วยสายตาไม่สามารถแยกแยะชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง ปัญหานี้ส่งผลเสียต่อคุณภาพสินค้าความพึงพอใจของลูกค้าและความน่าเชื่อถือในสายการผลิต แนวทางการแก้ไขสามารถกำหนดได้ 2 ประเด็นได้แก่

ประเด็นที่ 1 พนักงานจำชิ้นงานผิดรุ่นเนื่องจากไม่มีเอกสารบ่งชี้ในการทำงานผู้วิจัยกำหนดแนวทางการแก้ไขจัดสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานให้กับพนักงาน

ประเด็นที่ 2 พนักงานสับสนจากการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตาเนื่องจากงานมีลักษณะคล้ายกันอีกทั้งการวางสต๊อกงานอยู่ติดกัน ผู้วิจัยกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการเพิ่มความแตกต่างให้กับชิ้นงานและภาชนะรองรับ

3.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

3.4.1 การปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากประเด็นที่ 1 พนักงานจำชิ้นงานผิดรุ่น สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) จัดสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานขั้นตอนการนำชิ้นงานมาเติมและระบุผลกระทบลงในมาตรฐานการทำงาน

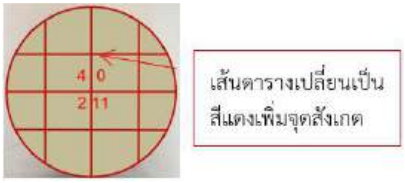
2) เพิ่มหัวข้อการตรวจสอบให้ครอบคลุมเพิ่มการตรวจสอบชื่อรุ่น และ จำนวนในกล่อง

3) จัดสร้างแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับรวบรวมผลการประเมิน ซึ่งต้องมีการกรอกข้อมูลโดยหัวหน้างานและผ่านการตรวจสอบหรืออนุมัติโดยผู้ช่วยผู้จัดการก่อนนำไปใช้และจัดอบรมให้ความรู้กับพนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 การอบรมให้ความรู้พนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

3.4.2 พนักงานสับสนจากการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตาสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) เพิ่มความแตกต่างที่ผิวหน้างานเพื่อให้พนักงานสังเกตได้ง่ายขึ้นเพื่อลดการหยิบงานผิด ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เพิ่มความแตกต่างเพื่อการสังเกต

จากรูปที่ 9 ผู้วิจัยดำเนินการปรับปรุงด้วยการเพิ่มสีแดงบริเวณผิวหน้าชิ้นงานเป็นตารางและตัวเลขรหัสผลิตภัณฑ์ เพื่อให้พนักงานสังเกตได้ง่ายขึ้นลดการหยิบงานผิด

2) ปรับปรุงด้วยการทำกล่องแยกงานออกจากกัน ให้มีความชัดเจน ประกอบด้วย กล่องสำหรับชิ้นงานต้องสงสัย กล่องสำหรับชิ้นงาน NG และกล่องสำหรับชิ้นงาน OK ดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 10 กล่องแยกตามลักษณะงาน

จากรูปที่ 10 ก่อนนำไปใช้งานจริงผู้วิจัยนำไปประชุมทีม (Team Meeting) ให้มีการปฏิบัติตามกฎการทำงานให้ครบตามขั้นตอนและการจัดการเมื่อพบสิ่งผิดปกติหรือ หยุด, เรียก, รอ ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 11 การประชุมทีมก่อนการทำงาน

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตก้อนแคทตาไลติก ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงการลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน การปรับปรุงมาตรฐานการทำงาน เช่น การเพิ่มจุดตรวจสอบ การแยกพื้นที่จัดเก็บชิ้นงานให้ชัดเจน และการเพิ่มเครื่องมือช่วยตรวจสอบ เช่น การเพิ่มความแตกต่างของชิ้นงาน การใช้สีและรหัสระบุรุ่น ช่วยลดปัญหาการหยิบงานผิดรุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทีม QA ยังรายงานว่าการใช้งานกล่องแยกประเภทงานช่วยเพิ่มความรวดเร็วและแม่นยำในการจัดการชิ้นงาน NG และงานสงสัย อีกทั้งการอบรมพนักงานและสร้างความเข้าใจในมาตรฐานใหม่ส่งผลให้พนักงานมีความระมัดระวังมากขึ้นและสามารถทำงานได้ตรงตามขั้นตอน ส่งผลให้ความเชื่อมั่นของลูกค้าเพิ่มขึ้นและลดความเสี่ยงต่อการเคลมสินค้ากลับในอนาคตทำให้อัตราข้อผิดพลาด ลดลงจาก 9 ppm เหลือ 0 ppm หรือการปรับปรุงสามารถลดปัญหาของเสียในกระบวนการและของเสียที่หลุดไปถึงลูกค้าได้ 100%

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตก้อนแคทตาไลติกเพื่อลดข้อผิดพลาดในกระบวนการและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า ผลการวิจัยพบว่าการหยิบชิ้นงานผิดรุ่นและการตรวจสอบที่ไม่ละเอียดในขั้นตอนการผลิตเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้า การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น หลัก 3 จริง (3 Gen) และการตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" ช่วยระบุสาเหตุของปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงมาตรฐานการทำงาน เช่น การแยกกล่องชิ้นงาน OK, NG และชิ้นงานต้องสงสัย รวมถึงการใช้สีและรหัสช่วยแยกแยะชิ้นงาน ส่งผลให้ปัญหาการหยิบงานผิดรุ่นลดลงอย่างชัดเจน การเพิ่มระบบตรวจสอบสุดท้ายและการใช้เทคโนโลยีช่วยลดโอกาสที่ชิ้นงานผิดมาตรฐานจะหลุดรอดไปถึงลูกค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ อัตราข้อผิดพลาดลดลงจาก 9 ppm เหลือเพียง 0 ppm ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการปรับปรุงในครั้งนี้ การอบรมพนักงานยังช่วยเพิ่มความเข้าใจใน

มาตรฐานใหม่และลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์ ความร่วมมือของทีม QA และการติดตามผลอย่างต่อเนื่องช่วยเสริมความยั่งยืนในกระบวนการปรับปรุง นอกจากนี้ การสร้างความแตกต่างให้ชิ้นงานในลักษณะภายนอกยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบ การวิจัยนี้จึงเป็นตัวอย่างที่ดีของการใช้เทคนิควิเคราะห์และเครื่องมือบริหารคุณภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดความเสี่ยง และเสริมสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าในระยะยาว

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งต่อไปควรพัฒนาระบบตรวจสอบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดข้อผิดพลาดจากการตรวจสอบด้วยสายตา พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บชิ้นงานให้ชัดเจนโดยใช้รหัสสีและป้ายกำกับที่ชัดเจน จัดการฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความเข้าใจในมาตรฐานใหม่และลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์ นอกจากนี้ ควรติดตั้งระบบติดตามผลการปรับปรุงและวางแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาคุณภาพการผลิต และเก็บข้อมูลความพึงพอใจของลูกค้าเพื่อนำมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของบุคลากรจากหลายมหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ซึ่งสนับสนุนทั้งทรัพยากร ความรู้ และคำแนะนำด้านวิชาการ รวมถึงการทำงานร่วมกับคณาจารย์และผู้วิจัยทุกฝ่ายที่ช่วยแก้ปัญหาและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงสำเร็จตามเป้าหมายด้วยความร่วมมือและกำลังใจจากทุกฝ่าย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Gao, J., Tian, G., Sorniotti, A., Karci, A. E., & Di Palo, R. Review of thermal management of catalytic converters to decrease engine emissions during cold start and warm up. Applied Thermal Engineering. (2019).

[2] Gupta, M., Digalwar, A., & Gupta, A. Integrating Theory of Constraints, Lean and Six Sigma: a framework development and its application. Production Planning & Control. (2024).

[3] Kojima, T., & Amasaka, K. The total quality assurance networking model for preventing defects: Building an effective quality assurance system using a total QA network. International Journal of Management & Business Studies. (2011).

[4]. ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และคณะ.การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการอัดเศษอลูมิเนียม กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอตุสาหการไทย, ปีที่ 9 (1). (2566), หน้า 48-61.

[5] Yamamoto, K., Milstead, M., & Lloyd, R. A review of the development of lean manufacturing and related lean practices: The case of Toyota production system and managerial thinking. ResearchGate. (2019).

[6] Kelendar, H. Lean thinking from Toyota manufacturing to the healthcare sector. Researchgate.net. (2020).

[7] Liker, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill Education. (2004).

[8] Stefanic, N., Leksic, I., & Veza, I. The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. Advances in Production Engineering & Management. (2020).

[9] Goyal, A., Agrawal, R., & Chokhani, R.K. Waste reduction through Kaizen approach: A case study of a company in India. Waste Management & Research. (2019).

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับปรุงงานตามแนวทางของวิศวกรรมอุตสาหการ กรณีศึกษา: บริษัทตัวอย่าง

Enhancing Efficiency in Automotive Parts Manufacturing through the Application of Industrial Engineering Work Improvement Techniques Case Study A Selected Automotive Company

ยุทธณรงค์ จงจันทร์[1] กวี ศรีบัว[2] กฤษณ กิมฮวด[3] เมธี พรมศิรา[4] สุทธิดา การะเวก[5] และ ณัฐพงศ์ สุวรรณกุล[6]
[1,2,3,4,5]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

Yuthanarong Jongjun[1] Kawi Srabua[2] Krisana Kimhuad[3] Methee Promsila[4] Sutthida Karawek[5] and Nuttapong Suwannakul[6]
[1,2,3,4,5,6]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Rajanagarindra Rajabhat University
E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตของบริษัทตัวอย่างพบปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการการเย็บเบาะรถยนต์ ส่งผลให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นจากของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ กระทบต่อคุณภาพสินค้า และระยะเวลาการส่งมอบงานให้กับลูกค้า ผู้วิจัยใช้วงจรคุณภาพในการปรับปรุงแก้ไข เริ่มจากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ และใช้เทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ในการวิเคราะห์ปัญหา พบว่าสาเหตุหลักมาจาก (1) ทักษะของพนักงานที่ยังขาดความชำนาญ (2) การมองเห็นแนวเย็บที่ไม่ชัดเจนเนื่องจากแสงสว่างในพื้นที่ทำงานที่ไม่เหมาะสม (3) คุณสมบัติของวัสดุที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอ กำหนดแนวทางแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ประกอบด้วย (1) เพิ่มจุดเล็งตะเข็บโดยใช้สีขาวแต้มตีนผีจักรสำหรับพนักงานที่ยังขาดความชำนาญพร้อมฝึกอบรมพนักงานเพื่อเพิ่มทักษะในการเย็บ (2) ปรับปรุงแสงสว่างให้ถูกต้องตามมาตรฐานการทำงานในสายการผลิตประเภทการเย็บจักร (3) ใช้ผ้าดิบเสริมวัสดุที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอเพื่อช่วยให้แนวเย็บตรงขึ้น ผลการปรับปรุงพบว่า อัตราของเสียลดลงจาก 1.49% เป็น 0% จำนวนของเสียลดลงจาก 10 ชิ้น เหลือ 0 ชิ้น คิดเป็น 100% ลดต้นทุนที่สูญเสียจาก 9,630 บาทต่อเดือน เหลือ 0 บาท และลดเวลาแก้ไขงานจาก 17 ชั่วโมงแรงงานต่อเดือน เป็น 0 ชั่วโมงแรงงาน

คำหลัก วงจรคุณภาพ การลดของเสีย การตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

Abstract

The production process of the sample company encountered a defect issue in the car seat sewing process, leading to increased production costs due to irreparable defects. This issue affected product quality and delayed deliveries to customers. The researcher applied the Quality Circle methodology to improve and resolve the problem, starting with data collection using quality control tools and employing the "Why-Why Analysis" technique to identify root causes. The findings revealed three primary causes: (1) lack of employee expertise, (2) poor visibility of the sewing lines due to inadequate lighting in the work area, and (3) inconsistent

material thickness. To address these issues, the 5W1H technique was implemented, which included: (1) Enhancing sewing precision by marking the sewing machine foot with white paint for inexperienced workers and conducting training to improve sewing skills. (2) Optimizing the lighting system to meet standard working conditions for machine sewing production lines. (3) Using cotton fabric reinforcement on materials with inconsistent thickness to ensure straighter seams. As a result of these improvements, the defect rate was reduced from 1.49% to 0%, The defect rate decreased from 10 pieces to zero, indicating a 100% improvement in quality. The cost of production loss was reduced from 9,630 THB per month to 0 THB, and rework time decreased from 17 man-hours per month to 0 man-hours.

Keywords: Quality Circle, Defect Reduction, Why-Why Analysis

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเบาะรถยนต์มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพและความปลอดภัยของรถยนต์ ซึ่งต้องคำนึงถึงทั้งความสะดวกสบายของผู้ใช้ ความทนทาน และมาตรฐานความปลอดภัยในระดับสากล ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตเบาะรถยนต์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ตอบสนองต่อแนวโน้มอุตสาหกรรมยานยนต์ที่เปลี่ยนแปลง และมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดขึ้น [1] ปี พ.ศ. 2568 อุตสาหกรรมการผลิตเบาะรถยนต์มีแนวโน้มพัฒนาไปในทิศทางของการใช้วัสดุที่มีความยั่งยืน น้ำหนักเบา และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อลดน้ำหนักรวมของยานพาหนะและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ ระบบที่ใช้ในการออกแบบและผลิตเบาะยังเน้นไปที่ การใช้ซอฟต์แวร์จำลองแบบเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต [2]

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับผลิตเบาะรถยนต์ให้กับค่ายรถยนต์ชั้นนำภายในประเทศ ปัจจุบันประสบปัญหาการเกิดของเสียจากกระบวนการเย็บเบาะซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ทักษะสูงความผิดพลาดในกระบวนการนำไปสู่ของเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ส่งผลให้ ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น คุณภาพของสินค้าไม่ได้มาตรฐาน และเกิดความล่าช้าในการส่งมอบให้กับลูกค้า

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์โดยการลดของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพแรงงาน และลดต้นทุนการผลิต โดยการประยุกต์ใช้แนวทางของวิศวกรรมอุตสาหการและเครื่องมือควบคุมคุณภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดของเสียในกระบวนการผลิต

การลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม แนวคิดที่นิยมใช้ในการลดของเสีย ได้แก่ ระบบการผลิตแบบลีน ซึ่งมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องผ่านการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ ในกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ หนึ่งในปัญหาสำคัญคือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการเย็บ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนที่สูงขึ้น และระยะเวลาการส่งมอบที่ล่าช้า การลดของเสียสามารถทำได้โดย การใช้เทคนิควงจรคุณภาพ และ 5W1H เพื่อระบุและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ การปรับปรุงทักษะของพนักงาน การเพิ่มแสงสว่างในพื้นที่ทำงาน และการใช้วัสดุที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับกระบวนการเย็บ จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและเพิ่มความแม่นยำในการผลิต การใช้ เครื่องมือคุณภาพ เช่น แผนภูมิก้างปลา, พาเรโต้, วงจรของเดมมิ่ง และ ระบบ 5ส เป็นแนวทางที่ช่วยลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต [3] โดยเฉพาะการนำแนวคิดการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time) มาใช้จะช่วยลดการสะสมของสินค้าคงคลังและลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม ด้วยการบริหารจัดการของเสียอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง บริษัทสามารถ ลดต้นทุน ลดอัตราของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพแรงงาน และทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยานยนต์ในระยะยาว

2.2 วงจรคุณภาพ

วงจรคุณภาพ (Quality Circle) เป็นแนวคิดในการพัฒนา

องค์กรที่เน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานผ่านการทำงานเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เพื่อระบุปัญหา วิเคราะห์ และหาแนวทางปรับปรุงคุณภาพในที่ทำงาน แนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่นและถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีหลักการสำคัญคือการมีส่วนร่วมของพนักงาน การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการตัดสินใจโดยใช้ข้อมูล วงจรคุณภาพมักใช้วงจรของเดมมิ่ง (Plan-Do-Check-Act) เพื่อวางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ องค์กรที่นำแนวคิดนี้ไปใช้ เช่น โตโยต้า ต่างได้รับประโยชน์ในการลดของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพ และปรับปรุงกระบวนการทำงาน ข้อดีของวงจรคุณภาพคือช่วยเพิ่มความร่วมมือในองค์กร สร้างแรงจูงใจ และพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของพนักงาน อย่างไรก็ตาม หากขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารอาจทำให้ผลลัพธ์ไม่ยั่งยืน แม้ว่าวงจรคุณภาพจะมีข้อจำกัด แต่ก็ยังคงเป็นเครื่องมือสำคัญในด้านการบริหารคุณภาพและการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง [4]

2.3 ความสูญเสีย 7 ประการ

ความสูญเสีย 7 ประการ (Seven Wastes) หรือ มูดะ (Muda) เป็นแนวคิดสำคัญของ ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ที่พัฒนาโดย ไทอิจิ โอโนะ (Taiichi Ohno) แห่งบริษัทโตโยต้า โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิต ความสูญเสีย 7 ประเภท ได้แก่ การผลิตเกินจำเป็น สินค้าคงคลังเกิน การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น กระบวนการที่ซ้ำซ้อน การขนส่งที่ไม่จำเป็น การรอคอย และของเสียจากการผลิต การลดของเสียเหล่านี้ช่วยให้องค์กรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและบริการ ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (TPS) และแนวคิดไคเซน (Kaizen) ใช้หลักการนี้เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าให้กับลูกค้า การนำแนวคิดนี้ไปใช้ไม่ได้จำกัดแค่ภาคการผลิตเท่านั้น แต่ยังสามารถปรับใช้กับธุรกิจบริการโลจิสติกส์ และสาธารณสุข เช่น โรงพยาบาลที่ใช้เพื่อลดเวลารอของผู้ป่วย การลดความสูญเสียเป็นกุญแจสำคัญขององค์กรที่ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง [5]

2.4 เทคนิคการปรับปรุงงานทางวิศวกรรมอุตสาหการ

เทคนิคการปรับปรุงงานทางวิศวกรรมอุตสาหการเป็นแนวทางที่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเพื่อขจัดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพ องค์กรที่ประสบความสำเร็จ เช่น Toyota, General Electric และ Amazon ได้นำเทคนิคเหล่านี้มาใช้เพื่อลดของเสียและเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ผลลัพธ์ที่ได้คือ ต้นทุนที่ลดลง คุณภาพที่ดีขึ้น เวลาการผลิตที่สั้นลง และการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคนิคเหล่านี้เป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมและการบริหารจัดการที่ทันสมัย [6]

2.5 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) ที่พัฒนาโดย ซาคิจิ โทโยดะ (Sakichi Toyoda) และใช้ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า (TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า "ทำไม" อย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน การถามคำถาม "ทำไม" ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุแท้จริงคือขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ข้อดีของเทคนิคนี้คือความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ควรใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น แผนผังก้างปลา (Ishikawa Diagram) เพื่อความแม่นยำมากขึ้น หลังจากวิเคราะห์ด้วย 5 Whys แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การจัดทำแผน PM หรืออบรมพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ ทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน [7]

2.6 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการตั้งคำถาม 5W1H

เทคนิค 5W1H เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยใช้คำถาม 6 ข้อ ได้แก่ What (ทำอะไร) Why (ทำไม) Who (ใคร) Where (ที่ไหน) When (เมื่อไหร่) และ How (อย่างไร) เพื่อตรวจสอบและระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบและเข้าใจถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ช่วยในการตัดสินใจที่มีข้อมูลสนับสนุนอย่างเพียงพอ งานวิจัยของ Apriani, A., [8] นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์เพื่อระบุ

สาเหตุของความสูญเปล่า เช่น การขนย้ายวัสดุที่ไม่จำเป็นและการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ 5W1H สามารถลดของเสียลงได้ถึง 15% และเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 20% โดยการตั้งคำถามเชิงโครงสร้างช่วยในการระบุปัญหาหลักและแนวทางการปรับปรุงอย่างตรงจุด นอกจากนี้ เทคนิคนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากร ซึ่งส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรมการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของสินค้า ของเสียสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น ข้อผิดพลาดของแรงงาน ความผิดพลาดของเครื่องจักร วัสดุที่ไม่มีคุณภาพ หรือกระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ จึงมีงานวิจัยมากมายที่เป็นแนวในการปรับปรุง เช่น

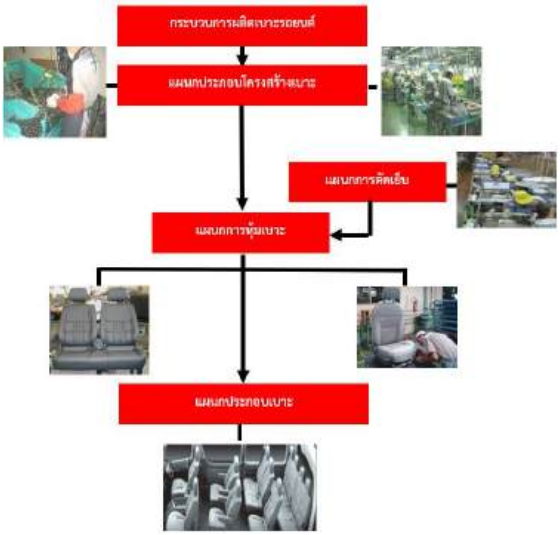
งานวิจัยของ ไพฑูรย์ ศรีโอษาร วิโรจน์ ตันติพิฐโธ และอมรเทพ ดอกไม้ [9] พยายามลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดยึดปีกนกคู่หน้ารถกระบะ โดยเฉพาะของเสียประเภทชิ้นงานแนบไม่สนิท ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของเสียมากที่สุดถึง 62.61% ของปริมาณของเสียทั้งหมดในสายการผลิต ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการถอดชิ้นงานจากอุปกรณ์จับยึดที่ยากลำบาก ทำให้พนักงานต้องใช้เหล็กแหลมงัดชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดชิ้นงานเสีย เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ผู้วิจัยได้นำ หลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ โดยเน้นออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้ง่ายขึ้น (S: Simplify) โดยเป็นอุปกรณ์ช่วยดันชิ้นงานด้วยระบบนิวเมติกส์เพื่อลดขั้นตอนการใช้เหล็กงัดชิ้นงาน ผลการดำเนินการปรับปรุงพบว่าสามารถลดของเสียลักษณะชิ้นงานแนบไม่สนิทได้จาก 62.61% เหลือ 2.87% คิดเป็น 95.44% ส่งผลให้ต้นทุนจากของเสียลดลงถึง 6,044,285 บาทต่อปี

งานวิจัยของ ภวัต วรงค์ธีรเดช, และ ศุภรัชชัย วรรัตน์ [10] พยายามลดปริมาณของเสียและต้นทุนจากของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยตั้งเป้าหมายให้สามารถลดของเสียได้มากกว่า 50% โดยใช้เครื่องมือ การวิเคราะห์การผลิตและการบำรุงรักษา (P-M Analysis) และแผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ในการวิเคราะห์สาเหตุของของเสีย และปรับปรุงกระบวนการผลิตร่วมกับหลักการทางวิศวกรรมแม่พิมพ์ จากการเก็บข้อมูลพบว่าปริมาณของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 33.80% ต่อเดือน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาและดำเนินการแก้ไขปรับปรุง พบว่าของเสียลดลงเหลือ 4.89% ต่อเดือน คิดเป็นอัตราการลดของเสียได้ 85.53% ต้นทุนของเสียก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 93,862 บาทต่อเดือน หลังปรับปรุงลดลงเหลือเพียง 14,157 บาทต่อเดือน คิดเป็น 84.91%

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สำรวจกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างมีทั้งหมด 4 แผนก ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ของบริษัทตัวอย่าง

จากรูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การประกอบโครงสร้างเบาะ (Assembly Process) เป็นขั้นตอนการนำผ้าชั้นในที่เย็บแล้วไปประกอบเข้ากับโครงเบาะโลหะหรือพลาสติกและติดตั้งโฟมรองรับเพื่อเพิ่มความนุ่มและการรองรับแรงกระแทก แล้วส่งไปรอประกอบที่แผนกหุ้มเบาะ

3.1.2 การเย็บเบาะ (Sewing Process) เริ่มจากขั้นตอนการเย็บฟองน้ำติดกับผ้าเพื่อเพิ่มความนุ่มและยืดหยุ่นจากนั้นเย็บประกอบเบาะที่นั่งและพนักพิงส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้

จักรเย็บอุตสาหกรรม แล้วเย็บป้ายข้อมูลและโลโก้ที่ติดบนเบาะรถยนต์ สุดท้ายเย็บพับชายกระเป๋าและเย็บเส้นใต้ผ้าตรวจสอบคุณภาพแล้วส่งไปขั้นตอนการประกอบเบาะ

3.1.3 การหุ้มเบาะ (Upholstery Covering Process) นำเบาะที่ส่งมาจากแผนกเย็บประกอบเข้ากับโครงที่ส่งมาจากแผนกประกอบโครงสร้างเบาะตรวจสอบคุณภาพ จากนั้นส่งไปยังแผนกการประกอบเข้ากับตัวรถยนต์

3.1.4 การประกอบเบาะ (Seat Assembly Process) นำเบาะรถยนต์ที่ผ่านการหุ้มเบาะประกอบเข้ากับรถยนต์ เป็นขั้นตอนสุดท้าย ทุกขั้นตอนในแต่แผนกใช้พนักงานฝ่ายผลิตในการตรวจสอบคุณภาพไปพร้อมกับการผลิตเพื่อลดต้นทุนในการจ้างพนักงานตรวจสอบคุณภาพหรือที่เรียกว่าการตรวจสอบคุณภาพโดยพนักงานฝ่ายผลิต (Production Quality Inspection)

3.2 สำรวจสภาพของปัญหา

จากข้อมูลการสำรวจกระบวนการผลิตผู้วิจัยทำการสำรวจข้อมูลของปัญหาที่เกิดในกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ 21 คัน โดยแต่ละคันมี 32 ชิ้นงาน รวมทั้งหมด 672 ตรวจพบของเสียในกระบวนการผลิต 10 ชิ้น คิดเป็น 1.49% โดยเกิดต้นทุนความสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ต้นทุนความสูญเสียจากการผลิตเบาะรถยนต์ 672 ชิ้น

รายการที่สูญเสีย	จำนวน (ชิ้นหรือหลา)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	คิดเป็นเงิน (บาท)
หนังแท้เสีย	10 ชิ้น	615 บาท/ชิ้น	6,150 บาท
ผ้าไวนิลเสีย	7 หลา	220 บาท/หลา	1,540 บาท
โฟม 5 มม.	7 หลา	120 บาท/หลา	840 บาท
โฟม 2 มม.	1 หลา	80 บาท/หลา	80 บาท
เวลาซ่อมงาน (ตัดผ้า)	8 ชั่วโมงแรงงาน	60 บาท/ชั่วโมงแรงงาน	480 บาท
เวลาซ่อมงาน (เย็บ)	7 ชั่วโมงแรงงาน	60 บาท/ชั่วโมงแรงงาน	420 บาท
เวลาซ่อมงาน (หุ้ม)	2 ชั่วโมงแรงงาน	60 บาท/ชั่วโมงแรงงาน	120 บาท
รวมต้นทุนความสูญเสีย			**9,630 บาท**

จากตารางที่ 1 พบว่าหนังแท้เสียหาย 10 ชิ้น คิดเป็นเงิน 6,150 บาท ผ้าไวนิลเสีย 7 หลา คิดเป็นเงิน 1,540 บาท และยังมีโฟม 5 มม. และ 2 มม. เสียหายรวม 920 บาท ทำให้ต้องมีการซ่อมแซมที่ใช้เวลาสูงถึง 17 ชั่วโมงแรงงาน คิดเป็นต้นทุนแรงงาน 1,020 บาท เมื่อนำมาคำนวณรวม ต้นทุนความสูญเสียทั้งหมดอยู่ที่ 9,630 บาท

3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการสำรวจสภาพของปัญหาพบว่าการเย็บล้มตะเข็บคู่เกิดการคด สาเหตุหลักเกิดจากการเย็บที่ไม่แม่นยำ สถานที่ปฏิบัติงานมีแสงสว่างที่ไม่เพียงพอ และการควบคุมแนวในการเย็บของพนักงานที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเย็บล้มตะเข็บคู่เกิดการคด

ปัญหาด้าน	คำถาม (ทำไม)	คำตอบ (สาเหตุของปัญหา)
วิธีการ	1.ทำไมแนวเย็บไม่ตรงและเกิดความคดเคี้ยว	1.เพราะแนวเย็บขึ้น-ลงไม่เสมอกัน และต้องใช้แรงดึงมากขณะเย็บ
	2.ทำไมแนวเย็บขึ้น-ลงไม่เสมอกัน และใช้แรงดึงมาก	2.ชิ้นงานบาง-หนาไม่เท่ากัน ทำให้ตีนผีเลื่อน และต้องใช้แรงดึงมาก
	3.ทำไมชิ้นงานบาง-หนาไม่เท่ากันส่งผลต่อการเย็บ	3.แนวเย็บมีมุมโค้ง และขณะเย็บต้องดึงผ้าเพื่อให้แนวตะเข็บตรง
	4.ทำไมต้องดึงผ้ามากเพื่อให้แนวตะเข็บตรง	4.ใช้สายตาเล็งได้ยาก ด้ายกับชิ้นงานมีสีเดียวกัน ทำให้มองไม่ชัด
	5.ทำไมมองแนวเย็บได้ยาก	5.การติดตั้งไฟจักรไม่เหมาะสม ทำให้เกิดเงามืดขณะเย็บ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเย็บล้มตะเข็บคู่เกิดการคด (ต่อ)

ปัญหาด้าน	คำถาม (ทำไม)	คำตอบ (สาเหตุของปัญหา)
อุปกรณ์	1.ทำไมแนวเย็บไม่ตรงและเกิดปัญหาตะเข็บคด	1.เพราะตีนผีเลื่อนไปมา และเครื่องเย็บไม่สามารถกดชิ้นงานแน่นได้
	2.ทำไมตีนผีเลื่อนและไม่กดชิ้นงานแน่น	2.เพราะชิ้นงานบางและหนาไม่เท่ากัน ทำให้แนวเย็บไม่เสถียร
	3.ทำไมชิ้นงานบางและหนาไม่เท่ากันส่งผลต่อการเย็บ	3.เพราะมุมโค้งของแนวเย็บทำให้ตีนผีไม่สามารถกดชิ้นงานได้ดี
	4.ทำไมต้องใช้สายตาเล็งแนวเย็บมากกว่าปกติ	4.เพราะตีนผีและชิ้นงานมีสีคล้ายกัน ทำให้มองแนวเย็บได้ยาก
	5.ทำไมการมองแนวเย็บยาก	5.เพราะแสงไฟจักรไม่เพียงพอ ทำให้เกิดเงามืดบริเวณที่เย็บ

3.4 กำหนดแนวทางการแก้ไข

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม พบปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียใน 2 ด้าน ประกอบด้วยปัญหาด้านวิธีการและด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ผู้วิจัยนำมากำหนดการแก้ไข ด้วยการใช้เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H

ปัญหาด้าน	คำถาม	คำตอบ	แนวทางการแก้ไข
วิธีการ	What (อะไร)	พบปัญหาการเย็บล้มตะเข็บคู่คด แนวเย็บไม่ตรง	ใช้ผ้าดิบรองเย็บ เพื่อลดแรงกระชากและปรับระดับตีนผีให้เหมาะสมกับความหนาของชิ้นงาน รวมถึง ใช้ฐานรองพิเศษ (Jig) ในบริเวณมุมโค้งเพื่อลดความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ แต้มสีขาวที่ปลายตีนผี เพื่อช่วยให้เล็งแนวเย็บง่ายขึ้น พร้อมติดตั้งไฟเพิ่มเติมเพื่อให้แสงสว่างเพียงพอ
	Why (ทำไม)	เพราะชิ้นงานบางและหนาไม่เท่ากัน ทำให้ควบคุมแนว[illegible]	
	Where (ที่ไหน)	บริเวณที่มีมุมโค้งของชิ้นงาน ซึ่งเย็บได้ยาก	
	When (เมื่อไหร่)	ระหว่างการเย็บ โดยเฉพาะเมื่อถึงมุมโค้ง-หนาแตกต่าง	
	Who (ใคร)	พนักงานเย็บที่ยังขาดทักษะและประสบการณ์	
	How (อย่างไร)	วิธีการเย็บที่ต้องใช้สายตาเล็งมากและต้องใช้แรงดึงสูง	
อุปกรณ์	What (อะไร)	พบปัญหาตีนผีเลื่อนทำให้กดชิ้นงานแน่น-แนวเย็บไม่ตรง	ปรับระดับตีนผีให้เหมาะสมกับความหนาของชิ้นงาน และ ใช้ฐานรองพิเศษ (Jig) ในบริเวณที่มีมุมโค้งเพื่อลดความคลาดเคลื่อน รวมถึง ใช้ตีนผีที่ออกแบบเฉพาะสำหรับเย็บชิ้นงานหนา พร้อมแต้มสีขาวที่ปลายตีนผี เพื่อเพิ่มจุดสังเกตุ ติดตั้งไฟเพิ่มเติมเพื่อลดเงามืดขณะทำงาน
	Why (ทำไม)	ชิ้นงานบางและหนาไม่เท่ากัน ทำให้แนวเย็บไม่เสถียร	
	Where (ที่ไหน)	บริเวณที่มีมุมโค้งและจุดที่ต้องเย็บบนชิ้นงานหนา	
	When (เมื่อไหร่)	ระหว่างเย็บ-เมื่อเปลี่ยนความหนาหรือเย็บแนวโค้ง	
	Who (ใคร)	พนักงานเย็บและช่างเทคนิคที่ดูแลเครื่องจักร	
	How (อย่างไร)	ปรับอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน	

3.5 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

จากการกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ผู้วิจัยนำมาดำเนินการแก้ไขในแต่ละประเด็นดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.5.1 ดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานเย็บล้มตะเข็บคู่เข้าไปในมุมมืดทำให้เห็นแนวเย็บล้มตะเข็บไม่ชัดเจนเนื่องจากตีนผีกับชิ้นงานสีดำเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะตีนผีก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 2 แสดงลักษณะตีนผีที่ใช้ในการเย็บล้มตะเข็บก่อนการปรับปรุง ซึ่งมีสีดำเหมือนกับชิ้นส่วนวัตถุดิบที่ทำเบาะส่งผลให้ขณะพนักงานทำงานการมองเห็นแนวตะเข็บไม่ชัดเจน ผู้วิจัยแก้ไขด้วยการแต้มสีขาวตรงปลายตีนผีเพื่อแยกสีของวัตถุดิบและตีนผี ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 ลักษณะตีนผีหลังการปรับปรุง

3.5.2 ดำเนินการแก้ไขปัญหาการควบคุมแนวตะเข็บให้ตรงแนวเย็บในทางขึ้นที่สูงแล้วลงมาที่ต่ำอยู่ในจุดโค้งพอดีทำให้ตีนผีหักเหไม่ตรงทิศทางการบังคับแนวตะเข็บไปยาก ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 การควบคุมแนวตะเข็บก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นปัญหาเรื่องระดับความหนาของแนวตะเข็บที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เมื่อนำไปเย็บล้มตะเข็บแบบคู่ แนวตะเข็บที่ได้มีระดับความสูงต่ำไม่เท่ากัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ใช้เศษผ้าดิบวางหนุนบริเวณด้านที่มีระดับความสูงมากกว่า เพื่อปรับระดับให้เรียบเสมอกันขณะเย็บ ซึ่งแนวทางนี้ช่วยให้แนวตะเข็บมีระดับสม่ำเสมอมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 การควบคุมแนวตะเข็บหลังการปรับปรุง

3.5.3 ดำเนินการแก้ไขปัญหาแสงจากหลอดไฟที่ตกกระทบชิ้นงานองศาการติดตั้งไม่เหมาะสมทำให้แสงของไฟสาดเข้าไปยังชิ้นงานเป็นเงาซ้อน และไม่ทั่วทุกจุดของชิ้นงาน ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากขาปรับของหลอดไฟปรับองศาได้น้อย ดังแสดงได้ในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ลักษณะการเกิดเงาก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะการเกิดเงามืดจากองศาการส่องสว่างของหลอดไฟไม่ทั่วทุกจุดของชิ้นงาน ผู้วิจัยแก้ไขปัญหาด้วย การเปลี่ยนอุปกรณ์หลอดไฟที่สามารถปรับความโค้งของหลอดไฟ ส่องสว่างทางด้านหน้า และด้านข้างได้ ดังแสดงได้ในรูปที่ 7

รูปที่ 7 ลักษณะอุปกรณ์หลอดไฟหลังการปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเย็บล้มตะเข็บคู่ คด พบว่าอัตราของเสียลดลงจาก 1.49% เหลือ 0% โดยจำนวนชิ้นงานของเสียลดจาก 10 ชิ้นต่อการผลิต 672 ชิ้นงาน เป็น 0 ชิ้น ทำให้ต้นทุนความสูญเสียลดลงอย่างเห็นได้ชัด ก่อนการปรับปรุงต้นทุนที่เสียหายอยู่ที่ 9,630 บาทต่อเดือน แต่หลังการปรับปรุงลดลงเหลือเพียง 0 บาทต่อเดือน คิดเป็นการลดต้นทุนได้ 100% นอกจากนี้ เวลาทำงานที่สูญเสียจากการซ่อมงาน ซึ่งเคยอยู่ที่ 17 ชั่วโมงต่อเดือน ถูกกำจัดไปทั้งหมด คิดเป็นการลดลง 100%

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสียในกระบวนการเย็บเบาะรถยนต์ของบริษัทตัวอย่าง พบว่าการนำแนวทางของวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้สามารถลดอัตราของเสียจาก 1.49% เป็น 0% ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคที่ใช้ได้แก่ เทคนิค 5 Why การตั้งคำถาม 5W1H เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากทักษะของพนักงาน การมองเห็นแนวเย็บ และคุณสมบัติของวัสดุ การปรับปรุงที่ดำเนินการ เช่น การเพิ่มแสงสว่าง การใช้ผ้าดิบช่วยเสริม และการแต้มสีขาวที่ปลายตีนผีจักร ส่งผลให้ต้นทุนที่สูญเสียลดลงจาก 9,630 บาทต่อเดือน เหลือ 0 บาท รวมถึงลดเวลาการแก้ไขงานจาก 17 ชั่วโมงต่อเดือนเป็น 0 ชั่วโมง ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้แนวทางทางวิศวกรรมอุตสาหการในการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังช่วยเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในอุตสาหกรรมยานยนต์ อย่างไรก็ตาม ควรมีการติดตามผลในระยะยาวเพื่อให้มั่นใจว่าการปรับปรุงที่ดำเนินการสามารถรักษามาตรฐานได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงการพัฒนาทักษะของพนักงานอย่างต่อเนื่องเพื่อลดโอกาสในการเกิดของเสียใหม่ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการลดของเสียในกระบวนการเย็บเบาะรถยนต์ แต่ควรมีการติดตามผลอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มั่นใจว่าการปรับปรุงยังคงมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ควรพัฒนาทักษะของพนักงานผ่านการฝึกอบรม และใช้เทคโนโลยีช่วยในการผลิตเพื่อลดข้อผิดพลาด ควรปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน เช่น แสงสว่างและอุปกรณ์ที่ช่วยให้การเย็บแม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงขยายแนวทางนี้ไปสู่กระบวนการผลิตอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งระบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งช่วยแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการวิจัย รวมถึงบริษัทตัวอย่างที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและผู้วิจัยร่วมที่ให้การสนับสนุนตลอดกระบวนการ ขอแสดงความขอบคุณต่อครอบครัวและผู้สนับสนุนทุกท่านที่เป็นกำลังใจสำคัญในการทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Lu, W. M., Chou, C. H., Ting, I. W. K., & Liu, S. M. A New Integrated Approach for Evaluating Sustainable Development in the Electric Vehicle Sector. Omega, Elsevier, (2025).

[2] Kobberstad, M. J., Lee, J., Kumar, P., & Yang, H. Model-based embedded system development process for seating applications. SAE Technical Papers, (2025).

[3] Ohno, T., Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. CRC Press, (1988).

[4]. Ishikawa, K., What is Total Quality Control? The Japanese Way. Prentice Hall, (1985).

[5] Womack, J., & Jones, D., Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press, (1996).

[6] Montgomery, D. C., Introduction to Statistical Quality Control. Wiley, (2009).

[7] Liker, J. K., The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill Education, (2004).

[8] Apriani, A., Production Efficiency Improvement in Furniture Industry Using 5W1H Technique. Mercu Buana Repository, (2024).

[9] ไพฑูรย์ ศรีโอฬาร, วิโรจน์ ตันติพิฐโธ, และ อมรเทพ ดอกไม้, การลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดยึดปีกนกคู่หน้ารถกระบะ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 4(1), 66-73., (2563).

[10] ภวัต วรงค์ธีรเดช และ ศุภรัชชัย วรรัตน์., การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. วารสารวิจัยทางวิศวกรรม, 11(17), 220-235., (2564).

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานเพื่อลดเวลาในกระบวนการประกอบคลิปยึดอุปกรณ์แผงตกแต่งภายในรถยนต์

Designing an assistive device to reduce assembly time: A clip for securing interior trim components in automobiles

สุทธิดา การะเวก[1] วัชรากร พูลบุตร[2] ปฐพี บัวศรี[3] สราวุธ อิศรานุวัฒน์[4] และ ยุทธณรงค์ จงจันทร์[5*]
[1,2,3,5] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

Sutthida Karawek[1] Wacharakorn Phunbut[2] Patapee Buasri[3] Sarawut Itsaranuwat[4] and Yuthanarong Jongjun[5*]
[1,2,3,5] Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[4]Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University
E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตในกระบวนการประกอบคลิปยึดอุปกรณ์ตกแต่งภายในรถยนต์ โดยใช้การวิเคราะห์ปัญหาเชิงลึกและแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งปัจจุบันพบว่าการประกอบมีรอบเวลา 15 วินาทีต่อชิ้น และยังพบปัญหาด้านความเมื่อยล้า อาการปวดมือ และความไม่สม่ำเสมอของแรงกด ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน กระบวนการแก้ไขปัญหาดำเนินการผ่านหลักการวงจรของเดมมิ่ง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลักด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ซึ่งพบว่าพนักงานทำงานด้วยการออกแรงต่อเนื่องเป็นเวลานานและการใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสม จากนั้นกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H เริ่มต้นจากแนวทางที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์แท่งมาช่วยกดชิ้นงานเพื่อลดแรงกดในการทำงานของพนักงาน แต่ยังไม่สามารถลดเวลาการทำงานได้ และคงทำให้เกิดความเมื่อยล้า แนวทางที่ 2 ออกแบบเครื่องมือกดอัตโนมัติที่ใช้แรงดันลมแทนแรงงานคนพร้อมขยายบล็อกวางเพื่อเพิ่มจำนวนให้สามารถกดได้ครั้งละ 3 ชิ้น ผลการปรับปรุงพบว่ารอบเวลาการประกอบลดลงจาก 15 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 5 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นลดลง 66.67%

คำหลัก วงจรคุณภาพ คลิปยึดอุปกรณ์ตกแต่งภายในรถยนต์ การตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

Abstract

This research aims to reduce the cycle time in the assembly process of interior trim clip components for automobiles by conducting in-depth problem analysis and implementing process improvement strategies to enhance operational efficiency. Currently, the assembly cycle time is 15 seconds per unit, with issues such as operator fatigue, hand pain, and inconsistent pressing force, all of which potentially affect product quality. The problem-solving process was conducted based on Deming's Cycle, beginning with root cause analysis using the “5 Whys” technique. The analysis revealed that operators exert force continuously over long periods and use inappropriate tools. Subsequently, solutions were formulated using the 5W1H approach. The first

solution involved designing a manual pressing tool to reduce the physical force required from operators; however, this did not improve the cycle time and fatigue issues remained. The second solution involved designing a pneumatic pressing tool that replaced manual force and included an expanded fixture to accommodate three pieces at once. The improvement resulted in a reduction of the assembly cycle time from 15 seconds per unit to 5 seconds per unit, representing a 66.67% decrease.

Keywords: Quality Control Circle, Interior trim mounting clip for automobiles, Why-Why Analysis

1. บทนำ

แนวโน้มตลาดชิ้นส่วนรถยนต์ในประเทศไทยปี 2567 มีทั้งโอกาสและความท้าทาย โดยกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าสำเร็จรูป (Original Equipment Manufacturer: OEM) มีแนวโน้มหดตัวลงอย่างต่อเนื่องจากปริมาณการผลิตรถยนต์ที่ลดลง ในขณะที่กลุ่มประเภทชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Equipment Manufacturer: REM) ยังคงเติบโต เนื่องจากความต้องการซ่อมบำรุงรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมนี้ยังต้องเผชิญกับปัจจัยต่าง ๆ ที่กำลังเปลี่ยนแปลงทิศทางของตลาดโดยรวม ดังนั้นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยจำเป็นต้องปรับตัว พัฒนาเทคโนโลยีและสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อคงความสามารถในการแข่งขันในตลาดที่กำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว [1]

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับช่วงต่อในการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตบแต่งภายในรถยนต์ โดยใช้อุปกรณ์คลิปยึดประกอบกัน 2 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ชิ้นส่วนคลิปยึดอุปกรณ์ตบแต่งภายในรถยนต์

จากรูปที่ 1 แสดงคลิปยึดอุปกรณ์ตบแต่งภายในรถยนต์ซึ่งก่อนการประกอบชิ้นส่วนจะแยกมาเป็น 2 ชิ้น ก่อนการใช้งานพนักงานจะนำมาประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้นิ้วกด ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะการประกอบคลิปก่อนนำไปใช้งาน

จากรูปที่ 2 แสดงการประกอบคลิปยึดอุปกรณ์ตบแต่งภายในรถยนต์ พนักงานจะทำการหยิบชิ้นส่วนที่เป็นหัวคลิปว่างให้ตรงรูของปริ้นล๊อคแล้วออกแรงกดให้สุด ปัจจุบันใช้เวลาในการประกอบเฉลี่ย 15 วินาทีต่อชิ้น ใน 1 วัน พนักงานสามารถประกอบชิ้นส่วนได้เฉลี่ย 1,920 ชิ้น และเมื่อผู้วิจัยเก็บข้อมูลแรงกดในการทำงานของพนักงาน สามารถแสดงได้ตังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แรงกดสะสมในการทำงานก่อนปรับปรุง

จำนวนการกด (ชิ้น)	ลักษณะอาการของพนักงาน	แรงกดสะสม (กิโลกรัมแรง)
1-25	ยังไม่มีอาการ	110
26-45	ยังไม่มีอาการ	210
46-65	ยังไม่มีอาการ	310
66-85	เริ่มปวดนิ้ว	410
86-120	เริ่มปวดนิ้ว	510
121-140	เริ่มมีอาการเจ็บ	560
141-160	เจ็บนิ้วต่อเนื่อง	640

จากตารางที่ 1 แสดงลักษณะอาการที่เกิดจากการสะสมแรงกดในการทำงานของพนักงานจากจำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการประกอบคลิปยึดอุปกรณ์ตบแต่งภายในรถยนต์เพื่อลดความเมื่อยล้าและรอบเวลาในการทำงานโดยการออกแบบจัดสร้างอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้กับพนักงาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชิ้นส่วนรถยนต์

กระบวนการผลิตสินค้าสำเร็จรูป Original Equipment Manufacturer (OEM) [2] เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการ

ผลิตสินค้าสำเร็จรูป โดยทำหน้าที่ผลิตชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ให้กับบริษัทอื่นเพื่อนำไปใช้ในการประกอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีผู้ผลิตชิ้นส่วนอย่าง Bosch หรือ Denso ผลิตอุปกรณ์ให้กับบริษัทรถยนต์ชั้นนำ เช่น Toyota และ BMW การดำเนินงานของ OEM สอดคล้องกับ แนวคิดห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain Theory) ซึ่งระบุว่า OEM เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตที่ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าการผลิตในรูปแบบ OEM ยังใช้ ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ของ Taiichi Ohno ซึ่งเน้นการลดของเสียและการใช้ระบบ Just-in-Time (JIT) เพื่อลดปริมาณสินค้าคงคลังและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอย่างไรก็ตาม ความท้าทายของ OEM คือการแข่งขันสูงและการต้องปรับตัวให้ทันกับเทคโนโลยีใหม่ เช่น AI และ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารห่วงโซ่อุปทาน (SCM) [3]

2.2 วงจรคุณภาพ

วงจรคุณภาพ (Quality Circle) เป็นแนวคิดในการพัฒนาองค์กรที่เน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานผ่านการทำงานเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เพื่อระบุปัญหา วิเคราะห์ และหาแนวทางปรับปรุงคุณภาพในที่ทำงาน แนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่นและถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีหลักการสำคัญคือการมีส่วนร่วมของพนักงาน การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการตัดสินใจโดยใช้ข้อมูล วงจรคุณภาพมักใช้ PDCA Cycle (Plan-Do-Check-Act) เพื่อวางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ องค์กรที่นำแนวคิดนี้ไปใช้ เช่น Toyota, Motorola และ HSBC ต่างได้รับประโยชน์ในการลดของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพ และปรับปรุงกระบวนการทำงาน ข้อดีของวงจรคุณภาพคือช่วยเพิ่มความร่วมมือในองค์กร สร้างแรงจูงใจ และพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของพนักงาน อย่างไรก็ตาม หากขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารอาจทำให้ผลลัพธ์ไม่ยั่งยืน แม้ว่าวงจรคุณภาพจะมีข้อจำกัด แต่ก็ยังคงเป็นเครื่องมือสำคัญในด้านการบริหารคุณภาพและการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง [4]

2.3 ความสูญเสีย 7 ประการ

ความสูญเสีย 7 ประการ (Seven Wastes) หรือ มูดะ (Muda) เป็นแนวคิดสำคัญของ ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ที่พัฒนาโดย Taiichi Ohno แห่งบริษัท Toyota โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิต ความสูญเสีย 7 ประเภท ได้แก่ การผลิตเกินจำเป็น สินค้าคงคลังเกิน การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น กระบวนการที่ซ้ำซ้อน การขนส่งที่ไม่จำเป็น การรอคอย และของเสียจากการผลิต การลดของเสียเหล่านี้ช่วยให้องค์กรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและบริการ ระบบ Toyota Production System (TPS) และแนวคิด Kaizen ใช้หลักการนี้เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าให้กับลูกค้า การนำแนวคิดนี้ไปใช้ไม่ได้จำกัดแค่ภาคการผลิตเท่านั้น แต่ยังสามารถปรับใช้กับธุรกิจบริการ โลจิสติกส์ และสาธารณสุข เช่น โรงพยาบาลที่ใช้เพื่อลดเวลารอของผู้ป่วย การลดความสูญเสียเป็นกุญแจสำคัญขององค์กรที่ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง [5]

2.4 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเมื่อยล้าการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน (Work Assistive Device Design) มีบทบาทที่มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรม โดยช่วยลดภาระของพนักงาน เพิ่มประสิทธิภาพ และลดอาการเมื่อยล้า อุปกรณ์เหล่านี้ถูกออกแบบตามหลัก การยศาสตร์ (Ergonomics) ซึ่งมุ่งเน้นให้เหมาะสมกับร่างกายของผู้ใช้งานเพื่อลดความเสี่ยงจากอาการบาดเจ็บ นอกจากนี้ แนวคิด การบริหารการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ของ Taiichi Ohno ยังถูกนำมาใช้เพื่อช่วยลดเวลาการทำงาน ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ระบบอัตโนมัติ (Automation Systems) ถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ช่วยทำงานเพื่อช่วยลดแรงงานคนและเพิ่มความแม่นยำ เช่น การใช้ เครื่องมือกดแบบใช้ลม (Pneumatic Pressing Tool) เพื่อลดแรงกดของพนักงานหรือแขนกลอุตสาหกรรม (Robotic Arm) ที่ช่วยในการยกของหนัก นอกจากนี้ การออกแบบอุปกรณ์ต้องคำนึงถึง ความปลอดภัย (Safety Design), ความคุ้มค่า (Cost Efficiency), และความสะดวกในการใช้งาน (User-Friendly Design) การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยทำงานยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง โดยในอนาคต AI และ IoT จะเข้ามามีบทบาทมากขึ้น ทำให้อุปกรณ์

สามารถปรับตัวและเรียนรู้จากกระบวนการทำงานแบบเรียลไทม์ การออกแบบที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น ลดภาระของพนักงาน และเพิ่มขีดความสามารถของอุตสาหกรรมให้แข่งขันได้ในระดับสากล [6]

2.5 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) ที่พัฒนาโดย Sakichi Toyoda และใช้ในระบบ Toyota Production System (TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า "ทำไม" อย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน การถามคำถาม "ทำไม" ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุแท้จริงคือการขาดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ข้อดีของเทคนิคนี้คือความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ควรใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น Ishikawa Diagram เพื่อความแม่นยำมากขึ้น หลังจากวิเคราะห์ด้วย 5 Whys แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การจัดทำแผน PM หรืออบรมพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ ทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน [7]

2.6 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการตั้งคำถาม 5W1H

เทคนิค 5W1H เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยใช้คำถาม 6 ข้อ ได้แก่ What (ทำอะไร), Why (ทำไม), Who (ใคร), Where (ที่ไหน), When (เมื่อไหร่) และ How (อย่างไร) เพื่อตรวจสอบและระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบและเข้าใจถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ช่วยในการตัดสินใจที่มีข้อมูลสนับสนุนอย่างเพียงพอ งานวิจัยของ [8] นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์เพื่อระบุสาเหตุของความสูญเปล่า เช่น การขนย้ายวัสดุที่ไม่จำเป็นและการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ 5W1H สามารถลดของเสียลงได้ถึง 15% และเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 20% โดยการตั้งคำถามเชิงโครงสร้างช่วยในการระบุปัญหาหลักและแนวทางการปรับปรุงอย่างตรงจุด นอกจากนี้ เทคนิคนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากร ซึ่งส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรมการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานในสายการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ลดรอบเวลา และความเมื่อยล้า ให้กับพนักงานได้ จึงมีงานวิจัยมากมายที่เป็นแนวในการปรับปรุง เช่น

งานวิจัย กฤษฎา วงศ์วรรณ์ และ วิมลิน เหล่าศิริถาวร [9] ที่ปรับปรุงผลิตภาพในการผลิตประตู-หน้าต่าง ด้วยเทคนิคการศึกษาเคลื่อนไหวและเวลา โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตประตูและหน้าต่าง โดยใช้เทคนิคการศึกษาเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study) เพื่อวิเคราะห์และลดความสูญเปล่าในสายการผลิต การศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตเดิมมีขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ทำให้ใช้เวลามากกว่าที่ควร จึงนำแนวคิด ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) มาใช้เพื่อลดและปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน นอกจากนี้ยังมีการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน (Fixture Design) เพื่อช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกขึ้น ผลการปรับปรุงพบว่า เวลาทำงานของพนักงานลดลง 20-30% และผลิตภาพโดยรวมเพิ่มขึ้น การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์กระบวนการทำงานสามารถช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดเวลาการทำงาน และเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยของ ทศพร อัศวรังสี และ ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง, [10] พยายามพัฒนาโมดูลหยิบจับชิ้นงาน (Gripper Module) สำหรับเครื่อง CNC Machining Center เพื่อลดข้อผิดพลาดในการจับชิ้นงานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ออกแบบอุปกรณ์ โดยอาศัยวิธีการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Methodology) โดยทำการศึกษา แรงจับยึด (Gripping Force), การเคลื่อนที่ของโมดูล, และความแม่นยำของการวางตำแหน่ง การทดลองพบว่า โมดูลหยิบจับแบบใหม่สามารถลดเวลาการจับชิ้นงานลงจาก 6.2 วินาที

เหลือ 3.8 วินาที ซึ่งคิดเป็นการลดลง 38.7% นอกจากนี้ ความแม่นยำของการหยิบจับเพิ่มขึ้นจาก ±0.5 มม. เป็น ±0.2 มม. ส่งผลให้ข้อผิดพลาดในการจัดวางชิ้นงานลดลง 60% และช่วยลดจำนวนครั้งที่ต้องปรับตั้งชิ้นงานใหม่จาก 15 ครั้งต่อวันเหลือเพียง 6 ครั้งต่อวัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สำรวจกระบวนการผลิต

คลิปยึด (PART CLIP REAR ROOF) เป็นชิ้นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ใช้ยึดแผงตกแต่งภายในรถยนต์ (TRIM PLATE A RR/B) กับโครงสร้างรถยนต์ เพื่อป้องกันการหลุดและช่วยให้ชิ้นส่วนแน่นหนา รองรับแรงสั่นสะเทือน ลดเสียงรบกวน และเสริมความแข็งแรงของเบาะนั่ง ช่วยให้การติดตั้งรวดเร็วขึ้น ลดเวลาการขันสกรูหรือเชื่อมติด ทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพ ใช้แทนสกรูหรือกาวเพื่อให้ถอดประกอบง่ายและสะดวกต่อการซ่อมบำรุง โดยมีกระบวนการหลังจากประกอบคลิปยึดเสร็จแล้วนำไปยึดกับแผงตกแต่งภายในรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 กระบวนการยึดคลิปกับแผงตบแต่งรถยนต์

จากรูปที่ 3 แสดงกระบวนการเย็บคลิปยึดกับแผงกั้นรถยนต์ของสายการผลิตกรณีศึกษาซึ่งแผงตบแต่งรถยนต์แต่ละผืนจะใช้คลิปยึดจำนวนมาก-น้อย แตกต่างกันไปตามจำนวนจุดที่ทำการยึด โดยก่อนที่จะทำการเย็บพนักงานจะต้องใส่คลิปเข้ากับแผ่นล๊อคก่อนโดยปัจจุบันพนักงานใช้วิธีการกดด้วยนิ้วมือทีละชิ้นมีรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) 15 วินาทีต่อชิ้น

3.2 ศึกษาสภาพของปัญหา

จากข้อมูลกระบวนการผลิตผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากสภาพของปัญหา พบว่าเวลาการทำงานเฉลี่ยปกติต่อวันของพนักงานคือ 28,800 วินาที รอบเวลาการผลิต 15 วินาทีต่อชิ้น เพราะฉะนั้น 1 วัน พนักงานจะสามารถเตรียมคลิปที่ต้องใช้ในกระบวนการเย็บติดกับแพงตกแต่งภายในรถยนต์ได้ 1,920 ชิ้น/พนักงาน 1 คน แต่การใช้จริงต้องการ 3,000 ชิ้นต่อวันในสายการประกอบอุปกรณ์ตบแต่ง ปัจจุบันจึงใช้พนักงานในการเตรียมงานส่วนคลิปยึดทั้งหมด 2 คน เพื่อทำงานและเตรียมคลิปยึดสต๊อกไว้ในส่วนของวัสดุคงคลัง

3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไข

จากข้อมูลของการศึกษาสภาพของปัญหาในกระบวนการประกอบคลิปยึดแผงตบแต่งภายในรถยนต์ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยอาศัยเครื่องมือในการตั้งคำถาม-ตอบ ด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

ปัญหา	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	ทำไม 5
เสียเวลาในการกดคลิปยึด	พนักงานต้องใช้มือกด	พนักงานต้องออกแรงกดเยอะ	ตัวคลิปมีขนาดใหญ่กว่ารูแผ่นรองมาก	เพื่อให้การประกอบมีความแน่น	ตัวคลิปไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้นิ้วกด
พนักงานเมื่อยล้าและเจ็บนิ้วมือ	ต้องใช้แรงในการกดเยอะ	ขาดอุปกรณ์ช่วยในการกดคลิป	ขาดการพัฒนาอุปกรณ์	ไม่มีนโยบายในการพัฒนา	ไม่มีหัวหน้าฝ่ายเสนอผู้บริหาร

จากตารางที่ 2 ปัญหาการเสียเวลาในการกดคลิปยึด และปัญหาพนักงานเมื่อยล้าและเจ็บนิ้วมือ เกิดจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน เริ่มจากพนักงานต้องใช้แรงมากในการกดคลิป เนื่องจากตัวคลิปมีขนาดใหญ่และต้องออกแบบมาให้แน่นเพื่อให้การประกอบมีความมั่นคง อย่างไรก็ตาม การที่ต้องใช้แรงมากเกิดจากการขาดอุปกรณ์ช่วยในการกดคลิป ซึ่งส่งผลให้พนักงานต้องออกแรงมากเกินไป จนเกิดอาการเมื่อยล้าและเจ็บนิ้วมือ อีกสาเหตุสำคัญคือ ขาดการพัฒนาอุปกรณ์ช่วย ซึ่งเกิดจากองค์กรไม่มีนโยบายสนับสนุนในการพัฒนาเครื่องมือที่เหมาะสมกับการทำงาน นอกจากนี้ยังไม่มีหัวหน้าฝ่ายที่ทำหน้าที่เสนอแนวทางการปรับปรุงให้กับผู้บริหาร ส่งผลให้ไม่มีการปรับปรุงและยังคงสร้างภาระให้กับพนักงาน

อย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจากการวิเคราะห์ผู้วิจัยนำมากำหนดแนวทางแก้ไขด้วยเทคนิค 5W1H ดังแสดงในตารางที่ 3

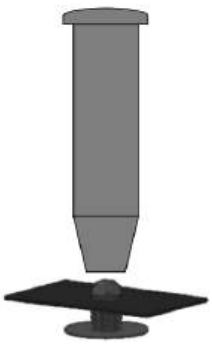
ตารางที่ 3 การกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H

5W1H	แนวทางการแก้ไข
What (ทำ อะไร)	ปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยกดคลิปยึดหรือออกแบบเครื่องมือช่วยเพื่อลดแรงกดของพนักงาน
Why (ทำ ทำไม)	เพื่อช่วยลดเวลาในการประกอบ ลดอาการเมื่อยล้า และลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของพนักงาน
Who (ใคร เป็นคนทำ)	ฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์ ควรร่วมมือกับฝ่ายผลิตเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ใหม่
Where (ทำ ที่ไหน)	สายงานประกอบหรือจุดทำงานที่พนักงานต้องใช้แรงกดคลิปยึดเป็นประจำ
When (ทำ เมื่อไหร่)	ควรดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยกดทันที และทดสอบการใช้งานภายในระยะเวลา 1 เดือน
How (ทำ อย่างไร)	1. ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ช่วยกดคลิปจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2. ออกแบบและทดสอบต้นแบบเครื่องมือช่วยกดคลิปที่ลดแรงกด 3. ทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลความคิดเห็นจากพนักงาน 4. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานจริง

จากตารางที่ 3 สรุปได้ว่าแนวทางการแก้ไขปัญหาการเสียเวลาในการกดคลิปยึดและอาการเมื่อยล้าของพนักงานสามารถทำได้โดย การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการกดคลิปเพื่อให้พนักงานออกแรงน้อยลงและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ ฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์ควรร่วมมือกันพัฒนาเครื่องมือช่วยกดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความเมื่อยล้า และลดระยะเวลาในกระบวนการประกอบคลิปยึด

3.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

การกำหนดแนวทางการแก้ไขมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการทำงานเพื่อลดความเมื่อยล้าและอาการเจ็บนิ้วของพนักงาน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน

จากรูปที่ 4 ผู้วิจัยนำไปจัดสร้างเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ โดยทำการดัดแปลงแท่งเจาะ (Drill) ของเครื่องเจาะอัตโนมัติ (Auto M/C) ที่ใช้งานไม่ได้แล้วมาเป็นอุปกรณ์ช่วยในการกดคลิปเข้ากลับแผนล๊อค แล้วเปลี่ยนมาใช้อุ้งมือแทนการใช้นิ้วมือในการกดประกอบงาน จับเวลาการทำงานได้ 13 วินาทีต่อชิ้น ลดลง 2 วินาทีต่อชิ้น เก็บข้อมูลแรงกดในการทำงานของพนักงาน สามารถแสดงได้ตังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แรงกดสะสมในการทำงานหลังปรับปรุง

จำนวนการกด (ชิ้น)	ลักษณะอาการของพนักงาน	แรงกดสะสม (กิโลกรัมแรง)
1-25	ยังไม่มีอาการ	110
26-45	ยังไม่มีอาการ	210
46-65	ยังไม่มีอาการ	310
66-85	ยังไม่มีอาการ	410
86-120	เริ่มปวดอุ้งมือ	510
121-140	เริ่มปวดอุ้งมือ	560
141-160	เจ็บอุ้งมือต่อเนื่อง	640

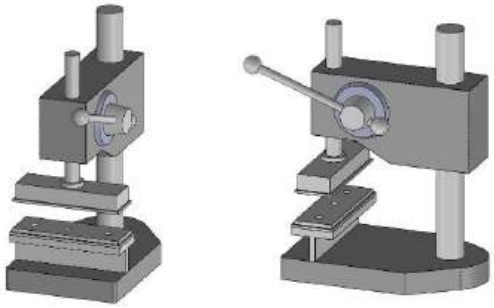
จากข้อมูลในตารางที่ 4 พบว่าการกดชิ้นงานจำนวนมากขึ้นส่งผลให้แรงกดสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยในช่วงแรก (1-65 ชิ้น) พนักงานยังไม่มีอาการผิดปกติ แม้ว่าแรงกดสะสมจะเพิ่มขึ้นจาก 110 เป็น 310 กิโลกรัมแรง อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนการกดเพิ่มขึ้นเป็น 86-120 ชิ้น พนักงานเริ่มปวดอุ้ง

มือ และแรงกดสะสมสูงถึง 510 กิโลกรัมแรง เมื่อจำนวนการกดเพิ่มขึ้นไปถึง 141-160 ชิ้น พนักงานมีอาการเจ็บอุ้งมือต่อเนื่อง และแรงกดสะสมสูงถึง 640 กิโลกรัมแรง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนการกดสัมพันธ์กับอาการปวดและเจ็บอุ้งมือ ส่งผลต่อสุขภาพของพนักงานในระยะยาว จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยทำการระดมสมองจากพนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขครั้งที่ 2 ด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ครั้งที่ 2

5W1H	แนวทางการแก้ไข
What (ทำ อะไร)	ปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยกดคลิปยึดหรือออกแบบเครื่องมือช่วยเพื่อลดแรงกดของพนักงาน ครั้งที่ 2
Why (ทำ ทำไม)	การปรับปรุงครั้งที่ 1 รอบเวลาลดลงเล็กหน่อยแต่พนักงานยังเกิดความเมื่อยล้า และมีอาการเจ็บอุ้งมือเมื่อทำงานสะสม
Who (ใคร เป็นคนทำ)	ฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์ ควรร่วมมือกับฝ่ายผลิตเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ใหม่
Where (ทำ ที่ไหน)	สายงานประกอบหรือจุดทำงานที่พนักงานต้องใช้แรงกดคลิปยึดเป็นประจำ
When (ทำ เมื่อไหร่)	ควรดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยกดทันที และทดสอบการใช้งานภายในระยะเวลา 1 เดือน
How (ทำ อย่างไร)	1. ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ช่วยกดคลิปจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2. ออกแบบและทดสอบต้นแบบเครื่องมือช่วยกดคลิปที่ไม่ต้องใช้แรงกดจากพนักงานโดยตรงและได้มากกว่า 1 ชิ้นต่อครั้ง 3. ทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลความคิดเห็นจากพนักงาน 4. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานจริง

จากข้อมูลในตารางที่ 5 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาการกดคลิปยึดซ้ำ ๆ ซึ่งส่งผลให้พนักงานเกิดอาการเจ็บข้อมือจากแรงกดสะสม การแก้ไขในครั้งที่ 2 จะเน้นปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยกดหรือออกแบบเครื่องมือเพื่อลดแรงกดของพนักงาน ฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการ โดยการออกแบบและทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือให้สามารถลดความเมื่อยล้า อาการเจ็บจากการทำงานสะสม และได้งานมากกว่า 1 ชิ้นจากการทำงาน 1 ครั้ง รวมถึงการพยายามพัฒนาเครื่องมือให้ใช้งานจริงในสายการผลิต ทั้งนี้ ควรเร่งดำเนินการภายในระยะเวลา 1 เดือนเพื่อช่วยลดอาการบาดเจ็บของพนักงาน การออกแบบครั้งที่ 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์ต้นแบบจากการปรับปรุงครั้งที่ 2

จากรูปที่ 6 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานต้นแบบจากการปรับปรุงครั้งที่ 2 เป็นอุปกรณ์ช่วยในการทำงานกดคลิปยึดที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อลดแรงกดของพนักงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ตัวเครื่องมีโครงสร้างแข็งแรง ประกอบด้วยแท่นวางชิ้นงานที่เป็นลักษณะหลุมเพื่อใช้วางชิ้นงานจำนวน 3 หลุม และชุดกดที่ทำงานด้วยมือลักษณะเป็นแบบคันโยกแรงกดส่งจากชุดกลไกลด้านข้างส่งมายังจุดศูนย์กลางของแผ่นกดเพื่อให้แรงกดมีความสม่ำเสมอและแม่นยำ นอกจากนี้ เครื่องยังถูกออกแบบให้เหมาะสมกับสรีระของพนักงาน ช่วยลดภาระของข้อมือและกล้ามเนื้อแขน ส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดอาการบาดเจ็บในระยะยาว

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานกระบวนการประกอบคลิบยึดแผงตบแต่งรถยนต์แล้วนำไปจัดสร้างเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ แล้วนำไปทดสอบใช้จริงในการผลิต โดยมีขั้นตอนในการทำงาน เริ่มจาก

ขั้นตอนที่ 1 หยิบคลิปและแผ่นล็อคชุดที่ 1 วางบนหลุมที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 หยิบคลิปและแผ่นล็อคชุดที่ 2 วางบนหลุมที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 หยิบคลิปและแผ่นล็อคชุดที่ 3 วางบนหลุมที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 กดคันโยกอุปกรณ์ให้สุด
ขั้นตอนที่ 5 หยิบคลิปยึดออกจากอุปกรณ์

ผลการเก็บข้อมูลใช้เวลาในการทำงาน 15 วินาทีต่อ 3 ชิ้น หรือเฉลี่ย 5 วินาทีต่อชิ้น และผลการเก็บแรงกดสะสมของพนักงาน สามารถแสดงได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แรงกดสะสมในการทำงานหลังปรับปรุงครั้งที่ 2

จำนวนการกด (ชิ้น)	ลักษณะอาการของพนักงาน	แรงกดสะสม (กิโลกรัมแรง)
1-25	ยังไม่มีอาการ	110
26-45	ยังไม่มีอาการ	210
46-65	ยังไม่มีอาการ	310
66-85	ยังไม่มีอาการ	410
86-120	ยังไม่มีอาการ	510
121-140	ยังไม่มีอาการ	560
141-160	เมื่อยแขนเล็กน้อย	640

จากข้อมูลในตารางที่ 5 แสดงแรงกดสะสมในการทำงานหลังการปรับปรุงครั้งที่ 2 พบว่าการกดชิ้นงานในช่วงแรก (1-120 ชิ้น) พนักงานยังไม่มีอาการผิดปกติ แม้ว่าปริมาณแรงกดสะสมจะเพิ่มขึ้นจาก 110 เป็น 560 กิโลกรัมแรง แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยกดสามารถลดภาระของพนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนการกดเพิ่มขึ้นเป็น 141-160 ชิ้น พบว่าพนักงานเริ่มมีอาการเมื่อยแขนเล็กน้อย และแรงกดสะสมเพิ่มขึ้นเป็น 640 กิโลกรัมแรง ซึ่งยังถือว่ามีแนวโน้มที่ดีกว่าก่อนการปรับปรุงที่พนักงานมีอาการเจ็บข้อมือต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนให้เห็นว่าการปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยกดสามารถลดภาระการใช้แรงของพนักงานได้เป็นระยะเวลานานขึ้นก่อนที่จะเกิดอาการเมื่อยล้า แต่ยังคงมีโอกาสในการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้พนักงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อร่างกายในระยะยาว

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานเพื่อลดระยะเวลาการประกอบ คลิปยึดอุปกรณ์ตกแต่งภายในรถยนต์ มีประสิทธิภาพสูงและช่วยลดภาระของพนักงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ก่อนการปรับปรุง พนักงานต้องใช้เวลาประมาณ 15 วินาทีต่อชิ้น และมีอาการเมื่อยล้าจากการใช้แรงกดซ้ำ ๆ ซึ่งสะสมเป็นภาระทางกายภาพในระยะยาว การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยกดในครั้งที่ 1 สามารถลดเวลาการทำงานได้เล็กน้อย แต่ยังไม่สามารถลดอาการบาดเจ็บจากแรงกดสะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังการปรับปรุงครั้งที่ 2 โดยการออกแบบอุปกรณ์กดคลิปแบบ คันโยกและใช้แรงกลแทนแรงพนักงาน พร้อมเพิ่มจำนวนการกดได้มากกว่า 1 ชิ้นต่อครั้ง ทำให้ระยะเวลาการประกอบลดลงเหลือ 5 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นการลดลง 66.67% นอกจากนี้ แรงกดสะสมของพนักงานยังลดลงในช่วงแรกของการทำงาน (1-120 ชิ้น) โดยไม่มีอาการเมื่อยล้า อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนการกดเพิ่มขึ้นถึง 141-160 ชิ้น พนักงานเริ่มมีอาการเมื่อยแขนเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบอุปกรณ์ช่วยลดภาระทางกายภาพของพนักงานได้อย่างดี แต่ยังคงมีโอกาสในการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการวิจัยนี้กับงานวิจัยของ กฤษฎา วงศ์วรรณ์ และ วิมลิน เหล่าศิริถาวร (2560) ซึ่งใช้เทคนิคการศึกษาเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study) ร่วมกับการออกแบบอุปกรณ์ช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตประตูและหน้าต่าง พบว่าผลการปรับปรุงทำให้ลดเวลาการทำงานลงได้ประมาณ 20–30% ขณะที่งานวิจัยนี้สามารถลดรอบเวลาการประกอบชิ้นงานได้ถึง 66.67% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยกดคลิปที่สามารถลดเวลาการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญมากกว่า นอกจากนี้ยังช่วยลดแรงกดสะสมที่ส่งผลต่อสุขภาพของพนักงานได้อย่างชัดเจน แตกต่างจากงานของทศพร อัศวรังสี และ ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง (2559) ซึ่งเน้นการออกแบบโมดูลหยิบจับเพื่อลดเวลาเฉพาะในกระบวนการจัดวางชิ้นงานและเพิ่มความแม่นยำ การออกแบบของงานวิจัยนี้แม้จะเป็นแบบแมนนวลกึ่งอัตโนมัติ (semi-automatic) แต่สามารถรองรับการทำงานได้ครั้งละ 3 ชิ้นในหนึ่งรอบการกด ซึ่งถือว่าเหนือกว่าการทำงานแบบชิ้นต่อชิ้นในงานวิจัยเดิม นอกจากนี้ยังมีการออกแบบให้สอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) เพื่อป้องกันการเกิดอาการเมื่อยล้าและบาดเจ็บสะสม ทำให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงแต่เพิ่ม

ผลผลิตเท่านั้นยังตอบโจทย์ด้านความยั่งยืนในแรงงานอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยกดให้ลดแรงกดของพนักงานมากขึ้นและสามารถกดได้หลายชิ้นต่อครั้งเพื่อลดระยะเวลาการทำงานในอนาคตหากต้องการปรับปรุงต่อยอดงานวิจัย ควรนำเทคโนโลยีอัตโนมัติ เช่น ระบบไฮดรอลิกส์หรือนิวเมติกส์เข้ามาใช้เพื่อลดภาระของพนักงาน รวมถึงการติดตามผลกระทบด้านสุขภาพของพนักงานหลังใช้งานอุปกรณ์ นอกจากนี้ ควรมีการ อบรมและจัดทำคู่มือการใช้งาน เพื่อให้พนักงานใช้เครื่องมือได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ สุดท้ายควรทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบเพิ่มเติมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตอื่น ๆ ได้ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่สนับสนุนด้านวิชาการ และคณาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัทตัวอย่าง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการศึกษารวมถึงเพื่อนร่วมงานและทีมวิจัย ที่ร่วมมือกันตลอดกระบวนการสุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวและผู้สนับสนุนทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจสำคัญให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Kasikorn Research Center, ชิ้นส่วนรถยนต์ไทยกลุ่ม OEM หดตัวหลังผลิตรถน้อยลงแต่กลุ่ม REM ยังโต, (2024).https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/IAO103-FB-11-09-24.aspx

[2] Ohno, T., Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. CRC Press, (1988).

[3] Schilling, M. A., Strategic Management of Technological Innovation. McGraw-Hill Education, (2020).

[4]. Ishikawa, K., What is Total Quality Control? The Japanese Way. Prentice Hall, (1985).

[5] Womack, J., & Jones, D., Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press, (1996).

[6] Groover, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Pearson., (2020).

[7] Liker, J. K., The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill Education, (2004).

[8] Apriani, A., Production Efficiency Improvement in Furniture Industry Using 5W1H Technique. Mercu Buana Repository, (2024).

[9] กฤษฎา วงศ์วรรณ์ และ วิมลิน เหล่าศิริถาวร, การปรับปรุงผลิตภาพในการผลิตประตูและหน้าต่างด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 24 (2): หน้า 23-35, (2560),

[10] ทศพร อัศวรังสี และ ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง, ระเบียบวิธีการเพื่อการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ: กรณีศึกษาโมดูลหยิบจับชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์. วารสารวศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 11(2): 1-13, (2559).

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียว กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน จังหวัดฉะเชิงเทรา

Design and Development of a Device for Controlling the Optimal Final Moisture Content of Sun-Dried Fish: A Case Study of the Kon Rak Wang Takhian Community Enterprise, Chachoengsao Province

สราวุธ อิศรานุวัฒน์[1] จริยา แผลงนอก[2] ยุทธณรงค์ จงจันทร์[3] ศรินยา ประทีปชนะชัย[4] และ ดนัย สอนสุภาพ[5]
[1,2]สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[5]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Sarawut Itsaranuwat[1] Jariya plangnok[2] Yuthanarong Jongjun[3] Sarinya Prateepchanachai[4] and Danai Sornsuphap[5]
[1,2]Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University
[3]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[4]Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University
[5]Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

การผลิตปลาแดดเดียวของวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นการผลิตแบบดั้งเดิมที่อาศัยแสงแดดธรรมชาติยังคงมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการตากที่ยาวนาน ประมาณ 48 ชั่วโมงและเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลง และเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งไม่สามารถควบคุมความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมกับปลานิลแดดเดียวได้เนื่องจากเป็นอุณภูมิจากแสงแดดตามธรรมชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตู้อบลมร้อน เพื่อควบคุมค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียวให้มีคุณภาพสูงขึ้น ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน การทดลองดำเนินการที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยกำหนดระยะเวลาอบที่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง เพื่อศึกษาค่าความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่าการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นของปลานิลแดดเดียวให้อยู่ที่ 25% ส่งผลให้เนื้อปลายังคงรสชาติ สี และโครงสร้างที่ดี พร้อมลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน อีกทั้งการใช้ตู้อบลมร้อนยังช่วยลดระยะเวลาการผลิตปลานิลแดดเดียวจาก 48 ชั่วโมง เหลือเพียง 6 ชั่วโมง คิดเป็นลดลง 87.5% ส่งผลให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้มากขึ้น 8 เท่าในระยะเวลาเดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้ยังช่วยให้ชุมชนสามารถผลิตปลาแดดเดียวได้อย่างมีมาตรฐาน ลดของเสีย เพิ่มกำลังการผลิต และสร้างรายได้ที่มั่นคง การพัฒนาตู้อบลมร้อนจึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับกระบวนการผลิตปลาแดดเดียวของวิสาหกิจชุมชนให้มีคุณภาพสูงขึ้น พร้อมรองรับความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

คำหลัก ปลานิลแดดเดียว ความชื้นสุดท้าย ตู้อบลมร้อน วิสาหกิจชุมชน

Abstract

The traditional method of producing sun-dried fish in the Wang Takhian Community Enterprise, Chachoengsao Province, relies on natural sunlight. However, this method has several limitations, including an extended drying time of approximately 48 hours and a high risk of contamination from dust, insects, and microorganisms. Additionally, the final moisture content of the dried fish cannot be effectively controlled due to variations in natural sunlight exposure. To address these issues, this study focuses on designing and developing a hot air-drying chamber to regulate the final moisture content of sun-dried Nile tilapia, ensuring higher product quality, standardizing the production process, and improving operational efficiency. Experiments were conducted at drying temperatures of 50, 55, and 60°C for durations of 4, 6, and 8 hours to determine the optimal final moisture content. The results indicated that drying at 50°C for 6 hours reduced the moisture content of the sun-dried Nile tilapia to 25%, preserving its taste, color, and texture while minimizing contamination risks. Furthermore, the use of a hot air-drying chamber significantly reduced the production time from 48 hours to just 6 hours, a reduction of 87.5%. This efficiency improvement allowed for an eightfold increase in production within the same timeframe. The findings suggest that adopting hot air-drying technology enables the community to produce sun-dried fish with improved quality, reduced waste, increased production capacity, and more stable income generation. The development of a hot air-drying chamber is, therefore, a crucial step toward enhancing the traditional sun-dried fish production process, ensuring higher standards, and meeting the growing market demand in the future.

Keywords: Sun-dried Nile tilapia, final moisture content, hot air drying, community enterpris

1. บทนำ

การผลิตปลาแดดเดียวเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการประมงเป็นอาชีพหลัก เช่น กลุ่มวิสาหกิจหรือกลุ่มแปรรูปผลิตทางการเกษตรในชุมชน ปัจจุบันปัญหาสำคัญของการผลิตปลาแดดเดียวคือการควบคุมความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม เนื่องจากระดับความชื้นที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นของปลาแดดเดียวจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจ การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมกระบวนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เพียงแต่จะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ยังเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าชุมชนและยกระดับมาตรฐานการผลิต เช่นงานวิจัยของ ถกลรัตน์ ทักษิมา ปิยุพงษ์ ยุงเพชร และปณิธิ สุวรรณอมรเลิศ [1] ที่พยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาดุกแดดเดียวโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ "รุ่นหลังเต่า" และศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสเพื่อเลือกสูตรมาตรฐานที่เหมาะสมการศึกษาพบว่าสูตรที่ (ปลา:น้ำ:น้ำปลา:น้ำตาล = 100:50:35:15 โดยน้ำหนัก) ได้รับการยอมรับสูงสุดจากผู้บริโภค 120 คน ซึ่งประเมินจากลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม การวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้น 54.84% โปรตีน 27.21% และไขมัน 9.83% รวมถึงมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.44 ส่วนการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีและปลอดภัยสำหรับการบริโภค งานวิจัยของกรมส่งเสริมการเกษตร [2] พัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปของวิสาหกิจชุมชน โดยดำเนินการภายใต้โครงการพัฒนาคุณภาพมาตรฐานสินค้าและบริการ กิจกรรมพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันสินค้าเกษตรแปรรูป โดยเน้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต และ

มาตรฐานคุณภาพสินค้า วิสาหกิจชุมชนที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 154 แห่ง ได้รับการสนับสนุนทางด้านเทคนิคและงบประมาณเพื่อนำไปพัฒนากระบวนการผลิต และเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรแปรรูป ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิสาหกิจชุมชนมีศักยภาพเพิ่มขึ้นในด้านการตลาด คุณภาพผลิตภัณฑ์และความสามารถในการแข่งขัน โดยสามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้น และช่วยให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น

วิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียนก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2563 ที่ตำบลวังตะเคียน อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีสมาชิก 20 คน นำโดยนายกฤษณะ ศรีเมณฑา เกิดขึ้นจากแนวคิดในการสร้างอาชีพและรายได้ให้กับชุมชน โดยเริ่มต้นจากการผลิตปลานิลแดดเดียว และได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภค อย่างไรก็ตามสมาชิกในกลุ่มมความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์การผลิตปลาแดดเดียวให้สามารถผลิตตามความต้องการของตลาดได้โดยสามารถควบคุมระยะเวลาและความชื้นที่เป็นมาตรฐานได้ โดยปัจจุบันกระบวนการผลิตยังคงอาศัยแสงแดดในการทำให้ปลาแห้งและวิธีการสังเกตุด้วยสายตาและการสัมผัสเพื่อตรวจสอบความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ในการตากปลาแดดเดียวและวิเคราะห์หาอุณหภูมิกับเวลาที่เหมาะสมเพื่อควบคุมค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียวให้มีคุณภาพสูงขึ้น ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเป็นแนวทางสำคัญในการลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และควบคุมคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐานสม่ำเสมอ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระบบการผลิตแบบ (Lean Manufacturing) ที่ช่วยลดของเสียและเพิ่มความรวดเร็ว การบริหารจัดการคุณภาพโดยรวม (Total Quality Management) [3] ที่เน้นการพัฒนาในด้านคุณภาพต่อเนื่องและแนวคิดหลักการในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) [4] ช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำนอกจากนี้ยังมีการใช้ระบบอัตโนมัติและระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Automation & Internet of Things) ยังสามารถเป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในการบริหารจัดการวัตถุดิบ (Material Requirement Planning) ช่วยลดของเสียจากการใช้วัตถุดิบสำหรับการผลิตปลาแดดเดียว การนำเทคโนโลยีอบแห้งที่ควบคุมความชื้นแทนการพึ่งพาแสงแดด สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตและเพิ่มคุณภาพของสินค้าให้ได้มาตรฐานการตลาดที่สูงขึ้น [5]

2.2 ความชื้นสุดท้าย

ความชื้นสุดท้าย (Final Moisture Content) เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ไม่ว่าจะเป็นอาหารแปรรูป เมล็ดพืช หรือวัสดุอุตสาหกรรม ความชื้นสุดท้ายหมายถึงระดับความชื้นของวัสดุหลังจากกระบวนการอบแห้งสิ้นสุดลง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และการป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ งานวิจัยระบุว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content - EMC) เป็นตัวกำหนดว่าผลิตภัณฑ์สามารถรักษาค่าความชื้นในสภาวะที่มั่นคงได้โดยไม่เกิดการดูดซับหรือลดความชื้นมากเกินไป หากความชื้นสุดท้ายสูงกว่าค่าที่กำหนด อาจทำให้เกิดเชื้อราและจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในขณะที่หากต่ำเกินไป [6] อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้พลังงานต่ำแต่มีข้อจำกัดในเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อีกวิธีหนึ่งคือ การอบแห้งด้วยลมร้อนหรือเตาอบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาและให้ค่าความชื้นสุดท้ายที่แน่นอนมากขึ้น การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น IoT และเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น ช่วยให้สามารถควบคุมค่าความชื้นสุดท้ายได้อย่างแม่นยำ ลดข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของสินค้าให้สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ค่าความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น เช่น Moisture Meters และ Near-Infrared Spectroscopy (NIR) ยังช่วยให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แบบเรียลไทม์ ในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป เช่น การผลิตปลาแดดเดียว ความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมมักอยู่ในช่วง 20-30% เพื่อลด

ความเสี่ยงต่อการเน่าเสียและยังคงรักษาสรรพคุณทางยาได้ดี งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการควบคุมความชื้นสุดท้ายสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 30-50% และลดปัญหาการคืนตัวของความชื้นจากสิ่งแวดล้อม กระบวนการพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งและการปรับปรุงสูตรการผลิตมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและสมุนไพรแปรรูป [7]

2.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม 5 Whys

การตั้งคำถาม "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) ที่พัฒนาโดย Sakichi Toyoda และใช้ในระบบ Toyota Production System (TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า "ทำไม" อย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน การถามคำถาม "ทำไม" ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุแท้จริงคือการขาดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ข้อดีของเทคนิคนี้คือความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ควรใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น Ishikawa Diagram เพื่อความแม่นยำมากขึ้น หลังจากวิเคราะห์ด้วย 5 Whys แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การจัดทำแผน PM หรืออบรมพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ ทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน [8]

2.4 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการตั้งคำถาม 5W1H

เทคนิค 5W1H เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยใช้คำถาม 6 ข้อ ได้แก่ What (ทำอะไร), Why (ทำไม), Who (ใคร), Where (ที่ไหน), When (เมื่อไหร่) และ How (อย่างไร) เพื่อตรวจสอบและระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบและเข้าใจถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ช่วยในการตัดสินใจที่มีข้อมูลสนับสนุนอย่างเพียงพอ งานวิจัยของ [9] นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์เพื่อระบุสาเหตุของความสูญเปล่า เช่น การขนย้ายวัสดุที่ไม่จำเป็นและการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ 5W1H สามารถลดของเสียลงได้ถึง 15% และเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 20% โดยการตั้งคำถามเชิงโครงสร้างช่วยในการระบุปัญหาหลักและแนวทางการปรับปรุงอย่างตรงจุด นอกจากนี้ เทคนิคนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากร ซึ่งส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรมการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เป็นกระบวนการที่รวมหลักการทางวิศวกรรม ศาสตร์วัสดุ และนวัตกรรมเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง การออกแบบเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้และข้อกำหนดทางเทคนิค จากนั้นนักวิจัยจะใช้แนวคิดทางทฤษฎี เช่น ทฤษฎีฟังก์ชันความเพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุ และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบ การพัฒนาอุปกรณ์มักต้องอาศัยกระบวนการทดลองและการทดสอบซ้ำเพื่อปรับปรุงการทำงาน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องกลไฟฟ้า พลศาสตร์ของไหล และการประมวลผลสัญญาณ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการพัฒนา นอกจากนี้การออกแบบที่ดีต้องคำนึงถึงความยั่งยืนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ได้รับอิทธิพลจากแนวโน้มอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งเน้นการผลิตอัจฉริยะและการใช้วัสดุขั้นสูงในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษ [10]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มคุณภาพของสินค้าสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย จึงมีงานวิจัยมากมายที่เป็นแนวทางในการปรับปรุง เช่น

งานวิจัยของ Chaudhari และ Salve [11] ทำการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารและสินค้าเกษตรต่าง ๆ โดยเน้นไปที่หลักการทำงานประเภทของเครื่องอบแห้งและประสิทธิภาพของระบบที่แตกต่างกัน งานวิจัยระบุว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้ง ลดการสูญเสียสารอาหาร และเพิ่มคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์มากกว่าการตากแดดแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมความร้อนและการไหลเวียนของอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง บทความนี้ยังได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบแอคทีฟ (ที่ใช้พัดลมช่วย) และแบบพาสซีฟ (อาศัยการไหลเวียนอากาศธรรมชาติ) พร้อมทั้งเน้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสงแดด ผลการศึกษาพบว่าการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น ระบบเซ็นเซอร์และพลังงานทดแทนมาใช้ร่วมกันสามารถช่วยให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น สุดท้ายผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้แต่ละพื้นที่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยของ Hasan, Sarkar, Aktar และ Islam [12] พัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งปลาแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่รองรับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งเพื่อช่วยควบคุมและตรวจสอบกระบวนการอบแห้งแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้ออกแบบระบบที่สามารถควบคุมปัจจัยสำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาการอบแห้งผ่านเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การศึกษาชี้ให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สำรวจกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตปลาแดดเดียวของชุมชนคนรักวังตะเคียนจะเริ่มจากการคัดเลือกปลานิลที่มีคุณภาพ ก่อนนำมาขอดเกล็ด ผ่าท้อง และทำความสะอาด สำหรับปลานิลที่ใช้ในการทดลอง มีน้ำหนักเฉลี่ยระหว่าง 500–700 กรัม มีลักษณะเนื้อแน่นและมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 70–75% ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาศึกษากระบวนการลดความชื้นด้วยวิธีการอบลมร้อน การถ่ายเทความร้อนในระบบดังกล่าวอาศัยหลักการพาความร้อน (Convection) โดยลมร้อนจะถ่ายเทพลังงานเข้าสู่เนื้อปลาอย่างสม่ำเสมอ ทำให้กระบวนการระเหยน้ำภายในเนื้อปลามีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สามารถควบคุมค่าความชื้นสุดท้ายได้อย่างแม่นยำ ลดความเสี่ยงต่อการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ และยังคงคุณภาพด้านโครงสร้างเนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ไว้ได้อย่างเหมาะสม ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 กระบวการผลิตปลาแดดเดียว

จากรูปที่ 1 ปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนการผลิตปลาแดดเดียวมีการควบคุมความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมด้วยการสังเกตุและใช้นิ้วสัมผัสจากสมาชิกที่มีความชำนาญทำให้บางครั้งเกิดความผิดพลาด อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมมาตรฐานความชื้นให้อยู่ในระดับเดียวกันได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้ได้จากแสงธรรมชาติในแต่ละวันไม่เท่ากัน ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดระยะเวลาในการตากได้ ซึ่งปัจจุบันมีระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 48 ชั่วโมงต่อรอบการผลิต

3.2 วิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys

จากการสำรวจกระบวนการผลิตปลานิลแดดของวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียนพบปัญหาด้านการควบคุมความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตนานจากการพึ่งพาแสงแดดจากธรรมชาติ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิค 5 Whys วิเคราะห์สาเหตุปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys

ปัญหาด้าน	คำถาม (ทำไม)	คำตอบ (สาเหตุของปัญหา)
การควบคุมความชื้น	1.ทำไมความชื้นของปลานิลแดดเดียวจึงไม่คงที่	1.เพราะสภาพอากาศอาจมีเมฆมาก ฝนตกหรือแดดอ่อนในบางวัน
	2.ทำไมแสงแดดที่ใช้ในการตากปลาไม่สม่ำเสมอ	2.เพราะไม่มีระบบอบแห้งเสริมช่วยควบคุมความชื้นอย่างต่อเนื่อง

สุดท้าย	3.ทำไมจึงต้องพึ่งพาแสงแดดจากธรรมชาติเป็นหลัก	3.เพราะไม่มีระบบการอบแห้งที่ช่วยควบคุมความชื้นอย่างต่อเนื่อง การศึกษาแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมกับต้นทุนและผลตอบแทน
	4.ทำไมถึงไม่มีการใช้ระบบอบแห้งเสริม	4.เพราะการลงทุนในเครื่องอบแห้งต้องใช้ต้นทุนสูงและยังไม่มีการศึกษาแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมกับต้นทุนและผลตอบแทน
	5.ทำไมถึงยังไม่มีการศึกษาแนวทางการปรับปรุง	5.เพราะการตากปลาแบบดั้งเดิมยังอาศัยวิธีการตามภูมิปัญญา และยังไม่มีการนำเทคโนโลยีมาปรับใช้ในกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys (ต่อ)

ปัญหาด้าน	คำถาม (ทำไม)	คำตอบ (สาเหตุของปัญหา)
ใช้เวลาในการตากปลานาน	1.ทำไมกระบวนการตากปลาใช้เวลานานกว่าที่ควร	1.เพราะปลายังไม่แห้งสนิทตามมาตรฐานที่กำหนด
	2.ทำไมปลายังไม่แห้งหลังจากตากในช่วงเวลาปกติ	2.เพราะอัตราการระเหยของน้ำจากเนื้อปลาช้า ทำให้ความชื้นสูง
	3.ทำไมอัตราการระเหยของน้ำจากเนื้อปลาจึงช้า	3.เพราะปัจจัยแวดล้อม เช่น แสงแดดไม่แรงพอ อากาศชื้น
	4.ทำไมจึงมีปัจจัยที่ไม่เอื้อต่อการตากให้แห้งเร็ว	4.เพราะการตากปลายังต้องอาศัยสภาพอากาศธรรมชาติไม่มีระบบควบคุมที่ช่วยเร่งกระบวนการอบแห้ง
	5.ทำไมจึงไม่มีระบบช่วยเร่งกระบวนการอบแห้ง	5.เพราะขาดการลงทุนในเทคโนโลยีเสริม เช่น ระบบอบแห้งหรือระบบไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพ

3.3 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการ 5W1H

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys ผู้วิจัยนำมากำหนดแนวทางการแก้ไข ด้วยการใช้หลักการตั้งคำถาม 5W1H ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการตั้งคำถาม 5W1H

แนวทางการแก้ไขปัญหาการควบคุมความชื้นสุดท้าย	
5W1H	**แนวทางการแก้ไข**
What (ทำ อะไร)	ปัญหาความชื้นในปลานิลแดดเดียวไม่คงที่ ทำให้บางชุดมีความชื้นสูง เสี่ยงต่อเชื้อราและการเสื่อมสภาพเร็ว
Why (ทำ ทำไม)	เพราะกระบวนการตากปลาพึ่งพาสภาพอากาศตามธรรมชาติ ไม่มีระบบควบคุมความชื้นที่มีประสิทธิภาพ
Who (ใคร เป็นคนทำ)	ทีมวิจัยและสมาชิกวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน
Where (ทำ ที่ไหน)	ที่ทำการวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน
When (ทำ เมื่อไหร่)	ควรดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์และทดสอบการใช้งานภายในระยะเวลา 1 เดือน
How (ทำ อย่างไร)	1. ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เครื่องอบลมร้อนแบบพาราโบลาโดม ในการตากปลาแดดเดียว 2. ทดสอบการตากปลาแดดเดียวเพื่อกำหนดมาตรฐานกระบวนการตากให้ได้ ระยะเวลา และอุณหภูมิ ในการตรวจสอบความชื้นที่เหมาะสม
แนวทางการแก้ไขปัญหาการใช้เวลาในการตากปลานาน	
5W1H	**แนวทางการแก้ไข**
What (ทำ อะไร)	ปัญหาการตากปลานิลแดดเดียวใช้เวลานาน
Why (ทำ ทำไม)	เพราะกระบวนการตากปลาพึ่งพาสภาพอากาศตามธรรมชาติ
Who (ใคร เป็นคนทำ)	ทีมวิจัยและสมาชิกวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน
Where (ทำ ที่ไหน)	ที่ทำการวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน
When (ทำ เมื่อไหร่)	ควรดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์และทดสอบการใช้งานภายในระยะเวลา 1 เดือน
How (ทำ อย่างไร)	1. ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เครื่องอบลมร้อนแบบพาราโบลาโดม ในการตากปลาแดดเดียว 2. ทดสอบการตากปลาแดดเดียวเพื่อกำหนดมาตรฐานกระบวนการตากให้ได้ ระยะเวลา และอุณหภูมิ ในการตรวจสอบความชื้นที่เหมาะสม

3.4 การออกแบบและจัดสร้างอุกกรณ์ต้นแบบ

ผลจากการกำหนดแนวทางการแก้ไขโดยการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยใช้หลักการของ การทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งเป็นการออกแบบที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของหลายปัจจัยได้พร้อมกัน โดยในครั้งนี้มีการกำหนดปัจจัยหลัก 2 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (3 ระดับ: 50°C, 55°C และ 60°C) และ เวลาในการอบ (3 ระดับ: 4, 6 และ 8 ชั่วโมง) รวมเป็น 9 กลุ่มการทดลอง เพื่อศึกษาผลต่อค่าความชื้นสุดท้ายของเนื้อปลานิลแดดเดียว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเนื้อสัมผัสและรสชาติ ตัวอย่างปลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละรอบมีน้ำหนักก่อนอบประมาณ 500 กรัม โดยควบคุมสภาวะเริ่มต้นให้มีความชื้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง ด้วยการออกแบบอุปกรณ์อบลมร้อนแบบพาลาโบลาโดม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์อบลมร้อน

จากรูปที่ 2 แสดงการออกแบบอุปกรณ์อบลมร้อนแบบพาราโบลาโดมในการตากปลาแดดเดียว จากนั้นผู้วิจัยนำไปจัดสร้างเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 อุปกรณ์เครื่องอบลมร้อนต้นแบบ

จากรูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์อบลมร้อนพาราโบลาโดมต้นแบบ ซึ่งออกแบบให้มีระบบหมุนเวียนลมร้อนและพัดลมดูดความชื้น ช่วยให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพและสม่ำเสมอ ใช้วัสดุสเตนเลสทนความร้อนและปลอดภัยต่ออาหาร โดยมีส่วนประกอบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบอุปกรณ์เครื่องอบลมร้อนต้นแบบ

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
พัดลมดูดความชื้น	ช่วยระบายอากาศและลดความชื้นภายในเครื่องอบ เพื่อป้องกันการสะสมของความชื้น
พัดลมสำหรับอบอากาศ	ช่วยให้ลมร้อนหมุนเวียนสม่ำเสมอทั่วถึงทุกส่วนของวัตถุดิบที่อบ
หลอดความร้อน	เป็นตัวให้ความร้อนโดยตรง ช่วยทำให้อุณหภูมิในห้องอบคงที่
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ
พาราโบลาโดม	ช่วยสะท้อนและกระจายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง
ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า	ใช้ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้า เช่น ควบคุมพัดลม ควบคุมความร้อน
ตะแกรงสำหรับวางวัตถุดิบ	เป็นชั้นที่ใช้สำหรับวางผลิตภัณฑ์ เช่น ผลไม้ สมุนไพร หรืออาหารแปรรูป
แบตเตอรี่	เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้ในช่วงไม่มีแสงแดด
เครื่องให้ความร้อน	อุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มความร้อนเพื่อเร่งกระบวนการอบแห้ง
ห้องอบแห้งทำด้วยวัสดุสแตนเลส	โครงสร้างหลักของเครื่องอบ ทำจากสแตนเลสเพื่อความทนทาน ปลอดภัย และรักษาความร้อนได้ดี

จากตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์เครื่องอบลมร้อนพาราโบลาต้นแบบซึ่งถูกออกแบบให้สามารถใช้พลังงานได้ 2 ระบบ ได้แก่ พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอก เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

3.4 กำหนดมาตรฐานการอบปลาแดดเดียว

การกำหนดมาตรฐานการอบปลานิลแดดเดียวจำเป็นต้องมีการทดสอบอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบ ผู้วิจัยเลือกที่ 3 ระดับ ความใกล้เคียงของอุณหภูมิและเวลาที่เป็นไปได้แล้วนำไปทดลองอบ ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการอบลมร้อนปลานิลแดดเดียว

ลำดับ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ลักษณะของเนื้อปลา (รับประทานและสัมผัส)	ต้นทุนพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำหนักก่อน (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลัง (กิโลกรัม)	(%wb)
1	50	4	คงรสชาติ สีดี แต่อาจมีความชื้นตกค้าง	ปานกลาง	0.5	0.325	35%
		6	คงโครงสร้างเนื้อปลา ดีที่สุด	ปานกลาง	0.5	0.375	25%
		8	เนื้อนุ่มขึ้น แต่แห้งเร็วขึ้นเล็กน้อย	ปานกลาง	0.5	0.400	20%

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการอบลมร้อนปลานิลแดดเดียว (ต่อ)

ลำดับ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ลักษณะของเนื้อปลา (รับประทานและสัมผัส)	ต้นทุนพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำหนักก่อน (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลัง (กิโลกรัม)	(%wb)
2	55	4	ค่อนข้างแข็ง แห้งเร็วเกินไป	ปานกลาง	0.5	0.350	30%
		6	คงโครงสร้าง แต่เริ่มแข็งขึ้น	ปานกลาง	0.5	0.390	22%
		8	เนื้อปลาแข็งขึ้น อาจเสียรสชาติ	ปานกลาง	0.5	0.410	18%
3	60	4	เนื้อแข็งเกินไป รสชาติเปลี่ยน	สูง	0.5	0.375	25%
		6	แห้งเร็ว แต่แข็ง อาจไม่น่าทาน	สูง	0.5	0.410	18%
		8	แข็งเกินไป รสชาติแห้งมาก	สูง	0.5	0.425	15%

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการอบแห้งเนื้อปลาด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลต่อคุณภาพของเนื้อปลาและต้นทุนพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ อุณหภูมิ 50-55°C และเวลา 4-6 ชั่วโมง เนื้อปลาจะยังคงโครงสร้างและรสชาติที่ดี แต่หากอบนานเกินไป เนื้อปลาจะเริ่มแข็งและแห้งเกินไป ส่วนที่ อุณหภูมิ 60°C พบว่าแม้จะแห้งเร็ว แต่รสชาติอาจเปลี่ยนไปและความแข็งของเนื้อปลาจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ต้นทุนพลังงานจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ 60°C ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าช่วงอุณหภูมิอื่นๆ ความชื้นสุดท้ายของเนื้อปลาลดลงตามเวลาการอบ โดยค่า %wb (ความชื้นตามน้ำหนักเปียก) ลดจาก 35% เหลือ 15% ที่อุณหภูมิสูงสุดและเวลานานสุด

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากดำเนินงานวิจัยพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างและรสชาติของเนื้อปลาในด้านปริมาณความชื้น พบว่าการอบที่ 50°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ความชื้นสุดท้ายที่ 25%wb ซึ่งเป็นช่วงที่รักษาคุณภาพของเนื้อปลาได้ดีที่สุด ส่วนที่ 60°C นาน 8 ชั่วโมง ให้ค่าความชื้นต่ำสุดที่ 15%wb และทำให้เนื้อปลามีความแข็งและรสชาติแห้งเกินไป สรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเนื้อปลาคือ 50-55°C และเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้สมดุลที่ดีระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพพลังงาน

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อนเพื่อควบคุมความชื้นสุดท้ายของปลาแดดเดียวให้มีคุณภาพสูงขึ้น โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50°C, 55°C และ 60°C ในระยะเวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 50°C นาน 6 ชั่วโมง เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ช่วยลดความชื้นของปลานิลแดดเดียวให้เหลือ 25% และยังคงรักษารสชาติ สี และเนื้อสัมผัสได้ดี การใช้ตู้อบลมร้อนช่วยลดระยะเวลาผลิตจาก 48 ชั่วโมง เหลือเพียง 6 ชั่วโมง คิดเป็นการลดลงถึง 87.5% ทำให้เพิ่มปริมาณการผลิตได้มากขึ้นถึง 8 เท่า อุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถทำงานได้ทั้งจากพลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ ลดต้นทุนและเพิ่มความยั่งยืนในการผลิต ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งสามารถช่วยควบคุมมาตรฐานการผลิต ลดของเสีย และเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาต่อไปคือการเพิ่มขนาดของตู้อบให้รองรับปริมาณการผลิตที่สูงขึ้นและการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต

ของสรรพสิ่ง (Internet of Things) มาใชเพื่อทำการควบคุมกระบวนการอบแห้งแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ควรขยายการทดลองไปยังวัตถุดิบอื่น เช่น เนื้อสัตว์แดดเดียวหรือผลไม้แห้ง เพื่อเพิ่มโอกาสในการขยายตลาด สุดท้ายนี้ การใช้เทคโนโลยีอบลมร้อนเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยยกระดับการผลิตปลาแดดเดียวให้มีคุณภาพและมาตรฐานสูงขึ้น พร้อมตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทางวิชาการที่จำเป็นในการดำเนินงาน ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อน ขอขอบคุณ วิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ข้อมูลและสถานที่สำหรับการทดลอง รวมถึงสมาชิกชุมชนที่ให้ความร่วมมือในการทดสอบกระบวนการอบแห้งปลาแดดเดียว นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการออกแบบพัฒนาและวิเคราะห์ข้อมูลจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ถกลรัตน์ ทักษิมา, ปิยุพงษ์ ยุงเพชร และปณิธิ สุวรรณอมรเลิศ, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาดุกแดดเดียวของวิสาหกิจชุมชนโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า”. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น), 18(2), 40-46., (2566).

[2] กรมส่งเสริมการเกษตร., การพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปวิสาหกิจชุมชน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2563).

[3] Fatorachian, H., & Kazemi,, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: Theoretical operationalisation framework. Production Planning & Control, 29(8), 633–644., (2018).

[4]. Antony, J., Lean Six Sigma for small and medium-sized enterprises: A roadmap for change. International Journal of Quality & Reliability Management, 36(3), 415–439., (2019).

[5] Vollmann, T. E., Berry, W. L., & Whybark, D. C., Integrated material planning and execution in modern industries. Production and Inventory Management Journal, 56(2), 78-95., (2020).

[6] Zambrano, M. V., Dutta, B., Mercer, D. G., & MacLean, H. L., Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. Trends in Food Science & Technology, 87, 162-173., (2019).

[7] Carter, B. P., & Fontana Jr, A. J., Measurement of water activity, moisture sorption isotherm, and moisture content of foods. Water Activity in Foods, 145-169., (2020).

[8] Supriyatna, A., & Okdinawati, L., Optimizing operational efficiency through improved crushing & loading strategies at PT Girimulya Resource. Asian Journal of Engineering, Social and Environmental Studies., (2024).

[9] Udonsathian, T., & Worapun, W., Enhancing analytical thinking in grade 8 science education: Integrating 5 E inquiry-based and 5 W1 H techniques., (2024).

[10] Dai, L., Zhang, Z., Li, S., & Hu, Y., Nonclassical Heat Transfer and Recent Progress. UCLA Engineering., (2025).

[11] Chaudhari, A. D., & Salve, S. P., A review of solar dryer technologies. International Journal of Research in Advent., (2014).

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาสีในกระบวนการพ่นสีฝุ่นของผลิตภัณฑ์ที่พยุงตัวผู้สูงอายุด้วยการออกแบบการทดลอง

Study of factors affecting the thickness of paint in the powder coating process of the product supporting the elderly by using an experimental design

ทนงศักดิ์ ยิ้มแจ่มใส[1*] ณฐา คุปตัษเฐียร[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: thanongsak_yim@mail.rmutt.ac.th*

Thanongsak Yimjamsai1*, Natha Kuptasthien1
[1]Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: thanongsak_yim@mail.rmutt.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ศึกษาปัจจัยควบคุมและวิเคราะห์ค้นหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการพ่นเคลือบสีฝุ่นของผลิตภัณฑ์ที่พยุงตัวผู้สูงอายุ ที่จะสามารถควบคุมความหนาสีให้อยู่ที่ 60-95 ไมครอน เพื่อแก้ไขปัญหาจากการเคลมชิ้นงานประกอบสกรูไม่ได้จากลูกค้า ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วยการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโตและแผนภาพแสดงเหตุและผล แล้วใช้หลักการระดมสมองคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่ามีผลต่อการทำให้ความหนาสีเกิน 95 ไมครอน ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ 5 ปัจจัย ทำการตรวจสอบผลด้วยพล็อตอนุกรมเวลา วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสมาการถดถอย พบเทอมที่มีค่า ≤ 0.05 จำนวน 4 เทอม ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดลองที่ 88.30% ผลการวิจัยพบว่าการตั้งค่าปัจจัย 1) ค่าผงสีออก 72.50% 2) ค่าแรงไฟฟ้าเข้า 66.81 kV 3) ค่าแรงไฟฟ้าออก 80 µA 4) ค่าแรงลมเข้า 4.0 bar 5) ค่าแรงลมออก 0.05 bar สามารถควบคุมความหนาสีฝุ่นได้ตามกำหนด และลดปัญหาจากการเคลมสินค้า จากร้อยละ 13.33 เหลือ ร้อยละ 0 และลดต้นทุนได้ 0.50 บาทต่อชิ้น ในเดือน มกราคม พ.ศ. 2568 สามารถลดต้นทุนลงได้ 6,250 บาท และจากแผนผลิตทั้งปี พ.ศ. 2568 จะลดต้นทุนลงได้ 48,250 บาท

คำหลัก กระบวนการพ่นสีฝุ่น, การออกแบบการทดลอง, การศึกษาปัจจัยควบคุม

Abstract

This research aims to study the control factors and analyze the appropriate value of the powder coating process of the elderly support product that can control the thickness of the paint at 60-95 microns to solve the problem of customers claiming the screw assembly that cannot be assembled. The research methodology consists of analyzing the problem using Pareto chart and cause-and-effect diagram. Then, brainstorming is used to select the input factors that are expected to affect the thickness

of the paint to exceed 95 microns. A two-level, 5-factor factorial experimental design is used. The results are checked using a time series plot. Analysis of variance with regression equations found 4 terms with values ≤ 0.05. The reliability of the experimental model is 88.30%. The results show that the setting of the factors 1) powder output value 72.50% 2) input voltage 66.81 kV 3) output voltage 80 μA 4) input voltage 4.0 bar 5) outlet voltage 0.05 bar can control the thickness of the powder coating as specified. and reduce the problem of product claims from 13.33 percent to 0 percent and reduce costs by 0.50 baht per piece. In January 2025, costs can be reduced by 6,250 baht and from the production plan for the whole year 2025, costs will be reduced by 48,250 baht.

Keywords: Powder coating process, Experimental design, Control factors studying

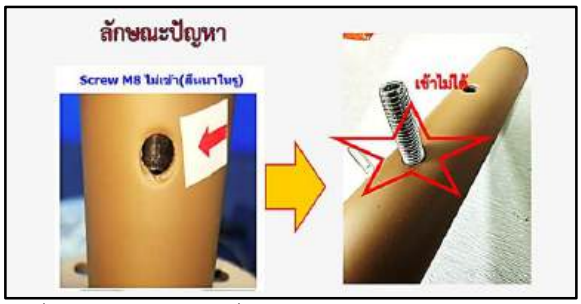
1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและสภาพปัญหา

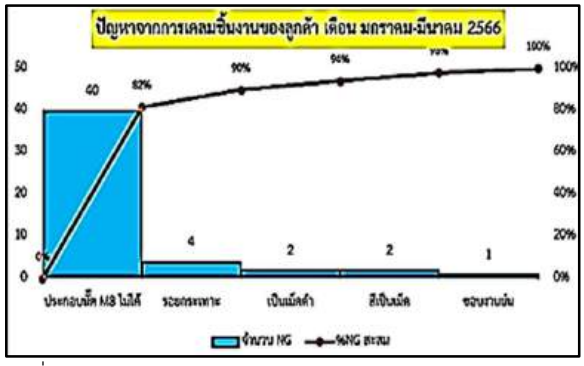
โรงงานกรณีศึกษาเป็นธุรกิจขนาดเล็กที่รับพ่นสีชิ้นงานขายึดที่พยุงตัวผู้สูงอายุ (รูปที่ 1) ในสามเดือน มกราคม-มีนาคม 2566 เป็นลอตทดลองมีจำนวน 300 ชิ้น พบปัญหาลูกค้าแจ้งเคลม ร้อยละ 16.33 เนื่องจากการประกอบสกรูไม่ได้ 40ชิ้น (13.33%) รอยกะเทาะ 4ชิ้น (1.33%) เป็นเม็ดดำ 2ชิ้น (0.67%) สีเป็นเม็ด 2ชิ้น (0.67%) และขอบงานย่น 1ชิ้น (0.33%) (รูปที่ 2และ3) เมื่อจัดลำดับปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่าการประกอบสกรูไม่ได้เป็นสาเหตุหลักของการแจ้งเคลมถึงร้อยละ 82 ดังแสดงใน รูปที่ 4

รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย

รูปที่ ลักษณะปัญหางานเคลมจากลูกค้า



รูปที่ 3 ลักษณะปัญหาที่ลูกค้าแจ้งเคลม



รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับปัญหางานเคลม

โรงงานกรณีศึกษาดำเนินการทดสอบประกอบสกรูกับชิ้นงาน โดยใช้มือขันต้องเข้าให้สุดตัว ตามความต้องการของลูกค้าเพื่อความสะดวกต่อผู้ใช้งาน กับชิ้นงานความหนาสีที่แตกต่างกัน พบว่าช่วงความหนาสีที่ประกอบสกรูได้อยู่ที่ 60-95 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทางโรงงานกรณีศึกษายังไม่สามารถควบคุมระดับของความหนาที่ต้องการได้ จึงแก้ปัญหาในเบื้องต้นด้วยการเพิ่มพนักงานจำนวน 1 คน เพื่อทำการทำเกลียวกับทุกชิ้นงาน 100% เป็นการแก้ปัญหาให้ลูกค้าก่อน ซึ่งคิดเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น 0.50 บาทต่อชิ้น

ตารางที่ 1 สรุปค่าความหนาที่ประกอบสกรูได้

ทดลองประกอบสกรู	ไมครอน	ค่าความหนาสี/ไมครอน					
		60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	110-120
	ได้	✓	✓	✓	✓		
	ไม่ได้				✓	✓	✓

ความหนาสี/ไมครอน	ผลการทดลอง	
	ได้	ไม่ได้
90	✓	
91	✓	
92	✓	
93	✓	
94	✓	
95	✓	
96		✓
97		✓
98		✓
99		✓

หมายเหตุ ความหนาสีที่ประกอบสกรูได้ คือ 60-95 ไมครอน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยควบคุมและวิเคราะห์ ค้นหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการพ่นเคลือบสีฝุ่น ของผลิตภัณฑ์ที่พยุงตัวผู้สูงอายุ ที่จะสามารถควบคุมความหนาสีให้อยู่ที่ระยะ 60-95 ไมครอน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

พิชญา วาดสูงเนิน (2565) แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับ การแสดงสาเหตุของปัญหา ที่ทำให้ตัวผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแผนภูมิพาเรโตนี้จะเรียงจำนวนข้อมูลจากมากไปน้อย เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่า สาเหตุของปัญหาใดบ้างที่ควรนำไปปรับปรุงก่อน อีกทั้งยังสามารถใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการได้อีกด้วย โดยมีการนิยมวิเคราะห์ด้วยหลักการ 80:20 หมายถึง สาเหตุสำคัญมีมากถึง ร้อยละ 80 เทียบกับสาเหตุเล็กน้อยมีเพียงร้อยละ 20

2.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผล มีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา กับสาเหตุของปัญหาทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวนั้น โดยมีอีกชื่อหนึ่งว่าแผงผังก้างปลา นิยมเขียนโดยให้หัวปลาแสดงปัญหา และก้างปลาเป็นสาเหตุหลักและมสาเหตุย่อย ๆ ของการเกิดปัญหา

2.3 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

รัตนาพร เล่ห์รักษ์ (2563) การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีที่มี k ปัจจัย ซึ่งแต่ละความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร พนักงาน และใน 2 ระดับนี้จะแทนด้วยระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ของปัจจัยหนึ่งๆ ใน 1 การทดลองซ้ำ (Replicate) สำหรับการออกแบบการทดลองแบบนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 2^k ข้อมูลถ้าหากมีปัจจัยที่ต้องการตรวจสอบจำนวนมากจะทำให้ใช้เวลานานในการทดลอง ดังนั้นการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะช่วยทำให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ซึ่งจะมีประโยชน์มากสำหรับงานทดลองในช่วงเริ่มต้นประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ ตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิ หรือข้อมูลทางคุณภาพ เช่น ค่าความหนาสี เป็นต้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนินทร์ สมนาค [8] อุตสาหกรรมการผลิตดิสก์เบรกมีการแข่งขันสูงในตลาด โดยเฉพาะในด้านคุณภาพของกระบวนการพ่นสีและอบสี ได้แก่ ความทั่วถึงของสี ความหนาของสี ความสุกของสี การยึดติดของสี และเฉดสี เพื่อให้ชิ้นงานมีความสวยงามและลดโอกาสการเกิดสนิมอันนำไปสู่การเพิ่มโอกาสแข่งขันในตลาด โดยจากการเก็บชิ้นงานตัวอย่างพบว่าในกระบวนการพ่นสีและอบสียังมีปัญหาในเรื่องของสีที่ติดไม่ทั่ว ดังนั้นงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา

คุณภาพของกระบวนการพ่นสีให้เป็นไปตามเกณฑ์ตัวชี้วัด จากผลการศึกษาทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้า ความเข้มสีและความเร็วหัวพ่นสี พบว่าค่าความเข้มสีคือตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อความทั่วถึงและความหนาของสี โดยจากการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีที่ค่า 20% ขึ้นไปจะทำให้สีติดชิ้นงาน (≥80%) แต่ความหนาสีจะไม่ผ่านเกณฑ์ (40-80 µm) เมื่อเพิ่มค่าความเข้มสี นำการวิเคราะห์การถดถอยมาคาดการค่าสมดุลที่ต้องการและนำค่าที่ได้มาทดลอง ค่าคาดการณ์จากสมาการณ์ความสัมพันธ์มีค่า 95.62% และมีค่าสมดุลระหว่างความทั่วถึงและความหนาสีที่เหมาะสมคือ ค่าความเข้มสี 24% ค่าแรงดันไฟฟ้า 80 KV ค่ากระแสไฟฟ้า 10 µA และค่าความเร็วหัวปืน 30 Hz

วิศรุต วัลลภาพันธุ์ [9] ได้ศึกษาปัจจัยการพ่นสีเพื่อให้ความหนาของชั้นสีใสบนกันชนรถยนต์ได้มีความหนาใกล้เคียงเป้าหมาย 17.5 ไมครอน มากที่สุด จากการวิเคราะห์พบปัจจัย หลักที่มีผล ความกว้างของหน้าปืน อัตราการไหลของสี และระยะห่างของปืนพ่น ได้ใช้การออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบ บ๊อกซ์-เบห์นเคน ผลจากผลวิจัยได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ความกว้างหน้าปืน 15 เซนติเมตร, อัตราการไหลของสี 200 ซีซี/นาที และระยะห่างของปืน 10 เซนติเมตร ค่าความหนาของชั้นสีใสก่อนปรับปรุง 22.2 ไมครอน หลังปรับปรุงเหลือ 17.4 ไมครอน ซึ่งใกล้เคียงกับเป้าหมาย 17.5 ไมครอน

พิชญา วาดสูงเนิน [10] ได้ศึกษาปัจจัยกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบาง การวิเคราะห์ได้ปัจจัยนำเข้า ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างระหว่างปืน อุณหภูมิในการอบ และเวลาในการอบ ใช้การออกแบบพื้นผิวตอบแบบสะสมกลางแบบ CCF ผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดสัดส่วนของเสียจากร้อยละ 8 เหลือ 1.13 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียได้ 6,877,484 บาทต่อปี

2.5 วิจารณ์งานวิจัย

การใช้การออกแบบการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยในการผลิตมีในธุรกิจหลากหลายประเภทที่นำมาใช้ และได้สัมฤทธิ์ผลของทางด้าน ประสิทธิภาพและคุณภาพ [4] การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ร้อยละ 13 ของการขึ้นรูปด้วยความร้อน, [5] การเพิ่มอนุภาคนาโนให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น, [6] และ [7] การเพิ่มคุณภาพของผิวในกระบวนการตัดกัด และกลึงเหล็กให้มีผิวเรียบให้ตรงตามคุณภาพ [8], [9] และ [10] การปรับปรุงคุณภาพและลดปริมาณของเสียจากการพ่นสี

3. การออกแบบการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์หาปัจจัย

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการแผนผังสาเหตุและผล และหลักการการระดมสมองของทีมงานวิจัยในปัญหาความหนาสีเกิน 95 ไมครอน ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ จำนวน 20 ปัจจัย จากนั้นใช้หลักการของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ดำเนินการประชุมให้คะแนนร่วมกันของทีมวิจัย ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยและคะแนนที่ได้

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน
1	พนักงานเมื่อยล้า	9
2	สลับคู่พนักงานพ่นสีทุก 2 ชม.	1
3	สลับคู่พนักงานพ่นสีทุก 4 ชม.	3
4	ให้พนักงานเลือกเวลาสลับคู่พ่นสีเอง	1
5	การแขวนงานพ่นสี	3
6	นำด้านแป้นกลมห้อยลงล่าง	3
7	วิธีการพ่นสี	3
8	การพ่นสีด้านละ 2 Step	3
9	ความเร็วในการพ่นสี 3.5 – 4.5 วินาที	9
10	ใช้พนักงานพ่นสี 2 คน	1
11	ระยะห่างของปืน 15 – 20 ซม.	9
12	การกระจายตัวของสี	9
13	การยึดติดของสี	9
14	อุณหภูมิการอบสี 210 ˚C	1
15	ความเร็วโซ่ลำเรียง 55 rpm/min	3
16	ผงสีออก 65%	9
17	แรงดันไฟฟ้าเข้า 70 kV	9

18	แรงดันไฟฟ้าออก 80 µm	9
19	แรงลมเข้า 4.0 bar	9
20	แรงลมออก 0.05 bar	9

3.2 การคัดเลือกปัจจัยไปศึกษาต่อ

จากตารางที่ 2 จะมีปัจจัยที่มีคะแนนสูงถึง 9 คะแนน จำนวน 10 ปัจจัย ทางทีมวิจัยได้นำปัจจัยทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ผลกระทบแล้วพิจารณาแนวทางแก้ไข และได้ทำการตัดสินใจคัดเลือกปัจจัยไปดำเนินการศึกษาและแก้ไขต่อด้วยหลักการของผู้บริหารโรงงานในกรรีศึกษากำหนดไว้ คือ ไม่แก้ไขปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพนักงานและคุณภาพ หรือปริมาณการผลิตและต้องไม่ใช้ต้นทุนที่สูง สรุปผลการคัดเลือกจึงได้ปัจจัยนำเข้าไปดำเนินการวิจัยและศึกษาต่อทั้งหมดจำนวน 5 ปัจจัย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อ

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	มาตรฐาน	หน่วย
1	ผงสีออก	65	%
2	แรงดันไฟฟ้าเข้า	70	kV
3	แรงดันไฟฟ้าออก	80	µA
4	แรงลมเข้า	4	bar
5	แรงลมออก	0.05	bar

3.2 การเลือกแบบทดลองมาใช้กับงานวิจัย

นำปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการคัดเลือก ไปศึกษาต่อด้วยวิธีการ ออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ (2k Factorial Design) โดยมีการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัจจัย ที่ระดับสูง (+1) และระดับต่ำ (-1) สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกการใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ เพราะเนื่องจากตัวแปรนำเข้ามีจำนวนมากถึง 5 ปัจจัย และเลือกใช้การทดลองครบทุกชุดค่าผสมที่เป็นไปได้

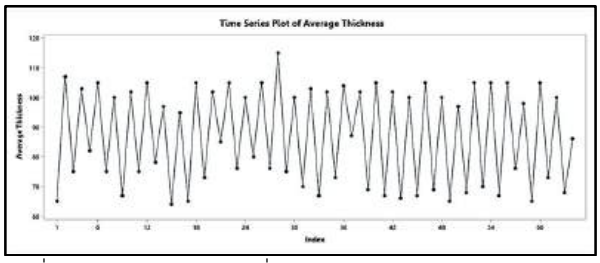
3.3 จำนวนการทดลองและค่าความเชื่อมั่น

งานวิจัยนี้มี 32 แบบการทดลองและมีการทำซ้ำ 2 ครั้งจึงจะมีค่าผลการทดลองจำนวน 64 ค่า โดยการทดลองจะเป็นการทดลองแบบสุ่ม เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงเรื่องของอุณหภูมิของแต่ละช่วงเวลาของการทำงานและเป้าหมายค่าความเชื่อมั่น ของการทดลองต้องไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

4.ผลการวิจัย

4.1 การตรวจสอบผลการทดลอง

ใช้โปรแกรม Minitab 19 ดำเนินการตรวจสอบ ผลของการทดลองด้วยพล็อตอนุกรมเวลา (Time Series Plot) หรือการนำข้อมูลผลของการทดลอง หรือ ค่าเฉลี่ยความหนาของสีฝุ่นที่ชิ้นงานจากการทดลองในแต่ละรอบของการดำเนินการทดลอง ด้วยกราฟเส้นเพื่อดูลักษณะแนวโน้มของข้อมูล จากรูปที่ 3 พบว่าแนวโน้มของข้อมูลจำนวน 64 ค่าของการทดลองมีการสวิงขึ้นลงไม่เกาะเป็นกลุ่ม หรือเรียงตัวเป็นแนวเดียวกัน ดังนั้นก็จะถือได้ว่าผลของการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสามารถนำไปใช้งานต่อได้



รูปที่ 3 ค่าความหนาของสีที่ได้มาจากการทดลอง

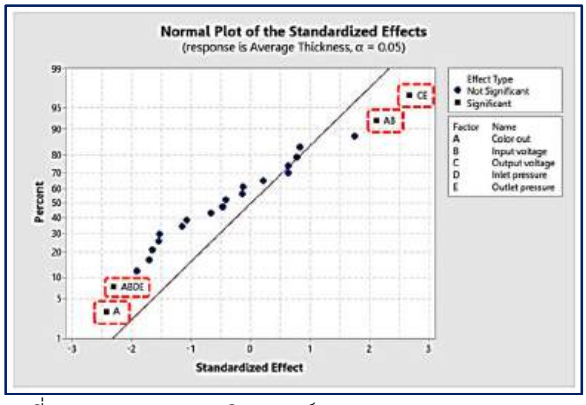
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลจากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบปัจจัย (Factorial Regression) ได้พบว่าจำนวนเทอมที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความสำคัญ $\leq$ 0.05 มีทั้งหมด 4 เทอม ได้แก่ 1) ค่าของผงสีออก 2) ค่าของสีออกร่วมกับค่าไฟฟ้าเข้า 3) ค่าไฟฟ้าออกร่วมกับค่าแรงลมเข้า 4) ค่าผงสีออก ค่าไฟฟ้าเข้า ค่าแรงลมเข้า และค่าแรงลมออกร่วมกันมีผลกระทบแบบมีนัยสำคัญ แสดงได้ตามรูปที่ 4 และพิจารณาค่าความเชื่อมั่น R-Sqr(adj) มีค่า 88.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงมีความน่าเชื่อถือ

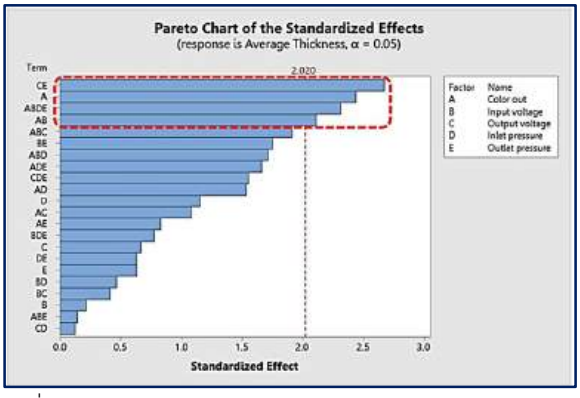
Term	P-Value	VIF
Constant	0.000	
Color out	0.019	1.00
Input voltage	0.830	1.00
Output voltage	0.508	1.00
Inlet pressure	0.255	1.00
Outlet pressure	0.531	1.00
Color out*Input voltage	0.041	1.00
Color out*Output voltage	0.285	1.00
Color out*Inlet pressure	0.133	1.00
Color out*Outlet pressure	0.411	1.00
Input voltage*Output voltage	0.680	1.00
Input voltage*Inlet pressure	0.641	1.00
Input voltage*Outlet pressure	0.088	1.00
Output voltage*Inlet pressure	0.900	1.00
Output voltage*Outlet pressure	0.011	1.00
Inlet pressure*Outlet pressure	0.531	1.00
Color out*Input voltage*Output voltage	0.063	1.00
Color out*Input voltage*Inlet pressure	0.094	1.00
Color out*Input voltage*Outlet pressure	0.886	1.00
Color out*Inlet pressure*Outlet pressure	0.105	1.00
Input voltage*Inlet pressure*Outlet pressure	0.442	1.00
Output voltage*Inlet pressure*Outlet pressure	0.128	1.00
Color out*Input voltage*Inlet pressure*Outlet pressure	0.026	1.00

รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

และยืนยันหรือเปรียบเทียบผลได้ด้วย Normal plot และ Pareto chart ดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



รูปที่ 5 Normal plot วิเคราะห์ความแปรปรวน



รูปที่ 6 Pareto chart วิเคราะห์ความแปรปรวน

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

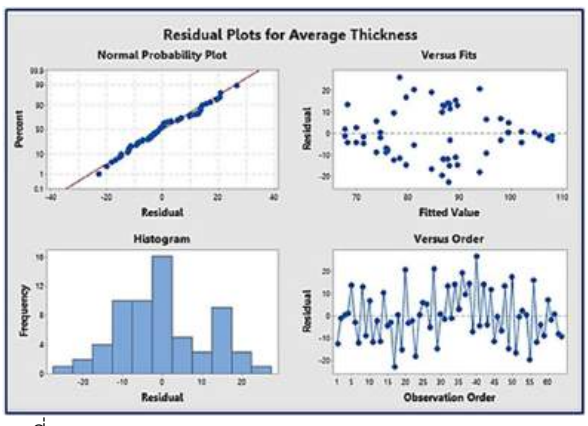
รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลความหนาเฉลี่ยของสีที่ได้ผลมาจากการทดลองด้วย Analyze Factorial Design

1) จากกราฟการกระจาย (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้างโดยดูจากการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งจะเห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแบบปกติ ซึ่งจะแสดงได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นปกติ

2) จากกราฟ Versus Fits แสดงถึงการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) จะพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ หรือไม่เป็นรูปแบบแน่นอนแสดงให้เห็นได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันทั้งทางด้านบวกและด้านลบ ไม่เป็นลักษณะของรูปแบบลำโพงปากเปิดของด้านใดด้านหนึ่ง จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลพิจารณาได้

3) จากกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) แสดงลักษณะของข้อมูลที่อยู่ทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นการกระจายตัวในรูปแบบปกติ โดยจะมีลักษณะเป็นรูปแบบการกระจายตัวแบบระฆังคว่ำ ดังนั้นแสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติสามารถใช้เพื่อการพิจารณาได้

4) จากกราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม (Versus Order) ใช้ตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ จากกราฟแสดงถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีการกระจายตัวเป็นบวก และลบอย่างสุ่ม ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

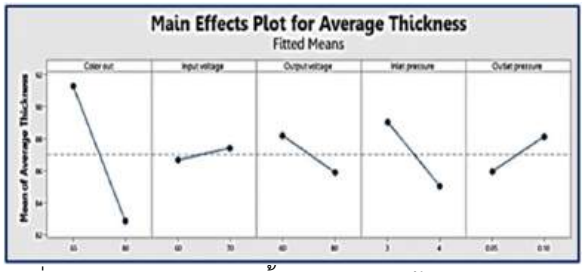


รูปที่ 7 Residual Plots for Average Thickness

4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบ

4.4.1 ผลกระทบหลัก (Main effects)

การวิเคราะห์ผลกระทบหลักของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย ด้วยการใช้ Factorial Plots จะแสดงถึงผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าในแต่ระดับ ที่ทำให้มีการส่งผลให้ความหนาของสีที่ชิ้นงานหนาหรือบาง โดยแสดงดัง รูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลกระทบหลักของทั้ง 5 ปัจจัยนำเข้า

1) ค่าผงสีออก

จากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงการปรับตั้งค่าผงสีออกระดับต่ำจะทำให้ค่าความหนาเฉลี่ยของสีที่ชิ้นงานจะมาก และถ้าปรับตั้งค่าผงสีออกระดับสูงจะส่งผลให้ค่าความหนาสีที่ชิ้นงานเฉลี่ยจะน้อย

2) ค่าแรงไฟฟ้าเข้า

จากกราฟจะแสดงให้เห็นผลกระทบต่อค่าความหนาเฉลี่ยของสีที่ชิ้นงานน้อยมาก ประมาณเพียง 1 ไมครอนเท่านั้น ระหว่างการใช้การตั้งค่าระดับต่ำจะมีค่าความหนาของสีเฉลี่ยน้อยกว่า การใช้การปรับตั้งค่าระดับสูง

3) ค่าแรงไฟฟ้าออก

จากกราฟจะแสดงให้เห็นการปรับตั้งค่าแรงไฟฟ้าออกอยู่ในระดับต่ำจะส่งผลทำให้ค่าความหนาเฉลี่ยของสีที่ชิ้นงานจะมาก และถ้าปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าออกอยู่ในระดับสูงจะส่งผลให้ค่าความหนาของสีเฉลี่ยจะน้อย

4) ค่าแรงลมเข้า

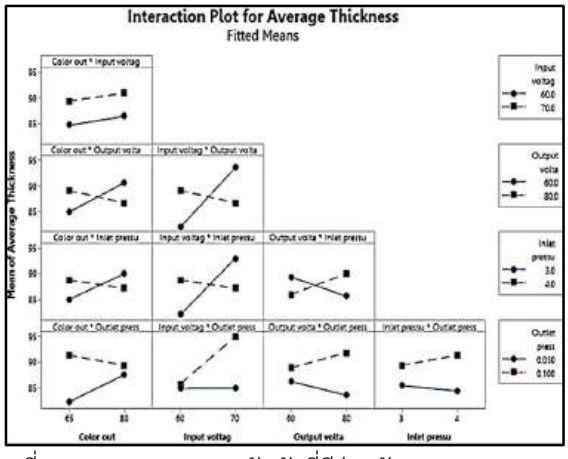
จากกราฟจะแสดงให้เห็นการปรับตั้งค่าแรงลมเข้าอยู่ในระดับต่ำจะทำให้ค่าความหนาเฉลี่ยของสีที่ชิ้นงานจะสูง และถ้ามีการปรับตั้งค่าแรงลมเข้าระดับสูงจะส่งผลให้ค่าความหนาของสีที่ชิ้นงานเฉลี่ยจะน้อย

5) ค่าแรงลมออก

จากกราฟจะแสดงให้เห็นการปรับตั้งค่าแรงลมออกอยู่ในระดับต่ำจะทำให้ค่าความหนาเฉลี่ยของสีที่ชิ้นงานจะน้อย และถ้าปรับตั้งค่าแรงลมออกระดับสูงจะส่งผลให้ค่าความหนาของสีที่ชิ้นงานเฉลี่ยจะมาก

4.4.2 การปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย (Interaction Plot)

การวิเคราะห์การปฏิสัมพันธ์ที่มีผลร่วมกันของค่าปัจจัยในการใช้การตั้งค่าพ่นสีฝุ่นด้วยการใช้ Factorial Plots จะแสดงถึงผลกระทบที่มีร่วมกันระหว่างปัจจัยนำเข้า ที่ทำให้ความหนาสีที่ชิ้นงานหนาและบาง โดยแสดงดังรูปที่ 9



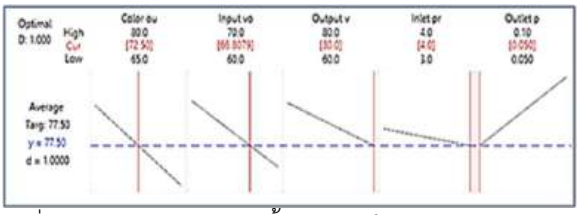
รูปที่ 9 ผลกระทบลองของปัจจัยที่มีร่วมกัน

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย ที่มีผลต่อค่าความหนาสีที่ชิ้นงาน ในแต่ละระยะช่วงค่าความสัมพันธ์ จะเห็นค่าความหนาสีที่แตกต่างกันมีทั้งมากและน้อย แต่จะเห็นได้ว่าค่าความหนาสีจะอยู่ในช่วงระยะ 80-95 ไมครอน อยู่ในระยะที่ต้องการ

4.5 การหาค่ามาตรฐานในการผลิตใหม่ของปัจจัยนำเข้า

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากการดำเนินการทดลองจนมั่นใจแล้ว จึงได้ดำเนินการหามาตรฐานใหม่ของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัย โดยใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) แล้วเลือกใช้ Response Optimization แล้วเลือกใช้ Target จากนั้น กำหนดค่าในช่อง Target เป็นค่ากลางระหว่างค่าความหนาของสีที่ชิ้นงานขายึดที่พยุงตัวผู้ป่วยตามความหนาที่ประกอบสกรูได้ คือ ค่าความหนาของสีระหว่าง 60 – 95 ไมครอน โดยค่ากลางจะเป็นค่า 77.5 ไมครอน จากผลการคำนวนจะได้ค่ามาตรฐานการตั้งค่าพ่นสีฝุ่นของใหม่ของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่าความ

หนาของสีที่ชิ้นงานอยู่ในค่า 60 – 95 ไมครอน ผลการคำนวณกำหนดค่ามาตรฐานการผลิตหรือการตั้งค่าการพ่นสีฝุ่นใหม่ทั้ง 5 ปัจจัย คือ 1) ค่าผงสีออก 72.50% 2) ค่าแรงไฟฟ้าเข้า 66.8079 kV หรือปัดเป็น 66.81 kV (หน้าจอ LED ที่เครื่องปรับค่าแสดงผลได้ของหน่วยทศนิยมเพียง 2 ตำแหน่ง) 3) ค่าแรงไฟฟ้าออก 80 μA 4) ค่าแรงลมเข้า 4.0 bar 5) ค่าแรงลมออก 0.05 bar ผลการคำนวณแสดงตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการคำนวณการตั้งค่าปัจจัยใหม่

5. สรุปผลงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการ ใช้มาตรฐานการพ่นสีฝุ่นใหม่ในเดือน ธันวาคม 2567 ยังคงพนักงานการทำเกลียวล้างสี แต่ให้ทำการตรวจค่าความหนาของสีชิ้นงานทุกชิ้น ถ้าพบความหนาสีมีค่า 60 – 95 ไมครอน ให้ปล่อยผ่าน แต่ถ้าพบค่าความหนาสีที่ 96 ไมครอน ขึ้นไปให้ทำการทำเกลียวล้างสีแล้วจดบันทึกทุกชิ้นงาน และในการผลิตในหนึ่งวันจดบันทึกค่าความหนาสีในใบสุ่มตรวจค่าความหนาสีของชิ้นงาน โดยมีการผลิตทั้งหมด 17 วัน และจำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมดมีจำนวน 17,739 ชิ้น สรุปผลจากการเก็บข้อมูลความหนาวันละ 30 ชิ้น พบค่าความหนาอยู่ในค่าควบคุมที่ 77.5 ± 17.5 ไมครอน หรือที่ระยะ 60 – 95 ไมครอน และพบว่ามีการทำเกลียวล้างสีจากการบันทึกเป็น 0 ชิ้น ทั้งจำนวน 17 วัน และสรุปมีการแจ้งเคลมปัญหาชิ้นงานจำนวน 22 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.124 จำนวนปัญหา 4 ปัญหา คือ 1) ปัญหาผิวชิ้นงานเป็นรอยจำนวน 9 ชิ้น 2) ปัญหาผิวสีมีละอองฝุ่นติดจำนวน 7 ชิ้น 3) ปัญหาผิวสีเป็นเม็ดจำนวน 5 ชิ้น 4) ผิวเป็นรูตามดจำนวน 1 ชิ้น การแจ้งเคลมปัญหาการประกอบสกรูไม่ได้เป็นร้อยละ 0 จากเดิมร้อยละ 13.33 การสรุปการเคลมของชิ้นงานที่ส่งให้ลูกค้าเดือน ธันวาคม 2567

5.1 การติดตามผลการปรับปรุง

ในการพ่นสีชิ้นงานในเดือน มกราคม 2568 มียอดการผลิต 12,500 ชิ้น มีการยกเลิกการเพิ่มพนักงานทำเกลียวล้างสีและให้พนักงานประกันคุณภาพ QA มาคอยสุ่มตรวจสอบและบันทึกค่าความหนา 30 ชิ้นต่อวัน ผลการติดตามข้อมูลค่าความหนาของสีที่สุ่มตรวจมีค่าอยู่ในเกณฑ์การควบคุมที่ 77.5 ±17.5 ไมครอน การแจ้งเคลมจากลูกค้าปัญหาประกอบสกรูไม่ได้ เป็นร้อยละ 0 และโรงงานรับพ่นสีสามารถลดต้นทุนลงได้ชิ้นละ 0.5 บาท จึงทำให้ลดต้นทุนของเดือน มกราคม 2568 ลงได้จำนวน 6,250 บาท และตามแผนผลิตของลูกค้าในปี 2568 มียอด 96,500 ชิ้น จะทำให้มีการลดต้นทุนการผลิตทั้งปีได้ 48,250 บาท

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Krungthai NEXT, เรียนรู้การเงิน, อัพเดตวันที่ 7 มี.ค. 2567 “ธุรกิจ SME คืออะไร? มีอะไรบ้าง รวมสิ่งที่รู้เกี่ยวกับการทำธุรกิจ”, https://www.krungthai.com/th/financialpartner/learn-financial/1854.

[2] K Bank, ครบเรื่องธุรกิจการเงิน รู้จริงทุกธุรกิจ “SME และธุรกิจ SME คืออะไร มีกี่ประเภท ไปทำความเข้า” , https://www.kasikornbank.com/th/kbiz/article/pages/guide-for-sme-business-and-how-it-works.aspx.

[3] ปรัชญา พละพันธ์, “คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ”, นนทบุรี : ไออีซี, 2560.

[4] M.S. Jamil, R. Khalid, A. Zulqarnain, M. Salman, (2018), “IMPROVING THERMOFORM PRODUCTIVITY: CASE OF DESIGN-OF-EXPERIMENT”, Journal of Quality and Technology Management, June 2018, (2018), pp. 87-106

[5] S.P. Surya Teja, N. Damodharan, “23 Full Factorial Model for Particle Size Optimization of Methotrexate Loaded Chitosan Nanocarriers: A Design of Experiments (DOE) Approach”, Hindawi, BioMed Research International, Volume 2018, (2018), pp. 1-9

[6] Nesredin Chekole Deresse, Vivek Deshpande, Ismail W.R. Taifa, “Experimental investigation of the

effects of process parameters on material removal rate using Taguchi in external cylindrical grinding operation", Engineering Science and Technology, an International Journal, 2019, (2019), pp. 405-420

[7] Boppana V. Chowdary, Riaz Jahoor, Fahraz Ali, Trishel Gokool, "Optimisation of Surface Roughness when CNC Turning of AI-6061: Application of Taguchi Design of Experiments and Genetic Algorithm", Journal of Mechanical Engineering, Vol.16(2), 2019, (2019), pp. 77-91

[8] ชนินทร์ สมนาค, (2565), "การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องพ่นสีและอบสีดิสก์เบรก",(ปริญาญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม) (2022), pp. 1-68

[9] นายวิศรุต วัลลภาพันธุ์, (2563), "การลดความหนาของชั้นสีในกระบวนการพ่นสีกันชนรถยนต์โดยการปรับค่าปัจจัยของปืนพ่นสี", (ปริญญานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), (2020), pp. 1-98

[10] น.ส.พิชญา วาดสูงเนิน, (2565), "การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังตารถกระบะเอนกประสงค์", (ปริญญานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), (2022), pp. 1-134

การเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ กรณีศึกษา: โรงงานผลิตพรมรถยนต์

Improving Labor Efficiency in The Carpet Packing Process A Case Study: Car Carpet Factory

ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[1*] สุขุม โฆษิตชัยมงคล[1] พลกฤต วัชรผลานนท์[1]
กฤตพล เบาวะนนท์[1] ศิริวรรณ ลิ้มมงคล[1] อิทธิพล เนคมานุรักษ์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร

Thammawit Prasert[1*] Sukum Kositchaimongkon[1] Ponlakit Watcharaparanon[1]
Kittaphon Baowanon[1] Siriwan Limmongkol[1] Itthipol Nakamanuruck[2]
[1]Department of Industrial Engineering and Management
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[2]Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail: Prasert_t@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ เนื่องจากปัจจุบันธุรกิจผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มีการแข่งขันกันสูง ทางบริษัทจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการแข่งขันที่เกิดขึ้น จากการศึกษากระบวนการพบว่าในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ โมเดลตัวอย่างในกระบวนการบรรจุ มีพนักงาน 8 คน มีต้นทุนแรงงาน 70,000 บาทต่อเดือน ประสิทธิภาพแรงงานอยู่ที่ 65.70 เปอร์เซ็นต์และพบการรอคอยงานของพนักงานในกระบวนการดังกล่าว จากนั้นนำแผนผังก้างปลามาวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาพบว่าพนักงานภาระงานไม่เท่ากัน เพื่อแสดงภาระงานของพนักงาน จึงทำแผนภูมิยามาซูมิและประยุกต์ใช้หลักการแนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน ผลการดำเนินการพบว่าจากการจัดลำดับงานใหม่งานของพนักงานการรวมงานและการขจัดขั้นตอนการดึงเทปที่ไม่จำเป็นออก และเปลี่ยนมาใช้เครื่องตัดเทปอัตโนมัติแทนสามารถลดพนักงานกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ได้ 2 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานที่ลดลง 17,500 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนแรงงานก่อนปรับปรุง และมีประสิทธิภาพแรงงานเพิ่มขึ้นจาก 65.70 เปอร์เซ็นต์ เป็น 84.33 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก กระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ การลดต้นทุน แนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน
การเพิ่มประสิทธิภาพแรงงาน

Abstract

This study is improving labor efficiency in the packaging of car carpets process. To remain competitive in the very competitive automobile parts manufacturing sector, the business must figure out how to cut expenses and boost productivity. The research focused on revealed that the sample model had eight employees in the automobile carpet packing line, with a labor cost of 70,000 THB per month and a labor efficiency is 65.70%. Worker idle time was also noted during the procedure. After that, a fishbone diagram was employed to examine the underlying reasons for the issue, exposing an uneven workload distribution among employees. Waste reduction techniques were used to optimize operations and a Yamazumi chart was made to depict this problem. Task sequences were rearranged, responsibilities were combined, and pointless procedures like manual tape removal were eliminated and replaced with an automatic tape cutter as part of the improvement efforts. Because of this, the packaging process employed two fewer workers, which resulted in a monthly labor cost decrease of 17,500 THB, or 25% of the initial cost. Additionally, labor efficiency increased from 65.70% to 84.33%, which significantly improved process efficiency as overall.

Keywords: Carpet packing process, costs reduction, ECRS, labor efficiency

1. บทนำ

บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ จากการศึกษาเวลา [1] และกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ พบว่ามีการใช้พนักงาน 8 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงาน 70,000 บาทต่อเดือน และเกิดการรอคอย 37.1 วินาทีในกระบวนการผลิตซึ่งเกิดการรอคอยที่ศุนย์เปล่าและอาจใช้พนักงานเกินความจำเป็น วิธีแก้ไขคือการปรับสมดุลการทำงานให้พนักงานใช้เวลาใกล้เคียงกันมากขึ้น อบรมเพิ่มทักษะพนักงาน และพิจารณาใช้เครื่องมือช่วยในการทำงานสิ่งเหล่านี้จะช่วยลดเวลาสูญเปล่าและต้นทุน รวมถึงเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันในอุตสาหกรรม โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนแรงงานลงให้ได้ 25 เปอร์เซ็น ขอบเขตของการวิจัยจะอยู่ในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ของโรงงานตัวอย่าง และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Asariella Findya Octa Pertiwi และ Rahmaniyah Dwi Astuti [2] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตด้วยการปรับปรุงวิธีการทำงานในสายการประกอบเครื่องซักผ้าของบริษัท PT.X โดยใช้แนวทางการปรับสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) และแนวคิด ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) ผลการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิภาพสายการผลิตของเครื่องซักผ้าอยู่ที่ 76.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังไม่ถึงเป้าหมายของบริษัทที่กำหนดไว้ที่ 99.50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตเพิ่มเติม โดยเมื่อดำเนินการปรับปรุงวิธีการทำงานแล้ว ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 89.38 เปอร์เซ็นต์ E. Mohamad และคณะ [3] ทำการศึกษาการการไหลของวัสดุและพัฒนาระบบการไหลของวัสดุขึ้นใหม่โดยการใช้ Spaghetti Diagram และ Line Balancing ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของพนักงานดีขึ้น รวมถึงมีการปรับปรุงตำแหน่งของสถานีงานและพื้นที่จัดเก็บวัสดุ ระยะทางระหว่างพื้นที่จัดเก็บและสถานีต่างๆ ลดลง 88 เปอร์เซ็นต์ จาก 36.2 เมตร เหลือ 4.4 เมตร และระยะระหว่างพื้นที่จัดเก็บกับสถานี SAS ลดลง 72 เปอร์เซ็นต์ จาก 18.7 เมตร ลดเหลือ 5.3 เมตร

จากงานวิจัยของธรรมวิชช์ [4] และวันชัย [5] ได้นำ ECRS, Line Balancing, Yamasumi Chart มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาในการสถานประกอบการ จึงเป็นแนวทางในการดำเนินการศึกษาครั้งนี้

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานศึกษานี้มุ่งเน้นที่หาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานโดยการลดเวลารอคอยและจัดสมดุลการผลิตใหม่

3.1 ขั้นตอนดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลทั่วไปของบริษัท
2) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล
3) การระบุปัญหาและการวิเคราะห์ปัญหา
4) แนวทางการปรับปรุง

3.2. ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัท กรณีศึกษา เป็นบริษัทแรกในประเทศไทยที่มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตพรมปูพื้นรถยนต์แบบครบวงจร กระบวนการผลิตมีการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพอย่างพิถีพิถันในทุกขั้นตอนก่อนส่งมอบให้กับผู้ผลิตยานยนต์

3.2.1 การเลือกกระบวนการผลิตในการปรับปรุง

แนวทางในการเลือกกระบวนการผลิต ดังนี้

1) พิจารณากระบวนการผลิตที่มีโมเดลจำนวนชิ้นที่เยอะ และมีรายละเอียดมากซึ่งใช้เวลาตรวจแต่ละชิ้นนาน
2) พิจารณากระบวนการผลิตที่มีโมเดลที่บรรจุยาก (กล่องเล็ก การบรรจุ ต้องช่วยกันประคอง แตกต่างจากกล่องใหญ่ที่ใส่ได้ง่ายปิดรอบเดียว) พนักงานเยอะ
3) พิจารณากระบวนการผลิตพรมรถยนตร์ด้วยการทอ

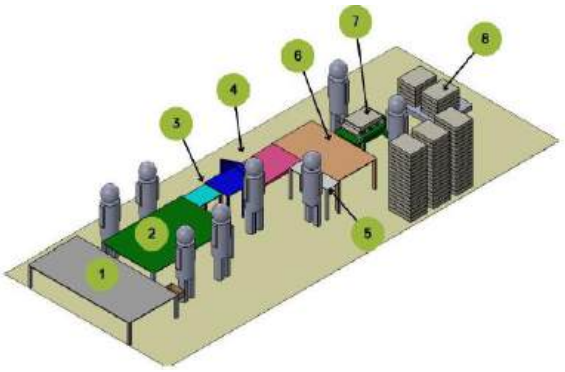
โดยลักษณะผลิตภัณฑ์พรมรถยนตร์ด้วยการทอ จำนวนส่วนประกอบ ดังแสดงภาพที่ 1

3.2.3 ข้อมูลสายการผลิต

กระบวนนการบรรจุพรมเป็นส่วนสุดท้ายของการผลิต มี 3 กระบวน ซึ่งทุกกระบวนการใช้พนักงานเท่ากัน 8 คน

โดยในแต่ละกระบวนการมีรายการดังนี้ 1) โต๊ะวางพรม 2) โต๊ะตรวจพรม 3) เครื่องชั่งน้ำหนัก 4) จุดใส่ถุง 5) ซีล 6) โต๊ะวางพรมที่ซีลแล้ว 7) เครื่องใส่กล่อง และ 8) พาเรทวางกล่อง ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



ภาพที่ 2 กระบวนการบรรจุพรมรถยนต์

3.3 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษาการแบ่งงานของพนักงาน โดยมีรายละเอียดงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งงานของการบรรจุพรมรถยนต์

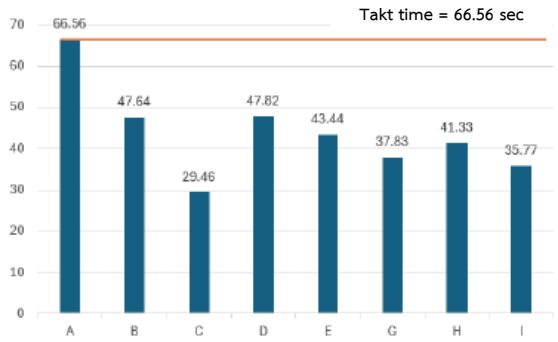
พนักงาน	ชื่องาน	หน้าที่	เวลา (วินาที)
A	ตรวจ ER-FL	ตรวจพรม FR-FL	66.56
B	ตรวจ RC-RR	ตรวจพรม RC-RR	47.64
C	ตรวจ RL	ตรวจพรม RL และรวมพรมส่ง	29.46
D	จัดเซต	จัดเซตพรมให้เป็นระเบียบ	47.82
E	บรรจุ	บรรจุพรมจากกิโลลงถุง	43.44
G	ซีล	ซีลปิดถุง	37.83
H	ใส่กล่อง	นำพรมที่ซีลแล้วบรรจุลงกล่อง	41.33
I	ใส่กล่อง	นำพรมที่ซีลแล้วบรรจุลงกล่อง	35.77

หลังจากการทำจับเวลาและคำนวณเวลามาตรฐานของพนักงานแต่ละคนซึ่งกระบวนการใส่กล่อง จะใส่ 3 เซตต่อครั้ง ซึ่งกระบวนการก่อนหน้าจะเป็นต่อเซตจึงทำการเปลี่ยน

หน่วยให้สอดคล้องกันจาก เดิมต่อเซตเป็นต่อกล่องได้เวลารวมดังตารางที่ 1

3.4 ขอบเขตการปรับปรุง

เนื่องจากกระบวนการบบรจุพรมรถยนตร์โมเดลที่ศึกษานั้นอยู่ภายใต้ takt time ในการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นในการลดต้นทุนแรงงานและจัดภาระงานให้เหมาะสมกับจำนวนพนักงาน เพื่อไม่ให้จำนวนการบรรจุต่อกล่องลดลงจึงได้กำหนดขอบเขตการปรับปรุงให้รอบ เวลาการผลิตไม่เกิน 66.56 วินาทีต่อกล่อง โดยมีพนักงานทั้งหมด 8 คน



ภาพที่ 3 เวลาบรรจุพรม เทียบกับ takt time

3.5 การระบุปัญญาและการวิเคราะห์ปัญหา

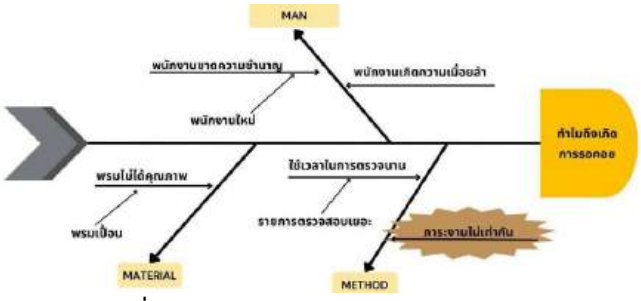
รวบรวมข้อมูลมาทำให้ทราบเวลาในการทำงานของพนักงานแต่ละคน และเวลาคอยของพนักงานแต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การรอคอยงานของพนักงาน

พนักงาน	เวลา (วินาที)	เวลารอคอย	เปอร์เซ็นต์การรอคอย
A	66.56	0.00	0.0%
B	47.64	18.92	28.4%
C	29.46	37.10	55.7%
D	47.82	18.74	28.2%
E	43.44	23.12	34.7%
G	37.83	28.73	43.2%
H	41.33	25.23	37.9%
I	35.77	30.79	46.3%

จากตารางที่ 2 นำมาวิเคราะห์แผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาว่าทำไมถึงเกิดการรอคอย ในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ โดยมีส่วนที่ต้องวิเคราะห์ 3 ส่วนคือ พนักงาน (MAN) วัตถุดิบ (Material) และ กระบวนการ (Method) ดังแสดงในภาพที่ 4

จากการวิเคราะห์แผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุของปัญหา สามารถสรุปได้ว่าการรอคอยในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ มีสาเหตุมาจากพนักงานภาระงานไม่เท่ากัน ผู้ศึกษาจึงทำการสรุปหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้การจัดสมดุลกระบวนการผลิต (Line balance) และหลักการ ECRS ในการแก้ไขปัญหาการรอคอยในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ โดยมีรายละเอียดก่อนการปรับปรุง ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังก้างปลาปัญหาการรอคอย

ตารางที่ 4 รายละอียดก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาทำงาน (วินาที)	66.56	66.56
เวลาการทำงานเฉลี่ย (วินาที)	43.73	56.13
ประสิทธิภาพ	65.7	84.33
จำนวนพนักงาน (คน)	8	6
ค่าแรงพนักงานต่อเดือน (บาท)	70,000	52,500
กำลังผลิต (กล่อง/ชม.)	54	54

4. ผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังก้างปลาพบว่าสาเหตุเกิดจากการภาระงานไม่เท่ากันของพนักงาน ซึ่งทำให้พนักงานที่ใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อยเกิดการรอคอย จากสาเหตุดังกล่าวจึงใช้แนวทางการแก้ปัญหาโดยการจัดสมดุลกระบวนการผลิตและหลักการลดความสูญเปล่า ECRS โดยมีผลการปรับปรุงดังนี้

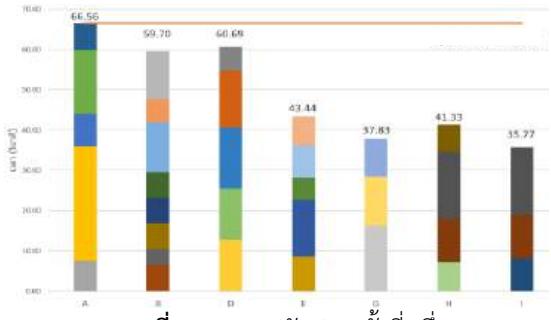
4.1 ผลการปรับปรุง

4.1.1 ผลการปรับปรุงครั้งที่หนึ่ง

ทำการจัดลำดับงานใหม่ (Rearrange) ของพนักงาน C ในแต่ละขั้นตอนให้กับพนักงาน B และ D ทำให้พนักงาน B มีรอบเวลาทำงานต่อกล่องอยู่ที่ 59.70 วินาทีต่อกล่อง และ

พนักงาน D มีรอบเวลาทำงานต่อกล่องอยู่ที่ 60.69 วินาทีต่อกล่อง ซึ่งมีผลสรุปดังแสดงภาพที่ 5

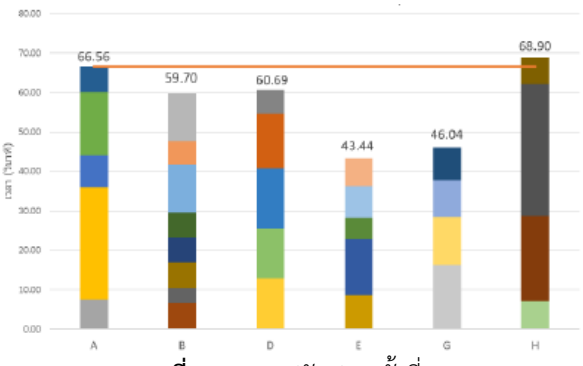
การปรับปรุงครั้งแรกทำให้พนักงานลดลงหนึ่งคน คิดเป็นต้นทุนแรงงาน 8,750 บาทต่อเดือน หรือลดลง 12.5 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนแรงงาน ประสิทธิภาพแรงงานอยู่ที่ 74.11 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5 ผลการปรับปรุงครั้งที่หนึ่ง

4.1.2 ผลการปรับปรุงครั้งที่สอง

ทำการกระจายงาน (Rearrange) ของพนักงาน I ให้กับพนักงาน G และรวมงาน (Combine) ของพนักงาน I ให้กับพนักงาน H จะทำให้เวลาต่อรอบการทำงานของพนักงานเท่ากับ 46.04 วินาทีต่อกล่องและ 68.90 วินาทีต่อกล่องตามลำดับซึ่งสรุปได้ดังแสดงภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการปรับปรุงครั้งที่สอง

การปรับปรุงครั้งที่สองทำให้พนักงานลดลงหนึ่งคนจากเดิมจากการปรับปรุงครั้งที่หนึ่งอยู่ที่ 7 คนลดลงเหลือ 6 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานอยู่ที่ 8,750 บาทต่อเดือนซึ่งจากการปรับปรุงครั้งที่หนึ่งและสองสามารถลดพนักงานได้ 2 คนคิดเป็นต้นทุนแรงงานอยู่ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนเดิมก่อนปรับปรุงครั้งแรก และ การปรับปรุงครั้งที่สองทำให้เวลาภาระงานของพนักงาน H เพิ่มขึ้นเกินขอบเขตการปรับปรุงกำหนดไว้ที่ 66.56 อยู่ที่ 68.90 ซึ่งทำให้พนักงาน H กลายเป็นคอขวดและยอดการบรรจุต่อชั่วโมงลดลงจาก 54 กล่อง เหลือ 52 กล่อง

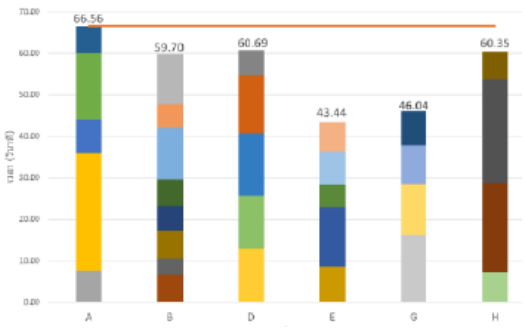
4.1.3 ผลการปรับปรุงครั้งที่สาม

จากการปรับปรุงครั้งที่สอง การจัดสมดุลทำให้จำนวนการบรรจุลดลงเหลือ 52 กล่องต่อชั่วโมง ส่งผลให้ H เป็นคอขวด จึงทำการกำจัด (Eliminate) ขั้นตอนการดึงเทปออกและเปลี่ยนมาใช้เครื่องตัดเทปอัตโนมัติ เนื่องจากจะทำให้เวลาในการแปะเทปลดจาก 33.46 วินาที เหลือ 24.96 วินาที โดยมีขั้นตอนที่เปลี่ยนไปดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขั้นตอนการแปะเทปหลังปรับปรุง

กระบวนการแปะเทป	
ขั้นตอนการทำงาน	**เวลา (วินาที)**
หยิบม้วนเทป	2
แปะเทป	13.04
แปะเทปด้านขวา	5.02
แปะเทปด้านซ้าย	4.9
รวม	24.96

จากการกำจัดการขั้นตอนการแปะเทป ทำให้เวลาในการทำงานของพนักงาน H ลดลงจากเดิม 68.90 วินาที เหลือ 60.35 วินาที ที่การบรรจุ 54 กล่องต่อชั่วโมง ซึ่งทำให้คอขวดของกระบวนการบรรจุพรมจะเป็นพนักงาน A ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการปรับปรุงครั้งที่สาม

จากการปรับปรุงทั้งสามครั้ง สามารถลดพนักงานได้ 2 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานอยู่ที่ 17,500 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนแรงงาน โดยที่จำนวนบรรจุเท่าเดิมได้ที่ 54 กล่องต่อชั่วโมง

5. สรุปผลการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานในกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ จึงดำเนินการปรับสมดุลกระบวนการบรรจุพรมรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้วยหลักการ ECRS ผลการดำเนินการพบว่า จากการจัดงานและรวมงาน สามารถลดต้นทุนแรงงานได้ 2 คน คิดเป็นเงินได้ 17,500 บาทต่อเดือน หรือเท่ากับ 25 ประสิทธิภาพของพนักงานเพิ่มขึ้น 84.33 เปอร์เซ็นต์ ทำให้กระบวนการบรรจุพรมรถยนต์มีความสมดุลกันมากขึ้น โดยมีเวลาเฉลี่ยการทำงานอยู่ที่ 56.13 วินาที และจำนวนยอดผลิตต่อชั่วโมงยังคงเท่าเดิมที่ 54 กล่องต่อชั่วโมง

6. กิตกิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการ วิจัยนวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Rajiwate, A., Mirza, H., Kazi, S., & Momin, M. M. (2020). Productivity improvement by time study and motion study. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *7*(3), 5308-5312.

[2] Pertiwi, A. F. O., & Astuti, R. D. , “Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: a case study", *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 2020, 4(1), 13-29.

[3] Shafee, N. A. Q. M., Mohamad, E., Rahman, M. S. A., Rahman, A. A., & Ito, T, “AN INNOVATIVE APPROACH OF MATERIAL FLOW SYSTEM FOR MOTION REDUCTION IN A CAST MANUFACTURING FIRM”, *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 2024, *18*(1).

[4] ธรรมวิชช์ ประเสริฐ และคณะ. “ระบบออนไลน์สำหรับการจองคิวฝึกอบรมและการตรวจสอบเอกสารรถน้ำมัน.” การประชุมวิชาการราชมงคลด้าน เทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, (2565) ,หน้า 93- 100.

[5] วันชัย และคณะ. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กรณีศึกษา บริษัท มิตซูบิชิ อิเลคทริค ไทย ออโต้-พาร์ท จำกัด .” การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, (2567) ,หน้า 122- 127.

[6] Schäfer, L., Kochendörfer, P., May, M. C., & Lanza, G. (2023). Planning and Multi-Objective Optimization of Production Systems by means of Assembly Line Balancing. *Procedia CIRP*, *120*, 1125-1130.

[7] Navas-Barrios, E., Riquett-Rodríguez, A., Macías-Jiménez, M. A., & Romero-Conrado, A. R. (2022). An assembling line balancing problem: Lead-acid batteries case study. *Procedia Computer Science*, *203*, 525-530.

การออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย และการจำลองด้วย Tecnomatix Plant Simulation

Design and Simulation of a Self-Tipping Sugarcane Gondola Assembly Layout Using Tecnomatix Plant Simulation

ธนพล สมบัติ[1*] ธีรวุฒิ ศรีพันธ์ชาติ[2] สมเกียรติ เติมสุข[3] ดนัย สอนสุภาพ[4] และ ชาญณรงค์ สุภา[5]
[1] สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Thanapol Sombat[1*] Teerawut Sripunchat[2] Somkiat Thermsuk[3] Danai Sornsuphap[4]
and Charnnarong Supa[5]
[1]Department of Industrial Technical Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus,
E-mail: thanapol.so@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยเทคนิค Systematic Layout Planning (SLP) โดยการเขียนแบบจำลองด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation และเพื่อประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผัง โดยเริ่มจากการศึกษาความต้องการ พบว่า บริษัทผู้ผลิตน้ำตาลและเกษตรไร่อ้อยมีความต้องการรถกระเช้าเทอ้อยสูงขึ้นทุกปี ทำให้ทางบริษัทกรณีศึกษามองเห็นช่องทางในการเพิ่มผลิตภัณฑ์ใหม่ และสร้างต้นแบบรถกระเช้าเทอ้อยขึ้นมา แต่ยังขาดการวางผังที่เป็นระบบ สำหรับใช้ในการวางผังการผลิตจริง เพื่อให้ได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบผังการผลิตรถกระเช้าเทอ้อย โดยเริ่มจากการศึกษาแบบงานเพื่อใช้วิเคราะห์กระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยได้ 12 สถานีประกอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของแต่ละสถานี (Systematic Layout Planning: SLP) การแยกองค์ประกอบของกลุ่มความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ จากแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) และนำมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ ของคู่กิจกรรม (Relationship Diagram) จากนั้นทำการเขียนแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำนวน 3 ผัง และทำการคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุด จำนวน 1 ผัง โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ผลการประเมินพบว่า คะแนนประเมินคัดเลือกผังที่ 1 ได้คะแนนเฉลี่ย 345 คะแนน ผังที่ 2 ได้คะแนนเฉลี่ย 322 คะแนน และผังที่ 3 ได้คะแนนเฉลี่ย 403 คะแนน จากคะแนนเต็ม 500 คะแนน จากผลการประเมินได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผัง คือผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ 3 จากผลการประเมินได้นำผังที่ผ่านการคัดเลือกไปเขียนแบบในโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation เพื่อให้เห็นรายละเอียดที่ชัดเจนและใช้ในการวางผังการผลิตจริงต่อไป

คำหลัก ผังการประกอบ, การวางผังแบบเป็นระบบ (SLP), รถกระเช้าเทอ้อย, โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation

Abstract

This research aims to design an assembly layout for a self-tipping sugarcane transport gondola using the Systematic Layout Planning (SLP) technique. The study employs Tecnomatix Plant Simulation to develop a digital model of the layout and evaluates three alternative layouts to identify the most efficient one. The study begins with a needs assessment, revealing that both sugar manufacturing companies and sugarcane growers have shown increasing demand for self-tipping transport gondolas. As a result, the case study company identified a business opportunity to introduce a new product line and developed a prototype of the gondola. However, a systematic production layout had not yet been established for full-scale manufacturing. To address this, the researcher gathered data to support the design of an efficient production layout. The process began with work study analysis, leading to the identification of 12 assembly stations. SLP was applied to analyze the interrelationships among these stations. The process included developing a Relationship Chart to classify activity relationships and then constructing a Relationship Diagram. Based on this analysis, three alternative assembly layouts were designed using Tecnomatix Plant Simulation. These layouts were evaluated by three experts, who scored each layout based on effectiveness. Layout 1 received an average score of 345, Layout 2 scored 322, and Layout 3 achieved the highest average score of 403 out of a total possible score of 500. As a result, Layout 3 was selected as the most suitable assembly layout. This layout was then modeled in Tecnomatix Plant Simulation to provide a detailed visual representation and to serve as a foundation for future implementation in the actual production environment.

Keywords: Assembly Layout, Systematic Layout Planning, Self-Tipping Sugarcane Gondola, Tecnomatix Plant Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบัน สถานการณ์พื้นที่การปลูกอ้อย 2564/2565 มีพื้นที่การปลูกทั้งสิ้นจำนวน 11,022,348 ไร่ เพิ่มขึ้น 159,738 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 1.47 จากปีก่อนหน้า ข้อมูลดังกล่าวเป็นผลให้ราคาน้ำตาลในตลาดโลกมีแนวโน้มที่ดีขึ้นส่งผลให้ราคาอ้อยเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรกลับมาปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565) [7] ซึ่งการปลูกอ้อยจะแบ่งเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย การปลูก การบำรุง และการเก็บเกี่ยว ซึ่งการเก็บเกี่ยวจะเกิดปัญหามากที่สุด เนื่องจากการเก็บเกี่ยวเกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเนื่องจากการขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยว ปัญหาตามมาที่สำคัญ คือ การสูญเสียผลผลิต, น้ำหนัก และคุณภาพอ้อยลดลง อีกทั้งการเผาใบอ้อยยังเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหาความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้นำรถตัดอ้อยสดขนาดใหญ่มาใช้ในการเก็บเกี่ยว ซึ่งรถตัดอ้อยขนาดใหญ่จะตัดอ้อยให้มีลักษณะเป็นท่อนยาวประมาณ 30 – 50 เซนติเมตร เมื่อลำต้นอ้อยถูกตัดจะถูกลำเลียงให้สูงขึ้น จากนั้นอ้อยท่อนจะตกลงในรถกระเช้า เมื่ออ้อยเต็มกระเช้าจะยกเทใส่รถบรรทุกเพื่อจัดส่งโรงน้ำตาลต่อไป ซึ่งการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยขนาดใหญ่จะสามารถช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ และการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยขนาดใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีทำให้ความต้องการรถกระเช้าเทอ้อยเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากการศึกษาความต้องการ (จากการสอบถาม) บริษัทผู้ผลิตน้ำตาลในภาคอีสาน 3 บริษัท และเกษตรไร่อ้อยที่มีอ้อยส่งโรงงานน้ำตาล มากกว่า 4,000 ตัน/ปี จำนวน 5 ท่าน พบว่า บริษัทผู้ผลิตน้ำตาลและเกษตรไร่อ้อยมีความต้องการรถกระเช้าเทอ้อยสูงขึ้นทุกปี

และในปลายปี 2566 ได้ติดต่อให้บริษัท กรณีศึกษาทำการผลิต 5 คัน ส่วนในปี 2567 คาดว่ายอดการสั่งผลิตไม่ต่ำกว่า 20 คัน หากเกษตรไร่อ้อยใช้วิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีการตัดอ้อยสดเพิ่มมากขึ้นจะช่วยลดมลพิษทางอากาศ PM 2.5 ได้อีกด้วย จากความต้องการรถกระเช้าเทอ้อยที่กล่าวมาข้างต้น บริษัทฯได้ทำการออกแบบและผลิตต้นแบบรถกระเช้าเทอ้อย เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัท โดยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแล้ว แต่ยังขาดการออกแบบกระบวนการผลิตที่เป็นรูปแบบของการผลิตแบบต่อเนื่อง (Mass Production) ก่อนทำการผลิตจริง เพื่อลดต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบผังสถานีการประกอบกระเช้ารถเทอ้อยด้วยเทคนิค Systematic Layout Planning (SLP) และการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ในการจำลอง [4] ผังสถานีการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยจำนวน 3 ผัง และทำการประเมินคัดเลือกผังที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผัง

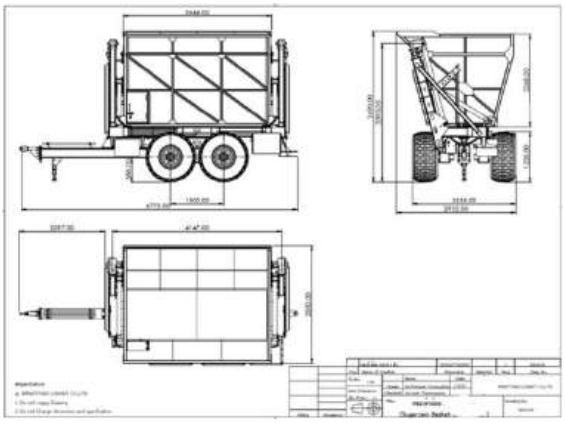
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยด้วยเทคนิค Systematic Layout Planning (SLP) การเขียนแบบเพื่อจำลองผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation และประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุด 1 ผัง จากทั้งหมด 3 ผัง โดยผู้เชี่ยวชาญ

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 ศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

2.1.1 ศึกษาขนาดของรถกระเช้าเทอ้อยจากแบบงานที่ใช้ในการผลิตของกรณีศึกษา ร่วมกับวิศวกรด้านการออกแบบและพนักงานประกอบ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องของสถานประกอบการ เพื่อนำไปใช้ประกอบในการวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อย โดยมีชุดหลักๆ 2 ชุด ได้แก่ ชุด Chassis และชุดกระเช้าเทอ้อย สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบขนาดพื้นที่ของผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยให้เป็นไปอย่างถูกต้อง แสดงดังรูปที่ 1



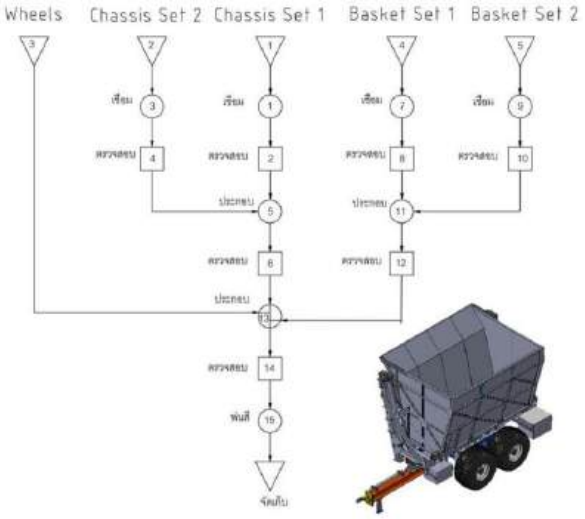
รูปที่ 1 แบบงานรถกระเช้าเทอ้อย

2.1.2 ศึกษาพื้นที่ของโรงงาน เพื่อใช้ในการวางผังประกอบรถกระเช้าเทอ้อยจากกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงขนาดพื้นที่ และตำแหน่งที่ผู้ประกอบการต้องการให้ออกแบบผังสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อย สำหรับใช้ประกอบการออกแบบ เพื่อความถูกต้องของแบบผังสถานีการประกอบแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 สำรวจพื้นที่ในการออกแบบผังประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

2.2 วิเคราะห์กระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย (Operation Process Chart : OPC)

จากแบบสั่งงานการผลิตรถกระเช้าเทอ้อย ได้ทำการวิเคราะห์ออกแบบกระบวนการผลิต (Operation Process Chart : OPC) [8] โดยการศึกษาจากแบบงานจริงกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนในการประกอบชิ้นงานแต่ละชิ้น ว่ามีกระบวนการใดบ้าง โดยผลการวิเคราะห์กระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

2.3 กำหนดเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย (M/C Tool, Equipment)

หลักการในการกำหนดเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต [5] ประกอบไปด้วยรายละเอียดทั้งหมดของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยการนำข้อมูลขนาดเครื่องจักรและอุปกรณ์จริงจากโรงงานกรณีศึกษามาใช้ โดยจะแสดงตัวอย่างดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

เครื่องจักรและอุปกรณ์	รายละเอียด
ชื่อเครื่องจักร/อุปกรณ์: เครื่องเชื่อมซีโอทู KEMPACT 253R ขนาด(กว้างxยาวXสูง): 275x623x1070 mm. น้ำหนัก: 44 kg. 	- กระแสไฟเชื่อม: 20-250A แรงดันไฟเข้า: 3PH 400V ความสามารถในการทำงาน: 35% at 250A 35% at 150A ขนาดลวดเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้: 0.8-1.2 mm.

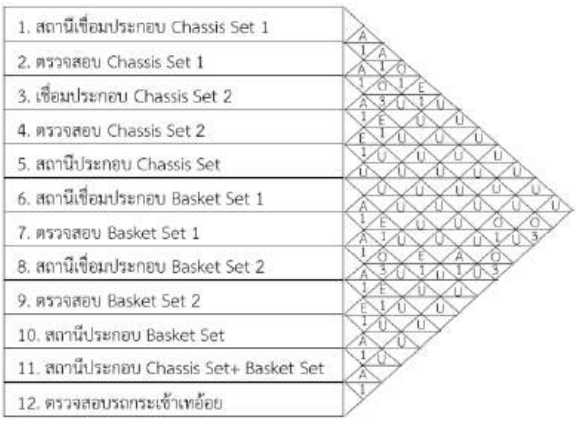
ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย (ต่อ)

ชื่อเครื่องจักร/อุปกรณ์: รถเข็นเครื่องมือขนาด(กว้างxยาวXสูง): 350x700x700 cm. 	- ใช้สำหรับวางเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย
ชื่อเครื่องจักร/อุปกรณ์: พาเลทพลาสติก ขนาด(กว้างxยาวXสูง): 1,200x1,000x150 mm. 	- ใช้สำหรับวางชิ้นส่วนในการประกอบกระเช้าเทอ้อย

2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทำงานด้วยระบบ (Systematic Layout Planning : SLP)

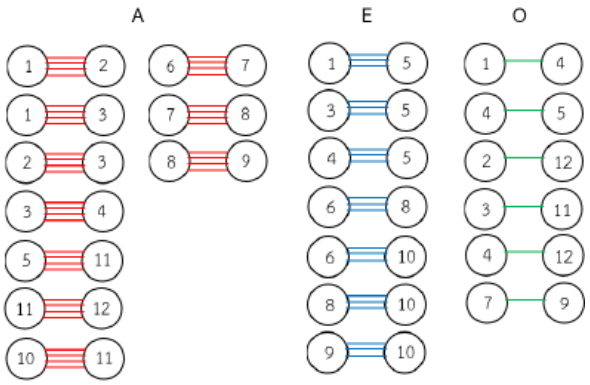
ทำการวิเคราะห์สถานีในการปฏิบัติงาน เพื่อใช้ในการออกแบบผังของแต่ละสถานีประกอบชุดชิ้นส่วนของรถกระเช้าเทอ้อย ให้มีความสัมพันธ์กันและมีประสิทธิภาพด้วยหลักการ (Systematic Layout Planning : SLP) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กำหนดความสัมพันธ์ของแต่ละสถานีลงในตารางเพื่อวิเคราะห์สาเหตุและเหตุผลของแต่ละองค์ประกอบของกิจกรรม (Relationship Chart) โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ร่วมกับวิศวกรที่เกี่ยวข้อง และกรรมการผู้จัดการของสถานประกอบการ ดังรูปที่ 4



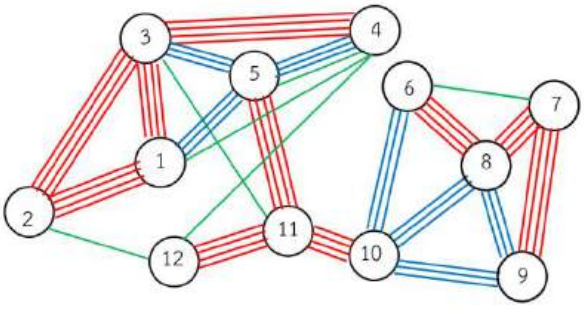
รูปที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

2. แยกองค์ประกอบออกเป็นกลุ่มตามลำดับของความสัมพันธ์ (Systematic Layout Planning : SLP) โดยจะแสดง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แยกกลุ่มคู่ลำดับของความสัมพันธ์

3. แผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรม เพื่อให้สามารถมองเห็นตำแหน่งของสถานีต่างๆว่าควรอยู่ที่ใด โดยนำข้อมูลที่ได้จากการแยกองค์ประกอบของกลุ่มความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ จากแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) และนำมาเขียนเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ ของคู่กิจกรรม (Relationship Diagram) เพื่อให้ได้ภาพพจน์ชัดเจนขึ้น [8] ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละสถานี

4. การกำหนดเนื้อที่ของสถานีการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ในการกำหนดเนื้อที่ของสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ได้มีการคำนึงถึงพื้นที่การทำงานของผู้ปฏิบัติงาน มีพื้นที่รองรับเครื่องจักรอุปกรณ์ และพื้นที่สำหรับรถกระเช้าที่ประกอบเสร็จแล้ว โดยขนาดของรถกระเช้าได้ทำการนำขนาดจริงจากแบบงานที่มีอยู่แล้วของสถานประกอบการมาใช้ นอกจากนั้นยังมีการคำนึงถึงการไหลของวัสดุในผังการประกอบแบบคล่องตัว โดยการเก็บข้อมูลขนาดของพื้นที่โรงงาน ขนาดเครื่องจักรอุปกรณ์ ขนาดของผลิตภัณฑ์ และพื้นที่สำหรับปฏิบัติงานแสดงดังตารางที่ 2

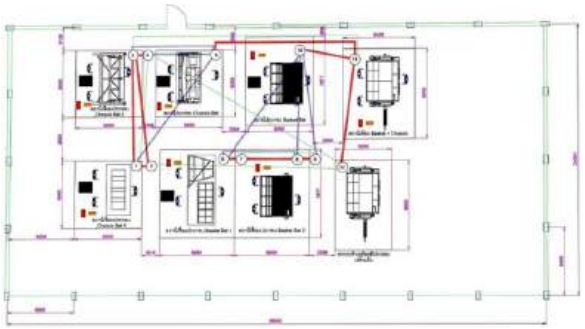
ตารางที่ 2 แสดงเนื้อที่ของสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

แผนก	จำนวน	ขนาดพื้นที่ (กว้าง x ยาว)	พื้นที่ (ตาราง เมตร)
1. สถานีเชื่อมประกอบ Chassis Set 1	1	6 x 6 เมตร	36 ตรม.
2. ตรวจสอบ Chassis Set 1	1		
3. เชื่อมประกอบ Chassis Set 2	1	6 x 6 เมตร	36 ตรม.
4. ตรวจสอบ Chassis Set 2	1		
5. สถานีประกอบ Chassis Set	1	6 x 7 เมตร	42 ตรม.
6. สถานีเชื่อมประกอบ Basket Set 1	1	6.70 x 7.80 เมตร	52.26 ตรม.
7. ตรวจสอบ Basket Set 1	1		
8. สถานีเชื่อมประกอบ Basket Set 2	1	6.70 x 7.80 เมตร	52.26 ตรม.
9. ตรวจสอบ Basket Set 2	1		
10. สถานีประกอบ Basket Set	1	6 x 7.80 เมตร	46.80 ตรม.
11. สถานีประกอบ Chassis Set+ Basket Set	1	6.40 x 8 เมตร	51.20 ตรม.
12. ตรวจสอบรถกระเช้าเทอ้อย	1	5 x 8 เมตร	40 ตรม.
รวม			314.52 ตรม.

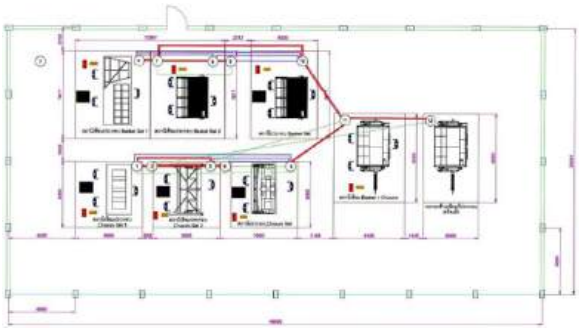
2.5 ออกแบบและเขียนแบบผังประกอบรถกระเช้าเทอ้อย 3 ผัง

จากการศึกษาขนาดของเครื่องจักรอุปกรณ์ และแบบงานของผลิตภัณฑ์ พื้นที่โรงงานปัจจุบันรวมไปถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Relationship Chart) [3]

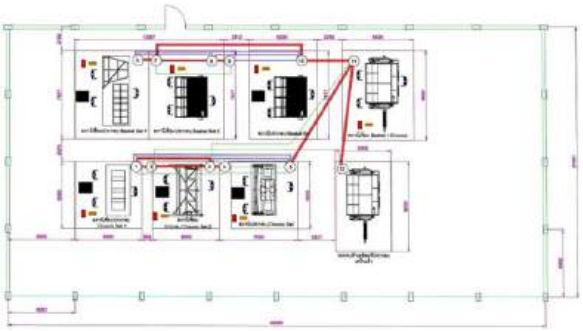
ของโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของโรงงานกรณีศึกษาที่ยังไม่มีผังในการผลิต ผู้วิจัยจึงทำให้การออกแบบผังสถานีประกอบรถกระเข้าเทอ้อยขึ้น โดยมีการวิเคราะห์และปรึกษากับทีมวิศวกรของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งขีดจำกัดต่างๆ เช่นข้อจำกัดทางด้านพื้นที่การวางเครื่องจักร มุมมอง และข้อจำกัดด้านอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย จำนวน 3 ผัง ดังแสดงในรูปที่ 7 – 9



รูปที่ 7 ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยผังที่ 1



รูปที่ 8 ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยผังที่ 2



รูปที่ 9 ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยผังที่ 3

2.6 ประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย 3 ผัง

โดยการประเมินจะเริ่มจากการออกแบบใบประเมิน และนำไปประเมินโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 คน ด้วยวิธีการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญแบบเฉพาะเจาะจง ตามคุณสมบัติและประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับงานด้านงานอุตสาหกรรม การออกแบบระบบการผลิต การวางผังโรงงาน [1] เพื่อคัดเลือกผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย ที่ดีที่สุด 1 ผัง ดังแสดงในรูปที่ 10

ใบประเมินเลือกผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย

กรณีศึกษา บริษัท ตรีวัฒนาโลหะกิจ จำกัด เลขที่ 135 หมู่ 2 ต.นิคมสงเคราะห์ อ.เมืองอุดรธานี จ.อุดรธานี 41000	รายละเอียดของแผนผังการประกอบ 1. ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยที่ 1 2. ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยที่ 2 3. ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อยที่ 3
โครงการ การออกแบบสถานีปฏิบัติงานประกอบรถกระเข้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation	วันที่.....เดือน.....ปี พ.ศ. ..... ประเมินโดย..... ตำแหน่ง.....

คำชี้แจง 1. กรอกคะแนนลงในช่องการประเมิน ระดับคะแนน 1=ไม่ดี, 2=ดีพอใช้, 3=ดี, 4=ดีมาก, 5=ดีที่สุด
2. ช่องผลรวมของคะแนน โดยคำนำหนักคูณด้วยช่องคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ คะแนนเต็ม 500 คะแนน จากผลรวมทั้งหมด

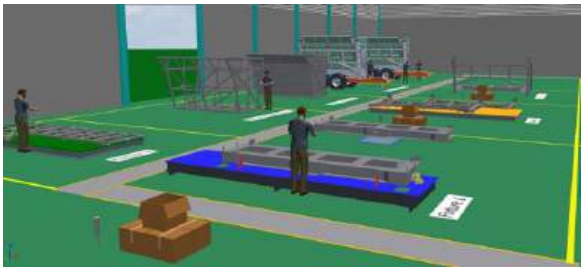
ที่	องค์ประกอบในการพิจารณาผัง	น้ำหนัก (น.)	คะแนน ผังการประกอบที่ 1		ผังการประกอบที่ 2		ผังการประกอบที่ 3	
			ก	ก x น	ข	ข x น	ค	ค x น
1. ด้านการเขียนแบบผังการผลิต								
1.1	กำหนดแผนผังการผลิตถูกต้องครบถ้วน	15						
1.2	ใช้มาตราส่วนของผังการผลิตเหมาะสม	5						
1.3	แสดงรายละเอียดของแบบผังการผลิตครบถ้วนสมบูรณ์	10						
2. ผังการผลิตที่ได้จากการออกแบบและเขียนแบบ								
2.1	ง่ายต่อการควบคุมดูแล	10						
2.2	การไหลของวัสดุมีประสิทธิภาพ	15						
2.3	การใช้เนื้อที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	10						
2.4	การใช้เครื่องจักร, อุปกรณ์ในการผลิตร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ	10						
2.5	ดัดแปลงใช้กับงานอื่นได้	5						
2.6	ผังการผลิตมีความยืดหยุ่น	15						
2.7	การบำรุงรักษา	5						

รูปที่ 10 ใบประเมินเลือกผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย

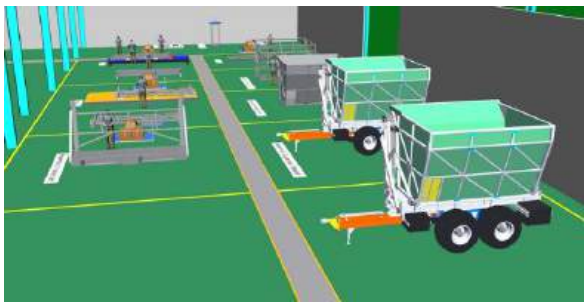
2.7 เขียนแบบผังสถานีประกอบรถกระเข้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation

ทำการเขียนแบบผังด้วยโปรแกรมTecnomatix Plant Simulation เพื่อจำลองสถานการณ์ผังการประกอบรถกระเข้าเทอ้อย ให้เห็นถึงรายละเอียดที่เสมือนจริง และช่วยลดความผิดพลาดก่อนวางผังการประกอบจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 11 – 13

รูปที่ 11 มุมมองทั้งหมดของผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย



รูปที่ 12 มุมมองการปฏิบัติงานของผู้ประกอบรถกระเช้าเทอ้อย



รูปที่ 13 มุมมองการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ประกอบสำเร็จแล้ว

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการออกแบบและเขียนแบบผังประกอบรถกระเช้าเทอ้อย 3 ผัง

จากขั้นตอนการดำเนินโครงการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ได้มีขั้นตอนการดำเนินการตามกระบวนการด้วยหลักการออกแบบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของแต่ละสถานีการประกอบ (Systematic Layout Planning : SLP) และแยกองค์ประกอบของสถานีด้วยแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) และนำมาเขียนเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ ของคู่กิจกรรม (Relationship Diagram) ทำการออกแบบผังการประกอบจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสถานีการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในการออกแบบ โดยได้แบบภาพผัง 2 มิติ การประกอบรถกระเช้าเทอ้อยทั้งหมดจำนวน 3 ผัง

3.2 ผลการประเมินคัดเลือกผังที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผัง

จากขั้นตอนการดำเนินโครงการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ผลการเลือกผังการประกอบมีเกณฑ์คะแนน 500 คะแนน เพื่อคัดเลือกผังที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผัง จากผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ดังนี้ ผังที่ 1 คะแนนเฉลี่ยได้ 345 คะแนน ผังที่ 2 คะแนนเฉลี่ยได้ 332 คะแนน ผังที่ 3 คะแนนเฉลี่ยได้ 403 คะแนน ผลการประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุดจำนวน 1 ผังคือ ผังการประกอบที่ 3 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุด 403 คะแนนจากคะแนนเต็ม 500 คะแนน โดยสามารถสรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย

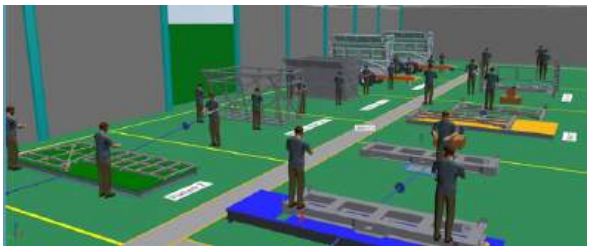
ลำดับ	ผู้ประเมิน	ผังที่ 1	ผังที่ 2	ผังที่ 3
		คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม
1	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1	350	335	415
2	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2	345	325	400
3	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3	340	335	395
เฉลี่ย		345	332	403

3.3 ผลการเขียนแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation

จากขั้นตอนการดำเนินโครงการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเขียนแบบจำลองผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ได้นำผัง

การประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุด 1 ผัง ที่ผ่านการประเมินคัดเลือกจากผู้เชี่ยวชาญ มาเขียนแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ผลการเขียนแบบได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่สามารถจำลองสถานการณ์ แสดงถึงรายละเอียดที่มีความเสมือนจริงจำนวน 1 ผัง แสดงดังรูปที่ 14 และ 15

รูปที่ 14 แสดงการเขียนแบบผังการประกอบด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation



รูปที่ 15 แสดงการจำลองการไหลของวัสดุด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation

4. สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยโดยใช้เทคนิค SLP (Systematic Layout Planning) และสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation เพื่อเลือกผังการประกอบที่มีคุณภาพ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย 12 สถานี จากนั้นประเมินความสัมพันธ์ของกิจกรรมเพื่อจัดวางผังอย่างเป็นระบบ ผลการวิจัยพบว่าในจำนวนผังตัวเลือก 3 ผัง ผังที่ 3 ได้รับคะแนนประเมินเฉลี่ยสูงสุดจากผู้เชี่ยวชาญ คือ 403 คะแนน จากคะแนนเต็ม 500 คะแนน และถูกคัดเลือกให้เป็นผังที่เหมาะสมที่สุด

4.2 อภิปรายผล

4.2.1 จากการออกแบบสถานีปฏิบัติงานประกอบรถกระเช้าเทอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ได้มีการวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบขั้นตอน ทำให้กระบวนการออกแบบไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยความร่วมมือจากกรณีศึกษา และทีมงานวิศวกร ทำให้ข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ทั้งนี้การใช้โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation มาใช้ในการเขียนแบบผังสามารถช่วยในการลดต้นทุนในการวางผังการประกอบได้ด้วยการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต [2] รวมถึงการปรับเปลี่ยนแก้ไของค์ประกอบต่างๆได้ ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง ช่วยลดความผิดพลาดก่อนการวางผังการประกอบจริงได้

4.2.2 จากการออกแบบสถานีปฏิบัติงานประกอบรถกระเช้าเทอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ในกระบวนการออกแบบและเขียนแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยได้มีกระบวนการตามขั้นตอนการออกแบบ โดยมีการออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วยหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรม (Systematic Layout Planning : SLP) มาใช้วางผังอย่างละเอียดในแต่ละพื้นที่ [6] และนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในการออกแบบและเขียนแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยทั้ง 3 ผัง ทำให้ได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยมีความน่าเชื่อถือ จากนั้นได้ทำการประเมินเพื่อคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย โดยผลการประเมินได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ดีที่สุด จำนวน 1 ผัง คือ ผังการประกอบที่ 3 เนื่องจากการประเมินคัดเลือกผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ได้มีการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบระบบการผลิต การวางผังโรงงาน จำนวน 3 คน เพื่อใช้ในการประเมินคัดเลือก ทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ในการวางผังจริงได้ แต่อย่างไรก็ตามในการวางผังโรงงานจำเป็นจะต้องคำนึงถึง

ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการวางผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยด้วย เช่น ข้อจำกัดด้านมุมมองสถานที่ ข้อจำกัดของผู้ประกอบการ และความไม่แน่นอนของผลิตภัณฑ์ และการผลิตแบบ Job-shop production จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ เพื่อให้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่ออกแบบขึ้นมีความยืดหยุดในการผลิต และมีคุณภาพ

4.3 ข้อเสนอแนะ

4.3.1 ในการออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ เช่น มุมมองสถานที่ ข้อจำกัดของผู้ประกอบการ ความยืดหยุดในการปรับเปลี่ยนผัง ความไม่แน่นอนของผลิตภัณฑ์ จะส่งผลให้ผังที่ออกแบบขึ้นมีคุณภาพ

4.3.2 จากการออกแบบและเขียนแบบผังสถานีประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่เขียนด้วยโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ช่วยในการวางผังเป็นข้อดีที่ช่วยให้เห็นถึงรายละเอียดที่เสมือนจริงสามารถปรับแก้ไขได้ก่อนวางผังจริง แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อย ควรจะทำการทดลองการผลิตเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละสถานี มาใช้วิเคราะห์ในโปรแกรมอีกครั้งเพื่อให้ได้ผังการประกอบรถกระเช้าเทอ้อยที่มีคุณภาพสูงสุด และต้นทุนที่ต่ำสุดก่อนการวางผังจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ร่วมกันในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสถานประกอบการโรงงานกรณีศึกษา ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัยนี้ และวิศวกรโรงงานที่ช่วยกันวิเคราะห์การจัดวางผังประกอบในครั้งนี้ พนักงาน และเจ้าหน้าที่ ให้ความร่วมมือ ทั้งครอบครัวและเพื่อนที่ให้กำลังใจในทุกช่วงเวลาของการวิจัยนี้ ท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ฐาปกรณ์ อุทัยบาน และวันชัย จันทฤทธิ์. 2559. การออกแบบระบบการผลิตเครื่องปลูกอ้อย กรณีศึกษาบริษัท สิริวัฒนาโลหะกิจ จำกัด. ปริญญานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 2559.

[2] ธนพล สมบัติ และคณิศร ภูนิคม. 2566. การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนโดยการจำลองสถานการณ์ในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, 9(1), 62-73

[3] นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา. 2565. การปรับปรุงผังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์ประตูหน้าต่างอลูมิเนียม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 6(1), 41-54

[4] ไพศิษฐ์ สัพโรจน. 2561. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตขวดพลาสติก HDPE โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2561.

[5] ภาณิชา สัตนาโค และคณะ. “การปรับปรุงผังโรงงานด้วยเทคนิค ECRS และการจำลองสถานการณ์”, ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. น. 363-369. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2561.

[6] ลักษพล อุปะทะ. 2558. การออกแบบและวางผังโรงงานของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ที.เอ็น.สแตนเลส. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558.

[7] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2565. รายงานประจำปี 2565. [ระบบออนไลน์] https://www.ocsb.go.th/2024/annual-report/24640/ 10 มิถุนายน, 2567.

[8] สุนทร นาคโนนหัน. 2554. การออกแบบการผลิต (Production Design). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

การศึกษาและปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ กรณีศึกษา

OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESE IMPROVEMENT AUTOMATIC MACHINE ASSEMBLY PRIMARY SPRING PACKAGE A CASE STUDY.

ปริมประภา จุลลาบุดดี[1] ปัญญา วินทะไชย[1] บุญกิจ อุ่นพิกุล[1] และกฤษฎาพงษ์ ปุยภูเขียว[1*]
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Primprapa Junlabuddee[1] Panya Wintachai[1] Boonkit Unphikon[1] and Kitsadaphong Puiphukhao[1*]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: Kitsadaphong.pu@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติและเพื่อผลิตชิ้นงานออกมาได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร ตั้งแต่ขั้นตอนการ Set – upและขั้นตอนการประกอบชิ้นงานทั้ง 6 สถานีงาน ซึ่งพบว่าจากการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำในการปฏิบัติงานดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลถึงการรู้ถึงค่าที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของค่าประสิทธิผลโดยรวมเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติต่ำนั้นคือ ค่าความพร้อมในการใช้งานและค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร สาเหตุเกิดมาจากการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากการขัดข้องส่วนใดส่วนหนึ่งใน 6 สถานีงาน ผู้จัดทำจึงได้ทำการแก้ไขในส่วนของเครื่องจักรโดยการปรับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 6 ตัวให้เข้ากับทั้ง 6 สถานีงาน นอกจากนี้ยังมีการออกแบบชิ้นส่วนในเครื่องจักรออกมาใหม่เพื่อให้การทำงานของเครื่องจักรมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการดำเนินงานพบว่าเครื่องจักรมีการเกิดการหยุดของเครื่องจักรนั้นลดลงจากเดิมใช้เวลา 706.6 วินาที/1รอบการผลิต เหลือ 309.3 วินาที/1รอบการผลิต คิดเป็นร้อยละ 56.22 ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาในการหยุดเครื่องจักรน้อยลงและยังส่งผลถึงค่าอัตราการเดินเครื่องจักรอีกด้วยเพราะเวลาในการเดินเครื่องมากขึ้น และทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 45.07 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 81.89

คำหลัก ประสิทธิผลโดยรวม, ประสิทธิภาพ, เครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ

Abstract

This research aims to increase the overall efficiency of the automatic spring assembly machine and to produce workpieces according to the specified standards. It starts with studying the working steps of the machine, from the set-up step and the assembly steps of all 6 workstations. It was found that from the calculation of the overall efficiency of the machine, it is in the low range. In the above operations, it will result in knowing the values that make the percentage of the overall efficiency of the automatic spring assembly machine low, which are the readiness value and the efficiency value of the machine. The cause is the machine stoppage due to a malfunction of any part in the 6 workstations. Therefore, the researcher has fixed the machine by adjusting the 6 workpiece fixture to fit all 6 workstations. In addition, the parts in the machine have been redesigned to make the machine work more efficient. The results show that the machine stoppage has decreased from the original 706.6 seconds/1 production cycle to 309.3 seconds/1

production cycle, which is 56.22 %. This results in an increase in the efficiency of the machine because the machine stoppage time is reduced and also affects the machine running rate because the running time is increased. And the overall efficiency of the machine increased from 45.07 % to 81.89 %.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Performance Efficiency, Automatic Spring Assembly Machine

1. บทนำ

ตามที่ได้รับหมอบหมายหน้าที่ในส่วนของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ (Automatic Machine Assembly Primary Spring Package) ได้พบปัญหาที่ในปัจจุบัน คือ ชิ้นงานที่นำมาประกอบเกิดการงอเมื่อชิ้นงานที่ประกอบมาเกิดการงอมากๆ ชิ้นงานจะไม่สามารถผ่าน ช่องตรวจชิ้นงานได้ซึ่งเครื่องจักรจะนับชิ้นงานชิ้นนั้นเป็นชิ้นงานที่เสียทันที (NG) ปัญหาต่อมาคือ ระยะหรือแรงในการกดของหัวพั้นช์มากหรือน้อยเกินไปอาจจะทำให้ค่าความยาวมาตรฐานของสปริง ประกอบ (primary spring) ไม่ได้ตามที่กำหนดไว้และมันจะส่งผลกระทบไปถึงค่าความสามารถของเครื่องจักร (Cp and Cpk) เมื่อค่าความสามารถของเครื่องจักรไม่ได้มาตรฐานที่กำหนดไว้ (Cpk = 1.67) ก็จะไม่มีการสั่งผลิตหรือประกอบในส่วนของหมายเลขงานนั้นๆ ปัญหาสุดท้ายที่พบคือ เวลาที่ใช้ในการผลิตหรือประกอบชิ้นงานใช้เวลานานเกินกว่ามาตรฐานที่ควรจะเป็น ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการ ติดตั้งทั้ง 6 สถานีงาน (Set-up 6 station) ซึ่งมักจะมีปัญหาในส่วนของสถานีที่5 และสถานีที่ 6 เป็นส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) และหัวพั้นช์เพื่อหาจุดศูนย์กลางระหว่างงาน อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่ต้องติดตั้งมีทั้งหมด 6 ตัว และต้องหาจุดศูนย์กลางระหว่างงานทั้งหมด 6 ตัว ซึ่งต้องใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงเป็นขั้นต่ำ ต่อมาเป็นเวลาที่สูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรระหว่างการทำงานคือการที่เซนเซอร์ตรวจจับไม่เจอชิ้นงาน ซึ่ง ทำให้เครื่องขัดข้อง (Aram) แล้วจะต้องมาค้นหาว่าขัดข้องในส่วนไหนแล้วค่อยทำการแก้ไขและรีเซต แล้วกดเริ่มการทำงานใหม่จึงทำให้รอบเวลา (Cycle Time) ในการประกอบชิ้นงานแต่ละชิ้นใช้ เวลานานกว่าที่ควรจะเป็น (ใช้เวลาไปเฉลี่ยครั้งละ 22 วินาที โดยรอบเวลามาตรฐานจะอยู่ที่ 7.4 ถึง 7.7 วินาที) จึงทำให้เกิดเวลาในการสูญเสียในการทำงานของเครื่องจักร ปัจจุบันค่าประสิทธิภาพ โดยรวมของเครื่องจักรอยู่ที่ร้อยละ 45.07 จากปัญหาที่กล่าวมามาในข้างต้นผู้จัดทำมีแนวความคิดทำการปรับปรุงและพัฒนาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness : OEE) เพื่อวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรด้วยวิธีการคำนวณความสามารถในการทำงานทั้งหมดของเครื่องจักรประกอบสปริงอัตโนมัติ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ

2.2 เพื่อลดของเสียที่เกิดจากการกระบวนการการประกอบชิ้นงาน

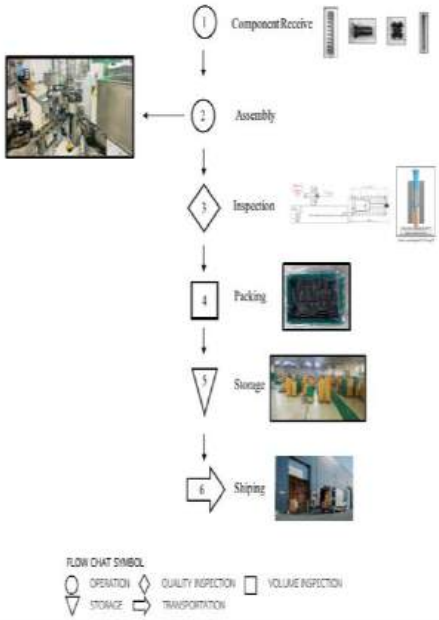
2.3 เพื่อผลิตชิ้นงานออกมาได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น บริษัท กรณีศึกษา ได้ดำเนินการผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์สปริง (Precision Spring) สำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และยานยนต์โดยทำการจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

3.2) ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการทำวิจัย หลักการของการเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) , การสูญเสียที่สำคัญ 16 ประการ (16 Major Losses) [1-4]

3.3) ศึกษาแผนการควบคุมการไหลในส่วนของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ



รูปที่ 2 Flow control plan ของเครื่องประกอบสปริง

3.4) ศึกษาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติในปัจจุบันของ หมายเลขงาน XX ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงเวลามาตรฐานในการทำงาน 1 วัน

	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-19.30
Day	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30
Break Time			10		60			10		10		
TAT	60	120	170	230	230	290	350	400	460	500	560	590

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลต่าง ๆเพื่อที่จะนำมาหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

เวลาทั้งหมดในการทำงาน	เวลาพัก	เวลาสูญเสียเครื่องจักร	จำนวนชิ้นงานทั้งหมด	งานดี	งานเสีย	ความเร็วรอบชิ้น/นาที
240	32	50	1598	1500	98	16

- อัตราการเดินเครื่อง (Availability) = เวลาที่เดินการผลิต / เวลาการผลิตที่ได้วางแผนไว้ =(158/208)×100 = 75.96 %
- เวลาการผลิตที่ได้วางแผนไว้ = ระยะเวลาในกะการผลิต
- เวลาพัก = 240 – 32 = 208 นาที
- เวลาที่เดินการผลิต = เวลาการผลิตที่ได้วางแผนไว้ – เวลาในการหยุดเครื่องจัก = 208 – 50 = 158 นาที
- ค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร (Performance) = (เวลามาตรฐานxจำนวนผลิตทั้งหมด)/เวลาที่เดินการผลิต

=((0.0625×1598)/158) ×100

= 63.21 %

- อัตราคุณภาพของเครื่องจักร (Quality)

= ((จำนวนผลิตทั้งหมด–งานเสีย)/จำนวนผลิตทั้งหมด) x100

= (1598-98)/1598) ×100

= 93.86 %

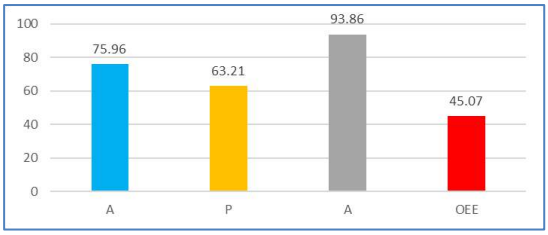
ตารางที่ 3 สรุปค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ

Part No.	อัตราการเดินเครื่อง	ประสิทธิภาพของเครื่องจักร	อัตราคุณภาพขอเครื่องจักร
XX	75.96 %	63.21 %	93.86 %

OEE = อัตราการเดินเครื่อง x ประสิทธิภาพของเครื่องจักร x อัตราคุณภาพของเครื่องจักร

= 75.96 % x 63.21 % x 93.86 %

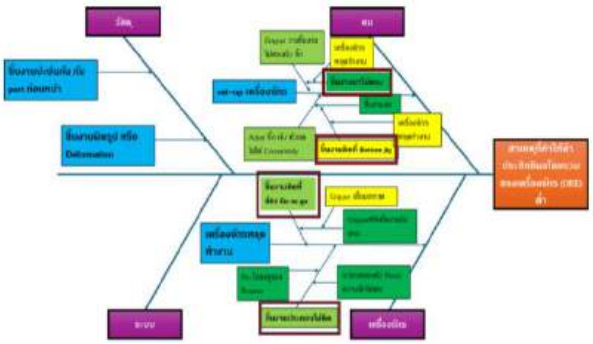
= 45.07%



รูปที่ 3 ค่าประสิทธิผลโดยรวม (ก่อนปรับปรุง)

3.5) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากการศึกษาสาเหตุที่ทำให้อัตราการเดินเครื่องจักรต่ำ และเป็นผลให้ประสิทธิภาพ โดยรวม ของเครื่องจักรต่ำลงไปด้วย สามารถสรุปสาเหตุสำคัญของปัญหาได้ โดยเก็บรวบรวมข้อมูล



รูปที่4 แผนกางปลาแสดงสาเหตุที่ทำให้ค่า OEE ต่ำ

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข

จำแนกปัญหา		
ปัญหา	สาเหตุรอง	การแก้ไขปัญหา
คน	Set up เครื่องจักรไม่ดี	Set up ระยะของGripper ออกแบบ Gauge check Concentricityเจียร Chamfer ของ Bottom Fixture ออก
เครื่องจักร	เครื่องจักรหยุดทำงาน	ออกแบบ Gripper ตัวใหม่ ใส่แผ่นเพิ่มระดับความสูงใน Fixture ออกแบบตัวเคาะ Pin ใหม่

เก็บข้อมูลกระบวนการการประกอบชิ้นงาน ผู้จัดทำ

ได้เข้าศึกษากระบวนการการประกอบสปริง โดยมีการเกิดปัญหาในการหยุดเครื่อง (Short stop) และ (BREAKDOWN LOSSES) ทั้งหมด 4 สาเหตุ [5]

ตารางที่ 5 แสดงการเกิดปัญหาที่ทำให้เครื่องหยุดโดยนำค่าที่เก็บทั้ง 3 รอบมาสรุปเป็นค่าเฉลี่ย

รายละเอียด	Short stop	time	Total
ชิ้นงานประกอบไม่ติด	24	12.7	304.8
ชิ้นงานมาไม่ครบ	17	13.5	229.5
ชิ้นงานติดที่ Bottom Fixture	22	4.9	107.8
ชิ้นงานติดที่ Fixture go no go	15	4.3	64.5

3.6) การดำเนินการแก้ไขปัญหา

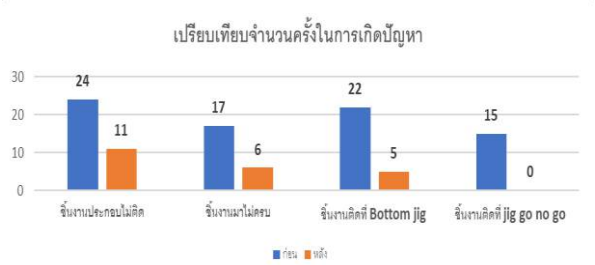
เพิ่ม Shim Plate ใน Fixture ที่ Punch จะได้กดเพื่อให้ชิ้นงานประกอบกันได้ ปรับปรุงตัวเคาะ Pin โดยเพิ่มขนาดตัวหมุนกระแทกจาก 10 วินาที เป็น 15 วินาที เพื่อให้ Pin ลง Retainer ได้ดีขึ้น ป้องกันชิ้นงานปะปน โดยปรับ Stopper, Sensor และ Cover ของช่องลำเลียงชิ้นงาน ปรับ Concentricity ของ Fixture และ Punch โดยออกแบบ Gauge Check มาตรฐานสำหรับ Top Fixture ลดปัญหาชิ้นงานติดใน Bottom Fixture โดยเจียร Chamfer ของ Bottom Fixture เพื่อลดการติดขัดของ Washer ออกแบบ Gripper ใหม่ แก้ไขปัญหาวัสดุโฟมเสื่อมสภาพทำให้หยิบชิ้นงานไม่ตรง ปรับระยะหยิบและวางของ Gripper โดยเลื่อนฐาน Shuttle Fixture และปรับ Stopper ให้การหยิบแม่นยำขึ้น

4. ผลการดำเนิน

ตารางที่ 6 การเกิดปัญหาที่ทำให้เครื่องหยุดโดยนำค่าที่เก็บทั้ง 3 รอบมาสรุปเป็นค่าเฉลี่ย

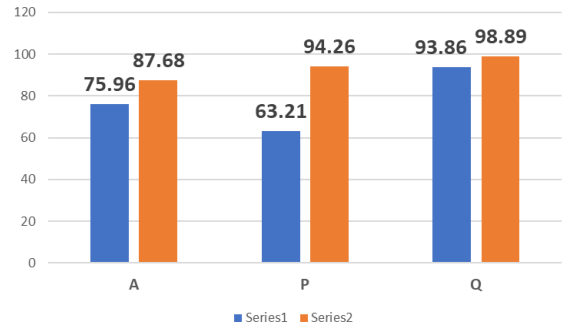
รายละเอียด	Short stop	time	Total
ชิ้นงานประกอบไม่ติด	11	15.1	166.1
ชิ้นงานมาไม่ครบ	6	11.7	70.2
ชิ้นงานติดที่ Bottom Fixture	5	14.6	73.0
ชิ้นงานติดที่ Fixture go no go	0	0	0

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงข้อที่ผู้จัดทำได้เก็บมาหลังจากได้ทำการปรับปรุงสาเหตุของปัญหาพบว่าปัญหาในการหยุดเครื่องจักรนั้นน้อยลงโดยสังเกตจากจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นนั้นน้อยลงและเวลาที่นำมาเฉลี่ยกันทั้ง 3 ครั้ง ก็น้อยลงจากเดิมที่เวลาก่อนปรับปรุงจะอยู่ที่12 นาที/1รอบการผลิต เหลือ 5 นาที



รูปที่5 การเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

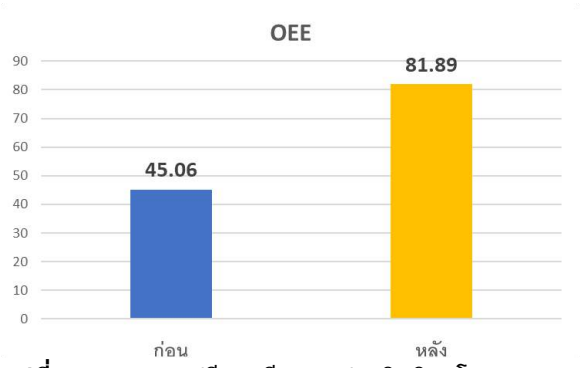
จากรูปที่ 5 จากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบ จำนวนครั้งในในการเกิดปัญหาทั้งก่อนและหลังปรับปรุง ซึ่งก่อนปรับปรุงชิ้นงานประกอบไม่ติด 24 ครั้งหลังปรับปรุงเหลือ 11 ครั้ง ชิ้นงานมาไม่ครบ 17 ครั้ง หลังปรับปรุงเหลือ 6 ครั้ง ชิ้นงานตีด Bottom jig 22 ครั้ง หลังปรับปรุงเหลือ 5 ครั้ง ชิ้นงานติดที่ jig go no go 15 ครั้ง หลังปรับปรุงเหลือ 0 ครั้ง



รูปที่6 แสดงค่า A P Q โดยเฉลี่ยก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 6 จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ได้ทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ค่าอัตราการเดินเครื่อง (A) เพิ่มขึ้นจากเดิม 75.96 เป็น 87.68 ค่าประสิทธิภาพ

(P) เพิ่มขึ้นจากเดิม 63.21 เป็น 94.26 และค่าคุณภาพ (Q) เพิ่มขึ้นจากเดิม 93.86 เป็น 98.89



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 7 จากกราฟที่แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงว่าแตกต่างกันมากน้อยแค่ไหน ซึ่งก่อนปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ ร้อยละ 45.06 หลังจากปรับปรุงหรือแก้ไขสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ค่าประสิทธิผลโดนรวมของเครื่องจักรโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ร้อยละ 81.89 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ ร้อยละ 44.49 แต่ทั้งหมดที่กล่าวมาก็ยังเป็นแค่การเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์แก้ไขเพื่อทำการศึกษาและเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติเพียงแค่ชิ้นเดียวหมายเลขเดียว เพราะหมายเลขชิ้นงานอื่น ๆที่ค่าประสิทธิผลโดยรวมก็ยังไม่สามารถทำให้ถึงเป้าหมายตามที่ตั้งไว้

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินโครงงานเรื่องการศึกษาและปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ พบว่า ปัจจัยที่ทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องต่ำเกิดจากค่าความพร้อมในการใช้งานและค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร [6-8] ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัญหาหลัก 4 ประการ ได้แก่ ชิ้นงานประกอบไม่ติด ชิ้นงานมาไม่ครบ ชิ้นงานติดที่ Bottom Fixture และชิ้นงานติดที่ Fixture Go No Go ส่งผลให้เครื่องจักรหยุดทำงานและใช้เวลาในการเดินเครื่องจักรมากกว่าปกติ โดยก่อนการปรับปรุงพบว่าเครื่องจักรมีเวลาสูญเสียอยู่ที่ 12 นาทีต่อรอบการผลิต 500 ชิ้น

จากการศึกษาหาสาเหตุของปัญหา ผู้จัดทำได้นำแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ มาใช้ในการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิต พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการผลิต 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากดำเนินการแก้ไข พบว่าเวลาในการสูญเสียของเครื่องจักรลดลงจาก 12 นาทีต่อรอบการผลิต 500 ชิ้น เหลือเพียง 5 นาที คิดเป็นการลดลงถึง 7 นาที หรือ ร้อยละ 58 นอกจากนี้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 63.21 เป็น 94.26% ซึ่งคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้น ร้อยละ 32.94 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงที่ดำเนินการสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ

6. อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการแก้ไขและปรับปรุงเครื่องประกอบสปริงอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร ซึ่งค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร จะส่งผลให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรสูงขึ้นและจากการแก้ไขในส่วนต่าง ๆแล้วนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร สรุปได้ว่าสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักรได้จริงและสามารถเพิ่มค่าอัตราการเดินเครื่องจักรและค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรได้จริง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งช่วยแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการวิจัย รวมถึงบริษัทกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน และผู้วิจัยร่วมที่ให้การสนับสนุนตลอดกระบวนการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ธีรพงษ์ ขันทอง.(2558).การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ.

(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] เปี่ยมยศ บุญทอง. (2561). การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องคัดแยกชิ้นงาน Clip spring บริษัท นิสสันสปริง (ประเทศไทย)จำกัด(รายงานผลสหกิจศึกษา). ระยอง : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[3] วีรชัย มัฏฐารักษ์ และวิมล จันนินวงศ์. (2553). การศึกษาการเพิ่ม ผลผลิตด้วยวิธีการ OEE หรือ การปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอัดเม็ด บทความวิจัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

[4] ศักดา วิริยะภาพ. (2553). การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการการผลิตลวดเชื่อมไฟฟ้า(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต)สาขาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] ธีระศักดิ์ พรหมเสน.(2556) การบำรุงรักษาตามสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม.บทความวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร,

[6] สนธยา สุขคตะ. (2563) การพัฒนาระบบการดาเนินงานซ่อมบำรุงช่วงเครื่องจักรหยุดกระบวนการผลิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,

[7] อุเทน เฉลยโฉม สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์ และระพี กาญจนะ. (2558) การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดโดยเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงป้องกันกรณีศึกษา โรงงานอาหารกึ่งสำเร็จรูป. วิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี,

[8] อภิชาติ นาควิมล. (2560) การพัฒนาระบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิผลในสายการผลิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, .

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการประกอบรถขุด กรณีศึกษา

IMPROVING THE PERFORMANCE OF EXCAVATOR ASSEMBLY PROCESS A CASE STUDY

ปริมประภา จุลลาบุดดี[1] ศักดิ์นรา สุวรรณบำรุง[1] ปัญญา วินทะไชย[1] และพีระพัฒน์ กิ่งสวัสดิ์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Primprapa Junlabuddee[1] Saknara Suranbumrung[1] Panya Wintachai[1] and Peeraphat Kingsawat[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: Peeraphat.ki@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิกในปี 2567 ทางกรรมการผู้จัดการใหญ่ได้กำหนดนโยบายในเรื่องของการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันในด้านต้นทุน โดยมุ่งเน้นการควบคุมและลดต้นทุนไปจนถึงผู้ผลิตชิ้นส่วน ผ่านระบบการเป็นศูนย์กลางด้านวัตถุดิบ เพิ่มการผลิตจากผู้ผลิตในประเทศให้มากขึ้น ควบคู่กับการขยายพื้นที่การตลาดทั้งรถขุดตักและชิ้นส่วนใช้หลักการเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนต่อหน่วย มุ่งเน้นการทำกิจกรรมการลดต้นทุน ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะใช้ทฤษฎีการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา (Motion and Time Study) และหลักการ ECRS ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) เข้ามาใช้ปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อกำจัดความสูญเปล่า ช่วยลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก ทั้งนี้เพื่อให้เป็นข้อมูลมาตรฐานให้กับบริษัท ปัจจุบันกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิกมีผลิตภาพ (Productivity) อยู่ที่ 0.306 คัน/คน/วัน และสมดุลการผลิต (Line balancing) โดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 68.90 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำจากเป้าที่สถานประกอบการต้องการ ผู้วิจัยจึงนำเอาหลักการลดความสูญเปล่า ECRS เข้ามาปรับปรุงกระบวนการ ผลการวิจัยพบว่าหลังปรับปรุงผลิตภาพ (Productivity) อยู่ที่ 0.344 คัน/คน/วัน เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 12.09 และสมดุลการผลิต (Line balancing) โดยรวม หลังปรับปรุงสมดุลการผลิต (Line balancing) ร้อยละ 72.64 เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 5.90

คำหลัก : การศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา, หลักการลดความสูญเปล่า ECRS, สมดุลการผลิต , ผลิตภาพ

Abstract

This research project was conducted to improve the efficiency of the hydraulic excavator assembly process in 2024. The President and CEO has established a policy aimed at enhancing cost competitiveness by focusing on cost control and reduction down to the component suppliers. This is to be achieved through a centralized raw material management system, increasing domestic production, and expanding market coverage for both excavators and their parts. The principle behind this strategy is to increase production volume in order to reduce the unit cost. The focus is placed on cost reduction activities.

Accordingly, the project initiator proposed the use of Motion and Time Study theory in conjunction with the ECRS principles Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify to improve the work processes by eliminating waste, reducing time, and increasing efficiency in the hydraulic excavator assembly process. The goal is also to establish a standardized data framework for the company. Currently, the productivity of the hydraulic excavator assembly process stands at 0.306 units/person/day, and the overall line balancing is at 68.90%, which is below the target set by the company. Therefore, the researcher applied the ECRS principles to improve the process. The results show that after the improvements, productivity increased to 0.344 units/person/day, representing a 12.09% improvement, while overall line balancing rose to 72.64%, an increase of 5.90%.

Keywords: Motion and Time Study, ECRS, Line balancing , Productivity

1. บทนำ

ในปี 2567 ทางกรรมการผู้จัดการใหญ่ได้กำหนดนโยบายในเรื่องของการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันในด้านต้นทุน โดยมุ่งเน้นการควบคุมและลดต้นทุนไปจนถึงผู้ผลิตชิ้นส่วน ผ่านระบบการเป็นศูนย์กลางด้านวัตถุดิบ เพิ่มการผลิตจากผู้ผลิตในประเทศให้มากขึ้นทั้งสำหรับ บริษัท ฯ และส่งออกให้กับ บริษัท ฯ ทั่วโลก ควบคู่กับการขยายพื้นที่การตลาดทั้งรถขุดตักและชิ้นส่วนใช้หลักการเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนต่อหน่วย มุ่งเน้นการทำกิจกรรมการลดต้นทุนของโรงหล่ออย่างจริงจัง จากยอดผลิตในปี 2567 พบว่า รถขุดตักไฮดรอลิกมียอดการผลิตสูงเป็น อันดับ 1 จากยอดการผลิตทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้ทฤษฎีการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา (Motion and Time Study) [1] ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS [2-5] มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงการทำงานของพนักงานในการประกอบรถขุดตักไฮดรอลิก ทั้งนี้เพื่อให้เป็นข้อมูลมาตรฐานให้กับทางบริษัท นำมาใช้ในการวางแผน ระยะการดำเนินงานของโครงการ

2. วัตถุประสงค์

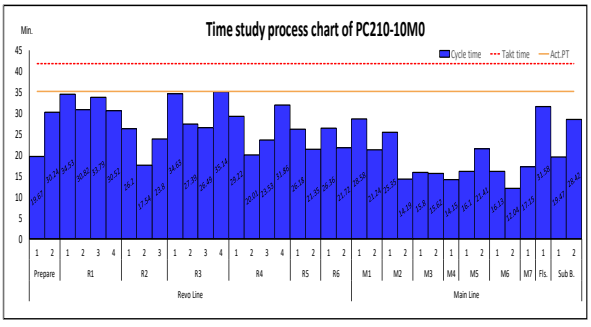
เพื่อเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ในกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก

3 วิธีดำเนินโครงงาน

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการประกอบรถขุด ผู้จัดทำได้มีวิธีในการดำเนินโครงการซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

3.1) ศึกษาข้อมูลในสถานที่ประกอบการ ข้อมูลเบื้องต้นของสถานประกอบการ ผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาข้อมูลของบริษัท ฯ ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการปัจจุบันกำลังผลิตงานประเภทรถขุดไฮดรอลิก ชิ้นส่วนงานหล่อ และอะไหล่ของรถขุดไฮดรอลิก

3.2) ศึกษากระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างแท้จริงของกระบวนการประกอบรถขุด เข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นในการกระบวนการประกอบ รวมทั้งการศึกษาหาปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหา ซึ่งสายการประกอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Revo Line จะมี 6 สถานีและ Main Line จะมี 8 สถานี ทางผู้จัดทำโครงการได้ทำการเข้าไปศึกษาวิธีการประกอบของแต่ละสถานีและทำการถ่ายวิดีโอการทำงานของพนักงานที่ทำการประกอบรถขุด ซึ่งมีพนักงานทั้งหมด 36 คน สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดง Cycle time ในการประกอบของพนักงานก่อนปรับปรุง

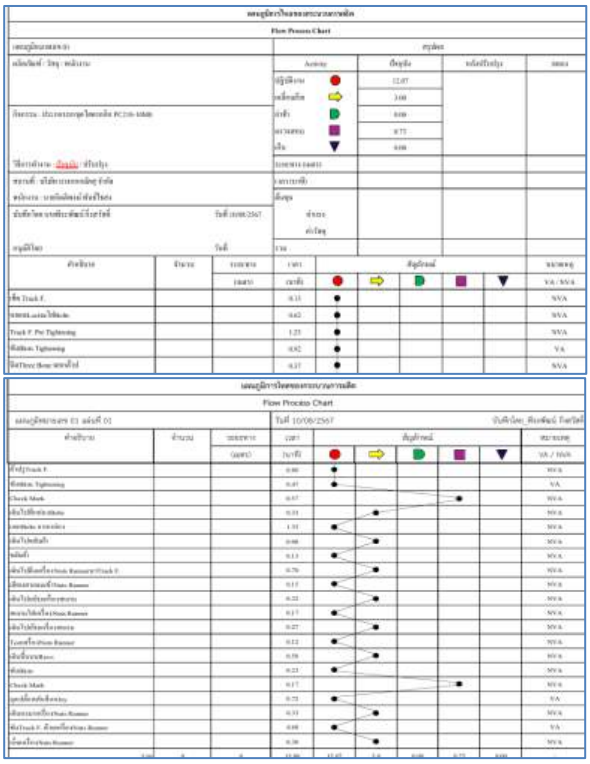
จากการศึกษาเวลาในกระบวนการประกอบรถขุด ซึ่งมีแผนการผลิตอยู่ที่ 11 คัน/วัน คำนวณหาเวลาการผลิตตามความต้องการของลูกค้า (Takt time) การประกอบของพนักงานจาก

$$\text{Takt time} = \frac{\text{(460 นาที/วัน) เวลาทำงานต่อวัน}}{\text{(11 คัน/วัน) จำนวนความต้องการของลูกค้า}}$$

= 41.81 นาที/คัน

ซึ่งจากการคำนวณเพื่อหาเวลาการผลิตตามความต้องการของลูกค้า (Takt time) ของพนักงานแต่ละคนอยู่ที่ 41.81 นาที/คัน

ตารางที่ 1 แผนภูมิการไหลของพนัก Main Line Station M3 ปัจจุบัน



สรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ทั้งหมด 15.80 นาที เวลาการปฏิบัติงาน 12.07 นาที คิดเป็นร้อยละ 76.37 เวลาการเคลื่อนที่ 3 นาที คิดเป็นร้อยละ 18.99 เวลาการตรวจสอบ 0.73 นาที คิดเป็นร้อยละ 4.49 เวลาทำงานที่เพิ่มคุณค่า 6.78 นาที คิดเป็นร้อยละ 44.80 เวลาทำงานที่ไม่เพิ่มคุณค่า 9.02 นาที คิดเป็นร้อยละ 55.20 ประสิทธิภาพในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 37.78

3.3) วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา จากการศึกษาและเก็บข้อมูลจากกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก ทำให้ทางผู้จัดทำโครงการพบว่ากระบวนการทำงานแบบเดิมนั้น ผลิตภาพในกระบวนการประกอบรถขุด ต่ำ จึงใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแผนภูมิก้างปลา [6] เป็นเครื่องมือทางการบริหารรูปแบบหนึ่ง ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ด้วยปรึกษาจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและขอคำปรึกษาจากวิศวกร

รูปที่ 2 แสดงแผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งปัญหา

การจัดแบ่งปัญหา			
ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	สาเหตุ	คำอธิบาย
1.	คน	พนักงานทำงานไม่คล่องประสิทธิภาพ	เนื่องจากพนักงานที่มีจำนวนมาก และการแบ่งงานที่ไม่สมดุลกัน ทำให้เกิดการรอคอยหรือสูญเสียเวลาเปล่าในกระบวนการประกอบรถขุด
		ทักษะของพนักงานไม่เท่ากัน	เนื่องจากงานที่ทำ ต้องมีทักษะในการประกอบและประสบการณ์เพื่อที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้
2.	เครื่องจักร	สูญเสียเวลาในการ Confirm ค่า Torque	เนื่องจากการประกอบรถขุด จำเป็นต้องควบคุมค่า Torque ในการขัน Bolts ประแจ Torque ที่ใช้อยู่เป็นแบบขันด้วยมือ ทำให้เสียเวลาในลัน Bolts
		สูญเสียเวลาในการหมุน Swing Circle	เนื่องจากต้องให้อีกคนขึ้นไปรับรถขุดตักไฮดรอลิก เพื่อหมุน Swing รถขุดตัก ทำให้เสียเวลาการสื่อสารกันว่าให้หมุนตอนเวลาไหน เพื่อขันแน่น Bolts Swing Circle
3.	วิธีการ	ลำดับขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม	เนื่องจากขั้นตอนที่ประกอบไม่ต่อเนื่อง อย่างเช่น พนักงานคนที่หนึ่งประกอบตาม WI ข้อ 1 ต้องรอให้พนักงานคนที่สองประกอบตาม WI ข้อ 2 ก่อน พนักงานคนที่หนึ่งถึงได้ไปประกอบ WI ข้อ 3 ได้
		สูญเสียเวลาในการหยิบชิ้นงานมาประกอบ	เนื่องจากชิ้นงานบางชิ้นไม่ได้วางอยู่ใกล้กันเลย เลยทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินไปหยิบมาประกอบ
4.	วัสดุ	สูญเสียเวลาในการจัดเตรียมชิ้นส่วน	เนื่องจากชิ้นส่วนถูกแพ็คเกจ ทำให้เสียเวลาในการแกะ และชิ้นส่วนวางมากองรวมกัน ทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหา
5	สิ่งแวดล้อม	สภาพอากาศในที่ทำงานร้อน	ทำให้เวลาในการทำงานนานขึ้น เช่น ต้องใช้เวลาในเช็ดเหงื่อที่ไหลตามร่างกาย

3.4) แนวทางการแก้ไขปัญหา จากการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหาจากปัจจัย 4M พบว่าปัญหาที่ทำให้ผลิตภาพ (Productivity) ต่ำ เกิดจากพนักงานทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องจาก Cycle time น้อยกว่า Takt time ซึ่งเกิดจากกำลังคนไม่เหมาะสมกับงาน

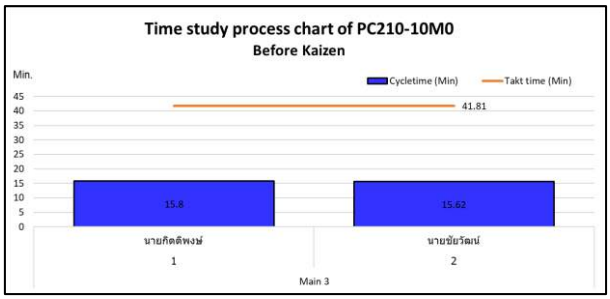
ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณ Manpower

	Total cycle time	Current Manpower	Manpower should be	Summarize	Efficiency
Revo Line	571.09	21	13.66	14	65.04%
R1 (Prepare Revo และ สถานี 1)	179.67	6	4.30	5	71.62%
R2 (สถานี 2 และ 3)	191.19	7	4.57	5	65.33%
R3 (สถานี 4 ถึง 6)	200.23	8	4.78	5	59.86%
Main Line	300.61	15	7.19	8	47.39%
Main line (สถานี 1 ถึง 4)	134.93	7	3.23	4	46.10%
Work Equipment (สถานี 5 ถึง 7)	82.83	5	1.98	2	39.62%
Flushing (สถานี 8)	31.58	1	0.76	1	75.53%
Sub boom	47.89	2	1.15	2	57.27%

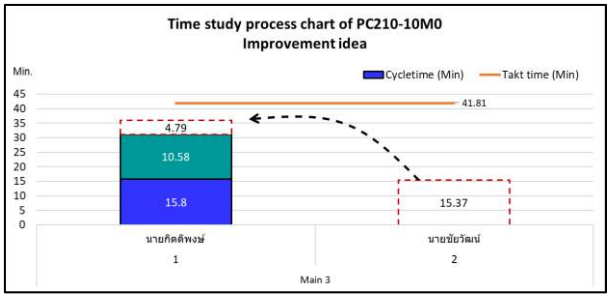
จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าพนักงานใน Revo Line มีทั้งหมด 21 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 14 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 65.04 ส่วนของ R1 (Prepare และ สถานี1) มีพนักงาน 6 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 5 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 71.62 ส่วนของ R2 (สถานี 2 และ 3) มีพนักงาน 7 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 5 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 65.33 ส่วนของ R3 (สถานี 4 ถึง 6) มีพนักงาน 8 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 5 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 59.86 ต่อมาเป็นส่วนของพนักงาน Main Line มีทั้งหมด 15 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 8 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 47.39 ส่วนของ Main line (สถานี 1 ถึง 4) มีพนักงาน 7 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 4 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 46.10 ส่วนของ Work Equipment (สถานี 5 ถึง 7) มีพนักงาน 5 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 4 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 39.62 ส่วนของ Flushing (สถานี 8) มีพนักงาน 1 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 75.53 ส่วนของ Sub boom อยู่ใน (Main5) แต่แยกออกมามีพนักงาน 2 คน คำนวณกำลังคนที่ควรใช้ 2 คน ประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ 57.27 ซึ่งตัวเลขที่ไม่สัมพันธ์กันเพราะการปัดเศษขึ้น

หมายเหตุ : Main Line (สถานี 2 , 5 และ 6) จำเป็นต้องคนใช้คนประกอบสถานีละ 2 คน

ลำดับขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม เนื่องจากขั้นตอนที่ประกอบไม่ต่อเนื่อง อย่างเช่น พนักงานคนที่หนึ่งประกอบตาม WI ข้อ 1 ต้องรอให้พนักงานคนที่สองประกอบตาม WI ข้อ 2 ก่อน พนักงานคนที่หนึ่งถึงได้ไปประกอบ WI ข้อ 3 ได้



รูปที่ 3 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาหลังปรับปรุง

3.5) ดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการ ECRS (Improve) ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะใช้ทฤษฎีการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา (Motion and Time Study) การใช้ทฤษฎีหลักการลดความสูญเปล่ามาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงการทำงานของพนักงาน ทั้งนี้เพื่อให้เป็นข้อมูลมาตรฐานให้กับบริษัท

จากการวิเคราะห์ความสูญเปล่า ผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS ที่ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) เข้ามาใช้ปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อกำจัดความสูญเปล่า ช่วยลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก

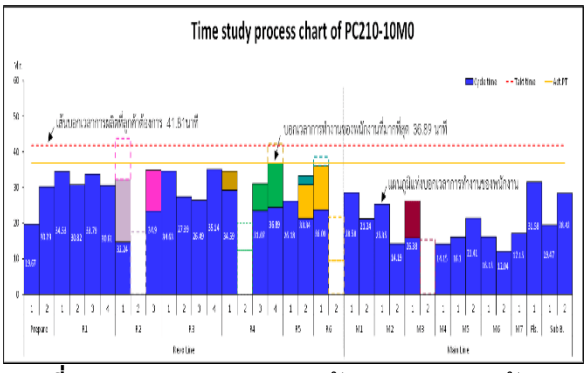
ตารางที่ 3 กำหนดปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหาก่อนปรับปรุง	ECRS	วิธีการดำเนินงาน	หลังการปรับปรุง
พนักงานทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ	R = Rearrange	- ศึกษางานย่อยของพนักงานและเพิ่มงานย่อยให้พนักงาน	- ประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบเพิ่มขึ้น
ลำดับขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม	R = Rearrange	- แบ่งงานย่อยให้พนักงานใหม่เพื่อให้พนักงานทำงานอย่างต่อเนื่อง	- พนักงานทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ลดเวลาการรอคอยในการทำงาน

จากตาราง 3 แนวทางที่ผู้จัดทำโครงการจะใช้ในการปรับปรุงการทำงาน [7-8] คือ การจัดใหม่ (Rearrange) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าในกระบวนการประกอบรถขุดไฮดรอลิก

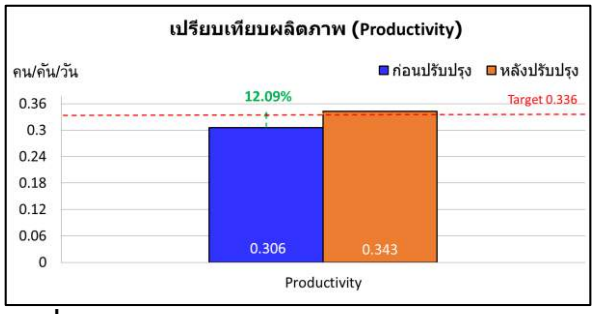
4 ผลการดำเนินโครงงาน

4.1) การแก้ไขปัญหา จากแนวทางการวิเคราะห์ความสูญเปล่า ECRS จึงนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหาดังแสดงในรูปที่ 5



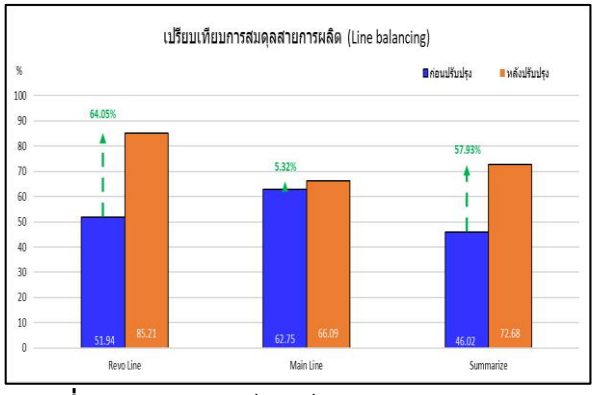
รูปที่ 5 แสดง Cycle time การจัดแบ่งงานของพนักงานหลังทำการปรับปรุง

4.2) ผลิตภาพ (Productivity) ผลิตภาพก่อนปรับปรุงนั้นเท่ากับ 0.306 มาจาก Output หรือรถขุดไฮดรอลิก ส่งออก 11 คัน/วัน Input หรือพนักงานมี 36 คน/วัน ผลิตภาพหลังปรับปรุงเท่ากับ 0.343 มาจาก Output หรือ รถขุดไฮดรอลิกคงส่งออกเท่าเดิม 11 คัน/วัน Input หรือพนักงานลดลงเหลือ 32 คน/วัน ทำให้ผลิตภาพ (Productivity) เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.09 ซึ่งบรรลุตามวัตถุประสงค์



รูปที่ 6 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลิตภาพ (Productivity) ก่อนและหลังปรับปรุง

4.3) สมดุลการผลิต (Line balancing) สมดุลการผลิตที่ Revo line ก่อนปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 77.38 หลังปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 85.21 คิดเป็นร้อยละ 10.12 เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง สมดุลการผลิตที่ Main line ก่อนปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 63.02 หลังปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 66.09 คิดเป็น 5.32 เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง และสมดุลการผลิตโดยรวม ก่อนปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 68.90 หลังปรับปรุงมีสมดุลร้อยละ 72.68 คิดเป็นร้อยละ 5.90 เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบสมสุดการผลิต (Line balancing) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. สรุปผล

จากการศึกษาขั้นตอนและวิธีการประกอบรถขุดเบื้องต้นและคำนวณค่า ผลิตภาพของจำนวนคนก่อนปรับปรุงและคำนวณค่าสมดุลการผลิตโดยรวม เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาการจัดแบ่งงานของคนงานให้เกิดสมดุลในการผลิตและเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ในการประกอบรถขุด โดยก่อนปรับปรุง มีจำนวนพนักงานในการประกอบรถขุดอยู่ที่ 36 คน ซึ่งผลิตภาพ

(Productivity) อยู่ที่ 0.306 คน/คัน/วัน ต่อมาค่าสมดุลการผลิตโดยรวมจะอยู่ที่ร้อยละ 68.90 แก้ไขและปรับปรุงการจัดแบ่งงานพบว่าสามารถลดจำนวนคน จากเดิม 36 คน เหลือแค่ 32 คน และสามารถเพิ่มค่าผลิตภาพ (Productivity) จากเดิม 0.306 คัน/คน/วัน เพิ่มขึ้น 0.343 คัน/คน/วัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.09 สมดุลการผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 68.90 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 72.68 โดยคิดเป็นร้อยละ 5.9

6. อภิปรายผล

จากการแก้ไขและปรับปรุงการจัดแบ่งงานของคนงานในส่วนของการประกอบรถขุดพบว่าสามารถเพิ่มค่าผลิตภาพ (Productivity) ซึ่งสามารถเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) จากเดิม 0.306 คัน/คน/วัน เพิ่มเป็น 0.343 คัน/คน/วัน โดยคิดเป็นร้อยละ 12.09 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และลดเวลาความสูญเปล่าของกระบวนการประกอบรถขุด

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งช่วยแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการวิจัย รวมถึงบริษัทกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน และผู้วิจัยร่วมที่ให้การสนับสนุนตลอดกระบวนการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ณัติฐากร ชูก้าน, 2547 เอกสารประกอบรายวิชาการศึกษางาน, ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[2] กุลบัณฑิต แสงดี. (2552). การลดความสูญเปล่าตามหลักการ ECRS. แหล่งที่มา(URL):https://www.tcithaijog/index.php/ (23 สิงหาคม 2567)

[3] กฤตินนท์ วรรณสอน (2565). การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการผลิตประตูปิดฝากระโปรงท้ายรถยนต์.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[4] สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์ (2560). การปรับปรุงกระบวนการด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษา : กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ กล้องวงจรปิด. สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[5] ยุทธณรงค์ จงจันทร์. ยอดนภา เกตุเมือง. และ นรา บุริพันธ์. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความ สูญเปล่าในกระบวนการผลิตติดตั้งดั้มพ์.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี. 2555. (23 สิงหาคม 2567)

[6] จุฬากรณ์ ยศไกร. (2555). ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) (URL) :http://chulakorn.blogspot.com (23 สิงหาคม 2567)

[7] ณัชพล สุพรรณ. และ สรรฐิชัย ชีวสุทธิศิลป์. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตแผ่น คริสตัลแบลงค์โดยใช้ระบบผลิตแบบลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2554 (23 สิงหาคม 2567)

[8] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. และ พชร อุไรพงษ์. การวิเคราะห์ปรับปรุงสายการผลิต ตามสายการผลิตแบบลีนโดยอาศัยการจำลองสถานการณ์กรณีศึกษา: อุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2556. (23 สิงหาคม 2567)

การพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต กรณีศึกษา

Development of Quality Control For Manufacturing Process A Case Study

ปริมประภา จุลลาบุดดี[1*] ปัญญา วินทะไชย[1] บุญกิจ อุ่นพิกุล[1] และ ภูมิภัทร์ นามจำปา[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น

Primprapa Junlabuddee[1*] Panya Wintachai[1] Boonkit Unphikoon[1] and Phumiphat Namjampa[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: primprapa.ju@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต เพื่อยกระดับความรู้ความเข้าใจของพนักงานในกระบวนการผลิต และเพื่อลดข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า ปัจจุบันพบว่าบริษัทกรณีศึกษา กำลังเผชิญปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า เนื่องจากปี พ.ศ. 2564 เกิดสถานการณ์ Covid19 ทำให้พนักงานลาออกสูง และปัจจุบันยังมีการโยกย้ายพนักงานในกระบวนการผลิตตามแผนกวางแผนการผลิต ผู้จัดทำจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า พบว่ากระบวนการ Lead Wire Connecting & Top Fitting เคยเกิดปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่มีสาเหตุมาจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎหรือเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต จากปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงได้ร่วมมือกับแผนกควบคุมคุณภาพในการจัดทำสื่อวีดิทัศน์สำหรับอบรมพนักงาน เพื่อสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงาน เพิ่มศักยภาพทางความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการผลิต และตระหนักถึงผลกระทบที่ตามมาหากไม่ปฏิบัติตามกฎและมีของเสียหลุดรอดไปยังกระบวนการถัดไป เพื่อลดปัจจัยที่เป็นสาเหตุของงานเสียในกระบวนการผลิต และลดโอกาสงานเสียที่จะส่งถึงลูกค้า จากการดำเนินงานพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต พบว่าผลการทำแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจของพนักหลังอบรมด้วยสื่อวีดิทัศน์สูงกว่าก่อนอบรมสื่อวีดิทัศน์โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการเปรียบเทียบจำนวนข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าลดลงกว่าร้อยละ 100 และผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานในกระบวนการผลิตที่มีต่อสื่อวีดีทัศน์มีค่าเฉลี่ยคะแนนรวมอยู่ที่ 48.3 คะแนน หรือร้อยละ 91.60 ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

คำหลัก เอกสารควบคุมคุณภาพ, สื่อวีดิทัศน์

Abstract

This research aims to develop quality control documents for the production process to enhance employees' knowledge and understanding while reducing quality-related complaints. Currently, the case study company is facing an increasing number of quality complaints due to a high employee turnover rate since the COVID-19 pandemic in 2021. Additionally, frequent employee transfers within the production process, as planned by the production planning department, have contributed to these issues. Upon analyzing quality-related complaints, it was found that issues in the Lead Wire Connecting & Top Fitting process stemmed from employees failing to adhere to quality control guidelines and standard operating procedures. In response, the researcher collaborated with the quality control department to develop a

training video aimed at standardizing work procedures, improving employees' knowledge and understanding of the production process, and raising awareness of the consequences of non-compliance, including defective products being passed to the next stage. This initiative seeks to reduce factors contributing to production defects and minimize the risk of defective products reaching customers. The key findings from the development of quality control documents and training initiatives are as follows: Employee knowledge and understanding significantly improved after training with the video, as demonstrated by post-training test scores, which were statistically significant at the 0.05. Quality-related complaints decreased by over 100%. Employee satisfaction with the training video showed an average score of 48.3 scores, equivalent to 91.60%, confirming the hypothesis.

Keywords: Quality Control Document, Video Training Media.

1. บทนำ

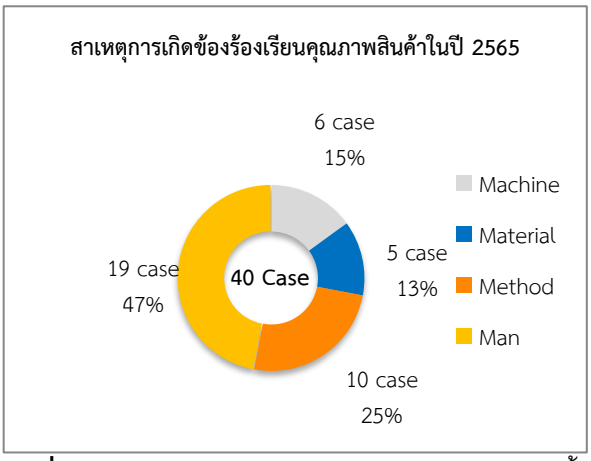
บริษัทฯกำลังเผชิญปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า เนื่องจากปี พ.ศ.2564 เกิดปัญหาสถานการณ์ Covid19 ทำให้พนักงานลาออกสูง และปัจจุบันยังมีการโยกย้ายแผนกตามแผนการผลิตของแผนกวางแผนการผลิต โดยปกติพนักงานที่เข้ามาปฏิบัติงานใหม่นั้นจะได้รับการอบรมจากเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตก่อนที่จะเข้าปฏิบัติงาน ซึ่งอาจทำให้พนักงานไม่เข้าใจในเอกสารอย่างถ่องแท้ อ่านเนื้อหาข้ามขั้นตอน การตรวจสอบชิ้นงานหรือจุดสำคัญในการปฏิบัติงานไม่เห็นภาพอย่างชัดเจน พนักงานอาจมีทักษะไม่มากพอในการเข้าใจเนื้อหา ทำให้เกิดปัญหางานเสียในกระบวนการผลิตและหากปล่อยงานเสียส่งไปถึงลูกค้าจะทำให้เกิดปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า ส่งผลให้ภาพลักษณ์ของทางบริษัทฯ เสียหาย ส่งผลต่อสภาพคล่องทางการเงินและความเชื่อมั่นที่มีของลูกค้า หรืออาจส่งผลให้เกิดการฟ้องร้องจนทำให้บริษัทฯ ปิดตัวลงได้ ดังนั้น ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยของ [3] พิมพ์ชนก คำชัย. (2563). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ [4] รัชชานนท์ ดิษเจริญ. (2563). [5] อาจารย์โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี (2561.) ดังนั้นผู้จัดทำจึงเห็นและมีความคิดว่าดีขึ้นจึงทำการนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา

2. วัตถุประสงค์

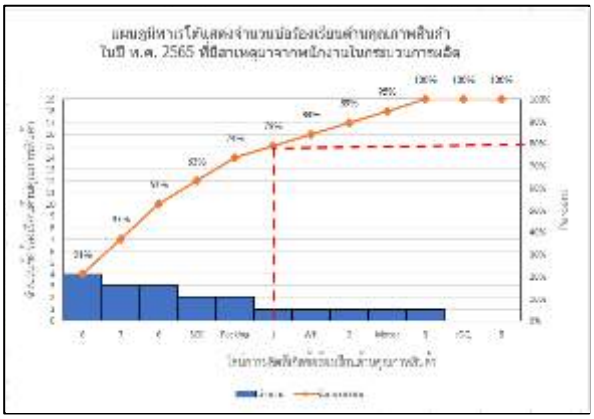
1. เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานของพนักงาน
2. เพื่อยกระดับความรู้ความเข้าใจของพนักงานในกระบวนการผลิต
3. เพื่อลดข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่เกิดขึ้นจากพนักงานในกระบวนการผลิต

3 วิธีดำเนินโครงงาน

3.1) ศึกษาข้อมูลข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าเพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่จะแก้ไขผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า ที่ทางแผนกควบคุมคุณภาพ วิเคราะห์ปัญหาทั้ง 40 กรณี ด้วยปัจจัยในกระบวนการผลิตทั้ง 4 ด้าน พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่เกิดมาจากพนักงานมากถึง 47 % และได้รวบรวมข้อมูลข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่จำแนกแต่ละไลน์การผลิต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟ [1] แสดงข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าทั้ง 4 ด้านที่มีสาเหตุมาจากพนักงานในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2 กราฟพาเรโตแสดงจำนวนข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่มีสาเหตุมาจากพนักงานในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 2 พบว่าจำนวนข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าซึ่งมีสาเหตุเกิดจากพนักงานในกระบวนการผลิต จากกราฟจะพบว่าไลน์ผลิตที่ 8 มีความผิดพลาดที่มีสาเหตุมาจากคนเยอะมากที่สุด จำนวน 4 ข้อร้องเรียน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 21 และทางแผนกควบคุมคุณภาพได้จัดทำก่อนที่ผู้จัดทำจะเข้าร่วมไปศึกษาไว้ก่อนแล้ว เพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดซ้ำ เพื่อสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงานและยกระดับความรู้ความเข้าใจของพนักงานในกระบวนการผลิต ผู้จัดทำจึงมีการพิจารณาเลือกหัวข้อในการแก้ไขปัญหาประกอบกับระยะเวลาในการฝึกปฏิบัติสหกิจศึกษา จึงได้ทำการเลือกแก้ไขปัญหาในไลน์การผลิตที่ 7 ที่มีความผิดพลาดที่สาเหตุเกิดมาจากพนักงานในกระบวนการผลิตมาแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นขอบเขตการศึกษาของผู้จัดทำที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาจำนวนข้อร้องเรียนฯ ของแผนกควบคุมคุณภาพ ในส่วนของไลน์การผลิตที่ 7 กระบวนการ Lead Wire Connecting & Top Fitting ในช่วงระยะเวลาที่ฝึกปฏิบัติสหกิจศึกษา วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ.2567 ถึงวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2567

3.2) วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ จากการรวบรวมข้อมูลข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่เกิดขึ้นจากพนักงานในกระบวนการผลิต ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลและเอกสารข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าทั้ง 19 ข้อร้องเรียน และนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาโดยใช้เครื่องมือ Why Why Analysis มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาเพื่อไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นซ้ำ ได้มีการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ผังการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ Why Why Analysis

จากรูปที่ 3 ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักคือ พนักงานไม่เข้าใจกฎ พนักงานละเลยกฎ ผู้จัดทำจึงทำการสรุปปัญหาได้ว่า ไม่มีสื่อการอบรมที่ดี เอกสารการอบรมเข้าใจยาก สภาวะการทำงานไม่คงที่ และไม่ตระหนักถึงผลกระทบที่ตามมา จึงได้มีแนวทางการแก้ไขปัญหาดังหัวข้อที่ 3.3

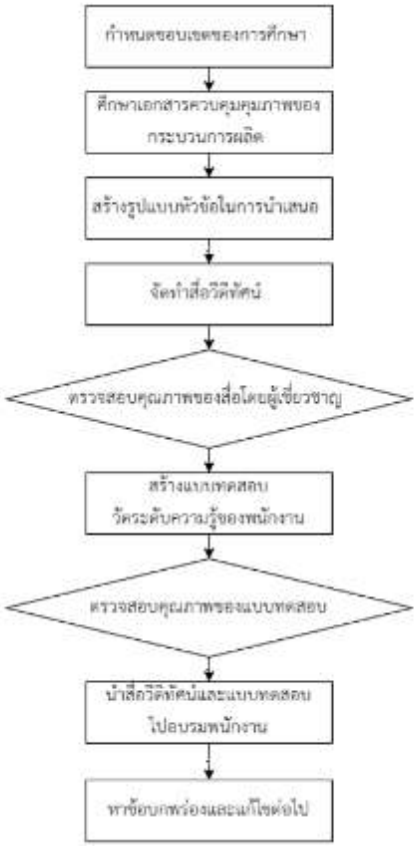
3.3) แนวทางแก้ไขปัญหา โครงงานนี้ถูกวางแผนไว้ล่วงหน้าส่วนหนึ่งก่อนที่ผู้จัดทำจะเข้าไปร่วมศึกษาไว้ก่อนแล้ว ผู้จัดทำได้ศึกษาพบว่าไลน์การผลิตที่ 7 กระบวนการ Lead Wire Connecting & Top Fitting มีข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่เคยเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2565 และปัจจุบันยังไม่มีสื่อวีดิทัศน์ที่ใช้สำหรับอบรมพนักงาน ผู้จัดทำจึงได้ทำสื่อวีดิทัศน์ของกระบวนการฯ เพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดซ้ำ เพื่อสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงาน เพิ่มศักยภาพทางความรู้ ความเข้าใจ ในการปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการผลิต และตระหนักถึงผลกระทบที่ตามมาหากไม่ปฏิบัติตามกฎและมีของเสียหลุดรอดไปยังกระบวนการที่พนักงานรับผิดชอบในกระบวนถัดไป โดยการสร้างสื่อวีดีทัศน์ที่ใช้สำหรับอบรมพนักงานที่เป็นมาตรฐานให้พนักงานเข้าถึงง่ายและเข้าใจในทิศทางเดียวกัน โดยพัฒนาจากรูปแบบเดิมที่เรียนรู้เนื้อหางานจากเอกสารควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต และการวัดผลพนักงานด้วยการจดบันทึก ให้เปลี่ยนมาเป็นรูปแบบสื่อการเรียนรู้ที่เป็นวีดีทัศน์ที่มีเนื้อหาของเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตทั้งหมดด้วย

การสื่อสารที่ชัดเจนและเห็นภาพมมากขึ้น โดยทำเป็นภาพเคลื่อนไหวในขั้นตอนการทำงานมีการบรรยายด้วยเสียงของผู้จัดทำ มีจุดเน้นย้ำหากพนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎ และมีการจัดทำแบบทดสอบพนักงานเพื่อวัดผลการเรียนรู้จากสื่อวีดีทัศน์ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตแลบันทึกลงในระบบ IOT System ของทางบริษัท

ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบการเรียนรู้ของพนักงานในรูปแบบเดิมและรูปแบบที่พัฒนา

No.	หัวข้อ	รูปแบบเดิม	รูปแบบใหม่
1	ประเภทของข้อมูล	เอกสาร	เอกสาร+สื่อวีดีทัศน์
2	วิธีการศึกษา	อ่าน	ดู+ฟัง
3	บันทึกการอบรม	เอกสาร	ในระบบ IOT ของทางบริษัท

3.5) ดำเนินการแก้ไขปัญหา ตามหัวข้อดังแสดงในรูปที่ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การดำเนินการแก้ไขปัญหา

4 ผลการดำเนินโครงงาน

การพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิต 2) เพื่อยกระดับความรู้ความเข้าใจของพนักงานในกระบวนการผลิต 3) เพื่อลดข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าที่เกิดขึ้นจากพนักงานในกระบวนการผลิต ผู้จัดทำได้กำหนดผลการวิเคราะห์ดังนี้

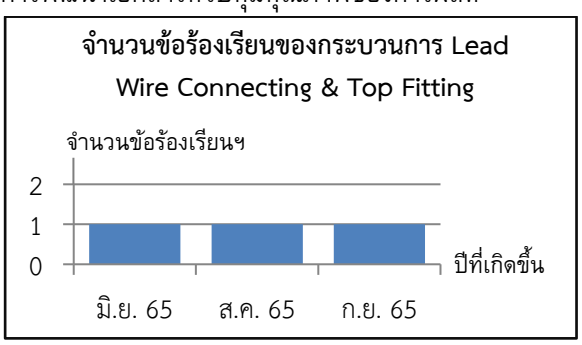
4.1) เปรียบเทียบผลการทำแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจ จากนั้นทดสอบสมมุติฐานของโครงการโดยใช้ (Dependent Sample t-test) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการอบรมพนักงานกระบวนการ Lead wire connecting & Top fitting

การทดสอบ	n	$\overline{X}$	S.D.	t	Sig.
ก่อนอบรม	14	6.86	1.23	12.30	0.000**
หลังอบรม	14	9.57	0.76		

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ0.05

4.2) เปรียบเทียบจำนวนการของข้อร้องเรียนคุณภาพสินค้าจากลูกค้า หลังดำเนินการแก้ปัญหาด้วยการพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของการผลิต



รูปที่ 5 กราฟแสดงจำนวนของเสียก่อนดำเนินการพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 5 เป็นการเก็บข้อมูลก่อนพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพการผลิตซึ่งผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อร้องเรียนที่ทางแผนกควบคุมคุณภาพรวบรวมไว้ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 จนถึง ปัจจุบันที่ผู้จัดทำเข้าไปศึกษาจึงนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

รูปที่ 6 กราฟแสดงจำนวนของเสียหลังดำเนินการพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 6 เป็นการเก็บข้อมูลหลังพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพการผลิตด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลาการฝึกสหกิจจึงทำให้เก็บข้อมูลที่ใช้วัดผลในกระบวนการได้เพียง 2 เดือน

5. สรุปผล

จากการดำเนินงานพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต พบว่า 1) ผลการทำแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจของพนักหลังอบรมด้วยสื่อวีดิทัศน์สูงกว่าก่อนอบรมสื่อวีดิทัศน์โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2) ผลการเปรียบเทียบจำนวนข้อร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้าลดลงกว่าร้อยละ 100 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานในกระบวนการผลิตที่มีต่อสื่อวีดีทัศน์มีค่าเฉลี่ยคะแนนรวมอยู่ที่ 48.3 คะแนน หรือร้อยละ 91.60

6. อภิปรายผล

จากการดำเนินการพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน จากการพัฒนาเอกสารควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตให้ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยของ [3] พิมพ์ชนก คำชัย. (2563). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ [4] รัชชานนท์ ดิษเจริญ. (2563). [5] อาจารย์โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี (2561.) ดังนั้นผู้จัดทำจึงเห็นและมีความคิดว่าดีขึ้นจึงทำการนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา และสื่อวีดิทัศน์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปอบรมพนักงานในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งช่วยแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการวิจัย รวมถึงบริษัทกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน และผู้วิจัยร่วมที่ให้การสนับสนุนตลอดกระบวนการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] เครื่องมือและเทคนิคทางวิศวกรรม 7 ชนิด (7 QC Tools) [สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2567]
เข้าถึงได้ จาก: (www.shorturl.at/dijDO)
[2] ณัติฐากร ชูก้าน, 2547 เอกสารประกอบรายวิชาการศึกษางาน, ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น. [สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2567]
[3] พิมพ์ชนก คำชัย. (2563). การพัฒนาระบบการฝึกอบรมแบบปรับเหมาะเพื่อพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของบุคลากรในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ปริญญานิพนธ์หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
สืบค้นจาก
http://irithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/1508/1/gs601130264.pdf
[4] รัชชานนท์ ดิษเจริญ. (2563). การพัฒนาสื่อนวัตกรรมการเรียนรู้ชีววิทยาผสมผสานความเป็นจริงเสริมเรื่องเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ เพื่อส่งเสริมมโนทัศน์ทางชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์นี้เป็นหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก

https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article =5023&context=chulaetd

[5] อาจารย์โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี (2561.) การพัฒนาสื่อและผลของการใช้สื่อวีดิทัศน์ร่วมกับโจทย์สถานการณ์ต่อความรู้ และความมั่นใจในการปฏิบัติการพยาบาลอาชีวอนามัยของนักศึกษาพยาบาล คณะแพทย์ศาสตร์โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก https://www.rama.mahidol.ac.th/ramanursej/sites/default/files/Public/journal-files/RNJ-V24-N01-JAN-APR-2018-08.

การเลือกรูปแบบการจัดคลังสินค้าสำเร็จรูป โดยกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น กรณีศึกษา: โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแห่งหนึ่ง

Selection of Finished Goods Warehouse Model by Using Hierarchy Analysis Process Case Study: A Seafood Processing Plant

ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[1*] พลกฤต วัชรผลานนท์[1] กวินธร สัยเจริญ[1] และ สุขุม โฆษิตชัยมงคล[1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

Thammawit Prasert[1*] Ponlakit Watcharaparanon[1]
Kawinthorn Saicharoen[1] Sukum Kositchaimongkon[1]
Department of Industrial Engineering and Management
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: Prasert_t@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคลังสินค้าภายในโรงงานผลิตสินค้าทะเลแปรรูปแช่แข็งแห่งหนึ่ง พบว่ามีการจัดการคลังสินค้าที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ จึงทำการแก้ปัญหาด้วยการใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น โดยทำการรวบรวมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะทางที่ลดได้ สามารถนำไปใช้งานได้ ง่ายต่อการค้นหา ความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน และไม่ต้องพึ่งระบบการจัดการคลังสินค้า จากนั้นสร้างทางเลือกในการจัดคลังรูปแบบใหม่ทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ จัดตามยี่ห้อของสินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ จัดสินค้าแต่ละชนิดโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ จัดสินค้าตามมูลค้าและความถี่ในการหยิบ ผลลัพท์ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุดคือปัจจัยสามารถนำไปใช้งานได้ รูปแบบการคำนวนการจัดคลังที่มีผลลัพท์ค่าน้ำหนักที่มากที่สุดคือ การจัดคลังสินค้าตามแบรนด์สินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ โดยจะให้สามารถลดระยะการหยิบสินค้าจากเดิมอยู่ที่ 38 เมตรลดลงมาเหลือ 19.5 เมตร คิดเป็นร้อยละ 50 ต่อการหยิบหนึ่งครั้ง และยังส่งผลให้การจัดการคลังสินค้ามีประสิทธิภาพโดยรวมเพิ่มมากขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก การจัดการคลังสินค้า ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดคลังสินค้า กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

Abstract

This study focused on the warehouse of a frozen seafood processing facility. It concluded that warehouse management was inefficient. As a result, the problem was solved using a hierarchical analytical process. The factors were reduced distance, usability, ease of search, investment managers' satisfaction, and the elimination of the requirement for a warehouse management system. Three new warehouse management options have been introduced: product brand and picking frequency, product kind and picking frequency, and product value and picking frequency. Usability was the weighted

outcome of the most influential aspect. Warehouse management by product brand and picking frequency yielded the highest weighted calculation results. This reduced the picking distance from 38 to 19.5 meters, or 50 percent every picking. It also improved total warehouse management efficiency by 50%.

Keywords: Warehouse Management, Factors Affecting Warehouse Management, Hierarchical Analysis Process

1. บทนำ

ตลาดอาหารแช่แข็งในประเทศไทยมีผู้นำตลาดไม่มากนักซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการรายใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหาร จึงได้รับการยอมรับเรื่องคุณภาพและมาตรฐานจากผู้บริโภคชาวไทยส่งผลให้อาหารพร้อมรับประทานแช่แข็งครองส่วนแบ่งตลาดสูงที่สุดคือ ร้อยละ 33.3 ของมูลค่าตลาดอาหารแช่แข็งทั้งหมดคิดเป็นมูลค่า 5,230 ล้านบาท ขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 12.6 ต่อปี [1]

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการผู้ผลิตอาหารและรับจ้างผลิต (OEM) จัดจำหน่ายอาหารแช่แข็งและจัดเก็บสินค้าเพื่อรอส่งให้ลูกค้า เนื่องจากมีสินค้ามากมายหลายประเภทจึงส่งผลให้คลังสินค้าไม่เพียงพอต่อการจัดเก็บ

งานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบการจัดเรียงคลังสินค้าใหม่โดยแบ่งตามปัจจัยที่สำคัญต่างๆ ออกมา โดยมีการสร้างทางเลือกในการจัดคลัง 3 รูปแบบได้แก่จัดตามยี่ห้อของสินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบหมายถึงสินค้ายี่ห้อไหนได้รับความนิยมในการซื้อจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ง่ายต่อการหยิบเข้าและออก จัดสินค้าแต่ละชนิดโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบหมายถึงสินค้ากลุ่มไหนได้รับความนิยมจะถูกนำมาจัดไว้ในตำแหน่งที่ง่ายต่อการหยิบ จัดสินค้าตามมูลค่าและตามความถี่ในการหยิบโดยสินค้าที่มูลค่าสูงและความความถี่ในการหยิบมากจะถูกจัดวางไว้อยู่ใกล้กับทางออก และใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเบื้องต้น ในการวิเคราะห์ออกมาเพื่อหาวิธีการจัดคลังสินค้าให้ออกมามีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดคลังสินค้า

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานเพื่อให้องค์กรสามารถตอบสนองต่อความ ความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากต้นทุนที่ส่งผลให้องค์กรสมัยใหม่ มีการบริหาร จัดการคลังสินค้าแบบบูรณาการในระดับกลยุทธ์และระดับปฏิบัติการตั้งแต่การเลือกทำเลที่ตั้งการ ออกแบบคลังสินค้าและการกำหนดมาตรฐานขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ เช่น การรับ การจัดเก็บ การจ่าย การตรวจนับสินค้าการสร้างมูลค่าเพิ่มและอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งสามารถเลือก เทคโนโลยีสารสนเทศและอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ มาประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม ตามพระราชบัญญัติ ศุลกากร พุทธศักราช 2469 [2]

2.2 กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์หรือ AHP เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายปัจจัยและให้ผลลัพธ์ในการตัดสินใจถูกต้องตรงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งจุดเด่นของกระบวนการ AHP มีดังนี้ [3]

1) การเปรียบเทียบปัจจัยการตัดสินใจเปรียบเทียบทีละคู่ เพื่อลดความผิดพลาด

2) สามารถวัดผลคุณสมบัติที่เป็นนามธรรมได้และมีผลของการตัดสินใจอยู่ในรูปลำดับความสำคัญ

3) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ

โดยแต่ละปัจจัยจะถูกแบ่งเป็นเกณฑ์ตั้งแต่ 1-9 เปรียบเทียบกันผ่านการสร้างตารางเมทริกซ์ออกมา จากนั้นคำนวนค่า C.I., R.I., C.R. ออกมา โดยหากค่า CR มีค่าน้อยกว่า 0.1 แปลว่าค่าสามารถยอมรับได้ [4]

C.R. = C.I./R.I. (1)

C. I.= (λ_{max} – n)/(n – 1) (2)

ค่า R.I. สามารถดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า R.I.

N (ขนาดเมตริก)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Haliç Üniversitesi และคณะได้ทำการศึกษารูปแบบการจัดคลังสินค้าโดยใช้ AHP และ ABC Analysis ในการจัดการสินค้าคงคลังผลิตภัณฑ์ทางทันตกรรม โดย ABC แบ่งสินค้าเป็น 3 กลุ่มตามมูลค่าทางการเงิน ขณะที่ AHP จัดอันดับสินค้าตามเกณฑ์ เช่น ความต้องการ ราคา และเวลาส่งมอบ ผลลัพธ์พบว่าสินค้าบางรายการตรงกับ ABC แต่บางรายการแตกต่างกัน การใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันช่วยให้บริหารสินค้าคงคลังได้อย่างมีกลยุทธ์และครอบคลุมมากขึ้น [5]

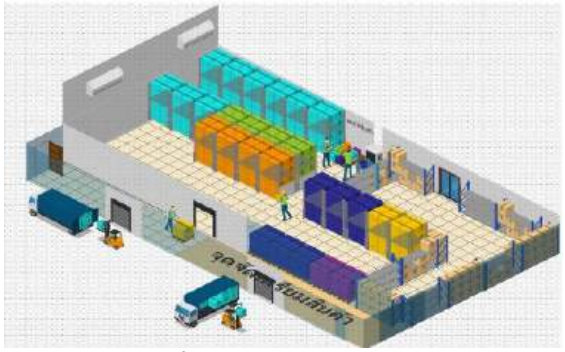
Edy Fradinata และคณะ ได้ศึกษาวิธีการใช้ ANN และ AHP เพื่อหาสินค้าคงคลังที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาความต้องการ จุดสั่งซื้อซ้ำ และระดับสินค้าคงคลังเฉลี่ย ผลลัพธ์พบว่าระดับสินค้าคงคลังเฉลี่ยที่เหมาะสมคือ 91 หน่วย และปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมคือ 11 หน่วย นโยบาย Continuous Review Policy ช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าคงคลัง การศึกษานี้ช่วยลดต้นทุน เพิ่มกำไร และลดความเสี่ยงจากสินค้าหมดอายุและราคาผันผวน [6]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลขอบริษัท

1) ข้อมูลการผลิตสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา บริษัทกรณีศึกษามีความสามารถในการผลิตสินค้าแปรรูปที่หลากหลาย โดยผลิตทั้งแบบ "Made to Order" และ "Made to Stock" ซึ่งตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างครอบคลุมและยืดหยุ่น โดยทำการผลิตสินค้าภายใต้ตราสินค้าของตนเอง และมีการรับจ้างผลิตให้กับผู้ประกอบการเจ้าอื่น (OEM)

2) ลักษณะทั่วไปของคลังสินค้า คลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 10 เมตร ยาว 21 เมตร สูง 4 เมตร มีประตูทางเข้าออก 1 ประตู ภายในคลังสินค้ามีการจัดการแบ่งพื้นที่ในการวางสินค้าเป็นแถว จำนวน 22 แถว มีทั้งหมด 2 ชั้น ชั้นที่ 1 เก็บตะกร้าได้ 20 ตะกร้า ชั้นที่ 2 เก็บตะกร้าได้ 28 ตะกร้า แล้วแต่ละตะกร้าสามารถบรรจุสินค้าได้ ตะกร้าละไม่เกิน 20 กิโลกรัม รวมตะกร้าที่เก็บตามชั้นวางสินค้าได้ทั้งหมด 1,056 ตะกร้า ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองคลังสินค้า

3.2. การรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างปัจจัยในการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมข้อมูลมาจากการสอบถามและประชุมกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับคลังสินค้าที่มีปัญหาการจัดคลังสินค้าที่ยังไม่มีประสิทธิภาพพอประกอบไปด้วย หัวหน้าคลังสินค้า พนักงานส่งมอบสินค้ามายังคลัง พนักงานจัดเก็บสินค้าเข้ากลุ่ม พนักงานจัดสินค้า จำนวนรวมทั้งหมด 12 คนโดยได้ปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดคลังมาทั้งหมดดังนี้

ปัจจัย A คือ ระยะทางที่ลดได้

ปัจจัย B คือ สามารถนำไปใช้งานได้

ปัจจัย C คือ ง่ายต่อการค้นหา

ปัจจัย D คือ ความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน

ปัจจัย E คือ ไม่ต้องการระบบจัดการคลังสินค้า (WMS) ในการจัดคลังสินค้า

โดยข้อมูลของแต่ละปัจจัยจะนำไปสู่ทางเลือกในการจัดคลังสินค้าได้ทั้งหมด 3 แบบคือ

ทางเลือกที่ 1 จัดตามแบรนด์สินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ

ทางเลือกที่ 2 จัดสินค้าแต่ละชนิดโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ

ทางเลือกที่ 3 จัดสินค้าตามมูลค่าและตามความถี่ในการหยิบ

4. ผลการดำเนินการวิจัย

นำข้อมูลที่รวบรวมมาสร้างเป็นตารางเมทริกซ์เปรียบเทียบน้ำหนักปัจจัย ได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เมทริกซ์เปรียบเทียบปัจจัย

ปัจจัย	A	B	C	D	E
A	1	$\frac{1}{7}$	3	3	3.67
B	7	1	5	4	5
C	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	1	1.33	1.67
D	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{1.33}$	1	1.33
E	$\frac{1}{3.67}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{1.67}$	$\frac{1}{1.33}$	1
ผลรวมแนวตั้ง	8.94	1.79	10.35	10.08	12.67

ตารางที่ 3 ผลการคำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

	A	B	C	D	E	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
A	0.11	0.08	0.29	0.30	0.29	1.07	0.212
B	0.78	0.56	0.48	0.40	0.39	2.62	0.525
C	0.04	0.11	0.10	0.13	0.13	0.51	0.101
D	0.04	0.14	0.07	0.10	0.10	0.45	0.091
E	0.03	0.11	0.06	0.07	0.08	0.35	0.071
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	5	1

จากตารางที่ 3 คำนวนค่า C.R. = 0.08 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

จากตารางที่ 3 ทำให้สามารถจัดอันดับปัจจัยและผลคะแนนน้ำหนักได้ดังนี้

อันดับที่ 1 สามารถนำไปใช้งานได้ ค่าน้ำหนัก 0.212

อันดับที่ 2 ระยะทางที่ลดลง ค่าน้ำหนัก 0.525

อันดับที่ 3 ง่ายต่อการค้นหา ค่าน้ำหนัก 0.101

อันดับที่ 4 ความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน ค่าน้ำหนัก 0.091

อันดับที่ 5 ไม่ต้องการระบบ WMS ในการจัดคลังสินค้า ค่าน้ำหนัก 0.071

จากนั้นนำปัจจัยแต่ละปัจจัยไปคำนวนร่วมกับทางเลือกทั้ง 3 ด้านเลือกโดย ผลลัพท์จะได้ตามตารางที่ 4 – 13

ตารางที่ 4 คะแนนของแต่ละทางเลือกตามปัจจัยด้านความสามารถนำไปใช้งานได้

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ทางเลือกที่ 1	1	2.5	4
ทางเลือกที่ 2	$\frac{1}{2.5}$	1	2.67
ทางเลือกที่ 3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2.67}$	1
ผลรวมแนวตั้ง	1.65	3.87	7.67

ตารางที่ 5 ค่า Eigenvector ตามปัจจัยด้านสามารถนำไปใช้งานได้

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
ทางเลือกที่ 1	0.61	0.65	0.52	1.77	0.591
ทางเลือกที่ 2	0.24	0.26	0.35	0.85	0.283
ทางเลือกที่ 3	0.15	0.10	0.13	0.38	0.126
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	3	1

จากตารางที่ 5 คำนวนค่า C.R. = 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6 คะแนนของแต่ละแผนตามปัจจัยด้านระยะทางที่ลด

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ทางเลือกที่ 1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3.67}$
ทางเลือกที่ 2	2	1	$\frac{1}{3}$
ทางเลือกที่ 3	3.67	3	1
ผลรวมแนวตั้ง	6.67	4.50	1.61

ตารางที่ 7 ค่า Eigenvector ตามปัจจัยด้านระยะทางที่ลด

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
ทางเลือกที่ 1	0.15	0.11	0.17	0.43	0.144
ทางเลือกที่ 2	0.30	0.22	0.21	0.73	0.243
ทางเลือกที่ 3	0.55	0.67	0.62	1.84	0.613
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	3	1

จากตารางที่ 7 คำนวนค่า C.R. = 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 8 คะแนนของแต่ละทางเลือกตามปัจจัยด้านง่ายต่อการค้นหา

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ทางเลือกที่ 1	1	4.33	2.67
ทางเลือกที่ 2	$\frac{1}{4.33}$	1	$\frac{1}{3}$
ทางเลือกที่ 3	$\frac{1}{2.67}$	3	1
ผลรวมแนวตั้ง	1.61	8.33	4.00

ตารางที่ 9 ค่า Eigenvector ตามปัจจัยด้านง่ายต่อการค้นหา

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
ทางเลือกที่ 1	0.623	0.520	0.667	1.810	0.603
ทางเลือกที่ 2	0.144	0.120	0.083	0.347	0.116
ทางเลือกที่ 3	0.233	0.360	0.250	0.843	0.281
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	3	1

จากตารางที่ 9 คำนวนค่า C.R. = 0.04 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 10 คะแนนของแต่ละทางเลือกตามปัจจัยด้านความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ทางเลือกที่ 1	1	2.5	4
ทางเลือกที่ 2	$\frac{1}{2.5}$	1	2.67
ทางเลือกที่ 3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2.67}$	1
ผลรวมแนวตั้ง	1.65	3.87	7.67

ตารางที่ 11 ค่า Eigenvector ตามปัจจัยด้านความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
ทางเลือกที่ 1	0.606	0.645	0.522	1.773	0.591
ทางเลือกที่ 2	0.242	0.258	0.348	0.849	0.283
ทางเลือกที่ 3	0.152	0.097	0.139	0.379	0.126
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	3	1

จากตารางที่ 11 คำนวนค่า C.R. = 0.04 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 12 คะแนนของแต่ละทางเลือกตามปัจจัยด้านไม่ต้องการระบบ WMS ในการจัดคลังสินค้า

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ทางเลือกที่ 1	1	1.67	$\frac{1}{4}$
ทางเลือกที่ 2	$\frac{1}{1.67}$	1	$\frac{1}{3.55}$
ทางเลือกที่ 3	4	3.55	1
ผลรวมแนวตั้ง	5.60	6.22	1.53

ตารางที่ 13 ค่า Eigenvector ตามปัจจัยด้านไม่ต้องการระบบ WMS ในการจัดคลังสินค้า

	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย
ทางเลือกที่ 1	0.179	0.268	0.163	0.610	0.203
ทางเลือกที่ 2	0.107	0.161	0.184	0.452	0.151
ทางเลือกที่ 3	0.714	0.571	0.653	1.938	0.646
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	3	1

จากตารางที่ 13 คำนวนค่า C.R. = 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบทางเลือกที่เหมาะสม

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยและวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือกตามแต่ละปัจจัยแล้ว จะมีการสรุปผลรวม เพื่อแสดงผลการวิเคราะห์ให้ชัดเจน โดยวิธีสรุปคือการนำค่าน้ำหนักปัจจัยคูณด้วยค่าน้ำหนักแต่ละทางเลือกตามแต่ละปัจจัย แล้วเอาผลที่ได้มาทั้ง 5 ปัจจัยมารวมกัน ได้ผลลัพท์ตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละแผนตามแต่ละปัจจัย

ปัจจัย/ทางเลือก	ค่าน้ำหนักปัจจัย	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
สามารถนำไปใช้งานได้	0.523	0.591	0.283	0.126
ระยะทางที่ลด	0.214	0.144	0.243	0.613
ง่ายต่อการค้นหา	0.102	0.603	0.116	0.281
ความพึงพอใจของผู้บริหารด้านการลงทุน	0.091	0.591	0.283	0.126
ไม่ต้องการระบบ WMS ในการจัดคลังสินค้า	0.071	0.671	0.119	0.210
ค่าน้ำหนักแผนแต่ละแผน	-	0.503	0.246	0.252

จากผลรวมการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละแผนตามตาละปัจจัย ตามตารางที่ 13 สามารถจัดอันดับความสำคัญสำหรับแต่ละทางเลือกจากมากไปน้อยได้ดังนี้

อันดับที่ 1 ทางเลือกที่ 1 จัดตามแบรนด์สินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ มีค่าน้ำหนัก 0.503

อันดับที่ 2 ทางเลือกที่ 2 จัดสินค้าแต่ละชนิดโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ มีค่าน้ำหนัก 0.246

อันดับที่ 3 ทางเลือกที่ 3 จัดสินค้าตามมูลค่าและตามความถี่ในการหยิบ มีค่าน้ำหนัก 0.252

จากการเลือกใช้ทางเลือกที่ 1 จัดตามแบรนด์สินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ พบว่าในแต่ละครั้งที่พนักงานทำการหยิบสินค้าจะทำให้ระยะทางในการเข้า-ออกในแต่ละครั้งลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

5. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ตามปัจจัยต่างๆ รวมกับทางเลือกทั้ง 3 ทางเลือกพบว่าทางเลือกจัดตามแบรนด์สินค้าโดยแบ่งตามความถี่ในการหยิบ เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการนำไปใช้สำหรับจัดคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีผลนำไปสู่ระยะทางขนส่งก่อนการปรับปรุงมีระยะทางอยู่ที่ 39 เมตรและเมื่อทำการปรับปรุงตามงานวิจัยแล้วระยะทางจะลดลงมาเหลือ 19.5 เมตร คิดเป็น 50% ต่อรอบการหยิบสินค้า ส่งผลให้ลดเวลาในการหยิบสินค้าตามมา และยังลดต้นทุนการบริหารคลังสินค้า การค้นหาสินค้าที่ง่ายขึ้น ทำให้การจัดการคลังสินค้ามีคุณภาพโดยรวมมากขึ้น 50 %

6. กิตกิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการ วิจัยนวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ขอขอบคุณ นายปฏิภาณ สามสารี นายอนุรักษ์ ศรีสอาด และนายกิตตินันท์ หิรัญพฤกษ์ที่ช่วยรวมรวมข้อมูลสำหรับงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ประภาศรี โอสถานนท์. (2565). ส่องธุรกิจอาหารแช่แข็งไทย โตสวนกระแส กำไรพุ่ง. กรุงเทพธุรกิจ. https://www.bangkokbiznews.com/business/economic/1042126

[2] Kellermayr-Scheucher, M., Niedermeier, M., & Brandtner, P. (2023). Applications and perceptions of workforce management systems for warehouse operation-results and findings from expert interviews. *Procedia Computer Science*, *219*, 255-262.

[3] Podvezko, V. (2009). Application of AHP technique. *Journal of Business Economics and management*, (2), 181-189.

[4] Al-Harbi, K. M. A. S. (2001). Application of the AHP in project management. *International journal of project management*, *19*(1), 19-27.

[5] Saracoglu, I., & Mifdal, S. (2024). Inventory Classification with AHP and ABC Analyses: A Case Study for Dental Products Production. *Computer and Decision Making: An International Journal*, *1*, 151-169.

[6] Fradinata, E., Noor, M. M., Kesuma, Z. M., Suthummanon, S., & Asmadi, D. (2024). Leveraging hybrid ANN–AHP to optimize cement industry average inventory levels. *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, *10*(1), 159-170.

[7] Hadi-Vencheh, A., & Mohamadghasemi, A. (2011). A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification. *Expert Systems with Applications*, *38*(4), 3346-3352.

[8] Partovi, F. Y., & Hopton, W. E. (1994). The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. *Production and Inventory Management Journal*, *35*(1), 13.

การวางแผนพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาเครื่องขัดยางรถยนต์

Development planning to improve work efficiency and preventive maintenance: A case study of a tire polishing machine

ศิริวรรณ อ่อนเกตุ[1*] พายุ วิงไธสง[1] ธีระพงษ์ ศรีพรม[1] ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[2] ศุภัทร ศิลาลอย[1] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[3] และสุภัทรา หมู่ป่ารัง[1]

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

E-mail: siriwan_on@rmutto.ac.th*

Siriwan Onket[1] Payu Wingtaisong[1] theerapong Shrippom [1] Thammawit Prasert[2] Suphat Silaloi[1] Jittiwat Nithikanchanatharn[3] and Supattra Muparang[1*]

[1] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

[2] Department of Industrial Engineering and Management
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

[3] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan

E-mail: siriwan_on@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหา และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขัดยางรถยนต์ โดยมุ่งเน้นการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากชุดล็อกริม พบว่ามีการชำรุดบ่อยครั้งเนื่องจากวัสดุที่ไม่ทนทาน และไม่สามารถรองรับแรงกดจากการทำงานหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ด้วย Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) และ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุหลักมาจากการสึกหรอของชุดทองเหลือง ซึ่งส่งผลให้เกิดการติดขัดและทำให้เครื่องขัดยางต้องหยุดทำงานบ่อยครั้ง เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับเปลี่ยนวัสดุจากทองเหลืองเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง และทนต่อการสึกหรอมากขึ้น พร้อมทั้ง ออกแบบชุดล็อกใหม่ ให้สามารถรองรับแรงกระทำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังนำแนวทาง การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน มาใช้แทนการซ่อมเมื่อเกิดปัญหา โดยใช้ข้อมูลเชิงสถิติวิเคราะห์แนวโน้มความล้มเหลว ผลการปรับปรุงพบว่า สามารถลดเวลาหยุดเครื่องจักรจากค่าเฉลี่ย 81.97% ลงจนไม่เกิดซ้ำ ขณะเดียวกัน ค่า MTBF เพิ่มขึ้นเป็น 97.91% และค่า MTTR ลดลงเป็น 0% แสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรมีความพร้อมใช้งานสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ช่วยลดต้นทุนการซ่อมบำรุง เพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิต และลดของเสียในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก เครื่องขัดยางรถยนต์, การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์, FMEA, MTBF, MTTR

Abstract

This research aims to investigate the problems and improve the operational efficiency of a tire buffing machine, with a focus on reducing damage caused by the rim locking unit. Frequent breakdowns were found to result from the use of low-durability materials that failed to withstand high working pressure. Through analysis using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Why-Why Analysis, the primary cause was identified as the wear of the brass components, which led to mechanical jamming and frequent machine downtime. To address these issues, the researchers replaced the brass material with medium carbon steel, which possesses greater strength and wear resistance. Additionally, a new locking unit was designed to better withstand operational forces. Predictive and preventive maintenance strategies were also implemented in place of reactive maintenance, utilizing statistical data to analyze failure trends. The improvement results showed a reduction in machine downtime from an average of 81.97% to zero recurrence. Simultaneously, the Mean Time Between Failures (MTBF) increased to 97.91%, and the Mean Time To Repair (MTTR) decreased to 0%, indicating enhanced machine availability. These changes effectively reduced maintenance costs, improved production efficiency, and minimized waste in the tire manufacturing process.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยางพาราเป็นภาคส่วนที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก[1] ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของไทย เพิ่มขึ้น 1.06% [2] ซึ่งถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ ยางพาราถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น ผ้ายาง รองเท้า ยางลบ และที่สำคัญคือยางรถยนต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงและเป็นหนึ่งในสินค้าหลักของประเทศ [1] บริษัทผู้ผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทยมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพสูงตามมาตรฐานสากล เช่น ISO 9001 และ ISO/TS 16949 เพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ [3] อุตสาหกรรมยางรถยนต์ยังคงเผชิญกับความท้าทายในการบริหารจัดการเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปัญหาหลักที่พบคือการซ่อมบำรุงที่อาศัยแนวทาง Breakdown Maintenance (BM) หรือการซ่อมแซมเมื่อเกิดปัญหา ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการหยุดชะงักของสายการผลิตและเพิ่มต้นทุนการดำเนินงาน [4]

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเริ่มนำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) และการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ลดเวลาหยุดเครื่อง และเพิ่มความพร้อมในการผลิต[5] จากการศึกษาพบว่าการปรับใช้แนวทาง TPM และ PM สามารถช่วยลดอัตราการหยุดเครื่องจักร (Machine Downtime) และเพิ่มประสิทธิผลโดยรวม (Overall Equipment Effectiveness: OEE) ได้อย่างมีนัยสำคัญ [6]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา วรวุฒิ ทองใส และคณะ [7] ศึกษาการลดปัญหาเครื่องจักรหยุดทำงานในสายการผลิตชุดสายไฟรถยนต์ หลังการปรับปรุง ค่า Downtime ลดลง, ค่า MTBF เพิ่มขึ้น 58%, และค่า MTTR เพิ่มขึ้น 38% นอกจากนี้ มูลค่าการสูญเสียโอกาสในการผลิตเพิ่มขึ้น 81.7% เกษม รุ่งเรือง [8] การศึกษาการวางแผน

บำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรในอุตสาหกรรมรีเลย์ หลังดำเนินการ ค่า MTBF เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเป็น 215.42 เปอร์เซ็นต์จากเดิม ค่า MTTR ลดลงโดยเฉลี่ยเป็น 73.91 เปอร์เซ็นต์จากเดิม ค่าความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเป็น 18.67 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการชำรุดลดลง 35.89 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการวางแผนปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องขัดยางรถยนต์ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตยางรถยนต์ การศึกษานี้จะใช้แนวทาง Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) ในการระบุสาเหตุของปัญหาพร้อมวิเคราะห์ค่าตัวชี้วัดทางประสิทธิภาพ เช่น ค่า Mean Time Between Failures (MTBF) และ Mean Time To Repair (MTTR) เพื่อประเมินผลลัพธ์ของการปรับปรุงระบบบำรุงรักษา [9] คาดว่าผลลัพธ์จากการศึกษานี้จะช่วยเพิ่มความพร้อมของเครื่องจักร ลดต้นทุนจากการซ่อมบำรุง และช่วยให้กระบวนการผลิตดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ [10][11][12]

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 สภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

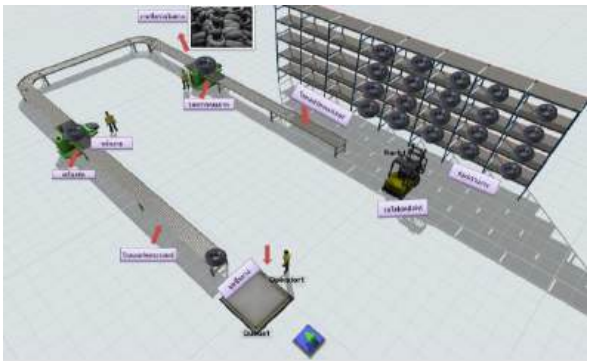
โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตยางเรเดียลสำหรับยานยนต์ เพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยกระบวนการที่ผู้ศึกษาได้เลือกทำการวิจัย คือ กระบวนการจัดการยางยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องขัดผิวยาง

2.2 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานของเครื่องขัดยางรถยนต์

เครื่องขัดผิวยางยานยนต์เป็นเครื่องจักรสำคัญในกระบวนการผลิตยางเพื่อปรับสภาพผิวให้เรียบเนียนและเป็นไปตามมาตรฐาน ขั้นตอนการปฏิบัติงานของเครื่องขัดผิวยางยานยนต์มีดังนี้ 1.การเตรียมวัสดุและการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อป้องกันข้อบกพร่องที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 2.การปฏิบัติงานของชุดล็อกขอบล้อ ใช้กระบอกลม ในการยึดล้อยางให้แน่นทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อให้เกิดความมั่นคงในระหว่างกระบวนการขัด 3.การขัดผิวยาง ใช้เครื่องมือหมุนความเร็วสูงในการขัดผิวยางให้ได้ขนาดและคุณสมบัติตามที่กำหนด 4.การทำความสะอาด ใช้เครื่องเป่าลมในการกำจัดเศษฝุ่นที่เกาะติดกับยางภายหลังจากการขัด 5.การปลดล้อยางออกจากเครื่องจักร ภายหลังจากการขัดเสร็จสิ้น ชุดล็อกขอบล้อจะถูกยกขึ้นเพื่อปลดล้อยางออกจากเครื่องจักร

2.3 ศึกษากระบวนการทำงาน

เมื่อกระบวนการผลิตยางเรเดียลเสร็จสิ้น ยางเรเดียลจะถูกลำเลียงผ่านสายพานไปยังเครื่องขัดผิวยาง และส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไป ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพยาง โดยบุคลากรจำนวน 1 คน ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพยาง หากยางไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด บุคลากรจะดำเนินการแยกยางออกจากสายพานลำเลียงเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข ในส่วนของยางที่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน จะถูกลำเลียงไปยังพื้นที่จัดเก็บ โดยใช้รถยก ในการเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณจัดเก็บ แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการทำงาน

2.4 ศึกษาปัญหาภายในโรงงานกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน โดยจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นแสดงไว้ในตารางที่ 1

สาเหตุหลักของของเสียมาจากรอยตำหนิที่ปรากฏบนโลโก้ เช่น สีไม่เต็มตัวอักษร ความคมชัดไม่เพียงพอ หรือการยุบตัวของวัสดุ ซึ่งสามารถดูตัวอย่างของเสียที่เกิดขึ้นได้ในรูปที่ 2 โดยที่ A แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด B เป็นตัวอย่างของรอยตำหนิที่พบในกระบวนการขัด

เนื่องจากกระบวนการขัดยางใช้เครื่องจักรเป็นหลักในการผลิต ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาสาเหตุของการเกิดรอยตำหนิ

ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร จากการวิเคราะห์พบว่ามีสาเหตุหลัก 5 ประการ โดยจำนวนครั้งที่เกิดปัญหาในแต่ละเดือน รวมถึงระยะเวลาในการซ่อมบำรุง แสดงไว้ในตารางที่ 2 และรูปที่ 3

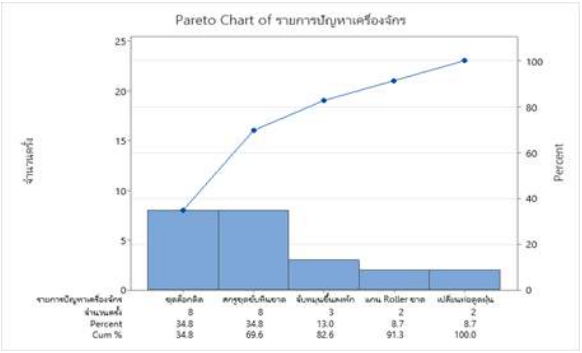
ตารางที่ 1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเดือนมกราคมถึงเมษายน

เดือน	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
จำนวนของเสีย (เส้น)	54	64	54	58

รูปที่ 2 ตัวอย่างรอยตำหนิที่เกิดขึ้นใน

ตารางที่ 2 แสดงสาเหตุของปัญหารอยตำหนิ

ลำดับ	สาเหตุของปัญหา	ครั้งต่อเดือน	เวลาในการซ่อม (ชั่วโมง)
1	ชุดล็อก	8	10
2	สกรูชุดขับหินขาด	8	9
3	จับหมุนขึ้นลงหัก	3	6
4	เปลี่ยนท่อดูดฝุ่น	2	4
5	แกน Roller ขาด	2	3



รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

สาเหตุหลักที่พบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประการสำคัญ ได้แก่ 1.ชุดล็อก ส่งผลโดยตรงต่อความเสียหายของตัวยาง เกิดจากชุดล็อกของแบริ่งและปืนที่หลุดออกจากรางวิ่ง ทำให้ไม่สามารถหมุนหรือล็อกได้อย่างถูกต้อง โรงงานกำหนดมาตรฐานให้เครื่องขัดสามารถหมุนได้ในระนาบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±0.5 มิลลิเมตร ความเสียหายนี้มักเกิดจากการใช้งานหนักเกินขีดจำกัด หรือการทำงานภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น การรับน้ำหนักเกินพิกัดที่ออกแบบไว้ 2.สกรูชุดขับหินขาด แม้ปัญหานี้จะไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของยาง แต่ทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก ส่งผลให้ต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนและซ่อมแซมอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ภาพชุดล็อกที่เกิดความสียหาย

ผู้วิจัยเลือกวิเคราะห์ ชุดล็อก เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มอัตราการสูญเสียในกระบวนการผลิต

2.4 การวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล

ผู้วิจัยได้นำแนวคิด ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram หรือ Fishbone Diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อระบุและจัดกลุ่มสาเหตุที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหาในกระบวนการทำงานของเครื่องขัดยาง โดยแบ่งปัจจัยออกเป็น 4M1E

2.5 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis

ผู้วิจัยได้นำแนวคิด Why-Why Analysis มาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของเครื่องขัดยาง โดยใช้การตั้งคำถาม "ทำไม" ซ้ำ ๆ เพื่อค้นหาสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น

2.6 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและความล้มเหลวในกระบวนการทำงานของเครื่องขัดยาง

ผู้วิจัยได้นำแนวคิด Failure Modes and Effects

Analysis (FMEA) มาวิเคราะห์กระบวนการทำงานของเครื่องขัดยาง โดยร่วมมือกับผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง, หัวหน้างาน, และพนักงานซ่อมบำรุง ผ่านการระดมสมองเพื่อระบุข้อบกพร่องและหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต ทั้งนี้

การวิเคราะห์ได้พิจารณาถึงความรุนแรง (S), โอกาสเกิด (O), และความสามารถในการตรวจจับ (D) เพื่อคำนวณดัชนีความเสี่ยง (RPN = S × O × D) ซึ่งช่วยในการระบุจุดที่ต้องปรับปรุงและลดความเสี่ยงในการทำงานของเครื่องขัดยาง ผลการวิเคราะห์จะถูกแสดงในรูปแบบผังเหตุและผล เพื่อช่วยกำหนดแนวทางในการป้องกันข้อบกพร่องและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.7 การวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าค่าซ่อมบำรุงเฉลี่ยระหว่างเกิดปัญหา และค่าระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว

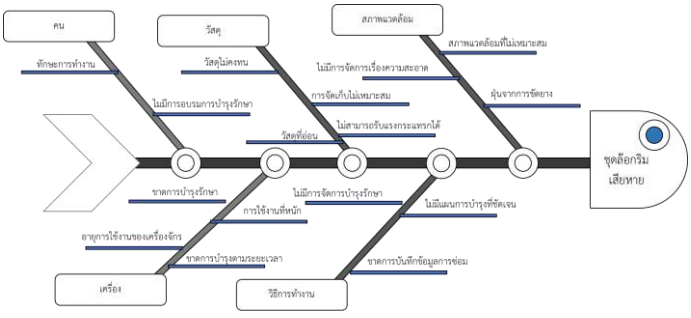
ผู้วิจัยได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนมาวิเคราะห์ค่า MTTR และMTBF เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักร ค่าMTTR ใช้วัดระยะเวลาซ่อมแซมหลังเกิดปัญหา ส่วนค่าMTBFบ่งชี้ระยะเวลาที่เครื่องจักรทำงานได้ก่อนเสียหายอีกครั้ง การวิเคราะห์นี้ช่วยระบุแนวโน้มปัญหาและปรับปรุงกระบวนการซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดเวลาหยุดชะงัก และเพิ่มความเสถียรของระบบการผลิต

3. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการของเครื่องขัดยาง

3.1 ผลการวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล

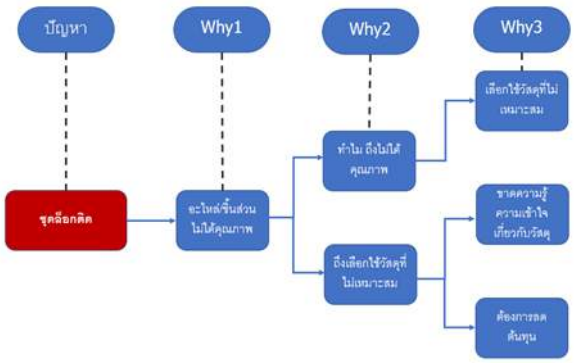
จากการวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล โดยแบ่งปัจจัยออกเป็น 4M1E สาเหตุของชุดล็อกริมเสียหาย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผังแสดงเหตุและผลทำการวิเคราะห์[..]

3.2 ผลการวิเคราะห์ Why-Why Analysis

จากการวิเคราะห์ Why-Why Analysis จะเห็นได้ว่าปัญหาอะไหล่ชิ้นส่วนไม่ได้คุณภาพไม่ได้เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลมาจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การแก้ไขปัญหาจึงต้องพิจารณาในทุกมิติเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขอย่างเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Why-Why Analysis ทำการวิเคราะห์[..]

3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และความล้มเหลวในกระบวนการทำงานของเครื่องขัดยาง

จากตารางที่ 3 พบว่า คะแนน RPN ของ ปัญหาชุดล็อกติดขัด และวัสดุไม่คงทน มีค่าสูงสุดที่ 84 โดยมีรายละเอียดของตัวแปรดังนี้ 1. S (Severity ความรุนแรงของผลกระทบ) = 7 เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องจักรไม่ได้ตามข้อกำหนด ส่งผลให้ไม่สามารถส่งมอบผลผลิตได้ตามเวลาที่กำหนด 2. O (Occurrence โอกาสเกิด) = 4 พบความเสียหายจากการตรวจสอบประจำวัน 5 ครั้ง เช่น การติดขัดที่ทำให้ชุดล็อกไม่สามารถเข้า-ออกได้ 3. D (Detection - ความสามารถในการตรวจจับ) = 3 สะท้อนถึงความผิดปกติของชุดล็อกที่ส่งผลต่อระบบเครื่องจักร

3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าค่าซ่อมบำรุงเฉลี่ยระหว่างเกิดปัญหา และค่าระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว

จากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนวันทำงาน เวลาในการทำงาน จำนวนครั้งที่เกิดความเสียหาย และระยะเวลาในการซ่อมบำรุง (ชั่วโมง) ข้อมูลดังกล่าวถูกสรุปไว้ใน ตารางที่ 4 ส่วน ตารางที่ 5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับจำนวนครั้งที่เกิดปัญหาชุดล็อกติดขัดและระยะเวลาในการซ่อมแซม

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ในกระบวนการของเครื่องขัดยาง

4M1E	ความล้มเหลว	S	O	D	R.P.N
Man	เลือกใช้อุปกรณ์ไม่เหมาะสม	6	4	3	72
Method	ไม่มีแนวทางปรับปรุง	6	4	3	72
Machine	ชุดล็อกติดขัด	7	4	3	84
Material	วัสดุไม่คงทน	7	4	3	84
Environment	ฝุ่นเข้าไปติดขัดชุดล็อก	6	4	3	72

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนวันและเวลาในการทำงาน

เดือนที่เกิดความเสียหาย	จำนวนวันที่ทำงาน	เวลาทั้งหมดในการทำงาน
มกราคม	580	29
กุมภาพันธ์	560	28
มีนาคม	620	31
เมษายน	600	25
รวม	2360	113

ตารางที่ 5 ข้อมูลจำนวนครั้งในการเกิดปัญหาชุดล็อกติดขัด

เดือน	จำนวนครั้ง	เวลาซ่อม (นาที)	เวลาเครื่องจักรทำงาน (นาที)	ค่าความพร้อมใช้งาน (%)
มกราคม	2	240	1200	80
กุมภาพันธ์	2	240	1200	80
มีนาคม	2	240	1200	80
เมษายน	2	240	1200	80

นอกจากนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละเดือนเพื่อคำนวณค่า MTTR และค่า MTBF ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 6 เพื่อใช้ในการประเมินและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องขัดยาง

ตารางที่ 6 ค่าMTTR และค่าMTBF

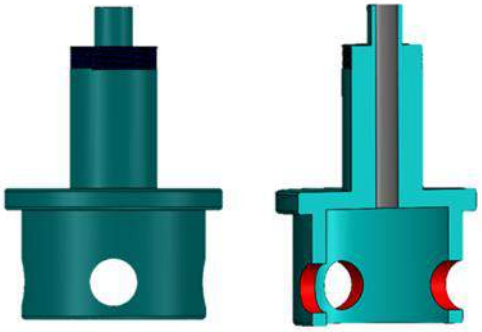
เดือนที่เกิดความเสียหาย	MTTR (ชั่วโมง)	MTBF (ชั่วโมง)
มกราคม	4.5	290
กุมภาพันธ์	3	280
มีนาคม	2.5	310
เมษายน	2	300
รวม	12	1180

3.5 แก้ไขปัญหาชุดล็อกติดขัดในเครื่องขัดยาง

จากการวิเคราะห์ที่ทำมาทั้งหมด ปัญหาชุดล็อกติดขัดเกิดจากชุดทองเหลืองไม่สามารถรองรับแรงจากอุปกรณ์ที่ทำงานหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดความเสียหายบ่อยครั้ง แสดงดังรูปที่ 7

เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้ 1.ตรวจสอบสภาพเครื่องขัดยางและชุดล็อก โดยพิจารณาการสึกหรอการเปลี่ยนรูป หรือการแตกหักของวัสดุที่เกิดจากการใช้งานหนัก 2.เปลี่ยนวัสดุที่มีความแข็งแรงและทนทานกว่า จากเดิมทองเหลือง เปลี่ยนเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง (S45C) เพื่อลดการสึกหรอและเพิ่มอายุการใช้งานของชุดล็อก 3. ปรับปรุงการออกแบบชุดล็อก ให้รองรับแรงจากอุปกรณ์ได้ดีขึ้น ลดความเสี่ยงต่อการติดขัด แสดงดังรูปที่ 8 และ4. ตรวจสอบความแม่นยำในการประกอบก่อนติดตั้ง เพื่อป้องกันปัญหาการติดขัดหรือสะดุด

รูปที่ 7 ชิ้นงานก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 8 ชิ้นงานหลังการออกแบบปรับปรุง

3.5 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

จากการดำเนินการปรับปรุง พบว่าอัตราความเสียหายของเครื่องจักรลดลง ส่งผลให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด การวิเคราะห์ปัญหาดำเนินการผ่านการเก็บข้อมูลทางสถิติ พร้อมทั้งหาแนวทางแก้ไขเพื่อลดความเสียหายในกระบวนการขัดยางสำหรับการผลิตยางรถยนต์

ผลการวิเคราะห์ระบุว่า ก่อนการปรับปรุง ค่า MTTR อยู่ที่ 81.97% และ ค่า MTBF อยู่ที่ 67% อย่างไรก็ตาม หลังการปรับปรุง ค่า MTTR ลดลงเป็น 0% ขณะที่ ค่า MTBF เพิ่มขึ้นเป็น 97.91% แสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของเครื่องจักร ลดโอกาสการเกิดความล้มเหลวในกระบวนการผลิต และช่วยเพิ่มความพร้อมในการใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลเปอร์เซ็นMTTR และMTBF

เดือน	MTTR (%)	MTBF (%)
พ.ค.-ส.ค	0	97.91

4. อภิปรายผล

จากผลการศึกษานี้พบว่า การปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องขัดยางรถยนต์โดยใช้แนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ สามารถช่วยลดเวลาหยุดเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่า MTBF เพิ่มขึ้นเป็น 97.91% และ MTTR ลดลงเหลือ 0% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ภาณุเดช แสงสีดำ และคณะ [13] เกี่ยวกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ที่พบว่าการนำแนวทาง PM มาใช้สามารถเพิ่มค่า MTBF ได้ถึง 26.05% และเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรกล (OEE) ได้ 32.42% มุ่งเน้นการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและการตรวจสอบสภาพเครื่องจักร เพื่อให้การบำรุงรักษาเป็นระบบระเบียบมากขึ้น เช่นเดียวกับ สุพัฒน์ วงศ์ จิรัฐิติกาล และคณะ [14] ศึกษาการปรับปรุงระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันในโรงงานผลิตเพลารถยนต์ โดยใช้เทคนิค FMEA วิเคราะห์สาเหตุของความขัดข้อง และใช้ข้อมูลคำนวณค่า MTBF และ MTTR เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวชี้วัด พบว่า หลังการปรับปรุงระบบ ค่า MTBF เพิ่มขึ้นเป็น 87±22 ชั่วโมงต่อครั้ง และ MTTR ลดลงเป็น 70.38±33 นาทีต่อครั้ง ส่งผลให้ความถี่และระยะเวลาการหยุดของเครื่องจักรลดลง

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้สามารถต่อยอดไปสู่การนำดัชนี OEE มาใช้เพิ่มเติม เพื่อประเมินผลกระทบของการปรับปรุงในแง่ของ อัตราการเดินเครื่อง (AR), ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (PE) และอัตราคุณภาพ (QR) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ช่วยให้การบำรุงรักษามีความเป็นระบบและวัดผลได้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ อาจพิจารณาใช้ ระบบเซ็นเซอร์ IoT และ Machine Learning เพื่อช่วยตรวจสอบและวิเคราะห์แนวโน้มของความเสียหายในอนาคต ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวางแผนบำรุงรักษาได้ดียิ่งขึ้น

5. สรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการทำงานของเครื่องขัดยางรถยนต์ โดยพบปัญหาสำคัญที่ ชุดล็อกริมเสียหาย เนื่องจากการทำงานหนักและวัสดุที่ไม่ทนทาน ส่งผลให้เกิดของเสียและเพิ่มเวลาหยุดเครื่องจักร จากการวิเคราะห์ด้วย Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) และ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุหลักเกิดจาก ชุดทองเหลืองไม่สามารถรองรับแรงกดและการเสียดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการ ปรับเปลี่ยนวัสดุของชุดล็อกริมจากทองเหลืองเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง (S45C) ซึ่งมีความแข็งแรงและทนทานต่อการสึกหรอมากขึ้น พร้อมทั้ง ออกแบบชุดล็อกใหม่ ให้สามารถรองรับ

แรงจากอุปกรณ์ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังได้นำแนวทาง การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance - PM) มาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ผลการปรับปรุงพบว่า สามารถลดเวลาหยุดเครื่องจักรลงจากค่าเฉลี่ยเดิมที่ 81.97% จนไม่กลับมาเกิดอีก เมื่อเทียบกับแนวทาง การบำรุงรักษาเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance - BM) แบบเดิม นอกจากนี้ ยังช่วย ลดเวลาในการซ่อมบำรุง เนื่องจากสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง ทำให้เครื่องขัดยางสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพิ่มค่า MTBF เป็น 97.91% และลด ค่า MTTR เป็น 0% แสดงให้เห็นว่าการบำรุงรักษาเชิงรุกช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรและลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงเพิ่มยอดการผลิตที่ 1200 เส้นต่อวันคิดเป็น 95% ของยอดการผลิตทำให้บริษัทได้กำไรเพิ่มขึ้นได้ 2,400,000 บาทต่อเดือนหรือ 28,800,000 บาทต่อปี

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก และบโรงงานกรณีศึกษา ที่สนับสนุนการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] World's Top Exports ข้อมูลจากhttps://www.worldstopexports.com/thailands-top-10-exports/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2559)

[2] รายงานสภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้พาราของไทย, โครงการพัฒนาระบบฐานข้อมลูเชิงลึกอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้พารา, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ร่วมกับสถาบันพลาสติก, 2566

[3] Muhammad Zubair, Shahid Maqsood2, Tufail Habib, Qazi Muhammad Usman Jan, Uroosa Nadir, Muhammad Waseem and Qazi Muhammad Yaseen, “Manufacturing productivity analysis by applying overall equipment effectiveness metric in a pharmaceutical industry”, Cogent Engineering (2021), 8: 1953681

[4] ประดิษฐ์ หมู่เมืองทอง และสุชญาณ หรรษสุข “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน”, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเดชั่น, กรุงเทพฯ, 2556, หน้า 13–34.

[5] อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาลม, “งานบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม”, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเดชั่น, กรุงเทพฯ, 2561, หน้า 47-52.

[6] ศิริพร วันฟั่น, “การบำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน” ข้อมูลจากก http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=16288 (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2559)

[7] วรวุฒิ ทองใส ศักดิ์ชาย รักการพจนีย์ ศรีวิเชียร, “การบำรุงรักษาเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตชุดสายไฟในรถยนต์” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน), หน้า 66-80

[8] เกษม รุ่งเรือง, “การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรในอุตสาหกรรมรีเลย์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2552

[9] ประโยชน์ ยลวิลาศ และศุภรัชชัย วรรัตน์, “การนำระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้เพื่อลดอัตราการเสียของอุปกรณ์เชื่อมต่อในสายการผลิตกล้องถ่ายรูปดิจิตอล” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, ประจำปี 2555

[10] วสันต์ จันทร์นวล และศุภรัชชัย วรวรัตน์ “การลดอัตราชำรุดเครื่องจักร กรณีศึกษางานซ่อมบำรุงในสายการผลิตเครื่องประดับ และอัญมณี” สารนิพนธ์สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2560, หน้า 1476-1491

[11] ปิยฉัตร จันทิวา. วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ และสุพิชชา ชีวพฤกษ์, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตจากการวิเคราะห์การซ่อมบำรุงฉุกเฉินเมื่อเครื่องจักร

ขัดข้อง” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2558, 25(3), หน้า 485-492.

[12] ธีรวัช บุณยโสภณ สักรินทร์ อยู่ผ่อง และปรีดา อัตวินิจตระการ, “การการพัฒนารูปแบบการบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาในอุตสาหกรรมการผลิตขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษาโรงงานเครื่องปรับอากาศ”. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนคร, 2557, หน้า 647-666

[13] ภาณุเดช แสงสีดำ, ทสร สท้านโยธิน, สุกฤษฎิ์ สุร่องช้าง, ปริญญา ศรีสัตยกุล, สุธรรม ศิวาวุธ และดลธรรม เอฬกานนท์, “การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกันอุตสาหกรรมแม่พิมพ์” การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9, 2567, หน้า 234 - 240

[14] สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐิติกาล และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, “การปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงงานผลิตเพลารถยนต์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 23 ฉบับที่ 3, 2556, หน้าที่ 643-653

การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด สำหรับแป้นเกลียวเชื่อม M12x1.25 มิลลิเมตร

Defect Reduction in Spot Welding Process for M12x1.25 mm. Weld Nuts

ศุภัทร ศิลาลอย[1] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[1] ศิริชัย สมแสน[1] และ สุภัทรา หมู่ป่ารัง[1]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Supat Silaloy[1] Chirawat na-Badalung[1] Sirichai Somsaen[1] and Supatthra Muparang[1*]
[1] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Inovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: supat_si@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้าเกี่ยวกับปัญหาแป้นเกลียวเชื่อม M12x1.25 มิลลิเมตรหลุด ในผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะรถยนต์ กระบวนการวิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด โดยพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อปัญหาแป้นเกลียวหลุด ได้แก่ 1) ปริมาณกระแสไฟฟ้า 2) เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน (เวลาเชื่อม) และ 3) แรงกดของหัวทิป ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าค่าพารามิเตอร์ก่อนการปรับปรุง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า 8.5 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 7 ไซเคิล และแรงกดหัวทิป 2,000 นิวตัน ซึ่งให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยของรอยเชื่อมอยู่ที่ 5,630 นิวตัน หลังจากการปรับปรุงพารามิเตอร์ กระแสไฟฟ้าเพิ่มเป็น 15 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 11 ไซเคิล และแรงกดหัวทิป 4,000 นิวตัน ทำให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 20,700 นิวตัน หรือเพิ่มขึ้น 267% การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทแป้นเกลียวหลุดจากเดิม 16 ชิ้น (0.142%) เหลือ 0 ชิ้น ส่งผลให้ไม่มีข้อบกพร่องในประเภทดังกล่าวอีกต่อไป งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก พารามิเตอร์ที่เหมาะสม, กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด, การออกแบบการทดลอง

Abstract

This research aims to reduce defective products related to customer complaints about the detachment of M12x1.25 mm weld nuts in the production of pickup truck support beams. The study applies engineering experimental design techniques to identify the optimal parameters for the spot welding process. The significant parameters influencing weld nut detachment are: (1) welding current, (2) welding time, and (3) electrode force. Initial experiments revealed that, prior to optimization, the parameter values were 8.5 kA for welding current, 7 cycles for welding time, and 2,000 N for electrode

force, resulting in an average tensile strength of 5,630 N for the welds between the nuts and the workpieces. After optimization, the parameters were adjusted to 15 kA for welding current, 11 cycles for welding time, and 4,000 N for electrode force, which increased the average tensile strength to 20,700 N, representing a 267% improvement. The implementation of the optimized parameters reduced the defect rate of detached weld nuts from 16 units (0.142%) to 0 units, effectively eliminating this type of defect. This study provides a practical approach to improving production processes and enhancing customer satisfaction effectively.

Keywords: Optimal parameter, Resistance Spot Welding, Design of Experiment

การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนเปลี่ยนเส้นทางการเดินแนวแกนของเครื่องมือตัด เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Analysis of the capability of axial path change of cutting tools to reduce waste in automotive parts manufacturing process

ณัฐวุฒิ สมนึก[1] วรระวุฒิ อยู่วารี[2] กนกวรรณ เกริกสูงเนิน[3] วรรณนิศา นุชคุ้ม[3]
จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[3*] และ พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก[4]
[1] สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2] บริษัท โกลบอล-ไทยซอน พรีซิชั่น อินดัสทรี จำกัด จังหวัด ฉะเชิงเทรา
[3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[4] วิทยาลัยนวัตกรรมวิชาชีพ คณะวิศกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
E-mail : Jittiwat.ni@rmuti.ac.th
Nattawut Somnuk[1] Worawut Yuwaree[2] Kanokwan Kroeksungnoen[3] Wannisa Nutkhum[3]
Jittiwat Nithikarnjanatharn[3*] and Phongsak Runkratok[4]
[1] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[2] Global-Thaison Precision Industry Co., Ltd., Chachoengsao Province
[3] Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering and Technology,Rajamangala
University of Technology Isan
[4]College of Vocational Innovation, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: Jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากเกิดการพอกติดของเศษวัสดุ ส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนไม่ได้มาตรฐานที่กำหนดและเกิดการสูญเสียเม็ดมีดก่อนครบอายุการใช้งาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในสายการผลิต ณ สถานีงาน A โดยการแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ่านการปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินแนวแกนของเครื่องมือตัด พบว่าการเปลี่ยนเส้นทางการเดินแนวแกนของเครื่องมือตัดเพื่อสร้างเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกในแนวแกน Z+ ไป Z- สามารถลดอัตราของเสียจากร้อยละ 3.52 เหลือร้อยละ 1.09 ต่อปริมาณการผลิตทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 69.03 การปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่าดัชนีความสามารถกระบวนการ (Cpk) เพิ่มขึ้นจาก 0.92 เป็น 1.64 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานกำหนดที่ 1.33

คำสำคัญ : การลดของเสีย ความสามารถกระบวนการ การควบคุมคุณภาพ

Abstract

This research focuses on reducing defects in the automotive parts manufacturing process caused by the accumulation of scrap materials, which result in non-standard workpiece dimensions and premature insert failure. The objective is to investigate and enhance the manufacturing process at Station A by addressing defects through adjustments to the axial path of the cutting tool. The study found that modifying the axial path to machine the outer diameter along the Z+ to Z- axis reduced the defect rate from 3.52 percent to 1.09 percent of total production volume, a reduction of 69.63 percent. This improvement increased the process capability index (Cpk) from 0.92 to 1.64, exceeding the standard threshold of 1.33.

Keywords : Waste reduction, process capability, quality control

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ ลายชุมเห็ดชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

Cost Analysis and Returns from the Production of Mudmee Silk Chum Het Chu Chor Pattern, Ban Nong Trat Noi, Chum Het Subdistrict, Mueang, Buriram Province

วัฒนโชค เฉิดฉาย[1]
[1] สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5

Watanachoke Cherdchai[1]
[1] Department of Accounting, Buriram Technical College,
Institute of Vocational Education Norteastern Region 5
E-mail: choke5253@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 2) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ และ 3) ศึกษาผลตอบแทนจากการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ โดยใช้วิธีเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มผู้ทอผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การฟอกเส้นไหม 2) การย้อมสีพื้นไหม 3) การวางลายมัดหมี่ 4) การย้อมลายมัดหมี่ 5) การแกะลาย 6) การสาวไหมเตรียมทอ และ 7) การทอผ้าไหม การวิเคราะห์ต้นทุนพบว่าต้นทุนรวมเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 88,769.35 บาท โดยแบ่งเป็นค่าวัตถุดิบ 60,540 บาท, ค่าแรงงาน 24,400 บาท, ค่าใช้จ่ายในการผลิตผันแปร 3,740 บาท และค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่ 489.35 บาท ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผู้ผลิตมีรายได้เฉลี่ย 105,000 บาทต่อเดือน ทำให้มีกำไรสุทธิเฉลี่ย 16,230.65 บาท คิดเป็นอัตราผลตอบแทนร้อยละ 15.46 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมผ้าไหมในท้องถิ่น

คำหลัก ผ้าไหมมัดหมี่, ต้นทุนการผลิต, ผลตอบแทน

Abstract

This study aimed to: (1) investigate the production process of *Mudmee* silk featuring the “Chum Hed Choo Chor” pattern in Ban Nong Trad Noi, Chum Hed Sub-district, Mueang District, Buriram Province; (2) analyze the production costs associated with this specific silk; and (3) examine the returns generated from its production. Data were collected through in-depth interviews with local *Mudmee* silk weavers in the study area.

The findings revealed that the production process comprises seven primary stages: (1) silk degumming, (2) base color dyeing, (3) pattern design and tying, (4) pattern dyeing, (5) pattern untying, (6) silk reeling for weaving preparation, and (7) fabric weaving. The cost analysis indicated that the average monthly total production cost was 88,769.35 THB, consisting of 60,540 THB for raw materials, 24,400 THB for labor, 3,740 THB for variable costs, and 489.35 THB for fixed costs. The average monthly income was found to be 105,000 THB, resulting in an average net profit of 16,230.65 THB and a return on investment of 15.46 percent. These results underscore the economic potential of the local silk weaving industry and its viability as a community-based enterprise.

Keywords: Mudmee silk, Production cost, Return on investment

1. บทนำ

ผ้าไหมเป็นหนึ่งในสินค้าหัตถกรรมที่มีความสำคัญทั้งในระดับชาติและระดับท้องถิ่นของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตผ้าไหมที่มีชื่อเสียงและเอกลักษณ์เฉพาะตัว ผ้าไหมมัดหมี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางวัฒนธรรมและเศรษฐกิจ ในหลายพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์ ผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อถือเป็นหนึ่งในงานหัตถกรรมที่สร้างรายได้ให้กับชุมชน และเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดมรดกทางวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นไปยังรุ่นต่อไป (Johnson et al., 2020; Miller, 2021)

การผลิตผ้าไหมมัดหมี่ในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์มีบทบาทสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น แต่ในขณะเดียวกันการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ก็ประสบปัญหาหลายด้าน โดยเฉพาะปัญหาเรื่องต้นทุนการผลิตที่ไม่แน่นอน ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาการผลิตและการขยายตลาดในระดับที่กว้างขึ้น (Brown & Green, 2021) ในการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อนั้นมีการใช้กระบวนการที่ซับซ้อนและมีขั้นตอนหลายขั้นตอนตั้งแต่การฟอกเส้นไหม การย้อมสี การวางลายมัดหมี่ จนถึงการทอผ้า ซึ่งต้นทุนในการผลิตในแต่ละขั้นตอนเหล่านี้ยังขาดความชัดเจนและการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ (Miller, 2020)

การขาดข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถคำนวณต้นทุนการผลิตได้อย่างแม่นยำ จึงทำให้การบริหารจัดการต้นทุนในกระบวนการผลิตขาดประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดราคาและการวางแผนทางการตลาด อีกทั้งยังส่งผลให้ผู้ผลิตขาดโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลกำไรหรือปรับตัวให้ทันกับการแข่งขันในตลาด (Johnson et al., 2018)

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ และศึกษาผลตอบแทนจากการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ โดยคาดหวังว่าจะได้ข้อมูลที่สามารถช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต การบริหารต้นทุนที่มีประสิทธิภาพ และการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มผู้ผลิตในท้องถิ่น รวมทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนท้องถิ่นให้ยั่งยืนในระยะยาว (Smith, 2020)

การศึกษานี้ยังมีความสำคัญในเชิงวิชาการ เนื่องจากจะช่วยเสริมสร้างองค์ความรู้ในด้านการบริหารต้นทุนการผลิตและการประเมินผลตอบแทนในอุตสาหกรรมหัตถกรรมท้องถิ่น ซึ่งยังขาดการศึกษาในมุมมองที่เป็นรูปธรรมและใช้ได้จริงในภาคการผลิต การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นเครื่องมือในการพัฒนากระบวนการผลิตและการจัดการต้นทุนในอนาคต นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งในด้านเศรษฐกิจและวัฒนธรรมของชุมชนท้องถิ่น (Brown & Green, 2021)

2. รูปแบบ

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ด ชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
2. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
3. เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

2.2 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต และศึกษาผลตอบแทนจากการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ โดยการเก็บข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มผู้ทอผ้าไหมในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเลือกกลุ่มผู้ทอผ้าไหมที่มีประสบการณ์ในการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกดังนี้:

1. ผู้ทอผ้าที่มีประสบการณ์ในการทอผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อไม่น้อยกว่า 3 ปี
2. ผู้ทอผ้าที่มีการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ในระดับการค้าขายหรือผลิตเพื่อจำหน่าย
3. ผู้ทอผ้าที่ยินยอมร่วมให้ข้อมูลและมีความสามารถในการให้ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้อง

การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลที่ลึกและมีคุณภาพเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ และทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลใช้ **การสัมภาษณ์เชิงลึก** (In-depth Interviews) กับกลุ่มผู้ทอผ้าไหมมัดหมี่ โดยใช้แบบสัมภาษณ์ที่มีคำถามเปิด (Open-ended Questions) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและหลากหลายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต การบริหารต้นทุน และการคำนวณผลตอบแทนจากการผลิตผ้าไหมมัดหมี่

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์จะถูกวิเคราะห์โดยใช้ **สถิติเชิงพรรณนา** (Descriptive Statistics) เช่น อัตราส่วนทางการเงิน

ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ จะมีการใช้ **สูตร ROI (Return on Investment)** เพื่อคำนวณอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน ซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร:

$$\text{ROI} = \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100$$

นอกจากนี้ยังมีการคำนวณ **ROA (Return on Assets)** เพื่อตรวจสอบผลตอบแทนจากการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต โดยคำนวณจากสูตร:

$$\text{ROA} = \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{สินทรัพย์รวม}} \times 100$$

และอัตรากำไรสุทธิ จากสูตร

$$\text{Net Profit Margin} = \frac{\text{กำไรจากการดำเนิน}}{\text{ขายสุธิ}} \times 100$$

3. ผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่ากระบวนการผลิตประกอบด้วยหลายขั้นตอนสำคัญ ดังนี้:

3.1 การฟอกเส้นไหม

เป็นขั้นตอนแรกในการเตรียมเส้นไหม โดยการใช้สารฟอกที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติเพื่อให้เส้นไหมมีความสะอาดและพร้อมสำหรับการย้อมสี

3.2 การย้อมสี

การเลือกสีที่ใช้ในการย้อมมีความสำคัญ เนื่องจากสีที่ใช้มีผลต่อการประเมินราคาผลิตภัณฑ์

3.3 การมัดลาย

ขั้นตอนนี้เป็นหัวใจของการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ ซึ่งการมัดลายต้องใช้ทักษะและเวลาในการทำให้ลายมีความสวยงามและชัดเจน

3.4 การทอผ้า

ขั้นตอนสุดท้ายในการสร้างผ้าไหมมัดหมี่ โดยการใช้เครื่องทอมือในการทอผ้าไหมให้เป็นผืนตามขนาดที่ต้องการ ในด้าน **การวิเคราะห์ต้นทุน** พบว่าต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อคือ **88,769.35 บาท** ซึ่งแบ่งเป็น:

- **ค่าวัตถุดิบ**: 60,540 บาท (68.2% ของต้นทุนทั้งหมด)
- **ค่าแรงงาน**: 24,400 บาท (27.5% ของต้นทุนทั้งหมด)
- **ค่าใช้จ่ายในการผลิตผันแปร**: 3,740 บาท (4.2% ของต้นทุนทั้งหมด)
- **ค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่**: 489.35 บาท (0.55% ของต้นทุนทั้งหมด)

จากการศึกษาพบว่า **การมัดลาย** และ **การทอผ้า** เป็นสองขั้นตอนที่มีผลต่อ **ผลตอบแทน** มากที่สุด โดยขั้นตอนเหล่านี้ต้องการทักษะเฉพาะและใช้เวลานาน จึงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น แต่มีผลต่อความสวยงามและคุณภาพของผ้าไหมมัดหมี่ที่ขายได้ในราคาสูง

การวิเคราะห์ **ผลตอบแทนจากการผลิต** พบว่า **รายได้เฉลี่ยต่อเดือน** จากการขายผ้าไหมมัดหมี่อยู่ที่ **105,000 บาท** ซึ่งทำให้มีกำไรสุทธิเฉลี่ย **16,230.65 บาท** คิดเป็น **อัตราผลตอบแทน** (ROI) ประมาณ **15.46%** ซึ่งถือเป็นอัตราผลตอบแทนที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับกำไร พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างต้นทุนและกำไร โดยการเพิ่มต้นทุนในบางขั้นตอน เช่น การใช้วัตถุดิบคุณภาพสูงและการทอผ้าด้วยความชำนาญ ทำให้คุณภาพผ้าไหมมัดหมี่ดีขึ้นและสามารถขายได้ในราคาที่สูงขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เช่น การลดค่าแรงงานในกระบวนการมัดลายและการทอผ้า อาจช่วยเพิ่มผลตอบแทนได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 1 ต้นทุนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ

รายการ	**จำนวนเงิน (บาท)**
ปริมาณการผลิต (ผืน/เดือน)	30 ผืน
ต้นทุนการผลิต	
วัตถุดิบทางตรง	60,540.00
ค่าแรงงานทางตรง	24,000.00
ค่าใช้จ่ายในการผลิตผันแปร	3,740.00
ค่าใช้จ่ายในการผลิตคงที่	489.35
รวมต้นทุนการผลิต(บาท/เดือน)	**88,769.35**

ตารางที่ 2 ผลกำไรจากการขายผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ

รายการ	**จำนวนเงิน (บาท)**
เงินลงทุนเริ่มแรก	75,515
ปริมาณการขาย (ผืน)	30 ผืน
ราคาขายต่อผืน	3,500
รายได้จากการขาย	105,000
หัก ต้นทุนการขาย	88,769.35
กำไรสุทธิ (บาท/เดือน)	**16,230.65**

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนจากการขายผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อ

อัตราผลตอบแทนจากเงินลงทุน (ROI)	$= \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100$ $= \frac{16,230.65}{80,515.00} \times 100$ $= 20.16\ \%$

อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์รวม (ROA)	$= \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{สินทรัพย์รวม}} \times 100$ $= \frac{16,230.65}{75,515.00} \times 100$ = 21.49 %
อัตราส่วนกำไรสุทธิ	$\frac{\text{กำไรจากการดำเนินขายสุธิ}}{} \times 100$ $= \frac{16,230.65}{105,000.00} \times 100$ = 15.46 %

4. อภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อในพื้นที่บ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่ากระบวนการผลิตมีความซับซ้อนและต้องอาศัยทักษะเชิงช่างและภูมิปัญญาท้องถิ่นในแต่ละขั้นตอน โดยเฉพาะขั้นตอนการมัดลายและการทอผ้า ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาและความประณีตสูง และมีผลโดยตรงต่อคุณภาพและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ การฟอกเส้นไหมและการย้อมสียังแสดงให้เห็นถึงการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติและกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถสะท้อนอัตลักษณ์ของชุมชนและสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ในตลาดได้

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่า ต้นทุนหลักมาจากค่าวัตถุดิบ (ร้อยละ 68.2) และค่าแรงงาน (ร้อยละ 27.5) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของงานหัตถกรรมที่เน้นการใช้แรงงานฝีมือและวัตถุดิบเฉพาะทาง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแม้ต้นทุนจะอยู่ในระดับค่อนข้างสูง แต่ผู้ผลิตยังสามารถสร้างรายได้เฉลี่ยต่อเดือนได้ถึง 105,000 บาท ส่งผลให้มีกำไรสุทธิเฉลี่ย 16,230.65 บาท และมีอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) อยู่ที่ร้อยละ 15.46 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน นอกจากนี้ การศึกษายังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างต้นทุนกับกำไร กล่าวคือ การเพิ่มต้นทุนในบางขั้นตอน เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง หรือการจ้างแรงงานที่มีทักษะในการมัดลายและทอผ้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น และสามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น การพัฒนากระบวนการผลิตให้ลดต้นทุนในบางส่วน โดยเฉพาะค่าแรงงานในขั้นตอนที่ใช้เวลานาน อันจะช่วยเพิ่มผลตอบแทนโดยรวมให้กับผู้ผลิต

จากผลการวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าอุตสาหกรรมผ้าไหมมัดหมี่ในระดับชุมชนยังคงมีศักยภาพทางเศรษฐกิจ หากได้รับการสนับสนุนด้านเทคโนโลยีการผลิต การพัฒนาทักษะแรงงาน และช่องทางการตลาดอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยยกระดับรายได้และความมั่นคงทางเศรษฐกิจให้กับชุมชนในระยะยาว

5. สรุป

กระบวนการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ลายชุมเห็ดชูช่อมีความสำคัญในด้านการควบคุมต้นทุนและการเลือกใช้วัสดุในการผลิต ซึ่งต้องคำนึงถึงผลกระทบในด้านต่างๆ โดยเฉพาะผลตอบแทนจากการลงทุนในขั้นตอนที่มีความสำคัญสูง เช่น การมัดลายและการทอผ้า การศึกษาครั้งนี้ได้ช่วยให้เข้าใจถึงกระบวนการผลิตและการจัดการต้นทุนในเชิงกลยุทธ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตและเพิ่มผลตอบแทนในระยะยาวได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ขอขอบคุณกลุ่มผู้ประกอบการผลิตผ้าไหมบ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Brown, A., & Green, C. (2021). The impact of costmanagement on small-scale industries: A case study of local craft production in Thailand. *Journal of Community Economics*, *25*(3),45–58. https://doi.org/10.1234/jce.2021.02503

[2] Johnson, M., Smith, R., & Lee, S. (2020). Cultural preservation and economic development in rural Thailand: The case of silk weaving in the northeast. *Journal of Cultural Heritage and Development*,*14*(2),122–137. https://doi.org/10.5678/jchd.2020.01402

[3] Miller, P. (2021). The economics of traditional handicraft industries: Challenges and strategies for small producers. *Asian Economic Review*, *34*(4),74–91. https://doi.org/10.7890/aer.2021.03404

[4] Smith, J. (2020). Cost-benefit analysis of silk weaving in northeastern Thailand: A practical approach. *International Journal of Production and Manufacturing*,*31*(1),110–125. https://doi.org/10.4321/ijpm.2020.03101

[5] ทัศนียา นิลฤทธิ์, สิริอนงค์ แยบดี, & ธีรพัฒน์ อิ่มบุตร. (2565). การจัดการองค์ความรู้กระบวนการผลิตผ้าไหมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากพิธีกรรมพื้นบ้าน จ. สุรินทร์. *วารสารคหกรรมศาสตร์และวัฒนธรรมอย่างยั่งยืน*, *3*(1), 61–74.

[6] ธานินทร์ ไชยเยชน์. (2558). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองตาไก้ จังหวัดบุรีรัมย์. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี*, *9*(2), 51–61.

[7] นีรนาท เสนาจันทร์. (2564). การประกอบธุรกิจการผลิตผ้าไหมมัดหมี่ที่ประสบผลสำเร็จของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านคึมมะอุ-สวนหม่อน ตำบลหนองหว้า อำเภอบัวลาย จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, *11*(2), 183–193.

[8] วรรณวิไล โกษะโยธิน. (2566). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากผ้ามัดหมี่ไทยพวน อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี: กรณีศึกษากลุ่มสตรีอาสาบ้านพวน. *วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี*, *15*(1), 143–155.

[9] สำเริง นนศิริ, & รติพร มีชัย. (2560). ต้นทุนและผลตอบแทนผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามของกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติบ้านพันนา ตำบลพันนา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร. *วารสารวิชาการวิทยาลัยสันตพล*, *4*(2), 209–222.

[10] แก้วมณี อุทิรัมย์. (2560). การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมกลุ่มอาชีพทอผ้าไหมในเขตพื้นที่อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, *9*(1), 116–124.

การเพิ่มผลตอบแทนในกระบวนการผลิตมันทอดเขากลอย
Increasing the yield in the production process of fried cassava

วลัยลักษณ์ กาญจนเสถียร[1*] และ พรรพษา เมฆตรง[2]
[1]หลักสูตรบัญชีบัณฑิต คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[2]หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Walailak Karnjanasatian[1*] and Panpasa Mektrong[2]
[1]Bachelor of Accountancy Program, Faculty of Management, Songkhla Rajabhat University,
E-mail: walailak.ka@skru.ac.th*
[2]Bachelor of Engineering Program in Logistics Engineering Faculty of Industrial Technology,
Songkhla Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตมันทอดเขากลอย และเพิ่มผลตอบแทนจากการผลิตมันทอดเขากลอย โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างแบบ เจาะจง จำนวน 9 คน เครื่องมือในการวิจัยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Deep interview) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า จากการนำแนวคิด แผนผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงสาเหตุและผล และหลักพาเรโตมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา มีปัญหาที่มีความสำคัญมีอยู่ 2 ปัญหา คือ การปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไป (RPN=64) และการกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตาทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่ (RPN=48) ภายหลังจากทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14.29 โดยจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อรอบการผลิต เพิ่มขึ้นจาก 266 ถุงต่อรอบ เป็น 304 ถุงต่อรอบ นอกจากนี้ผลตอบแทนของวิสาหกิจชุมชนมันทอดเขากลอยเพิ่มขึ้นจาก 15,960 บาทต่อรอบ เป็น 18,240 บาทต่อรอบ คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14.29

คำหลัก ต้นทุนการผลิต, ผลตอบแทน, แผนภาพพาเรโต

Abstract

This research is qualitative study. The objective is to analyze the production process of Khao Kloy fried taro. and 2) to increase the return on investment from Khao Kloy fried yam production. The study was conducted using a specific sample of 9 people. The research results found that from using the concept of a fishbone diagram or cause-and-effect diagram and the Pareto principle to analyse the problem, there were 2 important problems: peeling the cassava too deeply (RPN=64) and estimating the amount of seasoning powder by sight, which caused the seasoning powder to have an inconsistent taste (RPN=48). After improving the working method, It resulted in a 14.29 per cent increase in production efficiency, with the number of products produced per production cycle increasing from 266 bags per cycle to 304 bags per cycle. In addition, the return on investment of the Khao Kloy Fried Cassava Community Enterprise increased from 15,960 baht per cycle to 18,240 baht per cycle, representing an increase rate of 14.29 per cent.

Keywords: Cost of production, return on investment, Pareto chart

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปเป็นหนึ่งในภาคธุรกิจที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีการผลิตและจำหน่ายอาหารแปรรูปในระดับท้องถิ่น [1] หนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมคือ "มันทอด" ซึ่งเป็นอาหารขบเคี้ยวที่มีรสชาติอร่อยและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตมันทอดในระดับวิสาหกิจชุมชนยังคงเผชิญกับปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิตในตลาด

วิสาหกิจชุมชนผลิตมันทอดบ้านเขากลอย ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นหนึ่งในผู้ผลิตที่มีการดำเนินงานมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 [2] โดยผลิตภัณฑ์มันทอดของกลุ่มได้รับความนิยมในชุมชนและมีการเติบโตของยอดขายอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม จากการดำเนินงานพบว่าต้นทุนการผลิตยังคงอยู่ในระดับสูง เนื่องจากมีการสูญเสียวัตถุดิบระหว่างกระบวนการผลิต รวมถึงการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน ดังนั้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต เป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยให้ธุรกิจสามารถระบุจุดอ่อน ค้นหาคอขวดของระบบ และวางแผนปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งสามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกในสามมิติ ได้แก่ การลดต้นทุน การเพิ่มประสิทธิภาพ และการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน การศึกษาต้นทุนและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต จึงมีความสำคัญในการช่วยให้วิสาหกิจชุมชนสามารถลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาด

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตมันทอดเขากลอย นำข้อมูลมาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและปัญหาด้วยผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และหลักพาเรโต (Pareto) เพื่อเพิ่มผลตอบแทนในการผลิตมันทอดของวิสาหกิจมันทอดบ้านเขากลอย ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้จัดทำเครื่องมือวิจัยโดยการทบทวนเอกสารจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสม ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ การจดบันทึกข้อมูล และการสังเกต [3]

2) ประชากรและผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ได้แก่ วิสาหกิจชุมชนผลิตมันทอดบ้านเขากลอย ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) สมาชิก จำนวน 9 คน ที่มีประสบการณ์ในการผลิต 6 ปี ได้แก่ หัวหน้ากลุ่ม จำนวน 1 คน และเป็นผู้ผลิตจำนวน 8 คน [2]

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์มีโครงสร้างโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interviews) ที่ได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับวัตถุประสงค์ของการศึกษา แบ่งเป็น 4 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปด้านผู้ผลิต ได้แก่ ระยะเวลาในการประกอบอาชีพ แหล่งเงินลงทุน การจำหน่าย ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านกระบวนการผลิตและต้นทุนการผลิต ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในการผลิต ตอนที่ 3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน ได้แก่ รายได้จากการขาย และกำไร(ขาดทุน) ตอนที่ 4 ข้อมูลด้านปัญหา อุปสรรค จากการผลิตและจำหน่าย

4) การเก็บรวมรวมข้อมูล ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาโดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยการโดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) และการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต สังเกตการณ์การและพูดคุย เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา อุปสรรค ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิธีการคำนวณต้นทุนการผลิต ได้รวบรวมข้อมูลจากแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการศึกษางานวิจัยครั้งนี้

5) การวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive method) เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไปของวิสาหกิจชุมชนผลิตมันทอดบ้านเขากลอย โดยใช้แบบสัมภาษณ์ในการรวบรวมข้อมูลต้นทุนการผลิต การสังเกตขั้นตอนการผลิตเพื่อวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต ผลตอบแทนจากการผลิต ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการคำนวณทางบัญชี การบรรยาย และสรุปผลการวิจัย โดยใช้สูตรทางการบัญชีในการวิเคราะห์ [4] สูตรการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต [5] ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต

สูตรคำนวณต้นทุนการผลิต ได้แก่

วัตถุดิบทางตรง + ค่าแรงงานทางตรง + ค่าใช้จ่ายการผลิต

สูตรการวิเคราะห์ผลตอบแทน [6], [7]

รายได้จากการขาย ได้แก่

ปริมาณการผลิต x ราคาขาย

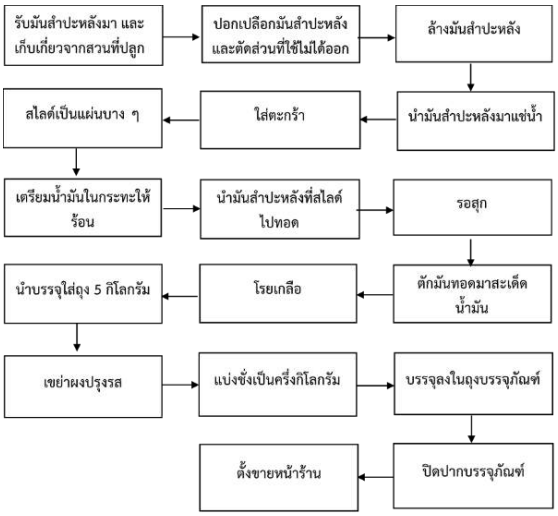
กำไร (ขาดทุน) จากการขาย ได้แก่

รายได้จากการขาย - ต้นทุนขาย

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปด้านผู้ผลิต วิสาหกิจชมชนผลิตมันทอดเขากลอย ตั้งอยู่ที่ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ก่อตั้งเมื่อปี 2561 ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตมันทอดและขนมขบเคี้ยว โดยดำเนินธุรกิจนี้มาเป็นระยะเวลาประมาณ 6 ปี และมีสมาชิก 9 คน ในช่วงเริ่มต้น ร้านเป็นเพียงร้านเล็ก ๆ ที่คิดค้นสูตรมันทอดเฉพาะตัว และค่อย ๆ พัฒนาเทคนิคการทอดให้ได้มันทอดที่อร่อย จนกระทั่งร้านเติบโตขึ้นและมีลูกค้าประจำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบันร้านได้รับความนิยมสูงในชุมชน [2]

3.2 ผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและต้นทุนการผลิต สามารถผลิตสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 175 กิโลกรัม/วัน หรือถุงครึ่งกิโลกรัมได้ประมาณ 350 ถุง มีสมาชิกทำหน้าที่ในทำมันทอดทั้งหมด 8 คนและหัวหน้ากลุ่มอีก 1 คน จากการเก็บข้อมูลสามารถแสดงแผนภาพแสดงกระบวนการผลิตมันทอดได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแสดงกระบวนการผลิตมันทอด

3.3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตก่อนปรับปรุง ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง ค่าใช้จ่ายการผลิต จำนวนหน่วยที่ผลิตเสร็จ และรายได้เฉลี่ยต่อวัน สามารถแสดงรายการต้นทุนได้ดังตารางที่ 1, ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลวัตถุดิบทางตรง (Material Cost) (ก่อนปรับปรุง)

วัตถุดิบ/ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (หน่วย)	ราคา (หน่วย)	จำนวนเงิน
มันสำปะหลัง	175 กิโลกรัม	4 บาท	700 บาท
น้ำมัน MINYAK MASAK	18 ถุง	34.71 บาท	624.78 บาท
เกลือปรุงทิพย์	100 กรัม	0.02 บาท	2 บาท
ผงปรุงรส รสปาปิก้า	1.458 กิโลกรัม	200 บาท	291.60 บาท
ผงปรุงรส รสสาหร่าย	1.458 กิโลกรัม	200 บาท	291.60 บาท
รวม			**1,909.98 บาท**

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าแรงงานทางตรง (Labor Cost) (ก่อนปรับปรุง)

แผนก	จำนวนพนักงาน	ค่าแรง/วัน	จำนวนเงิน
พนักงานขนย้ายและปอกเปลือกมันสำปะหลัง	2 คน	350 บาท	700 บาท
พนักงานสไลด์มันสำปะหลังให้เป็นแผ่น	3 คน	350 บาท	1,050 บาท
พนักงานทอดมันสำปะหลัง	3 คน	350 บาท	1,050 บาท
พนักงานเขย่าผงปรุงรส	1 คน	350 บาท	350 บาท
รวม			**3,150 บาท**

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายการการผลิต (Overhead) (ก่อนปรับปรุง)

ค่าใช้จ่าย	ปริมาณที่ใช้ (หน่วย)	ราคา (หน่วย)	จำนวนเงิน
ค่าน้ำ	100 ลิตร	0.0163 บาท	1.63 บาท
ค่าแก๊สหุงต้ม	960.48 นาที	3.69 บาท	3,544.17 บาท

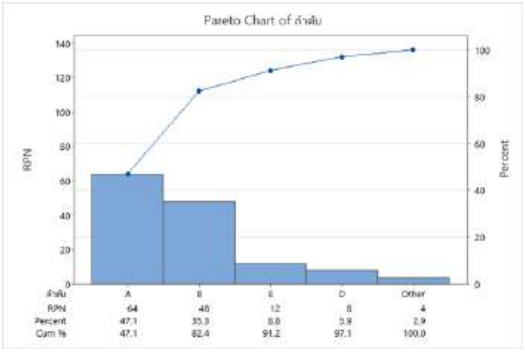
ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายการการผลิต (Overhead) (ก่อนปรับปรุง) (ต่อ)

ค่าไฟ	2.06 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	5 บาท	10.30 บาท
ถุง ขนาด 16 x 26 นิ้ว	266 ใบ	1.29 บาท	343.14 บาท
ถุง ขนาด 24 x 44 นิ้ว	27 ใบ	4.17 บาท	112.59 บาท
หนังยางรัดถุง	113 กรัม	0.24 บาท	27.12 บาท
กระดาษซับน้ำมัน	18 ใบ	0.79 บาท	14.22 บาท
ถุงหูหิ้ว ขนาด 12 x 26 นิ้ว	266 ใบ	1.35 บาท	359.10 บาท
รวม			**4,412.27 บาท**

3.4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตก่อนปรับปรุง ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง 1,909.98 บาท ต้นทุนค่าแรงงานทางตรง 3,150 บาท และต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิต 4,412.27 บาท รวมทั้งสิ้น 9,472.25 บาท

3.5 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนก่อนปรับปรุง ได้แก่ รายได้จากการขาย และกำไร(ขาดทุน) รายได้จากการขายมันทอดรสปาปิก้าและมันทอดรสสาหร่าย ก่อนปรับปรุง ประกอบด้วย ปริมาณการผลิตอย่างละ 133 ถุง รวมทั้งสิ้น 266 ถุง ขายถุงละ 60 บาท มันทอดรสปาปิก้า 7,980 บาท มันทอดรสสาหร่าย 7,980 บาท รวมทั้งสิ้น 15,960 บาท กำไร (ขาดทุน) ก่อนปรับปรุง รายได้จากการขาย ทั้งสิ้น 15,960 บาท หักต้นทุนการผลิตรวม 9,472.25 บาท กำไร 6,487.75 บาท อัตราผลตอบแทน ร้อยละ 40.65 ของยอดขาย

3.6 ผลการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) ของกระบวนการผลิตมันทอด เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่า มีปัญหาที่มีความสำคัญมีอยู่ 2 ปัญหาโดยอาศัยกฎการนับทางสถิติ จึงประเมินด้วยการคูณกัน ซึ่งกำหนดแสดงลำดับความสำคัญก่อนหลังของปัญหา (Risk Priority Number; RPN) [8] คือ ลำดับ A (RPN=64) การปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไป ทำให้กินเนื้อมันสำปะหลังส่วนที่ใช้ได้ และลำดับ B (RPN=48) การกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตา ทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพพาเรโตของกระบวนการผลิตมันทอด

3.7 ผลการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ทำให้ทราบว่า กระบวนการปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไป ทำให้กินเนื้อมันสำปะหลังส่วนที่ใช้ได้ และการกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตาทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบเกินความจำเป็น ในกระบวนการผลิต แสดงดังภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3 ตามลำดับ

ภาพที่ 2 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของกระบวนการปอกเปลือกมันสำหลัง

ภาพที่ 3 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของกระบวนการเขย่าผงมันทอด

สาเหตุของกระบวนการปอกเปลือกภาพที่ 2 และภาพที่ 3 สามารถแจกแจงสาเหตุของปัญหาของแผนผังก้างปลา [9] ได้ดังตารางที่ 4 และสาเหตุของกระบวนการเขย่าผงมันทอดตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การแจกแจงสาเหตุของปัญหากระบวนการปอกเปลือกมันสำปะหลังจากแผนผังก้างปลา

สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	แนวทางการแก้ไขปัญหา
Method	- การใช้มีดหรือเครื่องปอกเปลือกที่ไม่เหมาะสม	ใช้เครื่องมือที่สามารถตั้งค่าความลึกได้เพื่อป้องกันการปอกลึกเกินไป
Man	- ขาดความรู้ในการปอกเปลือกให้ได้ปริมาณเนื้อมันสำปะหลังที่ใช้ได้ - ไม่มีการติดตามผลการปฏิบัติงานหรือฝึกฝนทักษะให้เหมาะสม	ให้การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับเทคนิคการปอกเปลือกที่ถูกต้องและการใช้อุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ
Measurement	ไม่มีเครื่องมือช่วยในการวัดความลึกที่แม่นยำ	ใช้เครื่องมือที่สามารถช่วยวัดความลึกในการปอกเปลือก เช่น เครื่องมือปอกเปลือกที่มีเครื่องมือวัดในตัว
Environment	พื้นที่ทำงานแคบเกินไป ทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างสะดวก	ปรับสภาพพื้นที่ทำงานให้เหมาะสมและสะดวกในการทำงาน
Materials	มันสำปะหลังบางลูกอาจมีเปลือกหนาเกินไป ทำให้ยากในการปอกเปลือก	เลือกมันสำปะหลังที่มีขนาดและคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการปอก
Machines	เครื่องมือไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกสภาพของมัน	ใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการปอกเปลือกและมีระบบควบคุมที่ช่วยลดปัญหาการปอกลึกเกินไป

ตารางที่ 5 การแจกแจงสาเหตุของปัญหากระบวนการเขย่าผงมันทอดจากแผนผังก้างปลา

สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	แนวทางการแก้ไขปัญหา
Method	การใช้วิธีการตวงด้วยสายตาทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน	ตั้งกระบวนการในการตวงผงปรุงรสที่มีขั้นตอนชัดเจนและควบคุมได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันในทุกครั้ง
Man	- ขาดการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือที่แม่นยำในการตวงผง - พนักงานอาจทำการกะปริมาณด้วยสายตาโดยไม่คำนึงถึงความถูกต้อง	พนักงานควรได้รับการฝึกอบรมการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องและเข้าใจการคำนวณหรือวิธีการที่แม่นยำ
Measurement	การกะปริมาณด้วยสายตาทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณผงที่ถูกต้องได้	ใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำในการตวง เช่น เครื่องตวงอัตโนมัติหรือเครื่องมือที่สามารถตั้งค่าปริมาณได้
Environment	ขาดอุปกรณ์ช่วยในการจัดเก็บและคัดแยกผงปรุงรสที่ถูกต้อง	จัดพื้นที่ทำงานให้สะอาดและมีการจัดระเบียบที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของผงปรุงรส
Materials	การจัดเก็บผงปรุงรสในภาชนะไม่เหมาะสมทำให้ปริมาณการใช้งานไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง	ใช้ภาชนะที่ปิดมิดชิดในการเก็บผงปรุงรส เพื่อป้องกันการเสียคุณภาพจากสภาพแวดล้อม
Machines	ไม่มีเครื่องมือที่ช่วยตวงปริมาณผงได้อย่างแม่นยำสำปะหลัง	ลงทุนในเครื่องมือที่สามารถตวงผงปรุงรสได้อย่างแม่นยำ

กระบวนการปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไปทำให้กินเนื้อมันสำปะหลังส่วนที่ใช้ได้ และการกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตาทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่ แสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไป ทำให้กินเนื้อมันสำปะหลังส่วนที่ใช้ได้

การกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตาทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่ แสดงดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 การกะปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตาทำให้ผงปรุงรสมีรสชาติที่ไม่คงที่

3.8 ผลการดำเนินการแก้ไขปัญหา คือ กำหนดให้ในขั้นตอนการปอกเปลือกเปลี่ยนจากการใช้มีดธรรมดาเป็นมีดปอกอ้อย เพื่อให้การตัดและปอกวัสดุเร็ว ง่ายขึ้น และช่วยลดเวลาและแรงงานในการทำงานและในขั้นตอนการเขย่าผงปรุงรสให้ใช้การตวงผงให้แม่นยำเพื่อลดความสูญเปล่าในการดำเนินการแก้ไขปัญหาแสดงผลการแก้ไขปัญหาดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 ตามลำดับ

ภาพที่ 6 การปอกเปลือกหลังปรับปรุง

ภาพที่ 7 การเขย่าผงปรุงรสหลังปรับปรุง

3.9 ต้นทุนการผลิตมันทอด (หลังปรับปรุง) ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตมันทอด ทำให้ทราบถึงขั้นตอนของการผลิตแต่ละกระบวนการ ซึ่งในการคำนวณต้นทุนจะคำนวณในส่วนของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน และกำหนดค่าแรงงานการผลิตชั่วโมงละ 35 บาท ประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ต้นทุนค่าแรงงานทางตรง ต้นทุนค่าใช้จ่าย และรายได้เฉลี่ยต่อวัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6, ตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบ (Material Cost) (หลังปรับปรุง)

วัตถุดิบ/ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (หน่วย)	ราคา (หน่วย)	จำนวนเงิน
มันสำปะหลัง	175 กิโลกรัม	4 บาท	700 บาท
น้ำมัน MINYAK MASAK	18 ถุง	34.71 บาท	624.78 บาท
เกลือปรุงทิพย์	100 กรัม	0.02 บาท	2 บาท
ผงปรุงรส รสปาปิก้า	1.44 กิโลกรัม	200 บาท	288 บาท
ผงปรุงรส รสสาหร่าย	1.44 กิโลกรัม	200 บาท	288 บาท
			1,902.78 บาท

ตารางที่ 7 ข้อมูลต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost) (หลังปรับปรุง)

แผนก	จำนวนพนักงาน	ค่าแรง/ต่อวัน	จำนวนเงิน
พนักงานขนย้ายและปอกเปลือกมันสำปะหลัง	2 คน	350 บาท	700 บาท
พนักงานสไลด์มันสำปะหลังให้เป็นแผ่น	3 คน	350 บาท	1,050 บาท
พนักงานทอดมันสำปะหลัง	3 คน	350 บาท	1,050 บาท
พนักงานเขย่าผงปรุงรส	1 คน	350 บาท	350 บาท
			3,150 บาท

ตารางที่ 8 ข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่าย (Overhead) (หลังปรับปรุง)

ค่าใช้จ่าย	ปริมาณที่ใช้ (หน่วย)	ราคา (หน่วย)	จำนวนเงิน
ค่าน้ำ	100 ลิตร	0.0163 บาท	1.63 บาท
ค่าแก๊สหุงต้ม	1,092.96 นาที	3.69 บาท	4,033.02 บาท
ค่าไฟ	2.06 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	5 บาท	10.30 บาท
ถุง ขนาด 16 x 26 นิ้ว	304 ใบ	1.29 บาท	392.16 บาท
ถุง ขนาด 24 x 44 นิ้ว	30 ใบ	4.17 บาท	125.10 บาท
หนังยางรัดถุง	152 กรัม	0.24 บาท	36.48 บาท
กระดาษซับน้ำมัน	18 ใบ	0.79 บาท	14.22 บาท
ถุงหูหิ้ว ขนาด 12 x 26 นิ้ว	304 ใบ	1.35 บาท	410.40 บาท
			5,023.31 บาท

3.10 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตหลังปรับปรุงทั้งสิ้น 10,076.99 บาท ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง 1,902.78 บาท ต้นทุนค่าแรงงานทางตรง 3,150 บาท ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิต 5,023.31 บาท

3.11 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังปรับปรุง รายได้จากการขาย และกำไร(ขาดทุน) รายได้จากการขาย มันทอดรสปาปิก้า มันทอดรสสาหร่าย หลังปรับปรุงปริมาณการผลิตอย่างละ 152 ถุง รวมทั้งสิ้น 304 ถุง ขายถุงละ 60 บาท มีรายได้จากการขาย 18,240 บาท

3.12 ผลการวิเคราะห์กำไร (ขาดทุน) หลังปรับปรุง รายได้จากการขาย ทั้งสิ้น 18,240 บาท ประกอบด้วย มันทอดรสปาปิก้า 9,120 บาท มันทอดรสสาหร่าย 9,120 บาท ต้นทุนการผลิตรวม 10,076.99 บาท กำไร 8,163.01 บาท อัตราผลตอบแทน ร้อยละ 44.75 ของยอดขาย

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบต้นทุนกระบวนการผลิตก่อน - หลังการปรับปรุง

ต้นทุนการผลิต				
รายการต้นทุน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง	คิดเป็นร้อยละ
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท)	1,909.98	1,902.78	ลดลง 7.2	0.38
ต้นทุนค่าใช้จ่าย (บาท)	4,412.27	5,023.31	เพิ่มขึ้น 611.04	13.85
ต้นทุนค่าแรงงาน (บาท)	3,150.00	3,150.00	0	0
จำนวนมันทอดที่ผลิตเสร็จ (ถุง)	266 ถุง	304 ถุง	เพิ่มขึ้น 38	14.29
รายได้ (บาท)	15,960.00	18,240.00	เพิ่มขึ้น 2,280	14.29

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลตอบแทนการผลิตก่อน – หลังการปรับปรุง ราคาขายถุงละ 60 บาท

รายการ	ก่อนปรับปรุง (บาท)	หลังปรับปรุง (บาท)	ผลต่าง (เพิ่มขึ้น)
ปริมาณการผลิต	266 ถุง	304 ถุง	38
รายได้	15,960.00	18,240.00	2,280
หัก ต้นทุนการผลิต	9,472.25	10,076.99	604.76
กำไร	6,487.75	8,163.01	1,675.26
อัตราผลตอบแทน	40.65	44.75	4.10

4. อภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการผลิตมันทอดของวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลอยยังมีจุดอ่อนที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนและประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการรายย่อยในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป จากการวิเคราะห์แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) และแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) พบว่า ปัญหาหลักของกระบวนการผลิตเกิดจากการปอกเปลือกมันสำปะหลังลึกเกินไป ทำให้สูญเสียวัตถุดิบ

ที่ยังสามารถนำมาใช้ได้ และการตวงปริมาณผงปรุงรสด้วยสายตา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีความสม่ำเสมอด้านรสชาติ ปัญหาทั้งสองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ นิพันธ์ เห็นโชคชัยชนะ และศิลปพร ศรีจั่นเพชร, (2564) [4] ซึ่งระบุว่าการสูญเสียวัตถุดิบและการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนของผู้ประกอบการขนาดเล็กในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป สอดคล้องกับงานวิจัยของ เบญจมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ (2562) [5] ที่เน้นเรื่องการลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าแนวทางการใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำ เช่น เครื่องปอกเปลือกอัตโนมัติ และเครื่องชั่งผงปรุงรสแบบดิจิทัล สามารถช่วยลดความสูญเสียของวัตถุดิบและเพิ่มความสม่ำเสมอของรสชาติผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

5. สรุป

จากการศึกษากการผลิตมันทอดของวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลอยควรมีการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาวิเคราะห์กระบวนการผลิตมันทอดเขากลอย ด้วยการนำเครื่องมือแผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความสำคัญ และผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) วิสาหกิจชุมชนสามารถเพิ่มผลตอบแทนจากการผลิตมันทอดเขากลอย ลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาด ด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อนำข้อมูลมาใช้เพื่อการตัดสินใจด้านการบริหารและควรนำแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตไปใช้จริงในวิสาหกิจชุมชนเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลให้สามารถเพิ่มกำไรจากการขายได้มากขึ้น นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถนำไปปรับใช้กับกลุ่มผู้ผลิตมันทอดรายอื่น ๆ ที่ประสบปัญหาในลักษณะเดียวกัน และสามารถพัฒนาเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดี (Best Practice) สำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปขนาดเล็กในระดับประเทศได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณแอน หรับจันทร์ วิสาหกิจชุมชนมันทอดเขากลอย ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2566-2570). เรียกใช้เมื่อ 20 มีนาคม 2568 จาก https://www.nesdc.go.th/main.php?filename=develop_issue

[2] แอน หรับจันทร์, ผู้ให้สัมภาษณ์, ธันวาคม 2567

[3] สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. (2563). การบัญชีบริหาร. กรุงเทพมหานคร: บริษัท กรีนไลฟ์ พริ้นติ้งเฮ้าส์ จำกัด.

[4] นิพันธ์ เห็นโชคชัยชนะ และศิลปพร ศรีจั่นเพชร. (2564). ทฤษฎีการบัญชี. กรุงเทพมหานคร: ที่พีเอ็น เพรส.

[5] เบญจมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ. (2562). การบัญชีต้นทุน 1. กรุงเทพมหานคร: แพนด้าเลิร์นนิ่งบุ๊ค.

[6] ศศิวิมล มีอำพล. (2560). การบัญชีเพื่อการจัดการ. (พิมพ์ครั้งที่ 24). กรุงเทพมหานคร: เสมาธรรม จำกัด.

[7] พรรณนิภา รอดวรรณะ. (2560). การบัญชีต้นทุน : หลักและกระบวนการ. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] สมศักดิ์ แก้วพลอย. (2565). การเพิ่มผลิตภาพแรงงานและการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตแผ่นพื้นสำเร็จรูป. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 13 ; 17-18 พฤศจิกายน 2565. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. B13-B19.

[9] Montgomery DC. (2009). Introduction to Statistical Quality Control. 6th Edition. John Wiley and Sons: New York.

การจัดตารางการซ่อมแซมแม่พิมพ์ เพื่อลดความล่าช้าในการส่งมอบ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Mold repair scheduling to reduce delivery delays by applying mathematical models

ปาณิธี เรืองศรี[1*] สุภัทรา หมู่ป่ารัง[1] สมเกียรติ หมายถมกลาง[2] ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[3]
นพดล ศรีพุทธา[4] ธนิศา หนูทวี[5]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[4]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
[5]สาขาวิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
E-mail: panithee_ru@rmutto.ac.th*

Panithee Rungsri[1*] Supattra Muparang[1] Somkiat Maithomklang[2]
Thammawit Prasert[3] Noppadol Sriputtha[4] Tanisa Nootawee[5]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Tawon-ok
[2]Department of Mechatronics and Robotics Engineering,
School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[3]Department of Industrial Engineering and Management
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[4]Department of Engineering Technology, Faculty of Engineering,
Thai-Nichi Institute of Technology
[5]Department of Logistics and Supply Chain Management,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
E-mail: panithee_ru@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการจัดตารางการซ่อมแซมแม่พิมพ์ในโรงงานผลิตชุดหัวฉีดพลาสติก เพื่อลดความล่าช้าในการส่งมอบไปยังแผนกขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการจัดตารางการซ่อมแซมแม่พิมพ์แบบผสมผสานเพื่อลดความล่าช้าในการส่งมอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการมอบหมายงานให้ตรงกับความสามารถของพนักงาน ขั้นตอนที่สองเป็นการจัดลำดับการทำของพนักงานแต่ละคน โดยทั้ง 2 ขั้นตอนใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผ่าน Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ผลการวิจัยพบว่าวิธีการจัดตารางการทำงานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ทำให้เวลาทำงานลดลง 2.38 % เวลาล่าช้าลดลง 67.67 % และจำนวนงานล่าช้าลดลง 50 % เมื่อเทียบกับการจัดตารางการทำงานแบบเดิม

คำหลัก ปัญหาการจัดตารางการผลิต, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การจัดลำดับงาน

Abstract

This research presents a mold repair scheduling system in a plastic injection mold manufacturing plant to reduce delivery delays to the product-forming department. Therefore, this research develops a hybrid mold repair scheduling method to reduce delivery delays, which the method consists of two steps. The first step is solving the jobs-workers assignment problem, and the second step is job sequencing for each employee. Both steps utilize the method by optimization model via Solver in Microsoft Excel. The research result shows that by using the proposed hybrid approach, there is a 2.33% decrease in working time, a 66.67% decrease in tardiness, and a 50% decrease in the number of tardy jobs, in comparison to the current scheduling method.

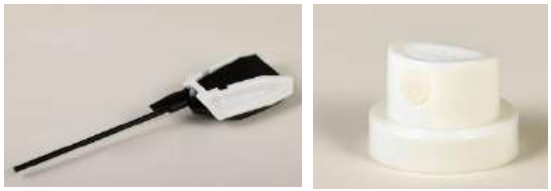
Keywords: Mathematical model, Scheduling problem, Job sequencing

1. บทนำ

โรงงานผลิตชุดหัวฉีดพลาสติกด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปนั้นเป็นโรงงานที่มีการใช้งานแม่พิมพ์หลากหลายประเภทในการผลิตสินค้า เมื่อมีการใช้งานแม่พิมพ์เป็นประจำทุกวันย่อมทำให้เกิดการชำรุดเสียหายทำให้ต้องมีการซ่อมแซมแม่พิมพ์ตามปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ปัจจุบันการวางแผนซ่อมแซมแม่พิมพ์ในโรงงานจะมีการมอบหมายงานแก่พนักงานโดยอาศัยประสบการณ์และความเคยชินในการทำงาน ลำดับในการทำงานของพนักงานแต่ละคนจะเป็นแบบที่งานใดมาถึงแผนกแม่พิมพ์ก่อนจะวางแผนทำการซ่อมแซมก่อน งานใดมาถึงที่หลังจะทำซ่อมแซมในภายหลัง (First come first serve) ซึ่งปัญหาที่เกิดกับแม่พิมพ์นั้นมีอยู่หลากหลายปัญหา ขั้นตอนการซ่อมแซมจะแตกต่างกันตามแต่ละปัญหาและประเภทของแม่พิมพ์ พนักงานแต่ละคนในแผนกนั้นจะมีความสามารถและเชี่ยวชาญในการซ่อมแซมที่แตกต่างกันไป เมื่อทำการมอบหมายงานจากประสบการณ์และความเคยชินจะส่งผลให้ความล่าช้าในการทำงานและเกิดความผิดพลาดจากความไม่เชี่ยวชาญของพนักงาน ซึ่งเกิดผลเสียต่อโรงงานทั้งด้านเวลาในการรอคอยแม่พิมพ์ เวลาในการซ่อมแม่พิมพ์ที่เกิดจากความผิดพลาดในการซ่อมแซม หรือในด้านที่การเงินที่ต้อง จ่ายเพื่อสั่งซื้อของมาซ่อมแม่พิมพ์ เป็นต้น

2. สภาพปัญหา

โรงงานที่ทำการศึกษานั้นเป็นโรงงานผลิตชุดหัวฉีดพลาสติกด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ชุดปั๊มของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชุดฉีดสเปรย์แอลกอฮอล์ ชุดฉีดสเปรย์ปรับอากาศตามรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-2 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

2.1 ประเภทแม่พิมพ์ในโรงงาน

แม่พิมพ์ในโรงงานจะแบ่ง 4 ประเภท ได้แก่

- แม่พิมพ์แบบสองแผ่น (Two Plate Mold)
- แม่พิมพ์แบบสามแผ่น (Three Plate Mold)
- แม่พิมพ์แบบคลายเกลียว (Unscrewing Mold)
- แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อน (Hot-Runner Injection Mold)

2.2 ปัญหาที่มีการแจ้งซ่อมแซมแม่พิมพ์

เมื่อนำปัญหาที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ทั้งหมดภายในโรงงานกรณีศึกษามาทำการวิเคราะห์พบว่าปัญหาที่พบเจอได้มาก ได้แก่ ปัญหาน้ำรั่ว ปัญหาการเกิดครีบ ชิ้นส่วนแตกหัก และการเกิดสนิม

2.3 พนักงานซ่อมแซมแม่พิมพ์

พนักงานที่ทำหน้าที่ในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ของโรงงานจะ มีทั้งหมด 4 คน ที่มีความสามารถในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันทำให้ใช้เวลาในการทำงานไม่เหมือนกัน โดยพนักงานทั้ง 4 คนสามารถแบ่งความสามารถได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสามารถและเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)

ประเภทแม่พิมพ์	แม่พิมพ์ 2 แผ่น				แม่พิมพ์ 3 แผ่น				แม่พิมพ์คลายเกลียว				แม่พิมพ์ hot runner			
ประเภทปัญหา	น้ำรั่ว	ครีบ	ชิ้นส่วนแตกหัก	ชิ้นส่วนเกิดสนิม	น้ำรั่ว	ครีบ	ชิ้นส่วนแตกหัก	ชิ้นส่วนเกิดสนิม	น้ำรั่ว	ครีบ	ชิ้นส่วนแตกหัก	ชิ้นส่วนเกิดสนิม	น้ำรั่ว	ครีบ	ชิ้นส่วนแตกหัก	ชิ้นส่วนเกิดสนิม
พนักงาน 1	28	24	⊗	16	30	26	⊗	16	30	30	⊗	20	⊗	⊗	⊗	⊗
พนักงาน 2	28	24	⊗	16	30	26	⊗	16	30	28	⊗	20	⊗	⊗	⊗	⊗
พนักงาน 3	24	24	36	16	26	24	36	16	32	32	44	22	32	32	44	24
พนักงาน 4	24	24	32	16	26	24	32	16	32	32	40	22	32	32	40	24

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางการผลิต และการมอบหมายงาน พบตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

พรชัย ยินดี [1] ศึกษาปัญหาการจัดตารางการเรียนการสอนโดยมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการจัดตารางสอนเพื่อให้ภาระงานของครูสอนมีความสมดุลมากที่สุดโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้โปรแกรม Excel Premium Solver ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด จากผลพบว่าภาระงานของครูผู้สอนมีความสมดุลมากขึ้น 65 % การสอนล่วงเวลาลดลง 91 % และสามารถลดเวลาในการจัดตารางเรียนตารางสอนได้ถึง 60 % จากการจัดตารางเรียนตารางสอนแบบเดิม

จักรวาล และรดาธร [2] นำเสนอวิธีการวางแผนการผลิตรายวันสำหรับเครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์1.หาค่าเวลาสายสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุด 2.หาผลรวมของเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักให้น้อยที่สุด 3.คำนวณหาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยให้มากที่สุด นำมาการวางแผนการผลิตจริงในช่วง 20 วัน พบว่าแบบจำลองสามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการลดต้นทุนและเวลาผลิตเสร็จได้ตามที่กำหนด โดยต้นทุนจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการปรับตั้งเครื่องจักรลดลง 1.58% และเวลาผลิตเสร็จเฉลี่ยของทุกกะทำงานและสองกะแรกมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมงตามเกณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

สาวิตรี สิงห์ปาน [3] ศึกษาการจัดตารางการผลิตเครื่องพิมพ์สีในพลาสติกบรรจุภัณฑ์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดงานให้เครื่องพิมพ์สีและจัดลำดับการผลิตงานด้วยหลักเวลาผลิตสั้นที่สุดท้ายก่อน (SPT) เปรียบเทียบกับการจัดงานที่มีเวลามากสุดทำก่อน (LPT)

พงษ์ธาดา คุรุกิจกาจร [4] ศึกษาวิธีการจัดตารางการผลิตของโรงงานสี และเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนผลิตเครื่องจักรแบบขนานและงานเป็นอิสระต่อกัน เพื่อลดความล่าช้า,จำนวนงานสายน้อยที่สุด, ลดเวลาปิดงานของระบบและลดเวลาไหลของงานทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก โดยใช้ 2

วิธีในการจัดตารางการผลิต 1.ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จัดตารางการผลิตด้วยวิธีกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules) 5 แบบ คือ Minimum Slack, FCFS, LPT และ SPT 2.การจัดตารางการผลิตโดยมองปัญหาเป็น Assignment Problem สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วใช้โปรแกรมกูโรบิโซลเวอร์ (Gurobi Solver) เพื่อมอบหมายงานให้เครื่องจักร

นมิดา ศรีผล [5] ศึกษาการจัดตารางการผลิตเพื่อปรับปรุงปริมาณงานล่าช้าในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตา เนื่องจากทางโรงงานไม่มีการกำหนดหลักเกณฑ์การจัดลำดับทำให้เกิดงานล่าช้า ร้อยละ 36.86 ต่อเดือน โดยเริ่มจากการ EDD และ LPT จัดงานที่อยู่ภายในวันเดียวกันของทั้งเครื่องจักรเดียวและเครื่องจักรแบบขนานเพื่อให้เวลาการผลิตรวมน้อย หลังจากการทดลองปรับปรุงทำให้จำนวนงานที่เกิดความล่าช้าลดลง 22 % เวลาการผลิตรวมลดลง 8.79 วัน ระยะเวลาล่าช้าสูงสุดลดลง 3 วัน และประโยชน์ของการใช้เครื่องจักรเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 11.5%

อภันตรี สาหร่าย [6] ศึกษาการจัดตารางการผลิตเลนส์ในกระบวนการ Anti-Refection เพื่อให้ปริมาณงานล่าช้าโดยเฉลี่ยต่ำสุด และประสิทธิภาพการใช้เครื่องขัดรมีค่าสูงขึ้น จึงนำหลักการทางฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้โดยใช้หลักการจัดตาม EDD และ SPT เพื่อจัดตารางการผลิต

วัสพล ธารณาและคณะ [7] ศึกษาการจัดตารางการผลิตของเครื่องพิมพ์บรรจุภัณฑ์ที่มีการจัดตารางการผลิตซับซ้อน ผลิตสินค้าที่ไม่ทันตามกำหนดส่งสินค้า การแก้ปัญหา 1.จัดกลุ่มงานเข้าเครื่องพิมพ์ โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เวลาทำงานรวมน้อยที่สุด 2.นำผลการมอบหมายมาจัดลำดับงาน ด้วยการประยุกต์ใช้กฎการทำงาน EDD และSPT ทำการเปรียบเทียบเวลารอในระบบเฉลี่ยต่ำที่สุด, ค่าเฉลี่ยเวลาในระบบ,งานที่เสร็จไม่ตรงเวลา, จำนวนของงานที่ล่าช้า, เวลาที่ช้ามากที่สุด และงานที่ค้างในระบบ และจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเครื่องย้อมลดลง จาก 117 ครั้ง เหลือ 98 ครั้งคิดเป็น 16.24%

ปัญจรัศม์ แพทย์โท และเสาวนิตย์ เลขวัต [8] ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาตร์สำหรับการจัดลำดับงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เพื่อความล่าช้าในการส่งมอบงานแก่ลูกค้า โดยใช้ Solver ใน Microsoft excel มาเป็นเครื่องมือในตัดสินใจ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับการจัดลำดับในปัจจุบันพบว่า เวลาในการผลิตทั้งหมดในเดือนพฤษภาคมลดลง 11.32 % และในเดือนกรกฎาคม 2.83 %

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ 1. การมอบหมายงานให้ตรงกับความสามารถของพนักงานเพื่อแก้ไขปัญหาความผิดพลาดและความล่าช้าในการทำงาน 2. จัดลำดับงานที่พนักงานแต่ละคนได้รับมอบหมายจากขั้นตอนที่ 1

3.1 การมอบหมายงาน

นำปัญหาการซ่อมแซมแม่พิมพ์ 1 เดือน มาทำการมอบหมายงานให้แก่พนักงาน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่าน excel solver มาเป็นเครื่องมือในการมอบหมายงาน โดยมีการกำหนดแบบจำลองดังนี้

ดัชนี (Index)

i คือ พนักงานซ่อมแซมแม่พิมพ์ โดยที่ $i \in \{1,2,3,4\}$

j คือ งานการซ่อมแซมแม่พิมพ์ตามประเภทแม่พิมพ์ โดยที่ $j \in \{1,2,\dots,15\}$

1 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว
2 = แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาครีบ
3 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาครีบ
4 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว
5 = แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อนมีปัญหาสนิม
6 = แม่พิมพ์แบบคลายเกลียวมีปัญหาครีบ
7 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว
8 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก
9 = แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อนมีปัญหาน้ำรั่ว
10 = แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาสนิม
11 = แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อนมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก
12 = แม่พิมพ์แบบคลายเกลียวมีปัญหาน้ำรั่ว
13 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาสนิม

14 = แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก

15 = แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว

J_3 = เซตของงานที่พนักงานคนที่ 3 ซ่อมแซมได้ คือ

$\{J_3\}$= {j | j = 5, 8, 9, 11, 14}

J_4 = เซตของงานที่พนักงานคนที่ 4 ซ่อมแซมได้ คือ

$\{J_4\}$= {j | j = = 5, 8, 9, 11, 14}

พารามิเตอร์ (Parameter)

t_{ij}= เวลาพนักงานคนที่ i ซ่อมแซมแม่พิมพ์งานที่ j (ชั่วโมง)

ตัวแปรตัดสินใจ(Decision Variables)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{พนักงานคนที่ i ซ่อมแซมแม่พิมพ์งานที่ j} \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$Minimize\ C_{MAX}$$

C_{MAX} = เวลาปิดงานของระบบ

$$c_{MAX} = MAX\ (c_i |\ \mathrm{i} = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

c_i= เวลาทั้งหมดในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ของพนักงานคนที่ i

$$c_i = \sum_{j=1}^{15} t_{ij} x_{ij}\ ; \forall i \quad (2)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัด 1 แต่ละงานต้องมีพนักงานทำงานซ่อมแซม 1 คน

$$\sum_{i=1}^{4} x_{ij} = 1\ ; \forall j \quad (3)$$

ข้อจำกัด 2 เวลาทั้งหมดในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ของช่างแต่ละคนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาปิดงานของระบบ

$$c_i \leq c_{MAX}\ ;\ \forall i \quad (4)$$

ข้อจำกัด 3 งานในเซต J_i ต้องให้พนักงานคนที่ i ซ่อมแซมเท่านั้น

$$x_{ij} = 1\ ; j \in J_i,\ \forall_i \quad (5)$$

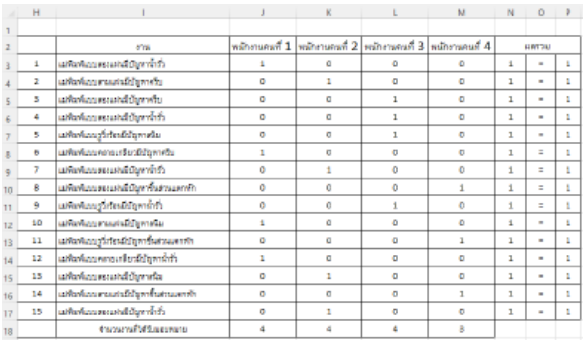
ข้อจำกัด 4 ตัวแปรตัดสินใจต้องเป็น 0 กับ 1 นั้น

$$x_{ij} \in \{1,0\}\ ;\ \forall_{ij} \quad (6)$$

นำสมการทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดแล้วนั้นมาออกแบบ sheet ใน Microsoft Excel ซึ่ง sheet จะประกอบด้วย sheet ที่สำหรับตัดสินใจในการมอบหมายงาน โดย 1 คือการมอบหมายงาน 0 คือการไม่ได้รับการมอบหมายงาน ตามรูปที่ 3 และ sheet ที่มีการระบุเวลาในการทำงานของช่างที่ได้รับการมอบหมายงาน ตัวอย่างเช่น งานลำดับที่ 1 เป็นการซ่อมแม่พิมพ์สองแผ่นปัญหาน้ำรั่วได้ถูกมอบหมายให้กับช่างคนที่ 1 ซึ่งช่างจะใช้เวลาในการซ่อมแซม 28 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นใช้คำสั่ง solver หาคำตอบในการมอบหมายงาน ซึ่งการใช้คำสั่ง solver นั้นจะต้องมีการกำหนด cell ทั้งหมด 3 cell ได้แก่

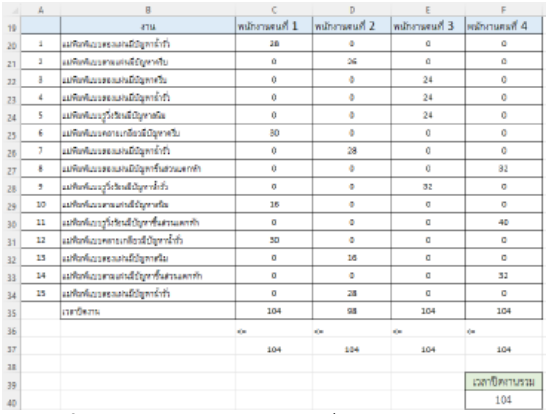
1. cell ที่เป็นวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Set objective)
2. cell ที่เป็นตัวแปรตัดสินใจ (Changing variable cells)
3. cell ที่เป็นข้อจำกัด (Subject to the Constraints)

และ เลือกวิธีในการคิดเป็น Simplex LP ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้แก้ปัญหาแบบจำลองที่เป็นลิเนียร์ รวมถึงแบบจำลองที่บังคับให้เซลล์บางเซลล์หรือทุกเซลล์ตัดสินใจต้องเป็นจำนวนเต็มหรือเลขจำนวน binary [9] ตามรูปที่ 5 มาใช้ในการแก้ปัญหา



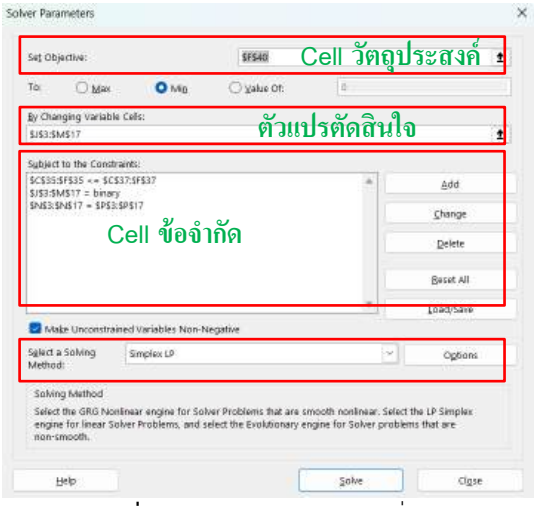
	งาน	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3	พนักงานคนที่ 4	ผลรวม		
1	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	1	0	0	0	1	=	1
2	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาหรือ	0	1	0	0	1	=	1
3	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาหรือ	0	0	1	0	1	=	1
4	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	0	1	0	1	=	1
5	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาหลีม	0	0	1	0	1	=	1
6	แม่พิมพ์แบบคอยเจียรมีปัญหาหรือ	1	0	0	0	1	=	1
7	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	1	0	0	1	=	1
8	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	1	1	=	1
9	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาน้ำรั่ว	0	0	1	0	1	=	1
10	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาหลีม	1	0	0	0	1	=	1
11	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	1	1	=	1
12	แม่พิมพ์แบบคอยเจียรมีปัญหาน้ำรั่ว	1	0	0	0	1	=	1
13	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาหลีม	0	1	0	0	1	=	1
14	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	1	1	=	1
15	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	1	0	0	1	=	1
	จำนวนงานที่มีเงื่อนไขมอบหมาย	4	4	4	3			

รูปที่ 3 การออกแบบ sheet เพื่อประมวนผลใน excel



	งาน	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3	พนักงานคนที่ 4
1	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	28	0	0	0
2	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาหรือ	0	26	0	0
3	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาหรือ	0	0	24	0
4	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	0	24	0
5	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาหลีม	0	0	24	0
6	แม่พิมพ์แบบคอยเจียรมีปัญหาหรือ	30	0	0	0
7	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	28	0	0
8	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	32
9	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาน้ำรั่ว	0	0	32	0
10	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาหลีม	16	0	0	0
11	แม่พิมพ์แบบบูรีจัดมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	40
12	แม่พิมพ์แบบคอยเจียรมีปัญหาน้ำรั่ว	30	0	0	0
13	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาหลีม	0	16	0	0
14	แม่พิมพ์แบบสามแผ่นมีปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก	0	0	0	32
15	แม่พิมพ์แบบสองแผ่นมีปัญหาน้ำรั่ว	0	28	0	0
	เวลาปิดงาน	104	98	104	104
		<=	<=	<=	<=
		104	104	104	104
					เวลาปิดงานรวม
					104

รูปที่ 4 การออกแบบ sheet เพื่อประมวนผลใน excel



รูปที่ 5 การกำหนด cell ในคำสั่ง Solver

และมีเวลาซ่อมแซมแม่พิมพ์ของพนักงานแต่ละคนเป็นพารามิเตอร์ในการมอบหมายงานเพื่อให้ได้เวลาปิดงานของระบบที่มีค่าน้อยที่สุดตามขั้นตอนที่ 1 จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้เข้าสู่ ขั้นตอนที่ 2 คือการจัดลำดับงานที่พนักงานแต่ละคนได้รับมอบหมายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจัดลำดับ

3.2 การจัดลำดับงาน

การจัดลำดับงานให้แก่พนักงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่าน excel solver มาเป็นเครื่องมือในการมอบหมายงาน โดยมีการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในพนักงานแต่ละคนดังนี้

ดัชนี (Index)

j คือ งานซ่อมแซมแม่พิมพ์ที่พนักงานได้รับมอบหมาย โดยที่ $j = 1,2,\dots,m$

C_j คือ เวลาที่ทำงาน j เสร็จสิ้น

D_j คือ กำหนดการส่งมอบงาน j

พารามิเตอร์ (Parameter)

$T_j =$ เวลาล่าช้าของงาน j ที่พนักงานทำการซ่อมแซม

$$T_j = \max(C_j - D_j, 0) \quad (7)$$

ตัวแปรตัดสินใจ(Decision Variables)

x_j คือ ลำดับในการทำงาน j โดยที่ $x_j = 1,2,\dots,n$

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$Minimize\ Total\ T_j$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัด 1 ตัวแปรตัดสินใจต้องเป็นจำนวนเต็มทุกงาน

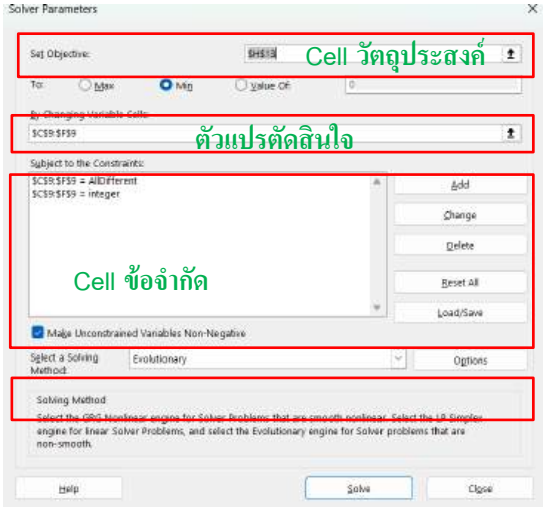
$$x_j = integer\ ;\ \forall_j \quad (8)$$

ข้อจำกัด 2 ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

$$x_j \geq 1\ ;\ \forall_j \quad (9)$$

จากสมการคณิตศาสตร์สามารถออกแบบ sheet ให้มีในส่วนของข้อมูลระยะเวลาในการทำงาน และกำหนดการส่งมอบ นำข้อมูลทั้ง 2 มาหาเวลาล่าช้าล่า จากนั้นกำหนด cell ทั้ง 3 ในคำสั่ง Solver และ เลือกวิธีในการคิดเป็น Evolutionary ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้แก้ปัญหายากๆที่ต้องการผลลัพธ์ที่ดี(ใกล้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด) รวมทั้งปัญหาที่ cell วัตถุประสงค์ หรือเงื่อนไขบังคับเป็นฟังก์ชันที่มีค่าไม่ต่อเนื่องหรือไม่เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของ cell ตัดสินใจ [9] โดย cell ตัดสินใจของปัญหานี้คือลำดับในการทำงาน ซึ่งมีค่าไม่ต่อเนื่องกันจึงเลือกใช้วิธี Evolutionary ดังแสดงตามรูปที่ 6-7

รูปที่ 6 การออกแบบ sheet เพื่อประมวนผลใน excel



รูปที่ 7 การกำหนด cell ในคำสั่ง Solver

พารามิเตอร์ที่ใช้ของการจัดลำดับการทำงานคือความล่าช้าในการทำงานแต่ละงานของพนักงานแต่ละคน

4. อภิปรายผล

หลังจากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ประเภทต่างๆและนำค่าระยะเวลาการซ่อมแซมแทนในแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในการมอบหมายงานให้กับพนักงานแต่ละคนตามขั้นตอนที่ 1 โดยทำการใช้โปรแกรม Excel Solver เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด จากผลลัพธ์เป็นไปตามตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2 งานที่พนักงานคนที่ 1 ได้รับมอบหมาย

พนักงานคนที่ 1		
งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)
1	28	32
6	30	72
10	16	56
12	30	120
เวลารวมในการทำงาน		104 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 งานที่พนักงานคนที่ 2 ได้รับมอบหมาย

พนักงานคนที่ 2		
งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)
2	26	80
7	28	32
13	16	120
15	28	80
เวลารวมในการทำงาน		98 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 งานที่พนักงานคนที่ 3 ได้รับมอบหมาย

พนักงานคนที่ 3		
งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)
3	24	40
4	24	80
5	24	80
9	32	120
เวลารวมในการทำงาน		104 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 งานที่พนักงานคนที่ 4 ได้รับมอบหมาย

พนักงานคนที่ 4		
งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)
8	32	80
11	40	160
14	32	56
เวลารวมในการทำงาน		104 ชั่วโมง

จากการมอบหมายงานแต่พนักงงานทั้ง 4 คน พบว่าพนักงานคนที่ 1-4 การมอบมอบหมายงานตรงกับความสามารถของพนักงาน คือ ในงานที่ 5, 8, 9, 11 และ 14 ที่ต้องการซ่อมแซมแม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อน และเป็นการซ่อมแซมด้วยปัญหาชิ้นส่วนแตกหัก มีต้องมีการเชื่อมเลเซอร์

เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ พนักงานที่สามารถซ่อมแซมปัญหานี้ได้มีเพียงพนักงานคนที่ 3 และ 4 เท่านั้น ดังนั้นในการมอบหมายงานด้วยแบบจำลองจึงได้ผลลัพธ์ที่ว่างาน 5 งาน ดังกล่าวจะถูกมอบหมายไปให้พนักงานคนที่ 3 และ 4 เท่านั้น ตารางที่ 4-5 ในส่วนของเวลาในการทำงานรวมของพนักงานแต่ละคน จะพบว่าพนักงานคนที่ 1,3 และ 4 มีเวลาในการทำงานรวมเท่ากัน คือ 104 ชั่วโมง สามารถวิเคราะได้ว่าการมอบหมายงานในครั้งนี้มีการจัดภาระงานแก่พนังงานที่สมดุล แต่จะมีพนักงานคนที่ 2 ที่มีเวลาในการทำงาน 98 ชั่วโมง น้อยกว่าพนักงานคนอื่น 6 ชั่วโมง ซึ่งช่วงเวลาที่เหลือพนักงานคนที่ 2 สามารถไปช่วยเหลืองานของพนักงานคนอื่นหรือทำการงานซ่อมแซมแม่พิมพ์อื่นมีการแจ้งซ่อมเพิ่มเข้ามา เมื่อทำการทำการมอบหมายงานตามขั้นตอนที่ 1 เรียบร้อย ขั้นตอนที่ 2 คือการจัดลำดับการทำงานของพนักงานแต่ละคนเพื่อให้ทราบว่าพนักงานงานแต่ละคนควรจะเริ่มทำงานใดเป็นลำดับก่อนหลัง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจัดลำดับการทำงาน มีผลลัพธ์เป็นไปตามตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6 ตารางลำดับการทำงานพนักงานที่ 1

งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)
1	28	32	0
10	16	56	0
6	30	72	2
12	30	120	0
รวมเวลาล่าช้า	2	จำนวนงานล่าช้า	1

ตารางที่ 7 ตารางลำดับการทำงานพนักงานที่ 2

งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)
7	28	32	0
13	16	120	0
2	26	80	0
15	28	80	18
รวมเวลาล่าช้า	18	จำนวนงานล่าช้า	1

งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)
14	32	56	0
8	32	80	0
11	40	160	0
รวมเวลาล่าช้า	0	จำนวนงานล่าช้า	0

ตารางที่ 8 ตารางลำดับการทำงานพนักงานที่ 3

งานที่	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	กำหนดการส่ง (ชั่วโมง)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)
3	24	40	0
5	24	80	0
4	24	80	0
9	32	120	0
รวมเวลาล่าช้า	0	จำนวนงานล่าช้า	0

ตารางที่ 9 ตารางลำดับการทำงานพนักงานที่ 4

จากการจัดลำดับการทำงานของพนักงานแต่ละคนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีงานล่าช้าเกิดขึ้นในการทำงานของ พนักงานคนที่1 และ 2 โดยพนักงานคนที่ 1 มีจำนวนงานล่าช้า 1งาน เวลาล่าช้ารวม 2 ชั่วโมง พนักงานคนที่ 2 มีจำนวนงานล่าช้า 1 งาน เวลาล่าช้ารวม 18 ชั่วโมง ส่วนพนักงานคนที่ 3 และคนที่ 4 นั้น ไม่มีงานล่าช้าเกิดขึ้น ผลรวมความล่าช้าจาการจัดลำดับการทำงานด้วยแบบจำนวนทางคณิตศาสตร์ผลว่ามีทั้งหมด 20 ชั่วโมง จำนวนงานล่าช้า 2 งาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการมอบหมายงานให้ตรงกับความสามารถของพนักงานแต่ละคนและทำการจัดลำดับตารางการซ่อมแซมแม่พิมพ์ กับการทำงานแบบเดิม พบว่า วิธีการทำงานแบบใหม่ สามารถลดเวลาที่ใช้ในการทำงาน ลดเวลาที่เกิดงานล่าช้า และลดจำนวนงานล่าช้าลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการทำงานแบบเดิมกับแบบใหม่

ข้อเปรียบเทียบ	วิธีเดิม	วิธีใหม่	ดีขึ้น(%)
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำงาน(ชั่วโมง)	420	410	2.38
เวลาที่เกิดงานล่าช้าทั้งหมด(ชั่วโมง)	60	20	66.67
จำนวนงานล่าช้า (ชั่วโมง)	4	2	50

นอกจากนี้วิธีการทำงานแบบเก่ายังมีเรื่องเกี่ยวกับความผิดผิดพลาดจากการซ่อมแซมแม่พิมพ์ผิดพลาดจากความไม่เชี่ยวชาญของพนักงานทำให้มีความเสียหายในการซ่อมแซมแม่พิมพ์เพิ่มเติมไปจากเดิม เสียจำนวนชิ้นงานที่จะผลิตได้เนื่องจากต้องปิดคาวิตี้ที่เสียหาย เพราะถึงกำหนดส่งมอบแม่พิมพ์ไม่มีเวลาในการซ่อมแซมเพิ่มเติม และสูญเสียเงินในการสั่งซื้อชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ซึ่งวิธีการทำงานแบบที่มอบหมายงานตรงกับความเชี่ยวชาญจะสามารถแก้ปัญหาในจุดนี้ได้

5. สรุป

จากการปัญหาการซ่อมแซมแม่พิมพ์ที่ล่าช้าและเกิดความผิดพลาดในการทำงานของโรงงานผลิตชุดหัวฉีดพลาสติก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการมอบหมายงานแก่พนักงานโดยจากประสบการณ์และความเคยชินในการทำงาน ทำงานที่ไม่ตรงกับความสามารถของพนักงานและแผนการจัดลำดับงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความเสียหายต่อโรงงานหลายด้าน ทั้งด้านเวลาที่ต้องรอคอยแม่พิมพ์ซ่อมแซมล่าช้า ด้านการเงินที่ต้องใช้ในการซ่อมแซมแม่พิมพ์ หรือ ด้านภาพลักษณ์ของโรงงานเมื่อผลิตงานไม่ทันตามกำหนดของ ลูกค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีแก้ไขปัญหาเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การมอบหมายงานให้ตรงกับตวามสามารถของพนักงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำการมอบหมาย และขั้นตอนที่ 2 การจัดลำดับการซ่อมแซมของพนักงานแต่ละคนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าสามารถลดปัญหาความล่าช้าได้โดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการทางานลดลง 2.38 % เวลาที่เกิดงานล่าช้าลดลง 66.67 % และจำนวนงานล่าช้าที่ลดลง 50 %

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้นั้นต้องขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมสาตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นอย่างยิ่งที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในทุกๆด้าน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พรชัย ยินดี, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดตารางการเรียนการสอนทีมีการจัดสมดุลภาระงาน, ปริญญาวิศวกรรศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2557.

[2] จักรวาล คุณะดิลก และรดาธร กิตติญาณนนท์. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย. 2564 ; 7(2) : หน้า 75 - 89.

[3] สาวิตรี สิงห์ปาน, การจัดตารางการผลิตเครื่องพิมพ์สีในพลาสติกบรรจุภัณฑ์, ปริญญาวิศวกรรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2556.

[4] พงษ์ธาดา คุรุกิจกาจร. การเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กันโดยใช้โปรแกรมการจัดตารางการผลิต และการใช้แบบจำลองมอบหมายงาน. ปริญญาวิศวกรรศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2556.

[5] นมิดา ศรีผล, การจัดตารางการผลติเพื่อปรับปรุงปริมาณงานล่าช้า: กรณีศึกษา, การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร, 2560

[6] อภันตรี สาหร่าย, การจัดตารางการผลิตเลนส์ในกระบวนการ Anti-Refection. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2552.

[7] วัสพล ธารณา, ฐิติมา ชูกิจรุ่งโรจน์, มธุรดา วิริยะพงษ์, เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์, ช่อแก้ว จตุรานนท์ และเจริญชัย โขมพัตราภรณ, การจัดตารางการผลิตของเครื่องพิมพ์บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 2555: หน้า 339-345

[8] ปัญจรัศม์ แพทย์โท และเสาวนิตย์ เลขวัต, การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับจัดลำดับงาน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, Thai Journal of Operation Research, 2021: Vol 9 No 2

[9] พิศาล สีนวล, การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากร เพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต, ปริญญาวิศวกรรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร, 2559

การลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงานโดยใช้หลักการ DMAIC กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรนิกส์

Reducing Employee Downtime Using DMAIC Principles Case Study: Electronics Components Manufacturing Company

ภัทรพงศ์ เกิดลาภี[1*] ศุภดนัย ภู่สุดแสวง[1] จรัสพร เกิดแก้ว[2] ปัญญา วินทะไชย[3] เอกรัฐ ใจบุญ[1] และวิษณุ แฟงเมือง[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] บริษัทเอ็นเอ็มบี-มินีแบไทย จำกัด ตำบลเชียงรากน้อย อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ขอนแก่น
E-mail: pongsak.ke@rmutsb.ac.th[1*]

Phattharapong Kiedlaphi[1*] Supadanai Phusutsaeng[1] Charasporn Ketkaew[2] Pannya Winthachai [1]
Eakarat jaiboon[1] and Wisanu Fangmuang[1]
[1] Faculty of Engineering and Architecture,Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
[2] NMB-Minebea Thai Ltd. Chiang Rak Noi, Bang Pa-in District Phra Nakhon Si Ayutthaya
[3]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: pongsak.ke@rmutsb.ac.th[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงานแผนกงานผลิตปั๊มขึ้นรูป โดยใช้หลักการ DMAIC ของซิกซ์ ซิกม่า จากปัญหาการหยุดเครื่องจักรที่ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดของพนักงานสูงเกินกว่าค่าเป้าหมายการควบคุมไว้ไม่เกินร้อยละ 7 วิธีการดำเนินงานโดยคัดเลือกกิจกรรมย่อยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร 3 กิจกรรม คือ การเตรียมอุปกรณ์ใส่ผลิตภัณฑ์ การเตรียมอุปกรณ์ติดตั้งวัตถุดิบ และการเปลี่ยนถังเศษชิ้นงาน ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และเทคนิคการวิเคราะห์กิจกรรมร่วม เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานร่วมกับเครื่องจักร โดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามตามหลักการ 5W+1H และ Why-Why Analysis และได้ทำการปรับปรุงการปฏิบัติงานด้วยหลักการ ECRS ผลการวิจัยพบว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการตามหลักการสามารถลดเวลาสูญเปล่าได้ถึง 900 นาทีต่อเดือน และสามารถเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) จากร้อยละ 38 เป็น ร้อยละ 46

คำหลัก หลักการ DMAIC หลักการ ECRS ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE)

Abstract

This research aims to reduce machine downtime for stamping department employees. Using the DMAIC principle of Six Sigma. Due to the problem of unexplained machine stops by employees exceeding the control target value 7 percent, the operation method is to select 3 sub-activities that affect the performance of the machine, namely preparation of product equipment, preparation of raw material installation equipment, and replacement of scrap bins. Cause and effect diagram and activity analysis techniques to determine the efficiency of employee work with machines. The results showed that after the process after improving the process according to the principle, the time wasted was reduced by up to 900 minutes per month. Increase overall Equipment effectiveness (OEE) from 38 percent to 46 percent.

Keywords: DMAIC, ECRS, Overall Equipment Effectiveness (OEE)

1. บทนำ

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในไทยมีการแข่งขันที่รุนแรงจากราคาจำหน่ายชิ้น ส่วนอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนรถยนต์ที่ปรับลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้การแข่งขัน

ด้านราคามีความรุนแรง [1] แนวทางการเพิ่มผลิตภาพเพื่อให้แข่งขันกับนานาประเทศได้นั้น สามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การทำความเข้าใจด้านผลิตภาพให้พนักงานในองค์กร การฝึกทักษะการปฏิบัติงานให้พนักงานมีความชำนาญ การพัฒนากระบวนการคิดหรือการปรับปรุงงานให้กับพนักงาน เป็นต้น [2] ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการปรับปรุงเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้าเพื่อให้บรรลุเป้าหมายองค์กร การดำเนินธุรกิจให้มีประสิทธิภาพนั้นคือ การขจัดความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ ส่งผลทำให้สมรรถนะขององค์กรด้านการผลิตมีประสิทธิภาพ [3]

ดังนั้นการทำงานวิจัยในครั้งนี้จึงทำการศึกษาแนวคิดการปรับปรุงแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ (Systematic Approach) ตามหลักการ DMAIC โดยการใช้เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ใช้หลักการ 5W+1H และ Why-Why Analysis เพื่อนำมาปรับใช้ในกระบวนการลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงาน จากปัญหาการหยุดเครื่องจักรที่ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดของพนักงานสูงเกินกว่าค่าเป้าหมายการควบคุม ร้อยละ 7 ดำเนินการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS วัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงานแผนกงานผลิตปั๊มขึ้นรูป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ DMAIC [1]

หลักการ DMAIC เป็นแนวคิดการปรับปรุงแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ (Systematic Approach) เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการทำงานตามแนวคิดของ Six Sigma โดยจะแบ่งออกเป็นทั้งหมด 5 ขั้นตอน

1. การระบุปัญหา (Define) เป็นขั้นตอนการระบุปัญหาพร้อมกับระบุเหตุผลว่าทำไมจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2. การวัด (Measure) เป็นการกำหนดตัวชี้วัดเพื่อวัดปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการหาสาเหตุ สามารถใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลง

3. การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาทำ Root Cause Analysis (RCA) หรือการหาต้นตอของปัญหา

4. การปรับปรุง (Improve) เป็นการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ได้วิเคราะห์ต้นตอของปัญหามาจากขั้นตอนที่แล้ว การแก้ไขปัญหาอาจจะเริ่มจากการระบุวิธีแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อเลือกวิธีแก้ไขปัญหาที่ดีที่สุดเพื่อจะนำมาใช้จริง

5. การควบคุม (Control) เป็นการสร้างแผนการติดตามตรวจสอบและควบคุมเพื่อประเมินผลกระทบของกระบวนการใหม่พร้อมกับติดตามผลว่า สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้จริงหรือไม่ และจัดทำเอกสารในการบันทึกกระบวนการปรับปรุง

2.2 หลักการ ECRS [2]

หลักการ ECRS เป็นหลักการง่ายๆ สามารถใช้ในการลดความสูญเปล่า (MUDA) ลงได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงานปัจจุบันให้ที่มีปัญหาการปฏิบัติงาน ให้มีวิธีการทำงานใหม่ที่มีการพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถสร้างงานที่เป็นมาตรฐานเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่องประกอบด้วย

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 8 ประการที่พบในการผลิตออกไป คือการผลิตของเสีย การผลิตมากเกินไป การรอคอย การใช้คนไม่คุ้มค่า การขนส่งที่มากเกินไป กระบวนการที่มากเกินจำเป็น การเก็บสินค้าที่มากเกินไป และการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น

2. การรวมกัน (Combine) สามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลง โดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น การรวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม สามารถทำการผลิตได้เร็วขึ้น และลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนลงอีกด้วย เป็นต้น

3. การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย เช่น ในกระบวนการผลิต หากทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3 ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบจิ๊ก (Jig) หรือ Fixture เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 กำหนดปัญหาและเป้าหมายของโครงการ (Define)

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตภายในส่วนงานที่ทำการศึกษา ได้แก่ ส่วนงานผลิตการปั๊มขึ้นรูป (Stamping Process) เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้เครื่องกด (Press Machine) แม่พิมพ์ (Die) และตัด (Punch) เพื่อให้ได้ขนาดรูปร่างของวัสดุตามแบบที่ต้องการ และศึกษาข้อมูลทั่วไปของส่วนงานในกระบวนการผลิต (Production Process)

3.2 การวัดรายละเอียดด้านต่างๆ ของปัจจุบัน (Measure)

หลังจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการ

ทำงานในสายการผลิต พบว่าประสิทธิภาพการผลิตมีแนวโน้มลดลง สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของเวลาการหยุดเครื่องที่ไม่ทราบสาเหตุมากขึ้น จึงทำการวัดรายละเอียดกิจกรรมย่อยของการหยุดเครื่อง พบว่ามีทั้งหมด 6 กิจกรรม เพื่อทำการศึกษาหาสาเหตุของปัญหาที่มีผลกระทบต่อผลิตภาพการผลิตและเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

3.3 การวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze)

ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มขึ้นของ การสูญเสียเวลาในการผลิต (Running Time) ที่มีผลกระทบต่อการผลิตโดยใช้แผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยพิจารณาจาก หลักการ 4M 1E ได้แก่ พนักงาน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) การวัด (Measurement) และสิ่งแวดล้อม (Environment) จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ แท้จริงของปัญหาด้วยแผนภูมิ ทำไมทำไม (Why-Why Analysis) ขั้นตอนต่อมาคือการพิสูจน์สาเหตุ ที่แท้จริงของปัญหาที่ได้มาจากการวิเคราะห์แผนภูมิทำไมทำไมด้วยการใช้เทคนิคการศึกษางาน (Work Study) และเทคนิคการวิเคราะห์กิจกรรมร่วมเพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน ร่วมกับเครื่องจักรในสภาพการทำงานปัจจุบัน

3.4 การปรับปรุงขบวนการ (Improve)

ทำการนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหากิจกรรมที่ส่งผลทำให้เปอร์เซนต์การทำงานของเครื่องจักรลดลง ที่จะเกิดการสูญเสียเวลาในการผลิตชิ้นงาน (Running Time) อยู่ในสภาพวะเกินค่าเป้าหมายที่ทำการควบคุม (Over Target) โดยทำการแก้ปัญหาที่สาเหตุที่แท้จริง สาเหตุที่แท้จริงนั้นมาจากการคัดเลือกทุกสาเหตุที่ได้มาจากการวิเคราะห์แผนภูมิเหตุและผล แล้วนำแต่ละสาเหตุมาพิสูจน์หาสาเหตุที่แท้จริงผ่านการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิทำไมทำไม (Why-Why Analysis) เพื่อการแก้ไขปัญหาอย่าง ตรงจุด หลังจากได้สาเหตุที่แท้จริงแล้วผู้วิจัยจึงใช้เทคนิคการศึกษางาน (Work Study) ในการศึกษาขั้นตอนและเวลาในการทำงานอย่างละเอียด ประกอบกับการนำเทคนิคการลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS เข้ามาวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ

3.5 ควบคุมเพื่อรักษาประสิทธิภาพการผลิต (Control)

การสร้างแผนการติดตามตรวจสอบและควบคุมเพื่อประเมินผลกระทบของกระบวนการใหม่พร้อมกับติดตามผลว่า สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้จริงหรือไม่

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 กำหนดปัญหาและเป้าหมายของโครงการ (Define)

หลังจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการทำงานในสายการผลิต จากฐานข้อมูลในการผลิตของแผนกกรณีศึกษาย้อนหลังในปี 2567 พบว่าประสิทธิภาพการผลิตมีแนวโน้มลดลง สืบเนื่องมาจากในเดือนตุลาคม 2567-มกราคม 2568 การเพิ่มขึ้นของเวลาการหยุดเครื่องที่ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดมากขึ้น ร้อยละ 10 - 17 จากเวลาการสูญเปล่าที่เสียไปของเครื่องจักร 8 เครื่อง เฉลี่ย 30,152 นาทีต่อเดือน ซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้นและมีค่าสูงเกินกว่าค่าเป้าหมายที่ทำการควบคุมไว้ที่ ร้อยละ 7 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเวลาการสูญเปล่าของเครื่องจักร อยู่ในสภาวะเกินค่าเป้าหมายที่ทำการควบคุม (Over Target) ดังที่แสดงในรูปที่ 1

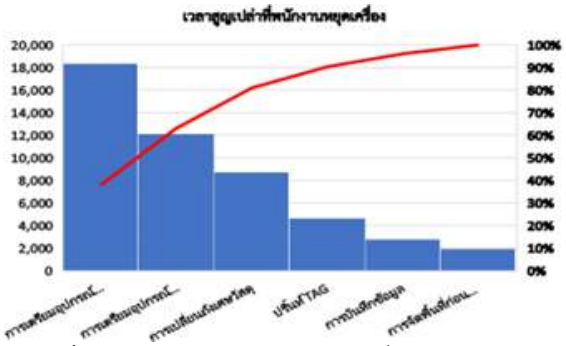
รูปที่ 1 แนวโน้มกิจกรรมที่เกิดเวลาสูญเปล่า
(ข้อมูลตั้งแต่เดือนตุลาคม 2567 ถึงเดือนมกราคม 2568)

4.2 การวัดรายละเอียดด้านต่างๆ ของปัจจุบัน (Measure)

หลังจากผู้วิจัยประเมินสภาพปัจจุบันของปัญหาที่คัดเลือกโดยใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อระบุขอบเขตของปัญหาประสิทธิภาพการผลิตเวลาสูญเปล่าที่พนักงานหยุดเครื่องในปัจจุบัน พบว่ามีทั้งหมด 6 กิจกรรม ที่อยู่ในกลุ่มของเวลาสูญเปล่ามากกว่าร้อยละ 92 ของเวลาสูญเปล่าทั้งหมด 48,566 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1 ผู้วิจัยใช้หลัก 80:20 ในการคัดเลือกกิจกรรมย่อยที่มีผลกระทบมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร กิจกรรมร้อยละ 80 มีทั้งหมด 3 กิจกรรม คือกิจกรรมที่ 1 การเตรียมอุปกรณ์ใส่ผลิตภัณฑ์ อยู่ที่ร้อยละ 92 ของเวลาการสูญเปล่า 18,384 นาทีต่อเดือน กิจกรรมที่ 2 การเตรียมอุปกรณ์ติดตั้งวัตถุดิบอยู่ที่ร้อยละ 61 ของเวลาการสูญเปล่า 12,120 นาทีต่อเดือน กิจกรรมที่ 3 การเปลี่ยนถังเศษชิ้นงานอยู่ที่ร้อยละ 44 ของเวลาการสูญเปล่า 8,707 นาทีต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 กิจกรรมที่อยู่ในกลุ่มของเวลาสูญเปล่า

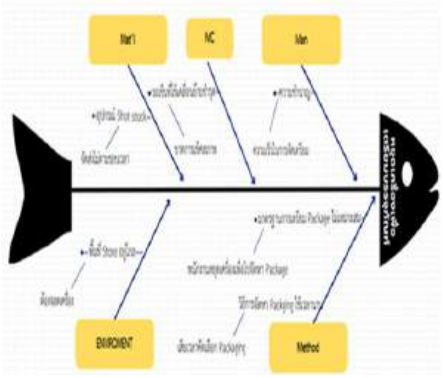
Activity information Other 1 month (8 Machines)			
ACTIVITY	MIN	ACC	ACC%
เตรียมอุปกรณ์ใส่ผลิตภัณฑ์	18384	18384	38%
เตรียมอุปกรณ์ Set Mat'l	12120	30504	63%
เปลี่ยนถัง Scap	8707	39211	81%
ปริ้น Tag	4653	43864	90%
ลง out put	2790	46654	96%
Clear Part ก่อน Set Mat'l	1912	48566	100%
เวลารวม (นาที)	48566	95220	



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตของกิจกรรมที่เกิดเวลาสูญเปล่า

4.3 การวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze)

ทำการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องที่อาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรอยู่ในสภาพวะเกินค่าเป้าหมายที่ทำการควบคุม (Over Target) โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อหาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับปัญหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรและกิจกรรมที่มีผลกระทบเวลาการหยุดทำงานของเครื่องจักร จากพิจารณาหลักการ 4M 1E และการใช้เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ใช้หลักการ 5W+1H และ Why-Why Analysis ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิก้างปลาการหยุดเครื่องของพนักงาน

ตารางที่ 2 สาเหตุของปัญหาจากสถานประกอบการ

ปัจจัย	ปัญหา	สาเหตุ
พนักงาน (Man)	ความชำนาญในการจัดเตรียม	ความเร็วในการจัดเตรียม ซึ่งต้องใช้เวลาในการแยกบรรจุภัณฑ์ออกจากตะกร้าซึ่งมีการหยุดเครื่องเพื่อเตรียมบรรจุภัณฑ์
เครื่องจักร (Machine)	รถเข็นที่ใช้สำหรับเครื่องย้ายชิ้นงานที่บรรจุภัณฑ์แล้ว	รถเข็นบางส่วนมีการชำรุดทำให้เกิดการขาดแคลนในด้านรถเข็นใส่ผลิตภัณฑ์ อาจส่งผลกระทบต่อการหยุดเครื่องเพื่อเตรียมบรรจุภัณฑ์
	เกิดการขัดข้องทางระบบไฟฟ้าของเครน	ต้องรอซ่อมบำรุง อาจส่งผลทำให้เกิดการเตรียม อุปกรณ์ติดตั้งวัตถุดิบนาน
วิธีการ (Method)	การเตรียมบรรจุภัณฑ์	พนักงานต้องหยุดเครื่องเดินไปที่สโตร์เพื่อไปจัดหาบรรจุภัณฑ์
	วิธีการจัดหาบรรจุภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้ถูกแยกไว้เมื่อมาถึงสโตร์ ซึ่งพนักงานต้องแยกบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้ใช้ออก
	มาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	มาตรฐานวิธีการทำงานไม่มีระบุผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอนที่ชัดเจน
วัตถุดิบ (Material)	วัตถุดิบที่ใส่บรรจุภัณฑ์มีไม่เพียงพอ	ตะกร้าที่ต้องกลับมาที่แผนกจัดส่งไม่ตามรอบเวลา อาจทำให้ส่งผลหยุดเครื่องเพื่อเตรียมบรรจุภัณฑ์
สิ่งแวดล้อม (Environment)	พื้นที่การทำงาน	เครื่องที่ทำงานและระยะทางจากสโตร์ มีระยะทางที่ไกลกันจึงจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อป้องกันงานล้นสายพาน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย 5W+1H และ Why Why Analysis

ประเด็น	สถานะปัจจุบัน	เหตุผล	
(WHAT) หวังผลอะไรกับวิธีการปัจจุบัน	ลดสัดส่วนกิจกรรมที่เกิดจากการหยุดเครื่องของพนักงานสูงขึ้น	(WHY) ทำไมต้องหวังผลอย่างนั้น	ลดเวลาในการตรวจสอบไม่มีชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานส่งถึงลูกค้า
(WHERE) งานมีปัญหาที่ใด	กระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน	(WHY) ทำไมถึงมีปัญหาที่นั้น	มีงานค้างในกระบวนการส่งงานได้ช้า
(WHEN) พบปัญหาเมื่อใด	รายงานแนวโน้มการเกิดเวลาสูญเปล่า เกินเป้าหมาย 7 เปอร์เซ็นต์	(WHY) ทำไมถึงทราบเวลานั้น	ได้รับข้อร้องเรียนชิ้นงานส่งคืน
(WHO) ใครเป็นผู้รับผิดชอบงานนี้	หัวหน้าแผนกงานผลิต Stamping	(WHY) ทำไมต้องใช้หัวหน้าแผนก	เกิดความต่อเนื่องในการปรับปรุงการปฏิบัติงาน
(HOW) ปัจจุบันมีวิธีการทำงานอย่างไร	มีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตจำนวน 8 เครื่อง ได้แก่ A1 - A8 มีพนักงานที่ประจำเครื่อง จำนวน 8 คน	(WHY) ทำไมจึงมีวิธีการดังนั้น	ยังไม่มีวิธีการอื่นที่ดีกว่า

4.4 การปรับปรุงขบวนการ (Improve)

หลังจากทราบสาเหตุของปัญหาที่ได้วิเคราะห์แล้ว จึงทำการระดมสมองเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาหรือปรับปรุงการปฏิบัติงานตามหลักการ ECRS โดยสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แนวทางการแก้ไขตามหลักการ ECRS

หลักการ	แนวทางการแก้ไข
(Eliminate) ปรับลดขั้นตอนได้หรือไม่	ทำไม่ได้ ไม่มีขั้นตอนที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้การปรับลดขั้นตอน
(Combine) รวมขั้นตอนอื่นเข้าด้วยกันได้อีกหรือไม่	ทำได้ รวมขั้นตอนโดยการให้พนักงานทำงานร่วมกันในกระบวนการเดียวกัน
(Rearrange) สามารถสลับขั้นตอนการทำงานได้หรือไม่	ปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานของพนักงานจากการทำงานโดยการเพิ่มพนักงานในกิจกรรมนั้นแล้วทำการจัดเรียงรูปแบบการทำงานใหม่ โดยจัดรูปแบบในการทำงานของพนักงานใหม่จากเดิมคือพนักงาน 1 คน ทำงาน 3 หน้าที่ ได้แก่ การติดตั้งวัตถุดิบ เตรียมบรรจุภัณฑ์และเปลี่ยนถังเศษชิ้นงาน โดยพนักงาน 1 คน จะต้องรับผิดชอบเครื่องจักร 1 เครื่อง ที่กล่าวมาคือเป็นแผนการทำงานแบบกำหนดคนให้อยู่ประจำกับเครื่องจักรที่ได้รับมอบหมาย จึงทำการปรับปรุงกำหนดหน้าที่จัดเรียงมาตรฐานการทำงานใหม่ให้กับพนักงานดังนี้ หน้าที่ติดตั้งแม่พิมพ์และวัตถุดิบจำนวน 2 คน หน้าที่เตรียมบรรจุภัณฑ์และหน้าที่เปลี่ยนถังเศษชิ้นงาน 1 คน ในแผนการปรับปรุงนี้ทำให้พนักงานมีความชำนาญในหน้าที่ในด้านนั้นๆ และยังทำให้พนักงานมีความเชี่ยวชาญที่หลากหลายไม่จำเพาะ
(Simplify) มีการปฏิบัติอื่นที่ง่ายกว่านี้หรือไม่	จัดทำมาตรฐานวิธีการทำงาน ระบุผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอนที่ชัดเจน มีออกแบบแบบฟอร์มใบสั่งบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้แต่ละเครื่อง เพื่อให้ง่ายต่อการเตรียมบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากขั้นตอนการทำงานเดิมเป็นขั้นตอนที่จำเป็นที่จะต้องมีในขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยพนักงานที่เครื่องต้องการอุปกรณ์อะไรไว้ล่วงหน้าให้เขียนจำนวนที่ต้องการและเอาแบบฟอร์มให้พนักงานซัพพอร์ต เพื่อให้ง่ายต่อการเตรียมบรรจุภัณฑ์

4.5 ควบคุมเพื่อรักษาประสิทธิภาพการผลิต (Control)

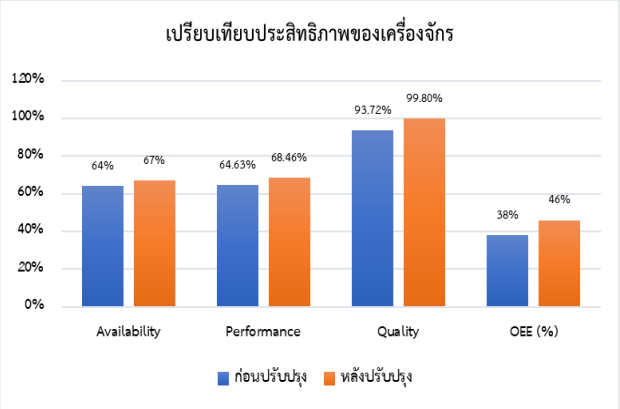
หลังจากการนำแนวทางที่ปรับปรุงไปทดลองใช้และผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ประการแรกเพื่อลดเวลากิจกรรมที่มีผลกระทบต่อ Utilization ที่อยู่ในกลุ่ม Other ให้ใกล้เคียงกับร้อยละ 7 ในแต่ละเดือน ประการต่อมาคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ของพนักงานหลังจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเอกสารคู่มือใน การปฏิบัติงาน (Work Instruction) เพื่อเป็นการควบคุมการปฏิบัติงานของพนักงานให้อยู่บนมาตรฐาน และเพื่อเป็นการรับรองว่าหากปฏิบัติตามวิธีการปรับปรุงดังกล่าวจะทำให้โอกาสที่จะเกิดกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพต่อเครื่องจักรน้อยลง

5. อภิปรายผล

งานวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาหลักการ ECRS ร่วมกับเครื่องมือการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาด้วยเครื่องมือการวิเคราะห์ปัญหาด้วย 5W+1H และ Why-Why Analysis เพื่อนำมาลดสัดส่วนเวลาสูญเปล่าที่เกิดจากการหยุดเครื่องจักรของพนักงาน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำหลักการดังกล่าวมาเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในขั้นตอนอื่นได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรพงศ์ เกิดลาภีและสิริรัตน์ พึ่งชมภู (2564) [6] ซึ่งประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพในการวิเคราะห์การสูญเสียจากการหยุดกะทันหันของเครื่องจักรด้วยแผนภาพพาเรโต สามารถเพิ่มค่า OEE จากร้อยละ 68.25 เป็นร้อยละ 74.10

6. สรุป

ผลการเปรียบเทียบระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2568 จะเห็นได้ว่าในเดือนกุมภาพันธ์มีค่า OEE เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 38 เป็นร้อยละ 46 เพิ่มผลผลิตต่อเดือน เป็นจำนวน 821,495 ชิ้นต่อเดือน จากเดิม 790,374 ชิ้นต่อเดือน ผลผลิตเพิ่มขึ้น 31,121 ชิ้น ชิ้นงานมีมูลค่าชิ้นละ 6 บาท คิดเป็นมูลค่าที่เพิ่มขึ้น 186,726 บาทต่อเดือนและลดเวลาการสูญเปล่าได้ถึง 900 นาทีต่อเดือนหรือ 15 ชั่วโมงต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสามารถลดเวลาการหยุดเครื่องจักรของพนักงานไม่เกิน ร้อยละ 7 ตามวัตถุประงค์ที่ตั้งไว้ โดยมีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา คือควรมีการฝึกอบรมพนักงานเพื่อให้พนักงานมีความชำนาญในการทำงานมากยิ่งขึ้น ควบคู่ไปกับการทดสอบความรู้ความเข้าใจในเนื้องานของพนักงานเพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่าพนักงานมีความชำนาญและความเข้าใจในขั้นตอนของการปฏิบัติงานอย่างแท้จริง และการวางรอบเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่หรืออาจต้องควบคุมกระบวนการปรับตั้งวัตถุดิบซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมของฝ่ายงานผลิต



เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักร			
ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลลัพธ์
Availability	64%	67%	3%
Performance	64.63%	68.46%	4%
Quality	93.72%	99.80%	6.07%
OEE(%)	38%	46%	8%

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรนิกส์กรณีศึกษาในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่รับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต เข้าปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและร่วมทำงานวิจัยกับทีมอาจารย์ที่ปรึกษา

8. เอกสารอ้างอิง

[1] พิมพ์นารา หิรัญกสิ (2568). แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทยปี 2568 – 2570. วารสารวิจัยกรุงศรี มกราคม 2568.

[2] อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา (2556). ไคเซ็น การปรับปรุงไม่มีที่สิ้นสุด.บทความวิชาการ Kaizen-2556. ข้อมูลจาก http://blog.bru.ac.th/2019 (สืบค้น 11 มีนาคม 2566)

[3] Kaizen & QCC เครื่องมือการเพิ่มผลิตภาพเพื่อการพัฒนาองค์กร.(2560). ข้อมูลจาก https://piu.ftpi.or.th/wp- content (สืบค้น11 มีนาคม 2566)

[4] ธนพัฒน์ พรรธนะประเทศ (2565). คลังความรู้เรื่อง DMAIC–Six Sigma. Supply Chain Guru [ระบบออนไลน์]. ข้อมูลจากhttps://supplychainguru.co.th/

articles/operations/dmaic-six-sigma/ (สืบค้น 11 มีนาคม 2568)

[5] ประเสริฐ อัครประถมพงศ์(2552). “การลดความสูญเปล่า ด้วยหลักการ ECRS” [ระบบออนไลน์]. ข้อมูลจาก http://cpico.wordpress.com/2009/11/29/การลดความสูญเปล่าด้วย (สืบค้น 24 มกราคม 2568)

[6] ภัทรพงศ์ เกิดลาภีและสิริรัตน์ พึ่งชมภู.(2564).การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรโดยรวมโดยการลดความสูญเสียและประยุกต์ใช้ TPM ของกระบวนการผลิตเต้าหู้ปลา.การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2564 วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2564 โรงแรมเดอะเบด เวเคชั่น ราชมังคลา จังหวัดสงขลา.

[7] สินมหัต ฝ่ายลุย รุ่งเพชร รัศมี วีรพงศ์ นุพพล วิษณุ แฟงเมือง และภัทรพงศ์ เกิดลาภี.(2566).การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการประกอบเครื่องจักรโดยใช้หลักการไคเซ็น กรณีศึกษา บริษัทออกแบบติดตั้งระบบอัตโนมัติ. วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (2566): กรกฎาคม – ธันวาคม หน้า 61-69.

การศึกษาการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ขนาด 80 x 220 ซม. เพื่อหาแนวทาง ในการบริหารต้นทุนการผลิตและผลตอบแทน กรณีศึกษา กลุ่มคนพิการบ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

A Study on Prasat Muang Tam Patterned Reed Mat Weaving (80 x 220 cm) to Explore Cost and Return Management Strategies: A Case Study of the Disabled Group in Ban Khok Mueang, Chorakhe Mak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province

สังวาลย์ นาครินทร์[1] จีระนันท์ ปริเตนัง[2] และ นิตยา เบิกบาน[3*]
[1] สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
[2] สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยการอาชีพลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์
[3]สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5

Sangwan Nakarin[1] Jeeranan Paritenang[2] and Nitya Beikbank[3*]
[1] Department of Accounting. Buriram Technical College.Institute of Vocational Education Norteastem Region 5
E-mail: nkr2560@gmail.com
[2] Department of Accounting, Lamplaimat Community Education College
E-mail: mimigirl_at@hotmail.com
[3] Department of Accounting. Buriram Technical College.Institute of Vocational Education Norteastem Region 5
E-mail: nitaya30082530@gmail.com[3*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาต้นทุนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำขนาด 80x220 ซม. กรณีศึกษากลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 2) เพื่อศึกษาผลตอบแทนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำและ 3) เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบริหารต้นทุนการผลิตเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ผลการวิจัยพบว่า 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 14 คน รองลงมาเป็นเพศชายจำนวน 1 คน ส่วนใหญ่มีอายุ 50 - 60 ปี ระดับการศึกษาสูงสุดทั้งหมดเป็นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 15 คน ประสบการณ์ในการทอเสื่อกก ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ การทอ 10 – 20 ปี จำนวน 11 คน รองลงมามากกว่า 20 ปี จำนวน 3 คน และ 5 – 10 ปี จำนวน 1 คน 2) ต้นทุนการผลิตการทอเสื่อกกยกลาย

ปราสาทเมืองต่ำ เฉลี่ยต่อปีและต่อผืนรวมทั้งสิ้น 261,668.52 บาท และ 703.41 บาท ประกอบด้วย วัตถุดิบ คือ ต้นกกเฉลี่ยต่อปีและต่อผืน เท่ากับ 74,400 บาท และ 200 บาท และค่าแรงงานทางตรงเฉลี่ยต่อปีและต่อผืน รวมทั้งสิ้น 70,680 บาท และ 190 บาท ค่าแรงงานทางตรงที่มีจำนวนมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ค่าแรงงานการทอ ค่าแรงงานในการสอยกก ค่าแรงงานการตัดกกและค่าย้อมกก ค่าใช้จ่ายในการผลิตเฉลี่ยต่อปีและต่อผืน รวมทั้งสิ้น 116,588.52 บาท และ 313.41 บาท ค่าใช้จ่ายในการผลิตจำแนกเป็น ค่าใช้จ่ายในการผลิตผันแปร ที่มีจำนวนมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ค่าฟืน โคลน มีดและเชือกไนลอน ส่วนค่าใช้จ่ายในการผลิตคงที่ ที่มีจำนวนมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ค่าเสื่อมราคากี่ ค่าเสื่อมราคาฟืม ค่าเสื่อมราคาตลับเมตร ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารต่อปีและต่อผืน 41,039.04 บาท และ 110.32 บาทจำนวนที่ผลิตต่อปี เท่ากับ 372 ผืน รายได้จากการขายต่อผืน 1,500 บาท และรายได้จากการขายต่อปี และต่อผืน 558,000 บาท และ 1,500 บาท มีกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปีและต่อผืนปีละ 255,292.44 บาท และ 686.27 บาท (ร้อยละ 45.75) 2) ผลตอบแทนที่ได้ ผลตอบแทนจำแนกเป็นอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เฉลี่ยต่อปี (ร้อยละ 70.19) และอัตราส่วนกำไรจากการดำเนินงานต่อขายสุทธิเฉลี่ยต่อปี (ร้อยละ 45.75) 3) แนวทางในการบริหารต้นทุน ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตบางอย่างสามารถผลิตเอง เช่น ต้นกกสามารถปลูกเองได้ เพื่อช่วยลดต้นทุนการในผลิต

คำหลัก ศึกษาต้นทุน, ศึกษาผลตอบแทน

Abstract

This research aimed to: (1) analyze the production cost of Prasat Muang Tam patterned reed mat weaving (80x220 cm) by the disabled group in Ban Khok Mueang, Chorakhe Mak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province; (2) evaluate the returns from mat production; and (3) propose cost management strategies.The study revealed that most of the weavers were women aged between 50–60 years, with primary education and weaving experience of 10–20 years. The total average production cost was 261,668.52 THB per year and 703.41 THB per mat. Key cost components included raw materials (reed), direct labor (weaving, sewing, cutting, and dyeing), and manufacturing overhead. Selling and administrative expenses amounted to 41,039.04 THB annually.Annual production totaled 372 mats, sold at 1,500 THB each, generating 558,000 THB in annual revenue. The average net profit was 255,292.44 THB per year (686.27 THB per mat), with a 45.75% net profit margin. The average return on investment (ROI) was 70.19%. The study suggests that cultivating reed locally can effectively reduce production costs and enhance profitability.

Keywords: Cost Analysis, Return Analysis.

บทนำ

การทอเสื่อกก เป็นอาชีพดั้งเดิมของประชาชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ชาวอีสาน) โดยใช้เวลาที่ว่างจากการทำไร่ทำนามาทำการทอเสื่อกกโดยนำกกหรือไหลที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ มาทอเป็นเสื่อหรือที่ชาวอีสานเรียกว่า สาด เพื่อไว้ใช้ในครัวเรือน เสื่อที่ชาวอีสานนิยมใช้มักมีสีสันสดใสด้วยสีย้อมจากสีเคมี แต่กลุ่มทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ขนาด 80X220 ซม.กรณีศึกษากลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ได้พัฒนาการย้อมสีจากสีเคมีมาเป็นสีจากธรรมชาติ โดยกรรมวิธีในการย้อม ก่อนย้อมสี ต้องเหลาเส้นกกให้มีขนาดต่าง ๆ เพื่อให้สะดวกต่อการย้อม ส่วนลวดลายที่ใช้ในการทอ รวมไปถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าซึ่งลูกค้า มีทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การทอเสื่อกกมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ขั้นตอนการเตรียมเส้นกกให้เป็นเส้นขนาดพอดีกับความต้องการ มีการย้อมสีธรรมชาติ โดยนำภูมิปัญญาท้องถิ่น

กลับมาใช้ในการย้อมสีของเส้นกกโดยใช้สีจากธรรมชาติ เช่น ใบมะม่วง (สีน้ำตาล) ใบกระโดน (สีดำ) หมากสุก (สีส้ม) พร้อมกับประยุกต์การหมักเส้นกก โดยใช้โคลนในการหมักกกเพื่อให้ได้สีสวยและติดทนทาน การทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ เสื่อที่ทอมีลวดลายแบบดั้งเดิมที่มีความสวยงาม และลวดลายที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ ผลิตภัณฑ์จากการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ที่รู้จักกันดีของชุมชนบ้านโคกเมือง คือ การทอเสื่อกกยกลายที่มีลายอันเป็นเอกลักษณ์ของชุมชนนอกจากลายปราสาทเมืองต่ำแล้ว และมีลวดลายอื่น ๆ เช่น ลายขอเจ้าฟ้าสิริวัณณวรี ลายหัวใจขุนแผน ลายผักกูด ลายนกกระเรียน ลายดอกแก้วลำดวน ลายขอโบราณ ด้วยความสามารถในการแกะลวดลายของสมาชิกกลุ่มทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ของกลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ การทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ จะใช้เวลาในการทอ 1 ผืน ประมาณ 10 วัน ราคาขายอยู่ที่ 1,500 บาท/ผืน จากการที่ผู้วิจัยได้ลงไปสัมภาษณ์กลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง พบว่า ไม่มีการบันทึกต้นทุนและผลตอบแทนจากการขายเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ทำให้กลุ่มคนพิการดังกล่าวไม่ทราบกำไรที่แท้จริง

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยสนใจการศึกษาการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำเพื่อหาแนวทางในการบริหารต้นทุนการผลิต กรณีศึกษากลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็น ผลิตภัณฑ์วัฒนธรรมไทย ของจังหวัด ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้กลุ่มได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้จากการทอเสื่อกกที่แท้จริง ส่งผลให้กลุ่มสามารถนำไปใช้เป็นกำหนดแนวทางในการตั้งราคาขายให้สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตเสื่อกกได้อย่างเหมาะสม ทำให้กลุ่มเกิดการบริหารจัดการ และการควบคุมต้นทุนจากการทอเสื่อกกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันต่อไปอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของวิจัย

1. เพื่อศึกษาต้นทุนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำขนาด 80x220 ซม. กรณีศึกษากลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์
2. เพื่อศึกษาผลตอบแทนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ
3. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบริหารต้นทุนการผลิตเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ กลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ อายุตั้งแต่ 50 ปี ขึ้นไป และมีประสบการณ์ในการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป จำนวน 15 คน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ศึกษาต้นทุนการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ

ตารางที่ 1 รายละเอียดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเสื่อกกยกลายปราสาทเมือง และรายละเอียดรายได้

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)		ร้อยละ
	ต่อปี	ต่อผืน	
1.วัตถุดิบ (กก)	74,400.00	200.00	28.43
2.ค่าแรงงานทางตรง (ตัดกก, สอย, ย้อม, ทอ)	70,680.00	190.00	27.01
3. ค่าใช้จ่ายในการผลิต (สี, ฟืน, โคลน, น้ำ, มีด, เชือกไนล่อน, ค่าไฟฟ้า ค่าเสื่อมราคา ประกอบด้วย			

กี่,ฟืม,ไม้พุ่ง, ภาชนะเคลือบ ปี๊ป, เตาสามขา, มีด, กรรไกร, เข็ม กระสอบข้าว, ตลับเมตร, บ่อพัก)	116,588.52	313.41	44.56
รวมต้นทุนการผลิต	**261,668.52**	**703.41**	**100**
4. ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร	41,039.04	110.32	15.68
5. จำนวนที่ผลิตได้ต่อปี (ผืน)	372		
6. รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	302,707.56	813.73	
7. รายได้ต่อปี (372 ผืนๆ ละ 1,500 บาท)	558,000	1,500	
กำไรสุทธิ	**255,292.44**	**686.27**	**45.75**

จากตารางที่ 1 พบว่า การทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ มีกำไรสุทธิต่อปีและต่อผืน เท่ากับ 255,292.44 บาท และ 686.27 บาท (ร้อยละ 45.75)

2. การศึกษาผลตอบแทนจากการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ จำแนกได้ดังนี้

2.1 อัตราผลตอบแทนจากเงินลงทุน (ROI), อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์รวม (ROI) เงินลงทุน = เงินลงทุนในต้นทุนการผลิต + ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร + สินทรัพย์ไม่หมุนเวียน

ตารางที่ 2 ราคาอุปกรณ์ในการผลิต (สินทรัพย์ไม่หมุนเวียน)

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	อุปกรณ์ในการผลิต (บาท)
กี่	15 อัน	3,000.00	45,000.00
ฟืม	15 อัน	700.00	10,500.00
ไม้พุ่ง	15 อัน	50.00	750.00
เส้น			
ปี๊บ	30 ใบ	10.00	300.00
เตาสามขา	8 ใบ	120.00	960.00
มีด	15 เล่ม	45.00	675.00
กรรไกร	15 อัน	45.00	675.00
เข็ม	15 ด้าม	10.00	150.00
ตลับเมตร	15 อัน	65.00	975.00
บ่อพัก	5 บ่อ	200.00	1,000.00
รวม		**4,245**	**60,985.00**

จากตารางที่ 2 มูลค่าของสินทรัพย์ถาวร ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิต โดยคิดตามมูลค่าที่ลงทุนครั้งแรกต่อปี จำนวน 60,985 บาท

ตารางที่ 3 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI)

เงินลงทุน =261,668.52 + 41,039.04 + 60,985	$= \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{เงินลงทุน}} x100$
	$= \frac{255,292.44}{363,692.56}$ X100
	= 70.19% ต่อปี

จากตารางที่ 3 อัตราผลตอบแทนจากเงินลงทุนเฉลี่ยต่อปี หมายความว่าจากการลงทุนในการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ 100 บาท ก่อให้เกิดผลตอบแทนจากการลงทุน จำนวน 70.19 บาท

2.2 อัตรากำไรจากการดำเนินงานต่อขายสุทธิ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการทำกำไร ซึ่งจะรวมถึงความสามารถในการจัดการหรือบริหารต้นทุนว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

ตารางที่ 4 แสดงอัตรากำไรจากการดำเนินงานต่อยอดขาย

อัตราส่วนกำไรจากการดำเนินงานต่อขายสุทธิ	$= \frac{\text{กำไรจากการดำเนินงาน}}{\text{ขายสุทธิ}} \times 100$
	$= \frac{255,292.44}{558,000} \times 100$
	= 45.75% ต่อปี

จากตารางที่ 4 อัตรากำไรจากการดำเนินงานต่อขายสุทธิต่อปี 45.75% หมายความว่า ความสามารถในการทำกำไร จากการขายเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ 100 บาท ก่อให้เกิดกำไร จำนวน 45.75 บาท

3. แนวทางในการบริหารต้นทุน ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตบางอย่างสามารถผลิตเอง เช่น ต้นกกสามารถปลูกเองเพื่อช่วยลดต้นทุนการในผลิต

เอกสารอ้างอิง

[1] ผลิตภัณฑ์วัฒนธรรมไทย CPOT ประจำปี 2564 จังหวัดบุรีรัมย์, สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดบุรีรัมย์

[2] พรเทพ รัตนตรัยภพ, “หลักการบัญชีต้นทุน” สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2564, หน้า 16-17

[3] เบญจมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ, “การบัญชีต้นทุน 1” สำนักพิมพ์ แพนด้าเลิร์นนิ่งบุ๊ค, 2562, หน้า 26-27

[4] ดวงกมล โกมารทัต, “การบัญชีต้นทุน” สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559, หน้า 37-39

[5] เพชรี ขุมทรัพย์, “วิเคราะห์งบการเงิน หลักและการประยุกต์” สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2559, หน้า 309-317

[6] เฉลิมขวัญ ครุฑบุญยงค์, “การวิเคราะห์รายงานทางการเงิน” สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั้น จำกัด (มหาชน), 2554, หน้า 89-91

[7] เฉลิมขวัญ ครุฑบุญยงค์, “การเงินธุรกิจ” สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั้น จำกัด (มหาชน), 2554, หน้า 60-61

แบบสัมภาษณ์

เรื่อง การศึกษาการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ขนาด 80 x 220 ซม. เพื่อหาแนวทางในการบริหารต้นทุนการผลิต และผลตอบแทน กรณีศึกษา กลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

แบบสัมภาษณ์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการวิจัย การศึกษาการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำขนาด 80 x 220 ซม. เพื่อหาแนวทาง ในการบริหารต้นทุนการผลิต กรณีศึกษา กลุ่มคนพิการ บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ แบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

ชื่อ (นาย/นาง/นางสาว).....

นามสกุล.....

.....

บ้านเลขที่.....หมู่ที่ 6 บ้านโคกเมือง ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

วัน/เดือน/ปี ที่สัมภาษณ์.....

ชื่อผู้สัมภาษณ์.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. อายุ.....ปี
3. ระดับการศึกษาสูงสุด .....
4. ประสบการณ์ในการทอเสื่อกก.....ปี

ตอนที่ 2 การดำเนินงานการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ ขนาด 80x220 ซม. แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่

1. ต้นทุนการผลิต

1.1 ต้นทุนการซื้อวัตถุดิบในการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ

รายการ	ซื้อ		
	ปริมาณ	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
1. ต้นกก 2. สีสำหรับการย้อม 2.1 เคมี (ระบุ) .... 2.2 อื่นๆ (ระบุ)			

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ และวัสดุที่ใช้สำหรับการทอเสื่อกกลายปราสาทเมืองต่ำ

รายการ	วัสดุที่ใช้		จำนวนเงินรวม
	ปริมาณ	ราคา	
1. การย้อมสี 1.1 โคลน 1.2 ฟืน 1.3 น้ำ 1.4 ถ่าน 1.5 อื่นๆ (ระบุ)			

1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาทต่อหน่อย)	ราคารวม (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท)
- กี่สำหรับการทอ					
- ฟืม					
- เชือกไนลอน					
-ไม้พุ่งเส้น					
- ภาชนะเคลือบ (ปีบ)					
- เตา					
- มีด					
- กรรไกร					
- หม้อ					
-ตลับเมตร					
- เข็มเย็บกระสอบข้าว					
- ปากกาเคมี					
- อื่นๆ (ระบุ)					

1.4 วัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต

รายการ	ซื้อ		
	จำนวนหน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ฟืน			
- ไม้พุ่งเส้น			
- ปากกาเคมี			
- อื่นๆ (ระบุ)			

1.5 การใช้แรงงานจ้างและแรงงานในครอบครัวในการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ

รายการ	แรงงานจ้าง					แรงงานตนเองหรือฟรีและหรือแลกเปลี่ยน				
	จำนวนครั้ง	จ้างครั้งละ			อัตราจ้าง	รวมค่าจ้าง	ครั้งละ			จำนวน	มูลค่า
		คน	วัน	ชม.			คน	วัน	ชม.		
การสอย											
การ											
การทอ											
อื่น ๆ (ระบุ)											

2. ผลตอบแทนจากการผลิต

2.1 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม (บาท)
- จากการทอเสื่อกกยกลาย			
- จากการขายต้นกก			
รวมรายได้ทั้งหมด			

2.2 การตลาด

2.2.1 ผู้กำหนดราคาในการขาย

( ) กลุ่มผู้ทอเสื่อกก

( ) พ่อค้าคนกลาง

( ) ตามราคาตลาด

( ) ต่อรองราคา

ระหว่างผู้ซื้อ - ผู้ขาย

3. ปัญหาและข้อเสนอแนะในการทอเสื่อกกยกลายปราสาทเมืองต่ำ

……..

.....

.....

การประยุกต์เครื่องมือคุณภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ

Application of Quality Tools for Waste Reduction in Air Conditioner Part Production

ฉกาจ เชื่อดี[1] ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล[1*] สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ[1] รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[1] สุรพจน์ วัชโรภากุล[1]
นรารักษ์ บุตรชา[1] และพงศธร ขุนนามวงษ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Chakat Chueadee[1] Thanasak Rattanapoottabul[1*] Surasak Matitopanum[1] Rungwasun Kraiklang[1]
Suraphot Watcharophakul[1] Nararak Budcha[1] and Phongsathon Khunnamwong[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: thanasak.ra @rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหางานเสียและปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 ของบริษัทกรณีศึกษา โดยนำเครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ แผนภาพสาเหตุและผล, การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA), แผนภูมิพาเรโต และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงจากร้อยละ 1.19 เหลือร้อยละ 0.18 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 84.87 โดยผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติยืนยันว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลลัพธ์ของการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือคุณภาพอย่างเป็นระบบสามารถช่วยลดของเสีย เพิ่มผลผลิต และพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำหลัก การปรับปรุงกระบวนการผลิต, การลดของเสีย, แผนภาพสาเหตุและผล, FMEA, การวิเคราะห์สมมุติฐานทางสถิติ

Abstract

The objective of this research was to analyze the root causes of defects and improve the production process of air conditioner parts, model Piston 303, at Case Study Company. Quality improvement tools, including Cause and Effect Diagram, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Pareto Chart, and Hypothesis Testing, were applied to analyze and enhance the production process. The results showed that the defect rate decreased from 1.19% to 0.18%, representing a 84.87% reduction. Statistical hypothesis testing confirmed a significant difference at a 95% confidence level. The findings indicate that systematic application of quality improvement tools effectively reduces waste, increases production efficiency, and contributes to sustainable process development.

Keywords: Process Improvement, Waste Reduction, Cause and Effect Diagram, FMEA, Hypothesis Testing

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตต้องเผชิญกับการแข่งขันที่เพิ่มสูงขึ้นจากความต้องการของตลาดและแรงกดดันด้านต้นทุน ส่งผลให้องค์กรต่าง ๆ จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดของเสีย และยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขันขององค์กร [1] ทั้งนี้ การลดความสูญเสียไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่ยังส่งผลต่อความยั่งยืนของระบบการผลิตในระยะยาว [2] นอกจากนี้ การดำเนินงานเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องยังเป็นแนวทางสำคัญในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันในอุตสาหกรรม [3]

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 ของบริษัทกรณีศึกษา พบว่ากระบวนการผลิตยังคงประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ อันเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการปฏิบัติงานของพนักงาน ความไม่สม่ำเสมอของเครื่องจักร รวมถึงข้อบกพร่องในกระบวนการควบคุมคุณภาพ สถานการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนโดยรวมขององค์กร อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยแนวทางที่เป็นระบบและได้รับการพิสูจน์ในเชิงวิชาการว่าให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ งานวิจัยนี้จึงนำเครื่องมือคุณภาพที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลมาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่แท้จริง [4-5] การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) เพื่อประเมินระดับความรุนแรง ความถี่ในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวในกระบวนการ [6-7] แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) สำหรับจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหางานเสีย [8-9] และ การวิเคราะห์สมมุติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing) เพื่อประเมินผลลัพธ์ของการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Minitab เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ [10-11]

การดำเนินงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหางานเสีย และพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมุ่งหวังว่าผลลัพธ์ของการศึกษาจะสามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มอัตราผลผลิต และเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานที่เป็นระบบประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

2.1 ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา

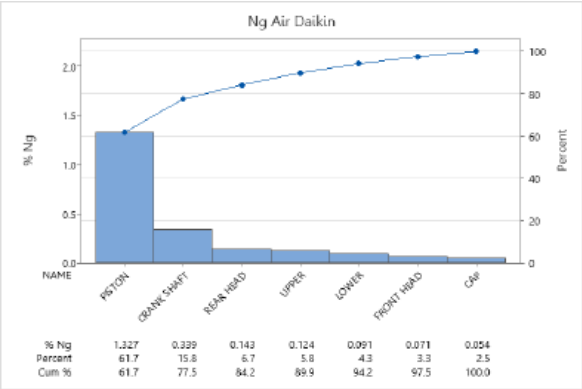
ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 ของโรงงาน 1 มีสัดส่วนงานเสียมากที่สุด ซึ่งมีสัดส่วนเสียอยู่ทั้งหมด 1.327% คิดเป็นร้อยละ 61.7 ของงานเสียทั้งหมด ดังนั้นเป้าหมายในการวิจัยได้ทำการเจาะจงไปที่ชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303

สถานีงาน	รายละเอียดกระบวนการ
OP1	ปาดหน้าด้านที่มีตัวหนังสือและคว้านรู ID
OP2	ปาดหน้าด้านที่ไม่มีตัวหนังสือและทำ OD ตรงปีกพร้อมกัดร่องที่หัว
OP3	กัดปีกรอบนอก ทำบ่าแหวนกับร่องน้ำมันในรูทั้งสองด้าน และกัด OD รอบนอก

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องปรับอากาศ Air Daikin พบว่ามีงานเสียเกิดขึ้นเป็นระยะ จึงได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลสัดส่วน

ของเสีย ภายในเดือนกรกฎาคม 2567 จากนั้นจึงสรุปข้อมูลได้ทั้งหมด ดังนี้

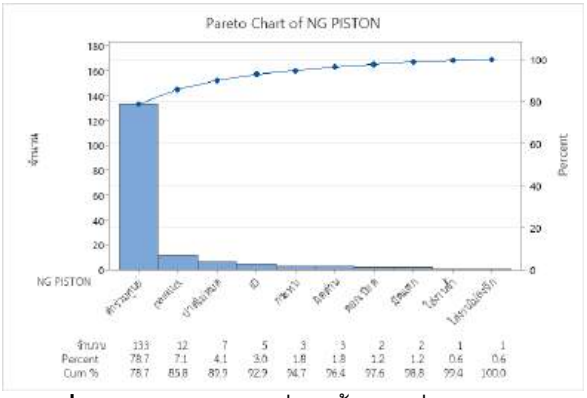


รูปที่ 1 สัดส่วนของเสียของชิ้นส่วนของเครื่องปรับอากาศ Air Daikin

จากข้อมูลงานเสียของ Air Daikin ภายในเดือนกรกฎาคม 2567 จะเห็นได้ว่า Piston 303 ถูกพบว่ามีงานเสียมากที่สุด ซึ่งมีงานเสียอยู่ทั้งหมด 1.327% คิดเป็นร้อยละ 61.7 ของงานเสียทั้งหมด ดังนั้นเลือกชิ้นงาน Piston เป็นกรณีศึกษา และทำการปรับปรุงแก้ไข โดยตรวจสอบปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดและได้สรุปผลออกมาเป็นตารางที่ 2 และแผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลงานเสียก่อนปรับปรุง Piston 303 (หน่วย : ชิ้น)

สัปดาห์ที่	ปริมาณการผลิต	จำนวนงานดี	จำนวนงานเสีย	ร้อยละของเสีย
1	3486	3443	43	1.23
2	3483	3444	39	1.12
3	3786	3742	44	1.16
4	3421	3378	43	1.26
รวม	**14176**	**14007**	**169**	**1.19**

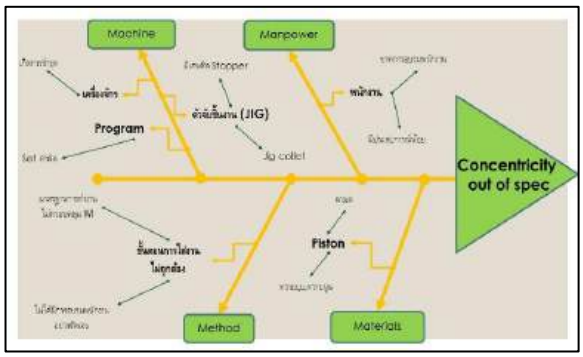


รูปที่ 2 ปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด (ก่อนการแก้ไข)

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 2 สรุปได้ว่าประเภทของงานเสียใน Line Piston 303 ที่มีมากที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ ค่าร่วมศูนย์, ค่าขนาน, ปาดไม่หมด, ID เล็ก, งานกระทบ, ผิดด้าน, ดอกเบี้ยด, มีดแตก, ใส่งานซ้ำ, ใส่งานไม่ลงจิ๊ก จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนวิเคราะห์ปัจจัยของปัญหาซึ่งเราได้นำงานเสียจากค่าร่วมศูนย์มาวิเคราะห์และแก้ไข

2.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

พบว่าปัญหาค่าร่วมศูนย์ เกิดจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตของสถานีงานที่ 3 ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงเลือกวิธีการที่จะวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย โดยใช้หลักการ 4M คือ กำลังคน (Manpower) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และกระบวนการ/วิธีการทำงาน (Method) โดยการแลกเปลี่ยนความคิดกับผู้บังคับบัญชาทุกระดับชั้น วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาแสดงปัญหาค่าร่วมศูนย์

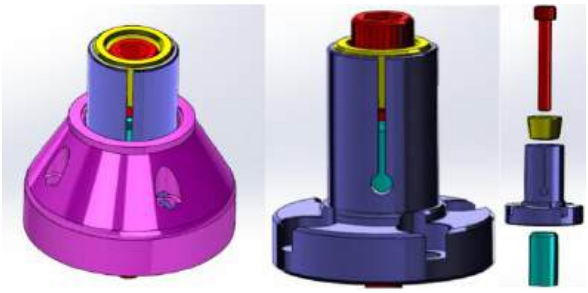
2.3 การประเมินความเสี่ยงและกำหนดแนวทางแก้ไข

จากรูปที่ 3 เมื่อได้สาเหตุของปัญหาแล้ว ทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยใช้หลักการการชี้บ่งอันตรายแบบวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อศึกษาว่ากระบวนการทำงานใดที่ส่งผลทำให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิต Piston ทำการประเมินความเสี่ยงโดยอาศัยตัวเลขลำดับก่อนและหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN) ดังตารางที่ 3

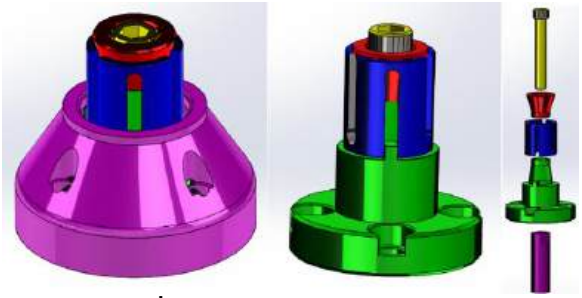
ตารางที่ 3 คะแนนที่ส่งผลเสียที่เกิดขึ้นของปัญหางานเสียชนิดค่าร่วมศูนย์

ปัจจัย		คะแนนที่ส่งผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น			RPN	ลำดับ
		ความรุนแรง	ความถี่	ความเป็นไปได้		
1.Materials(วัตถุดิบ)						
Piston	ทรายยุบ	5	4	1	20	10
	ตามด	2	4	1	8	11
2.Method (กระบวนการ)						
ขั้นตอนการใส่งาน	WI ไม่ครอบคลุม	8	5	9	360	2
	ระบุไม่ชัดเจน	8	2	7	112	7
3.Machine(เครื่องจักร)						
เครื่องจักร	เกิดการชำรุด	8	1	3	24	9
Program	ค่างานผิด	6	2	7	84	8
ตัวจับชิ้นงาน	Stopper	8	6	5	240	5
	Jig Collet	8	7	9	504	1
4.Man power (กำลังคน)						
พนักงาน	ประสบการณ์น้อย	7	4	7	196	6
	ยังไม่ผ่านการอบรมจากลีดเดอร์	7	5	7	245	4
	ใส่งานไม่ถูกต้อง	8	5	7	280	3

จากตารางที่ 3 ได้นำปัญหามาจัดลำดับความสำคัญเพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่เป็นสาเหตุหลักของกระบวนการผลิต Piston 303 พบว่าปัจจัย Jig Collet มีคะแนนมากที่สุด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการแก้ไขและปรับปรุง Jig Collet แบบใหม่ โดยการศึกษาการทำงานของ Jig Collet แบบเก่า พบว่าใช้ Collet ที่ยึดติดกับ Jig ทำให้ลูกเบ่งขยาย Collet ถ่างออกเฉพาะด้านบนทำให้เกิดงานเอียง ส่งผลให้ค่าร่วมศูนย์เยื้องกัน ดังรูปที่ 4 ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้าง Jig Collet แบบใหม่ โดยให้ Collet แยกกับ Jig เพื่อให้ Collet แยกเป็นอิสระ วิธีการทำงานคือไฮดรอริคจะดึงลูกเบ่งตัวด้านบนพร้อมกับ Collet ลงไปรับกับลูกเบ่งตัวด้านล่างในเวลาเดียวกัน ทำให้เวลาที่พนักงานใส่งานนั่นไม่ต้องประคองชิ้นงาน เพราะลูกเบ่งตัวด้านบนจะดึง collet ให้ถ่างออกตัวชิ้นงานก็จะลงไปพร้อมกันกับ collet เพื่อที่จะทำให้ชิ้นงานแนบลงกับ stopper ได้อย่างแนบสนิท ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ลักษณะ jig collet แบบเก่า



รูปที่ 5 ลักษณะ jig collet แบบใหม่

2.4 การตรวจสอบผลการปรับปรุง

หลังจากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้ว ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตและของเสียใหม่อีกครั้ง และดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย การวิเคราะห์สมมุติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing) โดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อทดสอบความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนที่กำหนด สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

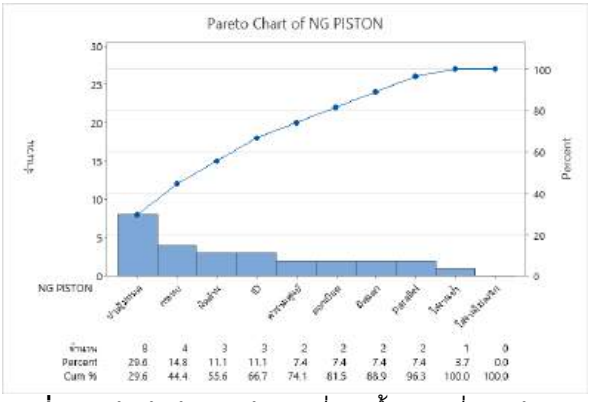
3.1 ผลการดำเนินงาน

หลังจากปรับปรุงและแก้ไขปัญหางานเสีย โดยใช้แผนภูมิพาเรโต แผนผังก้างปลา และตาราง RPN ในการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไข กระบวนการผลิตของ Piston 303 ซึ่งปัญหาที่ควรจะแก้ไขเร่งด่วน ซึ่งมีปัญหาหลักได้แก่ ปัญหาค่าร่วมศูนย์ หลังจากคณะผู้จัดทำได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้ว จึงเริ่มติดตามผลในเดือนกันยายน 2567 โดยแบ่งการติดตามผลเป็น 4 สัปดาห์ มาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุงในเดือนกรกฎาคม 2567 โดยข้อมูลหลังจากการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต Piston 303 มีดังนี้

ตารางที่ 4 ข้อมูลงานเสียหลังปรับปรุง Line Piston 303 หน่วย : ชิ้น

สัปดาห์ที่	ปริมาณการผลิต	จำนวนงานดี	จำนวนงานเสีย	ร้อยละของเสีย
1	3565	3557	5	0.14
2	3598	3590	8	0.22
3	3499	3489	7	0.20
4	3527	3521	5	0.14
รวม	**14189**	**14157**	**25**	**0.18**

จากตารางที่ 4 พบว่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงลดลงเหลือร้อยละ 0.18 ซึ่งลดลงต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดมาเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 6

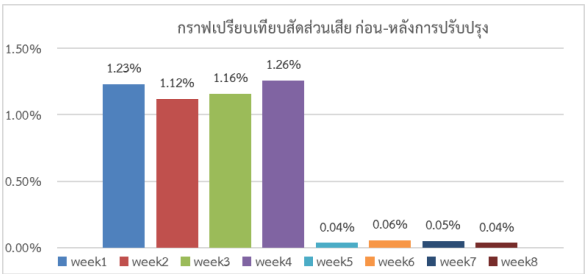


รูปที่ 6 ลำดับปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 6 จากพาเรโตหลังการปรับปรุงพบว่าปัญหาก่อนการแก้ไขลดลงจากเดิม และไม่อยู่ในจำนวนรายการในสามอันดับแรก นั่นแสดงว่าผลการปรับปรุงเพื่อลดของเสียตามแนวทางวิธีการที่เสนอแนะดังกล่าวสามารถช่วยลดของเสียลงได้

3.2 เปรียบเทียบผลการดำเนินงาน

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์จึงได้นำข้อมูลสัดส่วนของเสียก่อนและหลังปรับปรุงมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงข้อมูลก่อนการปรับปรุงช่วงเดือนกรกฎาคม 2567 กับข้อมูลหลังการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตของเสียในเดือน กันยายน 2567 จะเห็นได้ว่ากราฟโดยร้อยละของเสียลดลง แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 7 พบว่ากระบวนการผลิต Piston 303 ก่อนการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียรวมร้อยละ 1.19 แต่หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบสัดส่วนของเสีย

รวมร้อยละ 0.18 โดยพบว่าเมื่อได้ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตของ Line Piston 303 แล้วสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตลงได้ถึง ร้อยละ 0.18 หรือคิดเป็นร้อยละของเสียที่ลดลงจากร้อยละของเสียเดิมเท่ากับร้อยละ 84.87

3.3 ผลการดำเนินการปรับปรุงและการทดสอบสมมุติฐาน

เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพียงหนึ่งเดือนหลังการปรับปรุง จึงใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัดส่วนของเสียของประชากรว่าสามารถลดลงจากเดิมร้อยละ 1.19 หรือสัดส่วน 0.0119 ลดลงอย่างน้อยร้อยละ 50 ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้จริงหรือไม่ ดังนั้นค่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงต้องไม่เกินร้อยละ 0.595 หรือมีสัดส่วนของเสียไม่เกิน 0.00595 จึงทำการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากร ตามสมมติฐาน คือ

$H_0 : p \leq 0.00595$ (ร้อยละ 0.595)

$H_1 : p > 0.00595$ (ร้อยละ 0.595)

เมื่อ p แทน ค่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุง

ผลการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 8

Descriptive Statistics

N	Event	Sample p	95% Lower Bound for p
14189	25	0.001762	0.001225

Test

Null hypothesis	$H_0: p = 0.00595$
Alternative hypothesis	$H_1: p > 0.00595$

P-Value
1.000

รูปที่ 8 ผลการทดสอบสถิติค่าสัดส่วนของเสียของประชากร

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่า p-value มีค่า 1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นหมายความว่าสัดส่วนของเสียมีค่าไม่เกิน 0.00595 จริงหรือกล่าวได้ว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศของบริษัทกรณีศึกษา จากเดิมร้อยละ 1.19 ลดลงอย่างน้อยร้อยละ 50 จากปริมาณของเสียเดิม ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เป็นไปตามเป้าหมายตั้งไว้

4. อภิปรายผล

ผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ แผนภาพสาเหตุและผล, FMEA, แผนภูมิพาเรโต และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ส่งผลให้สามารถลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 จากร้อยละ 1.19 เหลือร้อยละ 0.18 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 84.87 โดยผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียลงอย่างน้อยร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Girmanová และคณะ [6] ที่สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตโลหะลงจากร้อยละ 5.48 เหลือร้อยละ 2.10 และสอดคล้องกับการศึกษาของ Siwiec และ Pacana [8] ที่สามารถลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตได้ถึงร้อยละ 50.25 โดยใช้แผนภูมิพาเรโตและการวิเคราะห์เชิงสาเหตุ นอกจากนี้ ผลการประเมินความเสี่ยงด้วย FMEA ในงานวิจัยนี้ระบุว่าปัจจัยที่มีค่า RPN สูงสุด ได้แก่ ความผิดพลาดของพนักงาน ความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร และคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kenge และ Khan [7] ที่สามารถลดค่า RPN จาก 210 เหลือ 98 หลังจากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตเช่นเดียวกัน รวมถึงผลการทดสอบสมมุติฐานที่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zasadzień และ Midor [11] เช่นเดียวกัน สะท้อนให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือคุณภาพอย่างเป็นระบบมีประสิทธิภาพในการลดของเสียและเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิต

5. สรุป

จากผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ แผนภาพสาเหตุและผล การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) แผนภูมิพาเรโต และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ สามารถช่วยใน

การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ รุ่น Piston 303 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดสัดส่วนของเสียจากร้อยละ 1.19 เหลือร้อยละ 0.18 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 84.87 และผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติยืนยันว่าสามารถลดสดส่วนของเสียลงอย่างน้อยร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลลัพธ์ของการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการนำเครื่องมือคุณภาพมาใช้ร่วมกันสามารถช่วยลดความสูญเสีย เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นที่มีปัญหาลักษณะเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิผล

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ในการในความอนุเคราะห์ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Formoso, C. T., Isatto, E. L. & Hirota, E. H., “Method for Waste Control in the Building Industry”, Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, California, USA, July 26-28, 1999: (1999), pp. 325-330.

[2] Turgay, S., Pirvan, S., and Cebeci, Ç., “Lean Manufacturing Implementation for Process Improvement in the Cable Company: A Comprehensive Approach”, Manuf. Serv. Oper. Manag, Vol.4, No.5, (2023), pp. 1-11.

[3] Tamás, P., & Illés, B., “process improvement trends for manufacturing systems in industry 4.0”, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol.14, No.4, (2016), pp. 119-125.

[4] ALKhatib, R. H., & Al-Nuiami, M., “Analyzing the Bottlenecks in Operations Management Using Cause and Effect Diagram”, Doctoral dissertation, Middle East University, 2009.

[5] Shaygan, A., “A cause and effect diagram and FAHP based methodology for the selection of quality improvement projects in healthcare”, master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.

[6] Girmanová, L., Šolc, M., Kliment, J., Divoková, A., & Mikloš, V., “Application of Six Sigma using DMAIC methodology in the process of product quality control in metallurgical operation”, Acta technologica agriculturae, Vol. 20, No.4, (2017), pp.104-109.

[7] Kenge, R., & Khan, Z., “A case study on the DMAIC Six Sigma application to prevent injuries in the manufacturing industry”, International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, Vol.13, No.2, (2021). pp. 179–196.

[8] Siwiec, D., & Pacana, A., “Method of improving the level of product quality”, Production Engineering Archives, Vol.27, No.1, (2021). pp 1–5.

[9] Nzioki, J. N., “Process Improvement Tools, Techniques and Operational Performance of Manufacturing Firms in Kenya”, Doctoral dissertation, University of Nairobi. 2018.

[10] Sarkar, S. A., & Mukhopadhyay, A. R., “Root cause analysis, Lean Six Sigma and test of hypothesis”, The TQM Journal, Vol.25, No.2, (2013), pp 170–185.

[11] Zasadzień, M., & Midor, K., “Statistical process control as a failure removal improvement tool”, Acta Technologica Agriculturae, Vol.21, No.4, (2018), pp 159-164.

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ

Reducing Waste in the Production Process of Car Trunk Locks with Industrial Engineering Techniques

รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[1] สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ[1*] สุรพจน์ วัชโรภากุล[1] ฉกาจ เชื่อดี[1] ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล[1] นรารักษ์ บุตรชา[1] และจิตรารัตน์ ทานอก[1]

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rungwasun Kraiklang[1] Surasak Matitopanum[1*] Suraphot Watcharophakul[1] Chakat Chueadee[1] Thanasak Rattanapoottabul[1] Nararak Budcha[1] and Jitrarat Tanok[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

E-mail: surasak.mt@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียและดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย การเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยใช้เครื่องมือเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ เทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม และเทคนิค 3 GEN จากนั้นออกแบบและดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ ได้แก่ การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ช่วยจัดตำแหน่งชิ้นงานให้แข็งแรงขึ้น การออกแบบอุปกรณ์ช่วยจัดตำแหน่งใหม่ และการปรับเปลี่ยนวิธีการปฏิบัติงาน รวมถึงการติดตามผลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของเสียลดลงจากร้อยละ 0.0494 เหลือเพียงร้อยละ 0.0089 คิดเป็นการลดลงประมาณร้อยละ 81.98 ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหการสามารถลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิผล

คำหลัก การลดของเสีย, ชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์, เทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม, เทคนิค 3 GEN

Abstract

This research aimed to reduce waste in the production process of car trunk lock sets of a case study company. The study focused on identifying the factors contributing to waste generation and systematically improving the production process. The research procedures included collecting waste proportion data before improvement, analyzing root causes using Industrial Engineering techniques such as why-why analysis and 3 GEN. Subsequently, strengthening workpiece positioning device modifications, designing new positioning devices, and the adjustment of work procedures, along with monitoring and statistical analysis using Minitab software. The results revealed that the waste proportion decreased

from 0.0494% to 0.0089%, representing a reduction of approximately 81.98%. These findings demonstrate that the systematic application of Industrial Engineering techniques can effectively reduce waste and enhance production efficiency.

Keywords: Waste reduction, Car trunk lock set, Why-Why Analysis technique, 3 GEN technique

1. บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญของงานวิจัย

ในยุคที่การแข่งขันทางธุรกิจทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์นับเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่ต้องเผชิญกับความท้าทายในการรักษาความสามารถในการแข่งขัน ท่ามกลางสภาวะเศรษฐกิจที่ผันผวนและไม่แน่นอน ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้จึงจำเป็นต้องมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุน เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในระยะยาว โดยหนึ่งในกลยุทธ์สำคัญที่ได้รับความสนใจ คือ การลดของเสียในกระบวนการผลิต เนื่องจากของเสียไม่เพียงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังสะท้อนถึงความบกพร่องในกระบวนการที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และภาพลักษณ์ขององค์กร [1]

บริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้แก่ ชุดล็อคประตูข้าง ชุดล็อคประตูหลัง ชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ชิ้นส่วนประตูข้าง ระบบส่งกำลังพร้อมกล่องควบคุมไฟฟ้า และผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษามีสัดส่วนของเสียมากที่สุด จากข้อมูลการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ พบสัดส่วนของเสียรวมร้อยละ 0.0442 เป็นผลมาจากสภาพการทำงานปัจจุบัน ซึ่งปัญหาหลักคือ เครื่องจักรทำการย้ำหมุดชิ้นงานเอียง ส่งผลให้เกิดชิ้นงานเสีย และสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิตที่ต้องซ่อมงาน จากการศึกษาสาเหตุเบื้องต้น เกิดจากชิ้นงานมีการย้ำหมุดเอียง เมื่อนำชิ้นงานเข้าเครื่องตรวจสอบ เพื่อตรวจสอบการทำงานของชิ้นงาน ทำให้เครื่องตรวจสอบแจ้งเตือนความผิดปกติ (Alarm) และทำให้เกิดการหยุดการทำงานของเครื่องจักร (Machine break down) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำด้วย โดยปัจจุบันประสิทธิภาพการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 83.10 เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบและกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมามีการเลือกใช้เครื่องมือทางเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการมาช่วยในการแก้ไขปัญหา ได้แก่ แผนภาพพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญของประเภทของเสีย [2] มีการใช้เทคนิค 3 GEN เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา [3] และวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม อย่างเป็นระบบ [4-5]

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แนวคิดและเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา รวมถึงการกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถลดสัดส่วนของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และยกระดับคุณภาพของกระบวนการในระยะยาว ทั้งนี้ ผลลัพธ์จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตขององค์กรได้อย่างต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ต่างๆ ดังนี้

2.1 แนวคิดเรื่องของเสีย (Waste)

ของเสีย (Waste) หมายถึงทรัพยากรที่ถูกใช้ไปโดยไม่มีมูลค่าเพิ่มในกระบวนการผลิตหรือให้บริการ ของเสียสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภท เช่น ของเสียในรูปของวัสดุ เวลา พลังงาน หรือกระบวนการที่ไม่จำเป็น [6] แนวคิดเกี่ยวกับของเสียมักถูกนำมาใช้ในระบบการผลิตแบบลีน

(Lean Manufacturing) ซึ่งเน้นการลดของเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยของเสียหลักที่พบได้บ่อยเรียกว่า "7 Wastes" ได้แก่ (1) การผลิตเกินความจำเป็น (Overproduction) (2) เวลารอคอย (Waiting) (3) การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Transportation) (4) กระบวนการที่เกินความจำเป็น (Over-processing) (5) สต็อกที่มากเกินไป (Excess Inventory) (6) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motion) และ (7) ของเสียจากการผลิตของเสีย (Defects) [7]

2.2 ทฤษฎี Lean และเครื่องมือ 7 QC Tools

ทฤษฎีลีน (Lean) มีต้นกำเนิดจากระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) โดยเน้นการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต [6] เครื่องมือที่สำคัญในการดำเนินการตามแนวคิดลีนคือ "7 QC Tools" ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ (1) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) (2) แผนภูมิกระจาย (Scatter Diagram) (3) แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram) (4) แผนภาพการควบคุม (Control Chart) (5) แผนภาพก้างปลา (Cause-and-Effect Diagram) (6) ผังพาเรโต (Flowchart) และ (7) ใบตรวจสอบ (Check Sheet) [8]

2.3 เทคนิคการตั้งคำถามทำไม ทำไม

เทคนิค "ทำไม ทำไม" (5 Whys) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา โดยการตั้งคำถาม "ทำไม" ซ้ำ ๆ ประมาณ 5 ครั้งจนกว่าจะพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา [9] เทคนิคนี้ได้รับความนิยมในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของลีนและซิกซ์ซิกม่า เนื่องจากช่วยให้สามารถระบุและแก้ไขปัญหาได้อย่างตรงจุด [6]

2.4 หลักการ 3 GEN

หลักการ 3 GEN หรือ "3 สถานที่จริง" (Genchi Genbutsu, Genjitsu, Genba) เป็นแนวคิดที่สำคัญใน TPS ซึ่งเน้นการลงพื้นที่จริงเพื่อเข้าใจปัญหาอย่างแท้จริง [9] โดยมีองค์ประกอบหลักดังนี้:

Genba – การไปดูสถานที่เกิดปัญหาจริง

Genbutsu – การลงไปดูชิ้นงานจริง

Genjitsu – การตรวจสอบข้อเท็จจริง

หลักการนี้ช่วยให้สามารถตัดสินใจได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการปรับปรุงกระบวนการ [6]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อการลดของเสียมีหลากหลายงานศึกษาตัวอย่างเช่น

Lestyánszka Škůrková, K. และคณะ [2] ปรับปรุงคุณภาพในการผลิตชิ้นงานโลหะหลอมโดยใช้วิธีการทางสถิติและเทคนิคการควบคุมคุณภาพหลายๆ วิธีร่วมกัน เช่น จะใช้การวิเคราะห์แบบพาเรโต ตามวิธีการ PDCA เพื่อระบุปัญหาและค้นหาสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวในระบบการจัดการที่ทำให้เกิดปัญหา โดยปรับเปลี่ยนและผสมผสานวิธีการและเครื่องมือการจัดการคุณภาพที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการดังกล่าว จะสามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ และวางแผนและดำเนินการแก้ไขอย่างถาวร ซึ่งทำให้สามารถลดโอกาสที่ปัญหาจะเกิดขึ้นซ้ำและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้

Hasan, R. S., และ Zahid, M. N. O. [3] พัฒนาวิธีการประเมินของเสียที่ปรับแต่งเฉพาะสำหรับกระบวนการผลิตสปริงแบบม้วนร้อน การประเมินของเสียในสายการผลิตสปริงแบบม้วนร้อน ข้อมูลถูกรวบรวมผ่านการสังเกตโดยตรง (Genba) และเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบฟอร์มตรวจสอบของเสียในการระบุประเภทของของเสีย ผลการศึกษาพบว่าการนำการปรับปรุงที่ตรงเป้าหมายมาใช้ตามการวิเคราะห์นี้สามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดความล่าช้า และลดต้นทุนการผลิตได้

Rahmana, A. และคณะ [4] ได้ใช้เทคนิค "5 Whys analysis" เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ พบว่าสาเหตุหลักของความเสียหายทั้งหมดคือไม่มีการปรับความเร็วมาตรฐานระหว่างเครื่องจักรใหม่กับระบบจริง พนักงานไม่มีวินัยในการทำงาน ไม่มีกลยุทธ์ที่เหมาะสมและไม่มีการประสานงานและทำให้เป็นมาตรฐาน จากนั้นนำสาเหตุที่ได้มาแก้ไข จนนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

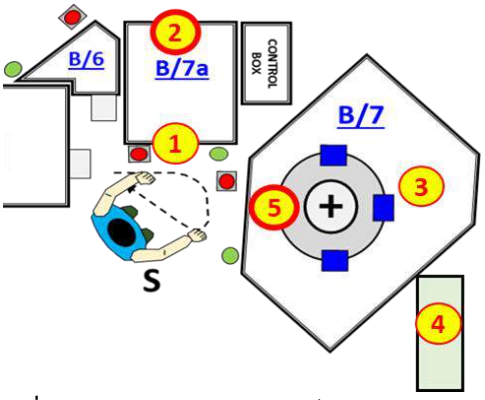
การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีสัดส่วนของเสียมากที่สุด จากข้อมูลการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ตั้งแต่เดือนเมษายน - สิงหาคม 2567 พบสัดส่วนของเสียรวมร้อยละ 0.0494 เป็นผลมาจากสภาพการทำงานปัจจุบัน ซึ่งผลจากการเกิดของเสียยังทำให้เครื่องตรวจสอบหมุดย้ำแจ้งเตือนความผิดปกติ (Alarm) และทำให้เกิดการหยุดการทำงานของเครื่องจักร (Machine break down) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำด้วย โดยปัจจุบันประสิทธิภาพการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 83.10 ดังนั้นเป้าหมายในทำการเจาะจงไปที่กระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลเบื้องต้น

งานวิจัยได้นำเทคนิค 3 GEN คือ Genba เป็นการลงสำรวจพื้นที่จริง (แผนกประกอบชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์) Genbutsu เป็นการสังเกตวัสดุจริง (ชิ้นงานชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์) และ Genjitsu หรือสถานการณ์และเหตุการณ์จริง (กระบวนการประกอบชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์) เพื่อป้องกันการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ผิดพลาดและไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ศึกษากระบวนการประกอบชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์

โดยมีแผนผังกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการประกอบชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์

จากรูปที่ 1 อธิบายขั้นตอนการทำงานโดยสังเขป ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พนักงานหยิบชิ้นงานจากเครื่อง B/6 มาวางที่ Jig และนำชิ้นส่วนมาประกอบบนเครื่องย้ำหมุด (B/7a)

ขั้นตอนที่ 2 พนักงานกดปุ่ม Start เพื่อให้เครื่องทำการย้ำชิ้นงานโดยอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 3 นำชิ้นงานหลังย้ำหมุดเข้าเครื่องตรวจสอบหมุดย้ำ (B/7a) เครื่องจะทำการตรวจหัวย้ำหมุดอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 4 ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ จากขั้นตอนที่ 3 คือ กรณีที่หัวย้ำหมุดตรงศูนย์แล้วจะมีจาระบีฉีดมายังชิ้นงานแล้ว จะเคลื่อนที่ไปขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 กรณีเกิดชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบจากขั้นตอนที่ 3 จะไปเคลื่อนที่กลับมายังจุดที่เราวางชิ้นงานจุดเดิมและเครื่องจะเกิดการแจ้งเตือนความผิดปกติ (Alarm) พนักงานต้องทำการกดรีเซ็ตเครื่อง และหยิบชิ้นงานลงกล่องแดง (กล่องใส่ชิ้นงานเสีย)

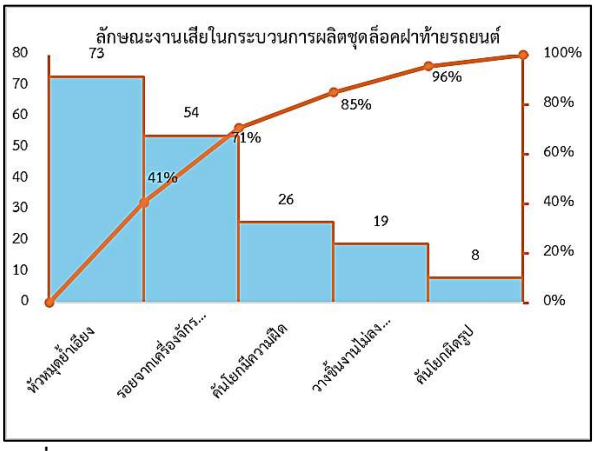
3.1.2 ลักษณะของงานเสีย

ลักษณะของงานเสียนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างของลักษณะงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ดังนี้

1. ชิ้นงานเสียที่เกิดจากปัญหาหัวหมุดย้ำ (Spin Shaft Sector) เอียง ส่งผลให้เกิดการแจ้งเตือนความผิดปกติจากเครื่อง (Alarm Position SW NG)
2. ชิ้นงานเสียลักษณะเป็นรอยจากเครื่องจักรกระทบชิ้นงาน (Scratch Bracket) แสดงลักษณะงานเสีย
3. คันโยกมีความฝืด (Unsmooth Lever Open)
4. วางชิ้นงานไม่ลงตำแหน่ง (Jig Setting Wrong Position)
5. คันโยกผิดรูป (Deform Lever Open)

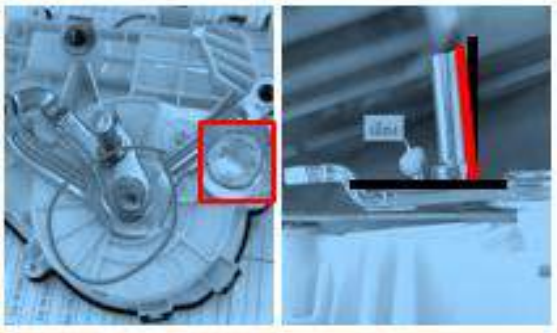
3.1.3 เก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษากระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ พบว่ามีชิ้นงานเสียเกิดขึ้นเป็นระยะ จึงได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนชิ้นงานเสีย ตั้งแต่เดือนเมษายน 2567 – เดือนกรกฎาคม 2567 เมื่อแยกจำนวนของเสียตามลักษณะของงานเสียในหัวข้อ 3.1.2 แสดงได้ดังกราฟพาเรโต้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 พาเรโต้แสดงข้อมูลลักษณะงานเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เกิดจากหัวหมุดย้ำเอียงถูกพบมากที่สุด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกชิ้นงานปัญหาจากหัวหมุดย้ำเอียง เป็นกรณีศึกษา และทำการปรับปรุงแก้ไข โดยมีลักษณะหัวหมุดย้ำเอียง ดังนี้



รูปที่ 3 ลักษณะหัวหมุดย้ำเอียง

จากรูปที่ 3 พบว่าลักษณะของเสีย ได้ผ่านกระบวนการย้ำหมุด แต่ชิ้นงานกลับมีหัวหมุดที่เอียงทำให้เสาสลักเอียงตามไปด้วย จากปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้จำเป็นต้องหยุดปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการผลิตได้ลดลงมาเป็นระยะ ตลอดจนส่งผลต่อต้นทุนของการผลิตที่สูงขึ้นตาม

เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบและตั้งเป้าหมายในการลดปริมาณของเสีย และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จึงได้เก็บข้อมูลของเสียจากปัญหาหัวหมุดย้ำเอียง ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลงานเสียจากปัญหาหัวหมุดย้ำเอียง (ก่อนการปรับปรุง)

เดือน (ปี 2567)	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	จำนวนงานดี (ชิ้น)	จำนวนงานเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
เมษายน	31,727	31,698	29	0.0914
พฤษภาคม	41,324	41,298	26	0.0629
มิถุนายน	29,928	29,922	6	0.0200
กรกฎาคม	44,762	44,750	12	0.0268
รวม	**147,741**	**14,7668**	**73**	**0.0494**

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบสัดส่วนของเสียจากการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์รวมร้อยละ 0.0494 บริษัทกรณีศึกษาจึงมีเป้าหมายในการลดของเสียลงอย่างน้อยร้อยละ 50 จากปริมาณสัดส่วนของเสียเดิม

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของของเสีย

จากปัญหาหัวหมุดย้ำเอียงเกิดจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่เครื่องจักร B/7a และส่งผลถึงขั้นตอนที่เครื่องจักร B/7 ที่เครื่องตรวจสอบหมุดย้ำ โดยพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการย้ำหมุดเอียง ทำให้เครื่องตรวจสอบแจ้งเตือน และหยุดการทำงานของเครื่องจักร จากการระดมแนวคิดร่วมกับวิศวกร และหัวหน้างาน พบว่าปัจจัยหลักของการเกิดการย้ำหมุดเอียงคือ ปัจจัยวัสดุทำ Jig, ออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม, การยึดแน่นของ Jig และรูปทรงหมุดย้ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการตั้งคำถามทำไม -ทำไม (why-why analysis) มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าที่ทำให้เกิดของเสียจากปัจจัยเหล่านี้ แสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปสาเหตุหลักของปัญหาหัวหมุดย้ำเอียง ได้แก่ วัสดุทำ Jig มีความแข็งแรงต่ำ ออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม การยึดของ Jig ไม่แน่นหนา และรูปทรงหมุดย้ำไม่เหมาะสม

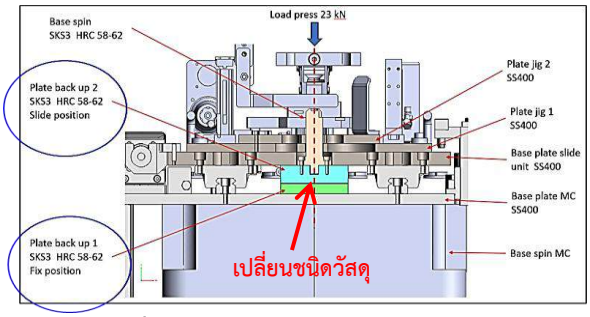
ตารางที่ 2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย why-why analysis

	why	why	Why	why
หัวหมุดย้ำเอียง	วัสดุทำ Jig มีความแข็งแรงต่ำ	ยุบตัวขณะกด	รับแรงต้านการกดไม่ไหว	คุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุไม่เหมาะสม
	ออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม	ยุบตัวขณะกด	รับแรงต้านการกดไม่ไหว	คุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุไม่เหมาะสม
			ขนาดและตำแหน่งการวางชิ้นส่วนไม่เหมาะสม	ความยาวเสาสั้น มีรอยต่อระหว่างแผ่น
	การยึดของ Jig ไม่แน่นหนา	ชิ้นส่วน Jig เคลื่อนตัวออกจากกัน	ถูกแรงกดกระทำให้แผ่นฐานของ Jig เคลื่อนตัว	ไม่มีตัวยึดป้องกันการเคลื่อนที่
	รูปทรงหมุดย้ำไม่เหมาะสม	เกิดแรงเสียดทานในการย้ำหมุดสูง	เนื้อวัสดุตรงหน้าตัดหัวหมุดย้ำมากเกินไป	พิกัดขนาดอยู่ในข้อกำหนดแต่ช่วงพิกัดกว้างเกินจำเป็น

3.3 การดำเนินการปรับปรุง

3.3.1 การปรับปรุงความแข็งแรงของวัสดุทำ Jig ไม่เหมาะสม

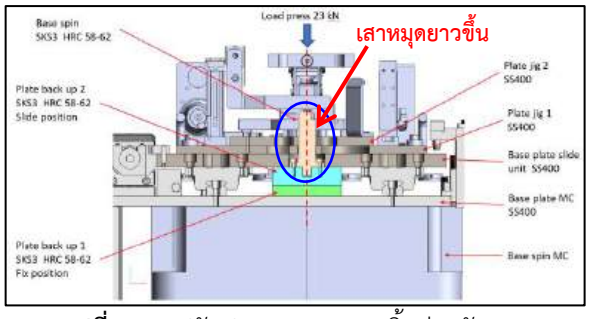
จากสาเหตุวัสดุทำ Jig มีความแข็งแรงต่ำ ทำการปรับปรุงโดยเปลี่ยนวัสดุของ Jig ในตำแหน่ง Plate back up 1 เปลี่ยนวัสดุจาก Oil Free (Mitsumi) เป็น SKS3 (HRC = 58-62) และ Plate back up 2 เปลี่ยนวัสดุจาก SS400 เป็น SKS3 (HRC = 58-62) เพื่อให้สามารถรับแรงกดได้ดีกว่าเดิม และเพื่อป้องกัน Jig ยุบตัวขณะย้ำหมุด แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งการปรับปรุงวัสดุทำ Jig

3.3.2 การปรับปรุงการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม

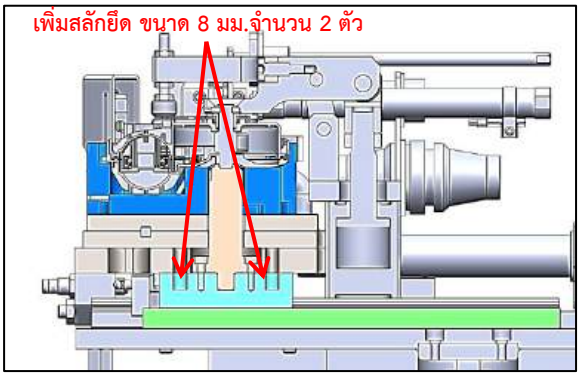
จากสาเหตุการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม ทำการปรับปรุงโดยเปลี่ยนชิ้นส่วนรับแรงที่ฐานเครื่องจักรจากวัสดุ Oil Free (Mitsumi) เป็น SKS3 (HRC = 58-62) และออกแบบให้เสาหมุดยาวขึ้น และติดตั้งบน Jig โดยตรงไม่ผ่าน Oil Free (Mitsumi) เพื่อป้องกันการยุบตัวของ Oil Free (Mitsumi) ที่มีความแข็งน้อย แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การปรับปรุงการออกแบบชิ้นส่วนรับแรง

3.3.3 การปรับปรุงการยึดแน่นของ Jig

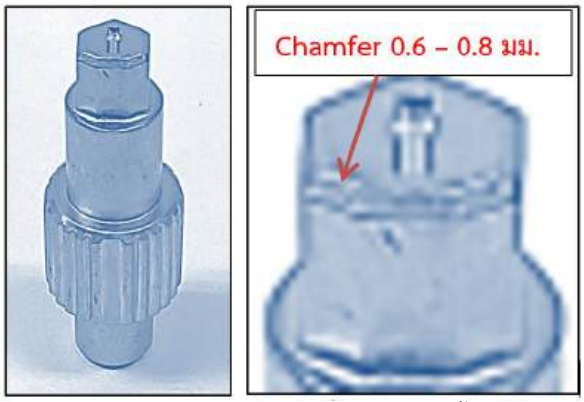
จากสาเหตุการยึดของ Jig ไม่แน่นหนา ทำการเสนอแนวทางแก้ไขโดยออกแบบให้แผ่น Jig ที่ 1 และแผ่น Jig ที่ 2 ไม่เคลื่อนตัวออกจากกันด้วยการเพิ่มสลักยึด เพื่อยึดแผ่น Jig ที่ 1 และให้ติดกันเพื่อป้องกันการการเคลื่อนตัวออกจากกันขณะย้ำหมุด แสดงดังรูปที่ 6 และเพิ่มหัวข้อควบคุมใน Check Sheet ตรวจสอบเครื่องจักรโดยเพิ่มการตรวจสอบการเคลื่อนตัวและตำแหน่งของ Jig ด้วยการตรวจสอบ I Mark ก่อน – หลัง การผลิตทุกครั้ง



รูปที่ 6 การปรับปรุงการยึดแน่นของ Jig

3.3.4 การปรับปรุงรูปทรงของหมุดย้ำ

จากสาเหตุรูปทรงหมุดย้ำไม่เหมาะสม ทำการปรับปรุงโดยทำการควบคุมค่ามุมหน้าตัด (Chamfer) หัวหมุด โดยการลดเนื้อวัสดุหน้าตัดลงให้อยู่ในช่วง 0.6 – 0.8 มม. แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งข้อกำหนดที่ต้องการคือ 0.3 – 0.8 มม. เพื่อให้เกิดแรงเสียดทานและแรงเค้นของเนื้อเหล็กให้น้อยลงขณะทำการย้ำหมุด และจะส่งผลให้แกนเพลาหมุดไม่เอียงตัวเมื่อรับแรงกดจากเครื่องจักร และเพิ่มหัวข้อควบคุมที่แผนกตรวจสอบคุณภาพ (IQC) ให้มีการตรวจสอบ Chamfer ทุกล็อตที่เข้าสู่สายการผลิต



รูปที่ 7 การปรับปรุงรูปทรงของหมุดย้ำ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการแก้ไขวัสดุทำ Jig

จากปัญหาวัสดุทำ Jig พบสาเหตุหลักจากการวิเคราะห์ปัญหาคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุทำ Jig ไม่เหมาะสม ได้ทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนวัสดุของ Plate back up 1 จาก Oil Free (Mitsumi) เป็น SKS3 และเปลี่ยนวัสดุของ Plate back up 2 จาก SS400 เป็น SKS3 ทำให้สามารถรับแรงกดได้ดีกว่าเดิม และป้องกัน Jig ยุบตัวขณะย้ำหมุดได้ดีกว่าเดิม

4.2 ผลการแก้ไขปัญหาการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม

จากปัญหาการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงไม่เหมาะสม พบสาเหตุหลัก คือ คุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุไม่เหมาะสม ทำให้รับแรงต้านการกดจากการย้ำหมุดไม่ไหว และการออกแบบความยาวเสาสั้นไป และมีรอยต่อระหว่างแผ่น Jig สองแผ่น ได้ทำการแก้ไขเปลี่ยนชิ้นส่วนรับแรงที่ฐานเครื่องจักรจากวัสดุ Oil Free (Mitsumi) เป็น SKS3 ที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม และออกแบบให้เสาหมุดยาวขึ้น และติดตั้งบน Jig โดยตรงไม่ผ่าน Oil Free เพื่อป้องกันการยุบตัวของ Oil Free ที่มีความแข็งแรงน้อย

4.3 ผลการแก้ไขปัญหาการยึดแน่นของ Jig

จากปัญหาการยึดแน่นของ Jig ผู้พบสาเหตุหลักของปัญหาคือ ไม่มีตัวยึดป้องกันการเคลื่อนที่ทำให้แผ่น jig มีการเคลื่อนที่ได้ขณะย้ำหมุด และได้ทำการแก้ไขด้วยการออกแบบให้แผ่น Jig ที่ 1 และแผ่น Jig ที่ 2 ไม่เคลื่อนตัวออกจากกันด้วยการเพิ่มสลักยึด เพื่อยึดแผ่น Jig ที่ 1 และให้ติดกันเพื่อป้องกันการการเคลื่อนตัวออกจากกันขณะย้ำหมุด

4.4 ผลการแก้ไขปัญหารูปทรงของหมุดย้ำ

จากปัญหารูปทรงของหมุดย้ำ พบสาเหตุหลักของปัญหาคือ เนื้อวัสดุตรงหน้าตัดหัวหมุดย้ำมากเกินไปทำให้เกิดแรงเสียดทานในการย้ำหมุดสูง และได้ทำการแก้ไขด้วยการควบคุมค่ามุมหน้าตัด (Chamfer) หัวหมุด โดยการลดเนื้อวัสดุหน้าตัดลงให้อยู่ในช่วง 0.6 – 0.8 มม. ซึ่งแม้ว่าข้อกำหนดที่ต้องการคือ 0.3 – 0.8 มม. เพื่อให้เกิดแรงเสียดทานและแรงเค้นของเนื้อเหล็กให้น้อยลงขณะทำการย้ำหมุด ส่งผลให้แกนเพลาหมุดไม่เอียงตัวเมื่อรับแรงกดจากเครื่องจักร

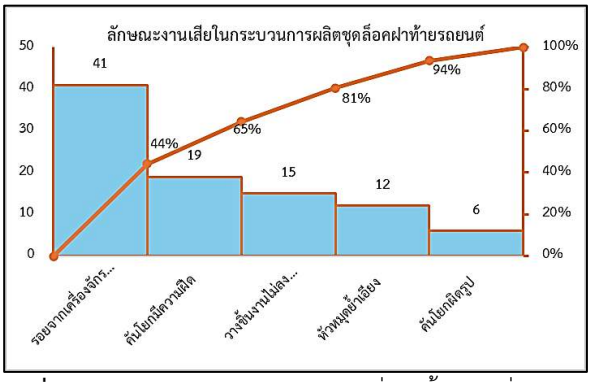
4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุง

หลังทำการปรับปรุงแก้ไขแล้ว จึงเริ่มติดตามผลการปรับปรุงในเดือนกันยายน - พฤศจิกายน 2567 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลงานเสียจากปัญหาหัวหมุดย้ำเอียง (หลังการปรับปรุง)

เดือน (ปี 2567)	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	จำนวนงานดี (ชิ้น)	จำนวนงานเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
กันยายน	44,586	44,580	6	0.0135
ตุลาคม	38,348	38,344	4	0.0104
พฤศจิกายน	51,644	51,642	2	0.0039
รวม	134,578	134,566	12	0.0089

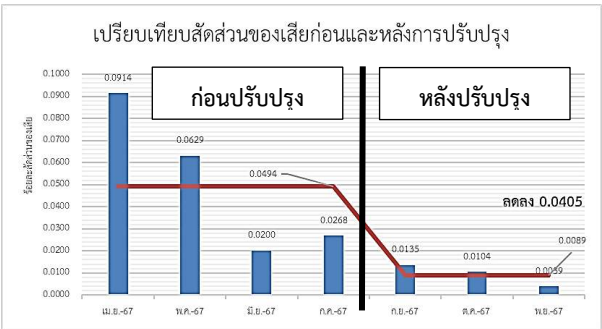
จากข้อมูลในตารางที่ 3 ของเสียจากการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ตั้งแต่เดือนกันยายน - พฤศจิกายน 2567 พบสัดส่วนของเสียรวมเหลือเพียงร้อยละ 0.0089 และเมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์บริษัทกรณีศึกษาของหลังการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 พาเรโตแสดงปัจจัยของปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 8 พบว่า ปัญหาหัวหมุดย้ำเอียงจากการดำเนินการแก้ไขตามแนวทางที่เสนอมีจำนวนลดลง และไม่อยู่ในจำนวนรายการในสามอันดับแรกที่มีปริมาณสัดส่วนของเสียรวมสะสมร้อยละ 80 จากจำนวนปัญหาทั้งหมด (ตามหลักพาเรโต 80:20) นั่นแสดงว่าผลการปรับปรุงเพื่อลดของเสียตามแนวทางวิธีการที่เสนอแนะดังกล่าวสามารถช่วยลดของเสียลงได้

การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังปรับปรุงจะเห็นได้ว่ากราฟร้อยละของเสียหลังการปรับปรุงลดลงอย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 9 พบว่ากระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ ก่อนการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยรวมร้อยละ 0.0494 แต่หลังการปรับปรุง พบสัดส่วนของเสียเฉลี่ยรวมร้อยละ 0.0089 สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตลงได้ถึงร้อยละ 0.0405 หรือคิดเป็นร้อยละของเสียที่ลดลงจากร้อยละของเสียเดิมเท่ากับร้อยละ 81.98

เนื่องจากการเก็บข้อมูลตัวอย่างก่อนละหลังการปรับปรุงมีจำนวนไม่เท่ากัน จึงทำการทดสอบสมมติฐานสัดส่วนของเสียที่ลดลงว่าเป็นไปตามขอบเขตที่ตั้งไว้หรือไม่ คือลดลงอย่างน้อยร้อยละ 50 จากของเสียเดิม ดังนั้นค่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงต้องไม่เกินร้อยละ 0.0247 (0.0494x0.5) หรือมีสัดส่วนของเสียไม่เกิน 0.000247 ดังสมมติฐาน คือ

H_0: $p \leq 0.000247$ (ร้อยละ 0.0247)

H_1: $p > 0.000247$ (ร้อยละ 0.0247)

เมื่อ p แทน ค่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุง

ผลการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของกรณีศึกษาด้วยเงื่อนไขการสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ($n \geq 30$) จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบทวินาม และมีค่าสัดส่วนเข้าใกล้ค่าศูนย์ ดังนั้นจากทฤษฎีขีดจำกัดสู่ส่วนกลาง จะได้ว่าค่าสัดส่วนตัวอย่างจะมีการแจกแจงโดยประมาณแบบปกติ [10] ประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab 17 ได้ดังรูปที่ 10

Test and CI for One Proportion

Test of p = 0.000247 vs p > 0.000247

Sample	X	N	Sample p	95% Lower Bound	Z-Value	P-Value
1	12	134578	0.000089	0.000047	-3.68	1.000

Using the normal approximation.

รูปที่ 10 ผลการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของเสีย

จากรูปที่ 10 พบว่า p-value มีค่า 1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นหมายความว่าสัดส่วนของเสียมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.0247 จริง หรือกล่าวได้ว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียของกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา จากเดิมร้อยละ 0.0494 ลดลงอย่างน้อยร้อยละ 50 จากปริมาณของเสียเดิม ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัยที่ตั้งไว้

5. อภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ แผนภาพพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญของประเภทของเสีย เทคนิค 3 GEN เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา และวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม สามารถลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดสัดส่วนของเสียจากร้อยละ 0.0494 เหลือร้อยละ 0.0089 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Lestyánszka Škůrková, K. และคณะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้แผนภาพพาเรโตสามารถช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัญหาหลัก และสนับสนุนการกำหนดแนวทางแก้ไขอย่างเป็นระบบ [2] ในส่วนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Hasan, R. S., และ Zahid, M. N. O. ที่ระบุว่าการใช้หลัก 3 GEN ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการสังเกตโดยตรง มีประสิทธิภาพในการระบุปัจจัยต้นเหตุของของเสียและสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิต [3] ขณะที่การนำเทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม มาใช้วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับ Rahmana, A. และคณะ ซึ่งยืนยันว่าการนำเทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม มาวิเคราะห์หาสาเหตุหลักได้อย่างถูกต้อง สามารถแก้ไขปัญหาที่สาเหตุรากเหง้าได้อย่างถูกต้อง จนนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ [5] สุดท้ายการใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมุติฐานในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pang, X. ที่พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab สามารถช่วยยืนยันผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสนับสนุนการตัดสินใจเชิงคุณภาพได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ [11] ดังนั้น ผลการศึกษาครั้งนี้จึงยืนยันถึงประสิทธิผลของการบูรณาการเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการในการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นระบบ

6. สรุป

การนำเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการมาช่วยแก้ปัญหาหัวหมุดย้ำเอียงในกระบวนการผลิตชุดล็อคฝาท้ายรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาหลัก ค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา จนนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ถูกจุด ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถลดสัดส่วนของเสียจากเดิมก่อนปรับปรุงมีของเสียร้อยละ 0.0494 เหลือเพียงร้อยละ 0.0089 คิดเป็นของเสียรวมที่ลดลงร้อยละ 81.98 เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

จากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ การปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างมีเป้าหมาย และการประเมินผลอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ สามารถช่วยลดของเสีย เพิ่มคุณภาพ และยกระดับประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างยั่งยืน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมอื่นได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองที่การให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Tarantino, A., “Continuous Improvement Tools for Smart Manufacturing”, Smart Manufacturing: The Lean Six Sigma Way, (2022), pp. 43-108.

[2] Lestyánszka Škůrková, K., Fidlerová, H., Niciejewska, M., and Idzikowski, A., “Quality improvement of the forging process using Pareto analysis and 8D methodology in automotive manufacturing: a case study”, Standards, Vol.3, No.1, (2023), pp. 84-94.

[3] Hasan, R. S., and Zahid, M. N. O., “Waste Assessment Model for Hot Coil Spring Production Using Lean Approach”, International Journal of Automotive and Mechanical

Engineering, Vol.22, No.1, (2025), pp. 12048-12061.

[4] Rahmana, A., Fauzy, M., and Suyono, A. M., “5 Why Analysis Implementation to Detect Root Cause of Rejected Product (Study at Aerospace Industry)”, Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, Vol.12, No.8, (2021). pp. 1691-1695.

[5] Yuphin, P., and Ruanchoengchum, P., “Reducing the Waste in the Manufacturing of Sprockets Using Smart Value Stream Mapping to Prepare for the 4.0 Industrial Era”, Review of Integrative Business and Economics Research, Vol.9, (2020), pp. 158-173.

[6] Ohno, T., “Toyota production system: beyond large-scale production”, Productivity press. (1988).

[7] Thangarajoo, Y., and Smith, A., “Lean thinking: An overview”, Industrial Engineering & Management, Vol.4, No.2, (2015), pp. 2169-0316.

[8] Ishikawa, K., “What is total quality control? The Japanese way”, Prentice-Hall, Inc., 1985.

[9] Liker, J. K., “The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer”, McGraw-Hill, 2004.

[10] Montgomery, D. C., & Runger, G. C., “Applied statistics and probability for engineers”, John wiley & sons, 2018.

[11] Pang, X., “Quality Improvement with PFMEA in a Manufacturing System”, master’s thesis, Morehead State University. 2018.

การพัฒนากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป
Development of Ready-to-Use Fermented Rice Noodle Flour

กฤษดา เพียยุระ[1], จันทราลักษณ์ วินณะรีสี[1], พิมพ์พิศา พึ่งตน[1]
รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1], อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล[2*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Kritsada Phiayura[1],Chantaralak Winnarisi[1] and Phimphisa Phuengton[1],
Rattanaporn Wongthong[1] and Arpaporn Chomlapeeratikul[2*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป จากการศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป พบว่ากระบวนการหมักข้าวเพื่อผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปใช้เวลานานในควบคุมการอ่อนตัวของข้าวเป็นเวลานาน ส่งผลให้ปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน ในปัจจุบันกำลังการผลิตอยู่ที่ 320 ถุงต่อวัน และจากการเก็บข้อมูลของความต้องการของผู้บริโภคผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า ควรเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำสำเร็จรูป ให้ได้ปริมาณ 450 ถุงต่อวัน ตามความต้องการของผู้บริโภค จึงทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการหมักข้าวในกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป และประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อแป้งที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินหาความพึงพอใจของลักษณะแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปที่ผ่านการพัฒนาจากโครงการที่สร้างขึ้น

ผลการดำเนินงานพบว่าจากการพัฒนากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปสูตรการหมักข้าวที่ทำการทดลองใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อยู่ที่อัตราการใส่ยีสต์ 1.00 เปอร์เซ็น จึงเปรียบเทียบผลผลิตจากวิธีการเดิม ซึ่งเวลามาตรฐานการหมักข้าวแบบเดิมอยู่ที่ 3 วัน เวลามาตรฐานการหมักข้าวตามสูตรที่ทดลองขึ้นใหม่อยู่ที่ 1 วัน ซึ่งเวลามาตรฐานการผลิตลดลงจากเดิม 2 วัน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ซึ่งอัตราการผลิตเดิมอยู่ที่ 320 ถุงต่อวัน ส่วนกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่หมักข้าวโดยใช้ยีสต์สามารถผลิตแป้งหมักขนมจีนได้อยู่ที่ 480 ถุงต่อวัน เปรียบเทียบอัตราการผลิตต่อวันเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 50 ซึ่งตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือปริมาณการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบจากกระบวนการเดิม

Abstract

This research aims to study and develop the production process of ready-to-use fermented rice flour for Khanom Jeen (fermented Thai rice noodles). From studying the current production process, it was found that the rice fermentation stage required a long period to properly soften the rice, which limited daily

production capacity. At present, the production capacity is 320 bags per day. Based on collected consumer demand data, the researchers concluded that production should be increased to 450 bags per day to meet market demand.

Therefore, the study experimented with finding the optimal ingredients for the rice fermentation process in the production of ready-to-use fermented rice flour. The study also assessed consumer satisfaction with the improved flour to evaluate the quality and characteristics of the developed product.The results showed that the newly developed rice fermentation formula with 1.00% yeast—was effective. Compared to the original method, which required 3 days of fermentation, the new method reduced fermentation time to just 1 day, representing a 66.67% decrease in fermentation time.Under the original method, daily production was 320 bags. With the new method using yeast, daily production increased to 480 bags an increase of 50%. This meets the original hypothesis that the production of ready-to-use fermented rice flour could be increased by at least 40% compared to the traditional method.

1. บทนำ

ขนมจีน เป็นอาหารคาวชนิดหนึ่ง ทำด้วยแป้งข้าวเจ้าให้เป็นเส้นกลมเล็กๆ คล้ายเส้นหมี่ มี วิธีการทำหลายขั้นตอน อาศัยความชำนาญ ต้องพึ่งพาแรงงานฝีมือและคนจำนวนมาก เป็นภูมิปัญญา อาหารที่สืบทอดกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ ทั้งวิธีการกิน และกระบวนกานผลิต เมื่อเวลาผ่านไปก็จะมี วิธีและขั้นตอนการผลิตแตกต่างจากสมัยก่อนตามยุคตามสมัยที่เปลี่ยนไป จากการศึกษาและเก็บข้อมูลแป้งขนมจีนหมัก สำเร็จรูป และด้วยข้อจำกัดของการหมักข้าวที่ต้องใช้เวลาหมักนาน ทำให้ไม่สามารถผลิตในปริมาณมากๆได้ ทั้งในอนาคตโรงงานได้เตรียมแผนรองรับ ความต้องการของลูกค้าที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยนำเครื่องจักรมาช่วยแบ่งเบาภาระในหลายๆขั้นตอน เพื่อช่วยขยายกำลังในการผลิต ในการทำงานของสถานประกอบการนี้มีการทำงานวัน ซึ่งในการผลิตโดยรวมนั้นยังไม่เพียงพอต่อความ ต้องการของลูกค้า

เนื่องด้วยด้านการผลิตปัจจุบันยังเป็นลักษณะอุตสาหกรรมครัวเรือนและยังถือเป็น ข้อจำกัดที่ไม่สามารถผลิตในปริมาณมากๆได้ โดยเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการหมักแป้งซึ่งพบว่าต้อง ใช้เวลาในการหมักข้าวนาน 2-3 วัน ทำการบรรจุใส่ถุงบรรจุภัณฑ์ได้เพียง 320 ถุง หรือ 6,880 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งยังส่งผลให้เกิดการรอคอยงานตกค้าง ซึ่งทางโรงงานนั้นต้องการเพิ่มปริมาณกำลัง การผลิตให้ได้ 450 ถุง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นของท้องตลาดจากลูกค้า รวมถึงพัฒนาอุตสาหกรรมแป้งหมักขนมจีนปบบครัวเรือนในการผลิตให้ได้มาตรฐานการผลิตที่เพิ่มขึ้น แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถทำการผลิตให้ได้ตามความต้องการของโรงงาน

จากการศึกษาข้อมูล สำรวจ วิเคราะห์ ณ สถานประกอบการพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักแป้งขนมจีน เนื่องจากกระบวนการนี้ เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลานานในการรออีกทั้งทางสถานประกอบการต้องการควบคุมการอ่อนตัวของข้าวที่ใช้หมักผู้วิจัยจึงได้ใช้แผนภูมิก้างปลา{1} มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า ควรเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป ให้ได้ปริมาณ 450 ถุงต่อวัน ตามความต้องการของทางผู้บริโภค โดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการหมักข้าวเพื่อผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้น

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนนาการวิเคราะห์ปัญหา

2.2 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญ พบว่าหาปัญหาหลักผลิตเกิดจากการกระบวนการหมักข้าว เนื่องจากในกระบวนการนี้ใช้ วิธีการหมักโดยธรรมชาติ ซึ่งต้องอาศัยเวลาในการหมักเป็นเวลานาน อีกทั้งยังต้องให้ได้เนื้อข้าวที่ เหมาะสมพอดี จึงได้เกิดความล่าช้าและกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อวันไม่เพียงพอต่อการจำหน่าย ผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าจะแก้ไขในส่วนของวิธีการ โดยจะทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการหมักข้าว

2.3 เสนอแนวทางการแก้ไข

เนื่องจากระยะเวลาหมักข้าวนานเกินไป จึงเสนอการใช้สารเร่งปฏิกิริยาเพื่อเร่งการหมักข้าวทำแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป

2.4 ออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการหมักข้าว

ทดลองหมักข้าวโดยใช้ยีสต์ในปริมาณ 0%, 0.5%, 1.0%, และ 1.5% รวม 3 ครั้ง วัดค่าความเป็นกรด-

ด่าง โดยในการทดลองผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของแป้ง ซึ่งได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, และเนื้อสัมผัส และความพึงพอใจของลักษณะขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูป

ตารางที่ 1 แสดงทดลองแนวทางแก้ไขเบื้องต้น

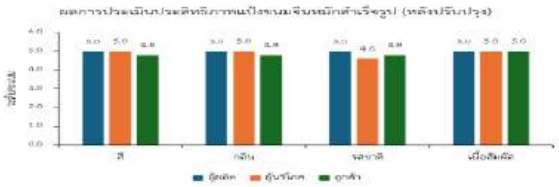
3.ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

3.1 ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของแป้ง ซึ่งได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, และเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าเส้นขนมจีนมีการจับเรียงเป็นเส้นสม่ำเสมอ สีขาวคล้ำเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นอับหรือกลิ่นเหม็นบูด มีกลิ่นรสที่ดี เส้นเหนียวนุ่มและไม่เละ

3.2 ความพึงพอใจของลักษณะขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูป



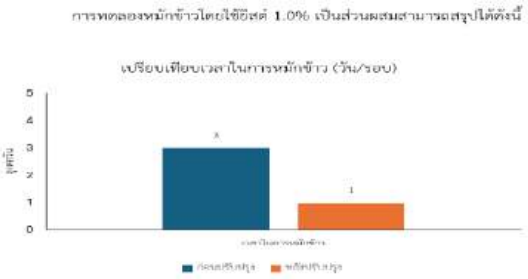
รูปที่ 3 แผนภูมิประเมินประสิทธิภาพขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูปทั้ง 4 ด้าน

คะแนนเฉลี่ยการประเมินประสิทธิภาพขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูปโดยผู้ประเมิน 15 ท่าน คือ 4.89 จาก 5 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 97.78

4. ผลการดำเนินงาน

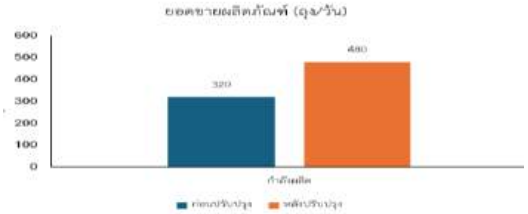
ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป คณะผู้จัดทำได้วิเคราะห์ปัญหาและออกแบบการทดลองเพื่อลดเวลาในการหมักข้าว และได้ผลการดำเนินโครงการ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแป้งหมักสำเร็จรูป



รูปที่ 4 เปรียบเทียบเวลาในการหมักข้าวต่อรอบการผลิต

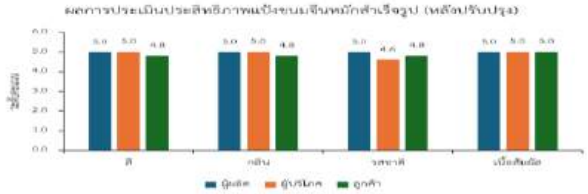
จากรูปที่ 4 การใช้ยีสต์ 1.0% ลดเวลาในการหมักข้าวจาก 3 วันเป็น 1 วันต่อรอบการผลิต ซึ่งลดลง 2 วัน หรือร้อยละ 66.67



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการผลิตระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง

หลังการปรับปรุง ปริมาณการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นจาก 320 ถุงเป็น 480 ถุงต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 50.00 ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ซึ่งต้องเพิ่มไม่น้อยกว่าร้อยละ 40

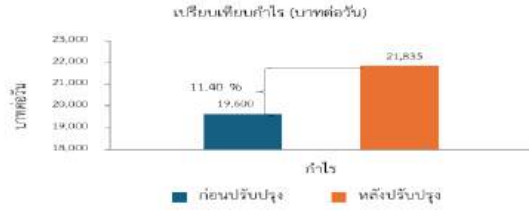
4.2 ผลการหาความพึงพอใจของลักษณะขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูป



รูปที่ 6 แผนภูมิประเมินประสิทธิภาพขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูปทั้ง 4 ด้าน

คะแนนเฉลี่ยการประเมินประสิทธิภาพขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูปโดยผู้ประเมิน 15 ท่าน คือ 4.89 จาก 5 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 97.78

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของขนมจีนแป้งหมักสำเร็จรูป



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำไรต่อวันระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. สรุปผล

จากการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป สูตรการหมักข้าวที่ทดลองสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการหมักข้าวคือ อัตราการใส่ยีสต์ที่ 1.00%

จากการเปรียบเทียบผลผลิตต่อวัน วิธีหมักข้าวแบบเดิมใช้เวลา 3 วัน ส่วนสูตรใหม่ใช้เวลา 1 วัน ลดลง 2 วัน คิดเป็นร้อยละ 66.67 โดยการผลิตเดิมอยู่ที่ 320 ถุงต่อวัน สูตรใหม่ที่ใช้ยีสต์ผลิตได้ 480 ถุงต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ซึ่งตรงตามสมมติฐานที่ต้องการเพิ่มการผลิตไม่น้อยกว่าร้อยละ 40

6. กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง และอาจารย์ ดร.อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์บุญกิจ อุ่นพิกุล อาจารย์ประจำรายวิชาโครงการทางวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งกรุณาถ่ายทอดความรู้และคำชี้แนะ ตลอดจนควบคุมการจัดทำวิจัยจนประสบความสำเร็จได้ดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าของสถานประกอบการที่ให้ความอนุเคราะห์ในผลงานนี้ และขอขอบพระคุณบุคลากรสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวใน ณ ที่นี้

7. บรรณานุกรม

[1] กรกนก สุขะปุนะพันธ์, นางสาวกรองกาญจน์ ร่มสงฆ์, 2544. **การใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก.** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.

[2] นิตยา บุญมี, 2532. **จุลินทรีย์ในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก.** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาการแปรรูปอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.

[3] พัชรี เฉลิมแสน, อาทิตย์ คิดนอก, 2558. **การทำขนมจีนอบแห้ง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัย ราชภัฏมหาสารคาม.

[4] ศันสนีย์ อุดมระติ, 2015. **การใช้แป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการหมักทางธรรมชาติร่วมกับการให้ความร้อนและความชื้นเพื่อเพิ่มสตาร์ชทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในขนมจีน (Online).** กองบริหารการวิจัย อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 2 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการการแปรรูปขนมงากลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดสงขลา

Enhancing the Processing Efficiency of Sesame Snacks in Community Enterprises in Songkhla Province

กุลยุทธ บุญเซ่ง[1] ภณิดา ชูศรี[1] อับดุลอาซีร์ ขุนนา[1] สาลินี แก้วขวัญ[1] เอกรินทร์ วาโย[2] ศุภชัย ชัยณรงค์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ [2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Kulyuth Boonseng[1] Panida Choosri[1] Abdul Asir Khunna[2] Salinee Kaewkhwan[3] Ekkarin Wayo[2]
Supachai Chainarong[1*]
[1] Department of Logistics Engineering, [2]Department of Information Technology and IoT
Faculty of industrial technology, Songkhla Rajabhat University
E-mail: Kulyuth.bo@skru.ac.th

บทคัดย่อ

กลุ่มชาวบ้านได้จัดตั้งวิสาหกิจชุมชนขึ้นเพื่อสร้างรายได้เสริมด้วยการผลิตและจำหน่ายสินค้าจากวัตถุดิบในท้องถิ่น แต่กระบวนการผลิตกลับไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงาน เน้นแต่การตอบสนองความต้องการสินค้าเท่านั้น ทำให้เกิดข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตและผลกำไร ขนมงาดำที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าชะแม จ.สงขลา เป็นที่ต้องการสูง แต่กลุ่มประสบปัญหาในการตอบสนองความต้องการของตลาด เนื่องจากกระบวนการผลิตขาดประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีอัตรากำไรต่ำ เพื่อแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตจึงวิเคราะห์กระบวนการอย่างละเอียดระบุปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ นำมาพัฒนาปรับปรุงการทำงาน โดยออกแบบสร้างอุปกรณ์ช่วยขึ้นรูปนำมาใช้เพื่อปรับปรุงขั้นตอนที่ใช้แรงงานมากที่สุดของกระบวนการผลิต พร้อมจัดทำมาตรฐานขั้นตอนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าเวลาเฉลี่ยในการขึ้นรูปลดลงจาก 6.30 นาทีเหลือ 3.41 นาทีต่อรอบ ซึ่งลดลง 45.87% การปรับปรุงนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมาก

คำหลัก วิสาหกิจชุมชน การปรับปรุงกระบวนการ ขนมงาดำ ประสิทธิภาพการผลิต เครื่องมือขึ้นรูป

Abstract

A community enterprise was established by local villagers to generate supplementary income through the production and sale of goods made from local raw materials. However, the production process lacked efficiency and was focused solely on meeting market demand, which led to limitations in production capacity and profit margins. The Sesame Snacks produced by the Thachama community enterprise in Songkhla Province is in high demand, yet the group faced difficulties in meeting market requirements due to inefficiencies in the production process. This resulted in low profit margins. To address these challenges, a detailed analysis of the production process was conducted to identify key issues impacting efficiency. Based on this analysis, improvements were implemented, including the design and construction of a shaping device to streamline the most labor-intensive step of the production process. Additionally, standardized production procedures were established. The results of the study revealed that the average time for shaping was reduced from 6.30 minutes to 3.41 minutes

per cycle, representing a 45.87% reduction. These improvements significantly enhanced production efficiency and better met customer demand.

Keywords: Community enterprise, process improvement, sesame snack, production efficiency, shaping tool

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้น องค์กรและผู้ผลิตต้องพัฒนาศักยภาพและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยมุ่งเน้นการวางแผนการผลิตให้มีคุณภาพและได้มาตรฐาน รวมถึงปรับปรุงกระบวนการบริหารเพื่อลดความสูญเปล่า เช่น การผลิตเกิน รอคอย ขนส่ง และเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการและต้นทุน การลดต้นทุนจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพที่จะส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงนำมาซึ่งผลกำไรแก่องค์กรได้ [1]

กลุ่มสตรีบ้านชะแม จังหวัดสงขลา ก่อตั้งขึ้นในปี 2526 เพื่อสร้างรายได้เสริม มีสมาชิกจำนวน 10 คน เริ่มจากการผลิตขนมโก๋และขยายเป็นขนมพื้นบ้าน 10 ชนิด โดยเฉพาะขนมงาได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก กลุ่มมีการผลิตตามคำสั่งซื้อและปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่มีความสูญเปล่าในกระบวนการส่งผลให้มีต้นทุนสูง และไม่สามารถผลิตได้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า เนื่องจากขาดประสิทธิภาพในกระบวนการนำมาซึ่งผลกำไรที่น้อย ส่งผลต่อการดำเนินการของกลุ่ม จากประเด็นดังกล่าว เพื่อสร้างโอกาสในการแข่งขันเกิดความยั่งยืน และอนุรักษ์สินค้าประจำท้องถิ่น จึงเป็นที่มาของการเข้าศึกษาเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นนำไปสู่ความสามารถในการแข่งขันและสร้างความยั่งยืนให้เกิดขึ้นแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการแปรรูปขนมงาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตลอดถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การศึกษาการทำงาน (Work Study) [2]

การศึกษาการทำงาน (Work Study) คือกระบวนการวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มผลผลิตจากทรัพยากรที่มีอยู่ โดยประกอบด้วย 2 เทคนิคหลัก ได้แก่ 1) การศึกษาวิธี (Method Study) เพื่อหาวิธีทำงานที่สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม และ 2) การวัดผลงาน (Work Measurement) เพื่อกำหนดเวลามาตรฐาน ช่วยวางแผนการผลิตและบริหารแรงงาน การศึกษาทั้งสองส่วนนี้มีความสัมพันธ์กัน โดยมุ่งลดขั้นตอนและเวลาที่ไม่จำเป็น เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด และส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้ในที่สุด ซึ่งส่วนที่ใช้ในการศึกษาสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1 การศึกษาวิธีการทำงาน

การพัฒนาวิธีการทำงานใหม่มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดความสูญเสีย และลดต้นทุนการผลิต โดยเน้นการปรับปรุงให้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม แนวคิดนี้มีจุดเริ่มต้นจากแฟรง บังเกอร์ กิลเบรธ ในปี ค.ศ. 1911 ผ่านเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) เพื่อตัดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และหาวิธีที่ดีที่สุดในการทำงาน ปัจจุบันนิยมใช้คำว่า “การศึกษาวิธีการทำงาน” โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ปรับปรุงกระบวนการผลิต พัฒนาวิธีการทำงาน ลดความเมื่อยล้า เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ปรับปรุงสถานที่ทำงาน และจัดระเบียบการเคลื่อนย้ายวัสดุให้เหมาะสม

2.1.2 การศึกษาเวลา

การศึกษาเวลา คือเทคนิคการวัดผลงานเพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงานของคนงานภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งนำไปใช้ควบคุมต้นทุนและวางแผนการผลิต ประโยชน์ได้แก่ การกำหนดต้นทุนมาตรฐาน, จัดทำงบประมาณ, สมดุลสายการผลิต, ควบคุมต้นทุน, และเปรียบเทียบผลก่อน-หลังปรับปรุงงาน วิธีการศึกษาเวลาแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ 1) การศึกษาเวลาโดยตรง 2) การสุ่มงาน 3) การใช้ข้อมูลเวลามาตรฐานและสูตร และ 4) การสังเคราะห์เวลาก่อนล่วงหน้า

2.2 แผนภูมิก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล [3]

แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ใช้วิเคราะห์หา

สาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากใส่ปัญหาหลักที่ต้องการวิเคราะห์ไว้ด้านขวาสุด ต่อด้วยการลากเส้นหลักแนวยาว (เส้นกระดูกสันหลัง) แล้วใส่สาเหตุหลักของปัญหา 3-6 หัวข้อ เป็นเส้นก้างปลา (Sub-Bone) ที่แยกออกจากเส้นหลักในมุมเฉียง โดยแต่ละเส้นสามารถแตกย่อยลงไปอีก 4-5 ระดับ เพื่อหาสาเหตุที่ลึกลงไปของปัญหานั้น

2.3 การศึกษาการเคลื่อนไหวแบบไมโคร (Micromotion Study) [2]

การศึกษาการเคลื่อนไหวแบบไมโครเป็นการศึกษาขององค์ประกอบพื้นฐานหรือหน่วยย่อยของการปฏิบัติงาน โดยอาศัยกล้องถ่ายภาพยนตร์และอุปกรณ์บอกเวลา ซึ่งสามารถวัดเวลาของแต่ละช่วงได้อย่างแม้นยำลงบนฟิล์มภาพยนตร์ ทำให้สามารถวิเคราะห์เวลาหน่วยยย่อยได้

2.4 การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากศึกษากระบวนการดำเนินงานปัจจุบัน เก็บรวบรวมข้อมูลนำจำแนกขั้นตอนการทำงาน เก็บข้อมูลเวลาและการทำงานของคน นำมาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไข ออกแบบสร้างเครื่องมือปรับปรุงวิธีการทำงาน วัดประเมินผลการดำเนินงานโดยมีรายละเอียดนำเสนอต่อไป

3. การศึกษา

3.1 ผลการศึกษาก่อนการปรับปรุง

3.1.1 การศึกษากระบวนการในการแปรรูปขนมงา

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเวลาการแปรรูปขนมงาโดยการสังเกตจับเวลา และบันทึกจับเวลาข้อมูลการทำงาน ด้วยเทคนิควิเคราะห์วงรอบเวลา (Cycle Time) ลงแบบฟอร์ม Time Study Sheet โดยเก็บข้อมูลซ้ำงานย่อยละ 10 ครั้ง นำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ระดับ 95% และค่าความคลาดเคลื่อน ±5% ได้ข้อมูลที่เพียงพอและยอมรับได้ นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม ดังสมการที่ 1 [2]

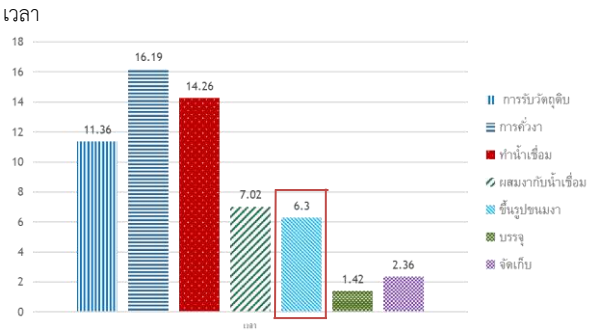
$$N = \frac{40n}{\sum x}\left[\sqrt{\frac{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right)}{n-1}}\right]^2 \quad (1)$$

การผลิตขนมต่อรอบคิดโดยน้ำหนักอยู่ที่ 8 กิโลกรัม กระบวนการผลิตขนมงาจำแนกออกได้เป็น 7 ขั้นตอน คือ 1. การเตรียมวัตถุดิบ 2.คั่วงา 3.ทำน้ำเชื่อม 4.ผสมงากับน้ำเชื่อม 5.ขึ้นรูปขนมงา 6.บรรจุ และ7.จัดเก็บ แสดงลักษณะการทำงานและการใช้พนังงานในแต่ละกระบวนการแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1 ผลการพิจารณาเบื้องต้นพบว่ากระบวนการขึ้นรูปขนมงาใช้คนเป็นจำนวนมากที่สุดถึง 6 คน เมื่อพิจารณาควบคู่กับการใช้เวลาในการผลิตพบว่าเป็นกระบวนการที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตในแง่ของแรงงานและรอบเวลาที่ใช้ จึงเป็นประเด็นในการเลือกขั้นตอนการขึ้นรูปนำมาพัฒนาปรับปรุงนำไปสู่การแก้ปัญหา

รูปที่ 1 ภาพการไหลของกระบวนการแปรรูปขนมงา

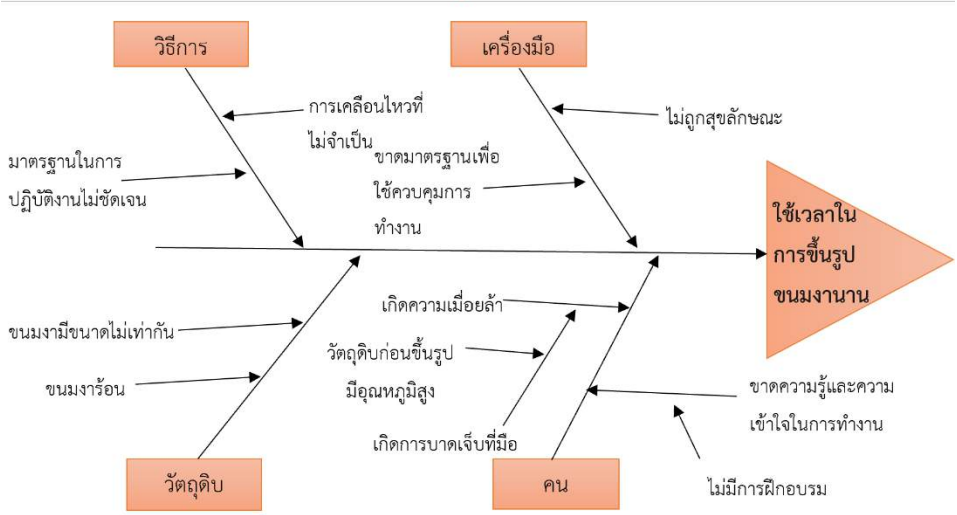
3.1.2 วิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการผลิต

จากการศึกษากระบวนการแปรรูปขนมงา พบว่ากระบวนการขึ้นรูปใช้เวลานาน เฉลี่ย 6.30 นาทีต่อรอบ สำหรับผู้ปฏิบัติงาน 6 คน ผู้วิจัยจึงเห็นว่ามีโอกาสในการลดเวลาและปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตขนมงาแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงกระบวนการแปรรูปขนมงา

พนักงาน โดยคำนวณจากองค์ประกอบการเคลื่อนที่พื้นฐาน ปัจจัยที่มีผลต่อเวลา ประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ รูปแบบการเคลื่อนที่ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ และน้ำหนักปแสดงลักษณะการขึ้นรูปขนมงาก่อนปรับปรุงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการใช้เวลาในการขึ้นรูปขนมงานาน

3.1.3 การวิเคราะห์แล้วระบุปัญหา

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าชะแมใช้เวลาขึ้นรูปขนมงาเฉลี่ย 6.30 นาทีต่อรอบ โดยมีพนักงาน 6 คน จากการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาพบว่าสาเหตุของปัญหาแสดงดังรูปที่ 3 และมีรายละเอียด 3 ประเด็นหลัก

คน – พนักงานขาดความรู้และมาตรฐานการทำงานที่ชัดเจน ส่งผลให้เกิดการทำงานที่แตกต่าง ใช้โครงร่างที่ผิดนำไปสู่ความเมื่อยล้า

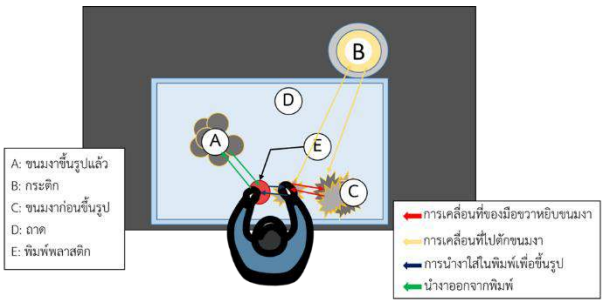
วิธีการ – ต้องใช้มือสัมผัสขนมงาที่ร้อนสูง ทำให้ได้รับบาดเจ็บเกิดการทำงานล่าช้า

เครื่องมือ – อุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับลักษณะงาน ทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน

3.2 แนวทางการแก้ไข

3.2.1 การวิเคราะห์กระบวนการทำงานอย่างละเอียด

การเคลื่อนไหวแบบไมโคร (Micromotion Study Analysis) เป็นเทคนิคที่วัดค่าเวลาในการเคลื่อนไหวของ



รูปที่ 4 แสดงการขึ้นรูปขนมงา (ก่อนปรับปรุง)

แผนผังการวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปของพนักงานก่อนการปรับปรุงจากการศึกษาในกระบวนการขึ้นรูปในสถานการณ์ปัจจุบันจึงได้แบ่งกระบวนการขึ้นรูปออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปและขั้นตอนการขึ้นรูป

1) การเคลื่อนไหวแบบไมโครของขั้นตอนก่อนขึ้นรูป

ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปใช้เวลา 29.40 วินาที/รอบการผลิต มี 7 ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปต่อ จากผลการเก็บข้อมูลตามความน่า

ถือทางสถิติตามสมการที่ 1 เวลาที่ใช้ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปทั้งหมด 3.43 นาที/รอบ

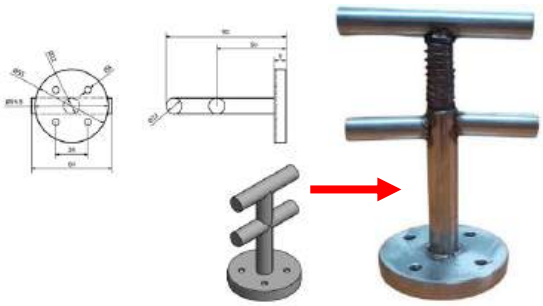
2) การเคลื่อนไหวแบบไมโครของขั้นตอนขึ้นรูป

ขั้นตอนการขึ้นรูปใช้เวลา 5.07 วินาที/ชิ้น ในกระบวนการขึ้นรูปต่อรอบการผลิตมีขนมโดยเฉลี่ยจำนวน 407 ชิ้น/รอบ จากผลการเก็บข้อมูลตามความน่าถือทางสถิติตามสมการที่ 1 เวลาที่ใช้ขั้นตอนการขึ้นรูปทั้งหมด 34.39 นาที/รอบ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นในกระบวนการขึ้นรูปมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปจะใช้เวลา 3.43 นาที/รอบ และขั้นตอนการขึ้นรูปใช้เวลา 34.39 นาที/รอบ ดังนั้นในกระบวนการขึ้นรูปใช้เวลา 38.22 นาที ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปมีพนักงาน 6 คน ใช้เวลาในกระบวนการขึ้นรูปเฉลี่ย 6.30 นาที/คน

3.2.2 แนวทางแก้ไขและสร้างมาตรฐานขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูป

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบไมโครในกระบวนการขึ้นรูป พบว่าพนักงานเกิดอาการปวดเมื่อยล้าและบาดเจ็บเป็นผลที่เกิดจากการเอื้อมมือจับขนมงาขณะร้อนและการใช้เวลาเป็นนานในการขึ้นรูป ผู้วิจัยจึงนำมาเป็นประเด็นเพื่อแก้ปัญหา โดยวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องมือช่วยในกระบวนการขึ้นรูปขนมงา เพื่อลดเวลาในการทำงาน ความเมื่อยล้า และผลที่จะเกิดต่อการบาดเจ็บโครงร่างของผู้ปฏิบัติงาน โดยสร้างแนวคิดนำไปสู่การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์นำมาใช้แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบพิมพ์ขนมงาและพิมพ์ขนมงาที่ได้สร้างขึ้น

พิมพ์ขนมงาผลิตด้วยสแตนเลสเกรด 430 ออกแบบให้มีสปริงช่วยดีดขนมออกจากแบบพิมพ์หลังขึ้นรูป ลดการใช้แรงและเวลาในการแกะงานต่อการทำงาน มีส่วนประกอบอ 4 ชิ้นส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

1. แท่นพิมพ์ : ใช้ในการกดและกำหนดขนาดของขนมและออกแบบให้เป็นรูเพื่อระบายอากาศและความร้อนออกจากขนมไม่ให้ขนมงาติดกับแบบพิมพ์

2. สปริง : ทำหน้าที่กดและดันแผ่นขนมดีดออกจากตัวพิมพ์

3. แผ่นดันขนม : แผ่นดันขนมทำหน้าที่กดขนมและดันขนมออกจากพิมพ์

4. แกนดันขนม : ทำหน้าที่กดขนมและดันขนมออกจากแบบพิมพ์

ขั้นตอนการทำงานของพิมพ์ขนมงมี 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1. ใช้มือซ้ายตักขนมงาด้วยช้อนขนาดพอเหมาะกับพิมพ์

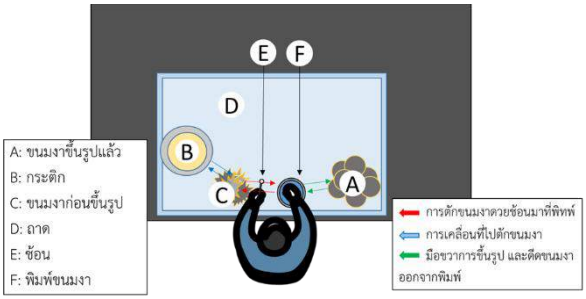
2. ใช้มือขวาถือพิมพ์แล้วกดได้ขนาดที่ต้องการ

3. กดพิมพ์เพื่อดีดขนมออกจากพิมพ์

รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงานกับพิมขนมงา

3.3 หลังปรับปรุง

3.3.1 การวิเคราะห์กระบวนการทำงานอย่างละเอียด



รูปที่ 6 แสดงการขึ้นรูปขนมงา (หลังปรับปรุง)

การวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปขนมงาหลังการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการขึ้นรูปใหม่ โดยใช้มือซ้ายหยิบช้อนตักขนมงาในขณะที่มือขวาถือพิมพ์เพื่อกดขนมงา จากนั้นมือซ้ายจะตักขนมงามาใส่พิมพ์และมือขวาจะกดขนมงา ก่อนที่จะดีดขนมงาออกจากพิมพ์ด้วยมือขวา

1. การเคลื่อนไหวแบบไมโครของขั้นตอนก่อนขึ้นรูป

ขั้นตอนก่อนขึ้นรูปจะใช้เวลา 25.54 วินาที/ครั้ง ซึ่งใน

กระบวนการขึ้นรูปมี 5 ขั้นตอนก่อนขึ้นรูป มีความน่าถือทางสถิติ ดังนั้นในขั้นตอนก่อนขึ้นรูปใช้เวลาทั้งหมด 2.13 นาที/รอบ

2. การเคลื่อนไหวแบบไมโครของขั้นตอนขึ้นรูป

ขั้นตอนการขึ้นรูปใช้เวลา 2.56 วินาที/ชิ้น ในกระบวนการขึ้นรูปมีการขึ้นรูปจำนวน 430 ชิ้น/รอบ ดังนั้นในขั้นตอนการขึ้นรูปจะใช้เวลาทั้งหมด 18.35 นาที/รอบ

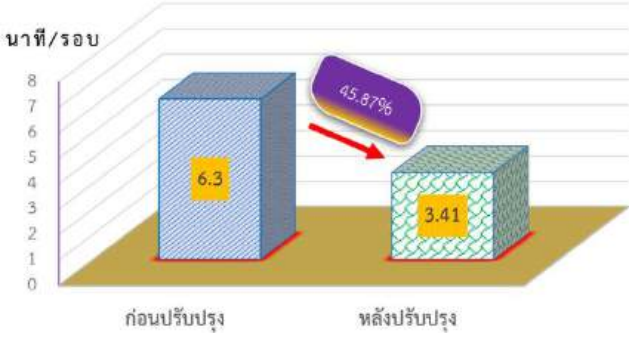
4. ผลการดำเนินการและอภิปรายผล

จากการปรับปรุงแก้ปัญหาลดความเปล่าในกระบวนการแปรรูปขนมงา โดยการศึกษากระบวนการ และการการใช้ก้างปลาเพื่อหาปัญหา นำไปสู่การปรับปรุงสร้างเครื่องมืออำนวยความสะดวกทำให้ทำงานได้เร็วขึ้นและลดการบาดเจ็บได้ ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชยันต์ คำบรรลือและคณะ [4] และเกรียงศักดิ์ อินทร [5] เก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมดังสมการที่ 1 [2]

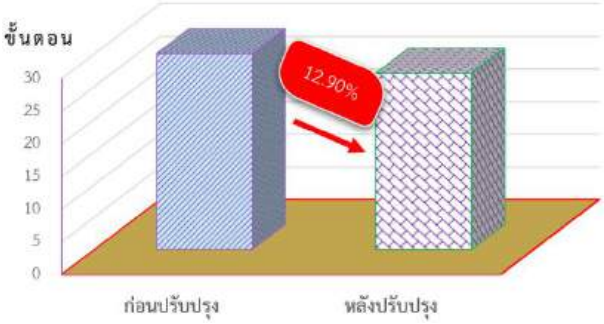
ผลการศึกษาเวลาในกระบวนการขึ้นรูปขนมงา พบว่าใช้เวลาในกระบวนการขึ้นรูปนาน ซึ่งเกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต หลังจากการศึกษาและหาแนวทางในการปรับปรุงสามารถลดเวลาและขั้นตอนในการเคลื่อนไหวลงได้ มีรายละเอียดดังนี้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลขั้นตอนการขึ้นรูปก่อน-หลังปรับปรุง/รอบ

เวลา (นาที/รอบ)		จำนวนขั้นตอนการขึ้นรูป	
ก่อนปรับปรุง	6.30	**ก่อนปรับปรุง**	31
หลังปรับปรุง	3.41	**หลังปรับปรุง**	27
ผลต่าง	2.89	**ผลต่าง**	4
เปอร์เซ็นต์	45.87	**เปอร์เซ็นต์**	12.90



รูปที่ 15 เปรียบเทียบเวลาก่อน-หลังการปรับปรุง



รูปที่ 16 เปรียบเทียบขั้นตอนก่อน-หลังการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์พบว่าหลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยออกแบบขั้นตอนใหม่และตัดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ลดเวลาในกระบวนการขึ้นรูปลงจาก 6.30 นาทีเป็น 3.41 นาที ลดลง 2.89 นาที หรือ 45.87% นอกจากนี้จำนวนขั้นตอนลดลงจาก 31 ขั้นตอนเหลือ 27 ขั้นตอน ลดลง 4 ขั้นตอน หรือ 12.90% ส่งผลให้กระบวนการขึ้นรูปมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การใช้เครื่องมือช่วยในขั้นตอนการขึ้นรูปช่วยเพิ่มจำนวนชิ้นขนมงา เนื่องจากสามารถกำหนดขนาดและความหนาได้อย่างแม่นยำ ทำให้ขนมมีขนาดเท่ากัน ลดของเสีย และเพิ่มปริมาณการผลิตต่อรอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนผลผลิตขนมงาก่อน-หลังการปรับปรุง/รอบ

	ก่อน	**หลัง**	**ผลต่าง**	**เปอร์เซ็น**
ชิ้น/รอบ	407	430	27	6.28

รูปที่ 18 การเปรียบเทียบจำนวนชิ้นก่อน-หลังการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบไมโครพบว่าหลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยออกแบบเครื่องมือและขั้นตอนใหม่ พร้อมตัดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ทำให้จำนวนขนมงาที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจาก 407 ชิ้นต่อรอบเป็น 430 ชิ้นต่อรอบ เพิ่มขึ้น 27 ชิ้น หรือ 6.28% ส่งผลต่อ

ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอาหลีและคณะ [6]

ผลที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตขนมงาสามารถช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้สะดวกขึ้น แต่ในการเรียนรู้และใช้งานเครื่องมืออาจส่งผลต่อผู้ปฏิบัติงานในการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานจากเดิมที่ดำเนินการอยู่ ดังนั้นจึงควรให้ความรู้ในวิธีการใช้และสร้างแนวคิดในการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานเพื่อให้ได้ผลที่ดีกว่าตลอดถึงการสร้างวิธีการเรียนรู้และพัฒนาในการทำงานให้แก่ผู้ปฏิบัติงานเพื่อเป็นต้นแบบและนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในลักษณะอื่นๆ เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพสร้างความยั่งยืนต่อไปให้กับกลุ่มและสร้างการพัฒนาชุมชนเศรษฐกิจฐานรากตอบสนองการพัฒนาประเทศตามนโยบายภาครัฐ

5. สรุป

การพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตขนมงาพบว่าขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นคอขวดหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิต ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดการวิเคราะห์ ผังก้างปลา และการศึกษาการเคลื่อนไหวแบบไมโครมาประยุกต์ใช้ เพื่อระบุสาเหตุของความสูญเปล่า และออกแบบเครื่องมือช่วยในการขึ้นรูปขนมงาใหม่ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน ผลการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าสามารถลดเวลาการทำงานและเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ต่อรอบ ส่งผลให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดภาระแรงงาน และเพิ่มโอกาสในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาด งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางต้นแบบในการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับชุมชน โดยใช้หลักวิศวกรรมอุตสาหการร่วมกับนวัตกรรมที่เหมาะสมกับบริบทของกลุ่มเป้าหมาย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากสมาชิกวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าชะแม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูลการดำเนินงาน และสาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ที่มอบโอกาศในการเรียนรู้ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านและขอน้อมรับข้อบกพร่องเพื่อพัฒนาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] มารุต มูเก็ม. (2562). การลดจำนวนกระป๋องบุบในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด. [สารนิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] Ralph M. Barnes. (1980). Motion and time study design and measurement of work (7thed.). John Wiley & Sons.

[3] ประชาสรรณ์ แสนภักดี. 2547. แผนผังก้างปลาหรือแผนผังสาเหตุและผล. สืบค้น มกราคม 15, 2568จาก http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm.

[4] ชยันต์ คำบรรลือและคณะ , “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตัดกระยาสารท กลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมไทยบ้านตาก”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, (2562).

[5] เกรียงศักดิ์ อินทร. (2563). การเพิ่มประสิธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในสายการผลิตโดยใช้หลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม. การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[6] อาหลี วิเชียร พิริยะ สรรพเพทยพิศาล ศุภชัย ชัยณรงค์ และกุลยุทธ บุญเซ่ง. 2567. “การออกแบบพัฒนาสร้างอุปกรณ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตขนมถั่วทอด” การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9 1-3 พฤษภาคม 2567, โรงแรม เฮอริเทจ เชียงราย.

การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่งเพื่อการส่งออกโดยใช้เทคนิคแบบลีน

Cost Reduction of Export Packaging and Transportation Using Lean Techniques

สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ[1] รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[1*] สุรพจน์ วัชโรภากุล[1] ฉกาจ เชื่อดี[1] ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล[1] นรารักษ์ บุตรชา[1] และธวัลรัตน์ พงษ์ธนบูรณ์[1]

[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Surasak Matitopanum[1] Rungwasun Kraiklang[1*] Suraphot Watcharophakul[1] Chakat Chueadee[1] Thanasak Rattanapoottabul[1] Nararak Budcha[1] and Thawonrat Phongthanaboon[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

E-mail: rungwasun@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นไปที่บรรจุภัณฑ์รุ่น A ซึ่งมีต้นทุนรวมสูงสุด การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลต้นทุนและกระบวนการบรรจุภัณฑ์และขนส่งในช่วงเดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2566 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสูญเสียและต้นทุนที่สูง โดยใช้ แผนภาพสาเหตุและผล และประยุกต์ใช้หลักการลีน: ความสูญเสีย 7 ประการ เป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งของบรรจุภัณฑ์รุ่น A ลงได้จาก 2.40 บาทต่อชิ้น เหลือ 1.60 บาทต่อชิ้น คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 33.33 ของต้นทุนเดิม หรือคิดเป็นมูลค่าการลดต้นทุนเฉลี่ยต่อเดือน 26,379 บาท ผลการศึกษายืนยันว่าแนวทางการใช้แผนภาพสาเหตุและผลร่วมกับหลักการลีน: ความสูญเสีย 7 ประการ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและขนส่งขององค์กรอื่นได้

คำหลัก การลดต้นทุน, บรรจุภัณฑ์, แผนภาพสาเหตุและผล, ความสูญเสีย 7 ประการ, หลักการลีน

Abstract

This research aims to reduce the packaging and transportation costs of a case study company, focusing on Model A packaging, which accounts for the highest cumulative cost. The study collected data on packaging and transportation costs between January and December 2023. The root causes of high costs were analyzed using the Cause-and-Effect Diagram and the principles of Lean: 7 Waste to identify unnecessary losses and improve processes. The results revealed that after implementing process improvements, the average cost per unit of Model A packaging decreased from 2.40 THB to 1.60 THB, representing a 33.33 % cost reduction or approximately 26,379 THB per month. These findings

indicate that the integrated application of the Cause-and-Effect Diagram and Lean: 7 Waste effectively reduced costs and can be applied to other organizations with similar operations.

Keywords: Cost Reduction, Packaging, Cause and Effect Diagram, 7 Waste, Lean Techniques

1. บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญของงานวิจัย

ในภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่ทวีความรุนแรงในระดับโลก อุตสาหกรรมยานยนต์จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพและการบริหารต้นทุนในทุกกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง ซึ่งเป็นต้นทุนแฝงที่แม้จะไม่ได้สร้างมูลค่าเพิ่มโดยตรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ แต่กลับมีผลกระทบต่อโครงสร้างราคาขายและศักยภาพในการแข่งขันในตลาดอย่างมีนัยสำคัญ [1-2] ทั้งนี้ บริษัทกรณีศึกษาซึ่งดำเนินธุรกิจเป็นผู้ผลิตสินค้ายางขอบประตูสำหรับรถยนต์ยี่ห้อต่าง ๆ สำหรับส่งออกต่างประเทศ ได้ประสบปัญหาต้นทุนรวมของบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งในระดับสูง โดยจากข้อมูลปี พ.ศ. 2566 พบว่าต้นทุนเฉลี่ยด้านบรรจุภัณฑ์และการขนส่งอยู่ที่ 9,217,056.17 บาทต่อเดือน โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์รุ่น A ซึ่งมีปริมาณคำสั่งซื้อสูงสุด มีต้นทุนเฉลี่ยถึง 2.40 บาทต่อชิ้น ส่งผลต่อผลประกอบการและศักยภาพในการแข่งขันขององค์กร

จากการศึกษาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ต้นทุนอยู่ในระดับสูง ได้แก่ ความไม่มีประสิทธิภาพในกระบวนการออกแบบบรรจุภัณฑ์ การใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์เกินความจำเป็น และความสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขนส่ง โดยเฉพาะในกรณีของบรรจุภัณฑ์รุ่น A ซึ่งเป็นรุ่นที่มีปริมาณการสั่งซื้อสูงสุด ต้นทุนเฉลี่ยต่อชิ้นจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปัญหาเหล่านี้สะท้อนถึงการขาดกระบวนการวิเคราะห์ต้นเหตุของความสูญเสียที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเน้นการนำเครื่องมือคุณภาพและกรอบแนวคิดการบริหารจัดการความสูญเสียมาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ เช่น งานของ Shesarina, Fitriana และ Harahap ที่ประยุกต์ใช้ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ร่วมกับหลักการ Lean: 7 Waste ในการระบุและขจัดสาเหตุของความสูญเสียในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จนสามารถลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] ส่วน Proença, Gaspar และ Lima รายงานว่าการประยุกต์ใช้ Lean 7 Waste ช่วยลดต้นทุนและปรับปรุงกระบวนการบรรจุและขนส่งผลไม้ได้อย่างเป็นระบบ [4] ขณะที่ Zalawadia, Buch และ Tomar ใช้แผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์และลดข้อผิดพลาดในกระบวนการบรรจุภัณฑ์แบบอัตโนมัติจนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ [5]

จากปัญหาที่ระบุและข้อค้นพบจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการบรรจุภัณฑ์และการขนส่งของบริษัทฯ โดยมุ่งเน้นไปที่บรรจุภัณฑ์รุ่น A ผ่านการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุน การใช้แผนภาพสาเหตุและผลร่วมกับหลักการ Lean 7 Waste เพื่อระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสูญเสียและต้นทุนที่ไม่จำเป็น พร้อมทั้งกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบและสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงภายในองค์กร โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนรวมของบรรจุภัณฑ์และการขนส่งลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 จากต้นทุนเดิม อีกทั้งการลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งไม่เพียงแต่มีผลต่อระดับองค์กร แต่ยังส่งผลต่อห่วงโซ่อุปทาน หรือต่อศักยภาพการแข่งขันของประเทศในการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อลดต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์รุ่น A ของบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ต่างๆ ดังนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง

ต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่งเป็นส่วนสำคัญของต้นทุนรวมในการผลิต การลดต้นทุนในส่วนนี้สามารถเพิ่มกำไรและประสิทธิภาพโดยรวมได้ แนวคิดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่:

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม: ออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีขนาดพอดีกับผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการใช้วัสดุและพื้นที่ในการขนส่ง [6]

การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน: เลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลหรือย่อยสลายได้ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนในการกำจัด [7]

การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง: วางแผนเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ ลดระยะทางและเวลาในการขนส่ง เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงและค่าแรง [8]

2.2 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพสาเหตุและผล หรือที่เรียกว่า แผนภาพก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือ แผนภาพอิชิกาวะ (Ishikawa Diagram) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระบุและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยการจัดกลุ่มสาเหตุที่เกี่ยวข้องออกเป็นหมวดหมู่ เช่น บุคลากร วัสดุ เครื่องจักร วิธีการ สภาพแวดล้อม และการวัดผล เพื่อช่วยให้สามารถมองเห็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาและนำไปสู่การแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9]

2.3 ทฤษฎี Lean และ 7 Waste

ทฤษฎี Lean เป็นแนวคิดในการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นการกำจัด 7 Waste ได้แก่:

การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
การรอคอย (Waiting)
การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Transportation)
การแปรรูปที่ไม่จำเป็น (Overprocessing)
สินค้าคงคลังส่วนเกิน (Inventory)
การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion)
ของเสียจากการแก้ไข (Defects) [10]

2.4 หลักการ 5 Gen

หลักการ 5 Gen ใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับแผนภาพสาเหตุและผล จะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หลักการ 5 เก็น ประกอบด้วย 1) เก็นบะ หมายถึง สถานที่จริงหรือพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่น พื้นที่โรงงาน พื้นที่จัดเก็บสินค้า พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น 2) เก็นบุตสึ หมายถึง สิ่งของหรืองานที่เป็นปัญหาหรือชิ้นงานที่กำลังตรวจสอบ 3) เก็นจิตสึ หมายถึง สถานการณ์หรือเหตุการณ์จริงที่กำลังก่อให้เกิดปัญหาซึ่งอาจเป็นปัญหาจากสภาพแวดล้อม กระบวนการ กระบวนการทำงาน หรือเวลาที่ทำให้เกิดของเสียหรือปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง 4) เก็นริ หมายถึง ทฤษฎีหรือหลักการทำงานที่เกี่ยวข้องหรือมาตรฐานการควบคุมการผลิต รวมถึงสูตรการผลิตต่างๆ และ 5) เก็นโซกุ หมายถึง เงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อตกลง ข้อจำกัด กฎ หรือระเบียบปฏิบัติ สิ่งเหล่านี้ล้วนจำเป็นในการค้นหาสาเหตุและวิเคราะห์ปัญหาในจุดที่ถูกต้อง [11]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาต้นทุนบรรจุภัณฑ์และต้นทุนการขนส่ง

บริษัทกรณีศึกษาต้องการที่จะลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ โดยมุ่งเน้นหาวิธีการลดต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์และการขนส่งที่ส่งออกต่างประเทศ จากการศึกษาต้นทุนการขนส่ง (Transport cost) และต้นทุนบรรจุภัณฑ์ (Packing cost) ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2566 พบว่ามีต้นทุนการขนส่งรวม 47,105,796 บาท และต้นทุนบรรจุภัณฑ์รวม 63,498,878 บาท คิดเป็นต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ย 9,217,056.17 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นยอดต้นทุนที่สูง จึงจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องการลดต้นทุนในด้านนี้

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาข้อมูลในกระบวนการบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง พบว่าการบรรจุภัณฑ์ จะพิจารณาคำสั่งซื้อจากลูกค้า จะมีการสั่งผลิตชิ้นงานที่มีความแตกต่างกันในแต่ละลักษณะเฉพาะ ของยี่ห้อรถยนต์ จากการศึกษารูปแบบการบรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา แบ่งออกเป็น 5 รุ่น (model) แต่ละรุ่นก็จะมีรายการ (profile) ที่แตกต่างกันไป รวม ๆ แล้วใน 5 รุ่นนี้จะมีรูปร่างทั้งหมด 34 รายการซึ่งแต่ละรายการก็จะใช้บรรจุงานที่มีผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันไป 34 ผลิตภัณฑ์ตามรายการกล่องกำหนด โดยบริษัทอนุญาตให้

เลือกกรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์มา 1 ผลิตภัณฑ์มานำร่อง เนื่องจากแต่ละผลิตภัณฑ์มีลักษณะการบรรจุภัณฑ์ใกล้เคียงกัน ในที่นี้ใช้บรรจุภัณฑ์รุ่น A ซึ่งมีปริมาณคำสั่งซื้อเฉลี่ยต่อเดือนมากที่สุด มาศึกษาเพื่อหาแนวทางลดต้นทุนกระบวนการบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง

จากการศึกษาบรรจุภัณฑ์รุ่น A พบว่ารายการบรรจุภัณฑ์ (profile) ที่แตกต่างกันแบ่งเป็น 11 รายการ โดยมีความยาวของผลิตภัณฑ์ และน้ำหนักที่แตกต่างกันออกไป ทำให้มีปริมาณการบรรจุ และน้ำหนักการบรรจุต่อกล่องที่แตกต่างกันไปด้วยเช่นกัน แต่จะใช้กล่องในการบรรจุขนาดเท่ากัน ส่งผลต่อการใช้จำนวนกล่องบรรจุภัณฑ์และต้นทุนการขนส่งตามไปด้วย มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A (ก่อนการปรับปรุง)

รายการ	ความยาว (มม.)	น้ำหนักต่อชิ้น (กก./ชิ้น)	จำนวนบรรจุต่อกล่อง (ชิ้น/กล่อง)	น้ำหนักต่อกล่อง (กก./กล่อง)
A1	815	0.226	40	9.04
A2	695	0.064	100	6.4
A3	745	0.187	40	7.48
A4	781	0.0412	100	4.12
A5	813	0.0429	100	4.29
A6	570	0.15	40	6
A7	742	0.21	40	8.4
A8	793	0.21	40	8.4
A9	841.5	0.22	40	8.8
A10	859	0.05	100	5
A11	800	0.05	100	5

จากการศึกษาข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์พบว่า คิดต้นทุนค่าใช้จ่าย การบรรจุภัณฑ์ตามจำนวนพาเลทที่ใช้ขนส่ง ซึ่งใน 1 พาเลทสามารถบรรจุจำนวนกล่องบรรจุภัณฑ์ได้ 18 กล่อง โดยมีต้นทุนการบรรจุอยู่ที่ 1,145 บาทต่อพาเลท และมีต้นทุนการขนส่งคิดตามจำนวน ตู้คอนเทนเนอร์ โดยต้นทุนอยู่ที่ 50,121 บาทต่อตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งแต่ละตู้สามารถบรรจุพาเลทได้ 40 พาเลทต่อตู้ แสดงรายละเอียดต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A (ก่อนการปรับปรุง)

รายการ	จำนวนสั่งซื้อ (ชิ้น/เดือน)	จำนวนพาเลท (พาเลท/เดือน)	ต้นทุนการบรรจุ (บาท/เดือน)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)
A1	36,720	51	58,395	63,904	122,299
A2	22,800	13	14,885	16,289	31,174
A3	11,760	16	18,320	20,048	38,368
A4	10,200	6	6,870	7,518	14,388
A5	10,800	6	6,870	7,518	14,388
A6	3,120	4	4,580	5,012	9,592
A7	2,160	3	3,435	3,759	7,194
A8	3,120	4	4,580	5,012	9,592
A9	1,440	2	2,290	2,506	4,796
A10	2,400	1	1,145	1,253	2,398
A11	2,400	1	1,145	1,253	2,398
รวม	**106,920**	**107**	**122,515**	**134,074**	**256,589**

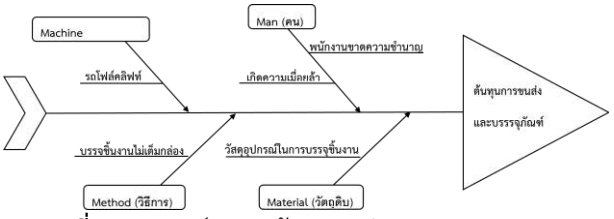
จากตารางที่ 2 พบว่า ก่อนการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของรุ่น A มีต้นทุนค่าใช้จ่ายบรรจุภัณฑ์รวม 122,515 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งรวม 134,074 บาทต่อเดือน และ คิดเป็นต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่ง และบรรจุภัณฑ์เฉลี่ย 256,589 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 256,589/106,920 = 2.40 บาทต่อชิ้น

จากปัญหาของต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์ที่สูง ส่งผลต่อต้นทุนภาพรวมของบริษัทเช่นกัน ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงมีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยต่อชิ้นจากเดิม 2.40 บาทต่อชิ้น ลดลงอย่างน้อยร้อยละ 30 จากต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ก่อนปรับปรุง

3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

งานวิจัยได้นำเทคนิค 5 GEN มาใช้วิเคราะห์ร่วมกับแผนภาพสาเหตุและผล ในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนขนส่งและบรรจุภัณฑ์มีค่าใช้จ่ายที่สูง โดยใช้หลักการ 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และกระบวนการวิธีการทำงาน (Method) โดยการแลกเปลี่ยนความคิดกับผู้บังคับบัญชาทุกระดับชั้น เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากปัญหาและสาเหตุที่เกิดขึ้น นำมาวิเคราะห์โดย

แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังนี้



รูปที่ 1 วิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล

ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา สามารถสรุปประเด็นได้ดังนี้

1) คน (Man)

- พนักงานขาดความชำนาญในการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดความล่าช้า

- การทำงานติดกันหลายชั่วโมง ทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าส่งผลให้ประสิทธิภาพของพนักงานลดลง

2) เครื่องจักร (Machine)

- การเคลื่อนย้ายกล่องบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้งทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการทำงาน

3) วิธีการ (Method)

- การจัดเรียงชิ้นงานใส่ไม่เต็มกล่องพบว่ายังมีพื้นที่ว่างเหลืออยู่

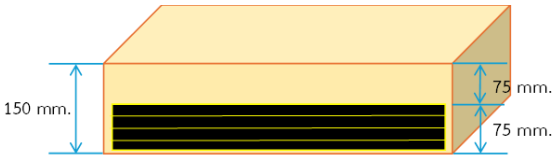
4) วัตถุดิบ (Material)

- การบรรจุชิ้นงานไม่เต็มกล่องทำให้จำเป็นต้องใช้กล่องหลายใบในการบรรจุชิ้นงาน

- การบรรจุชิ้นงานหลายกล่องทำให้ต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ในการบรรจุมากขึ้น

จากการวิเคราะห์โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล พบว่าการบรรจุชิ้นงานไม่เต็มกล่องส่งผลให้ต้องใช้กล่องหลายใบในการบรรจุชิ้นงาน ซึ่งการใช้กล่องหลายใบนี้ทำให้ต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ในการบรรจุมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น

จากการสำรวจสภาพในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะการบรรจุของผลิตภัณฑ์ในแต่ละรายการ พบว่ามีการบรรจุชิ้นงานในกล่องที่ไม่เต็ม หากสามารถเพิ่มจำนวนชิ้นงานลงในกล่องได้ จะช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งในด้านบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง แสดงตัวอย่างลักษณะการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การบรรจุชิ้นงานใส่กล่องในปัจจุบัน

3.4 การพิจารณาและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

เมื่อทราบถึงปัญหาและสาเหตุของปัญหา พบว่าต้นทุนในการขนส่งและค่าใช้จ่ายสำหรับบรรจุภัณฑ์มีความสูงมาก ทางคณะผู้วิจัยได้นำหลักการกำจัดความสูญเสีย (7 waste) มาใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยทางคณะผู้จัดทำได้นำหลักการกำจัดความสูญเสีย (7 waste) มาใช้ 1 หลักการ ได้แก่ ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation) โดยทำการแก้ไขปัญหาจากความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง ได้แก่

1. การจัดเรียงชิ้นงานให้เต็มกล่อง เพื่อช่วยลดจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งชิ้นงานให้น้อยลง

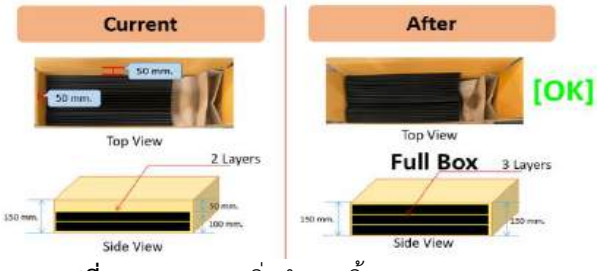
2. ใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายและดูแลรักษาในการขนส่งที่เหมาะสม

3.5 ดำเนินการแก้ไขปัญหา

หลังจากที่นำข้อกำหนดของลูกค้ามาประเมินการเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานพบว่าทั้ง 11 รายการ ที่สามารถนำมาเพิ่มจำนวนหน่วยชิ้นงานได้ เพื่อลดการใช้บรรจุภัณฑ์และลดพื้นที่ในการขนส่ง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ลดลง

3.5.1 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A1

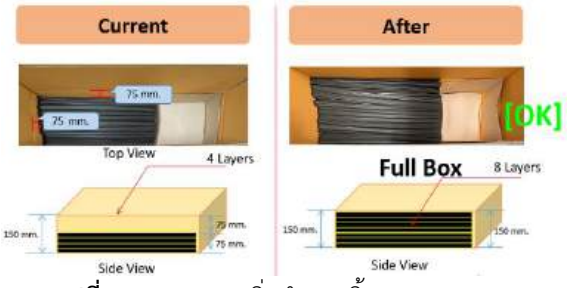
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A1 ยาว 815 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 3 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A1

3.5.2 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A2

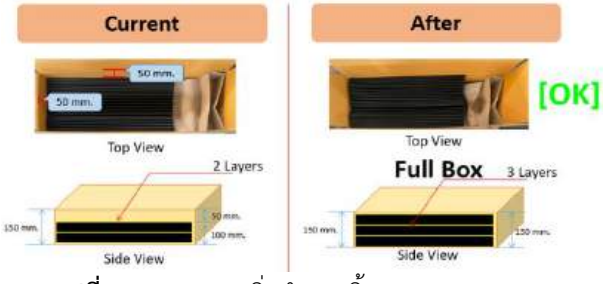
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A2 ยาว 695 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 4 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A2

3.5.3 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A3

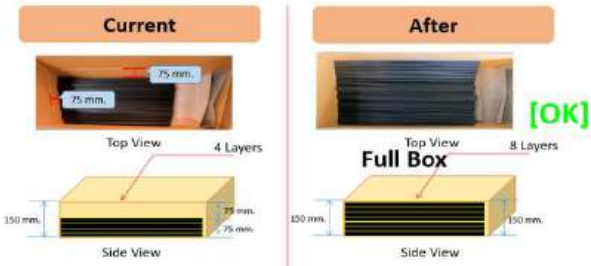
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A3 ยาว 745 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 5 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A3

3.5.4 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A4

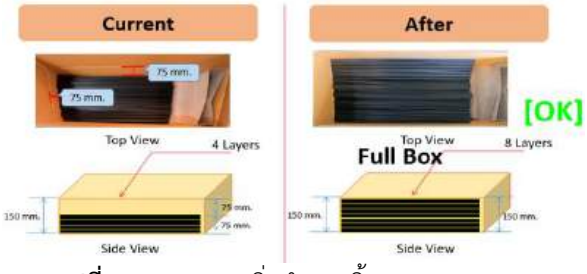
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A4 ยาว 781 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 6 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A4

3.5.5 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A5

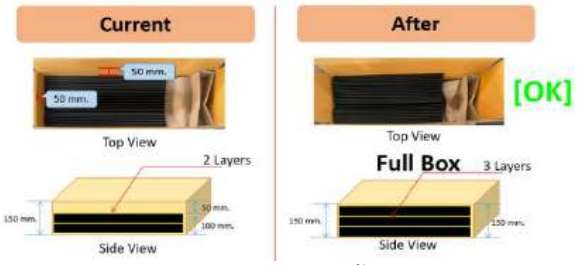
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A5 ยาว 813 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 7 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A5

3.5.6 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A6

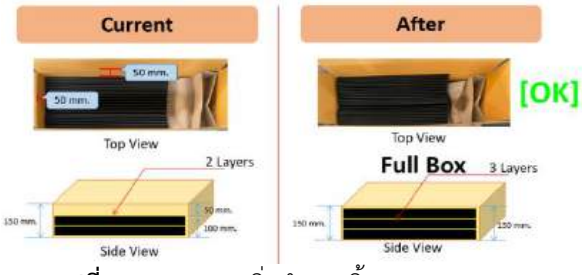
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A6 ยาว 570 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 8 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A6

3.5.7 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A7

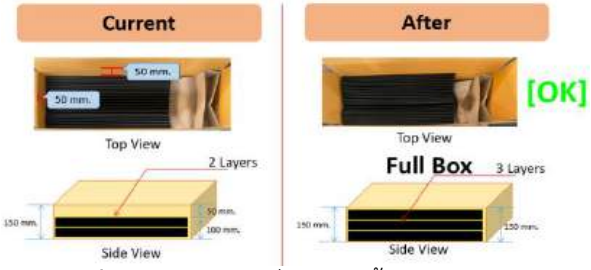
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A7 ยาว 742 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 9 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A7

3.5.8 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A8

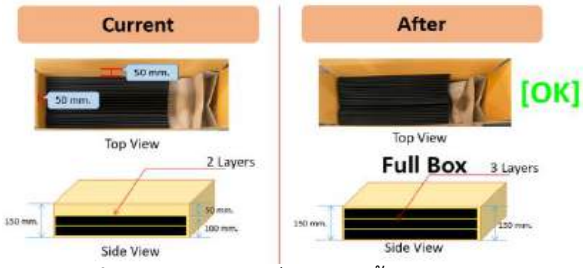
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A8 ยาว 793 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 10 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A8

3.5.9 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A9

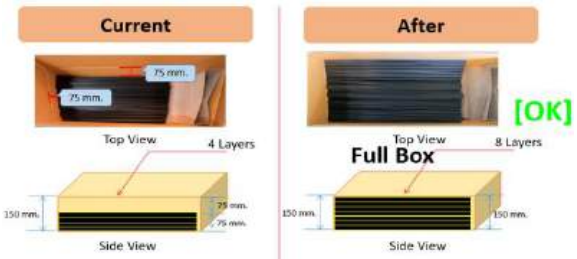
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A9 ยาว 841.5 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 11 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A9

3.5.10 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A10

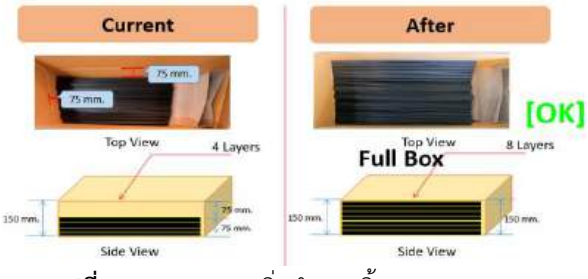
การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A10 ยาว 859 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป



รูปที่ 12 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A10

3.5.11 การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของรายการ A11

การทดลองเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานรายการ A11 ยาว 800 มิลลิเมตร จากสภาพปัจจุบันมีการบรรจุชิ้นงานลงบรรจุภัณฑ์ เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป

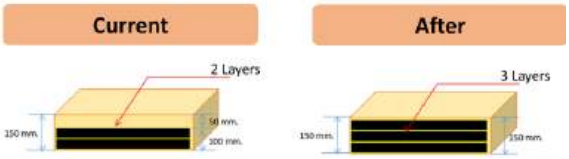


รูปที่ 13 การทดลองเพิ่มจำนวนชิ้นงานรายการ A11

4. ผลการศึกษา

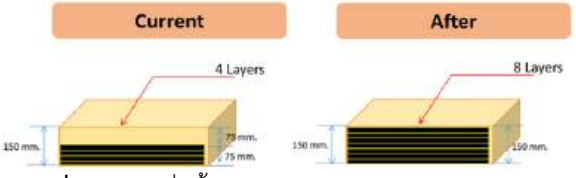
4.1 ผลการปรับปรุง

จากการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยการเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงาน พบว่ารายการ A1, A3, A6, A7, A8 และ A9 เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 50 มิลลิเมตร จึงมีการเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานจาก 2 ชั้น (layer) เป็น 3 ชั้น (layer) หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเพิ่มชิ้นงานจาก 2 Layers เป็น 3 Layers

และพบว่ารายการ A2, A4, A5, A10 และ A11 เหลือพื้นที่ว่างจากชิ้นงานถึงขอบบรรจุภัณฑ์สูง 75 มิลลิเมตร จึงมีการเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงานจาก 4 ชั้น (layer) เป็น 8 ชั้น (layer) หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 การเพิ่มชิ้นงานจาก 4 Layers เป็น 8 Layers

ผลจากการเพิ่มจำนวนชิ้นงานในแต่ละกล่องให้เต็มช่วยลดต้นทุนด้านบรรจุภัณฑ์ และการขนส่ง เนื่องจากช่วยลดจำนวนการใช้กล่องในการบรรจุ และยังช่วยประหยัดพื้นที่ในการขนส่งสำหรับการจัดวางกล่องบรรจุภัณฑ์อีกด้วย

4.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

หลังปรับปรุงวิธีการบรรจุผลิตภัณฑ์ตามแนวทางข้อเสนอแนะ จึงคำนวณปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ และคำนวณต้นทุนการบรรจุและขนส่ง มาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง โดยข้อมูลหลังจากการปรับปรุงวิธีการบรรจุผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา มีดังนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดของการบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A (หลังการปรับปรุง)

รายการ	ความยาว (มม.)	น้ำหนักต่อชิ้น (กก./ชิ้น)	จำนวนบรรจุต่อกล่อง (ชิ้น/กล่อง)	น้ำหนักต่อกล่อง (กก./กล่อง)
A1	815	0.226	60	13.56
A2	695	0.064	200	12.8
A3	745	0.187	60	11.22
A4	781	0.0412	200	8.24
A5	813	0.0429	200	8.58
A6	570	0.15	60	9
A7	742	0.21	60	12.6
A8	793	0.21	60	12.6
A9	841.5	0.22	60	13.2
A10	859	0.05	200	10
A11	800	0.05	200	10

วิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์หลังการปรับปรุงพบว่า ต้นทุนค่าใช้จ่ายการบรรจุภัณฑ์ตามจำนวนพาเลทที่ใช้ขนส่ง ซึ่งใน 1 พาเลทสามารถบรรจุจำนวนกล่องบรรจุภัณฑ์ได้ 18 กล่อง โดยมีต้นทุนการบรรจุอยู่ที่ 1,145 บาทต่อพาเลท และมีต้นทุนการขนส่งคิดตามจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ โดยต้นทุนอยู่ที่ 50,121 บาทต่อตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งแต่ละตู้สามารถบรรจุพาเลทได้ 40 พาเลทต่อตู้ แสดงรายละเอียดต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A (หลังการปรับปรุง)

รายการ	จำนวนสั่งซื้อ (ชิ้น/เดือน)	จำนวนพาเลท (พาเลท/เดือน)	ต้นทุนการบรรจุ (บาท/เดือน)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)
A1	35,600	33	37,785	41,350	79,135
A2	23,260	6	6,870	7,518	14,388
A3	11,420	11	12,595	13,783	26,378
A4	10,420	3	3,435	3,759	7,194
A5	10,420	3	3,435	3,759	7,194
A6	15,040	14	16,030	17,542	33,572
A7	7,180	7	8,015	8,771	16,786
A8	11,000	10	11,450	12,530	23,980
A9	5,900	5	5,725	6,265	11,990
A10	6,660	2	2,290	2,506	4,796
A11	6,660	2	2,290	2,506	4,796
รวม	**143,560**	**96**	**109,920**	**120,290**	**230,210**

จากข้อมูลในตารางที่ 5 ต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A หลังการปรับปรุง พบว่า มีต้นทุนค่าใช้จ่ายบรรจุภัณฑ์รวม 109,920 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งรวม 120,290 บาทต่อเดือน และ คิดเป็นต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ย 230,210 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 230,210/143,560 = 1.60 บาทต่อชิ้น

4.3 เปรียบเทียบผลการดำเนินงาน

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานว่าสามารถลดต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ คณะผู้จัดทำจึงได้นำข้อมูลต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยต่อชิ้นของก่อนและหลังปรับปรุงมาหาร้อยละของต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์ต่อชิ้นที่ลดลงได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของต้นทุนรวมต่อชิ้นที่ลดลง} = \frac{2.40 - 1.60}{2.40} \times 100$$
$$= 33.33$$

ต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A ก่อนการปรับปรุง พบว่า มีต้นทุนรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายขนส่งและบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 2.40 บาทต่อชิ้น แต่หลังการปรับปรุง พบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A มีต้นทุนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.60 บาทต่อชิ้น โดยพบว่าเมื่อคณะผู้จัดทำได้ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการบรรจุภัณฑ์ของรุ่น A แล้วสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ได้ถึง ร้อยละ 33.33 จากต้นทุนค่าใช้จ่ายการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ก่อนปรับปรุง ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

5. อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้แผนภาพสาเหตุและผลร่วมกับหลักการ Lean: 7 Waste สามารถลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการขนส่งของบริษัท นิชิกาว่า เตชาพลาเลิศ คูปเปอร์ จำกัด สำหรับบรรจุภัณฑ์รุ่น A ได้จาก 2.40 บาทต่อชิ้น เหลือ 1.68 บาทต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 30 ของต้นทุนเดิม ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิผลของการวิเคราะห์ปัจจัยต้นเหตุและการขจัดความสูญเสียในกระบวนการ ทั้งนี้ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shesarina และคณะ [3] ที่ลดต้นทุนกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 27 และ Proença และคณะ [4] ที่สามารถลดต้นทุนในกระบวนการบรรจุและขนส่งผลไม้ได้ร้อยละ 25 รวมถึงงานของ Buch และคณะ [5] ซึ่งลดต้นทุนในกระบวนการบรรจุภัณฑ์แบบอัตโนมัติได้ร้อยละ 20 โดยผลการศึกษานี้มีสัดส่วนการลดต้นทุนสูงกว่าและแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบร่วมกับการจำแนกและขจัดความสูญเสีย สามารถนำไปสู่การลดต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตขององค์กรอื่นได้

6. สรุป

จากผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการบรรจุภัณฑ์และการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล ร่วมกับหลักการ Lean: 7 Waste นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการทำงานในขั้นตอนการบรรจุชิ้นงานลงกล่องโดยการเพิ่มจำนวนหน่วยของชิ้นงาน ทั้ง 11 รายการของผลิตภัณฑ์รุ่น A หลังจากบรรจุชิ้นงานเต็มกล่องบรรจุภัณฑ์พบว่าชิ้นงานไม่เสียรูป ทำให้สามารถลดจำนวนการใช้

กล่องบรรจุได้พบว่าสามารถลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งของบรรจุภัณฑ์รุ่น A ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นทุนเฉลี่ยต่อชิ้นลดลงจาก 2.40 บาท เหลือ 1.60 บาท คิดเป็นอัตราการลดลง ร้อยละ 33.33 ของต้นทุนเดิม ส่งผลให้ต้นทุนรวมเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 256,589 บาท เหลือ 230,210 บาท หรือสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 26,379 บาทต่อเดือน ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของแนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดความสูญเสียและต้นทุนได้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาจริงได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ในการในความอนุเคราะห์ในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Morgan, D. R., Styles, D., and Lane, E. T., “Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-scale beer value chains”, Journal of Environmental Management, Vol.307, (2022), 114591.

[2] Vieyra, H., Molina-Romero, J. M., Calderón-Nájera, J. D. D., and Santana-Díaz, A., “Engineering, recyclable, and biodegradable plastics in the automotive industry: a review”, Polymers, Vol.14, No.16, (2022),3412.

[3] Shesarina, N., Fitriana, R., and Harahap, E. F., “Quality improvement and waste minimization with Lean Six Sigma method in cement production process”, Proceedings of the 2022 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Johor Bahru, Malaysia, September 13-15, 2022: (2022), pp. 4222–4229.

[4] Proença, A. P., Gaspar, P. D., and Lima, T. M., “Lean optimization techniques for improvement of production flows and logistics management: The case study of a fruits distribution center”, Processes, Vol.10, No.7, (2022), 1384.

[5] Buch, V. D., Zalawadia, J., and Tomar, P., “Streamlining Operations: The 7 Quality Control Tools and Their Impact on Defect Reduction”, Proceedings of the Parul International Conference on Engineering and Technology (PICET), May 3-4, 2024: (2024), pp. 362–367.

[6] Twede, D., “The relative importance of packaging attributes”, Journal of Packaging Technology and Science, Vol.18, No.1, (2005), pp. 15-23.

[7] Marsh, K., & Bugusu, B., “Food packaging—roles, materials, and environmental issues”, Journal of food science, Vol.72, No.3, (2007), pp. R39-R55.

[8] Ballou, R.H., “Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply chain”, 5th Edition, Pearson/Prentice Hall Inc., 2004.

[9] Ishikawa, K., “What is total quality control? The Japanese way”, Prentice-Hall, Inc., 1985.

[10] Liker, J. K., “The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer”, McGraw-Hill, 2004.

[11] Yuphin, P., and Ruanchoengchum, P., “Reducing the Waste in the Manufacturing of Sprockets Using Smart Value Stream Mapping to Prepare for the 4.0 Industrial Era”, Review of Integrative Business and Economics Research, Vol.9, (2020), pp. 158-173.

การศึกษาโซ่อุปทานในกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควัน เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพ

A Study on the Supply Chain of Smoked Rubber Sheet Processing to Analyze and Identify Strategies for Efficiency Improvement.

ศุภชัย ชัยณรงค์[1] รุ่งนภา สุขสมวัย[1] สฤษฎ์พงศ์ แก้วสอน[1] อนุรดี เพ็งไทย[1] นัฐดนัย อาดุลเบบ[1] กุลยุทธ บุญเซ่ง[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Suppachai Chainarong[1] Rungnapha Suksomwai [1] Salipong Krawsorn Pengthai [1]Anuradee Pengthai [1]

Natdanai Ardulba[1] Kulyuth Boonseng [*]

[1] Department of Logistics Engineering Songkhla Rajabhat University

E-mail: Suppachi.ch@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานและพัฒนาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางคลองรอพัฒนา โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่ามีการสูญเปล่าในกิจกรรมการยกแผ่นยางไปยังบ่อลำเลียง เนื่องจากการเคลื่อนไหวที่มากเกินไป ส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าและความล่าช้าในการทำงาน สาเหตุของปัญหามาจากการจัดวางตะกงน้ำยางที่ไม่มีมาตรฐาน ทำให้ทางเดินบางช่วงแคบและบางช่วงกว้างเกินไป ซึ่งทำให้พนักงานต้องเคลื่อนไหวลำบาก ผู้วิจัยจึงได้เสนอการปรับปรุงโดยการจัดวางตะกงน้ำยางใหม่ และใช้หลักการวางผังโรงงาน (Plant Layout) เพื่อให้ช่องทางเดินไม่กว้างหรือแคบเกินไป ซึ่งช่วยให้พนักงานสามารถเคลื่อนไหวได้สะดวกขึ้น และยกตะกงน้ำยางจากพื้นเพื่อช่วยลดการก้มตัวในขณะทำงาน หลังจากการปรับปรุง พบว่าระยะทางการเคลื่อนไหวของพนักงานลดลงจาก 3,451.20 เมตร เป็น 2,506.40 เมตร (ลดลง 27.38%) และระยะเวลาทำงานลดลงจาก 150 นาที เป็น 110 นาที (ลดลง 26.67%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงกระบวนการทำงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ความสูญเปล่า, ยางแผ่นรมควัน, การศึกษาการทำงาน

Abstract

The objective of this research is to study the supply chain and develop ways to improve the efficiency of the rubber sheet processing process at the Klong Ro Development Rubber Cooperative Fund. The study used a Fishbone Diagram to analyze problems and their causes in the production process. The results revealed that there was waste in the activity of moving rubber sheets to the transportation bins, caused by excessive movement, which led to employee fatigue and work delays. The root cause of the problem was the lack of standardized placement of the rubber baskets, leading to narrow pathways in some areas and excessively wide pathways in others, making it difficult for employees to move efficiently. The researcher proposed improvements by reorganizing the placement of the rubber baskets and applying plant layout principles to ensure that the pathways were neither too narrow nor too wide, which would allow employees to move more easily. Additionally, lifting the rubber baskets off the

ground would help reduce bending when lifting the rubber sheets. After implementing the improvements, the study found that the distance employees needed to move was reduced from 3,451.20 meters to 2,506.40 meters (a 27.38% reduction), and the working time decreased from 150 minutes to 110 minutes (a 26.67% reduction). These findings clearly demonstrate that process improvements can significantly enhance work efficiency.

Keywords: waste, smoked rubber sheet, work study

1. บทนำ

ห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมยางพาราไทยแบ่งเป็น 3 ขั้น ได้แก่ (1) อุตสาหกรรมขั้นต้น ซึ่งเป็นการปลูกและกรีดยางพารา (2) อุตสาหกรรมขั้นกลาง ที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น (3) อุตสาหกรรมขั้นปลาย ที่ผลิตสินค้าสำเร็จรูป เช่น ยางรถยนต์ ถุงมือยาง และถุงยางอนามัย ผลิตภัณฑ์ยางขั้นกลางของไทย 76.4% ถูกส่งออก โดยจีนเป็นตลาดหลัก (60.2%) ในช่วงปี 2568-2570 ผลประกอบการของผู้ผลิตยางพาราขั้นกลางมีแนวโน้มดีขึ้นจากความต้องการนำเข้าของจีนและยุโรป ตามการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ อย่างไรก็ตาม อาจเผชิญการแข่งขันที่รุนแรงขึ้นจาก CLMV และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นตามราคาน้ำมัน ขณะเดียวกัน จีนขยายการลงทุนในอุตสาหกรรมยางพารา ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดต่อการส่งออกของไทย [1] สหกรณ์กองทุนสวนยางคลองรอพัฒนา ทำการรับซื้อน้ำยางสดนำมาแปรรูปเป็นยางแผ่นรมควัน แต่ประสบปัญหาความสูญเปล่าเนื่องจากขาดระบบการจัดการและความรู้ทางวิชาการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษากระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันเพื่อลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเพื่อลดต้นทุนในการผลิตนำมาซึ่งความยั่งยืนต่อกลุ่มสหกรณ์กองทุนสวนยาง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ได้มีการทวนสอบทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การศึกษาเวลา (Time Study)

การศึกษาเวลา (Time study) คือ การวัดงานโดยเครื่องวัดเวลา และปรับค่าตามการแปรเปลี่ยนจากเวลาปกติ ซึ่งผลที่ได้เป็นหน่วยของเวลา คือ เป็นนาทีหรือวินาที ที่คนงานหนึ่ง ๆ สามารถทำงานนั้น ๆ ได้ตามวิธีที่กำหนดให้ เวลาที่ได้นี้ก็คือ เวลามาตรฐาน กล่าวคือ ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานก็ต้องมีการวัดผลเวลาการทำงานเดิมเพื่อให้ได้ข้อมูลของผลผลิตเดิม และเมื่อมีการปรับปรุงงานใหม่ก็ต้องอาศัยการกำหนดเวลามาตรฐานเพื่อกำกับมาตรฐานงานที่กำหนดไว้ และเพื่อเปรียบเทียบผลผลิตกับข้อมูลการศึกษาเดิม การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) เป็นวิธีการการศึกษาเวลาที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยอาศัยการจับเวลาด้วยเครื่องมือบันทึกเวลา และแผงบันทึกข้อมูล และอาจมีกล้อง ถ่ายวีดีโอ ด้วยในบางกรณี การสังเกตและจดบันทึกเวลา เมื่อได้แบ่งงานออกเป็นงานย่อยแล้ว ก่อนจับเวลาต้องศึกษาวิธีการทำงานจนแน่ใจว่าตรงกับงานย่อยที่ได้แบ่งไว้ จากนั้นเริ่มต้นจับเวลา การจับเวลามี 3 วิธีดังนี้ 1) การจับเวลาแบบต่อเนื่อง คือการจับเวลา โดยเริ่มต้นจับเวลานาฬิกาจับ เวลาเริ่มที่ 0 เมื่อสิ้นสุดงานย่อยที่หนึ่ง ให้อ่านเวลาจากนาฬิกาจับเวลาแล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มโดย ไม่ต้องทำการหยุดเวลา เมื่อสิ้นสุดงานย่อยถัดไปก็อ่านเวลาจากนาฬิกาอีก เวลาที่ได้จะต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการจับเวลา เวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละงานย่อยต้องมาคำนวณภายหลัง โดยเอาเวลางานที่จดบันทึกได้ลบออกด้วยเวลาก่อนหน้านี้ก็จะได้เวลางานย่อยนั้น ๆ 2) การจับเวลาแบบย้อนกลับ คือ การจับเวลาของแต่ละงานย่อย โดยเริ่มต้นเวลาของแต่ละงานย่อยที่ 0 เมื่อสิ้นสุดงานย่อยจะอ่านเวลาแล้วบันทึกลงในฟอร์ม จากนั้นตั้งเวลาไว้ที่ 0 อีกเมื่อเริ่มงาน

ย่อยถัดไป การจับเวลาแบบวิธีนี้จะได้เวลาทำงานแต่ละงานย่อยเลย ซึ่งจะบันทึกในช่องเวลาเท่านั้นมีข้อดี คือ ไม่ต้องมาคำนวณเวลาของงานย่อย แต่มีข้อเสีย คือ เวลาที่จดบันทึกอาจจะมีการคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจากจะต้องปรับเวลามาเป็น 0 ใหม่ในทุก ๆ ครั้งที่เริ่มงานย่อย 3) การจับเวลาแบบสะสม คือ การจับเวลาที่คล้ายกับวิธีที่ 2 เพียงแต่ใช้นาฬิกา 2 เรือนหรือ 3 เรือน ที่มีกลไกเชื่อมโยงถึงกัน ในขณะที่นาฬิกาเรือนที่ 1 เริ่มเดินนาฬิกาเรือน ที่ 2 จะหยุด ถ้านาฬิกาเรือนที่ 2 เริ่มเดิน นาฬิกาเรือนที่ 1 จะหยุด ทำให้สามารถอ่านเวลาของงานย่อยแต่ละงานได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการกดนาฬิกากลับไปเริ่มที่ 0 ใหม่ [2]

2.1.2 แนวคิด Lean Thinking

ลีน (Lean) เปรียบเสมือนเครื่องมือที่ช่วยสร้างศักยภาพที่เป็นเลิศของกระบวนการต่างๆ ใน การผลิตโดยมีเป้าหมายในเรื่องของการจัดการกระบวนการทำงาน ตัวอย่างเช่น จะทำอย่างไรให้ กระบวนการทำงานทั้งหมดในด้านการผลิตปราศจากความสูญเปล่าที่ก่อให้เกิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจาก กระบวนการทำงานนั้นๆ เพื่อให้เกิดการตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างทันท้วงทีและที่สำคัญเป็นการเพิ่มศักยภาพให้เหนือคู่แข่งขันรายอื่นๆ ที่อยู่ในตลาดเดียวกัน แนวคิดแบบลีนจะมีแนวคิดที่แตกต่างจากแนวคิดเก่าที่เคยปฏิบัติกันมา (Traditional) ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบลีน (Lean Systems) ลีน (Lean) เป็น holistic & sustainable approach ที่ใช้ทรัพยากรต่างๆ น้อยลง แต่ให้ได้ ผลลัพธ์ที่เป็นงานมากกว่า และสิ่งที่ต้องการให้ลดลง คือ ความสูญเปล่า (Waste) ระยะเวลา ผู้ส่งมอบ การใช้แรงคน เครื่องมือ เวลา และพื้นที่ปฏิบัติงาน แนวคิดลีน (Lean Thinking) คือการเปลี่ยนงานหรือขั้นตอนที่เกิดจากความสูญเปล่า (waste) ให้ไปสู่งานหรือขั้นตอนที่มีคุณค่า (value) ในมุมมองของผู้ใช้บริการ โดยต้องทำการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้น จึงหมายถึง แนวคิดในการบริหารจัดการการผลิตหรือองค์กรให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยปราศจากความสูญเปล่า (Waste) ในทุกๆ กระบวนการทำงานไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทำงานทางโลจิสติกส์ หรือกระบวนการทำงานในด้านการผลิตไปจนถึงตอบสนองความต้องการของลูกค้าแบบทันทีและรวดเร็ว โดยมุ่งเน้นในเรื่องการไหล (Flow) ของงานเป็นหลักเพื่อสร้างประสิทธิผลสูงสุด และลดการสูญเสียในวงจรการผลิต

หลักการผลิตตามแนวคิด Lean จะมุ่งเน้นไปที่การผลิตผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ลูกค้าต้องการโดยการทำความเข้าใจในระบบการผลิตและสามารถระบุความสูญเปล่าภายในกระบวนการ เมื่อพบความสูญเปล่าแล้วสามารถที่จะกำจัดความสูญเปล่าเหล่านั้นทีละขั้นตอนอย่างต่อเนื่องก่อน ซึ่งในปี ค.ศ. 1990 James Womack สนใจเรื่องการกำจัดความสูญเปล่า โดยเห็นว่าการกำจัดความสูญ เปล่าจะช่วยสร้างคุณค่าของงานเพิ่มขึ้น ซึ่งเขาได้ถ่ายทอดแนวคิดดังกล่าวลงในหนังสือ Machine that Changed the World ซึ่งชี้ให้เห็นถึงแนวคิดการผลิตแบบ Lean และให้หลักการในการนำไปใช้ ไว้ 5 ประการ คือ การนิยามคุณค่า การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า การไหลการดึงหรือการผลิตแบบ ทันเวลาพอดีและความสมบูรณ์แบบพื้นฐาน [3]

2.1.3 ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes of Lean Manufacturing)

แนวคิดจากระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production) ที่เน้นการขจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non-Value Added Activities) โดยจำแนกความสูญเปล่าไว้ 7 ประการ [4] ได้แก่

1.การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2.เวลารอคอย (Waiting)
3.การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Transportation)
4.กระบวนการที่ไม่เหมาะสม (Overprocessing)
5.สต็อกส่วนเกิน (Excess Inventory)
6.การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motion)
7.ของเสียจากข้อผิดพลาดหรือของเสียจากกระบวนการ (Defects)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยได้ศึกษางานที่เกี่ยวกับการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.2.1 จุฑาภรณ์และศรัณยู (2565) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดลีน กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงมือยาง จังหวัดสงขลา เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตถุงมือยาง โดยใช้แนวคิดลีนในการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าและหลักการ ECRS ผลการศึกษาพบว่า งานระหว่างผลิตลดลงร้อยละ 2.56 ส่งผลให้เวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงลดลงจาก 229.92 ชั่วโมง เป็น 217.72 ชั่วโมง หลังการปรับปรุง ซึ่งทำให้ลดเวลาลงได้ร้อยละ 5.31 ชี้ให้เห็นว่า แนวคิดลีนเป็นแนวคิดที่นำไปสู่การลดความสูญเปล่า [5]

2.2.2 เมธาวินและคณะ (2567) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในการปรับปรุงกระบวนการทำงานการผลิตใบยาสูบ เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยใช้เทคนิคลีน การศึกษางาน ความสูญเปล่า 7 ประการและเทคนิค ECRS ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานลงจากเดิม 23 ขั้นตอนเหลือเพียง 16 ขั้นตอน ลดระยะเวลาการทำงานลงได้ 120.50 ชั่วโมง ลดระยะทางในการทำงานลง ได้ 560 เมตร [6]

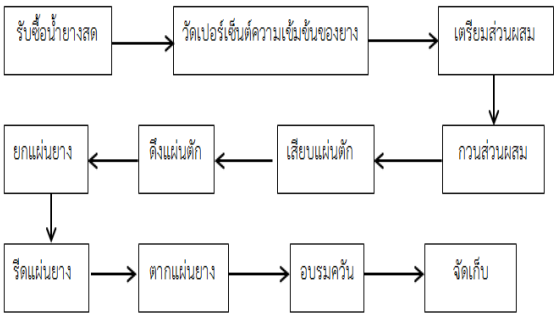
2.2.2 ภาณุวัฒน์ วงษ์แสงน้อย และนลิน เพียรทอง (2566) ศึกษาเรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแผ่นยางด้วยเทคนิคลีน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวคิดการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ การผลิตสำหรับโรงงานผลิตแผ่นยางแบนในจังหวัดสกลนคร นครพนม มุกดาหาร และบึงกาฬ การผลิตเป็นงานที่ใช้แรงงานจำนวนมากซึ่งต้องใช้แรงกายจำนวนมากในการทำงานให้เสร็จสิ้น เครื่องรีดแผ่นยางได้รับการออกแบบให้รวมการทำงาน 3 ขั้นตอนเข้าด้วยกันและนำมาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยาง หลังจากนำไปใช้แล้วสามารถลดขั้นตอนการผลิตจาก 19 ขั้นตอน เหลือ 14 ขั้นตอน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น 26.35% ระยะทางลดลงจาก 16.90 เมตร เหลือ 10.25 เมตร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น 39.35% และเวลาในการผลิตลดลงจาก 263 นาที เหลือ 187 นาที ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น 15.53% [7]

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

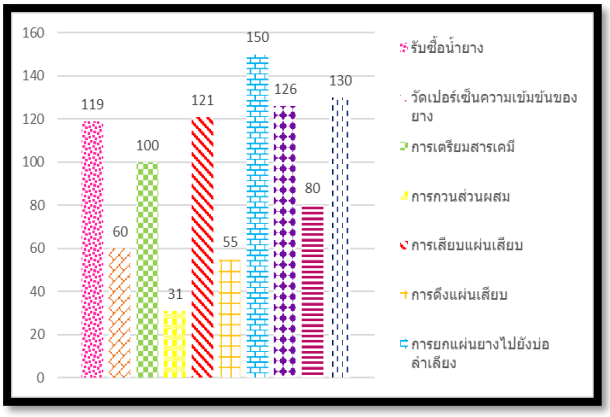
จากการดำเนินงานสามารถสรุปรายละเอียดที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยได้ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบัน

การศึกษาห่วงโซ่อุปทานกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันทำให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของผลิตภัณฑ์จากต้นน้ำถึงปลายน้ำ และจำแนกกิจกรรมหลักในกระบวนการแปรรูปได้ 11 กิจกรรมแสดงดังภาพที่ 1 การศึกษาเวลาในกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันใช้เทคนิคการวิเคราะห์วงรอบเวลา (Cycle Time) โดยเก็บข้อมูลจากการสังเกตและจับเวลาทุกกิจกรรม 10 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ 95% และความคลาดเคลื่อน ± 5% ดังสมการที่ 1 [8] โรงงานผลิตยางแผ่นรมควันได้ 20 กิโลกรัมต่อวัน มีพนักงานทั้งหมด 7 คน ซึ่งมีกิจกรรมที่ศึกษาแบ่งเป็น 11 ขั้นตอน แต่นำเสนอผลการศึกษา 10 กิจกรรม ยกเว้นการอบรมควันที่มีระยะเวลาแน่นอน แสดงดังภาพที่ 2



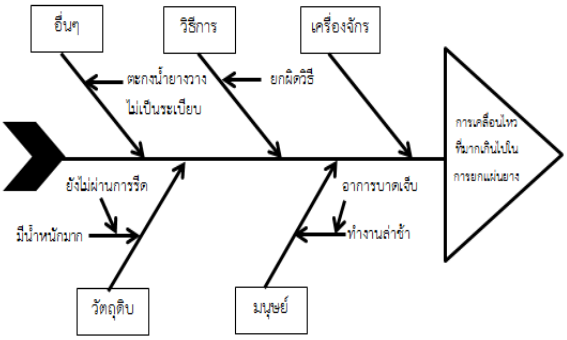
ภาพที่ 1 กระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควัน



ภาพที่ 2 แผนภูมิศึกษาเวลาแต่ละกระบวนการ

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปยางแผ่นรมควันพบว่ากระบวนการยกแผ่นยางไปยังบ่อลำเลียงใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดเท่ากับ 150 นาที การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ โดยใช้แผนผังก้างปลา ได้ระดมความคิดของพนักงานฝ่ายการผลิตทั้งหมด 7 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียของหน้างานโดยตรง ดังภาพที่ 3 พบว่าปัญหามาจากหลายปัจจัย เช่น วิธีการทำงานของพนักงานที่ผิดวิธี โดยตะกงน้ำยางที่วางติดพื้นทำให้พนักงานต้องก้มตัวและเคลื่อนไหวไม่สะดวก นอกจากนี้การวางตะกงน้ำยางไม่มีมาตรฐาน โดยบางช่วงวางติดกันเกินไป บางช่วงก็ห่างกันเกินไป ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นและใช้เวลานานเกินไป จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงโดยการใช้หลักการการวางผังกระบวนการผลิต และการลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวตามแนวคิด “ความสูญเปล่า 7 ประการ” เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

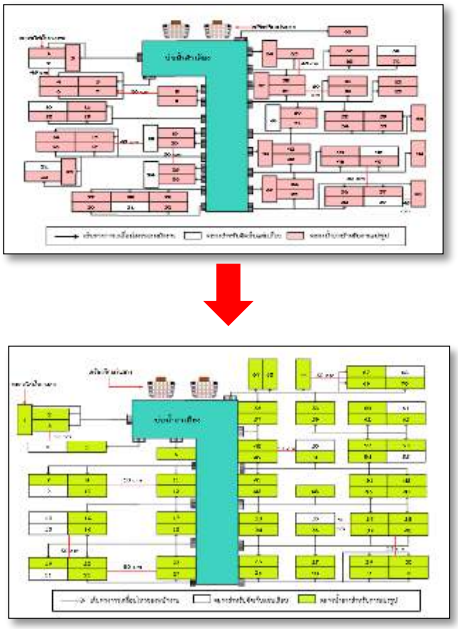
$$N = \frac{40n}{\sum X}\left[\sqrt{\frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right)}{n-1}}\right]^2 \quad (1)$$



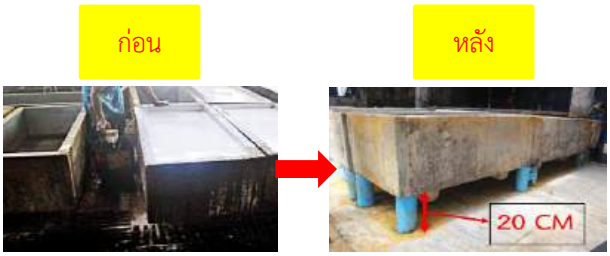
ภาพที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุจากผังก้างปลา

3.2. ผลการวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหา

การวางตะกงน้ำยางมีลักษณะที่ซับซ้อนและไม่เป็นระเบียบ ช่องทางเดินแคบทำให้พนักงานเคลื่อนไหวลำบาก ส่งผลให้การทำงานช้าและไม่สะดวก โดยวิธีการยกแผ่นยางนั้นผิดวิธี เนื่องจากตะกงน้ำยางวางติดกับพื้นทำให้พนักงานต้องเคลื่อนไหวหลายรอบเพื่อยกแผ่นยางทั้งหมด 8 รอบต่อหนึ่งตะกง โดยมีแผ่นยาง 50 แผ่นในแต่ละตะกง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงจัดวางผังตะกงใหม่ใช้หลักการวางผังโรงงานให้เคลื่อนที่ได้สะดวกและลดระยะทางการเคลื่อนไหวของพนักงาน พร้อมยกตะกงขึ้นจากพื้น 20 เซนติเมตร เพื่อลดการก้มตัวและลดความเมื่อยล้าของพนักงาน [9] การเปลี่ยนแผนผังและการยกตะกงจากพื้นช่วยให้ระยะทางการเคลื่อนไหวของพนักงานสั้นลงและสะดวกขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 จำลองการวางตะกงและการเคลื่อนไหวของพนักงานกระบวนการยกแผ่นยางก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 5 ลักษณะของตะกง

การวางตะกงและการเคลื่อนไหวของพนักงานในกระบวนการยกแผ่นยางไปบ่อลำเลียง เริ่มต้นด้วยพนักงานเดินจากบ่อลำเลียงไปยังตะกงที่ 1 ระยะทาง 210 ซม. จากนั้นก้มตัวลง 20 ซม. และยกแผ่นยางขึ้นมา 20 ซม. แล้วเดินกลับไปยังบ่อลำเลียงระยะทาง 210 ซม. เพื่อวางแผ่นยาง โดยรวมระยะทางไปกลับเป็น 460 ซม. ต่อหนึ่งรอบ พนักงาน

ต้องเคลื่อนไหวทั้งหมด 8 รอบในหนึ่งตะกง ซึ่งทำให้ระยะทางรวมในตะกงที่ 1 เป็น 3,680 ซม. และใช้หลักการเดียวกันกับตะกงถัดไป รวมระยะทางทั้งหมด 345,120 เซนติเมตร หรือ 3,451.20 เมตร หลังจากปรับปรุงการวางผังตะกงแล้ว พนักงานลดการเคลื่อนไหวในกิจกรรมการยกแผ่นยางจากตะกงไปยังบ่อลำเลียง โดยใช้ระยะทางรวมทั้งสิ้น 250,640 เซนติเมตร หรือ 2,506.40 เมตร และส่งผลให้รอบเวลาในการผลิตลดลงเหลือ 110 นาที จากเดิม 150 นาที

ผลจากการดำเนินงานลดเวลาทำงานลง 40 นาที จากเดิมที่พนักงานทำงานวันละ 8 ชั่วโมงและได้รับค่าแรง 43.625 บาท/ชั่วโมง/คน ในกระบวนการนี้พนักงานทำงาน 7 คน นายจ้างต้องจ่าย 349 บาท/คน/วันหรือรวม 2,443 บาท/วัน หลังปรับลดเวลาทำงานลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายลดลง 203.583 บาทต่อวัน ใน 1 เดือน พนักงานทำงาน 24 วัน ลดค่าใช้จ่ายได้ 4,885.992 บาท และใน 1 ปี สหกรณ์กองทุนสวนยางสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างงานได้ถึง 58,631.904 บาท

4. สรุป

ผลการดำเนินงานสามารถลดต้นทุนของความสูญเปล่าที่เกิดจากการวางผังการผลิตตะกงที่ซับซ้อนส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาและมีระยะการก้มตัวต่ำ เพราะตำแหน่งการยกตะกงขึ้นจากพื้นน้อยไปส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของคนได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น และลดการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นในอนาคตของพนักงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโอกาสในการดำเนินงานวิจัยที่ได้รับจากสหกรณ์กองทุนสวนยางคลองรอพัฒนา ให้ความกรุณาในการเข้าศึกษาและดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง และสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ที่เปิดโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทางวิชาการเป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยวัฒน์ โศเจริญสุข. (2567).แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2568-2570: อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูป. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2568, จาก https://www.krungsri.com/th/research/industry-outlook/agriculture/rubber/io/rubber-2025-2027

[2] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ.(2547).การศึกษางาน (Work Study),” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

[3] นิพนธ์ บัวแก้ว.(2551).รู้จักระบบการผลิตแบบลีน. พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.

[5] จุฑาภรณ์ แก้วสุดและศรัณยู กาญจนสุวรรณ. 2565. “การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดลีน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงมือยาง จังหวัดสงขลา.” วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปีที่ 39, ฉบับที่ 1:81-105.

[6] เมธาวิน สามสี นลิน เพียรทองและลออง ผโลดม. 2567. “การประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในการปรับปรุงกระบวนการทำงานการผลิตใบยาสูบ.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2:95-105.7

[7] ภาณุวัฒน์ วงษ์แสงน้อย และนลิน เพียรทอง. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตยางพาราแผ่นเรียบด้วยเทคนิคลีน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2: 168-175.

[8] Ralph M. Barnes. (1980). Motion and time study design and measurement of work (7th ed.). John Wiley & Sons.

[9] ภูมภัสส์ กิจกุลหิรัญไชย. (2564). การปรับปรุงผังโรงงานภายใต้มาตรฐาน GMP กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องสำอาง. การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การลดความสูญเปล่าในการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก

Reducing Waste in the Production of Taro Custard Chiffon Cake

ศุภชัย ชัยณรงค์[1] นิอานัส นิแว[1] อลิชา ชูยัง[1] ณัฐพงษ์ สูงใหญ่[1] เอกรินทร์ วาโย[2] กุลยุทธ บุญเซ่ง[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ [2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Suppachai Chainarong[1] Niarnus Niwae [1] Alisha Chuyang [1] Nattapong Sungyai Chuyang [1] Ekkarin Wayo[2]
Kulyuth Boonseng [*]
[1] Department of Logistics Engineering, [2]Department of Information Technology and IoT
Faculty of industrial technology, Songkhla Rajabhat University
E-mail: Suppachi.ch@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก โดยใช้แนวคิดทางวิศวกรรม เช่น การศึกษาเวลา แผนภูมิกระบวนการไหล และความสูญเปล่า 7 ประการ จากการวิเคราะห์พบว่ากระบวนการทำวัตถุดิบใช้เวลานานเนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบหลายครั้ง จึงมีการรวมขั้นตอนให้ทำครั้งเดียวในช่วงต้นของกระบวนการ ส่งผลให้เวลาทำวัตถุดิบลดลงจาก 18.393 นาที เหลือ 9.033 นาที คิดเป็น 50.889% เวลาการผลิตรวมลดลงจาก 120.099 นาที เหลือ 97.281 นาที คิดเป็น 18.999% ต้นทุนการผลิตลดลงจาก 208 บาท เหลือ 191 บาท คิดเป็น 8.173% และสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้น 8 กล่อง/วัน ทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้นปีละ 46,080 บาท คิดเป็น 23.750% ของกำไรที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้หลักการ ECRS ร่วมกับการวิเคราะห์ความสูญเปล่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ
คำหลัก ความสูญเปล่า 7 ประการ ประสิทธิภาพการผลิต ขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก

Abstract

This research focuses on improving the production process of Taro Custard Chiffon Cake by applying engineering concepts such as time study, process flow charts, and the seven types of waste. Analysis revealed that the raw material preparation process consumed the most time due to repeated preparation steps. Therefore, these steps were combined into a single stage at the beginning of the process. As a result, the time for raw material preparation was reduced from 18.393 minutes to 9.033 minutes, a reduction of 50.889%. The total production time decreased from 120.099 minutes to 97.281 minutes (a reduction of 18.999%), and the production cost dropped from 208 baht to 191 baht (a reduction of 8.173%). Additionally, output increased by 8 boxes per day, resulting in an annual profit increase of 46,080 baht, equivalent to 23.750%. These findings demonstrate that applying the ECRS principle in conjunction with waste analysis can significantly enhance production efficiency.
Keywords: 7 wastes, production efficiency, Taro Custard Chiffon Cake

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเบเกอรี่ของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องจากความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตเบเกอรี่กลับเผชิญกับปัญหาความสูญเปล่าทางอาหาร (Food Waste) ที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การจัดเตรียมวัตถุดิบ การผลิต การจัดเก็บ ไปจนถึงการจัดจำหน่าย ซึ่งส่งผลกระทบทั้งด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม โดยเฉพาะการสูญเสียทรัพยากรและการเพิ่มขึ้นของของเสียที่ต้องกำจัด การวิเคราะห์และลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ของไทย งานวิจัยและรายงานจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ [1] ระบุว่า หนึ่งในสามของอาหารที่ผลิตทั่วโลกกลายเป็นของเสีย ซึ่งรวมถึงผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นและความต้องการคุณภาพสูงจากผู้บริโภค อันเป็นปัจจัยที่เร่งให้เกิดความสูญเปล่าในอุตสาหกรรมนี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ร้านเบเกอรี่ในจังหวัดสตูลกำลังเผชิญกับปัญหาความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ล่าช้า ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ความล่าช้าในกระบวนการผลิตอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การจัดการสต็อกวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสม การใช้ขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนหรือการขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะ ปัญหาเหล่านี้นำไปสู่การสูญเสียเวลาและทรัพยากรที่ไม่จำเป็น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและประสิทธิภาพการดำเนินงานลดลง การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น การใช้วัตถุดิบสำเร็จรูป และการจัดการสต็อกอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดความสูญเปล่าและควบคุมต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิผล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ได้มีการทวนสอบทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes)

แนวคิดความสูญเปล่า 7 ประการ เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ โดยแต่ละความสูญเปล่ามีรายละเอียดดังนี้ (1) Overproduction (ผลิตมากเกินไป) ผลิตสินค้ามากเกินความต้องการ ทำให้เสียพื้นที่จัดเก็บ เครื่องจักรเสื่อมเร็วและต้นทุนสูงขึ้น (2) Inventory (วัสดุคงคลังมากเกินไป) สต๊อกวัสดุมากเกิน ทำให้เสี่ยงต่อของเสื่อม เสียพื้นที่และทรัพยากรในการจัดการ (3) Transportation (การขนส่งที่ไม่จำเป็น) ขนย้ายวัสดุหรือสินค้าโดยไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่าย (4) Motion (การเคลื่อนไหวเกินจำเป็น) พนักงานเคลื่อนไหวโดยไม่จำเป็น เช่น หยิบจับหรือเดินมากเกินไป (5) Processing (กระบวนการเกินจำเป็น) มีกระบวนการหรือขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและทรัพยากร (6) Delay/Waiting (การรอคอย) รอวัตถุดิบ พนักงาน หรือเครื่องจักร ส่งผลให้การผลิตไม่ต่อเนื่อง (7) Defects (ของเสียจากการผลิต) สินค้าไม่ได้คุณภาพ ต้องแก้ไขหรือล้างทิ้ง ทำให้ต้นทุนเพิ่ม [2]

2.1.2 การศึกษาเวลา (Time study)

การศึกษาเวลา คือ การวัดระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานโดยพนักงานตามวิธีที่กำหนด เพื่อกำหนด “เวลามาตรฐาน” ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดผลผลิตและปรับปรุงงาน การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด โดยใช้เครื่องจับเวลาและแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล แบ่งการจับเวลาออกเป็น 3 วิธี: (1) จับเวลาแบบต่อเนื่อง เป็นการจับเวลาไปเรื่อย ๆ โดยไม่หยุดนาฬิกา ต้องคำนวณเวลาย่อยภายหลัง (2) จับเวลาแบบย้อนกลับ เป็นการรีเซ็ตนาฬิกาเป็นศูนย์ทุกงานย่อย ได้เวลาย่อยทันที แต่เสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อน (3) จับเวลาแบบสะสม เป็นการใช้นาฬิกาหลายเรือนที่เชื่อมโยงกันเพื่อจับเวลาย่อยได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องรีเซ็ตเอง จุดประสงค์หลักคือใช้กำหนดมาตรฐานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการปรับปรุงงาน [3]

2.1.3 แนวคิด Lean Thinking

ลีน (Lean) คือ แนวคิดในการบริหารจัดการกระบวนการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดโดยกำจัด

ความสูญเปล่า (Waste) ในทุกขั้นตอน เช่น เวลา แรงงาน พื้นที่ และทรัพยากรอื่น ๆ โดยมุ่งเน้นให้กระบวนการทำงานไหลลื่น (Flow) และตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้รวดเร็วและทันเวลา Lean เป็นแนวคิดที่ตรงข้ามกับระบบดั้งเดิม โดยใช้ทรัพยากรให้น้อยลงแต่ได้ผลลัพธ์ที่มากขึ้น ผ่านการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง และมุ่งเปลี่ยนขั้นตอนที่ไม่สร้างคุณค่าให้กลายเป็นขั้นตอนที่มีคุณค่าในมุมมองของลูกค้า[4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยได้ศึกษางานที่เกี่ยวกับการลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.2.1 จุฑาทิพย์ อินทะโน (2565) ศึกษาการลดความสูญเปล่าและเพิ่มอัตราคุณภาพในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Lean ดำเนินการผ่านการวิเคราะห์กระบวนการผลิต 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแยกสี แยกขนาด คัดน้ำหนัก และโหลดเมล็ดออก โดยใช้เครื่องมือ Value Stream Mapping, OEE, หลักการพาเรโต, Why-Why Analysis และ ECRS ในการปรับปรุง ผลลัพธ์พบว่าสามารถลดเวลาการผลิตลงได้ 56 นาทีต่อหนึ่งล็อต คิดเป็น 19.06% และลดค่าใช้จ่ายรายปีได้ 100,102 บาท แสดงถึงความมีประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้ Lean ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต [5]

2.2.2 ภาณุวัฒน์ วงษ์แสงน้อย และนลิน เพียรทอง (2566) ศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแผ่นยางในโรงงานพื้นที่จังหวัดสกลนคร นครพนม มุกดาหาร และบึงกาฬ โดยมุ่งเน้นการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตที่ใช้แรงงานสูง ผ่านการออกแบบเครื่องรีดแผ่นยางใหม่ที่รวม 3 ขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน ผลจากการปรับปรุงสามารถลดจำนวนขั้นตอนจาก 19 เหลือ 14 ขั้นตอน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน 26.35% ลดระยะทางในการทำงานจาก 16.90 เมตร เหลือ 10.25 เมตร เพิ่มประสิทธิภาพ 39.35% และลดเวลาในการผลิตจาก 263 นาที เหลือ 187 นาที เพิ่มประสิทธิภาพ 15.53% แสดงให้เห็นว่าแนวคิดลีนเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ [6]

2.2.3 สุจิตรา บัวผัน (2563) ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตและกำหนดมาตรฐานจำนวนพนักงานต่อสายการผลิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยมุ่งลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการทำงานของพนักงานผ่านการใช้แผนภูมิการทำงานของคนและเครื่องจักรร่วมกับหลักการ ECRS ผลการปรับปรุงสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 38 คน เหลือ 35 คนต่อสายการผลิต คิดเป็นการลดลงร้อยละ 7.89 ส่งผลให้ต้นทุนแรงงานลดลงจาก 2,394,000 บาท เหลือ 2,205,000 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 7.89 เช่นกัน อีกทั้งแนวทางการปรับปรุงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

ทางผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจร้านเบเกอรี่พบว่าขนมที่ได้รับความนิยมในแต่ละร้านของพื้นที่ และมียอดขายสูงต่อวัน 10 ลำดับ ได้แก่ โดนัท ขนมปังแผ่น คัพเค้ก บราวนี่ เค้กวันเกิด แซนวิช ขนมชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก ทาร์ตไข่ คัสตาร์ด คาราเมล และคัสตาร์ด ซึ่งขนมชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือกมีความนิยมมากที่สุด และเป็นที่ต้องการของตลาด รวมถึงบางครั้งผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาขั้นตอนการผลิตของขนมชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก โดยเก็บข้อมูลเวลากระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือกโดยการสังเกต จับเวลา และจดบันทึกอย่างละเอียดในทุกขั้นตอน โดยใช้เทคนิควิเคราะห์วงรอบเวลา (Cycle Time) และบันทึกลงแบบฟอร์ม Time Study Sheet โดยเก็บข้อมูลซ้ำงานย่อยละ 10 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 นำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ระดับ 95.5% และค่าความคลาดเคลื่อน ±5% ได้ข้อมูลที่เพียงพอและยอมรับได้นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมดังสมการที่ 1

$$N = \frac{40n}{\sum X}\left[\sqrt{\frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right)}{n-1}}\right]^2 \qquad (1)$$

ตารางที่ 1 จับเวลากระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อน

ตารางจับเวลากระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก												
ขั้นตอน	ครั้ง/นาที											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	N
1.เตรียมวัตถุดิบ A	0.50	0.45	0.48	0.50	0.45	0.52	0.41	0.44	0.55	0.50	0.48	1
2.เคี่ยวคาราเมล	5.21	5.33	5.12	5.41	5.35	5.28	5.07	5.11	5.25	5.31	5.24	1
3.เทใส่ถาด	1.21	0.92	1.02	1.08	1.11	0.95	0.93	1.15	1.18	1.02	1.06	1
4.เตรียมวัตถุดิบ B	4.22	3.58	4.12	4.23	4.05	4.11	4.09	4.01	4.19	4.15	4.08	1
5.ปั่นวัตถุดิบ	1.55	1.52	2.24	2.08	1.57	2.12	2.32	2.22	2.04	1.55	1.92	3
6.นำลงถาดทิมพ์	0.44	0.32	0.35	0.42	0.44	0.38	0.33	0.32	0.37	0.45	0.38	1
7.เตรียมวัตถุดิบ C	5.11	5.02	4.45	4.51	5.25	5.22	5.08	4.56	4.52	5.03	4.88	1
8.ปั่นวัตถุดิบละเอียด	3.22	3.14	3.25	3.22	3.16	3.08	3.11	3.02	3.20	3.17	3.16	1
9.ร่อนแป้ง	2.21	1.58	2.03	2.15	2.11	2.18	1.55	2.09	2.16	2.21	2.03	2
10.ใส่สีผสมอาหาร	1.34	1.22	1.38	1.41	1.29	1.35	1.33	1.25	1.48	1.32	1.34	1
11.เตรียมวัตถุดิบ D	0.53	0.54	0.53	0.55	0.48	0.45	0.48	0.55	0.52	0.61	0.52	1
12.ผสมวัตถุดิบ	1.44	1.42	1.35	1.38	1.40	1.45	1.44	1.38	1.48	1.51	1.43	1
13.ผสมกับหม้อแกง	3.02	3.11	2.51	2.55	3.12	3.03	3.05	3.17	2.54	3.06	2.92	1
14.เตรียมอบขนม	0.45	0.42	0.44	0.51	0.58	0.48	0.42	0.46	0.52	0.45	0.47	1
15.อบขนม	60.12	59.21	59.33	59.35	61.32	60.42	58.57	59.44	59.35	60.22	59.75	1
16.ตรวจเช็กเค้ก	1.02	1.05	0.86	0.88	1.10	1.05	0.95	1.13	0.95	1.12	1.01	1
17.รอขนมเย็นตัว	15.44	14.28	14.59	15.09	15.21	15.51	14.36	14.51	15.05	15.15	14.92	1
18.การทำหอมเคี่ยว	6.34	6.54	6.22	6.21	6.49	6.52	6.35	6.39	3.45	6.31	6.38	1
19.ตัดเค้ก	1.02	1.21	1.05	1.09	1.15	1.14	1.04	1.09	1.19	1.13	1.11	1
20.ตกแต่งเค้ก	2.24	2.31	2.11	2.08	2.05	2.15	2.19	2.24	2.10	2.23	2.17	1
21.บรรจุสินค้า	3.45	3.42	3.52	3.55	3.54	3.34	3.39	3.46	3.29	3.58	3.45	1

กระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก แบ่งการทำเป็น 4 ส่วนหลัก คือ 1.เคี่ยวคาราเมล 2.ส่วนหม้อแกง 3.ชิฟฟ่อนเค้กเผือก และ 4.เมอแรงก์ ซึ่งการผลิต 1 ถาดใช้ระยะเวลาประมาณ 118.7 นาที ดังนั้นกำลังการผลิตสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 4 ถาด/วัน หรือผลิตได้ทั้งหมด 32 กล่อง ผู้วิจัยนำแนวคิดการลดความสูญเปล่า 7 ประการ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก แสดงดังตารางที่ 2 หลังจากวิเคราะห์ความสูญเปล่าทางผู้วิจัยได้นำขั้นตอน/กิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่ามาวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหา แสดงดังตารางที่ 3 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต รวมถึงปรับลำดับขั้นตอนเพื่อให้เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้ลดการสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมในกระบวนการ	ความสูญเปล่า						
		1	2	3	4	5	6	7
กระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก	1.เตรียมวัตถุดิบทำคาราเมล					*		
	2.เคี่ยวไปยังจุดเคี่ยววัตถุดิบ							
	3.เคี่ยวคาราเมล							
	4.เทใส่ถาดทิมพ์ B							
	5.เคลื่อนที่กลับไปจุดทำขนม							
	6.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนหม้อแกง					*		
	7.นำวัตถุดิบมาปั่นให้ละเอียด							
	8.เทลงใส่ถาดทิมพ์ B							
	9.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนชิฟฟ่อน					*		
	10.นำวัตถุดิบมาปั่นให้ละเอียด							
	11.นำมาเทใส่ภาชนะ							
	12.ร่อนแป้งผสมผงฟูให้เข้ากัน							
	13.ใส่สีผสมอาหารและคนให้เข้ากัน							
	14.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนเมอแรงก์					*		
	15.เคลื่อนที่ไปยังเครื่องนวด							
	16.ผสมวัตถุดิบเมอแรงก์							
	17.เคลื่อนที่กลับมาจุดทำขนม							
	18.ผสมเมอแรงก์กับส่วนหม้อแกง							
	19.นำส่วนผสมลงถาดทิมพ์ B							
	20.เคลื่อนที่ไปจุดอบขนม							
	21.เตรียมอบโดยเติมน้ำลงถาดในตู้อบ				*	*	*	
กระบวนการผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก	22.อบขนม						*	
	23.การตรวจสอบเค้ก					*		
	24.เคลื่อนที่นำขนมไปจุดพักขนม							
	25.รอขนมเย็นตัว						*	
	26.เคลื่อนที่ไปยังจุดทำหอมเคี่ยว							
	27.เคี่ยวหอมเคี่ยวและพักไว้				*	*		
	28.เคลื่อนที่กลับไปจุดทำขนม							
	29.นำเค้กที่เย็นแล้วมาแบ่งตัด				*			*
	30.ตกแต่งเค้กด้วยหอมเคี่ยว					*		
	31.นำเค้กมาบรรจุสินค้า							
	32.เคลื่อนที่นำสินค้าไปจุดวางสินค้า							
กระบวนการจัดเก็บ	33.จัดวางสินค้าบนโต๊ะ							

ตารางที่ 3 สาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหา

กิจกรรม	สาเหตุปัญหา	แนวทางแก้ปัญหา
1.เตรียมวัตถุดิบทำคาราเมล 6.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนหม้อแกง 9.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนชิฟฟ่อน 14.เตรียมวัตถุดิบทำส่วนเมอแรงก์	เตรียมวัตถุหลายครั้งทำให้ความล่าช้าในการทำงานเกิดขึ้น	ควรเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมตั้งแต่เริ่มต้นทำขนม
21.เตรียมอบโดยเติมน้ำลงถาดในตู้อบ	เมื่อใส่ขนมเข้าตู้อบแล้ว มีการเติมน้ำเข้าไปทีหลัง ซึ่งทำให้เสียเวลา และไม่จำเป็นต้องเติมขณะอยู่ในตู้อบ	ควรนำถาดขนมรองถาดอีกใบและเติมน้ำก่อนนำเข้าตู้อบ
23.การตรวจสอบเค้ก	ต้องคอยเช็กว่าเค้กสุกดีหรือไม่ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเช็ก	เก็บข้อมูลเวลาที่เค้กจะสุกพอเหมาะ แล้วทำการเสียกระยะเวลานั้นเป็นหลักในการอบเค้ก
25.รอขนมเย็นตัว	การรอคอยนานเกินไป	ใช้พัดลมช่วยให้เย็นตัวเร็วขึ้น
27.เคี่ยวหอมเคี่ยวและพักไว้	หลังจากรอเค้กเย็นตัวแล้วจึงทำหอมเคี่ยว หากทำก่อนกลิ่นจะไม่หอม ซึ่งทำก่อนหรือทำหลังไม่ต่างกัน เพราะเมื่อบรรจุลงกล่องแล้ว จะเย็นไปเองตามธรรมชาติ	ควรทำการเคี่ยวตั้งแต่การอบขนม แล้วให้ปิดฝานำไปพักเก็บไว้ก่อน
29.นำเค้กที่เย็นแล้วมาแบ่งตัด	วิธีการตัดใช้วิธีการกะประมาณ ทำให้การตัดเค้กไม่เท่ากัน หากมองทั่วไปอาจไม่แตกต่าง แต่หากเทียบกันจะรู้ได้ทันที	ให้ทำการมาร์คจุดตัดที่ถาดทิมพ์ เพราะถาดเป็นขนาด 8 x 8 นิ้ว สามารถแบ่งได้พอดี จากนั้นใช้วิธีตัดเค้กแบบใหม่
30.ตกแต่งเค้กด้วยหอมเคี่ยว	หลังจากตัดเค้กจะมีการตกแต่งทันที ทำให้ตอนตักลงกล่องนั้นลำบาก และเสียเวลา ซึ่งไม่จำเป็นต้องทำหลังตัดเค้ก	ควรนำเค้กลงกล่องก่อน แล้วจึงตกแต่งด้วยหอมเคี่ยว จะง่ายต่อการทำงานมากกว่า

4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับขนมหม้อแกงและชิฟฟ่อนเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานที่สุดในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวโดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความซับซ้อนของกระบวนการ โดยได้ทำการรวมขั้นตอนที่สามารถดำเนินการพร้อมกันได้ และปรับรูปแบบการทำงานให้มีความเรียบง่ายมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการเตรียมวัตถุดิบลดลงจาก 18.393 นาที เหลือเพียง 9.033 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 50.89 นอกจากนี้ ยังได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพิ่มเติมโดยอาศัยหลักการ ECRS ด้วยการกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและเพิ่มความสะดวกในการทำงาน ผ่านการนำพัดลมมาใช้เพื่อช่วยระบายความร้อน ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงานจากเดิม 120.09 นาที เหลือ 97.281 นาที ลดลงร้อยละ 18.99 แสดงดังตารางที่ 4 จากการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลงจาก 208 บาท เหลือ 191 บาท หรือลดลงจำนวน 17 บาท คิดเป็นร้อยละ 8.173

ตารางที่ 4 แผนภูมิกระบวนการผลิตขนมหม้อแกงและชิฟฟ่อนหลังจากการปรับปรุง

FLOW PROCESS CHART					MAN/MATERIAL/EQUIPMENT TYPE					
Chart No.2 Sheet No.1/2					SUMMARY					
SUBJECT CHART:			ACTIVITY		PRESENT	PURPOSED	SAVING			
เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต			OPERATIOL	○	21	20	1			
ACTIVITY:			TRANSPORT	⇨	9	7	2			
การผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก METHOD: PRESENT / PURPOSED			DELAY	D	1	0	1			
LOCATION:			INSPECTION	□	1	0	1			
OPERATIVE(S): 1			STORAGE	▽	1	1	0			
CHARTED BY:			DISTANCE (m)		28	26	2			
APPROVED:			TIME (min)		120.099	97.281	22.818			
	DESCRIPTION	DISTANCE (m)	TIME (min)	SYMBOL						REMARK
				○	⇨	D	□	▽		
1	เตรียมวัตถุดิบทั้งหมด	0	8.09							
2	เคลื่อนไปยังจุดเตรียมวัตถุดิบ	2	0.024							
3	เตรียมคาราเมล	0	5.24							
4	เทใส่ถาดทิมท์ B	0	1.06							
5	เคลื่อนที่กลับไปจุดทำขนม	2	0.024							
6	นำวัตถุดิบหม้อแกงลงเคลื่อนปั่น	0	0.25							
7	ปั่นวัตถุดิบให้ละเอียด	0	1.92							
8	เทใส่ถาดทิมท์ B	0	0.38							
9	นำวัตถุดิบชิฟฟ่อนลงเครื่องปั่น	0	0.30							
10	ปั่นวัตถุดิบให้ละเอียด	0	3.16							
11	นำมาเทใส่ภาชนะ	0	0.083							
12	นำแป้งลงภาชนะและคนให้เข้ากัน	0	1.39							
13	ใส่สีผสมอาหารและคนให้กัน	0	1.34							
14	นำวัตถุดิบทำเมอแรงก์ลงหม้อ	0	0.21							

ตารางที่ 4(ต่อ) แผนภูมิกระบวนการผลิตขนมหม้อแกงและชิฟฟ่อนหลังจากการปรับปรุง

FLOW PROCESS CHART					MAN/MATERIAL/EQUIPMENT TYPE					
Chart No.2 Sheet No.2/2					SUMMARY					
SUBJECT CHART:			ACTIVITY		PRESENT	PURPOSED	SAVING			
เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต			OPERATIOL	○	21	20	1			
ACTIVITY:			TRANSPORT	⇨	9	7	2			
การผลิตขนมเค้กชิฟฟ่อนหม้อแกงเผือก METHOD: PRESENT / PURPOSED			DELAY	D	1	0	1			
LOCATION:			INSPECTION	▽	1	0	1			
OPERATIVE(S): 1			STORAGE		1	1	0			
CHARTED BY:			DISTANCE (m)		28	26	2			
APPROVED			TIME (min)		120.099	97.281	22.818			
	DESCRIPTION	DISTANCE (m)	TIME (min)	SYMBOL						REMARK
				○	⇨	D	□	▽		
15	เคลื่อนที่ไปยังเครื่องนวด	3	0.036							
16	ผสมวัตถุดิบเมอแรงก์	0	1.43							
17	เคลื่อนที่กลับมาจุดทำขนม	3	0.036							
18	ผสมเมอแรงก์กับส่วนหม้อแกง	0	2.92							
19	นำส่วนผสมลงถาดทิมท์ B	0	0.42							
20	รองถาดขนมและเติมน้ำลงในถาด	0	0.35							
21	เคลื่อนที่ไปจุดอบขนม	2	0.024							
22	นำขนมเข้าอ้อนและอบขนม	0	55.16							
23	เคลื่อนที่นำขนมไปจุดใกล้พัดลม	2	0.024							
24	ทำหอมเจียวพร้อมรอเค้กเย็นตัว	2	7.95							
25	นำเค้กเย็นแล้วมาแบ่งตัด	0	0.92							
26	บรรจุใส่กล่องพร้อมตกแต่งหอมเจียว	0	3.86							
27	เคลื่อนที่นำสินค้าไปยังจุดวางสินค้า	10	0.12							
28	จัดวางสินค้าบนโต๊ะ	0	0.86							
	รวม	26	97.281	20	7	0	0	1		

5. อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตโดยพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์และข้อจำกัดของพื้นที่ปฏิบัติงานภายในร้านเบเกอรี่ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์กระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบสามารถช่วยลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็น ลดความสูญเปล่าในแต่ละขั้นตอน และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการนำทฤษฎี ECRS มาช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจุฑาทิพย์ อินทะโน ทั้งนี้แนวทางและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะงาน การประเมินพื้นที่ปฏิบัติงาน และการออกแบบขั้นตอนการทำงานใหม่ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและลดความสูญเปล่าในบริบทที่แตกต่างกันได้ต่อไป ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับ

ผู้ประกอบการรายย่อยให้มีความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

6. สรุป

ผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการทำงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ เพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อรอบการทำงาน อีกทั้งยังช่วยลดภาระแรงงาน ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นำไปสู่การลดต้นทุนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้ดียิ่งขึ้น อันเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับหลักการลดความสูญเปล่าในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ตามแนวคิด Lean Production อย่างมีประสิทธิผล

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโอกาสในการดำเนินงานวิจัยที่ได้รับจากร้าน ม่อน เบเกอรี่ ให้ความกรุณาในการเข้าศึกษาและดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง และสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ที่เปิดโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทางวิชาการเป็นอย่างสูง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction.

[2] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์ และ ศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. (2544). ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Waste), กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ

[3] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ.(2547).การศึกษางาน (Work Study),” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

[4] นิพนธ์ บัวแก้ว.(2551).รู้จักระบบการผลิตแบบลีน. พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[5] จุฑาทิพย์ อินทะโน. (2565). การลดความสูญเปล่าในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยเทคนิคลีน, สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] ภาณุวัฒน์ วงษ์แสงน้อย และนลิน เพียรทอง. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตยางพาราแผ่นเรียบด้วยเทคนิคลีน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2: 168-175.

[7] สุจิตรา บัวผัน. (2563). การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บสินค้าบนพาเลท

Enhancing the Efficiency of Palletized Goods Storage

สวรรยา ดลหมาน[1] สมศักดิ์ แก้วพลอย[1] ศุภชัย ชัยณรงค์[1] ณัฐพงษ์ สูงใหญ่[1] และกุลยุทธ บุญเซ่ง[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Sawanya Dolman[1] Somsak Keawploy[1] Suppachai Chainarong[1] Nattapong Sungyai and Kulyuth Boonseng[1]
[1]Logistics Engineering, Faculty of Industry Technology, Songkhla Rajabhat University
E-mail: Kulyuth.bo@skru.ac.th[*]

บทคัดย่อ

ต้นทุนการพันพาเลทด้วยฟิล์มยืดสำหรับการจัดเก็บที่บริษัท XYW จำกัด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื่องมาจากฟิล์มฉีกขาดบ่อยครั้งระหว่างการใช้งาน ปัญหานี้ไม่เพียงแต่เพิ่มต้นทุนการจัดหาวัสดุเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของกิจกรรมในคลังสินค้าด้วย ดังนั้น การศึกษานี้จึงเริ่มต้นด้วยวัตถุประสงค์หลักสองประการ ได้แก่ (1) เพื่อวิเคราะห์สาเหตุหลักของต้นทุนที่สิ้นเปลืองในกระบวนการพันพาเลท และ (2) เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บ การศึกษาเริ่มต้นด้วยการระบุปัญหาโดยใช้การวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตพิจารณาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปัญหา จากนั้นจึงนำหลักการ ECRS และแผนภูมิกระบวนการขั้นตอนมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบกลยุทธ์การปรับปรุงกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการแทนที่ฟิล์มยืดพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวด้วยผ้าพันพาเลทแบบใช้ซ้ำได้ ควบคู่ไปกับการพัฒนาคู่มือการทำงานที่เรียบง่ายซึ่งสอดคล้องกับขั้นตอนใหม่ ผลการดำเนินการพบว่าเวลาการห่อลดลงจาก 1,146.81 วินาที เหลือ 1,135.19 วินาที (ลดลง 1.01%) ระยะทางในการจัดการวัสดุลดลง 20 เมตร (13.88%) และต้นทุนการห่อพาเลทลดลงจาก 20,400 บาท เหลือ 12,420 บาทต่อเดือน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการประหยัดต้นทุน 39.12% หรือมากกว่า 95,760 บาทต่อปี

คำสำคัญ การลดต้นทุน, การพันพาเลท, หลักการ ECRS, ประสิทธิภาพคลังสินค้า, การปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

The cost of pallet wrapping using stretch film for storage at XYW Co., Ltd. has shown a continuous upward trend, particularly due to frequent tearing of the film during use. This issue not only increases the cost of material procurement but also significantly impacts the operational efficiency of warehouse activities. As a result, this study was initiated with two main objectives: (1) to analyze the root causes of wasteful costs in the pallet wrapping process, and (2) to improve operational procedures in order to reduce costs and enhance storage efficiency. The study began with problem identification using Pareto Chart analysis to determine the key contributing factors. Subsequently, the ECRS principles and Flow Process Chart were applied to design process improvement strategies. A major change involved replacing single-use plastic stretch film with reusable pallet wrapping fabric, accompanied by the development of a simplified work manual aligned with the new procedures. The implementation

results revealed that the wrapping time was reduced from 1,146.81 seconds to 1,135.19 seconds (a reduction of 1.01%), the material handling distance decreased by 20 meters (13.88%), and the pallet wrapping cost dropped from 20,400 THB to 12,420 THB per month-representing a cost saving of 39.12%, or over 95,760 THB annually.

Keywords: Cost reduction, Pallet wrapping, ECRS, Warehouse efficiency, Process improvement

1. บทนำ

การเพิ่มประสิทธิภาพในการพันห่อสินค้าเพื่อการจัดเก็บมีความสำคัญในการลดระยะเวลาและต้นทุนในการบรรจุสินค้า รวมถึงช่วยให้กระบวนการจัดเก็บมีความเป็นระเบียบและสามารถเข้าถึงสินค้าได้ง่ายขึ้น การพัฒนาวิธีการพันห่อสินค้าที่มีประสิทธิภาพช่วยให้การใช้พื้นที่ในการเก็บรักษามีความคุ้มค่ามากขึ้น ลดความเสียหายของสินค้าและป้องกันการสูญหาย การปรับปรุงในกระบวนการนี้ยังช่วยให้สามารถจัดการจำนวนสินค้าที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว [1]

บริษัท XYW จำกัด มีเป้าหมายองค์กรในการลดต้นทุนโดยกำจัดความสูญเสียที่มีอยู่ในกระบวนการ เป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อการแก้ไขปัญหาลดความสูญเสียในกระบวนการห่อสินค้าเพื่อการจัดเก็บ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า แผนกคลังสินค้ามีปัญหาที่เกิดขึ้นภายในคลังสินค้าหลายอย่าง แต่ปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุดคือ ฟิล์มฉีกขาดระหว่างจัดเก็บ จึงเป็นจุดที่ต้องการแก้ปัญหาโดยนำเทคนิค การศึกษาเวลาการทำงาน [2] หลักการ ECRS [3] และการวัดผลงาน [4] มาใช้ในการดำเนินงานแก้ปัญหาในกระบวนการห่อสินค้าเพื่อการจัดเก็บ เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมสินค้าก่อนการจัดส่งให้แก่ลูกค้า การลดต้นทุนในกระบวนการห่อสินค้าเพื่อการจัดเก็บจะเป็นการสร้างคุณภาพสินค้าให้เป็นไปตามมาตรฐานตลอดถึงการสร้างความน่าเชื่อถือของบริษัทต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ได้มีการทวนสอบทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

1) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้จำแนกประเภทของข้อมูล วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพที่จำแนกประเภท มีการสะสมตามเวลา หลักการระบุว่า “สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนน้อย สิ่งที่มีความสำคัญเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก”

2) แนวคิดปรับปรุงปัญหาด้วย ECRS กระบวนการใดเกี่ยวข้องกับเวลา และก่อให้เกิดความสูญเปล่าถือเป็นเวลาส่วนเกินที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่ากับการทำงาน ดังนั้นหลักการ ECRS จะใช้คู่กับหลักการความสูญเปล่าเสมอ [3]

3) การศึกษาเวลาการทำงาน ใช้วัดความน่าเชื่อถือทางสถิติของข้อมูลที่ได้รับมาว่าน้อยกว่าจำนวนครั้งที่เก็บข้อมูลมาหรือไม่ ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถผิดพลาดได้ 5% [2]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยได้ศึกษางานที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อนำมาเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.2.1 อุไรวรรณ วรรณศิริ (2559) ศึกษาการเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งแบบลังกระดาษ ไปเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งแบบฟิล์มหด (Shrink Film) ทำให้สามารถลดความเสียหายของตัวผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวได้ 100 % เพราะฟิล์มหดนี้สามารถปกป้องตัวผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถเข้าคลังเย็นได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อตัวบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งอีกทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่ของตู้ในการวางสินค้าได้มากขึ้น รวมถึงใช้เวลาในการจัดสินค้าได้น้อยลงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น [5]

2.2.2 รวมใจ อึงไพเราะ และ นันทิ สุทธิการนฤนัย (2564) การลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานถุงพลาสติก จากการศึกษาพบว่า เกิดของเสีย 4 ลักษณะคือ 1.ถุงไม่ม้วนขึ้นรูปตามมาตรฐาน 2.ถุง

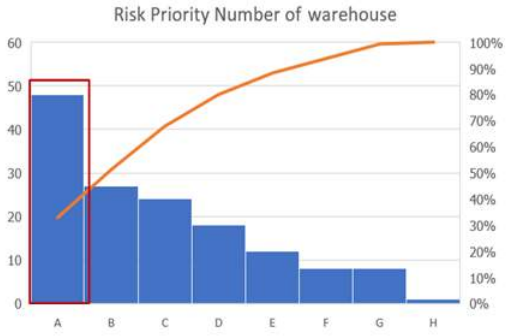
ไม่ได้ขนาด 3.ถุงเกิดจุดเจล และ 4.ถุงซีลขาด ส่งผลให้มูลค่าความสูญเสียสูงที่ร้อยละ 8.525 ของยอดขาย/เดือน เกิดจากขาดคู่มือการปฏิบัติงาน และไม่มีการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ ดำเนินการแก้ปัญหาโดยสร้างมาตรฐานและควบคุมงานอย่างเข้มงวดพบว่า สัดส่วนของเสียจากกระบวนการผลิตลดลงร้อยละ 3.51 ต่อเดือน [6]

3. ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานสามารถสรุปรายละเอียดที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยได้ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของบริษัท

บริษัท XYW จำกัด มีคลังสินค้า 1 โรง จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบปัญหาที่ เกิดขึ้นทั้งหมด 8 ประเด็น คือ ฟิล์มฉีกขาดระหว่างจัดเก็บ เครื่องปริ้นใช้งานไม่ได้ กล่องสินค้าแตกระหว่างเคลื่อนย้าย สแกนสินค้าในพาเลทไม่ครบ โปรแกรม ERROR จัดออเดอร์สินค้าไม่ครบ นับ สินค้าไม่ครบพาเลท และแยกสินค้าผิดพาเลท นำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) พบว่า ฟิล์มฉีกขาดระหว่างจัดเก็บมีค่า RPN สูงที่สุด คือ 48 ซึ่งเป็นเหตุผลในการเลือกปัญหาเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขจึงที่มาของวิจัยในครั้งนี้ เพื่อ หาวิธีลดความสูญเสียในกระบวนการจัดเก็บและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมพาเรโตแสดงปัญหาที่เกิด

เนื่องจากการพันสินค้าบนพาเลทในแต่ละวันต้องใช้ฟิล์มที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการผลิตสินค้าในแต่ละวัน จึงศึกษาข้อมูลย้อนหลังและทราบว่า มีการใช้ฟิล์มเฉลี่ย 170 ม้วนต่อเดือน หรือ 2,045 พาเลทต่อเดือน ดังนั้นจึงกำหนดดึงข้อมูลการจัดเก็บสินค้าย้อนหลังจำนวน 20 เดือน พบว่ามีต้นทุนในแต่ละเดือนเฉลี่ย 20,400 บาท แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้ฟิล์มย้อนหลังในแต่ละเดือน

เดือน	คลัง 1A1			
	จำนวน (ม้วน)	จำนวน (พาเลท)	ฟิล์มต่อวัน	ราคาฟิล์มต่อเดือน
Jan-66	173	2076	80	20760
Feb 66	128	1536	59	15360
Mar-66	162	1944	75	19440
Apr-66	158	1896	73	18960
May 66	148	1776	68	17760
Jun-66	141	1692	65	16920
Jul 66	174	2088	80	20880
Aug-66	139	1668	64	16680
Sep-66	182	2184	84	21840
Oct-66	177	2124	82	21240
Nov-66	180	2160	83	21600
Dec 66	188	2256	87	22560
Jan-67	180	2160	83	21600
Feb-67	177	2124	82	21240
Mar 67	178	2136	82	21360
Apr-67	171	2052	79	20520
May 67	231	2772	107	27720
Jun-67	186	2232	86	22320
Jul-67	152	1824	70	18240
Aug 67	183	2196	84	21960
รวม	3408	40896	1573	408960
เฉลี่ย	170	2045	79	20400

3.2 ผลการวิเคราะห์และแก้ปัญหา

จากปัญหาฟิล์มฉีกขาดระหว่างจัดเก็บ นำมาวิเคราะห์พบสาเหตุมาจากฟิล์มที่มีขนาดบาง ทำให้ฉีกขาด ได้ง่ายจึงเกิดการฉีกขาดระหว่างจัดเก็บ ดังนั้นจึงมีแนวคิดปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้พันห่อ โดยนำหลักการ ECRS มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยนำ E ของ Eliminate และ R ของ Rearrange [3] มาช่วยในการแก้ไขปัญหา โดยเริ่มจากกระบวนการทำงานปัจจุบันรับสินค้ามาจากสายพานวางบนพาเลทเต็ม สแกนสินค้าในแต่ละพาเลทเพื่อส่งข้อมูลเข้าโปรแกรมคลังสินค้าระบุปริมาณสินค้าตามประเภทต่างๆ จากนั้นพิมพ์แท็กติดไว้บนพาเลท และพันฟิล์มสินค้าพาเลท ด้านล่าง 2 รอบ กลาง 2 รอบ และบน 2 รอบ ให้ครบและแน่น แต่ฟิล์มที่ใช้มักจะฉีกขาดได้ง่ายเนื่องจากเป็นวัสดุที่บาง แสดงดังรูปที่ 2 จากปัญหาที่ เกิดขึ้นนำมาพิจารณาหาแนวทางใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ส่งผลให้เกิดความเสียหาย และลดการใช้ฟิล์มในกระบวนการใหม่จะใช้ R ของ Rearrange (การจัดใหม่) โดยการจัดรูปแบบการพันสินค้าเปลี่ยนจากการใช้ฟิล์มพันพาเลทเป็นการใช้ผ้าพันพาเลทแทน จากวิธีการเดิมจะนำฟิล์มมาพันสินค้าบนพาเลทให้รอบและพันจากบนลงมาด้านล่าง แต่วิธีการใหม่จะใช้ผ้าหนีบใต้สินค้าบนพาเลท หมุนผ้ารอบพาเลทและมัดให้แน่นด้วยเชือกรอบเดียว ขั้นตอนนี้ จะใช้ S ของ Simplify (การทำให้ง่าย) สำหรับการเรียนรู้ของผู้ปฏิบัติงานและการถ่ายทอดงาน โดยสร้างคู่มืออธิบายวิธีการทำงานให้เข้าใจง่ายและสามารถทำได้สะดวกขึ้น เพิ่ม

ความคล่องตัวและลดขั้นตอนที่ซับซ้อนในการพันพาเลท ส่งผลให้ปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้นและเป็นต้นแบบในการเรียนรู้ถ่ายทอดงานให้แก่พนักงานใหม่ แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 2 ก่อนปรับปรุง

รูปที่ 3 หลังปรับปรุง

จากการวิเคราะห์การใช้ฟิล์มพันพาเลทในคลังสินค้า พบว่ามีการใช้ฟิล์มเฉลี่ย 170 ม้วน ห่อได้ 2,045 พาเลทต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 20,400 บาท/เดือน โดยฟิล์มที่ใช้มีปัญหาฉีกขาดง่าย เนื่องจากความบางของฟิล์ม ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS มาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ โดยเปลี่ยนจากฟิล์มเป็นผ้า ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ส่งผลให้ลดระยะเวลาการพันพาเลทลง 11.62 วินาที หรือ คิดเป็น 1.01% แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4 และลดระยะทางลง 20 เมตร หรือ คิดเป็น 13.88% แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 5 นำมาคำนวณต้นทุนผ้าที่ใช้ต่อปีอยู่มีมูลค่า 12,420 บาท/เดือน เมื่อเทียบกับการใช้ฟิล์มที่มีต้นทุน 20,400 บาท/เดือน ส่งผลให้ประหยัดได้ 7,980 บาท หรือคิดเป็น 39.12% แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 6 หรือมากกว่าปีละ 95,760 บาท ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงาน ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้าได้อย่างชัดเจน

รูปที่ 4 เปรียบเทียบเวลาการทำงาน

รูปที่ 5 เปรียบเทียบระยะทาง

รูปที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุน

เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานเป็นต้นแบบสำหรับนำไปให้แก่พนักงานเรียนรู้และใช้งาน จึงนำวิธีการที่พัฒนาแล้วมาสร้างคู่มือการปฏิบัติงานนำไปปฏิบัติ เป็นต้นแบบในการถ่ายทอดงานพร้อมอธิบายให้ทราบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง และทดสอบใช้งานสร้างความชำนาญนำไปสู่คุณภาพในกระบวนการผลิตต่อไปแสดงดังรูปที่ 7

Work Instructions (WI) คลังสินค้า

	หัวข้อที่ WI-001	แก้ไขครั้งที่ 00	ฉบับที่ 001	วันที่เริ่มใช้งาน ว/ด/ป	หน้าที่ 1/1
จัดเตรียมโดย		ทบทวนโดย		อนุมัติโดย	
(ชื่อ-นามสกุล) ตำแหน่ง		(ชื่อ-นามสกุล) ตำแหน่ง		(ชื่อ-นามสกุล) ตำแหน่ง	

คู่มือวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)

ขั้นตอนการพันพาเลทด้วยผ้า

1. วัตถุประสงค์
เพื่อช่วยในการพันพาเลทด้วยผ้าให้ง่ายขึ้น
2. ขอบเขต
ระเบียบวิธีนี้ใช้สำหรับกระบวนการพันพาเลทด้วยผ้าเท่านั้น
3. คำจำกัดความ
ไม่มี
4. หน้าที่ความรับผิดชอบ
คู่มือนี้เป็นคู่มือสำหรับพนักงานรับสินค้าภายในคลังสินค้า
5. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
1. วางผ้าไว้ใต้กล่องสินค้าเพื่อหนีบผ้าไว้
2. นำผ้าส่วนที่เหลือหมุนข้างพาเลทเพื่อคลุมสินค้า
3. นำผ้าที่หนีบไว้มามัดเป็นที่เงื่อนผูกชุง เพื่อที่จะสามารถแกะได้ง่าย
6. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 7 คู่มือการปฏิบัติงาน

4. อภิปรายผล

จากการปรับปรุงแก้ปัญหาการพันสินค้าบนพาเลท ได้บรรลุเป้าหมายที่บริษัทกำหนด ได้ต้นแบบการดำเนินงานในคลังสินค้า นำไปสู่การประยุกต์ใช้ในคลังสินค้าอื่น และสร้างประสิทธิภาพที่สูงขึ้น มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ นริศรา ประเสริฐสุขและคณะ [1] ซึ่งสร้างประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้สูงขึ้น

5. สรุป

จากผลการดำเนินงานวิจัยสามารถบรรลุเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการพันห่อสินค้าบนพาเลทภายในคลังสินค้าอย่างชัดเจน โดยสามารถลดระยะเวลาในการทำงาน ลดระยะทางในการเคลื่อนย้าย และลดต้นทุนในการใช้ฟิล์มได้อย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบและการประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS ควบคู่กับการออกแบบกระบวนการใหม่ ส่งผลให้เกิดแนวทางการทำงานที่เรียบง่าย มีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง แนวทางการปรับปรุงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้นอกจากจะช่วยลดต้นทุนขององค์กรได้มากกว่า 39% ต่อเดือนแล้ว ยังเป็นต้นแบบที่สามารถถ่ายทอดและประยุกต์ใช้ในคลังสินค้าหน่วยงานอื่นได้อย่างมีประสิทธิผล ถือเป็นการยกระดับมาตรฐานการจัดเก็บสินค้าให้สอดคล้องกับเป้าหมายด้านการลดต้นทุนและการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบโลจิสติกส์ขององค์กรในระยะยาว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโอกาสในการดำเนินงานวิจัยที่ได้รับจากบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความกรุณาในการเข้าศึกษาและดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง และสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ที่เปิดโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทางวิชาการ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นริศรา ประเสริฐสุข, สไบแพร เอี่ยมส้าอาง และชุลีกร ชนะสิทธ (2563) การเพิ่มประสิทธิภาพ กระบวนการพันพาเลทสินค้าโดยการประยุกต์ใช้ DMAIC สาขาการบริหารธุรกิจระหว่าง ประเทศ คณะ บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม และเนื้อโสม ติงสัญชลี (2538) การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์บัณฑิต.

[3] ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. (2549). การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS, กรุงเทพมหานคร: อิเล็กทรอนิกส์ คอมเมิร์ซ จำกัด.

[4] ศิริชัย กาญจนวาสี. (2547). ทฤษฎีการประเมิน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] อุไรวรรณ วรรณศิริ. (2559). การเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งโดยแนวคิดลีน, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี.

การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก: กรณีศึกษา

Reducing Changeover Time in the Plastic Injection Process : Case Study

รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง เอกองค์การ น้อมมนัส ปรวิทย์ เจียนดอน
ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ เฉลิมชัย กุลเลียบ และ ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Ratanaporn Wongthong Aekongkan Nommanas Porawit Jiandon
Paramet Baowan Chalermchai Kulliap and Teerawut Khuenkaew*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: teerawut.ke@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกและการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง โดยทำการหาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนรุ่นการผลิต จากนั้นใช้การวิเคราะห์ปัญหาและการสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังสาเหตุและผล แล้วทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis จากนั้นใช้หลักการ ECRS ในการแก้ปัญหาและปรับปรุงงาน จากการปรับปรุงการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกก่อนทำการปรับปรุงใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 3,960 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 3,582 วินาที ลดลงจากเดิม 378 วินาที หรือลดลงร้อยละ 9.54 และจากการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์สามารถลดค่าใช้จ่ายจากแรงงานได้ 348,872.8 บาทต่อปี โดยการปรับปรุงนี้มีจุดคุ้มทุน 7 วัน

คำหลัก การเปลี่ยนรุ่นการผลิต แผนผังสาเหตุและผล การลดความสูญเปล่า

Abstract

This research aims to reduce the changeover time of the plastic injection process and compare the economic performance before and after the improvement. The problems in the production process and the changeover were found. Then, the problem and the cause of the issue were analyzed using the cause-and-effect diagram. Then, the method for solving the problem was analyzed using the Why Why Analysis. Then, the ECRS principle was used to solve the problem and improve the work. From the improvement of the changeover time reduction of the plastic injection process, before the improvement, the operation time was 3,960 seconds. After the improvement, the operation time was 3,582 seconds, which was reduced from the original 378 seconds, a decrease of 9.54 percent. From the economic comparison, the labor cost could be reduced by 348,872.8 baht per year. This improvement has a break-even point of 7 days.

Keywords: Change over, Cause and Effect Diagram, ECRS

การปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้แนวคิด ECRS ร่วมกับการจัดคลังแบบลีน

Improvement of Spare Parts Storage System in Industrial Plants through ECRS and Lean Warehouse Management

อำนวย คำบุญ[1] วรพจน์ ศิริรักษ์[1] ชัชชัย สีตา[1*] ณัฐพล ศิริรักษ์[1] พีรวัตร ลือสัก[1] อวยพร ต๊ะวัน[2] และ กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ[3]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

[2] หลักสูตรการตลาดและการตลาดดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

Amnouy Kumboon[1] Worapot Sirirak[1] Chatchai Seeta[1*] Nutthapon Sirirak[1] Peerawat Luesak[1] Aouypron Thawan[2] and Ganokgarn Jirasirilerd[3]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai

[2] Department of Marketing and Digital Marketing, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai

[3] Department of Industrial and Environmental Management Engineering, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University, Sisaket

E-mail: neng-cnc @ hotmail.com*

บทคัดย่อ

การจัดการคลังอะไหล่ในโรงงานอุตสาหกรรมมีบทบาทสำคัญต่อความต่อเนื่องของสายการผลิต โดยเฉพาะในภาคซ่อมบำรุงที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำในการเข้าถึงอะไหล่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS ร่วมกับ Lean Warehousing เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและออกแบบแนวทางแก้ไข จากการสำรวจในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก พบว่าระบบคลังเดิมมีปัญหาด้านระยะเวลาในการค้นหาอะไหล่ ความซ้ำซ้อนของตำแหน่งจัดเก็บ และข้อผิดพลาดในการเบิกจ่าย หลังจากปรับปรุงด้วยการจัดระเบียบหมวดหมู่ ปรับผังพื้นที่ และติดป้ายสื่อสาร ผลการวิจัย พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกอะไหล่ลดลงจาก 154.612 วินาที เหลือ 97.355 วินาที ลดลงร้อยละ 37.03 และข้อผิดพลาดลดลงจาก 86 เหลือ 18 ครั้งต่อเดือน ลดลงร้อยละ 77.29 ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ ECRS และ Lean Warehousing ในการปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ให้มีความคล่องตัว ลดความสูญเสียในกระบวนการได้อย่างเป็นระบบ

คำหลัก การจัดการคลังอะไหล่, ECRS, Lean Warehousing, การปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

Spare parts inventory management in industrial factories plays a crucial role in ensuring the continuity of production lines, especially in maintenance departments where quick and accurate access to necessary parts is vital. This study aims to improve the efficiency of the spare parts inventory system

by integrating the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) principles with Lean Warehousing to systematically analyze problems and design improvement strategies. A survey in a plastic packaging factory revealed that the existing system had issues with the time taken to search for parts, the redundancy of storage locations, and errors in part retrieval. After improvements were made, including reorganization of categories, layout adjustments, and the installation of signage, the results showed that the average retrieval time decreased from 154.612 seconds to 97.355 seconds, a reduction of 37.03%, and errors decreased from 86 to 18 per month, a reduction of 77.29%. These results demonstrate the effectiveness of ECRS and Lean Warehousing in enhancing the spare parts inventory system, making it more efficient, reducing waste, and streamlining processes in a systematic manner.

Keywords: Spare Parts Inventory Management, ECRS, Lean Warehousing, Process Improvement

1. บทนำ

การจัดการทรัพยากรในโรงงานอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อระบบการผลิต โดยเฉพาะการดูแลรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญในการผลิตสินค้าอย่างต่อเนื่อง การหยุดชะงักของเครื่องจักรอาจส่งผลกระทบต่อการผลิต ต้นทุน และความพึงพอใจของลูกค้า ปัจจัยสำคัญหนึ่ง คือ ความพร้อมของอะไหล่และอุปกรณ์ซ่อมบำรุงที่ต้องมีการจัดการอย่างมีระบบ ครอบคลุมตั้งแต่การจัดเก็บ การจัดประเภท การเบิกจ่าย ไปจนถึงการควบคุมปริมาณ [1–3] หลายสถานประกอบการยังมีปัญหาจากระบบคลังอะไหล่ที่ไร้ประสิทธิภาพ เช่น การจัดวางไม่เหมาะสม การค้นหาอะไหล่ล่าช้า และกระบวนการเบิกจ่ายที่ใช้เวลานาน [2, 4] ปัญหาเหล่านี้ แม้จะเป็นองค์ประกอบรองในกระบวนการผลิต แต่หากไม่จัดการจะกลายเป็นต้นทุนแฝงที่กระทบประสิทธิภาพขององค์กร และขัดกับแนวทางการผลิตที่มุ่งลดความสูญเปล่าและเพิ่มความยืดหยุ่น [5, 6] การบริหารคลังแบบลีนช่วยลดความสูญเปล่าในการจัดเก็บและเบิกจ่าย [5–7] ขณะเดียวกันหลักการ ECRS ช่วยปรับปรุงกระบวนการให้กระชับและเรียบง่าย [8, 9] การผสานสองแนวคิดนี้จึงสามารถพัฒนาระบบคลังอะไหล่ที่มีความรวดเร็ว ถูกต้อง และคล่องตัวในการบริหารจัดการ

แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้การบริหารคลังแบบลีน (Lean Warehousing) ในการจัดการคลังอะไหล่มาก่อน เช่น Mor et al. [2] ที่ใช้แนวทางลีนในการลดของเสียในคลังอะไหล่ และ Añazco-Alavedra and Quiroz-Flores [6] ที่นำเสนอการใช้ 7S และ SLP Tools ในการเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าในอุตสาหกรรมยานยนต์ แต่ยังไม่พบการศึกษาใดที่มุ่งเน้นการผสานแนวคิด ECRS และ Lean ในบริบทของคลังอะไหล่โดยตรง ทั้งที่แนวทางดังกล่าวมีศักยภาพในการลดขั้นตอนซ้ำซ้อน เพิ่มความรวดเร็วในการเบิกจ่าย และจัดระเบียบพื้นที่ใช้งานให้เหมาะสมกับพฤติกรรมผู้ใช้งานหน้างานอย่างแท้จริง นอกจากนี้ Gamboa and Singgih [8] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ ECRS ร่วมกับ TRIZ ในบริบทของสายการผลิต ซึ่งยังไม่ได้ขยายผลมาสู่ระบบคลังอะไหล่โดยเฉพาะ Yan et al. [10] มุ่งเน้นการวางแผนระบบคลังอะไหล่แบบหลายระดับในอุตสาหกรรมพลังงาน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากระบบคลังอะไหล่ที่ใช้ในโรงงานผลิตทั่วไป

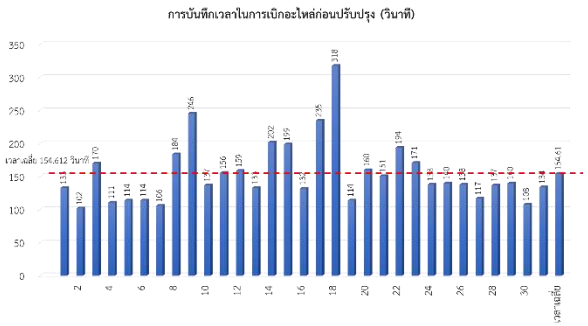
งานวิจัยนี้นำเสนอการบูรณาการแนวคิด ECRS และ Lean Warehousing เพื่อยกระดับการจัดการคลังอะไหล่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเบิกจ่าย และจัดระบบพื้นที่ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง จุดเด่นของการศึกษานี้อยู่ที่การประยุกต์ใช้แนวคิดทั้งสองร่วมกันในบริบทของการจัดการทรัพยากรหน้างาน ซึ่งยังไม่มีการศึกษาอย่างลึกซึ้งมาก่อน อีกทั้งยังมีการประเมินผลเชิงประจักษ์โดยใช้ตัวชี้วัดด้านระยะเวลาและประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การวิจัยนี้จึงถือเป็นแนวทางเชิงปฏิบัติที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม และยังสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนในภาพรวม

นอกจากนี้งานวิจัยในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (SDGs) ด้าน SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน

ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และSDG 12 การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน ซึ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและมีความรับผิดชอบ เพื่อสนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจควบคู่กับความยั่งยืนในระยะยาว

2. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการสำรวจพื้นที่คลังอะไหล่ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกแห่งหนึ่ง ซึ่งประสบปัญหาความล่าช้าในการเบิกจ่ายอะไหล่ โดยได้เก็บข้อมูลจากการสังเกตและสัมภาษณ์ผู้ใช้งานจริง ได้แก่ ช่างซ่อมบำรุงและผู้ดูแลคลัง พบว่าการจัดเก็บอะไหล่เดิมไม่มีการแยกหมวดหมู่ที่ชัดเจน มีลักษณะการจัดวางแบบกระจัดกระจาย และซ้ำซ้อน ขาดระบบแผนผังและป้ายกำกับ ส่งผลให้เกิดความสับสนในการค้นหา ใช้เวลานาน และเกิดความผิดพลาดในการเบิกบ่อยครั้ง



รูปที่ 1 ระยะเวลาในการเบิกอะไหล่ก่อนการปรับปรุง

เพื่อให้เข้าใจเชิงลึกถึงปัญหา จึงใช้เครื่องมือ 5W1H และ Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์ โดยตั้งคำถาม คือ “ทำไมต้องใช้เวลานาน” “ใครเบิก” “อะไหล่ใดเบิกบ่อย” “อยู่ตรงไหน” “ต้องเดินไกลแค่ไหน” และ “ปัญหาเกิดขึ้นช่วงเวลาใด” ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปสนับสนุนด้วยการเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขในช่วง 31 วันก่อนการปรับปรุง พบว่า มีการเบิกอะไหล่จำนวน 150 ครั้ง โดยมีระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกเท่ากับ154.612 วินาทีต่อครั้ง ซึ่งสะสมรวมวันละ 773.060 วินาที (มากกว่า 12 นาที) และเทียบเท่ากับการสูญเสียเวลาทำงานกว่า 6.5 ชั่วโมงต่อเดือน โดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (Non-Value Added Activity) (ดังรูปที่ 1)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเบิกอะไหล่ในช่วงก่อนการปรับปรุง พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ได้จำกัดเพียงแค่ความล่าช้าในการค้นหาเท่านั้น แต่ยังมีความผิดพลาดหลากหลายประเภทที่สะท้อนถึงความไม่เป็นระบบในกระบวนการจัดการคลังอะไหล่โดยสามารถจำแนกออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ 1) เบิกผิดจากที่ต้องการ, 2) หาไม่พบแม้มีของในคลัง, 3) ใช้เวลานานเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งจัดเก็บ, 4) เบิกอะไหล่ซ้ำโดยไม่รู้ว่ามีในระบบ, 5) ข้อมูลไม่ตรงกับของจริง, 6) จัดวางผิดหมวดหมู่ทำให้ค้นหายาก, 7) อะไหล่หมดโดยไม่มีการแจ้งเตือน, 8) ไม่มีการอัปเดตปริมาณคงเหลือ, และ 9) เบิกซ้ำจากข้อมูลในสมุดบันทึก (ดังรูปที่ 3) ปัญหาเหล่านี้ครอบคลุมทั้งในด้านข้อมูล เช่น การเบิกผิด, การเบิกซ้ำ, และข้อมูลที่ไม่ตรงกับจำนวนจริง รวมไปถึงปัญหาการจัดวาง เช่น การขาดแผนผัง, การจัดวางไม่ตรงหมวดหมู่, หรือขาดระบบเตือนเมื่ออะไหล่หมด

จากการเก็บข้อมูล (รูปที่ 3) ความผิดพลาดในการเบิกจ่ายอะไหล่ที่พบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ “ใช้เวลานานเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งจัดเก็บ” (25.58%) และ “เบิกอะไหล่ผิดจากที่ต้องการ” (13.95%) ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากระบบจัดเก็บที่ไม่มีมาตรฐานร่วมกันในหมู่ผู้ใช้งาน ข้อมูลเหล่านี้ไม่เพียงบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบเดิมที่ต่ำเท่านั้น แต่ยังสะท้อนถึงความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อสายการผลิต หากปัญหาเหล่านี้ไม่ได้รับการปรับปรุงอย่างเป็นระบบ ด้วยเหตุนี้การใช้ ECRS และ Lean Warehousing ไม่เพียงแค่แก้ปัญหาความล่าช้า แต่ยังมุ่งเน้นการจัดระเบียบคลังเพื่อลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดทุกประเภท และเสริมสร้างความพร้อมในการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

3. ผลการวิจัย

ในการดำเนินการปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ ได้มีการประยุกต์ใช้แต่ละองค์ประกอบของหลักการ ECRS อย่างเป็นระบบ โดยแบ่งแนวทางการดำเนินการได้ดังนี้

Eliminate (E) ใช้ในการตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น เช่น การเดินหาหลายรอบหรือการเบิกผิดจากการจดจำ

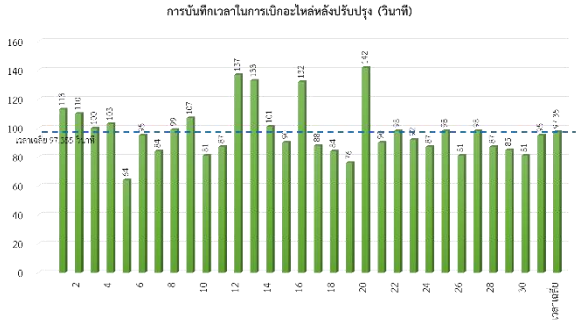
Combine (C) ใช้ในการรวมจุดเก็บอะไหล่ที่ใช้ร่วมกันให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เช่น เฟือง โซ่ และสายไฟ

Rearrange (R) ใช้ในการจัดเรียงตำแหน่งอะไหล่ตามความถี่ในการใช้งาน โดยให้อะไหล่ที่ใช้บ่อยอยู่ใกล้ทางเข้า

Simplify (S) ใช้ในการติดป้ายแสดงหมวดหมู่และจัดทำแผนผังภายในคลัง เพื่อลดความสับสนและเพิ่มความชัดเจนในการค้นหา

การดำเนินการทั้ง 4 ด้านนี้ทำให้สามารถลดข้อผิดพลาดต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลเปรียบเทียบในช่วงเวลา 31 วัน ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยใช้ตัวชี้วัดหลัก 2 ด้าน ได้แก่ ระยะเวลาในการเบิกจ่ายอะไหล่ และความถี่ของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

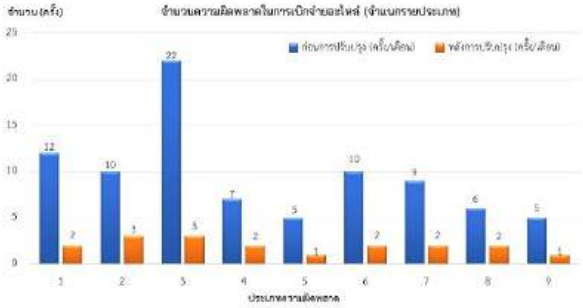
จากรูปที่ 1 ก่อนการปรับปรุง พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกอะไหล่ อยู่ที่ 154.612 วินาทีต่อครั้ง โดยมีความผันผวนสูงในแต่ละวัน (120–318 วินาที) ซึ่งเกิดจากการเดินค้นหาหลายรอบ ไม่มีแผนผัง ไม่มีป้ายกำกับ และการจัดวางที่ไม่สัมพันธ์กับความถี่ในการใช้งานจริง ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ความจำหรือสอบถามซ้ำ ๆ หลังจากการปรับปรุงระบบโดยใช้ ECRS เพื่อย้ายตำแหน่งอะไหล่ให้อยู่ในจุดที่เข้าถึงง่าย ติดป้ายแสดงหมวดหมู่ และเพิ่มแผนผังที่จุดทางเข้า รวมทั้งปรับผังห้องให้เส้นทางการเดินเบิกสั้นลง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ระยะเวลาเฉลี่ย ลดลงเหลือ 97.355 วินาทีต่อครั้ง คิดเป็นการลดลง 36.6% (ดังรูปที่ 2) ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่มีนัยสำคัญทางปฏิบัติ โดยเฉพาะในสายงานที่ต้องตอบสนองงานซ่อมฉุกเฉินอย่างทันท่วงที



รูปที่ 2 ระยะเวลาในการเบิกอะไหล่หลังการปรับปรุง

จากการสำรวจปัญหาหลักก่อนการปรับปรุง พบว่า “ใช้เวลานานเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งจัดเก็บ” คิดเป็นร้อยละ 25.58 และ“เบิกอะไหล่ผิดจากที่ต้องการ” คิดเป็นร้อยละ 13.95 และยังมีปัญหาด้านการไม่มีระบบแจ้งเตือนเมื่ออะไหล่หมด รวมถึงความไม่ตรงกันระหว่างปริมาณในสมุดบันทึกกับปริมาณที่มีจริง ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนการซ่อมเครื่องจักรและความต่อเนื่องในการผลิต

หลังจากการปรับปรุง พบว่า ความผิดพลาดโดยรวมลดลง เฉลี่ยร้อยละ 77.29 โดยเฉพาะในกรณีของ “ใช้เวลานานเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งจัดเก็บ” ที่ลดลงจาก 22 ครั้ง เหลือ 3 ครั้ง ลดลงร้อยละ 86.36 และ “เบิกอะไหล่ผิดจากที่ต้องการ” ลดลงจาก 12 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง ลดลง ร้อยละ 83.33



รูปที่ 3 ความผิดพลาดในการเบิกจ่ายอะไหล่

ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์จากการปรับปรุงระบบคลังอะไหล่โดยใช้แนวคิด ECRS ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดในการเบิกจ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ การดำเนินการได้ครอบคลุมทั้งการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น การจัดหมวดหมู่ใหม่ การวางผังคลังให้เหมาะสมกับพฤติกรรมผู้ใช้งาน และการจัดทำสื่อสัญลักษณ์เพื่อสนับสนุนการค้นหา ส่งผลให้ความผิดพลาดในการเบิกผิดลดลงจาก 12 ครั้ง เหลือ 2 ครั้งต่อเดือน (ลดลงร้อยละ 83.33) ความยากในการค้นหาลดลงจาก 10 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง (ลดลงร้อยละ 80.00) และระยะเวลาค้นหาอะไหล่ที่ใช้บ่อยลดลงจาก 22 ครั้ง เหลือ 3 ครั้ง (ลดลงร้อยละ 86.36) นอกจากนี้ยังลดปัญหาการหาของไม่พบจาก 10 ครั้ง เหลือ 3 ครั้ง (ลดลงร้อยละ 70.00) การเบิกอะไหล่ซ้ำจาก 7 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง (ลดลงร้อยละ 71.43) และปัญหาข้อมูลไม่ตรงจาก 5 ครั้ง เหลือ 1 ครั้ง (ลดลงร้อยละ 80.00) ผลลัพธ์เหล่านี้สะท้อนถึงศักยภาพของแนวคิดดังกล่าวในการลดความซ้ำซ้อน เพิ่มความชัดเจน และยกระดับความถูกต้องในการบริหารจัดการคลังอะไหล่

การนำ ECRS มาร่วมกับ Lean Warehousing ยังช่วยเพิ่มความชัดเจนในการควบคุมสต๊อก เช่น การจัดพื้นที่ Buffer และการตรวจนับรายวัน ทำให้ปัญหา “อะไหล่หมดโดยไม่มีการแจ้งเตือน” ลดลงจาก 9 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง ลดลงร้อยละ 77.78 และ “ไม่มีการอัปเดตปริมาณคงเหลือ” ลดจาก 6 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง ลดลงร้อยละ 66.67

ทั้งนี้จาก 9 ประเภทความผิดพลาดทั้งหมดรวม 86 ครั้งต่อเดือน ลดลงเหลือ 18 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 77.29 ซึ่งถือเป็นการปรับปรุงที่มีนัยสำคัญในทั้งทางทฤษฎีและการปฏิบัติ

4. อภิปรายผล

ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการนำแนวคิด ECRS ร่วมกับ Lean Warehousing มาใช้ในการปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดความสูญเปล่าและยกระดับการเบิกจ่ายได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่า ระยะเวลาเบิกอะไหล่ลดลง 36.6% และความผิดพลาดรวมลดลง 77.29% โดยเฉพาะปัญหาหลักเช่น "ใช้เวลานานเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งจัดเก็บ", "เบิกอะไหล่ผิดจากที่ต้องการ", และ "ข้อมูลไม่ตรงกับของจริง" ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Zhang et al. [1] และ Mor et al. [2] ที่ระบุว่า ความไร้ระบบในคลังอะไหล่ส่งผลให้เกิดต้นทุนแฝงจากการหยุดเครื่องจักรและความล่าช้า การนำ Lean Warehousing มาออกแบบเส้นทางและจัดระเบียบคลังให้เคลื่อนไหวได้ไหลลื่นและลดการรอคอย ได้ผลดีและตรงกับงานของ Añazco-Alavedra and Quiroz-Flores [6] ที่ใช้ 7S และ SLP tools ในการเพิ่มการเข้าถึงอะไหล่ การใช้ ECRS ในการจัดระเบียบและสื่อสารภายในคลัง เช่น การตัดขั้นตอนซ้ำซ้อน (Eliminate), การรวมหมวดหมู่ที่ใช้งานร่วมกัน (Combine), การจัดเรียงตามความถี่ใช้งาน (Rearrange) และการติดป้ายแผนผัง (Simplify) ได้ผลดีตามที่ Gamboa and Singgih [8] เสนอในสายการผลิต งานวิจัยนี้โดดเด่นตรงที่การบูรณาการ ECRS และ Lean ในการปรับปรุงคลังอะไหล่ ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษาเชิงลึกมาก่อน แม้จะมีงานของ Mor et al. [2] และ Yan et al. [10] เกี่ยวกับการบริหารคลังแบบลีนและ multi-echelon แต่ยังไม่เคยเชื่อมโยงกับเครื่องมือปรับปรุงกระบวนการในระดับจุลภาค

ผลการศึกษานี้สนับสนุนแนวคิดว่า ความเรียบง่ายและชัดเจนในการจัดระบบคลังไม่เพียงแต่ช่วยลดระยะเวลาและความผิดพลาด แต่ยังเพิ่มความคล่องตัว ความโปร่งใส และความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของระบบการผลิตที่ต้องรับมือกับความต้องการที่หลากหลายและคุณภาพที่สูงขึ้น

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบคลังอะไหล่ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS ร่วมกับ Lean Warehousing ซึ่งมุ่งเน้นการลดความสูญเปล่า และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดเก็บและเบิกจ่ายอะไหล่ ผลการดำเนินงานพบว่า ระบบคลังอะไหล่ที่ได้รับการปรับปรุงมีความชัดเจนในการจัดหมวดหมู่ มีการจัดวางที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานจริง และสามารถลดระยะเวลาในการเบิกจ่ายลงได้ถึง 36.6% ขณะที่ความผิดพลาดในการดำเนินงานลดลงรวมถึง 77.29% ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของการใช้แนวคิดเชิงระบบในการแก้ไขปัญหาทางปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้ไม่เพียงสะท้อนผลเชิงตัวเลขที่ชัดเจนเท่านั้น แต่ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการคลังอะไหล่ที่มีระบบ ซึ่งมีผลต่อความต่อเนื่องในการผลิต ความพร้อมของเครื่องจักร และต้นทุนแฝงที่มักถูกมองข้าม โดยเฉพาะในสายงานซ่อมบำรุงที่ต้องตอบสนองต่อความเร่งด่วนของกระบวนการผลิต ดังนั้น ระบบคลังอะไหล่ที่มีประสิทธิภาพจึงถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญของระบบการผลิตยุคใหม่

นอกจากนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน โดยการยกระดับการจัดการคลังให้มีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพ และ SDG 12 การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน โดยการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรภายใน

อีกทั้งการศึกษานี้สามารถต่อยอดไปยังระบบคลังวัสดุประเภทอื่น เช่น คลังวัตถุดิบหรือคลังเครื่องมือ และสามารถประยุกต์ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น RFID, Barcode, หรือ IoT เพื่อลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์และเพิ่มความแม่นยำในการจัดการข้อมูล นอกจากนี้ การบูรณาการระบบวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคาดการณ์จะช่วยเสริมความสามารถในการวางแผนเชิงกลยุทธ์และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย และบริษัท เชียงใหม่อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่ ข้อมูล และความร่วมมือที่สำคัญ รวมถึงผู้ร่วมวิจัยที่ให้คำแนะนำและช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลจนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang, S., Huang, K., and Yuan, Y., “Spare Parts Inventory Management: A Literature Review,” *Sustainability*, Vol. 13, No. 5, (2021), p. 2460.

[2] Mor, R. S., Bhardwaj, A., Kharka, V., and Kharub, M., “Spare Parts Inventory Management in Warehouse: A Lean Approach,” *International Journal of Industiral Engineering & Producion Research*, Vol. 32, No. 2, (2021).

[3] Shaurya, A., “Spare Parts Inventory Management Using an MRP-Driven Approach Through Minimum-Maximum Stock Strategy in the Manufacturing Industry,” *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, Vol. 8, No. 11, (2021), pp. 39–43.

[4] Zhang, L., Deng, Q., Miao, B., Liu, X., and Shao, H., “Parallel Service Mode of Production and Inventory for Spare Part Inventory Optimization,” *Knowledge-Based Systems*, Vol. 241, (2022).

[5] Osman, M. K., Mohamad, E., Kamarudin, N., and Rahman, A. A., “Warehouse Operations Optimisation Through the Implementation of Lean Methodology: A Comprehensive Review,” *Multidisciplinary Reviews*, Vol. 8, No. 4, (2024).

[6] Añazco-Alavedra, Y. A., and Quiroz-Flores, J. C., “Lean Warehousing, 7S and SLP Tools to Improve Productivity in the Inspection and Storage Process in a Spare Parts Warehouse of an Automotive Retail Company,” presented at the 5th African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Johannesburg/Pretoria, South Africa, (2024).

[7] Dube, L., and Gupta, K., “Lean Manufacturing Based Space Utilization and Motion Waste Reduction for Efficiency Enhancement in a Machining Shop: A Case Study,” *Applied Engineering Letters : Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 8, No. 3, (2023), pp. 121–130.

[8] Gamboa, P., and Singgih, M. L., “Lean Manufacturing Improvement Using ECRS and TRIZ Methods: Literature Review,” presented at the Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Surakarta, Indonesia, Surakarta, Indonesia, (2021).

[9] Suhardi, B., Anisa, N., and Laksono, P. W., “Minimizing Waste Using Lean Manufacturing and ECRS Principle in Indonesian Furniture Industry,” *Cogent Engineering*, Vol. 6, No. 1, (2019).

[10] Yan, B., Zhou, Y., Zhang, M., and Li, Z., “Reliability-Driven Multiechelon Inventory Optimization with Applications to Service Spare Parts for Wind Turbines,” *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 72, No. 2, (2023), pp. 748–758.

การประยุกต์ใช้วิธีการตามหลัก ECRS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าในกระบวนการแปรรูปอาหาร

Application of ECRS for Improving Process Efficiency and Reducing Idle Time in Food Processing Operations

ณัฐพล ศิริรักษ [1] อำนวย คำบุญ [1*] ชัชชัย สีตา [1] วรพจน์ ศิริรักษ์ [1] พีรวัตร ลือสัก [1] ถนัดกิจ ศรีโชค [2] และ อวยพร ต๊ะวัน [3]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

[2] ห้องปฏิบัติการวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

[3] หลักสูตรการตลาดและการตลาดดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

Nutthapon Sirirak[1] Amnouy Kumboon[1*] Chatchai Seeta[1] Worapot Sirirak[1] Peerawat Luesak[1] and Aouypron Thawan[2]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai

[2] Artificial Intelligence Optimization SMART Laboratory, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani

[3] Department of Marketing and Digital Marketing, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai

E-mail: k_amnouy@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงผังสายการผลิตช่วงท้ายของกระบวนการบรรจุ ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนติดฉลาก ซึ่งเดิมมีปัญหาการไหลของงานที่ไม่ต่อเนื่อง การจัดวางพาเลทและการซีลซ้ำซ้อน รวมถึงการรอพื้นที่ว่าง ส่งผลให้เกิดภาระงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ระยะทางการเคลื่อนย้ายสูงถึง 147 เมตร และใช้เวลาในการดำเนินงานเฉลี่ย 6,153.40 วินาทีต่อลัง การศึกษานี้เริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5W1H และ Why-Why Analysis เพื่อระบุจุดที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า และออกแบบผังการผลิตใหม่ให้การไหลของงานต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น ผลการปรับปรุงพบว่าระยะทางการเคลื่อนย้ายลดลงเหลือ 76 เมตร (ลดลง 48.30%) และเวลาการดำเนินงานลดลงเหลือ 442.40 วินาที (ลดลง 92.81%) ขณะที่จำนวนขั้นตอนในช่วงที่มีปัญหาซึ่งเคยมี 13 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 9 ขั้นตอน แสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการได้อย่างชัดเจน งานวิจัยนี้ยืนยันว่าการใช้ ECRS ช่วยลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารอื่นที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และแรงงานได้อย่างเหมาะสม

คำหลัก การปรับปรุงกระบวนการผลิต, หลักการ ECRS, การลดความสูญเปล่า, ผังการผลิต, การแปรรูปอาหาร

Abstract

This study aims to apply the ECRS principles—Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify—to improve efficiency and reduce non-value-added activities in a food processing environment. The focus is on the redesign of the production layout at the final stage of bottling, just prior to labeling, where process bottlenecks were observed. Initially, the workflow involved excessive palletizing, sealing, and idle time due to limited space, resulting in an average transport distance of 147 meters and an average processing time of 6,153.40 seconds per unit. The problem analysis was conducted using the 5W1H and Why-Why techniques to identify inefficiencies and redesign the layout for improved flow. After implementation, the transport distance was reduced to 76 meters (a 48.30% reduction), and processing time was significantly shortened to 442.40 seconds (a 92.81% reduction). In the critical stage where 13 steps were previously identified as problematic, the number of process steps was streamlined to 9. These results confirm that the application of ECRS can effectively eliminate waste and improve process flow, and it can be suitably adapted to other food production facilities with spatial and labor constraints.

Keywords: Process Improvement, ECRS Principle, Waste Reduction, Production Layout, Food Processing

1. บทนำ

ในยุคที่สภาวะเศรษฐกิจและการแข่งขันทางธุรกิจทวีความเข้มข้น สถานประกอบการในภาคอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องปรับตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดที่มีความนิยมอาหารไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งในและต่างประเทศแนวทางหนึ่งในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน คือ การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่า และลดระยะเวลาที่สูญเสียไปในกระบวนการผลิต ซึ่งแนวคิดด้านการจัดผังการผลิต (Process Layout) และการไหลของงาน (Work Flow) อย่างต่อเนื่อง เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิผลโดยรวมขององค์กร [1–3]

โดยเฉพาะในสายการผลิตอาหาร ซึ่งมีข้อจำกัดเฉพาะด้านความปลอดภัยทางอาหาร พื้นที่การทำงาน และแรงงานจำนวนจำกัด การออกแบบระบบการผลิตจึงต้องพิจารณาทั้งประสิทธิภาพและข้อกำหนดด้านสุขอนามัยควบคู่กันไป แม้หลายองค์กรจะมีการนำระบบการผลิตสมัยใหม่มาใช้ แต่ยังคงพบปัญหาด้านกระบวนการผลิต เช่น การจัดวางพื้นที่ทำงานที่ไม่เหมาะสม กิจกรรมที่ซ้ำซ้อน หรือขั้นตอนที่ไม่มีคุณค่า (Non-Value Added Activities)ซึ่งนำไปสู่ความสูญเปล่าในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น หรือเวลารอคอย (Idle Time) อันเป็นอุปสรรคต่อการไหลของงานอย่างมีประสิทธิภาพ [4–7]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) ซึ่งเป็นแนวทางพื้นฐานในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการลดความสูญเปล่าทั้งในแง่ของเวลา พื้นที่ และแรงงาน โดยเฉพาะในการลดเวลารอคอยที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Idle Time) [8–10] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่มีอยู่ส่วนใหญ่ยังเน้นในบริบทของอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น เฟอร์นิเจอร์หรือบริการ และยังขาดงานวิจัยที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ ECRS อย่างเป็นระบบในอุตสาหกรรมอาหารของไทยโดยเฉพาะ

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าในการประยุกต์ใช้ ECRS ในอุตสาหกรรมอาหารไทยมีจำนวนน้อย และส่วนใหญ่ไม่ได้เน้นที่การจัดการสายการผลิตอย่างเป็นระบบในระดับโรงงาน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Suhardi et al. [4] แสดงถึงศักยภาพของ ECRS ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์อินโดนีเซีย แต่ไม่ได้สะท้อนข้อจำกัดเชิงเทคนิคและสุขอนามัยที่มักพบในสายการผลิตอาหาร ส่วนการศึกษาของ Kartinawati [5] แม้จะมีการประยุกต์ใช้ Lean เพื่อลดของเสียในครัวของโรงแรม แต่ลักษณะของกระบวนการผลิตยังมีความเรียบง่ายและไม่สะท้อนความซับซ้อนของสายการผลิตในระดับ

อุตสาหกรรม ขณะที่ Garcia-Garcia et al. [6] ศึกษาการปรับปรุงเวลาการเปลี่ยนเครื่องจักร ในโรงงานอาหารแห่งหนึ่งในยุโรปซึ่งมีประโยชน์ในแง่การบริหารเวลาแต่ยังไม่ครอบคลุมการออกแบบผังการผลิตใหม่ในเชิงระบบ

ในประเทศไทย งานของ Kanoksirirujisaya [11] ถือเป็นก้าวแรกที่นำ ECRS มาใช้ลดของเสียในกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง แต่ยังจำกัดอยู่ในขั้นตอนย่อยของกระบวนการผลิต และไม่ได้เน้นการจัดผังสายการผลิตที่ส่งผลต่อเวลาและระยะทางการเคลื่อนย้าย โดยรวม อีกทั้งงานของ Ruanggoon et al. [12] แม้จะแสดงให้เห็นการลดเวลารอคอยในระบบสาธารณสุขได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่บริบทดังกล่าวไม่ได้ครอบคลุมเงื่อนไขเฉพาะของกระบวนการผลิตทางกายภาพ จึงยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาอย่างเป็นระบบในโรงงานแปรรูปอาหารของไทย โดยเฉพาะในประเด็นการจัดวางผังการผลิตให้เหมาะสมกับข้อจำกัดในชีวิตจริง

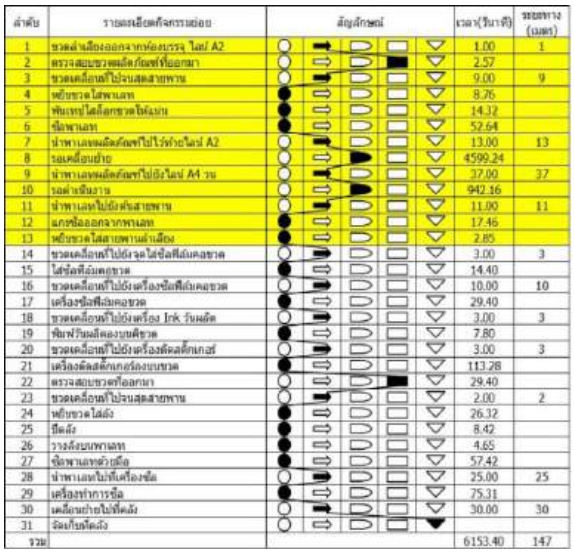
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการตามหลัก ECRS ในการปรับปรุงผังการผลิตของสถานประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ลดเวลาสูญเปล่าและระยะทางการเคลื่อนย้าย ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม ผลลัพธ์จากงานวิจัยจะนำเสนอแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรมอาหารของไทย โดยเฉพาะในบริบทที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และแรงงาน และยังสามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการผังการผลิตอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้แนวทางที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะในข้อ SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน และ SDG 12 การบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน ซึ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของทรัพยากร ลดของเสีย และส่งเสริมการใช้ระบบการผลิตที่มีความยั่งยืนในระยะยาว

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น

การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาในกระบวนการผลิตส่วนท้ายของสายการบรรจุขวด ซึ่งเป็นช่วงก่อนเข้าสู่กระบวนการติดฉลาก โดยอาศัยการสังเกตการณ์และบันทึกกระบวนการทำงานจริง พบว่ามีขั้นตอนจำนวนมากที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า เช่น การจัดเรียงขวดใส่พาเลท การซีลเพื่อเคลื่อนย้าย การรอพื้นที่ว่าง และการแกะพาเลทเพื่อลำเลียงต่อ ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองแรงงาน ระยะทางที่เพิ่มขึ้น และเวลารอคอย (Idle Time)

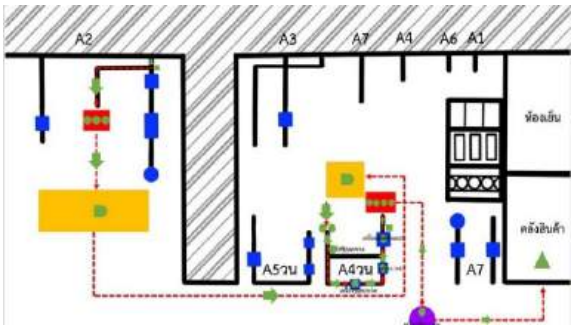
ทั้งนี้จากการตรวจสอบกระบวนการผลิตทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบ พบว่ามีกิจกรรมรวมทั้งสิ้น 31 ขั้นตอน โดยในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เฉพาะช่วงปลายของสายการผลิต ซึ่งเกี่ยวข้องกับ 13 ขั้นตอนหลักที่พบปัญหาเรื่องความไม่ต่อเนื่องของการไหลของงาน ความซ้ำซ้อน และการใช้แรงงานมากเกินจำเป็น ดังแสดงในรูปที่ 1



ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรมย่อย	ลักษณะ	เวลา(วินาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	ขวดผ่านลิ่งออกจากห้องบรรจุ ไลน์ A2		1.00	1
2	ตรวจสอบขวดผิดลักษณะที่ออกมา		2.57	
3	ขวดเคลื่อนที่ไปจนสุดสายพาน		9.00	9
4	หยิบขวดใส่พาเลท		8.76	
5	พันเทปไสล์ล็อกขวดให้แน่น		14.32	
6	ซีลพาเลท		52.64	
7	นำพาเลทผลิตภัณฑ์ไปไว้ห้องไลน์ A2		13.00	13
8	รอเคลื่อนย้าย		4599.24	
9	นำพาเลทผลิตภัณฑ์ไปยังไลน์ A4 วน		37.00	37
10	รอดำเนินงาน		942.16	
11	นำพาเลทไปยังหัวสายพาน		11.00	11
12	แกะซีลออกจากพาเลท		17.46	
13	หยิบขวดใส่สายพานด้านล่าง		2.85	
14	ขวดเคลื่อนที่ไปยังจุดใส่ซีลพีอีเคลุขวด		3.00	3
15	ใส่ซีลพีอีเคลุขวด		14.40	
16	ขวดเคลื่อนที่ไปยังเครื่องซีลพีอีเคลุขวด		10.00	10
17	เครื่องซีลพีอีเคลุขวด		29.40	
18	ขวดเคลื่อนที่ไปยังเครื่อง Ink วันผลิต		3.00	3
19	พิมพ์วันผลิตลงบนพีอีขวด		7.80	
20	ขวดเคลื่อนที่ไปยังเครื่องตัดเด็กเกส์		3.00	3
21	เครื่องตัดสติ๊กเกอร์ลงบนขวด		113.28	
22	ตรวจสอบขวดที่ออกมา		29.40	
23	ขวดเคลื่อนที่ไปจนสุดสายพาน		2.00	2
24	หยิบขวดใส่ลัง		26.32	
25	ปิดลัง		8.42	
26	วางลังบนพาเลท		4.65	
27	ซีลพาเลทด้วยมือ		57.42	
28	นำพาเลทไปที่เครื่องซีล		25.00	25
29	เครื่องทำการซีล		75.31	
30	เคลื่อนย้ายไปที่ลัง		30.00	30
31	จัดเก็บที่ลัง			
รวม			6153.40	147

รูปที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (ก่อนการปรับปรุง)

จากการวิเคราะห์ลำดับกิจกรรมทั้งหมด พบว่ามีขั้นตอนการทำงานถึง 13 ขั้นตอน ก่อนการปรับปรุง โดยแสดงในรูปที่ 1 และเส้นทางการไหลจริงในพื้นที่โรงงานในรูปที่ 2 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการไหลของงานที่ไม่ต่อเนื่องและมีความซับซ้อน ส่งผลให้เกิดระยะทางการเคลื่อนย้ายสูงถึง 147 เมตร และใช้เวลาในการดำเนินการเฉลี่ย 6,153.40 วินาทีต่อลัง



รูปที่ 2 แผนผังการไหลก่อนการปรับปรุง

2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H และ Why-Why Analysis

นอกจากนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิค 5W1H ร่วมกับ Why-Why Analysis เพื่อระบุสาเหตุของความสูญเปล่าในแต่ละด้าน ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมที่ทำอยู่ในปัจจุบัน เหตุผลในการดำเนินการ ขั้นตอนที่เกิดซ้ำ ตลอดจนข้อจำกัดของสถานที่ บุคลากร และวิธีการทำงาน

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค 5W1H ได้มีการตั้งคำถามอย่างเป็นระบบเพื่อตรวจสอบกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ โดยในประเด็น What พบว่ามีการจัดเรียงขวดใส่พาเลทเพื่อรอการลำเลียง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มคุณค่า (Non-Value-Added Activity) ส่วน Why พบว่าสาเหตุของการจัดเรียงขวดลงพาเลทนั้นเกิดจากการไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับวางขวดที่รอเข้าสู่กระบวนการติดฉลาก

ในด้าน Where ระบุว่ากิจกรรมดังกล่าวดำเนินการบริเวณสถานีบรรจุขวดด้านหลังเครื่องซีล ขณะที่ When ระบุว่าเกิดขึ้นทันทีหลังการบรรจุและซีลขวดในแต่ละล็อต สำหรับ Who เป็นหน้าที่ของพนักงานจัดเรียงสินค้าชั่วคราวในสายการผลิต และในด้าน How พบว่าใช้แรงงานคนในการยกขวดทีละกล่องวางซ้อนบนพาเลท และทำการห่อด้วยฟิล์มยืดเพื่อเตรียมเคลื่อนย้ายต่อไปยังสถานีงานถัดไป

จากผลการวิเคราะห์ตามกรอบคำถาม 5W1H ข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าการใช้พาเลทในการรองงานและการซีลกล่องบรรจุภัณฑ์ ถือเป็นขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ซึ่งก่อให้เกิดภาระงานเพิ่มขึ้นโดยไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยรวม

ในขณะเดียวกันได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิค Why-Why Analysis เพื่อค้นหาสาเหตุเชิงลึกของปัญหาดังกล่าว โดยมีลำดับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการใช้พาเลทเพื่อรอการลำเลียงขวด ดังนี้

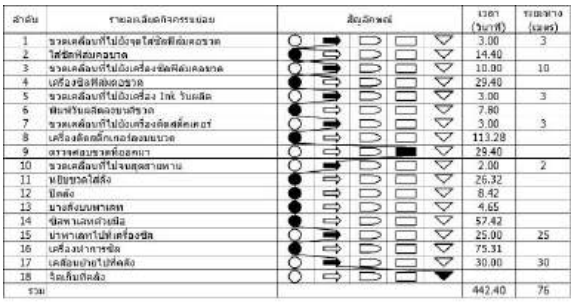
ทำไมจึงต้องใช้พาเลทเพื่อรองาน พบว่าเกิดจากการไม่สามารถส่งขวดเข้าสู่สายการติดฉลากได้ทันที และทำไมจึงไม่สามารถส่งต่อได้ทันทีเนื่องจากบริเวณสายการติดฉลากยังมีขวดตกค้างจากการผลิตในรอบก่อนหน้า เมื่อสอบถามต่อว่า ทำไมขวดจึงค้างอยู่ พบว่า สาเหตุหลักมาจากการไม่มีระบบสายพานลำเลียงที่เชื่อมต่อโดยตรงจากสถานีบรรจุไปยังสถานีติดฉลาก ทั้งนี้การไม่มีระบบลำเลียงดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการออกแบบผังเดิมที่ให้แต่ละสถานีปฏิบัติงานอย่างอิสระ และในขั้นสุดท้าย สาเหตุที่มีการออกแบบให้อิสระเนื่องจากแนวทางการวางผังเดิมมุ่งเน้นความยืดหยุ่นในการจัดวางเครื่องจักรและพื้นที่มากกว่าการคำนึงถึงความต่อเนื่องของการไหลของงานในเชิงระบบ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทั้ง 5W1H และ Why-Why Analysis ข้างต้น สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าประเด็นปัญหาหลักเกิดจากการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของระบบการจัดการผังสายการผลิต ทั้งในด้านความต่อเนื่องของการไหลของงานและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่า สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการดำเนินการที่ขาดการวางแผนล่วงหน้าและไม่มีระบบรองรับที่เหมาะสม เช่น การใช้พาเลทเพื่อรอพื้นที่ว่าง การซีลขวดหลายครั้ง ตลอดจนการจัดวางผังที่ไม่เหมาะสม และการขาดระบบลำเลียงแบบต่อเนื่อง ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาระงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าและเพิ่มระยะเวลาในการดำเนินการ จากข้อค้นพบดังกล่าวจึงนำไปสู่การออกแบบผังสายการผลิตใหม่ โดยอาศัยแนวทางการปรับปรุงตามหลักการ ECRS เพื่อขจัดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน ลดการใช้แรงงานและวัสดุสิ้นเปลือง และเสริมสร้างความต่อเนื่องของการไหลของงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ผลลัพธ์ของการปรับปรุงจะได้รับการประเมินโดยการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการดำเนินการ

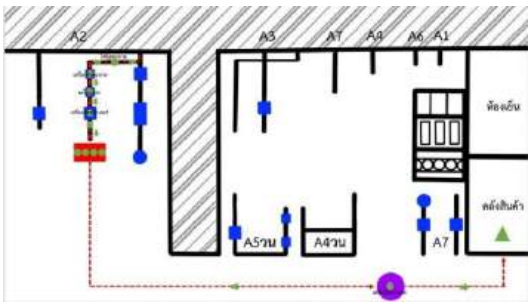
3. ผลการวิจัย

การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการ ECRS ในส่วนท้ายของสายการบรรจุขวด มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการจัดผังที่ไม่เหมาะสม กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และการใช้แรงงานหรือระยะทางในการเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น



รูปที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (หลังการปรับปรุง)

การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง พบว่า กระบวนการมีระยะทางการเคลื่อนย้ายรวมเฉลี่ย 147 เมตรต่อหนึ่งลังและใช้เวลาเฉลี่ยในการดำเนินงาน 6,153.40 วินาทีต่อหนึ่งลัง โดยมีขั้นตอนซ้ำซ้อน เช่น การจัดเรียงขวดลงพาเลท การซีลพาเลท และการรอพื้นที่ว่างจากสายการติดฉลาก ซึ่งสะท้อนถึงความไม่มีประสิทธิภาพของการจัดผังและลำดับงาน



รูปที่ 4 แผนผังการไหลหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยเฉพาะในมิติของ Combine (การรวมกระบวนการ) และ Rearrange (การจัดลำดับใหม่ของสถานีงาน) ได้มีการออกแบบผังการผลิตใหม่ที่เชื่อมโยงสายการบรรจุขวดกับสายการติดฉลากเข้าด้วยกันอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยตัดขั้นตอนการพักสินค้า การขนย้ายพาเลท และการซีลออกจากกระบวนการเดิม

จากการวิเคราะห์แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง (รูปที่ 1) พบว่ากระบวนการในช่วงที่มีปัญหาประกอบด้วย 13 ขั้นตอน ซึ่งหลายขั้นตอนก่อให้เกิดความล่าช้า การใช้แรงงานซ้ำซ้อน และความไม่ต่อเนื่องในการไหลของงาน ในการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ได้มีการดำเนินการ “ตัด” ขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกจากกระบวนการ ได้แก่ ขั้นตอนที่ 7 คือ การจัดเรียงขวดลงพาเลทเพื่อรอการติดฉลาก ขั้นตอนที่ 8 คือ การซีลฟิล์มรอบพาเลท ขั้นตอนที่ 9 คือ การเคลื่อนย้ายพาเลทไปยังพื้นที่พักขวด และขั้นตอนที่ 11 คือ การแกะพาเลทเพื่อเข้าสู่กระบวนการติดฉลาก โดยขั้นตอนเหล่านี้เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และเป็นต้นเหตุของเวลาสูญเปล่าในการผลิต

นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการ “รวม” ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความต่อเนื่องของกระบวนการ โดยนำขั้นตอนที่ 5 ซึ่งเป็นการบรรจุขวดลงกล่อง และขั้นตอนที่ 6 ซึ่งเป็นการซีลกล่องบรรจุขวด มารวมเข้ากับขั้นตอนที่ 10 ซึ่งเป็นการลำเลียงขวดเข้าสู่สายการติดฉลาก ผ่านการออกแบบระบบสายพานลำเลียงใหม่ที่เชื่อมโยงกระบวนการโดยตรง ส่งผลให้การไหลของงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ลดการแทรกของกิจกรรมพักสินค้าและการรอคิว

จากการดำเนินการดังกล่าว ส่งผลให้จำนวนขั้นตอนในกระบวนการลดลงจาก 13 เหลือเพียง 9 ขั้นตอน โดยมีการจัดลำดับและการเชื่อมโยงอย่างเหมาะสมตามหลักการ ECRS ดังแสดงในแผนผังที่ได้รับการปรับปรุงในรูปที่ 3 ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตทั้งในด้านระยะทาง แรงงาน และเวลาได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลลัพธ์หลังการปรับปรุงแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะทางในการเคลื่อนย้ายลดลงเหลือ 76 เมตรต่อลัง คิดเป็นการลดลง 48.30% และ เวลาในการดำเนินการลดลงเหลือ 442.40 วินาทีต่อลัง คิดเป็นการลดลงถึง 92.81% จากการวิเคราะห์โครงสร้างกระบวนการพบว่าการไหลของงาน (Workflow)

มีความต่อเนื่องมากขึ้น ลดภาระแรงงาน และเพิ่มการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why-Why Analysis และ 5W1H ยืนยันว่าสาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากการจัดวางอุปกรณ์ที่ไม่สัมพันธ์กัน การแยกสายการผลิตที่ขาดความต่อเนื่อง และการรอพื้นที่ในการทำงานถัดไป องค์ประกอบเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการเกิด “เวลาสูญเปล่า” และการทำงานซ้ำซ้อนในสายการผลิต

4. อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suhardi et al. [4] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลัก ECRS ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ช่วยลดความสูญเปล่าและเพิ่มความต่อเนื่องในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน แม้บริบทจะแตกต่างกัน แต่หลักการพื้นฐานยังคงสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมอาหาร

นอกเหนือจากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ผลการศึกษานี้ยังสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า หลักการ ECRS ที่นำมาใช้ส่งผลโดยตรงต่อการลดระยะทางและระยะเวลาในการดำเนินงานในเชิงตรรกะ โดย “Eliminate” ช่วยตัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า เช่น การพักสินค้าชั่วคราว การซีลพาเลท และการเคลื่อนย้ายกลับไปกลับมาระหว่างสถานีงาน ซึ่งเป็นต้นเหตุของ “ระยะทางที่เกินจำเป็น” และ “เวลารอคอย” ในกระบวนการ “Combine” ช่วยให้การรวมขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เช่น การซีลและการลำเลียงเข้าสู่สายการติดฉลาก ทำให้ไม่เกิดการรอคิวหรือพักสินค้าเพิ่มเติม “Rearrange” ทำให้สามารถจัดลำดับขั้นตอนใหม่ให้การไหลของงานมีความต่อเนื่อง ไม่ย้อนกลับหรือตัดข้ามสถานี และ “Simplify” ช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการโดยการออกแบบสายพานลำเลียงใหม่ให้รองรับการเคลื่อนย้ายอัตโนมัติจากสายบรรจุไปยังสายติดฉลากโดยไม่ต้องใช้แรงงานเพิ่ม

การใช้ ECRS ทั้ง 4 ด้านอย่างเป็นระบบจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการแก้ไขข้อจำกัดของผังการผลิตเดิมที่ขาดความต่อเนื่อง โดยการขจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น การรวมกระบวนการให้ทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดเรียงลำดับใหม่ให้เหมาะสมกับลักษณะของพื้นที่ และการลดความซับซ้อนของงานในแต่ละสถานี ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความไหลลื่น ลดความสูญเปล่า และสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าทั้งในด้านแรงงาน พื้นที่ และเวลา ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ Lean Manufacturing อย่างชัดเจน

นอกจากนี้งานของ Garcia-Garcia et al. [6] ที่เน้นการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการเปลี่ยนงานในโรงงานอาหาร แสดงให้เห็นว่าการปรับสายการผลิตโดยใช้หลัก Lean และการจัดผังอย่างมีประสิทธิภาพสามารถลดเวลาการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่แสดงให้เห็นว่าการรวมสายการผลิตและลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นสามารถลดระยะเวลาได้มากกว่า 90% รวมถึงงานของ Kanoksirirujisaya [11] ที่ประยุกต์ใช้ ECRS ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของหลักการนี้ในการลด Waste ในสายการผลิต และผลการศึกษานี้ได้ขยายแนวทางไปสู่การออกแบบผังสายการผลิตทั้งระบบ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างยั่งยืนและครอบคลุมยิ่งขึ้น

โดยสรุปผลการวิจัยนี้ไม่เพียงสะท้อนประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ ECRS ในการลดความสูญเปล่า แต่ยังสนับสนุนแนวคิดของ Lean Manufacturing และการออกแบบผังการผลิตให้มีความต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ ที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ แรงงาน และความซับซ้อนของกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้หลักการECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหาร โดยเน้นการเชื่อมโยงระหว่างสายการบรรจุและติดฉลาก ซึ่งเดิมมีปัญหาเรื่องการไหลของงานที่ไม่ต่อเนื่อง กิจกรรมที่ไม่จำเป็น และภาระทางแรงงานสูง การดำเนินงานเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5W1H และ Why-Why Analysis เพื่อนำไปสู่การออกแบบผังการผลิตใหม่ที่ลดการใช้พาเลท การซีล และการรอพื้นที่ ส่งผลให้การลำเลียงขวดต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

ผลการปรับปรุงพบว่าระยะทางในการเคลื่อนย้ายลดลงจาก 147 เหลือ 76 เมตร (ลดลง 48.30%) และระยะเวลาในการดำเนินการลดลงจาก 6,153.40 เหลือ 442.40 วินาที (ลดลง 92.81%) จำนวนขั้นตอนลดลงจาก 13 เหลือ 9 ขั้นตอน แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างชัดเจน การประยุกต์ใช้หลัก ECRS และ Lean Manufacturing จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพในโรงงานผลิตอาหาร โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และแรงงาน

ในการนำผลการวิจัยไปใช้ในทางปฏิบัติ ผู้ประกอบการควรพิจารณานำแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลัก ECRS ไปประยุกต์ใช้กับสายการผลิตอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียง โดยเฉพาะกระบวนการที่มีความซับซ้อนในระดับปานกลาง เช่น การบรรจุภัณฑ์ การตรวจสอบคุณภาพ หรือการลำเลียงสินค้าในโรงงานแปรรูปอาหาร ซึ่งมักประสบปัญหาคล้ายคลึงกัน ทั้งในด้านข้อจำกัดด้านพื้นที่ แรงงาน และระยะเวลาการผลิต

นอกจากนี้ การดำเนินโครงการนำร่องร่วมกับสถาบันการศึกษา หรือการจัดฝึกอบรมภายในองค์กร จะช่วยสนับสนุนการถ่ายทอดองค์ความรู้ และสร้างความตระหนักรู้ในระดับปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระยะยาวควรมีการติดตามและประเมินผลหลังการปรับปรุงอย่างเป็นระบบ โดยกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จ (KPI) ที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา ระยะทาง ต้นทุนการผลิต และความพึงพอใจของพนักงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาผลกระทบในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ต้นทุนรวมของระบบหลังการปรับเปลี่ยนความสม่ำเสมอของคุณภาพสินค้า และความยั่งยืนของกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถประเมินผลการดำเนินงานได้รอบด้าน และรองรับการขยายผลสู่กระบวนการอื่นในเชิงระบบอย่างเหมาะสม

ผลการศึกษานี้ยังเสนอให้มีการพัฒนาแบบจำลองผังสายการผลิตที่มีความยืดหยุ่น สามารถปรับใช้ได้กับหลากหลายบริบทของอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย และบริษัท เอ็กโซติค ฟู้ด จำกัด (มหาชน) จังหวัดชลบุรี ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ ข้อมูล และความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบผู้ร่วมวิจัยที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Baqleh, L. A., AlSliti, H., Obeidat, M. S., and Khrais, S., “Lean Manufacturing Implementation in The Food Industry in Jordan,” *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 47, No. 1, 2024, pp. 84–97. https://doi.org/10.1504/IJISE.2024.138160

[2] Baierle, I. C., Da Silva, F. T., De Faria Correa, R. G., Schaefer, J. L., Da Costa, M. B., Benitez, G. B., and Benitez Nara, E. O., “Competitiveness of Food Industry in the Era of Digital Transformation towards Agriculture 4.0,” *Sustainability*, Vol. 14, No. 18, 2022, p. 11779. https://doi.org/10.3390/su141811779

[3] Földi, P., Parádi-Dolgos, A., and Bareith, T., “Examination of the Performance of Food Industry Enterprises Between 2010 and 2021,” *Regional and Business Studies*, Vol. 15, No. 2, 2023, pp. 59–71. https://doi.org/10.33568/rbs.4407

[4] Suhardi, B., Anisa, N., and Laksono, P. W., “Minimizing Waste Using Lean Manufacturing and ECRS Principle in Indonesian Furniture Industry,” *Cogent Engineering*, Vol. 6, No. 1, 2019, p. 1567019.

https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019

[5] Kartinawati, A., Tutur Risyahadi, S., and Muhammad Bashar, F., "Waste Reducing Efforts in The Kitchen Area of the Hotel Industry Using Lean Management (A Case Study of XYZ Hotel in Bogor)," *E3S Web of Conferences*, Vol. 348, 2022, p. 00007. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234800007

[6] Garcia-Garcia, G., Singh, Y., and Jagtap, S., "Optimising Changeover through Lean-Manufacturing Principles: A Case Study in a Food Factory," *Sustainability*, Vol. 14, No. 14, 2022, p. 8279. https://doi.org/10.3390/su14148279

[7] Dube, L., and Gupta, K., "Lean Manufacturing Based Space Utilization and Motion Waste Reduction for Efficiency Enhancement in a Machining Shop: A Case Study," *Applied Engineering Letters : Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 8, No. 3, 2023, pp. 121–130. https://doi.org/10.18485/aeletters.2023.8.3.4

[8] Sarkar, A., Mukhopadhyay, A. R., and Ghosh, S. K., "Productivity Improvement by Reduction of Idle Time Through Application of Queuing Theory," *OPSEARCH*, Vol. 52, No. 2, 2015, pp. 195–211. https://doi.org/10.1007/s12597-014-0177-2

[9] Pastore, E., "Addressing Idle and Waiting Time in Short Term Production Planning," presented at the Italian Manufacturing Association Conference, 2023. https://doi.org/10.21741/9781644902714-2

[10] Mustaffa, N. K., and Abdul Aziz, M. F. H., "Minimizing Emissions and Cost Through Reducing Equipment Idle Time in Concreting Operations," *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, edited by K. Panuwatwanich and C.-H. Ko, Springer Singapore, Singapore, 2020, pp. 139–150. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1910-9_12

[11] Kanoksirirujisaya, N., "Reducing Waste in Frozen Crab Stick Product Inspection Process by Applying ECRS Technique," *International journal of health sciences*, 2022, pp. 1506–1523. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS4.6236

[12] Ruanggoon, J., Pornpayuhakeit, P., and Opasvitayarux, P., "Application of Lean Concepts to Improve Consumable Disbursement Process to Reduce Waiting Time in A Public Hospital in Bangkok," *RMUTSB ACADEMIC JOURNAL (HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES)*, Vol. 8, No. 2, 2023, pp. 192–205.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร

Factors Affecting the Work Performance of Accounting and Finance Personnel in Bangkok Metropolitan Area

กาญจนา หัตถกิจ[1*] และ นิเวศน์ ธรรมมะ[2]
[1*] หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการบัญชี มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[2] ภาควิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
Kanjana Hattakit[1*] and Niwet Thamma [2]
[1*]MBA Program in Accounting, Ramkhamhaeng University[2] Department of Marketing
Faculty of Business Administration, Ramkhamhaeng University
E-mail 6714131124 @rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) ปัจจัยทางประชากรศาสตร์ แรงจูงใจ และความสุขในการทำงานที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร และ (2) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างปัจจัยเหล่านี้กับประสิทธิภาพการทำงาน กลุ่มตัวอย่างคือบุคลากรสายบัญชีและการเงินจำนวน 400 คน ใช้แบบสอบถามมาตรฐานในการรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา t-test ANOVA การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และการถดถอยพหุคูณ ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (M = 4.24, SD = 0.64) โดยเพศชายมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญ (p = 0.001) ด้านประสบการณ์ ระดับการศึกษา และรายได้ มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอายุและอายุงานไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แรงจูงใจในการประสบความสำเร็จ ความรักในงาน การได้รับการยอมรับ และความสุขในการทำงาน มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญในระดับ 0.01 กับประสิทธิภาพการทำงาน ผลการถดถอยพหุคูณแสดงว่า ตัวแปรอิสระทั้งสามด้านสามารถร่วมกันทำนายประสิทธิภาพการทำงานได้ร้อยละ 61.2 (Adjusted R^2 = 0.612) โดยตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานสูงสุดคือ ความสำเร็จในการทำงาน (β = 0.320) รองลงมาคือ การได้รับการยอมรับ และความรักในงาน ตามลำดับ ข้อเสนอแนะจากผลวิจัย คือ องค์กรควรให้ความสำคัญกับการส่งเสริมแรงจูงใจที่สร้างสรรค์และความสุขในการทำงาน เช่น การได้รับการยอมรับ การมีปฏิสัมพันธ์ที่ดี และการมีอำนาจตัดสินใจ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการทำงานอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้สนับสนุนแนวทางบริหารทรัพยากรมนุษย์ที่คำนึงถึงทั้งปัจจัยพื้นฐานและปัจจัยจิตวิทยาในการทำงาน

คำหลัก: ประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน, บุคลากรสายบัญชีและการเงิน, ความสุขในการทำงาน, ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปฏิบัติงาน

Abstract

This research aimed to study (1) the influence of demographic factors, work motivation, and workplace happiness on the job performance of accounting and finance personnel in Bangkok Metropolitan Area, and (2) the statistical relationships between these factors and job performance. The sample consisted of 400 accounting and finance professionals. A standardized questionnaire was used to collect data, which was analyzed using descriptive statistics, t-test, ANOVA, Pearson's correlation, and multiple regression analysis. The findings revealed that the average job performance level was high (M = 4.24, SD = 0.64). Male

respondents had significantly higher performance scores than female respondents (p = 0.001). Work experience, education level, and income had statistically significant effects on performance, while age and tenure at the current organization did not. Motivation in achievement, love of work, recognition, and workplace happiness were all positively correlated with performance at the 0.01 significance level. The multiple regression model showed that these three motivational factors jointly predicted 61.2% of the variance in job performance (Adjusted R^2 = 0.612). Among them, achievement had the strongest standardized coefficient (β = 0.320), followed by recognition and love of work. The study suggests that organizations should focus on enhancing intrinsic motivation and fostering workplace happiness—such as by promoting employee recognition, positive interpersonal relationships, and empowerment—to sustainably improve performance. The research supports a strategic human resource management approach that integrates both fundamental and psychological factors to enhance job effectiveness in the long term.

Keywords: Work Performance, Accounting and Finance Personnel, Work Happiness, Work Performance Factors

1. บทนำ

ในยุคที่เศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงรวดเร็วและมีการแข่งขันสูง องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนต่างตระหนักถึงความสำคัญของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการวางแผน ควบคุม และตัดสินใจด้านการเงิน ความสามารถในการวิเคราะห์และจัดทำรายงานทางการเงินอย่างถูกต้องและทันเวลา ช่วยส่งเสริมความมั่นคงและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรอย่างไรก็ตาม บุคลากรกลุ่มนี้ต้องเผชิญกับแรงกดดันจากปริมาณงานสูง กฎหมายที่ซับซ้อน เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลง และความคาดหวังจากผู้บริหาร โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจของประเทศ การทำงานในสภาพแวดล้อมที่แข่งขันสูงและซับซ้อน ทำให้การเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางประชากรศาสตร์ แรงจูงใจ หรือความสุขในการทำงาน มีความสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรบุคคล

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ กับประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนานโยบายหรือแนวทางบริหารจัดการที่ตรงจุด ช่วยเพิ่มแรงจูงใจ ลดการลาออก และเสริมศักยภาพการแข่งขันขององค์กรในระยะยาว

2.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร

2.1.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร

2.1.3 เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานจากความคิดเห็นของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร

2.2 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มีขอบเขตในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่

ด้านประชากรศาสตร์: กลุ่มตัวอย่างคือบุคลากรสายบัญชีและการเงินในองค์กรภาครัฐและเอกชน จำนวน 400 คน คัดเลือกด้วยวิธีสุ่มจากผู้ทำบัญชีในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ทั้งหมด 28,820 ราย

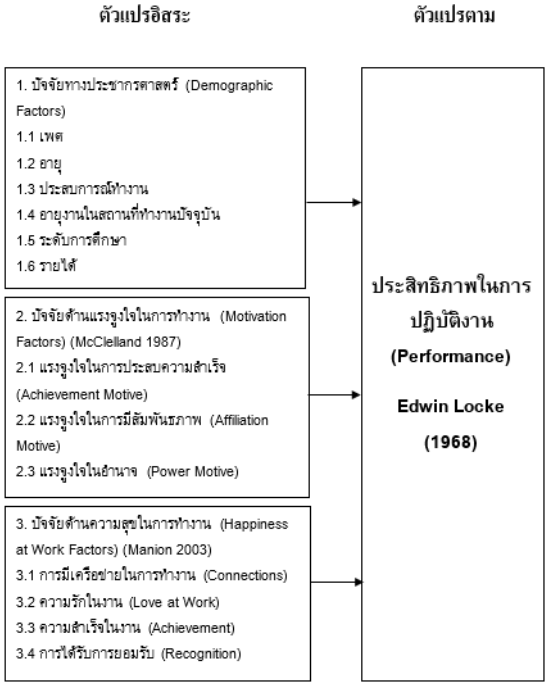
ด้านเวลา: ดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ. 2568

ด้านตัวแปร: ตัวแปรอิสระ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ ประสบการณ์ อายุงาน ความต้องการความสำเร็จ ความรักในงาน การได้รับการยอมรับ ความสัมพันธ์ในที่ทำงาน ความหมายของงาน และสมดุลชีวิต ส่วนตัวแปรตาม คือ ระดับประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน วัดจากแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่น

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและอนุมาน

ได้แก่ t-test, ANOVA, สหสัมพันธ์เพียร์สัน และการถดถอยพหุคูณ เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างแม่นยำและเป็นระบบ

2.3 กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานหลัก คือ ปัจจัยด้านแรงจูงใจในการทำงานและปัจจัยด้านความสุขในการทำงานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร

สมมติฐานย่อย

H1: เพศมีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H2: อายุมีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H3: ประสบการณ์ในการทำงานมีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H4: อายุงานในสถานประกอบการปัจจุบันมีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H5: ระดับการศึกษามีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H6: รายได้มีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H7: แรงจูงใจในการประสบความสำเร็จ (Achievement Motive) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H8: แรงจูงใจในการมีสัมพันธภาพ (Affiliation Motive) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H9: แรงจูงใจในอำนาจ (Power Motive) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H10: การมีเครือข่ายในการทำงาน (Connections) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H11: ความรักในงาน (Love at Work) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H12: ความสำเร็จในงาน (Achievement) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

H13: การได้รับการยอมรับ (Recognition) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

2.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยทางประชากรศาสตร์ แรงจูงใจในการทำงาน และความสุขในการทำงาน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติของปัจจัยดังกล่าว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือบุคลากรสายบัญชีและการเงินจำนวน 400 คน ซึ่งสุ่มเลือกโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมจากฐานข้อมูลผู้ทำบัญชีในเขตกรุงเทพมหานครของกรมพัฒนาธุรกิจการค้า ซึ่งมีทั้งหมด 28,820 ราย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) แรงจูงใจในการทำงาน และความสุขใน

การทำงาน (3) ประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน และ (4) ข้อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ แบบสอบถามผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ และทดสอบความเชื่อมั่นด้วยค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha Coefficient) ซึ่งอยู่ในระดับสูง (มากกว่า 0.80) โดยการคำนวณประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน วัดประสิทธิภาพโดยใช้แบบสอบถามมาตรฐาน โดยให้คะแนนจากระดับความคิดเห็นของผู้ตอบ (Likert Scale)นำคะแนนรวมของแต่ละตัวชี้วัด (เช่น ความถูกต้อง ความรวดเร็ว ความรับผิดชอบ) มาหาค่าเฉลี่ย คะแนนเฉลี่ยที่ได้สะท้อนระดับประสิทธิภาพแบ่งตามเกณฑ์ เช่น ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในเดือนมกราคม 2568 โดยใช้การแจกและรวบรวมแบบสอบถามด้วยตนเองและทางออนไลน์ ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ t-test และ ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม Pearson's Correlationวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร และวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ศึกษาตัวแปรที่สามารถทำนายประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน

2.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

2.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Descriptive Statistics) งานวิจัยใช้ สถิติเชิงพรรณนา เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง เช่นเพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ต่อเดือน ประสบการณ์การทำงาน อายุงาน ฯลฯโดยใช้เครื่องมือทางสถิติเช่น ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean)ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

2.5.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Inferential Statistics) ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยใช้สถิติเชิงอนุมานเพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (เช่น แรงจูงใจ ความสุขในการทำงาน) กับตัวแปรตาม (ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดังนี้

2.5.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ใช้ Pearson's Correlation Coefficient เพื่อวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น แรงจูงใจกับประสิทธิภาพการทำงาน ค่า r ที่ได้จะบอกทิศทาง (บวก/ลบ) และความเข้มของความสัมพันธ์

2.5.2.2 การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)ใช้เพื่อวิเคราะห์ผลของตัวแปรอิสระหลายตัว เช่น แรงจูงใจ ความสุขในการทำงาน ลักษณะประชากรศาสตร์ ต่อ ประสิทธิภาพในการทำงาน แบบจำลองถดถอยใช้อธิบายอิทธิพลของตัวแปร

2.5.3การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

ทำการตั้งสมมติฐานความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการทำงาน ใช้ค่า p-value เพื่อพิจารณาระดับนัยสำคัญทางสถิติ ถ้า $p < 0.05$ หมายถึงมีความสัมพันธ์หรือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์นี้ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยใดส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลประชากรศาสตร์ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ต่อเดือน อายุงาน และประสบการณ์ในสายบัญชีและการเงิน โดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้เห็นภาพรวมและใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึก ต่อมาใช้ สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ เช่น แรงจูงใจ ความสุขในการทำงาน และปัจจัยประชากรศาสตร์ กับตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพการทำงาน ทั้งนี้ เพื่อระบุว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกหรือลบ และมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ จากนั้นดำเนินการ วิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อประเมินอิทธิพลของตัวแปรอิสระหลายตัวพร้อมกัน และชี้ให้เห็นว่าปัจจัยใดส่งผลมากที่สุดต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยใช้ค่า R^2 และ Adjusted R^2 เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง พร้อมตรวจสอบนัยสำคัญทางสถิติด้วยค่า p-value ซึ่งต้องต่ำกว่า 0.05 จึงจะถือว่ามีความน่าเชื่อถือทางสถิติ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือหลักในการเก็บข้อมูล และใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล SPSS ประมวลผลข้อมูล

3. ผลการวิจัย

3.1 ลักษณะทั่วไปทางประชากรศาสตร์

ลักษณะทั่วไป	รายละเอียด	จำนวน
เพศ	หญิง	75%
อายุ	26-35 ปี	60%
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี	65%
ประสบการณ์	3-10 ปี	50%
อายุงาน	ไม่เกิน5ปี	59.75%
ระดับรายได้	15,001 – 25,000 บาท	44.25%

3.2 อิทธิพลของปัจจัยทางประชากรศาสตร์

ปัจจัย	วิธีวิเคราะห์	ค่า sig	ผลลัพธ์
เพศ	t-test	0.001	มีอิทธิพล
อายุ	ANOVA	0.379	ไม่มีอิทธิพล
ระดับการศึกษา	ANOVA	0.009	มีอิทธิพล
ประสบการณ์	ANOVA	0.045	มีอิทธิพล
อายุงาน	ANOVA	0.412	ไม่มีอิทธิพล
ระดับรายได้	ANOVA	0.042	มีอิทธิพล

3.3 ระดับการรับรู้ของปัจจัยที่ศึกษา

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับ	ค่าเฉลี่ย
แรงจูงใจในการทำงาน	มาก	3.92
ความสุขในการทำงาน	มาก	4.01
ประสิทธิภาพในการทำงาน	มาก	3.98

3.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Pearson's Correlation Coefficient)

ตัวแปรอิสระ	r	p
1.แรงจูงใจในการทำงาน	0.628	< 0.01
1.1 แรงจูงใจในการประสบความสำเร็จ	0.694**	< 0.01
1.2 แรงจูงใจในการมีสัมพันธภาพ	0.633**	< 0.01
1.3 แรงจูงใจในอำนาจ	0.456**	< 0.01
2.ความสุขในการทำงาน	0.712	< 0.01
2.1การมีเครือข่ายในการทำงาน	0.631**	< 0.01
2.2ความรักในงาน	0.681**	< 0.01
2.3ความสำเร็จในงาน	0.688**	< 0.01
2.4 การได้รับการยอมรับ	0.697**	< 0.01

p < 0.01 ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

r = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3.4 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

3.4.1 ข้อมูลจากผลวิเคราะห์ถดถอย (MRA)

ตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญ	B	Std. Error	β	t	p
ค่าคงที่	.778	.139	-	5.574	0.000
แรงจูงใจในการประสบความสำเร็จ	.320	.041	.340	7.815	0.000**
ความรักในงาน	.217	.042	.243	5.131	0.000**
การได้รับการยอมรับ	.279	.043	.307	6.531	0.000**
R^2 = 0.615, Adjusted R Square = 0.612, F = 211.175, P-value = 0.000					

** p < 0.01

ค่า Adjusted R^2 = 0.612 แสดงว่าตัวแปรอิสระสามารถร่วมกันทำนายตัวแปรตามได้ประมาณ 61.2%

3.4.2 สมการถดถอยพหุคูณในรูปแบบตัวแปรจาก SPSS คือ

DV_Eff_a=0.778+0.320(Achive_a)+0.217(Love_a)+0.279(Rec_a) หรือ

ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน = 0.778+0.320 (ความสำเร็จ) +0.217(ความรักในงาน)+0.279(การได้รับการยอมรับ)

3.5 ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานหลัก (Main Hypothesis): แรงจูงใจในการทำงาน และ ความสุขในการทำงาน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน

สมมติฐาน	รายละเอียด	ผลการทดสอบ
H1	เพศมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ยอมรับ
H2	อายุมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ปฏิเสธ

H3	ประสบการณ์มีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ยอมรับ
H4	อายุงานมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ปฏิเสธ
H5	การศึกษามีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ยอมรับ
H6	รายได้มีผลต่อประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน	ยอมรับ

สมมติฐานหลัก (Main Hypothesis): แรงจูงใจในการทำงาน และ ความสุขในการทำงาน มีอิทธิพลต่อ ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ของบุคลากรสายบัญชีและการเงิน (ต่อ)

สมมติฐาน	รายละเอียด	ผลการทดสอบ
H7	แรงจูงใจในการประสบความสำเร็จมีอิทธิพลเชิงบวก	ยอมรับ
H8	แรงจูงใจในการมีสัมพันธภาพมีอิทธิพลเชิงบวก	ปฏิเสธ
H9	แรงจูงใจในอำนาจมีอิทธิพลเชิงบวก	ปฏิเสธ
H10	การมีเครือข่ายในการทำงานมีอิทธิพลเชิงบวก	ปฏิเสธ
H11	ความรักในงาน มีอิทธิพลเชิงบวก	ยอมรับ
H12	ความสำเร็จในงานมีอิทธิพลเชิงบวก	ยอมรับ
H13	การได้รับการยอมรับมีอิทธิพลเชิงบวก	ยอมรับ

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ พบว่า ตัวแปร ความสำเร็จในงาน (Achive_a) β = 0.320, p < 0.001= ความสำเร็จในงาน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานอย่างมีนัยสำคัญ,ตัวแปร ความรักในงาน (Love_a) β = 0.217, p < 0.001 =ความรักในงานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานอย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปรการได้รับการยอมรับ (Rec_a) β = 0.279, p < 0.001= มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานอย่างมีนัยสำคัญ

3.6 ข้อเสนอแนะการปฏิบัติงานจำแนกตามหมวดหมู่

หมวดหมู่ของข้อเสนอแนะ	จำนวนคำตอบ
เทคโนโลยีและเครื่องมือสนับสนุนการทำงาน	10
สิ่งแวดล้อมในการทำงาน	6
การพัฒนาบุคลากร	7
การจัดการภาระงานและเวลา	6
ค่าตอบแทนและสวัสดิการ	8
แรงจูงใจและทัศนคติในการทำงาน	10

4. อภิปรายผล

ผลการวิจัยพบว่า แรงจูงใจในการทำงานและความสุขในการทำงาน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานครอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's r) เท่ากับ 0.628 สำหรับแรงจูงใจ และ 0.712 สำหรับความสุข ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง

การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณระบุว่า ตัวแปรทั้งสองสามารถร่วมกันพยากรณ์ประสิทธิภาพได้ ร้อยละ 61.2 (Adjusted R^2 = 0.612) โดย ความสุขในการทำงานมีอิทธิพลสูงสุด (β = 0.537) เหนือกว่าแรงจูงใจ (β = 0.419) สะท้อนว่าความสุขในงานเป็นตัวผลักดันสำคัญต่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแรงจูงใจเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ยังพบว่าปัจจัยประชากรศาสตร์บางรายการ เช่น เพศ ระดับการศึกษา รายได้ และประสบการณ์การทำงาน มีผลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ อายุและอายุงานในองค์กรไม่มีผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Expectancy Theory และ McClelland (1987) ที่ชี้ว่าปัจจัยด้านแรงจูงใจและสภาพแวดล้อมการทำงานมีบทบาทสำคัญมากกว่าความแตกต่างทางประชากรศาสตร์

ผลการวิจัยสะท้อนว่าการบริหารทรัพยากรบุคคลในองค์กรบัญชีและการเงินควรมุ่งเน้นการสร้างแรงจูงใจจากภายใน และส่งเสริมความสุขในการทำงาน เช่น การยอมรับในผลงาน การส่งเสริมความก้าวหน้าในสายอาชีพ และ

บรรยากาศการทำงานที่เอื้อต่อความสัมพันธ์และสมดุลชีวิต ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Manion (2003) และ Locke (1968) ที่ชี้ว่าความสุขและเป้าหมายที่ชัดเจนสามารถเพิ่มผลการปฏิบัติงานได้อย่างเป็นรูปธรรม จากผลการวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแรงจูงใจและความสุขในการทำงานกับประสิทธิภาพการทำงาน สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยด้านจิตวิทยาในการทำงานมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ในเชิงพฤติกรรมของบุคลากร โดยเฉพาะในสายวิชาชีพบัญชีและการเงินซึ่งต้องอาศัยความถูกต้อง ความรอบคอบ และความต่อเนื่องในการปฏิบัติงานสูง การมีแรงจูงใจและความสุขในการทำงานจึงส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรักษามาตรฐานงานและลดข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงาน

ผลจากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณระบุว่าความสุขในการทำงานมีอิทธิพลมากกว่าแรงจูงใจ สอดคล้องกับแนวคิดของ Herzberg ที่แยกความแตกต่างระหว่าง “ปัจจัยกระตุ้น (Motivators)” กับ “ปัจจัยสุขอนามัย (Hygiene Factors)” ซึ่งชี้ว่าการที่บุคลากรจะทำงานได้ดี ไม่เพียงพอที่จะแค่ไม่รู้สึกไม่พอใจ แต่ต้องรู้สึกผูกพันและมีความหมายในงานด้วย ขณะเดียวกันการที่ปัจจัยประชากรศาสตร์บางรายการ เช่น เพศ รายได้ และประสบการณ์การทำงาน มีผลต่อประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง อาจสะท้อนถึงบริบทขององค์กรบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานครที่ยังมีความแตกต่างด้านโอกาสในการทำงานอยู่บ้าง เช่น เพศชายอาจได้รับมอบหมายงานเชิงวางแผนมากกว่า หรือผู้ที่มีประสบการณ์มากย่อมมีโอกาสฝึกฝนทักษะจนเกิดความชำนาญ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายประสิทธิภาพการทำงานได้ลึกซึ้งเท่ากับปัจจัยเชิงจิตวิทยา ดังนั้น องค์กรควรพัฒนาแนวทางในการดูแลทรัพยากรมนุษย์เชิงกลยุทธ์ โดยเฉพาะการออกแบบงาน การบริหารทีม และการพัฒนาองค์กรที่ส่งเสริมความผูกพันและความสุขของบุคลากร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนในระยะยาว

5. สรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายบัญชีและการเงินในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา, สถิติเชิงอนุมาน, และ สถิติการวิเคราะห์ตัวแบบทำนาย (ถดถอยพหุคูณ) ดังนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุระหว่าง 26–35 ปี มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 15,001–25,000 บาท และมีประสบการณ์ทำงานด้านบัญชีและการเงินระหว่าง 3–10 ปี ระดับของตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ แรงจูงใจในการทำงาน (เฉลี่ย = 3.92) ความสุขในการทำงาน (เฉลี่ย = 4.01) ประสิทธิภาพในการทำงาน (เฉลี่ย = 3.98) ทุกตัวแปรอยู่ในระดับ มาก ตามเกณฑ์การแปลผลแบบ Likert Scale 5 ระดับ ในการศึกษาด้วยการทดสอบความสัมพันธ์ด้วย Pearson’s Correlationสรุปได้ว่า แรงจูงใจมความสัมพันธ์เชิงบวกระดับสูง ($r = 0.628$, $p < 0.01$) ความสุขในการทำงาน ความสัมพันธ์เชิงบวกระดับสูงต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน($r = 0.712$, $p < 0.01$)สรุปได้ว่าทั้งสองปัจจัยมีแนวโน้มส่งผลต่อผลประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากร ส่วนปัจจัยด้านเพศ, ระดับการศึกษา, รายได้, ประสบการณ์ทำงาน นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ปัจจัยด้านอายุ และอายุงานในสถานประกอบการไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ พบว่าสมการถดถอยที่ได้คือ ประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน=0.778 +0.320 (ความสำเร็จ) +0.217(ความรักในงาน)+0.279(การได้รับการยอมรับ) สมการตัวแบบนี้สามารถทำนายประสิทธิภาพในการทำงานได้ร้อยละ 61.2 (Adjusted $R^2 = 0.612$) ตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานสูงสุด ความสำเร็จในการทำงาน ($\beta = 0.320$) ทุกตัวแปรในโมเดลมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้การสนับสนุนด้านวิชาการ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำด้วยความเมตตาและเอาใจใส่ตลอดกระบวนการวิจัยรวมถึงผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่มีส่วนสำคัญในการทำวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปริศรา ธานีใหญ่. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเข้าทำงานในองค์กรของคน Generation Z. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[2] พงศ์ชัย ณัฏฐโสภณ. (2566). ความสุขในการทำงานที่ส่งผลต่อประสิทธิผลในการปฏิบัติงาน: กรณีศึกษาเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลบางละมุง (วิทยานิพนธ์รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[3] รณฤทธิ์ สิชฌนังศุ. (2560).อิทธิพลของแรงจูงใจที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน กลุ่มธุรกิจระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[4] รอฮานี หีมมิหน๊ะ. (2559),ผลกระทบของแรงจูงใจในการทำงานต่อผลปฏิบัติงานของบุคลากรในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[5] Güzide ATAİa , Oğuz ÖZYARAL(2020) Study on Factors Affecting Accountants Job Stress: Focusing On Self-Efficacy, Job Satisfaction and Work Engagement. Journal of International Financial Studies, 6(3), 112-128.

[6] Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. B. (1959). The motivation to work (2nd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.

[7] Hoque, M. R., Siddik, A. B., & Uddin, M. J. (2024). Analyzing the impact of employee job satisfaction on their job performance. Journal of Innovation & Knowledge, 9(2), 100221.

[8] Locke, E. A. (1968). Toward a Theory of Task Motivat ion and Incentives. Organizational Behavior and Human Performance, 3(2), 157-189.

[9] Manion, J. (2003). Workplace Happiness and Employee Engagement. New York: McGraw-Hill.

[10] Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. Psychological Review, 50(4), 370-396.

[11] McClelland, D. C. (1987). Human Motivation. Cambridge University Press.

การปรับปรุงโรงฝึกปฏิบัติการตามแนวทางการตรวจประเมิน 7ส : กรณีศึกษาโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม

Improvement of The Workshop Guideline for The 7S Audit Approach: A Case Study of The Welding Workshop

วิรัช ชินพลอย[1], สุภาพร แสนกุล[1,*], อุมาพร กัสนุกา[1], ณัฐวุฒิ ดานิตย์[1], ธนัชชา ศรีเทพย[1] และศราวุธ กุลบุตร[1]
[1] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Wirat Chinploy[1], Supaporn Sankul[1,*], Umaporn Kassanuka[1], Nattawut Danit[1], Thanatcha Sritep[2] and Sarawut Kulaboot[1]
[1]Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
E-mail: Supaporn.sn@rmuti.ac.th, 0865797443*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและสภาพแวดล้อมของโรงปฏิบัติฝึกงานเชื่อมให้เป็นไปตามมาตรฐานการประเมิน 7ส ซึ่งใช้ใบตรวจสอบในการตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด และใช้หลักการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งการประเมินผลกระทบด้วยการระดมสมองเป็นระดับคะแนน RPN มาลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อจัดการแก้ไขตามความสำคัญของความล้มเหลว โดยข้อมูลจากการประเมินคุณภาพ 7ส ตามมาตรฐานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานกำหนด พบว่าปัญหาสำคัญอยู่ที่การจัดการอุปกรณ์และความปลอดภัย หลังจากดำเนินการปรับปรุง โรงปฏิบัติฝึกงานเชื่อมสามารถผ่านการประเมินร้อยละ 94.74 เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 31.58 แสดงถึงประสิทธิภาพของการปรับปรุงที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในโรงปฏิบัติฝึกงานเชื่อมอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : ความปลอดภัยในโรงฝึกงาน, ประเมินคุณภาพ 7ส, หลักการ FMEA

Abstract

This research aims to improve the quality and environment of the welding workshop to meet the 7S evaluation standards. A checklist was used to inspect preliminary non-compliance with standard requirements, and the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method was applied. The impact assessment was conducted through brainstorming to assign Risk Priority Numbers (RPN) in order to prioritize issues and manage corrective actions based on the severity of each failure. According to the 7S quality assessment data following the standards set by Rajamangala University of Technology Isan, the main problems were found in equipment management and safety. After the improvements were implemented, the welding workshop achieved an evaluation score of 94.74%, representing a 31.58% increase from the previous score. This clearly demonstrates the effectiveness of the improvements in enhancing safety and reducing risks in the welding workshop.

Keywords: Safety in Training Workshops, 7S Quality Assessment, FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

1. บทนำ

การจัดกิจกรรม 7ส เป็นแนวทางที่สำคัญต่อการพัฒนาองค์กร ทั้งในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่ เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่องค์กรกำหนด [1] โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพขององค์กรให้มีประสิทธิภาพและเพิ่มผลผลิต สร้างระเบียบวินัยในการทำงาน และเพิ่มความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน [2] การมุ่งเน้นคุณภาพและประสิทธิภาพขององค์กรการดำเนินการ 7ส จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นแนวคิดและหลักการพื้นฐานในการทำงานได้อย่างรวดเร็ว การสร้างบรรยากาศการปฏิบัติงานมีความปลอดภัย ลดความสูญเสีย เพิ่มพื้นที่ในการทำงาน บุคลากรมีส่วนร่วมในการปรับปรุงและพัฒนาองค์กร [3] ในภาคการศึกษาสถาบันอุดมศึกษามีการดำเนินการจัดกิจกรรม 7ส รองรับคุณภาพทางการศึกษารองรับการประเมินระดับความเป็นเลิศ ยกระดับมาตรฐานคุณภาพทางการศึกษา โดยการจัดกิจกรรม 7ส มีพื้นฐานมาจากกิจกรรม 5ส ซึ่งเพิ่มเติมมาส่วนของความสวยงามและสภาพแวดล้อม โดยมีเกณฑ์การประเมินข้อกำหนดการประเมินโดยคณะกรรมการที่จัดตั้งขึ้นในแต่ละสถาบันอุดมศึกษา [2] ซึ่งเกณฑ์การประเมินจะกำหนดให้ครอบคลุมหลักการของ 7ส ซึ่งในภาคการศึกษาจะประกอบไปด้วยในส่วนของห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ โรงฝึกปฏิบัติงาน สวนหย่อม รวมไปถึงห้องพักอาจารย์ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การดำเนินการจัดกิจกรรม 7ส จะดำเนินการในทุกๆภาคของการศึกษา

ปัจจุบันโรงปฏิบัติงานมีการดำเนินกิจกรรมการตรวจประเมิน 7ส ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งพบว่าการตรวจประเมิน 7ส ระหว่างปี พ.ศ. 2564–2566 ในส่วนของด้านการตรวจประเมินโรงฝึกปฏิบัติงานมีคะแนนการตรวจประเมินที่ค่อนข้างต่ำกว่าส่วนอื่นๆ เช่น ห้องเรียน สวนหย่อม และห้องพัก เนื่องจากโรงฝึกปฏิบัติงานมีส่วนของเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมถึงมีพื้นที่และรายละเอียดมากกว่าส่วนอื่นๆ อีกทั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมืออาจส่งผลในเรื่องของความปลอดภัยในการทำงาน และยังเกี่ยวข้องกับการใช้งานและการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งพบว่า คะแนนเฉลี่ยในเกณฑ์การประเมิน ระหว่างปี พ.ศ. 2564–2566 อยู่ที่ร้อยละ 65.01 มีเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะต่ำลงอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลถึงการยกระดับคุณภาพของการศึกษาและในเรื่องความปลอดภัยของการใช้เครื่องมือเครื่องจักรอีกด้วย ซึ่งแนวทาง 7ส ที่ใช้ในการตรวจประเมิน ประกอบด้วย 1) สะสาง 2) สะดวก 3) สะอาด 4) สุขลักษณะ 5) สร้างวินัย 6) ความปลอดภัย และ 7) การประหยัดพลังงาน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการนำเครื่องมือต่างๆ มาใช้วิเคราะห์และปรับปรุง ได้แก่ Check Sheet, FMEA, SOD และ RPN ที่ช่วยระบุจุดบกพร่องและกำหนดแนวทางแก้ไขให้เหมาะสมกับลักษณะของแต่ละข้อใน 7ส

ดังนั้น จึงเล็งเห็นความสำคัญในการดำเนินการปรับปรุงโรงปฏิบัติงาน เพื่อยกระดับคุณภาพของโรงฝึกปฏิบัติงานและประสิทธิภาพความปลอดภัยของการปฏิบัติงานรองรับการประเมินตามเกณฑ์ข้อกำหนดมาตรฐานในปีถัดไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการจัดกิจกรรม 7ส ในสถาบันอุดมศึกษาในปัจจุบันได้แบ่งรูปแบบการตรวจพื้นที่การตรวจประเมิน 2 แบบ มีคณะผู้ตรวจประเมินภายในที่จัดตั้งขึ้น และเกณฑ์การตรวจประเมินพื้นที่ที่กำหนดขึ้น [2] และมีการปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้อาจารย์และบุคลากรทำงานง่ายขึ้น และมีหลายส่วนในสถาบันอุดมศึกษาที่มีการประเมินเครื่องจักรและอุปกรณ์เครื่องมือในส่วนของการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพพร้อมใช้งานและไม่ให้ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและอันตรายในขณะปฏิบัติงาน ควรมีการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ [4] การบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance) เป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน การบำรุงรักษาที่เน้นความปลอดภัย (Safety Maintenance) บำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ตรวจสอบและ

ดูแลเครื่องจักรตามแผนล่วงหน้าเพื่อป้องกันปัญหาหรือความเสียหาย [5] ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบเบื้องต้นโดยการใช้ใบตรวจสอบตามเกณฑ์มาตรฐานที่กิจกรรม 7ส กำหนดโดยในใบตรวจสอบสามารถกำหนดรายละเอียดของจุดที่ต้องแก้ไขและเครื่องจักรเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกิดการชำรุด ซึ่งประเภทของใบตรวจสอบแบบสุดท้ายใช้ในการวิจัยรูปแบบของใบตรวจสอบสอดคล้องกับความต้องการในการวิจัย [6] หลังจากการตรวจสอบข้อกำหนดและเกณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานในการดำเนินการกิจกรรม 7ส จะสามารถรวบรวมและนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแก้ไข โดยในขั้นตอนนี้จะนำหลักการของ FMEA การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบมาดำเนินการซึ่งในแต่ละข้อบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กิจกรรม 7ส กำหนด มาวิเคราะห์ความรุนแรงของผลกระทบ S (Severity) โอกาสในการเกิด O (Occurrence) D (Detection) การตรวจจับ ในลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode) จากนั้นคำนวนหาค่า Risk Priority Number (RPN) โดยค่าที่ได้จะได้ลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องจึงสามารถวิเคราะห์แก้ไขได้ตามลำดับ [7-8] การวิเคราะห์ขั้นตอนนี้สามารถจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ข้อกำหนดควรที่จะจัดการพื้นที่หรือตำแหน่งใดในโรงฝึกปฏิบัติงานก่อนหรือหลังเพื่อความปลอดภัยและประโยชน์สูงสุดในการปฏิบัติงานในโรงฝึกปฏิบัติงานในสถาบันอุดมศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามมาตรฐานการตรวจประเมินคุณภาพ 7ส โดยใช้ข้อมูลจากฝ่ายแผนและประกันคุณภาพการศึกษาประกอบด้วยรายการตรวจสอบมาตรฐานของโรงฝึกงานใน 4 หมวด ได้แก่ สภาพทั่วไป, อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร, การประหยัดพลังงานและความปลอดภัย, และความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรข้อมูลถูกบันทึกในรูปแบบใบตรวจสอบ (Check Sheet) โดยระบุสถานะความสำเร็จ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) และข้อสังเกตเพิ่มเติมในแต่ละรายการ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ใบตรวจสอบมาตรฐานตามเกณฑ์การตรวจประเมินกิจกรรม 7ส

รายการ	มาตรฐาน	ผ่าน	คะแนน
1. สภาพทั่วไป	1.1 มีหมายเลขหรือชื่อโรงฝึกงานและผู้รับผิดชอบ พร้อมหมายเลขโทรศัพท์	✓	3/5
	1.2 มีข้อปฏิบัติและตารางการใช้โรงฝึกงานที่เป็นปัจจุบัน		
	1.3 พื้นห้อง ฝ่าผนัง และเพดานสะอาด	✓	
	1.4 มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก	✓	
	1.5 ภายในโรงฝึกงานมีแสงสว่างเพียงพอ		
2. อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร	2.1 มีการจัดวางอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรให้เป็นระเบียบเรียบร้อย	✓	1/5
	2.2 มีรายการแสดงอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงฝึกงานครบถ้วน		
	2.3 มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงงานครบถ้วน		
	2.4 มีแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงงานครบถ้วน ดำเนินการตามแผนและบันทึกที่เป็นปัจจุบัน		
	2.5 มีบัญชีคุมวัสดุฝึก มีมาตรฐานการเบิก-จ่าย และมีการจัดเก็บอย่างเป็นระเบียบ		
3. ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย	3.1 มีมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ติดประกาศให้เห็นชัดเจน	✓	2/5
	3.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เปิด-ปิดหลอดไฟ		
	3.3 มีการบ่งบอกสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ		
	3.4 ปลั๊กเสียบอยู่ในสภาพดี มีความปลอดภัย และถอดปลั๊กอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเลิกใช้งาน		
	3.5 มีการจัดเก็บสายไฟที่เหมาะสมอยู่ในสภาพปลอดภัย	✓	
4. ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร	4.1 มีอุปกรณ์ดับเพลิงอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน จัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม และมีวิธีการใช้งาน		0/5
	4.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เปิด-ปิด ควบคุมเครื่องจักรและไฟฟ้า		
	4.3 มีถังขยะแยกประเภทและจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม		
	4.4 มีการจัดเก็บสายไฟอย่างเป็นระเบียบ อยู่ในสภาพเรียบร้อย พร้อมใช้งานได้อย่างปลอดภัย		
	4.5 มีป้ายแสดงสถานะของอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ที่ชำรุด		
		รวม	6/19

จากตารางที่ 1 โดยใช้ใบตรวจสอบ แสดงให้เห็นว่าสภาพปัจจุบันของโรงฝึกงานยังมีข้อบกพร่องหลายประการ โดยพบว่ามีเพียง 6 ข้อจากทั้งหมด 19 ข้อ ที่ผ่านเกณฑ์การตรวจประเมิน คิดเป็นร้อยละ 31.58 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด 70 % ในการประเมินกิจกรรม 7ส

จากคะแนนการตรวจประเมินคุณภาพ 7ส พบว่าหมวดที่มีคะแนนการประเมินเท่ากัน 3 หมวด มีข้อกำหนดเกณฑ์

หัวข้อย่อยด้วยกัน 5 ข้อ คือหมวดที่ 1 สภาพทั่วไป, หมวดที่ 2 อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร และหมวดที่ 3 ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร มีข้อกำหนดหัวข้อย่อยด้วยกัน 5 หัวข้อ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อช่วยตัดสินใจในการดำเนินการตามกิจกรรม 7ส โดยมีหลักการในการเลือกทำข้อกำหนดในหัวข้อใดก่อนโดยการวิเคราะห์ความความล้มเหลว และข้อบกพร่องของแต่ละข้อกำหนดต่อไป

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์เพื่อประเมินความสำคัญและจัดลำดับข้อบกพร่องและผลกระทบ Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) ของปัญหาในแต่ละหมวด ซึ่งการวิเคราะห์ในแต่ละหมวดผู้ร่วมวิเคราะห์มีการประเมินร่วมกันโดยการระดมสมองกับผู้ดูแลและผู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผ่านการอบรมการประเมิน หลักการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ FMEA การวิเคราะห์หลักเกณฑ์ข้อกำหนดในแต่ละข้อมีการวิเคราะห์ความล้มเหลวเฉพาะหมวดที่มีคะแนนการประเมินกิจกรรม 7ส ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การระบุความล้มเหลวแต่ละข้อกำหนด

รายการ	มาตรฐาน	Failure Mode
1. สภาพทั่วไป	1.2 มีข้อปฏิบัติและตารางการใช้โรงฝึกงานที่เป็นปัจจุบัน	ข้อมูลไม่อัปเดต
	1.5 ภายในโรงฝึกงานมีแสงสว่างเพียงพอ	แสงสว่างไม่เพียงพอ
2. อุปกรณ์ / เครื่องมือ / เครื่องจักร	2.2 มีรายการแสดงอุปกรณ์/เครื่องมือครบถ้วน	ไม่สามารถตรวจสอบอุปกรณ์ได้ง่าย
	2.3 มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์ครบถ้วน	เกิดการใช้งานผิดวิธีหรืออุบัติเหตุ
	2.4 มีแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ครบถ้วน	อุปกรณ์ชำรุดหรือเสียหาย
	2.5 มีบัญชีคุมวัสดุฝึกเบิก-จ่ายอย่างเป็นระเบียบ	การจัดเก็บและคุมบัญชีไม่ครบถ้วน
3. ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย	3.2 ตัดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์หลอดไฟ	สัญลักษณ์ไม่ชัดเจน
	3.3 มีการบ่งบอกสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ	ขาดระบบแจ้งสถานะ
	3.4 ปลั๊กไฟอยู่ในสภาพดีและปลอดภัย	ปลั๊กไฟชำรุดหรือไม่ปลอดภัย
4. ความปลอดภัยของการจัด อุปกรณ์ / เครื่องมือ / เครื่องจักร	4.1 อุปกรณ์ดับเพลิงพร้อมใช้งาน	อุปกรณ์ดับเพลิงไม่พร้อมใช้งาน
	4.2 ตัดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เครื่องจักร	ไม่มีสัญลักษณ์ชัดเจน
	4.3 มีถังขยะแยกประเภทและเหมาะสม	ถังขยะไม่มีการแยกประเภท
	4.4 การจัดเก็บสายไฟปลอดภัย	สายไฟไม่ปลอดภัย
	4.5 ป้ายสถานะของอุปกรณ์ที่ชำรุด	ไม่มีป้ายสถานะ

จากตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure Mode) ของมาตรฐานข้อกำหนดของกิจกรรม 7ส ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งวิเคราะห์ความล้มเหลวของข้อกำหนดทั้งหมด 4 หมวดหลัก โดยจะวิเคราะห์เฉพาะข้อที่ยังไม่ผ่านกิจกรรม 7ส ในตรวจสอบ (Check Sheet) ตั้งแต่เริ่มต้น โดยความล้มเหลวจากข้อกำหนดของเกณฑ์ วิเคราะห์ผลกระทบ (Effects) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การระบุข้อบกพร่องและผลกระทบ

หมวดที่ 1 สภาพทั่วไป		
ลำดับ	Failure	Effects
1.2	ข้อมูลไม่อัปเดต ตารางการใช้โรงฝึกงานไม่เป็น	ทำให้เกิดความสับสน
1.5	แสงสว่างไม่เพียงพอ	เพิ่มความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุและลดประสิทธิภาพการทำงาน
หมวดที่ 2 อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร		
ลำดับ	Failure	Effects
2.2	ไม่มีรายการแสดงอุปกรณ์ครบถ้วน	ส่งผลต่อการตรวจสอบและบำรุงรักษา
2.3	ไม่มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์ครบถ้วน	เพิ่มโอกาสเกิดอุบัติเหตุและการใช้งานผิดวิธี
2.4	ไม่มีแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ครบถ้วน	ทำให้อุปกรณ์ชำรุดเสียหายก่อนเวลาอันควร
2.5	การคุมบัญชีวัสดุไม่ครบถ้วน	ส่งผลต่อการบริหารจัดการและการเบิกจ่ายวัสดุ
หมวดที่ 3 ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย		
ลำดับ	Failure	Effects
3.2	สัญลักษณ์บริเวณสวิตช์หลอดไฟไม่ชัดเจน	เพิ่มความสับสนในการใช้งาน
3.3	ไม่มีตัวบ่งบอกสถานะของเครื่องปรับอากาศ	ไม่สามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ง่าย
3.4	ปลั๊กไฟชำรุดหรือไม่ปลอดภัย	เพิ่มความเสี่ยงต่อไฟฟ้าลัดวงจร
หมวดที่ 4 ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์		
ลำดับ	Failure	Effects
4.1	อุปกรณ์ดับเพลิงไม่พร้อมใช้งาน	เพิ่มความเสี่ยงเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน
4.2	ไม่มีสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เครื่องจักร	เพิ่มโอกาสเกิดอุบัติเหตุการใช้งานเครื่องจักร
4.3	ไม่มีถังขยะแยกประเภท	ไม่ส่งเสริมการจัดการขยะอย่างถูกต้อง
4.4	ปลั๊กไฟชำรุดหรือไม่ปลอดภัย	เพิ่มความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุไฟฟ้า
4.5	ไม่มีป้ายแสดงสถานะอุปกรณ์ที่ชำรุด	ผู้ใช้งานอาจไม่ทราบว่าอุปกรณ์อยู่ในสถานะชำรุด และเกิดการใช้งานโดยไม่ตั้งใจ

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลกระทบ (Effects) ของความล้มเหลว (Failure Mode) จะแสดงให้เห็นถึงในแต่ละข้อกำหนดเมื่อไม่ไปปฏิบัติตามข้อกำหนดผลกระทบที่เกิดขึ้นจะส่งผลร้ายแรงอย่างไร เช่น หมวดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ผลกระทบ (Effects) เรื่องอุบัติเหตุและความปลอดภัยในการปฏิบัติงานได้

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลความล้มเหลว (Failure Mode) และผลกระทบ (Effects) จากเกณฑ์ข้อกำหนดของกิจกรรม 7ส ในขั้นตอนถัดไปเป็นการระดมสมองกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวของในโรงฝึกปฏิบัติงาน ผู้เชี่ยวชาญจากฝ่ายบริหารงานคุณภาพและความปลอดภัยของโรงงาน (โดยไม่ระบุตัวตน) โดยผู้ประเมินแต่ละท่านให้คะแนนในแต่ละหัวข้อของแบบประเมินตามดุลยพินิจและประสบการณ์ โดยวิธีการให้คะแนนเป็นแบบรายบุคคล จากนั้นจึงนำค่าคะแนนทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อประมวลผลรวม โดยการวิเคราะห์หลักการ FMEA เพื่อวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure Mode) และผลกระทบ (Effects) ประเมินถึงความรุนแรง (Severity; S), โอกาสเกิด (Occurrence; O) และการตรวจจับ (Detection; D) ด้วยการประเมินจะประเมินตั้งแต่ 0–10 จากต่ำสุดไปจนถึงสูงสุด

เพื่อให้ได้ค่า Risk Priority Number (RPN) เป็นการเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละข้อกำหนด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณค่า Risk Priority Number

รายการ	มาตรฐาน	Failure Mode	S	O	D	RPN	รวม
1.สภาพทั่วไป	1.2 มีข้อปฏิบัติและตารางการใช้โรงฝึกงานที่เป็นปัจจุบัน	ข้อมูลไม่อัปเดต	3	5	3	45	189
	1.5 ภายในโรงฝึกงานมีแสงสว่างเพียงพอ	แสงสว่างไม่เพียงพอ	6	6	4	144	
2. อุปกรณ์ / เครื่องมือ / เครื่องจักร	2.2 มีรายการแสดงอุปกรณ์/เครื่องมือครบถ้วน	ไม่สามารถตรวจสอบอุปกรณ์ได้ง่าย	4	4	5	80	553
	2.3 มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์ครบถ้วน	เกิดการใช้งานผิดวิธีหรืออุบัติเหตุ	7	6	6	252	
	2.4 มีแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ครบถ้วน	อุปกรณ์ชำรุดหรือเสียหาย	5	5	5	125	
	2.5 มีบัญชีคุมวัสดุฝึกเบิก-จ่ายอย่างเป็นระเบียบ	การจัดเก็บและคุมบัญชีไม่ครบถ้วน	4	6	4	96	
3. ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย	3.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์หลอดไฟ	สัญลักษณ์ไม่ชัดเจน	3	4	4	48	540
	3.3 มีการบ่งบอกสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ	ขาดระบบแจ้งสถานะ	4	5	5	100	
	3.4 ปลั๊กไฟอยู่ในสภาพดีและปลอดภัย	ปลั๊กไฟชำรุดหรือไม่ปลอดภัย	8	7	7	392	
4. ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์ / เครื่องมือ / เครื่องจักร	4.1 อุปกรณ์ดับเพลิงพร้อมใช้งาน	อุปกรณ์ดับเพลิงไม่พร้อมใช้งาน	9	4	5	180	980
	4.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เครื่องจักร	ไม่มีสัญลักษณ์ชัดเจน	7	5	6	210	
	4.3 มีถังขยะแยกประเภทและเหมาะสม	ถังขยะไม่มีการแยกประเภท	2	3	3	18	
	4.4 การจัดเก็บสายไฟปลอดภัย	สายไฟไม่ปลอดภัย	8	7	7	392	
	4.5 ป้ายสถานะของอุปกรณ์ที่ชำรุด	ไม่มีป้ายสถานะ	6	5	6	180	

จากตารางที่ 4 แสดงถึงการคำนวณหาค่า Risk Priority Number (RPN) เพื่อจัดลำดับความสำคัญโดยจะนำค่าที่ประเมินความรุนแรง (Severity; S), โอกาสเกิด (Occurrence; O) และการตรวจจับ (Detection; D) มาคูณกันเพื่อให้ได้ค่า RPN เช่นในหมวดที่ 2 อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร ในข้อกำหนดที่ 2.3 มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์ครบถ้วน วิเคราะห์ความรุนแรง S เท่ากับ 7 โอกาสเกิด O เท่ากับ 6 และการตรวจจับ D เท่ากับ 6 เมื่อนำผลการประเมินมาคูณผลลัพธ์คือ 252 ซึ่งในแต่ละหมวดจะได้ผลรวมของการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดในแต่ละหมวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญ

จากขั้นตอนในการวิเคราะห์หาค่า Risk Priority Number (RPN) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจประเมินกิจกรรม 7ส พบว่าหมวดที่ 4 ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร มีค่า RPN เท่ากับ 980 จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงสูงสุด เนื่องจากมีข้อบกพร่องที่อาจเกิดผลกระทบรุนแรง เช่น สายไฟฟ้าไม่ปลอดภัย และอุปกรณ์ดับเพลิงไม่พร้อมใช้งาน ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน หมวดที่ 2 อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร มีค่า RPN เท่ากับ 553 และ หมวดที่ 3 ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย มีค่า RPN เท่ากับ 540 ทั้งสองหมวดนี้มีระดับความเสี่ยงที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึงข้อบกพร่องที่ควรได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วนเช่นกัน แม้จะไม่รุนแรงเท่าหมวดที่ 4 แต่ความแตกต่างของค่า RPN ระหว่างหมวดที่ 2 และ 3 ไม่มากนัก จึงควรให้น้ำหนักในการนำเสนอผลการประเมินและแนวทางการปรับปรุงที่สมดุลกัน เพื่อให้การดำเนินกิจกรรม 7ส มีประสิทธิภาพและครอบคลุมทุกด้านที่มีความเสี่ยง

4.2 ผลการประเมินกิจกรรม 7ส

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยหลังการของ FMEA ได้มีการดำเนินการปรับปรุงพื้นที่และส่วนของโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม เพื่อเตรียมการตรวจประเมินกิจกรรม 7ส ด้วยความร่วมมือของบุคลากรทุกคนตามลำดับการจัดลำดับความสำคัญไปแล้วนั้นหลังจากการตรวจประเมินกิจกรรม 7ส จากกรรมการการตรวจประเมินที่แต่งตั้งโดยมหาวิทยาลัย ผลการตรวจประเมินจากกรรมการ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจประเมินจากกรรมการ 7ส

รายการ	มาตรฐาน	ผ่าน	คะแนน
1. สภาพทั่วไป	1.1 มีหมายเลขหรือชื่อโรงฝึกงานและผู้รับผิดชอบ พร้อมหมายเลขโทรศัพท์	✓	4/5
	1.2 มีข้อปฏิบัติและตารางการใช้โรงฝึกงานที่เป็นปัจจุบัน	✓	
	1.3 พื้นห้อง ฝ้าผนัง และเพดานสะอาด	✓	
	1.4 มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก	✓	
	1.5 ภายในโรงฝึกงานมีแสงสว่างเพียงพอ		
2. อุปกรณ์/ เครื่องมือ/ เครื่องจักร	2.1 มีการจัดวางอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรให้เป็นระเบียบเรียบร้อย	✓	5/5
	2.2 มีรายการแสดงอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงฝึกงานครบถ้วน	✓	
	2.3 มีวิธีการใช้งานอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงงานครบถ้วน	✓	
	2.4 มีแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ภายในโรงงานครบถ้วน ดำเนินการตามแผนและบันทึกที่เป็นปัจจุบัน	✓	
	2.5 มีบัญชีคุมวัสดุฝึก มีมาตรฐานการเบิก-จ่าย และมีการจัดเก็บอย่างเป็นระเบียบ	✓	

ตารางที่ 5 ผลการตรวจประเมินจากกรรมการ 7ส (ต่อ)

รายการ	มาตรฐาน	ผ่าน	คะแนน
3. ประหยัดพลังงานและความปลอดภัย	3.1 มีมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ติดประกาศให้เห็นชัดเจน	✓	5/5
	3.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เปิด-ปิดหลอดไฟ	✓	
	3.3 มีการบ่งบอกสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ	✓	
	3.4 ปลั๊กเสียบอยู่ในสภาพดี มีความปลอดภัย และถอดปลั๊กอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเลิกใช้งาน	✓	
	3.5 มีการจัดเก็บสายไฟที่เหมาะสมอยู่ในสภาพปลอดภัย	✓	
4. ความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร	4.1 มีอุปกรณ์ดับเพลิงอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน จัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม และมีวิธีการใช้งาน	✓	5/5
	4.2 ติดสัญลักษณ์บริเวณสวิตช์เปิด-ปิด ควบคุมเครื่องจักรและไฟฟ้า	✓	
	4.3 มีถังขยะแยกประเภทและจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม	✓	
	4.4 มีการจัดเก็บสายไฟอย่างเป็นระเบียบ อยู่ในสภาพเรียบร้อย พร้อมใช้งานได้อย่างปลอดภัย	✓	
	4.5 มีป้ายแสดงสถานะของอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร ที่ชำรุด	✓	
		รวม	18/19

จากตารางที่ 5 พบว่ามีการดำเนินการตามลำดับซึ่งหมวดที่ 1 สภาพทั่วไปยังไม่มีการดำเนินการ ข้อกำหนดที่ 1.5 ภายในโรงฝึกงานมีแสงสว่างไม่เพียงพอ เนื่องอาจจะมีข้อจำกัดด้วยพื้นที่และงบประมาณ และผลของการประเมิน RPN มีคะแนนลำดับความสำคัญเป็นลำดับน้อยสุด จึงดำเนินการตามลำดับความสำคัญ ซึ่งผลการประเมินได้คะแนนในการตรวจประเมินจากกรรมการจากเกณฑ์ข้อกำหนด 19 ข้อกำหนด ผ่าน 18 ข้อกำหนดคิดเป็นร้อยละ 94.74 เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 31.58 แสดงถึงประสิทธิภาพของการปรับปรุงที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในโรงปฏิบัติฝึกงานเชื่อมอย่างชัดเจน

5. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการ FMEA ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่ตรวจพบจากการประเมินกิจกรรม 7ส ได้อย่างเป็นระบบ และช่วยให้การปรับปรุงสถานที่ปฏิบัติงานมีเป้าหมายที่ชัดเจนและเหมาะสมกับสถานการณ์จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและการจัดการอุปกรณ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุระหว่างการใช้งานเครื่องมือและเครื่องจักร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรรณวิภา ลาภจิตร ที่ระบุว่าการใช้ FMEA สามารถช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและลดโอกาสเกิดความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7] ดังนั้นการใช้ FMEA ควบคู่กับการประเมินตามเกณฑ์ 7ส จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยของโรงฝึกปฏิบัติงานเชื่อม รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานศึกษาและหน่วยงานอื่นได้ในอนาคต

6. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการประเมินข้อกำหนดในการตรวจการประเมินกิจกรรม 7ส เบื้องต้นโดยใช้ใบตรวจสอบ (Check Sheet) ในการตรวจประเมินข้อกำหนดทั้งหมด 4 หมวดพบว่า อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร และความปลอดภัยของการจัดอุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักร เป็นหมวดที่มีข้อกำหนดที่ไม่ผ่านการประเมินและมีคะแนนเท่ากันซึ่งเป็นเรื่องยากในการตัดสินใจในการเลือกทำก่อนหรือหลังเพราะทุกหมวดก็มีความสำคัญจึงมีการนำหลักการของ FMEA เป็นการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบจึงนำมาวิเคราะห์เกณฑ์ข้อกำหนดการตรวจการประเมินกิจกรรม 7ส ในแต่ละข้อกำหนด การวิเคราะห์จะวิเคราะห์ FMEA ด้วยการระดมสมองกับผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการอบรมการทำ FMEA โดยเริ่มจากข้อกำหนดที่ไม่ผ่านการดำเนินการตรวจประเมิน 7ส ด้วยกรรมการการตรวจประเมิน ข้อกำหนดแต่ละข้อจะประเมินความรุนแรง โอกาสเกิด และการตรวจจับเพื่อหาค่า Risk Priority Number (RPN) มาจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดในการตรวจประเมินกิจกรรม 7ส การดำเนินการจะจัดทำตามลำดับความสำคัญของค่า RPN เป็นตัวเลขการคูณ

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยหลักการ FMEA โดยก่อนการดำเนินการด้วยหลักการ FMEA พบว่าก่อนดำเนินการโดยเฉลี่ยคะแนนการตรวจประเมินกิจกรรม 7ส จากกรรมการได้คะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 65.01 และหลังจากใช้หลักการ FMEA ได้คะแนนจากเกณฑ์ข้อกำหนด 19 ข้อกำหนด ผ่าน 18 ข้อกำหนด คิดเป็นร้อยละ 94.74

เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 31.58 ทำให้โรงฝึกปฏิบัติการเชื่อมเกิดความปลอดภัยมีความเป็นระเบียบมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จด้วยดีต้องขอขอบคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] TOP PROFESSIONAL AND DEVELOPMENT, ข้อมูลจาก https://www.hr-odthai.com/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มกราคม 2568).

[2] รัตนา หน่อยจำปา และ บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ. (2566). “การประยุกต์ใช้แนวคิด 7S สำหรับการ ตรวจประเมินในสถานบันการศึกษา ระดับอุดมศึกษา กรณีศึกษา สถานบันการศึกษาแห่งหนึ่ง”. วารสารวิชาการบริหารจัดการ, 12(2), 1-21.

[3] งานบริหารทรัพยากร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ข้อมูลจากhttps://rmd.kkc.rmuti.ac.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มกราคม 2568).

[4] ปวันรัตน์ ดีเกษม, ชฎาคาร จันทรท์มาลา, เพ็ญนภา คชชายนต์, สุทธิพงษ์ นาคปทุมสวัสดิ์, อาทิตยา ทองนพรัตน์ และสุภาวดี ไทยสา. (2564), “การศึกษาเพื่อปรับปรุงการจัดเก็บอุปกรณ์ ต่าง ๆ เทคโนโลยี และการเข้า-ออกงานกรณีศึกษา กองร้อยรถยนต์พยาบาล โรงพยาบาลอานนท์มหิดล”, วารสารวิจัยวิชาการ, 4(1), 149-156.

[5] ธวัชชัย บัวระภา, ศักดิ์ชาย รักการ และพจนีย์ ศรีวิเชียร (2564), “การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. สุวรรณภูมิ, ปีที่5 ฉบับพิเศษ

[6] เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และธิดาเดียว มยุรีสวรรค์. (2558), “เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด”. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[7] พรรณวิภา ลาภจิตร, (2565), “การใช้เครื่องมือ FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) ในการจัดการความเสี่ยงของระบบยาแผนกผู้ป่วยในโรงพยาบาลสนมจังหวัดสุรินทร์”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นอร์ทเทิร์น, ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม 2565.

[8] ลงเอย บูรณะเสน และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์, (2567), “การจัดลำดับความสำคัญข้อบกพร่องด้วยกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ:กรณีศึกษาโรงงานสิ่งพิมพ์สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์”, วารสารพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรม, ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2567.

แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างในโรงฝึกงานตามมาตรฐาน OSHA

Lighting Improvement Guidelines for a Vocational Training Workshop According to OSHA Standards

วุฒิศักดิ์ นะราช[1], สุภาพร แสนกุล[1,*], ณัฐพล, กันแพงศรี[1], สกนธ์ สุจริต[1] และนราธิป สุพัฒน์ธนานนท์[1]
1 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
*ผู้ติดต่อ: Supaporn.sn@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0865797443

Wuthisak Narach[1], Supaporn Sankul[1,*], Natthaphon Kanpaengsri[1], Sakon Sujarit[1] and Naratip Supattananon[1]
[1]Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสภาพแสงสว่างในโรงฝึกปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับมาตรฐาน OSHA โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ ได้แก่ ใบตรวจสอบ และแผนภูมิก้างปลา การดำเนินงานเริ่มจากการสำรวจค่าความเข้มแสงในพื้นที่ปฏิบัติงานทั้ง 12 โซน ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าทุกโซนมีค่าความเข้มแสงต่ำกว่ามาตรฐาน OSHA จึงใช้กระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยอาศัยการระดมสมองร่วมกับแผนภูมิก้างปลา เพื่อตรวจสอบรากที่แท้จริงของปัญหาและออกแบบแนวทางการแก้ไข ได้แก่ การกำหนดมาตรฐานค่าความเข้มแสง การปรับปรุงการติดตั้งหลอดไฟ การอบรมให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงาน และการจัดทำใบตรวจสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ หลังการดำเนินการปรับปรุงพบว่า ค่าความเข้มแสงของพื้นที่ปฏิบัติงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดมาตรฐาน OSHA จำนวน 6 จาก 7 ข้อ คิดเป็น 85.71% จากเดิมที่ผ่านเพียง 2 ข้อ คิดเป็น 28.57% ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่า การวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของสภาพแวดล้อมในโรงฝึกปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิผล

คำสำคัญ : แนวทางการปรับปรุง, มาตรฐาน OSHA, การค้นหาสาเหตุของปัญหา

Abstract

This research aims to improve the lighting conditions in a training workshop to meet OSHA standards by applying quality control tools, including checklists and fishbone diagrams. The operation began with the measurement of light intensity in 12 work zones. The results revealed that all zones had light intensity levels below OSHA standards. A cause analysis was then conducted using brainstorming techniques combined with fishbone diagrams to identify the root causes of the problem. Based on the findings, corrective actions were designed, including establishing a standard light intensity, improving the installation of light bulbs, providing training to workers, and implementing a checklist for quality control. After the improvements were made, the light intensity in the work areas increased significantly, and 6 out of 7 criteria of OSHA standards were met, representing an 85.71% improvement, up from only 2 criteria initially met, which accounted for 28.57%. The results of this study demonstrate

that systematic problem analysis using quality control tools can effectively enhance the efficiency and safety of the work environment in training workshops.

Keywords : Improvement Approach, OSHA Standards, Root Cause Analysis

1. บทนำ

ในสถานประกอบการและโรงฝึกงานอุตสาหกรรม “แสงสว่าง” ที่เหมาะสมถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยสนับสนุนความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการทำงาน เนื่องจากแสงสว่างที่ไม่เพียงพออาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน เกิดอุบัติเหตุ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพสายตาของผู้ปฏิบัติงานโดยตรง [1] มาตรฐาน OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ได้กำหนดค่าความเข้มของแสงสว่างในพื้นที่ทำงานแต่ละประเภทไว้อย่างชัดเจน กล่าวคือ งานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงควรมีแสงสว่างไม่น้อยกว่า 300 Lux ขณะที่พื้นที่เก็บวัสดุและทางเดินทั่วไปต้องมีความเข้มของแสงอย่างน้อย 20–50 Lux ตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด [2]

จากการสำรวจเบื้องต้นของโรงฝึกปฏิบัติงาน พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าความสว่างต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำงานและเพิ่มความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุในระหว่างการปฏิบัติงาน จึงจำเป็นต้องดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไขอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยเครื่องมือคุณภาพที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เช่น ใบตรวจสอบ (Check Sheet) และแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) [3] โดยยึดหลักมาตรฐาน OSHA เพื่อยกระดับคุณภาพของสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานภายในโรงฝึกงานให้ดียิ่งขึ้น [2]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและปรับปรุงสภาพแสงสว่างในโรงฝึกปฏิบัติงานให้สอดคล้องตามเกณฑ์ที่มาตรฐาน OSHA พร้อมทั้งค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและนำเสนอแนวทางการแก้ไขเพื่อยกระดับสภาพแวดล้อมในโรงฝึกงานให้เหมาะสมกับการใช้งานอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการด้านความปลอดภัยและการจัดสภาพแวดล้อมถือเป็นส่วนสำคัญในการทำงานเพื่อป้องกันอันตรายขณะปฏิบัติงาน การจัดการด้านแสงสว่างคือปัจจัยสำคัญในการปฏิบัติงานมาตรฐานความเข้มของแสงสว่างในการทำงานซึ่งงานในแต่ละประเภทใช้ความเข้มของแสงสว่างในการทำงานต่างกันขึ้นอยู่กับรายละเอียดของงาน ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าแสงสว่างเป็นสิ่งที่สำคัญในการทำงาน [4] ซึ่งหากพื้นที่ปฏิบัติงานไม่มีแสงสว่างที่เพียงพอต่อการทำงาน อาจทำให้เกิดอันตรายและส่งผลเสียต่อร่างกาย รวมถึงอุบัติเหตุต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน และอาจส่งผลทำให้การปฏิบัติงานไม่มีประสิทธิภาพ ตามมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมในการทำงานซึ่งไม่ใช่แต่เฉพาะตัวเราแต่รวมถึงสภาพแวดล้อมของการทำงาน [5] เบื้องต้นมีการตรวจสอบพื้นที่การปฏิบัติงานของโรงฝึกปฏิบัติงานโดยใช้ใบตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย [6] เพื่อตรวจสอบพื้นที่โรงฝึกปฏิบัติงานว่ามีบริเวณพื้นที่ใดบ้างที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อม OSHA การประเมินแสงสว่างที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานในพื้นที่โรงฝึกปฏิบัติงานในงานที่เกี่ยวกับแบบงานการอ่านแบบ [2] การติดตั้งอุปกรณ์และตำแหน่งที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานซึ่งตามมาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมแบ่งมาตรฐานออกเป็น 2 หมวด คือหมวดด้านความร้อนในขณะปฏิบัติงานและแสงสว่างที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน [1] ซึ่งงานวิจัยนี้วิเคราะห์เฉพาะหมวดด้านแสงสว่างการปฏิบัติงานในโรงฝึกปฏิบัติงานโดยใช้ใบตรวจสอบขั้นสุดท้ายแล้วนั้น และวิเคราะห์แผนภาพก้างปลา ซึ่งวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้านแสงสว่างที่ไม่เพียงพอว่าเกิดจากสาเหตุใดบ้างเพื่อให้ทราบถึงรากเหง้าของปัญหาที่แท้จริงของปัญหาของโรงฝึกปฏิบัติงาน [7] และหาแนวทางในการแก้ไขการปฏิบัติงาน โดยใช้ใบตรวจสอบในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเปรียบเทียบผลหลังการปฏิบัติงานตาม

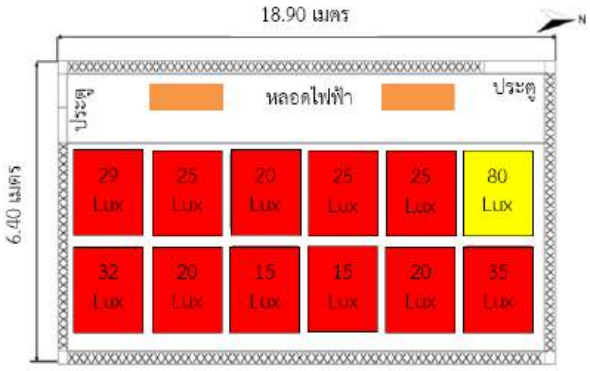
มาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อม หรือ OSHA เพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานในโรงฝึกปฏิบัติงาน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้องเพื่อแก้ปัญหาการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมโรงฝึกปฏิบัติงานให้เป็นไปตามมาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย ให้มีประสิทธิภาพ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลค่าความสว่างของพื้นที่ปฏิบัติงานเริ่มจากการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 12 โซน และตรวจวัดค่าความเข้มแสงทุกโซนด้วย Lux Meter โดยแบ่งการตรวจวัดค่าความเข้มแสงออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. ซึ่งแต่ละช่วงเวลาทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลแต่ละโซนจาก 9 ข้อมูล (ใช้ค่าความเข้มแสงเป็นจำนวนเต็ม) ดังรูปที่ 1

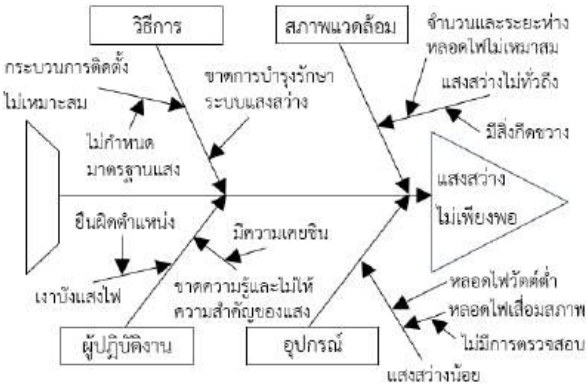


รูปที่ 1 ค่าความเข้มแสงของพื้นที่โรงฝึกปฏิบัติงาน

จากรูปที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข่มแสงทั้ง 12 โซน กับมาตรฐาน OSHA พบว่า ทุกโซนไม่ผ่านมาตรฐาน โดยเฉพาะมาตรฐานความสว่างสำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงในการดำเนินงาน ซึ่งจะต้องมีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 300 Lux [2] พื้นที่ปฏิบัติงานนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการทำงานในปัจจุบัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จะพิจารณาค้นหารากที่แท้จริงของปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอ

3.2 ค้นหารากที่แท้จริงของปัญหา

งานวิจัยนี้วิเคราะห์หารากที่แท้จริงหรือสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา หรือ Fishbone Diagram โดยระดมสมอง (Brainstorm) ร่วมกับผู้ปฏิบัติงาน 4 คน และหัวหน้าผู้ดูแลความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน 1 คน รวมจำนวน 5 คน และใช้หลักการ 4M1E ในการวิเคราะห์ดังกล่าว จากการวิเคราะห์เบื่องต้น พบว่า ด้านเครื่องจักร หรือ Machine ไม่ส่งผลต่อปัญหาหลัก (แสงสว่างไม่เพียงพอ) เนื่องจากไม่มีการใช้งานเครื่องจักร จึงตัดออกจากการวิเคราะห์ครั้งนี้ ส่วนปัญหาด้านวิธีการ สภาพแวดล้อม อุปกรณ์ และผู้ปฏิบัติงาน สามารถค้นพบรากที่แท้จริงของปัญหา ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวิเคราะห์รากที่แท้จริงของปัญหา

จากรูปที่ 2 พบว่า รากที่แท้จริงของปัญหา ได้แก่ 1) ไม่มีการกำหนดมาตรฐานแสง 2) ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้และมีความเคยชิน 3) หลอดไฟเสื่อมสภาพและขนาดวัตต์ไฟฟ้าต่ำ และ 4) ระยะห่างหลอดไฟไม่เหมาะสมและแสงมีการกระจายไม่ทั่วถึง เป็นต้น จึงดำเนินการระดมสมองเพื่อหาแนวทางการแก้ไขต่อไป

3.3 วิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุของปัญหาและทราบถึงรากที่แท้จริงของปัญหาแล้ว ได้หาแนวทางการแก้ไขปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอของพื้นที่โรงฝึกปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหาย่อยด้าน	รากที่แท้จริงของปัญหา	แนวทางแก้ปัญหา
1. วิธีการ (Method)	ไม่มีการกำหนดมาตรฐานแสง	กำหนดมาตรฐานตาม OSHA ซึ่งกำหนดความสว่างขั้นต่ำในพื้นที่ทำงานทั่วไป 100 Lux และพื้นที่ทำงานที่มีความละเอียด 300 Lux
2. ผู้ปฏิบัติงาน (Man)	ขาดความรู้และมีความเคยชิน	ให้ความรู้เรื่องแสงสว่างและความปลอดภัยตามมาตรฐาน OSHA
3. อุปกรณ์ (Material)	หลอดไฟเสื่อมสภาพและขนาดวัตต์ไฟฟ้าต่ำ	ตรวจสอบและเปลี่ยนหลอดไฟตามรอบการซ่อมบำรุงและใช้ Lux Meter ตรวจวัดความสว่างและปรับปรุงให้ตรงมาตรฐาน OSHA
4. สภาพแวดล้อม (Environment)	ระยะห่างหลอดไฟไม่เหมาะสมและแสงมีการกระจายไม่ทั่วถึง	จัดผังติดตั้งหลอดไฟให้ครอบคลุมการทำงานและไม่มีเงาบังจุดสำคัญ โดยยึดมาตรฐาน OSHA

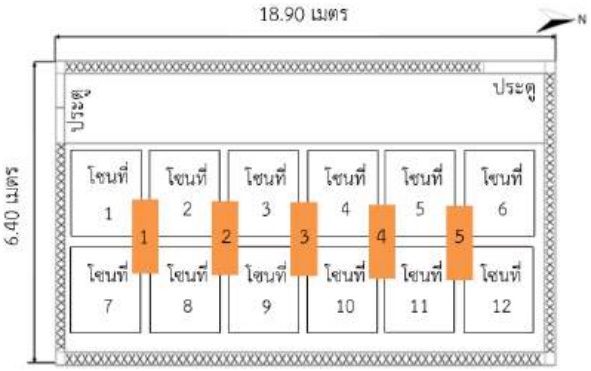
3.4 แก้ไขปัญหา

จากตารางที่ 1 ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาตามแนวทางทั้ง 4 แนวทาง ดังต่อไปนี้

1) กำหนดค่าความสว่างหรือค่าความเข้มของแสงของพื้นที่ปฏิบัติงานตามมาตรฐาน OSHA [2] ของพื้นที่การทำงานที่ต้องมีความเข้มแสงขนาดต่างๆ ได้แก่

- พื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงควรมากกว่า 300 Lux
- พื้นที่บริเวณทางเดิน ควรมากกว่า 20 Lux
- พื้นที่ทำงานที่ไม่ต้องใช้ความละเอียดสูงในการดำเนินงาน ควรมากกว่า 100 Lux
- พื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดปานกลาง ควรมากกว่า 200 Lux
- พื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดเล็กน้อย ควรมากกว่า 100 Lux
- พื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงมาก ควรมากกว่า 1000 Lux
- พื้นที่จัดเก็บวัสดุ ควรมากกว่า 50 Lux

2) จัดผังติดตั้งหลอดไฟฟ้าให้ครอบคลุมการทำงานใหม่ ซึ่งใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 24 วัตต์ ทั้งหมดจำนวน 3 จุด คือ จุดที่ 1-3 และใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 16 วัตต์ เดิมที่มีอยู่ในจุดที่ 4-5 ตามจุดติดตั้งหลอดไฟใหม่ทั้งหมด 5 จุด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟฟ้าใหม่

จากรูปที่ 3 สัญลักษณ์ ▭ แสดงตำแหน่งการจัดผังและตัวเลขแทนลำดับหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งใหม่ทั้งหมด 5 จุด จากเดิมพื้นที่ปฏิบัติงานติดตั้งหลอดไฟฟ้า 2 จุด ตามรูปที่ 1

3) ให้ความรู้ผู้ปฏิบัติงาน เรื่อง “แสงสว่างและความปลอดภัยตามมาตรฐาน OSHA” โดยการจัดการฝึกอบรมให้กับพนักงาน

4) สร้างใบตรวจสอบหรือ Check Sheet เพื่อใช้ในการตรวจสอบและพิจารณาเปลี่ยนหลอดไฟ ดังรูปที่ 4

ใบตรวจสอบค่าความเข้มแสง

สถานที่ ....โรงฝึกปฏิบัติงานเชื่อม.... วันที่ .... 22 ธ.ค. 67.....
ผู้ตรวจสอบ...สุภาพร แสนกุล..... เวลา .... 08.00 น. .....

พื้นที่ตรวจสอบ	ค่าที่วัดได้ครั้งที่ 1	2	3	ผ่าน	ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
โซนที่ 1	507	505	505	✓		งานละเอียด
โซนที่ 2	515	504	495	✓		งานละเอียด
โซนที่ 3	514	508	502	✓		งานละเอียด
โซนที่ 4	124	109	121	✓		ประกอบ
โซนที่ 5	52	54	50	✓		เก็บวัสดุ
โซนที่ 6	502	488	492	✓		ประกอบ
โซนที่ 7	509	514	504	✓		งานละเอียด
โซนที่ 8	516	502	506	✓		งานละเอียด
โซนที่ 9	513	511	515	✓		งานละเอียด
โซนที่ 10	110	106	108	✓		ประกอบ
โซนที่ 11	59	58	51	✓		เก็บวัสดุ
โซนที่ 12	115	120	104	✓		ประกอบ

รูปที่ 4 ใบตรวจสอบค่าความเข้มแสง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวัดค่าความเข้มแสงหลังการปรับปรุง

จากการแก้ปัญหาในข้อที่ 3.4 ได้ตรวจวัดค่าความเข้มแสงทั้ง 12 โซนด้วย Lux Meter และบันทึกข้อมูลลงในใบตรวจสอบ และวิเคราะห์ตามวิธีการเก็บข้อมูลในข้อที่ 3.1 ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ค่าความเข้มแสงหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 5 พบว่า ทุกโซนมีค่าความเข้มแสงที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนและอยู่ในระดับที่ผ่านมาตรฐาน OSHA โดยเฉพาะโซนที่ 1-3 และ 7-9 (สีเขียว) ที่มีค่าความเข้มแสงมากกว่า 305 Lux ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับพื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูง กล่าวคือ พื้นที่นี้เป็นพื้นที่สำหรับปฏิบัติงานโลหะแผ่น ส่วนโซนที่ 4, 6, 10 และ 12 (สีเหลือง) มีค่าความเข้มแสงมากกว่า 108 Lux ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับพื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดเล็กน้อย กล่าวคือ พื้นที่นี้เป็นพื้นที่สำหรับปฏิบัติงานประกอบชิ้นงาน และโซนที่ 5 และ 11 (สีแดง) มีค่าความเข้มแสงมากกว่า 52 Lux ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับพื้นที่สำหรับเก็บวัสดุ เนื่องจากมีตู้ขนาดใหญ่บังแสง

4.2 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงกับมาตรฐาน OSHA

จากการวิเคราะห์รากที่แท้จริงของปัญหา หาแนวทางการแก้ไขด้วยการระดมสมอง และปรับปรุงแก้ไขแสงสว่างของโรงฝึกปฏิบัติงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อม OSHA ตามหมวดที่ 2 มาตรฐานด้านแสงสว่างของโรงฝึกปฏิบัติงาน สามารถแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานแสงสว่าง OSHA ก่อนและหลังการปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อกำหนดมาตรฐาน OSHA

มาตรฐานแสงสว่าง	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	ได้ตามมาตรฐาน	ไม่ได้ตามมาตรฐาน	ได้ตามมาตรฐาน	ไม่ได้ตามมาตรฐาน
1. สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 300 Lux		√	√	
2. พื้นที่บริเวณสถานประกอบการที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 20 Lux	√		√	
3. สำหรับงานที่ไม่ต้องใช้ความละเอียดสูงที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 100 Lux		√	√	
4. สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดปานกลางที่มีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 200 Lux		√	√	
5. สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดเล็กน้อยที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 100 Lux		√	√	
6. สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงมากที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 1000 Lux		√		√
7. พื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บวัสดุ ที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 50 Lux	√		√	

จากตารางที่ 2 พบว่า หลังการปรับปรุงโรงปฏิบัติงานผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน OSHA หมวดที่ 2 จำนวน 6 ข้อ จากข้อกำหนดทั้งหมด 7 ข้อ ยกเว้นข้อกำหนดที่ 6 กล่าวคือ มาตรฐานแสงสว่างสำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงมากที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 1000 Lux คิดเป็น 85.71% อย่างไรก็ตาม ก่อนการปรับปรุงโรงปฏิบัติงานผ่านข้อกำหนดเพียง 2 ข้อ คือ ข้อที่ 2 และ 7 เท่านั้น คิดเป็น 28.57%

ดังนั้น หลังปรับปรุงทำให้จำนวนหัวข้อที่ผ่านมาตรฐานเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 6 ข้อ คิดเป็นอัตราการผ่านมาตรฐานเพิ่มขึ้น 57.14%

5. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอในโรงฝึกปฏิบัติงาน โดยใช้ใบตรวจสอบและแผนภูมิก้างปลา ช่วยให้สามารถระบุรากที่แท้จริงของปัญหาได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของเรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร และคณะ [3] ที่กล่าวว่า การใช้แผนภูมิก้างปลาสามารถช่วยให้กระบวนการค้นหาข้อบกพร่องและรากที่แท้จริงของปัญหามีประสิทธิภาพและชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์พบว่าปัญหาหลักมาจากการขาดการกำหนดมาตรฐานแสงสว่างที่ชัดเจน และความรู้ความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับความสำคัญของแสงสว่างซึ่งยังไม่เพียงพอ สาเหตุเหล่านี้ตรงกับข้อเสนอของประวิทย์ เทพสงเคราะห์ [1] ที่ระบุว่าแสงสว่างในสถานที่ทำงานที่ไม่เหมาะสม ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงาน และจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพแสงสว่างให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยอย่างเข้มงวด เมื่อดำเนินการแก้ไขตามแนวทางที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่า ค่าความเข้มแสงในพื้นที่ปฏิบัติงานเพิ่มขึ้นและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน OSHA ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ใบตรวจสอบในการควบคุมคุณภาพของแสงสว่างมีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของไพฑูรย์ ศิริโอฬาร และภักดี ใจซื่อ [6] ที่ยืนยันว่า การใช้ใบตรวจสอบอย่างเป็นระบบช่วยลดความเสี่ยงจากข้อบกพร่องและสนับสนุนกระบวนการตรวจสอบคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสภาพแสงสว่างในโรงฝึกปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับมาตรฐาน OSHA โดยอาศัยกระบวนการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบผ่านการใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ ได้แก่ ใบตรวจสอบ และแผนภูมิก้างปลา ผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับปรุง พื้นที่โรงฝึกปฏิบัติงานทั้ง 12 โซน มีค่าความเข้มแสงต่ำกว่ามาตรฐาน OSHA ในทุกโซน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและส่งผลต่อคุณภาพของงาน เมื่อดำเนินการค้นหาสาเหตุของปัญหาผ่านกระบวนการระดมสมองร่วมกับการใช้แผนภูมิก้างปลา พบว่าสาเหตุหลักของปัญหาประกอบด้วย การขาดการกำหนดมาตรฐานด้านแสงสว่าง ความรู้และความเคยชินของผู้ปฏิบัติงาน หลอดไฟเสื่อมสภาพ และการจัดวางหลอดไฟที่ไม่เหมาะสม หลังการกำหนดแนวทางแก้ไขและดำเนินการตามมาตรฐาน OSHA รวมถึงการใช้ใบตรวจสอบในการควบคุมคุณภาพ พบว่าค่าความเข้มแสงของพื้นที่ปฏิบัติงานปรับเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐาน OSHA จำนวน 6 จาก 7 ข้อ คิดเป็น 85.71%เพิ่มขึ้นจากเดิม 57.14%

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จด้วยดีต้องขอขอบคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ประวิทย์ เทพสงเคราะห์.“ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับแสงสว่างในพื้นที่ทำงาน”, ข้อมูลจาก https://jorporthai.com/work-area-lighting. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567).

[2] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน. “มาตรฐานการจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวด ล้อมในการทำงาน”, ข้อมูลจาก https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/ebook/item/532- (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567).

[3] เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, “เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด”, วารสารวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2: (2565), หน้า 3-9.

[4] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน (องค์กรมหาชน). “คู่มือระบบการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน สสปท”, ข้อมูลจาก https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/e-book/item/1521-t-osh-system-manual2023, (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 ธันวาคม 2567).

[5] SAFESIRI. “ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ISO 45001 ที่องค์กรต้องทำ”, ข้อมูลจาก https://www.safesiri.com/std-iso-45001/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 ธันวาคม 2567).

[6] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร และ ภักดี ใจชื่อ, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตขนมทองม้วนมะพร้าวกรอบ”, วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, 9(1): (2566), หน้า 11-20.

[7] ฐิติมา วงศ์อินตา และกฤษ หลงสวาสดิ์, “การประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของธุรกิจชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์”, วารสารธุรกิจปริทัศน์, 15(1): (2566), หน้า 255-271.

การมีส่วนร่วมในการพัฒนาแม่พิมพ์และแก้ไขข้อบกพร่องในการฉีดพลาสติก

Contribution to Mold Development and Defect Resolution in Plastic Injection Molding

วิภูษณะ ฉายินทุ[1] จุลพงษ์ โหมดกุลา[2] และ ปรีชา ลึกสีทา[3*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและนวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Wiphusana Chayinthu[1] Junlapong Mhodkula[2] and Preecha Lueksita[3*]
[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
[2] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
[3] Department of Manufacturing Engineering and Materials Innovation,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: wiphusana.c@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยให้ความสำคัญกับการออกแบบ การผลิต และการปรับปรุงคุณภาพของแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีคุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด กระบวนการเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนและแม่พิมพ์ รวมถึงหลักการออกแบบและกระบวนการผลิต จากนั้นทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ NX และ SolidWorks และผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ด้วยเครื่องจักร Machining Center, EDM และ WEDM การทดสอบแม่พิมพ์ (Mold Trial) ถูกดำเนินการเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน ปัญหาหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ได้แก่ การเกิดครีบ (Bari) ซึ่งเกิดมาจากการที่แม่พิมพ์กับ Part slide ประกบกันไม่สนิทและการออกแบบระบบทางไหลของพลาสติกที่ไม่เหมาะสม เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ ได้นำหลักการ 4M และ Why-Why Analysis มาใช้ในการหาสาเหตุที่แท้จริง พร้อมทั้งใช้หลักการ Pareto (80/20) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาตามระดับผลกระทบและความถี่ของการเกิด การปรับปรุงกระบวนการผลิตและการออกแบบแม่พิมพ์ส่งผลให้ข้อบกพร่องของชิ้นงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดของเสียที่เกิดขึ้น

คำหลัก แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก, การควบคุมคุณภาพ, 4M, Why-Why Analysis, Pareto Principle

Abstract

This article focuses on developing plastic injection molds for the automotive industry, emphasizing

design, manufacturing, and quality improvement to meet customer specifications. The process includes gathering data on parts and molds, designing the mold using NX and SolidWorks, and manufacturing components with Machining Center, EDM, and WEDM. Mold trials are conducted to assess part quality, with common issues like flash (Bari) caused by poor mold-part slide contact and inadequate plastic flow system design. To address these, the 4M principle, Why-Why Analysis, and Pareto Principle are applied to identify root causes and prioritize problems. Improvements in mold design and manufacturing processes lead to a significant reduction in defects, increasing production efficiency and reducing waste.

Keywords: Plastic Injection Mold, Quality Control, 4M, Why-Why Analysis, Pareto Principle

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูงและรองรับการผลิตจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แม่พิมพ์ (Mold) ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงาน ทั้งในด้านขนาด รูปร่าง ความเรียบของพื้นผิว และความแข็งแรงของโครงสร้าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายฉบับได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพแม่พิมพ์ เช่น Li et al. (2021) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบแม่พิมพ์กับคุณภาพของชิ้นงาน โดยพบว่าการไหลของพลาสติกที่ไม่สมดุลอาจทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ Zhang et al. (2020) ได้เสนอการใช้ซอฟต์แวร์ Mold Flow Analysis เพื่อจำลองการไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์และปรับปรุงการออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ขณะที่งานของ Kim et al. (2019) ได้ศึกษาผลกระทบของการเลือกใช้วัสดุแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และพบว่าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงช่วยลดเวลาการฉีดขึ้นรูปและเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ในด้านการพัฒนาแม่พิมพ์และการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต งานวิจัยของ Singh et al. (2018) ได้เน้นถึงการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ FEM (Finite Element Method) เพื่อคาดการณ์พฤติกรรมของแม่พิมพ์ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิสูง ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการศึกษาของ Wang et al. (2017) ได้เสนอแนวทางการปรับแต่งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก เช่น อุณหภูมิและความดันฉีดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงสุด โดยพบว่าการควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมช่วยลดปัญหาการหดตัวและการเกิดรอยแตกร้าวของชิ้นงาน งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ และการปรับแต่งกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของแม่พิมพ์และชิ้นงานที่ผลิต นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเพิ่มเติมที่มีความสำคัญในการพัฒนาแม่พิมพ์และกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง เช่น Kwon et al. (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคนิคการควบคุมการระบายความร้อนในแม่พิมพ์เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความเสถียรมากขึ้น, Ahn et al. (2015) ที่เน้นการใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต โดยสามารถลดข้อบกพร่องจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสมได้, และ Choi et al. (2018) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของการใช้การตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เพื่อการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมและลดความผิดพลาดในผลิตภัณฑ์นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการใช้เครื่องมือในการแก้ไขปัญหาในการผลิตแม่พิมพ์โดยตรง เช่น Kuo et al. (2017) ที่ใช้หลักการ 4M (Man, Machine, Material, Method) ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ โดยพบว่า การปรับปรุงกระบวนการเครื่องจักร (Machine) และวัสดุ (Material) สามารถลดปัญหาการเกิดรอยร้าวหรือการหดตัวของชิ้นงานได้ การใช้ 4M ในการตรวจสอบปัจจัยต่างๆ จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแม่พิมพ์ งานวิจัยของ Chen et al. (2018) ได้เสนอการใช้การวิเคราะห์ Why-Why Analysis เพื่อหาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต

แม่พิมพ์ โดยการสอบถาม "ทำไม" อย่างต่อเนื่องช่วยให้สามารถระบุถึงปัญหาที่เกิดจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม หรือการเลือกวัสดุที่ไม่เหมาะสม ในขณะที่งานวิจัยของ Wang et al. (2019) ใช้ Pareto Principle (80/20) ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่า 80% ของข้อบกพร่องเกิดจาก 20% ของปัจจัยที่สำคัญ โดยเน้นการแก้ไขปัญหาหลักๆ ที่มีผลกระทบมากที่สุด เช่น การปรับปรุงกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตแม่พิมพ์ บทความนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับผลิตชิ้นส่วนในอุสาหกรรมยานยนต์ การดำเนินงานครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดขึ้นรูป การวิเคราะห์ทางเทคนิค การปรับแต่งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก และการทดสอบใช้งานแม่พิมพ์จริง หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขปรับปรุงโดยการใช้หลักการ Pareto Principle (80/20) ในการคัดเลือกปัญหาโดยมีการคัดเลือกปัญหาของแม่พิมพ์มา 2 ปัญหาจากปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด คือปัญหาการเกิดครีบบนชิ้นงาน และปัญหาการเกิด Flash หลังจากนั้นใช้เครื่องมือ 4M (Man, Machine, Material, Method) ในการตรวจสอบปัจจัยต่างๆ และใช้การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis เพื่อระบุสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหา การประยุกต์ใช้เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้การแก้ไขปัญหามีความเป็นระบบและสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการลองผิดลองถูก ลดเวลาการพัฒนา และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างมาก

2. การดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการสร้างแม่พิมพ์และการแก้ไขปัญที่สามารถเกิดขึ้นได้กับการขึ้นรูปพลาสติกโดยการฉีดชิ้นงาน ทำให้ชิ้นเกิดข้อผิดพลาด (NG) ได้ทำการคิดวิธีและวางแผนดำเนินการสร้าง แม่พิมพ์ และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากที่นำแม่พิมพ์ไปทำการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1 การดำเนินการสร้างแม่พิมพ์

เริ่มต้นจากการออกแบบ Core, Cavity Insert และ Part Slide ตามชิ้นงานที่ลูกค้ากำหนด หลังจากนั้นทำการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตโดยเลือกตามมาตรฐานการผลิตแม่พิมพ์หรือตามที่ลูกค้ากำหนด ต่อมาทำการขึ้นรูป Core, Cavity Insert และ Part Slide โดยเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสม ในงานนี้ได้มีการเลือกใช้เครื่อง CNC Milling, EDM และ WEDM หลังจากการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์แล้วขั้นตอนต่อมาคือการประกอบ เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการทดสอบแม่พิมพ์

รูปที่ 1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.2 กระบวนการทดสอบแม่พิมพ์

การทดสอบแม่พิมพ์เป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและความสามารถของแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบและผลิตขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าแม่พิมพ์สามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ และผลิตชิ้นงานที่ได้มาตรฐานก่อนการนำไปใช้งานจริง ก่อนที่จะนำแม่พิมพ์เข้าสู่กระบวนการทดสอบจะต้องมีการตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น Core, Cavity, Insert และ Part Slide รวมถึงระบบระบายอากาศและระบายความร้อนให้เรียบร้อย หลังจากนั้นนำแม่พิมพ์เข้าสู่กระบวนการทดสอบโดยการติดตั้งชุดแม่พิมพ์บนเครื่องฉีดพลาสติก จากนั้นปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดให้เหมาะสม ต่อมาทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและนำชิ้นงานที่ได้มาตรวจสอบ เช่น ขนาด น้ำหนัก ความเรียบของพื้นผิว และความสมบูรณ์ของโครงสร้าง เพื่อทำการบันทึกค่าต่างๆเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ได้หลังการทดลองฉีด

3. ผลการทดลอง

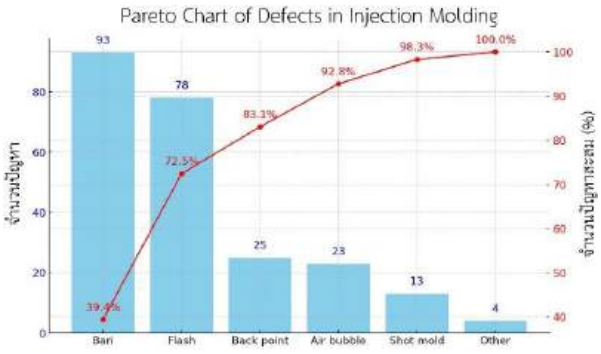
หลังจากทำการทดลองฉีดแม่พิมพ์และบันทึกค่าต่าง ๆ ของชิ้นงาน พบว่าคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งสามารถสรุปปัญหาหลักได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ปัญหาที่พบบนชิ้นงานหลังการทดลองฉีด

ปัญหาที่พบ	จำนวน (ครั้ง)
Bari	93
Flash	78
Back point	25
Air bubble	23
Shot mold	13
Other	4
Total	236

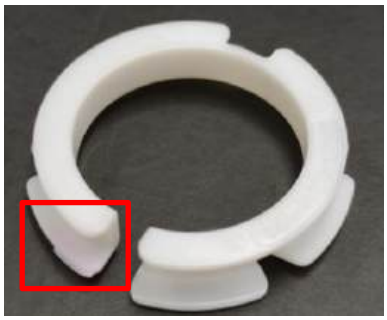
3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากตารางที่ 1 แสดงปัญหาและจำนวนของปัญหาที่พบหลังจากการทดลองฉีดแม่พิมพ์ ข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าปัญหาการเกิด Bari นั้นมีจำนวนการเกิดของปัญหามากที่สุด โดยมีจำนวนของปัญหาอยู่ที่ 93 จากทั้ง 236 ปัญหาเพื่อการดำเนินการคัดเลือกปัญหาเพื่อนำไปแก้ไขอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาทำการวิเคราะห์หาปัญหาที่สำคัญที่สุด โดยใช้หลักการคัดเลือกปัญหาของพาเรโต้ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการระบุปัญหาที่มีผลกระทบสูงสุดต่อกระบวนการผลิต โดยมีการแบ่งปัญหาออกเป็นลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย ตามหลักการ 80/20 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังพาเรโต้

จากข้อมูลในรูปที่ 3 พบว่า ปัญหาการเกิด Bari และปัญหาการเกิด Flash เป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก เนื่องจากทั้งสองปัญหามีจำนวนการเกิดรวมกันถึง 171 จากทั้งหมด 236 หรือคิดเป็นร้อยละ 72.46 ของปัญหาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับหลักพาเรโต้ (Pareto Principle) และแสดงให้เห็นว่าปัญหาทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน โดยทั้งสองปัญหามีสาเหตุจากพลาสติกส่วนเกินที่ไหลออกมาตามแนวแบ่งของแม่พิมพ์ (Parting line) ดังนั้น การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทั้งสองสามารถอนุมานได้ว่าเป็นปัญหาเดียวกันที่มีลักษณะการเกิดปัญหาคล้ายกัน



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่เกิด Bari หรือ Flash

หลังจากคัดเลือกปัญหาที่จะทำการแก้ไขได้แล้ว จากนั้นนำปัญหาที่คัดเลือกมาวิเคราะห์หาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดBari หรือ Flash โดยใช้หลักการ 4M แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 Cause and Effect Diagram

จากรูปที่ 5 ได้ทำการสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิด Bari และ Flash ได้ทั้งหมด 2 ปัจจัย และเป็นปัจจัยที่มีสาเหตุมาจากเครื่องจักร คือ แรงดันที่ไม่สม่ำเสมอของเครื่องฉีดพลาสติกและการประกบกันไม่สนิทของ Part slide ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

โดยในส่วนนี้ผู้วิจัยและทีมงานได้คัดเลือกปัจจัยที่มีความซับซ้อนในกระบวนการแก้ไขปัญหาที่น้อยที่สุดและสามารถแก้ไขได้ง่ายมาทำการแก้ไขก่อน คือปัจจัยที่มาจากการประกบกันไม่สนิทของ Part slide ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จากนั้นทำการวิเคราะห์หารากที่แท้จริงของปัญหาต่อด้วยหลักการ Why-Why Analysis การวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6

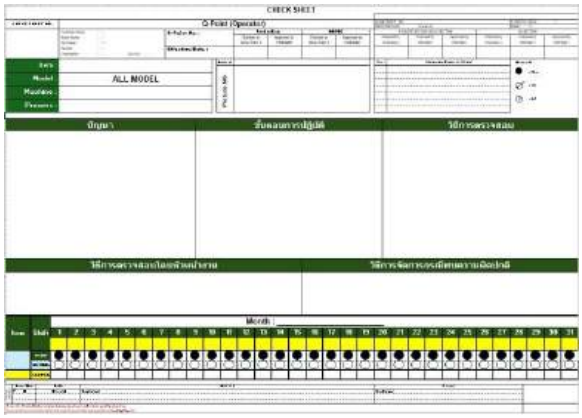
รูปที่ 6 Why-Why Analysis

จากการหารากที่แท้จริงของปัญหาด้วยหลักการ Why-Why Analysis ในรูปที่ 6 สามารถระบุรากที่แท้จริงของปัญหาได้ คือ ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบในการประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.2 การดำเนินการแก้ไข

ในขั้นตอนแรกได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการใช้วิธีการแก้ไขปัญหาชั่วคราวเพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่เกิดความล่าช้าที่ไม่จำเป็น ซึ่งได้ทำการถอดแม่พิมพ์เพื่อปรับตำแหน่งและประกอบ Part slide ใหม่ จากนั้นจึงได้นำข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่พบมาทำการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สำหรับการหาแนวทางป้องกันไม่ให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำในอนาคต

ผู้วิจัยและทีมงานจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับตรวจสอบจุดสำคัญหรือจุดที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพ โดยจัดทำเอกสาร Q-point สำหรับระบุจุดประกอบสำคับที่ต้องตรวจสอบทุกครั้งในกระบวนการประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และได้ทำการอบรมผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้งานเอกสารนี้



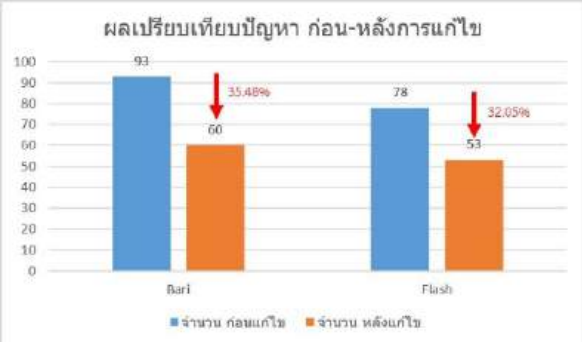
รูปที่ 7 เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบจุดสำคัญ (Q-point)

4. ผลการดำเนินการแก้ไข

หลังจากดำเนินการแก้ไขปัญหา ได้ทำการทดลองฉีดพลาสติกและบันทึกผลการทดลองอีกครั้ง พบว่าปัญหาการเกิด Bari และ Flash ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับก่อนการแก้ไข ดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัญหาที่พบก่อน-หลังการแก้ไขปัญหา

ปัญหาที่แก้ไข	จำนวนก่อนแก้ไข	จำนวนหลังแก้ไข	การลดลงของปัญหา
Bari	93	60	35.48%
Flash	78	53	32.05%



รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบก่อน-หลังการแก้ไขปัญหา

5. สรุป

จากการทดสอบแม่พิมพ์โดยการทดลองฉีด พบว่าแม่พิมพ์มีข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยปัญหาหลักที่ตรวจพบคือการเกิด Bari และ Flash ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานตามที่ลูกค้ากำหนด

หลังจากพบปัญหา ได้มีการดำเนินมาตรการแก้ไขปัญหาในระยะสั้นเพื่อป้องกันไม่ให้กระทบต่อระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ พร้อมทั้งดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยใช้หลักการ 4M, Why-Why Analysis และ Pareto Principle เพื่อหาแนวทางป้องกันการเกิดซ้ำ

ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่ามาตรการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถลดจำนวนครั้งของการเกิด Bari และ Flash จาก 171 ครั้ง ก่อนดำเนินการแก้ไข เหลือเพียง 113 ครั้ง คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 66.08

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ไทยอุซุย จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Li, X., Chen, Y., and Zhang, X., (2021). The relationship between mold design and product quality in injection molding. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 143(7), 071005.

[2] Zhang, Y., Li, X., & Zhou, Y. (2020). Use of Mold Flow Analysis software in plastic injection molding process optimization. Journal of Materials Processing Technology, 280, 116514.

[3] Kim, S. H., Lee, C. H., & Kim, S. H. (2019). Impact of mold material selection on mold life and product quality in injection molding. Journal of Materials Processing Technology, 267, 118-126.

[4]. Singh, R., Gupta, M., & Sharma, P. (2018). Finite element analysis for the behavior prediction of injection molding tools under high pressure and temperature conditions. Materials Science and Engineering: A, 714, 314-325.

[5] Wang, Q., Zhang, C., & Zhou, S. (2017). Adjustment of injection molding parameters for optimal product quality. Polymer Engineering & Science, 57(5), 465-473.

[6] Kwon, S. H., Lee, J. W., & Kim, J. H. (2016). A study on the control of cooling rate in plastic injection molding for improving process stability. Journal of Materials Processing Technology, 230, 122-131.

[7] Ahn, J. H., Park, H. S., & Lee, Y. K. (2015). Statistical analysis for improving the manufacturing process of plastic injection molding. Journal of Applied Mathematics and Computation, 248, 227-237.

[8] Choi, H., Lee, J., & Kim, H. (2018). Effects of quality inspection techniques on improving plastic injection molding process. Journal of Materials Processing Technology, 251, 10-19.

[9] Kuo, C. F., Chang, Y. T., & Lee, K. H. (2017). Application of 4M analysis for quality control in plastic injection molding process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 93(1-4), 1341-1351.

[10] Chen, W., Liu, L., & Zhang, Z. (2018). Root cause analysis of defects in plastic injection molding process using the Why-Why analysis method.

Procedia CIRP, 72, 1099-1104.

[11] Wang, H., Li, M., & Liu, D. (2019). Application of Pareto principle to improve the plastic injection molding process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 105(5-8), 2205-2212.

การลดของเสียในกระบวนการผลิตฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นส์

Waste Reduction in the Production Process of Printer Control Button Covers

รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1*], สิทธิชัย ยินดี[1], ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[1], และ ปริมประภา จุลลาบุดดี[1]
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ[1]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Rattanaporn Wongthong[1], Sittichai Yindee[1], Teerawut Khuenkaew[1] and Primprapa Junlabuddee[1]
Department of Industrial Engineering[1]
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: rattanaporn.wo@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยขูดบนผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยในการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิก้างปลาเข้ามาช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดรอยขูดบนผิวชิ้นงาน จากการใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุของปัญหาคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จับยึดไม่แน่น ชิ้นงานสามารถขยับได้ส่งผลให้เกิดเป็นรอยขูดบนชิ้นงานในขณะที่นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ โดยเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่มจำนวนระบบจับยึดชิ้นงานแบบสุญญากาศให้เหมาะสม เพื่อให้อุปกรณ์สามารถจับยึดชิ้นงานได้อย่างมั่นคง ชิ้นงานไม่ขยับในขณะถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จากการดำเนินงานปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดและเก็บข้อมูลพบว่าก่อนปรับปรุงมีของเสียเนื่องจากรอยขูดคิดเป็นร้อยละ 2.475 หลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดตามที่ได้ออกแบบพบว่าไม่มีของเสียเนื่องจากรอยขูดบนผิวชิ้นงาน ดังนั้นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์สามารถลดของเสียได้

คำหลัก กระบวนการฉีดพลาสติก, แม่พิมพ์, อุปกรณ์จับยึด

Abstract

This research focuses on improving the production process in the injection molding of plastic control button cover parts for printers, aiming to reduce defects caused by surface scratches that occur during the demolding stage. To investigate the issue, the researcher utilized a fishbone diagram to analyze and identify the root causes contributing to the surface scratches. The analysis revealed that the problem stemmed from the insufficient grip of the equipment used to extract the part from the mold. The inadequate grip allowed the part to shift during removal, resulting in scratches on the surface. To address this, the researcher designed and developed a new gripping device specifically for the printer

control button cover part. The improvement involved repositioning and increasing the number of vacuum suction units to ensure a more secure hold on the part, preventing any movement during demolding. After implementing the improved gripping device and collecting data, it was found that the defect rate due to surface scratches was 2.475% before the improvement. After the modification, there were no defects caused by surface scratches. Therefore, the newly designed gripping device for the printer control button cover part effectively reduced production waste.

Keywords: Injection Molding Process, Mold, Gripper

1. บทนำ

การฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Plastic Injection Molding) เป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม [1], [2] เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่ซับซ้อน รวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง กระบวนการนี้ทำงานโดย การหลอมเม็ดพลาสติกให้เป็นของเหลวแล้วฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อเย็นตัวลง พลาสติกจะคงรูปตามแม่พิมพ์และกลายเป็นชิ้นงานสำเร็จรูป การฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นกระบวนการที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง [3] แต่ยังคงมีปัญหาทางเทคนิคที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน เช่น ฟองอากาศ การหดตัว ชิ้นงานบิดงอ แม่พิมพ์ไม่เต็ม และครีบส่วนเกิน การฉีดขึ้นรูปพลาสติกมีข้อดีที่โดดเด่น เช่น สามารถผลิตชิ้นงานจำนวนมากในเวลาสั้น ต้นทุนต่อหน่วยต่ำ ความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ และสามารถออกแบบแม่พิมพ์ให้ได้รูปทรงที่ซับซ้อน จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ บรรจุภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยขั้นตอนกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกมีขั้นตอนทั่วไปดังนี้ การป้อนวัตถุดิบ การหลอมพลาสติก การฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ การทำให้เย็นตัวและแข็งตัว และการเปิดแม่พิมพ์นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Plastic Injection Molding) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ จากการศึกษากระบวนการผลิตฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์ พบว่ามีปัญหาในกระบวนการผลิตที่ส่งผลให้เกิดของเสียในลักษณะรอยขูดบนผิวชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยรอยขูดดังกล่าวเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ รอยขูดที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถแก้ไขหรือซ่อมแซมได้ ส่งผลให้ชิ้นงานต้องถูกคัดออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตและลดประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการ

รูปที่ 1 แสดงรอยขูดบนชิ้นงาน

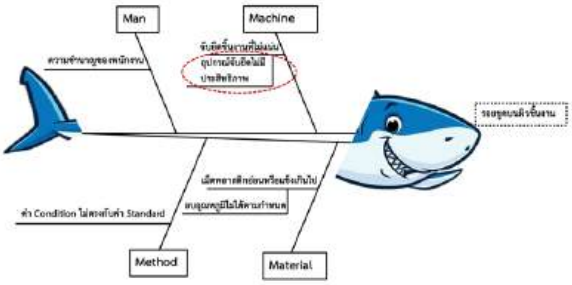
ผังแสดงสาเหตุและผล หรือที่รู้จักกันในชื่อผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหานั้น โดยมีลักษณะคล้ายโครงกระดูกปลา ประกอบด้วยส่วนหัวปลา ซึ่งใช้ระบุปัญหาหลัก แกนกลางซึ่งเป็นเส้นหลักของผัง และก้างปลาซึ่งเป็นเส้นย่อยที่แสดงถึงสาเหตุหลักของปัญหา โดยจะมีลูกศรย่อยเพิ่มเติมจากก้างปลาเพื่อแสดงถึงสาเหตุรองหรือสาเหตุที่เป็นไปได้อื่นๆ [4], [5] ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ผังก้างปลาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุ

ของปัญหาที่ทำให้เกิดรอยขูดบนผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อระบุสาเหตุเชิงระบบที่แท้จริง และหาแนวทางในการลดหรือขจัดของเสียที่เกิดจากรอยขูดบนผิวชิ้นงานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

จากการศึกษากระบวนการทำงานของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปัจจุบันคือ การเกิดรอยขูดบนผิวชิ้นงานในขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เลือกใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจเป็นต้นเหตุของรอยขูดที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์นี้ช่วยระบุสาเหตุเชิงระบบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจับยึดและการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์อย่างเป็นระบบและชัดเจน ดังรูปที่ 2



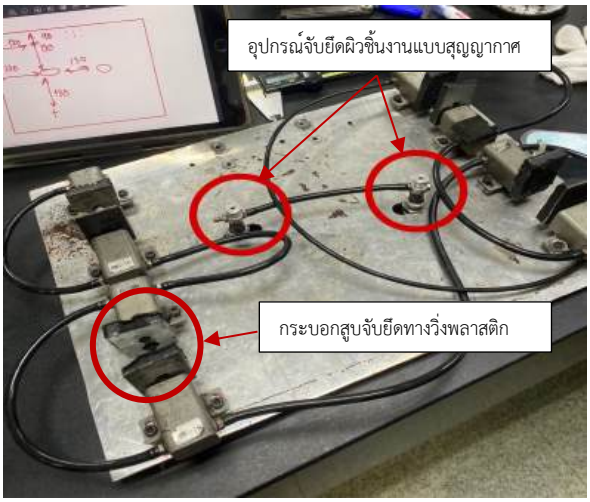
รูปที่ 2 แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของของเสียในกระบวนการจับยึดชิ้นงานโดยใช้หลัก 4M (Man, Machine, Material, Method) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลาพบว่าสาเหตุหลักของปัญหามาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการจับยึดชิ้นงานด้วยสุญญากาศที่ไม่มีความเหมาะสม ในกระบวนการปัจจุบัน ตำแหน่งของการจับยึดด้วยระบบสุญญากาศถูกออกแบบให้มีเพียง 2 จุดยึด ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งทำให้การจับยึดชิ้นงานขณะถอดออกจากแม่พิมพ์ไม่มีความมั่นคงเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวของชิ้นงานและเกิดรอยขูดบนผิวชิ้นงาน

รูปที่ 3 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ (แบบเดิม)

2.2 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์

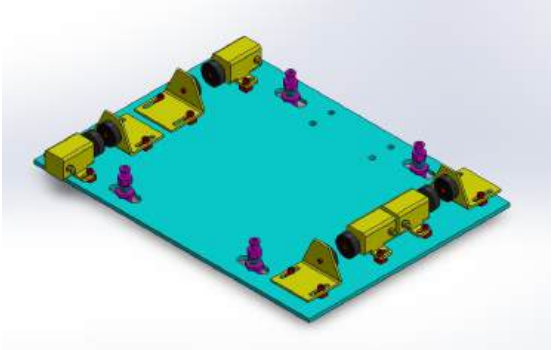
จากการวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่เกิดจากรอยขูดบนผิวชิ้นงานซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานใหม่จากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบเดิมดังแสดงในรูปที่ 4 โดยมีแนวทางการปรับปรุงดังนี้ คือ เปลี่ยนแปลงระบบจับยึดแบบสุญญากาศจากเดิมที่ใช้จำนวน 2 ตัว เป็น 4 ตัว เพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจับยึดชิ้นงานและลดโอกาสที่ชิ้นงานจะเคลื่อนตัวในระหว่างการถอดออกจากแม่พิมพ์ นอกจากนี้ได้มีการออกแบบเพื่อลดจำนวนกระบอกสูบดันชิ้นงานจากเดิม 8 ตัว เหลือ 4 ตัว ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ โดยที่ยังคงสามารถจับยึดชิ้นงานบริเวณทางวิ่งของพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดของการปรับปรุงดังกล่าวสามารถสรุปได้ในตารางที่ 1 และรูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ที่ได้รับการออกแบบใหม่แสดงไว้ในดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ (แบบเดิม)

ตารางที่ 1 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

แบบเดิม	แบบใหม่
กระบอกสูบ 8 ตัว	กระบอกสูบ 4 ตัว
ระบบจับยึดชิ้นงานแบบสุญญากาศ 2 ตัว	ระบบจับยึดชิ้นงานแบบสุญญากาศ 4 ตัว

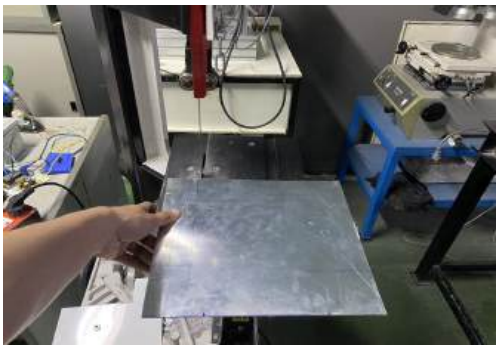


รูปที่ 5 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์

2.3 ดำเนินงานวิจัย

จากการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ดังรูปที่ 5 สามารถดำเนินการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1.นำแผ่นอะลูมิเนียมมาตัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำแผ่นอะลูมิเนียมไปเจาะตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 6 และ 7



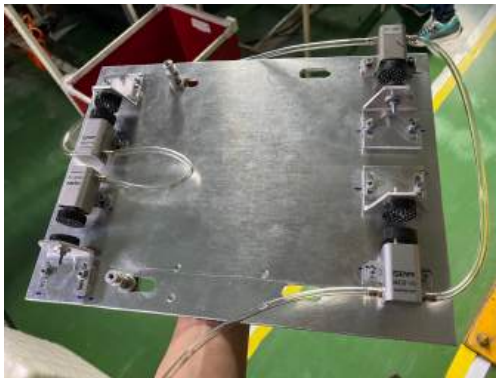
รูปที่ 6 ตัดแผ่นอะลูมิเนียม

รูปที่ 7 เจาะตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้

2.พับแผ่นอะลูมิเนียม 90 องศา และติดยางกันกระแทกเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายในขณะจับยึดชิ้นงาน

รูปที่ 8 แผ่นอะลูมิเนียมและยางกันกระแทกที่ทำหน้าที่จับยึดชิ้นงาน

3.ประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องปริ้นท์ (แบบใหม่)

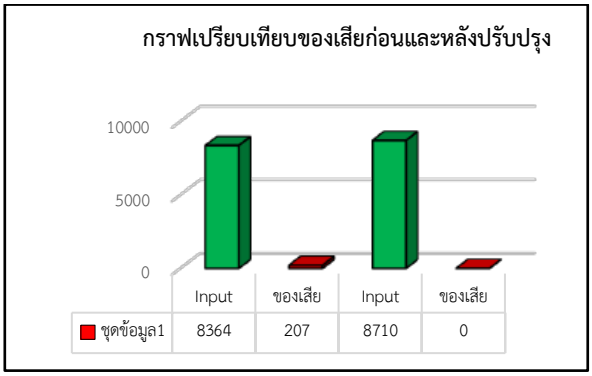
3. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

จากการนำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่ไปใช้งานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิต เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากกระบวนการที่ใช้อุปกรณ์จับยึดแบบเดิม ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง พบว่าจากชิ้นงานทั้งหมด 8,364 ชิ้น มีของเสียที่เกิดจากรอยขูดจำนวน 207 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.475 ขณะที่หลังจากมีการปรับปรุงและใช้อุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ พบว่าจากชิ้นงานทั้งหมด 8,710 ชิ้น ไม่พบของเสียที่เกิดจากรอยขูดบนผิวชิ้นงานแต่อย่างใด ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่สามารถลดของเสียจากรอยขูดในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเก็บข้อมูลชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุง

กระบวนการ	Input	งานเสีย	ร้อยละ
ก่อนปรับปรุง	8364	207	2.475
หลังปรับปรุง	8710	0	0

จากตารางพบว่าหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ไม่พบของเสียที่เกิดจากปัญหารอยขูด ดังแสดงการเปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและของเสียได้จากกราฟ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงกราฟเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากรูปภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบของเสียจากกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด จากรูปจะเห็นว่ามีของเสียจากรอยขูด 207 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.475 จากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเดิม และไม่พบของเสียที่เกิดจากการผลิตโดยใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นแบบใหม่

4. สรุป

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดจากรอยขูดบนผิวชิ้นงาน ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ได้มีการนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานจริงในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกพร้อมทั้งดำเนินการเก็บข้อมูลจากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตจำนวนทั้งสิ้น 8,710 ชิ้น ผลการเก็บข้อมูลพบว่า ไม่ปรากฏของเสียที่เกิดจากรอยขูดบนชิ้นงาน ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์จับยึด ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานฝาครอบปุ่มควบคุมเครื่องพิมพ์ในรูปแบบใหม่นั้น มีประสิทธิภาพในการลดของเสียจากปัญหาการจับยึดที่ไม่แน่นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะทีมงานวิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรม

อุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และ บริษัท ไทยมิตซูวา จำกัด (มหาชน) เป็นอย่างสูงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Singh, G., & Verma, A. (2017). A Brief Review on injection molding manufacturing process. Materials Today: Proceedings, 4(2), 1423-1433.

[2] Khosravani, M. R., & Nasiri, S. (2020). Injection molding manufacturing process: Review of case-based reasoning applications. Journal of Intelligent Manufacturing, 31, 847-864.

[3] Chen, Z., & Turng, L. S. (2005). A review of current developments in process and quality control for injection molding. Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute, 24(3), 165-182.

[4] ฝนธรรม เจริญสุขรุ่งโรจน์. การลดของเสียจากกระบวนการผลิต.

[5] มโนรัตน์ จันทร์คำ. การประยุกต์หลักการดีเอ็มเอไอซีเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินพาณิชย์.

การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

The Design and Development of Web-based Equipment and Tools Retrieval System By Quality Function Deployment (QFD)

วัชนะชัย จูมผา[1*] วัฒนะ สืบสาววงษ์[2] วีระ ยินดี[3] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[4] และสมศักดิ์ แก้วพลอย[5]
[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[5]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Watchanachai Joompha[1] Wattana Suebsaowong[2] Weera Yindee[3] Chirawat naBadalung[3] and Somsak Kaewploy[4]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
[3]Department of Animal Production Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
[4]Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[5]Department of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University
E-mail: watchanachai_jo@rmutto.ac.ac.th*

บทคัดย่อ

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องมือและอุปกรณ์จำนวนมาก ทำให้ต้องเสียเวลาในการค้นหาแต่ละครั้งเป็นเวลานาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานเกี่ยวกับคำที่ใช้ในการค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์บนเว็บไซต์และเพื่อออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับความต้องการ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานแผนกที่เกี่ยวข้องของบริษัทกรณีศึกษาจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นการเป็นประยุกต์ใช้เฟสที่ 1 ของ QFD การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านคุณภาพ (HOQ) ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าความต้องการเกี่ยวกับคำที่ใช้ในการค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ 5 ลำดับแรก ได้แก่ ระบุตำแหน่งของเครื่องมือ วันที่สอบเทียบ รูปภาพของเครื่องมือ ชื่อของเครื่องมือ และ มีแผนกของผู้ยืมเครื่องมือ มีความสำคัญเท่ากับ 4.40, 4.30, 4.18 4.11 และ 3.89 คะแนน (ตามลำดับ) หลังจากแปลงความต้องการของผู้ใช้งานให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องปรับปรุง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเป็นเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ ซึ่งพบว่าก่อนใช้งานผู้ใช้งานมีความพึงพอใจเท่ากับ 3.71 คะแนน หลังนำเว็บไซต์มาใช้งานมีความพึงพอใจเพิ่มขึ้นเป็น 4.83 คะแนน

คำหลัก: การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, เว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์

Abstract

Since the case study company has a large number of tools and equipment, it takes a long time to search each time. This research aims to analyze user requirements for search terms related to tools and equipment on the website, as well as to design and develop a search interface that fulfills these requirements. The sample group is 30 employees of the case study company's related departments, which is the application of Phase 1 of QFD, product planning, or House of Quality (HOQ). The results of the research study found that the top 5 search terms for tools and equipment are specify the location of the tool, calibration date, picture of the tool, name of the tool, and department of the borrower of the tool, with the importance scores of 4.40, 4.30, 4.18, 4.11, and 3.89 points (respectively). After converting the user requirements into technical requirements that need to be improved, the obtained data was developed into a search website for tools and equipment. It was found that before use, the users were satisfied with the company's search system for tools and equipment with a score of 3.71. After using the website, the satisfaction increased to 4.83 points.

Keywords: Quality Function Deployment (QFD), Web-based Equipment and Tools Retrieval System

1. บทนำ

การพัฒนาอุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ (Aviation and Logistic) ถูกบรรจุไว้ ในยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทย 4.0 ระยะ 20 ปี ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2560 – 2579 โดยเป้าประสงค์ของยุทธศาสตร์เพื่อต้องการเพิ่มขีดความสามารถและศักยภาพทางการแข่งขันในระดับนานาชาติให้อุตสาหกรรมในประเทศไทย อันจะนำไปสู่การสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศ สร้างงานให้กับประชาชน และพัฒนาสังคม เพื่อทำให้หลุดพ้นจากกับดักประเทศรายได้ปานกลาง (Middle Income Trap) ให้ได้ในยุทธศาสตร์ดังกล่าวระบุว่าอุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์จะเป็นอุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curve) ที่จะต่อยอดจากอุตสาหกรรมเดิมที่ประเทศไทยมีความสามารถแข่งขัน เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำให้เศรษฐกิจของประเทศเติบโตได้อย่างก้าวกระโดด และได้กำหนดขอบเขตของอุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ไว้ โดยประกอบไปด้วย กิจการสาธารณูปโภคและบริการเพื่อการขนส่ง ศูนย์รวมกิจการโลจิสติกส์ทันสมัย การบริการและซ่อมบำรุงอากาศยาน (Maintenance, Repair and Overhaul: MRO) อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอากาศยาน ธุรกิจมูลค่าสูงที่ต้องการความเร็วจากการขนส่งทางอากาศ (Time Sensitive Product) อากาศยานไร้คนขับ (Drone) การผลิตชิ้นส่วนอากาศยาน ระบบนำทางและซอฟต์แวร์ต่าง ๆ และ สถาบันการศึกษาและฝึกอบรมด้านการบิน [1]

สถานประกอบการที่ใช้เป็นกรณีศึกษาก็เป็นผู้ประกอบการรายหนึ่งของคนไทยในอุตสาหกรรม MRO ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่จะช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมการบินของประเทศให้มีความเจริญก้าวหน้าและเติบโตอย่างยืน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอากาศยานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่าในปี ค.ศ. 2018 การใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงอากาศยานเพื่อการพาณิชย์ของประเทศไทยทั้งหมดมีมูลค่า 1,142 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งความสามารถซ่อมบำรุงในประเทศสามารถรองรับได้เพียงร้อยละ 46 หรือ คิดเป็นมูลค่า 528 ล้านเหรียญสหรัฐ ที่เหลืออีกกว่าร้อยละ 54 ต้องส่งไปซ่อมบำรุงยังต่างประเทศ ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ [2] ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการไทย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ในการค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ เนื่องจากเครื่องมือ/

อุปกรณ์ของบริษัทกรณีศึกษามีจำนวนมาก ประกอบกับมีพื้นที่ในการจัดเก็บเครื่องมือ/อุปกรณ์ค่อนข้างจำกัด ทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหาแต่ละครั้งค่อนข้างนาน ดังเช่นงานวิจัยของนดาวัลย์ หอมสุวรรณ์ และ น้ำฝน อัศวเมฆิน [3] ได้พัฒนาเว็บไซต์ในการค้นหาข้อมูล ทำให้สามารถค้นหาข้อมูลได้ง่ายขึ้น

ส่วน QFD เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการรับฟังเสียงของลูกค้าแล้วแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดที่ต้องปรับปรุง ดังเช่นงานวิจัยของศันสนีย์ เลี้ยงพานิชย์ และคณะ [4] ที่ได้นำเทคนิค QFD มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เชิงความหมายองค์ความรู้ข้าวไทย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของคำที่ใช้ในการค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ผู้ใช้งานต้องการ

2.2 เพื่อประยุกต์เทคนิค QFD ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย [3,4]

3.1 การศึกษาข้อมูลทั่วไปของบริษัทและสภาพที่เกิดขึ้น

3.2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3 สร้างแบบสอบถามและตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยแบ่งสอบถามออกเป็น 2 ชุด คือชุดที่ 1 แบบสอบถามความพึงพอใจเกี่ยวกับการเบิกจ่ายเครื่องมือ/อุปกรณ์ ส่วนชุดที่ 2 แบบสอบถามความต้องการเว็บไซต์ในการค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์

3.4 การสำรวจระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับการเบิกจ่ายเครื่องมือ/อุปกรณ์ และความต้องการของผู้ใช้งานเกี่ยวกับเว็บไซต์ในการค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ โดยการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม ซึ่งกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เนื่องจากพนักงานของแผนกที่เกี่ยวข้องมีพนักงานทั้งหมด 30 คน ดังนั้นจึงสำรวจแบบ 100 %

3.5 หาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ซึ่งจะใช้เป็นค่าระดับความสำคัญ (Importance: IMP) โดยใช้สูตร (1)

$$\text{IMP} = \sqrt[n]{N_1 \times N_2 \times N_3 \times \ldots \times N_n} \quad (1)$$

เมื่อ N หมายถึง คะแนนที่ได้จากแบบสอบถาม และ n หมายถึง จำนวนข้อมูล

เช่น

-ค้นหาด้วยคำสำคัญ = $\sqrt[30]{3 \times 4 \times 3 \times \ldots \times 3}$ = 3.01

3.6 การนำเทคนิค QFD มาประยุกต์ใช้

1) นำความต้องการของลูกค้ามาไว้ที่ด้านซ้ายของบ้านคุณภาพ (HOQ) ซึ่งเป็นเฟสที่ 1 ของ QFD

2) กำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement: TRs) ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน (Customer Requirement: CRs)

3) การประเมินระดับความสัมพันธ์ระหว่าง CRs กับTRs โดยกำหนดให้สัญลักษณ์วงกลมทึบ (●) มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด, วงกลม (○) มีความสัมพันธ์ปานกลาง สามเหลี่ยม (Δ) มีความสัมพันธ์น้อย และไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

4) กำหนดค่าเป้าหมายและทิศทางการพัฒนาของ TRs โดยกำหนดให้สัญลักษณ์วงกลม (○) หมายถึงค่าที่กำหนดมีความเหมาะสมแล้ว, ลูกศรชี้ขึ้น (⬆) หมายถึง ค่าที่กำหนดยิ่งมากยิ่งดี และ ลูกศรชี้ลง (⬇) หมายถึง ค่าที่กำหนดยิ่งน้อยยิ่งดี

5) ประเมินระดับความสัมพันธ์ระหว่าง TRs โดยกำหนดให้สัญลักษณ์บวกบวก (+ +) หมายถึง มีระดับความสัมพันธ์แบบส่งเสริมกันมาก, บวก (+) หมายถึง มีระดับความสัมพันธ์แบบส่งเสริมกัน, ลบลบ (– –) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบหักล้างกันมาก และ ลบ (–) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบหักล้างกัน

6) การจัดลำดับความสำคัญของ TRs โดยเริ่มจากการหาน้ำหนักความสำคัญ แล้วหาลำดับความสำคัญโดยการเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญของ TRs

3.7 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และใช้ phpMyAdmin ในการเชื่อมต่อ

3.8 สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานเกี่ยวกับเว็ปไซต์การค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์

3.9 สรุปผลการดำเนินงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

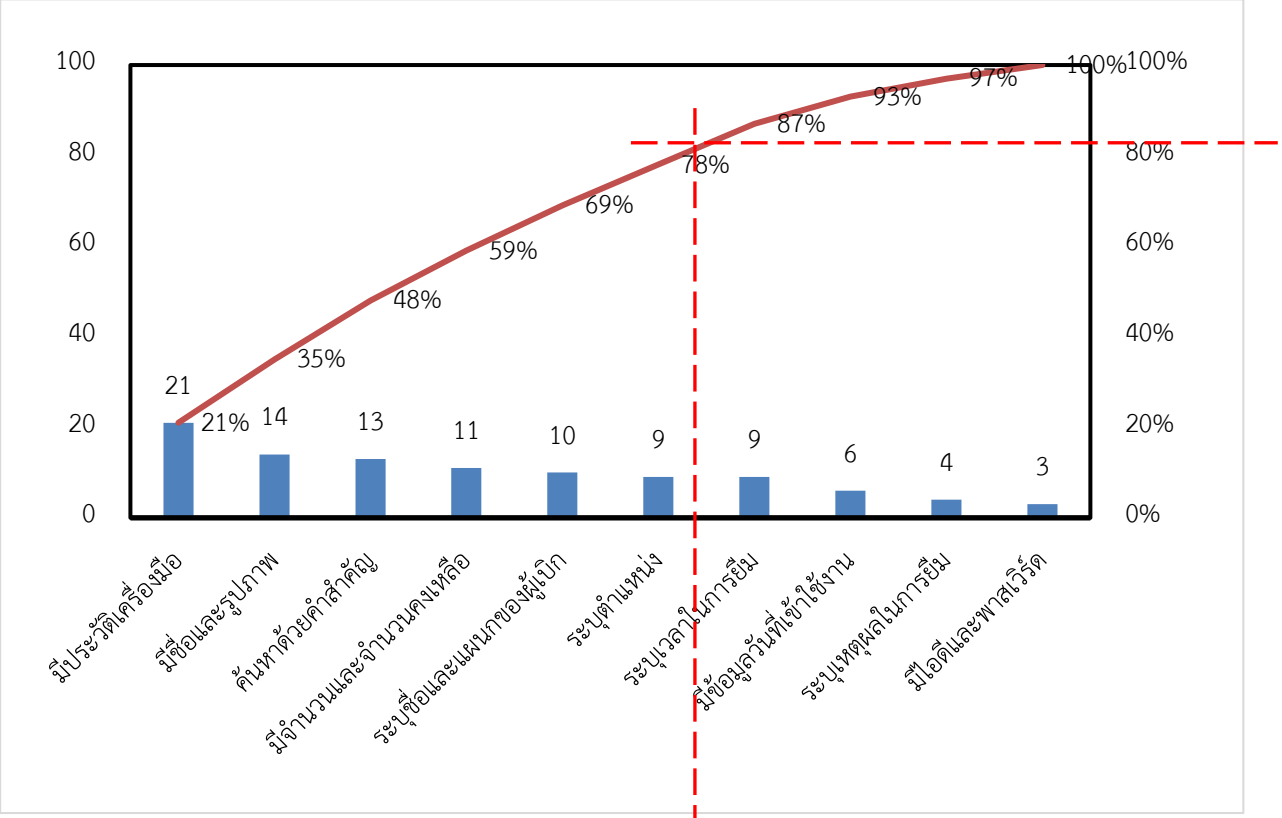
4.1 ผลการสำรวจระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเกี่ยวกับระบบการเบิกจ่ายเครื่องมือ/อุปกรณ์ฯด้วยแบบสอบถาม โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้งานจำนวน 30 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการเบิกจ่ายเครื่องมือ/อุปกรณ์เท่ากับ 3.71

4.2 ผลจากการสำรวจความต้องการเกี่ยวกับเมนูของเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ซึ่งจะใช้เป็นค่าระดับความสำคัญ (IMP) พบว่าระบุตำแหน่งเครื่องมือ มีความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.40 คะแนน รองลงมาได้แก่ วันที่สอบเทียบ รูปภาพเครื่องมือ ชื่อของเครื่องมือ มีแผนกของผู้ยืมเครื่องมือ และมีชื่อของผู้ยืมเครื่องมือ โดยมีคะแนนเท่ากับ 4.30, 4.18, 4.11, 3.89 และ 3.73 (ตามลำดับ)

4.3 ผลจากการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ของบริษัทกรณีศึกษา มีผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลจากการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยเทคนิค QFD

ข้อกำหนดทางเทคนิค / ความต้องการของผู้ใช้งาน	IMP	ค้นหาด้วยคำสำคัญ	มีชื่อและรูปภาพ	มีประวัติเครื่องมือ	ระบุตำแหน่งเครื่องฯ	มีข้อมูลวันที่เข้าใช้งาน	มีจำนวนและจำนวนคงเหลือ	มีไอดีและพาสเวิร์ด	ระบุชื่อและแผนกของผู้เบิก	ระบุเหตุผลในการยืม	ระบุเวลาในการยืม	
ค้นหาด้วยคำสำคัญ	3.01	9	3	3	3	1	1					
ชื่อของเครื่องมือ	4.11	9	9	3	3	1	1					
รูปภาพเครื่องมือ	4.18	3	9	3	3		3					
วันที่สอบเทียบ	4.30	3	3	9								
ระบุตำแหน่งเครื่องมือ	4.40	3	3	3	9							
วันที่เข้าใช้งาน	3.49			3		9					3	
จำนวนของเครื่องมือ	3.44			3			9				3	
จำนวนคงเหลือ	3.47			3			9				3	
ID และ Password ผู้ใช้งาน	3.14							9				
มีชื่อของผู้ยืมเครื่องมือ	3.73								9			
มีแผนกของผู้ยืมเครื่องมือ	3.89								9			
เหตุผลที่ยืมเครื่องมือ	3.44			3		3			3	9	3	
ระยะเวลาที่ยืมเครื่องมือ	3.28			3			3				9	
บันทึกประวัติการยืม	3.28			9								
รวมคะแนน		103	110	167	74	49	92	28	79	31	71	802
น้ำหนักความสำคัญ		13	14	21	9	6	11	4	10	4	9	100
ลำดับความสำคัญ		3	2	1	6	8	4	10	5	9	7	



รูปที่ 1 การจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค (TRs)

จากรูปที่ 1 พบว่า TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 80 ของข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำไปกำหนดเมนูบนเว็บไซต์ ได้แก่ มีประวัติเครื่องมือ รองลงมาได้แก่ มีชื่อและรูปภาพ ค้นหาด้วยคำสำคัญ มีจำนวนและจำนวนคงเหลือ มีระบุชื่อและแผนกของผู้เบิก และระบุตำแหน่งของเครื่องมือ/อุปกรณ์ มีน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 21, 14, 13, 11, 10 และ 9 (ตามลำดับ)

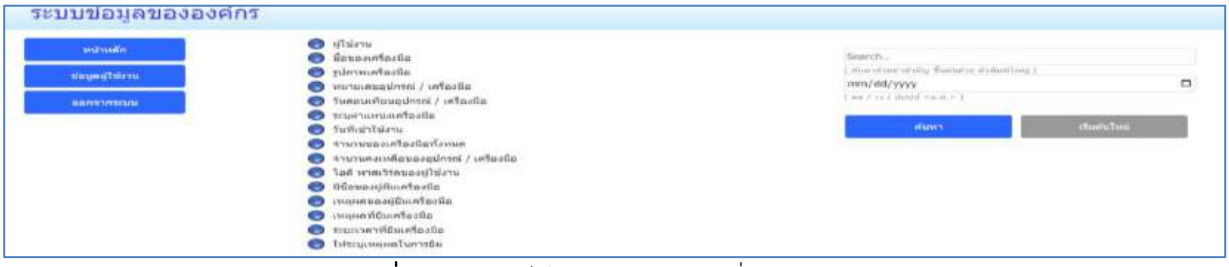
4.4 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ โดยนำ TRs ที่มีความสำคัญมาพิจารณาก่อนดังรูปที่ 2 ซึ่งรายละเอียดดังนี้

1) มีประวัติเครื่องมือฯเป็น TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด โดยมีน้ำหนักความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 21 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์มีประวัติเครื่องมือ ได้แก่ ชื่อผู้ผลิต, ยี่ห้อ, ราคา, ประวัติ, การสอบเทียบ, วันที่เริ่มใช้งาน, จำนวน และสถานะ เป็นต้น

2) มีชื่อและรูปภาพของเครื่องมือฯเป็น TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญรองจากประวัติของเครื่องมือ โดยมีน้ำหนักความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 14 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์ให้ชื่อและรูปภาพของเครื่องมือ

3) ให้มีการค้นหาด้วยคำสำคัญเป็น TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญเป็นลำดับที่ 3 โดยมีน้ำหนักความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 13 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์ให้การค้นหาด้วยคำสำคัญ โดยให้ค้นหาด้วยตัวพิมพ์ใหญ่หรือตัวอักษรอย่างน้อย 2 ตัวอักษร

4) มีจำนวนและจำนวนที่คงเหลือเป็น TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญเป็นลำดับที่ 4 โดยมีน้ำหนักความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 11 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์ให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงจำนวนคงเหลือที่อยู่ในระบบ



รูปที่ 2 เมนูของเว็บไซต์ในการค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์

5) ให้มีการระบุชื่อและแผนกของผู้ยืมเป็น TRs ที่มีน้ำหนักเป็นลำดับที่ 5 โดยมีน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 10 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ทราบผู้ที่ยืม

6) ระบุตำแหน่งเครื่องมือ/อุปกรณ์เป็น TRs ที่มีน้ำหนักความสำคัญเป็นลำดับที่ 6 โดยมีน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 9 ดังนั้นผู้วิจัยกำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของเครื่องมือ/อุปกรณ์

นอกจากนั้นยังนำ TRs อื่นๆ มาพิจารณา ได้แก่ ระบุระยะเวลาในการยืม มีข้อมูลวันที่เข้าใช้งาน ระบุเหตุผลในการยืม และ มีไอดีและพาสเวิร์สของผู้ใช้งาน

4.5 ผลจากการสำรวจระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเกี่ยวกับการเบิกจ่ายเครื่องมือ/อุปกรณ์ของบริษัทฯ โดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้งานจำนวน 30 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจท่ากับ 4.83 คะแนน โดยคุณลักษณะที่เพิ่มมากที่สุดได้แก่ ความรวดเร็ว รองลงมาได้แก่ ความสะดวก และความเป็นระบบ เป็นต้น

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD มาใช้ในพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องมือ/อุปกรณ์จำนวนมาก และมีพื้นที่จำกัด ผลจากการนำเทคนิค QFD มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ค้นหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ ทำให้ได้เว็บไซต์ฯ ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศันสนีย์ เลี้ยงพานิชย์ และคณะ [4] ที่ได้นำเทคนิค QFD มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เชิงความหมายองค์ความรู้ข้าวไทย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ รวมทั้งสนับสนุนให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันยานยนต์, “รายงานการศึกษาเรื่องมาตรการส่งเสริมอุตสาหกรรมซ่อมบำรุงและผลิตชิ้นส่วนอากาศยานในประเทศไทย”, (2565), หน้า 1-13.

[2] สถาบันยานยนต์, “ศักยภาพอุตสาหกรรมซ่อมบำรุงและผลิตชิ้นส่วนอากาศยานของไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศ”, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, (2563), หน้า 3-16.

[3] นดาวัลย์ หอมสุวรรณ และน้ำฝน อัศวเมฆิน, (2560) การพัฒนาเว็บไวด์เพื่อค้นหาข้อมูล: กรณีศึกษา DITP Service Center กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบันครั้งที่ 5, 25 พฤษภาคม 2560: (2560) หน้า 1236-1241.

[4] ศันสนีย์ เลี้ยงพานิชย์,ขนิษฐา กุลนาวิน, ยศพร การงาน และกริช กองศรีมา, “ผลการใช้เทคนิค QFD ในการออกแบบและพัฒนาเว็บเชิงความหมายองค์ความรู้ข้าวไทย”, วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10(3): (2560), หน้า 86-103.

การปรับปรุงระบบการวัดที่ใช้ในการย้ำเทอร์มินอลของชุดสายไฟรถยนต์ โดยใช้ระบบการวิเคราะห์การวัด

Improvement of Measurement System for Terminal Crimping Process in Automotive Wire Harnesses Using Measurement System Analysis (MSA)

เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์[1] วรญา วัฒนจิตสิริ[1] ฤทธิชัย สังฆทิพย์[2] และ ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ การผลิต และกระบวนการเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

Chalermsak Thavornwat[1] Voraya Wattanajitsiry[1] Rittichai Sangkatip[2] and Kaona Jonguwuttanaruk[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Industrial Engineening, Production and Chemical and Environmental, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology
E-mail: kaona.j@en.rmutt.ac.th *

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการย้ำเทอร์มินอลของชุดสายไฟรถยนต์ในโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) ตามเกณฑ์ของ AIAG ซึ่งเน้นการประเมินความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสอดคล้องระหว่างผู้วัด (Reproducibility) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์พบว่าระบบการวัดเดิมมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพ โดยมีอัตราความผิดพลาดจากการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (IFA) และการยอมรับอย่างผิดพลาด (IMISS) สูงถึง 25% และ 50% ตามลำดับ จึงได้ดำเนินการปรับปรุงผ่านการอบรมพนักงาน การจัดทำคู่มือการตรวจสอบที่เข้าใจง่าย และการออกแบบบอร์ดสำหรับตรวจสอบเทอร์มินอลแทนอุปกรณ์แบบเดิม หลังการปรับปรุงพบว่าค่าดัชนีต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ความไม่ไบแอสและรีพีททะบิลิตี้เพิ่มเป็น 90-100% ค่า OE สูงถึง 95-100% และค่าความผิดพลาดลดลงเป็น 0% แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความเบี่ยงเบนในกระบวนการผลิตได้ดีขึ้น และช่วยลดอัตราของเสียหลุดรอดจาก 2.56% เหลือเพียง 0.50% ภายในสามเดือน การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบการวัดโดยใช้ MSA ร่วมกับการพัฒนาทักษะบุคลากรและการควบคุมกระบวนการตรวจสอบสามารถยกระดับคุณภาพการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำสำคัญ: ระบบการวัด, การย้ำเทอร์มินอล, ชุดสายไฟรถยนต์, MSA, AIAG

Abstract

This research aims to improve the measurement system used in the terminal crimping process of automotive wire harnesses in a case study factory, by applying Measurement System Analysis (MSA) based on AIAG standards. The focus is on evaluating accuracy, precision, repeatability, and reproducibility to enhance the reliability of product inspections. Initial analysis revealed limitations in the existing system, with high error rates including 25% incorrect rejections (IFA) and 50% incorrect acceptances (IMISS). To address these issues, improvements were implemented through employee training, the development of a simplified visual inspection manual, and the introduction of a customized inspection board to replace traditional tools. Post-improvement results showed significant increases in measurement indices, such as bias and repeatability scores reaching 90–100%, overall effectiveness (OE) rising to 95–100%, and error rates dropping to 0%. These improvements demonstrated the enhanced ability of the measurement system to detect process deviations, contributing to a reduction in the defect escape rate from 2.56% to just 0.50% within three months. This study highlights that improving measurement systems through MSA, alongside personnel skill development and standardized inspection processes, can significantly and sustainably elevate product quality in manufacturing.

Keywords: Measurement system, terminal crimping, automotive wire harness, MSA, AIAG.

1. บทนำ

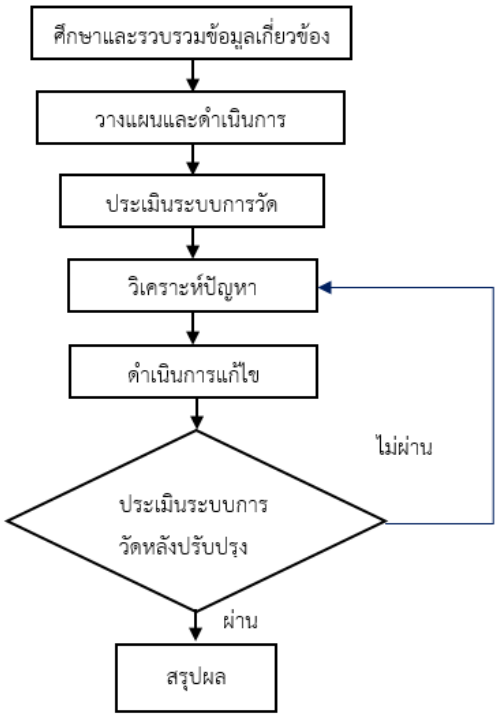
ในการวิจัยและพัฒนาทางด้านการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัด ความเข้าใจในทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถือเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากจะช่วยให้การวิเคราะห์และพัฒนาเนื้อหามีความถูกต้องและมีความเป็นระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น ในบทนี้เราจะเน้นที่การเสนอทฤษฎีและผลงานวิจัยที่สำคัญ เพื่อให้การวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัด (Measurement Effectiveness Analysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการประเมินความสามารถของเครื่องมือวัดหรือวิธีการวัดในการให้ข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ กระบวนการนี้มีความสำคัญเนื่องจากการวัดที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้อย่างแม่นยำและสามารถพัฒนาการดำเนินงานต่างๆ ได้ดีขึ้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดนั้นมีหลายทฤษฎีที่มีความสำคัญ เช่น ทฤษฎีความเชื่อมั่นของการวัด (Reliability Theory) ซึ่งเน้นการประเมินความสม่ำเสมอของผลการวัด ทฤษฎีความเที่ยงตรงของการวัด (Validity Theory) ซึ่งเน้นการประเมินความสามารถของการวัดในการวัดสิ่งที่ต้องการจะวัด และทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อผิดพลาด (Error Analysis Theory) ที่ช่วยในการประเมินและปรับปรุงความแม่นยำของการวัดในด้านของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีการศึกษามากมายที่ได้ทำการวิจัยและพัฒนาวิธีการวัดที่มีประสิทธิภาพ [1-2] ตัวอย่างเช่น งานวิจัยที่ใช้เทคนิคทางสถิติเพื่อประเมินความเชื่อมั่นและความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด และงานวิจัยที่พัฒนาวิธีการใหม่ๆ ในการวัดที่สามารถลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำการทำความเข้าใจและนำทฤษฎีและงานวิจัยเหล่านี้มาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัดจะช่วยให้การวิจัยและพัฒนามีความเป็นระเบียบเรียบร้อยและมีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพและสามารถใช้งานได้จริงในสภาพแวดล้อมต่างๆ

การดำเนินเพื่อศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัดเป็นพื้นฐานของการปรับปรุงกระบวนการใด ๆที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งผ่านการทดลองในกระบวนการผลิตแบบเรียลไทม์กับ

ผลิตภัณฑ์ในบริษัทผลิตชุดสายไฟกรณีศึกษา[3] ที่สูงขึ้นซึ่งมีผลิตภัณฑ์เป็นชุดสายไฟในรถยนต์ที่มีลักษณะที่สามารถยืดหยุ่นได้มากซึ่งมีโอกาสการผิดพลาดจากระบบการวัดค่อนข้างสูงงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสาเหตุของปัจจัยที่มีผลกับระบบของการวัดที่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น ความเที่ยงตรง ความแม่นยำและความเสถียรโดยการศึกษาใช้ระบบการปรับปรุงระบบการวัดที่ใช้ในการย้ำเทอร์มินอลของชุดสายไฟรถยนต์โดยใช้ระบบการวิเคราะห์การวัดให้ผลิตสินค้าที่มีคุณภาพที่สูงในต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยการจัดทำบอร์ดการวัดชุดสายไฟรถยนต์ทดแทนการวัดด้วยอุปกรณ์การวัดแบบเดิมแสดงว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ ช่วยในทำให้เกิดประสิทธิภาพของระบบการวัดที่ดีขึ้น ปัญหาที่พบสำหรับโรงงานกรณีศึกษาคือ ยังไม่มีวิธีมาตรฐานการตรวจสอบด้วยสายตา ให้กับพนักงานจึงทำให้พนักงานทำการตรวจสอบชิ้นงานด้วยการกวาดสายตาผ่านชิ้นงานทั่วเพื่อหาความผิดปกติโดยภาพรวม ดังนั้นเริ่มต้น จึงได้กำหนดมาตรฐานวิธีการตรวจสอบและกำหนดให้พนักงานตรวจสอบด้วยสายตาทุกคนปฏิบัติ ในแนวทางเดียวกัน สิ่งที่ต้องทำต่อคือการประเมินประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานตรวจสอบ มาตรฐานวิธีการตรวจสอบและแผนการสุ่มที่ได้กำหนดขึ้นจะมีความถูกต้องและเชื่อถือ ได้นั้นก่อนอื่นจะต้องมั่นใจได้ก่อนว่าพนักงานตรวจสอบทุกคนมีประสิทธิภาพและความสามารถ ในการตรวจสอบได้ดี ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงานกรณีศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ระบบ การวัดสำหรับข้อมูลเชิงคุณลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เป็นลักษณะของข้อมูลที่ได้มาจากการพิจารณาคุณลักษณะภายนอก ของผลิตภัณฑ์ ผลจากการทดสอบใช้วิเคราะห์ผลระบบการวัด 3 ส่วน เริ่มต้นจากการประเมินผล ระบบการวัด (Measurement system evaluation: MSE) ด้วยตัววัดผล ในเรื่องความถูกต้อง (ไบอัส) และความสามารถในการตรวจซ้ำ ด้วยดัชนีเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ, เปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ, เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิผลด้านไบอัส ของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ระบบ การวัด (Measurement system Analysis: MSA) ซึ่งอาศัยวิธีการทางสถิติเข้ามาใช้ในการพิจารณาว่าระบบมีความสามารถเพียงพอที่จะยอมรับไว้ได้หรือไม่ ด้วยตัววัดความเห็นสอดคล้องกันของผล การตรวจสอบของพนักงานด้วยคำสัมประสิทธิ์ ส่วนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ถึง ความสามารถ

2. การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการปรับปรุงระบบการวัดที่ใช้ในการย้ำเทอร์มินอลของชุดสายไฟรถยนต์โดยใช้ระบบการวิเคราะห์การวัดมีแผนการดำเนินตามรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุดิบ การตรวจสอบวัตถุดิบเพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตในกระบวนการผลิต ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อป้องกัน ไม่ให้ของเสียหลุดลอดเข้าไปในสายการผลิตโดยทักษะของพนักงานในการตรวจสอบด้วยตาเปล่า วัตถุดิบที่ไม่ผ่านการตรวจสอบจะถูกจำแนกเป็นของเสีย ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะของเสีย

จากตารางที่ 1 เป็นข้อมูลแสดงผลผลิตเทอร์มินอลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2568 ซึ่งพบว่าปริมาณการผลิตมีแนวโน้มผันผวนเล็กน้อย โดยมิถุนายนมีการผลิตสูงที่สุด 10,932 ชิ้น ส่วนกรกฎาคมลดลงต่ำสุด 9,735 ชิ้น ก่อนจะเพิ่มขึ้นในเดือนสิงหาคม 10,530 ชิ้น ขณะที่จำนวนงานเสียหลุดรอดอยู่ระหว่าง 259 ถึง 278 ชิ้น ส่งผลให้อัตรางานเสียหลุดอยู่ในช่วง 2.37% ถึง 2.67% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบยังมีความไม่สม่ำเสมอด้านคุณภาพการผลิต

ตารางที่ 1 จำนวนการผลิตเทอร์มินอลในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2568

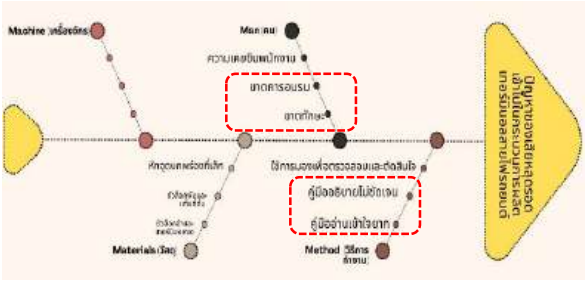
เดือน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม
ยอดผลิต (ชิ้น)	10,932	9,735	10,530
งานเสียหลุดรอด (ชิ้น)	259	260	278
งานเสียหลุด (ร้อยละ)	2.37	2.67	2.64

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนของเสียแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในกระบวนการหลุดรอดเทอร์มินอลช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2568 โดยจำแนกเป็น 7 ประเภท พร้อมแสดงจำนวนชิ้นของเสียและเปอร์เซ็นต์ของเสียในแต่ละเดือน พบว่า ประเภทของเสียที่มีจำนวนมากที่สุดตลอด 3 เดือนคือ “ตัวล็อกอ้า” รองลงมาคือ “แท็บสั้น” และ “เทอร์มินอลงอ” ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุและวางแผนลดของเสียในกระบวนการผลิตต่อไป.

ตารางที่ 2 ตารางจำนวนของเสียแต่ละประเภทที่หลุดรอดเทอร์มินอลในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2568

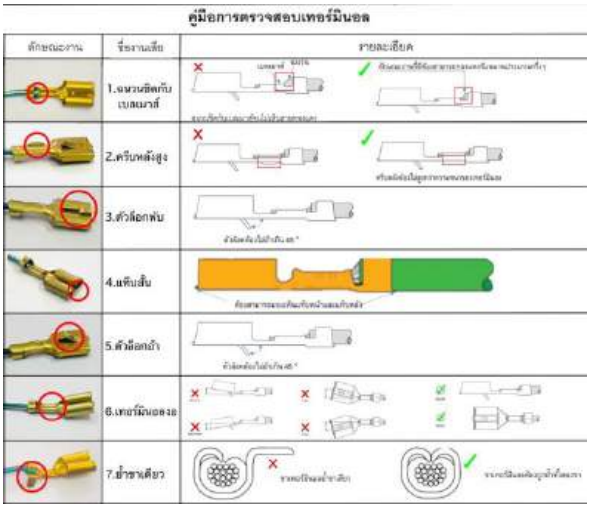
	มิถุนายน		กรกฎาคม		สิงหาคม	
	ของเสียหลุดรอด (ชิ้น)	ร้อยละ	ของเสียหลุดรอด (ชิ้น)	ร้อยละ	ของเสียหลุดรอด (ชิ้น)	ร้อยละ
1.ฉนวนชิดกับเบลเมาส์	38	0.34	28	0.29	31	0.30
2.ครีบหลังสูง	31	0.28	27	0.28	34	0.32
3.ตัวล็อกพับ	28	0.26	32	0.33	41	0.38
4.แท็บสั้น	46	0.42	66	0.68	51	0.48
5.ตัวล็อกอ้า	64	0.59	72	0.74	66	0.62
6.เทอร์มินอลงอ	47	0.42	32	0.33	49	0.46
7.ย้ำขาเดียว	5	0.05	3	0.03	31	0.30

วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เป็นกระบวนการที่มีโครงสร้างช่วยในการช่วยระบุปัจจัยพื้นฐานหรือสาเหตุของเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ การทำความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่เอื้อต่อการทำงานที่เป็นสาเหตุของความล้มเหลวของระบบสามารถช่วยพัฒนาการดำเนินการที่สนับสนุนการแก้ไขได้ โดยใช้แผนภูมิก้างปลาตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิก้างปลา

แผนผังก้างปลาในภาพแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา "ของเสียหลุดรอดเข้ากระบวนการผลิต" โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้านหลัก ได้แก่ คน เครื่องจักร วัสดุ และวิธีการ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยสำคัญที่ควรให้ความสนใจคือ ด้าน "คน" ที่มีปัญหาขาดการอบรม และด้าน "วิธีการ" ที่คู่มือการทำงานอธิบายไม่ชัดเจนและอ่านเข้าใจยาก ซึ่งทั้งสองประเด็นนี้ส่งผลต่อความผิดพลาดในการตรวจสอบและตัดสินใจของพนักงาน จนนำไปสู่การปล่อยของเสียหลุดรอดได้ในที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงโดยการจัดการอบรมด้วยคู่มือการตรวจสอบเทอร์มินอลที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4 คู่มือการตรวจสอบเทอร์มินอล

การอบรมโดย Process Engineer เป็นการอบรมโดยใช้คู่มือการตรวจสอบเทอร์มินอลที่ผู้วิจัย จัดทำขึ้นเพื่อเป็นกระบวนการถ่ายทอดความรู้และทักษะเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหรือการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยวิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ควบคุม และปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้คู่มือตามรูปที่ 5 การควบคุมคุณภาพ การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ รวมถึงแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และสอดคล้องกับมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษา

รูปที่ 5 การอบรมการตรวจสอบเทอร์มินอล

3. ผลการวิจัย

การประเมินการวัดของผู้วิจัยโดยใช้เกณฑ์ AIAG เป็นกระบวนการที่ใช้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของระบบการวัด โดยเฉพาะในกรณีที่มีผู้วัดหลายคนหรือมีการวัดซ้ำหลายครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าค่าที่ได้จากการวัดมีความแม่นยำและสอดคล้องกัน การประเมินนี้นิยมใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์ Gage R&R (Gage Repeatability and Reproducibility) ซึ่งสามารถแยกแยะความแปรปรวนที่เกิดจากเครื่องมือวัด (Repeatability) และจากตัวผู้วัด (Reproducibility) เพื่อระบุว่าส่วนใดในระบบการวัดที่ควรปรับปรุง โดยเกณฑ์ของ AIAG จะใช้ค่าร้อยละของความแปรปรวนรวม (Total Variation) เป็นเกณฑ์ตัดสินว่าสามารถยอมรับระบบการวัดนั้นได้หรือไม่

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินและการปรับปรุงระบบการวัด

ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดโรงงานตัวอย่างจะใช้คนใน

ค่าดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัส	มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์รีพีททะบีลิตี้	มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไบอัส	มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบีลิตี้ของการตรวจสอบ	มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
สัมประสิทธิ์ Kappa	น้อยกว่า 0.4
ดัชนีความมีประสิทธิผล (o_e)	มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด I_{FA}	น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด I_{MISS}	น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

การตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา ผู้วิจัยจะต้องแน่ใจก่อนว่าการ ตรวจสอบชิ้นงานเพื่อการยอมรับของพนักงานแต่ละคนมีความถูกต้องและได้ผลการตรวจสอบไป ในทางเดียวกัน ไม่เป็นตัวแปรที่ทำให้งานวิจัยเกิดความผิดพลาด ผลการวิจัยที่ได้จึงจะมีความถูก ต้อง ดังนั้นก่อนการนำเอาแผนการสุ่มตัวอย่างเข้าไปปรับใช้จะต้องทำการวิเคราะห์ หาสาเหตุในกรณีที่ไม่สามารถยอมรับได้และปรับปรุงระบบการวัดให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการดำเนินงานในการประเมินความสามารถการตรวจสอบ ของพนักงานตรวจสอบ เพื่อศึกษาสถานะปัจจุบันของระบบการตรวจสอบของโรงงานกรณีศึกษา

กำหนดลักษณะชิ้นงานตรวจสอบในจำนวน 20 ชิ้น ประกอบด้วย ชิ้นงานที่มี คุณภาพดีจำนวน 5 ชิ้น ชิ้นงานที่มีคุณภาพเสียจำนวน 5 ชิ้น ชิ้นงานที่มีคุณภาพก้ำกึ่งคืองานดีแบบก้ำกึ่ง 5 ชิ้น และงานเสียแบบก้ำกึ่ง 5 ชิ้นงานดีแบบก้ำกึ่งหมายถึงงานที่มีลักษณะคุณภาพอยู่ระหว่างงานดีและงานเสียแต่ลักษณะค่อนไปทางงานดีอ้างอิงตามมาตรฐานของชิ้นงานนั้นงานเสียแบบก้ำกึ่งหมายถึง งานที่มีลักษณะคุณภาพอยู่ระหว่างงานดีและงานเสียแต่ลักษณะค่อนไปทางงานเสียอ้างอิงตามมาตรฐานของชิ้นงานนั้น

ทดสอบการตรวจสอบชิ้นงานให้กับพนักงานตรวจสอบ การตรวจสอบ ชิ้นงานให้ทำการตรวจสอบทั้งหมด 3 รอบ ดังนี้การทดสอบรอบที่ 1 ให้สุ่มเลือกพนักงานตรวจสอบเข้ามาทำการทดสอบ 1 คน ให้ทำการ ตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 20 ชิ้น บันทึกผลการทดสอบในใบบันทึกผลการตรวจสอบ ดำเนินการ สุ่มพนักงานมาทำการทดสอบจนครบทั้ง 3 คนการทดสอบรอบที่ 2 และ 3 ดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบรอบที่ 1 แล้วบันทึก ผลการตรวจสอบในเอกสารใบบันทึกผลการตรวจชิ้นงานของพนักงานตรวจสอบขั้นตอนการประเมินผลความสามารถในการตรวจสอบของพนักงาน ประเมินผลระบบ การวัด (Measurement System Evaluation MSE) ด้วยตัววัดผลในเรื่องความถูกต้อง (ไบอัส) และความสามารถในการตรวจซ้ำ (รีพีททะบิลิตี้) ด้วยดัชนีร้อยละ ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ,รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ, ร้อยละประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ และ ร้อยละประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลการตรวจสอบ จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis MSA) ซึ่งอาศัยวิธีการ ทางสถิติเข้ามาใช้ในการพิจารณาว่าระบบมีความสามารถเพียงพอที่จะยอมรับไว้หรือไม่ ด้วยตัววัดความเห็นสอดคล้องกันของผลการตรวจสอบของพนักงานด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ส่วนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ถึงความสามารถในการตัดสินใจของพนักงานแต่ละคน ตัววัดด้วยดัชนี ได้แก่ ดัชนีความมีประสิทธิผล (OE) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธผิดพลาด (IFA) และดัชนีการ ตรวจสอบที่ยอมรับผิดหลาด (IMISS) และสรุปผลระบบการตรวจสอบตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ ถ้าผลการประเมินและวิเคราะห์ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ดำเนินการปรับปรุงระบบการวัดเมื่อดำเนินการ แล้วให้ทำการทดสอบพนักงานใหม่อีกครั้งประเมินผลการทดสอบ จากผลการตรวจสอบชิ้นงานแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของพนักงาน ตรวจสอบทั้ง 3 คนตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 3 คน

สิ่งตัวอย่างที่ 1	คุณภาพที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1			พนักงานตรวจสอบคนที่ 2			พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
15	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
17	NG	NG	NG	NG	OK	OK	OK	OK	OK	NG
18	NG	OK	OK	OK	NG	NG	NG	OK	OK	OK
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
20	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

จากตารางที่ 5 เป็นการสรุปผลการตรวจสอบระบบการวัดโดยใช้ข้อมูลจากพนักงานตรวจสอบ 3 คน ซึ่งแต่ละคนตรวจชิ้นงานทั้งหมด 20 ชิ้น โดยพิจารณาความสม่ำเสมอในการตรวจสอบของแต่ละคน (ตรงกันทั้ง 3 ครั้ง) และความถูกต้องตรงกันกับค่ามาตรฐาน (ถูกต้องตรงกันทั้ง 3 ครั้ง) พบว่าพนักงานแต่ละคนมีผลการตรวจสอบตรงกันของตนเองทั้งหมด 19-20 ชิ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกันพนักงานมีผลตรงกันทั้ง 3 ครั้งทุกคนใน 19 ชิ้น และตรวจได้ถูกต้องเหมือนกันทุกคนใน 18 ชิ้น แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีความเที่ยง (Repeatability) และความตรงกันระหว่างผู้วัด (Reproducibility) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร แต่ยังสามารถปรับปรุงด้านความถูกต้องให้ดียิ่งขึ้นได้.

ตารางที่ 5 สรุปผลการตรวจสอบเพื่อใช้ในการประเมินผลระบบการวัด

พนักงานตรวจสอบคนที่	ผลการตรวจสอบตรงกันทั้ง 3 ครั้ง	ผลการตรวจสอบถูกต้องตรงกันทั้ง 3 ครั้ง	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ
1	20	19	20
2	20	19	20
3	19	18	20
พนักงานตรวจได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน		19	
พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกคน		18	

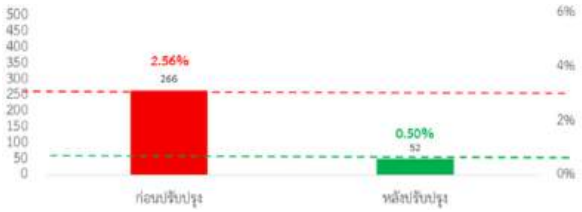
ตาราง 6 แสดงสัมประสิทธิ์ KAPPA ในการตรวจสอบของพนักงาน 3 คนต่อ 3 ครั้ง 20 ชิ้น ผลของการทดสอบได้แสดงไว้ในส่วนภาคผนวก และได้สรุปผลค่าตามตารางดังนี้

ตาราง 6 ผลการการวิเคราะห์ระบบวัดของเทอร์มินอล

พนักงานตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัส	เปอร์เซ็นต์รีพีทที่ทะบีลี้	ประสิทธิผลด้านไบอัส (%)	ประสิทธิผลด้านรีพีทที่ทะบีลี้ (%)
พนักงานคนที่ 1	100	95	95	90
พนักงานคนที่ 2	100	95		
พนักงานคนที่ 3	95	90		

4. สรุป

การวิเคราะห์ระบบการวัดช่วยลดจำนวนการหลุดของเสียในกระบวนการผลิตจากร้อยละ 2.56 ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม ปี 2566 เหลือเพียงร้อยละ 0.50 ตามรูปที่ 6 ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี 2567 การวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการใช้เอกสารการตรวจสอบเพื่อระบุรายละเอียดสำคัญในการตรวจสอบ ลดความผิดพลาดของพนักงาน และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบของผลิตภัณฑ์ การวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงระบบการวัดในการย้ำของชุดสายไฟรถยนต์เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพ ลดข้อผิดพลาดในการผลิต และเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า โดยใช้การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) และเครื่องมือการวิเคราะห์ต่าง ๆ



รูปที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบของเสียที่หลุดรอดหลังปรับปรุง

จากตาราง 7 แสดงผลการประเมินความสามารถในการตรวจสอบของพนักงานก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่ามีการพัฒนาทักษะและประสิทธิภาพของพนักงานในการใช้เครื่องมือวัดอย่างชัดเจน โดยก่อนการปรับปรุง พนักงานทั้ง 3 คนมีค่าความไม่ไบแอสและค่าความรีพีทอยู่ที่ประมาณ 80-85% เท่ากันทุกคน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง ขณะที่ค่าประสิทธิผลด้านไม่ไบแอสและด้านรีพีทมีเพียง 75% เท่านั้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลรวมของเครื่องมือ (Oe) อยู่ในช่วง 66-68% ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่ควรจะเป็น และยังมีค่าความผิดพลาดจากการปฏิเสธชิ้นงานที่ดี (IFA) อยู่ที่ 25% และการยอมรับชิ้นงานที่เสีย (IMISS) สูงถึง 50% บ่งชี้ถึงความเสี่ยงในการตัดสินใจผิดพลาดที่อาจกระทบต่อคุณภาพการผลิต

หลังจากมีการปรับปรุง ไม่ว่าจะเป็นการฝึกอบรม การสื่อสารขั้นตอนที่ชัดเจน หรือการสนับสนุนการใช้อุปกรณ์อย่างถูกวิธี ทำให้ค่าความไม่ไบแอสและรีพีทเพิ่มขึ้นเป็น 90-100% สำหรับทุกคน ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลรวมของเครื่องมือเพิ่มขึ้นเป็น 95-100% และค่าความผิดพลาดทั้ง IFA และ IMISS ลดลงเหลือ 0% ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าพนักงานสามารถตัดสินใจตรวจสอบได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันว่าระบบการวัดหลังการปรับปรุงมีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างมั่นใจ และผลที่ได้ยังผ่านเกณฑ์ AIAG อีกด้วย

ตารางที่ 7 แสดงค่าดัชนีเปรียบเทียบจากผลการตรวจสอบโดยใช้พนักงานในการตรวจสอบ

ดัชนีประเมินความสามารถในกาตรวจสอบ	พนักงานคนที่ (ก่อนปรับปรุง)			พนักงานคนที่ (หลังปรับปรุง)		
	1	2	3	1	2	3
%ความไม่ไบอัส	85	85	85	100	95	95
%รีพีททะบิลีตี้	85	85	80	100	95	90
%ประสิทธิผลด้านไบอัส	75			95		
% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้	75			90		
%ความมีประสิทธิผล (o_e)	68	68	66	100	100	95
%ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด I_{FA}	25	25	25	0	0	0
%ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด I_{MISS}	50	50	50	0	0	0

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] จรรยา ชื่น อารมณ์, & เภตรา ชื่น อารมณ์. (2025). การ ปรับปรุง กระบวนการ วัด สี ซี่ ฟัน เทียม เพื่อ ลด ความ ผิด พลาด ของ การ วัด สี ด้วย การ วิเคราะห์ ระบบ การ วัด. วารสาร วิชาการ ป ข มท., 14(1), e1382-e1382.

[2] ประ ภั ส วรรณ สวัสดิ์ วงษ์, & ไพโรจน์ ลดา วิจิตร กุล. (2014). การ วิเคราะห์ ระบบ การ วัด: กรณี ศึกษา โรงงาน ผลิต กล้อง และ ซูม เลนส์. Engineering Journal of Research and Development, 25(4), 71-80.

[3] Thavornwat, C. (2022). การ พัฒนา อุปกรณ์ วัด ชุด สาย ไฟ กรณี ศึกษา โรงงาน ผลิต ชุด สาย ไฟ ใน รถ ยน ต์. Frontiers in Engineering Innovation Research, 20(1), 25-35.

[4]. Shirodkar, A., & Rane, S. (2021). Evaluation of coordinate measuring machine using gage repeatability & reproducibility. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 12(1), 84-90.

[5] Peruchi, R. S., Balestrassi, P. P., de Paiva, A. P., Ferreira, J. R., & de Santana Carmelossi, M. (2013). A new multivariate gage R&R method for correlated characteristics. International Journal of Production Economics, 144(1), 301-315.

แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม

Guidelines for Improving the Efficiency of Drinking Water Production Process A Case Study of Drinking Water Plant in Nakhon Phanom Province

วิเรขา คำจันทร์[1] พรชนก โกพล[1] และศักดิ์ดา คำจันทร์[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Wirekha Khamjan[1] Phornchanok Kopon[1] and Sakda Khamjan[1*]
[1]Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
E-mail: sakda.kh@ku.th[*]

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม โดยนำแผนผังก้างปลากับเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งปัญหาที่พบมี 2 ปัญหาหลัก ที่ต้องเร่งแก้ไข ปัญหาแรกเป็นการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า เนื่องจากพนักงาน 2 คน ทำงานไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้เกิดการว่างงาน จึงนำหลักการวิเคราะห์แผนภูมิคนและเครื่องจักร มาพิจารณาแก้ไขปัญหา สามารถทำให้เวลาในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น และเวลาว่างลดลง ซึ่งรอบเวลาการทำงานจากเดิม 9.32 นาที เหลือ 7.76 นาที ลดลงจากเดิม 1.56 นาทีต่อรอบ และร้อยละการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น จากเดิม 49.99 เป็น 60.12 และปัญหาที่สองการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน เนื่องจากหัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอ จึงทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย และทำการจับเวลาพบว่า สามารถลดเวลาในการบรรจุน้ำดื่มได้เท่ากับ 2 วินาที จากเดิม 14 วินาที เหลือ 12 วินาที คิดเป็นร้อยละ 14.29

คำหลัก เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ เทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม แผนภูมิคนและเครื่องจักร ประสิทธิภาพ

Abstract

The paper presents ways to improve the efficiency of drinking water production processes using a case study of a drinking water plant in Nakhon Phanom province. Use fishbone diagrams along with Why-Why Analysis. To find the cause of the problem, 2 main problems need to be urgently resolved. The first problem was a delay in bottling drinking water due to two employees working intermittently, which resulted in unemployment. Therefore, the principles of Man-Machine Chart analysis are used to solve this problem. This approach allows us to increase our employees' working hours and reduce their idle time. We reduced the cycle time from 9.32 minutes to 7.76 minutes, resulting in a reduction of 1.56 minutes per cycle. In addition, the percentage of employees working increased from 49.99 to 60.12. The second problem is filling bottles in quantity. They are

not equal. It is caused by the irregular distribution of water from the dispenser. Adjusted 24 water supply valves and measured timers. As a result, the time required to add drinking water decreased by 2 seconds from the original 14 seconds to 12 seconds, accounting for 14.29 percent.

Keywords: Industrial Engineering Tools, Why-Why Analysis, Man-Machine Chart, Efficiency

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักความสูญเสีย 7 ประการ กรณีศึกษาโรงงานลูกชิ้น จังหวัดสกลนคร

Improving Production Processes with 7 Wastes Techniques A Case Study of Meatball Factory Sakon Nakhon Province

วิเรขา คำจันทร์[1] ชนาธิป ทองมหา[1] และศักดิ์ดา คำจันทร์[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
E-mail: sakda.kh@ku.th[*]

Wirekha Khamjan[1] Chanathip Thongmaha[1] and Sakda Khamjan[1*]
[1]Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
E-mail: sakda.kh@ku.th[*]

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตลูกชิ้นกรณีศึกษาประสบปัญหาความสูญเสียในกระบวนการผลิต เนื่องจากขาดการบริหารการจัดการในการทำงานที่ดี งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยประยุกต์ใช้หลักความสูญเสีย 7 ประการ แผนภูมิกระบวนการ แผนภูมิสปาเก็ตตี้ และเทคนิคการลดความสูญเปล่า ผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดจำนวนขั้นตอนการทำงานจากเดิม 92 ขั้นตอน เหลือ 87 ขั้นตอน ลดลง 5 ขั้นตอน เวลาในการทำงานลดลงจากเดิม 327.60 นาที เหลือ 312.99 นาที ลดลง 14.61 นาที คิดเป็นร้อยละ 4.46 ระยะทางในการทำงานลดลงจากเดิม 403.54 เมตร เหลือ 272.09 เมตร ลดลง 131.45 เมตร คิดเป็นร้อยละ 32.57

คำสำคัญ: หลักความสูญเสีย 7 ประการ แผนภูมิกระบวนการ แผนภูมิสปาเก็ตตี้ เทคนิคการลดความสูญเปล่า

Abstract

The meatball factory, in this case study, experienced a loss in the production process due to a lack of good management. This research, therefore, presents a method to improve the production process by applying the 7 wastes, process charts, spaghetti charts, and ECRS techniques. The improvement results found that the number of work steps could be reduced from 92 steps to 87 steps, a decrease of 5 steps. The work time was reduced from 327.60 minutes to 312.99 minutes, a reduction of 14.61 minutes or 4.46%. The work distance decreased by 131.45 meters or 32.57%, from 403.54 meters to 272.09 meters.

Keywords: 7 Wastes, Process Chart, Spaghetti Chart, ECRS

1. บทนำ

ลูกชิ้นเป็นอาหารยอดนิยมของคนไทยที่มีความเป็นมายาวนาน จังหวัดสกลนคร มีโรงงานผลิตลูกชิ้นอยู่หลายแห่ง หนึ่งในนั้นคือ โรงงานผลิตลูกชิ้นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ผลิตที่สำคัญของจังหวัดสกลนคร โดยโรงงนกรณีศึกษานี้ยังขาดระบบบริหารจัดการที่ดี เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่เป็นระบบ และลำดับขั้นตอนวิธีการทำงานในปัจจุบันไม่เหมาะสม มีขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการขจัดความสูญเสียของโรงงานลูกชิ้นกรณีศึกษา ด้วยการนำหลักความสูญเสีย 7 ประการ [1] เพื่อมาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสม [2]

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภูมิกระบวนการ (Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการ [3] เป็นแผนภูมิที่ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงาน และอุปกรณ์ที่เคลื่อนไปในกระบวนการพร้อมกับกิจกรรมต่างๆ โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ตัว แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์มาตรฐานที่ใช้ในแผนภูมิกระบวนการ

สัญลักษณ์	ชื่อเรียก
○	การปฏิบัติการ (Operation)
⇨	การเคลื่อนย้าย (Transportations)
□	การตรวจสอบ (Inspections)
D	การรอคอย (Delays)
▽	การจัดเก็บ (Storage)

2.2 แผนภูมิสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Chart)

แผนภูมิสปาเก็ตตี้ [4] เครื่องมือที่มีประโยชน์ในการแสดงเส้นทางการเดินที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าของผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน แผนภูมิสปาเก็ตตี้ช่วยแสดงให้เห็นความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหว และการขนย้ายสิ่งของ

2.3 หลักความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes)

ความสูญเสีย 7 ประการ [5] [6] เป็นความสูญเสียที่เกิดในอุตสาหกรรมส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่สูงขึ้น ได้แก่

1) ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป
2) ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง
3) ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง
4) ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว
5) ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต
6) ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย
7) ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย

ความสูญเสียดังกล่าวจำเป็นจะต้องขจัดให้หมดไปหรือปรับปรุงให้ดีขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน [7] [8]

2.4 หลักการลดความสูญเปล่า ECRS

หลักการลดความสูญเปล่า ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมเข้าด้วยกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) การลดความสูญเปล่าในการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นและควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจะหมายถึงต้นทุนของสินค้าที่เพิ่ม ซึ่งหลายงานวิจัยที่ใช้หลักการลดความสูญเปล่า ECRS มาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น [9] ได้ศึกษากระบวนการบรรจุน้ำผึ้งใส่ขวด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุน้ำผึ้งใส่ขวด จากการศึกษาพบการทำงานของพนักงานปจจุบันมีความล่าช้า เนื่องจากวิธีการทำงานที่ไม่เหมาะสม จึงปรับปรุงโดยใช้เทคนิค ECRS ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการบรรจุให้มีพื้นที่การทำงานเดียวกัน ผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดขั้นตอนในการบรรจุจากเดิม 6 ขั้นตอน เหลือ 3 ขั้นตอน เวลามาตรฐานในการบรรจุน้ำผึ้ง หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 0.46 นาทีต่อขวด ซึ่งสามารถลดลงได้ถึง 0.64 นาทีต่อขวด คิดเป็นประสิทธิภาพการบรรจุน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 58.03 และ [10] ได้ศึกษากระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทราย ของกลุ่มแม่บ้านชุมชนหนองโน เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทรายลงบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่ากระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทราย มีเวลาการทำงานที่สูญเปลาจากขั้นตอนการกรอกถั่วลงถุงสูงที่สุด จึงได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงด้วย

หลักการ ECRS สามารถทำให้เวลาสูญเปล่าในขั้นตอนบรรจุถั่วลิสงคั่วทราย ลดลงจาก 0.35 นาที เป็น 0.25 นาที คิดเปนร้อยละ 26 โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 60 ถุงต่อชั่วโมง และลดพนักงานขั้นตอนการกรอกถั่วลงถุงได้ 1 คน

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิต

หลังจากทำการศึกษาขั้นตอน เส้นทางการไหลและศึกษาเวลาของกระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า หมูยอแผ่น และลูกชิ้นวิธีการปัจจุบัน โดยใช้แผนภูมิกระบวนการดังรูปที่ 1, 2 และ 3 แผนภูมิสปาเก็ตตี้ ดังรูปที่4

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	เข็นรถเข็นไปเอาเนื้อหมูที่ห้องแช่เนื้อ	0.32	19.00					
2	หยิบเนื้อหมูออกมาจากห้องเย็นใส่รถเข็น	1.42						
3	เข็นรถเข็นไปที่เครื่องบดเนื้อ	0.57	29.92					
4	หยิบเนื้อหมูออกจากรถเข็นปาดถุงแล้วใส่ในเครื่องบดเนื้อ	1.17						
5	หยิบถังมารองเนื้อหมูที่บดเสร็จแล้ว	0.06						
:	:	:	:	:	:	:	:	:
90	นำหมูยอที่ฟิลสูญญากาศเสร็จแล้วไปใส่รถเข็น	2.47	23.66					
91	เข็นรถเข็นไปที่ห้องเย็น	0.47	28.80					
92	จัดเก็บหมูยอพริกเพื่อจัดจำหน่าย	2.08						
รวม		327.60	403.54	49	24	5	13	1

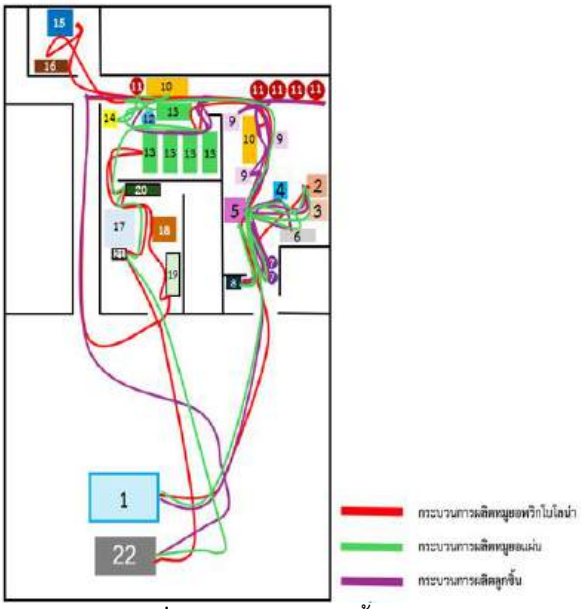
รูปที่ 1 แผนภูมิกระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่าวิธีการปัจจุบัน

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	เข็นรถเข็นไปเอาเนื้อหมูที่ห้องแช่เนื้อ	0.32	19.00					
2	หยิบเนื้อหมูออกมาจากห้องเย็นใส่รถเข็น	1.40						
3	เข็นรถเข็นไปที่เครื่องบดเนื้อ	1.12	29.92					
4	หยิบเนื้อหมูออกจากรถเข็นปาดถุงแล้วใส่ในเครื่องบดเนื้อ	1.17						
5	หยิบถังมารองเนื้อหมูที่บดเสร็จแล้ว	0.04						
:	:	:	:	:	:	:	:	:
55	นำหมูยอแผ่นที่แพ็คแล้วไปใส่รถเข็น	0.56	1.54					
56	เข็นรถเข็นนำหมูยอแผ่นไปที่ห้องเย็น	0.43	21.00					
57	เก็บหมูยอแผ่นในห้องเย็นเพื่อรอจัดจำหน่าย	1.50						
รวม		178.62	150.52	29	17	5	5	1

รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตหมูยอแผ่นวิธีการปัจจุบัน

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	เข็นรถเข็นไปเอาเนื้อหมูที่ห้องเย็น	0.30	19.00					
2	หยิบเนื้อหมูออกมาจากห้องเย็นใส่รถเข็น	1.36						
3	เข็นรถเข็นไปที่เครื่องบดเนื้อ	0.58	29.92					
4	หยิบเนื้อหมูออกจากรถเข็นปาดถุงแล้วใส่ในเครื่องบดเนื้อ	1.15						
5	หยิบถังมารองเนื้อหมูที่บดเสร็จแล้ว	0.06						
:	:	:	:	:	:	:	:	:
43	นำลูกชิ้นที่แพ็คแล้วไปใส่รถเข็น	1.26	7.00					
44	เข็นรถเข็นนำลูกชิ้นไปที่ห้องเย็น	0.58	28.80					
45	เก็บลูกชิ้นในห้องเย็นเพื่อรอจัดจำหน่าย	2.00						
รวม		114.11	206.66	19	16	4	5	1

รูปที่ 3 แผนภูมิกระบวนการผลิตลูกชิ้นวิธีการปัจจุบัน



รูปที่ 4 แผนภูมิสปาเก็ตตี้ปัจจุบัน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การวิเคราะห์ปัญหา

ศึกษากระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า หมูยอแผ่นและลูกชิ้นจากแผนภูมิกระบวนการผลิตและแผนภูมิสปาเก็ตตี้ โดยปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำหลักการความสูญเสีย 7 ประการ มาใช้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ปัญหากระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า

ลำดับที่	ปัญหา	สาเหตุ	ความสูญเสีย
1	ปัญหาถังเก็บแป้งและในส่วนของพื้นที่เตรียมเครื่องปรุงกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น	วางผังไม่เหมาะสม	Transport
2	ปัญหาตะแกรงตากกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น	วางผังไม่เหมาะสม	Transport
3	ปัญหาการเดินไปกลับที่เดิมซ้ำๆ ระหว่างตะแกรงตากกับเครื่องหั่นหมูยอพริกโบโลน่า	วางผังไม่เหมาะสม	Transport
4	ปัญหาความเหนื่อยล้าจากการตักเนื้อหมูใส่เครื่องอัดหมูยอพริกโบโลน่า	การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น	Motion
5	ปัญหาการคัดหมูยอพริกโบโลน่าที่ไม่สมบูรณ์ออกจากส่วนที่ใช้ได้	กระบวนการผลิต	Processing

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ปัญหากระบวนการผลิตหมูยอแผ่น

ลำดับที่	ปัญหา	สาเหตุ	ความสูญเสีย
1	ปัญหาถังเก็บแป้งและในส่วนของพื้นที่เตรียมเครื่องปรุงกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น	วางผังไม่เหมาะสม	Transport

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการผลิตลูกชิ้น

ลำดับที่	ปัญหา	สาเหตุ	ความสูญเสีย
1	ปัญหาถังเก็บแป้งและในส่วนของพื้นที่เตรียมเครื่องปรุงกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น	วางผังไม่เหมาะสม	Transport

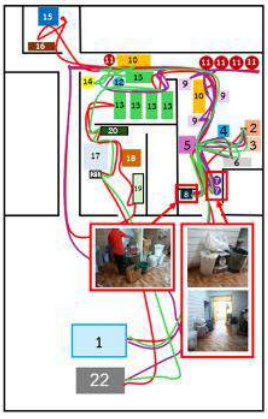
4.2 สาเหตุและวิธีการแก้ปัญหาความสูญเสียจากการขนส่ง

4.2.1 จากตารางที่ 4.1 ลำดับที่ 1 ปัญหาถังเก็บแป้งและในส่วนของพื้นที่เตรียมเครื่องปรุงกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น

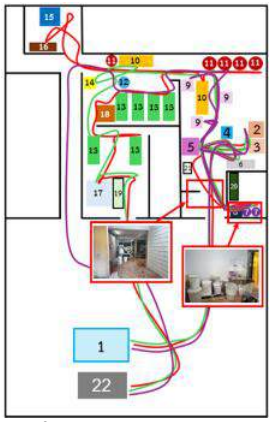
สาเหตุเกิดจากการวางผังไม่เหมาะสม

รายละเอียดสาเหตุของปัญหา : เนื่องด้วยเวลาที่ทำการขนย้ายเนื้อหมูจากห้องแช่แข็งมายังเครื่องบดเนื้อหมูต้องผ่านพื้นที่บริเวณถังเก็บแป้งและบริเวณเตรียมเครื่องปรุง ซึ่งพื้นที่ถังเก็บแป้งตั้งกีดขวางทางการขนย้ายทำให้ไม่สะดวกต่อการขนย้าย

วิธีการปรับปรุง



รูปที่ 5 ตำแหน่งวางถังแป้งและเครื่องปรุงก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 6 ตำแหน่งวางถังแป้งและเครื่องปรุงหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 6 บริเวณกรอบสีแดง ได้ใช้หลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) ในส่วนของ Rearrange มาแก้ปัญหา โดยการย้ายถังแป้งและพื้นที่เตรียมเครื่องปรุงมาไว้ในห้องเฉพาะสำหรับจัดเก็บวัตถุดิบ ซึ่งลำดับขั้นตอนการทำงานจึงมีการเปลี่ยนแปลง

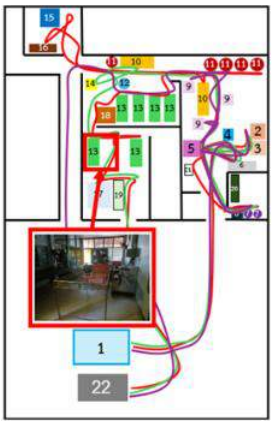
4.2.2 จากตารางที่ 4.1 ลำดับที่ 2 ปัญหาตะแกรงตากกีดขวางบริเวณทางเดินของรถเข็น

สาเหตุเกิดจากการวางผังไม่เหมาะสม

รายละเอียดสาเหตุของปัญหา : เนื่องด้วยเวลาที่ทำการขนย้ายเนื้อหมูที่ผสมกับเครื่องปรุงแล้วจากเครื่องผสมไปยังเครื่องอัดหมูยอพริกโบโลน่า หรือขนย้ายหมูยอพริกโบโลน่าที่อัดเสร็จแล้วมายังหม้อต้ม ต้องผ่านพื้นที่บริเวณตะแกรงตาก ซึ่งพื้นที่ตะแกรงตากตั้งกีดขวางทางการขนย้ายทำให้ไม่สะดวกต่อการขนย้าย

วิธีการปรับปรุง

รูปที่ 7 ตำแหน่งตะแกรงตากก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 8 ตำแหน่งตะแกรงตากหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 8 บริเวณกรอบสีแดง ได้นำหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) ในส่วนของ Rearrange มาแก้ปัญหาโดยการย้ายตะแกรงตากมาไว้ในห้องซีลสูญญากาศ เพื่อตากหมูยอพริกโบโลน่าที่หั่นเสร็จแล้วก่อนบรรจุใส่ถุงและซีลสูญญากาศ ซึ่งลำดับขั้นตอนการทำงานจึงมีการเปลี่ยนแปลง

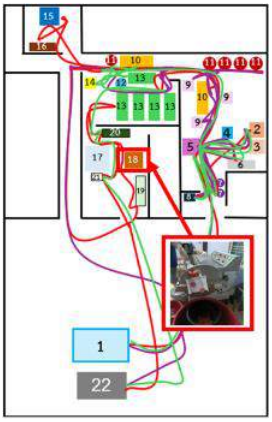
4.2.3 จากตารางที่ 4.1 ลำดับที่ 3 ปัญหาการเดินไปกลับที่เดิมซ้ำๆ ระหว่างตะแกรงตากกับเครื่องหั่นหมูยอพริกโบโลน่า

สาเหตุเกิดจากการวางผังไม่เหมาะสม

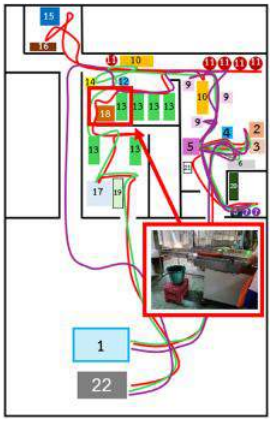
รายละเอียดสาเหตุของปัญหา : ขั้นตอนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่าจะมีการนำหมูยอพริกโบโลน่าจากตะแกรงตากไป

ยังโต๊ะวางหมูยอพริกโบโลน่าเพื่อเตรียมหั่นและนำไปหั่นที่เครื่องหั่นเป็นชิ้น จากนั้นคนงานจะนำหมูยอพริกโบโลน่าที่หั่นเสร็จแล้วนำมาตากอีกครั้งเพื่อให้แห้งสนิทที่ตะแกรงตากเดิม ซึ่งตะแกรงตากหมูยอพริกโบโลน่ากับเครื่องหั่นมีระยะทางที่ไกลจากกันต้องใช้ระยะทางในการเดินมาก และหลังจากตากแล้วก็ต้องนำหมูยอพริกโบโลน่าไปซีลสูญญากาศซึ่งเป็นห้องเดิม ทำให้เกิดการเดินไปกลับที่เดิมซ้ำๆ

วิธีการปรับปรุง



รูปที่ 9 ตำแหน่งเครื่องหั่นก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 10 ตำแหน่งเครื่องหั่นหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 10 บริเวณกรอบสีแดง ได้ใช้หลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) ในส่วนของ Rearrange มาแก้ปัญหา โดยย้ายเครื่องหั่นหมูยอพริกโบโลน่ามาไว้ใกล้ตะแกรงตากทำให้ไม่ต้องเสียเวลาขนย้ายหมูยอพริกโบโลน่าไปห้องที่มีเครื่องหั่น ซึ่งลำดับขั้นตอนการทำงานจึงมีการเปลี่ยนแปลง

4.3 สาเหตุและวิธีการแก้ปัญหาความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น

4.3.1 จากตารางที่ 4.1 ลำดับที่ 4 ปัญหาความเหนื่อยล้าจากการตักเนื้อหมูใส่เครื่องอัดหมูยอพริกโบโลน่า

สาเหตุเกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น

รายละเอียดสาเหตุของปัญหา : ขั้นตอนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่าจะมีการตักเนื้อหมูที่ผสมแล้วใส่เครื่องอัดหมูยอพริกโบโลน่า วิธีการปัจจุบันใช้ถังพลาสติกแบบหูหิ้วในการตักเนื้อหมูยอพริกโบโลน่าจากกะละมังเทใส่ในเครื่องอัดหมูยอพริกโบโลน่า ซึ่งต้องใช้ทั้งสองมือในการตักทำให้คนงานเกิดอาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อและใช้เวลาในการตักนาน

วิธีการปรับปรุง

รูปที่ 11 การตักเนื้อหมูโดยใช้ถังพลาสติก

รูปที่ 12 การตักเนื้อหมูโดยใช้กระบวยสแตนเลส

จากรูปที่ 12 ได้นำหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) ในส่วนของ Simplify โดยการปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงได้เปลี่ยนมาใช้กระบวยสแตนเลสแทนการใช้ถังพลาสติกตักเนื้อหมูยอพริกโบโลน่าและมีการปรับระดับการยืนของคนงานให้สูงขึ้น ทำให้เวลาการตักเนื้อหมูยอพริกโบโลน่า 70 กิโลกรัม เดิมอยู่ที่ 4.54 นาที ลดลงเหลือ 4.26 นาที ลดลง 0.28 นาที

4.4 สาเหตุและวิธีการแก้ไขปัญหาความสูญเสียจากกระบวนการผลิตที่ไม่จำเป็น

4.4.1 จากตารางที่ 4.1 ลำดับที่ 5 ปัญหาการคัดหมูยอพริกโบโลน่าที่ไม่สมบูรณ์ออกจากส่วนที่ใช้ได้

สาเหตุเกิดจากกระบวนการผลิต

รายละเอียดสาเหตุของปัญหา : ขั้นตอนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่าจะมีการคัดแยกหมูยอพริกโบโลน่าที่ไม่สมบูรณ์ออก โดยคนงานจะต้องแยกหมูยอพริกโบโลน่าที่รูปทรงไม่ได้ขนาดออก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาในการคัดแยกนาน

วิธีการปรับปรุง

รูปที่ 13 การคัดแยกหมูยอพริกโบโลน่าก่อนการปรับปรุง

รูปที่ 14 การคัดแยกหมูยอพริกโบโลน่าหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 14 ได้แก้ไขปัญหาตรงกับหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) ในส่วนของ Eliminate คือ การกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก โดยหลังการปรับปรุงจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการหั่นหมูยอพริกโบโลน่าในส่วนที่เป็นของเสียจะมีส่วนของหัวและท้ายของแท่งหมูยอพริกโบโลน่าซึ่งวิธีการหลังปรับปรุงจะให้คนงานใช้มือรองรับส่วนหัวและท้ายของแท่งหมูยอพริกโบโลน่าก่อนตกลงในตะกร้า จากนั้นแยกโดยใช้ตะกร้าแบ่งหมูยอพริกโบโลน่าที่ผ่านเกณฑ์ กับหมูยอพริกโบโลน่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์ออกจากกัน ซึ่งจะสามารถตัดขั้นตอนการคัดแยกหมูยอพริกโบโลที่ไม่สมบูรณ์ออกได้

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า หมูยอแผ่น และลูกชิ้น โดยใช้แผนภูมิกระบวนการแผนภูมิสปาเก็ตตี้ และหลักความสูญเสีย 7 ประการ เพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า จากนั้นนำหลักการลดความสูญเปล่า มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่ การย้ายถังแป้งและพื้นที่ในการเตรียมเครื่องปรุงมาไว้ในห้องเฉพาะสำหรับจัดเก็บวัตถุดิบการย้ายตะแกรงตากมาไว้ในห้องซีลสูญญากาศ การย้ายเครื่องหั่นหมูยอพริกโบโลน่ามาไว้ใกล้ตะแกรงตาก การเปลี่ยนมาใช้กระบวยสแตนเลส แทนการใช้ถังพลาสติก การแยกตะกร้าหมูยอพริกโบโลน่าที่ผ่านเกณฑ์ กับหมูยอพริกโบโลน่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์ออกจากกัน

ผลจากการปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่พบว่าสามารถลดจำนวนขั้นตอนการทำงานจากเดิม 92 ขั้นตอน เหลือ 87 ขั้นตอน ลดลง 5 ขั้นตอน เวลาในการทำงานลดลงจากเดิม 327.60 นาที เหลือ 312.99 นาที ลดลง 14.61 นาที คิดเป็นร้อยละ 4.46 ระยะทางในการทำงานลดลงจากเดิม 403.54 เมตร เหลือ 272.09 เมตร ลดลง 131.45 เมตร คิดเป็นร้อยละ 32.57 และการผลิตหมูยอแผ่น การผลิตลูกชิ้น ก็สามารถลดระยะทางได้เช่นกัน หลังจากปรับการจัดวางตามกระบวนการผลิตหมูยอพริกโบโลน่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากสภาพปัญหาภายในโรงงานยังมีปัญหาที่ต้องได้รับการปรับปรุงอยู่ คือ ปัญหาการเดินไปเตรียมเครื่องปรุงและสีผสมอาหาร ควรเตรียมโต๊ะสำหรับวางส่วนผสมที่เตรียมไว้เสร็จแล้วให้ใกล้กับเครื่องผสม ปัญหารถเข็นไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ควรเปลี่ยนรถเข็นที่ใช้ในการขนย้ายหมูยอพริกโบโลน่าจากเครื่องผสมไปเครื่องอัดเป็นรถเข็นสแตนเลสแบบมีราวจับสำหรับการเข็น ปัญหาพื้นทางเดินไม่สม่ำเสมอ ควรใช้กิจกรรม 5ส เป็นแนวทางในการซ่อมแซมหรือปรับปรุงพื้นให้เรียบและปลอดภัย ปัญหาเครื่องจักรที่ไม่ได้ใช้งาน แต่ยังไม่เอาออกจากโรงงาน ควรใช้กิจกรรม 5ส เป็นแนวทางในการย้ายเครื่องจักรที่ชำรุดออกจากโรงงาน ซึ่งคาดว่าในอนาคตโรงงานจะนำแนวทางการปรับปรุงนี้ไปดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานลูกชิ้นกรณีศึกษาที่ให้โอกาสในการศึกษากระบวนการผลิต รวมถึงให้ความร่วมมือในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วัฒนชัย ประสงค์, สุภาภรณ์ ทุมสอน, “การเพิ่มผลผลิตก้อนเชื้อเห็ดโดยการลดความสูญเปล่า 7 ประการ”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2561, 23-26 กรกฎาคม 2561 อุบลราชธานี, (2561), หน้า 416-420.

[2] ธนารักษ์ หีบแก้ว, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนงานปั๊มขึ้นรูปด้วยเทคนิคความสูญเปล่า 7 ประการ”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่, (2560), หน้า 916-921.

[3] พรศิริ คำหล้า, อาภาพร การเลิศ, ปริญดา ภารรัศมี, และกำธร สารวรรณ, “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาถ่าน กรณีศึกษา : โรงเตาใน

จังหวัดกาฬสินธุ์", วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร ม.อบ., 14(3): (2563), หน้า 1-9.

[4] แผนภูมิสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Chart), ข้อมูลจาก https://www.lean6sigmapro.com/knowledgebase/spaghettidiagram (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 สิงหาคม 2567)

[5] คลอเคลีย วจนะวิชากร, "การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทอผ้าไหมกาบบัว กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนบ้านปะอาว จังหวัดอุบลราชธานี", วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, 15(1): (2565), หน้า 89-101.

[6] กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ, และณัฐวุฒิ พลศรี, "การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน เพื่อลดระยะเวลากระบวนการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเส้นขนมจีนหมัก", วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, 9(1): (2566), หน้า 21-28.

[7] คลอเคลีย วจนะวิชากร, "การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านบุ่งหวาย จังหวัดอุบลราชธานี", วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 13(1): (2562), หน้า 141-152.

[8] คลอเคลีย วจนะวิชากร, ปานจิต ศรีสวัสดิ์, และวรัญญู ทิพย์โพธิ์, "การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษา ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี", วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 9(2): (2559), หน้า 38-46.

[9] วรพจน์ ศิริรักษ์, นิวัติชัย ใจคำ, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, ธวัชชัย คล่องดี, และศริญญา ศิริแสน, "การใช้เทคนิค ECRS เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง", วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, 1(2): (2565), หน้า 1-10.

[10] มงคล กิตติญาณขจร, "การลดความสูญเปล่าในกระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทรายโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต และ ECRS", วารสารวิศวกรรมศาสตร และนวัตกรรม, 15(1): (2565), หน้า 11-22.

การปรับปรุงการทำงานกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษา กลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร

Improving the Pottery Production Process: A Case Study of the Pottery Handicraft Occupation Group in Sakon Nakhon Province

วิเรขา คำจันทร์[1] ปรียากร พิกุลศรี[1] และศักดิ์ดา คำจันทร์[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Wirekha Khamjan[1] Priyakon Phikunsri[1] and Sakda Khamjan[1*]
[1]Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
E-mail: sakda.kh@ku.th[*]

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการทำงานของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษากลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร โดยศึกษา โอ่ง กระถาง และขาตั้ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของกลุ่ม ด้วยการนำหลักการ 5W1H แผนภูมิกระบวนการ แผนผังการไหล หลักการ ECRS และการวางผังโรงงาน มาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงาน ผลการดำเนินงาน การเตรียมดิน ลดระยะทางได้ร้อยละ 16.47 การผลิตโอ่ง ลดเวลาได้ ร้อยละ 2.73 และลดขั้นตอนการผลิตได้ 2 ขั้นตอน การผลิตกระถาง สามารถเจาะรูตรงตำแหน่ง โดยมีความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 100 และลดเวลาการผลิตได้ร้อยละ 4.63 และลดขั้นตอนการผลิต 1 ขั้นตอน การผลิตขาตั้ง ลดเวลาได้ร้อยละ 2.50 และลดขั้นตอนการผลิตได้ 1 ขั้นตอน

คำหลัก หลักการ 5W1H แผนภูมิกระบวนการ แผนผังการไหล หลักการ ECRS

Abstract

This article presents an approach to improving the pottery production process, a case study of the pottery handicraft occupation group in Sakon Nakhon Province. The study uses the 5W1H principles, process charts, flow diagrams, ECRS principles, and factory layout. The study examined jars, pots, and stands, which are the group's primary products, to evaluate and enhance the work. Performance results: Soil preparation reduced the distance by 16.47 percent; jar production reduced the time by 2.73%, and reduced the production steps by 2 steps; pot production can drill holes at the correct positions with 100 percent accuracy, reducing the production time by 4.63%, and reducing the production step by 1 step; stand production reduced the time by 2.50%, and reduced the production step by 1 step.

Keywords: 5W1H Principle, Process Chart, Flow Diagram, ECRS Principle

1. บทนำ

เครื่องปั้นดินเผา เป็นงานศิลปหัตถกรรมที่มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันทั้งทางวัฒนธรรมและเศรษฐกิจ แต่การผลิตเครื่องปั้นดินเผามักมีข้อจำกัด เช่น การใช้แรงงานคนเป็นหลัก ขาดการควบคุมคุณภาพที่เข้มงวด และการใช้ระยะเวลาการผลิตที่ยาวนาน คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาของกลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษาในจังหวัดสกลนคร พบว่ากระบวนการผลิตมีพนักงานทั้งหมด 3 คน โดยการทำงานของพนักงานมักมีการทำงานแบบเคยชิน ซึ่งการทำงานแบบนี้อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในรายละเอียดที่สำคัญไป ทำให้ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตลดลง เช่น การสิ้นเปลืองวัตถุดิบ เกิดของเสียในกระบวนการผลิต และใช้เวลาในการผลิตนาน

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีเป้าหมายนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการทำงานของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาด้วยการนำหลักการการตั้งคำถาม 5W1H แผนภูมิกระบวนการ แผนผังการไหล หลักการ ECRS และหลักการวางผังโรงงาน เข้ามาปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการ 5W1H (What Who Why When Where How) [1] คือวิธีการแก้ปัญหาและการตั้งคำถามที่ครอบคลุมทุกองค์ประกอบของปัญหา มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแนวคิดจากมุมมองที่หลากหลาย ช่วยให้เข้าใจสถานการณ์และปัญหาได้ดี [2] และเพื่อมองแนวคิดจากมุมมองที่หลากหลาย เช่นจากงานวิจัย [3] ทำการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตของขั้นตอนผลิตที่ดูดน้ำมูกของบริษัท ที.ที. อินเตอร์รับเบอร์ จำกัด โดยนำทฤษฎี 5W1H และ ECRS มาใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานไถลหรือกาวเลอะไปยังชิ้นงานอื่น จากการปรับปรุงกระบวนการทำงาน พนักงานสามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น เวลาการผลิตลดลงจาก 20.03 วินาที เหลือ 11.35 วินาที ลดลงไป 8.95 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 44.68

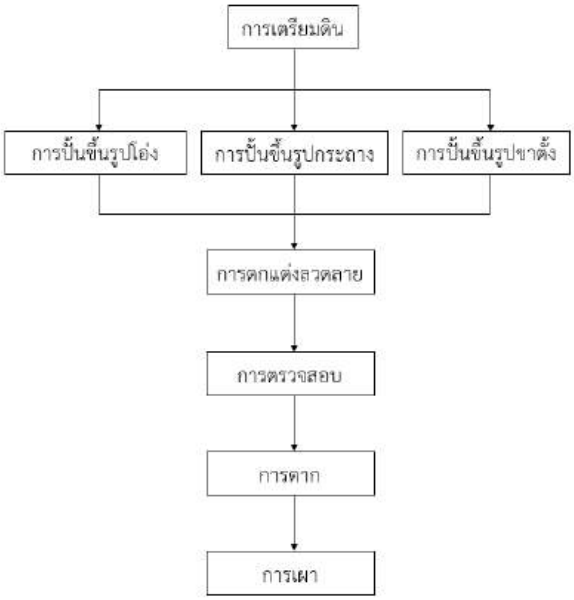
แผนภูมิกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเพื่อบอกรายละเอียดของขั้นตอนกระบวนการ ส่วนใหญ่ใช้ควบคู่กับแผนผังการไหล ซึ่งเป็นการแสดงผังของบริเวณที่ทำงานและตำแหน่งของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง อาจจะกำหนดสเกลหรือไม่ก็ได้ แล้วแต่ความจำเป็นแล้วเขียนเส้นทางการเคลื่อนที่ โดยงานวิจัย [4] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มผลิตภาพแรงงานในกิจกรรมคลังสินค้า โดยนำแผนภูมิกระบวน แผนผังการไหล แผนภูมิคน-เครื่องจักร และเทคนิคการตั้งคำถามมาวิเคราะห์ปัญหา และใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถลดเวลานำได้ร้อยละ 43.21% และเพิ่มอัตราผลิตภาพแรงงานได้ร้อยละ 82.72 และงานวิจัย [5] ได้นำแผนภูมิกระบวนการและแผนผังการไหลมาใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

หลักการ ECRS [6] เป็นทฤษฎีที่ช่วยลดความสูญเสียหรือต้นทุนที่ไม่ได้สร้างผลตอบแทนให้กับองค์กร โดยมาจากคำว่า Eliminate การกำจัด Combine การรวมกัน Rearrange การจัดใหม่ และ Simplify การทำให้ง่ายขึ้น โดยมีงานวิจัย [7] ได้ทำการประยุกต์ ECRS กับบริษัทขนส่งระบบ Milk Run และ [8] ประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS มาปรับปรุงกระบวนการผลิตเตาถ่าน

หลักการวางผังโรงงาน [9] การออกแบบเพื่อจัดสรรพื้นที่ภายในโรงงาน สำหรับติดตั้งเครื่องจักร จัดเรียงอุปกรณ์ วัสดุ และสิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อให้กระบวนการผลิตนั้นสะดวก รวดเร็ว ประหยัดต้นทุน และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด [10] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุและหาแนวทางการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ โดยออกแบบผังโรงงานและการจัดการความปลอดภัยของโรงงานผลิตประตูม้วน

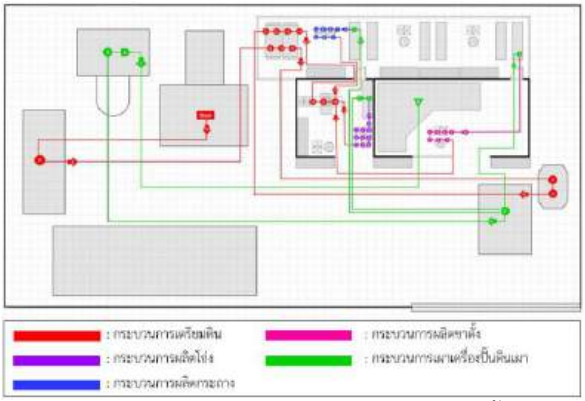
3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผามี 5 ขั้นตอนหลัก ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

3.2 การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ในการศึกษา คือ โอ่ง กระถาง และขาตั้ง เนื่องจากทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์นี้ มีการผลิตมากที่สุด โดยใช้แผนภูมิกระบวนการและแผนผังการไหลในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยภาพที่ 3.2 แสดงแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ตารางที่ 3.1 แสดงแผนภูมิกระบวนการเตรียมดิน ตารางที่ 3.2 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตโอ่ง ตารางที่ 3.3 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตกระถาง ตารางที่ 3.4 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตขาตั้ง และตารางที่ 3.5 แสดงแผนภูมิกระบวนการเผาเครื่องปั้นดินเผา



ภาพที่ 3.2 แผนผังการไหลกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการเตรียมดิน

ลำดับที่	กิจกรรม	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	ลากรถเข็นไปกองดิน		20.4	○	⇨	D	□	▽
2	พักดินใส่รถเข็น	10		●	⇨	D	□	▽
3	ขนดินไปที่หมักดินโดยรถเข็น		26.4	○	⇨	D	□	▽
4	เทดินลงที่หมักดิน	2		●	⇨	D	□	▽
5	เติมน้ำให้ดินเปียกพอดี	5		●	⇨	D	□	▽
6	หมักดินทิ้งไว้	120		○	⇨	■	□	▽
7	ลากรถเข็นไปกองทราย		35.2	○	⇨	D	□	▽
8	ร่อนทรายออกจากสิ่งปนเปื้อน	15		●	⇨	D	□	▽
9	พักทรายใส่รถเข็น	8		●	⇨	D	□	▽
10	ขนทรายไปที่หมักดินโดยรถเข็น		35.2	○	⇨	D	□	▽
11	เททรายลงที่หมักดิน	2		●	⇨	D	□	▽
12	คนดินและทรายให้เข้ากัน	15		●	⇨	D	□	▽
13	หมักดินที่ผสมทรายแล้วทิ้งไว้	120		○	⇨	■	□	▽
14	พักดินที่หมักใส่รถเข็น	10		●	⇨	D	□	▽
15	ลากรถเข็นไปที่เครื่องนวด		6.4	○	⇨	D	□	▽
16	นำดินที่หมักแล้วใส่เครื่องนวดดิน	10		●	⇨	D	□	▽
17	ทำการนวดดินเป็นเส้น	15		●	⇨	D	□	▽
18	ตรวจสอบความชื้นและความละเอียดของดิน	1		○	⇨	D	■	▽
19	ขนดินที่นวดแล้วมาไว้ที่เครื่องปั้นโดยรถเข็น		12.4	○	⇨	D	□	▽
รวม		333	136.0	10	6	2	1	0

ตารางที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตโอ่ง

ลำดับที่	กิจกรรม	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดแป้นปั้นให้ชุ่ม	0.67		●	⇨	D	□	▽
2	ปั้นขึ้นรูปฐานของโอ่ง	1.50		●	⇨	D	□	▽
3	ปั้นขึ้นรูปส่วนล่างของโอ่ง	11.32		●	⇨	D	□	▽
4	นำไม้มาวัดความสูง	0.45		○	⇨	D	■	▽
5	หวีให้เรียบและปรับรูปทรง	1.02		●	⇨	D	□	▽
6	ปั้นขึ้นรูปส่วนบนของโอ่ง	6.15		●	⇨	D	□	▽
7	ปั้นตัวโอ่งทั้งหมด	6.27		●	⇨	D	□	▽
8	หวีให้เรียบ และปรับรูปทรงของโอ่ง	3.25		●	⇨	D	□	▽
9	นำไม้มาวัดความกว้างของปากโอ่ง	0.45		○	⇨	D	■	▽
10	ตกแต่งและเก็บรายละเอียด	1.52		●	⇨	D	□	▽
11	ยกโอ่งไปวางที่ชั้นวาง		3.8	○	➡	D	□	▽
รวม		33.00	3.8	8	1	0	2	0

ตารางที่ 3.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตกระถาง

ลำดับที่	กิจกรรม	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดแป้นปั้นให้ชุ่ม	0.67		●	⇨	D	□	▽
2	ปั้นขึ้นรูปฐานของกระถาง	1.30		●	⇨	D	□	▽
3	ปั้นส่วนตัวของกระถาง	2.03		●	⇨	D	□	▽
4	หวีให้เรียบและปรับรูปทรง	2.10		●	⇨	D	□	▽
5	นำไม้มาวัดความสูง	0.17		○	⇨	D	■	▽
6	เก็บรายละเอียด	0.83		●	⇨	D	□	▽
7	เจาะรูของกระถาง	0.90		●	⇨	D	□	▽
8	ยกขึ้งไปวางไว้บนชั้นวาง		1	○	➡	D	□	▽
รวม		8.00	1	6	1	0	1	0

ตารางที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตขาตั้ง

ลำดับที่	กิจกรรม	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดแป้นปั้นให้ชุ่ม	0.67		●	⇨	D	□	▽
2	ปั้นขึ้นรูปทรงของขาตั้ง	7.53		●	⇨	D	□	▽
3	หวีให้เรียบ และตัดรูปทรง	1.38		●	⇨	D	□	▽
4	ขึ้นรูปทรงส่วนบน	5.43		●	⇨	D	□	▽
5	นำไม้มาวัดความสูง	0.50		○	⇨	D	■	▽
6	หวีให้เรียบและตัดรูปทรง	3.37		●	⇨	D	□	▽
7	เก็บรายละเอียด	1.12		●	⇨	D	□	▽
8	ยกขาตั้งไปวางไว้บนชั้นวาง		4	○	➡	D	□	▽
รวม		20.00	4	6	1	0	1	0

ตารางที่ 3.5 แผนภูมิกระบวนการเผาเครื่องปั้นดินเผา

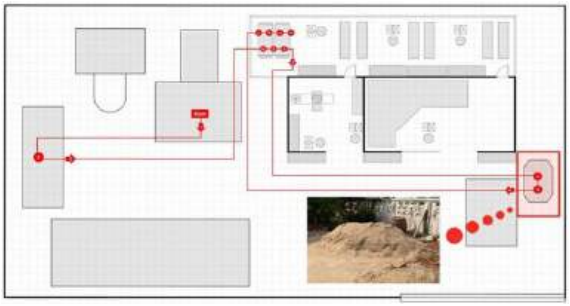
ลำดับที่	กิจกรรม	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์				
1	ตากใบร่ม	3 วัน		○	⇨	●	□	▽
2	ยกผลิตภัณฑ์ไปลานตากแดด		64.5	○	➡	D	□	▽
3	ตากแดด	2 วัน		○	⇨	●	□	▽
4	ยกไปเข้าเตาเผาโดยใช้รถเข็น		34.4	○	➡	D	□	▽
5	เผาผลิตภัณฑ์	720		●	⇨	D	□	▽
6	รอให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว	1 วัน		○	⇨	●	□	▽
7	ยกไปวางที่ลานรอจำหน่ายโดยใช้รถเข็น		30.8	○	➡	D	□	▽
8	เก็บผลิตภัณฑ์รอจำหน่าย	-	-	○	⇨	D	□	▼
รวม		9,360	129.7	1	3	3	0	1

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การวิเคราะห์กระบวนการเตรียมดิน โดยนำหลักการ 5W1H มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาระยะทางที่ใช้ในกระบวนการผลิตไกลเกินไป ดังตารางที่ 4.1 และนำเสนอแผนผังการไหลของการขนดินและทราย ดังภาพที่ 4.1

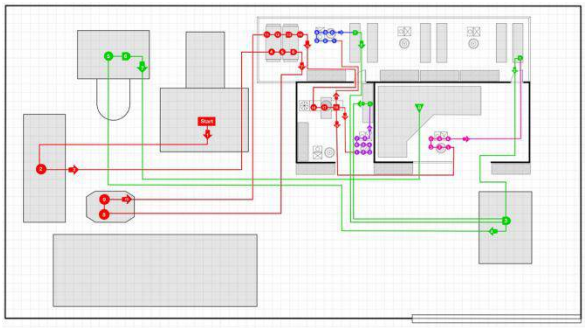
ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการเตรียมดิน

5W1H	ปัญหาระยะทางที่ใช้ในกระบวนการผลิตไกลเกินไป
What (อะไร)	ระยะทางในการขนทราย ในกระบวนการเตรียมดินมีระยะทางไกลเกินไป ทำให้เสียเวลา
Who (ใคร)	พนักงานเตรียมดิน พนักงานขนทราย
Why (ทำไม)	จุดเก็บวัตถุดิบอยู่ห่างจากพื้นที่เตรียมดินมากเกินไป
When (เมื่อไหร่)	ทุกครั้งที่ต้องเตรียมดิน
Where (ที่ไหน)	พื้นที่เก็บกองทรายและจุดเตรียมดินก่อนนำมาใช้ปั้น
How (อย่างไร)	เสนอแนวทางการปรับปรุงผังโรงงานให้มีการจัดวางพื้นที่เก็บกองทรายให้อยู่ใกล้กับจุดเตรียมดินมากขึ้น



ภาพที่ 4.1 แผนผังการไหลของการขนดินและทราย

แนวทางการปรับปรุง นำหลักการวางผังโรงงานมาใช้ในการออกแบบเพื่อจัดสรรพื้นที่ภายในโรงงาน สำหรับจัดเรียงวัสดุ อุปกรณ์ และพื้นที่ปฏิบัติงานของพนักงาน โดยการย้ายกองทรายมาไว้ใกล้กับกองดิน ซึ่งใกล้กับจุดผสมดิน เพื่อให้ลดระยะทางของกระบวนการเตรียมดิน ดังภาพที่ 4.2 แสดงแผนผังการไหลหลังทำการปรับปรุง



ภาพที่ 4.2 แผนผังการไหลหลังทำการปรับปรุง

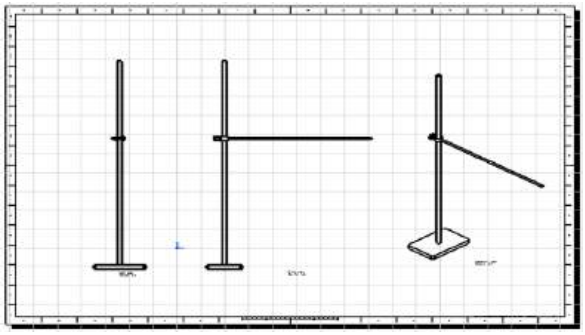
4.2 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตโอ่งและขาตั้ง โดยใช้หลักการ 5W1H มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาระยะเวลาในการผลิตมากเกินไป ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 เป็นปัญหาการนำไม้ขึ้นมาวัด

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ปัญหากระบวนการผลิตโอ่งและขาตั้ง

5W1H	ปัญหาระยะเวลาในการผลิตมากเกินไป
What (อะไร)	ใช้ระยะเวลาในการผลิตมากเกินไป
Who (ใคร)	พนักงานปั้นเครื่องปั้นดินเผา
Why (ทำไม)	เพราะต้องนำไม้มาวัดความสูงและความกว้างเป็นประจำ เพื่อให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน
When (เมื่อไหร่)	ระหว่างกระบวนการผลิตขั้นตอนการปั้นก่อนนำไปตากและเผา
Where (ที่ไหน)	บริเวณพื้นที่ปั้น
How (อย่างไร)	เสนอแนวทางการลดเวลาในการวัด เช่น ใช้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องปั้น ให้แม่แบบความสูงที่แน่นอน ใช้เครื่องมือวัดแบบปรับระดับได้

ภาพที่ 4.3 การนำไม้ขึ้นมาวัด

แนวทางการปรับปรุง นำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงการทำงาน โดยได้ใช้เทคนิค Simplify: S หรือการทำให้ง่ายขึ้น มาใช้ในขั้นตอนการนำไม้ขึ้นมาวัดความสูงและความกว้าง โดยการออกแบบอุปกรณ์วัดความสูงแบบตั้งอยู่กับที่เพื่อลดเวลาที่ต้องเสียไป ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์วัดความสูงและความกว้าง

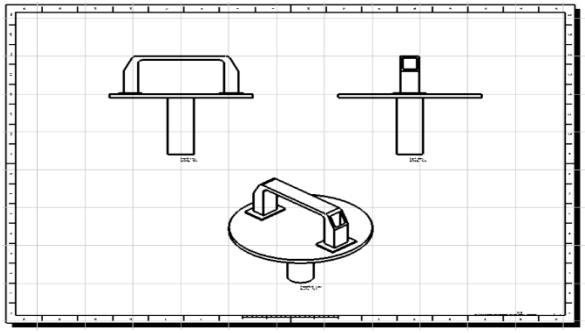
4.3 วิเคราะห์กระบวนการผลิตกระถาง ด้วยหลักการ 5W1H มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาการเจาะรูก้นกระถางไม่ตรงกึ่งกลาง ดังตารางที่ 4.3 โดยทำการสังเกตและเก็บตัวอย่างกระถางทั้งหมด 50 ใบ ดังภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ปัญหากระบวนการผลิตกระถาง

5W1H	ปัญหาการเจาะรูของกระถาง
What (อะไร)	จากการเก็บตัวอย่างการเจาะรูของกระถาง 50 ใบ มีกระถางที่เจาะรูไม่ตรงตำแหน่งหรืออยู่ตรงกลางทั้งหมด 44 ใบ
Who (ใคร)	พนักงานปั้นเครื่องปั้นดินเผา
Why (ทำไม)	ใช้อุปกรณ์ไม่เหมาะสม
When (เมื่อไหร่)	ก่อนกระถางจะแข็งตัวและเซ็ตตัวเต็มที่
Where (ที่ไหน)	ในพื้นที่ขึ้นรูปและตกแต่งผลิตภัณฑ์ก่อนเผา
How (อย่างไร)	ออกแบบจิ๊กหรือไกด์ช่วยเจาะ เพื่อให้พนักงานสามารถกดเจาะในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ง่ายขึ้น

ภาพที่ 4.5 การเจาะรูของกระถาง

แนวทางการปรับปรุง นำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงการทำงานในกระบวนผลิต โดยได้ใช้เทคนิค Simplify: S มาใช้ในขั้นตอนการเจาะรูผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบจิ๊กหรือไกด์ช่วยเจาะ เพื่อการเจาะรูก้นกระถางอยู่ตรงกึ่งกลาง ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 อุปกรณ์จิ๊กหรือไกด์ช่วยเจาะรู

4.4 การวิเคราะห์กระบวนการเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยใช้หลักการ 5W1H มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาการยกผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ปัญหาการขนย้ายผลิตภัณฑ์

5W1H	ปัญหาการยกผลิตภัณฑ์
What (อะไร)	การยกผลิตภัณฑ์ไปตาก
Who (ใคร)	พนักงานยก
Why (ทำไม)	ใช้แรงงานคนในการยก ทำให้ไม่สามารถขนได้หลายชิ้น และทำให้ได้เดินหลายรอบ
When (เมื่อไหร่)	ระหว่างกระบวนการนำไปตากแดด ก่อนนำไปเผา
Where (ที่ไหน)	บริเวณพื้นที่ทำงาน
How (อย่างไร)	เสนอแนวทางให้ใช้รถเข็นแทนใช้แรงงานคนในการยก

แนวทางการปรับปรุง การขนย้ายผลิตภัณฑ์ ได้นำหลักการ ECRS โดยใช้เทคนิค Simplify: S มาใช้ในขั้นตอนการขนย้ายผลิตภัณฑ์ไปลานตากแดด ด้วยการนำรถเข็นมาช่วยในการขนย้าย ดังภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.7 รถเข็นช่วยในการขนย้าย

5. สรุปผลการดำเนินงาน

การปรับปรุงการทำงานของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษา กลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร ได้นำหลักการ 5W1H แผนผังการไหล แผนภูมิกระบวนการ หลักการ ECRS และการวางผังโรงงาน มาใช้ในการวิเคราะห์และเสนอแนวทางการปรับปรุงการทำงานของกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ทำการศึกษา มี 3 ผลิตภัณฑ์ คือ โอ่ง กระถาง และขาตั้ง จากผลการดำเนินงาน สามารถลดระยะทางของกระบวนการเตรียมดิน จากเดิมใช้ระยะทาง 136.00 เมตร ลดเหลือ 113.60 เมตร คิดเป็นร้อยละ 16.47 สามารถลดเวลาของกระบวนการผลิตโอ่งจากเดิมใช้เวลา 33.00 นาที ลดเหลือ 32.10 นาที ซึ่งลดลงร้อยละ 2.73 และสามารถลดขั้นตอนกิจกรรมของกระบวนการผลิตจากเดิม 11 ขั้นตอน ลดเหลือ 9 ขั้นตอน สามารถลดได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนำไม้มาวัดความสูง และขั้นตอนการนำไม้มาวัดความกว้างของโอ่ง สามารถเพิ่มจำนวนกระถางที่เจาะรูตรงตำแหน่งหรืออยู่ตรงกึ่งกลาง จากเดิมมีจำนวนทั้งหมด 6 ใบ จากทั้งหมด 50 ใบ คิดเป็นร้อยละ 12 เพิ่มเป็นสามารถเจาะรูก้นกระถางอยู่กึ่งกลางทุกใบ คิดเป็นร้อยละ 100 หรือสามารถเพิ่มความแม่นยำได้ถึงร้อยละ 88 สามารถลดเวลาของกระบวนการผลิตจากเดิมใช้เวลา 8.00 นาที ลดเหลือ 7.63 นาที คิดเป็นร้อยละ 4.63 และสามารถลดขั้นตอนกิจกรรมของกระบวนการผลิตกระถางจากเดิม 8 ขั้นตอน ลดเหลือ 7 ขั้นตอน สามารถลดได้ 1 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนำไม้ขึ้นมาวัดความสูงของกระถาง สามารถลดเวลาของกระบวนการผลิตขาตั้งจากเดิมใช้เวลา 20.00 นาที ลดเหลือ 19.50 นาที คิดเป็นร้อย 2.50 และสามารถลดขั้นตอนกิจกรรมของกระบวนการผลิตจากเดิม 8 ขั้นตอน ลดเหลือ 7 ขั้นตอน สามารถลดได้ 1 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนำไม้มาวัดความสูงของขาตั้ง และสามารถลดปัญหาการขนย้ายผลิตภัณฑ์ไปตากแดดโดยนำรถเข็นมาช่วยในการยกหรือขนย้าย

ข้อเสนอแนะ ในส่วนที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขจะเป็นปัญหาท่านั่งทำงานของพนักงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้พนักงานรู้สึกเมื่อยล้า ส่งผลต่อคุณภาพของงานที่ลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาการจัดท่านั่งที่เหมาะสม พร้อมทั้งจัดหาเป็นเก้าอี้ที่สามารถปรับระดับความสูงได้ รวมถึงให้มีการยืดกล้ามเนื้อเป็นระยะเพื่อป้องกันการบาดเจ็บจากการทำงาน และปัญหาพื้นเตาเผาที่ไม่เรียบเสมอกัน ทำให้การวางชิ้นงานไม่มั่นคง ส่งผลให้เกิดการแตกหักของผลิตภัณฑ์ขณะทำการเผา ดังนั้นควรปรับระดับพื้นเตาเผาให้เรียบเสมอกัน โดยการใช้ทรายละเอียดหรือดินเหนียวในการช่วยปรับระดับพื้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการให้ข้อมูลกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] 5W1H คือ ทุกเรื่องควรรู้เกี่ยวกับการแก้ปัญหาด้วย 5W1H, ข้อมูลจาก https://www.jorportoday.com /what-is-5w1h/ (วันสืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2568)

[2] กลยุทธ์ 5W1H กับการนำมาประยุกต์ใช้ทางการตลาดเพื่อพัฒนาองค์กร, ข้อมูลจาก https://th.jobsdb.com/th/career-advice/article/what-is-5w1h (วันสืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2568)

[3] เบสท์ วาตานาเบ้, กิตติชัย อธิกุลรัตน์, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคทางวิศวกรรม กรณีศึกษาที่ดูดน้ำมูก”, การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต

กำแพงแสน ครั้งที่ 14: ตามรอยพระยุคลบาทเกษตรศาสตร์กำแพงแสน, 7- 8 ธันวาคม 2560, นครปฐม, (2560), หน้า 653-660.

[4] สัญลักษณ์ บุญอินทร์, ศีขรินทร์ สุขโต, “การเพิ่มผลิตภาพแรงงานในกิจกรรมคลังสินค้า โดยเทคนิค ECRS และการจัดสมดุลงาน”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2561, อุบลราชธานี, (2561), หน้า 58-63.

[5] ชัยวัฒน์ กิตติเดชา, อภิชาติ ชัยกลาง, “การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคการศึกษางาน”, วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, 1(1): 2565, หน้า 21-29.

[6] ECRS คืออะไร ทำไมถึงช่วยลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นในการทำงานได้, ข้อมูลจาก https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/220207-what-is-ecrs/ (วันสืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2568)

[7] การประยุกต์ ECRS กับบริษัทขนส่งระบบ Milk run กรณีศึกษา บริษัท ABC Transport จำกัด, ข้อมูลจาก https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/11661/1/57920031.pdf (วันสืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2568)

[8] พรศิริ คำหล้า, อาภาพร การเลิศ, ปริญดา ภารัศมี, กำธร สารวรรณ, “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาถ่าน กรณีศึกษาโรงเตาในจังหวัดกาฬสินธุ์”, วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 14(3): 2563, หน้า 1-9.

[9] การวางผังโรงงานอุตสาหกรรม (Plant Layout), ข้อมูลจาก http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=1229&section=16&issues=79 (วันสืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2568)

[10] จุรีพร จิระภัทรศิลป์, วัชรินทร์ วิทยกุล วิระเกษตร สวนผกา, “การออกแบบผังโรงงานและการจัดการความปลอดภัยของโรงงานผลิตประตูม้วน”, วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 26(4): 2558, หน้า 69-75.

การออกแบบอุปกรณ์จิ๊กและฟิกเจอร์ในการเพิ่มผลิตภาพการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหาร

Design of Jigs and Fixtures for Productivity Improvement A Case Study of a Food Factory

ณัฐสินี วงษ์วิลาศธนากุล[1] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[1] วรรณนิศา นุชคุ้ม[1*]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
E-mail: wannisa.nu@rmuti.ac.th*

Natsinee Vongwilasthanakul[1] Jittiwat Nithikarnjanatharn[1] Wannisa Nutkhum[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: wannisa.nu@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ B ของโรงงานผลิตอาหารแห่งหนึ่ง โดยพบว่าขั้นตอนการตัดผลิตภัณฑ์ดำเนินการด้วยการคาดคะเนด้วยสายตา ทำให้เกิดความแปรปรวนของขนาดผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการสูญเสียในด้านต้นทุนการบรรจุ การนำหลักการผลิตแบบลีนมาวิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์ช่วยตัดขนาดผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการผลิต ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของความยาวผลิตภัณฑ์ลดลงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.8670 เหลือ 0.0547 หรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 93.7 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มผลิตภาพจาก 64.8 กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง เป็น 86.4 กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.33 นอกจากนี้ ยังสามารถประหยัดต้นทุนจากน้ำหนักเผื่อในการบรรจุได้ถึง 1,179,176 บาทต่อปี

คำหลัก การเพิ่มผลิตภาพ, การผลิตแบบลีน, อุตสาหกรรมอาหาร, การลดต้นทุน

Abstract

This research aims to improve the productivity of Product B in a food manufacturing factory. The current manual cutting process relies on employee estimation, resulting in product length variability and increased packaging costs due to overfilling. By applying Lean Manufacturing technique, the researchers developed a cutting assistance tool to enhance accuracy and efficiency. The results indicated a reduction in standard deviation from 0.8670 to 0.0547, representing a 93.7 percent decrease in product length variation. Productivity increased from 64.8 to 86.4 kilograms per person per hour, equivalent to a 33.33 percent improvement. Additionally, the reduction in weight variability led to a cost saving of 1,179,176 baht per year.

Keywords: Productivity improvement, Lean Manufacturing, Food industry, Cost reduction

1. บทนำ

การเพิ่มผลิตภาพในภาคอุตสาหกรรมอาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งในการตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นของประชากรโลก องค์การสหประชาชาติ (United Nations) คาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2050 ประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.70 พันล้านคน โดยมีอัตราการย้ายถิ่นฐานเข้าสู่สังคมเมืองสูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรโลก [1] การเพิ่มขึ้นของประชากรและความหนาแน่นในพื้นที่เมืองก่อให้เกิดความต้องการทรัพยากรที่มากขึ้น ในขณะเดียวกันโลกกำลังเผชิญกับข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่ลดลง เนื่องจากสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งนี้ ปัญหาดังกล่าวยังนำไปสู่การลดลงของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรและวัตถุดิบอาหาร ส่งผลให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การเพิ่มผลิตภาพ (Productivity Improvement) ในภาคอุตสาหกรรมอาหารจึงเป็นกลไกสำคัญในการรองรับความต้องการของประชากรโลก การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ มาใช้ในกระบวนการผลิตไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มผลผลิตและเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหาร (Food Security) ในระดับโลกเท่านั้น แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย [2] ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ของประเทศ ที่มุ่งเน้นการเพิ่มผลิตภาพการผลิต เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจไปสู่การเป็นประเทศรายได้สูงภายในปี พ.ศ. 2580

จากผลกระทบทางเศรษฐกิจ ประเทศไทยจำเป็นต้องเร่งการปฏิรูปโครงสร้างการผลิตเพื่อกระตุ้นการลงทุนและเพิ่มผลิตภาพการผลิต (Total Factor Productivity) โดยการรักษาอัตราการเติบโตเฉลี่ยระยะยาวสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ การพัฒนาประเทศให้เกิดการเติบโตตามเป้าหมายดังกล่าวจึงต้องเพิ่มการลงทุนจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน พร้อมกับการรักษาอัตราการเติบโตของผลิตภาพการผลิตรวม (Total Factor Productivity) เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันและการเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว [3] การลดต้นทุนเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยให้ธุรกิจสามารถรักษาความได้เปรียบในตลาดและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว การลดต้นทุนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เทคโนโลยีในการผลิตเพื่อลดเวลาและลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น ทำให้องค์กรสามารถเสนอราคาที่แข่งขันได้ในตลาดอุตสาหกรรม การเพิ่มผลิตภาพการผลิต และการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต ในยุคที่โลกกำลังเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงจากเทคโนโลยีดิจิทัล การก้าวทันต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็น การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับการผลิต นำมาซึ่งผลสำเร็จในการเพิ่มผลิตภาพอย่างก้าวกระโดด ควบคู่ไปกับเครื่องมือช่วยเพิ่มผลิตภาพต่าง ๆ อาทิ ระบบกรผลิตแบบลีน (Lean) ไคเซน (Kaizen) [4] เพื่อให้สามารถลดต้นทุนและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิผล

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตอาหารแห่งหนึ่งในประเทศไทยได้มีการลดต้นทุนการผลิตผลิต โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทั้งสิ้น 14 ผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาโดยพิจารณาจากอัตราการเติบโตของยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ 4 อันดับแรกของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด มีอัตราการประมาณการเติบโตของยอดจำหน่าย ดังตารางที่ 1 ข้อมูลประมาณการยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์คาดว่าผลิตภัณฑ์ B จะมียอดจำหน่ายเพิ่มขึ้น 296.90 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงปี 2565 ถึง 2570 สะท้อนถึงความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ข้อมูลประมาณการยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ข้อมูลประมาณการยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ตันต่อปี)						อัตราการเติบโต
	2565	2566	2567	2568	2569	2570	(เปอร์เซ็นต์)
A	1323	1406	1858	2114	2345	2498	88.81%
B	258	440	535	663	828	1024	296.90%
C	760	707	813	867	942	1018	33.95%
D	117	109	126	133	140	147	25.64%

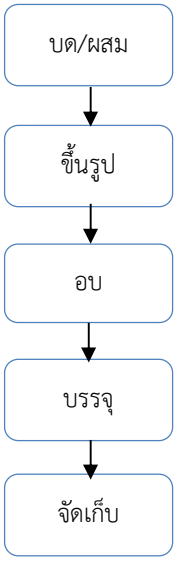
จากงานวิจัยที่มีการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เช่น ปิยะพงษ์ สิงห์บัว และคณะ [5] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตกล้วยบดอัดแท่งแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พบว่า เครื่องผลิตกล้วยบดอัดแท่งแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถสร้างผลผลิตได้เฉลี่ย 12.5 ถึง 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงงานคน

ทั้งในแง่ปริมาณและความคงที่ในการผลิต โดยความสามารถในการทำงานคงที่ ซึ่งส่งผลให้ได้ความยาวของแท่งกล้วยอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 เซนติเมตร ตามที่ต้องการ และคมกริช วีรวัฒนา และคณะ [6] ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการใช้เทคนิคการผลิตแบบลีนในการเพิ่มผลิตภาพ ทำให้ยอดผลิตต่อคนต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น 53.80 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว ศึกษาผลิตภัณฑ์ B โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยเทคนิคไคเซนในการออกแบบอุปกรณ์ตัดขนาดชิ้นงาน เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานมีความยาวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักเผื่อในการบรรจุประมาณ 1,179,176 บาทต่อปี

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาการทำงานปัจจุบัน

การศึกษาสภาพการทำงานในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ B มีพื้นที่ในการผลิตรวม 943 ตารางเมตร มีพนักงานปฏิบัติงาน 78 คน ผลิตภัณฑ์ B เป็นผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว โดยมีกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Process Flow การผลิต

จากรูปที่ 1 Process Flow ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพการทำงาน พบว่า ความยาวของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 เปรียบเทียบความยาวของผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 2 ศึกษาขั้นตอนการขึ้นรูป โดยพบว่าขั้นตอนการการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีการตัดแบบใช้การกะระยะในการตัด ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 การตัดขนาดผลิตภัณฑ์ก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 3 การตัดขนาดผลิตภัณฑ์ พนักงานจะต้องมีการใช้สายตาในการกะระยะในการปฏิบัติงานตลอดเวลา มนัส รงทอง และคณะ [7] ได้ศึกษาปัจจัยเสี่ยงของความเมื่อยล้าทางสายตา จากการศึกษา พบว่า พนักงานที่มีความเมื่อยล้าทางสายตามีแนวโน้มที่จะทำงานช้าลง และเกิดความผิดพลาดมากขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การสูญเสียวัสดุและเวลาในการผลิต งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ผลิตภาพการขนาดผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงความเร็ว 6 ถาดต่อนาที ผลิตภาพก่อนการปรับปรุง ดังนี้

$$\text{Productivity} = \frac{324 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}}{5 \text{ คน} \times 1 \text{ ชั่วโมง}}$$

$$= 64.8 \text{ กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง}$$

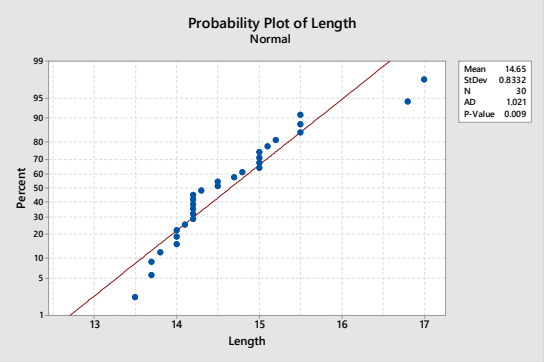
2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

การรวบรวมข้อมูลของผลิตภัณฑ์จากตัวอย่างทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก่อนปรับปรุง

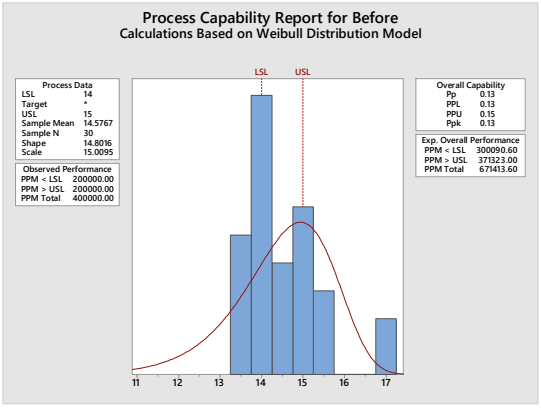
ความยาว (เซนติเมตร)					
14.0	14.2	17.0	13.5	15.2	15.0
14.0	14.2	14.7	13.7	14.0	14.5
15.5	14.5	14.2	13.5	14.1	13.7
15.0	14.8	15.5	13.7	14.2	16.8
15.0	15.0	14.3	13.8	14.2	15.5

จากข้อมูลทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลแสดงกราฟการทดสอบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลก่อนปรับปรุง

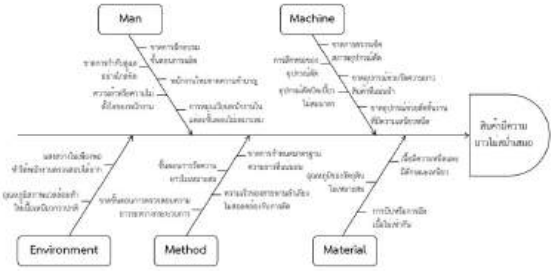
จากรูปที่ 4 พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าข้อมูลความยาวของผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นการจำลองแบบ Weibull ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับรูปร่างการแจกแจงให้เข้ากับข้อมูลได้หลายรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น เวลาที่ชิ้นส่วนจะเสีย หรือค่าทางกายภาพต่าง ๆ ที่มักไม่เป็นปกติ และ Weibull เหมาะกับข้อมูลประเภทนี้ [8] ค่าเฉลี่ยของข้อมูล เท่ากับ 14.65 แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.8332 ซึ่งมีความแปรปรวนสูง งานวิจัยนี้วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 5 ค่าเป้าหมายความยาวของผลิตภัณฑ์ที่ 14.0 ถึง 15.0 เซนติเมตร เนื่องจากการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ใช้พนักงานกะระยะตัดโดยนับช่องของอุปกรณ์รองอบ ทำให้ข้อมูลชุดนี้มีลักษณะไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติ จึงไม่เหมาะกับการใช้สมมติฐาน Normal Distribution จึงเลือกใช้ Weibull Distribution แทนเพื่อให้การประเมินความสามารถของกระบวนการ มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จากค่า Ppk เท่ากับ 0.13 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการไม่สามารถผลิตชิ้นงานให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีอัตราชิ้นงานที่เกินขอบเขตด้านบนสูงมาก จึงมีความจำเป็นในการปรับปรุงเพื่อควบคุมคุณภาพให้ข้อกำหนดในการผลิต

การวิเคราะห์ปัญหา ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร และ ภักดีใจซื่อ [9] ใช้แผนภาพ ก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุได้ออกมาเป็น 3 ปัจจัยคือ Man Machine และ Method พร้อมกาหนดแนวทางการ แก้ไขตามปัจจัยที่วอเคราะห์ได้ สรุปผลจากการแก้ไขปรับปรุงได้ว่าสามารถลดการของเสียได้จ านวน 2,079 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าที่สามารถลดต้นทุนได้ 103,950 บาท ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังการวิเคราะห์ก้างปลา (Fishbone Diagram) แสดงดังรูปที่ 6



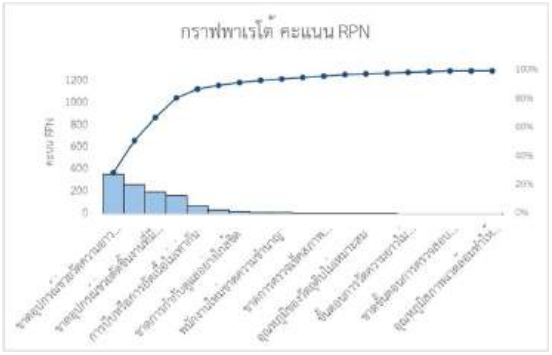
รูปที่ 6 การวิเคราะห์แผนผังก้างปลา

จากรูปที่ 6 การวิเคราะห์ก้างปลา (Fishbone Diagram) ได้ทำการวิเคราะห์ FMEA แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ FMEA

สาเหตุของปัญหา		FMEA			RPN
		SEV	OCC	DET	
Man	ขาดการฝึกอบรมขั้นตอนการผลิต	4	3	1	12
	ขาดการกำกับดูแลอย่างใกล้ชิด	6	2	2	24
	ความล้าหรือความไม่ตั้งใจของพนักงาน	3	3	4	36
	พนักงานใหม่ขาดความชำนาญ	5	3	1	15
	การหมุนเวียนพนักงานในแต่ละขั้นตอนไม่เหมาะสม	2	2	1	4
Machine	ขาดการตรวจเช็คสภาพอุปกรณ์ตัด	4	3	1	12
	การสึกหรอของอุปกรณ์ตัด	4	7	6	168
	อุปกรณ์ตัดบิดเบี้ยวไม่สมมาตร	5	9	6	270
	ขาดอุปกรณ์ช่วยวัดความยาวผลิตภัณฑ์ที่แม่นยำ	6	10	6	360
	ขาดอุปกรณ์ช่วยตัดชิ้นงานที่มีความเหนียวหนืด	4	10	5	200
Material	เนื้อมีความหนืดและมีลักษณะเหนียว	1	10	1	10
	อุณหภูมิของวัตถุดิบไม่เหมาะสม	5	2	1	10
	การบีบหรือการอัดเนื้อไม่เท่ากัน	5	3	5	75
Method	ขาดการกำหนดมาตรฐานความยาวที่แน่นอน	4	2	1	8
	ขั้นตอนการวัดความยาวไม่เหมาะสม	3	2	1	6
	ขาดขั้นตอนการตรวจสอบความยาวระหว่างกระบวนการ	3	1	1	3
	ความเร็วของสายพานลำเลียงไม่สอดคล้องกับการตัด	2	2	4	16
Environment	แสงสว่างไม่เพียงพอ ทำให้พนักงานตรวจสอบได้ยาก	1	2	1	2
	อุณหภูมิสภาพแวดล้อมทำให้เนื้อเหนียวกว่าปกติ	2	1	1	2

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ FMEA ปัญหาผลิตภัณฑ์มีความไม่สม่ำเสมอ ผู้วิจัยได้จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาด้วยผลคะแนน RPN ด้วยการใช้ กราฟพาเรโต้ (Pareto Chart) เพื่อ จัดลำดับคะแนน RPN ของโหมดความล้มเหลวต่าง ๆ โดยใช้หลักการ 80/20 (Pareto Principle) เพื่อระบุว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ของสาเหตุ (Failure Modes) มักเป็นตัวก่อให้เกิด 80 เปอร์เซ็นต์ ของปัญหา แนวทางนี้ช่วยในการคัดเลือกความเสี่ยงที่สำคัญที่สุดสำหรับการจัดการปัญหาทำให้การปรับปรุงแก้ไขเกิดขึ้นโดยมีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นไปที่จุดที่มีผลกระทบสูงสุดต่อความเสี่ยงในกระบวนการ [10] จากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟพาเรโต้คะแนน RPN

จากรูปที่ 7 กราฟพาเรโต้คะแนน RPN ของสาเหตุของปัญหา พบว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของปัญหามาจากเรื่องอุปกรณ์การตัด โดยลำดับที่ 1 คือ ขาดอุปกรณ์ช่วยวัดความยาวผลิตภัณฑ์ที่แม่นยำ, อุปกรณ์ตัดบิดเบี้ยวไม่สมมาตร, ขาดอุปกรณ์ช่วยตัดชิ้นงานที่มีความเหนียวหนืด และ การสึกหรอของอุปกรณ์ตัด

2.3 การกำหนดเป้าหมาย

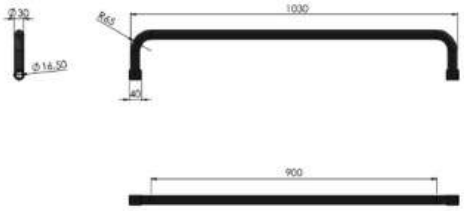
จากการวิเคราะห์ปัญหาผลิตภัณฑ์มีความยาวไม่สม่ำเสมอ การกำหนดเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหา ดังนี้

1) ผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์
2) ค่าเฉลี่ยของความยาวอยู่ในช่วงมาตรฐาน 14.0 ถึง 15.0 เซนติเมตร

3) ค่าความแปรปรวนความยาวลดลง 80 เปอร์เซ็นต์
4) ค่าความสามารถของกระบวนการมากกว่า 1

2.4 การปรับปรุงกระบวนการ

จากสภาพการทำงานปัจจุบันทำการออกแบบเครื่องมือที่สามารถวัดระยะตัดขนาดผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ และมีความแปรปรวนของความยาวต่ำที่สุด โดยมีแนวคิดในการสร้าง (Fixture) ในการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ ดังนี้



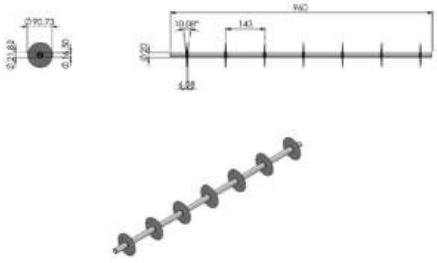
รูปที่ 8 การออกแบบด้ามจับอุปกรณ์

จากรูปที่ 8 การออกแบบด้ามจับอุปกรณ์ มีการกำหนดความยาวของอุปกรณ์ให้พอดีกับขนาดตะแกรงอบผลิตภัณฑ์ที่ความยาว 102 เซนติเมตร และมีความยาวในการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ที่ความยาวอยู่ในช่วงที่กำหนด 14.0 ถึง 15.0 เซนติเมตร ที่การตัด 7 ส่วนต่อถาด สามารถคำนวนระยะห่างระหว่างชิ้นของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

$$\text{ระยะห่างระหว่างชิ้น} = \frac{102}{7}$$

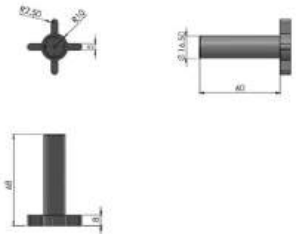
$$= 14.57 \text{ เซนติเมตร}$$

ดังนั้น การออกแบบระยะห่างระหว่างชิ้น ให้มีขนาด 14.57 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 9



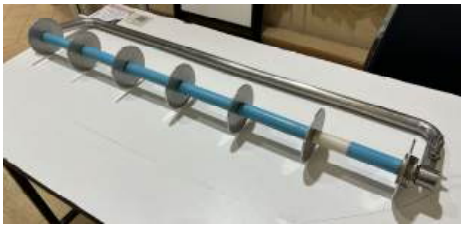
รูปที่ 9 การออกแบบระยะใบตัดของอุปกรณ์

ผู้วิจัยได้ออกแบบตัวยึดใบตัดโดยทำให้สามารถปรับขนาดใบตัดได้ เพื่อรองรับความต้องการที่อาจเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในอนาคต ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การออกแบบตัวยึดใบตัด

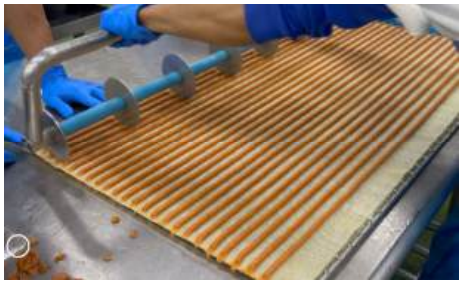
จากรูปที่ 8 ถึง 10 สามารถแสดงภาพรวมของอุปกรณ์วัดระยะตัดผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อุปกรณ์ช่วยตัดผลิตภัณฑ์ขณะขึ้นรูป

3. ผลการดำเนินการ

จากการออกแบบอุปกรณ์วัดระยะและตัดขนาดผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทดลองใช้งานอุปกรณ์ ดังรูปที่ 12



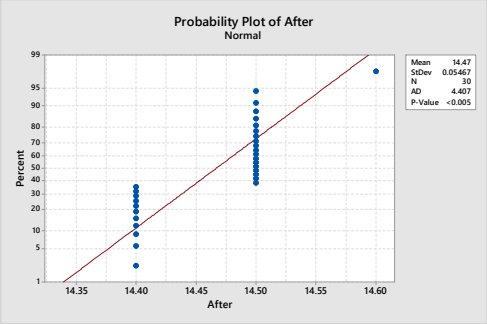
รูปที่ 12 การทดลองอุปกรณ์วัดระยะและตัดขนาด

จากรูปที่ 12 การเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากการทดลอง และวัดความยาวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ตัด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังปรับปรุง

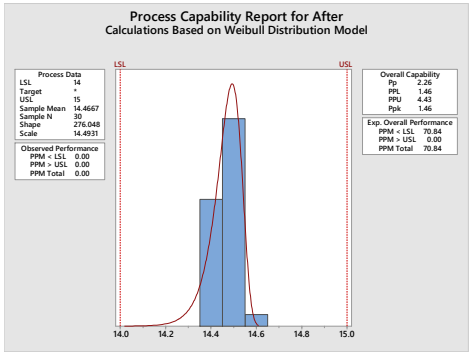
ความยาว (เซนติเมตร)					
14.4	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4
14.4	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
14.5	14.5	14.4	14.5	14.5	14.4
14.4	14.4	14.4	14.5	14.5	14.6
14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4

จากข้อมูลผู้วิจัยทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล แสดงกราฟการทดสอบ ดังรูปที่ 13



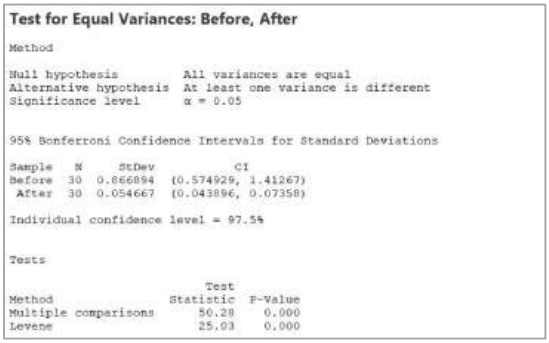
รูปที่ 13 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 13 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลความยาวหลังการปรับปรุง พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าข้อมูลความยาวของผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จากกราฟค่าเฉลี่ยของข้อมูล เท่ากับ 14.47 แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.05467 ซึ่งมีความแปรปรวนต่ำ วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 14 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วย ค่าเป้าหมายความยาวของผลิตภัณฑ์ที่ 14.0 ถึง 15.0 เซนติเมตร การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการโดยใช้ Weibull Distribution ค่า Ppk เท่ากับ 1.46 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสามารถผลิตชิ้นงานให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังการใช้เครื่องมือช่วยตัด พบว่าเวลาต่อหน่วยลดลงจาก 10 วินาทีต่อชิ้นเหลือ 6 วินาทีต่อชิ้น ลดเวลาการผลิตได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith (2023) [11] ที่พบว่าการใช้เครื่องมือช่วยตัดช่วยเพิ่มความเร็วในการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถเปรียบเทียบข้อมูลความยาวผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังปรับปรุง ดังรูปที่ 15 และ 16



Test for Equal Variances: Before, After

Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	α = 0.05

95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Before	30	0.866894	(0.574929, 1.41267)
After	30	0.054667	(0.043896, 0.07358)

Individual confidence level = 97.5%

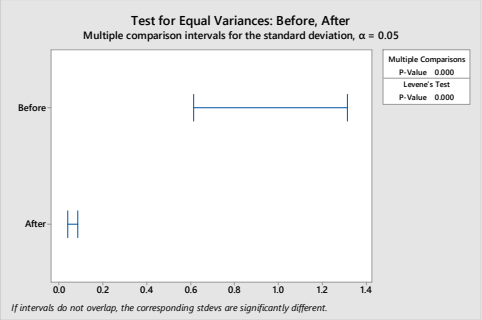
Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	50.28	0.000
Levene	25.03	0.000

รูปที่ 15 การวิเคราะห์สถิติ Test for Equal Variances: Before, After

จากรูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยหลังปรับปรุง (After) เท่ากับ 14.466 ลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุง (Before) เท่ากับ 14.577 แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (T เท่ากับ 0.69, p เท่ากับ 0.493) โดยช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความแตกต่างอยู่ระหว่าง -0.214 ถึง 0.434 ซึ่งครอบคลุมค่าศูนย์ สะท้อนว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความแปรปรวนของข้อมูลมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ก่อนการปรับปรุง เท่ากับ 0.8670 ขณะที่หลังการปรับปรุง มีค่าเพียง 0.0547 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจุกตัวมากขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับภาพ Boxplot ที่แสดงให้เห็นว่าก่อนปรับปรุงมีการกระจายตัวของ

ข้อมูลกว้างกว่า และยังมีค่าผิดปกติ (outliers) ปรากฏอยู่ในขณะที่หลังปรับปรุงไม่มี outliers และการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างแคบและอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน อัตราความผิดพลาดลดลงจาก 15 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2 เปอร์เซ็นต์ หลังปรับปรุง สะท้อนถึงความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นจากการใช้เครื่องมือวัดระยะตัดแบบกำหนดตำแหน่งคงที่ [12] ความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟ Test for Equal Variances: Before, After

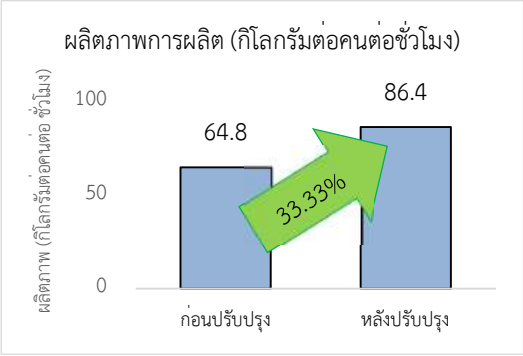
จากรูปที่ 16 ผลการทดสอบความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้สถิติ จากการแจกแจงของข้อมูลที่ไม่เป็นปกติ Robert Wall Emerson [13] ได้กล่าวถึงการตรวจสอบสมมติฐานของ ANOVA ว่า แต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ (homogeneity of variances) ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญก่อนจะใช้ ANOVA ได้อย่างถูกต้อง โดย Levene's Test มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องเป็นการแจกแจงแบบปกติ จึงเป็นทางเลือกที่นิยมมากกว่าการทดสอบอื่นเช่น Bartlett's Test ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Levene's Test และ Multiple Comparisons ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า P-value ของทั้งสองวิธีเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยก่อนการปรับปรุงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (StDev) เท่ากับ 0.8669 ขณะที่หลังการปรับปรุงลดลงเหลือเพียง 0.0547 สะท้อนให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ลดความแปรปรวน และเพิ่มความเสถียรในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้การใช้เครื่องมือในการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ยังทำให้ความเร็วในการตัดขนาดเพิ่มขึ้น จากเดิม 6 ถาดต่อนาที เป็น 8 ถาดต่อนาที ผลิตภาพหลังการปรับปรุง ดังนี้

$$\text{Productivity} = \frac{432 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}}{5 \text{ คน} \times 1 \text{ ชั่วโมง}}$$

$$= 86.4 \text{ กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง}$$

จากผลิตภาพโดยรวมจากเดิม 64.8 กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง เมื่อผ่านการปรับปรุงกระบวนการผลิตและขั้นตอนการทำงาน ผลิตภาพหลังปรับปรุง เท่ากับ 86.4 กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง จากการสำรวจ พนักงาน 85 เปอร์เซ็นต์ รายงานว่าความเหนื่อยล้าลดลง เนื่องจากไม่ต้องกะระยะตัดด้วยสายตาตลอดเวลา [14] ในลักษณะคล้ายกัน บัญชา อริยะจรรยา, วรัตถา อุทยารัตน์ [15] ได้ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับผลิตขนมธัชพืชอัดแท่ง สามารถลดเวลาการผลิตขนมธัญพืชอัดแท่งจาก เดิม 1.83 นาทีต่อชิ้น เหลือ 1.22 นาทีต่อชิ้น คิดเป็นเวลาที่ใช้ในการผลิตลดลง 33.42 เปอร์เซ็นต์ ลดของเสียลงได้ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ และผู้ใช้มี ทัศนคติต่ออุปกรณ์และวิธีการท างานใหม่ในด้านความพึงพอใจ ความสะดวก และความปลอดภัยในการทำงานเพิ่มขึ้นจาก 40.47 เปอร์เซ็นต์ เป็น 95.24 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้ สามารถคำนวนผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็น 33.33 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผลิตภาพโดยรวมก่อนและหลังปรับปรุง

4. อภิปรายผล

จากการออกแบบเครื่องมือในการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ พบว่า เครื่องมือสามารถลดความแปรปรวนของความยาวผลิตภัณฑ์ได้ดี (ค่า SD) ลดลงประมาณ 93.7 เปอร์เซ็นต์ หลังการดำเนินการ ซึ่งเป็นการลดลงในระดับที่สูงมาก แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่มีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นในกลุ่มตัวอย่างหลังปรับปรุง การลดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ และประภากร มูลเงิน [16] ได้ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ พบว่าปัญหาที่เกิดสูงสุดคือไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง คิดเป็นสัดส่วนของเสีย 0.346 เปอร์เซ็นต์ จึงได้นำปัญหานี้มาทำการวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขโดยใช้ผังก้างปลา และ เทคนิคทำไม – ทำไม พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป เนื่องจากไม่มีการระบุตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น จึงทำการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้พาย จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน และจัดอบรมวิธีปฏิบัติงานให้กับพนักงานและหัวหน้างาน ผลจากการดำเนินการปรับปรุง สามารถลดของเสียที่เกิดจากไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้างจาก 0.346 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าของเสีย 1,994,138 บาทต่อปี เหลือเพียง 0.067 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าของเสีย 383,733 บาทต่อปี คิดเป็นของเสียที่ลดลงได้ 1,610,405 บาทต่อปี หรือลดลงได้ 80.6 เปอร์เซ็นต์

ผลิตภาพกระบวนการผลิต จากการออกแบบเครื่องมือเครื่องมือออกแบบจากวัสดุสแตนเลสเกรดอาหาร มีอายุการใช้งานยาวนานและทนทานต่อสภาพแวดล้อมการผลิตอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ Green (2023) ที่เน้นความสำคัญของการเลือกวัสดุในอุตสาหกรรมอาหาร ในการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ พบว่า เครื่องมือสามารถเพิ่มผลิตภาพการผลิตได้ 33.33 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุง ในลักษณะคล้ายกัน ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร และคณะ [17] ได้ปรับปรุงขั้นตอนการ ขึ้นรูปขนมปังแพที่ค่าแรงวันละ 350 บาท ก่อนการปรับปรุง ใช้พนักงานจำนวน 8 คน ผลผลิตโดยเฉลี่ย 22,927 แพ็คต่อวัน ผลิตภาพแรงงานที่เกิดขึ้น 2,865 แพ็คต่อคนต่อวัน ต้นทุนค่าแรงงานขั้นตอนการขึ้นรูป ขนมปังแพ 0.122 บาทต่อแพค หลังการปรับปรุง ใช้พนักงานจำนวน 6 คน ผลผลิตโดยเฉลี่ย เพิ่มขึ้นเป็น 26,340 แพ็คต่อวัน ผลิตภาพแรงงาน ที่ เกิดขึ้น 4,390 แพ็คต่อคนต่อวัน ทำให้ผลิตภาพแรงงาน ขั้นตอนการขึ้นรูปขนมปังแพเพิ่มขึ้น 53.22 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าแรงงานขั้นตอนการขึ้นรูปขนมปังแพ 0.08 บาทต่อแพค ต้นทุนลดลง 0.042 บาทต่อแพ็ค ลดลง จากเดิม 34.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับงานวิจัยการขึ้นรูปขนมปังแพ พบว่าปัจจุบันงานวิจัยนี้ยังต้องมีการศึกษาถึงการลดการใช้แรงงานในตัดขนาดผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อควบคุมคุณภาพชิ้นงานและส่งผลต่อต้นทุนด้านแรงงานทางตรงในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วย

นอกจากนี้ รัฐพล ดุลยะลา [18] ได้ศึกษาและออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่าสามารถตัดกระยาสารทได้เวลาเฉลี่ย 14.96 นาที ต่อกระยาสารท 7 กิโลกรัม คิดเป็นประสิทธิภาพเท่ากับ 41.12 เปอร์เซ็นต์ และได้จำนวนชิ้นมาตรฐานเฉลี่ย 553.2 ชิ้น จากจำนวนทั้งหมด 700 ชิ้น คิดเป็นประสิทธิภาพเท่ากับ 68.29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบจากแรงคนตัดกระยาสารท แต่เครื่องตัดกระยาสารทไม่สามารถปรับขนาดชิ้นงานอื่นได้ แตกต่างจากงานวิจัยที่ค้นคว้าทางผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตัดขนาดผลิตภัณฑ์ B สามารถปรับขนาดได้ ทำให้การใช้งานเครื่องมือตัด มีความยืดหยุ่นมากกว่า หากมีความต้องการในการปรับขนาดผลิตภัณฑ์ในอนาคต เนื่องจากเครื่องมือสามารถปรับขนาดระยะของใบตัดได้ง่าย เครื่องมือนี้มีศักยภาพปรับใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ผลิตภัณฑ์แท่งรูปทรงกระบอก เนื่องจากระบบปรับระยะตัดได้อย่างยืดหยุ่น

5. สรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ B ของโรงงานอาหารแห่งหนึ่ง โดยปัญหาคือความไม่สม่ำเสมอของความยาวผลิตภัณฑ์อันเกิดจากการตัดด้วยการคาดคะเนของพนักงาน ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและประสิทธิภาพการผลิต ผู้วิจัยจึงออกแบบอุปกรณ์ช่วยตัดแบบกำหนดระยะตัดที่แน่นอน โดยประยุกต์ใช้หลักการผลิตแบบลีน เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานมากขึ้น

การเพิ่มผลิตภาพกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ B ในขั้นตอนการตัดขนาดผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบเครื่องมือในการตัดขนาด เพื่อใช้แทนการคาดคะเนของพนักงาน ผลการดำเนินการพบว่า เครื่องมือที่ออกแบบทำงานได้ดี สามารถลดความแปรปรวนของความยาวผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 93.7 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดปริมาณวัตถุดิบที่สูญเสียได้ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลิตภาพได้ถึง 33.33 เปอร์เซ็นต์ และประหยัดต้นทุนจากน้ำหนักเผื่อในการบรรจุได้มากกว่า 1,179,176 บาทต่อปี แสดงให้เห็นว่าแนวทางการปรับปรุงด้วยเครื่องมือที่ออกแบบสามารถตอบโจทย์ด้านประสิทธิภาพและต้นทุนได้อย่างชัดเจน ส่งผลเชิงบวกต่อการผลิตอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล เสียสละเวลาในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations. (2019). World population prospects 2019: Highlights. United Nations, from https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). The state of food and agriculture 2020 from http://www.fao.org/publications/sofa/2020/en

[3] การเพิ่มผลิตภาพแรงงาน (ผลผลิต) - กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2024), บุรินทร์ ทองอุดม, from https://www.dip.go.th/PRODUCTIVITY.pdf

[4] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2024). Lean กับการเพิ่มผลิตภาพในองค์กร, สืบค้นจาก https://www.ftpi.or.th/wp-content/uploads/2024Going-Lean-for-Sustained-Productivity-Growth-Bitec-21

[5] ปิยะพงษ์ สิงห์บัว และคณะ (2024). การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตกล้วยบดอัดแท่งแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชน, วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, สืบค้นจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/vujournal/article/view/260260

[6] คมกริช วีรวัฒนา, ศุภรัชชัย วรรัตน์ และสมหญิง งามประเสริฐ (2023). การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน ซิกส์ซิกมา: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอาหาร.ข้อมูลจากhttps://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jitubru/article/view/251604/172781

[7] มนัส รงทอง, ไอยเรศ บุญเกิด, นันทิดา โหวดมงคล, ดวงรัตน์ เสือขำ, พรภิไล ถนอมสงัด, และ ธนัชพร มุลิกะบุตร, (2020), ปัจจัยเสี่ยงของความเมื่อยล้าทางสายตาที่เกิดโดยแสงสว่างจากการประกอบอาชีพในบุคลากรคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สืบค้นจาก https://ncst.lru.ac.th/downloadPaper2020.php?paper_id=58

[8] Minitab. (n.d.). Why is Weibull the default distribution for nonnormal capability analysis? Minitab Support. Retrieved April 19, 2025, from https://support.minitab.com/go/weibull-default

[9] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร และ ภักดี ใจซื่อ (2023), การลดของเสียในกระบวนการผลิตขนมทองม้วนมะพร้าวกรอบ, วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal). สืบค้นจาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ienj/article/view/247632

[10] Wang, J., & Liu, X. (2019). Evaluation of RPN threshold using Pareto chart and 80:20 principle [Figure]. In A study on failure mode prioritization. ResearchGate. Retrieved April 19, 2025, from https://www.researchgate.net/figure/338754721

[11] Smith, J. (2023). Time Efficiency in Manufacturing Tools. Journal of Industrial Engineering, 12(3), 45-60.

[12] Brown, L. (2022). Error Reduction in Automated Cutting Systems. International Journal of Food Production, 8(2), 112-125.

[13] Robert Wall Emerson (2022). ANOVA assumptions. Journal of Visual Impairment & Blindness, 116(4). From https://doi.org/10.1177/0145482X221124187

[14] Taylor, R. (2021). Ergonomic Tools and Worker Fatigue in Food Manufacturing. Human Factors in Production, 6(4), 33-47.

[15] บัญชา อริยะจรรยา, วรัตถา อุทยารัตน์ (2020), การประยุกต์วิธีคิดเชิงออกแบบบริการร่วมกับวิธีการศึกษางานเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ระดับวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษา กระบวนการผลิตขนมธัชพืชอัดแท่ง, Naresuan University Engineering Journal. สืบค้นจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/nuej/article/view/240711

[16] สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ และประภากร มูลเงิน (2024), การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่, Journal of Science and Technology Thonburi University. สืบค้นจาก https://ph03.tcithaijo.org/index.php/trusci/article/view/2694

[17] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร, วิโรจน์ ตันติภัทโร, อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง และ ผณิศวร ชำนาญเวช (2021), การเพิ่มผลิตภาพแรงงานในขั้นตอนการขึ้นรูปขนมปังแพ, วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal). สืบค้นจาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ienj/article/view/242337

[18] รัฐพล ดุลยะลา (2020). การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 15(2), 117–131. สืบค้นจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/uruj/article/view/241857

แนวทางการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบโดยใช้เทคนิค 5W1H และหลักการ ECRS

Waste Reduction Guidelines in Canvas Tent Production Process using 5W1H Technique and ECRS Principle

ชลนิภา บุญฟู[1] ปรียาพร ศรีพล[1] ปาริชาติ อิ่นแก้ว[1] และ ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์[1,*]
[1] คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Chonnipa Boonfoo[1] Preeyaporn Sriphon[1] and Parichat Inkaew[1] and Natdhanai Supattananon[1,*]
[1]Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus
E-mail: natdhanai.su@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบโดยประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H และหลักการ ECRS เพื่อลดความสูญเปล่า โดยดำเนินการศึกษาจากกระบวนการผลิตจริง พร้อมจัดทำแผนผังการไหลเพื่อระบุจุดที่เกิดความสูญเปล่า ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีทั้งหมด 21 ขั้นตอน ใช้ระยะทางรวม 31 เมตร และเวลาในการทำงาน 1,767 วินาที ประกอบด้วยกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่า 11 ขั้นตอน กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่จำเป็นต้องมี 9 ขั้นตอน และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า 1 ขั้นตอน หลังการปรับปรุงสามารถลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นได้ 2 ขั้นตอน เหลือ 19 ขั้นตอน ระยะทางลดลงเหลือ 14 เมตร และเวลาในการทำงานลดลงเหลือ 1,624 วินาที คิดเป็นการลดระยะทางได้ร้อยละ 54.84 และลดเวลาในการทำงานได้ร้อยละ 9.22 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ใช้ 5W1H ร่วมกับ ECRS ช่วยเพิ่มลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ
คำหลัก: การลดความสูญเปล่า, หลักการ ECRS, การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

This study aimed to analyze and improve the canvas tent production process by applying the 5W1H technique in conjunction with the ECRS principles to reduce waste. The research was conducted based on the actual production process, with a flowchart created to identify waste points. Preliminary findings revealed that, prior to the improvement, the process consisted of 21 steps, involving a total travel distance of 31 meters and a working time of 1,767 seconds. These included 11 value-added activities, 9 necessary but non-value-added activities, and 1 non-value-added activity. After the improvement, 2 unnecessary steps were eliminated, reducing the total number of steps to 19. The travel distance was reduced to 14 meters, and the working time decreased to 1,624 seconds, representing reductions of 54.84% in distance and 9.22% in time. The results indicate that the application of 5W1H combined with ECRS is effective in minimizing waste in the production process.
Keywords: Waste Reduction, ECRS Principle, Production Improvement

1.บทนำ

ในปี พ.ศ. 2567 ภาคธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตของไทยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2566 ร้อยละ 28.98 [1] ปัจจัยหลักส่วนหนึ่งมาจากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ทำให้ความต้องการสินค้าที่สามารถใช้กลางแจ้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การส่งเสริมความยั่งยืนและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมยังเป็นแนวโน้มสำคัญที่ผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้ประกอบการในปัจจุบันจึงไม่เพียงแต่เน้นการเพิ่มกำลังการผลิตเท่านั้น แต่ยังให้ความสำคัญกับการนำเทคโนโลยีและแนวคิดสมัยใหม่ เช่น แนวคิดลีน (Lean) มาประยุกต์ใช้ เพื่อขจัดความสูญเปล่า เพิ่มความคล่องตัว ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน การนำระบบลีนเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรโดยไม่จำเป็น เช่น แรงงาน วัสดุ เวลา และพื้นที่ ตลอดจนช่วยวางแผนการผลิตให้ชัดเจน ลดของเสีย ลดงานซ้ำซ้อน และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของพนักงานในทุกระดับ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่นำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจ

ธุรกิจผลิตสินค้าเต็นท์ผ้าใบเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่อาศัยความพิถีพิถันทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเลือกวัสดุคุณภาพสูง เช่น ผ้าใบกันน้ำที่ทนต่อแสงแดด ไปจนถึงกระบวนการตัด เย็บ ซีล และประกอบโครงสร้าง ซึ่งหากไม่มีการบริหารจัดการกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ อาจนำไปสู่ความสูญเปล่าทั้งด้านเวลา วัตถุดิบ และแรงงาน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และคุณภาพสินค้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบขาดรูปแบบการทำงานที่ชัดเจนและเป็นระบบ โดยเฉพาะในด้านการจัดเก็บวัสดุ การเคลื่อนย้าย และระยะทางระหว่างจุดผลิตที่มีความไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าต่างๆ กล่าวคือ ใช้เวลาและระยะทางในการผลิตเต็นท์ผ้าใบกว่า 1,767 วินาที และ 31 เมตร ตามลำดับ ต่อการผลิตเต็นท์ผ้าใบ 1 หน่วย ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเพิ่มผลผลิต

จากสถานการณ์ข้างต้น ได้ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบอย่างเป็นระบบ โดยใช้เทคนิค 5W1H และหลักการ ECRS เพื่อระบุจุดที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการลดความสูญเปล่าเหล่านั้น อันจะนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างยั่งยืน

2. การทบทวนวรรณกรรม

การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตจะประยุกต์ใช้แนวคิดต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งแนวคิดหรือเทคนิคที่ได้รับความนิยมคือ เทคนิค 5W1H ซึ่งประกอบด้วยคำถามพื้นฐาน 6 ประการ ได้แก่ What, Why, Where, When, Who และ How เครื่องมือนี้สามารถวิเคราะห์รายละเอียดของกระบวนการได้อย่างรอบด้าน ครอบคลุมถึงเหตุผลในการดำเนินงาน วิธีการปฏิบัติ และผู้เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอน อีกทั้งยังเหมาะสมอย่างยิ่งในการวิเคราะห์เพื่อค้นหากิจกรรมที่ไม่จำเป็นหรือไม่ก่อให้เกิดคุณค่า [2] นอกจากนี้ หลักการ ECRS ได้แก่ Eliminate (การขจัด) Combine (การรวม) Rearrange (การจัดเรียงใหม่) และ Simplify (การทำให้ง่าย) ก็เป็นอีกหนึ่งแนวคิดที่ได้รับความนิยมนำมาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานให้กระชับและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเน้นการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น การจัดลำดับการทำงานใหม่ และการออกแบบงานให้สามารถดำเนินการได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น [3] ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักในระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production) ที่มุ่งเน้นการลดความสูญเปล่าและการเพิ่มคุณค่าให้กับลูกค้า [4]

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้สามารถเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตทั้งหมด ตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นไปจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ทำให้สามารถระบุจุดที่เกิดความสูญเปล่าได้อย่างชัดเจน โดยแผนภูมิประเภทนี้นิยมใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยหลัก ECRS เพื่อวางแผนปรับปรุงอย่างเป็นระบบ [2, 5]

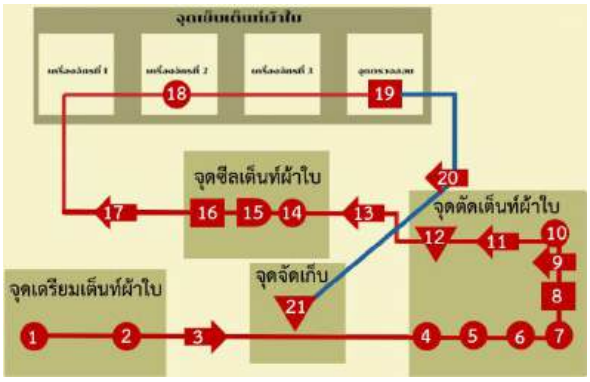
จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การประยุกต์ใช้ 5W1H ร่วมกับหลัก ECRS สามารถนำไปสู่การ

ลดเวลาทำงานและลดระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัสดุในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน [6] ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบโดยอิงจากหลักการเหล่านี้ เพื่อค้นหาแนวทางในการลดความสูญเปล่าและปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิต

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้เริ่มจากศึกษากระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบของบริษัทกรณีศึกษาด้วยแผนภาพการไหล (Flow Diagram) และแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) พบว่า มีทั้งหมด 21 ขั้นตอน ใช้เวลาในการทำงานรวมทั้งสิ้น 1,767 วินาที และใช้ระยะทาง 31 เมตร ต่อการผลิตเต็นท์ผ้าใบ 1 หน่วย ดังรูปที่ 1 และ 2

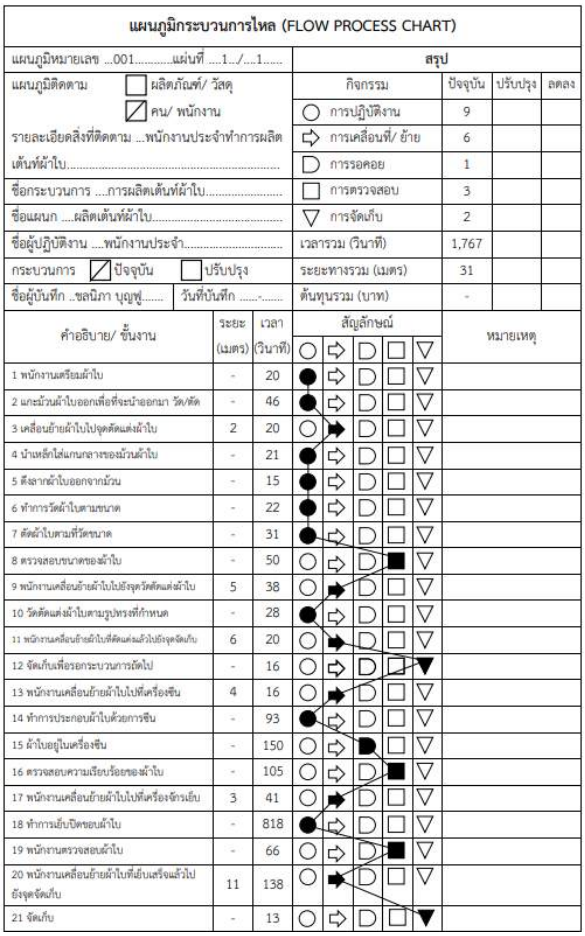


รูปที่ 1 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบ

จากรูปที่ 2 พบว่า มีกิจกรรมการปฏิบัติงาน 9 ขั้นตอน กิจกรรมการเคลื่อนย้าย 6 ขั้นตอน กิจกรรมการรอคอย 1 ขั้นตอน กิจกรรมการตรวจสอบ 3 ขั้นตอน และกิจกรรมการจัดเก็บ 2 ขั้นตอน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวยังมีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า จึงต้องดำเนินการวิเคราะห์กิจกรรมทั้งหมดด้วยเทคนิค 5W1H

3.2 การวิเคราะห์กิจกรรมด้วยเทคนิค 5W1H

หลังจากการศึกษากระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบ ได้นำเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนทั้ง 21 ขั้นตอน ว่าขั้นตอนใดเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่า(VA), กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่จำเป็นต้องมี (NNVA) และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (NVA) ซึ่งผลลัพธ์สามารถอธิบายได้ดังตัวอย่างการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการไหลของการผลิตเต็นท์ผ้าใบ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์กิจกรรมด้วยเทคนิค 5W1H

ขั้นตอน	5W1H	การวิเคราะห์	กิจกรรม
1	What	เตรียมผ้าใบ	VA
	Where	คลังผ้าใบ	
	When	เมื่อมีการผลิต	
	Why	เพื่อเคลื่อนย้ายไปวัด/ตัด	
	Who	พนักงานประจำจุด วัด/ตัด	
	How	พนักงานจุดจัดเตรียมผ้าใบที่คลัง	
2	What	แกะม้วนผ้าใบออกเพื่อที่จะนำออกมาวัด/ตัด	VA
	Where	จุดเตรียมผ้าใบ	
	When	เมื่อมีการผลิตผ้าใบ	
	Why	เพื่อนำผ้าใบเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป	

ขั้นตอน	5W1H	การวิเคราะห์	กิจกรรม
	Who	พนักงานประจำจุดเตรียมผ้าใบ	
	How	พนักงานทำการแกะผ้าใบออก	
...			
11	What	ดำเนินการเคลื่อนย้ายจัดเก็บ	NNVA
	Where	จุดเตรียมผ้าใบ	
	When	หลังจากวัด/ตัด ตามรูปทรงที่กำหนดเสร็จ	
	Why	เพื่อเคลื่อนย้ายไปประกอบชิ้นส่วน	
	Who	พนักงานประจำจุดวัด/ตัด	
	How	เคลื่อนย้ายจากจุดวัด/ตัดตามรูปทรง มายังจุดจัดเก็บ	
12	What	จัดเก็บ	NVA
	Where	จุดจัดเก็บ	
	When	เมื่อเคลื่อนย้ายจากจุดวัด/ตัด	
	Why	เพื่อเคลื่อนย้ายไปยังจุดเครื่องซีล	
	Who	พนักงานประจำจุดวัด/ตัด	
	How	จัดเก็บเพื่อรอกระบวนการถัดไป	
13	What	ดำเนินการเคลื่อนย้ายผ้าใบไปยังเครื่องซีล	NNVA
	Where	จุดเครื่องซีล	
	When	หลังจากเคลื่อนย้ายมายังจุดจัดเก็บ	
	Why	เพื่อทำการซีลหรือประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน	
	Who	พนักงานประจำเครื่องซีล	
	How	เคลื่อนย้ายจากจุดจัดเก็บ ไปยังจุดเครื่องซีลประกอบชิ้นส่วน	
...			
21	What	จัดเก็บรอจัดส่ง	VA
	Where	จุดเก็บสินค้า	
	When	เมื่อทำการเย็บปิดขอบผ้าและบรรจุสินค้าเรียบร้อย	
	Why	เพื่อจัดเก็บรอส่ง	
	Who	ผ้าใบ (สินค้าสำเร็จรูป)	
	How	สินค้าถูกวางที่จุดจัดเก็บเพื่อรอส่ง	

จากตารางที่ 1 พบว่า ขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมที่มีมูลค่าเพิ่ม (VA) มีทั้งหมด 11 กิจกรรม ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 15, 18 และ 21 ขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมที่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม (NVA) มี 1 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 11 และขั้นตอนที่จำเป็นต้องมีแต่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม (NNVA) มีทั้งหมด 9 ขั้นตอน ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 19 และ 20 จึงดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการ ECRS ต่อไป

3.3 การหาแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการ ECRS

จากการวิเคราะห์กิจกรรมในขั้นตอนที่ 3.2 ได้ดำเนินการหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการ ECRS ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการแก้ไขด้วยหลักการ ECRS

ขั้นตอน	กระบวนการ	ปัญหาที่พบ	หลักการ ECRS
11	พนักงานเคลื่อนย้ายผ้าใบที่ตัดแต่งแล้วไปยังจุดจัดเก็บ (NVA)	เคลื่อนย้ายโดยไม่จำเป็น	C
12	จัดเก็บเพื่อรอกระบวนการถัดไป (NNVA)	การจัดเก็บไม่เหมาะสม ทำให้การทำงานไม่ไหลต่อเนื่อง	E

จากตารางที่ 2 ดำเนินการแก้ไขตามแนวทางที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยตัดขั้นตอนที่ 12 (จัดเก็บเพื่อรอกระบวนการถัดไป) ออกเนื่องจากไม่มีความจำเป็น จากการตัดขั้นตอนที่ 12 ทำให้ขั้นตอนที่ 11 ไม่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายผ้าใบที่ตัดแต่งแล้วไปยังจุดจัดเก็บ จึงรวมเข้ากับขั้นตอนที่ 13 เกิดเป็นการเคลื่อนย้ายผ้าใบไปยังเครื่องซีลได้เลย นอกจากนี้มีการปรับจุดจัดเก็บรอส่งใหม่ให้อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับจุดตรวจสอบผ้าใบเพื่อลดระยะทางและเวลาในการเคลื่อนย้ายผ้าใบ เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ว่าง

นั่นคือ การประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H และหลักการ ECRS สามารถช่วยระบุปัญหาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการจัดวางพื้นที่ทำงาน การจัดลำดับขั้นตอน และการเคลื่อนย้ายวัสดุ เช่น การตั้งคำถามว่า Where และ When ทำให้เห็นถึงจุดที่เกิดความล่าช้า ขณะที่หลัก ECRS ช่วยลดขั้นตอนซ้ำซ้อน และลดความสูญเปล่าจากกิจกรรมที่ไม่จำเป็น นำไปสู่การออกแบบกระบวนการใหม่ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4. ผลการวิจัย

จากการแก้ไขตามแนวทางที่นำเสนอในข้อที่ 3.3 พบว่า กระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบมีขั้นตอนลดลง 2 ขั้นตอน จากเดิม 21 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 19 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 9.52 จึงเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงด้วยการบันทึกในแผนภูมิกระบวนการไหล ดังรูปที่ 3

แผนภูมิกระบวนการไหล (FLOW PROCESS CHART)

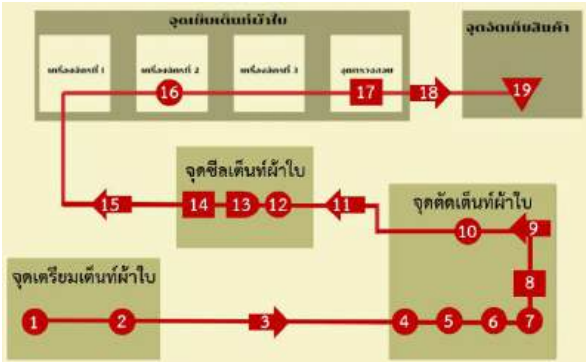
แผนภูมิหมายเลข ...002.....แผ่นที่ ....1.../....1.....
แผนภูมิติดตาม ☐ ผลิตภัณฑ์/ วัสดุ ☒ คน/ พนักงาน
รายละเอียดสิ่งที่ติดตาม ...พนักงานประจำทำการผลิตเต็นท์ผ้าใบ.....
ชื่อกระบวนการ ....การผลิตเต็นท์ผ้าใบ.....
ชื่อแผนก ....ผลิตเต็นท์ผ้าใบ.....
ชื่อผู้ปฏิบัติงาน ....พนักงานประจำ.....
กระบวนการ ☐ ปัจจุบัน ☒ ปรับปรุง
ชื่อผู้บันทึก ..ชลนิภา บุญฟู..... วันที่บันทึก .....-.....

สรุป	ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง
การปฏิบัติงาน	9	9	0
การเคลื่อนที่/ ย้าย	6	5	1
การรอคอย	1	1	0
การตรวจสอบ	3	3	0
การจัดเก็บ	2	1	1
เวลารวม (วินาที)	1,767	1,604	163
ระยะทางรวม (เมตร)	31	14	17
ต้นทุนรวม (บาท)	-	-	-

คำอธิบาย/ ขั้นงาน	ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1 พนักงานเตรียมผ้าใบ	-	20		
2 แกะม้วนผ้าใบออกเพื่อที่จะนำออกมา วัด/ตัด	-	46		
3 เคลื่อนย้ายผ้าใบไปจุดตัดแต่งผ้าใบ	2	20		
4 นำเหล็กไส่แกนกลางของม้วนผ้าใบ	-	21		
5 ดึงลากผ้าใบออกจากม้วน	-	15		
6 ทำการวัดผ้าใบตามขนาด	-	22		
7 ตัดผ้าใบตามที่วัดขนาด	-	31		
8 ตรวจสอบขนาดของผ้าใบ	-	50		
9 พนักงานเคลื่อนย้ายผ้าใบไปยังจุดวัดตัดแต่งผ้าใบ	5	38		
10 วัดตัดแต่งผ้าใบตามรูปทรงที่กำหนด	-	28		
11 พนักงานเคลื่อนย้ายผ้าใบที่ตัดแต่งแล้วไปยังที่เครื่องจีบ	1	6		
12 ทำการประกอบผ้าใบด้วยการจีบ	-	93		
13 ผ้าใบอยู่ในเครื่องจีบ	-	150		
14 ตรวจสอบความเรียบร้อยของผ้าใบ	-	105		
15 พนักงานเคลื่อนย้ายผ้าใบไปที่เครื่องจักรเย็บ	3	41		
16 ทำการเย็บปิดขอบผ้าใบ	-	818		
17 พนักงานตรวจสอบผ้าใบ	-	66		
18 พนักงานเคลื่อนย้ายผ้าใบที่เย็บเสร็จแล้วไปยังจุดจัดเก็บ	3	21		
19 จัดเก็บ	-	13		

รูปที่ 3 แผนภูมิกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 3 พบว่า ระยะเวลาในการทำงานหลังการปรับปรุงคือ 1,701 วินาที และระยะทางคือ 19 เมตร ซึ่งเกิดจากการกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต จึงทำให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐานมากขึ้น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพการไหลของกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4 พบว่า ECRS สามารถลดขั้นตอนการทำงานลงได้ นอกจากนี้ การปรับปรุงพื้นที่ในการจัดเก็บช่วยลดความซับซ้อน ระยะทาง และเวลา ในการเดินทางของพนักงานได้อย่างเหมาะสม

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H ร่วมกับหลักการ ECRS ช่วยลดจำนวนขั้นตอนในกระบวนการผลิตเต็นท์ผ้าใบจาก 21 ขั้นตอน เหลือเพียง 19 ขั้นตอน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 9.52 ระยะทางในการผลิตลดลงจาก 31 เมตร เหลือ 14 เมตร ลดลงร้อยละ 54.84 และเวลาการทำงานลดลงจาก 1,767 วินาที เหลือ 1,624 วินาที หรือร้อยละ 9.22 ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ศิริกุล บุญกอง และคณะ ที่เน้นย้ำว่าการใช้ 5W1H สามารถวิเคราะห์กิจกรรมที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของการพัฒนาอย่างมีระบบ [2] และแสดงให้เห็นว่าหลักการ ECRS มีบทบาทสำคัญในการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและทำให้กระบวนการทำงานไหลลื่นขึ้น [3, 5] โดยเฉพาะการจัดเรียงลำดับใหม่และการขจัดกิจกรรมซ้ำซ้อน ซึ่งในกรณีศึกษานี้สามารถตัดขั้นตอนที่ 12 และรวมขั้นตอนที่ 11 เข้ากับขั้นตอนที่ 13 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H และ ECRS สามารถช่วยลดเวลาและระยะทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ

6. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การปรับปรุงมีประสิทธิผลและยั่งยืนยิ่งขึ้น ควรมีการประเมินผลในมิติอื่นเพิ่มเติม เช่น การวิเคราะห์ต้นทุนก่อนและหลังการปรับปรุง การวัดผลด้านคุณภาพสินค้า และการพิจารณาปัจจัยด้านแรงงาน เป็นต้น [7] นอกจากนี้ ควรพิจารณาการประยุกต์ใช้เทคนิค 5W1H และ ECRS ร่วมกับแนวคิดอื่น ๆ เช่น Kaizen หรือ Value Stream Mapping เพื่อเพิ่มมุมมองเชิงระบบต่อการปรับปรุงกระบวนการ เป็นต้น [8-9]

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จด้วยดีต้องขอขอบคุณคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. “ข่าวประชาสัมพันธ์”, ข้อมูลจาก https://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/news_oiepr/press_MPIOctober2024.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มกราคม 2568)

[2] ศิริกุล บุญกอง ฉัตรชัย เหลาเขตการณ และสุณัฐวีย นอยโสภา. “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตตามแนวคิดแบบลีนกรณีศึกษาโรงงานผลิตเฟอรนิเจอรไม้”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 17(1): 2566 หน้า 22-34.

[3] ชัยวัฒน์ ศรีไชยแสง. “การปรับปรุงระบบการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.

[4] ธนพร จนาพิระกนิฏฐ์ และทัตพงศ์ นามวัฒน์. “การลดความสูญเปล่าและเพิ่มผลตอบแทนการผลิตกระเป๋าผักตบชวาของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดเชียงราย”, วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม, 14(1): 2567, หน้า 64-80.

[5] ภัคพร นิธิทองสกลุ และสถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา. “การสร้างมาตรฐาน และปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเสียภายในกระบวนการซ่อมรถ กรณีศึกษาอู่รถฉัตรชัย”, เอกสารประกอบการประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 16, 19 สิงหาคม 2564 มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี, (2564), หน้า 668-677.

[6] กุสุมา ไชยโชติ. “การลดระยะเวลาการเติมสินค้าหน้าชั้นวางโดยใช้ระบบคัมบัง กรณีศึกษา ธุรกิจค้าปลีก”, การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2560.

[7] ไพสน พระก่ำ และวราพร เขื่อนแก้ว. “สำนักงานสีเขียวอย่างยั่งยืนด้วยทฤษฎี ECRS: การลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นในการทำงาน”, PULINET Journal , 11(1): 2567, หน้า 109-120.

[8] จิรนันท์ จิตรีงาม และยุรพร ศุทธรัตน์. “ผลของการประยุกต์ใช้แนวคิดไคเซ็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดระยะเวลารอคอยของผู้ใช้บริการแผนกกายภาพบำบัด กรณีศึกษา ศูนย์การแพทย์ปัญญานันทภิกขุ ชลประทาน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ”, วารสารกลยุทธ์และความสามารถทางการแข่งขันองค์กร, 2(5): 2566, หน้า 63-77.

[9] จารุวัฒน์ เนตรนิ่ม. “การปรับปรุงกระบวนการการบริหารสินค้าคงคลังโดยใช้ทฤษฎีไคเซ็น กรณีศึกษา: คลังเครื่องแต่งกาย กรมยุทธบริการทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย”, วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ, 8(1): 2560, หน้า 96-110.

การปรับปรุงผังโรงงานด้วยการวางผังอย่างมีระบบร่วมกับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

Facility Layout Improvement Using Systematic Layout Planning and Multi-Criteria Decision Making: A Case Study in the Electronics Industry

จารุวรรณ ดีเสมอ[1] สมเกียรติ ภู่ดี[1] และ ภัทรา ภู่ปรางค์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Jaruwan Deesamer[1] Somkiat Phudee[1] และ Pattra Pooprang[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: pattra.poo@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแผนผังโรงงานให้สามารถรองรับการเพิ่มสายการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 2 สาย โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาของผังโรงงานเดิมที่ไม่สามารถรองรับการขยายตัวได้ ซึ่งพบว่ามีพื้นที่ในการใช้งานไม่เพียงพอ และสายการผลิตมีการจัดเรียงสถานีงานที่ไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) มาใช้ในการออกแบบผังทางเลือกและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) เพื่อประเมินผังทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการออกแบบแผนผังทางเลือกจำนวน 3 แบบ ซึ่งแตกต่างกันในเรื่องของระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ความปลอดภัยในการทำงาน ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง พบว่าแผนผังทางเลือกที่ 3 เป็นแผนผังที่เหมาะสมที่สุด และสามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุได้ถึง 40% จากเดิม

คำหลัก การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ, การวิเคราะห์ลำดับชั้น, การปรับปรุงผังโรงงาน

Abstract

This research aims to improve the factory layout to accommodate the addition of two new production lines for printed circuit board assembly (PCBA). An initial assessment identified that the existing layout could not effectively support expansion due to inadequate workspace and disrupted process flow in Production Line, resulting in excessive material handling and reduced production efficiency. To address these issues, three layout alternatives were designed using Systematic Layout Planning (SLP) and evaluated with Analytic Hierarchy Process (AHP) based on material distance, safety, flexibility, and space utilization. Alternative 3 was selected as optimal, reducing material-handling distance by 40%.

Keywords: Systematic Layout Planning, Analytic Hierarchy Process, Factory Layout Improvement

การลดของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูป: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์

Minimizing Waste in the Casting Process: A Case Study of Engine Block Supplier Factory

ทวี หมัดสะ วิชัย พุ่มจันทร์ อรจิตร แจ่มแสง อุไรวรรณ พงสา
ประสาน แสงเขียว ภูเมศวร์ แสงระยับ และภาสุรีย์ ล้ำสกุล*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

Tavee Madsa, Wichai Pumchan, Uraiwan Pongsa, Orajit Jamesang,
Prasan Saengkhiao, Phoometh Sangrayub, and Pasuree Lumsakul*
Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wong Klai Kang Won Campus
E-mail: pasuree.lum@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา โดยการศึกษานี้เริ่มต้นจาก การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตด้วยแผนภูมิกระบวนการไหลและการเก็บข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิต จากนั้นจัดลำดับความสำคัญของปัญหาของเสียโดยแผนภูมิพาเรโตพบว่า ของเสียส่วนใหญ่มีสองลักษณะ ได้แก่ ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ และทรายแตกทรายร่วง และจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังก้างปลาร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยหลักการ 5 Why Analysis พบว่า สาเหตุของปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบเกิดจากการขาดสมดุลระหว่างอัตราการไหลเข้าและไหลออกของน้ำโลหะทำให้เกิดการแข็งตัวก่อนน้ำโลหะไหลเข้าเต็มแบบ และในส่วนของปัญหาทรายแตกทรายร่วง มีสาเหตุมาจากความหนาแน่น ความชื้น และอุณหภูมิของทรายก่อนอัดแบบไม่เป็นไปตามเกณฑ์การผลิต จึงสามารถกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วย How-How Chart โดยการปรับปรุงแบบแม่พิมพ์เพื่อให้เกิดสมดุลการไหลของน้ำโลหะที่ดีขึ้นสำหรับแก้ปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ และปรับปรุงขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติทราย ผลการปรับปรุงพบว่า จำนวนของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ลดลงถึงร้อยละ 89.49 ซึ่งของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าร้อยละ 8.47 และ0.89 ตามลำดับ

คำหลัก การลดของเสีย/กระบวนการหล่อทราย/ บล็อกเครื่องยนต์

Abstract

This research aims to minimize waste in the casting process of engine block components at the case study factory. The study began with an analysis of the production process using a flowchart and systematic defect data collection, followed by Pareto chart analysis to prioritize issues. The most frequent defects identified were incomplete filling and sand breakage. Root causes were examined

using a Fishbone Diagram and 5 Whys Analysis. Incomplete filling was primarily due to an imbalance between molten metal inflow and outflow, causing premature solidification before the mold was filled, while sand breakage and fall-off resulted from inconsistencies in sand properties—specifically density, moisture content, and temperature—that failed to meet production specifications. Corrective actions were developed using a How-How Chart, which led to mold redesign for improved metal flow and enhancements to the sand inspection process. As a result, the defect rate significantly decreased from 8.47% to 0.89%, demonstrating the effectiveness of structured problem-solving in casting process improvement.

Keywords: Waste Reduction / Sand Casting Process / Engine Block

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้ประกอบการเหล็กหล่อจำเป็นต้องตอบสนองปริมาณความต้องการของตลาด ไปพร้อมกับการรักษาระดับคุณภาพของสินค้าให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความพึงพอใจของลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย [1] ดังนั้นการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อจึงจำเป็นต้องลดการเกิดของเสียให้น้อยที่สุด

โรงงานกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในผู้ประกอบการชิ้นส่วนเหล็กหล่อให้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ยานยนต์ อุปกรณ์การเกษตร การก่อสร้างรวมถึงชิ้นส่วนวิศวกรรมที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งมีการให้บริการผลิตแบบครบวงจร ตั้งแต่การออกแบบการหล่อไปจนถึงการกลึง ซึ่งในปัจจุบัน บริษัทกำลังประสบปัญหาการจัดการของเสียต่าง ๆ ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เช่น ปัญหาทรายแตก ชิ้นงานหดตัว เป็นต้น ซึ่งของเสียเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและอาจส่งผลต่อความไม่คุ้มค่าต่อการทำงานจึงจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไข และปรับปรุงอย่างเร่งด่วน ดังนั้น วิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียและหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาให้มีของเสียค่าลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 2 ของชิ้นส่วนผลิตทั้งหมด ตามมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษา

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียในกระบวนการผลิตถือเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุน ซึ่งสามารถดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาคุณภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการหล่อโลหะอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการศึกษาดังนี้ วรเทพ ตรีวิจิตร และ เถลิง พลเจริญ [1] ลดของเสียจากการตรวจสอบเหล็กแผ่นม้วนโดยใช้แผนผังก้างปลาและ QC 7 Tools วิเคราะห์สาเหตุ ก่อนปรับปรุงด้วยระบบถ่ายโอนข้อมูลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้ลดของเสียจาก 15,892 กิโลกรัมเหลือศูนย์ ธเนศ รัตนวิไล และคณะ [2] นำแผนผังก้างปลาและ 5 Why วิเคราะห์สาเหตุของเสียจากสายพานลำเลียงในกระบวนการผลิตสบู่ก้อน ส่งผลให้อัตราของเสียลดลงจากร้อยละ 12.6% เหลือเพียง 3.7 และคุณภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นิวัฒน์ชัย ใจคา และคณะ [3] ประยุกต์ DMAIC และ ECRS ในการลดของเสียในผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ผ่านการปรับระยะเผื่อวัตถุดิบ ตรวจสอบคุณภาพ และออกแบบ JIG ส่งผลให้ของเสียลดลงกว่าร้อยละ 77 และลดเวลาการผลิตลงร้อยละ 12.33 สมรรถรณ เหรียญนามวงศ์ และศักดิ์ชาย รักการ [4] นำ QC 7 Tools มาวิเคราะห์ปัญหาเครื่อง CNC และดำเนินมาตรการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ พร้อมออกแบบ JIG ช่วยลดความสูญเสียลงได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้นาถวรรณ จรัสทิพย์มณี [5] ปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อไอเสียโดยเพิ่มระยะห่างจุดเชื่อมและปรับมาตรฐานการทำงาน ทำให้ของเสียลดลงร้อยละ 45 และธีระพงษ์ สำราญ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย [6] ทำการทดลองแบบไชนิน (Shainin DOE) ปรับปรุงกระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนเบรก ลดข้อบกพร่องด้านขนาดผิดรูปลงร้อยละ 7.53 และลดทรายตกลงร้อยละ 4.35 จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แผนผังก้างปลา 5 Why Analysis

แผนภูมิพาเรโต, QC 7 Tools และECRS [7] ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการหล่อโลหะอย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

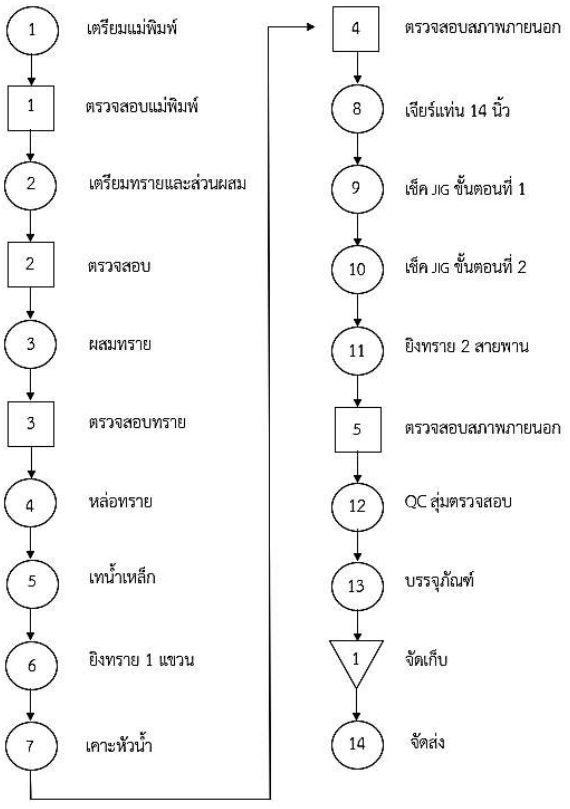
ขั้นตอนการดำเนินงานงานวิจัยเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการระบุสาเหตุและลดปริมาณของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

ผู้วิจัยทำการศึกษากระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ด้วยแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart) ดังแสดงในรูปที่ 1

3.2 การเก็บข้อมูลของเสียด้วย Check Sheet

การเก็บข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตระหว่างเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน พ.ศ. 2567 พบว่ามีกชิ้นส่วนผลิตจำนวน 2,250 2,250 และ 2,370 ชิ้นต่อเดือน และมีของเสียอยู่ 265, 233 และ 84 ชิ้น คิดเป็นของเสียรวมร้อยละ 8.47 โดยโรงงานกรณีศึกษาต้องการลดของเสียลงโดยมีของเสียไม่เกินร้อยละ 2 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด



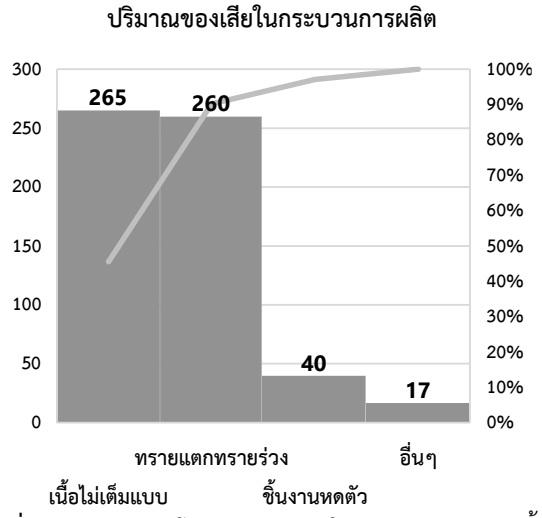
รูปที่ 1 กระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์

3.3 การวิเคราะห์หาปัญหาของเสียด้วยแผนภูมิพาเรโต

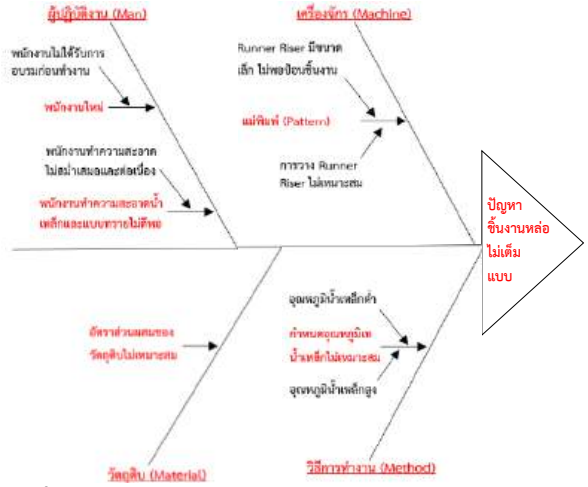
ข้อมูลปริมาณของเสียลักษณะต่าง ๆ ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า ลำดับของปัญหาของเสียที่สำคัญมากที่สุดคือ ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ คิดเป็นร้อยละ 45.53 ลำดับถัดมาคือ ปัญหาทรายแตกทรายร่วง ชิ้นงานหดตัว และของเสียลักษณะอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 44.67,6.87 และ 2.92 ตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ และทรายแตกทรายร่วงมีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน โรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการแก้ไขปัญหาทั้งสองพร้อมกันในการศึกษาครั้งนี้

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ ด้วยแผนผังก้างปลาและ 5 Why Analysis

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบด้วยแผนผังก้างปลา ประกอบกับการพิจารณาหลักการ 5M ดังรูปที่ 3 สามารถระบุสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยของปัญหาเกิดจากผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่ พนักงานใหม่อาจจะไม่ได้รับการอบรมก่อนการปฏิบัติงาน และพนักงานทำความสะอาดน้ำเหล็กและแบบทรายไม่สม่ำเสมอต่อเนื่อง ส่วนสาเหตุที่เป็นไปได้เกิดจากเครื่องจักร คือ Runner มีขนาดเล็กไม่พอป้อนชิ้นงาน และการวาง Runner ไม่เหมาะสม สำหรับสาเหตุที่เป็นไปได้จากปัจจัยด้านวัสดุ คืออัตราส่วนผสมวัตถุดิบไม่เหมาะสม และสุดท้ายคือสาเหตุด้านวิธีการทำงาน ได้แก่ การกำหนดอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป จากนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงของเสียในกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์

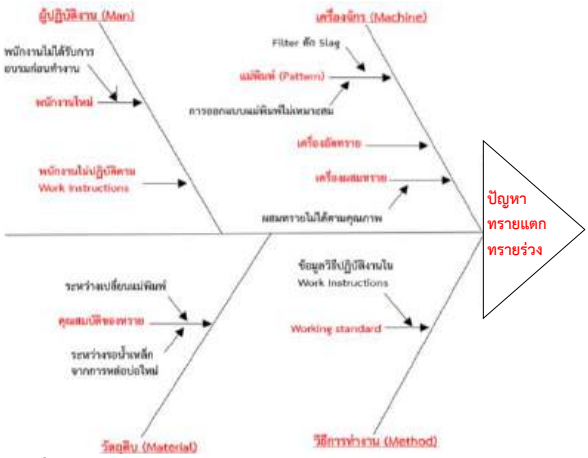


รูปที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังก้างปลาของปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ

5 Why Analysis แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า สาเหตุของปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบลำดับแรก คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำโลหะต่อการไหลออกไม่สมดุลทำให้มีอัตราการไหลช้าและเกิดการแข็งตัวก่อนน้ำโลหะไหลเต็มแบบ [8] จากการตรวจสอบพบว่าสามารถเกิดขึ้นจริง จึงตั้งคำถามว่าทำไมเกิดปัญหานี้ เพราะขนาดของ Runner ต่อ Riserไม่เหมาะสม ซึ่งสามารถเกิดขึ้นจริง จึงตั้งคำถามถุงสาเหตุ พบว่าผู้ออกแบบแม่พิมพ์ออกแบบRunner ไม่เหมาะสม จึงได้ทำการตั้งคำถามว่าทำไมถึงเกิดปัญหานี้ เพราะผู้ออกแบบคำนวณขนาด Runner ไม่เหมาะสม ซึ่งตรวจสอบพบว่าเกิดขึ้นจริง จึงได้พิจารณามาตราการแก้ไข โดยการให้ผู้ออกแบบคำนวณ Runner เพื่อให้เกิดสมดุลการไหลตามหลักการออกแบบระบบทางไหลของน้ำโลหะ (gating system) [8]

3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทรายแตกทรายร่วงด้วยแผนผังก้างปลาและ 5 Why Analysis

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทรายแตกทรายร่วงด้วยแผนผังก้างปลา ประกอบกับการพิจารณาหลักการ 5M ดังรูปที่ 4 สามารถระบุสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยของปัญหาจากผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่ พนักงานใหม่ ที่พนักงานใหม่ไม่ได้รับการอบรมก่อนทำงาน และพนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) ส่วนสาเหตุที่เป็นไปได้จากเครื่องจักร ได้แก่ การออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม ไม่มีการเป่าแม่พิมพ์ ไม่มีการใส่ระบบกรองแยกตะกรัน สำหรับสาเหตุด้านวัสดุคือ คุณสมบัติของทรายระหว่างการรอน้ำเหล็กจากการบ่อใหม่และ/หรือการเปลี่ยนแม่พิมพ์ และสาเหตุด้านวิธีการทำงาน คือพนักงานไม่ปฏิบัติตาม WI

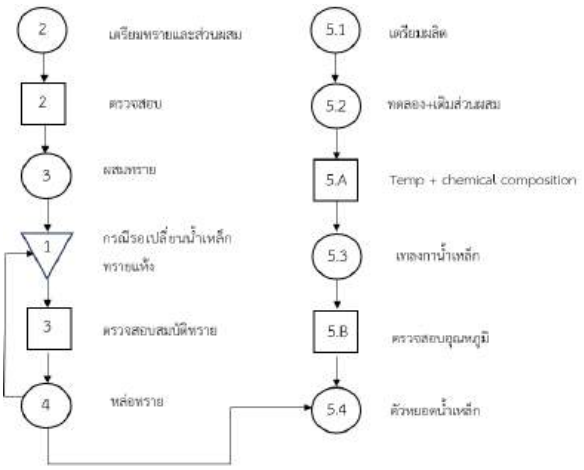


รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังก้างปลาของปัญหาทรายแตกทรายร่วง

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ (Incomplete Filling Defect) ด้วย 5 Why Analysis

ปัญหา: ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ						[✓= จริง ✕ = ไม่จริง △ = ไม่แน่ใจ]
Why 1		Why 2		Why 3		มาตรการการแก้ไข / หมายเหตุ
1. อัตราการไหลเข้าต่อการไหลออกของน้ำโลหะขาดสมดุลส่งผลให้เกิดการไหลช้าและน้ำโลหะแข็งตัวก่อนไหลเต็มแบบ	✓	ผู้ออกแบบแม่พิมพ์ออกแบบขนาด Runner และ Riser ไม่เหมาะสม	✓	ผู้ออกแบบคำนวณขนาด Runner และ Riser ไม่เหมาะสม	✓	ผู้ออกแบบคำนวณขนาด Runner Riser เพื่อให้เกิดสมดุลการไหล
2. อุณหภูมิน้ำเหล็กก่อนการเทไม่ได้เป็นเป็นไปตามมาตรฐานระบุใน WI	✕					ก่อนเทน้ำเหล็กทุกครั้งพนักงานเทน้ำเหล็กและวิศวกรตรวจสอบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติก่อนเททุกครั้ง
3. อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบก่อนเทไม่เป็นไปตามมาตรฐานระบุใน WI	✕					เนื่องจากก่อนเทน้ำเหล็กทุกครั้งนอกจากตรวจสอบอุณหภูมิแล้วต้องตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทุกครั้ง
4. พนักงานดูแลระบบเทน้ำเหล็กขาดความรู้ตามข้อมูล WI	✕					พนักงานทุกคนที่ดูแลระบบต้องผ่านการอบรมและมี WI กำกับการผลิต พร้อมทั้งต้องผ่านการอนุมัติจากวิศวกรก่อนทุกครั้ง

จากนั้นผลการวิเคราะห์แผนผังก้างปลา ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยหลักการ 5 Why Analysis ผลแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า คุณสมบัติทรายก่อนอัดแบบไม่เป็นไปตาม WI เพราะค่าความหนาแน่นของทราย ความชื้น และอุณหภูมิ ไม่ได้มาตรฐานตาม WI ซึ่งตรวจสอบว่าสามารถเกิดขึ้นจริง จึงได้ทำการตั้งคำถามว่าทำไมถึงเกิดปัญหานี้ เพราะกรณีที่มีการรอน้ำเหล็กที่อยู่ระหว่างสายพาน พนักงานไม่ได้ตรวจสอบคุณภาพทรายซ้ำอีกครั้ง สาเหตุนี้สามารถเกิดขึ้นจริง จึงตั้งคำถามและพบว่า ทรายแห้งเนื่องจากการระเหยของความชื้นระหว่างการรอบนสายพาน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นจริง ดังขั้นตอนในรูปที่ 5 จึงหาแนวทางแก้ไขในลำดับถัดไป



รูปที่ 5 แผนผังแสดงขั้นตอนย่อยของขั้นตอนที่ 2-5

3.6 การหาแนวทางแก้ไขด้วยหลักการ How-How Chart

ผลการวิเคราะห์ How-How Chart ในตารางที่ 3 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้เกิดการสมดุลต่อการไหล เริ่มต้นจากการแจ้งฝ่าย Pattern ให้คำนวณ Runner ใหม่ [9] ด้วยโปรแกรม SolidWorks และทำการแก้ไขแบบของแม่พิมพ์ จากนั้นแจ้งฝ่ายเทคนิคให้แก้ไขแม่พิมพ์และส่งให้ฝ่ายผลิตตรวจสอบและทดสอบการใช้งาน ส่วนผลการวิเคราะห์ How-How Chart ของปัญหาทรายแตกทรายร่วงคือ พนักงานตรวจสอบคุณสมบัติทรายทุกครั้งก่อนส่งเข้าเครื่องอัดแบบ ดำเนินการโดยการแก้ไข WI โดยการเพิ่มการตรวจสอบคุณภาพทรายก่อนเข้าเครื่องอัดแบบกรณีมีการรอน้ำเหล็ก หากคุณสมบัติทรายไม่เป็นไปตาม WI ให้ทำการส่งทรายกลับเข้าเครื่องผสมในระยะเวลา 20 วินาทีต่อ 10 เมตร

สรุปผลการปรับปรุงการผลิตเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 พบว่าปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบและทรายแตกทรายร่วง ลดลงร้อยละ 100 (จากร้อยละ 45.53 และ 44.67 เหลือเพียงร้อยละ 0) แต่ยังคงพบของเสียจากสาเหตุอื่น 2 ชิ้น จากการผลิต 225 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.89 สอดคล้องกับเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดไม่เกินร้อยละ 2 ของชิ้นงานผลิต

4. อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากผลการปรับปรุงปัญหาชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบและทรายแตกทรายร่วง โรงงานกรณีศึกษาสามารถลดปริมาณของเสียเหลือเพียงร้อยละ 0.89 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการดำเนินงานก่อนการปรับปรุง ซึ่งมีของเสียอยู่ร้อยละ 8.47 คิดปริมาณของเสียลดลงถึงร้อยละ 89.49 ซึ่งการลดลงของคือการออกแบบ Runner ที่เหมาะสม ช่วยปรับสมดุลการ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาทรายแตกทรายร่วงด้วย 5 Why Analysis

ปัญหา: ทรายแตก ทรายร่วง [✓ = จริง ✕ = ไม่จริง △ = ไม่แน่ใจ]						มาตรการการแก้ไข / หมายเหตุ
Why 1		Why 2		Why 3		
1. เครื่องผสมทรายไม่ได้ตามคุณภาพ	✕					เครื่องผสมอัตโนมัติโดยมีวิศวกรควบคุมตรวจสอบ
2. คุณภาพทรายและส่วนผสม	✕					ทุกรอบการหล่อใช้ทรายชนิดเดียวกัน
3. เครื่องอัดทรายทำงานผิดปกติ	✕					เพราะเป็นเครื่องอัตโนมัติใช้พารามิเตอร์ในการคุมเครื่องเดียวกันหมด
4. แม่พิมพ์หล่อพร้อมระบบกรอง (Filter) สำหรับแยกตะกรัน (Slag) ออกจากโลหะหลอม	✕					เนื่องจากผู้ควบคุมทำการเป่าแม่พิมพ์และตรวจสอบการใส่ระบบกรองแม่พิมพ์ทุกครั้ง
5.ค่าความหนาแน่นของทราย ความชื้น และอุณหภูมิ ก่อนอัดแบบ ไม่ผ่านมาตรฐานตาม WI	✓	หลังผสมทรายพนักงานไม่ได้ตรวจสอบคุณสมบัติของทราย	✕			
		กรณีที่การรอน้ำเหล็ก ทรายที่อยู่ระหว่างสายพาน พนักงานไม่ได้ทดสอบคุณสมบัติซ้ำ	✓	ทรายแห้งเนื่องจากรออยู่บนสายพานนานและทำให้เกิดการระเหยของความชื้น	✓	กรณีที่เกิดการรอน้ำเหล็กพนักงานควรตรวจสอบคุณสมบัติทรายทุกครั้งก่อนนำเข้าเครื่อง Disa อัดแบบ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการ How-How Chart

เป้าหมาย	How 1	How 2	How 3	How 4	มาตรการ
ปัญหา: ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบ					
แก้ไขแม่พิมพ์ให้เกิดสมดุลการไหล	ดำเนินการแจ้งฝ่าย Pattern ให้ปรับปรุงแม่พิมพ์โดยการคำนวนขนาด Runner และ Riser	ฝ่าย Pattern เพิ่มขนาด Runner จาก 9,500 เป็น 12,825 ลูกบาศก์เมตร และเพิ่มขนาด Ingate เป็นสองเท่า	ฝ่ายเทคนิคทำการปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ตามรูปแบบปรับปรุง	ฝ่ายผลิตทำการตรวจสอบและทดลองผลิตแม่พิมพ์รูปแบบปรับปรุง	ทำการประชุมฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงแก้ไขและทดสอบแม่พิมพ์
ปัญหา: ทรายแตก ทรายร่วง					
การตรวจสอบทรายเพิ่มเติมกรณีเกิดการรอน้ำเหล็ก	ดำเนินการแก้ไข WI โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการตรวจสอบคุณสมบัติทรายบนสายพานอีกครั้ง หากมีการรอน้ำเหล็ก	ฝ่ายผลิตทำการอนุมัติ WI และทดลองปฏิบัติงานตาม WI หลังปรับปรุง	ประชุมแจ้งพนักงานตรวจสอบ Disa เกี่ยวกับการเพิ่มขั้นตอนใน WI	-	ทำการประชุมฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงแก้ไข WI ของกระบวนการหล่อชิ้นงาน

ไหลของน้ำโลหะ และลดการแข็งตัวก่อนเวลา การตรวจสอบคุณสมบัติทรายอย่างเคร่งครัดตาม WI ป้องกันความชื้นและความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [6] ที่พบว่าการควบคุมคุณภาพทรายช่วยลดของเสียในกระบวนการหล่อได้เช่นกัน

5. สรุปผล

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อลดของเสียในการหล่อชิ้นรูปชิ้นส่วนบล็อกเครื่องยนต์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียพบปัญหาหลักคือ ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบและทรายแตกทรายร่วง เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการพบว่า ของเสียในสายการผลิตมีค่าลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 2 ตามมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษา

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วรเทพ ตรีวิจิตร และเถลิง พลเจริญ, “การลดของเสียจากกระบวนการตรวจสอบเหล็กแผ่นม้วน กรณีศึกษา: โรงงานตัวอย่าง”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, (2565), หน้า 28-40.

[2] ธเนศ รัตนวิไล และคณะ, “การลดอัตราของเสียในกระบวนการผลิตสบู่ก้อน”, วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1, (2566), หน้า 52-66. https://doi.org/10.14456/jrmutp.20235

[3] นิวัฒน์ชัย ใจคำ, ชลิดา อุดมรักษาสกุล และ ชลากร อุดมรักษาสกุล, “การลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร”, วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, (2567), หน้า 68-80.

[4] สมรรถรณ เหรียญนามวงศ์ และ ศักดิ์ชาย รักการ, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, (2565), หน้า 1-11.

[5] นาถวรรณ จรัสทิพย์มณี, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตท่อไอเสียรถยนต์”, งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, (2561).

[6] ธีระพงษ์ สำราญ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, “การลดของเสียในโรงงานผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, (2560), หน้า 36–46.

[7] Tague, N. R., The Quality Toolbox (2nd ed.), ASQ Quality Press, (2005).

[8] Campbell, J., Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design (2nd ed.), Butterworth-Heinemann, (2015).

[9] Brůna, M., Galcik, M., Pastircak, R. and Kantorikova, E., “Effect of Gating System Design on the Quality of Aluminum Alloy Castings”, Metals, Vol.14, No.3, (2024), pp312 https://doi.org/10.3390/met140 30312

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย ด้วยเทคนิค Lean Six-Sigma กรณีศึกษา ธุรกิจลูกชิ้นปลาอินทรี

Improving the production process to reduce waste using Lean Six-Sigma techniques: Case study: Intree fish ball business

ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[1] ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช[2] มนตรี อารีย์[3] ศุภสิทธิ์ ประเสริฐลาภ[4]
ทักษ์ดนัย ทองประเทือง[5] ภาวิต วัฒนากังชัย[5] ศิริชัย สมแสน[5] ศิริวรรณ อ่อนเกตุ[5*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
[3] สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนดิจิตอล คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, [5] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์
สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก
E-mail: siriwan_on@rmutto.ac.th*

Thammawit Prasert[1] Yingyos Thipsrirach[2] Montri aree[3] Supasit Prasertlarp[4]
Thakdanai Thongpratueng[5] Phawit Watthanakangchai[5] Sirichai Somsaen[5] and Siriwan Onket[5*]
[1] Department of Industrial Engineering and Management,
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamagala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus
[3] Department of management and supply chain digital logistics,
Faculty human and social, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[4] Department of Mechanical Engineering, [5] Department of Industrial Engineering and Logistics,
School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: siriwan_on@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลาของธุรกิจลูกชิ้นปลาอินทรี โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 Quality Tools และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมาศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสายการผลิต ซึ่งพบว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ.2567 มีของเสียรวม 458.88 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 3.03 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยสาเหตุของเสียหลักคือ ปัญหาลูกชิ้นไม่กลม คิดเป็นร้อยละ 78.25 ของของเสียทั้งหมด การวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้ Why-Why Analysis และ FMEA พบว่าเกิดจากปัจจัยหลัก 4 ด้าน ได้แก่ เครื่องจักร บุคลากร วิธีการและการวัด โดยค่าความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk เท่ากับ 0.73, 0.44 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่ากระบวนการยังไม่มีความสามารถในการควบคุมอย่างเหมาะสม จากผลการวิจัยได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการ เช่น การซ่อมบำรุงเครื่องจักร การอบรมพนักงาน การจัดทำคู่มือการทำงานและการออกแบบเครื่องมือคัดแยกใหม่ ซึ่งช่วยลดของเสียลงร้อยละ 0.334 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยค่าความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk เท่ากับ 1.88, 1.81 ตามลำดับ และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
คำหลัก ลูกชิ้นปลาอินทรี, ของเสีย, FMEA, ความสามารถกระบวนการ, เครื่องมือคุณภาพ

Abstract

This research aims to reduce defects in the fish ball production process of Fish Ball business by applying the 7 Quality Control Tools and process capability analysis. The study was based on real production data collected from June to November 2024, during which a total of 458.88 kilograms of defective products were recorded, representing 3.03% of the total production volume. The primary defect was identified as misshapen (non-spherical) fish balls, accounting for 78.25% of all defects. Using Why-Why Analysis and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), the root causes were identified as problems related to machines, manpower, working methods, and measurement. Process capability indices Cp, Cpk equal to 0.73, 0.44 respectively, indicating an incapable and unstable process. Based on these findings, improvement measures were proposed, including machinery maintenance, employee training, development of standard operating procedures, and the design of a new manual sorting device. As a result of these improvements, waste was reduced by 0.334% of the total production, and the process capability indices improved significantly to Cp = 1.88 and Cpk = 1.81, indicating that the process now meets quality standards and produces more consistent and reliable results.
Keywords: Intree fish ball, Defect, FMEA, Process Capability, Quality Tools

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมลูกชิ้นปลาในประเทศไทยเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อนและใช้เงินลงทุนเริ่มต้นไม่สูงมากนัก ทำให้มีผู้ประกอบการรายใหม่เข้าสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ระดับการแข่งขันภายในอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับกลยุทธ์ด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ ราคา และประสิทธิภาพการผลิต เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดที่มีความเข้มข้นสูง [1] อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปของไทยระหว่างปี 2566-2568 มีแนวโน้มการหดตัวทั้งในด้านปริมาณการผลิตและการส่งออก โดยคาดว่าปริมาณการผลิตจะลดลงในอัตราเฉลี่ยประมาณ 0.5-1.5% ต่อปี และการส่งออกจะลดลงในอัตรา 1.0-2.0% ต่อปี ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมลูกชิ้นปลาโดยตรง สาเหตุจากวัตถุดิบหลัก เช่น เนื้อปลาอาจมีปริมาณลดลง หรือมีต้นทุนที่สูงขึ้นจากปัจจัยด้านห่วงโซ่อุปทานและต้นทุนการผลิต เพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมลูกชิ้นปลาจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนการผลิต และการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต [2]

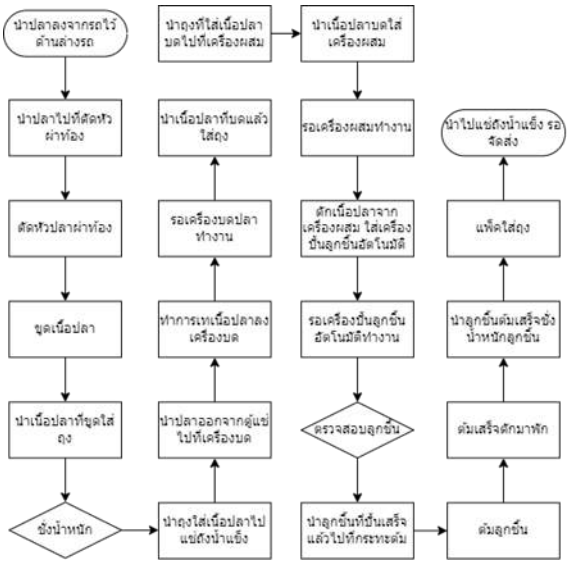
บริษัทธุรกิจลูกชิ้นปลาอินทรีเป็นหนึ่งในผู้ผลิตลูกชิ้นปลารายย่อย SMEs [3] ที่ดำเนินกิจการมานานกว่า 13 ปี โดยมีผลิตภัณฑ์หลักคือลูกชิ้นปลาอินทรี ซึ่งได้รับความนิยมในตลาดท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 6 เดือน (มิถุนายน–พฤศจิกายน 2567) พบว่า มีปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตถึง 458.88 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 3.03 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยปัญหา

หลักที่พบคือ ลูกชิ้นไม่กลม คิดเป็น 78.25% ของของเสียทั้งหมด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ถูกปฏิเสธจากลูกค้า ส่งผลต่อภาพลักษณ์ของบริษัทในระยะยาว [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสียอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยเครื่องมือคุณภาพ เช่น Pareto Diagram, Fishbone Diagram, Why-Why Analysis และ FMEA รวมถึงการวิเคราะห์ค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เพื่อวางแผนปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดต้นทุน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในระยะยาว [7]

2. วิธีการดำเนินงาน

ในกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลา จะเริ่มตั้งแต่การสั่งซื้อวัตถุดิบจากลูกค้า ซึ่งโดยทางลูกค้าเป็นผู้กำหนด ปริมาณของลูกชิ้นปลา หลังจากได้รับคำสั่งซื้อมาแล้วก็จะมาถึงขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลา แสดงดังรูปที่ 1



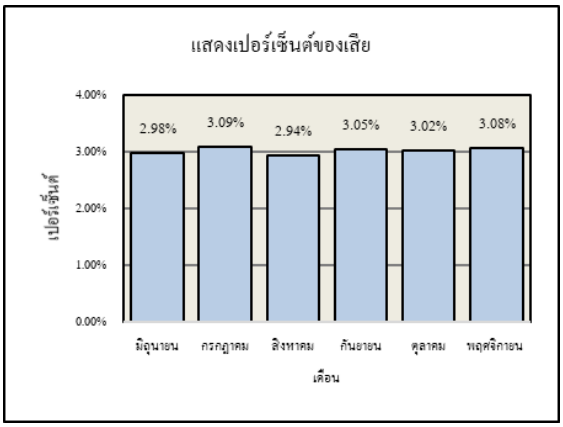
รูปที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลา

ในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมา จะมีการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอน เพื่อให้แน่ใจได้ว่าลูกชิ้นปลาที่ผลิตออกมานั้นเป็นไปตามมาตรฐานของบริษัท ที่ได้กำหนดเอาไว้ ในการทำวิจัยนี้

ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการลดของเสียในขั้นตอนการปั้นลูกชิ้นปลา เนื่องจากขั้นตอนนี้มีของเสียจากการปั้นลูกชิ้นปลาด้วยเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติเป็นปริมาณมาก ทำให้บริษัทสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเงินที่สูง โดยในขั้นตอนการปั้นลูกชิ้นด้วยเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติจะเริ่มกระบวนการ ตักเนื้อปลาจากเครื่องผสมใส่ถัง นำเนื้อปลาจากถังใส่เครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติ รอเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติทำงาน ตรวจสอบลูกชิ้นที่ปั้นเสร็จ

2.1 ศึกษาและวิเคราะห์สภาพการผลิต

จากการสำรวจสภาพปัจจุบันภายในบริษัทพบว่าการผลิตลูกชิ้นปลาในส่วนของกระบวนการผลิต ช่วง 6 เดือนย้อนหลัง โดยเก็บข้อมูลการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบ

จากรูปที่ 2 ปริมาณการผลิตแต่ละเดือนอยู่ระหว่าง 2,420 – 2,600 กิโลกรัม ปริมาณของเสียอยู่ในช่วง 2.94% – 3.09% ของการผลิต เดือนที่มีอัตราของเสียน้อยที่สุด คือ สิงหาคม 2.94% เดือนที่มี อัตราของเสียสูงที่สุด คือ กรกฎาคม 3.09% ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนอยู่ที่ 3.03%

ในการเก็บข้อมูลของลูกชิ้นปลาที่เป็นของเสียในกระบวนการผลิต เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียจากการผลิต พบว่ามีลักษณะของชิ้นส่วนที่เสียแตกต่างกันออกไปโดยแยกเป็นลักษณะของการเสียได้ 5 ลักษณะ คือ ไม่กลม หมายถึง ลูกชิ้นมีรูปร่างผิดปกติ, ไม่เป็นทรงกลมตามมาตรฐานที่กำหนด, แหว่ง หมายถึง พื้นผิวของลูกชิ้นมีลักษณะขาดหายหรือไม่สมบูรณ์, รูบนผิว หมายถึง ลูกชิ้นมีรูปร่างเป็นรอยหรือช่องว่างบนผิว, นิ่มเกินไป หมายถึง ลูกชิ้นมีลักษณะเนื้อไม่แน่นพอ, ปนเปื้อน หมายถึง ลูกชิ้นที่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น มีหนังปลาผสมอยู่

จากจำนวนของเสียทั้ง 6 เดือน จำนวนการผลิต

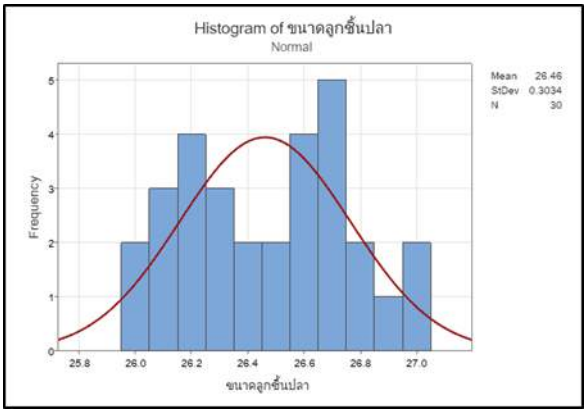
รวม และของเสียรวม มาทำการสร้างแผนภูมิพาเรโตเพื่อแสดงสัดส่วนของเสีย แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียเฉลี่ย

จากภาพที่ 3 ปริมาณการผลิตรวม 15,159 กิโลกรัมของเสียรวม 458.88 กิโลกรัม คิดเป็น 3.03% ของการผลิตประเภทของเสียที่พบมากที่สุดคือ ไม่กลม จำนวน 359.09 กิโลกรัม หรือ 78.25% ของของเสียทั้งหมด ประเภทของเสียที่น้อยที่สุดคือ ปนเปื้อน จำนวน 9.43 กิโลกรัม หรือ 2.06% สองประเภทหลัก ไม่กลมและแหว่ง รวมกันคิดเป็นกว่า 90% ของของเสียทั้งหมด

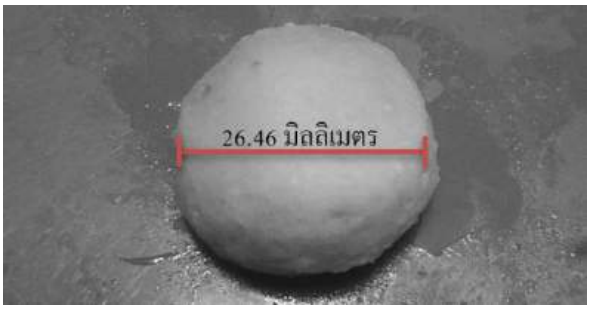
2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการที่ผู้วิจัย ได้ทำการวิเคราะห์ของเสียโดยรวบรวมข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลา จะพบว่า ประเภทของเสียที่พบมากที่สุดคือ ไม่กลม มีจำนวนเฉลี่ยถึง 59.85 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 78.25 ของปริมาณของเสีย ซึ่งในเดือนพฤศจิกายนเกิดขึ้นมากที่สุด จากการตรวจสอบพบว่ากระบวนการผลิตบางส่วนเป็นสาเหตุหลักของปัญหานี้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาและหาแนวทางแก้ไขเพื่อช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลา ซึ่งลูกชิ้นที่ได้มาตรฐานต้องเป็นทรงกลมสมบูรณ์ ไม่มีความบิดเบี้ยวผิดรูป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ นอกจากนี้ ขนาดของลูกชิ้นควรมีความสม่ำเสมอ ไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างลูกชิ้นที่มีลักษณะกลมสมบูรณ์การตรวจสอบด้วยสายตา เพื่อนำมาวิเคราะห์ขนาดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ตัวอย่าง จากกระบวนการผลิต จากนั้นทำการวัดขนาดของลูกชิ้นโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ผลการวัดขนาดลูกชิ้นแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟฮิสโตแกรมของขนาดลูกชิ้นปลา

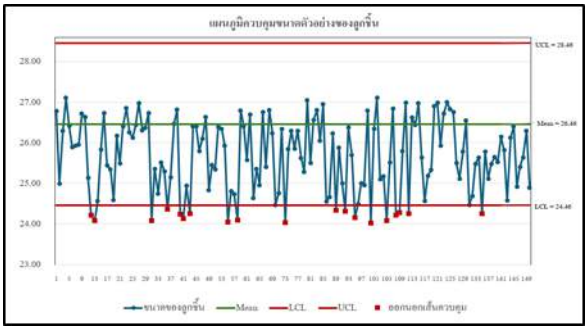
จากการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมพบว่าขนาดลูกชิ้นปลามีค่าเฉลี่ย 26.46 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.3034 มิลลิเมตร โดยบริษัทกำหนดช่วงยอมรับที่ ±2 มิลลิเมตร (24.46-28.46 มิลลิเมตร) ช่วยให้สามารถ ควบคุมคุณภาพและคัดแยกลูกชิ้นที่เบี่ยงเบนจากมาตรฐาน ลักษณะลูกชิ้นที่ได้ขนาดที่กำหนดตามมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกชิ้นที่กลมมาตรฐาน

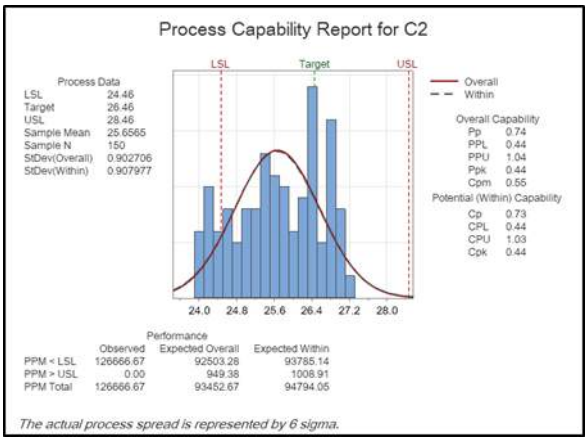
โดยลักษณะของลูกชิ้นไม่กลม ที่เป็นของเสียที่พบมากที่สุดจะมีลักษณะดังนี้ ผิดรูปทรง คือ ลูกชิ้นมีลักษณะบิดเบี้ยว ไม่เป็นทรงกลมตามมาตรฐาน, แบน คือ ลูกชิ้นบางส่วนมีลักษณะแบนมากเกินไป, ขนาดไม่สม่ำเสมอ คือ ลูกชิ้นบางลูกอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าปกติ

จากการศึกษาพบว่า ความไม่กลมของลูกชิ้นเกิดจากหลายปัจจัย ทั้งด้านเครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการทำงาน ผู้วิจัยได้กำหนดมาตรฐานขนาดลูกชิ้นที่เหมาะสมแล้วโดยทำการสุ่มตรวจสอบลูกชิ้นตัวอย่าง 6 ชิ้น วัดซ้ำ 25 ครั้ง นำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิควบคุม [6] เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการ มีความเสถียรหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิควบคุมขนาดตัวอย่างของลูกชิ้น

จากรูปที่ 6 พบว่ามีจุดข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 19 จุด ที่อยู่นอกเหนือขีดจำกัดการควบคุมด้านล่าง จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ค่า Cp, Cpk ก่อนเริ่มปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 7



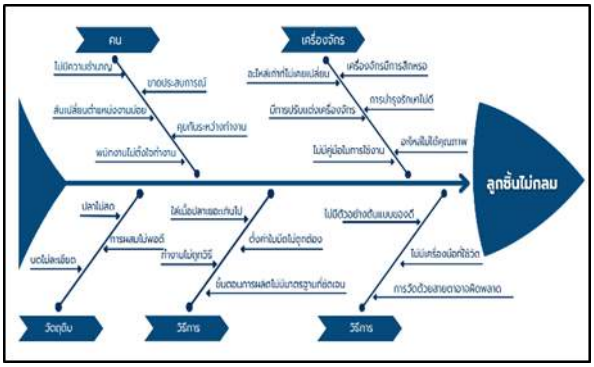
รูปที่ 7 การวิเคราะห์ค่า Cp และ Cpk ก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 7 ข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ = 24.46–28.46, Target = 26.46, ค่าเฉลี่ย = 25.6565, จำนวนตัวอย่าง = 150, ค่าโดยรวม Pp = 0.74, Ppk = 0.44, ค่าระยะสั้น Cp = 0.73, Cpk = 0.44 ของเสีย Observed PPM = 126,666.67, Expected PPM (Overall) = 93,452.67, (Within) = 94,794.05 ซึ่งบ่งชี้ว่าต้องปรับปรุงเพื่อลดความแปรปรวนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ได้มาตรฐาน [9]

2.3 การจัดเตรียมวิธีการแก้ปัญหา

วิเคราะห์ปัญหา และนำไปเขียนเป็นแผนภูมิก้างปลาโดยมีการระดมสมองทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง แสดงดังรูปที่ 8

ในการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา ผู้วิจัยได้นำปัญหาหลักที่ได้จากการรวบรวมความคิด มาดำเนินการหามาตรการเพื่อปรับปรุงแก้ไขด้วยหลักการใช้การวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาลูกชิ้นไม่กลมอย่างเป็นระบบ ทำให้ทราบถึงปัญหาที่แท้จริงและแนวทางแก้ไข



รูปที่ 8 แผนภูมิก้างปลา การวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุของการเกิดของเสียแบ่งได้เป็น 5 ด้านหลัก ได้แก่ คน วิธีการ เครื่องจักร วัตถุดิบ และการวัด ด้านคนและวิธีการ ปัญหาเกิดจากขั้นตอนการทำงานที่ไม่มีมาตรฐาน และขาดความเข้าใจในวิธีการปฏิบัติงาน ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการผลิต แนวทางแก้ไข คือการจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ ขจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น และจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน เพื่อเสริมสร้างทักษะ ทัศนคติ และพฤติกรรมที่ดีของพนักงาน, ด้านเครื่องจักร เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา และไม่มีผู้รับผิดชอบดูแล ส่งผลให้เกิดปัญหาซ้ำซ้อน แก้ไขโดยจัดหาช่างผู้เชี่ยวชาญเข้ามาดำเนินการตรวจสอบ ซ่อมแซม และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานและบำรุงรักษา ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งาน, ด้านวัตถุดิบ ปัญหาวัตถุดิบไม่มีคุณภาพเกิดจากการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม และการตรวจสอบที่ไม่ได้มาตรฐาน แนวทางแก้ไขคือการตรวจสอบกระบวนการจัดหาวัตถุดิบจากผู้จำหน่าย เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่ตรงตามคุณภาพที่ต้องการ, ด้านการวัด การขาดเครื่องมือวัดที่เหมาะสม และไม่มีบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมคุณภาพ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการตรวจสอบ แนวทางแก้ไขคือการจัดทำอุปกรณ์คัดแยกที่แม่นยำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพ เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว จะสามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงและตัดสินใจเลือกปัจจัยที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนเป็นลำดับแรก คือ หลักการ FMEA

จากการการวิเคราะห์ปัญหาลูกชิ้นปลาไม่กลม ด้วย

หลักการ Why-Why Analysis จึงทำให้ทราบถึงปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา ในแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหาลูกชิ้นไม่กลม จึงได้นำหลักการ FMEA มาใช้ในการตัดสินใจเลือกปัจจัย เพื่อวัดว่าปัญหาลูกชิ้นไม่กลม เกิดจากปัจจัยใดมากที่สุด โดยพิจารณาเลือกปัจจัยจากค่า RPN มากกว่า 100 คะแนน เพื่อปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 9

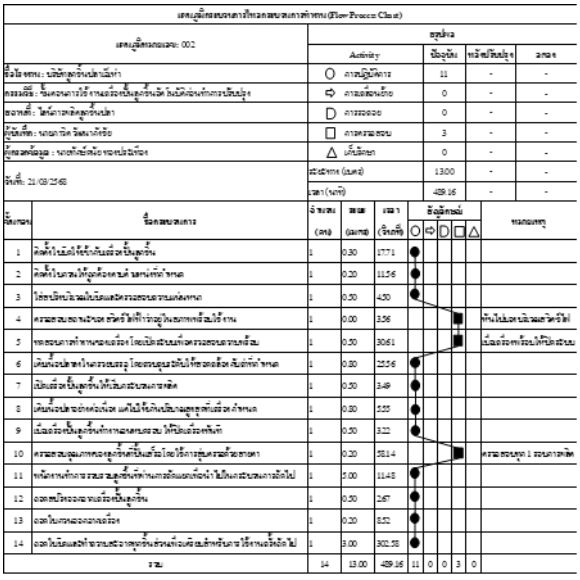
รูปที่ 9 แผนภูมิค่า RPN ของการวิเคราะห์น้ำหนักปัญหา

จากการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ FMEA เพื่อกำหนดน้ำหนักของปัญหาและคัดเลือกปัญหาที่มีค่า RPN สูงกว่า 100 คะแนน พบว่า มีปัญหาหลักที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ที่มีน้ำหนักสูงอยู่ 4 รายการ โดยเรียงลำดับจากน้ำหนักของปัญหาที่มากที่สุดและน้อยลงไปตามลำดับ

ปัญหาที่เกิดจากเครื่องจักรขาดการบำรุงรักษาและไม่มีพนักงานรับผิดชอบตรวจสอบ ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงแก้ไขโดยจัดหาช่างเฉพาะทางจากร้านซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่เข้าตรวจสอบและซ่อมบำรุงจากการตรวจสอบเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติ โดยช่าง พบว่ามอเตอร์ของเครื่องมีสภาพเสื่อมลง เนื่องมาจากการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน โดยจากการตรวจสอบช่างได้เสนอแนวทางแก้ไขปัญหามา 2 แนวทาง ได้แก่ เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่และพันขดลวดใหม่ โดยแสดงการเปรียบเทียบแนวทางการแก้ไขปัญหามอเตอร์เสื่อมสภาพ เจ้าของบริษัทได้เลือกแนวทางการแก้ไขโดยการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ เพราะเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ ใช้ระยะเวลาการเปลี่ยนน้อยกว่า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 10-15 ปี มีประสิทธิภาพดีกว่าและเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว

ปัญหาที่เกิดจากคนและวิธีการสามารถแก้ไขและปรับปรุงควบคู่กันได้ โดยการจัดลำดับขั้นตอนการใช้งานเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติใหม่ การเพิ่มเครื่องมือในการตรวจสอบ เพื่อควบคุมคุณภาพในกระบวนการ ให้มีความสม่ำเสมอและลดของเสียในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของพนักงานให้ชัดเจน เพื่อให้การใช้งานเครื่องจักรเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยศึกษาขั้นตอนการใช้งานเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติก่อนการปรับปรุง พบว่า ขั้นตอนเดิมยังมีความสูญเปล่า จึงนำหลักการ ECRS มาใช้เพื่อ ปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยมุ่งเน้นไปที่ การลดความสูญเปล่า เพิ่มประสิทธิภาพ และยกระดับคุณภาพในการผลิต ใช้วิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ ลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น โดยจัดทำเป็นแผนภูมิกระบวนการทำงาน แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติก่อนทำการปรับปรุง

จากรูปที่ 10 แสดงขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการทำงาน มีระยะทางรวม 13 เมตร เวลารวม 489.16 วินาที

ผู้วิจัยวิเคราะห์กระบวนการใช้งานเครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติด้วยหลัก MUDA (7 Waste) พบความสูญเปล่า ได้แก่ การรอคอย 2 ขั้นตอน, การเคลื่อนไหวเกินจำเป็น 2 ขั้นตอน และการทำงานเกินความจำเป็น 4 ขั้นตอน จึงนำหลัก ECRS มาใช้ปรับปรุง โดยรวมขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน เช่น การตรวจสอบสวิตช์ไฟกับการทดสอบเครื่อง, ปรับวิธีเติมเนื้อ

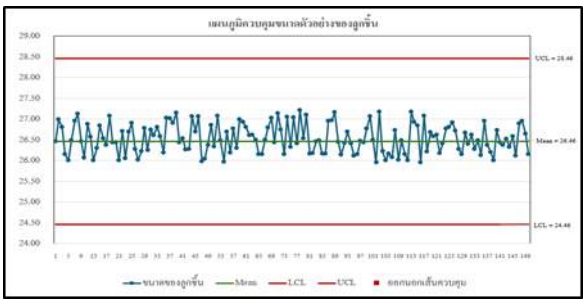
ปลาให้มีคู่มือควบคุมปริมาณ, พัฒนาเครื่องมือตรวจสอบลูกชิ้น และรวมขั้นตอนทำความสะอาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดเวลาและแรงงาน หลังทำการปรับปรุง มีระยะทางรวม 12.80 เมตร เวลารวม 473.65 วินาที

เนื่องจากปัญหาการขาดเครื่องมือวัดที่เหมาะสม เกิดจากการขาดการวิจัยหาเครื่องมือที่เหมาะสม การไม่มีบุคลากรเชี่ยวชาญทางด้านตรวจสอบคุณภาพ และการไม่พัฒนาอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยจึงดำเนินการออกแบบอุปกรณ์คัดแยกใหม่ เพื่อแก้ปัญหาขาดเครื่องมือวัดที่เหมาะสม โดยเน้นเพิ่มความแม่นยำ ลดข้อผิดพลาดจากการตรวจด้วยสายตา และสามารถปรับใช้ในสายการผลิตได้อย่างยืดหยุ่น อุปกรณ์ถูกออกแบบตามหลักวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน บำรุงรักษา และตรวจสอบคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. อภิปลายผล

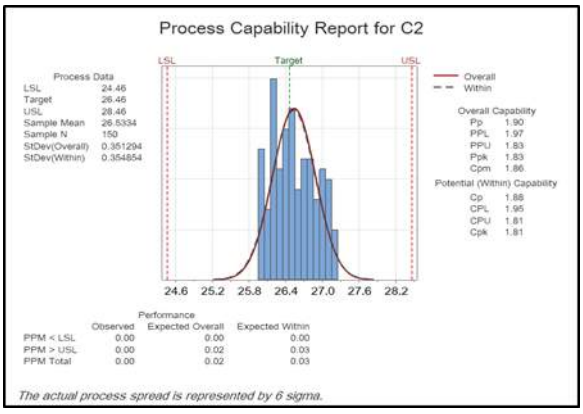
จากผลการวิจัยพบว่า ปัญหาหลักของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลาของบริษัทกรณีศึกษา คือ ปัญหาลูกชิ้นไม่กลม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78.25 ของของเสียทั้งหมดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 สาเหตุของปัญหาดังกล่าวมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ เครื่องจักรที่เสื่อมสภาพ การขาดมาตรฐานในการทำงาน, ความผิดพลาดจากมนุษย์, วัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพ และเครื่องมือวัดที่ไม่เหมาะสม

หลังจากดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางที่เสนอ เช่น การเปลี่ยนมอเตอร์เครื่องปั้นลูกชิ้นอัตโนมัติ การอบรมพนักงาน การจัดทำคู่มือปฏิบัติงาน และการออกแบบอุปกรณ์คัดแยกใหม่ พบว่าระยะทางลดลง 0.20 เมตร เวลารวมลดลง 15.51 วินาที และในเดือน มกราคม ถึงเมษายน ปริมาณการผลิตรวม 10,838 กิโลกรัมของเสียรวม 36.21 กิโลกรัม คิดเป็น 0.334% ของการผลิต ผลลัพธ์จากการปรับปรุงนี้ สะท้อนให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือคุณภาพร่วมกับหลักการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นระบบ สามารถระบุและแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดของเสียและต้นทุนที่เกิดจากของเสียก่อนปรับปรุง ยังเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนของธุรกิจในระยะยาว การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือคุณภาพและการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุง พบว่าค่า Cp = 0.73 และ Cpk = 0.44 ซึ่งแสดงว่ากระบวนการยังไม่มีความสามารถเพียงพอในการควบคุมคุณภาพ ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนสูงและมีของเสียมาก หลังทำการปรับปรุง ทำการสุ่มตรวจสอบลูกชิ้นตัวอย่าง 6 ชิ้น วัดซ้ำ 25 ครั้ง นำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิควบคุม แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุมขนาดของลูกชิ้น หลังปรับปรุง

จากรูปที่ 11 ไม่มีจุดที่อยู่นอกเหนือขีดจำกัดการควบคุม และทำการวิเคราะห์ค่าความสามารถกระบวนการ Cp และ Cpk หลังปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การวิเคราะห์ค่า Cp และ Cpk หลังปรับปรุง

จากรูปที่ 12 ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 24.46 – 28.46, Target = 26.46, ค่าเฉลี่ย = 26.5334, จำนวนตัวอย่าง = 150, StDev(Overall) = 0.365124, StDev(Within) = 0.354654 ค่าความสามารถกระบวนการโดยรวม: Pp = 1.90, Ppk = 1.87, Cpm = 1.86 ค่าความสามารถกระบวนการระยะสั้น: Cp = 1.88, Cpk = 1.81 ของเสีย Observed PPM = 0.00, Expected PPM ≈ 0.03 กระบวนการมีความสามารถสูง ควบคุมได้ดี ของเสียต่ำมาก เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์

5.สรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตลูกชิ้นปลาของบริษัทธุรกิจลูกชิ้นปลาอินทรี โดยใช้เครื่องมือคุณภาพและการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัญหาหลัก คือ ลูกชิ้นไม่กลม คิดเป็นร้อยละ 78.25 ของของเสียทั้งหมด สาเหตุเกิดจากเครื่องจักรเสื่อมสภาพ วิธีการทำงานที่ไม่มีมาตรฐาน ความผิดพลาดจากพนักงาน วัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ และเครื่องมือวัดที่ไม่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์และดำเนินการปรับปรุง เช่น การเปลี่ยนมอเตอร์เครื่องจักร การอบรมพนักงาน การจัดทำคู่มือการทำงาน และการออกแบบอุปกรณ์คัดแยกใหม่ ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียลงได้จากเดิม 458.88 กิโลกรัม เป็น 36.21 คิดเป็น 92.11% ลดต้นทุนของเสียก่อนปรับปรุง คิดเป็น 73,420.80 บาท หลังปรับปรุง 5,793.60 บาท ลดลงจากเดิม 67,627.20 บาท และเพิ่มความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก และบริษัทเจ้เห่าลูกชิ้นปลา ที่สนับสนุนการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยพร กวินธีรภาพ, “การเพิ่มยอดขายธุรกิจลูกชิ้นปลา บริษัทธีรภาพ จังหวัดสมุทรปราการ”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, (2558). สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2568.

[2] ม.ป.ป., “แนวโน้มธุรกิจอุตสาหกรรม ปี 2566-2568: อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูป”, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก https://www.krungsri.com, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2568.

[3] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), “แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสำหรับ SMEs อุตสาหกรรมอาหาร”, (2565), [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก https://www.nstda.or.th, สืบค้นเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2568.

[4] I. T. B. Widiwati, S. D. Liman, and F. Nurprihatin, "The Implementation of Lean Six Sigma Approach to Minimize Waste at a Food Manufacturing Industry," Journal of Engineering Research, 2024

[5] S. V. Crowder and M. D. Hamilton, “An EWMA for monitoring a process standard deviation,” Journal of Quality Technology, vol. 24, no. 1, pp. 12–21, 1992.

[6] W. A. Shewhart, Economic Control of Quality of manufactured Product. D. Van Nostrand Company, Inc., 1931.

[7] R. Shah and P. T. Ward, "Lean Manufacturing: context, practice bundles and performance," Journal of Operation Management, vol. 21, pp. 129-149, 2003.

[8] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส. พิมพครั้งที่ 5.

[9] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2543). ระบบควบคุมคุณภาพที่ทำหน่างาน : คิวซีเซอรเคิล. กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส. พิมพครั้งที่ 3. (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3)

การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่าง

Cost Reduction in Automotive Parts Production by Applying Sampling Standards

นพพร จันทะบุตร[1] ธนพนธ์ อรรคเนตร์[1] กนกวรรณ เกริกสูงเนิน[2] ภูมิบุญ ผลต้าง[2]
จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2] และ วรรณนิศา นุชคุ้ม[2*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
E-mail: Wannisa.nu@rmuti.ac.th*

Nopphorn Janthabut[1] Thanapon Akkanate[1] Kanokwan Kroeksungnoen[2] Bhoomboon Phonthang[2]
Jittiwat Nithikarnjanatharn[2] and Wannisa Nutkhum[2*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology lsan
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology lsan
E-mail: Wannisa.nu @rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการสุ่มการตรวจสอบรอยเชื่อมในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะชิ้นส่วนรถยนต์รุ่น ทีเอโอ ด้วยการประยุกต์ใช้แผนการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E แทนวิธีการสุ่มตรวจสอบแบบเดิมที่ไม่มีมาตรฐานชัดเจน จากเดิมใช้การสุ่มตรวจสอบสินค้าอยู่ที่ 3 ชิ้นต่อลอต ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงในการตรวจสอบเนื่องจากเป็นการตรวจสอบสินค้าแบบทำลาย มีมูลค่าอยู่ที่ 167,040 บาทต่อปี โดยการปรับปรุงวิธีการสุ่มตรวจสอบด้วยมาตรฐานการสุ่มตรวจสอบ MIL-STD-105E ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง การใช้แผนภูมิควบคุมและการปรับเปลี่ยนแผนการสุ่มตัวอย่าง พบว่าจากผลการใช้แผนภูมิควบคุมในการติดตามความแปรผันข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตแสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลการผลิตอยู่ในค่าควบคุม และการยอมรับสินค้าอยู่ในเงื่อนไขของกฎการสับเปลี่ยนการสุ่มตรวจสอบในการตรวจสอบแบบปกติไปผ่อนคลาย ทำให้สามารถใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E เพื่อกำหนดชิ้นงานในการสุ่มตัวอย่าง โดยทำข้อตกลงร่วมกับลูกค้าในการยอมรับความเสี่ยงของสินค้า จึงทำให้สามารถลดจำนวนการตรวจสอบสินค้าจาก 3 ชิ้นต่อลอต ลดลงเหลือ 2 ชิ้นต่อลอต ส่งผลให้มีจำนวนการตรวจสอบที่ 1,392 ชิ้นต่อปี ลดลงเหลือ 1,008 ชิ้นต่อปี มีมูลค่าการตรวจสอบที่ 120,960 บาทต่อปี ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 77,310 บาทต่อปี โดยที่ความแปรผันข้อมูลการวัดของกระบวนการอยู่ในค่าควบคุม การปรับปรุงนี้แสดงให้เห็นถึงการลดต้นทุนการตรวจสอบในกระบวนการผลิต

คำหลัก: แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E ตรวจสอบชิ้นส่วนยานยนต์ การลดต้นทุน

Abstract

This study focuses on improving the weld seam inspection sampling process in an automotive parts manufacturing facility, particularly for TAO model components. The improvement involves the application of the MIL-STD-105E sampling plan to replace the previous non-standard inspection method. Previously, three samples per lot were inspected, which resulted in high inspection costs due to the destructive nature of the testing—totaling 167,040 baht annually. The improvement process, based on the MIL-STD-105E sampling standard, included historical data analysis, the application of control charts, and modifications to the sampling plan. The results from using control charts to monitor measurement variation indicated that the production process remained within control limits. Furthermore, product acceptance complied with the switching rules, allowing the inspection level to change from normal to reduced inspection. By adopting the MIL-STD-105E plan and negotiating an acceptable level of risk with customers, the number of samples per lot was reduced from three to two. Consequently, the total number of annual inspections decreased from 1,392 to 1,008 pieces, reducing the inspection cost to 120,960 baht per year—resulting in annual savings of 77,310 baht. This improvement demonstrates that the process measurement variation is within control limits and highlights a significant reduction in inspection costs within the production quality control process.

Keywords MIL-STD-105E Sampling plan, Inspection of Automotive Parts, Cost Reduction

การลดของเสียบริเวณผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Minimization of Surface Defects in Automotive Parts Manufacturing

กนกวรรณ เกริกสูงเนิน[1] อรรถพล คำชาย[2] สุภัทรา หมูป่ารัง[3] วรรณนิศา นุชคุ้ม[1]
จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[1] และ ภูมิบุญ พลต้าง[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักงานวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
E-mail: rian.ph@rmuti.ac.th*

Kanokwan Kroeksungnoen[1] Atthapol Camchay[2] Supatthra Muparang[3] Wannisa Nutkhum[1]
Jittiwat Nithikarnjanatharn[1] and Bhoomboon Phontang[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[2]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[3]Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: rian.ph@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การลดของเสียบริเวณผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะของ บริษัท โกลบอล-ไทยซอน พรีซิชัน อินดัสทรี จำกัด นำหลักวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตข้อต่อโลหะ โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย พบอัตราของเสียสูงถึง 16.57% มีสาเหตุหลักจากรอยคลื่น รอยบุบ รอยกลึงไม่สมบูรณ์ และรอยขีดข่วน ต่อมาทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล และวิเคราะห์ความเสี่ยง (RPN) เพื่อระบุสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหา จากนั้นนำคะแนนค่าความเสี่ยงมาวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต ผลจากการดำเนินการปรับปรุงทำให้อัตราของเสียลดลงเหลือ 1.34% และเพิ่มอัตราผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพจาก 80.19% เป็น 95.42% คิดเป็นการลดต้นทุนของเสียได้ประมาณ 2,291,328 บาทต่อปี แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ปัญหาและการแก้ไขอย่างเป็นระบบในเชิงวิศวกรรม

สำคัญ: การลดของเสีย การลดต้นทุน พาเรโต

Abstract

Reduction of surface defects in the metal parts production process of Global-Thaison Precision Industry Co., Ltd. applied industrial engineering principles to reduce waste in the metal joint production process. By collecting defect data, it was found that the defect rate was as high as 16.57%, with the main causes being waviness,

dents, incomplete turning marks, and scratches. The problems were then analyzed using a cause-and-effect diagram and Risk Priority Number (RPN) analysis to identify the main and secondary causes. The risk scores were then analyzed to prioritize the problems using a Pareto chart. As a result of the improvement, the defect rate was reduced to 1.34%, and the rate of products meeting quality standards increased from 80.19% to 95.42%, resulting in a cost reduction of approximately 2,291,328 baht per year. This demonstrates the effectiveness of systematic problem analysis and engineering-based resolution.

Keywords: Waste reduction, Cost reduction, Pareto

การปรับปรุงกระบวนการผลิตชุดเสริมความแข็งแรงแผงหน้าปัดรถยนต์

Improvements in the manufacturing processes for reinforcement panels of automotive dashboards

ภาสวุฒิ กุณฑล[1] ณัฐวุฒิ สมนึก[1] สุธี คงโคกแฝก[2] วรรณนิศา นุชคุ้ม[2] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2]
ภูมิบุญ พลต้าง[2*] และ ภาณุภัฏ สาธุวงศ์[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
E-mail: rian.ph@rmuti.ac.th*

Phatsawut Kunton[1] Nanthawut Somnuek[1] Suthi Khongkhokfaek[2] Wannisa Nutkhum[2]
Jittiwat Nithikarnjanatharn[2] Bhoomboon Phontang[2*] and Panuput Satuwong[3]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: rian.ph@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาการทำงาน และลดต้นทุน โดยมุ่งเน้นการลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของพนักงาน การศึกษานี้เริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตปัจจุบัน ค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา และปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานให้เหมาะสม เพื่อลดระยะเวลาและความซับซ้อนของกระบวนการทำงาน ผลการศึกษาหลังการปรับปรุงพบว่า จำนวนขั้นตอนการทำงานลดลงจาก 53 เหลือ 49 ขั้นตอน รอบเวลาการผลิตลดลงจาก 290.6 วินาที เหลือ 287.6 วินาทีต่อรอบ นอกจากนี้ ยังช่วยลดเวลาการทำงานของพนักงานลง 10.2 นาทีต่อวัน และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 504 บาทต่อเดือน หรือ 6,048 บาทต่อปี การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดภาระงานของพนักงาน ลดความเมื่อยล้า และเพิ่มความคล่องตัวในกระบวนการทำงาน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และการปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และลดความสูญเสียในการผลิตได้ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับสายการผลิตอื่น ๆ ได้

คำหลัก: ลดระยะเวลา ลดการเคลื่อนไหว ลดต้นทุน

Abstract

This research aims to reduce working time and costs by focusing on minimizing unnecessary movements of workers. The study began with an analysis of the current production process, identifying the root causes of problems using a fishbone diagram, and rearranging the layout of workpieces to optimize efficiency and reduce complexity in the workflow.The results after the improvement showed that the number of work steps decreased from 53 to 49 steps. The production cycle time was reduced from 290.6 seconds to 287.6 seconds per cycle. Additionally, the working time of employees was reduced by 10.2 minutes per day, and production costs were lowered by 504 baht per month, or 6,048 baht per year. These improvements helped reduce employees' workloads, alleviate fatigue, and enhance agility in the workflow. The results show that reducing unnecessary movements and optimizing the layout of workpieces can significantly improve efficiency, reduce costs, and minimize production losses. Additionally, these improvements can also be applied to other production lines.

Keywords: Reduce time, Reduce movement, Reduce costs

การปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนยานยนต์

Improvement of the Product Requisition Process for Fastener Products in Automotive Parts Manufacturing

ฐิติ หมอรักษา[1] รัชกฤช คณะอนันต์[1] เมธา บุญยอด[1] ธีรพงศ์ โพธิ์โต[1] สมเกียรติ หมายถมกลาง[2] และ ณัฐพล ที่รัก[3*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Thiti Mhoraksa [1] Ratchakit Kanaanan[1] Meta Boonyod[1] Teerapong Photo[1] Somkiat Maithomklang[2] and Natthaphon Trirak[3*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
[2] Department of Mechatronics and Robotics Engineering, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[3] Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University Tawan-ok, Chanthaburi Campus
E-mail: natthaphon_tr@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาและจำนวนขั้นตอนในกระบวนการสั่งซื้อและเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ โดยทำการศึกษากระบวนการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ประกอบสำหรับยานยนต์และเครื่องยนต์ ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลามากที่สุดคือการนับจำนวนสินค้าคงคลัง ซึ่งดำเนินการด้วยระบบแรงงานคน ส่งผลให้เกิดความล่าช้า ความซ้ำซ้อน และความสูญเปล่าในการทำงาน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการพัฒนาระบบสารสนเทศ I-Jipata เพื่อสนับสนุนกระบวนการสั่งซื้อและเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ ระบบดังกล่าวสามารถอัปเดตข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ พร้อมส่งการแจ้งเตือนอัตโนมัติทางอีเมลเมื่อมีการลงทะเบียนคำร้องขอเบิกผลิตภัณฑ์ ช่วยลดความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ และเพิ่มความรวดเร็วในการอนุมัติคำขอ ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในกระบวนการเบิกจ่ายลดลงจาก 3,455 วินาที เหลือเพียง 595 วินาที (ลดลงร้อยละ 83) และจำนวนขั้นตอนลดลงจาก 20 ขั้นตอน เหลือ 12 ขั้นตอน (ลดลงร้อยละ 40) ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและความคล่องตัวของกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ผลการปรับปรุงยังสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมยุคใหม่ภายใต้นโยบาย

ระดับชาติ อาทิ เศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนและโรงงานอัจฉริยะที่เน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อยกระดับกระบวนการผลิตให้มีความยั่งยืนและสามารถแข่งขันได้ในระยะยาว ทั้งนี้ ระบบ I-Jipata ยังมีศักยภาพในการเชื่อมโยงกับระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร เพื่อรองรับการเปลี่ยนผ่านสู่กระบวนการที่นำเอาเทคโนโลยีและกลยุทธ์การทำงานแบบดิจิทัลเข้ามาใช้อย่างเป็นระบบในอนาคต

คำหลัก การปรับปรุงกระบวนการ การเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ ระบบ I-Jipata

Abstract

This research aims to reduce the time and number of steps involved in the purchasing and requisition processes for products used in manufacturing fasteners for automotive components. The study was conducted through an analysis of operational workflows within an industrial facility that produces automotive parts and engine-related assemblies. The findings revealed that the inventory counting step consumed the most time, as it was performed manually, leading to delays, redundancies, and operational inefficiencies. To address these issues, the researchers applied the ECRS principle along with the development of the I-Jipata information system to support the purchasing and requisition workflow. The newly developed system enables real-time data updates and provides automated email notifications upon the registration of product requisition requests. This improvement minimizes data entry errors caused by manual operations and enhances the speed of the approval processes. The results indicated that the total time for the requisition process was reduced from 3,455 seconds to only 595 seconds—a reduction of 83%—while the number of process steps decreased from 20 to 12, reflecting a 40% reduction. These enhancements significantly improved process efficiency and flexibility. Additionally, the results align with today's national plans for industrial growth, such as the Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Smart Factory projects, which focus on utilizing digital technology to make production more sustainable and competitive. The I-Jipata system also shows promise for integration with Enterprise Resource Planning (ERP) systems, aiding in a seamless transition to digital transformation in future industrial work.

Keywords: Process Improvement, Product Requisition, I-Jipata System

1. บทนำ

ในยุคที่อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่เผชิญกับการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้น ผู้ประกอบการจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การบริหารจัดการคลังสินค้า และการควบคุมต้นทุนอย่างมีประสิทธิผล เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หนึ่งในกระบวนการที่ส่งผลโดยตรงต่อความต่อเนื่องและความคล่องตัวของการผลิต คือ กระบวนการสั่งซื้อและเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการประกอบอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ อาทิเช่น สกรู น็อต และอุปกรณ์ยึดติดอื่น ๆ บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นผู้ผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนรถยนต์รายใหญ่ในภูมิภาคอาเซียน และเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีการผลิตจากประเทศญี่ปุ่น โดยมีสายการผลิตครอบคลุมตั้งแต่อุปกรณ์ยึดติด อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือ แม่แรง รวมไปถึงอุปกรณ์ช่วยยกต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจสภาพการดำเนินงานภายในโรงงานดังกล่าวนั้น พบว่ากระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ยังคงใช้ระบบปฏิบัติงานแบบใช้แรงงานคน (Manual System) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การตรวจนับสินค้า การกรอกเอกสาร การอนุมัติ ไปจนถึงการอัปเดตข้อมูลลงระบบ ซึ่งล้วนเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน มีความซ้ำซ้อน และเสี่ยงต่อ

การเกิดข้อผิดพลาด ส่งผลให้กระบวนการขาดประสิทธิภาพและเกิดความสูญเปล่าทั้งในด้านเวลาและทรัพยากร

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาภาคอุตสาหกรรมได้หันมาให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีน (Lean) และหลักการ ECRS ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ คือ การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) [1] สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เช่น งานวิจัยของผู้วิจัย Noamna, S. and et al. (2022) [2] แสดงให้เห็นว่าการใช้ ECRS ในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กช่วยลดระยะเวลาการผลิตลงได้กว่า 73% และเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกัน Kelendar และ Mohammed (2020) [3] ได้พัฒนาแนวทางระบบการผลิตแบบลีนร่วมกับ ECRS ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในภาคสาธารณสุข ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้เช่นกัน นอกจากนี้ Gamboa และ Singgih (2021) [4] ยังนำหลักการ ECRS ร่วมกับ TRIZ มาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตภายใต้แนวคิด Lean เพื่อขจัดความสูญเปล่าและเพิ่มความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการทำงานนิยมใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น การวิเคราะห์เชิงลึกแบบ Why-Why Analysis และแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) [5–6] ซึ่งช่วยระบุรากเหง้าของปัญหาได้อย่างแม่นยำ ก่อนออกแบบแนวทางการปรับปรุงด้วยแนวคิด Kaizen และหลักการ ECRS ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ ลดขั้นตอน ลดเวลา และลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 27.56% [7–8]

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เพื่อปรับปรุงกระบวนการและลดความสูญเปล่า แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ยังมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวร่วมกับระบบสารสนเทศอย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในบริบทของกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งยังคงพึ่งพาระบบเอกสารและการดำเนินงานแบบแรงงานคนเป็นหลัก ช่องว่างดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการผสานแนวคิด ECRS เข้ากับการพัฒนาระบบดิจิทัลด้วยระบบ I-Jipata เพื่อยกระดับประสิทธิภาพของกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ให้สอดคล้องกับแนวโน้มของอุตสาหกรรมยุคใหม่ โดยเน้นการลดระยะเวลา ความซ้ำซ้อน และข้อผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการทำงานแบบดั้งเดิม ไม่เพียงมุ่งเน้นการเพิ่มความถูกต้องและความรวดเร็วของกระบวนการเบิกจ่ายเท่านั้น แต่ยังนำไปสู่ผลลัพธ์เชิงกลยุทธ์ที่สำคัญในการผลักดันองค์กรให้สามารถปรับตัวและเติบโตอย่างมั่นคงภายใต้บริบทของการเปลี่ยนผ่านสู่อุตสาหกรรมยุคดิจิทัลอย่างยั่งยืน

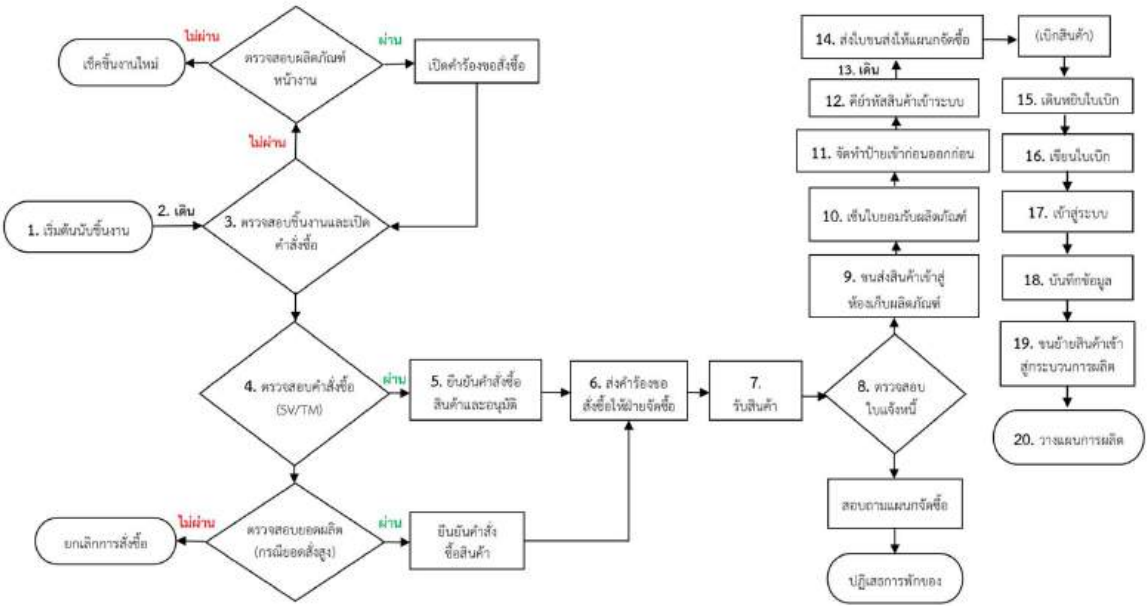
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการสั่งซื้อและเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ ดังนี้

2.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานก่อนการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานในสภาพการทำงานปัจจุบันก่อนการปรับปรุง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนการสั่งซื้อสินค้าจนถึงการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์ปัญหา ระบุความสูญเปล่าในแต่ละกิจกรรม และประเมินระยะเวลาในการดำเนินงาน ทั้งนี้ได้จัดทำเวลามาตรฐาน (Standard Time, ST) ในการปฏิบัติงานเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ ซึ่งการคำนวณเวลามาตรฐานพิจารณาด้วยเวลาปฏิบัติงานเฉลี่ย (Average Time, AT) ร่วมกับพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน (Performance Rating, PR) และอัตราเผื่อเวลา (Allowance, A) เพื่อให้รองรับสภาพการทำงานจริง ดังสมการที่ 1 [9] เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอน ระบุประเภทกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าและไม่เพิ่มมูลค่า ตลอดจนกำหนดแนวทางลดความสูญเปล่าในกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ กระบวนการเบิกจ่ายสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก รวม 20 ขั้นตอนย่อย โดยใช้ระยะเวลาดำเนินการเฉลี่ยรวมคือ 3,455 วินาที แผนผังและรายละเอียดแต่ละขั้นตอนแสดงไว้ในรูปที่ 1 และตารางที่ 1

$$ST = AT \times PR \times (1 + A) \quad (1)$$



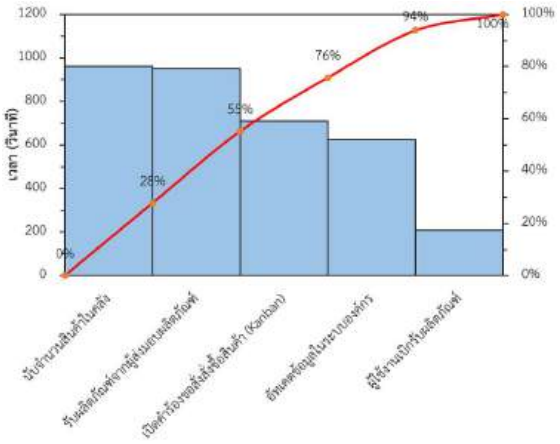
รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาดำเนินกิจกรรมแต่ละขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง

ขั้นตอนหลัก	ผู้ปฏิบัติงาน	ขั้นตอนย่อย	กิจกรรม	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
(1) นับจำนวนสินค้าในคลัง	1 (ชาย)	1	เขียนใบเช็คสินค้าคงคลังสั่งผลิตภัณฑ์	600	672
		2	เดินส่งใบเช็คเช็คสินค้าคงคลังให้ผู้ดูแลระบบ	360	404
	รวมเวลา			***960***	***1075***
(2) เปิดคำร้องขอสั่งซื้อสินค้า (Kanban)	1 (ชาย)	3	ผู้ดูแลระบบตรวจสอบและเปิดคัมบัง	450	548
		4	หัวหน้างาน SV/TM ตรวจสอบและอนุมัติคัมบัง	180	220
		5	ผู้ดูแลระบบส่งคัมบังให้ทีมจัดซื้อ	20	25
	2 (หญิง)	6	ทีมจัดซื้อตรวจสอบคัมบังและสั่งซื้อผลิตภัณฑ์	60	73
	รวมเวลา			***710***	***866***
(3) รับผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบผลิตภัณฑ์	2 (ชาย)	7	ผู้ดูแลรับผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบภายนอก	900	1044
	1 (ชาย)	8	ผู้ดูแลตรวจสอบใบแจ้งหนี้ (Invoice)	20	23
		9	ผู้ดูแลตรวจสอบจุดวางของผลิตภัณฑ์	20	23
		10	ผู้ดูแลเซ็นยอมรับการส่งมอบผลิตภัณฑ์	10	12
	รวมเวลา			***950***	***1102***
(4) อัพเดตข้อมูลในระบบองค์กร	1 (ชาย)	11	ผู้ดูแลเขียน ว/ด/ป ที่รับผลิตภัณฑ์และวางป้าย FIFO	120	132
		12	ผู้ดูแลบันทึกข้อมูลลงระบบ E-Stock	135	148
		13	ผู้ดูแลเดินส่งใบแจ้งหนี้ (Invoice) ให้ทีมจัดซื้อ	360	396
	2 (หญิง)	14	ทีมจัดซื้อตรวจสอบใบแจ้งหนี้ (Invoice)	10	12
	รวมเวลา			***625***	***687***
(5) ผู้ใช้งานเบิกรับผลิตภัณฑ์	3 (ชาย)	15	ผู้ใช้งานเดินไปหยิบใบขอเบิกผลิตภัณฑ์	5	6
		16	ผู้ใช้งานเขียนใบขอเบิกผลิตภัณฑ์	30	33
	1 (ชาย)	17	ผู้ดูแลผลิตภัณฑ์ตรวจสอบข้อมูล	10	11
		18	ผู้ดูแลบันทึกข้อมูลลงระบบ E-Stock	135	149
	3 (ชาย)	19	ผู้ใช้งานขนย้ายออกจากจุดจัดเก็บ	30	34
	-	20	วางแผนการผลิต	0	0
	รวมเวลา			***210***	***233***

2.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์พบว่าขั้นตอนการนับจำนวนสินค้าในคลังและการรับผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบเป็นกิจกรรมที่ใช้ระยะเวลาสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ ในกระบวนการ โดยแสดงให้เห็นในแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่า 2 ขั้นตอนแรกมีสัดส่วนรวมกันคิดเป็นร้อยละ 55 ของเวลาทั้งหมดในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าและเป็นคอขวดสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการทำงาน นอกจากนี้ ขั้นตอนอื่น ๆ ได้แก่ การเปิดคำร้องสั่งซื้อสินค้า การบันทึกข้อมูลในระบบองค์กร และการรับเอกสาร มีแนวโน้มใช้เวลาต่อเนื่องและส่งผลสะสมเช่นกัน



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงการกระจายระยะเวลาการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

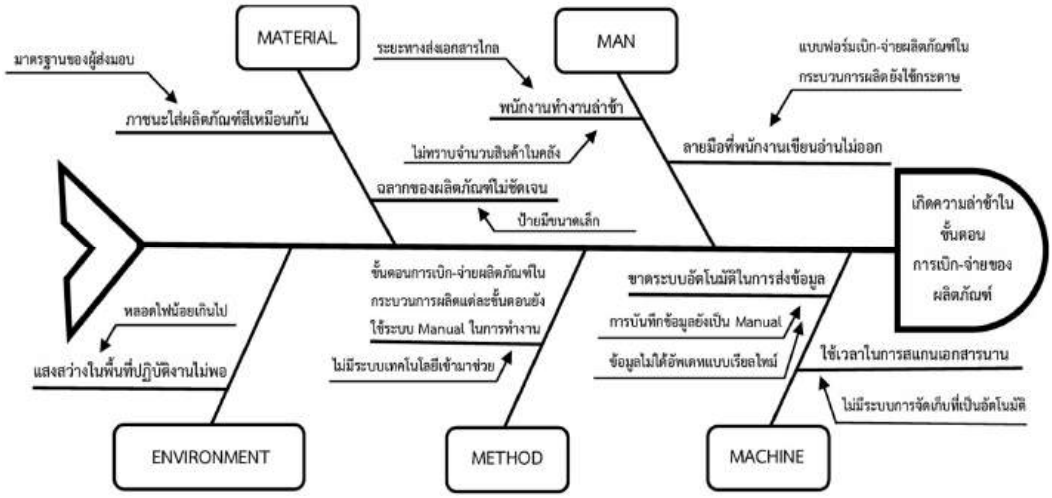
จากข้อมูลเชิงปริมาณที่ปรากฏในแผนภูมิพาเรโตสามารถนำมาใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกขั้นตอนที่มีความสูญเปล่าสูงเพื่อนำไปวิเคราะห์อย่างลึกซึ้งด้วยเครื่องมือคุณภาพอื่น ๆ ได้แก่ Why-Why Analysis และ Fishbone Diagram เพื่อระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการ และยังได้ประยุกต์ใช้หลักการ GEN Principle ซึ่งประกอบด้วย Genba (สถานที่จริง) Genbutsu (สิ่งของจริง) และ Genjitsu (ข้อมูลจริง) เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการตรวจสอบจากสภาพการทำงานจริง สิ่งของที่เกี่ยวข้องโดยตรง และข้อมูลข้อเท็จจริงที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ เพื่อให้การวิเคราะห์ปัญหามีความถูกต้องครบถ้วนและสอดคล้องกับสถานการณ์จริงของกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis พบว่า ความล่าช้าในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตมีสาเหตุหลักมาจากการที่ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ทันที ส่งผลให้ต้องตรวจสอบข้อมูลซ้ำหลายรอบและเกิดความล่าช้าในทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง โดยต้นตอของปัญหานี้เกิดจากระบบการทำงานในปัจจุบันยังคงพึ่งพาการดำเนินงานด้วยเอกสารกระดาษ และขาดการใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุน กระบวนการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องจาก Why1 ถึง Why5 ดังแสดงในตารางที่ 2 สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาเชิงโครงสร้างที่ซ่อนอยู่ในระบบ ได้แก่ การไม่มีระบบเทคโนโลยีช่วยในการทำงาน การขาดเครื่องมือดิจิทัลในการจัดเก็บและอัปเดตข้อมูลสินค้าในคลัง

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why-Why Analysis

ปัญหา: เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต		
ระดับ	**คำถาม (Why)**	**คำตอบ (Because)**
Why1	เหตุใดจึงเกิดความล่าช้าในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต	เนื่องจากไม่สามารถเรียกใช้ข้อมูลได้ทันที
Why2	เหตุใดจึงไม่สามารถเรียกใช้ข้อมูลได้ทันที	เนื่องจากเอกสารแบบฟอร์มการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในรูปแบบกระดาษ
Why3	เหตุใดจึงยังใช้เอกสารแบบฟอร์มในรูปแบบกระดาษ	เนื่องจากไม่มีระบบหรือเครื่องมือดิจิทัลสนับสนุนการดำเนินงาน
Why4	เหตุใดจึงไม่มีเครื่องมือดิจิทัลสนับสนุนการทำงาน	เนื่องจากกระบวนการยังคงเป็นแบบใช้แรงงานคนและไม่ได้มีการนำระบบเทคโนโลยีเข้ามาช่วย
Why5	เหตุใดจึงยังไม่ได้นำระบบเทคโนโลยีมาใช้ในกระบวนการ	เนื่องจากยังไม่มีการพัฒนาหรือบูรณาการระบบเทคโนโลยีในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต

และการขาดการพัฒนาระบบให้สามารถรองรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถตรวจสอบสินค้าในระบบได้ทันที และต้องอาศัยการจดบันทึกด้วยมือซ้ำซ้อนหลายขั้นตอน ผลจากการวิเคราะห์นี้จึงนำไปสู่ข้อเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการโดยการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อทดแทนการทำงานแบบเดิม รวมถึงการอัปเดตข้อมูลคลังสินค้าให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินการ เพิ่มความแม่นยำ และลดความสูญเปล่าในกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ได้อย่างเป็นระบบ



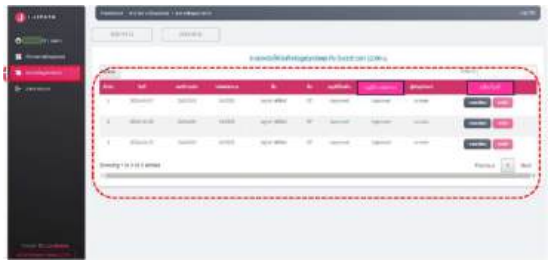
รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย Fishbone Diagram ภายใต้กรอบแนวคิด 4M1E พบว่า สาเหตุของความล่าช้าในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตมีความเชื่อมโยงกับหลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านคน (Man) ซึ่งพบว่าพนักงานปฏิบัติงานล่าช้าและมีปัญหาเรื่องลายมือที่อ่านยาก ปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) พบว่าไม่มีระบบอัตโนมัติในการส่งข้อมูล ทำให้ต้องใช้เวลานานในการสแกนเอกสาร ปัจจัยด้านวัสดุ (Material) มีการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน เช่น สีเดียวกัน ส่งผลให้แยกแยะได้ยาก ส่วนปัจจัยด้านวิธีการทำงาน (Method) พบว่ายังคงใช้ระบบแบบใช้แรงงานคนเป็นหลักในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ ซึ่งลดความคล่องตัวในการดำเนินงาน ในขณะที่ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (Environment) พบว่าแม้จะมีการกล่าวถึงปัญหาเรื่องแสงสว่างและพื้นที่ทำงานไม่เพียงพอ แต่จากการตรวจสอบด้วยหลักการ 3 GEN ซึ่งประกอบด้วย สถานที่จริง สิ่งของจริง และข้อมูลจริง พบว่าไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลโดยตรง เนื่องจากสามารถปฏิบัติงานได้จริงแม้อยู่ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว สรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความล่าช้าในกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การไม่มีระบบเทคโนโลยีเข้ามาสนับสนุนการทำงาน การใช้เอกสารกระดาษในการดำเนินการ และการขาดข้อมูลที่อัปเดตแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้เกิดการตรวจสอบซ้ำและความล่าช้าในกระบวนการโดยรวม

2.3 แนวทางในการปรับปรุงงาน

เพื่อแก้ไขความล่าช้าในขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS มาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการปรับปรุง โดยมุ่งเน้นการลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยเลือกใช้กลยุทธ์หลัก 2 แนวทาง ได้แก่ การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) และการจัดลำดับใหม่ (Rearrange) ในส่วนของการทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) ได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการจากเดิมที่ใช้การจัดเก็บข้อมูลผ่านเอกสารกระดาษมาเป็นระบบดิจิทัลด้วยการพัฒนาระบบ I-Jipata ซึ่งมีโครงสร้างฐานข้อมูลรองรับการบันทึก ตรวจสอบ และแสดงผลข้อมูล

แบบเรียลไทม์ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ จุดปฏิบัติงาน ระบบถูกออกแบบให้แยกสิทธิ์การเข้าถึงตามบทบาทของผู้ใช้งาน ได้แก่ ผู้ใช้งานทั่วไป หัวหน้าทีม และผู้ดูแลระบบ (Administrator) โดยมีฟังก์ชันสำคัญ เช่น การสแกนบาร์โค้ดหรือรหัส QR การอนุมัติคำร้องอัตโนมัติ การอัปเดตสต๊อกสินค้าแบบเรียลไทม์ และการแสดงรายงานผลในรูปแบบจอแสดงผลรายไตรมาส ซึ่งช่วยให้สามารถเรียกดูข้อมูลสินค้าได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น และลดความผิดพลาดจากการกรอกเอกสารด้วยมือ สำหรับแนวทางการจัดลำดับใหม่ (Rearrange) ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากกระบวนการรับและเบิกสินค้าเข้าสู่ระบบได้ทันทีหลังดำเนินการ พร้อมทั้งมีฟังก์ชันแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านอีเมลเมื่อมีการลงทะเบียนคำร้องขอเบิกผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดความซ้ำซ้อนจากการตรวจสอบซ้ำหลายครั้ง และสามารถติดตามสถานะสินค้าคงคลังได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้การตัดสินใจในกระบวนการผลิตมีความคล่องตัวและแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยแสดงหน้าต่างของระบบ I-Jipata ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบ I-Jipata สำหรับกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์

2.4 ดำเนินการปรับปรุงงาน

การดำเนินการปรับปรุงงานในครั้งนี้ได้นำหลักการ PDCA (Plan–Do–Check–Act) มาใช้เป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนากระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. วางแผน (Plan) ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลและศึกษาสภาพปัญหาในกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์แบบดั้งเดิมซึ่งดำเนินการด้วยแรงงานคน โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น Fishbone Diagram และ Why–Why Analysis เพื่อระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้าและข้อผิดพลาดในระบบ จากผลการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงกำหนดแนวทางการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS โดยมุ่งเน้นไปที่การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) และการจัดลำดับใหม่ (Rearrange)

2. ลงมือปฏิบัติ (Do) ดำเนินการพัฒนาและติดตั้งระบบสารสนเทศ I-Jipata เพื่อแทนที่กระบวนการที่ใช้เอกสารโดยระบบถูกออกแบบให้มีโครงสร้างฐานข้อมูลรองรับการจัดเก็บ ตรวจสอบ และแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ณ จุดปฏิบัติงาน พร้อมแยกสิทธิ์การใช้งานตามระดับผู้ใช้ เช่น พนักงานปฏิบัติการ หัวหน้าทีม และผู้ดูแลระบบ ระบบนี้ประกอบด้วยฟังก์ชันสำคัญ ได้แก่ การสแกนบาร์โค้ด/QR การอนุมัติคำร้องอัตโนมัติ การอัปเดตสต๊อกสินค้าแบบเรียลไทม์ และการแสดงรายงานแบบจอแสดงผล

3. ตรวจสอบผล (Check) ภายหลังจากการใช้งานจริงในสายงานได้รวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานเพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบเดิมและระบบที่ได้รับการปรับปรุง

4. ปรับปรุงและขยายผล (Act) จากผลการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแต่งระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะหน่วยงาน และจัดทำคู่มือการใช้งานเพื่อรองรับการขยายผลสู่แผนกอื่น ๆ ภายในโรงงาน

2.5 จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน

ภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Work Instruction) เพื่อกำหนดแนวทางการทำงานที่ชัดเจนและเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้พนักงานทุกคนปฏิบัติงานตามขั้นตอนเดียวกันอย่างถูกต้อง ลดโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาด และรักษามาตรฐานคุณภาพในการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง

2.6 สรุปผลการปรับปรุงงาน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดระยะเวลาและลดจำนวนขั้นตอนในการปฏิบัติงาน โดยผลการวิเคราะห์จะนำมาใช้สรุปแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้และพัฒนากระบวนการในอนาคตอย่างต่อเนื่อง

3. ผลการวิจัย

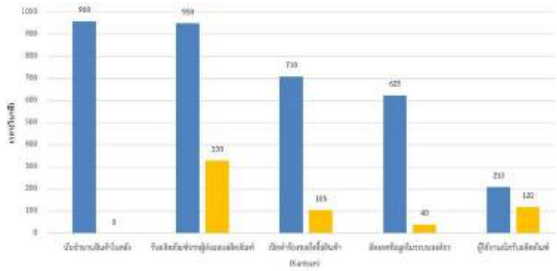
การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ร่วมกับการพัฒนาระบบสารสนเทศ I-Jipata พบว่า กระบวนการที่ปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้งในด้านปริมาณและกระบวนการดำเนินงาน โดยด้านปริมาณพบว่าจำนวนขั้นตอนในการดำเนินงานลดลงจากเดิมที่มีทั้งหมด 20 ขั้นตอน เหลือเพียง 12 ขั้นตอน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 40 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งส่งผลให้รูปแบบการทำงานมีความกระชับมากยิ่งขึ้น ลดความซ้ำซ้อน และลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการทำงานที่ไม่เป็นระบบ ในขณะเดียวกันระยะเวลารวมของกระบวนการทั้งหมดลดลงจาก 3,455 วินาที เหลือเพียง 595 วินาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 83 ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและการนำระบบเทคโนโลยีเข้ามาสนับสนุนการทำงานให้เป็นแบบเรียลไทม์ ในด้านการจัดการข้อมูลพบว่าความสามารถในการบันทึกและอัปเดตข้อมูลสินค้าได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมที่ต้องพึ่งพาเอกสารกระดาษในการจดบันทึกและตรวจสอบข้อมูล ซึ่งมักมีความล่าช้าและเกิดความผิดพลาดซ้ำซ้อน หลังการปรับปรุงสามารถดำเนินการผ่านระบบ I-Jipata ได้ทันที ทำให้การบันทึกข้อมูล การเรียกดู และการตรวจสอบข้อมูลสินค้าทำได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที ช่วยลดความผิดพลาดที่เคยเกิดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลาดำเนินกิจกรรมแต่ละขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง

ขั้นตอนหลัก	ผู้ปฏิบัติงาน	ขั้นตอนย่อย	กิจกรรม	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
(1) เปิดคำร้องขอสั่งซื้อสินค้า (Kanban)	1 (หญิง)	1	ผู้ดูแลระบบออก P/R สแกนบาร์โค้ดที่การ์ดที่ต้องการสั่งซื้อ	30	34
	2 (หญิง)	2	หัวหน้างาน SV/TM ตรวจสอบและอนุมัติ P/R ทาง E-mail	60	67
	1 (หญิง)	3	ผู้ดูแลระบบส่ง P/R ที่อนุมัติแล้วให้ทีมจัดซื้อทาง E-mail	15	17
	รวมเวลา			***105***	***118***
(2) รับผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบผลิตภัณฑ์	1 (ชาย)	4	ผู้ดูแลตรวจรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านใบแจ้งหนี้ (Invoice)	30	35
	2 (ชาย)	5	ผู้ส่งมอบภายนอกนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บที่จุดจัดเก็บ	300	330
	รวมเวลา			***330***	***365***
(3) อัพเดตข้อมูลในระบบองค์กร	1 (ชาย)	6	ผู้ดูแลตรวจนับจำนวนผลิตภัณฑ์ตามรายการผ่านระบบทำการอัพเดทข้อมูลทันที	40	45
	รวมเวลา			***40***	***45***
(4) ผู้ใช้งานเบิกรับผลิตภัณฑ์	3 (ชาย)	7	ผู้ใช้งานทำการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในระบบ	30	33
	4 (ชาย)	8	หัวหน้างาน SV/TM ที่มีผู้ใช้งานอนุมัติรายการเบิกในระบบและข้อมูลถูกส่งไปยังผู้ดูแลระบบ	20	22
	5 (ชาย)	9	ผู้ดูแลระบบอนุมัติรายการเบิกผู้ใช้งานเบิกในระบบ	10	11
		10	ผู้ดูแลเปิดท่อจัดเก็บผลิตภัณฑ์และตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้งานยื่นเบิกเข้ามาในระบบ	30	33
	3 (ชาย)	11	ผู้ใช้งานขนย้ายผลิตภัณฑ์ออกจากจุดจัดเก็บ	30	34
		12	วางแผนการผลิต	0	0
	รวมเวลา			***120***	***133***

นอกจากนี้ การพัฒนาระบบยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานอย่างชัดเจน โดยพนักงานสามารถดำเนินการบันทึกข้อมูล ณ จุดปฏิบัติงานได้ทันทีผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ลดความจำเป็นในการเดินเอกสารระหว่างหน่วยงาน ลดเวลาในการประสานงาน และทำให้ขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง รวดเร็ว และตอบสนองความต้องการได้ทันเวลา ทั้งนี้ ส่งผลให้ระบบการทำงานโดยรวมขององค์กรมีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น และ

สามารถรองรับการขยายงานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบขั้นตอนหลักก่อนและหลังการปรับปรุง

ซึ่งจากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาก่อนและหลังการปรับปรุงในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ สามารถสรุปได้ว่า การนำระบบ I-Jipata เข้ามาใช้งานร่วมกับหลักการ ECRS ส่งผลให้ระยะเวลาการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในขั้นตอนการนับจำนวนสินค้าในคลัง ซึ่งก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 960 วินาที แต่หลังการปรับปรุงสามารถตัดขั้นตอนนี้ออกได้ทั้งหมด ส่งผลให้เวลาเท่ากับ 0 วินาที แสดงถึงการนำข้อมูลจากระบบมาทดแทนการตรวจนับด้วยแรงงานคนอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับขั้นตอนการรับผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบลดลงจาก 950 วินาที เหลือ 330 วินาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 65.26 ขณะที่การเปิดคำร้องขอสั่งซื้อสินค้าลดลงจาก 710 วินาที เหลือ 105 วินาที คิดเป็นร้อยละ 85.21 เช่นเดียวกับการอัปเดตข้อมูลในระบบองค์กรที่ลดลงจาก 625 วินาที เหลือเพียง 40 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 93.6 และสุดท้ายขั้นตอนการเบิกรับผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้งานลดลงจาก 210 วินาที เหลือ 120 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 42.86 ผลการปรับปรุงนี้สะท้อนให้เห็นว่า การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและการออกแบบกระบวนการใหม่สามารถลดความซ้ำซ้อน ลดข้อผิดพลาดจากเอกสาร และเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานได้อย่างชัดเจน ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานอื่นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการบริหารจัดการในองค์กรได้

ภายหลังจากการปรับปรุงขั้นตอนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการทำงานของพนักงานได้อย่างชัดเจน เพื่อให้กระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงนี้สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) เพื่อใช้เป็นแนวทางให้พนักงานปฏิบัติงานตามขั้นตอนอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้การทำงานมีความสม่ำเสมอในระดับมาตรฐานเดียวกัน

4. อภิปรายผล

ผลการดำเนินการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าการลดระยะเวลาการทำงานลงถึงร้อยละ 83 เป็นผลจากการตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก การรวมกระบวนการที่มีลักษณะซ้ำซ้อน และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานแบบเรียลไทม์ โดยเฉพาะการลดการพึ่งพาเอกสารกระดาษและการบันทึกข้อมูลด้วยมือ ซึ่งในระบบเดิมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดความล่าช้า การนำระบบ I-Jipata เข้ามาใช้งานไม่เพียงช่วยลดเวลาในการทำงาน แต่ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล และลดโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดระหว่างกระบวนการอนุมัติและเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้แม้การปรับปรุงจะส่งผลดีอย่างชัดเจน แต่ยังพบข้อจำกัดบางประการ เช่น ความจำเป็นในการฝึกอบรมพนักงานให้เข้าใจการใช้ระบบใหม่อย่างถูกต้อง รวมถึงการลงทุนในการติดตั้งและบำรุงรักษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในระยะยาว

5. สรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายผลิตภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมุ่งเน้นการลดระยะเวลาและจำนวนขั้นตอนในการดำเนินงานผ่านการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ Why-Why Analysis, Fishbone Diagram และหลักการ 3GEN ซึ่งช่วยให้สามารถระบุและกำจัดสาเหตุของความสูญเปล่าได้อย่างตรงจุด จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตามแนวคิด ECRS ร่วมกับการพัฒนาระบบ I-Jipata เพื่อเพิ่มความรวดเร็ว ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการทำงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถลดจำนวนขั้นตอนการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงลดระยะเวลารวมของกระบวนการเบิกจ่ายได้

อย่างชัดเจน นอกจากนี้ การนำระบบ I-Jipata เข้ามาใช้งานยังช่วยลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือรองรับการอนุมัติแบบเรียลไทม์ และเพิ่มความคล่องตัวในการดำเนินงานโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สุดท้ายในด้านคุณค่าของผลการดำเนินงานงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในภาคการผลิต โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ต้องการยกระดับกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพและทันสมัยมากขึ้น หากมีการเชื่อมโยงกับนโยบายระดับอุตสาหกรรม เช่น ระบบโรงงานอัจฉริยะ ซึ่งเน้นการใช้ระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัลในการบริหารจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ และการพัฒนาองค์กรเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 จะยิ่งช่วยเสริมสร้างศักยภาพการแข่งขันขององค์กรให้เข้มแข็งยิ่งขึ้น และขยายผลการประยุกต์ใช้ไปยังกระบวนการผลิตอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก รวมถึงบริษัทกรณีศึกษาที่ได้มอบโอกาสและทรัพยากรในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสนับสนุนทั้งด้านวิชาการ และอุปกรณ์สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาย ชุติมาเวศม์, “การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ”, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น. (2553).

[2] Noamna, S., Thongphun T., and Kongjit, C., Transformer Production Improvement by Lean and MTM-2 Technique”, ASEAN Engineering Journal, 12(2): (2022), pp. 29-35.

[3] Kelendar H., and Mohammed M., “Lean and the ECRS Principle: Developing a Framework to Minimize Waste in Healthcare Sectors”, International Journal of Public Health and Clinical Sciences. 7: (2020), pp. 98-110.

[4] Gamboa P., and Singgih, M., “Lean Manufacturing Improvement Using ECRS and TRIZ Methods: Literature Review”, Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, (2021), pp. 1-5.

[5] เสรี อิทธิจันทร์ และ ศิริชัย ต่อสกุล, “การเพิ่มผลิตภาพในสายการประกอบชิ้นส่วนรถของเล่น โดยใช้เทคนิคแบบลีนและเทคโนโลยีไอโอที”, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9, (2567), หน้า 83-90.

[6] วันชัย ลีลากวีวงศ์, ธรรมวิชช์ ประเสริฐ, สุขุม โฆษิตชัยมงคล และ ณัฐญาดา จำปาวงศ์, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กรณีศึกษา บริษัท มิตซูบิชิ อิเลคทริค ไทย ออโต้-พาร์ท จำกัด”, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9, (2567), หน้า 122-127.

[7] อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา และ วิบูลย์ สำราญรัมย์, “การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณจังหวัดบุรีรัมย์”, วารสารวิชาการเทพสตรี, 17(1): (2565), หน้า 69-78.

[8] สุภาพร แสนกุล, ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์, เจษฎา แจ่มแสง, วัชรพล แสงดานุช, เตวิช รุ่งนภากานต์ และ นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS: กรณีศึกษากระบวนการผลิตขาธงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวนิล”, วารสารวิชาการเทพสตรี, 3: (2568), หน้า 58-70.

[9] Niebel, B. W., and Freivalds, A., “Methods, standards, and work design (11th ed.)”, New York: McGraw-Hill. (2003).

การศึกษาตัวแปรการขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่

Study of the Forming Parameters of Pots Made From Waste Sesbania Trunks

วิษณุ แฟงเมือง[1*] จิรายุทธ กตัญญู[1] ณัฐริชา สุขใหญ่[1] ประสิทธิชัย แดงด่วน[1]
เอกรัฐ ใจบุญ[1] ณนกร หยกสหชาติ[2] และ ภัทรพงศ์ เกิดลาภี[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Wisanu Fangmuang[1*] Jirayut Katanyu[2] Nataricha Sukyai[1] Prasitchai Daengduan[1]
Eakarat Jaiboon[1] Chanakorn Yoksahachart[2] and Phattharaphong Kiedlaphi[1]
[1] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya
[2] Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya
E-mail: wisanu.f@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ และทดลองศึกษาตัวแปรการขึ้นรูปกระถางจากเศษแผ่นต้นโสนหางไก่ซึ่งเป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์ จากเครื่องที่สร้างขึ้น โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาทิ้งเศษวัสดุ และส่งเสริมการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานประกอบด้วยการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปกระถางที่ใช้ระบบนิวเมติกส์และความร้อนในการกดอัดเศษแผ่นโสนให้เป็นกระถางที่มีขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะสม โดยศึกษาตัวแปรต่าง ๆ คือ อุณหภูมิกดอัดที่ใช้ 120 140 และ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลากดอัด 60 90 และ 120 วินาที และความชื้นของแผ่นเศษต้นโสน 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิ เวลาในการกดแช่ และความชื้นของแผ่นเศษต้นโสนต่อค่าการดูดซับน้ำของกระถาง ชิ้นงานทดลอง A1 อุณภูมิกดอัด 120 องศาเซลเซียส ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำสูงสุดอยู่ที่ 808.53 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับน้ำมากส่งผลต่อขนาด และรูปทรงของชิ้นงานทดลองที่เปลี่ยนแปลงไป. แตกต่างจากชิ้นงานทดลอง C1 อุณภูมิกดอัด 140 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำอยู่ที่ 393.47 เปอร์เซ็นต์ เป็นการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยทุกตัวแปร การดูดซับน้ำได้น้อยของวัสดุทดลองทำให้ชิ้นงานทดลองมีน้ำหนักหลังการหยดน้ำเบากว่าชิ้นงานทดลองที่มีการดูดซับน้ำได้มาก และมีความคงสภาพ ขนาด และรูปทรงของชิ้นงานทดลองได้ดีกว่า

คำหลัก: แผ่นเศษต้นโสนหางไก่ การดูดซับน้ำ กระถางจากแผ่นเศษต้นโสน

Abstract

This research aimed to design and construct a machine for forming flower pots from the remnants of Sesbania rostrata. It also aimed to experimentally study the forming variables of these remnants, which are waste from the artificial flower production process, using the constructed machine. The focus was on maximizing resource utilization, reducing air pollution from burning waste materials, and promoting the use of environmentally friendly materials. The operation involved designing and building a flower pot forming machine that uses a pneumatic system and heat to compress the Sesbania rostrata remnants into pots of suitable size and properties. Various forming variables were studied: pressing temperatures of 120, 140, and 160 degrees Celsius; pressing times of 60, 90, and 120 seconds; and moisture content of the Sesbania rostrata remnants of 40, 50, and 60 percent. The experimental results demonstrated the effects of temperature, pressing time, and moisture content of the Sesbania rostrata remnants on the water absorption rate of the pots. The experimental piece A1, formed at a pressing temperature of 120 degrees Celsius, a moisture content of 20 percent, and a pressing time of 60 seconds, had the highest average water absorption rate at 808.53 percent. High water absorption affected the size and shape changes of the experimental piece. In contrast, the experimental piece C1, formed at a pressing temperature of 140 degrees Celsius, a moisture content of 40 percent, and a pressing time of 60 seconds, had the lowest average water absorption rate at 393.47 percent when compared to the average of all variables. The low water absorption of the test material resulted in the experimental piece having a lighter weight after water dripping compared to experimental pieces with high water absorption, and it exhibited better stability, size, and shape retention.

Keywords: sesbania rostrata scraps, water absorption, sesbania pot

1. บทนำ

การผลิตดอกไม้ประดิษฐ์จากต้นโสนหางไก่ เริ่มจากนำต้นโสนหางไก่มาตากแดดให้แห้งโสนที่แห้งแล้วจะมีสีน้ำตาลน้ำหนักเบานำต้นที่แห้งมาตัดเป็นท่อน ๆ ให้แต่ละท่อนมีความยาวตามขนาดที่ต้องการใช้มีดที่คมปอกเปลือกต้นโสนออกจากนั้นฝานให้เป็นแผ่นบาง ๆ เรียบให้เสมอกันฝานติดต่อกันโดยไม่ให้ขาดจนถึงแกนโสน ผู้ผลิตส่วนใหญ่จะนิยมใช้เครื่องฝานโสนมาช่วยในการผลิตแผ่นโสนเพื่อลดระยะเวลาในการฝานโสน แผ่นโสนที่ได้มีความเรียบเสมอกันโสนหนึ่งท่อนฝานได้ความยาว 40 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดลำต้นของต้นโสน จากนั้นนำแผ่นโสนมาขึ้นรูปเป็นดอกไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น การทำดอกไม้ประดิษฐ์ประเภทดอกไม้กลีบใหญ่และนำแผ่นโสนที่ฝานแล้วมาเรียงซ้อนกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากนั้นนำแม่แบบมาวางทาบใช้มีดตัดให้เป็นดอกและใบตามที่ต้องการและเศษเปลือกโสนหางไก่ที่เหลือจากการฝานจะมีจำนวนมากก็จะนิยมไปเผาทิ้งหรือการนำไปทิ้งขยะทำให้เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ [1]

รูปที่ 1 ดอกไม้ประดิษฐ์จากโสนหางไก่

แนวคิดที่จะนำวัสดุที่จะนำมาอัดเป็นกระถางนั้นเพราะเป็นเศษที่ไม่สามารถนำมาทำเป็นดอกไม้ประดิษฐ์ได้เป็นเศษที่เหลือจากการฝานให้เป็นแผ่น โสนบางต้นไม่กลม ในขั้นตอนการฝานให้เป็นแผ่นจึงมีเศษทิ้งเป็นจำนวนมาก ทำให้เศษนั้นไม่สามารถนำไปทำได้ กลุ่มผู้ผลิตดอกไม้ประดิษฐ์จากต้นโสนจึงนิยมไปเผาทิ้งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษต้นโสนหางไก่มาพัฒนาจากกขยะกลายเป็นกระถางเพื่อลดการเผาและการทิ้งนำมาให้เกิดประโยชน์โดยมุ่งเน้นไปที่โสนหางไก่ เพราะเป็นเศษเหลือใช้จากดอกไม้ประดิษฐ์เพราะโดยปกติแล้วสามารถย่อยสลายได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [1]

รูปที่ 2 เศษแผ่นต้นโสน

คณะผู้วิจัยมีแนวความคิดออกแบบสร้างเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ และทดลองศึกษาตัวแปรการขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ เนื่องจากการกำจัดเศษแผ่นโสนด้วยวิธีการเผาทำลาย ทำให้เกิดการปล่อยมลพิษทางอากาศในรูปของฝุ่นละอองและควัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและภาวะเรือนกระจก การหาแนวทางนำเศษแผ่นโสนไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ นอกเหนือจากการหมักทำปุ๋ยชีวภาพ เช่น การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระถางต้นไม้หรือกล่องใส่อุปกรณ์ เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบด้านลบจากการเผาทำลายได้อย่างยั่งยืน และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเศษแผ่นโสนยังเป็นทางเลือกในการทดแทนการใช้วัสดุพลาสติกได้อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

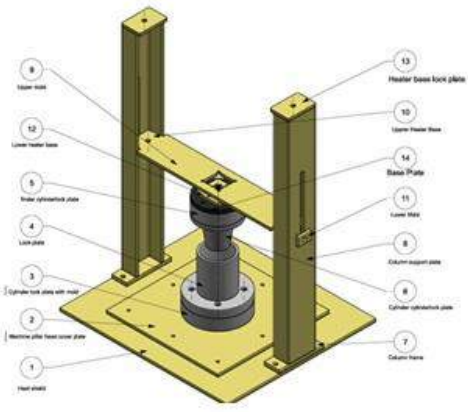
การค้นหาสาเหตุของปัญหาของกระบวนการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์จากต้นโสน คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตและค้นหาสาเหตุของปัญหาโดยเลือกใช้หลักการ 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัตถุดิบ (Material) [2] แล้วจึงนำสาเหตุที่เกิดขึ้นมาเขียนรวมตามประเภทที่วิเคราะห์เพื่อให้ง่ายต่อการเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สาเหตุของปัญหาจากการสำรวจกระบวนการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์

ปัจจัย	ปัญหา	สาเหตุ
คน (Man)	พนักฝ่ายผลิตไม่เพียงพอ	- ใช้ทักษะในการปฏิบัติงาน - ปัญหาด้านสุขภาพ - ขาดความสนใจจากกลุ่มวัยแรงงานรุ่นใหม่
เครื่องจักร (Machine)	ขาดเครื่องจักรเครื่องมือ/อุปกรณ์ ช่วยในการผลิต	- จำนวนเครื่องจักรไม่เพียงพอ - ขาดเครื่องจักร/เครื่องมือที่ทันสมัย
วัตถุดิบ (Material)	ปริมาณเศษแผ่นโสนมีจำนวนมาก	- ลำต้นของต้นโสนหางไก่ไม่กลม และมีขนาดไม่เท่ากัน - เศษที่เหลือจากผลิตดอกไม้ประดิษฐ์
	ต้นโสนหางไก่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการผลิต	- เกษตรกรเพราะปลูกต้นโสนตามฤดูการ - เกษตรกรเพราะปลูกต้นโสนมีจำนวนน้อย - ผู้ผลิตรายอื่นกักตุนต้นโสนหางไก่
วิธีการ (Method)	ใช้เวลานานในการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์แต่ละดอก	- ทุกขั้นตอนต้องใช้ความประณีต - ดอกไม้ประดิษฐ์แต่ละชนิดมีการผลิตที่ความซับซ้อนแตกต่างกัน

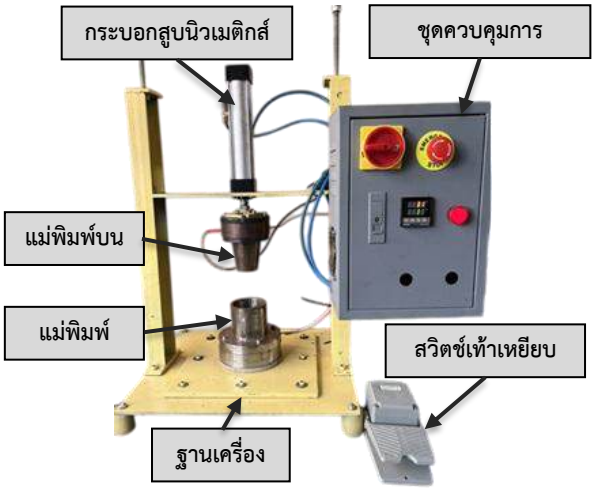
คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่พบ โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความถี่ของการเกิดปัญหา ผลกระทบของปัญหา ความเร่งด่วนในการแก้ไข และแนวโน้มความสำเร็จของการแก้ไขปัญหา เพื่อให้สามารถกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงจุด จึงได้พิจารณาเลือกแก้ไขปัญาด้านวัตถุดิบ มุ่งเน้นการนำเศษแผ่นต้นโสนที่มีจำนวนมากในกระบวนการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและสร้างมูลค่าเพิ่ม ด้วยวิธีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระถางต้นไม้ โดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่

จากที่ได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาแล้ว ขั้นตอนถัดมา คือ การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ ในการออกแบบรูปร่างและรูปทรงของชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องรวมถึงการออกแบบแม่พิมพ์ล่างและแม่พิมพ์บนสำหรับกดอัดกระถางให้เป็นทรงกรวย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 70 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นกระถาง 50 มิลลิเมตรและสูง 70 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นจึงเขียนแบบ 2 มิติเพื่อกำหนดรายละเอียดด้านขนาด พิกัดความเผื่อ ความเรียบผิว และสัญลักษณ์ที่จำเป็นสำหรับการผลิตลงในแบบสั่งงาน [3]



รูปที่ 3 แบบภาพประกอบเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่

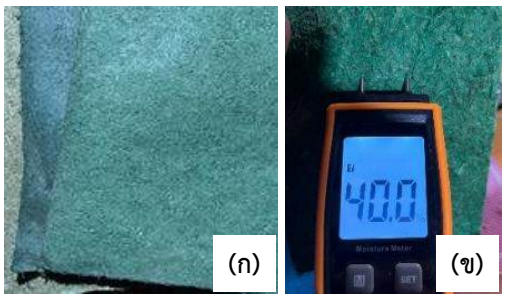
จากการออกแบบและเขียนแบบรายละเอียดแล้ว ได้ดำเนินการผลิตและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ติดตั้งระบบนิวเมติกส์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์และชุดควบคุมอุณหภูมิ ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของเครื่องในสภาวะต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเสถียร



รูปที่ 4 เครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่

3. ผลการวิจัย

แผ่นเศษต้นโสนหางไก่ได้มาจากการนำเศษต้นโสนหางไก่และเศษวัสดุจากการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์มาแช่น้ำ จากนั้นนำไปต้มและตีกวนเพื่อให้เยื่อแตกตัวละเอียด แล้วจึงนำไปกรองน้ำออก ล่อนให้เป็นแผ่นด้วยบล็อคตะแกรงในน้ำและตากแดดให้แห้ง ก็จะได้แผ่นเศษต้นโสนหางไก่ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) ในส่วนของการทดลองกดอัดขึ้นรูปกระถางจากแผ่นเศษต้นโสนหางไก่ เริ่มต้นด้วยการนำแผ่นเศษต้นโสนหางไก่มาพรมละอองน้ำ เพื่อให้ได้ความชื้นตามที่กำหนด โดยมีการวัดความชื้นด้วยอุปกรณ์วัดความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข)



รูปที่ 5 แผ่นเศษต้นโสนหางไก่

การทดสอบตัวแปรก่อนการทดลอง (Pre-test) จนได้ตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทดลองขึ้นรูปกระถางจากแผ่นเศษต้นโสน โดยใช้อุณหภูมิความร้อนระหว่างการกดอัดที่ 120 140 และ 160 องศาเซลเซียส แรงดันลมที่ 5 บาร์ ความชื้นและเวลากดแช่ ดังแสดงในตารางที่ 2

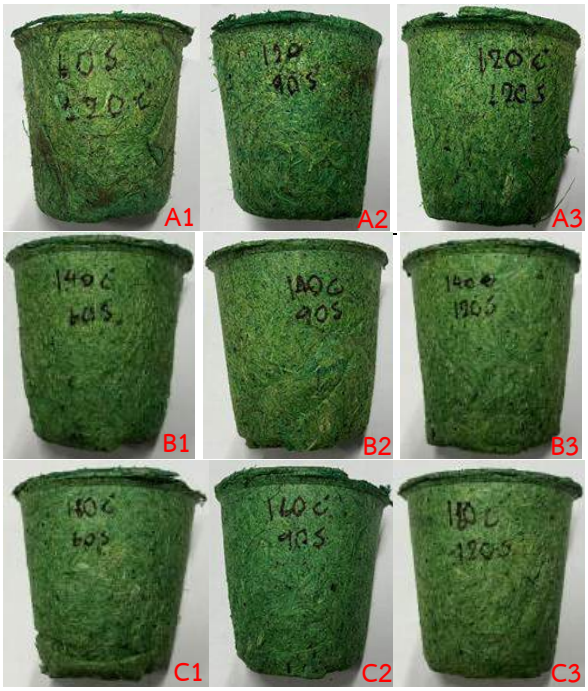
ตารางที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ความหมาย
A1	ความชื้น 20% เวลากดแช่ 60 วินาที
A2	ความชื้น 20% เวลากดแช่ 90 วินาที
A3	ความชื้น 20% เวลากดแช่ 120 วินาที
B1	ความชื้น 30% เวลากดแช่ 60 วินาที
B2	ความชื้น 30% เวลากดแช่ 90 วินาที
B3	ความชื้น 30% เวลากดแช่ 120 วินาที
C1	ความชื้น 40% เวลากดแช่ 60 วินาที
C2	ความชื้น 40% เวลากดแช่ 90 วินาที
C3	ความชื้น 40% เวลากดแช่ 120 วินาที

จากนั้นจึงปรับตั้งค่าอุณหภูมิการกดอัดตามตัวแปรบนชุดควบคุมการทำงานของเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ แล้วจึงนำแผ่นเศษต้นโสนที่พรมน้ำแล้วไปวางบนแม่พิมพ์ส่วนล่าง ทำการเคลื่อนแม่พิมพ์ส่วนบนลงมากดอัดแผ่นเศษต้นสน และกดแช่ไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดในตัวแปร ทำการกดอัดชิ้นงานตามแต่ละตัวแปรที่ตั้งไว้ จำนวนตัวแปรละ 3 ชิ้นทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 6 เพื่อนำไปทดสอบการดูดซับน้ำ

ภายหลังจากการทดลองกดอัดกระถางตามตัวแปรที่กำหนด ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการดูดซับน้ำ โดยเริ่มจากการนำกระถางไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาพักให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (Wd) จากนั้นหยดน้ำลงบนชิ้นงานทดลองจนอิ่มตัว ตั้งทิ้งไว้ให้น้ำส่วนเกินที่ชิ้นงานดูดซับไว้หมด สังเกตได้จากไม่มีน้ำหยดจากตัวอย่างชิ้นงาน นำชิ้นงานทดลองที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก (Ws) [4] ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำจากสมการ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$W = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100 \quad (1)$$

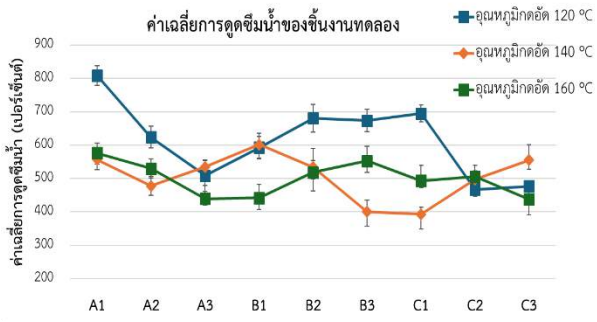


รูปที่ 6 ตัวอย่างชิ้นงานกระถางจากการทดลอง

รูปที่ 7 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานกระถางหลังการหยดน้ำ

4. อภิปรายผล

จากการทดลองกดอัดกระถางแผ่นเศษต้นโสนจนได้ชิ้นงานทดลองตามตัวแปรที่กำหนด ทำการทดสอบการดูดซับน้ำและบันทึกผลแสดงในแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 8 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 8 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดลอง จากการเปรียบเทียบทุกอุณหภูมิการกดอัด พบว่าชิ้นงานทดลอง A1 อุณภูมิกดอัด 120 องศาเซลเซียส ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำสูงสุดอยู่ที่ 808.53 เปอร์เซ็นต์ มีความคงรูปทรงของตัวชิ้นงานน้อยที่สุด เนื่องจากแผ่นเศษต้นโสนมีความพรุนช่วยให้อากาศและของเหลวซึมผ่านได้ง่าย เมื่อน้ำซึมเข้าสู่ชิ้นงานทดลอง สังเกตได้ว่าชิ้นงานทดลองที่สามารถดูดซับน้ำได้มากจะมีการพองตัวมาก เป็นผลจากน้ำแทรกเข้าไปในเนื้อวัสดุได้มากทำให้เกิดการดันตัวของชิ้นส่วนวัสดุออกมามากทำให้เกิดการพองตัวได้มาก เมื่อน้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้จะทำให้เกิดการเสียสภาพเสียรูปทรง [5] แตกต่างจากชิ้นงานทดลอง C1 อุณภูมิกดอัด 140 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำอยู่ที่ 393.47 เปอร์เซ็นต์ เป็นการดูดซับน้ำน้อยที่สุด การดูดซับน้ำได้น้อยของวัสดุทดลองทำให้ชิ้นงานทดลองมีน้ำหนักหลังการหยดน้ำเบากว่าชิ้นงานทดลองที่มีการดูดซับน้ำได้มาก

ผลจากการทดลองพบว่า ระดับความชื้นส่งผลต่อขนาดของรูปทรงกระถางหลังการขึ้นรูป โดยกระถางที่ขึ้นรูปจากแผ่นเศษต้นโสนที่ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของขนาดจากแม่พิมพ์มากกว่ากระถางที่ขึ้นรูปจากแผ่นเศษต้นโสนที่ความชื้น 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก ปริมาณความชื้นที่สูงส่งผลให้เส้นใยของแผ่นเศษต้นโสนอ่อนตัวลงมากกว่าแผ่นเศษต้นโสนที่มีความชื้นน้อย เมื่อเส้นใยดูดซับความชื้นจะขยายตัว ส่งผลให้ขนาดโดยรวมเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากเส้นใยสูญเสียความชื้นจะหดตัวและทำให้ขนาดลดลง ส่งผลกระทบต่อขนาดและรูปทรงสุดท้ายของวัสดุที่มีเส้นใยเป็นส่วนประกอบหลัก

อุณหภูมิในการกดอัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคงรูปทรงของกระถางอยู่ที่ 140 และ 160 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนระดับนี้มีประสิทธิภาพในการทำให้ความชื้นในเส้นใยแผ่นเศษโสนลดลงได้ดี ทำให้กระถางที่ได้มีความคงรูปทรงได้ดีกว่าการกดอัดด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

เวลากดแช่ที่ 90 และ 120 วินาที ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้อุณหภูมิในการกดอัดลดความชื้นในเส้นใยแผ่นเศษต้นโสนขณะอยู่ในแม่พิมพ์ได้ดีกว่าเวลากดแช่ที่ 60 วินาที โดยที่ระยะเวลาในการกดอัดที่นานขึ้นทำให้กระบวนการลดความชื้นออกจากเส้นใยแผ่นเศษต้นโสนภายใต้ความร้อนในแม่พิมพ์เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับการกดอัดในช่วงเวลาที่สั้นกว่า

5. สรุป

แผ่นเศษต้นโสนหางไก่สามารถกดอัดขึ้นรูปเป็นกระถางได้จากเครื่องขึ้นรูปกระถางจากเศษต้นโสนหางไก่ ชิ้นงานทดลอง A1 อุณภูมิกดอัดที่ 120 องศาเซลเซียส ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำอยู่ที่ 808.53 เปอร์เซ็นต์ มีความคงสภาพและรูปทรงของชิ้นงานกระถางน้อยที่สุด เนื่องจากชิ้นงานดูดซับน้ำได้มาก มีการพองตัวมาก และชิ้นงานทดลอง C1 อุณภูมิกดอัดที่ 140 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลากดแช่ 60 วินาที มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำอยู่ที่ 393.47 เปอร์เซ็นต์ เป็นการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรทั้งหมด ส่งผลให้ชิ้นงานทดลอง C1 มีความคงสภาพและรูปทรงของความเป็นกระถางชิ้นงานดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยกรณีศึกษานี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านกรด ตำบลบ้านกรด อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล วัสดุ สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบชิ้นงานทดลองจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปิยะธิดา สีหะวัฒนกุล, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดอกกล้วยไม้ป่าไทยจากโสนหางไก่ ข้อมูลจาก https://repository.rmutp.ac.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 ธันวาคม 2567)

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, “การศึกษางานอุตสาหกรรม”, (2562), หน้า 103-126.

[3] บรรเลง ศรนิล, สมนึก วัฒนศรีสกุล, “ตารางคู่มืองานโลหะ”. พิมพ์ครั้งที่ 11, ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, หน้า 62-110.

[4] ปิ่นประภา โสมากุล และ สิรินารี เงินเจริญ, “กระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยฉลากและขุยมะพร้าว”,การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี, ประเทศไทย, 28 สิงหาคม 2563: (2563), หน้า 36-45.

[5] เตือนใจ ปิยัง, วรรณวิภา ไชยชาญ และ กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์, “การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด”, วารสารวิจัยมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ปีที่ 10 ฉบับที่ 3, หน้า 497-511.

การลดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติก โดยการวิเคราะห์ผังกระบวนการไหล

Production Standard Time Reduction of Plastic Bottle Blowing Machine by Process Chart Analysis

ทวี หมัดสั๊ะ[1] นิวัฒน์ มูเก็ม[2] และ ปิยะวรรณ สูนาสวน[3*]
[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

Tavee Madsa[1] Niwat Mookam[2] and Piyawan Sunasuan[3*]
[1,2,3] Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Krai Kangwon Campus
E-mail: piyawan.sun@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อลดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติกโดยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ผังกระบวนการไหลในสายการผลิตแผนกประกอบและใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการสูญเสียเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต พบว่า ในกระบวนการประกอบเครื่องเป่าขวดพลาสติกเกิดความสูญเปล่าของเวลาในกระบวนการผลิตของการประกอบชุดปากกา การประกอบชุดรางเลื่อน การประกอบชุดหัวเป่า การประกอบชุดออโต้เป่าเข้าและการประกอบชุดออโต้เป่าออก จากนั้นในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการสูญเสียเวลาที่เกิดขึ้นโดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลพบว่าสาเหตุของปัญหาได้แก่ ขาดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม ความผิดพลาดไม่ได้มาตรฐานของชิ้นงานทำให้เสียเวลาในการซ่อมแซม และการรอคอยชิ้นงาน ดังนั้นในการลดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิต จึงได้มีการดำเนินการปรับปรุงโต๊ะทำงานโดยการใช้ 5 ส การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน และออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการประกอบชิ้นงาน หลังการปรับปรุงพบว่า สามารถลดเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบจากเดิม ใช้เวลารวมในการประกอบ 83.75 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 73.25 ชั่วโมง หรือลดลง 11.94 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก เวลามาตรฐาน ผังกระบวนการไหล ผังแสดงเหตุและผล

Abstract

The objective of this study is to reduce the standard time in the production process of plastic bottle blowing machines by applying flow process chart analysis of the assembly process and using cause and effect diagram to analyze the causes of time loss that occurred in the production, it was found that time is wasted in bench vise assembling, assembling the sliding rail set, the blow head set, the auto blow in unit and the auto blow out unit. Then analyzed the causes of time loss using cause and effect diagram, it was found that the root causes were work instruction and tool were not suitable, failures of workpieces which effected to repairing time and waiting for workpieces. In order to reduce the standard time, work station

has been done to improve by using 5S, work instruction standards were created and equipment to assist in assembling workpieces were designed. After the improvement the assembling production standard time was reduced from 83.75 hours to 73.25 hours or a decreased of 11.94 percent.

Keywords: Production standard time, Flow process chart, Cause and effect diagram

1. บทนำ

งานในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล ส่วนสำคัญของระบบการผลิตคือ สายการประกอบชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลเข้าด้วยกัน โดยมีการพัฒนานำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาใช้ในการประกอบ เพื่อลดเวลามาตรฐานในการผลิต กำหนดมาตรฐานในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามบ่อยครั้งที่เกิดความสูญเสียด้านเวลาในการผลิตอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งพบได้ในกระบวนการประกอบเครื่องจักร ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพัฒนาและหาวิธีการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียเวลาดังกล่าว บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติก โดยในแผนกการประกอบเครื่องเป่าขวดพลาสติกมีลักษณะกระบวนการปฏิบัติงานที่ทำให้เกิดความสูญเสียด้านเวลา จึงได้มีการศึกษาถึงวิธีการลดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตลงโดยใช้การวิเคราะห์ผังกระบวนการไหล และหาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล ตามที่ได้มีผู้ศึกษาและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ [1] การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมบริการด้านโรงแรม โดยการศึกษางาน วิเคราะห์แผนภูมิการไหลจากการทำงาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริการร่วมด้วยการประยุกต์ใช้หลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) หรือเทคนิค ECRS และหลักการวิเคราะห์ Why-Why ซึ่งสามารถลดเวลาและขั้นตอนการทำงานของพนักงานลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] การวิเคราะห์รายละเอียดของการทำงานตลอดทั้งกระบวนการโดยแผนภูมิการไหลของการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจัดสมดุลสายการผลิตและลดความสูญเปล่าด้วยเทคนิค ECRS รวมถึงวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผล ทำให้ทราบถึงความไม่เหมาะสมในการจัดพื้นที่การปฏิบัติงาน และสถานีงานที่ซับซ้อนกัน เกิดการรอคอยในสายการผลิต [3] การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต โดยการจำแนกกิจกรรมย่อยในแต่ละงานและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ Why-Why เพื่อหาสาเหตุของปัญหาและลดรอบเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบลงได้ [4] การปรับปรุงกระบวนการผลิต โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานและหาสาเหตุโดยเทคนิค ECRS และผังแสดงเหตุและผล ทำให้ได้รอบเวลาการประกอบชิ้นงานหลังการปรับปรุงที่ดีขึ้นส่งผลต่อคุณภาพความพึงพอใจของพนักงานที่ดีขึ้น [5] การลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง โดยมีแผนภาพแสดงเหตุและผลเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์หาสาเหตุ ทำให้สามารถลดของเสียลงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานน้ำดื่มในประเทศไทยได้กำหนดไว้ [6] การปรับปรุงกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตและจัดสมดุลสายการผลิต รวมถึงใช้เทคนิค ECRS และการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นและจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ ลดระยะเวลาการรอคอยในแต่ละสถานีงานลงได้ [7] การใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล หลักการระบบลีน (LEAN) การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) และแผนภูมิข้อมูลและวัสดุ ในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลผลิตรวมถึงการลดต้นทุนในบริษัทที่เป็นผู้จำหน่ายวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์โดยสามารถลดรอบเวลาการผลิตมาตรฐานลงส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและกำจัดความสูญเปล่าลงได้ [8] การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการใช้แผนภูมิกระบวนการไหลและแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าในอุตสาหกรรมผู้ค้าปลีกของตกแต่งบ้าน ทำให้สามารถปรับปรุงแผนผัง ลดจำนวนการดำเนินงาน ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดได้ [9] ประสิทธิผลของ

คุณภาพในการปรับปรุงผังงานของงานซ่อมแซมและงานก่อสร้าง เพื่อลดต้นทุนการดำเนินการ ลดระยะเวลาในการซ่อมแซมซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้บริโภคและสามารถนำไปสู่การลดลงของการเกิดอุบัติเหตุได้ [10] การปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บและพื้นที่ของคลังสินค้าโดยการใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิกระบวนการไหล และการพิจารณาการขนถ่ายวัสดุของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถลดระยะเวลาและระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ และสามารถเพิ่มพื้นที่ในการจัดเก็บได้

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการผลิตมาตรฐานโดยการใช้ผังกระบวนการไหลวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตของเครื่องเป่าขวดพลาสติกในปัจจุบัน จากนั้นใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลวิเคราะห์ปัญหา และทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ได้เวลามาตรฐานในการผลิตที่ดีขึ้น

2. วิธีการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนประกอบไปด้วย

1. ศึกษาขั้นตอนของการประกอบปัจจุบันของเครื่องเป่าขวดพลาสติกโดยใช้ผังกระบวนการไหล
2. ทำการแยกกิจกรรมย่อยของงานที่ได้จากการศึกษาโดยผังกระบวนการไหลที่ทำให้เกิดการสูญเสียของเวลาเพื่อนำไปพิจารณาวิเคราะห์หาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขปรับปรุง
3. วิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผลและหาแนวทางการปรับปรุง
4. จัดทำผังกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง
5. เปรียบเทียบเวลามาตรฐานก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการประกอบ

3. ผลการศึกษา

ข้อมูลผลการดำเนินการศึกษาปรากฏผลตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการประกอบปัจจุบัน

ผลการศึกษาขั้นตอนของการประกอบปัจจุบันของเครื่องเป่าขวดพลาสติกโดยใช้ผังกระบวนการไหลซึ่งเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจน เครื่องเป่าขวดพลาสติกมีลักษณะดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 เครื่องเป่าขวดพลาสติก

สำหรับขั้นตอนการประกอบโดยการวิเคราะห์ด้วยผังกระบวนการไหลของการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติกนั้น ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปขั้นตอนการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติก

Process	Q'ty	Time (hr.)	Distance (m.)
Operation	79	144.5	0
Transportation	27	37.0	395
Inspection	9	10.75	0
Delay	18	26.25	0
Storage	0	0	0
Total	133	218.5	395

จากผลการศึกษากระบวนการผลิตของเครื่องเป่าขวดพลาสติกด้วยการวิเคราะห์โดยผังกระบวนการไหลพบเวลาในการผลิตทั้งหมดของเครื่องเป่าพลาสติกทั้งหมดคือ 218.5 ชั่วโมง

3.2 การแยกกิจกรรมย่อยของงาน

ผลของการแยกกิจกรรมย่อยของงานที่ได้จากการศึกษาโดยผังกระบวนการไหลที่ทำให้เกิดการสูญเสียของเวลาเพื่อนำไปพิจารณาวิเคราะห์หาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขปรับปรุง จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการ

ประกอบชิ้นส่วนสำคัญที่ทำให้สูญเสียเวลาทั้งหมด 83.75 ชั่วโมงคือ ขั้นตอนของการประกอบ ชุดปากกา ชุดรางเลื่อน ชุดหัวเป่า ชุดออโต้เป่าเข้าและชุดออโต้เป่าออก ดังแสดงในรูปที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

รูปที่ 2 ชุดปากกา

รูปที่ 3 ชุดรางเลื่อน

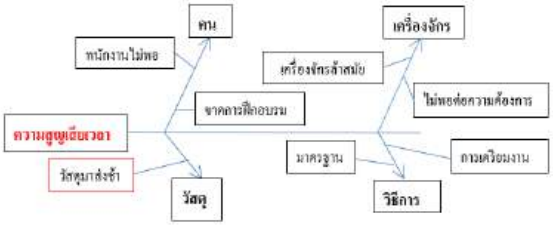
รูปที่ 4 ชุดหัวเป่า

รูปที่ 5 ชุดออโต้เป่าเข้า

รูปที่ 6 ชุดออโต้เป่าออก

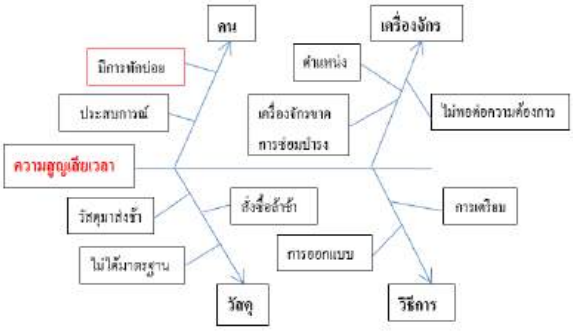
3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา

ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาของงานที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผลของขั้นตอนการประกอบที่สำคัญ ทั้ง 5 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนของการประกอบ ชุดปากกา ชุดรางเลื่อน ชุดหัวเป่า ชุดออโต้เป่าเข้าและชุดออโต้เป่าออก แสดงดังรูปที่ 7, 8, 9, 10 และ 11



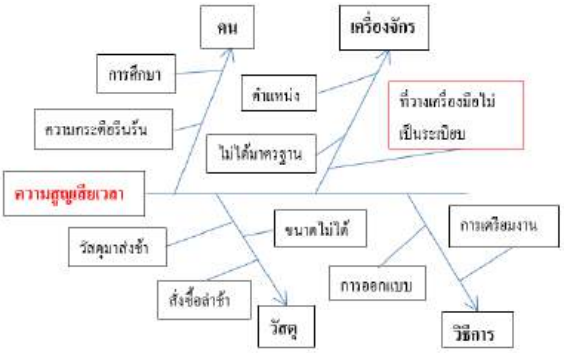
รูปที่ 7 ผังแสดงเหตุและผลความสูญเสียเวลาในการประกอบชุดปากกา

จากผลการวิเคราะห์ด้วยผังแสดงเหตุและผลในขั้นตอนการประกอบชุดปากกา ดังรูปที่ 7 พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการประกอบคือ ขั้นตอนของความล่าช้าในการส่งวัสดุให้พนักงานทำการประกอบเกิดความสูญเสียเวลาในการรอคอย จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการสั่งซื้อและกำหนดสัญญาพร้อมทั้งระบุค่าปรับหากส่งวัสดุไม่ทัน



รูปที่ 8 ผังแสดงเหตุและผลความสูญเสียเวลาในการประกอบชุดรางเลื่อน

จากผลการวิเคราะห์ด้วยผังแสดงเหตุและผลในขั้นตอนการประกอบชุดรางเลื่อน ดังรูปที่ 8 พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการประกอบคือ พนักงานมีการขาดระเบียบทางด้านเวลาในการพัก จึงได้ออกมาตรการในการสลับพักให้กับพนักงานเพื่อป้องกันปัญหาการพักที่บ่อยเกินไป



รูปที่ 9 ผังแสดงเหตุและผลความสูญเสียเวลาในการประกอบชุดหัวเป่า

จากผลการวิเคราะห์ด้วยผังแสดงเหตุและผลในขั้นตอนการประกอบชุดหัวเป่าเข้า ดังรูปที่ 9 พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการประกอบคือ การวางเครื่องมือไม่เป็นระเบียบทำให้ใช้เวลาในการหาเครื่องมือ จึงได้นำเทคนิค 5ส มาใช้ในการจัดระเบียบห้องเครื่องมือ ดังรูปที่ 12

รูปที่ 10 ผังแสดงเหตุและผลความสูญเสียเวลาในการประกอบชุดออโต้เป่าเข้า

จากผลการวิเคราะห์ด้วยผังแสดงเหตุและผลในขั้นตอนการประกอบชุดออโต้เป่าเข้า ดังรูปที่ 10 พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการประกอบคือ เครื่องมือในการประกอบที่ล้าสมัย จึงมีการปรับปรุงเครื่องมือโดยการออกแบบบล็อกลมมาใช้ในการประกอบการขันสกรูแทนประแจ

รูปที่ 11 ผังแสดงเหตุและผลความสูญเสียเวลาในการประกอบชุดออโต้เป่าออก

จากผลการวิเคราะห์ด้วยผังแสดงเหตุและผลในขั้นตอนการประกอบชุดออโต้เป่าเข้า ดังรูปที่ 11 พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการประกอบคือ การสูญเสียเวลาในการเดินไปเบิกเครื่องมือและเคลื่อนย้ายส่วนประกอบของเครื่อง จึงมีการปรับปรุงโดยการออกแบบสร้างรถรางจากวัสดุเหลือใช้จากการผลิต ทำให้ลดเวลาการเบิกและเคลื่อนย้ายได้

รูปที่ 12 การจัดระเบียบห้องเครื่องมือ

3.4 วิธีการแก้ไขปรับปรุง

ผลการเสนอวิธีการแก้ไขปรับปรุงและจัดทำผังกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง ทำให้สามารถลดเวลาในขั้นตอนการประกอบทั้ง 5 ขั้นตอนได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอนสำคัญในการผลิต 5 ขั้นตอน

Process	Q'ty	Time (hr.)	Distance (m.)
Operation	33	57.25	0
Transportation	8	9	130
Inspection	5	5.5	0
Delay	11	12	0
Storage	0	0	0
Total	57	83.75	130

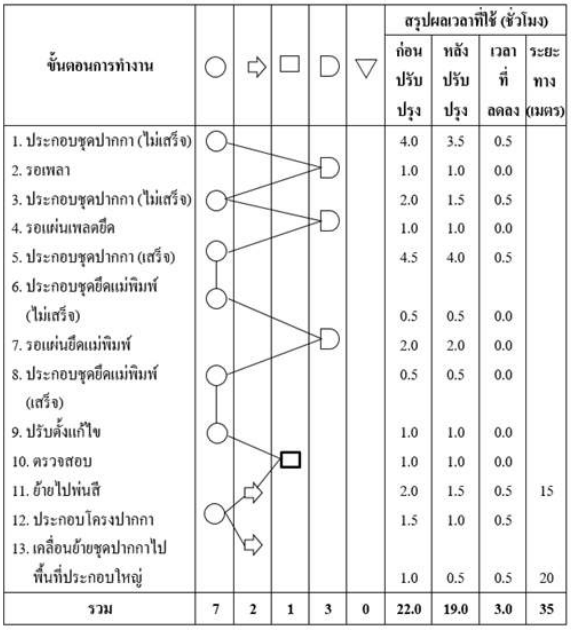
3.5 เปรียบเทียบเวลามาตรฐานก่อนและหลังการปรับปรุง

สำหรับการเปรียบเทียบเวลามาตรฐานในแต่ละขั้นตอนก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการประกอบทั้ง 5 ขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเวลามาตรฐานก่อนและหลังปรับปรุง

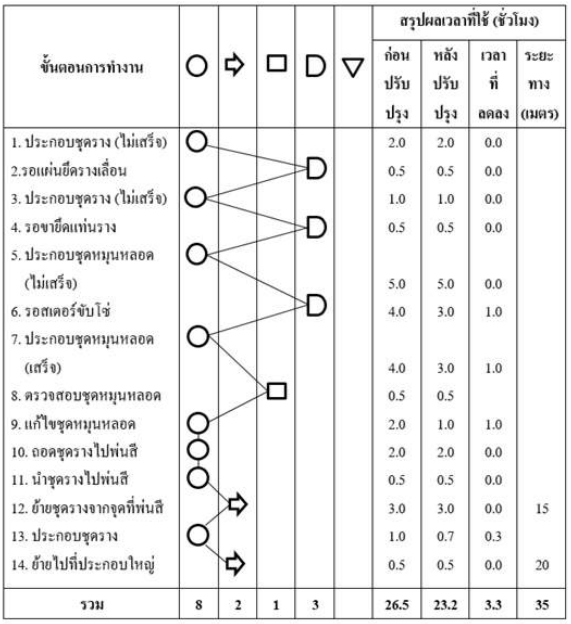
ขั้นตอน	เวลามาตรฐานก่อนการปรับปรุง (ชั่วโมง)	เวลามาตรฐานหลังการปรับปรุง (ชั่วโมง)
1. การประกอบชุดปากกา	22	19
2. การประกอบชุดรางเลื่อน	26.5	23.2
3. การประกอบชุดหัวเป่า	17	15
4. การประกอบชุดออโต้เป่าเข้า	12	10.5
5. การประกอบชุดออโต้เป่าออก	6.25	5.55
รวมเวลา	83.75	73.25

การเปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของ ขั้นตอนการประกอบทั้ง 5 ขั้นตอนดังรูปที่ 13,14,15,16 และ 17



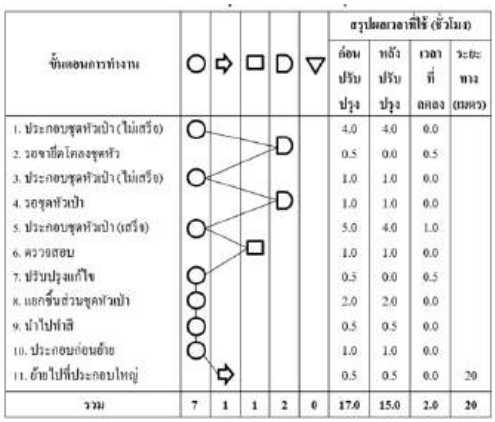
ขั้นตอนการทำงาน	○	⇨	□	D	▽	สรุปผลเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เวลาที่ลดลง	ระยะทาง (เมตร)
1. ประกอบชุดปากกา (ไม่เสร็จ)						4.0	3.5	0.5	
2. รอเพลา						1.0	1.0	0.0	
3. ประกอบชุดปากกา (ไม่เสร็จ)						2.0	1.5	0.5	
4. รอแผ่นเพลตยึด						1.0	1.0	0.0	
5. ประกอบชุดปากกา (เสร็จ)						4.5	4.0	0.5	
6. ประกอบชุดยึดแม่พิมพ์ (ไม่เสร็จ)						0.5	0.5	0.0	
7. รอแผ่นยึดแม่พิมพ์						2.0	2.0	0.0	
8. ประกอบชุดยึดแม่พิมพ์ (เสร็จ)						0.5	0.5	0.0	
9. ปรับตั้งแก้ไข						1.0	1.0	0.0	
10. ตรวจสอบ						1.0	1.0	0.0	
11. ย้ายไปพ่นสี						2.0	1.5	0.5	15
12. ประกอบโครงปากกา						1.5	1.0	0.5	
13. เคลื่อนย้ายชุดปากกาไปพื้นที่ประกอบใหญ่						1.0	0.5	0.5	20
รวม	7	2	1	3	0	22.0	19.0	3.0	35

รูปที่ 13 เปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของการประกอบชุดปากกา



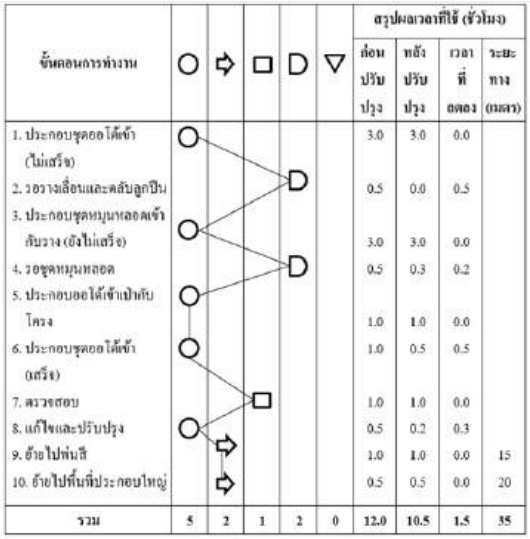
ขั้นตอนการทำงาน	○	⇨	□	D	▽	สรุปผลเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เวลาที่ลดลง	ระยะทาง (เมตร)
1. ประกอบชุดราง (ไม่เสร็จ)						2.0	2.0	0.0	
2.รอแผ่นยึดรางเลื่อน						0.5	0.5	0.0	
3. ประกอบชุดราง (ไม่เสร็จ)						1.0	1.0	0.0	
4. รอขายึดแท่นราง						0.5	0.5	0.0	
5. ประกอบชุดหมุนหลอด (ไม่เสร็จ)						5.0	5.0	0.0	
6. รอสเตอร์ขับโซ่						4.0	3.0	1.0	
7. ประกอบชุดหมุนหลอด (เสร็จ)						4.0	3.0	1.0	
8. ตรวจสอบชุดหมุนหลอด						0.5	0.5		
9. แก้ไขชุดหมุนหลอด						2.0	1.0	1.0	
10. ถอดชุดรางไปพ่นสี						2.0	2.0	0.0	
11. นำชุดรางไปพ่นสี						0.5	0.5	0.0	
12. ย้ายชุดรางจากจุดที่พ่นสี						3.0	3.0	0.0	15
13. ประกอบชุดราง						1.0	0.7	0.3	
14. ย้ายไปที่ประกอบใหญ่						0.5	0.5	0.0	20
รวม	8	2	1	3		26.5	23.2	3.3	35

รูปที่ 14 เปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของการประกอบชุดรางเลื่อน



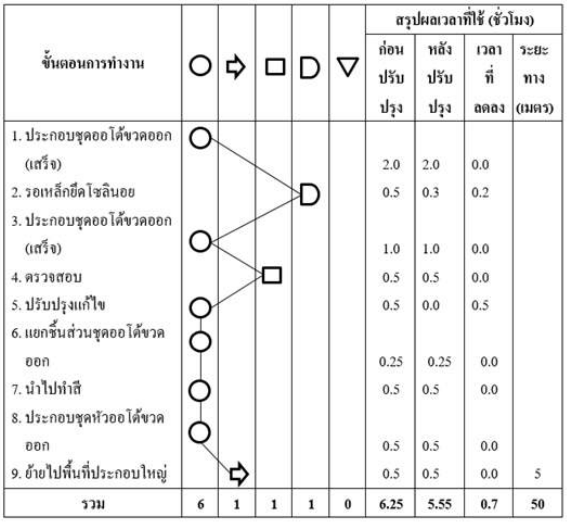
ขั้นตอนการทำงาน	○	⇨	□	D	▽	สรุปผลเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เวลาที่ลดลง	ระยะทาง (เมตร)
1. ประกอบชุดหัวเป่า (ไม่เสร็จ)						4.0	4.0	0.0	
2. รอชุดยึดโครงชุดหัว						0.5	0.0	0.5	
3. ประกอบชุดหัวเป่า (ไม่เสร็จ)						1.0	1.0	0.0	
4. รอชุดหัวเป่า						1.0	1.0	0.0	
5. ประกอบชุดหัวเป่า (เสร็จ)						5.0	4.0	1.0	
6. ตรวจสอบ						1.0	1.0	0.0	
7. ปรับปรุงแก้ไข						0.5	0.0	0.5	
8. แยกชิ้นส่วนชุดหัวเป่า						2.0	2.0	0.0	
9. นำไปทำสี						0.5	0.5	0.0	
10. ประกอบก่อนย้าย						1.0	1.0	0.0	
11. ย้ายไปที่ประกอบใหญ่						0.5	0.5	0.0	20
รวม	7	1	1	2	0	17.0	15.0	2.0	20

รูปที่ 15 เปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของการประกอบชุดหัวเป่า



ขั้นตอนการทำงาน	○	⇨	□	D	▽	สรุปผลเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เวลาที่ลดลง	ระยะทาง (เมตร)
1. ประกอบชุดออโต้เข้า (ไม่เสร็จ)						3.0	3.0	0.0	
2. รอวางเสื้อนและหลับลูกปืน						0.5	0.0	0.5	
3. ประกอบชุดหมุนเกลอเข้ากับวาง (ยังไม่เสร็จ)						3.0	3.0	0.0	
4. รอชุดหมุนหลอด						0.5	0.3	0.2	
5. ประกอบออโต้เข้าเป้ากับโครง						1.0	1.0	0.0	
6. ประกอบชุดออโต้เข้า (เสร็จ)						1.0	0.5	0.5	
7. ตรวจสอบ						1.0	1.0	0.0	
8. แก้ไขและปรับปรุง						0.5	0.2	0.3	
9. ย้ายไปพ่นสี						1.0	1.0	0.0	15
10. ย้ายไปพื้นที่ประกอบใหญ่						0.5	0.5	0.0	20
รวม	5	2	1	2	0	12.0	10.5	1.5	35

รูปที่ 16 เปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของการประกอบชุดออโต้เป่าเข้า



ขั้นตอนการทำงาน	○	⇨	□	D	▽	สรุปผลเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เวลาที่ลดลง	ระยะทาง (เมตร)
1. ประกอบชุดออโต้ขวดออก (เสร็จ)						2.0	2.0	0.0	
2. รอเหล็กยึดโซลินอย						0.5	0.3	0.2	
3. ประกอบชุดออโต้ขวดออก (เสร็จ)						1.0	1.0	0.0	
4. ตรวจสอบ						0.5	0.5	0.0	
5. ปรับปรุงแก้ไข						0.5	0.0	0.5	
6. แยกชิ้นส่วนชุดออโต้ขวดออก						0.25	0.25	0.0	
7. นำไปทำสี						0.5	0.5	0.0	
8. ประกอบชุดหัวออโต้ขวดออก						0.5	0.5	0.0	
9. ย้ายไปพื้นที่ประกอบใหญ่						0.5	0.5	0.0	5
รวม	6	1	1	1	0	6.25	5.55	0.7	50

รูปที่ 17 เปรียบเทียบแผนภูมิการไหลก่อนและหลังการปรับปรุงของการประกอบชุดออโต้เป่าออก

4. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผังกระบวนการไหลในกระบวนการผลิตเครื่องเป่าขวดพลาสติกและการใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุของปัญหาความสูญเปล่าของเวลาในการผลิตพบว่างานย่อยที่เป็นขั้นตอนการประกอบคือการประกอบชุดปากกา ชุดรางเลื่อน ชุดหัวเป่า ชุดออโต้เป่าเข้าและออกเป็นกระบวนการประกอบที่ทำให้เกิดเวลาที่สูญเปล่าอันมีสาเหตุมาจาก

1. ความล่าช้าในการส่งวัสดุให้พนักงานทำการประกอบทำการแก้ไขโดยทำการปรับปรุงวิธีการสั่งซื้อ
2. พนักงานมีการขาดระเบียบทางด้านเวลาในการพัก ทำการแก้ไขโดยมาตรการในการสลับพักให้กับพนักงาน
3. การวางเครื่องมือไม่เป็นระเบียบ ทำการแก้ไขโดยนำเทคนิค 5ส มาใช้ในการจัดระเบียบห้องเครื่องมือ
4. เครื่องมือในการประกอบที่ล้าสมัย ทำการแก้ไขโดยการออกแบบบล็อกลมมาใช้การขันสกรูแทนประแจ
5. การสูญเสียเวลาในการเดินไปเบิกเครื่องมือและเคลื่อนย้ายส่วนประกอบของเครื่อง ทำการแก้ไขโดยการออกแบบสร้างรถรางจากวัสดุเหลือใช้จากการผลิต

ซึ่งหลังทำการปรับปรุงแก้ไขสามารถลดเวลาในการประกอบจาก 83.75 ชั่วโมงเหลือ 73.25 ชั่วโมง ลดลง 11.94 % อย่างไรก็ตาม ควรมีการทวนสอบวิธีการปฏิบัติงานและมาตรฐานการทำงานอย่างสม่ำเสมอเพื่อการพัฒนาและรักษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องและการทบทวนการประเมินผลและการจัดมาตรฐานการอบรมพนักงานสำหรับวิธีการปฏิบัติเพื่อรักษาผลลัพธ์ที่ได้อย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งศึกษาการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการปรับปรุงที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างความเชื่อมั่นถึงวิธีการปรับปรุงที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเพิ่มเติมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ, ธีรพล เถื่อนแพ และนิศาชล จันทรานภาสวัสดิ์, “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมการบริการด้านโรงแรมโดยการวิเคราะห์แผนภูมิการไหล”,วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 31: (2564), หน้า 180-192.

[2] กฤตภัค แปลงดี, เจตนิพัทธ์ พิมลลักขณากุล, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร, ประจักร จัตกุล, วรรณนิศา นุชคุ้ม, “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจัดสายการผลิตรูปแบบตัวยูโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรม กรณีศึกษา: บริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2567, 15-17 พฤษภาคม 2567 อุบลราชธานี, (2567), หน้า 741-749.

[3] ศรินยา ประทีปชนะชัย, ยุทธณรงค์ จงจันทร์, สราวุธ อิศรานุวัฒน์, ภีม พรประเสริฐ, เกียรติศักดิ์ พระเนตร, กิตติคุณ แก้วภิรมย์, “การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2566, 11-12 พฤษภาคม 2566 ชลบุรี, (2566), หน้า 355-360.

[4] กฤษณี ตรีสงฆ์, ณรงฤทธิ์ สนใจธรรม, “การปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2565, 11-12 พฤษภาคม 2565 รูปแบบออนไลน์ ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์, (2565), หน้า 316-322.

[5] ณัฐวิทย์ กาใจทราย, ภานุวัฒน์ เป็งใจ, ฤทัยภัทร ศุกระศร, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2566, 11-12 พฤษภาคม 2566 ชลบุรี, (2566), หน้า 381-389.

[6] วิชญุตร์ งามสะอาด, ปิยะเนตร นาคสีดี และ ณัฐพล อึงประเสริฐ, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต: บริษัทกรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 19: (2566), หน้า 160-176.

[7] S. NurAulia and F. Farizal, “Implementation of a Lean Production System Using Materials and Information Flow Chart in Electroplating Services Company,” Journal of Business and Management Studies. Vol. 6(3), (2024), pp. 271–278.

[8] S. Shanker Pydimarry and B. V.S.Rao, “Enhancing Productivity Using Flow Process Charts and Value Stream Mapping,” ICETE. Vol. 223, (2023), pp. 1138–1149.

[9] Y. Olegovna Kustikova and E. Valeryevna Pankova, “The Effectiveness of Flow Charts in Improving the Quality Control of Repair and Construction Work,” ESCP. Vol. 403, (2023), pp. 1–8.

[10] V. Ibanez and A. Hindarto Wibowo, “Warehouse Relayout Analysis Using Flow Process Chart and Dedicated Storage in CV Master Multi Java,” in Proceeding of International conference on Sustainable Engineering and Technology, Jun 7, 2022: (2022), pp. 103–112.

การลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิค FMEA สำหรับการผลิตอะไหล่รถยนต์ทางการเกษตร

The Reduction of Waste in The Manufacturing Process Using FMEA Techniques for Agricultural Vehicle Parts Production

วัชรพันธ์ สุขเกิด[1], ฐิติพร ปรุงแสง[2], วิจิตรา เฉลิมศิริ[3], สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์[4] และ กชกร วิรัชกุล[5*]
[1, 2, 3, 4] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Watcharapan Sukkerd[1], Titiporn Prungsaeng [2], Wijittra Chaiermsiri[3], Suttipong Jumroonrut[4] and Kotchakorn Wiratchakul[5*]
[1, 2, 3, 4, 5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail: kotchakorn.w@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงและปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วน โดยประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และ Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องในสายการผลิต โดยเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตและใช้แผนภูมิพาเรโต้ร่วมกับการวิเคราะห์ต้นทุนการทำงานซ้ำพบว่าปัญหาหลักที่ต้องรีบดำเนินการปรับปรุงคือผิวชิ้นงานมีรอยจิกเป็นหลุมลึก และผิวถลอก ซึ่งมีค่า RPN สูง จากนั้นจึงลำดับปัญหาต่อไปตามความเร่งด่วนการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางการควบคุมคุณภาพที่เหมาะสม โรงงานสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการพัฒนากระบวนการเพื่อลดของเสียและควบคุมต้นทุนการผลิตผลลัพธ์หลังการปรับปรุงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์–มีนาคม พ.ศ. 2568 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านตามข้อกำหนดเพิ่มขึ้น 6.91% และของเสียลดลงถึง 89.66% ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิตดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสามารถลดภาระงานซ้ำและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้

คำหลัก : ประเมินความสี่ยง ดัชนีความเสี่ยงชี้นำ กระบวนการผลิต

Abstract

This study aims to assess production risks and improve the manufacturing process of component parts by applying Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) in conjunction with Why-Why Analysis to identify and analyze the root causes of defects within the production line. Data were collected from actual manufacturing operations and analyzed using Pareto charts and rework cost analysis. The findings revealed that the most critical defects—deep surface dents and scratches—had the highest Risk Priority Numbers (RPN) and thus required immediate corrective actions. Additional issues were ranked and addressed based on urgency. Risk analysis and prioritization allowed for the development of appropriate quality control measures. Implementation of the proposed improvements during February to March 2025 resulted in a 6.91% increase in products conforming to specifications

and an 89.66% reduction in nonconforming products. These outcomes demonstrate a significant enhancement in production efficiency, reduced rework costs, and improved customer satisfaction.

Keywords: Risk Assessment Risk Priority Number (RPN) Production Process

1. บทนำ

การลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหนึ่งในกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและลดต้นทุนที่ไม่จำเป็น การป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดการผลิตที่มีคุณภาพและไม่เกิดข้อผิดพลาดเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าในปริมาณมาก เช่น การผลิตชิ้นงาน Base Battery ที่มีการผลิตและประกอบเป็นจำนวนมาก พบว่ามีปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น ปัญหาชิ้นงานเกิดการเชื่อมทะลุ, สีถลอก, หรือรอยจิกที่เป็นหลุมลึก ซึ่งแม้จะพบปัญหาเหล่านี้ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา แต่ยังไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ การนำเทคนิค FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ช่วยให้สามารถประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับแต่ละปัญหาได้ โดยการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) เพื่อให้สามารถกำหนดแนวทางในการลด ป้องกัน หรือรับมือกับความเสี่ยงต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) ตามความหมายของ AIAG (Automotive Industry Action Group, 2001) คือ กลุ่มของกิจกรรมเชิงระบบประการหนึ่งที่ มีจุดมุ่งหมาย [1]

1) รับรู้และประเมินถึงแนวโน้มของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์/กระบวนการหนึ่งและผลกระทบ (Effect) จากข้อบกพร่องดังกล่าว

2) การบ่งชี้ถึงการปฏิบัติการที่สามารถกำจัดทิ้งหรือลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง

3) การดำเนินการจัดทำกระบวนการทั้งหมดในรูปเอกสาร FMEA จะมุ้งเน้นที่การชี้ให้เห็นถึงคุณลักษณะของความ เสียหายหรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น (Potential Failure Mode) อันเนื่องมาจากการออกแบบ การ ผลิตหรือการบริการ จากนั้นจึงจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบ ของความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Effects Analysis) และ สุดท้ายก็เพื่อการนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Problems Prevention) โดยขั้นตอนการจัดทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) สามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังนี้ กำหนดลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์การทบทวนกระบวนการ การระดมสมองค้นหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ กำหนดระดับของความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลว (Severity: S) พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดขึ้นของสาเหตุนั้น ๆ (Occurrence: O) พิจารณาความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวขึ้น (Detection: D) การประเมินค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่อง (Risk Priority Number: RPN) และการติดตามผลและจัดทำมาตรฐาน

2.2 ค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่อง (Risk Priority Number: RPN)

ค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่อง (RPN) [2] คือ ตัวเลขที่ใช้แสดงผลลัพธ์ของความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อระบบใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไขปัญหา กำหนดให้ระดับความเสี่ยงหาได้จากสมการ (1)

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

โดยที่ S คือ ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความ ล้มเหลว (Severity) O คือ โอกาสที่จะเกิดขึ้นจากสาเหตุนั้นว่าบ่อยเพียงใด (Occurrence) และ D คือ ความสามารถในการ ตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวขึ้นได้ดีเพียงใด (Detection) โดยค่า RPN เป็นไป

ตามหลักเกณฑ์ของหลักการพาเรโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1,000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูง ๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ให้ลดลง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิค FMEA โดยพิจารณาวิธีการดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	ทฤษฎี/หลักการ		
	การลดของเสีย	แผนผังก้างปลา	FMEA
รัชฎากรณ์ [1]		✓	✓
ระพีพัฒน์ [2]		✓	✓
พงศ์ณัฐ [3]		✓	✓
วราธร [4]			✓
เปรม [5]	✓	✓	✓
วิชาญ [6]			✓

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการผลิต

รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นงาน Base Battery

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นงาน Base Battery ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในยานยนต์ประเภท รถไถ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณของเสียและข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตผู้วิจัยได้ใช้เทคนิค FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่องในแต่ละขั้นตอนการผลิต โดยเน้นการศึกษาขั้นตอนการ เชื่อมชิ้นงาน Base Battery ซึ่งเป็นส่วนที่มีปัญหาด้านคุณภาพมากที่สุด กระบวนการตรวจสอบปัญหานี้อาศัยข้อมูลจากพนักงานควบคุมคุณภาพ และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ เช่น เอกสารตรวจสอบคุณภาพของเหล็ก (Mill Sheet) แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) Final Inspection การตรวจสอบชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการชุบสี ผลการศึกษาเน้นที่การระบุจุดบกพร่องและหาแนวทางลดความเสี่ยงในการผลิต เพื่อลดจำนวนชิ้นงานเสียและทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2 ศึกษาลักษณะของปัญหาและผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการ

การวิเคราะห์ปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตของบริษัทตัวอย่าง โดยมีการรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลา 6 เดือน (สิงหาคม 2564 – มกราคม 2565) พบว่ามีจำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องหลายรายการ ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากข้อผิดพลาดในขั้นตอนการขนย้าย การเชื่อม การชุบสี และการตรวจสอบชิ้นงาน โดยสรุปปัญหาหลักได้ดังนี้

1. ผิวชิ้นงานถลอกและสีเยิ้ม (43 ชิ้น) เกิดจากอุปกรณ์ขนย้ายที่คับแคบ การเคลื่อนย้ายรวดเร็ว และขาดช่วงเวลาการพักสีให้แห้ง

2. ผิวชิ้นงานเป็นหลุมลึก (2 ชิ้น) เกิดจากขาดการตรวจสอบหลังการเชื่อมหรือการแก้ไขเฉพาะหน้า

3. แนวเชื่อมทะลุบริเวณ Part No.1 (4 ชิ้น) เกิดจากการจัดวางชิ้นงานไม่ถูกต้อง และการใช้ความร้อนที่ไม่เหมาะสม

4. สีบริเวณขอบชิ้นงานแตก (8 ชิ้น) เกิดจากการใช้น้ำมันมะพร้าวที่ไม่เหมาะสมกับงานโลหะ และเตาอบแห้ง (Dry off Oven) ทำอุณหภูมิไม่ได้ตามมาตรฐาน

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อหาแนวทางการแก้ไข

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตชิ้นงาน Base Battery (ตามรูปที่ 1) โดยใช้หลักการ Why-Why Analysis และ FMEA เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยพบ 4 ปัญหาหลักที่ควรนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ สภาพผิวชิ้นงานหลังการชุบสี, ปัญหาจากการเชื่อมชิ้นงาน และปัญหาที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ซึ่งจะนำไปคัดกรองเพื่อประเมินความ

เสี่ยงต่อไป

การประเมิน FMEA จะต้องทำโดยคณะผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินสาเหตุที่มีโอกาสเกิดความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน ทีมวิศวกรของบริษัทตัวอย่างได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการผลิตและลักษณะข้อบกพร่องของชิ้นงาน ซึ่งจะนำข้อมูลเหล่านี้มาประเมินด้วยวิธี FMEA เพื่อคัดกรองปัญหาที่มีคะแนนต่ำออกไป

สาเหตุหลักของข้อบกพร่องที่พบ ได้แก่

1. แนวเชื่อมทะลุบริเวณชิ้นงาน (Part No. 1) เกิดจากพนักงานขาดความชำนาญ, การจัดตำแหน่งชิ้นงานไม่เหมาะสม, ความร้อนของลวดเชื่อมไม่สมดุลกับความหนาของชิ้นงาน โดยแนวทางแก้ไขคือ ให้การฝึกอบรมพนักงานและตรวจสอบการทำงานบ่อยๆ ปรับปรุงการตั้งค่าหุ่นยนต์เชื่อมและการตรวจสอบตามมาตรฐาน

2. พื้นผิวของผลิตภัณฑ์เกิดการถลอก เกิดจากอุปกรณ์ขนย้ายคับแคบ, การชุบสีไม่แห้งแต่มีการเคลื่อนย้าย, เกิดความผิดพลาดระหว่างการแก้ไขข้อบกพร่องในส่วนอื่นๆ โดยแนวทางแก้ไขคือ ออกแบบการวางชิ้นงานในตะกร้าให้ห่างกันมากขึ้นและเพิ่มมาตรการตรวจสอบก่อนการเคลื่อนย้าย

3. ผิวชิ้นงานมีรอยจิกเป็นหลุมลึก เกิดจากพนักงานขาดความชำนาญ, เกิดความผิดพลาดระหว่างการแก้ไขข้อบกพร่อง, ขาดการตรวจสอบหลังจากการเชื่อม โดยแนวทางแก้ไขคือ เพิ่มมาตรการตรวจสอบชิ้นงานก่อนเคลื่อนย้ายและอบรมพนักงานเกี่ยวกับการตรวจสอบที่ถูกต้อง

4. สีบริเวณชิ้นงานเกิดการแตก เกิดจากการใช้น้ำมันมะพร้าวในการขึ้นรูปและเครื่องอบไม่สามารถทำความร้อนได้ตามมาตรฐาน แก้ไขโดยจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบน้ำมันขึ้นรูปและ Heater Box รวมถึงอบรมพนักงานให้ทำงานตามมาตรฐาน

3.3. เกณฑ์ในการปฏิบัติการแก้ไข RPN

สรุปการประเมินสาเหตุของข้อบกพร่องได้ดังนี้

1. แนวเชื่อมทะลุบริเวณชิ้นงาน (Part No. 1)

1.1. **พนักงานไม่มีความชำนาญในการปฏิบัติงาน** ควรเพิ่มมาตรการในการป้องกันโดยการอบรมพนักงานประจำหุ่นยนต์เชื่อม และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 336)

1.2 การจัดวางชิ้นงานไม่ได้อยู่ในระยะที่สมควร เพิ่มมาตรการในการป้องกันโดยการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 252)

1.3 ปริมาณความร้อนของลวดเชื่อมไม่สมมาตรกับความหนาของชิ้นงาน เพิ่มมาตรการในการป้องการโดยการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าของหุ่นยนต์เชื่อม และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 252)

2. พื้นผิวของผลิตภัณฑ์เกิดการถลอก

2.1 อุปกรณ์ขนถ่ายมีลักษณะคับแคบ เมื่อมีการขนย้าย เพิ่มมาตรการในการป้องกันโยการเพิ่มระยะห่างระหว่างการวางชิ้นงานภายในตะกร้าเหล็ก และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 294)

2.2 การชุบสีที่ไม่แห้ง และมีการเคลื่อนย้าย ทำให้งานมีสีที่เกิดจากการถลอกและสีไหล ควรเพิ่มมาตรการตรวจสอบชิ้นงานก่อนมีการเคลื่อนย้าย และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 336)

2.3 เกิดความผิดพลาดระหว่างการแก้ไขเฉพาะหน้าในบริเวณส่วนอื่นของชิ้นงาน ควรเพิ่มมาตรการตรวจสอบชิ้นงานก่อนมีการเคลื่อนย้าย และเพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 336)

3. สีบริเวณชิ้นงานเกิดการแตก

3.1 ใช้น้ำมันมะพร้าวในการขึ้นรูปควรเพิ่มข้อบังคับการใช้น้ำมันขึ้นรูปโลหะให้ถูกประเภท (ค่า RPN 21) และเพิ่มการเดิน Patrol Line ทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยการตรวจสอบระบบแจ้งเตือน Aram (ค่า RPN 42) ซึ่งทั้งสองมาตรการได้เพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ

3.2 Process Dry off Oven ไม่สามารถทำความร้อนได้ที่ STD 120 องศา ควรจดบันทึกประจำวันเพิ่มการตรวจสอบ Heater Box (ค่า RPN 42) และพนักงานไม่มีความชำนาญในการปฏิบัติงาน ควรอบรมพนักงานประจำตำแหน่งชุบสีชิ้นงาน (ค่า RPN 42) ซึ่งทั้งสองมาตรการได้เพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ

4. ผิวชิ้นงานมีรอยจิกเป็นหลุมลึก

4.1 พนักงานไม่มีความชำนาญในการปฏิบัติงาน ควรอบรมพนักงานในการตรวจสอบ (ค่า RPN 336) และเกิดความผิดพลาดระหว่างการแก้ไขในส่วนอื่นของตัวชิ้นงาน ควรอบรมพนักงานในการแก้ไขชิ้นงาน (ค่า RPN 336) ซึ่งทั้งสองมาตรการได้เพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ

4.2 ขาดการตรวจสอบชิ้นงานหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเชื่อมโลหะ ควรอบรมพนักงานในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน และได้เพิ่มมาตรการตรวจจับโดยการตรวจสอบภายในกระบวนการและหลังกระบวนการ (ค่า RPN 336)

3.4. ออกแบบวิธีการที่จะแก้ปัญหาและกำหนดแนวทางที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์พบว่า ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีค่า RPN สูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 100 จึงจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไข โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

1) ปัญหาแนวเชื่อมทะลุบริเวณชิ้นงาน Part No.1

1.1) พนักงานขาดความชำนาญ (RPN = 336 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 36)

1.2) การจัดวางชิ้นงานไม่เหมาะสม (RPN = 252 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 24)

1.3 ปริมาณความร้อนของลวดเชื่อมไม่สัมพันธ์กับความหนาชิ้นงาน (RPN = 252 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 24)

2) ปัญหาพื้นผิวผลิตภัณฑ์ถลอก

2.1 อุปกรณ์ขนย้ายคับแคบ (RPN = 252 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 12)

2.2 ชุบสีไม่แห้งก่อนเคลื่อนย้าย (RPN = 336 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 20)

2.3 การแก้ไขเฉพาะหน้าทำให้ผิวงานเสียหาย (RPN = 336 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 12)

3) ปัญหาผิวชิ้นงานมีรอยจิกเป็นหลุมลึก

3.1เกิดจากพนักงานไม่มีความชำนาญ การแก้ไขเฉพาะหน้าผิดพลาด และขาดการตรวจสอบหลังการเชื่อม (RPN = 336 หลังการแก้ไขลดลงเหลือ 12)

จากการประเมินก่อนการปรับปรุงพบว่า สาเหตุของข้อบกพร่องที่เกี่ยวกับสภาพผิวมีค่า RPN ต่ำกว่า 100 (21 และ 42) จึงไม่จำเป็นต้องแก้ไขทันที แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ดำเนินการโดยบริษัทคู่ค้า (BSP.P) บริษัทหลักจึงไม่สามารถแก้ปัญหาโดยตรงได้ ต้องประสานงานและให้คู่ค้าเป็นผู้ดำเนินการเอง โดยมีปัญหาหลัก 3 ประการ ดังนี้:

1) สีแตกจากการใช้น้ำมันมะพร้าวในการขึ้นรูป: น้ำมันมะพร้าวจับตัวเป็นคราบในอากาศเย็น ส่งผลต่อการยึดเกาะของสี จึงมีการแจ้งลูกค้าให้เปลี่ยนไปใช้น้ำมันขึ้นรูปโลหะและเพิ่มการตรวจสอบน้ำมันและสายการผลิตทุก 1 ชั่วโมง

2) เครื่องอบแห้ง (Dry off Oven) ร้อนไม่ถึง 120°C: เกิดจากฝุ่นอุดตันหัวจ่ายแก๊สของ Heater Box ทำให้ไม่สามารถจุดแก๊สได้ จึงได้จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ Heater Box ทุกวันเพื่อป้องกันปัญหา

3) พนักงานขาดความชำนาญ: ปัญหาเกิดจากการตรวจสอบด้วยสายตาและไม่มีประสบการณ์ในปัญหาที่เพิ่งพบใหม่ จึงได้จัดการอบรมใหม่ให้พนักงานของบริษัท BSP.P เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ

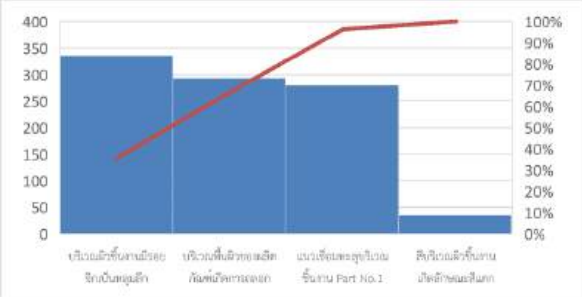
จากผลการประเมิน FMEA พบ 4 ปัญหาหลัก ได้แก่ แนวเชื่อมทะลุ, ผิวถลอก, รอยจิก, และสีแตก ซึ่งนำข้อมูลค่า RPN มาวิเคราะห์ร่วมกับต้นทุนการทำงานซ้ำ เพื่อจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไข โดยคำนวณต้นทุนจากระยะเวลาการทำงาน, ค่าแรง, และจำนวนของเสียภายใน 6 เดือน ได้ผลดังนี้

1.แนวเชื่อมทะลุ Part No.1: 4 ชิ้น, ใช้เวลาแก้ไข 2 นาที/ชิ้น **ต้นทุนรวม** 1,392.05 บาท

2. ผิวถลอก 44 ชิ้น, แก้ไขด้วยการแต้มและพ่นสี **ต้นทุนรวม** 30,835.73 บาท

3. รอยจิกเป็นหลุมลึก 2 ชิ้น, แก้ด้วยการขัดและแต้มสี **ต้นทุนรวม** 1,401.62 บาท

4. สีแตก 8 ชิ้น, ไม่มีต้นทุนเพราะเป็นความรับผิดชอบของลูกค้า



รูปที่ 2 ค่า RPN จุดบกพร่องที่ต้องทำการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์และแผนภาพพาเรโต้ พบว่า ปัญหาผิวถลอกและรอยจิกเป็นหลุมลึก เป็นปัญหาหลักที่ต้องเร่งแก้ไขก่อน ส่วนปัญหาอื่น ๆ ที่มีค่า RPN สูงกว่า 100 จะดำเนินการปรับปรุงตามลำดับ และนำข้อมูลใหม่มาเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุงต่อไป

4. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายของชิ้นงาน Base Battery ในอุตสาหกรรมการผลิตอะไหล่รถยนต์ทางการเกษตร โดยประเมินความเสี่ยงด้วยเทคนิค FMEA เพื่อจัดลำดับความสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการ โดยพบว่ามีกระบวนการที่มีค่า RPN สูงกว่า 100 จำนวน 3 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ (ค่าความเสี่ยงมีการลดลง 89.29 - 90.47%) 2) การขนย้ายและจัดเก็บที่ทำให้ชิ้นงานถลอก (ค่าความเสี่ยงมีการลดลง 94.05 – 96.43%) และ 3) การตรวจสอบผิวชิ้นงานที่มีรอยจิกหรือหลุมลึก (ค่าความเสี่ยงมีการลดลง 94.05 – 96.43%) ซึ่งได้ดำเนินการแก้ไขโดยอบรมพนักงาน เพิ่มมาตรการตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ ส่งผลให้สามารถลดค่า RPN ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังตาราง 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลัง

กระบวนการผลิต Base Battery	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ยอดการผลิต (ชิ้น)	328.17	341.5
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนด (ชิ้น)	318.5	340.5
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ชิ้น)	9.67	1
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนด (%)	97.4	99.7
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (%)	3.02	0.28

5. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยพบว่าปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานหรือขาดความระมัดระวังในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน ทั้งที่บุคลากรหน้างานมีความเข้าใจในกระบวนการมากกว่าฝ่ายบริหารหรือวิศวกร การขาดการสื่อสารและการตรวจสอบร่วมกันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าที่กำหนดถูกผลิตออกมา ดังนั้น ควรส่งเสริมการวิเคราะห์ปัญหาร่วมกันทุกฝ่ายและเปิดรับฟังความคิดเห็นจากพนักงานหน้างาน เพื่อพัฒนาคุณภาพการผลิต และสร้างแรงจูงใจให้พนักงานกล้ารายงานปัญหาอย่างตรงไปตรงมา หรือแนวทางการพัฒนาระบบ Digital FMEA หรือการนำข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงเข้าสู่ระบบ ERP เพื่อเพิ่มศักยภาพอุตสาหกรรมเพื่อนำไปสู่ Industry 4.0 ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทำการศึกษาข้อมูลการทำงานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จนลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] รัชฎากรณ์ ภู่ห้อย (2565) “การวอเคราะห์ความเสยงระดับปฏิบัติการ กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงพลาสติก” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม ปีที่ 15 ฉบับที่ 4 ประจำเดือน ตุลาคม – ธันวาคม 256 5

[2] ระพีพัฒน์ ช้วนตระกูล (2564) “การลดของเสียในกระบวนการรีดลวดโดยใช้เทคนิค FMEA สำหรับการผลิตเครื่องมือแพทย์ตัวอย่าง” วิทยานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

[3] พงศ์ณฐ สำเร็จเฟื่องฟู (2560) “การประยุกต์ FMEA ในการประเมินความเสี่ยงและปรับปรุงการผลิตของผู้ส่งมอบชิ้นส่วน” วิทยานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

[4] วราธร ปัญญางาม (2559) “การจัดทำระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยเทคนิค FMEA กรณีศึกษากระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ตัวอย่าง” วิศวสารลาดกระบัง ปีที่33 ฉบับที่4 ธันวาคม 2559

[5] เปรม วงศ์คำแน่น (2557) “การปรับปรุงกระบวนการผลิตวงจรแบบรวมโดยวิธีวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา” สารนิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[6]. วิชาญ ทองไพรวรรณ (2554) “การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บนโต๊ะอาหาร” วิทยานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาความต้องการผักสลัดของลูกค้าด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

A Study of the Demand for Salad Vegetables of Customers by Quality Function Deployment

ดาราวรรณ วีรานันต์[1*] กุศล พิมาพันธ์ศรี[2] ,[3] ,รติพงษ์ หนาแน่น[4]และ ภานุวัฒน์ จุ้ยเจริญ[5]
[1,3,4,5] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: Darawan.w@rmutp.ac.th*

Darawan Weeranant[1*] Kusol Pimapunsri[2] , Suttipong Jumroonrut[3], Ratipong Nanan[4] and Panuwat Chuicharoen[5]
[1,3,4,5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: Darawan.w@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) พัฒนาการปลูกผักสลัดปลอดสารพิษของเกษตรกร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคผักสลัด เพื่อเป็นข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย และทำการออกแบบสอบถามเพื่อหาคะแนนความสำคัญในแต่ละความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งข้อมูลความต้องการของผู้บริโภคและคะแนนความสำคัญจะนำไปเป็นข้อมูลนำเข้ามาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพการวิเคราะห์การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพแยกออกเป็น 2 เมตริกซ์ ผลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ที่สามารถนำไปออกแบบให้ผักสลัดมีรูปลักษณะและความสะอาดที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

คำสำคัญ: เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและ ความต้องการของผู้บริโภค

Abstract

The Application of Quality Function Deployment (QFD) Technique to Improve Organic Lettuce Cultivation by Farmers. The objective of this research is to meet consumer demands by applying the Quality Function Deployment (QFD) technique to the development of organic, chemical-free lettuce farming. The study began by investigating consumer needs regarding lettuce, which served as the foundation for the research. A questionnaire was then designed to determine the importance of each consumer requirement.The collected data on consumer needs and their corresponding importance scores were used as input for analysis using the QFD technique. The QFD analysis was divided into two

matrices. The results of the study demonstrated the effectiveness of applying QFD, which can be used to design lettuce with appearance and cleanliness that align with consumer expectations.

Keywords: Qualitative Functional Distribution Techniques and Consumer Demand

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนจำนวนมากหันมาให้ความสำคัญกับบริโภคผักและผลไม้กันมากขึ้น ซึ่งผักที่นิยมรับประทานกันเป็นส่วนมากคือ ผักสลัด ซึ่งมีหลายชนิด เช่น เรดโอ๊ค, กรีนโอ๊ค, เรดโครอล และ ร็อคเก็ต ฯลฯ ทั้งด้วยรสชาติ และความสวยงาม นับเป็นของกินที่สามารถใช้จัดประดับจานอาหารไปในตัว ส่วนใหญ่นิยมเอาไปทำอาหารจานผักสด “สลัด” ด้วยสีสันรูปทรงที่สวยงาม และเนื่องมาจากผู้บริโภคบางส่วนมีความกังวลในปัญหาเรื่องคุณภาพและความปลอดภัยจากการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ในการปลูกผัก เช่น ปัญหาการสะสมไนเตรทของผักโฮโดรโปนิกส์ที่มักจะพบมากในผักที่รับประทานใบ จากความต้องการข้างต้นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐานความปลอดภัยให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการวิจัยนี้มุ่งที่จะตอบคำถามว่าคุณลักษณะใดบ้างที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผักสลัด พร้อมทั้งประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment ,QFD) มาเป็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจของผักสลัดเพื่อช่วยพัฒนาการเพาะปลูกผักสลัด ให้เกษตรกรมีประสิทธิภาพมากขึ้นและตอบสนองความต้องการของลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งสามารถสรุปคร่าว ๆ ได้คือจะนำข้อมูลที่ได้มาเข้าสู่การประยุกต์ใช้เทคนิค (Quality Function Deployment: QFD) แบบ 2 เฟส (Two-phase Model) ซึ่งลักษณะของ QFD แบบ 2 เฟส ประกอบด้วยเมทริกซ์ 2 เมทริกซ์ ที่มีความเชื่อมต่อกัน [1] ดังนี้ 1. เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (Houseof Quality: HOQ) 2. เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Deployment หรือ Part Deployment) ในงานวิจัยฉบับนี้เมทริกซ์ที่ใช้เป็นแบบ 2 เฟส แต่หากใช้เทคนิคการแปลงคุณภาพ (Quality function Deployment: QFD) โดยทั่วไปจะเป็นแบบ 4 เฟส (Four-phase Model) จะประกอบด้วยเมทริกซ์ 4 เมทริกซ์ที่มีความเชื่อมต่อกัน ซึ่งจะเพิ่มเมทริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) และ เมทริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เนื่องจากการปลูกผักสลัดนั้นมีวิธีการปลูกที่หลากหลาย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคการแปลงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) แบบ 2 เฟส เป็นหลักเพื่อกำหนดคุณลักษณะของการปลูกโดยไม่ได้เจาะจงวิธีการปลูก และลักษณะปัจจัยใดบ้างที่ต้องมีเพาะปลูกผักสลัด ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีการนำข้อมูลของเมทริกซ์ก่อนหน้ามาใช้ โดยผลของการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน

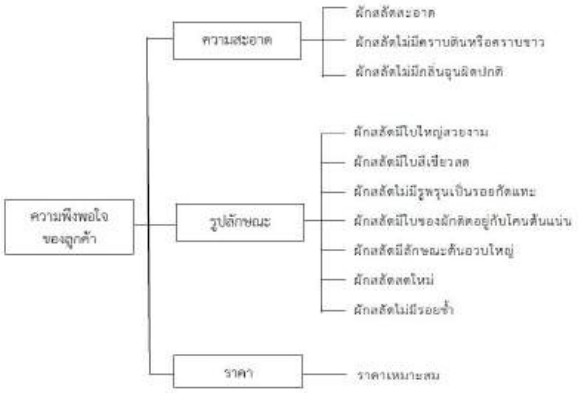
การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) จะต้องมีการเตรียมการหรือทำการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้ในเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นเมทริกซ์แรกของ QFD โดยขั้นตอนในการเตรียมการเริ่มจากทำการสำรวจความต้องการของผู้บริโภค เพื่อหาเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer) จากนั้นนำเสียงจากผู้บริโภคมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการในการให้บริการ โดยการใช้เครื่องมือทางคุณภาพคือ แผนภาพต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วย ในการจัดการข้อมูลเพื่อแก้ไขความสับสนและนำปัญหามาสร้างให้เกิดภาพที่ชัดเจนขึ้น เพื่อใช้ทำแบบสอบถาม หลังจากที่ได้ทำการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคแล้ว จะมีการทำแบบสอบถาม 2 ชุด เพื่อให้ผู้บริโภคทำการประเมินโดย ชุดที่ 1 เพื่อหาระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลหรือมีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าในการบริโภคผักสลัด ชุดที่ 2 ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อกรณีศึกษาและคู่แข่ง ซึ่งจะใช้ในการเทียบวัด (Benchmark) และหาอัตราการปรับปรุงของกรณีศึกษา โดยจะให้ลูกค้าปลายทางที่รับสินค้าผัก

สลัดร็อคเก็ต จากทางกรณีศึกษา รวมทั้งจากคู่แข่ง 1 และคู่แข่ง 2 เป็นผู้ทำการประเมิน และหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม หลังจากที่ได้ข้อมูลจากแบบสอบถามทั้ง 2 ชุด แล้วจะนำการหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม และเนื่องจากข้อมูลจากแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการเลือก ให้ระดับคะแนน (Rating) จากข้อมูล (Data) ที่ได้รับ เพราะฉะนั้นในการสรุปค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลประเภทนี้จะต้องทำการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Geometric Mean) จึงจะให้ค่าเฉลี่ยที่น่าเชื่อถือที่สุด จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้เมทริกซ์ทั้ง 2 เฟส

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

การประยุกต์นำเอาเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) โดยเริ่มจากการทำแบบสอบถาม หลังจากนั้นจึงแปลงสิ่งต่างๆ เหล่านี้ให้เป็นความต้องการของลูกค้า แล้วทำเป็นแบบสอบถามเพื่อให้ลูกค้าได้ทำการประเมินความต้องการ รวมทั้งทำการประเมินกรณีศึกษาและคู่แข่งอีก 2 รายด้วย ซึ่งคะแนนความสำคัญที่ได้จากการประเมินจะนำเข้ามา สู่เฟสที่ 1 ของ QFD จนกระทั่งถึงเฟสที่ 2 จะได้ขั้นตอนในการแปลงเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Requirement) ดังนี้

3.1 ผลการเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้ QFD



รูปที่ 1 แผนภาพต้นไม้คุณลักษณะในการตอบสนองผู้บริโภค

ผลจากการนำเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer) มาจัดกลุ่มคุณลักษณะ ความต้องการในการตอบสนองผู้บริโภค เป็นหมวดหมู่โดยการใช้แผนภาพต้นไม้ (Tree Diagram) ดังรูปที่ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกัน

หลังจากที่ได้ทำการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการในการตอบสนองความต้องการบริโภคแล้ว จะมีการทำแบบสอบถาม 2 ชุด โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังผลที่ได้จากแผนภาพต้นไม้ ซึ่งรูปแบบของแบบสอบถามจะแสดงอยู่ในแบบสอบถามที่ 2 หลังจากนั้นจะนำแบบสอบถามนี้ไปให้ลูกค้าทำการประเมินโดยแบบสอบถามชุดที่ 1 จะให้ลูกค้าปลายทางทำการประเมินความต้องการในการตอบสนองความต้องการ โดยการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลหรือมีผลต่อความพึงพอใจในการตัดสินใจเลือกซื้อ และแบบสอบถามชุดที่ 2 จะให้ลูกค้าปลายทาง ทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อกรณีศึกษา และคู่แข่งอีก 2 ราย ทำการบริโภคสินค้ามีจำนวนทั้งสิ้น 173 ราย ดังนั้นในการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุด ที่ยอมรับได้ว่ามากเพียงพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของประชากร ผลจากการหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม ผลจากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 1 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นค่าความสำคัญ (Important: IMP) ในเมทริกซ์การวางแผน โดยแบ่งความต้องการของผู้บริโภคแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านความสะอาด, ด้านรูปลักษณะ และด้านราคา ซึ่งผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านความสะอาดมากที่สุด รองลงมาคือด้านรูปลักษณะและสุดท้ายด้านราคา แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลจากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 1

	ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs)	ค่าความสำคัญ (IMP)
ความสะอาด	ผักสลัดสะอาด	4.728
	ผักสลัดไม่มีคราบดินหรือคราบขาว	4.088
	ผักสลัดไม่มีกลิ่นฉุนผิดปกติ	4.310
รูปลักษณะ	ผักสลัดมีใบใหญ่สวยงาม	3.095
	ผักสลัดมีใบสีเขียวสด	4.333
	ผักสลัดไม่มีรูพรุนเป็นรอยกัดแทะ	3.838
	ผักสลัดมีใบของผักติดอยู่กับโคนต้นแน่น	4.490
	ผักสลัดมีลักษณะต้นอวบใหญ่	4.601
	ผักสลัดสดใหม่	4.599
	ผักสลัดไม่มีรอยช้ำ	4.540
ราคา	ราคาเหมาะสม	3.756

ผลจากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจของลูกค้าทั้งกรณีศึกษาและคู่แข่งในเมทริกซ์การวางแผน โดยในด้านความสะอาดผู้บริโภคมีค่าความพึงพอใจที่ผักสลัดสะอาดอยู่ที่ 4.369 และคู่แข่ง 1 กับ 2 มีค่าอยู่ที่ 4.513, 4.712 ตาม

ลาดับ ซึ่งพบว่าด้านความสะอาดผู้บริโภคได้รับความพึงพอใจน้อยกว่าคู่แข่ง 1 และคู่แข่ง 2 และในด้านรูปลักษณะผู้บริโภคมีค่าความพึงพอใจที่ผักสลัดมีใบใหญ่สวยงามอยู่ที่ 2.538 และคู่แข่ง 1 กับ2 มีค่าอยู่ที่ 3.054, 3.173 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าด้านรูปลักษณะผู้บริโภคได้รับความพึงพอใจน้อยกว่าคู่แข่ง 1 และคู่แข่ง 2 และในด้านราคาผู้บริโภคมีค่าความพึงพอใจอยู่ที่ 4.258 และคู่แข่ง 1 กับ 2 มีค่าอยู่ที่ 4.152 และ 4.354 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าด้านรูปราคาผู้บริโภคได้รับความพึงพอใจมากกว่าคู่แข่ง 1 และคู่แข่ง 2 แสดงดังตารางที่ 2

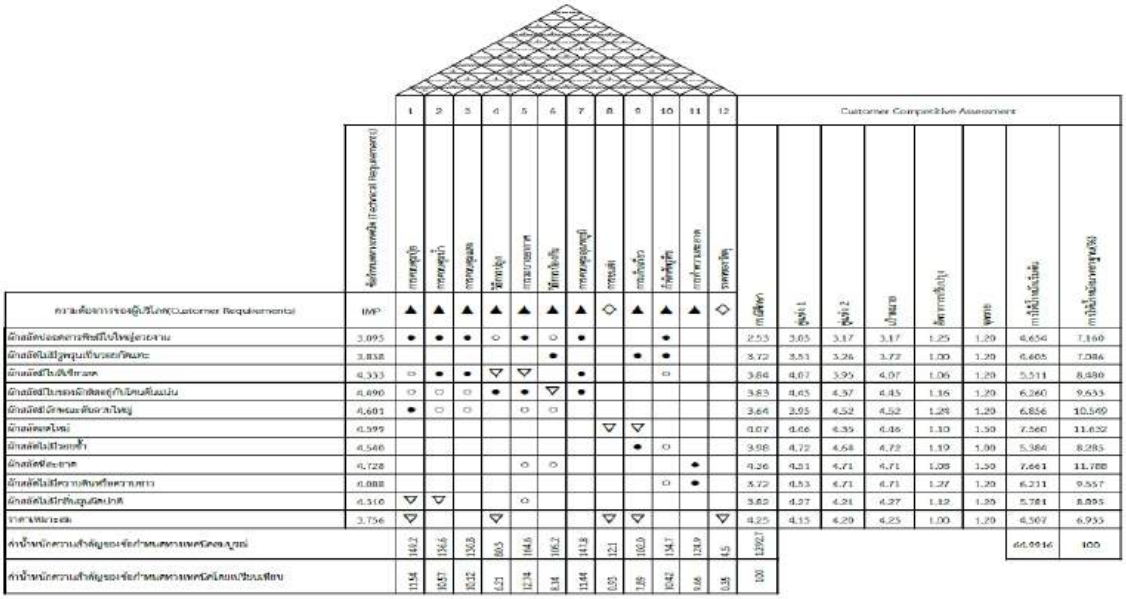
ตารางที่ 2 ผลจากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 3

ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs)		ความต้องการของผู้บริโภค	คู่แข่ง 1	คู่แข่ง 2
ความสะอาด	ผักสลัดสะอาด	4.369	4.513	4.712
	ผักสลัดไม่มีดราบดินหรือคราบขาว	3.720	4.538	4.716
	ผักสลัดไม่มีกลิ่นอุนผิดปกติ	3.827	4.275	4.271
รูปลักษณะ	ผักสลัดมีใบใหญ่สวยงาม	2.538	3.054	3.173
	ผักสลัดมีใบสีเขียวสด	3.842	4.073	3.952
	ผักสลัดไม่มีรูพรุนเป็นรอยกัดแทะ	3.720	3.510	3.261
	ผักสลัดมีใบของผักติดอยู่กับโคนต้นแน่น	3.831	4.457	4.379
	ผักสลัดมีลักษณะต้นอวบใหญ่	3.648	3.957	4.527
	ผักสลัดสดใหม่	4.072	4.467	4.353
	ผักสลัดไม่มีรอยช้ำ	3.9864	4.724	4.642
ราคา	ราคาเหมาะสม	4.258	4.152	4.354

3.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ได้มีการจัดเตรียมข้อมูลที่นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาเข้าสู่การเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) โดยในเมทริกซ์บ้านแห่งคุณภาพจะประกอบด้วยเมทริกซ์ย่อยๆ 6 ส่วน คือ 1. ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs) 2. การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) 3. เทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) 4. เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) 5. ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical Correlations) 6. การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค (Technical Benchmarks) ซึ่งผลที่ได้จากการสร้างบ้านแห่งคุณภาพจะแสดงรูปที่ 2

จากความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs) เป็นการนำความต้องการของผู้บริโภคที่ได้ทำการจำแนกตามคุณลักษณะ โดยใช้แผนภูมิต้นไม้ในขั้นตอนการเตรียมการ ค่า IMP ใน เป็นการนำค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 1 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว ส่วนกรณีศึกษา เป็นการนำค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 ในเรื่องของกรณีศึกษามาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว คู่แข่ง 1 เป็นการนำค่าเฉลี่ยเลข



รูปที่ 2 บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

คณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 ในเรื่องของคู่แข่ง 1 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัวเช่นเดียวกับคู่แข่ง 2 เป็นการนำค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 ในเรื่องของคู่แข่ง 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว ส่วนเป้าหมาย จะเป็นการแสดงถึงเป้าหมายของกรณีศึกษาที่จะทำการปรับปรุงในแต่ละความต้องการของ

ผู้บริโภค ซึ่งค่าเป้าหมายในที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับค่าสูงสุดระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกรณีศึกษา คู่แข่ง 1 และคู่แข่ง 2 ถัดมาอัตราการปรับปรุง เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างเป้าหมายกับความสามารถในปัจจุบันที่สามารถทำได้ โดยจะทำการคำนวณจากสมการที่ (1)

$$\text{อัตราการปรับปรุง} = \frac{\text{เป้าหมาย}}{\text{ความสามารถในปัจจุบัน}} \quad (1)$$

เป็นค่าที่แสดงความสำคัญโดยรวมของความต้องการของผู้บริโภคซึ่งจะทำการคำนวณจากสมการที่ (2)

$$\text{ลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้น} = C \times D \times E \quad (2)$$

C = ความสำคัญของความต้องการ
D = อัตราการปรับปรุง
E = จุดขาย

ลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน (ร้อยละ) เป็นการแสดงลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้นในรูปแบบของร้อยละ โดยการคำนวณจากสมการที่ (3)

$$\text{ลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{ลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ผลรวมของลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3)$$

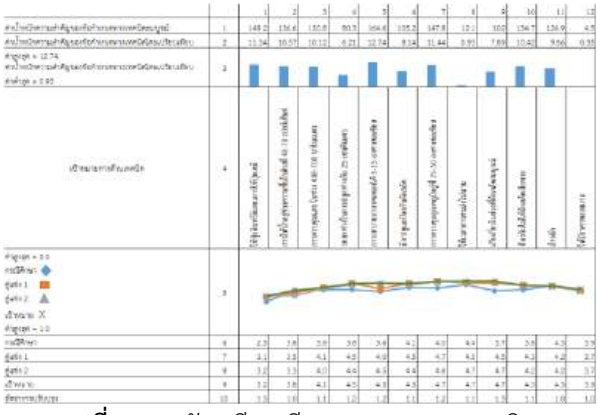
จากนั้นถึงเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) เป็นสิ่งที่ได้จากการการระดมสมอง (Brain Storming) เพื่อหาเทคนิคที่จะสามารถทาให้ตอบสนองแต่ละความต้องการของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้จะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุง ซึ่งในที่นี้สามารถกำหนดเทคนิคที่ต้องการได้ 13 ข้อกำหนด จากการระดมสมองของทางผู้วิจัย จะนำความต้องการของผู้บริโภคมาแปลงเป็นข้อจำกัดทางด้านเทคนิคนั้นได้ดังนี้ เช่น ความต้องการให้ผักสลัดมีใบสีเขียวสดทางผู้วิจัยจึงตั้งคำถามว่าจะทำอย่างไรเพื่อให้ใบสลัดนั้นมีสีเขียวสดซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและศึกษาหาแนวทางซึ่งการที่จะทำให้ใบสีเขียวสดได้นั้นใบนั้นจะต้องได้มีการสังเคราะห์แสงแต่ต้องได้รับแสงในปริมาณที่พอเหมาะ ดัง เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ 1 (ความต้องการของผู้บริโภค) และส่วนที่ 3 (เทคนิคที่ต้องการ) ของเมทริกซ์ HOQ โดยผลที่ได้จากการให้คะแนนความสัมพันธ์ ส่วนความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical Correlations) ในส่วนนี้จะทำการระดมสมองของผู้จัดทำเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่างๆ ที่จะนำมาให้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ในส่วนของหลังคาบ้าน ในการให้คะแนนจะทำการให้คะแนนเป็นคู่ๆ เช่นเดียวกับการให้คะแนนในเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) แต่ในที่นี้จะกำหนดค่าเป็นสัญลักษณ์เพื่อเห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น ตัวอย่างของการให้คะแนนเช่น วิธีการปลูกส่งผลอย่างสูงต่อการระบายอากาศให้เครื่องหมาย + + นั้นเพราะถ้าวิธีการปลูกมีการเว้นระยะเหมาสมการจะทำให้มีพื้นที่การระบายอาศต่อผักสลัดได้ดี การควบคุมแสงมีผลทางบวกกับการควบคุมอุณหภูมิดังนั้นจึงให้เครื่องหมาย + นั้นก็เพราะว่าถ้าทำการควบคุมแสงให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของผักสลัดก็จะทำให้อุณหภูมิภายในฟาร์มนั้นเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักสลัดด้วย การควบคุมปุ๋ยกับการระบายอากาศไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกันดังนั้นจึงให้เครื่องหมาย (ช่องว่าง) การควบคุมอุณหภูมิมีผลทางลบกับราคาของวัสดุดังนั้นจึงให้เครื่องหมาย – นั้นก็เพราะว่าถ้าเราใช้อุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิที่ดีมากเท่าใดก็จะส่งผลทำให้ราคาของวัสดุที่จะนำมาใช้ใน การควบคุมอุณหภูมิแพงมากขึ้นตามไปด้วย

จากนั้นทำการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค (Technical Benchmarks) ในส่วนนี้จะแบ่งผลออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เป็นลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) และส่วนที่ 2 เป็นการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการแข่งขัน (Competitive Benchmarking) โดยสามารถแสดงผลดังรูปที่ 3

ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) ในส่วนนี้ จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อยๆ

1. ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Important)
2. แผนภูมิแสดงค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบจากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าเทคนิคที่ทางกรณีศึกษาควรจะนำมาใช้ (Technical Requirement) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคหรือลูกค้ามากที่สุดคือ การระบายอากาศโดยคิดเป็นร้อยละ 12.74 ของน้ำหนักความสำคัญทั้งหมด รองลงมาคือการควบคุมปุ๋ยคิดเป็นร้อยละ 11.54 และปริมาณการควบคุมอุณหภูมิคิดเป็น

ร้อยละ 11.44



รูปที่ 3 การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค (Technical Benchmarks)

การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการแข่งขัน (Competitive Benchmarking) เริ่มจากเป้าหมายทางด้านเทคนิค ในส่วนนี้จะทำการระดมสมอง (Brain Storming) ในลักษณะว่าทางกรณีศึกษาจะทำการตั้งเป้าหมายอย่างไรในแต่และเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Requirement) ซึ่งผลจากการระดมสมองจะได้ว่าสามารถทำการตั้งเป้าหมายได้ ส่วนถัดมาคือประเมินค่าตัวแทนลักษณะทางคุณภาพในแต่ละหัวข้อของกรณีศึกษา ประเมินค่าตัวแทนลักษณะทางคุณภาพในแต่ละหัวข้อของบคู่แข่ง 1 ประเมินค่าตัวแทนลักษณะทางคุณภาพในแต่ละหัวข้อของบคู่แข่ง 2 และการตั้งเป้าหมาย ในที่นี้คือค่าที่มากที่สุดของค่าตัวแทนลักษณะทางคุณภาพในแต่ละหัวข้อที่ทำการประเมินระหว่างกรณีศึกษาและคู่แข่งทั้งสอง เป้าหมายทางด้านเทคนิคนั้นทางผู้วิจัยได้ไปค้นคว้าหาข้อมูลเทคนิคต่างๆ ที่แปลงมาจากความต้องการผักสลัดของลูกค้า โดยทางผู้วิจัยได้แปลงเทคนิคที่ต้องการให้ไปเป็นเป้าหมายทางด้านเทคนิค โดยมีตัวอย่างดังนี้ การควบคุมแสงทางผู้วิจัยทาการศึกษาข้อมูล ความต้องการแสงที่เหมาะสมต่อการปลูกโดยความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับผักสลัดที่จะปลูกนั้นก็คือ 400-700 นาโนเมตร เนื่องจากความรู้ในเรื่องการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของ Corophyll Pigment กับอนุภาคของแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร พบว่าแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยเฉพาะพืชสีเขียวจะอยู่ในช่วงของสีน้าเงิน (ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร) จะช่วยสังเคราะห์แสง ช่วยการตอบสนองของพืชต่อแสงในเรื่องการเบนหรือโค้งงอเข้าหาแสงของพืช หรือช่วงสีแดง (ความยาวคลื่น 600-700 นาโนเมตร) จะช่วยสังเคราะห์แสง เป็นสีที่พืชดูดซับมากที่สุดส่งเสริมการงอกของเมล็ดพืช หรือ ยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด และยังส่งผลต่อการออกดอกของพืช และการควบคุมอุณหภูมิ ทางผู้วิจัยได้ไปค้นคว้าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผักสลัดนั้นควรจะอยู่ที่ค่าต่าง ๆ ดังนี้อุณหภูมิที่เมล็ดสามารถงอกได้อยู่ระหว่าง 4.5-27.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมอยูระหว่าง 20-27 องศาเซลเซียส สูงเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส เมล็ดจะพักตัวความงอกต่ำ ในอุณหภูมิ 33-35 องศาเซลเซียส เมล็ดไม่สามารถดูดน้ำได้ อุณหภูมิที่เหมาะสาหรับการเจริญเติบโต ต่ำสุด 7.2 องศาเซลเซียส ปานกลาง 24.0 องศาเซลเซียส สูงสุด 28.0 องศาเซลเซียสช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตคือ 24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูงการเจริญทางใบจะถูกจำกัด มีเส้นใยมาก เนื้อเยื่อเหนียว และมีรสขม อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการเจริญของ ผักสลัด

4 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

จากการนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมาใช้ในงานวิจัยทางผู้วิจัยได้แปลงหน้าที่เชิงคุณภาพออกมาเป็นข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบย่อยเช่น เทคนิคการรับแสงทางผู้วิจัยได้แปลงมาเป็นข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบย่อยซึ่งก็คือวัสดุคลุมโรงเรือนโดยวัสดุที่จะนำมาใช้ในการคลุมโรงเรือนนั้นจะต้องมีค่าการรับแสงตามเป้าหมายทางด้านเทคนิคที่ทางผู้วิจัยกำหนดไว้ ซึ่งจะต้องมีแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิทางผู้วิจัยได้แปลงมาเป็นข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบย่อยซึ่งก็คืออุปกรณ์อีแวป โดยอีแวปนั้นสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 5-6 องศา ซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดได้ เนื่องจากเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Requirement) บางตัวจะมีข้อกำหนดส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปข้อกำหนดส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ 11 ตัว โดยเทคนิคที่นำมาใช้แต่ละตัวจะประกอบด้วยข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคที่นำมาใช้และข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย

ลำดับ	Technical Requirement	Part Characteristics
1	การให้ปุ๋ย	ใช้ปุ๋ยคอก 2-3 กก/ตรม.
2	การให้น้ำ	อุปกรณ์การให้น้ำ
3	การรับแสง	วัสดุคลุมโรงเรือน
4	วิธีการปลูก	เว้นระยะการปลูก 25-30 , เมล็ดพันธุ์
5	วิธีการป้องกัน	วัสดุคลุมโรงเรือน
6	การควบคุมอุณหภูมิ	อีแวป
7	การขนส่ง	ใช้เวลาไม่เกิน 24 ชม
8	การเก็บเกี่ยว	ช่วงเช้า และ ช่วงเย็น
9	กาจัดศัตรูพืช	ใช้น้ำหมักป้องกันศัตรูพืช
10	การทำความสะอาด	การล้างด้วยน้ำสะอาด การล้างด้วยน้าเกลือ
11	ราคาของวัสดุ	อุปกรณ์การให้น้ำ วัสดุคลุมโรงเรือน อีแวป

5 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อศึกษาความต้องการของลูกค้าที่บริโภคผักสลัด และนำความต้องการของลูกค้ามาปรับปรุงเพื่อที่จะตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าให้เพิ่มมากขึ้น โดยเริ่มจากการศึกษาและนำความต้องการของลูกค้าที่ได้มาจากรูปแบบในการประเมินความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งมีความต้องการดังนี้ ผักสลัด ที่สะอาด, ผักสลัดมีลักษณะต้นอวบใหญ่, ผักสลัดสดใหม่, ผักสลัดไม่มีรอยช้ำ, ผักสลัดมีใบของผักติดอยู่กับโคนต้นแน่น, ผักสลัดมีใบสีเขียวสด, ผักสลัดไม่มีกลิ่นฉุนผิดปกติ, ผักสลัดไม่มีคราบดินหรือ คราบขาว, ผักสลัดไม่มีรูพรุนเป็นรอยกัดแทะ, ราคาเหมาะสม และผักสลัดปลอดสารพิษมักมีใบใหญ่สวยงาม จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ แล้วทำการหา Technical Requirement เพื่อหาเทคนิคที่สามารถทำให้ตอบสนองแต่ละความต้องการของผู้บริโภคได้ หลังจากนั้นจะได้เทคนิคที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกผักสลัด โดยมีปัจจัยหรือข้อกำหนดดังนี้ อีแวป, มีอุปกรณ์การให้น้ำ, วัสดุคลุมโรงเรือน, ใช้ปุ๋ยคอก 2-3 กก/ตรม., ใช้น้ำหมักป้องกันศัตรูพืช, มีการเว้นระยะการปลูก 25-30 ซม.,การเก็บเกี่ยวช่วงเช้า และ ช่วงเย็น, เมล็ดพันธุ์,การล้างด้วยน้ำสะอาด, ล้างด้วยน้ำเกลือ และใช้เวลาขนส่งไม่เกิน 24 ชม., เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาการเพาะปลูกได้ต้องตามความต้องการผู้บริโภค

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Cohen, L. (1995). Quality Function Deployment: How to make QFD work for you. Read, Mass : Addison-Wesley Publishing Company.

[2] ชาคริต ศรีทอง และอรวิภา ศรีทอง. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์: กรณีศึกษาการออกแบบเก้าอี้สานักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปทุมธานี.

[3] ถนัดกิจ ศรีโชค และสุรเจษฐ์ ก้อนจันทร์. (2556). ออกแบบและพัฒนาแพขุดไม้ไต้นาโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. วารสารวิชาการ. 10 : 1539 1547.

[4] ประพัฒน์ เจริญหงส์ทอง. (2551). การออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิตตู้โชว์สินค้าแช่แข็งโดยประยุกต์ใช้เทคนิค QFD และ DFMEA. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[5] อรรถกร เก่งพล. (2548). วิศวกรรมคอนเคอร์เร็นท์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] อิสรัฐ เวียงอาพล. (2555). การประยุกต์ใช้ Quality Function Deployment (QFD) ในการดัดแปลงรถกระบะบรรทุกเป็นรถสะเทินน้ำสะเทินบกสำหรับขนส่งในภาวะภัยพิบัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม

การเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับความบกพร่องของชิ้นงานด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

Enhancing Defect Detection Efficiency in Workpieces Using Image Processing Techniques

สถาพร สุริยันต์[1] เหมรัต ขุยขำ[2] อัมรินทร์ สมสี[3] และ อิทธิพล เนคมานุรักษ์[4*]
[1,2,3,4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Sathaporn Suriyan [1], Hemarat Khuikham[2], Amarin Somsri[3] and Itthiphon Nekomanurak [4*]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Email : Itthipol.n@gmail.com

บทคัดย่อ

จากการศึกษากระบวนการทำงานภายในแผนกวิศวกรรมการผลิตของ บริษัท กรณีศึกษา คือ การวางแผนออกแบบ และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดความสูญเสียและเพิ่มผลผลิตดังนั้นจึงมีความสนใจที่ปรับปรุงประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานโดยการลดพนักงานตรวจให้น้อยลงแต่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจ โดยการใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบบ 4M (Man-Machine-Method-Material) ซึ่งให้ความสำคัญในเรื่องของการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูง
คำหลัก ประสิทธิภาพ กระบวนการผลิต

Abstract

From the study of the workflow within the production engineering department of the case study company, the focus is on planning, designing, and improving production processes to achieve maximum operational efficiency, reduce waste, and increase productivity. Therefore, there is an interest in enhancing work efficiency by reducing the number of inspection staff while maintaining maximum inspection effectiveness. This is done through the application of the 4M analysis theory (Man, Machine, Method, Material), which emphasizes efficient work performance.
Keywords: productivity, production

1. บทนำ

บริษัท กรณีศึกษา อันเป็นองค์กรชั้นนำระดับโลกด้านการผลิตชิ้นส่วนและชุดสายไฟสำหรับยานยนต์ ดำเนินธุรกิจโดยอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิตเพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงสุด อีกทั้งยังได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ บริษัทมีความมุ่งมั่นในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยการผลิตสินค้าที่มีความแม่นยำและคุณภาพสูง โดยเฉพาะกลุ่มลูกค้าหลักซึ่งประกอบด้วยผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และผู้ผลิตอุปกรณ์โทรคมนาคมที่ต้องการสินค้าที่มีความแม่นยำและมาตรฐานสูงในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำคัญ ในปัจจุบัน แผนกวิศวกรรมการผลิต (Production Engineer)

เนื่องจากบริษัทได้รับการแจ้งปัญหาจาก

กระบวนการตรวจสอบใช้พนักงานและเวลาในการตรวจสอบที่มาก ผู้จัดทำจึงริเริ่มโครงการนี้ขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่อหาวิธีลดเวลาในกระบวนการตรวจสอบผ่านการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาพัฒนา โดยการใช้ระบบกล้อง สำหรับตรวจสอบตำแหน่งและความถูกต้องของสายไฟในกระบวนการผลิต เพื่อลดความผิดพลาดจากมนุษย์ เพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการตรวจสอบ ทั้งนี้ยังเป็นการยกระดับมาตรฐานกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพสูงสุด อันจะส่งผลดีต่อศักยภาพในการแข่งขันและการขยายตลาดของบริษัทในระยะยาว

โดยวัตถุประสงค์เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากเดิมใช้พนักงาน 4 คน ลดลงเหลือ 2 คน และเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้พื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พื้นฐานเกี่ยวกับระบบภาพดิจิทัล (Digital Images) ภาพดิจิทัลคือการแทนภาพในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ ความละเอียด (Resolution) ขนาด pixel (Pixel Dimension) การแสดงระดับสีของแต่ละ pixel [2]

การประมวลผลภาพเป็นกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงหรือวิเคราะห์ภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ

การกรองภาพ(Image Filtering) การแปลงภาพ (Image Transformation) [1]

Raspberry Pi คือ คอมพิวเตอร์บอร์ดจิ๋วมีประสิทธิภาพและขนาดเท่ากับบัตรหนึ่งใบ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยองค์กร "Raspberry Pi" [3]

2.1 ประยุกต์ใช้การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เช่น การตรวจสอบด้วยภาพ เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วการตรวจสอบด้วยภาพจะสามารถรายงานชิ้นงานที่ผิดพลาด และยังสามารถแสดง เหตุผลของข้อผิดพลาด การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพมีการประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

2.2 ชนิดกล้อง Raspberry Pi CAMERA

Raspberry Pi Camera Board เป็นโมดูลกล้องที่ออกแบบมาใช้งานร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi โดยสามารถเชื่อมต่อกับ Sockets CAMERA บนบอร์ด ที่มีการเชื่อมต่อแบบ CSI bus ได้ทันที คุณสมบัติ

2.2.1 ขนาดบอร์ด 25 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 9 มิลลิเมตร

2.2.2 ความละเอียดของกล้อง 5MP (2592 x 1944 pixels)

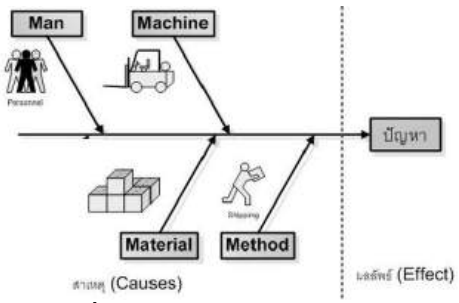
2.2.3 ใช้เซ็นเซอร์ Omnivision 5647 โดยการโฟกัสเป็นแบบคงที่

2.2.4 สามารถถ่ายวิดีโอความละเอียด 1080p30, 720p60 และ 480p60

2.3 การกำหนดปัจจัยบนแผนผังก้างปลา

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น

เราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M เป็นกลุ่มปัจจัยเพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M นี้มาจาก M Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร M Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก M Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ M Method กระบวนการทำงาน



รูปที่ 1 การกำหนดแผนผังก้างปลา

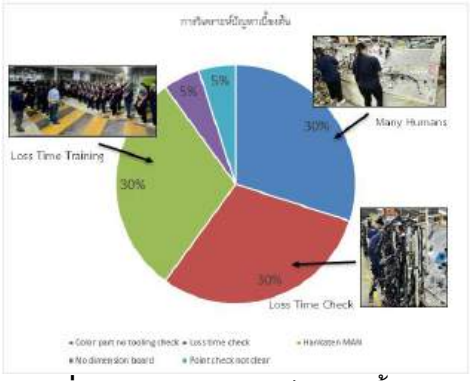
3. วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน โดยการนำหลักการแบบ 4M มาจัดการวิเคราะห์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการ

ทำงานให้ดีขึ้น ภายในพื้นที่แผนก วิศวกรรมการผลิต เพื่อลดเวลาในการตรวจและลดปัญหาความไม่พร้อมการทำงานของพนักงาน กรณีศึกษาเป็นการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

3.1 ศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหาของ บริษัท กรณีศึกษา แผนกงานวิศวกรรมการผลิต โดยพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นภายในสายการผลิต จากการผลิตสายไฟพันเทปสำเร็จจะนำมาทำการติดอุปกรณ์รัดสายไฟ ก่อนทำการตรวจเช็คครั้งที่ 1 ขั้นตอนต่อไปเป็นการติดอุปกรณ์เสริมของสายไฟ และทำการตรวจเช็คครั้งที่ 2 แบบละเอียด 100% โดยพบว่าปัญหาจำนวนพนักงานในการตรวจสอบที่มาก และสูญเสียเวลาในการฝึกอบรมถึงวิธีการตรวจ และเวลาในการตรวจใช้เวลาที่มาก

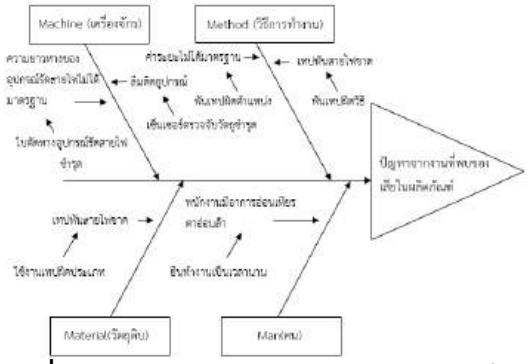


รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น

3.2 แผนผังก้างปลาเหตุและผล

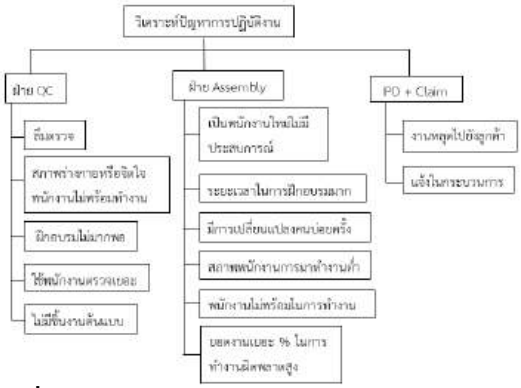
แผนผังก้างปลาจึงช่วยให้เรามองเห็น "สาเหตุหลัก" และ "สาเหตุรอง" ที่เชื่อมโยงกับปัญหา ทำให้สามารถระบุจุดที่ควรแก้ไขหรือพัฒนาได้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 3 จากการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นที่ได้พบปัญหามาจากงานชำรุดกลับมาทำใหม่จึงได้หาสาเหตุจากงานชำรุดตามแผนภูมิก้างปลา ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาแสดงปัญหาเวลาสูญเสียในกระบวนการตรวจสอบ

จากการวิเคราะห์ปัญหาจะพบว่าปัญหามาจากการปฏิบัติงานของพนักงานเป็นส่วนใหญ่ เช่น พนักงานใหม่ตรวจเช็คไม่เรียบร้อย ไม่มีการฝึกอบรมหรือสภาพการทำงานของพนักงานไม่พร้อมทำงาน อาจทำให้เกิดปัญหางานที่ไม่ได้มาตรฐาน เปอร์เซ็นต์ในการทำงานผิดพลาดอาจจะสูง จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาการปฏิบัติงานของพนักงาน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาของการปฏิบัติงาน

จากรูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาการปฏิบัติงาน เมื่อลูกค้าได้รับชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานจะถูกนำกลับมาทำใหม่ และฝ่ายตรวจจะทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าเกิดปัญหาจากส่วนไหนของชิ้นงาน และจะต้องแก้ไขงานที่ส่งกลับมาทำใหม่ทันที ซึ่งส่งผลกระทบต่อชิ้นงานใหม่ที่ไม่ได้ทำต่อและสูญเสียรายได้กับเวลาในการปฏิบัติงาน

3.3 การประชุมกลุ่มเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหา

การนำเสนอข้อมูลและการวิเคราะห์ให้กับพนักงานเพื่อต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับความบกพร่องของชิ้นงาน

รูปที่ 5 การประชุมกลุ่มเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหา

จากการประชุมร่วมกับบริษัทเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นพบได้ว่าปัญหานี้ เกิดขึ้นกับบริษัทที่อยู่เครือข่ายเดียวกันด้วยเช่นกัน จึงมีการแก้ปัญหาร่วมโดยการนำวิธีการประมวลผลภาพ เข้ามาใช้แก้ปัญหานี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นและจุดประสงค์ของบริษัท ดังรูปที่ 7

รูปที่ 6 แสดงการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพแบบ 4M

จากรูปที่ 7 แสดงการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพแบบ 4M เป็นจุดประสงค์ของบริษัทที่จะลดพนักงานตรวจลง ให้สามารถนำพนักงานมาแทนกันได้ และลดพื้นที่การทำงาน จาก 2 กระบวนการผลิต เหลือ 1 กระบวนการผลิต ให้มีการเก็บประวัติการตรวจสอบได้ และสามารถแจ้งเตือนทันทีเมื่อเจอของเสีย ให้เวลาในการฝึกอบรมการทำงานของพนักงานน้อยลงกว่าปกติ

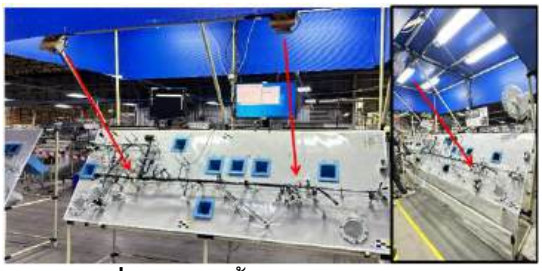
จากการประชุมร่วมกับบริษัทเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้ศึกษาเกี่ยวอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบริษัทว่าใช้อุปกรณ์ร่วมทำงานอะไรบ้าง ที่สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมประมวลผลภาพ จึงได้มีการเรียนรู้อบรมเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Raspberry Pi และโปรแกรมประมวลผลภาพเมื่อศึกษาฝึกอบรมและเรียนรู้เสร็จแล้ว

3.4 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์คือการจัดหาหรือรวบรวมสิ่งของ เครื่องมือ หรือวัตถุดิบที่จำเป็นต้องใช้ให้พร้อมก่อนการดำเนินกิจกรรมหรือโครงการใด ๆ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น มีประสิทธิภาพ

รูปที่ 7 การเตรียมอุปกรณ์

การติดตั้งในสายการผลิตจะใช้โครงสร้างท่อเหล็กเป็นหลัก เพราะทางบริษัทใช้วัสดุนี้ในการขึ้นสถานีงานเป็นส่วนมาก



รูปที่ 8 การติดตั้งกล้องในสายการผลิต

4. ผลการดำเนินงาน

ในการทดสอบระบบตรวจสอบภาพครั้งนี้ ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์โดยการนำชิ้นงานที่มีตำแหน่งข้อผิดพลาดกับชิ้นงานที่ถูกต้องเพื่อประเมินความสามารถของระบบกล้องในการตรวจจับและแยกแยะชิ้นงานอย่างแม่นยำ โดยข้อผิดพลาดที่จำลองขึ้น ได้แก่ สีของหัวอุปกรณ์เชื่อมต่อวงจรสายไฟไม่ตรงกับมาตรฐาน และตำแหน่งการติดอุปกรณ์รัดสายไฟ ที่คลาดเคลื่อนจากที่กำหนดไว้ ระบบกล้องจะทำการตรวจจับลักษณะภายนอกของชิ้นงาน เช่น สีและตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบ จากนั้นส่งข้อมูลภาพเข้าสู่โปรแกรมประมวลผลภาพ ซึ่งจะเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หากชิ้นงานมีคุณสมบัติถูกต้องตามเกณฑ์ ระบบจะแสดงผล

เป็น “OK” หรือ “Pass” บนหน้าจอแสดงผล หากไม่ตรงตามเกณฑ์ ระบบจะแสดงผลเป็น “NG” (Not Good) พร้อมเสียงเตือนเพื่อให้หยุดสายการผลิต การทดสอบนี้ดำเนินการทั้งหมด 5 ครั้ง โดยสุ่มตำแหน่งข้อผิดพลาดในแต่ละครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถแยกแยะชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ 100% ก่อนนำไปใช้งานจริงในสายการผลิต

รูปที่ 9 ตัวอย่างการสุ่มตรวจการประมวลผลของระบบ

4.1 การทดสอบความผิดพลาด

การสุ่มตรวจสอบการประมวลผลของระบบโดยทำการสุ่มตำแหน่งของกล้องแต่ละตัวว่าสามารถใช้งานได้ตามที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าหากตรงตามเกณฑ์ระบบจะแสดงผลเป็น “OK” หรือ “Pass” บนหน้าจอแสดงผล หากไม่ตรงตามเกณฑ์ ระบบจะแสดงผลเป็น “NG” (Not Good)

ตารางที่ 1 การสุ่มตรวจสอบการประมวลผลของระบบของ กล้อง1

Camera 1	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
Connector color 66	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 91	NG	NG	NG	NG	NG
Tape for fixation 92	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 01	OK	OK	OK	OK	OK
Connector color 02	OK	OK	OK	OK	OK
Connector color 03	OK	OK	OK	OK	OK
Connector color 04	OK	OK	OK	OK	OK
Connector color 05	OK	OK	OK	OK	OK
Simple dimensional	OK	OK	OK	OK	OK
Tube 70	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 71	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 72	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 75	NG	NG	NG	NG	NG
Tube 76	NG	NG	NG	NG	NG
Clamp color 78	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 79	NG	NG	NG	NG	NG
Clamp color 80	NG	NG	NG	NG	NG
Clamp color 81	NG	NG	NG	NG	NG
Clamp color 84	NG	NG	NG	NG	NG
Clamp color 86	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 87	NG	NG	NG	NG	NG
Connector color 01	OK	OK	OK	OK	OK
Connector color 03	OK	OK	OK	OK	OK

ในการทดสอบครั้งนี้ผลเป็นไปตามที่ตั้งไว้ด้วยการสุ่มตำแหน่งในการทำการทดสอบโดยทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้งเมื่อทำการทดสอบสำเร็จและมั่นใจว่าสามารถตรวจได้แล้ว 100% แล้วจึงได้นำไปใช้งานจริง

4.2 เปรียบเทียบผลการดำเนินการระหว่างก่อนและหลังดำเนินการ

ผลของประสิทธิภาพการตรวจสอบความผิดพลาด

การทดสอบความผิดพลาดโดยทำการวัดข้อมูลการทำงานระหว่างการใช้พนักงานในการตรวจและการใช้กล้องตรวจ ก่อนดำเนินการและหลังดำเนินงาน

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : พนักงานและกล้องมีผลการตรวจสอบไม่แตกต่างกัน

H_1 : พนักงานและกล้องมีผลการตรวจสอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การสรุปผลลัพธ์

• หาก p-value < 0.05 ปฏิเสธ H_0 แสดงว่า พนักงานและกล้องมีความแตกต่างกัน

• หาก p-value $\geq$ 0.05 ยอมรับ H_0 แสดงว่าพนักงานและกล้องไม่มีความแตกต่างกัน

E4 =T.TEST(B2:B6,C2:C6,2,1)

	A	B	C	D	E
1	ครั้งที่	พนักงาน	กล้อง	กล้อง- พนักงาน	
2	1	98	100	2	1.4
3	2	99	98	-1	1.516575
4	3	97	100	3	0.107939
5	4	98	99	1	
6	5	98	100	2	

รูปที่ 10 ผลการวัดประสิทธิภาพในการตรวจสอบชิ้นงาน จำนวน 5 ครั้ง

ผลที่ได้จากการทดสอบคือ

ค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง = 1.4 หาได้จากสูตร [=AVERAGE(D2:D6)]

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.516575 หาได้จากสูตร [=STDEV.S(D2:D6)]

p-value = 0.107939 โดยยอมรับ H0 แสดงว่า พนักงานและกล้องทำงานไม่แตกต่างกัน หาได้จากสูตร [=T.TEST(B2:B6,C2:C6,2,1)]

จากการทดสอบระหว่าง พนักงาน และ กล้อง ที่ตรวจสอบชิ้นงานจำนวน 5 ครั้ง การใช้ กล้อง มีค่าเฉลี่ยการตรวจสอบสูงกว่าเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ประสิทธิภาพของพนักงาน และ การใช้กล้องใกล้เคียงกัน ในด้านการตรวจสอบชิ้นงาน 100% แต่จึงทำการศึกษาเวลาในการทำงานเพื่อเปรียบเทียบและทำการวัดผลของการดำเนินงาน

หลังจากการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพการวิเคราะห์แบบ 4M ได้รับผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ โดยสามารถลดการดำเนินงานจาก 2 กระบวนการเหลือ 1 กระบวนการ ซึ่งก่อนการปรับปรุง ประกอบด้วยขั้นตอนการติดอุปกรณ์รัดสายไฟ และการตรวจสอบด้วยคน ทั้งสองขั้นตอนนี้ถูกปรับปรุงให้รวมเป็นขั้นตอนเดียวโดยใช้ระบบกล้อง ซึ่งเข้ามาแทนที่การติดอุปกรณ์รัดสายไฟและการตรวจสอบแบบเดิม

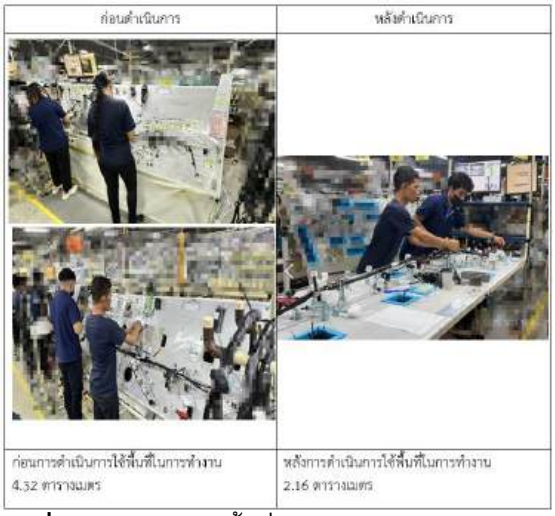
ในการดำเนินการศึกษานี้ ผู้จัดทำได้ทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนระหว่าง ก่อนการปรับปรุงระบบ และ หลังการปรับปรุงระบบ โดยการจับเวลาแต่ละกิจกรรมดำเนินการจำนวน 5 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและสะท้อนความเป็นจริงของกระบวนการทำงานมากที่สุด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาการดำเนินการระหว่างก่อนและหลังดำเนินการ

เปรียบเทียบเวลาในการทำงานก่อนและหลังดำเนินการ						
ครั้งที่จับเวลา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เวลาเฉลี่ย (นาที)
ก่อนดำเนินการ	5.20	6.21	5.50	6.05	6.15	5.40
หลังดำเนินการ	2.15	2.20	2.25	2.30	2.30	2.20

จากตารางที่ 4 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุงระบบ พบว่าเวลาการทำงานเฉลี่ยลดลงจาก 5 นาที 40 วินาที เหลือเพียง 2 นาที 20 วินาที แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจสอบอย่างชัดเจน การลดระยะเวลาดังกล่าวยังส่งผลให้การดำเนินงานรวดเร็วขึ้น ลดปัญหางานค้าง และช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของสายการผลิต

ก่อนการดำเนินการใช้พื้นที่ในการทำงาน บอร์ดละ 2.16 ตารางเมตร ซึ่งใช้จำนวน 2 บอร์ด พื้นที่รวม 4.32 ตารางเมตร หลังการดำเนินงาน สามารถลดจำนวนของบอร์ดได้ 1 บอร์ดโดยเหลือพื้นที่ที่ใช้ในการทำงาน 2.16 ตารางเมตร ทำให้สามารถใช้พื้นที่ที่เหลือนำไปสร้างประโยชน์อย่างอื่นได้



รูปที่ 11 เปรียบเทียบพื้นที่การใช้งานระหว่างก่อนและหลังดำเนินการ

ก่อนดำเนินการกระบวนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานที่ผ่านมาพึ่งพาการตรวจด้วยคน ซึ่งมีความแม่นยำไม่มากพอ ส่งผลให้งานที่ไม่ได้มาตรฐานหลุดไปถึงลูกค้า นำไปสู่การสูญเสียทั้งรายได้และเวลา เมื่อลูกค้า

ส่งงานที่ไม่ได้มาตรฐานกลับมาให้แก้ไข ชิ้นงานเหล่านั้นต้องเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบใหม่ ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 นาที 50 วินาที รวมถึงงานที่กำลังผลิตอยู่ในสายการผลิต ทำให้มีงานกองสะสมมากขึ้นและกระทบต่อความล่าช้าในกระบวนการผลิตโดยรวม หลังดำเนินการได้มีการนำระบบตรวจสอบด้วยกล้อง ที่มีความแม่นยำสูงมาใช้ในกระบวนการตรวจสอบ ส่งผลให้งานที่ไม่ได้มาตรฐานหลุดไปถึงลูกค้าน้อยลงอย่างชัดเจน และลดจำนวนกรณีที่ลูกค้าต้องส่งงานกลับมา ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้งานที่กองสะสมจากกระบวนการแก้ไขก็ลดลง ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและลดปัญหาความล่าช้าในสายการผลิต

5. สรุป

5.1 การปรับปรุงคุณภาพการตรวจสอบด้วยระบบกล้อง แผนกวิศวกรรมการผลิต ได้มีการนำหลักการ 4M (Man, Machine, Method, Material) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการทำงาน โดยเน้นไปที่การพัฒนาในส่วนของเครื่องจักร และ พนักงาน เป็นหลัก ผ่านการติดตั้งและใช้งานระบบกล้อง เพื่อช่วยในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานแทนการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำและความต่อเนื่อง โดยการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างชัดเจนในหลายด้าน ได้แก่

การลดจำนวนพนักงานในกระบวนการตรวจสอบ: เดิมต้องใช้พนักงานถึง 4 คนในการตรวจสอบชิ้นงาน แต่หลังจากติดตั้งระบบกล้องแล้วสามารถลดเหลือเพียง 2 คนเท่านั้น ทำให้สามารถนำพนักงานส่วนเกินไปเสริมในจุดที่ขาดแคลนแรงงานอื่นได้

การลดระยะเวลาในการตรวจสอบ: เดิมต้องใช้เวลาเฉลี่ย 5 นาที 40 วินาทีต่อชิ้นงาน แต่เมื่อใช้ระบบกล้องเวลาตรวจสอบลดลงเหลือเพียง 2 นาที 20 วินาที ช่วยเพิ่มความเร็วในการผลิต และลดความล่าช้าหรือคอขวดในสายการผลิต

การเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงานของพนักงาน: พนักงานที่มีทักษะด้านการติดตั้ง การติดอุปกรณ์รัดสายไฟ สามารถปรับบทบาทมาใช้งานระบบกล้องได้อย่างรวดเร็วหลังผ่านการอบรมเบื้องต้น ซึ่งใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที ทำให้สามารถหมุนเวียนกำลังคนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดการหยุดชะงักของกระบวนการเมื่อขาดคนบางตำแหน่ง การนำระบบกล้องเข้ามาช่วย ไม่เพียงแต่ลดจำนวนแรงงานและเวลาในการทำงานเท่านั้น แต่ยังช่วยให้กระบวนการตรวจสอบมีมาตรฐานและความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ลดความผิดพลาดจากมนุษย์ และสามารถเก็บภาพเพื่อตรวจสอบย้อนหลังได้หากพบปัญหาในภายหลัง

5.2 การลดพื้นที่ในการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนอกจากการปรับปรุงคุณภาพการตรวจสอบแล้ว การติดตั้งระบบกล้องยังส่งผลดีต่อการจัดการพื้นที่ทำงาน โดยแผนกได้มีการจัดระเบียบกระบวนการใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับระบบอัตโนมัติ ส่งผลให้พื้นที่ที่ต้องใช้ในกระบวนการตรวจสอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากเดิมที่ต้องใช้พื้นที่ตรวจสอบกว้างถึง 4.32 ตารางเมตร ซึ่งรวมทั้งโต๊ะตรวจสอบ อุปกรณ์ และพื้นที่สำหรับการเดินของพนักงานหลายคน

หลังปรับปรุงด้วยระบบกล้อง พื้นที่ที่ต้องใช้ลดลงเหลือเพียง 2.16 ตารางเมตร เพราะระบบกล้องสามารถติดตั้งให้เป็นส่วนหนึ่งของสายการผลิต และตรวจสอบผ่านหน้าจอในจุดเดียวได้ พื้นที่ที่เหลือสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอื่นได้ เช่น การจัดวางอุปกรณ์ใหม่ การเพิ่มจุดวางวัตถุดิบ หรือการปรับปรุงทางเดินภายในแผนก ทำให้สภาพแวดล้อมการทำงานมีความเป็นระเบียบ ปลอดภัย และสามารถรองรับการขยายสายการผลิตในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กนิษฐา หงส์พรรคมนุญ, วันทนีย์ จันทร์สมปอง, รัตติยากร ทองจุนเจือ. (2551) *ชื่อเรื่อง*ระบบตรวจสอบความบกพร่องของชิ้นงานแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ

[2] พรชัย นิเวศน์รังสรรค, วราคม เนิดน้อย, วัชรินทร์ หนูทอง, ศิริชัย พุธวัฒนะ.(2562) ชื่อเรื่องเครื่องตรวจสอบ

ชิ้นงานด้วยภาพ

[3]. ฐิตารีย์ รักงาน. (2566) ชื่อเรื่อง BusCrowd : กล้อง Raspberry Pi สำหรับการนับและการทำแผนที่ผู้โดยสารแบบ เรียลไทม

อิทธิพลพารามิเตอร์ต่อช่องว่างรอยตัดในกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์

PARAMETER INFLUENCE OF CUTTING GAP ON PVC CUTTING LASER

กฤษฎา ก้องสูงเนิน [1*] สุธรรม ศิวาวุธ [2] ปริญญา ศรีสัตยกุล [3] ภาณุเดช แสงสีดำ [4]
[1,] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2, 3, 4, 5] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: Kritsada_kongsungnern@outlook.com *

Kritsada kongsungnern [1*] Sutham Siwawut [2] Parinya Srisattayakul [3] Panudet Saengseedam [4]
[1] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology krungthep
[2, 3, 4, 5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology krungthep
E-mail: Kritsada_kongsungnern@outlook.com *

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลพารามิเตอร์ต่อช่องว่างรอยตัดในกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์ โดยขนาดกำหนดของช่องว่างรอยตัดดังกล่าวนี้ เกิดจากความแปรปรวนของพารามิเตอร์สำคัญในกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์ (ความหนา 2.0 mm) ได้แก่ กำลังไฟ จุดรวมลำแสงเลเซอร์ และอัตราการป้อน ในการวิเคราะห์ทางสถิติเป็นประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) ด้วยเทคนิควิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ซึ่งกำหนดช่วงระดับของแต่ละพารามิเตอร์ คือ กำลังไฟ 4.00-5.00 W จุดรวมลำแสงเลเซอร์ 1.50-1.70 cm และอัตราการป้อน 1.0-3.0 cm/sec บทสรุปสุดท้ายของการดำเนินงานวิจัยพบว่าผลลัพธ์เชิงสถิติที่เหมาะสมต่อช่องว่างรอยตัดน้อยที่สุดในกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์ คือ กำลังไฟ 5.00 W จุดรวมลำแสงเลเซอร์ 1.50 cm และอัตราการป้อน 3.0 cm/sec ซึ่งสภาวะของกระบวนการตัดพีวีซีด้วยเลเซอร์นี้ สามารถทำให้เกิดค่าความผิดพลาดของช่องว่างภายหลังกระบวนการตัดเฉือนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0739 mm

คำหลัก : ช่องว่างรอยตัด, กระบวนการตัดด้วยเลเซอร์, วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM)

Abstract

This objective of research was studied the parameter influence of cutting gap on the PVC laser cutting which the cutting gap specification was caused by the parameter variation on the PVC laser cutting (thickness 2.0 mm) namely; power, focus and feed. In the statistical analysis, was applied the design and analysis of experiment (DOE) by the technique of response surface methodology (RSM) which the definition of each parameter level range was power of 4.00-5.00 w, focus of 1.50-1.70 cm and feed of 1.0-3.0 cm/sec. Finally, the conclusion of research was found that the statistical optimization

results of minimum cutting gap on PVC laser cutting such as power of 5.00 w, focus of 1.50 cm and feed of 3.0 cm/sec. These statistical optimization results were obtained the minimum value gap of 0.0739 mm on PVC laser cutting.

Keywords : Cutting Gap, Laser cutting, Response Surface Methodology (RSM)

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้น มีการเติบโตขยายตัวอย่างรวดเร็วต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการแข่งขันทางการค้ามากมายยิ่งขึ้นตามไปด้วย โดยปัจจัยสำคัญหลักๆ ที่ส่งผลให้การดำเนินธุรกิจของภาคอุตสาหกรรมประสบผลสำเร็จได้ คือ การสร้างผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณภาพสำหรับลูกค้า รวมไปถึงการสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า โดยอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกถือเป็นอีกหนึ่งประเภทอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความหลากหลายทั้งในส่วนของผลิตภัณฑ์ (Product) และกระบวนการผลิต (Process) ส่งผลให้เป็นประเภทธุรกิจที่น่าสนใจในการลงทุนของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมพลาสติกมีการแปรรูปวัตถุดิบอยู่หลากหลายประเภท วัตถุดิบพลาสติกประเภทโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride : PVC) ถือเป็นวัตถุดิบสำคัญที่มีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะความซับซ้อนมากๆ โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการแปรรูปในกระบวนการตัดเฉือนด้วยเลเซอร์ (Laser Machining Process) สิ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการตัดเฉือนวัสดุด้วยเลเซอร์ คือ คุณภาพชิ้นงานภายหลังผ่านกระบวนการตัดเฉือนนั่นเอง โดยชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดีพอซึ่งจะเกิดปัญหาต่างๆ ได้แก่ ชิ้นงานมีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เนื่องจากขอบชิ้นงานเกิดการหลอมละลาย และขอบชิ้นงานเป็นรอยไหม้ ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆ ของเครื่องเลเซอร์สำหรับงานตัดเฉือนที่ไม่เหมาะสม

รูปที่ 1 เครื่อง CNC Laser Cutting รุ่น LRT 2022 ยี่ห้อ Robotech

วัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นให้ความสำคัญกับการศึกษาเฉพาะวัตถุดิบพลาสติกประเภทโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ชนิดแผ่นแบบใส ความหนา 2.0 mm ร่วมกับกระบวนการตัดเฉือนเลเซอร์ด้วยเครื่อง CNC Laser Cutting รุ่น LRT 2022 ยี่ห้อ Robotech โดยชิ้นงานทดสอบ (Specimen) เป็นวัสดุพีวีซี เนื่องจากปัญหาที่พบภายหลังจากการผ่านกระบวนการตัดเฉือนเลเซอร์นั้น ชิ้นงานเกิดปัญหาที่บริเวณรอยตัด ได้แก่ ปัญหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่ากำหนดซึ่งเป็นผลมาจากการหลอมละลายของวัสดุ และปัญหาขอบชิ้นงานเกิดรอยไหม้จากความร้อนที่สูงมากเกินไป เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์ โดยการประยุกต์ใช้หลักของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment : DOE) ด้วยเทคนิควิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) ซึ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน

2. การดำเนินงานวิจัย

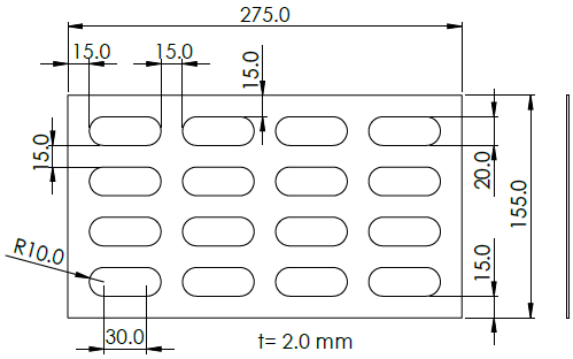
วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อค่าความผิดพลาดของช่องว่าง **(Gap)**พารามิเตอร์เกี่ยวกับกำลังไฟ (Power) โดยช่วงขอบเขตของกำลังไฟที่ใช้ในการตัดเฉือนสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งได้มาจากการทดลองเบื้องต้น (Pre-Testing) นั่นคือ กำลังไฟ 4.00-5.00 W ถัดมาเป็นพารามิเตอร์เกี่ยวกับจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) โดยระยะห่างระหว่างลำกล้องเลเซอร์กับชิ้นงานนี้จะมีอิทธิพลโดยตรงต่อระยะการรวมแสง (Focus) ที่เหมาะสม โดยสามารถกำหนดช่วงขอบเขตที่ต้องการทำการศึกษาได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pre-Testing) นั่นคือ จุดรวมลำแสงเลเซอร์ 1.50-1.70 cm และพารามิเตอร์สุดท้าย คือ พารามิเตอร์เกี่ยวกับอัตราการป้อน (Feed) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ PVC มีความหนาในการตัดที่แตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้า จึงต้องใช้อัตราป้อนตัดเฉือนที่แตกต่างกันตามไปด้วย ซึ่งถ้าหากใช้อัตราป้อนตัดเฉือนที่ต่ำเกินไปจะทำให้ชิ้นงานเกิดการละลายเนื่องมาจากการเกิดความร้อนสูงบางส่วน ผิวชิ้นงานที่ได้ก็จะหยาบมากทำให้ต้องเสียเวลาในการนำไปตัดซ้ำอีกครั้ง (Rework) แต่ถ้าหากใช้อัตราป้อนตัดเฉือนที่เร็วเกินไปจะทำให้ชิ้นงานขาดยากจะต้องตัดซ้ำอีกครั้งเช่นกัน โดยช่วงขอบเขตที่ต้องการทำการศึกษาได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pre-Testing) นั่นคือ อัตราการป้อน 1.0-3.0 cm/sec พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกนำมากำหนดแผนการทดลองตามหลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) ด้วยเทคนิควิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ในกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์ ความหนา 2.0 mm กับค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ภายหลังกระบวนการตัดเฉือน โดยมีคุณลักษณะผลตอบสนอง (Response Characteristic) ในส่วนการวิจัยนี้ต้องการที่จะศึกษานี้ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ภายหลังกระบวนการตัดเฉือน

ดังตารางที่ 1 การกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์

พารามิเตอร์ (Parameters)	ระดับของพารามิเตอร์ (Level of Parameters)				
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1. กำลังไฟ (Power) ; W	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
2. จุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) ; cm	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70
3. อัตราการป้อน (Feed) ; cm/sec	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

2.1 การดำเนินงานเกี่ยวกับการทดลอง

ชิ้นงานที่ทดสอบทำมาจากวัสดุพีวีซี (PVC) ชนิดใสแบบแผ่น มีขนาด 155 mm x 275 mm x 2 mm ดังแสดงในภาพที่ 2 จะถูกออกแบบสำหรับการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์



รูปที่ 2 ชิ้นงานทดสอบ (Specimen)

รูปที่ 3 เครื่อง Microscope ยี่ห้อ Leica รุ่น DM 2500 M

2.1.1 เครื่อง Microscope ยี่ห้อ Leica รุ่น DM 2500 M ที่เป็นอุปกรณ์สำหรับมองดูวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นด้วยตาเปล่า

งานวิจัยมากมายในอดีตที่อธิบายถึงการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) จะเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลสูงสุดนั้น จำเป็นต้องนำวิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ (DOE of Statistical) และค่าความผิดพลาดในการทดลอง (Experiment Error) เข้ามาช่วยการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

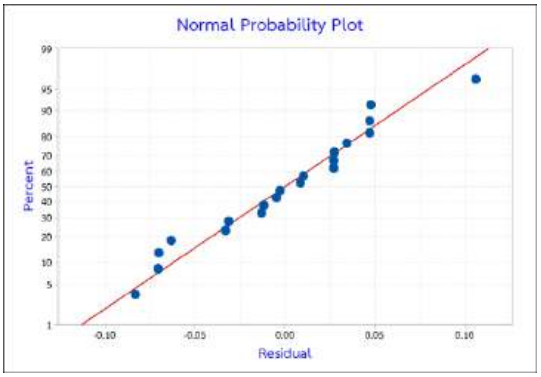
3. ผลการวิจัย

พารามิเตอร์เกี่ยวกับกำลังไฟ (Power) คือ 4.00-5.00 W พารามิเตอร์เกี่ยวกับจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) คือ 1.50-1.70 cm และพารามิเตอร์เกี่ยวกับอัตราการป้อน (Feed) คือ 1.0-3.0 cm/sec โดยมีผลตอบสนอง (Response) คือ ค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ซึ่งตามหลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง(DOE) ด้วยเทคนิควิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) นั้น งานวิจัยนี้เลือกใช้การออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD) โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ภายหลังกระบวนการตัดเฉือน จำนวน 20 ข้อมูล จากการออกแบบร่วมกันระหว่าง 3 พารามิเตอร์ กับ 1 ผลตอบสนอง ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1

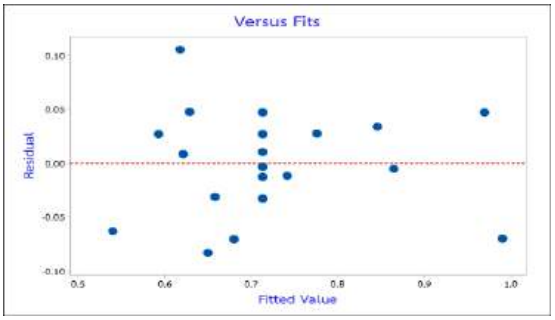
ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าความผิดพลาดของช่องว่างภายหลังกระบวนการตัดเฉือน

กำลังไฟ (Power)	จุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus)	อัตราการป้อน (Feed)	ค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap)
4.25	1.55	1.5	0.88
4.75	1.55	1.5	1.02
4.25	1.65	1.5	0.62
4.75	1.65	1.5	0.86
4.25	1.55	2.5	0.63
4.75	1.55	2.5	0.48
4.25	1.65	2.5	0.57
4.75	1.65	2.5	0.61
4.00	1.60	2.0	0.63
5.00	1.60	2.0	0.80
4.50	1.50	2.0	0.73
4.50	1.70	2.0	0.68
4.50	1.60	1.0	0.92
4.50	1.60	3.0	0.72
4.50	1.60	2.0	0.72
4.50	1.60	2.0	0.68
4.50	1.60	2.0	0.70
4.50	1.60	2.0	0.71
4.50	1.60	2.0	0.76
4.50	1.60	2.0	0.74

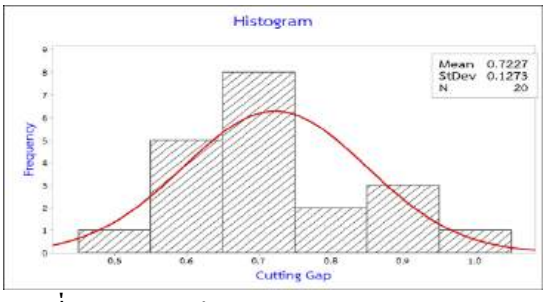
การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เชิงสถิติ (R-Sq หรือ R^2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 85.48% ถือว่าเป็นที่น่าพึงพอใจค่อนข้างมาก เนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ค่าสูงสุด (Maximum) คือ 100% โดยสอดคล้องสัมพันธ์กันกับการแจกแจงความน่าจะเป็นรูปแบบปกติเชิงสถิติ (Normal Distribution) ดังแสดงนำเสนอเป็นกราฟในภาพที่ 4-5-6-7



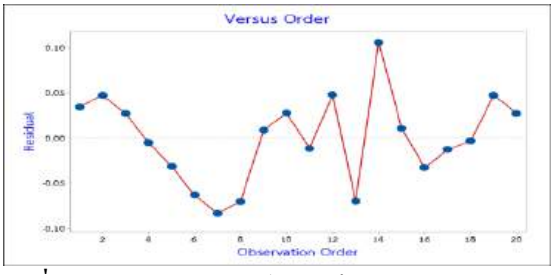
รูปที่ 4 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot of Residuals)



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ส่วนตกค้างกับค่าทำนาย (Plots of Residuals vs Fitted Values)



ภาพที่ 6 แผนผังฮิสโตแกรม (Histogram)



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ความเป็นอิสระกับค่าส่วนตกค้าง (Plot of Residuals Versus the Observation Order of the Data)

การพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction Effect) พบว่า เทอมของอิทธิพลร่วมกันระหว่างกำลังไฟ (Power) ช่วง 4.00-5.00 W กับอัตราการป้อน (Feed) ช่วง 1.0-3.0 cm/sec และเทอมของอิทธิพลร่วมกันระหว่างจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) ช่วง 1.50-1.70 cm กับอัตราการป้อน (Feed) ช่วง 1.0-3.0 cm/sec นั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05) เนื่องจากมี p-value < α กล่าวคือ 0.029 < 0.05 กับ 0.027 < 0.05 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 2) นั่นหมายความว่า เทอมผลกระทบร่วมกันระหว่างกำลังไฟ (Power) กับอัตราการป้อน (Feed) และเทอมผลกระทบร่วมกันระหว่างจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) กับอัตราการป้อน (Feed) มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง คือ ค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ในกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์

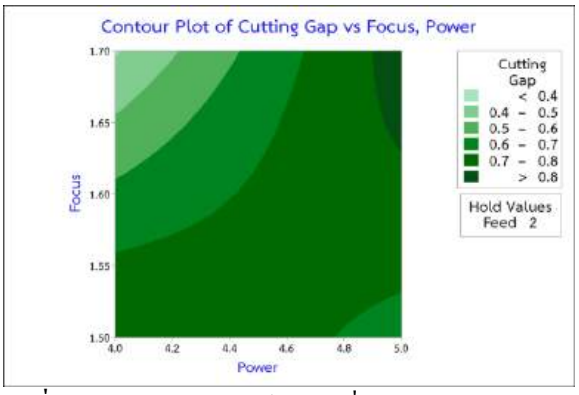
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับอิทธิพลของพารามิเตอร์เชิงสถิติ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.263077	0.029231	6.54	0.004
Linear	3	0.175180	0.058393	13.07	0.001
Power	1	0.023767	0.023767	5.32	**0.044***
Focus	1	0.012656	0.012656	2.83	0.123
Feed	1	0.138756	0.138756	31.06	**< 0.001***
2-Way Interaction	3	0.070215	0.023405	5.24	0.020
Power*Focus	1	0.011001	0.011001	2.46	0.148
Power*Feed	1	0.029201	0.029201	6.54	**0.029***
Focus*Feed	1	0.030013	0.030013	6.72	**0.027***
Error	10	0.044670	0.004467		
Total	19	0.307747			

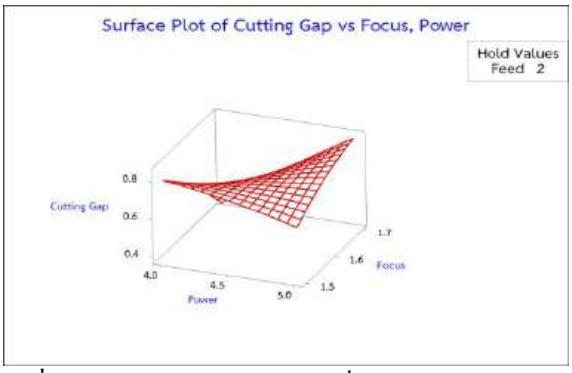
4. อภิปรายผล

4.1 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับจุดรวมลำแสงเลเซอร์ ทั้งรูปแบบกราฟ 2 มิติ (Contour Plot) และกราฟ 3 มิติ (ดังภาพที่ 8-9) นั้น บ่งชี้ว่า

สภาวะที่เหมาะสม คือ กำลังไฟ (Power) = 5.00 W และจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) = 1.50 cm

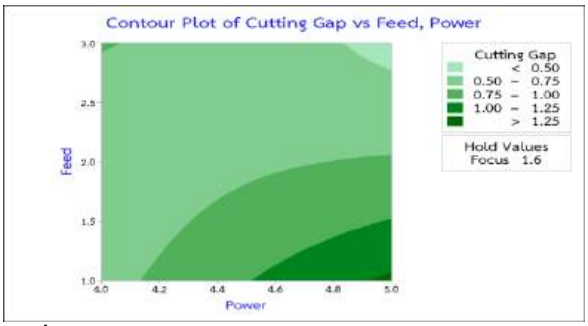


รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (2D)

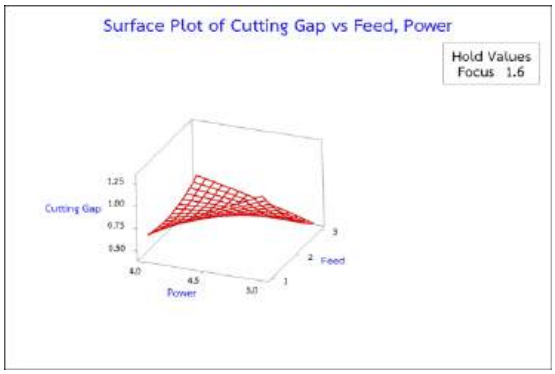


รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับจุดรวมลำแสงเลเซอร์ (3D)

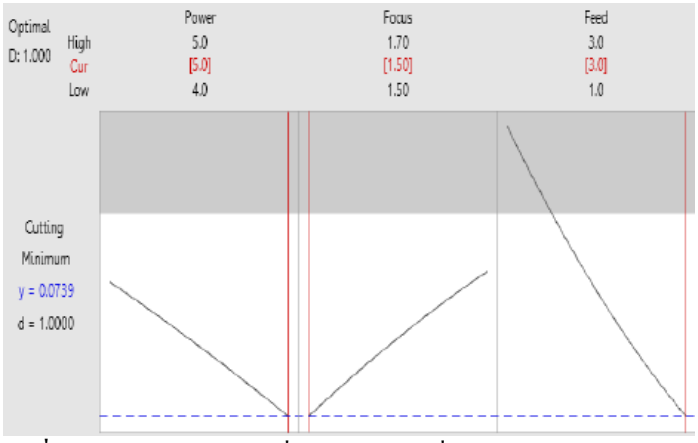
4.2 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับอัตราการป้อน ทั้งรูปแบบกราฟ 2 มิติ (Contour Plot) และกราฟ 3 มิติ (ดังภาพที่ 10-11) นั้น บ่งชี้ว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ กำลังไฟ (Power) = 5.00 W และอัตราการป้อน (Feed) = 3.0 cm/sec



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับอัตราการป้อน (2D)



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์สภาวะที่เหมาะสมของกำลังไฟกับอัตราการป้อน (3D)



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เชิงสถิติ

5. สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ภายหลังกระบวนการตัดเฉือนด้วยเลเซอร์ ได้แก่ กระแสไฟฟ้าของเลเซอร์ (Power) ระยะห่างระหว่างหัวเลเซอร์กับชิ้นงาน (Focus) และความเร็วในการเดินตัด (Feed) โดยการประยุกต์ใช้หลักของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment : DOE) ด้วยเทคนิควิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้การ

ออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD) ผลลัพธ์การวิเคราะห์เกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เชิงสถิตินั้น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เชิงสถิติสำหรับกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์ ได้แก่ กำลังไฟ (Power) เท่ากับ 5.00 W จุดรวมลำแสงเลเซอร์ (Focus) เท่ากับ 1.50 cm และอัตราการป้อน (Feed) เท่ากับ 3.0 cm/sec เนื่องจากผลลัพธ์จากการประมวลเชิงสถิติบ่งชี้ว่า การตั้งค่าพารามิเตอร์ตามสภาวะที่เหมาะสมเหล่านี้ จะสามารถทำให้ได้มาซึ่งค่าความผิดพลาดของช่องว่าง (Gap) ที่น้อยที่สุด (Minimum) ภายหลังกระบวนการตัดเฉือนในกระบวนการตัดเฉือนแผ่นพีวีซีด้วยเลเซอร์ นั่นคือ 0.0739 mm (y=0.0739) และได้มาซึ่งค่าความพึงพอใจ (Desirability : D) กับประสิทธิภาพของกระบวนการสูงมากถึง 100% (D=1.000)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ รวมไปถึงสถานที่ในการวิจัย ท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดามารดา ครอบครัว เพื่อนร่วมงาน ที่ให้ความสนับสนุนและกำลังใจตลอดในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] บรรเลง ศรนิล. 2548. เทคโนโลยีพลาสติก. กรุงเทพฯ : สำนักสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

[3] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, จักรนรินทร์ ฉัตรทอง. (2549). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของงานกัดตัวอักษรบนไม้ยางพาราด้วยเครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

[4] อิงอร เทศประสิทธิ์. การปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโคมเพดานแก้ว. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[5] โสภิดา ท้วมมี. (2550). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก.ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย. (2550). การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูล, ชาญณรงค์ สายแก้ว. (2552). การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

การออกแบบและสร้างเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ

Design and Fabrication of a Semi-Automatic Cocoa Bean Fermentation Machine

สุทิวัส แววดี[1] พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์[1] ชวลิต อินปัญโญ[1] และ ศิริชัย ต่อสกุล[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Suthiwat Waewdee[1] Phanphong Kongphan[1] Chawalit Inpunyo[1] and Sirichai Torsakul[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวัง ที่มีปัญหาไม่สามารถควบคุมคุณภาพการหมักเมล็ดโกโก้ให้ได้ตามมาตรฐาน เนื่องจากใช้กระบวนการหมักแบบธรรมชาติและอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ในงานวิจัยนี้เครื่องหมักที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมีเป้าหมายที่จะหมักเมล็ดโกโก้ได้ครั้งละไม่น้อยกว่า 400 กิโลกรัม โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า ในการหมุนถังหมัก การทดลองศึกษาระยะเวลาการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 และผลของการเติมน้ำทิ้งจากการหมักกลับเข้าในถังหมัก ผลการทดลองพบว่า การเริ่มกลับเมล็ดในวันที่ 2 ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด และการเติมน้ำทิ้งที่มีปริมาณของแข็งละลายได้ 16.20 องศาบริกซ์ ส่งผลให้กรดแลกติกเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.79 และกรดแอซีติกเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.55 พร้อมทั้งช่วยให้สีของเนื้อเมล็ดโกโก้เข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบในระดับโรงงาน องค์ประกอบของเนื้อเมล็ดโกโก้ เช่น ค่าพีเอช ปริมาณกรดแลกติก กรดแอซีติก และการเปลี่ยนแปลงค่าสี ไม่แตกต่างจากผลในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น เครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถควบคุมคุณภาพเมล็ดโกโก้ให้ได้ตามมาตรฐาน ช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันและความยั่งยืนทางการผลิตแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

คำหลัก โกโก้, เครื่องหมักเมล็ดโกโก้, คุณภาพการหมัก และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

Abstract

This research aims to design and develop a semi-automatic cocoa bean fermentation machine for the Cocoa Plaeng Yai Mueang Wang Community Enterprise, which faces difficulties in controlling the quality of fermented cocoa beans due to the use of traditional, experience-based fermentation methods. The developed machine can ferment cocoa beans in batches of no less than 400 kilograms, powered by a 3-phase AC motor with 2 horsepower to rotate the fermentation drum. The experiment examined the appropriate fermentation time by comparing cocoa bean turning schedules on days 2, 3, and 4, and the effect of adding fermentation wastewater back into the drum. The results showed that turning the beans on day 2 yielded the best results. Reintroducing wastewater with 16.20 °Brix of dissolved solids increased lactic acid by

24.79% and acetic acid by 35.55%, while also enhancing the cocoa bean's internal color. When tested on an industrial scale, the cocoa bean's key attributes—including pH, lactic acid, acetic acid levels, temperature during fermentation, and color changes—showed no significant difference from the laboratory results. Therefore, the semi-automatic cocoa bean fermentation machine effectively controls the fermentation process, meeting quality standards and enhancing production competitiveness and sustainability for the community enterprise.

Keywords: Cocoa, Cocoa Bean Fermentation Machine, Fermentation Quality and Community Enterprise

1. บทนำ

ตลาดโกโก้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการใช้ผงโกโก้ในการผลิตอาหารประเภทเครื่องดื่มสำเร็จรูป นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในการทำขนมเค้กและผสมกับอาหารอื่น ๆ ในบางประเทศใช้ผงโกโก้ในอุตสาหกรรมการผลิตขนมช็อกโกแลต แต่ในประเทศไทยมิได้มีอุตสาหกรรมนี้จึงใช้ผงโกโก้ในการผลิตขนมด้านนี้ไม่มากนัก[1-3]

โกโก้ (cocoa) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ Theobroma cacao L. เป็นพืชในวงศ์ Sterculiaceae โกโก้เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กสูงประมาณ 3-8 เมตร เป็นพืชที่ชอบร่มเงาและต้องการความชื้นสูง ผลของโกโก้มีลักษณะทรงรียาวออกตามกิ่งและลำต้น ผิวผลแข็งขรุขระมีร่องตามยาว เปลือกผลหนา ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็น สีเหลือง แดง หรือม่วงแล้วแต่พันธุ์เมล็ดเกิดเรียงเป็นแถวตามความยาวของผล จำนวน 5 แถว [4] เมล็ดโกโก้ ลักษณะของเมล็ดเป็นรูปรี มีขนาดกว้างประมาณ 1.3-1.5 เซนติเมตร และยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 เมล็ดเป็นสีน้ำตาล มีเยื่อหุ้มเมล็ดบาง ๆ รสหวาน[5] เมล็ดจะมีเยื่อหุ้ม (integument) เนื้อในเมล็ดเป็นส่วนของใบเลี้ยง (cotyledon) จะมีสีขาวหรือม่วงขึ้นกับสายพันธุ์ ขณะผลสุกเนื้อเยื่อบริเวณภายนอกของ integument จะผลิตชั้นของ prismatic cell ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลและเมือก (mucilage)

การหมักโกโก้ ถือเป็นกระบวนการสำคัญในการทำให้โกโก้มีกลิ่น และรสที่ดี ในการหมักเซลล์สืบพันธุ์ (germ) ที่ติดอยู่กับเมล็ดโกโก้จะตายไป ทำให้เมล็ดโกโก้เกิดรูพรุนและมีสีน้ำตาล นอกจากนี้ในขั้นตอนการหมักช่วยทำให้ความขมลดลงและทำให้เกิดกลิ่นที่ดีขึ้น เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตช็อกโกแลต การหมักเมล็ดโกโก้ในประเทศไทยทำกันหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับความพร้อมของเกษตรกรเจ้าของสวน เช่น หมักโดยใช้ เข่ง ลังไม้ หมักแบบกองสูงบนพื้น และหมักในกระบะไม้เป็นต้น

รูปที่ 1 องค์ประกอบของผลโกโก้

วิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวัง ตำบลวังใต้ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ได้ดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์โกโก้ผงและโกโก้ช็อกโกแลต โดยใช้กรรมวิธีการผลิตแบบเดิม คือ หมักในลังไม้ และหมักในถังพลาสติก จึงต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะบุคคลในการควบคุมการผลิต จึงไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเมล็ดโกโก้ก่อนส่งสู่กระบวนการตากแห้งได้

จากการเข้าพบประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวัง จึงได้สอบถามถึงปัญหาในกระบวนการผลิต ดังกล่าวพบว่า ปัญหาหลักของวิสาหกิจชุมชน คือ ขั้นตอนกระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ ที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเมล็ดโกโก้ก่อนส่งผ่านสู่กระบวนการตากแห้ง (ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตช็อคโกแลต) ให้มีคุณภาพคงที่ตรง

ต่อความต้องการของตลาดได้ สืบเนื่องกระบวนการผลิตของวิสาหกิจกลุ่มนี้ยังคงใช้กรรมวิธีการผลิตแบบลังไม้ หรือหมักในถังพลาสติกดังรูปที่ 2 จึงต้องใช้ความชำนาญเฉพาะตัวเป็นหลัก จึงไม่สามารถควบคุมคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการ

รูปที่ 2 ลักษณะการหมักเมล็ดโกโก้ ณ ปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

อย่างไรก็ตาม คุณภาพการหมักโกโก้แบบธรรมชาติของกลุ่มวิสาหกิจในปัจจุบันยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล มีผลต่อราคาขายลดลง ซึ่งคุณภาพที่ดีนั้นมาจากหลายปัจจัย ตั้งแต่พันธุ์โกโก้ และการตากแห้ง ได้มีผู้ศึกษามาบ้างแล้ว ส่วนกรรมวิธีการหมักโกโก้ในเมืองไทยยังไม่มีข้อมูลมากนัก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาการทำวิจัยเพื่อทราบถึงกลไกการหมักที่มีคุณภาพทั้งการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ ฟิสิกส์ เคมี ในระหว่างการหมักโกโก้ พบว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการหมักเมล็ดโกโก้[6] และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ เช่น Saccharomyces cerevisiae ในระหว่างการหมัก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมักได้ [7]

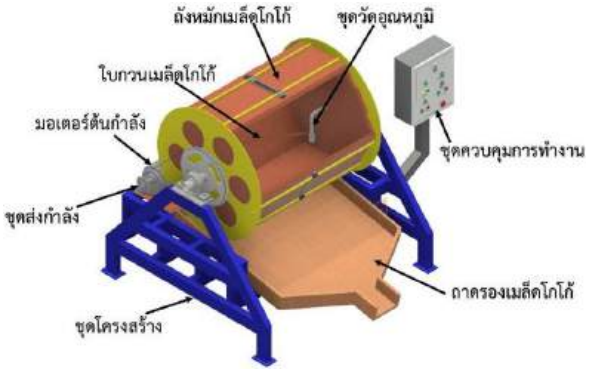
ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำปัญหาดังกล่าวมาดำเนินการออกแบบและพัฒนากระบวนการหมักผลโกโก้ เพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวัง ตำบลวังใต้ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง สามารถพัฒนาผลิตใหม่โอทอป (OTOP) ได้แก่ ผงโกโก้ ให้สามารถแข่งขันผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้ โดยจะออกแบบเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ ให้สามารถหมักได้ครั้งละจำนวนมาก โดยใช้เวลาน้อยเป็นการเพิ่มผลผลิตและรายได้ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวังได้มากขึ้น ให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่ท้องตลาดต้องการ และคำนึงถึงความสะอาดปลอดภัยของอาหารต่อผู้บริโภคตามหลักของ อย. (อาหารและยา)

2. วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ ให้กับวิสาหกิจชุมชนโกโก้แปลงใหญ่เมืองวัง ตำบลวังใต้ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูล และหารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ การออกแบบเครื่อง การคำนวณการสร้าง และการทดสอบ สามารถสรุปวิธีการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ

การออกแบบและสร้างเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และเลือกใช้ถังไม้เป็นภาชนะในการหมัก เนื่องจากการหมักแบบใช้ถังไม้ เป็นประเภทของการหมักที่พบมากที่สุดในโลกและยังใช้ในแอฟริกาตะวันตก [8] ภาชนะหมัก ควรเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่มียาง และต้องมีช่องระบายของเหลวที่เกิดจากการสลายตัวของเยื่อหุ้มเมล็ดขณะหมัก และไม่ควรใช้ภาชนะโลหะในการหมัก ดังรูปที่ 3 เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดของโกโก้สดมีความเป็นกรดซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะ และละลายออกมาปนกับเมล็ดโกโก้ ทำให้เมล็ดโกโก้มีกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดี กระบวนการหมักในถังไม้ สามารถระบายอากาศและควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าถังภาชนะชนิดอื่นๆ จึงทำให้ได้เมล็ดโกโก้ที่มีคุณภาพ



รูปที่ 3 แบบร่างแนวคิดการออกแบบเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ

เครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักเมล็ดโกโก้ ด้วยกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ และการหมุนของลังหมักโดยอัตโนมัติผ่านระบบ PLC (Programmable Logic Control) ซึ่งการใช้เครื่องหมักที่มีการควบคุมอุณหภูมิและการระบายอากาศที่ดีมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดโกโก้หมัก [9] พร้อมกับการตรวจสอบการทำงานของยีสต์และแบคทีเรียที่มีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบในเมล็ดโกโก้ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง

2.2 หลักการทำงานของเครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ

เครื่องหมักเมล็ดโกโก้ทำงานโดยใช้ระบบ PLC ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX3SA-30MR-CM ควบคุมกระบวนการหมักอัตโนมัติดังรูปที่ 4 โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์สองกลุ่มหลัก คือ ยีสต์ และ แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก ผ่านการวัดอุณหภูมิ โดยการหมักจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

1) ช่วงไม่ใช้อากาศ เมื่อเรานำเนื้อโกโก้ที่ปอกเปลือกแล้วเทลงไปในถังหมักการหมัก ในช่วงนี้จะเกิดขึ้นระหว่าง 24 – 36 ชั่วโมงของการหมัก เมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ระบบ PLC จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานเพื่อทำการคลุกเคล้าเมล็ดโกโก้ เพื่อเปลี่ยนเป็นช่วงการหมักแบบใช้อากาศ

2) ช่วงใช้อากาศ เมื่อระบบ PLC จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานเพื่อเป็นการเติมอากาศให้กับเมล็ดโกโก้หากอุณภูมิในช่วงเวลานี้ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้นี้ Sensor ที่ฝังไว้ด้านในจะส่งญญาณกลับมาให้กับ PLC และเมื่อ PLC ประมวณผลแล้วจะส่งสัญญาณเตือน (3ครั้ง) ไฟสีแดงจะติด แสดงว่ากระบวนการทำงานของยีสต์มีความผิดปกติเกิดขึ้น ให้พนักงานเปิดฝาถังแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาสาเหตุ และหากอุณภูมิในช่วงเวลานี้มีค่าถึงที่ตั้งไว้นี้ PLC จะสั่งงานให้มอเตอร์หมุนเพื่อให้อากาศทำให้อุณภูมิของเมล็ดโกโก้คงอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยอัตโนมัติ ในระหว่างนี้ให้พนักงานคอยแกะผ่าเมล็ดโกโก้เพื่อดูเนื้อใน โดยการสุ่มตรวจเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์การทำงานของแบคทีเรีย ในระหว่างนี้ให้พนักงานคอยแกะผ่าเมล็ดโกโก้เพื่อดูเนื้อใน โดยการสุ่มตรวจเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์การทำงานของแบคทีเรีย

รูปที่ 4 เครื่องหมักเมล็ดโกโก้แบบกึ่งอัตโนมัติ

2.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้ มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ ผ่าน การควบคุมอุณหภูมิ, การเปลี่ยนแปลงค่า pH, ปริมาณกรด และการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัส ดังตารางที่ 1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมักโกโก้ โดยใช้ชุดการทดลอง 4 แบบที่เริ่มหมักในช่วงเวลาต่างกัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนด เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการหมักโกโก้ และ ตรวจสอบความสามารถของเครื่องจักรในการควบคุมกระบวนการหมัก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 แสดงแนวคิดขั้นตอนและวิธีการที่จะใช้ในการทดสอบการทำงาน

ขั้นตอนการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1.ทดสอบกำลังการผลิต	ทำการผลิตตามขั้นตอนกระบวนการโดยใช้ตัววัดอุณหภูมิวัดแต่ละช่วงเวลา
2.ทำการศึกษาวันที่เริ่มกลับเมล็ดโกโก้ ตามชุดการทดลองดังนี้ - ชุดการทดลองที่ 1 เริ่มกลับวันที่ 2 - ชุดการทดลองที่ 2 เริ่มกลับวันที่ 3 - ชุดการทดลองที่ 3 เริ่มกลับวันที่ 4 - และกลับทุก ๆ วัน หลังจากกลับเมล็ดโกโก้ในแต่ละวันเป็นเวลา 6 วัน	เก็บตัวอย่างเมล็ดโกโก้เมื่อเริ่มทำการหมัก และทุก ๆ วัน หลังจากกลับเมล็ดโกโก้ใน แต่ละวันเป็นเวลา 6 วัน มาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่ องค์ประกอบของเนื้อเมล็ด ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณกรดแลกติก กรดแอซีติก และชนิดของเชื้อจุลินทรีย์
3.การเปลี่ยนแปลงสีภายในของเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมัก	การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมักเป็นระยะเวลา 6 วัน ในการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ ในวันที่ 2, 3 และ 4 หลังการหมัก

3. ผลการวิจัย

หลังจากการทดลองตามหัวข้อที่ 2.3 ที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบกำลังการผลิตการหมักเมล็ดโกโก้

ขั้นตอนแรกพนักงานจะปอกเปลือกเพื่อแกะเมล็ดโกโก้รวบรวมไว้จากนั้นพนักงานรวบรวมเมล็ดโกโก้โดยชั่งน้ำหนักให้ตรงตามกำหนด และคลุกเคล้าเมล็ดโกโก้ และทำการชั่งน้ำหนักเมล็ดโกโก้ก่อนบรรจุลงถังหมัก ดังรูปที่ 5

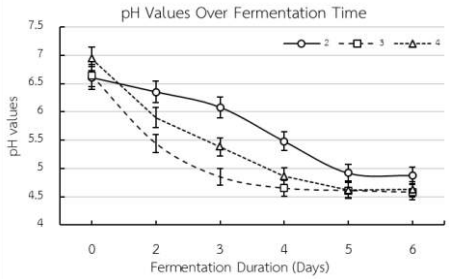
รูปที่ 5 การทดสอบกำลังการผลิต

จากการทดสอบการใส่เมล็ดโกโก้ลงในถังบรรจุพบว่าสามารถใส่เมล็ดโกโก้สดได้ 415 กิโลกรัมต่อการหมัก 1 รอบ

3.2. ผลการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้

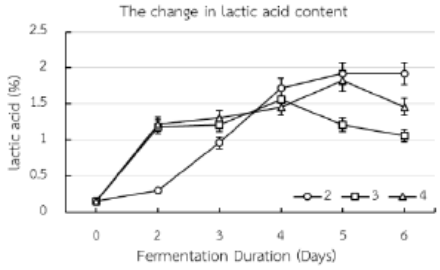
การศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ ต่อคุณภาพของเมล็ดโกโก้หมัก โดยทดลอง 4 รูปแบบ ได้แก่ การกลับเมล็ดในวันที่ 2, 3, 4 และกลับทุกวัน เป็นระยะเวลา 6 วัน เมล็ดโกโก้ที่ได้จากการแกะเปลือกถูกนำมาบรรจุลงใน ถังหมักจำนวน 3 ถังต่อปัจจัย และหมักที่ อุณหภูมิห้อง โดยมีเทอร์โมคัปเปิล 3 จุด ติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังหมัก การเก็บตัวอย่างเมล็ดโกโก้ดำเนินการทุกวัน ก่อนการกลับเมล็ด เพื่อนำไปวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ตามตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ 1) องค์ประกอบของเนื้อเมล็ดโกโก้ ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณกรดแลกติก ปริมาณกรดแอซีติก 2) อุณหภูมิระหว่างการหมัก 3) การเปลี่ยนแปลงค่าสีภายในของเมล็ดโกโก้ ได้ผลการทดลองดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในเนื้อเยื่อและเนื้อเมล็ดโกโก้ในการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 ของการหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักจะมีค่าพีเอชในเนื้อเมล็ดโกโก้มีค่าพีเอชในช่วง 6.60-6.94 ดังรูปที่ 6 เมื่อทำการหมักผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าค่าพีเอชในเนื้อเมล็ดโกโก้ของการศึกษาการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 มีแนวโน้มลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักเป็นระยะเวลา 6 วัน จะมีค่าพีเอชในช่วง 4.63-4.88



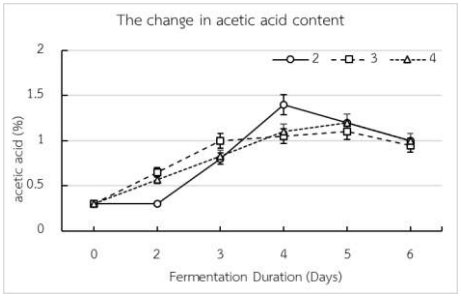
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมัก 6 วัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลกติกในเนื้อเมล็ดโกโก้ในการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 ของการหมัก ผลการทดลองพบว่า เริ่มต้นการหมักเมล็ดโกโก้มีกรดแลคติก ร้อยละ 0.15 และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ดังรูปที่ 7 โดยการกลับเมล็ดในวันที่ 2 มีปริมาณกรดแลคติกสูงสุดที่ ร้อยละ 1.92 ในวันที่ 5 ขณะที่การกลับเมล็ดในวันที่ 3 และ 4 มีค่ากรดแลคติกสูงสุดที่ ร้อยละ 1.56 และ 1.82 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก 6 วัน พบว่าปริมาณกรดแลคติกมีแนวโน้มคงที่หรือ ลดลง โดยการกลับเมล็ดในวันที่ 2 คงที่ที่ร้อยละ 1.92 ส่วนการกลับในวันที่ 3 และ 4 ลดลงเหลือร้อยละ 1.06 และ 1.46 ตามลำดับ



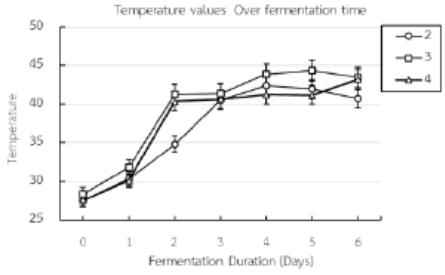
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลกติกของเนื้อเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมัก 6 วัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอซีติกในเนื้อเมล็ดโกโก้ในการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 ของการหมัก ผลการทดลองพบว่า เริ่มต้นการหมักเมล็ดโกโก้มีกรดแอซีติก ร้อยละ 0.3 และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ดังรูปที่ 8 โดยการกลับเมล็ดในวันที่ 2 มีปริมาณกรดแอซีติกสูงสุดที่ ร้อยละ 1.4 ในวันที่ 4 ขณะที่การกลับเมล็ดในวันที่ 3 และ 4 มีค่ากรดแอซีติกสูงสุดที่ ร้อยละ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก 6 วัน พบว่าปริมาณกรดแอซีติกมีแนวโน้มลดลง โดยการกลับเมล็ดในวันที่ 2 คงที่ที่ร้อยละ 1.0 ส่วนการกลับในวันที่ 3 และ 4 ลดลงเหลือร้อยละ 0.95 และ 1.0 ตามลำดับ



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอซีติกของเนื้อเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมัก 6 วัน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการศึกษาการหมักเมล็ดโกโก้ ดังรูปที่ 9 พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักจะมีอุณหภูมิของการหมักในช่วง 27.49-28.37 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก่อนทำการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2 ของการหมักมีอุณหภูมิในช่วง 30.12-31.83องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 6 จะมีอุณหภูมิในช่วง 41.21-44.33องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อเมล็ดโกโก้ระหว่างการหมัก 6 วัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อเมล็ดโกโก้ ตลอด 6 วันของการหมัก โดยเปรียบเทียบผลของ การกลับเมล็ดในวันที่ 2, 3 และ 4 ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการหมักที่นานขึ้นทำให้สีของเมล็ดเข้มขึ้น โดยค่าความสว่าง (L*) ลดลงหลัง 6 วัน การกลับเมล็ดในวันที่ 2, 3 และ 4 ให้ค่าความสว่างที่ 23.69, 18.78 และ 16.60 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การกลับเมล็ดช้าลงส่งผลให้สีของเมล็ดโกโก้เข้มขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อเมล็ดโกโก้เมื่อเริ่มต้นหมักและสิ้นสุดการหมักเป็นระยะเวลา 6 วัน ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อเมล็ดโกโก้เมื่อเริ่มต้นหมักและสิ้นสุดการหมักเป็นระยะเวลา 6 วัน

4. อภิปรายผล

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 6 วัน ค่าพีเอชของเนื้อเมล็ดโกโก้อยู่ในช่วง 4.63-4.88 โดยค่าพีเอชที่ลดลงมีความแปรผกผันกับ ปริมาณกรดแลคติกและกรดอะซิติก ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีกรดซึมเข้าสู่เนื้อเมล็ดโกโก้มากขึ้นตามระยะเวลาการหมัก งานวิจัยของ Sharpe et al.[10] ระบุว่า ค่าพีเอชสามารถใช้เป็นดัชนีวัดระดับความเป็นกรด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อ กลิ่นรสของช็อกโกแลต ซึ่งสอดคล้องกับไพบูลย์ และคณะ [11] นอกจากนี้ ความลึกของชั้นเมล็ดโกโก้ในถังหมักยังมีผลต่อค่าพีเอช โดยชั้นลึกกว่าจะมีความเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทอากาศลดลง ทำให้กระบวนการออกซิเดชันของกรดอะซิติกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดขึ้นช้าลง Said & Samarakhod [12] ส่งผลให้เกิดสภาวะเป็นกรดสูงขึ้นในชั้นลึกของกองหมัก การการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการศึกษาการหมักเมล็ดโกโก้ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก และมีความสอดคล้องกับการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการของศรีอุบล ทองประดิษฐ์ [13]

5. สรุป

จากข้อมูลการศึกษาระยะเวลาในการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 พบว่า การกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการหมักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) มีปริมาณกรดแลกติกและกรดแอซีติกไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่การกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2 มีปริมาณกรดแลกติกมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 1.92 ค่าสีของเนื้อเมล็ดโกโก้ ระยะเวลาการหมักที่นานขึ้นทำให้สีของเมล็ดเข้มขึ้น โดยค่าความสว่าง (L*) ลดลง หลัง 6 วัน รวมทั้งเมื่อพิจารณาช่วงของการหมักตามทฤษฎี คือ ช่วงไม่ใช้อากาศซึ่งเป็นบทบาทของยีสต์และแบคทีเรียกรดแลกติกจะเกิดขึ้นระหว่าง 24-36 ชั่วโมง และช่วงที่ใช้อากาศซึ่งเป็นบทบาทของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดแอซีติกเกิดตั้งแต่ 48 ชั่วโมง จนมีกิจกรรมของแบคทีเรียสูงสุดที่ 72-96 ชั่วโมง ดังนั้นจึงคัดเลือกการกลับเมล็ดโกโก้ในวันที่ 2

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และ นวัตกรรม ร่วมกับ สถาบันไทย – เยอรมัน โครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อการผลิตระดับชุมชน ประจำปี 2566 สัญญาเลขที่ 037/2566

7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Ampanwong, "Cocoa and the brain," Life and Health Column, Daily News Newspaper, Dec. 2016.

[2] P. Chusin, "Cocoa... the forgotten crop," Kasikorn Journal, vol. 88, no. 4, pp. 78–87, Jul.–Aug. 2015.

[3] W. Wangnai, "Cocoa: The best food and the elixir of all ages," J. Hortic. Sci., vol. 32, no. 1, pp. 4–6, 2017.

[4] O. Bhumibhamon, J. Jinda, B. Laepet, and P. Naka, "Fermentation of cocoa IV: Evaluation of chemical and sensory quality of cocoa fermented with mixed starter cultures," Kasetsart J. (Nat. Sci.), vol. 31, pp. 419–428, 1997.

[5] S. Laongsri, "Types and varieties of cocoa," Cocoa Thailand Center, [Online]. Available: https://www.cocoathailandcenter.com. [Accessed: Jan. 14, 2021].

[6] A. Phumiphom, P. Naka, and U. Julsawat, "Cocoa fermentation II: Study of microbial, physical, and chemical changes during cocoa fermentation," Kasetsart J. (Nat. Sci.), vol. 27, pp. 303–313, 1993.

[7] N. Kamlangdee, Roles of inoculated microorganisms during fermentation on quality of dried-cocoa beans, M.S. thesis, Dept. of Biotechnology, Prince of Songkla University., Thailand, 1994.

[8] Afoakwa, E. O. 2014. Cocoa Production and Processing Technology. New York: CRC Press. 329 pp.

[9] O. Bhumibhamon, J. Jinda, B. Laepet, and P. Naka, "Cocoa fermentation III: Improvement of cocoa fermentation by inoculated with selected mixed culture in laboratory and farm trial," *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol. 31, pp. 327–341, 1997.

[10] Sharpe ME, Fryer TF. Identification of the lactic acid bacteria. In: Gibbs BM, Skinner FA, editors. Identification methods for microbiologists part A. London: Academic Press; 1966. p. 65-79.

[11] Thaumrattanawasik P, et al. Research and development project on dried cocoa bean processing methods. Bangkok: National Research Council of Thailand; 1991.

[12] Said MB, Samarakhody RJ. Cocoa fermentation: Effect of surface area, frequency of turning, and depth of cocoa masses. In: Proceedings of the International Conference on Cocoa and Coconuts; 1984; Kuala Lumpur, Malaysia.

[13] Thiraboon T. et al. Enhancement of the dried cocoa beans production process to the standard quality: Sa-Kaeo, Tasala, Nakhon Si Thammarat. Final report. Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2022.

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสแกน 3 มิติ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400)

Study of Optimal Parameters for 3D Scanning of Low Carbon Steel (SS400)

กฤษณะ อ่วมนุสนธิ์[1*] ภาณุเดช แสงสีดำ[2] สุธรรม ศิวาวุธ[3] โอรีส มณีสาย[4] เอกชัย รอดพิสา[5] และพิชัย จันทร์มณี[6]
[1,2,3,4,5,6] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Kritsana Uamnuson[1*] Panudet Saengseedam[2] Sutham Siwawut[3] Oris Maneesai[4] Ekachai Rodpisa[5] and Pichai Janmanee[6]
[1,2,3,4,5,6] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: kritsana.u@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานเครื่องสแกน 3 มิติ สำหรับการวัดขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดขนาดระหว่างเครื่อง Coordinate Measuring Machine Arm (CMM Arm) และเครื่องสแกน 3 มิติรุ่น HandySCAN700 ทำงานร่วมกับโปรแกรม VXelements และ Geomagic Control X การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการออกแบบ และสร้างชิ้นงานทดสอบด้วยโปรแกรม SOLIDWORK และกระบวนการผลิต CNC Machine จากนั้นทำการวัดขนาดชิ้นงานด้วย CMM Arm จำนวน 21 ตำแหน่ง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงมาตรฐาน ต่อมาทำการทดสอบการสแกน 3 มิติด้วยการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ Resolution 0.2, 0.6 และ 1 มิลลิเมตร และ Shutter 2, 5 และ 8 มิลลิวินาที รวม 9 เงื่อนไขการทดสอบ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการวัดด้วย CMM Arm เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัยพบว่า การตั้งค่า Resolution 0.2 มิลลิเมตร ร่วมกับ Shutter 2 มิลลิวินาที ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด 0.062 มิลลิเมตร เป็นการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความแม่นยำสูงในการตรวจสอบขนาดชิ้นงาน ช่วยลดเวลา และความผิดพลาดในกระบวนการผลิต ในขณะที่ Resolution 1 มิลลิเมตร ร่วมกับ Shutter 2 มิลลิวินาที มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด 0.308 มิลลิเมตร โดยแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่า Resolution สูงขึ้นในทุกค่า Shutter

คำหลัก : เครื่องสแกน 3 มิติ, การวัดขนาด, เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ, ความละเอียด, ความคลาดเคลื่อน

Abstract

This research aims to study and analyze the optimal parameters for using a 3D scanner to measure the dimensions of low-carbon steel (SS400) workpieces. The study compares the measurement accuracy between a Coordinate Measuring Machine Arm (CMM Arm) and a HandySCAN 700 3D scanner operating with VXelements and Geomagic Control X software. The research process began with

designing and fabricating test workpieces using SOLIDWORKS software and CNC machining. The workpieces were then measured at 21 reference points using the CMM Arm to serve as standard reference values. Subsequently, 3D scanning was performed with different parameter settings, including resolutions of 0.2 mm, 0.6 mm, and 1 mm, as well as shutter speeds of 2 ms, 5 ms, and 8 ms, resulting in a total of nine test conditions. The obtained measurements were compared with those from the CMM Arm to determine the measurement deviations.

The research findings indicate that a resolution of 0.2 mm combined with a shutter speed of 2 ms resulted in the lowest measurement deviation of 0.062 mm, making it the optimal setting for measuring low-carbon steel (SS400) workpieces. These findings can be applied in high-precision industrial manufacturing processes to enhance accuracy, reduce measurement time, and minimize production errors. In contrast, a resolution of 1 mm combined with a shutter speed of 2 ms produced the highest measurement deviation of 0.308 mm. The study also found that measurement deviation tends to increase as the resolution value increases for all shutter speed settings.

Keywords: 3D scanner, dimensional measurement, low-carbon steel, resolution, deviation

1. บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมีการนำเอาเครื่องสแกนแบบ 3 มิติ เข้าไปมีส่วนในการผลิตมากขึ้น ซึ่งในหลายๆ โรงงานจะมีเครื่องสแกนแบบ 3 มิติ ที่ใช้ในการตรวจสอบการผลิตเป็นจำนวนมาก [1] เพราะการตรวจสอบขนาดชิ้นงาน กลับเป็นสิ่งที่ยากถ้าจะใช้เครื่องมือวัดขนาดที่มีความแม่นยำสูง ต้องการอาศัยการเรียนรู้ และประสบการณ์เป็นระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น เทคโนโลยีสแกน 3 มิติ จึงเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมการผลิต ทำให้การวัดขนาดชิ้นงานที่ต้องการ สามารถสแกนเก็บไฟล์ 3 มิติ โดยนำไฟล์ที่ได้เข้าสู่โปรแกรมในการวัดขนาดที่สร้างขึ้นเพียงรอบแรกเท่านั้น ไม่ต้องวัดใหม่ทุกครั้งในการตรวจสอบขนาด เครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นอุปกรณ์ที่วิเคราะห์วัตถุในโลกแห่งความเป็นจริงเพื่อจับภาพรูปร่างของชิ้นงาน ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะใช้ในการสร้างโมเดล 3 มิติ หรือนำไปวัดขนาดแบบดิจิตอลแล้วเครื่องสแกน 3 มิติ ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการออกแบบอุตสาหกรรมวิศวกรรมย้อนกลับ และการสร้างต้นแบบชิ้นงานในโรงงาน [2-6] เมื่อต้องการคำนวณค่าความละเอียดของพื้นผิว ควรใช้เครื่องสแกนแบบ 3 มิติ เนื่องจากสามารถวัดข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว [7] โดย Lee และคณะ ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องสแกน 3 มิติประเภท Structured Light ในการวัดชิ้นงานโลหะ พบว่าค่า Resolution และระยะเวลาในการเก็บภาพ (Exposure time) ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแม่นยำในการวัด โดยเฉพาะในวัสดุที่มีการสะท้อนแสงสูง [8] Segreto และคณะ ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องสแกน 3 มิติประเภทต่างๆ ในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานทางอุตสาหกรรม โดยพบว่าเครื่องสแกนแบบมือถือ (Handheld scanner) อย่าง HandySCAN มีความยืดหยุ่นสูงในการใช้งานและสามารถสแกนชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ดี แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความแม่นยำเมื่อเทียบกับ CMM แบบดั้งเดิม [9] Wang และคณะ ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของเครื่องสแกน 3 มิติในการวัดชิ้นงานเหล็กกล้า โดยพบว่านอกจาก Resolution และ Shutter speed แล้ว ลักษณะพื้นผิวและการเตรียมผิวชิ้นงานยังส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแม่นยำในการวัด [10]

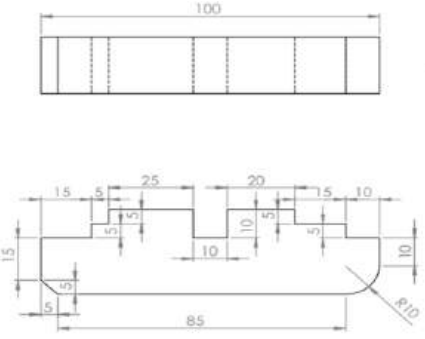
ทั้งนี้มีเครื่องสแกนแบบ 3 มิติ มีมากมายหลายประเภท จึงจะต้องเลือกประเภทที่เหมาะสมกับงานมากที่สุด เนื่องจากชิ้นงานที่นำมาสแกนในแต่ละงานมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น เหล็ก, อลูมิเนียม, สแตนเลส, พลาสติก, ไม้, หนัง, ผ้า และอื่นๆ เครื่องที่ใช้สแกนก็มีคุณสมบัติไม่เท่ากัน สแกนงาน

ออกมาอาจทำให้คุณภาพของงานไม่ดี หรืออาจจะได้ค่าที่คลาดเคลื่อน ทำให้เสียเวลาในการทำงาน หากใช้เครื่องสแกนที่ไม่ถูกประเภท และไม่ถูกวิธีในการใช้งานของเครื่องก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ทำให้เกิดการทำงานที่ล่าช้า คุณภาพของงานออกมาไม่ดี มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง ทำให้เสียเวลา เสียเงิน และเสียความมั่นใจในตัวลูกค้า [11] ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสแกน 3 มิติ เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องสแกน 3 มิติ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ออกแบบชิ้นงานทดสอบ

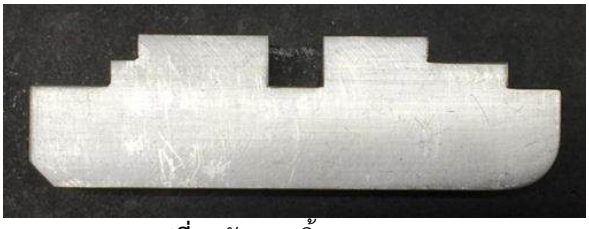
ผู้จัดทำวิจัยออกแบบชิ้นงานทดสอบด้วยโปรแกรม SOLIDWORK โดยคำนึงถึงหลักการวัดขนาดประกอบด้วย ความกว้าง ความยาว และความหนา ดังรูปที่ 1 เพื่อให้ครบประเภทของการวัดขนาดเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติการวัดด้วยเครื่องมืออื่นๆ โดยไม่สร้างชิ้นงานให้มีรู เพราะเครื่องสแกน 3 มิติ ทำงานด้วยระบบเลเซอร์ ซึ่งแสงของเลเซอร์จากเครื่องสแกนสามารถสแกนรูชิ้นงานได้ 1 ใน 3 ของรู มากกว่านี้แสงสะท้อนกลับข้อมูลมายังเครื่องไม่ได้ ซึ่งการสร้างชิ้นงานทดสอบหากมีรูในชิ้นงานจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสแกนมีข้อผิดพลาดมากขึ้นทำให้ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ได้ แบบชิ้นงานทดสอบที่สร้างขึ้น ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสแกน 3 มิติ



รูปที่ 1 แบบชิ้นงานทดสอบ

2.2 สร้างชิ้นงานทดสอบ

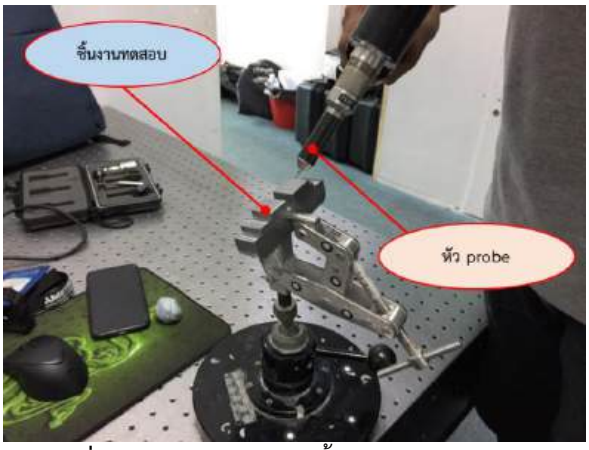
การสร้างชิ้นงานทดสอบในงานวิจัยนี้จัดทำโดย บริษัท ซี. เอ. พี. แปซิฟิก จำกัด ด้วยกระบวนการผลิต CNC Machine โดยผู้ทำวิจัยได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนในการสร้างแบบชิ้นงานทดสอบที่ ± 0.1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ

2.3 ตรวจสอบขนาดชิ้นงานทดสอบ

การตรวจสอบขนาดชิ้นงานทดสอบโดย Coordinate Measuring Machine Arm (CMM Arm) โดยเครื่องวัดขนาดชิ้นงานประเภทนี้ สามารถวัดขนาดชิ้นงานได้อย่างละเอียดและครอบคลุมการวัดชิ้นงานได้รอบด้าน มีความละเอียดของเครื่องอยู่ที่ 0.001 มิลลิเมตร มีความแม่นยำสูงเป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความเชื่อถือในการวัดขนาดมากที่สุด ใช้ระบบสัมผัส Touch probe สัมผัสชิ้นงานเพื่อความแม่นยำในการวัดขนาด ดังรูปที่ 3 ทำงานร่วมกับโปรแกรม Geomagic Cotrol X การตรวจสอบขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) ตรวจสอบ 21 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการอ้างอิงความแม่นยำขนาดในการทำวิจัย

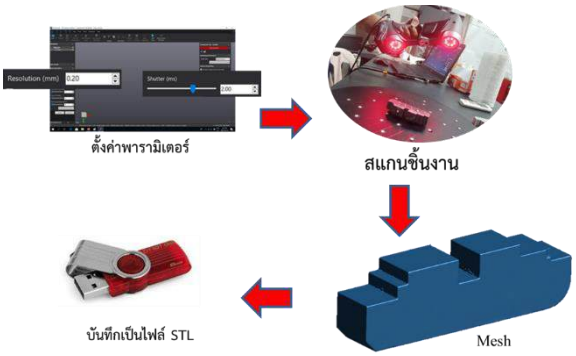


รูปที่ 3 การตรวจสอบขนาดชิ้นงานด้วย CMM Arm

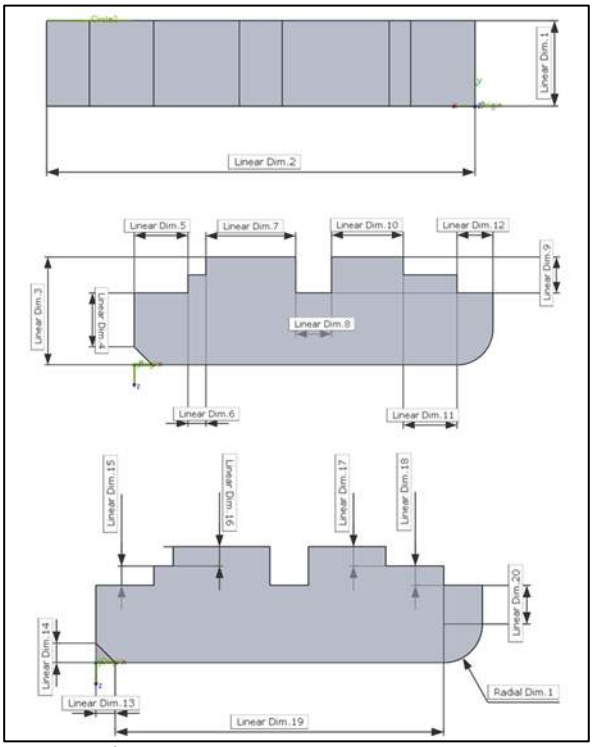
2.4 ทดสอบสแกนชิ้นงาน

การทดสอบการสแกน 3 มิติ ใช้เครื่องสแกน 3 มิติ รุ่น HandySCAN700 ทำงานร่วมกับโปรแกรม VXelements ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสแกน 3 มิติ เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบตาข่าย (Mesh) การทดสอบการสแกนเริ่มจากการตั้งค่าการสแกนในโปรแกรม VXelements ตั้งค่า Resolution 0.2, 0.6 และ 1 มิลลิเมตร กับ Shutter 2, 5

และ 8 มิลลิวินาที เมื่อสแกนชิ้นงานทดสอบครบทุกด้าน จะทำการบันทึกผลโดยแปลงไฟล์เป็นนามสกุล STL ดังรูปที่ 4 หลังจากนั้นนำไฟล์ที่ได้เข้าสู่โปรแกรม Geomagaic Control X เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสแกนในรูปแบบการตรวจสอบขนาด โดยเทียบกับ CAD ที่สร้างขึ้นและกำหนดตำแหน่งตรวจสอบขนาด 21 จุด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบการสแกน 3 มิติ



รูปที่ 5 ตำแหน่งตรวจสอบขนาด 21 ตำแหน่ง

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัด CMM Arm

ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัด Coordinate Measuring Machine Arm (CMM Arm) จากการกำหนดการวัดชิ้นงานทดสอบจำนวน 21 ตำแหน่ง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากการสร้างชิ้นงานทดสอบรวม 1.078 มิลลิเมตร เฉลี่ยผลความคลาดเคลื่อนแต่ละตำแหน่งเท่ากับ 0.051 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 1

3.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดโดยใช้เครื่องสแกน 3 มิติ

จากรูปที่ 6 แผนภูมิแท่งที่แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการวัดขนาดของเครื่องสแกน 3 มิติสำหรับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยมีผลการวัดขนาดจากตารางที่ 2 ถึง 4 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ Shutter 2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดที่ความละเอียด Resolution 0.2 (0.062 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความละเอียด Resolution 0.6 (0.081 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ความละเอียด Resolution 1 (0.308 มิลลิเมตร) Shutter 5 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดที่ความละเอียด Resolution 0.2 (0.082 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นที่ Resolution 0.6 (0.094 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ Resolution 1 (0.173 มิลลิเมตร) Shutter 8 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดที่ความละเอียด Resolution 0.2 (0.072 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นที่ Resolution 0.6 (0.21 มิลลิเมตร) ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ Resolution 1 (0.236 มิลลิเมตร) ดังนั้น แนวโน้มค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ Resolution 1 ในทุกค่า Shutter ซึ่ง Resolution 0.2 มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกกรณี ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูง ความคลาดเคลื่อนของ Shutter 8 ที่ Resolution 0.6 และ 1 สูงกว่าค่าอื่นๆ ซึ่งอาจมีปัจจัยเกี่ยวกับการตั้งค่า Shutter หรือคุณสมบัติของวัสดุที่ส่งผลต่อการสแกน

ตารางที่ 1 ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัด CMM Arm

Position	Dimension Drawing (mm)	Dimension CMM Arm (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	20.000	19.945	0.055
Linear Dim.2	100.000	99.892	0.108
Linear Dim.3	30.000	29.955	0.045
Linear Dim.4	15.000	14.916	0.084
Linear Dim.5	15.000	14.961	0.039
Linear Dim.6	5.000	5.000	0
Linear Dim.7	25.000	24.915	0.085
Linear Dim.8	10.000	10.067	0.067
Linear Dim.9	10.000	9.972	0.028
Linear Dim.10	20.000	19.893	0.107
Linear Dim.11	15.000	14.984	0.016
Linear Dim.12	10.000	9.937	0.063
Linear Dim.13	5.000	4.948	0.052
Linear Dim.14	5.000	5.026	0.026
Linear Dim.15	5.000	4.999	0.001
Linear Dim.16	5.000	4.998	0.002
Linear Dim.17	5.000	4.973	0.027
Linear Dim.18	5.000	5.021	0.021
Linear Dim.19	85.000	84.926	0.074
Linear Dim.20	10.000	9.864	0.136
Radial Dim.1	R 10.000	R 10.042	0.042
Sum Error			1.078
Average Error			0.051

ตารางที่ 2 ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัดสแกน 3 มิติ ตั้งค่า Resolution 0.2 มิลลิเมตร

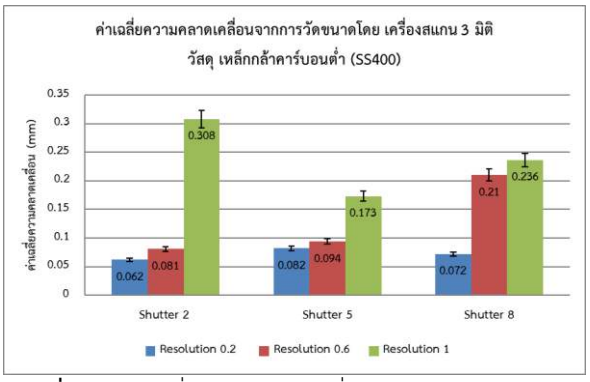
		Resolution 0.2 mm Shutter 2 ms		Resolution 0.2 mm Shutter 5 ms		Resolution 0.2 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension Drawing (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	20	20.26	0.26	20.329	0.329	20.289	0.289
Linear Dim.2	100	99.917	0.083	99.92	0.08	99.905	0.095
Linear Dim.3	30	29.998	0.002	29.986	0.014	29.982	0.018
Linear Dim.4	15	14.928	0.072	14.939	0.061	14.954	0.046
Linear Dim.5	15	14.922	0.078	14.888	0.112	14.921	0.079
Linear Dim.6	5	4.957	0.043	4.946	0.054	4.956	0.044
Linear Dim.7	25	24.987	0.013	24.986	0.014	24.966	0.034
Linear Dim.8	10	10.01	0.01	10.017	0.017	10.021	0.021
Linear Dim.9	10	10.004	0.004	10.009	0.009	10.012	0.012
Linear Dim.10	20	19.932	0.068	19.931	0.069	19.939	0.061
Linear Dim.11	15	14.999	0.001	14.991	0.009	15	0
Linear Dim.12	10	9.944	0.056	9.89	0.11	9.918	0.082
Linear Dim.13	5	4.948	0.052	4.906	0.094	4.897	0.103
Linear Dim.14	5	5.005	0.005	4.984	0.016	4.971	0.029
Linear Dim.15	5	4.937	0.063	4.875	0.125	4.9	0.1
Linear Dim.16	5	4.984	0.016	4.99	0.01	4.996	0.004
Linear Dim.17	5	4.967	0.033	4.973	0.027	4.979	0.021
Linear Dim.18	5	5.007	0.007	5.022	0.022	5.009	0.009
Linear Dim.19	85	85.135	0.135	85.314	0.314	85.236	0.236
Linear Dim.20	10	9.853	0.147	9.872	0.128	9.873	0.127
Radial Dim.1	R 10.000	R 10.148	0.148	R 10.106	0.106	R 10.094	0.094
Sum Error			1.296	-	1.72	-	1.504
Average Error			0.062		0.082		0.072

ตารางที่ 3 ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัดสแกน 3 มิติ ตั้งค่า Resolution 0.6 มิลลิเมตร

		Resolution 0.6 mm Shutter 2 ms		Resolution 0.6 mm Shutter 5 ms		Resolution 0.6 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension Drawing (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	20	20.491	0.491	20.577	0.577	20.88	0.88
Linear Dim.2	100	99.918	0.082	99.915	0.085	99.947	0.053
Linear Dim.3	30	29.983	0.017	29.985	0.015	29.985	0.015
Linear Dim.4	15	14.948	0.052	14.952	0.048	14.951	0.049
Linear Dim.5	15	15.022	0.022	14.887	0.113	14.974	0.026
Linear Dim.6	5	5.012	0.012	4.954	0.046	4.993	0.007
Linear Dim.7	25	24.941	0.059	24.999	0.001	24.977	0.023
Linear Dim.8	10	10.027	0.027	9.992	0.008	10.002	0.002
Linear Dim.9	10	10.011	0.011	10.001	0.001	10.008	0.008
Linear Dim.10	20	19.942	0.058	19.945	0.055	19.957	0.043
Linear Dim.11	15	15.077	0.077	14.985	0.015	14.993	0.007
Linear Dim.12	10	10.024	0.024	9.89	0.11	9.857	0.143
Linear Dim.13	5	4.931	0.069	4.908	0.092	4.924	0.076
Linear Dim.14	5	4.983	0.017	4.971	0.029	4.976	0.024
Linear Dim.15	5	4.928	0.072	4.914	0.086	4.824	0.176
Linear Dim.16	5	5.001	0.001	4.965	0.035	4.988	0.012
Linear Dim.17	5	4.975	0.025	4.97	0.03	4.974	0.026
Linear Dim.18	5	5	0	5.02	0.02	5.015	0.015
Linear Dim.19	85	84.892	0.108	85.293	0.293	85.438	0.438
Linear Dim.20	10	9.744	0.256	9.818	0.182	9.837	0.163
Radial Dim.1	R 10.000	R 10.221	0.221	R 10.127	0.127	R 10.125	0.125
Sum Error			1.701	-	1.968	-	2.311
Average Error			0.081		0.094		0.21

ตารางที่ 4 ผลการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยเครื่องมือวัดสแกน 3 มิติ ตั้งค่า Resolution 1 มิลลิเมตร

		Resolution 1 mm Shutter 2 ms		Resolution 1 mm Shutter 5 ms		Resolution 1 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension Drawing (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	20	21.428	1.428	21.399	1.399	21.461	1.461
Linear Dim.2	100	99.92	0.08	99.936	0.064	99.935	0.065
Linear Dim.3	30	30.014	0.014	29.973	0.027	29.997	0.003
Linear Dim.4	15	14.967	0.033	14.993	0.007	14.955	0.045
Linear Dim.5	15	14.337	0.663	14.722	0.278	14.108	0.892
Linear Dim.6	5	4.761	0.239	4.887	0.113	4.603	0.397
Linear Dim.7	25	25.068	0.068	25.028	0.028	25.058	0.058
Linear Dim.8	10	9.977	0.023	10.005	0.005	10.028	0.028
Linear Dim.9	10	9.994	0.006	10.021	0.021	10.021	0.021
Linear Dim.10	20	19.927	0.073	19.951	0.049	19.947	0.053
Linear Dim.11	15	14.522	0.478	15.002	0.002	15.074	0.074
Linear Dim.12	10	9.31	0.69	9.773	0.227	9.795	0.205
Linear Dim.13	5	4.927	0.073	4.914	0.086	4.845	0.155
Linear Dim.14	5	4.988	0.012	4.954	0.046	4.938	0.062
Linear Dim.15	5	4.38	0.62	4.604	0.396	4.499	0.501
Linear Dim.16	5	4.99	0.01	5.001	0.001	4.976	0.024
Linear Dim.17	5	4.967	0.033	4.966	0.034	4.985	0.015
Linear Dim.18	5	5.035	0.035	5.015	0.015	5.028	0.028
Linear Dim.19	85	86.581	1.581	85.623	0.623	85.649	0.649
Linear Dim.20	10	9.821	0.179	9.863	0.137	9.871	0.129
Radial Dim.1	R 10.000	R 10.132	0.132	R 10.078	0.078	R 10.093	0.093
Sum Error			6.47	-	3.636	-	4.958
Average Error			0.308		0.173		0.236



รูปที่ 6 กราฟเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการสแกน 3 มิติ วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400)

3.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน CMM Arm กับ Scan ของเหล็กกล้า คาร์บอนต่ำ SS400

การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยใช้เครื่องมือวัดแบบ CMM Arm และ 3D Scan ภายใต้การตั้งค่าความละเอียด (Resolution) ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.2, 0.6 และ 1.0 โดยมีข้อมูลการทดสอบดังตารางที่ 5 ถึง 7 เพื่อตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ใดให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด ดังรูปที่ 7 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่า Resolution สูงขึ้น Resolution 0.2 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกพารามิเตอร์ แสดงถึงความแม่นยำของการวัดที่สูง Resolution 0.6 มีค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ 0.2 แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ควบคุมได้ Resolution 1.0 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดในทุกตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งอาจเกิดจากความละเอียดของข้อมูลที่ลดลง นอกจากนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนยังแตกต่างกันตามตำแหน่งของการตั้งค่า Shutter 2, 5 และ 8 โดยพบว่า Shutter 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเมื่อใช้ Resolution 0.2 ดังนั้น Resolution 0.2 เป็นพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของ CMM Arm เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง และเวลาการวัด Resolution 1.0 ไม่แนะนำสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า Resolution อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน CMM Arm กับ Scan ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) Resolution 0.2 mm

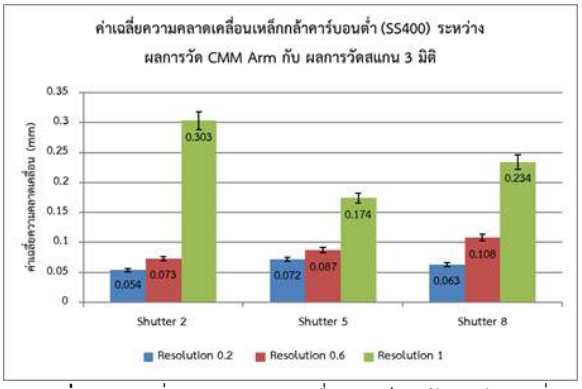
		Resolution 0.2 mm Shutter 2 ms		Resolution 0.2 mm Shutter 5 ms		Resolution 0.2 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension CMM Arm (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	19.945	20.26	0.315	20.329	0.384	20.289	0.344
Linear Dim.2	99.892	99.917	0.025	99.92	0.028	99.905	0.013
Linear Dim.3	29.955	29.998	0.043	29.986	0.031	29.982	0.027
Linear Dim.4	14.916	14.928	0.012	14.939	0.023	14.954	0.038
Linear Dim.5	14.961	14.922	0.039	14.888	0.073	14.921	0.04
Linear Dim.6	5	4.957	0.043	4.946	0.054	4.956	0.044
Linear Dim.7	24.915	24.987	0.072	24.986	0.071	24.966	0.051
Linear Dim.8	10.067	10.01	0.057	10.017	0.05	10.021	0.046
Linear Dim.9	9.972	10.004	0.032	10.009	0.037	10.012	0.04
Linear Dim.10	19.893	19.932	0.039	19.931	0.038	19.939	0.046
Linear Dim.11	14.984	14.999	0.015	14.991	0.007	15	0.016
Linear Dim.12	9.937	9.944	0.007	9.89	0.047	9.918	0.019
Linear Dim.13	4.948	4.948	0	4.906	0.042	4.897	0.051
Linear Dim.14	5.026	5.005	0.021	4.984	0.042	4.971	0.055
Linear Dim.15	4.999	4.937	0.062	4.875	0.124	4.9	0.099
Linear Dim.16	4.998	4.984	0.014	4.99	0.008	4.996	0.002
Linear Dim.17	4.973	4.967	0.006	4.973	0	4.979	0.006
Linear Dim.18	5.021	5.007	0.014	5.022	0.001	5.009	0.012
Linear Dim.19	84.926	85.135	0.209	85.314	0.388	85.236	0.31
Linear Dim.20	9.864	9.853	0.011	9.872	0.008	9.873	0.009
Radial Dim.21	R 10.042	R 10.148	0.106	R 10.106	0.064	R 10.094	0.052
Sum Errors			1.142	-	1.52	-	1.32
Average Errors			0.054		0.072		0.063

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน CMM Arm กับ Scan ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) Resolution 0.6 mm

		Resolution 0.6 mm Shutter 2 ms		Resolution 0.6 mm Shutter 5 ms		Resolution 0.6 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension CMM Arm (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	19.945	20.491	0.546	20.577	0.632	20.88	0.935
Linear Dim.2	99.892	99.918	0.026	99.915	0.023	99.947	0.055
Linear Dim.3	29.955	29.983	0.028	29.985	0.03	29.985	0.03
Linear Dim.4	14.916	14.948	0.032	14.952	0.036	14.951	0.035
Linear Dim.5	14.961	15.022	0.061	14.887	0.074	14.974	0.013
Linear Dim.6	5	5.012	0.012	4.954	0.046	4.993	0.007
Linear Dim.7	24.915	24.941	0.026	24.999	0.084	24.977	0.062
Linear Dim.8	10.067	10.027	0.04	9.992	0.075	10.002	0.065
Linear Dim.9	9.972	10.011	0.039	10.001	0.029	10.008	0.036
Linear Dim.10	19.893	19.942	0.049	19.945	0.052	19.957	0.064
Linear Dim.11	14.984	15.077	0.093	14.985	0.001	14.993	0.009
Linear Dim.12	9.937	10.024	0.087	9.89	0.047	9.857	0.08
Linear Dim.13	4.948	4.931	0.017	4.908	0.04	4.924	0.024
Linear Dim.14	5.026	4.983	0.043	4.971	0.055	4.976	0.05
Linear Dim.15	4.999	4.928	0.071	4.914	0.085	4.824	0.175
Linear Dim.16	4.998	5.001	0.003	4.965	0.033	4.988	0.01
Linear Dim.17	4.973	4.975	0.002	4.97	0.003	4.974	0.001
Linear Dim.18	5.021	5	0.021	5.02	0.001	5.015	0.006
Linear Dim.19	84.926	84.892	0.034	85.293	0.367	85.438	0.512
Linear Dim.20	9.864	9.744	0.12	9.818	0.046	9.837	0.027
Radial Dim.1	R 10.042	R 10.221	0.179	R 10.127	0.085	R 10.125	0.083
Sum Errors			1.529	-	1.844	-	2.279
Average Errors			0.073		0.088		0.108

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน CMM Arm กับ Scan ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) Resolution 1 mm

		Resolution 1 mm Shutter 2 ms		Resolution 1 mm Shutter 5 ms		Resolution 1 mm Shutter 8 ms	
Position	Dimension CMM Arm (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)	Dimension Scan (mm)	Errors (mm)
Linear Dim.1	19.945	21.428	1.483	21.399	1.454	21.461	1.516
Linear Dim.2	99.892	99.92	0.028	99.936	0.044	99.935	0.043
Linear Dim.3	29.955	30.014	0.059	29.973	0.018	29.997	0.042
Linear Dim.4	14.916	14.967	0.051	14.993	0.077	14.955	0.039
Linear Dim.5	14.961	14.337	0.624	14.722	0.239	14.108	0.853
Linear Dim.6	5	4.761	0.239	4.887	0.113	4.603	0.397
Linear Dim.7	24.915	25.068	0.153	25.028	0.113	25.058	0.143
Linear Dim.8	10.067	9.977	0.09	10.005	0.062	10.028	0.039
Linear Dim.9	9.972	9.994	0.022	10.021	0.049	10.021	0.049
Linear Dim.10	19.893	19.927	0.034	19.951	0.058	19.947	0.054
Linear Dim.11	14.984	14.522	0.462	15.002	0.018	15.074	0.09
Linear Dim.12	9.937	9.31	0.627	9.773	0.164	9.795	0.142
Linear Dim.13	4.948	4.927	0.021	4.914	0.034	4.845	0.103
Linear Dim.14	5.026	4.988	0.038	4.954	0.072	4.938	0.088
Linear Dim.15	4.999	4.38	0.619	4.604	0.395	4.499	0.5
Linear Dim.16	4.998	4.99	0.008	5.001	0.003	4.976	0.022
Linear Dim.17	4.973	4.967	0.006	4.966	0.007	4.985	0.012
Linear Dim.18	5.021	5.035	0.014	5.015	0.006	5.028	0.007
Linear Dim.19	84.926	86.581	1.655	85.623	0.697	85.649	0.723
Linear Dim.20	9.864	9.821	0.043	9.863	0.001	9.871	0.007
Radial Dim.1	R 10.042	R 10.132	0.09	R 10.078	0.036	R 10.093	0.051
Sum Errors			6.366	-	3.66	-	4.92
Average Errors			0.303		0.174		0.234



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) ระหว่างผลการวัด CMM Arm กับ ผลการวัดสแกน 3 มิติ

4. สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยีการวัดแบบต่างๆ แต่มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวัสดุเฉพาะประเภท โดยเฉพาะเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) รวมถึงขาดการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resolution และ Shutter speed อย่างเป็นระบบ การศึกษาเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูล 3 มิติยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะการใช้งานร่วมกันระหว่าง VXelements และ Geomagic Control X ยังขาดแนวทางที่ชัดเจนในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวัดชิ้นงานในอุตสาหกรรมเฉพาะทาง โดยงานวิจัยของ Lee และคณะศึกษาผลกระทบของ Resolution และระยะเวลาในการเก็บภาพ แต่งานวิจัยนี้ได้ขยายขอบเขตโดยเฉพาะเจาะจงกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) และใช้เครื่องสแกนรุ่น HandySCAN700 โดยเฉพาะ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานเครื่องสแกน 3 มิติสำหรับการวัดขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) โดยทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดขนาดระหว่างเครื่อง Coordinate Measuring Machine Arm (CMM Arm) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานที่มีความแม่นยำสูง และเครื่องสแกน 3 มิติรุ่น HandySCAN700 จากการทดสอบการวัดขนาดชิ้นงานทดสอบจำนวน 21 ตำแหน่ง พบว่าค่าความละเอียด (Resolution) และค่า Shutter มีผลต่อความแม่นยำของการวัดขนาดด้วยเครื่องสแกน 3 มิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

1) การตั้งค่า Resolution 0.2 มิลลิเมตร ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในทุกค่า Shutter เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดด้วย CMM Arm ที่ Shutter 2 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเพียง 0.062 มิลลิเมตร ที่ Shutter 5 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.082 มิลลิเมตร ที่ Shutter 8 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.072 มิลลิเมตร

2) การตั้งค่า Resolution 0.6 มิลลิเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นในทุกกรณีของ Shutter ที่ Shutter 2 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.081 มิลลิเมตร ที่ Shutter 5 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.094 มิลลิเมตร ที่ Shutter 8 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสูงถึง 0.21 มิลลิเมตร

3) การตั้งค่า Resolution 1 มิลลิเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดในทุกค่า Shutter ที่ Shutter 2 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสูงถึง 0.308 มิลลิเมตร ที่ Shutter 5 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.173 มิลลิเมตร ที่ Shutter 8 มิลลิวินาที มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.236 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสแกน 3 มิติชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) คือการตั้งค่า Resolution 0.2 มิลลิเมตร ร่วมกับ Shutter 2 มิลลิวินาที เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด 0.062 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่าการตั้งค่า Resolution 0.2 มิลลิเมตร และ Shutter 2 มิลลิวินาที ให้ความแม่นยำสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และคณะ ที่พบว่าค่า Resolution ต่ำจะให้ความแม่นยำสูงกว่า โดยเฉพาะในวัสดุประเภทโลหะ ในขณะที่การตั้งค่า Resolution 1 มิลลิเมตร ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่า Resolution อื่นๆ ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความแม่นยำสูงในการวัดขนาดชิ้นงานด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ ช่วยให้การตรวจสอบขนาดชิ้นงานมีประสิทธิภาพ ลดเวลาและความผิดพลาดในกระบวนการผลิต

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนเครื่องมือ สถานที่ การทำวิจัย และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ข้อมูล และคำปรึกษาจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Abid Haleem, Mohd Javaid, Ravi Pratap Singh, Shanay Rab, Rajiv Suman, Lalit Kumar and Ibrahim Haleem Khan, “Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview” Volume 3, June 2022, pp. 161-171, doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.08.003.

[2] E. Piperi, L. M. Galantucci, J. Kaçani, I. Bodi and T.Spahiu, “From 3D scanning to 3D printing: Application in fashion industry,” in 7th International Conference of Textile, Tirana, 2016 .

[3] N. S. Ali, "Reverse Engineering of Automotive Parts Applying Laser Scanning and Structured Light Techniques," May 2005. [Online]. Available : https://pdfs.semanticscholar.org/f5c2/ac918991956ec771e2848606fddd2dea9db8.pdf. [Accessed 13 08 2019].

[4] N. Farahani, A. Braun, D. Jutt, T. Huffman, N. Reder, Z. Liu, Y. Yagi and L. Pantanowitz, "Three-dimensional imaging and scanning: Current and future applications for pathology," Journal of PthologyInformatics, p. 8:36, 2017.

[5] G. Sansoni, M. Trebeschi and F. Docchio, "State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation," Sensors, vol. 9, no. 1, pp. 568-601, 2009.

[6] Q. Peng and H. Sanchez, "3D Digitizing Technology in Product Reverse Design," University of Manitoba, [Online]. Available: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.6322&rep=rep1&type=pdf. [Accessed 13 08 2019]

[7] A. Eklund, “3D Scanning With a Mobile Phone and Other Methods,” Arcada, 2016.

[8] Lee, K. H., Park, H., & Son, S. (2020). A study on the optimal scanning parameters for 3D scanning of metallic surfaces. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 21(1), 77-89.

[9] Segreto, T., Caggiano, A., & D'Addona, D. M. (2017). Assessment of laser-based reverse engineering systems for tangible cultural heritage conservation. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 30(12), 1362-1375.

[10] Wang, Y., Liu, Y., & Zhang, Z. (2022). Factors affecting the scanning accuracy of metal artifacts with structured light 3 D scanners. Journal of Manufacturing Processes, 73, 429-438.

[11] Chaudhary, K., Govil, A. (2022). “Application of 3D Scanning for Reverse Manufacturing and Inspection of Mechanical Components” In: Pratap Singh, R., Tyagi, D.M., Panchal, D., Davim, J.P. (eds) Proceedings of the International Conference on Industrial and Manufacturing Systems (CIMS-2020). Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-73495-4_5.

การพัฒนานวัตกรรมสายการผลิตการรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชแบบอัตโนมัติ

Development of an Automated Rolling Forming Process Production Line for Cereal Food

ภูวนาท ครุฑปราการ[1] สุทิวัส แววดี[1] และ ศิริชัย ต่อสกุล[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Phuwanat Krutpakan[1] Suthiwat Waewdee[1] and Sirichai Torsakul[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ธัญพืชอัดแท่ง ที่ได้รับความนิยมสูง อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตในปัจจุบันยังคงใช้แรงงานจำนวนมากและขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสม ส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายพัฒนาไลน์กระบวนการรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชแบบอัตโนมัติ โดยออกแบบเครื่องจักรที่ช่วยลดการใช้แรงงานลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 30 กระบวนการออกแบบเครื่อง ประกอบด้วยระบบลำเลียง ระบบผสม ระบบลูกกลิ้งรีด ระบบโรยหน้า และระบบใบมีดตัด การทดลองใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปร ได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง ความเร็วสายพาน และความเร็วใบกวน พบว่าความเร็วลูกกลิ้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช ขณะที่ความเร็วสายพานและใบกวนไม่มีผลกระทบอย่างชัดเจน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง 12 วินาทีต่อรอบ ความเร็วสายพาน 65 วินาทีต่อเมตร และความเร็วใบกวน 4 วินาทีต่อรอบ ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักตามเป้าหมาย 19 กรัมต่อชิ้น งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ

คำหลัก อาหารธัญพืช, เครื่องรีดขึ้นรูป, ระบบอัตโนมัติ, การวิเคราะห์ความแปรปรวน, และประสิทธิภาพการผลิต

Abstract

The healthy food industry has been growing continuously, particularly in the cereal bar sector, which has gained significant popularity. However, current production processes still rely heavily on manual labor and lack suitable technology, affecting both efficiency and product quality. This research aims to develop an automated cereal food rolling forming process line by designing a machine that reduces labor dependency by at least 70% and increases production capacity by 30%. The machine design follows mechanical engineering principles and consists of a conveyor system, mixing system, rolling mechanism, topping system, and cutting blade system. The experimental design utilizes a two-way ANOVA to analyze the effects of key variables, including roller speed, conveyor speed, and agitator speed. The results indicate that roller speed

significantly influences the weight of the cereal bars, whereas conveyor speed and agitator speed show no significant impact. The optimal parameters identified in the study are a roller speed of 12 seconds per cycle, a conveyor speed of 65 seconds per meter, and an agitator speed of 4 seconds per cycle, ensuring a final product weight of 19 grams per piece. This research enhances production efficiency, reduces labor costs, and strengthens the competitiveness of the healthy food industry.

Keywords: Cereal food, Rolling forming machine, Automation, Variance analysis and Production efficiency.

1. บทนำ

ปัจจุบันกระแสการบริโภคเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมทั่วโลก ทำให้อุตสาหกรรมธัญพืชเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2564-2565 [1] มีการผลิตธัญพืชทั่วโลกกว่า 2.85 พันล้านตันต่อปี จีนเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุด ตามด้วยสหรัฐอเมริกาและไทยที่อยู่ในอันดับที่ 18 วัฒนธรรมการบริโภคซีเรียลเริ่มจากอเมริกาก่อนขยายไปทั่วโลก ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารเช้าซีเรียลมีมูลค่าสูงถึง 3.5 หมื่นล้านดอลลาร์

ซีเรียลบาร์ (Cereal bar) หรือ ธัญพืชอัดแท่ง เป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่น่าจับตามอง เนื่องจากมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงและเป็นที่นิยมในทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภควัยผู้ใหญ่ที่มีอายุระหว่าง 18-34 ปี [2] การบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ เช่น สินค้าที่ไม่มีน้ำตาล และไขมันสูง หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำมัน จะได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง [3] และจากรายงานของ Tripathi and Giri [4] กล่าวว่า ผู้บริโภคมีพฤติกรรมการเลือกรับประทานธัญพืชอัดแท่งจากคุณค่าทางโภชนาการ และประโยชน์ที่ได้รับมากขึ้น โดยเฉพาะข้าว ซึ่งข้าวถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวมากขึ้น เพราะมีกลิ่นรสอ่อน [5] ประกอบกับพฤติกรรมการบริโภคอาหารของมนุษย์มีแนวโน้ม การเลือกรับประทานอาหารที่ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมสูงขึ้น [6]

บริษัท ซองเดอร์ ไทยออร์กานิคฟูด จำกัด เป็นผู้นำในการผลิตสินค้าแปรรูปอาหารและเครื่องดื่ม จากวัตถุดิบธัญพืชเกษตรอินทรีย์ ไร้สารพิษ แบบเต็มเมล็ดไม่สกัดเปลือก เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่เป็นผู้รักษาดูแลใส่ใจสุขภาพ ปัจจุบันบริษัทผลิตสินค้าออกเป็นกลุ่มดังนี้ ซีเรียลบาร์ธัญพืช เครื่องดื่มธัญญาหารโฮเกรนชงดื่ม ซุปธัญญาหารชงดื่ม โจ๊กข้าวกล้องออร์แกนิค ธัญพืชสำเร็จรูป อาหารออร์แกนิคสำหรับเด็ก ซีเรียลบอล โดยสินค้าที่ได้รับความนิยมคือ ขนมธัญพืชผสมงาดำ ดังรูปที่ 1 มีกำลังการผลิต 15,761 กิโลกรัมต่อเดือน และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในระยะ 5 ปีที่ผ่านมา จึงมีแผนการที่จะปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ขยายกำลังการผลิตใหม่มีความคล่องตัวและเน้นย้ำที่คุณภาพ ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก

รูปที่ 1 ขนมธัญพืชผสมงาดำ

อย่างไรก็ตามมผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีรสชาติที่ดี มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยมีคุณค่าทางโภชนาการตามธรรมชาติ และความสะดวกในการนำมารับประทาน นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ยังจะต้องมีส่วนผสมจากธัญพืช ร้อยละ 31 ผลไม้แปรรูปร้อยละ 14 และ เมล็ดพืชและถั่ว ร้อยละ 46 [7]

จากการเข้าพบผู้บริหารและเยี่ยมชมโรงงาน บริษัท ซองเดอร์ไทยออร์กานิคฟูด จำกัด ที่จังหวัดสุพรรณบุรี ได้พบปัญหาคือ กระบวนการรีดอัดขึ้นรูป และตัดแท่งของซีเรียลบาร์ธัญพืช จำเป็นต้องใช้พนักงานจำนวนมาก และขาดเทคโนโลยีและนวัตกรรมในกระบวนการผลิตดังรูปที่ 2 ส่งผลต่อการควบคุมคุณภาพ กำลังการผลิต และมาตรฐาน GMP ทั้งนี้ทางบริษัทฯ ได้เคยนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศมา

แล้วแต่ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากสูตรส่วนผสมอาหารธัญพืชของบริษัทที่มีลักษณะแตกต่างทางกายภาพ

รูปที่ 2 กระบวนการรีด และตัดแท่งของซีเรียลบาร์ธัญพืช

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมไลน์กระบวนการรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชเกษตรอินทรีย์แบบอัตโนมัติเพื่อออกแบบเครื่องจักรที่สามารถขึ้นรูปอาหารธัญพืชเกษตรอินทรีย์ที่มีลักษณะพิเศษทางกายภาพ ทั้งนี้เพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 30 และเพื่อลดแรงงานคนในไลน์กระบวนการผลิตอาหารธัญพืชเกษตรอินทรีย์ลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหารสุขภาพของประเทศไทยกับคู่แข่งต่างประเทศ

2. วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมสายการผลิตการรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชเกษตรอินทรีย์แบบอัตโนมัติ ให้กับบริษัท ซองเดอร์ ไทยออร์กานิคฟูด จำกัด โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูล และหารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการขึ้นรูป การออกแบบเครื่อง การคำนวณ การสร้าง และการทดสอบ สามารถสรุปวิธีการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

2.1 การออกแบบเครื่องรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืช

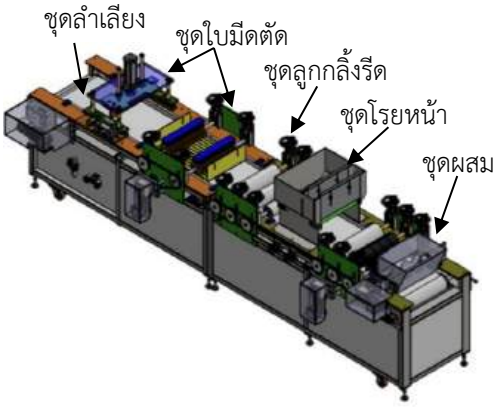
การออกแบบเครื่องรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืช โดยใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน จากการศึกษาข้อมูลที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องแล้ว จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปซึ่งกำหนดเกณฑ์และรายละเอียดในการออกแบบดังต่อไปนี้

1) ขนมที่ใช้ในการขึ้นรูปมี 1 ชนิด เกรนนี่ โดยการผสมเสร็จแล้วเทลงสู่ตัวเครื่องจักรจะทำงานแบบอัตโนมัติโดยจะใช้พนักงานคุมเครื่องจักรจำนวน 1 คน

2) กลไกการทำงานของเครื่อง ทำงานง่ายไม่ซับซ้อนมากเกินไปและผู้ปฏิบัติงานสามารถปฏิบัติงานสะดวกและมีความปลอดภัย

3) การบำรุงรักษาง่าย อุปกรณ์ชิ้นส่วนหากชำรุดสามารถทำการถอดเปลี่ยนแก้ไขได้ง่าย และสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไปได้

ในการออกแบบเครื่องขึ้นรูปส่วนประกอบหลักๆของเครื่องมีส่วนประกอบที่สำคัญ 1.ชุดลำเลียง 2. ชุดผสม 3. ชุดลูกกลิ้งรีด 4. ชุดโรยหน้า 5. ชุดใบมีดตัด เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้



รูปที่ 3 การออกแบบเครื่องอัดรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืช

2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืช

พนักงานจะนำส่วนผสมผสมลงสู่ตัวเครื่องเมื่อใส่ส่วนผสมลงเครื่องเรียบร้อยจากนั้นพนักงานจะทำการกดปุ่มเปิดเครื่องจากนั้นชุดผสมจะลำเลียงส่วนผสมลงสู่สายพานลำเลียงเมื่อสายพานลำเลียงทำงานจะนำส่วนผสมผ่านลูกกลิ้งรีดเพื่อทำการรีดรูปร่างของขนมให้ได้ขนาดเมื่อผ่านสู่กระบวนการรีดแล้วเมื่อมาถึงชุดโรยหน้าพนักงานต้องทำการเปิดการทำงานของชุดโรยหน้าเพื่อทำการโรยเมล็ดอัลมอนด์ลงสู่ขนมหลังจากผ่านกระบวนการโรยหน้าแล้วจะผ่านสู่ชุดลูกลิ้งด้านหลังเพื่อทำการกดเมล็ดอัลมอนด์ลงสู่ขนมจากนั้นสายพานจะลำเลียงขนมผ่านชุดใบมีดตัดแนวตรงเพื่อตัดแยกแถวของขนมหลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการใบมีดตัดขวางเมื่อตัดขวางแล้วพนักงานจะนำขนมออกจากตัวเครื่องเพื่อเข้าสู่กระบวนต่อไปของทางโรงงาน

2.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (DOE) เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการที่มีหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมุ่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุด การทดลองแฟกทอเรียล เป็น

รูปแบบหนึ่งของ DOE ที่ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามระหว่างกลุ่มที่ถูกแบ่งตามตัวแปรต้น (ปัจจัย) โดยมีจุดประสงค์หลักคือการตรวจหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยว่ามีผลกระทบต่อตัวแปรตามร่วมกันหรือไม่ นอกจากนี้ยังพิจารณาอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตามโดยตรง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรต้นในกระบวนการทั้ง 3 ตัวอันได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง ความเร็วสายพาน และความเร็วใบกวน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

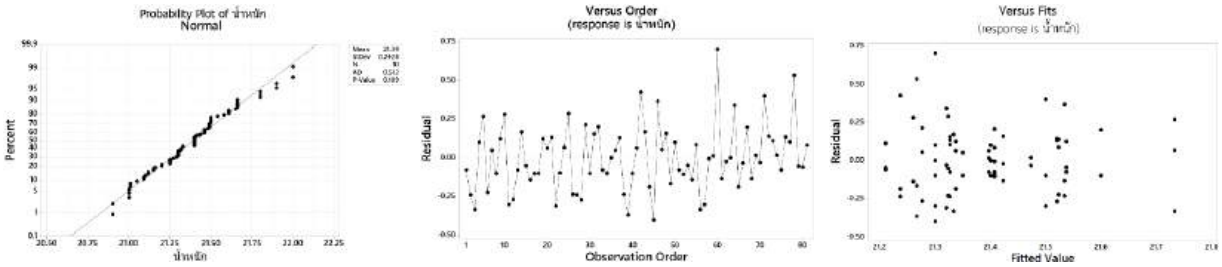
ตัวแปรต้น	ระดับของตัวแปรต้น		
	1	2	3
ความเร็วลูกกลิ้ง (วินาทีต่อรอบ)	10	12	14
ความเร็วสายพาน (วินาทีต่อเมตร)	45	55	65
ความเร็วใบกวน (วินาทีต่อรอบ)	4	5	6
ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (α)	ร้อยละ 5 (0.05)		

3. ผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

จากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติของ Anderson-Darling พบว่า น้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช เมื่อพิจารณาด้วยตัวแปรต้นแต่ละตัวมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.189 ดังรูปที่ 4 (ก) ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับร้อยละ 5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานการแจกแจงปกติ การทดสอบความสมมติฐานของความเป็นอิสระ นั้นจะตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของตัวแปรผลตอบว่ามีความเกี่ยวพันธ์กันหรือไม่ โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 4 (ข) ไม่พบว่าค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังนั้นสรุปได้ว่าชุดข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของความเป็นอิสระ การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนเป็น การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตนี้ ไม่พบว่าค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4 (ค) จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช ตามรายละเอียดของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าอิทธิพลหลักของตัวแปรต้นความเร็วลูกกลิ้ง มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 5 และ พบว่าตัวแปรต้นความเร็วสายพาน และความเร็วใบกวน ไม่มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 5 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายปรับแก้ R-sq (adj) สำหรับการวิเคราะห์ค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช มีค่าสูงถึงร้อยละ 89.54 แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งหมายความว่าพารามิเตอร์อิสระสามารถอธิบายพฤติกรรมตอบสนองได้อย่างถูกต้องถึงร้อยละ 89.54 ในขณะค่าที่เหลือสามารถอธิบายได้โดยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ไม่ได้รวมอยู่ในการวิเคราะห์นี้



(ก) กราฟการแจกแจกแบบปกติ (ข) ความสมมติฐานของความเป็นอิสระ (ค) ความเสถียรภาพของความแปรปรวน

รูปที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

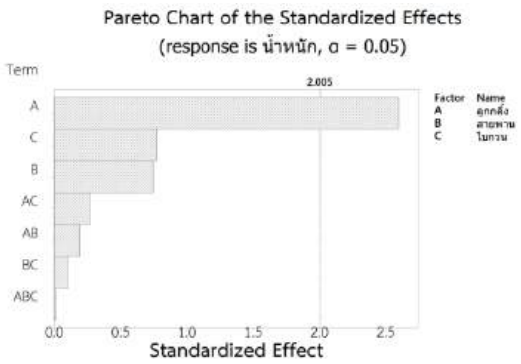
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	155.29	5.972	27.35	0.000
Linear	6	147.53	24.58	112.5	0.000
ลูกกลิ้ง	2	146.66	73.33	335.7	0.000
สายพาน	2	0.375	0.187	0.86	0.429
ใบกวน	2	0.490	0.244	1.12	0.333
2-Way Interactions	12	4.797	0.399	1.83	0.066
ลูกกลิ้ง*สายพาน	4	3.218	0.804	3.68	0.010
ลูกกลิ้ง*ใบกวน	4	1.292	0.323	1.48	0.221
สายพาน*ใบกวน	4	0.286	0.071	0.33	0.858
3-Way Interactions	8	2.962	0.370	1.70	0.121
ลูกกลิ้ง*สายพาน*ใบกวน	8	2.962	0.370	1.70	0.121
Error	54	11.793	0.218		
Total	80	167.085			

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.467328	92.94%	89.54%	84.12%

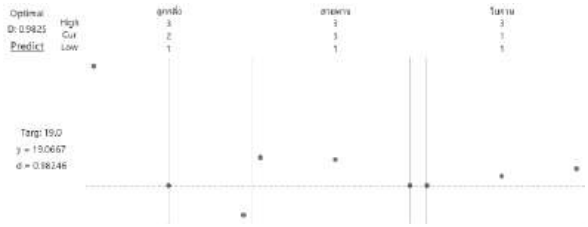
ปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 5 มีจำนวน 1 ปัจจัย คือ ค่าตัวแปรต้นความเร็วลูกกลิ้ง มีระดับค่าบาร์ (Bar Value) อยู่ที่ 2.59377 ดังรูปที่ 5 ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบตรงคือค่าตัวแปรต้นความเร็วสายพาน จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์หาค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช คือ ค่าตัวแปรต้นความเร็วลูกกลิ้ง



รูปที่ 5 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช

3.2 การหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์สถิติด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองโดนกำหนดให้ค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช โดยมีค่าเป้าประสงค์ให้ได้น้ำหนักเท่ากับ 19 กรัมต่อชิ้น พบว่าตัวแปรต้นควรถูกกำหนดค่าดังนี้ คือ ความเร็วลูกกลิ้ง 12 วินาทีต่อรอบ ความเร็วสายพาน 65 วินาทีต่อเมตร และความเร็วใบกวน 4 วินาทีต่อรอบ โดยค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช มีค่าเท่ากับ 19.0667 กรัม โดยมีระดับความพึงพอใจรวม (Desirable) อยู่ที่ร้อยละ 98.25 ดังรูปที่ 6



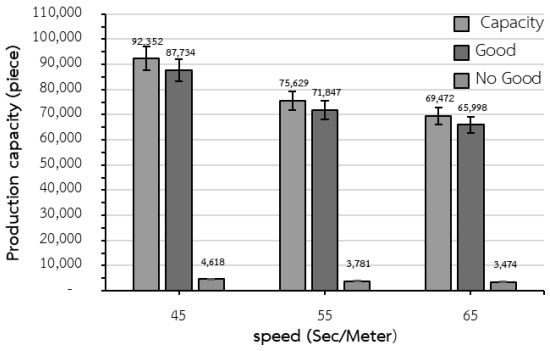
รูปที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช

4. อภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบ

การทดสอบความสามารถในการผลิตถูกกำหนดด้วยตัวแปรต้น ความเร็วสายพาน เนื่องจากระบบการผลิตแท่งบาร์

ธัญพืชใช้สายพานในการลำเลียงวัตถุดิบในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยตัวแปรต้นความเร็วสายพาน ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาความเร็วที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งบาร์ธัญพืช เพื่อให้ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปนั้นมีความเสียหายน้อยที่สุด โดยผู้วิจัยกำหนดตัวแปรความเร็วสายพาน 3 ระดับ คือ 45, 55 และ 65 วินาทีต่อ 1 เมตร ในการขึ้นรูป 1 ครั้ง ซึ่งแท่งบาร์ธัญพืชจะถูดตัดตามแนวยาวขนาด 90 มิลลิเมตร และเรียงแถวได้จำนวน 13 ชิ้น ซึ่งจากการทดลอง 1 วัน (8 ชั่วโมงการทำงาน) สามารถนับปริมาณการผลิต ของดี และของเสียได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งจำนวนของเสียส่วนใหญ่เกิดจากการเริ่มต้นกระบวนการผลิตชิ้นงาน เนื่องจากช่วงเริ่มต้น วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการ ผสม และกดรีดมาตามสายพานนั้น มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องรอให้ลูกกลิ้งเกลี่ยความหนา และกระจายวัตถุดิบ ให้มีขนาดหน้าตัดและความหนาสม่ำเสมอก่อน จึงจะสามารถทำการตัดแบ่งแท่งบาร์ธัญพืชได้



รูปที่ 7 ความสามารถในการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

โดยแนวโน้มที่พบจากการทดลองคือ เมื่อความเร็วสายพานเพิ่มขึ้นจาก 45 วินาทีต่อรอบ เป็น 65 วินาทีต่อรอบ จำนวนชิ้นงานทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของชิ้นงานที่ดี และชิ้นงานที่เสียยังคงที่ในทุกระดับความเร็ว ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ความเร็วของสายพานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตจำนวนชิ้นงานทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม การคงคุณภาพของชิ้นงานในระดับสูง (Good = 95%) แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิตที่มีอยู่

4.2 ระยะเวลาคืนทุน

ต้นทุนในการพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชมีต้นทุนรวมทั้งระบบเท่ากับ 680,000 บาท ในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม จำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวน 5 คนต่อรอบการผลิต ซึ่งมีต้นทุนรวมเท่ากับ 75,000 บาทต่อเดือน หลังจากนำเครื่องอัดรีดขึ้นรูปอาหารธัญพืชข้ามาใช้ สามารถลดแรงงานเหลือเพียง 1 คน ส่งผลให้ต้นทุนแรงงานลดลงเหลือเพียง 15,000 บาทต่อเดือน หรือประหยัดได้ 60,000 บาทต่อเดือน คิดเป็น 720,000 บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนกับต้นทุนแรงงานที่สามารถลดลงได้ พบว่าเครื่องจักรอัตโนมัติสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเพียง 11.3 เดือน แสดงดังสมการที่ 1

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนเครื่องจักร}}{\text{เงินที่ประหยัดต่อปี}} \quad (1)$$

5. สรุป

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช ตามรายละเอียดของการทดสอบ อิทธิพลหลักและค่าอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้น 3 ตัวแปรอันได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง ความเร็วสายพาน และความเร็วใบกวน พบว่าอิทธิพลหลักของตัวแปรต้นความเร็วลูกกลิ้ง มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 5 และ พบว่าตัวแปรต้นความเร็วสายพาน และความเร็วใบกวน ไม่มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 5

การหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์สถิติด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองโดนกำหนดให้ค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช มีค่าเป้าประสงค์ให้ได้น้ำหนักเท่ากับ 19 กรัมต่อชิ้น พบว่า ตัวแปรต้นควรถูกกำหนดค่าดังนี้ คือ ความเร็วลูกกลิ้ง 12 วินาทีต่อรอบ ความเร็วสายพาน 65 วินาทีต่อเมตร และความเร็วใบกวน 4 วินาทีต่อรอบ โดยค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืช มีค่าเท่ากับ 19.0667 กรัม ด้วยวิธีการทดสอบค่าปริมาณของน้ำหนักของแท่งบาร์ธัญพืชอยู่ให้เกณฑ์ที่ทางบริษัท ซองเดอร์ไทยออแกนิสฟูด จำกัด ยอมรับได้ โดยมีระดับความพึงพอใจ

รวม (Desirable) อยู่ที่ 98.25 เปอร์เซ็นต์

การลงทุนพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติสำหรับกระบวนการขึ้นรูปอาหารธัญพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วยต้นทุนรวม 680,000 บาท มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างชัดเจน สามารถคืนทุนได้ภายในเวลาไม่เกิน 1 ปี และส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนแรงงาน เพิ่มขีดความสามารถการผลิต และยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ได้ในระยะยาว จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารสุขภาพในยุคเศรษฐกิจฐานชีวภาพและความยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ร่วมกับบริษัท ซองเดอร์ ไทยออร์กานิคฟูด จำกัด ประจำปี 2565 สัญญาเลขที่ C10F650105

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Dailynews. Global Cereal Production Expected to Reach a New High This Year, but Market Faces Pressure, (Online) Available Form: https://www.dailynews.co.th/news/2567384/, 26 July 2023.

[2] Thairath. (2019). Trends Healthy Hood eat for Lose Weight. (Online). Available from: https://www.thairath.co.th/women/beauty/health/1649240, 12 November 2023.

[3] Saowaphruek, Y. (2018). Trends in 'food and beverages' for health. (Online). Available from: https://www.prachachat.net/columns/news-268743, 15 November 2023.

[4] Tripathi, M.K and Giri, S.K. 2014. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. Journal of Functional Foods, 9: 225-241.

[5] Naiwikun, O. (2013). Rice: Science and technology. 3rd. Kasetsart University, Bangkok.

[6] Boriphatmongkon, K., Jirawatkul, W., & Taweechoktiphat, N. (2011). Production and Sales Of Cookie from the Riceberry Rice. M.A. Program in Business Administration. Thammasat Business School, Thammasat University.

[7] Xongdur. ฟู้ดฟิต ธัญพืชโฮลเกรนผสมผลไม้ 15 ชนิด ตราซองเดอร์ Xongdur, (Online) Available Form: https://www.xongdur.com/product/25358-30074/ฟู้ดฟิต-ธัญพืชโฮลเกรนผสมผลไม้-15-ชนิด-ตราซองเดอร์-xongdur , 14 Sep 2024.

การศึกษาความหยาบผิวต่อการเคลือบ TiN และ TiAlN บนเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ

Study on Surface Roughness Effects on TiN and TiAlN Coatings on 17-4PH Stainless Steel Fabricated by Metal Injection Molding

ยสวดี นพดวง[1*] กฤษณะ อ่วมนุสนธิ์[2] รัตติกรณ์ เสาร์แดน[3] ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง[4] และพิชัย จันทร์มณี[5]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2,3,4,5] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Yossawadee Noppaduang[1*] Kritsana Uamnuson[2] Rattikorn Saodaen[3] Teerayut Kanchanasangtong[4] and Pichai Janmanee[5*]
[1]Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
[2,3,4,5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: dear9270.19@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของความหยาบผิวต่อการเคลือบ TiN และ TiAlN บนสแตนเลส 17-4PH ที่ผลิตขึ้นโดยการฉีดขึ้นรูปโลหะ (MIM) การศึกษานี้ตรวจสอบผลกระทบของวัสดุเคลือบต่อความหยาบผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคัลเลเซอร์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ (EDS) ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าชิ้นงานที่เคลือบมีพื้นผิวที่เรียบเนียนกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดย TiAlN มีค่าความหยาบต่ำสุด Ra เท่ากับ 0.067 µm รองลงมาคือ TiN Ra เท่ากับ 0.085 µm เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้เคลือบ Ra เท่ากับ 0.325 µm การวิเคราะห์ SEM และ EDS ยืนยันการกระจายตัวของการเคลือบที่สม่ำเสมอ ผลลัพธ์นี้มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวในชิ้นส่วนโลหะที่ผลิตโดย MIM ลดการสึกหรอ และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆ

คำหลัก : การเคลือบผิวแข็ง, ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN), ไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN), ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra), กระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ (MIM)

Abstract

This research investigates the effects of surface roughness on TiN and TiAlN coatings on 17-4PH stainless steel fabricated by metal injection molding (MIM). The study examines the impact of coating materials on surface roughness using a confocal laser microscope, scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive spectroscopy (EDS). The results indicate that coated samples exhibit significantly smoother surfaces, with TiAlN achieving the lowest roughness value (Ra = 0.067 µm), followed by TiN

(Ra = 0.085 µm), compared to uncoated samples (Ra = 0.325 µm). SEM and EDS analyses confirm a uniform coating distribution. These findings contribute to improving surface quality in MIM-fabricated metal components, reducing wear and enhancing performance in various industrial applications.

Keywords: Hard coating, Titanium Nitride (TiN), Titanium Aluminum Nitride (TiAlN), Surface Roughness (RA), Metal Injection Molding (MIM)

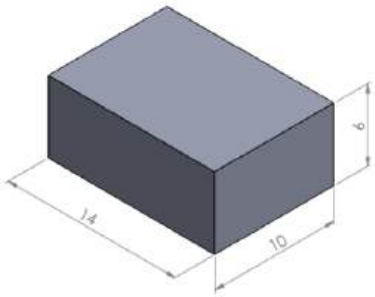
1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการเคลือบผิวแข็ง เช่น ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) ได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากสามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกหรอ และต้านทานการเกิดออกซิเดชันของชิ้นงานโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 17-4PH ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง และทนต่อการกัดกร่อน เช่น อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมยานยนต์ และเครื่องมือทางการแพทย์ กระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ (Metal Injection Molding: MIM) เป็นเทคนิคการผลิตที่สามารถสร้างชิ้นส่วนโลหะที่มีรูปทรงซับซ้อน และความละเอียดสูงได้ดี อย่างไรก็ตามพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ MIM [1], [2] อาจมีความขรุขระมากกว่ากระบวนการผลิตแบบอื่น ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเคลือบผิว ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับความหยาบผิวของวัสดุที่ขึ้นรูปด้วย MIM และผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของชั้นเคลือบ TiN และ TiAlN จึงเป็นงานวิจัยที่มีความสำคัญ โดยมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ผลกระทบของความหยาบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ผ่านกระบวนการ MIM ต่อคุณสมบัติของชั้นเคลือบ TiN และ TiAlN โดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบ PVD (Physical Vapor Deposition) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นผิวโลหะ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวของวัสดุกับประสิทธิภาพของการเคลือบ และสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น [3], [4]

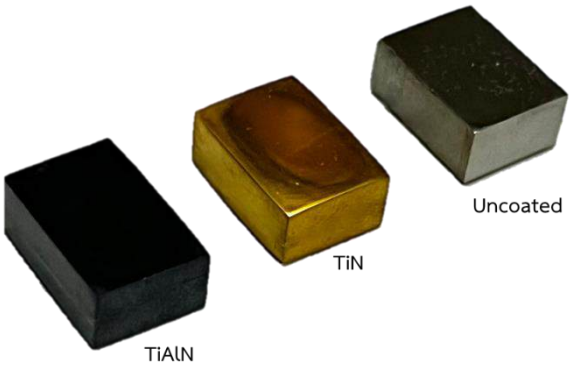
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ในการศึกษานี้ ได้ทำการออกแบบชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยซอฟต์แวร์ SolidWorks ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 14 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 จากนั้นแปลงไฟล์ต้นแบบเป็นรูปแบบ STL และอัปโหลดเข้าสู่โปรแกรม Eiger เพื่อดำเนินการเตรียมไฟล์สำหรับการพิมพ์โลหะสามมิติ โดยเลือกผงวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ขนาด 50 ไมครอน ซึ่งเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติทางกลและความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานดำเนินการโดยใช้เครื่องพิมพ์โลหะ Metal X ของบริษัท Markforged นวัตกรรมจากประเทศเยอรมนี โดยสั่งพิมพ์ทั้งหมด 3 ชิ้น เมื่อกระบวนการพิมพ์เสร็จสมบูรณ์ ชิ้นงานที่ได้จะประกอบด้วยโลหะผสมกับสารยึดเกาะ (Binder) ที่ต้องถูกกำจัดออกชิ้นงานที่พิมพ์เสร็จแล้วถูกนำเข้าสู่กระบวนการ Debinding โดยใช้เครื่องล้างที่มีตัวทำละลายพิเศษเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อขจัดส่วนประกอบของพลาสติกที่เป็นสารยึดเกาะออกให้หมด หลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการเผาผนึก ในขั้นตอนสุดท้ายชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการล้าง และทำแห้งแล้วจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการ Sintering โดยใช้เตาเผา SINTER-2 ของบริษัท Markforged ที่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างแม่นยำที่อุณหภูมิ 1050°C เพื่อให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกันอย่างสมบูรณ์ ทำให้ได้ชิ้นงานโลหะที่มีคุณสมบัติเชิงกลสูง และปราศจากสารยึดเกาะ และขั้นตอนสุดท้ายนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Sintering ชิ้นที่ 1 เคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ชิ้นที่ 2 เคลือบผิวไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) โดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบ PVD (Physical Vapor Deposition) [5], [6] และชิ้นสุดท้ายไม่ทำการเคลือบผิว ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แบบชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติ

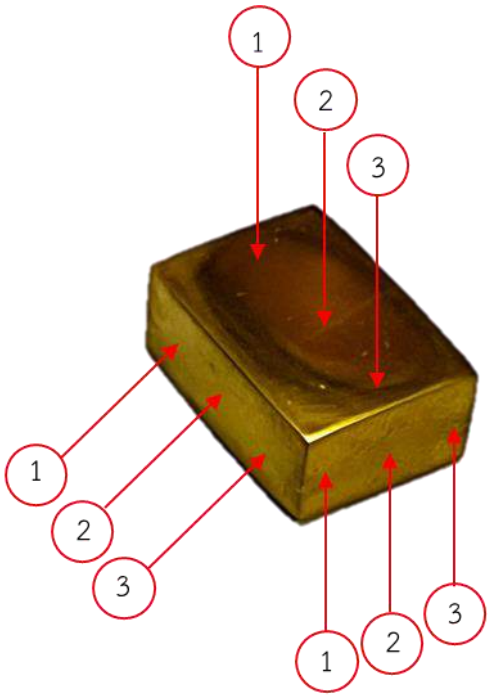


รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD

2.2 ทดสอบความหยาบผิว

ในการทดสอบความหยาบผิวใช้กล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope ยี่ห้อ Olympus รุ่น OLS5000 แบบไม่สัมผัส ใช้กำลังขยาย 50X ดังรูปที่ 3 ถ่ายชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 3 ด้าน ด้านละ 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4 และนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Ra)

รูปที่ 3 เครื่องทดสอบความหยาบผิวกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope



รูปที่ 4 ตำแหน่งการทดสอบความหยาบผิว

2.3 ทดสอบ Scanning Electron Microscope และ Energy Dispersive Spectroscopy

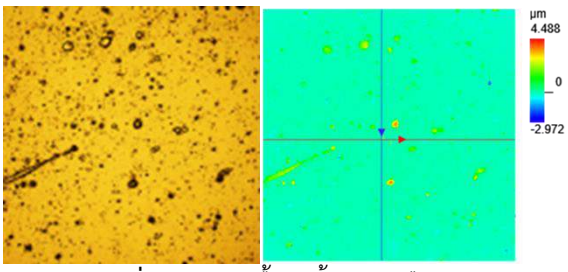
การทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) ผู้จัดทำวิจัยเลือกใช้กำลังขยาย 1000X เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวระดับไมโครเมตร (Microstructure Analysis) ที่สามารถตรวจสอบความหนาของฟิล์มบาง, การยึดเกาะของสารเคลือบ, รอยแตกขนาดเล็ก, ลวดลายพื้นผิว หรือขอบเกรนของวัสดุ พร้อมทั้งทดสอบ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) โดยใช้กำลังขยาย 1000X (60 ไมโครเมตร) เพื่อตรวจหาธาตุเฉพาะตำแหน่งเล็กๆ บนชิ้นงานทดสอบ

3. ผลการดำเนินงาน

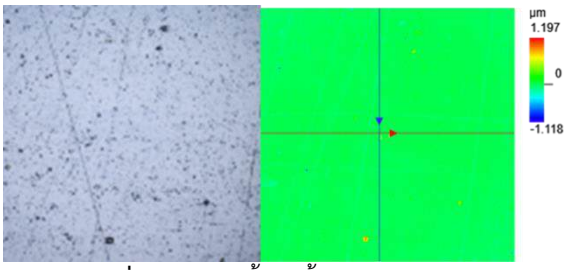
3.1 ผลการทดสอบความหยาบผิว

จากการทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Ra) พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) มีลักษณะสีเคลือบเป็นสีทอง และจากรูป Simulation จะพบได้ว่าลักษณะพื้นผิวส่วนใหญ่เป็นสีเขียว ซึ่งหมายถึงพื้นผิวที่มีความหยาบโดยเฉลี่ยแต่ยังพบบางจุดที่มีพื้นที่ที่สูงกว่าเป็น

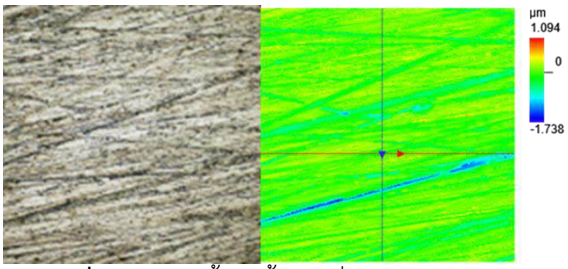
สีเหลืองดังรูปที่ 5 และมีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ 0.085 ไมโครเมตร ดังตารางที่ 1 ไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) มีลักษณะสีเคลือบเป็นสีม่วงเทา และจากรูป Simulation จะพบได้ว่าลักษณะพื้นผิวทั้งหมดเป็นสีเขียว ซึ่งหมายถึงพื้นผิวที่มีความหยาบดังรูปที่ 6 และมีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ 0.067 ไมโครเมตร ดังตารางที่ 2 และชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีลักษณะสีเคลือบเป็นสีเงิน พบความขรุขระบนผิวชิ้นงานจำนวนมาก และจากรูป Simulation จะพบได้ว่าลักษณะพื้นผิวสีเขียว สลับสีเหลืองที่หมายถึงพื้นที่สูง และมีสีน้ำเงินหมายถึงพื้นที่ต่ำ ซึ่งหมายถึงชิ้นงานมีความขรุขระดังรูปที่ 7 และมีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ 0.325 ไมโครเมตร ดังตารางที่ 3 ดังนั้น การเคลือบผิวช่วยให้ชิ้นงานมีความเรียบขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เคลือบ TiAlN ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีกว่า TiN ซึ่งบ่งบอกว่าคุณสมบัติการเคลือบผิวของ TiAlN ช่วยลดความขรุขระของพื้นผิวได้ดีกว่า



รูปที่ 5 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเคลือบ TiN



รูปที่ 6 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเคลือบ TiAlN



รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความหยาบผิว (Ra) ชิ้นงานทดสอบเคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN)

ด้าน	ตำแหน่ง	แกน X (µm)	แกน Y (µm)	ผลรวม (µm)	ค่าเฉลี่ย (µm)
ด้านบน	1	0.031	0.075	0.106	0.080
	2	0.027	0.037	0.064	
	3	0.037	0.033	0.07	
ด้านยาว	1	0.032	0.033	0.065	0.069
	2	0.024	0.031	0.055	
	3	0.031	0.057	0.088	
ด้านกว้าง	1	0.036	0.049	0.085	0.107
	2	0.069	0.057	0.126	
	3	0.046	0.064	0.11	
	ความหยาบผิวชิ้นงานโดยเฉลี่ย				0.085

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความหยาบผิว (Ra) ชิ้นงานทดสอบเคลือบผิวไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN)

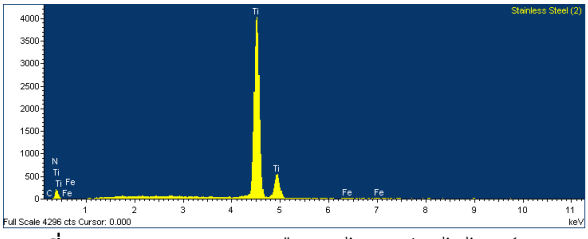
ด้าน	ตำแหน่ง	แกน X (µm)	แกน Y (µm)	ผลรวม (µm)	ค่าเฉลี่ย (µm)
ด้านบน	1	0.015	0.017	0.032	0.036
	2	0.021	0.025	0.046	
	3	0.013	0.016	0.029	
ด้านยาว	1	0.036	0.053	0.089	0.085
	2	0.039	0.056	0.095	
	3	0.035	0.037	0.072	
ด้านกว้าง	1	0.035	0.039	0.074	0.081
	2	0.04	0.045	0.085	
	3	0.035	0.048	0.083	
	ความหยาบผิวชิ้นงานโดยเฉลี่ย				0.067

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความหยาบผิว (Ra) ชิ้นงานทดสอบที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

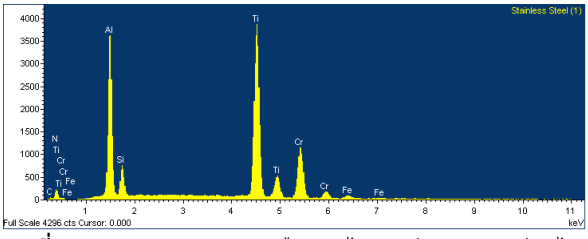
ด้าน	ตำแหน่ง	แกน X (µm)	แกน Y (µm)	ผลรวม (µm)	ค่าเฉลี่ย (µm)
ด้านบน	1	0.072	0.105	0.177	0.464
	2	0.081	0.103	0.184	
	3	0.079	0.953	1.032	
ด้านยาว	1	0.123	0.105	0.228	0.225
	2	0.118	0.093	0.211	
	3	0.126	0.109	0.235	
ด้านกว้าง	1	0.144	0.145	0.289	0.287
	2	0.146	0.148	0.294	
	3	0.137	0.14	0.277	
	ความหยาบผิวชิ้นงานโดยเฉลี่ย				0.325

3.2 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope และ Energy Dispersive Spectroscopy

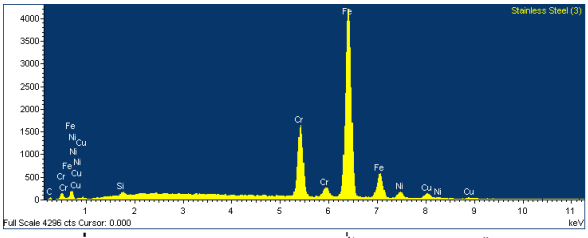
จากการทดสอบ EDS เหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) พบธาตุ ไทเทเนียม (Ti) เป็นพีคหลักที่สูง และเด่นชัด เหล็ก (Fe) มีปริมาณรองลงมา ไนโตรเจน (N) ปรากฏเล็กน้อย โครเมียม (Cr) ปริมาณน้อย นั้นหมายถึงการเคลือบผิว TiN ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ยังคงพบธาตุเหล็ก (Fe) ปรากฏแสดงถึงการเคลือบผิวในอยู่ในระดับกลางไม่มากพอ ดังรูปที่ 8 กระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) พบธาตุ อะลูมิเนียม (Al) พีคที่เด่นชัดใกล้กับ Ti ไทเทเนียม (Ti) ยังคงเป็นพีคสำคัญ ซิลิคอน (Si) มีปริมาณน้อย โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) เล็กน้อยแสดงถึงการเคลือบผิวในอยู่ในระดับกลางไม่มากพอดังรูปที่ 9 เหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว พบธาตุ เหล็ก (Fe) เป็นพีคหลัก โครเมียม (Cr) (นิกเกิล) Ni ทองแดง (Cu) ซิลิคอน Si ไทเทเนียม (Ti) ซึ่งเป็นธาตุหลักของเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 การทดสอบ EDS เคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN)

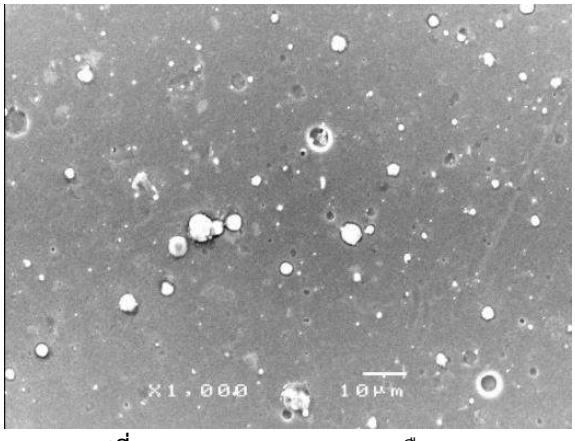


รูปที่ 9 การทดสอบ EDS เคลือบผิวไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN)

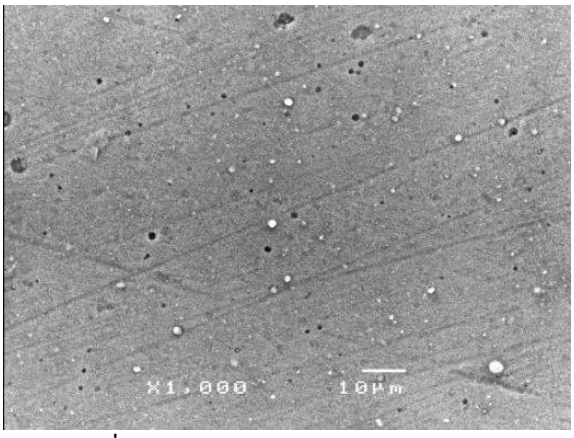


รูปที่ 10 ผลการทดสอบ EDS ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

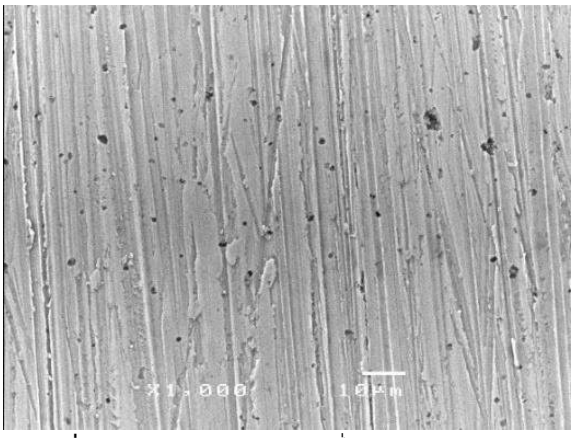
ผลการ SEM เหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ด้วยกำลังขยาย 1000X พื้นผิวโดยรวมพบว่า มีอนุภาคขาวกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นอนุภาคของสารเคลือบ TiN ที่เกาะบนพื้นผิว มีลักษณะกลมมน ขนาดต่างกัน และบางกลุ่มจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน การกระจายของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ โดยแสดงให้เห็นถึงการสะสมของอนุภาค TiN อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 11 ความหยาบผิวจึงมากกว่าการเคลือบผิว TiAlN ซึ่งกระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) มีลักษณะคล้ายการเคลือบผิว TiN แต่การกระจายตัวของอนุภาคดูมีความแตกต่างเล็กน้อย อนุภาคมีขนาด และการกระจายตัวที่แตกต่าง พื้นผิวโดยรวมมีลักษณะเรียบเนียนมากกว่า อนุภาคขาวมีจำนวนน้อย กระจายตัวบางเบา มีความสม่ำเสมอ ไม่มีการเกาะกลุ่มเหมือนสารเคลือบ TiN บ่งชี้ว่าการเคลือบผิว TiAlN มีลักษณะสม่ำเสมอทำให้มีค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 12 ที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว มีลักษณะเป็นเส้นยาวขนานกัน (Lamellar structure) แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH มีรอยแตก และรูพรุนมากกว่าที่เคลือบผิวชิ้นงาน โครงสร้างดูหยาบกว่า ดังนั้น การเคลือบ TiN และ TiAlN ทำให้พื้นผิวเรียบขึ้นและมีอนุภาคเคลือบกระจายตัวบนรูปที่ 13 แสดงถึงโครงสร้างพื้นฐานของวัสดุโดยไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวแต่ละการเคลือบมีผลต่อโครงสร้าง และคุณสมบัติของพื้นผิวแตกต่างกัน



รูปที่ 11 ผลการทดสอบ SEM เคลือบ TiN



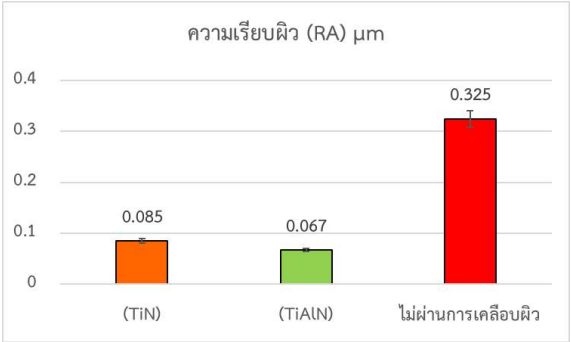
รูปที่ 12 ผลการทดสอบ SEM เคลือบ TiAlN



รูปที่ 13 ผลการทดสอบ SEM ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

4. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการเคลือบผิวไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) บนเหล็กกล้าไร้สนิม 17-4PH ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ (MIM) พบว่า การเคลือบผิวช่วยลดความขรุขระของพื้นผิวลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยชิ้นงานที่เคลือบด้วย TiAlN ให้ผลการเคลือบที่ดีกว่า TiN ทั้งในด้านความหยาบผิว และการกระจายตัวของอนุภาค ให้ค่าความหยาบผิว (Ra) ต่ำที่สุดที่ 0.067 ไมโครเมตร รองลงมาคือ TiN ที่ 0.085 ไมโครเมตร และชิ้นงานที่ไม่เคลือบมีค่า Ra 0.325 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 14 นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วย EDS แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิว TiN และ TiAlN มีการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอ และสามารถเพิ่มความเรียบผิวของพื้นผิวได้ดี ทั้งนี้ ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของชิ้นส่วนโลหะที่ผลิตด้วยกระบวนการ MIM เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกหรอ และต้านทานการเกิดออกซิเดชันของชิ้นงานโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 14 ผลการทดสอบความหยาบผิวโดยเฉลี่ย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนเครื่องมือ สถานที่ การทำวิจัย และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ข้อมูล และคำปรึกษาจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Chil-Chyuan Kuo & Xin-Yu Pan. (2023). Development of a Rapid Tool for Metal Injection Molding Using Aluminum-Filled Epoxy Resins. doi.org/10.3390/polym15173513.

[2] Casarin, S. A., & Souza, R. M. (2020). Surface roughness analysis in metal injection molding process. Materials Research, 23 (suppl 1), e20190436. doi.org/10.1002/pen.21131.

[3] Maria Richert, Marek Dudek and Dariusz Sala. (2024). Surface Quality as a Factor Affecting the Functionality of Products Manufactured with Metal and 3D Printing Technologies. 17(21), 5371; doi.org/10.3390/ma17215371.

[4] Peter Panjan, AljaŽ DrnovŠek, Nastja Mahne, Miha Čekada and Matjaž Panjan. (2021). Surface Topography of PVD Hard Coatings. doi.org/10.3390/coatings11111387.

[5] Jon Tomas Gudmundsson, Andre Anders and Achim von Keudell. (2022). Foundations of physical vapor deposition with plasma assistance. Elsevier. DOI 10.1088/1361-6595/ac7f53.

[6] Behzad Fotovvati, Navid Namdari and Amir Dehghanghadikolaei. (2019). On Coating Techniques for Surface Protection: A Review. doi.org/10.3390/jmmp3010028

การออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด

Design and Fabrication of a 4-Disc Metal Surface Polishing System

กรกนก วรหาญ[1] ปริญญวัตร ทินบุตร[2] ปัณณทัต สายโสภา[3] สุริยพงศ์ เต็งมงคล[4] สุริยันต์ น้อมนัด[5] และกิตติพล ขาวงาม[6*]
[123456*]สาขาครุศาสตร์อุตสาหการเชื่อมประกอบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Kornkanok Vorahan[1] Parinyawatr Dhinnabutra[2] Punnathat Saisopha[3]
Suriyapong Tengmongkol[4] Suriyan Nomnat[5] and Kittipon khaongam[6*]
[123456*] Department of Welding Technical Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus·
E-mail: Kittipon.khaongam@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบจานขัด 100 200 300 400 และ 500 รอบ/นาที กระดาษทราย เบอร์ 150 180 400 600 800 และ 1,000 เพื่อหาประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้งาน ทดสอบขัดชิ้นงานเหล็กเพลา SS400 ประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไป จำนวน 3 คน ผลการทดลองพบว่า กระดาษทรายหยาบ เบอร์ 150 และ 180 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็ว 300 400 และ 500 รอบ/นาที กระดาษทรายขนาดกลาง เบอร์ 400 และ 600 เหมาะสมกับความเร็ว 300 และ 400 รอบ/นาที กระดาษทรายละเอียด เบอร์ 800 ทำงานได้ดีที่อัตราการหมุนต่ำ 100 200 และ 300 รอบ/นาที ทั้งนี้ การทดสอบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,000 ที่อัตราการหมุน 500 รอบ/นาที โดยจากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวรอยขัด สรุปได้ว่าเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัดนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ โดยความเร็วรอบและขนาดกระดาษทรายที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับระดับความหยาบ-ละเอียดของงานขัดผิว ซึ่งผู้ที่เคยใช้งานเครื่องขัดมีความพึงพอใจต่อเครื่องขัดแบบ 4 จาน ตามเกณฑ์ที่กำหนด

คำหลัก การออกแบบสร้าง เครื่องขัดผิวโลหะ ระบบ 4 จากขัด เหล็กเพลา SS400

Abstract

This research involved the design and construction of a four-disc metal surface sanding machine and the investigation of the relationship between disc rotational speeds 100 200 300 400 and 500 RPM) and sandpaper grit numbers 150 180 400 600 800 and 1,000 to determine the efficiency and suitability for use. The test was conducted on SS400 steel shaft samples. Three experts with experience in the use of traditional sanding machines evaluated performance. The experimental results showed that coarse sandpapers of grit 150 and 180 gave the maximum efficiency at 300 400 and 500 RPM. Medium sandpapers with sizes 400 and 600 functioned optimally in their range of speed from 300 to 400 RPM. Sandpapers with fine grit of size 800 functioned well in low ranges of 100 200 as well as 300 RPM. Acceptable results were realized when tested using grit size 1,000 as well as 500 RPM. From the inspection of the surface finish the performance of the four-disc metal surface sanding machine was

concluded as being effective in relation to the set standards. The ideal rotational speed and grit size vary with the desired degree of surface roughness or evenness. The users with experience in sanding were satisfied with the four-disc sanding machine within the set standards of performance.

Keywords: Design and Construction Metal Surface Polishing Machine 4-Step Polishing System SS400

1. บทนำ

ในโลกอุตสาหกรรมปัจจุบัน โลหะถือเป็นวัสดุที่มีบทบาทมีความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่ว่าจะในงานก่อสร้าง ยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งเครื่องมือทางการแพทย์ การศึกษาคุณสมบัติ พฤติกรรม และโครงสร้างจุลภาคของของโลหะ[1] เพื่อให้เข้าใจถึงธรรมชาติของโลหะ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม หนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในการศึกษาโครงสร้างภายในของโลหะ คือ การเตรียมผิวชิ้นงานเป็นขั้นตอนสำคัญในการศึกษาวัสดุ เนื่องจากมีผลต่อการสังเกตและวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ ซึ่งโครงสร้างจุลภาคนี้กำหนดสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติพิเศษ เช่น ความแข็ง ความเหนียว การนำความร้อน หรือความต้านทานการกัดกร่อน การเตรียมผิวชิ้นงานที่เหมาะสม เช่น การเจียรและขัดจนได้ผิวเรียบเนียน ปราศจากรอยขีดข่วน จำเป็นเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคได้แม่นยำ นำไปสู่การเลือกวัสดุและการออกแบบที่เหมาะสม โดยเริ่มจากการปรับผิวให้ได้ระนาบด้วยการกลึง กัด และไส แล้วขัดผิวด้วยกระดาษทราย และขัดเงาด้วยผงอะลูมินา[2] เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยมือแบบดั้งเดิมนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ใช้เวลานาน ผลงานไม่สม่ำเสมอ และต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะบุคคล ทำให้ผลการทดสอบที่ได้ขาดความน่าเชื่อถือ [3] ดังนั้น การนำเครื่องขัดผิวโลหะมาใช้จึงเป็นทางออกที่ช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เครื่องขัดผิวโลหะสามารถให้ผลงานที่สม่ำเสมอ แม่นยำ และใช้เวลาน้อยกว่าการขัดด้วยมือ อย่างไรก็ตาม เครื่องขัดผิวโลหะที่จำหน่ายในท้องตลาดมักมีราคาสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการจัดซื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสถานศึกษาที่อาจมีงบประมาณจำกัดมีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องขัดผิวโลหะ ตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับเครื่องขัดโลหะมีหลายชิ้น เช่น Nur et al. [4] พัฒนาเครื่องขัดที่ช่วยลดเวลาเตรียมตัวอย่างโลหะวิทยาได้ถึง 24 นาที พบว่าปัจจัย เช่น เวลาขัด ความเร็วหมุน และความหยาบของกระดาษทราย ส่งผลต่อความละเอียดของพื้นผิว ส่วน A. O. Adebayo et al. [5] ออกแบบเครื่องเจียรและขัดแบบพกพาที่ไร้แรงสั่นสะเทือน ใช้วัสดุในท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุน เครื่องนี้มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับสถาบันอุดมศึกษา และควรพัฒนาต่อด้วยระบบปรับความเร็วและตัวเก็บตัวอย่างหลายตัว อีกหนึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจ A. Tiwari et al. [6] ได้ออกแบบเครื่องขัดแผ่นดิสก์คู่สำเร็จ พบว่าทำงานได้ดีกับตัวอย่างโลหะ ความเร็วเครื่องส่งผลต่อคุณภาพการขัด โดยความเร็วสูงให้ผิวเรียบกว่า เครื่องนี้ใช้งานง่าย บำรุงรักษาน้อย และมีต้นทุนสร้างเพียง 6,530 รูปี ซึ่งถูกกว่าเครื่องใกล้เคียงที่ราคาประมาณ 70,000 รูปี รวมถึงงานของ แมน ฟักทอง และคณะ [7] ที่เน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องขัดโลหะเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิจัยเหล่านี้ แสดงให้เห็นว่า เครื่องขัดผิวโลหะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการขัดด้วยมือในหลายด้าน เช่น ความเรียบของผิว ความสม่ำเสมอ และความเร็วในการขัด นรารักษ์ บุตรชา และคณะ [8] ที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัญหาสำคัญในการเตรียมผิวชิ้นงานโลหะสำหรับการตรวจสอบโครงสร้าง คือ การขาดแคลนเครื่องขัดผิวโลหะที่มีคุณภาพดี ราคาเหมาะสม และใช้งานง่าย วีระวัฒน์ ทองงาม และคณะ [9] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด ที่สามารถตอบโจทย์ความต้องการเหล่านี้ได้ ตัวแปรที่ทำการวิจัยประกอบด้วย ตัวแปรต้น การออกแบบเครื่องขัดผิวโลหะ (จำนวนจานขัด ขนาดจานขัด มอเตอร์ที่ใช้ ระบบส่งกำลัง ระบบระบายความร้อน) ตัวแปรตามประสิทธิภาพของเครื่องขัดผิวโลหะ (ความเร็วในการขัด

ความเรียบของผิว ความสม่ำเสมอของพื้นผิว) ตัวแปรควบคุม วัสดุที่ใช้ทดสอบ (เหล็กเพลา SS400) การวิจัยนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะช่วยให้สถานศึกษามีเครื่องขัดผิวโลหะที่มีคุณภาพดี ราคาเหมาะสม และสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนเสมือนจริง เพื่อฝึกทักษะให้กับนักศึกษา นอกจากนี้ การวิจัยนี้ยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลในประเทศไทย และช่วยลดการนำเข้าเครื่องขัดผิวโลหะจากต่างประเทศอีกด้วย

2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะที่มีระบบขัด 4 จานขัดให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของเครื่องขัดผิวโลหะ 4 จานขัด พิจารณาจากสมรรถนะในการขัด ความเร็ว และคุณภาพของพื้นผิวหลังการขัด

2.3 เพื่อประเมินความคิดเห็นและระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญต่อเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จาน ที่ได้รับการออกแบบสร้าง

3. ขอบเขตของวิจัย

3.1 ออกแบบเครื่องขัดผิวโลหะชนิด 4 จานขัด ขนาดจานขัด 25 เซนติเมตร

3.2 ใช้มอเตอร์ DC 24 โวลต์, 24 แอมป์, 450 วัตต์ จำนวน 2 ตัว พร้อมชุดปรับความเร็วรอบ

3.3 ใช้สายพานเป็นระบบส่งกำลัง

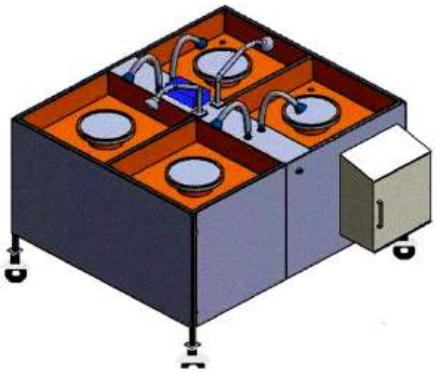
3.4 ระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นระหว่างการขัด

3.5 ใช้เหล็กเพลา SS400 เป็นวัสดุทดลอง

3.6 ทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องในด้านความเร็ว ความเรียบ และความสม่ำเสมอของพื้นผิว

4. ดำเนินงานวิจัย

4.1 ผู้วิจัยออกแบบเครื่องขัดผิวโลหะโดยใช้หลักการยศาสตร์ เพื่อให้สามารถทำงานได้ทั้งในท่านั่งและยืนอย่างสะดวก โดยคำนึงถึงท่าทางการทำงานและสัดส่วนร่างกายของผู้ใช้ ตามหลักการยศาสตร์[10] กำหนดความสูงของโต๊ะทำงานที่ 70-90 เซนติเมตร และพื้นที่ต่อคนที่ 40-60 เซนติเมตร เครื่องขัดผิวโลหะที่ออกแบบเป็นแบบ 4 จานขัด รองรับการทำงาน 4 คน โดยมีขนาดความสูง 80 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตร และยาว 100 เซนติเมตร รองรับการใช้งานตามหลักการยศาสตร์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องขัดผิวโลหะ 4 จาน ออกแบบด้วย SolidWorks

4.2 โครงสร้างและระบบขับเคลื่อน กรอบทำด้วยโลหะแข็งแรงเป็นทรงสี่เหลี่ยม 1 1/2 x 1 1/2 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 100 x 100 x 80 เซนติเมตร ใช้มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 450 วัตต์ 2 ตัว ปรับความเร็วได้ 0-560 รอบต่อนาที ระบบสายพานขับเคลื่อน A-33 จำนวน 4 เส้น พร้อมพลูเลย์ร่องคู่ 2 ตัวและพลูเลย์ร่องเดี่ยว 4 ตัว ใช้จานขัด 4 จาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร รองรับด้วยลูกปืนตุ๊กตา 4 ตัว

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2 (ก) ประกอบมอเตอร์ ข้อต่อสายพาน และเพลาขับ (ข) ชุดจานขัดจำนวน 4 ชุดของเครื่องขัดผิวโลหะ พร้อมการเดินสายไฟสำหรับระบบควบคุมและหลอดไฟแสดงสถานะ (ค) เครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัดประกอบสมบูรณ์ พร้อมตู้ควบคุมไฟฟ้าและระบบจ่ายน้ำหล่อเย็นสำหรับการทดสอบ

4.3 ระบบไฟฟ้าและหล่อเย็น ใช้ Switching Power Supply ขนาด 24 โวลต์ 30 แอมป์ 1 ตัว และ 24 โวลต์ 20 แอมป์ 1 ตัว พร้อมสวิตช์เบรกเกอร์ควบคุมมอเตอร์ ติดตั้งอ่างระบายน้ำหล่อเย็น 4 อ่าง ขนาด 35 x 40 x 10 เซนติเมตร และออกแบบท่อลำเลียงน้ำพร้อมก๊อกหล่อเย็น 4 จุด

4.4 โครงเครื่องและอุปกรณ์เสริม ติดตั้งเฟรมปิดโครงเครื่อง 2 แผ่น พร้อมประตูซ่อมบำรุง 3 บาน ขนาด 60 x 62 x 2 มิลลิเมตร มีกล่องควบคุมชุดปรับความเร็วขนาด 10 x 15 x 10 เซนติเมตร และล้อรถเข็น 4 ล้อ

4.1 สมการการออกแบบเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด

1. ความเร็วเส้นรอบวงของจานขัด (V)

จากสูตรความเร็วตัดเฉือน (Vc) [11]

$$v = N \cdot \pi \cdot D \tag{1}$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบการหมุนของจานขัด (รอบ) V คือ ความเร็วของจานขัด (เมตร/วินาที) D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของจานขัด (เมตร)

สมการถูกแปลงหน่วยความเร็วเป็น เมตร/นาที เพื่อความสะดวก ดังสมการที่ 2

$$V = \frac{\pi . D . N}{60} \tag{2}$$

2. อัตราการขจัดวัสดุ (Rd) [12]

$$Rd = k \cdot P \cdot V \tag{3}$$

เมื่อ *Rd* คือ อัตราการขจัดวัสดุต่อจาน (ตารางเมตร/นาที) *k* คือ ค่าคงที่ของวัสดุ (เมตร/ปาสกาล) *P* คือ ความดันระหว่างจานขัดกับชิ้นงาน (นิวตัน/ตารางเมตร) *V* คือ ความเร็วเส้นรอบวง (เมตร/นาที)

3. อัตราการขจัดรวม (4 จาน)

$$Rd_{total} = 4 \cdot Rd \tag{4}$$

4. เวลาขัดผิว (T) [12]

$$T = \frac{A}{Rd_{total}} \tag{5}$$

เมื่อ *T* คือ เวลาขัดผิว (วินาที) *A* คือ พื้นที่สัมผัสต่อจาน (ตารางเมตร)

5. กำลังงานต่อจานขัด (Pwr) [13]

$$Pwr = \frac{\mu \cdot P \cdot A \cdot V}{60,000} \tag{6}$$

เมื่อ *Pwr* คือ กำลังงานต่อจาน (วัตต์) μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน P คือ แรงกดต่อหน่วยพื้นที่ (นิวตัน/ตารางเมตร)

6. กำลังงานรวม (4 จาน)

$$Pwr_{total} = 4 \cdot Pwr \tag{7}$$

5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เหล็กเพลากลม SS400 ซึ่งมีสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความเหนียว กระบวนการเตรียมชิ้นงานเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E3-11 กลึงเป็นทรงกระบอก Ø1 นิ้ว ยาว 20 มิลลิเมตร การขัดขั้นต้นใช้กระดาษทรายเบอร์ 150–1000 ที่ 100–500 รอบ/นาที ครั้งละ 10 นาที การประเมินผลใช้กล้องดิจิทัล วางกล้องห่างจากชิ้นงานประมาณ 30 เซนติเมตร สภาวะแสงคงที่ นำภาพวิเคราะห์ลักษณะรอยขัดและความสม่ำเสมอของผิวโลหะ

และประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไป จำนวน 3 คน ประเมินด้าน การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวการขัด ลักษณะขอบพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะลาดเอียง และความลาดเอียงบริเวณขอบชิ้นงานทดสอบลดลงเมื่อใช้กระดาษทรายที่มีความละเอียด ความลึกของรอยขัดมีแนวโน้มลดลง สังเกตุได้จากลักษณะพื้นผิวรอยขัด ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ขนาดเม็ดขัดและพลังงานจลน์ของจานขัดส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานที่ผ่านการขัด 300 รอบ/นาที (ตัวแปรควบคุมที่ 60 ให้ผิวเรียบที่สุด ลดรอยขีดข่วนได้ดีที่สุด

ตารางที่ 5.1 ผลการขัดผิวโลหะด้วยเครื่อง 4 จานขัดที่ต่างกันตามความละเอียดของกระดาษทราย

เหล็กเพลากลม SS400			
อันดับเริ่ม	**กระดาษทราย (เบอร์)**	**อัตราการหมุน (รอบ/นาที)**	**สิ่งที่ได้จากการขัด (ใช้เวลา 10 นาที)**
1	180	200	
2	400	200	
3	600	200	
4	800	200	
5	1000	200	

จากตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการขัดให้ได้ระนาบของเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด ผลการทดสอบการขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด พบว่า ความละเอียดของกระดาษทรายมีผลต่อความเรียบของชิ้นงานอย่างชัดเจน กระดาษทรายเบอร์ 180 มีความละเอียดต่ำสุด ทำให้ชิ้นงานมีลายเส้นชัดเจนและยังไม่เห็นระนาบที่ขัด กระดาษทรายเบอร์ 400 มีความละเอียดสูงขึ้น ลดลายเส้นลง และเริ่มเห็นระนาบของชิ้นงาน กระดาษทรายเบอร์ 600 ขัดได้เรียบขึ้น ลายเส้นหายไป มองเห็นระนาบและส่วนที่ตกระนาบได้บางส่วน กระดาษทรายเบอร์ 800 ชิ้นงานเรียบมากขึ้น และสามารถเห็นส่วนที่ตกระนาบได้ชัด กระดาษทรายเบอร์ 1,000 ให้ความเรียบและเงาสูงสุด ส่วนที่ตกระนาบยังคงมีเล็กน้อย

ตารางที่ 5.2 ผลการขัดผิวโลหะด้วยเครื่อง 4 จานขัดที่ต่างกันตามความละเอียดของกระดาษทราย

เหล็กเพลากลม SS400			
อันดับเริ่ม	**กระดาษทราย (เบอร์)**	**อัตราการหมุน (รอบ/นาที)**	**สิ่งที่ได้จากการขัด (ใช้เวลา 10 นาที)**
1	150	100	
2	150	200	
3	150	300	
4	150	400	
5	150	500	

จากตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบการขัดผิวโลหะให้ได้ระนาบโดยใช้เครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด ซึ่งดำเนินการโดยการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ พบว่าโลหะทั้ง 5 ชิ้นที่ได้รับการขัดภายใต้ค่าความเร็วรอบที่แตกต่างกันแสดงลักษณะของพื้นผิวที่แตกต่างกันไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโลหะชิ้นที่ได้รับการขัดด้วยอัตราการหมุน 300 รอบ/นาที โดยใช้ชุดปรับความเร็วรอบที่ระดับ 60 ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ถูกขัดด้วยความเร็วรอบอื่น ๆ การเพิ่มระยะเวลาการขัดทำให้รอยขีดข่วนบนพื้นผิวโลหะลดลง แม้ว่าจะยังคงปรากฏร่องรอยจากกระบวนการเตรียมชิ้นงานอยู่บ้างก็ตาม อย่างไรก็ตาม อัตราการหมุน 300 รอบ/นาที เป็นค่าที่ให้พื้นผิวที่เรียบเนียนและ

เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเร็วรอบที่แตกต่างกัน อัตราการหมุน 300 รอบ/นาที โดยใช้ค่าการตั้งค่าชุดปรับความเร็วที่ระดับ 60 ถือเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขัดผิวโลหะในกระบวนการทดลองนี้

ตารางที่ 5.3 ผลการประเมินทั้ง 4 ด้าน

ผลการประเมินทั้ง 4 ด้าน	$\bar{x}$	%	SD
1. ด้านคุณสมบัติของเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัดที่ได้ออกแบบและสร้าง	4.58	91.6	0.54
2. ด้านผลที่ได้ของเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัดที่ได้ออกแบบและสร้าง	4.66	93.3	0.38
3. ด้านความเหมาะสมในการออกแบบการเลือกใช้วัสดุและการสร้างเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด ที่ได้ออกแบบและสร้าง	4.20	84.9	0.39
4. ด้านคู่มือการใช้เครื่องและการบำรุงรักษา	4.44	88.8	0.73

จากตารางที่ 5.3 พบว่าการประเมินประสิทธิภาพผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไป จำนวน 3 คน มีความคิดเห็นสอดคล้องกันในด้านคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด ที่ได้ออกแบบและสร้าง ค่าเฉลี่ย 4.58 คิดเป็นร้อยละ 91.6 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 80 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.54 นอกจากนี้ ผลการประเมินด้านผลลัพธ์ของเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด พบว่าการประเมินประสิทธิภาพผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไป จำนวน 3 คน มีความเห็นสอดคล้องกัน ค่าเฉลี่ย 4.66 คิดเป็นร้อยละ 93.3 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นกัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 ยิ่งไปกว่านั้น ผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไปยังมีความเห็นสอดคล้องกันในด้านการออกแบบ การสร้าง และการเลือกใช้วัสดุของเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด ค่าเฉลี่ย 4.20 คิดเป็นร้อยละ 84.9 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 สุดท้ายนี้ ในด้านคู่มือการใช้และการบำรุงรักษาเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด ผู้ที่เคยใช้เครื่องขัดแบบทั่วไป จำนวน 3 คน ก็มีความเห็นสอดคล้องกัน ค่าเฉลี่ย 4.44 คิดเป็นร้อยละ 88.8 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.73

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

การออกแบบสร้างเครื่องขัดผิวโลหะระบบ 4 จานขัด พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ คือ ขนาดเม็ดกระดาษทราย และ อัตราการหมุนจานขัด กระดาษทรายขนาดกลาง เบอร์ 400 และ 600 เหมาะสมกับความเร็ว 300 และ 400 รอบ/นาที กระดาษทรายละเอียด เบอร์ 800 ทำงานได้ดีที่อัตราการหมุนต่ำ 100 200 และ 300 รอบ/นาที กระดาษทรายเบอร์ 1000 ที่อัตราการหมุน 500 รอบ/นาที ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความเรียบและความแม่นยำ เนื่องจากเม็ดขัดขนาดเล็กช่วยลดรอยขีดลึกและควบคุมอุณหภูมิผิวได้ดี[14] อัตราการหมุนสูงเกิน 500 รอบ/นาที ทำให้เกิดผิวฝ้าจากออกซิเดชัน อัตราการหมุนต่ำกว่า 100 รอบ/นาที ไม่สามารถขจัดความไม่สมบูรณ์ของผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ที่เคยใช้งานเครื่องขัดมีความพึงพอใจต่อเครื่องขัดแบบ 4 จาน ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับ เครื่องขัดผิวโลหะนี้ยืนยันว่ามีประสิทธิภาพและความคุ้มค่าสูง ได้รับคะแนนเฉลี่ยในระดับดีถึงดีมากในทุกด้าน ได้แก่ ด้านคุณสมบัติของเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด ที่ได้ออกแบบและสร้าง 4.58/5 ด้านผลที่ได้ของเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัดที่ได้ออกแบบและสร้าง 4.66/5 ด้านความเหมาะสมในการออกแบบการเลือกใช้วัสดุและการสร้างเครื่องขัดผิวโลหะแบบ 4 จานขัด ที่ได้ออกแบบและสร้าง 4.20/5 ด้านคู่มือการใช้เครื่องและการบำรุงรักษา 4.44/5 ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานของ [15] ที่ระบุว่าการออกแบบระบบขัดผิวที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือได้ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ [16] ที่เน้นความสำคัญของการควบคุมอุณหภูมิระหว่างกระบวนการขัดผิว เพื่อป้องกันความเสียหายจากความร้อน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพพื้นผิวโดยตรง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ เชื่อมประกอบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Whang, S. H. (Ed.). (2011). *Nanostructured metals and alloys: processing, microstructure, mechanical properties and applications*. Elsevier.

[2] Vander Voort, G. F. (Ed.). (2004). *Metallography and microstructures*. ASM international.

[3] Pusavec, F., & Kenda, J. (2014). The transition to a clean, dry, and energy efficient polishing process: an innovative upgrade of abrasive flow machining for simultaneous generation of micro-geometry and polishing in the tooling industry. *Journal of cleaner production*, *76*, 180-189.

[4] A. Apollo, R. Nur, M. A. Suyuti, and Muh. S. Madjid, “Development of polishing machine for preparation metallographic specimen with re-manufacturing,” vol. 885, no. 1, pp. 012016–012016, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899x/885/1/012016.

[5] A. O. Adebayo et al., “Design and fabrication of variable speed abrasive grinding and polishing machine for metallographic sample preparation,” *Nigerian Journal of Engineering*, vol. 30, no. 2, pp. 10–10, Jan. 2023, doi: 10.5455/nje.2023.30.02.02.

[6] A. Tiwari, H. Vasnani, R. Jain, H. Swarnkar, H. Tanwar, and S. Srivastava, “Fabrication of low-cost metal polishing machine for preparation of microstructure samples of lightweight alloy and composite material,” *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, vol. 19, no. 3, pp. 112–123, Jun. 2024, doi: 10.30574/gjeta.2024.19.3.0105.

[7] แมน ฟักทอง, เกริกชัย มีหนู, ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชมนาคจาด, ธงชัย เครือผือ, กันตภณ โล่นพันธ์ (2567). การออกแบบและพัฒนาเครื่องขัดผิวโลหะ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ปีที่ 6 ฉบับที่ 2

[8] นรารักษ์ บุตรชา, สุรเชษฐ์ ซ้อนกลิ่น, สุรัตน์ วรรณศรี, สุรินทร์ มณีศรี และธวัช วิวัตน์เจริญ. (2558, กันยายน). เครื่องขัดเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับงานวัสดุ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6, วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย, ขอนแก่น.

[9] วีระวัฒน์ ทองงาม และจำนง ชูด้วง. (2548). สร้างและพัฒนาเครื่องขัดกระดาษทราย. (รายงานวิจัย). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง, ลำปาง.

[10] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ. (2024). การออกแบบและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องขัดชิ้นงานเหล็กด้วยหลักการทางการยศาสตร์และเศรษฐศาสตร์. Journal of Engineering and Innovation, 17(1), 138-148.

[11] Madison, J. (1996). *CNC machining handbook: basic theory, production data, and machining procedures*. Industrial Press Inc..

[12] Iqbal, A. A., & Khan, A. A. (2010). Modelling and analysis of MRR, EWR and surface roughness in EDM milling through response surface methodology. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, *5*(2), 154-162.

[13] Tönshoff, H. K., Peters, J., Inasaki, I., & Paul, T. (1992). Modelling and simulation of grinding processes. CIRP annals, 41(2), 677-688.

[14] Jain, V. K. (2008). Abrasive-based nano-finishing techniques: an overview. *Machining Science and Technology*, *12*(3), 257-294.

[15] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ 2565. การออกแบบและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องขัดชิ้นงานเหล็กด้วยหลักการทางการยศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มีนาคม 2567

[16] ธนากร เกียรติขวัญบุตร และสุชาติ จันทรมณย์. (2564). การออกแบบและสร้างเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่. วารสารวิชาการที่ประชุมสภาข้าราชการ พนักงาน และลูกจ้างมหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย, 10(3). 175-185.

ผลของการชุบผิวแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนจากถ่านยูคาลิปตัส

The Effect of Surface Hardening of Sugarcane Harvester Blades by Carburizing Process Using Eucalyptus Charcoal as a Carbon Source

สรวิชญ์ สุพรรณกลาง[1] ชัยวัฒน์ พีรทัศสุวรรณ[2] มาโนช ริทินโย[3] และสมบัติ น้อยมิ่ง[3*]
[1]นักศึกษาสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3]E-mail: sombut.no@rmuti.ac.th

Sorawit Suphangklang[1], Chaiyawat Peeratatsuwan[2], Manote Rithinyo[3], and Sombut Noyming[3*]
[1]Production Engineering students, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan,
[2]Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan,
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan,
[3]E-mail: sombut.no@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่มีผลต่อค่าความแข็งและคุณสมบัติทางกลของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C โดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนจากถานไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) ในส่วนผสมสารเพิ่มคาร์บอนต่อสารเร่งปฏิกิริยา 70 : 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นนำมาชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจุ่มชุบให้เย็นตัวในน้ำ และนำไปอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นทำการทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope : OM) และนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19 จากการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็ง พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง มีผลต่อค่าความแข็งโดยที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเวลาที่ 60 นาที จะให้ค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C มากที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของใบมีดตัดอ้อยที่มีตามท้องตลาด พบว่า ค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C มีค่าความแข็งที่มากกว่าใบมีดที่มีตามท้องตลาด และทำการทดลองหาปัจจัยของอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง พบว่า ที่อุณภูมิ 900 องศาเซลเซียส อบเพิ่มคาร์บอนเป็นเวลา 60 นาที เป็นช่วงของอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบเพิ่มคาร์บอน ส่งผลให้ได้ค่าความแข็งมากกว่าใบมีดในรถตัดอ้อยที่มีตามท้องตลาด

คำสำคัญ: เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C, การแพ็กคาร์เบอไรซิง, ถ่านไม้ยูคาลิปตัส, แคลเซียมคาร์บอเนต

Abstract

This thesis aims to investigate the effects of temperature and time in the carburizing process on the hardness and mechanical properties of sugarcane harvester blades made from medium carbon steel (S45C). The carbon source used was eucalyptus charcoal mixed with calcium carbonate ($CaCO_3$) at a weight ratio of 70:30. The carburizing process was conducted at temperatures of 850, 900, and 950°C for durations of 30, 60, and 90 minutes. Following the carburizing treatment, the specimens were quenched at 800°C for 30 minutes, followed by air cooling. They were then tempered at 180°C for 30 minutes and allowed to cool in air. The hardness was measured using a micro-Vickers hardness tester, while the microstructure was examined using an optical microscope (OM). Statistical analysis was performed using Minitab 19 software. The experimental results revealed that both the carburizing temperature and time significantly influenced the hardness of the sugarcane harvester blades. The highest hardness was observed at a carburizing temperature of 900°C for 60 minutes. When compared with the hardness of commercially available sugarcane harvester blades, those made from S45C medium carbon steel exhibited superior hardness. Further analysis indicated that the optimal carburizing temperature and time were 900°C for 60 minutes, which resulted in a hardness greater than that of commercially available blades.

Keywords: Medium carbon steel S45C, Carburizing, Eucalyptus Charcoal, Calcium Carbonate

1.บทนำ

ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ ในปัจจุบันภาคการเกษตรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างมาก จากข้อมูลการเกษตรของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่าประเทศไทยมีจำนวนประชากรในภาคการเกษตรมากถึง 25 ล้านคนหรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของประชากรทั้งหมดในประเทศ ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งรองรับแรงงานที่ขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ และภาคการเกษตรยังสามารถสร้างรายได้ต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศได้ประมาณร้อยละ 9 ของ GDP (Gross Domestic Product) โดยมีผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญ อาทิ ข้าว ยางพารา อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน ที่เป็นสินค้าทางการเกษตรและมีมูลค่าการส่งออกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 80 ของภาคการเกษตร โดยเฉพาะข้าว ยางพารา และอ้อยที่ไทยเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกสูงสุดเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ในปี 2563 ประเทศไทยได้รับการจัดอันดับเป็นผู้ผลิตและส่งออกอาหารในอันดับที่ 11 ของโลกซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินการของภาครัฐที่ต้องการพัฒนาและส่งเสริมให้สินค้าทางการเกษตรและอาหารของไทยให้สามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้ภายใต้นโยบาย “ครัวไทยสู่ครัวโลก” [1]

ภาคการเกษตรเป็นแหล่งสร้างรายได้สำคัญแก่ครัวเรือนของประชากรจำนวนมาก หนึ่งในนั้นคืออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นอาชีพหลักรองลงมาจากข้าว และยางพารา เนื่องจากอ้อยเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศที่ทำรายได้สูง และเป็นหนึ่งในรายได้หลักของประเทศนอกจากนั้นอ้อยยังเป็นพืชที่ทำให้เกิดการสร้างงานในเกษตรกรรมหลายครัวเรือน และมีแนวโน้มความต้องการที่สูงขึ้นในครัวเรือน เนื่องจากความต้องการในการใช้ทำน้ำตาลหรือผลิตภัณฑ์จากอ้อยเป็นปริมาณมาก [2] ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นทั่วโลก ระบบการเกษตรได้เปลี่ยนจากการใช้แรงงานคนมาเป็นการใช้เครื่องจักรเนื่องจากเพื่อลดปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการขาดแคลนแรงงาน โดยเฉพาะในกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ขาดแคลนแรงงานอย่างหนัก ซึ่งในกระบวนการตัดอ้อยนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ การเก็บเกี่ยว

อ้อยให้ทันในการเปิดโรงงานรับหนีบอ้อยในการเก็บเกี่ยวอ้อยส่วนใหญ่จะต้องใช้คนในการตัด สำหรับการตัดอ้อยเริ่มด้วยการใช้มีดริดใบออก จากนั้นตัดลำต้นชิดดินแล้วตัดปลายยอดอ่อนทิ้งไป นำอ้อยที่ตัดมามัดรวมกันมัดละ 8-10 ลำทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด และน้ำหนักของอ้อยวางมัดอ้อยเป็นแถวๆ เพื่อสะดวกในการบรรทุกหลังจากนั้นจึงใช้รถบรรทุกเข้าไปบรรทุกในไร่ เพื่อส่งเข้าโรงงานรับหนีบ ต่อไป [3]

สิ่งที่สำคัญในการเก็บเกี่ยวอ้อยให้ทันในการเปิดโรงงานรับหนีบอ้อย คือ มีอุปกรณ์ช่วยใน การเก็บเกี่ยว ปัจจุบันมีการใช้รถในการตัดอ้อยมากขึ้น เพราะรถตัดอ้อยนั้นสามารถตัดอ้อยได้ครั้งละประมาณ 35 - 40 ไร่ต่อวัน หรือประมาณ 500 – 600 ตันต่อวัน ซึ่งรถตัดอ้อยนั้นประกอบไปด้วยใบมีด 2 ประเภท คือ ใบมีดตัดโคนและใบมีดสับท่อน ซึ่งใบมีดเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นวัสดุชิ้นแรกที่สัมผัสกับต้นอ้อย เพื่อตัดอ้อยให้ขาดจากพื้นดินและสับเป็นท่อนๆ ให้ง่ายต่อการจัดเก็บ [4] รถตัดอ้อยนั่นมีความสามารถในหลายๆ ด้าน และมีประสิทธิภาพในการตัดอ้อยสูงกว่าการตัดอ้อยด้วยมือแต่รถตัดอ้อยในปัจจุบันที่ถูกนำมาใช้ในประเทศนั้นมีราคาที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากรถตัดอ้อยที่มีคุณภาพต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบการเก็บเกี่ยวอ้อย ซึ่งในการเก็บเกี่ยวอ้อยนั้นสิ่งที่เกิดปัญหา คือ บริเวณใบมีดตัดอ้อยที่ติดบนรถตัดอ้อย โดยใบมีดตัดโคนอ้อยนั้นจะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า เนื่องจากต้องมีการสัมผัส เสียดสีและรับแรงกระแทกกับพื้นดิน ทราย รวมไปถึงก้อนหิน และตอไม้ที่อยู่ในไร่ จึงต้องพิจารณาทางด้านราคา และอายุการใช้งานต่อการลับคมมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ตัดได้ก่อนการหยุดลับคม ในการลับคมใบมีดแต่ละครั้งต้องหยุดการทำงาน เพื่อถอดใบมีดตัดออกมาลับคมในการเตรียมอุปกรณ์การลับกระบวนการลับและประกอบใบมีดตัดทำให้เสียเวลาในการทำงาน ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำใบมีดตัดอ้อย และสมบัติทางกลของวัสดุเหล่านั้นจึงมีความสำคัญและมีผลต่ออายุการใช้งานของใบมีดตัดอ้อย จึงได้นำกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อนมีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตของใบมีดตัดอ้อย เพื่อให้มีคุณสมบัติด้านความแข็งอีกทั้งสามารถลดการสึกหรอ และยืดอายุการใช้งานของใบมีดได้อีกด้วย การที่เหล็กกล้ามีความแข็ง จะเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลให้ดียิ่งขึ้น การชุบแข็งจะทำให้ได้โครงสร้างสุดท้ายของเหล็กเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์ ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ โดยปัจจัยที่ต้องควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา เหล็กที่สามารถทำการชุบแข็งได้ จะมีปริมาณคาร์บอน 0.3 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป สามารถทำการชุบแข็งได้ดีจากการศึกษางานวิจัยของ ถนอม ลี้ตระกูล [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนามีดตัดอ้อยเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของมีดตัดอ้อย โดยทำการอบชิ้นงานทดสอบมีดตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กเกรด SUP9 อบที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาแช่ที่ 20 นาที และชุบด้วยน้ำมันแล้ว จึงทำการอบคลายความเครียดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาอบแช่ 40 นาที ทำให้ชิ้นงานที่ทดสอบมีดตัดอ้อยทดลองมีค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 457 HV และค่าความแข็งเฉลี่ยของมีดตัดอ้อยที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าความแข็งอยู่ที่ 458 HV ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากมีดตัดอ้อยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ด้วยกระบวนการทางความร้อนโดยใช้กระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง (Pack carburizing) โดยใช้ถ่านไม้ยูคาร์ลิปตัสเป็นสารเพิ่มคาร์บอน และสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในการชุบ โดยศึกษาผลอุณหภูมิ เวลา ที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบชุบแข็งเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลระหว่างใบมีดตัดอ้อยจากท้องตลาดและจากอุตสาหกรรมให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพการตัดอ้อยของใบมีดตัดอ้อย

2.วิธีการดำเนินงาน

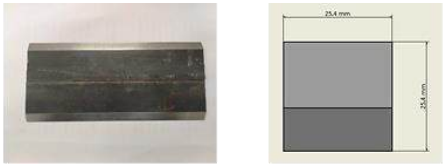
การชุบแข็งที่ผิวด้วยกรรมวิธีการแพ็กคาร์เบอไรซิง เพื่อให้เหมาะกับสมบัติหลังการชุบแข็งที่ดี ได้ทำการออกแบบการทดลอง และดำเนินการทดลองเตรียมวัสดุที่ใช้

เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C และใช้ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสเป็นสารเพิ่มคาร์บอนผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แล้วทำการแพ็กคาร์เบอไรซิงด้วยอุณหภูมิ 850, 900, และ 950 องศาเซลเซียส เวลาในการแพ็กคาร์เบอไรซิง 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวในน้ำ และนำมาทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบชุบต่อสมบัติทางกลโดยใช้กรรมวิธีการแพ็กคาร์เบอไรซิง

2.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1.ชิ้นงานทดสอบ

ใช้เหล็กกล้ากล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ความหนา 6 มิลลิเมตร ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยนำมาขึ้นรูปด้วยการเจียระไน และนำมาตัดเพื่อให้ได้ขนาดความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร และยาว 25.4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข)



(ก) การขึ้นรูปโดยการเจียระไน (ข) ส่วนที่ตัดเป็นชิ้นทดสอบ

รูปที่ 1 ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

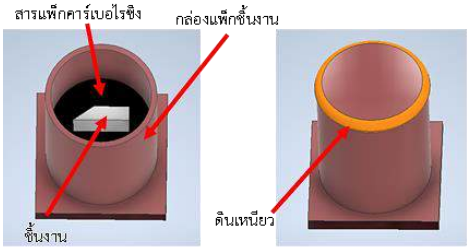
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ส่วนผสมทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก S45C

ส่วนประกอบของธาตุทางเคมี						
C	Si	S	Mn	Ni	Cr	Cu
0.42	0.24	0.00075	0.64	0.0134	0.05	0.124

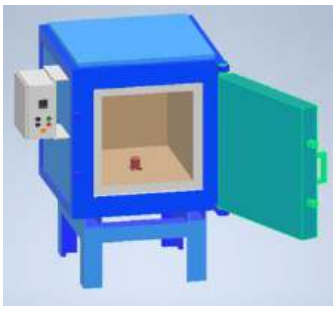
2. กระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง

การเตรียมสารสำหรับการชุบผิวแข็ง โดยใช้ผงถ่านที่ได้จากถ่านไม้ยูคาลิปตัส และสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต นำมาผสมในอัตราส่วนผสมนำชิ้นงานทดสอบและสารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ผสมตามสัดส่วนที่กำหนดไว้บรรจุลงในกล่องพร้อมชิ้นงานทดสอบ จากนั้นใช้ใยแก้วปิดทับลงไปแล้วทำการปิดฝากล่องและนำดินเหนียวมาปิดบริเวณฝาให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศเข้าไปทำการเผาไหม้กับคาร์บอนในช่วงที่มีความร้อน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการบรรจุชิ้นงานชุบแข็งผิว

จากนั้นนำกล่องแพ็กคาร์เบอไรซิงเข้าเตาเผาอบแสดงดังรูปที่ 3 แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 850, 900, และ 950 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้เวลาในการอบแช่ 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ เมื่อทำการอบแช่ครบตามเวลากำหนดแล้ว ทำการลดอุณหภูมิลงมาที่ 800 องศาเซลเซียส เพื่อทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิออสเทไนท์ จากนั้นทำการอบแช่เป็นเวลา 30 นาที หลังจากอบแช่ครบตามเวลากำหนดแล้ว นำชิ้นทดสอบออกจากเตาอบชุบแล้วจุ่มชุบให้เย็นตัวในน้ำทันที จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยการแพ็กคาร์เบอไรซิง และผ่านกระบวนการชุบแข็งแล้วนำมาทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการอบแช่ครบตามเวลากำหนดนำชิ้นงานออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 3 เตาอบชุบในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

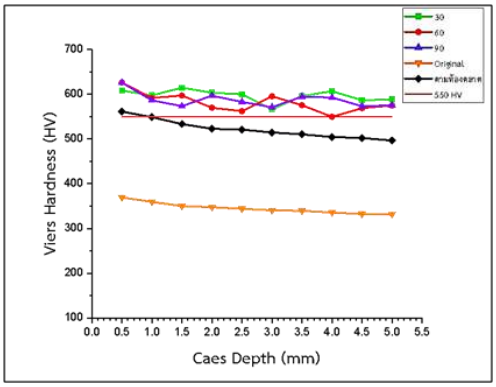
3. ทดสอบค่าความแข็ง

ทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Macro Vickers) ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นการวัดค่าความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นพีระมิดฐานสามเหลี่ยมที่น้ำหนักแรงกด 300 กรัมแรง เป็นเวลา 10 วินาที โดยการวัดค่าความแข็งจำนวน 10 จุด โดยเริ่มวัดที่จุดแรกขอบชิ้นงาน 0.5 มิลลิเมตร จุดต่อไปให้ห่างจากจุดแรกทุก ๆ 0.5 มิลลิเมตร การวัดค่าความแข็งจะดำเนินไปจนกระทั่งถึง ระยะ 5 มิลลิเมตร

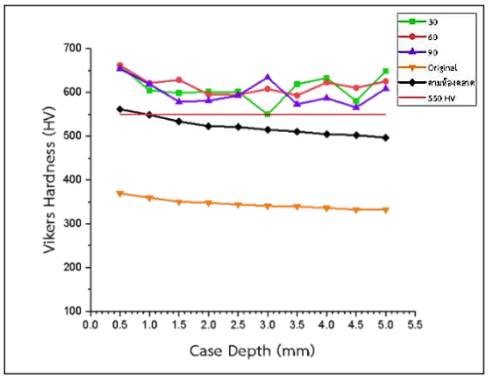
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

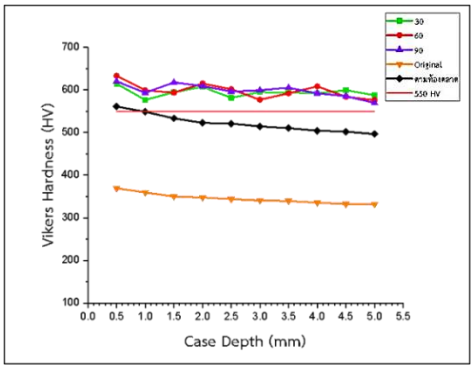
ผลการทดสอบค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และการอบคืนตัว ด้วยสารเพิ่มคาร์บอนจากผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงการชุบแข็งและการอบคืน โดยมีสารเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากแคลเซียมคาร์บอเนต แล้วทำการกดวัดค่าความแข็งแบบไมโครวิเกอร์ (Micro Vickers) จากนั้นนำผลการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบกับค่าความแข็งระหว่างใบมีดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C พบว่า ค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจากเหล็กเดิมอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความแข็งของเหล็กเดิมมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 345 HV และค่าความแข็งของใบมีดตัดอ้อยที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดจะมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 522 HV ซึ่งน้อยกว่าค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง



รูปที่ 4 กราฟค่าความแข็งหลังผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 กราฟค่าความแข็งหลังผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 กราฟค่าความแข็งหลังผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

3.2 วิเคราะห์ทางสถิติ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง DOE (Design Of Experiment) มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็ง โดยเลือกการออกแบบการทดลองในรูปแบบ General full factorial design ซึ่งในการทดลองจะนำค่าปัจจัยต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผลเพื่อจะได้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัย และทราบถึงปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความแข็ง การหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มีค่าความแข็ง

1 อิทธิพลของปัจจัยที่มีส่งผลต่อค่าความแข็ง

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงใบมีดในรถตัดอ้อย โดยใช้โปรแกรม Minitab19 ในการตรวจสอบคุณภาพของชุดข้อมูลวิเคราะห์การกระจายตัว ความผันแปร และความเป็นอิสระต่อกันของความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Test for normality) ของค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ได้จากการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่ใช้ในการทดลอง โดยตั้งสมมติฐาน คือ

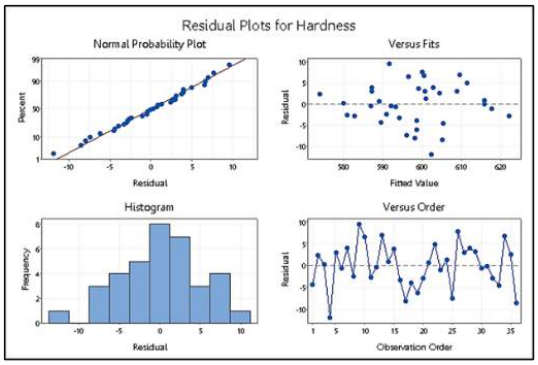
สมมติฐานระหว่างอุณหภูมิ และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อค่าความแข็ง

H_0 = อุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

H_1 = อุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนไม่มีผลต่อค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

2 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยทางผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม Minitab 19 ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลของผลการทดสอบค่าความแข็งรวมถึงการตรวจสอบสมมุติฐานด้วยหลักทางสถิติ และตรวจสอบค่าความแปรปรวนเมื่อทราบถึงข้อมูลค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยจากการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง แล้วจำเป็นที่จะต้องทราบความเหมาะสมของข้อมูลที่นำมาสอบว่ามีความปกติของข้อมูลความผันแปรและการกระจายตัวเป็นอย่างไรด้วยการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเมื่อวิเคราะห์ผลแล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงนำข้อมูลไปทดสอบการวิเคราะห์แบบ Full Factorial เพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในการทดลอง โดยต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Test for normality) ทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ของค่าความแข็งใบมีดในรถตัดอ้อย ในการทดสอบว่ามีความเหมาะสมในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์หรือไม่



รูปที่ 7 การวิเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อย แสดงดังในรูปที่ 7 จะแสดงกราฟแบบ Four in one ข้อมูลที่ได้พบว่า

1.การทดสอบหาค่าเศษตกค้างว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ (Normal Probability Plot) ของค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่จะทำการทดลอง โดยตั้งสมมุติฐาน คือ H_0 : ค่าเศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ H_1 : ค่าเศษตกค้างไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบด้วย Anderson - Darling ของค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ามีค่า P-Value = 0.105 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่าเศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

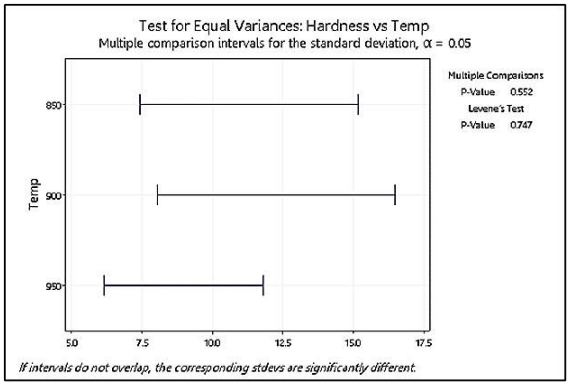
2.การทดสอบหาค่าความแปรปรวนของเศษตกค้างว่าเท่ากันทุกกลุ่มหรือไม่ (Homogeneity of Variance) ของค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่จะทำการทดลอง ดังนี้

2.1 สำหรับการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้าง (Homogeneity of Variance) ของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็งที่ได้จากการทดลอง โดยตั้งสมมุติฐาน คือ

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างไม่เท่ากันทุกกลุ่ม

จากผลการวิเคราะห์ค่า Multiple Comparisons มีค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองมีค่า P-value = 0.552 ในขณะเดียวกันค่า Levene's test มีค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองมีค่า P-value = 0.747 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน แสดงได้ดัง รูปที่ 8



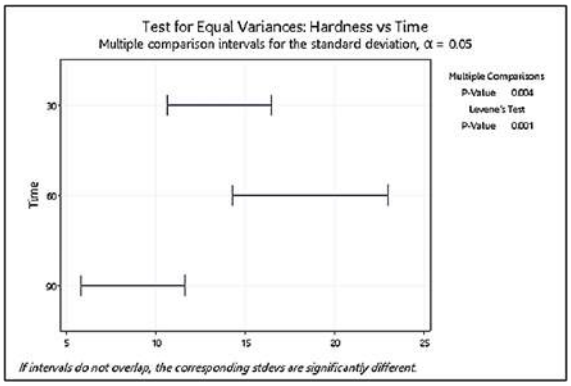
รูปที่ 8 การทดสอบ ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้าง (Homogeneity of Variance)

2.2 สำหรับการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้าง (Homogeneity of Variance) ของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็งที่ได้จากการทดลอง โดยตั้งสมมุติฐาน คือ

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างไม่เท่ากันทุกกลุ่ม

จากผลการวิเคราะห์ค่า Multiple Comparisons มีค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองมีค่า P-value = 0.004 ในขณะเดียวกันค่า Levene's test มีค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างของอุณภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองมีค่า P-value = 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ซึ่งแสดงว่าค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้างไม่เท่ากันทุกกลุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 9



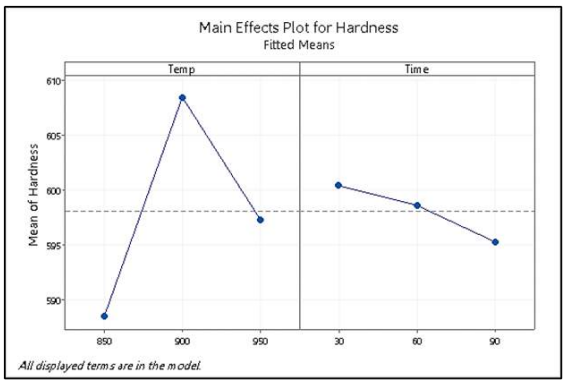
รูปที่ 9 การทดสอบ ค่าความแปรปรวนของค่าเศษตกค้าง (Homogeneity of Variance) ของเวลาที่มีผลต่อความแข็ง

3.การทดสอบหาค่าเศษตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ (Regression) จะทำการทดลอง โดยตั้งสมมุติฐาน คือ H_0 : ค่าเศษตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

H_1 : ค่าเศษตกค้างไม่มีความเป็นอิสระต่อกัน จากการตรวจสอบข้อสมมุติฐานหลักทางสถิติทั้ง 2 ส่วน คือ ค่าเศษตกค้างว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) และค่าความแปรปรวนของเศษตกค้างว่าเท่ากันทุกกลุ่ม (Homogeneity of Variance) จากผลการวิเคราะห์ด้วย Durbin-Watson statistic โดยค่าRegression มีค่า P-Value = 0.124 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกันและมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลจากปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัย จะทำการวิเคราะห์ค่า Plots for Hardness ด้วย

กราฟ Main Effects Plots for Hardness จะแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความแข็งเป็นแบบเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า เมื่ออุณหภูมิ และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงทำการอบตามเวลาที่กำหนด โดยจะใช้อุณหภูมิอยู่ที่ 950 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มคาร์บอนจะอยู่ที่ 30, 60 และ 90 นาที จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 850, 900, และ 950 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30 นาที



รูปที่ 10 กราฟวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลจากปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัย จะทำการวิเคราะห์ค่า Factorial Plots for Hardness ด้วยกราฟ Interaction Plots for Hardness จะแสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าความแข็งเป็นแบบเส้นตรง พบว่า ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ 30, 60 และ 90 นาที มีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความแข็งเท่ากับ 577, 586 และ 593 HV ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปรับในช่วงของเวลาที่แตกต่างกันจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความแข็งเท่ากับ 610, 616 และ 599 HV ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ 60 นาที ให้ค่าความแข็งมากที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 850, 900, และ 950 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 60 และ 90 นาที มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน โดยค่าความแข็งเท่ากับ 594, 598 และ 599 HV ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 60 นาที จะให้ค่าความแข็งมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) อุณหภูมิ และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน จากตารางที่ 6 พบว่าค่า P-Value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 แสดงให้เห็นว่ายอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 นั่นคืออุณหภูมิ และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

จากนั้นจึงพิจารณาอิทธิพลหลักของอุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอน พบว่า มีค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าความแข็ง ซึ่งแสดให้เห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน ปัจจัยหลักของอุณหภูมินั้นมีผลต่อค่าความแข็งมีค่า P-Value ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α = 0.05 จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญรวมทั้งระดับของปัจจัยระหว่างอุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอนส่งผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสำคัญ (R2) จะมีค่า R-sq = 83.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ายอมรับได้และค่า R-sq (adj) = 75.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียง R2 จากผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

Factor Information

Factor	Levels	Values		
Temp	3	850	900	950
Time	3	30	60	90

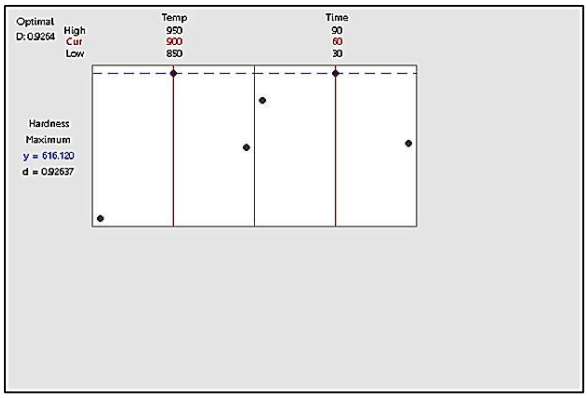
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	4332	393.81	10.94	0.000
Blocks	3	827	275.77	7.66	0.001
Linear	4	2546	636.44	17.68	0.000
Temp	2	2384	1192.0	33.12	0.000
Time	2	162	80.82	2.25	0.128
2 Way Interaction	4	958	239.7	6.66	0.001
Temp*Time	4	958	239.7	6.66	0.001
Error	24	863	36		
Total	35	5195			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
5.99975	83.37%	75.75%	62.59%

การวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของอุณภูมิ และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab 19 พบว่า ผลการทดลองระบุว่าค่า D = 0.92637 แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งจะหมายความว่าค่าความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์เนื่องจากค่า D เข้าใกล้ 1 แสดงให้ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง จะแสดงให้เห็นได้ว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ดีที่สุดต้องใช้อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอยู่ที่ 60 นาที จึงจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการอบเพิ่มคาร์บอนให้กับใบมีดในรถตัดอ้อยที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ระดับปัจจัยอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

4.การอภิปรายผล

จากการนำเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C มาทำการขึ้นรูปเป็นใบมีดที่ใช้ในรถตัดอ้อยโดยนำมาทำการอบเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงด้วยสารเพิ่มคาร์บอนจากผงถ่านไม้ยูคาลิปตัส และสารเร่งปฏิกิริยาจากแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนผสม 70 : 30 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที แล้วทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 30 นาที แล้วจุ่มชุบในน้ำทันที หลังจากนั้นนำชิ้นงานทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งมี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยของอุณหภูมิ และปัจจัยของเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับอุณหภูมิของกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่สูงมากขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงมากขึ้นส่งผลให้พลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้คาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้น และทำให้คาร์บอนสามารถละลายเข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้นโดยจะ

เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงมากขึ้น ความสามารถในการละลายของคาร์บอนออสเทนไนต์จะเพิ่มสูงมากขึ้น

อีกปัจจัยหนึ่งของกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่มีผลต่อค่าความแข็ง คือ เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน จะเห็นได้ว่าเมื่อช่วงเวลาที่อบเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เพราะเวลาอบที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้คาร์บอนสามารแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทดสอบการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที ที่ว่าค่าความแข็งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนให้ค่าความแข็งโดยปริมาณของคาร์บอนที่สูง เพราะอะตอมของคาร์บอนมีเวลามากพอที่จะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็ก

5.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ใบมีดมีค่าความแข็งที่ 454 HV จากนั้นได้นำใบมีดในรถตัดอ้อยมาปรับปรุงคุณสมบัติผ่านการอบชุบที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแช่ที่เวลา 30 นาที แล้วชุบด้วยน้ำมันจากนั้นนำมาทำการอบคืนตัวจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นค่าความแข็งของใบมีดในรถตัดอ้อยจะมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าต้านทานแรงกระแทกจะสูงขึ้น จากการหาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบคืนตัวของใบมีดในรถตัดอ้อย จะได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบคืนตัวที่ให้ค่าความแข็งที่ดีที่สุดคือที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที โดยให้ค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 610.88 HV และค่าต้านทานแรงกระแทกที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที โดยให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยเท่ากับ 39 Joules

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำบทความวิชาการขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอสาน ที่ให้งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) ปีงบประมาณ 2568 และรวมไปถึงสาขาวิศวกรรมวัสดุ และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในครั้งนี้

7.เอกสารอ้างอิง

[1] นายบุญทวี ดวงนิราช. (18 พฤศจิกายน 2566). เกษตรกรรม ทางเลือก ทางรอด. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/SBZ9n

[2] ชัยวัฒน์ สร้อยเจริญสุข. (18 เมษายน 2566). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2566-2568 : อุตสาหกรรมน้ำตาล. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/CHn5Y

[3] ADMIN_FIRST. (26 มกราคม 2565). รถตัดอ้อยสำคัญกับชาวไร่อ้อยอย่างไร. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/laCKR

[4] มิตรผลโมเดิร์นฟาร์ม. (11 ธันวาคม 256). ใช้รถตัดอ้อย ไม่มีปัญหาแรงงานคน ลดฝุ่นควันจากการเผา. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/wO7f8

[5] ถนอม ลี้ตระกูล. การพัฒนามีดตัดในรถตัดอ้อยเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง. ภาควิชากรรมการผลิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2555).

[6] พีรวัส คงสง, นันทนา จันทร์โสม และศิริพร เฝ้าหนองคู่. “การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการแพ็คคาร์เบอไรซิง โดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา”. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 11(2) : หน้า 208-218, (2562).

[7] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ วรรณา หอมจะบก. การเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง. โครงงานวิจัย. สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, (2556).

การทำนายอัตราการขจัดเนื้องานและความหยาบผิวชิ้นงานในกระบวนการกัดอาร์คด้วยกระแสไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20

Prediction of Material Removal Rate and Surface Roughness in Electrical Discharge Machining of AISI P20 Tool Steel

นายขจรพงศ์ พรมเสน[1] ธนสาร จอมพุทธา[2] รัชพัฒน์ ศาสตร์สูงเนิน[3] กฤษธนกร อิทธิพัทธ์เดชากุล[4] รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[5*]

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตนครราชสีมา

Khachonphong Promsen[1] Thanasan Chomputsa[2] Ratchapat Sartsoongnern[3] Kritthanakorn Itthipatdechakul[4] and Rungwasan Kriklang[5*]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology Raja Mangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima Campus

E-mail: Khachonphong.pr@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดอาร์คเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 โดยใช้อิเล็กโทรดทองแดงร่วมกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ (3, 4 และ 5 แอมแปร์) จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการในรูปของ อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR), อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) และความหยาบผิว (Ra) ผลการทดลองพบว่า การใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ให้ค่า MRR สูงสุดที่ 7.911 มม./นาที ขณะที่ค่าความหยาบผิวต่ำสุดที่ได้จากการทดลองคือ 3.761 ไมโครเมตร การออกแบบการทดลองใช้ Box-Behnken Design (BBD) เพื่อวิเคราะห์และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าและชนิดของอิเล็กโทรดมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ EDM ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นงานในอุตสาหกรรมต่อไป

คำหลัก การกัดเซาะด้วยไฟฟ้า, การออกแบบการทดลอง, พื้นผิวตอบสนองแบบบ็อก-เบห์เคน, อัตราการขจัดเนื้องาน, ความหยาบผิว

Abstract

This research aims to determine the optimal parameters for electrical discharge machining (EDM) of AISI P20 tool steel using a copper electrode at three different current levels (3, 4, and 5 A). The machining performance was evaluated based on material removal rate (MRR), electrode wear rate (EWR), and surface roughness (Ra).The experimental results indicate that using a 5 A current achieved the highest MRR of 21 mm/min while the lowest surface roughness (Ra) was 3.9457 µm. The Box-Behnken Design (BBD) was employed to analyze and optimize the machining parameters. The study demonstrates that current levels and electrode selection significantly influence EDM performance, providing valuable

insights for optimizing the machining process in industrial applications.

Keywords: Electrical Discharge Machining, Design of Experiment, Material Removal Rate, Surface Roughness, Box-Behnken Design

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์พลาสติกในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากความต้องการของเครื่องใช้ไฟฟ้าและชิ้นส่วนยานยนต์[1] เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เนื่องจากมีคุณสมบัติความแข็งและทนต่อการสึกหรอสูง การกัดอาร์คด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับวัสดุประเภทนี้ อย่างไรก็ตาม การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ค่า MRR และ Ra ตามที่ต้องการ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแบบจำลองการทำนายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ EDM

อย่างไรก็ตามการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่อง EDM เพื่อให้ได้อัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR) สูง และความหยาบผิว (Surface Roughness: Ra) ต่ำ เป็นสิ่งที่ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ หากใช้วิธีลองผิดลองถูก อาจก่อให้เกิดต้นทุนสูงและเสียเวลาในการผลิต

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้ใช้ เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ด้วยรูปแบบ Box-Behnken Design (BBD) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลาเปิด และความเร็วของ Servo Speed ในการปรับค่ากระแสฟ้าที่แตกต่างกัน และประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานของการกัดอาร์ค

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ดำเนินการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกัดอาร์คด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) [2] เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) และค่าความหยาบผิว (Ra) โดยเลือกใช้ปัจจัยต้น 3 ตัว ได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลาเปิด-ปิดและความเร็วเซอร์โว และออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design (BBD) [3], รวมทั้งหมด 15 ชุดทดลอง จากนั้นดำเนินการทดลองโดยใช้ชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 และอิเล็กโทรดทองแดง และบันทึกข้อมูล

2.1 ศึกษากระบวนการผลิตและออกแบบการทดลอง

ในการศึกษานี้ ได้เลือกใช้กระบวนการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machining: EDM) ซึ่งเป็นกระบวนการตัดเฉือนที่เหมาะสำหรับวัสดุแข็ง เช่น เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ [4] เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนต่อการสึกหรอ และสามารถสร้างความละเอียดผิวได้ดี

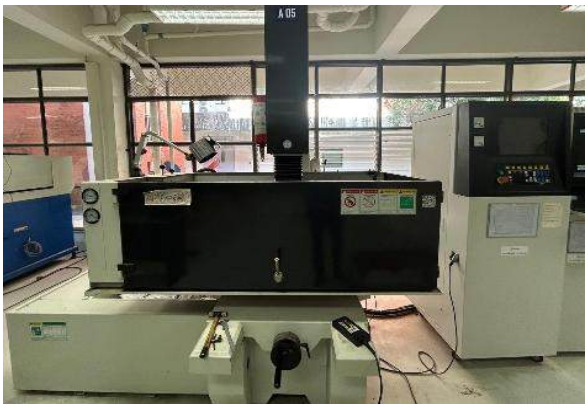
โดยมีการศึกษากระบวนการผลิตจริงจากเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า EDM รุ่น ZNC-550[5] ที่ใช้อิเล็กโทรดทองแดง และสารละลายเอทานอลเอมีนในการกัดอาร์ค เพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของผิวชิ้นงานและอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR)ในการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ใช้เทคนิค Response Surface Methodology (RSM) แบบ Box-Behnken Design (BBD) ซึ่งมีความเหมาะสมกับการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์กระบวนการ โดยมี 3 ปัจจัยที่ศึกษา

2.2 การออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design (BBD) [3] มีการวางแผนการทดลองทั้งหมด 15 ชุด โดยกำหนดค่าระดับของปัจจัยทั้ง 3 ตัว คือ กระแสไฟฟ้า, เวลาเปิด และ Servo Speed

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

ปัจจัยนำเข้า	ระดับ		
	ต่ำ	กลาง	สูง
กระแสไฟฟ้า A (แอมแปร์)	3	4	5
เวลาเปิด, ปิด B (ไมโครวินาที)	120	140	160
Servo speed C	2	5	8



รูปที่ 1 เครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า รุ่น ZNC-550

รูปที่ 2 เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20

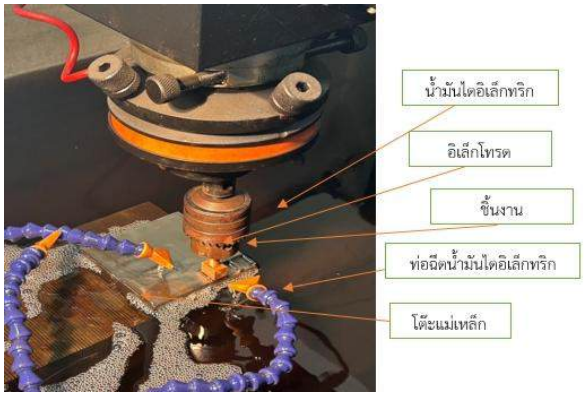
รูปที่ 3 หัวอิเล็กโทรด ทองแดง

ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยในกระบวนการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า

Run Order	ปัจจัยนำเข้า		
	A	B	C
1	3	120	5
2	5	120	5
3	3	160	5
4	5	160	5
5	3	140	2
6	5	140	2
7	3	140	8
8	5	140	8
9	4	120	2
10	4	160	2
11	4	120	8
12	4	160	8
13	4	140	5
14	4	140	5
15	4	140	5

2.3 ทำการทดลอง

ทำการสปาร์คด้วยหัวอิเล็กโทรดชนิด ทองแดง ขนาดสี่เหลี่ยม 12.7x20x12.7 มิลลิเมตร โดยถูกกำหนดปัจจัยคงที่ ได้แก่ เวลาเปิด (On-time) 120-140 ไมโครวินาที (us), เวลาปิด (Off-time) 5 ไมโครวินาที (us), ระยะห่าง (Gap) 2 มม., เวลางาน (Working time) 18~19 นาที (s),การสึกหรออิเล็กโทรด (Electrode wear) 55~58% และความลึกเจาะ (Depth) 5 มม. เพื่อให้เหมาะสมกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 3, 4 และ 5 แอมแปร์ ตามลำดับ



รูปที่ 4 การกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า

2.4 การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR : Materials Removal Rate) [7]

1) อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดการเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไขโดยถูกกำหนดด้วยผลการประเมิน [9-10] ดังนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน ในการแปรรูปชิ้นงาน คำนวณจากสมการที่ (1)

$$MRR = \frac{\text{ปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออกไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad (1)$$

อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สามารถคำนวณจากสมการที่ (2)

ระดับความลึกของชิ้นงานที่แท้จริง

$$EW \frac{\text{ปริมาตรเนื้องานที่ขจัด}}{\text{เวลาที่ใช้}} \times 100 \quad (2)$$

การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR) [9] ดำเนินการโดยคำนวณปริมาตรของชิ้นงานที่ถูกกัดออกระหว่างกระบวนการทดลอง โดยวัดขนาดความกว้าง (W), ความยาว (L) และความลึกหรือความสูงของการกัด (H) จากนั้นหาปริมาตรโดยใช้สูตร:

$$MRR \frac{WxLxH}{T}$$ โดยที่:

W = ความกว้างของพื้นที่กัด (มม.)
L = ความยาวของพื้นที่กัด (มม.)
H= ความลึกที่ถูกกัด (มม.)

ตารางที่ 3 ตารางผลการทดลอง

Run Order	ปัจจัยนำเข้า			ปัจจัยส่งออก	
	A	B	C	Ra	Mass Wear Rate
1	3	120	5	4.809	0.0225
2	5	120	5	7.431	0.0431
3	3	160	5	3.761	0.0098
4	5	160	5	7.911	0.103
5	3	140	2	7.815	0.0146
6	5	140	2	6.682	0.085
7	3	140	8	4.203	0.00401
8	5	140	8	7.514	0.0276
9	4	120	2	7.291	0.0716
10	4	160	2	5.488	0.0130
11	4	120	8	6.718	0.00520
12	4	160	8	6.281	0.0886
13	4	140	5	5.941	0.0371
14	4	140	5	5.024	0.50
15	4	140	5	4.912	0.0657

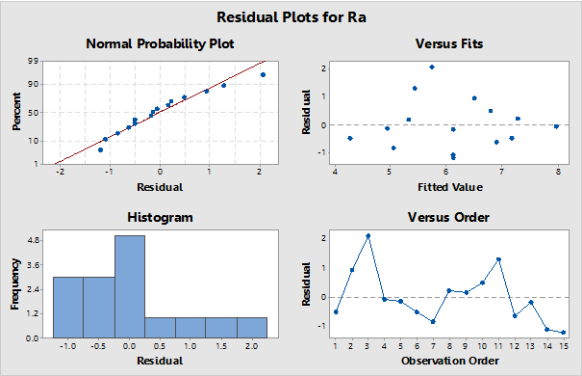
3. ผลการวิจัย

จากการทดลองผลของกระแสไฟฟ้าสำหรับการกัดอาร์ควัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 โดยกัดอาร์คด้วยอิเล็กโทรดชนิดทองแดงด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5 5 แอมแปร์ แอมป์ ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่าความหยาบผิว และอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

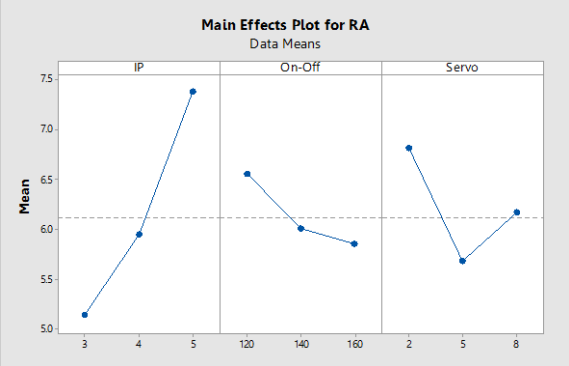
3.1 การลำดับเลข

จากการทดลองผลของกระแสไฟฟ้าสำหรับการกัดอาร์ควัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 โดยกัดอาร์คด้วยอิเล็กโทรดชนิดทองแดงด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5 5 แอมแปร์ แอมป์ ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของ

อิเล็กโทรด ค่าความหยาบผิว และอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 5 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล

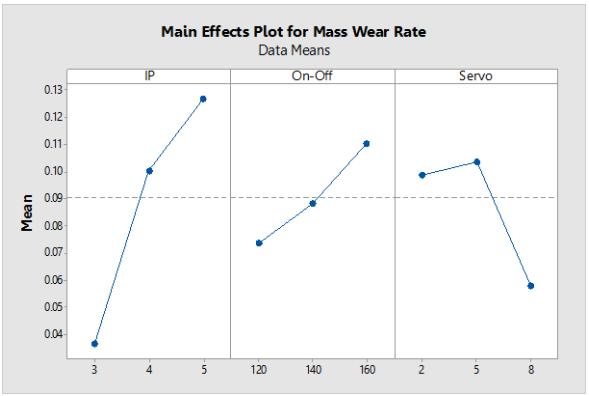


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อความเรียบผิว

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
IP	1	10.0128	10.0128	9.60	0.010
On time	1	4.3513	4.3513	4.17	0.066
servo speed	1	0.0249	0.0249	0.02	0.880
Error	1	11.4748	1.0432		
Lack-of-Fit	9	10.8373	1.2041	3.78	0.227
Error	2	0.6374	0.3187		
Total	14	25.8637			

การพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าที่ตอบสนองกับปัจจัย แต่ละระดับ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ชี้ให้เห็นว่า **กระแสไฟฟ้า (IP)** เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อระดับความหยาบ (F=9.60, p=0.010) โดยเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะส่งผลให้ค่า Ra สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ **เวลาเปิด (On time)** แสดงแนวโน้มส่งผลต่อ Ra แต่ระดับนัยสำคัญยังไม่ถึงเกณฑ์ (p=0.066) ส่วน **Servo speed** ไม่มีผลต่อความเรียบผิว (p=0.880) นอกจากนี้ การทดสอบ Lack-of-Fit พบว่า แบบจำลองมีความเหมาะสมดี (p=0.227) สรุปได้ว่า การปรับค่ากระแสไฟฟ้ามีผลต่อคุณภาพผิวงานในกระบวนการ EDM ของเหล็กกล้า AISI P20



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวอิเล็กโทรด

ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสึกหรอของหัวอิเล็กโทรดในการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการปรับกระแสไฟฟ้า (Ip) เมื่อเพิ่ม Ip จาก 3 แอมแปร์ เป็น 5 แอมแปร์ ค่า Ra เพิ่มจาก 2.50 ไมโครเมตร เป็น 3.80 ไมโครเมตร อย่างชัดเจน ขณะที่เวลาเปิดพัลส์ (On-time) มีผลรองลงมา โดยค่า Ra เปลี่ยนจาก 3.20 ไมโครเมตร (120 µs) เป็น 3.40 ไมโครเมตร (160 µs) แต่ทิศทางการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และ Servo speed แทบไม่มีผลต่อ Ra (คงที่ประมาณ 3.30 ไมโครเมตร) จึงสรุปได้ว่า การลดระดับกระแสไฟฟ้าและปรับ On-time เป็นวิธีที่ได้ผลที่สุดในการลดความหยาบผิว ในขณะที่การตั้งค่า Servo speed

4. อภิปรายผล

ผลการทดลองจากการศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าสำหรับการสปาร์ควัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 โดยถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดชนิดทองแดงด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 3, 5 และ 5 แอมแปร์ และประเมินผลประสิทธิภาพการทำงางานอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่าความหยาบผิว และอภิปรายผลการทดลองได้ ดังนี้

4.1 ผลการทดลองค่าปัจจัยประสิทธิภาพเบื้องตัน

จากการสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดชนิดทองแดง พบว่ามีอัตราการขจัดเนื้องานสูงและมีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้กระแสไฟฟ้า 3, 4 และ 5 แอมแปร์ โดยอิเล็กโทรดทองแดงที่ใช้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) เท่ากับ 7.911 ทั้งนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเมื่อเปรียบเทียบกันภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

5. สรุป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายอัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR) และค่าความหยาบผิว (Surface Roughness: Ra) ในกระบวนการกัดอาร์คด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ด้วยการออกแบบ Box-Behnken (BBD)

ผลการทดลองพบว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ในกระบวนการ EDM ของเหล็กกล้า AISI P20 อยู่ในช่วง 3.761–7.911 ไมโครเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 6.055 ไมโครเมตร ซึ่งค่า Ra ต่ำสุด 3.761 ไมโครเมตร เกิดขึ้นเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์, เวลาเปิดพัลส์ 160 µs และ Servo speed ระดับกลาง (5) ขณะที่ค่า Ra สูงสุด 7.911 ไมโครเมตร เกิดขึ้นที่กระแส 5 แอมแปร์, เวลาเปิดพัลส์ 160 µs และ Servo speed ระดับกลาง (5) ทั้งนี้ กระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มค่า Ra เมื่อระดับกระแสสูงขึ้น และ Servo speed ระดับต่ำ (2) มักให้ค่า Ra สูงกว่าระดับกลางและสูง ซึ่งให้ผลสมดุลมากกว่าในการควบคุมคุณภาพผิวเดียวกัน

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาแบบจำลองการทำนาย MRR และ Ra ในกระบวนการ EDM ของเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ผลการศึกษาให้ข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและลดต้นทุนในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ งานวิจัยในอนาคตอาจพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติม เช่น วัสดุอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันและของเหลวไดอิเล็กทริกชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครูอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ องค์ความรู้ และแนวทางการวิจัยที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ข้อเสนอแนะอันทรงคุณค่า ซึ่งช่วยให้ผลงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1]. อภิญญา ขนุนทอง.(25/07/2023). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมพลาสติก.[ระบบออนไลน์] https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook /petrochemicals/plastics /io / io-plastics-21

[2]. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (12/01/2023). รายงานสรุปผลการดำเนินการตามยุทธศาสตร์ชาติประจำปี 2565.

3]. วัชระพร สำมณี. การศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการกัดเซาะวัสดุด้วยกระแสไฟฟ้าบนเหล็กแม่พิมพ์ AISI P20. งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2564

[4]. พิชัย จันทร์มณี. การศึกษาประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์ (Ti-6Al-4V) ในกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า. การวิจัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565

[5]. สมชาย วนไทยสงค์. การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรู ด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าของรอยเชื่อม เหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20. งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2566.

[6]. มานิช กังกิล, โมฮัน กุมาร ปราธาน. การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ EDM ของวัสดุ Ti-6Al-7Nb. วารสารวิศวกรรมอุตสาหการ, 2564. ร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

[7].ปทิตา นาควง (2562) เป้าหมายการศึกษาการประยุกต์เทคนิคทากูชิและความสัมพันธ์แบบเกรย์เพื่อพยากรณ์ความเหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า โดยวิเคราะห์อัตราการกำจัดวัสดุ (MRR) และคุณภาพพื้นผิวชิ้นงาน (Ra) บนเหล็กเกรด SKD11

[8]. Prakash Kumar, Shailesh Kumar Dewangan และ Chandan Pandey (2020) การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพื้นผิว (Surface Integrity) และความแม่นยำเชิงมิติ(Dimensional Accuracy) ในการตัดเฉือนเหล็ก P91ด้วย EDM

9]. ผู้แต่ง: Adel T. Abbas, Neeraj Sharma, Zeyad A. Alsuhaibani, Abhishek Sharma, Irfan Farooq, Ahmed Elkaseer (2023) การ หาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกัดขึ้นรูปเหล็กกล้า AISI P20 ในสภาวะแห้งโดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ควบคู่กับวิธีการ TOPSIS

[10]. Farizi Rachman, Dhika Aditya Purnomo, Ridhani Anita Fajardini, Rena Riza Umami ปี: (2021) การหาค่าที่เหมาะสมความหยาบผิวของเหล็ก AISI P20 ในกระบวนการกัดขึ้น รูปด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) โดยใช้วิธี Taguchi

[11]. Artur da Silva Rossetto, William Haupt, Luiz Airton Consalter (2022) การวิเคราะห์และการหาค่าที่ เหมาะสมของพารามิเตอร์การ กลึงโดยใช้การกัดเซาะด้วยไฟฟ้าต่อความหยาบผิวของเหล็ก AISI P20

[12]. จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล, สุรสทิธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว (2564) การพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียวโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองและการสึกหรอของเม็ดมีด

[13]. ผู้แต่ง: J. L. Ramdatti, A. V. Gohil, K. G. Dave (2021) การศึกษาทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์การ ปรับเปลี่ยนผิวเหล็กแม่พิมพ์ P20+Ni โดยใช้ขั้วไฟฟ้า ผสมจากการขึ้นรูปด้วยโลหะผงใน กระบวนการ EDM

[14]. Kailashkumar Vala, Jinesh B. Shah (2024) การหาค่าที่เหมาะสม ของพารามิเตอร์การกลึง AISI 304 โดยใช้กระบวนการเจาะ EDM ขนาดเล็ก

[15]. Murali Krishnan R, Rajesh Ranganathan, Saiyathibrahim A, Rajkumar Velu, Vijaykumar S. Jatti, Dhanesh G. Mohan(2024)การหาค่าที่เหมาะสมแบบหลายการตอบสนองใน กระบวนการ Wire-EDM สำหรับ AlSi10Mg ที่ผลิตด้วยวิธี Selective Laser Melting โดยใช้ทฤษฎี Taguchi-Grey Relational

[17]. กมลพงศ์ แจ่มกมล และ ศุภวัฒน์ ชูวารี (2565)การศึกษาประสิทธิภาพ การกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้ เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กริก ผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

ผลของปัจจัยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการเติมอนุภาค SiC ในแนวเชื่อมต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมอลูมิเนียมต่างชนิด

Effect of Friction Stir Welding Parameters and Addition of SiC Particles in the Weld Line on the Bending Strength of Dissimilar Aluminum Welds

บุญฤทธิ์ ปินตาสี[1] สุธิดา ทองนุช[1] ชวลิต อินปัญโญ[2] สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ[3] ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล[3]
รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[3] และฉกาจ เชื่อดี[3*]
[1]สำนักวิชาวิศวกรรมและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Bunyalith Pintasee[1] Suthida Thongnuch[1] Chawalit Inpunyo[2] Surasak Matitopanum[3]
Thanasak Rattanapoottabul[3] Rungwasun Kraiklang[3] and Chakat Chueadee[3*]
[1]School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: chakat.ch@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ที่มีต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมระหว่างโลหะผสมอลูมิเนียมต่างชนิด คือ AA5083 และ AA6061 โดยใช้การเชื่อมแบบต่อชน พร้อมการเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ ผ่านการเจาะรูในตำแหน่งแนวเชื่อมอย่างเป็นระบบ ตัวแปรต้นที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องมือ 2 ระดับ (1,000 และ 1,500 รอบต่อนาที) และความเร็วเดินเชื่อม 2 ระดับ (15 และ 30 มิลลิเมตรต่อนาที) โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปและทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM E290 จากผลการวิจัยพบว่า เงื่อนไขของความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยสูงสุดคือ 360.70 MPa ขณะที่เงื่อนไขความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยต่ำสุดเพียง 281.99 MPa ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่า ทั้งความเร็วรอบของเครื่องมือ และความเร็วเดินเชื่อม มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อม งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเลือกปัจจัยที่เหมาะสมร่วมกับการเติมอนุภาคเสริมแรงผ่านการเจาะรูสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความแข็งแรงของแนวเชื่อมโลหะต่างชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, ความต้านทานแรงดัด, อนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์, การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป

Abstract

This research aims to investigate the effects of process parameters in Friction Stir Welding (FSW) on the bending strength of dissimilar aluminum alloys, AA5083 and AA6061, using a butt joint configuration. The welding process was enhanced by introducing silicon carbide (SiC) reinforcement particles into the weld zone through precisely drilled holes. The experimental design followed a full factorial experimental design, varying the tool rotational speed (1,000 and 1,500 RPM) and welding speed (15 and 30 mm/min). Bending strength was evaluated using ASTM E290 standard. Results revealed that the combination of 1,500 RPM tool speed and 15 mm/min welding speed produced the highest average bending strength of 360.70 MPa, while the combination of 1,000 RPM tool speed and 30 mm/min welding speed produced the lowest average bending strength, only 281.99 MPa. ANOVA results confirmed that both tool rotational speed and welding speed had statistically significant effects on the bending strength of the weld. This study demonstrates that optimizing FSW parameters alongside particle reinforcement via drilled holes can significantly enhance the quality and strength of dissimilar aluminum welds.

Keywords: Friction stir welding, bending strength, silicon carbide particles, Full factorial experiment

1. บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถลดน้ำหนักของชิ้นงานโดยไม่ลดทอนสมรรถนะด้านความแข็งแรงเชิงกล วัสดุโลหะผสมอลูมิเนียมจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอากาศยาน ยานยนต์ และอุตสาหกรรมทางทะเล เนื่องจากมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง มีความสามารถในการต้านการกัดกร่อนได้ดี และยังสามารถนำไปแปรรูปได้ง่าย [1-2] อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโลหะอลูมิเนียมโดยเฉพาะกรณีที่เป็นวัสดุต่างชนิดยังคงเป็นความท้าทาย เนื่องจากความแตกต่างด้านโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางความร้อน อาจทำให้เกิดรอยตำหนิ เช่น ความพรุน ความเปราะ หรือการแตกร้าวในแนวเชื่อม

กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นเทคนิคการเชื่อมในสถานะของแข็งที่ไม่ต้องใช้การหลอมละลายวัสดุ ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของแนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอและมีความแข็งแรงสูง สามารถลดข้อบกพร่องที่พบในกระบวนการเชื่อมแบบหลอมเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียม โดยเฉพาะในชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงและความน่าเชื่อถือ เช่น ปีกอากาศยาน ตัวถังรถยนต์ และเรืออลูมิเนียม [3-4] อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและการใช้พลังงานในระยะยาวได้อีกด้วย แม้ว่าจะมีการศึกษาหลายชิ้นที่กล่าวถึงผลของปัจจัยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ทั้งในด้านความเร็วรอบ ความเร็วเดินเชื่อม มุมเอียงของหัวพิน รูปทรงเครื่องมือ รวมถึงการเติมอนุภาคเสริมแรง เช่น Al_2O_3, SiC, ZrO_2 และ CNTs ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อม [5-9] แต่การศึกษาในบริบทของการเชื่อมโลหะอลูมิเนียมต่างชนิดที่มีการเติมอนุภาคผ่านการเจาะรูลงในแนวเชื่อมยังคงพบได้จำกัด ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติมในบริบทดังกล่าวเพื่อพัฒนากระบวนการเชื่อมให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยกระบวนการ ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องมือ ความเร็วการเดินเชื่อม และการเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมระหว่างโลหะผสมอลูมิเนียมต่างชนิด AA5083 และ AA6061 โดยใช้การเชื่อมแบบต่อชน (Butt Joint) ผ่านการเจาะรูในแนวเชื่อมอย่างเป็นระบบ ร่วมกับการประเมินสมบัติเชิงกลด้วยการ

ทดสอบแรงดัด และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของแนวเชื่อม และใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมในระดับอุตสาหกรรม

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

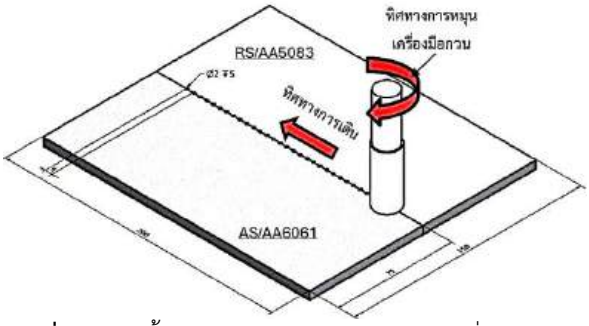
การเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างโลหะอลูมิเนียมต่างชนิด เช่น AA5083 และ AA6061 ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถลดข้อจำกัดของกระบวนการเชื่อมแบบหลอมเหลว และให้แนวเชื่อมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี Rana et al. (2024) ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยการเชื่อมที่เหมาะสม และพบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของแนวเชื่อมได้อย่างมีนัยสำคัญ[10] ขณะที่ Ali et al. (2022) ศึกษารูปทรงของหัวพินและรายงานว่า รูปทรงเกลียวและค่าความสัมพันธ์ของขนาดพินกับบ่ามีผลต่อการไหลของวัสดุและความสม่ำเสมอของแนวเชื่อมอย่างเด่นชัด [11] ส่วน Wang et al. (2021) ได้ใช้การจำลองเชิงตัวเลข (FEM) วิเคราะห์พฤติกรรมความร้อนในแนวเชื่อม พบว่าเครื่องมือที่มีมุมเอียง 0–2 องศาช่วยลดอุณหภูมิสูงเกินและควบคุมโครงสร้างจุลภาคให้สม่ำเสมอได้ดียิ่งขึ้น[12] Gopi et al. (2020) ได้นำเสนอเทคนิคการเติมอนุภาค SiC ผ่านการเจาะรูในแนวเชื่อมก่อนดำเนินการ FSW ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งและความต้านทานแรงดัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) [13] ซึ่งได้รับการพิสูจน์ในงานของ Nakowong และ Sillapasa (2021) ว่าสามารถระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมได้ [14] เช่นเดียวกับ Verma และ Kumar (2021) ที่ใช้ ANOVA ในการพยากรณ์ค่าความต้านทานแรงดึงในรอยต่อของ AA6061-T6 และ AA5083-H111 ซึ่งสามารถอธิบายค่าจริงได้แม่นยำถึง 95% [15] แสดงให้เห็นว่า ANOVA เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ช่วยเสริมความน่าเชื่อถือในการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองดังนี้

- ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเกรด AA5083 กับ AA6061 ที่ความหนา 6 มิลลิเมตร เจาะรูตรงกลางแผ่นต่อชนระหว่างชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความลึก 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1
- เครื่องมือกวนใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด DC53 ผ่านการชุบแข็งมีความแข็ง 60-62 HRC มีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มม. หัวพินขึ้นรูปเกลียวเมตริกขนาด M6x1 ยาว 5 มม. ขนาดของเครื่องมือกวน ใช้สัดส่วนของความโตของบ่าต่อความโตของหัวพิน (D/d) เท่ากับ 3:1
- สารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide : SiC) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมครอน



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นทดสอบและทิศทางการหมุนเครื่องมือกวน

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการทดลอง มีดังนี้

- เครื่องมือจับยึดชิ้นงาน (Fixture)
- เครื่องกัดโลหะแบบแกนตั้งระบบอัตโนมัติ เครื่องหมายการค้า HAAS รุ่น TM2 สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน
- เครื่องตัดวัสดุด้วยน้ำแรงดันสูงรุ่น MAXIEM Waterjet Mode 1530 ใช้สำหรับการตัดชิ้นทดสอบ
- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัดเครื่องหมายการค้า LLOYD รุ่น LS100 Plus

3.2 วิธีการทดลอง

ออกแบบการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสม AA5083 และ AA6061 ที่เสริมแรงแนวเชื่อมด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ ปัจจัยควบคุมประกอบด้วย

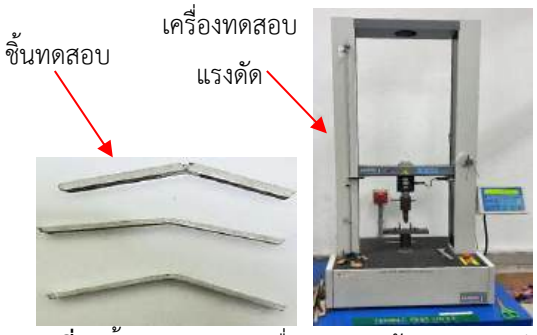
ความเร็วรอบและความเร็วเดินเชื่อม ตามตารางที่ 1 และ 2 โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำในแต่ละเงื่อนไข จากนั้นตัดชิ้นงานทดสอบขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E290 ด้วยเครื่องตัดน้ำแรงดันสูง และนำชิ้นงานไปทดสอบความต้านทานแรงดัด ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์เครื่องหมายการค้า LLOYD รุ่น LS100 Plus โดยทดสอบแรงดัดแบบสามจุด (Three-Point Bending Test) ดังรูปที่ 2 แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง และระดับปัจจัยแปรผันในการทดลอง

ปัจจัยการทดลอง	หน่วย	ระดับปัจจัยในการทดลอง	
		ต่ำ (-1)	สูง (+1)
ความเร็วรอบของเครื่องมือ (S)	รอบ/นาที	1000	1500
ความเร็วเดินเชื่อม (F)	มม./นาที	15	30

ตารางที่ 2 การกำหนดปัจจัยคงที่

ปัจจัย	ค่าระดับ
ความลึกกดเสียดทาน	0.5 มม.
รูปทรงเครื่องมือ	ทรงกระบอกเกลียวขวา
อัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อหัวพิน	3:1
มุมเอียงเครื่องมือ	0°
เวลากดเสียดทาน	30 วินาที



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบและเครื่องทดสอบต้านทานแรงดัด

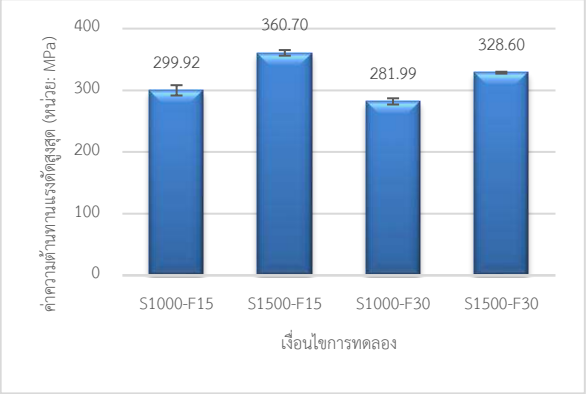
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลค่าความต้านทานแรงดัด

สรุปผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลค่าความต้านทานแรงดัด (หน่วย: MPa)

เงื่อนไข	ค่าความต้านทานแรงดัด			$\bar{x}$	SD
S1000-F15	290.56	302.5	306.7	299.92	8.37
S1500-F15	356.10	360.80	365.20	360.70	4.55
S1000-F30	277.11	287.16	281.70	281.99	5.03
S1500-F30	327.50	328.00	330.30	328.60	1.49



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดัด

จากรูปที่ 3 พบว่าชิ้นงานในเงื่อนไข S1500-F15 คือความเร็วรอบของเครื่องมือ 1500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้ค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 360.70 MPa ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.55 MPa และชิ้นงานในเงื่อนไข S1000-F30 คือความเร็วรอบของเครื่องมือ1000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้ค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 281.99 MPa ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.03 MPa

4.2 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของชิ้นงานด้วยหลักการทางสถิติ

การทดสอบความต้านทานแรงดัดถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยในการศึกษาความแข็งแรงของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวน โดยใช้วิธีกวนปิดรูเจาะอลูมิเนียมผสมเกรด AA5083 และ AA6061 ที่เสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลชนิด 2^2 และใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 17 ในการวิเคราะห์ผล

มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ตั้งสมมติฐาน ดังนี้

1) ปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S)

H_0: ปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือไม่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดัด

H_1: ปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดัด

2) ปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F)

H_0: ปัจจัยความเร็วเดินเชื่อมไม่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดัด

H_1: ปัจจัยความเร็วเดินเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดัด

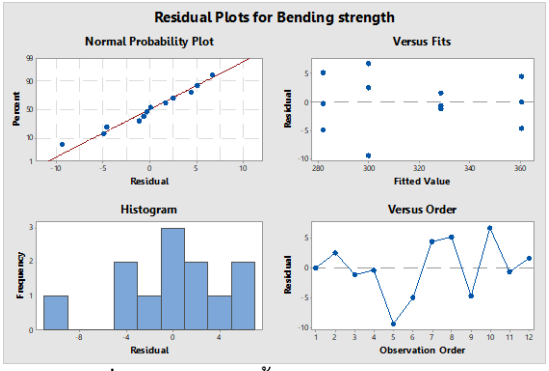
3) กระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) กับปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F)

H_0: ไม่มีการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) กับปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F)

H_1: มีการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) กับปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F)

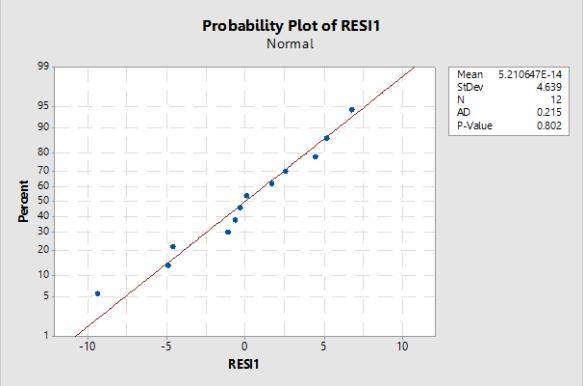
4.2.2 การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่สมมติฐานว่าค่าเศษเหลือ (Residual) ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ คือ ค่าเศษเหลือ (Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ดังนี้



รูปที่ 4 สมมติฐานเบื้องต้นของค่าเศษเหลือ

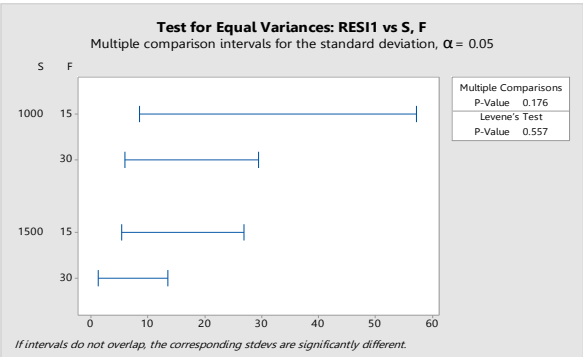
จากการพิจารณารูปที่ 4 กราฟด้านบนซ้าย เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลของค่าเศษเหลือ มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยพิจารณากราฟว่ามีลักษณะของข้อมูลเป็นเส้นตรงหรือไม่ แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal Probability ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือ

ผลจากรูปที่ 5 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.802 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

จากกราฟด้านบนขวา ในรูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของค่าเศษเหลือที่สมดุลกันทั้งด้านบวกและด้านลบ และจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนพบว่า P-value = 0.176 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าค่าเศษเหลือมีความแปรปรวนเท่ากัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน

เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ จึงทำการทดสอบด้วย Runs Test ดังรูปที่ 7

Runs Test: RESI1

```
Runs test for RESI1

Runs above and below K = 5.210647E-14

The observed number of runs = 7
The expected number of runs = 7
6 observations above K, 6 below
* N is small, so the following approximation may be invalid.
P-value = 1.000
```

รูปที่ 7 ทดสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ

การทดสอบ Run test ในรูปที่ 7 พบว่า P-Value = 1.000 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าค่าเศษเหลือของค่าเศษเหลือมีความเป็นอิสระต่อกัน

ข้อมูลนี้ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน ทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงในรูปที่ 8

Factorial Regression: Bending strength versus S, F

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	10677.3	3559.10	120.27	0.000
Linear	2	10526.7	5263.35	177.86	0.000
S	1	8649.5	8649.46	292.26	0.000
F	1	1877.3	1877.25	63.44	0.000
2-Way Interactions	1	150.6	150.59	5.09	0.054
S*F	1	150.6	150.59	5.09	0.054
Error	8	236.7	29.59		
Total	11	10914.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.43992	97.83%	97.02%	95.12%

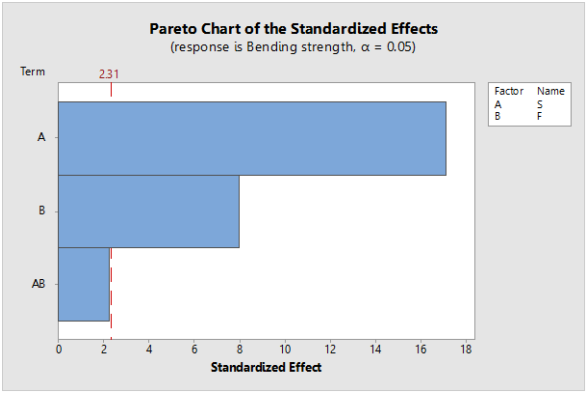
รูปที่ 8 ผลความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดัด

จากรูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความต้านทานแรงดัด มีผลดังนี้

1. ปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดัด เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

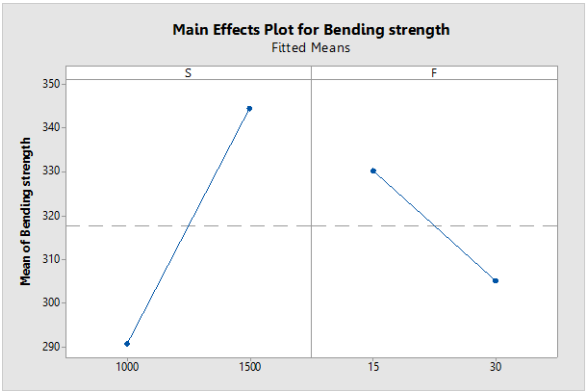
2. ปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F) มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดัด เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

3. การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) กับปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม (F) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดัด เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เนื่องจากปัจจัยหลักทั้งสองมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดัด จึงพิจารณาแผนภูมิ Pareto Chart ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลวิเคราะห์ Pareto Chart ค่าความต้านทานแรงดัด

จากรูปที่ 9 พบว่าความเร็วรอบของเครื่องมือ (S) มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดัดมากที่สุด ส่วนความเร็วเดินเชื่อม (F) มีผลกระทบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อม (S*F) มีผลกระทบน้อยที่สุด ซึ่งทั้งสองปัจจัยหลักนี้มีค่า Standardized Effect สูงกว่าเส้นอ้างอิงที่ 2.31 แสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงพิจารณากราฟ Main Effects Plot ดังรูปที่ 10



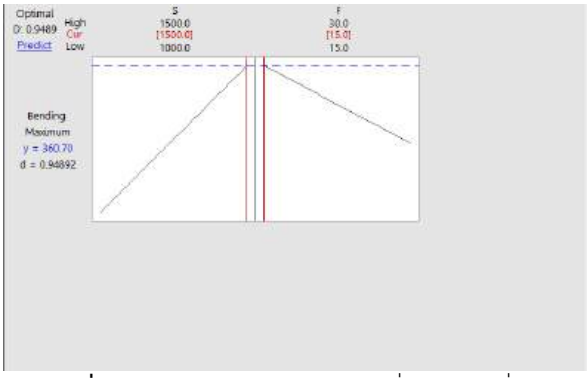
รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ Main Effects Plot

จากรูปที่ 10 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) และลดความเร็วเดินเชื่อม (F) จะเพิ่มค่าความต้านทานแรงดัด ระดับปัจจัยที่ส่งผลสูงสุดคือ ความเร็วรอบ

ของเครื่องมือ 1500 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที ส่วนระดับปัจจัยที่ส่งผลต่ำสุดคือ ความเร็วรอบของเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที

4.2.4 ผลการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การทดลองหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด AA5083 และ AA6061 เสริมแรงในแนวเชื่อม แสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

กราฟ Response Optimizer ในรูปที่ 11 แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของความเร็วรอบเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อมต่อค่าความต้านทานแรงดัด โดยพิจารณาจากค่าทำนายและค่าปัจจุบันของตัวแปร โดยมีค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) คือ ความเร็วรอบเครื่องมือ 1500 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุด 360.70 MPa ด้วยค่าความพึงพอใจ 0.9489

5. อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า ความเร็วรอบของเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างโลหะผสมอลูมิเนียมต่างชนิด โดยเฉพาะค่าความเร็วรอบที่สูง (1,500 รอบ/นาที) ร่วมกับความเร็วเดินเชื่อมต่ำ (15 มิลลิเมตร/นาที) ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Rana et al. (2024) ที่ระบุว่าปัจจัยกระบวนการที่เหมาะสมช่วยเสริมความแข็งแรงของแนวเชื่อมได้อย่างชัดเจน [10] อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานของ Ali et al. (2022) และ Wang et al. (2021) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปทรงเครื่องมือและค่าความร้อนที่เหมาะสมส่งผลต่อการไหลของวัสดุและการก่อตัวของโครงสร้างจุลภาคที่สม่ำเสมอ [11,12] โดยเฉพาะเมื่อจับคู่กับการเติมอนุภาคเสริมแรงผ่านการเจาะรูอย่างมีระบบตามแนวทางของ Gopi et al. (2020) ที่เสนอว่าวิธีการดังกล่าวช่วยควบคุมการกระจายตัวของอนุภาค SiC ได้ดีและช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมอย่างมีประสิทธิภาพ [13] ขณะเดียวกันการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA ในการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่าทั้งปัจจัยหลักและการโต้ตอบระหว่างปัจจัยมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Nakowong และ Sillapasa (2021) ที่ใช้ ANOVA เพื่อแยกแยะอิทธิพลของแต่ละตัวแปรในการเชื่อม AA5083 และรายงานว่าค่าความเร็วรอบและความเร็วเดินเชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ [14] และงานของ Verma และ Kumar (2021) ที่พบว่า ANOVA สามารถสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานแรงดึงในแนวเชื่อมระหว่าง AA6061-T6 และ AA5083-H111 ได้อย่างแม่นยำถึง 95% [15] ซึ่งยืนยันว่า ANOVA เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม และช่วยเสริมความน่าเชื่อถือในการประเมินค่ากลของชิ้นงานเชื่อม ดังนั้น ผลการทดลองในครั้งนี้จึงสอดคล้องกับวรรณกรรมก่อนหน้าอย่างเป็นระบบ และสามารถเสนอเป็นแนวทางในการเลือกปัจจัยที่เหมาะสมร่วมกับเทคนิคการเติมอนุภาค เพื่อพัฒนาคุณภาพแนวเชื่อมในกระบวนการ FSW สำหรับวัสดุต่างชนิดในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุป

จากการศึกษาผลของปัจจัยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ที่มีต่อความต้านทานแรงดัดของแนวเชื่อมระหว่างโลหะผสมอลูมิเนียมต่างชนิด AA5083 และ AA6061 โดยการเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ผ่านการเจาะรูในตำแหน่งแนวเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติเชิงกลของแนว

เชื่อม ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อม โดยเฉพาะค่าความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 360.70 MPa การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี ANOVA ยืนยันว่าทั้งสองปัจจัย มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการเติมอนุภาค SiC ผ่านการเจาะรูในแนวเชื่อมสามารถกระจายอนุภาคได้อย่างเหมาะสม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงโดยรวมของแนวเชื่อม ทั้งนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าในด้านพฤติกรรมความร้อนของกระบวนการเชื่อม พฤติกรรมของอนุภาคเสริมแรง และประสิทธิภาพของเครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ [10-15] ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมโลหะอลูมิเนียมต่างชนิดในงานอุตสาหกรรมต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Choudhary, A.K., Jain, R., “Fundamentals of Friction Stir Welding, Its Application, and Advancements”, In: Davim, J.P. (eds) Welding Technology. Materials Forming, Machining and Tribology. Springer, Cham. (2021), pp.41-90.

[2] Saroj, S., & Kore, S. D., “Evaluation of Aluminum 6009 Alloy Sheets Joined by Friction Stir Welding”, In Processing and Fabrication of Advanced Materials: Proceedings of the 29th International Conference on Processing and Fabrication of Advanced Materials (29th PFAM), September 6-8, 2023, Springer Nature. Vol. 2, (2024), pp.205-220.

[3] Zhang, Y., Li, J., & Zhao, Y., “Recent advances in friction stir welding of aluminum alloys in aerospace and automotive applications”, Materials Today: Proceedings, Vol.45, (2021), pp. 1835–1842.

[4] Ma, Y., Wang, D., & Chen, Z., “Sustainable joining techniques for marine aluminum alloys: A review on friction stir welding and beyond”, Journal of Manufacturing Processes, Vol.88, (2023), pp.521–532.

[5] Abioye, T. E., Popoola, A. P. I., Pityana, S., & Akinlabi, E. T., “Investigation of the microstructure, mechanical and wear properties of AA6061-T6 friction stir weldments with different particulate reinforcements addition”, Journal of Materials Research and Technology, Vol.8, No.6, (2019). pp.5823–5833.

[6] Sathish, T., Rajkumar, K., & Subramani, P., “Experimental investigation of the friction stir weldability of AA8006 with zirconia particle reinforcement and optimized process parameters”, Materials, Vol.14, No.11, (2021). 2782.

[7] Liu, T. S., Qiu, F., Yang, H. Y., Shu, S. L., Xie, J. F., Jiang, Q. C., & Zhang, L. C., “Insights into the influences of nanoparticles on microstructure evolution mechanism and mechanical properties of friction-stir-welded Al 6061 alloys”, Materials Science and Engineering: A, Vol.871, (2023), 144929.

[8] Anwar, J., Farooq, U., & Iqbal, A., “Effect of B4C and CNTs’ nanoparticle reinforcement on the mechanical and corrosion properties in rolled Al 5083 friction stir welds”, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.62, No.1, (2023), pp.45–58.

[9] Sadeghi, B., Rahmanian, M., & Mostafapour, A.,

"Effect of processing parameters on the cyclic behaviour of aluminium friction stir welded to spark plasma sintered aluminium matrix composites with bimodal micro-and nano-sized reinforcing alumina particles", Materials Science & Engineering: A, Vol.872, (2023), 144915.

[10] Rana, A., Hooda, N., Kumar, R., Deshwal, S., Gahlot, P., & Phanden, R. K., "Friction stir welding process parameters optimization and weld structure analyses to study mechanical characteristics using hybrid artificial intelligent soft computing techniques", International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), (2024), pp.1-27.

[11] Ali, A., Khan, M. A., & Siddiquee, A. N., "Effect of tool pin profiles on mechanical performance of dissimilar aluminium friction stir welds", Journal of Manufacturing Processes, Vol.78, (2022), pp.274–281.

[12] Wang, Y., Zhu, H., & Lin, X., "Numerical simulation of friction stir welding of dissimilar AA5083-AA6061 aluminum alloys using FEM", Materials and Design, Vol.205, (2021), 109725.

[13] Gopi, S., Vignesh, R., & Karthikeyan, R., "Effect of reinforced SiC particles through drilled holes in friction stir welding of dissimilar aluminium alloys", Materials Today: Proceedings, Vol.33, (2020), pp.1064–1071.

[14] Nakowong, K., & Sillapasa, K., "Optimized parameter for butt joint in friction stir welding of semi-solid aluminum alloy 5083 using taguchi technique, Journal of Manufacturing and Materials Processing, Vol.5, NO.3, (2021). 88.

[15] Verma, S., & Kumar, V., "Optimization of friction stir welding parameters of dissimilar aluminium alloys 6061 and 5083 by using response surface methodology", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol.235, No.12, (2021), pp.2023–2032.

การวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11

Analysis of Water Jet Cutting Parameters on Surface Roughness of SKD 11 Steel

ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล[1] สุรพจน์ วัชโรภากุล[1*] รุ่งวสันต์ ไกรกลาง[1] ฉกาจ เชื่อดี[1] สุรัตน์ วรรณศรี[1] สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ[1] และภานุกร บุญสุข[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Thanasak Rattanapoottapiboon[1] Suraphot Watcharophakul[1*] Rungwasun Kraiklang[1] Chakat Chueadee[1] Surat Wannasri[1] Surasak Matitopanum[1] and Phanukorn Bunsuk[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

E-mail: surapot@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด ที่มีผลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 ในกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงผสมสารขัด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (BBD) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยทั้งสี่มีผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) โดยค่าความหยาบผิวที่ได้อยู่ในช่วง 3.21 ถึง 4.75 ไมโครเมตร เงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด ได้แก่ แรงดันน้ำ 35,000 PSI ความเร็วตัด 20 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะยกหัวตัด 1.64 มิลลิเมตร และใช้สารขัดโกเมน II โดยแบบจำลองที่ได้มีค่าความแม่นยำสูง (R^2 = 88.36% และ Adjusted R^2 = 81.03%) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด เพื่อควบคุมคุณภาพผิวงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

คำหลัก ความหยาบผิว, การตัดด้วยแรงดันน้ำสูง, การออกแบบการทดลอง, บ็อกซ์-เบห์นเคน

Abstract

This research aims to investigate the effects of various factors, including water pressure, cutting speed, stand-off distance, and abrasive type, on the surface roughness of SKD 11 tool steel in the abrasive water jet cutting process. The study applied the Box-Behnken Design (BBD) for experimental design and employed Analysis of Variance (ANOVA) for statistical analysis. The results revealed that all four factors significantly influenced the surface roughness (p-value < 0.05), with surface roughness values ranging between 3.21 and 4.75 micrometers. The optimal condition yielding the lowest surface roughness was at a water pressure of 35,000 Psi, a cutting speed of 20 mm/min, a stand-off distance of 1.64 mm, and the use of Garnet Abrasive II. The developed model demonstrated high accuracy with an R^2 of 88.36% and an Adjusted R^2 of 81.03%. The findings can be utilized as a guideline for selecting

appropriate parameters in abrasive water jet cutting to achieve desirable surface quality and enhance production efficiency.

Keywords: Surface roughness, water jet cutting, Design of experiment, Box-Behnken Design

วิศวกรรมย้อนรอยของรอยเชื่อมรางรถไฟด้วยกระบวนการเชื่อมเทอร์มิต

Reverse Engineering of Rail Track Welds using the Thermite Welding Process

ซูไฮดี สนิ[1*] วิทยา ศิริคุณ[2] รอมฎอน บูระพา[3] วิฆเนศ เพชรสุวรรณ[4] จุฑามาศ จำปาพา[5]
บาซิล อาดำ[6] และ วิศรุต แสงวิมาน[7]
[1,2,3,4,5,6] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[7] ห้างหุ้นจำกัด เพอร์ไลท์ คอนทรัคชั่น อ.หนองจิก จ.ปัตตานี
E-mail: suhaidee.s@rmutsv.ac.th[*]

Suhaidee Sani[1*] Witthaya Sirikun[2] Romadorn Burapa[3] Wikhanate Pethsuwan[4] Jutamas Jamphapa[5]
Basin Adam[6] and Wissarut Sangwiman[7]
[1,2,3,4,5,6] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Srivijaya
[7] Pearlite Constuction Limited Partnership, Nongchik Pattani
E-mail: suhaidee.s@rmutsv.ac.th[*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยของรอยเชื่อมรางรถไฟที่ผ่านการใช้จริงและเกิดความเสียหาย โดยทำการทดสอบจากชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 บริเวณ ของเหล็กรางรถไฟ ประกอบด้วย 1) ส่วนหัวราง 2) ส่วนเอวราง และ 3) ส่วนฐานราง ดำเนินการวัดผลค่าความแข็งแบบบริเนลล์ และการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาในระดับมหภาค และระดับจุลภาค จากการทดลองพบว่า เหล็กรางรถไฟของชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 284.18 HB สำหรับโครงสร้างทางโลหะวิทยาระดับมหภาคจะมีขนาดความกว้างของเนื้อโลหะเชื่อมในบริเวณหัวรางกว้างมากที่สุด และโครงสร้างระดับจุลภาค พบว่าประกอบด้วยโครงสร้างเพิร์ลไลต์ และเฟอร์ไรต์ จากการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลสอดคล้องกับมาตรฐานวัสดุเหล็กรางรถไฟ เกรด R260 หรือ R260 Mn และผ่านกระบวนการเชื่อมต่อรางด้วยกระบวนการเชื่อมแบบเทอร์มิต

คำหลัก: วิศวกรรมย้อนรอย เชื่อมเทอร์มิต ความแข็ง โลหะวิทยา

Abstract

This research aims to explore the application of reverse engineering techniques on rail joints that have been in actual use and sustained damage. Tests were conducted on three test specimens of rail steel, consisting of 1) Head, 2) Web, and 3) Foot. The Brinell hardness test was used to measure hardness, and metallurgical structures. The results showed that the average hardness of the tested rail steel was 284.18 HB. At the macro level, the width of the welded metal structure in the rail head area was the widest. At the microstructural level, the structure was composed of pearlite and ferrite. The application

of reverse engineering techniques allowed the experimental results to be analyzed and found to be consistent with the material standards for rail steel, grade R260 or R260 Mn, which underwent rail joint welding using the thermite welding process.

Keywords: Reverse Engineering, Thermite welding, Hardness, Metallurgy

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบการขนส่งทางรางมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างมาก มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งทางคู่[1] และรถไฟความเร็วสูง[2] รางรถไฟเป็นส่วนที่สำคัญของระบบทางรถไฟในการทำหน้าที่รับน้ำหนัก และช่วยบังคับทิศทางของรถไฟ น้ำหนักบรรทุกจะถูกถ่ายเทไปยังส่วนของรางรถไฟ [3] รางรถไฟจะเป็นตัวรับน้ำหนักขบวนรถไฟ [4] เหล็กรางรถไฟจะต้องมีความแข็งแรงในการรับภาระเชิงกลต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของเหล็กราง [5] นอกจากจะทำให้รถไฟสามารถวิ่งได้เร็วขึ้น ยังทำให้คุณภาพการใช้งานดีขึ้น [6] และเพื่อความน่าเชื่อของทางรถไฟในการใช้งาน กระบวนการในการตรวจสอบข้อบกพร่องในทางรถไฟด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกล และทางเคมีของวัสดุรางรถไฟ [7] การซ่อมบำรุงมีความสำคัญที่ทำให้รางมีคุณภาพในการใช้งาน การซ่อมบำรุงรักษาของรางรถไฟที่ผ่านพฤติกรรมการใช้งานนั้น ในบางครั้งจะเกิดความเสียหาย เช่น รางหัก รางผิวถลอก เป็นต้น เพื่อให้คุณภาพของทางรถไฟเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ [8] ในการซ่อมบำรุงของรอยเชื่อมรางรถไฟโดยการนำวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้เพื่อวิเคราะห์กระบวนการเชื่อมจากข้อมูลสมบัติของวัสดุกรรมวิธีการผลิต [9] เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในตัดสินใจงานซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

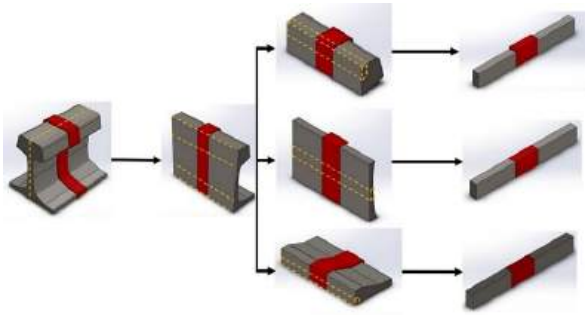
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจำเป็นในการศึกษาวิศกรรมย้อนรอยของผลการทดสอบความแข็ง และโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมรางรถไฟ เพื่อนำผลจากการศึกษาไปเป็นข้อมูลในงานซ่อมบำรุงทางรถไฟต่อไปอย่างเหมาะสม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยของรอยเชื่อมรางรถไฟที่ผ่านการใช้และเกิดความเสียหายในทางรถไฟ และใช้เป็นแนวทางการซ่อมบำรุงรอยเชื่อมที่ถูกต้อง โดยมีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

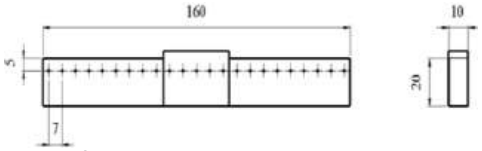
การตัดเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบ โดยทำการออกแบบชิ้นงานทดสอบรางรถไฟที่ผ่านการเชื่อมที่มีขนาดความยาว 160 มม. โดยได้นำรางมาตัดครึ่ง จากนั้นทำการตัดแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ หัวราง (Head) เอวราง (Web) ฐานราง (Foot) นำแต่ละชิ้นมาตัดเป็นชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด 10 x 20 x 160 มม. ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การตัดรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อม

2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งโดยใช้การวัดค่าความแข็งแบบบริเนลล์ ใช้หัวกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. และใช้แรงกดเท่ากับ 750 กิโลกรัมแรง ทำการทดลองทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวราง (Head rail) เอวราง (Web rail) และฐานราง (Foot rail) แต่ละส่วนจะมีตำแหน่งทดสอบทั้งหมด 23 ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งห่างกัน 7 มม. โดยจะเริ่มกดจุดแรกที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน 1 จุด ซ้าย 11 จุด และขวา 11 จุด เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งที่ทดสอบกับมาตรฐานชนิดของเหล็กกล้าในมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่ง และจราจร (สนข.) แสดงตำแหน่งการทดสอบรูปที่ 2

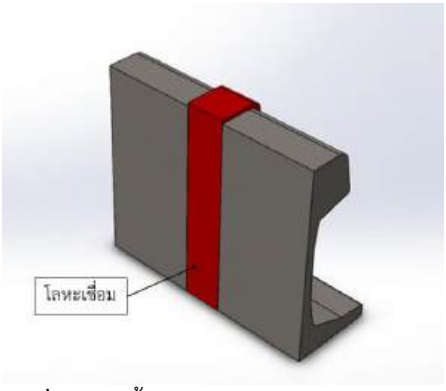


รูปที่ 2 ตำแหน่งการกดทดสอบความแข็ง

2.2 การตรวจสอบทางโลหะวิทยา

2.2.1 ระดับมหภาค (Macrostructure)

การทดสอบโครงสร้างทางมหภาคของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกรรมวิธีการเชื่อม โดยการเปรียบเทียบลักษณะความกว้างของบริเวณโลหะเชื่อม บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และบริเวณโลหะเดิมของชิ้นงานทดสอบ และเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาคโดยอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัย Trends in rail welding technologies and our future approach (Saita, K. and Others) [10] ซึ่งแสดงแบบชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาคดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาค

2.2.2 ระดับจุลภาค (Microstructure)

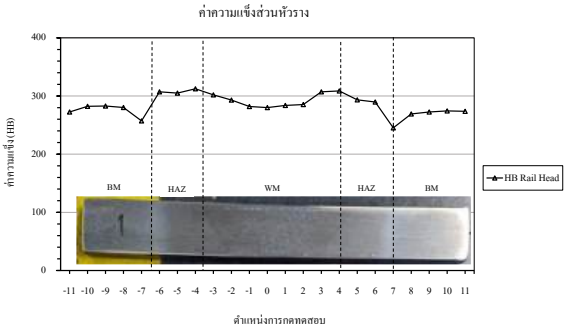
การทดสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกรรมวิธีการเชื่อม เป็นการทดสอบชิ้นงานส่วนหัวราง เอวราง และฐานราง การเปรียบเทียบลักษณะการจัดเรียงตัวของเกรน และขนาดความโตของเกรนของบริเวณโลหะเชื่อมกับบริเวณโลหะเดิมของชิ้นงานทดสอบ โดยเหล็กรางรถไฟที่พบต้องมีโครงสร้างเพิร์ลไลต์ และเฟอร์ไรต์เป็นหลัก การจัดเรียงตัวของเกรนจะมีทิศทางตามแนวแรงในขั้นตอนการแปรรูป

3. ผลการวิจัย

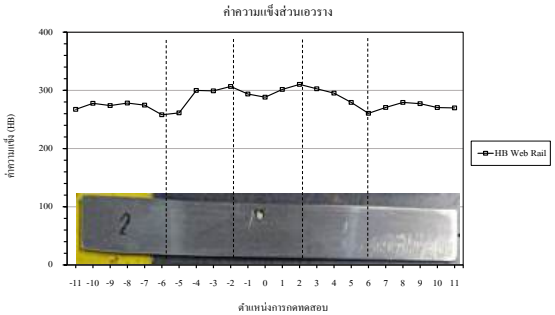
ผลจากการทดสอบความแข็ง และการทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาในระดับมหภาค (Macrostructure) และระดับจุลภาค (Microstructure) ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคทฤษฎีวิศวกรรมย้อนรอย

3.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

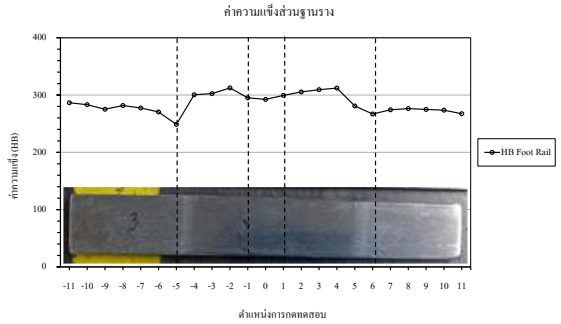
ผลการทดสอบความแข็งจากการทดสอบความแข็งชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้น จะเห็นความแตกต่างในแต่ละตำแหน่งการวัดว่ามีค่าความแข็งแตกต่างกัน บริเวณโลหะเชื่อมจะมีความแข็งใกล้เคียงกับบริเวณเนื้อโลหะเดิม บริเวณรอยเชื่อมของทั้ง 3 ชิ้น จะมีขนาดความกว้างของโลหะเชื่อมที่แตกต่างกัน เพราะหัวรางจะมีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุด จากการทดสอบค่าความแข็งโดยวิธีการทดสอบแบบบริเนลล์ ดังรูปที่ 4 รูปที่ 5 และรูปที่ 6



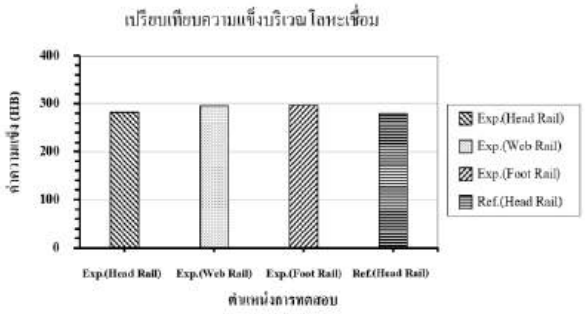
รูปที่ 4 ผลทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ส่วนหัวราง



รูปที่ 5 ผลทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ส่วนเอวราง



รูปที่ 6 ผลทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ส่วนฐานราง



รูปที่ 7 เปรียบเทียบความแข็งบริเวณโลหะเชื่อม

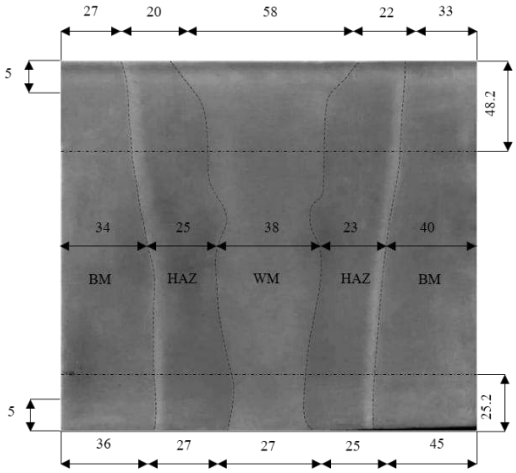
วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งจากการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ ค่าที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 ชิ้นทดสอบ พบว่าบริเวณโลหะเชื่อมกับบริเวณโลหะเดิมจะมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากโลหะเชื่อมจะต้องมีการทำให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับโลหะเดิมซึ่งจากค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบเมื่อนำค่าความแข็งที่ได้มาเทียบกับมาตรฐานชนิดของเหล็กกล้าในมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่ง และจราจร (สนข.)) [8] ทำให้ทราบว่าความแข็งที่ได้ทำการทดสอบมีค่าความแข็งที่อยู่ในช่วงความแข็งที่ใกล้เคียงกับค่าความแข็งของเหล็กกล้าชนิด R260 และ R260 Mn

ค่าทดสอบความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมจากชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้น มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งจากตำแหน่งการวัดที่ตำแหน่ง -1, 0 และ 1 เพื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความแข็งของโลหะเชื่อม ซึ่งค่าความแข็งเฉลี่ยจากชิ้นงานทดสอบส่วนหัวรางมีค่าความแข็งเท่ากับ 282.01 HB ส่วนเอวรางมีค่าความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมเฉลี่ยเท่ากับ 294.53 HB และชิ้นงานทดสอบส่วนฐานรางมีค่าความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมเท่ากับ 295.66 HB จากค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบที่มีความสอดคล้องกันกับค่าความแข็งที่ได้จาการทดสอบในงานวิจัย Trends in rail welding technologies and our future approach (Saita, K. and Others) [10] ที่มีค่าความแข็งในส่วนของบริเวณโลหะเชื่อมเท่ากับ 280 HB แสดงผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 7

3.2 ผลการทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

3.2.1 ระดับมหภาค (Macrostructure)

ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค จะทำการตรวจสอบโดยการสังเกตลักษณะของโลหะเชื่อม จากการวัดขนาดความกว้างของบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม บริเวณกระทบร้อน และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของเหล็กรางรถไฟชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 8



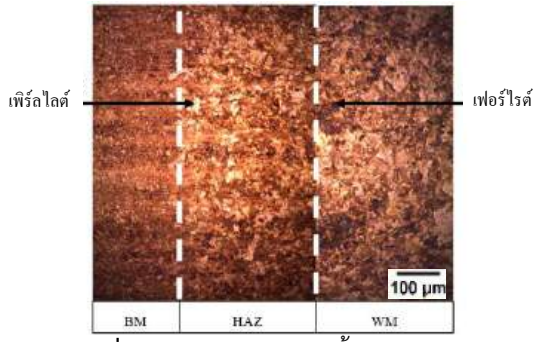
รูปที่ 8 โครงสร้างมหภาคชิ้นงานทดสอบ

วิเคราะห์ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในการทดสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบบริเวณที่เป็นโลหะเชื่อมส่วนหัวรางจะมีความกว้างกว่าบริเวณอื่น ๆ และมีระยะการเกิดบริเวณกระทบร้อนที่มีความสอดคล้องกับวิจัย Trends in rail welding technologies and our future approach (Saita, K. and Others) [10] ที่ได้แสดงโครงสร้างมหภาคของรางที่ผ่านวิธีการเชื่อมต่อรางทั้ง 4 วิธี จากลักษณะทางโครงสร้างมหภาคที่ทำการทดสอบมีลักษณะ

ของโครงสร้างมหภาคที่ใกล้เคียงกับเหล็กรางรถไฟที่ผ่านการเชื่อมต่อรางด้วยวิธีการเชื่อมเทอร์มิต

3.2.2 ระดับจุลภาค (Microstructure)

ผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาค จะทำการตรวจสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมบริเวณกระทบร้อน และบริเวณเนื้อโลหะเดิม จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณโลหะเดิม บริเวณกระทบร้อน และบริเวณโลหะเชื่อม สังเกตได้ว่าบริเวณโลหะเดิมกับบริเวณกระทบร้อนเกรนจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ลักษณะเกรนที่บริเวณโลหะเดิมมีลักษณะของเกรนจะมีขนาดเล็ก และถูกบีบจนลีบในบริเวณกระทบร้อนเกรนที่มีลักษณะขยายตัว เนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อนสูงในขณะที่ทำการเชื่อมต่อราง ส่วนบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมเกรนจะมีทิศทางการจัดเรียงตัวที่เป็นอิสระและมีขนาดเกรนเป็นเกรนโต โครงสร้างที่พบในบริเวณทั้ง 3 บริเวณจะเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์ และโครงสร้างเพิร์ลไลต์ ที่แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานทดสอบ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นลักษณะโครงสร้างที่เป็นเพิร์ลไลต์ กับเฟอร์ไรต์ ซึ่งบริเวณสีดำที่เป็นชั้น ๆ คือเพิร์ลไลต์ และพื้นที่สีขาว คือเฟอร์ไรต์ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดในชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้นนี้ มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าเหล็กรางรถไฟนี้ได้ผ่านกระบวนการเชื่อมต่อรางเทอร์มิต เนื่องจากบริเวณโลหะเชื่อมมีลักษณะการเกิดเกรนที่แตกต่างจากบริเวณกระทบร้อน และบริเวณเนื้อโลหะเดิม ซึ่งจากการศึกษากรรมวิธีการเชื่อมต่อรางรถไฟทั้ง 4 กรรมวิธี มีเพียง 2 กรรมวิธีที่เป็นการเติมโลหะในการเชื่อม เมื่อทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าความแข็งกับโครงสร้างทางมหภาค จึงสรุปได้ว่าเหล็กรางรถไฟชิ้นทดสอบนี้ผ่านกระบวนการเชื่อมเทอร์มิต

4. สรุป

จากการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยในการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความแข็ง และโครงสร้างโลหะวิทยาในระดับมหภาค (Macrostructure) และระดับจุลภาค (Microstructure) ของรอยต่องานเชื่อมเหล็กรางรถไฟ เพื่อให้ทราบถึงชนิดของวัสดุต้นแบบตามมาตรฐานของผู้ผลิตในแต่ประเทศที่ใช้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเหล็กรางรถไฟ และยังสามารถทำการสืบหากระบวนการที่ใช้ในการเชื่อมต่อรางรถไฟที่ถูกต้อง

4.1 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์จากชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ความแข็งที่สูงที่สุดคือ 312.39 HB ความแข็งที่ต่ำที่สุดคือ 245.28 HB ทำให้ทราบว่าเหล็กรางรถไฟที่ใช้ในการทดสอบมีความแข็งอยู่ในช่วง 260-300 HB ซึ่งเป็นเหล็กรางรถไฟเกรด R260 และ R260 Mn

4.2 การทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1) การทดสอบโครงสร้างมหภาคของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านการเชื่อมต่อรางพบว่าเหล็กรางรถไฟที่ทำการตรวจสอบผ่านกรรมวิธีการเชื่อมเทอร์มิต เนื่องจากบริเวณที่เป็นโลหะเชื่อมมีขนาดใหญ่ และเนื้อของโลหะเชื่อมจะหยาบกว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิม

2) จากการทดสอบโครงสร้างระดับจุลภาค พบว่าโครงสร้างระดับจุลภาค ในบริเวณที่เป็นเนื้อเชื่อมกับโลหะเดิม มีลักษณะการจัดเรียงทิศทางของเกรนโครงสร้างที่แตกต่างกัน จึงทำให้ทราบได้ว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมต่อรางด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแบบเทอร์มิต

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลศรีวิชัย สนับสนุนและอำนวยความสะดวก และนายวิศรุต แสงวิมาน หจก. เพอร์ไลท์ คอนสทรัคชั่น สนับสนุนวัสดุเหล็กรางรถไฟ เพื่อใช้ในการทำวิจัยจนลุล่วงสำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2560). Complete Guide To SRT 4.0. วารสารรถไฟสัมพันธ์, 1(2), หน้า 1-36.

[2] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีร่วมกับการรถไฟแห่งประเทศไทย. (2558). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ.พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพ:เอนนี่บ็อกซ์แพคเกจจิ้ง.

[3] นคร จันทศร. (2554). ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการจัดตั้งสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีระบบขนส่งทางรางแห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

[4] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). (2561). มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ. กรุงเทพ : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.).

[5] บรรเลง ศรนิล, กอบบุญ หล่อทองคำ, และFritz Hartung. (2558, กรกฎาคม-ธันวาคม). การเชื่อมรางรถไฟพื้นฐานด้านเทคโนโลยีและโลหะวิทยา. สถาบันการเชื่อมแห่งประเทศไทย The Journal of Welding Institute of Thailand, 1(2), หน้า 37-45.

[6] เอกรัตน์ ไวยนิตย์, สยาม แก้วคำไสย์ และศิริวรรณ อ่วมปาน. (2557). โลหะวิทยากับรางวิ่งในรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

[7] วีระชัย ลามอ. (2557, เมษายน). การตรวจสอบข้อบกพร่องในรางรถไฟ (Rail Flaw Detection): กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 62(196), หน้า 43-45.

[8] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). (2561). คู่มือการบำรุงรักษาโครงสร้างทางรถไฟ. กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร.

[9] ส่วนส่งสริมการพัฒนาเทคโนโลยี สำนักส่งเสริม และถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. (2553). เรื่องเล่าความสำเร็จการพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบด้วยกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย. กรุงเทพ : สำนักงานพระพุทธศาสนา.

[10] Saita, K. and Others. (2013, December). Trends in rail welding technologies and our future approach. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report. 1(105), pp. 84-92.

การพัฒนากระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์โดยใช้แบบไม้และเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้ง

On the Development of Pewter Casting Process Using Wood Molds and Laser Cutting Technology

ศุภฤกษ์ รัศมีแพทย์ และ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Suphalerk Rassamipat and Apisak Harnpicharnchai*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: apisak.ha@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการหล่อโลหะพิวเตอร์โดยใช้กระสวนไม้ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้ง เพื่อศึกษาความแม่นยำของชิ้นงานหล่อ วิเคราะห์อัตราการหดตัว และประเมินความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในงานต้นแบบที่ต้องการความละเอียดสูง การทดลองประกอบด้วยการออกแบบชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมและวงกลม จากนั้นตัดไม้ตามแบบด้วยเลเซอร์เพื่อนำไปใช้เป็นกระสวนหล่อพิวเตอร์ ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานไม้มีค่าความคลาดเคลื่อนด้านขนาดเล็กน้อย (±1%) จากผลของการเผาไหม้ของแสงเลเซอร์ ส่วนชิ้นงานพิวเตอร์เกิดการหดตัวโดยเฉพาะในแนวความหนา (เฉลี่ย 5–8%) เนื่องจากไม่มีระบบป้อนเติมน้ำโลหะ อย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบกระสวนให้มีการชดเชยขนาดและเพิ่มระบบป้อนโลหะ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งในการสร้างกระสวนไม้ที่ใช้ได้จริงสำหรับกระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์ในงานผลิตที่ต้องการความละเอียดสูง

คำสำคัญ: การหล่อพิวเตอร์, กระสวนไม้, เลเซอร์คัตติ้ง, การหดตัว, การผลิตชิ้นงานละเอียดสูง

Abstract

This research aims to develop a pewter casting technique using wooden patterns fabricated by laser cutting technology. The objectives include examining the dimensional accuracy of cast products, analyzing shrinkage rates, and evaluating the feasibility of applying this technique for high-precision prototyping. The experiment involved designing square and circular parts, laser-cutting wood to create molds, and casting pewter into these molds. The results showed minor dimensional deviations (±1%) in the wooden patterns due to laser burning. Pewter castings experienced noticeable shrinkage, particularly in thickness (averaging 5–8%), as no metal feeding system was applied. These issues can be mitigated by compensating the mold dimensions and incorporating riser systems. The study demonstrates the potential of laser-cut wooden molds as a viable method for producing intricate

pewter castings with high precision and efficiency.

Keywords: Pewter casting, Wooden mold, Laser cutting, Shrinkage, High-precision manufacturing

1. บทนำ

การหล่อโลหะเป็นเทคนิคการผลิตที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ทรายเป็นวัสดุสำหรับสร้างกระสวนหล่อ เนื่องจากสามารถทนความร้อนสูงและขึ้นรูปได้ง่าย อย่างไรก็ตาม กระสวนทรายมีข้อจำกัด เช่น ผิวชิ้นงานไม่เรียบ และไม่สามารถสร้างรายละเอียดที่ซับซ้อนได้ดีนัก จึงมีการพัฒนาทางเลือกใหม่ ๆ เช่น การใช้ไม้เป็นวัสดุในการสร้างกระสวน โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้ง ซึ่งสามารถตัดไม้ได้อย่างแม่นยำและสร้างรูปทรงซับซ้อนได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ (Khatak, 2022; Aniszewska et al., 2020)

นอกจากนี้ การใช้กระสวนไม้ยังช่วยลดระยะเวลาในการผลิตและลดต้นทุนได้ เนื่องจากไม้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมทรายหรือแม่พิมพ์ซ้ำซ้อน จึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อยหรืองานต้นแบบที่ต้องการความรวดเร็ว

โลหะพิวเตอร์ (Pewter) หรือโลหะผสมพิวเตอร์ เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการหล่อเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 170–230 องศาเซลเซียส (Buck, 1906) ในขณะที่ไม้ทั่วไปสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 200–300 องศาเซลเซียส (Ahmadi et al., 2020) ความใกล้เคียงของช่วงอุณหภูมินี้ทำให้สามารถใช้กระสวนไม้กับการหล่อพิวเตอร์ได้โดยตรงโดยไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้หรือเสียรูปมากนัก หากควบคุมเงื่อนไขการหล่ออย่างเหมาะสม

เทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกระสวนจากไม้ เนื่องจากสามารถตัดไม้ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ทำให้ได้กระสวนที่มีความละเอียดสูงและซับซ้อนมากขึ้น (Khatak, 2022; Aniszewska et al., 2020) จึงเหมาะกับการนำไปใช้ผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำสูงหรือมีลวดลายซับซ้อน เช่น งานประติมากรรมขนาดเล็ก เครื่องประดับ และของตกแต่ง

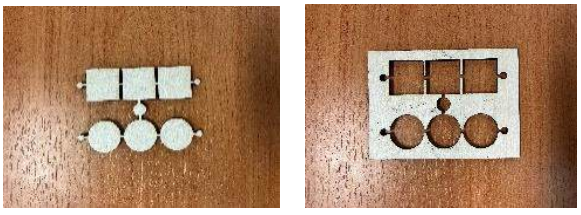
งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้กระสวนไม้ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งในกระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์ เพื่อประเมินศักยภาพด้านความแม่นยำ ความสามารถในการสร้างรูปทรงซับซ้อน และอัตราการหดตัวของชิ้นงานหล่อ โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการลดต้นทุนและเวลาในการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่ต้องการความละเอียดสูง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการสร้างกระสวนไม้ด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งสำหรับกระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์
2. เพื่อศึกษาความแม่นยำของชิ้นงานหล่อที่ได้จากกระสวนไม้เปรียบเทียบกับแบบต้นฉบับ
3. เพื่อวิเคราะห์อัตราการหดตัวของชิ้นงานหล่อพิวเตอร์เมื่อใช้กระสวนไม้
4. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้สำหรับการผลิตต้นแบบที่มีความซับซ้อนและต้องการความละเอียดสูง

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ออกแบบชิ้นงานตัวอย่างสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร, ยาว 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตรและชิ้นงานวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. ตัดไม้หนา 5 มิลลิเมตรตามแบบที่ออกแบบ ด้วยกระบวนการเลเซอร์คัตติ้งเพื่อทำเป็นแบบหล่อไม้ (Wood mold) ซึ่งจะได้ชิ้นงานไม้ (Wood part)สี่เหลี่ยมและวงกลมดังรูปที่ 1 จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไม้ดังกล่าวมาวัดขนาด หากเป็นชิ้นงานจะเรียกว่าวัด Outside แต่ถ้าเป็นแบบไม้จะเรียกว่าวัด Inside



Wood part Wood mold

รูปที่ 1 ชิ้นงานไม้และแบบไม้

3. หลอมโลหะพิวเตอร์ด้วยเตาไฟฟ้าเซรามิกที่อุณหภูมิ 170 - 230 องศาเซลเซียส

4. เทพิวเตอร์ลงแบบไม้สี่เหลี่ยมและวงกลมที่เตรียมไว้ รอให้เย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง

5. รื้อแบบไม้และนำชิ้นงานพิวเตอร์ออกมาวัดขนาด ทั้งชิ้นงานสี่เหลี่ยมและวงกลม ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ชิ้นงานพิวเตอร์หล่อในแบบไม้

6. การวัดขนาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ขั้นตอนการผลิตคือ ชิ้นงานไม้ที่เกิดจากการตัดด้วยเลเซอร์ และชิ้นงานพิวเตอร์หล่อในแบบไม้ ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร (mm) เพื่อเปรียบเทียบขนาดของชิ้นงานในแต่ละกระบวนการ โดยการอ้างอิงขนาดจากชิ้นงานแบบคอมพิวเตอร์ ทั้งชิ้นงานสี่เหลี่ยมและวงกลม โดยจะทำการวัดขนาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะเปลี่ยนตำแหน่งการวัดไม่ให้ซ้ำกับตำแหน่งเดิมเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยชิ้นงานไม้ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการตัดนั้นจะเกิดขึ้น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็น wood part และ wood pattern จากนั้นเมื่อทำการหล่อขึ้นรูปโดยโลหะพิวเตอร์จะเกิดชิ้นงานขึ้น

4. ผลงานวิจัย

ผลการวัดขนาดของชิ้นงานทดลองในแต่ละขั้นตอนการผลิตชิ้นงานพิวเตอร์หล่อในแบบไม้นั้น

ชิ้นงานวงกลมจะทำการวัดค่าความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางจำนวน 3 ครั้งและค่าความหนา โดยชิ้นงานไม้จะวัด Outside, แบบไม้จะวัด Inside และชิ้นงานพิวเตอร์จะวัด Outside ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวัดขนาดชิ้นงานวงกลม

ชิ้นที่		เส้นผ่านศูนกลาง (mm)				หนา (mm)
		ครั้งที่			เฉลี่ย	
		1	2	3		
Wood Part Outside	1	24.92	24.82	24.92	24.89	5.00
	2	24.92	24.94	24.92	24.93	5.00
	3	24.84	24.82	24.94	24.87	5.00
Wood Pattern Inside	1	25.10	25.30	25.20	25.20	5.00
	2	25.26	25.10	25.20	25.19	5.00
	3	25.30	25.10	25.20	25.20	5.00
Pewter Part Outside	1	25.10	25.10	24.96	25.05	4.58
	2	24.92	24.96	25.00	24.96	4.90
	3	24.90	24.94	25.14	24.99	4.70

ชิ้นงานสี่เหลี่ยม จะทำการวัดค่าจะทำการวัดค่าความกว้าง, ยาว และหนา โดยชิ้นงานไม้จะวัด Outside, แบบไม้จะวัด Inside และชิ้นงานพิวเตอร์จะวัด Outside เช่นเดียวกันกับชิ้นงานวงกลม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวัดขนาดชิ้นงานสี่เหลี่ยม

ชิ้นที่		วัดขนาด (mm)			
		ด้านขอบ			หนา
		กว้าง	ยาว	เฉลี่ย	
Wood Part Outside	1	24.88	24.88	24.88	5.00
	2	24.92	24.90	24.91	5.00
	3	24.92	24.90	24.91	5.00
Wood Pattern Inside	1	25.26	25.24	25.25	5.00
	2	25.10	25.20	25.15	5.00
	3	25.12	25.20	25.16	5.00

ชิ้นที่		วัดขนาด (mm)			
		ด้านขอบ			หนา
		กว้าง	ยาว	เฉลี่ย	
Pewter Part Outside	1	25.10	25.00	25.05	4.62
	2	25.10	25.10	25.10	4.70
	3	25.10	25.10	25.10	4.80

5. อภิปรายผลงานวิจัย

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำขนาดของชิ้นงานวงกลมของแต่ละกระบวนการมาเปรียบเทียบกับแบบชิ้นงาน พบว่าในส่วนของชิ้นงานไม้เส้นผ่านศูนย์กลางนั้นมีขนาดเล็กกว่าแบบชิ้นงานสูงสุด 0.72 % และในส่วนของแบบไม้จะมีขนาดใหญ่กว่าแบบชิ้นงานสูงสุด 1.2% เนื่องจากการเผาไหม้ของแสงเลเซอร์บริเวณขอบ Inside และ Outside ของชิ้นงานและแบบที่เป็นไม้ ซึ่งในส่วนของความหนาไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากไม่ถูกเผาไหม้โดยแสงเลเซอร์ ในส่วนของชิ้นงานพิวเตอร์นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับแบบชิ้นงานบางส่วนจะมีขนาดใหญ่ และบางส่วนจะมีขนาดเล็กกว่าแบบชิ้นงาน เนื่องจาก ชิ้นงานพิวเตอร์หล่อในแบบไม้ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบงาน และเกิดการหดตัวเนื่องจากการแข็งตัวของโลหะจึงทำให้ได้ขนาดดังกล่าว โดยหากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบงานแล้ว ชิ้นงานพิวเตอร์จะมีขนาดแตกต่างจากแบบชิ้นงานในด้านขอบของชิ้นงานมากที่สุด 0.56% แต่ในส่วนด้านความหนานั้นมีการหดตัวสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบงานแล้วมีขนาดแตกต่างถึง 8.4% เนื่องจากวิธีการทำแบบเป็นแบบแนวนอนและมีทางวิ่งของน้ำโลหะเข้าเฉพาะด้านข้างของชิ้นงานโดยไม่มีการคำนวณระบบป้อนเติมน้ำโลหะเพื่อชดเชยการหดตัวของชิ้นงาน จึงทำให้น้ำโลหะมีไม่เพียงพอไปป้อนเติมการแข็งตัวของชิ้นงานด้านบน จึงทำให้เกิดการหดตัวขึ้นอย่างมากในด้านความหนาของชิ้นงาน และเมื่อนำขนาดของแบบไม้มาเปรียบเทียบกับขนาดของชิ้นงานพิวเตอร์ จะได้ค่าการหดตัวของชิ้นงานพิวเตอร์ที่หล่อด้วยแบบไม้โดยด้านขอบชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 0.77% และด้านความหนาเท่ากับ 5.47% ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเปอร์เซนความแตกต่างของขนาดชิ้นงานวงกลมในกระบวนการต่างๆ

ชิ้นที่		เส้นผ่านศูนกลาง 25.00 mm (%)				หนา 5.00 mm (%)
		ครั้งที่			เฉลี่ย	
		1	2	3		
Wood Part Outside	1	-0.32	-0.72	-0.32	-0.45	0.00
	2	-0.32	-0.24	-0.32	-0.29	0.00
	3	-0.64	-0.72	-0.24	-0.53	0.00
Wood Pattern Inside	1	0.40	1.20	0.80	0.80	0.00
	2	1.04	0.40	0.80	0.75	0.00
	3	1.20	0.40	0.80	0.80	0.00
Pewter Part Outside	1	0.40	0.40	-0.16	0.21	-8.40
	2	-0.32	-0.16	0.00	-0.16	-2.00
	3	-0.40	-0.24	0.56	-0.03	-6.00
Pewter Part Vs. Wood Pattern (%)	1	0.00	-0.79	-0.95	-0.58	-8.40
	2	-1.35	-0.56	-0.79	-0.90	-2.00
	3	-1.58	-0.64	-0.24	-0.82	-6.00
ค่าเปอร์เซนการหดตัวของงานหล่อ Pewter ในแบบหล่อไม้					-0.77	-5.47

ในส่วนของชิ้นงานสี่เหลี่ยมก็มีลักษณะความแตกต่างของขนาดกับแบบชิ้นงานในแต่ละกระบวนการเช่นเดียวกันกับชิ้นงานวงกลม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบชิ้นงานชิ้นงานไม้จะมีขนาดเล็กว่ามากที่สุดคือ 0.48% และแบบไม้จะมีขนาดใหญ่กว่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.96% ซึ่งเกิดจากเผาไหม้ของแสงเลเซอร์ ในส่วนชิ้นงานพิวเตอร์ในด้านขอบจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบงานมากที่สุดคือ 0.4% และในส่วนของความ

หนาจะมีขนาดเล็กกว่าแบบชิ้นงานมากที่สุดอยู่ที่ 7.6% ซึ่งเกิดจากการเทในแบบแนวนอนและไม่ได้คำนวณการป้อนเติมน้ำโลหะเช่นเดียวกับชิ้นงานวงกลม

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบเปอร์เซนความแตกต่างของขนาดชิ้นงานสี่เหลี่ยมในกระบวนการต่างๆ

ชิ้นที่		วัดขนาด 25 mm (%)			
		ด้านขอบ			หนา 5 mm
		กว้าง	ยาว	เฉลี่ย	
Wood Part Outside	1	-0.48	-0.48	-0.48	0.00
	2	-0.32	-0.40	-0.36	0.00
	3	-0.32	-0.40	-0.36	0.00
Wood Pattern Inside	1	1.04	0.96	1.00	0.00
	2	0.40	0.80	0.60	0.00
	3	0.48	0.80	0.64	0.00
Pewter Part Outside	1	0.40	0.00	0.20	-7.60
	2	0.40	0.40	0.40	-6.00
	3	0.40	0.40	0.40	-4.00
Pewter Part Vs. Wood Pattern (%)	1	-0.63	-0.95	-0.79	-7.60
	2	0.00	-0.40	-0.20	-6.00
	3	-0.08	-0.40	-0.24	-4.00
ค่าเปอร์เซนการหดตัวของงานหล่อ Pewter ในแบบหล่อไม้				-0.41	-5.87

และเมื่อนำขนาดของแบบไม้มาเปรียบเทียบกับขนาดของชิ้นงานพิวเตอร์ จะได้ค่าการหดตัวของชิ้นงานพิวเตอร์ที่หล่อด้วยแบบไม้โดยด้านขอบชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 0.41% และด้านความหนาเท่ากับ 5.87% ดังแสดงในตารางที่ 4

เมื่อนำค่าเปอร์เซนการหดตัวของงานหล่อพิวเตอร์ในแบบหล่อไม้ของชิ้นงานสีเหลี่ยมและชิ้นงานวงกลมมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่า ด้านขอบของชิ้นงานสี่เหลี่ยมมีการหดตัวน้อยกว่าชิ้นงานวงกลม เนื่องจากบริเวณเหลี่ยมมุมของชิ้นงานสี่เหลี่ยมจะช่วยให้เกิดการแข็งตัวที่เร็วกว่าชิ้นงานกลมที่มีการแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอทุกทิศทาง (Wlodawer R. ,2013; Mehrabian R. ,1982; Krane et al., 1995.) แต่ในส่วนความหนาชิ้นงานสี่เหลี่ยมมีการหดตัวมากกว่าชิ้นงานกลม เนื่องจากปริมาตรของชิ้นงานสี่เหลี่ยมมามากกว่าชิ้นงานกลมจากการคำนวณคือ 27.32% จึงทำให้เกิดการหดตัวในด้านความหนามากกว่า

6. สรุปผลงานวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้กระสวนไม้ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งมีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการหล่อโลหะพิวเตอร์ โดยมีข้อค้นพบหลักดังนี้

1. เทคนิคการสร้างกระสวนไม้ด้วยเลเซอร์คัตติ้งสามารถผลิตกระสวนได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยขอบชิ้นงานที่ตัดด้วยเลเซอร์มีขนาดคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากแบบต้นฉบับ เนื่องจากผลของการเผาไหม้
2. ความแม่นยำของชิ้นงานหล่อที่ได้จากกระสวนไม้ พบว่าขนาดของชิ้นงานพิวเตอร์ที่หล่อออกมามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 1% ในด้านขอบ และมีการหดตัวเฉลี่ยประมาณ 5–8% ในด้านความหนา ซึ่งสามารถชดเชยได้ด้วยการปรับขนาดของแบบหล่อให้เหมาะสม
3. อัตราการหดตัวของชิ้นงานหล่อพิวเตอร์ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทิศทางของความหนา โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (riser) ซึ่งส่งผลให้ส่วนบนของชิ้นงานได้รับโลหะไม่เพียงพอขณะแข็งตัว
4. ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ มีความชัดเจนว่าสามารถใช้ในการผลิตต้นแบบที่มีความซับซ้อนและต้องการความละเอียดสูงได้ โดยเฉพาะในงานจำนวนน้อยหรือชิ้นงานเฉพาะทาง หากมีการออกแบบระบบป้อนโลหะเพิ่มเติมก็จะยิ่งเพิ่มความสมบูรณ์ของชิ้นงาน

ดังนั้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการหล่อโลหะพิวเตอร์ด้วยกระสวนไม้ที่ผลิตจากเทคโนโลยีเลเซอร์คัตติ้งเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในงานต้นแบบหรือการผลิตเฉพาะทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการสร้างต้นแบบนวัตกรรม (Fabrication Laboratory) สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ทั้งนี้ การสนับสนุนดังกล่าวเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

1. Stefanescu, D. M. (2017). Surface Quality and Mold-Metal Interface Interaction. In Cast Iron Science and Technology (pp. 207-217). ASM International.
2. Wang, W., Stoll, H. W., Conley, J. G., Wang, W., Stoll, H. W., & Conley, J. G. (2010). Sand Casting Processes. Rapid Tooling Guidelines For Sand Casting, 1-10.
3. Buck, J. H. (1906). Pewter. The Metropolitan Museum of Art Bulletin, 1(11), 142-143.
4. Ahmadi, M., Minot, J., Allen, G., & Rector, L. (2020). Investigation of real-life operating patterns of wood-burning appliances using stack temperature data. Journal of the Air & Waste Management Association, 70(4), 393-409.
5. Khatak, P. (2022). Laser cutting technique: A literature review. Materials Today: Proceedings, 56, 2484-2489.
6. Aniszewska, M., Maciak, A., Zychowicz, W., Zowczak, W., Mühlke, T., Christoph, B., ... & Sujecki, S. (2020). Infrared laser application to wood cutting. Materials, 13(22), 5222.
7. Muangpool, T., & Pullteap, S. (2018, March). Reviews on laser cutting technology for industrial applications. In Third International Conference on Photonics Solutions (ICPS2017) (Vol. 10714, pp. 184-191). SPIE.
8. Wlodawer, R. (2013). *Directional solidification of steel castings*. Elsevier.
9. Mehrabian, R. (1982). Rapid solidification. *International Metals Reviews*, *27*(1), 185-208.
10. Krane, M. J. M., & Incropera, F. P. (1995). Analysis of the effect of shrinkage on macrosegregation in alloy solidification. *Metallurgical and Materials Transactions A*, *26*, 2329-2339.

ตัวแปรที่เหมาะสมของการเชื่อมประสาน CMT แบบจุดระหว่างอะลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

Optimization parameters of CMT spot weld-brazing between 5052 aluminum alloy and AISI 304 stainless steel

ภูเมศวร์ แสงระยับ[1] ทวี หมัดส๊ะ[1] นิวัฒน์ มูเก็ม[1] ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล[2] และ ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน[2*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล หัวหิน ประจวบคีรีขันธ์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
วิทยาเขตวังไกลกังวล หัวหิน ประจวบคีรีขันธ์

Phoometh Sangrayub[1] Tavee Madsa[1] Niwat Mookam[1] Thaweesak Rungsakthaweeku[2] and Piyapong Kesawadkorn [2*]
[1]Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Hua Hin,
Prachuapkhirikhan
[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Hua Hin, Prachuapkhirikhan

E-mail: piyapong.kes@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมของการเชื่อมประสาน CMT แบบจุดระหว่างอะลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ตัวแปรในการศึกษาประกอบด้วย (1) กระแสไฟฟ้า (2) โหมดการเชื่อม และ (3) ความเร็วในการป้อนลวดเติม การทดลองใช้กระแสไฟฟ้า 90 100 และ 100 A ใช้โหมดการเชื่อมประสานแตกต่างกันได้แก่ Synergic CMT Pulse และ Pulse Synergic สำหรับความเร็วในการป้อนลวดใช้ที่ 3 6 และ 9 m/sec ออกแบบการทดลองใช้บล็อกเบห์นเคน (Box-Behnken) และใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) หาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยการพิจารณาที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักของกระแสไฟฟ้าและความเร็วในการเชื่อมมีผลต่อความแข็งแรง เช่นเดียวกับปัจจัยร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง เทอมกำลังสองของกระแสไฟฟ้าและโหมดการเชื่อมประสานมีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ ผลการหาค่าที่เหมาะสมพบว่าการกำหนดกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 100.7 A โดยใช้โหมด Pules Synergic และความเร็วในการป้อนลวด 3 m/sec ทำให้ได้ผลตอบจากการทำนาย คือ 929.3 MPa อย่างไรก็ตามตัวแปรที่สามารถกำหนดได้จากเครื่องที่ใกล้ค่าแนะนำ คือ 101 A เมื่อทดลองยืนยันผลทำให้มีค่าเฉลี่ยของแรงดึงเฉือนสูงสุดคือ 1205.44 MPa

คำหลัก การเชื่อมประสาน CMT แบบจุด อะลูมิเนียมผสม 5052 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

Abstract

This research aimed to study the optimization parameters of CMT spot weld-brazing between 5052 aluminum alloy and AISI 304 stainless steel. The variables in the study included (1) weld-brazing current,

(2) weld-brazing mode, and (3) filler wire feed speed. The experiments were conducted with 90, 100, and 100 A currents using different modes: Synergic, CMT Pulse, and Pulse Synergic. The filler feed speeds were 3, 6, and 9 m/sec. The experimental design used Box-Behnken and Desirability Function to find the optimal condition by considering at 95% confidence level. The results showed that the main factors of weld-brazing current and filler feed speed affected the strength, as well as the joint factors of both variables, and the quadratic terms of weld-brazing current and mode affected the joint strength. The optimum result found that the weld-brazing current setting was 100.7 A using Pules Synergic mode, and the filler feed speed was 3 m/sec, which gave the predicted response of 929.3 MPa. The variable that can be determined from the machine close to the recommended value is 101 A. When the experimental results are confirmed, the average value of the maximum shear force is 1205.44 MPa.

Keywords: CMT spot wed-brazing, 5052 aluminum alloy, AISI 304 stainless steel

1. บทนำ

การปลูกสร้างและบูรณะซ่อมแซมอาคารที่อยู่อาศัยบ่อยครั้งมีละเลยการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและปัญหาด้านมลพิษ วัสดุประหยัดพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการตกแต่งอาคารจึงเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญในปัจจุบัน [1] ด้วยอาคารโครงสร้างเหล็กที่มีอยู่มาก การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas; GHG) จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในด้านความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม การออกแบบและการเลือกวัสดุสำหรับอาคารปัจจุบันเป็นทางเลือกสำหรับลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคาร [2] โลหะผสมอะลูมิเนียมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและทนต่อการกัดกร่อน อะลูมิเนียมถูกนำมาใช้ทั้งภายนอกภายในอาคารและงานอื่นๆ อีกมากมาย [3] ตลอดจนในงานวิศวกรรมโครงสร้าง เพราะมีคุณสมบัติเชิงกลที่พึงประสงค์ ควบคู่ไปกับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และยั่งยืน ซึ่งสามารถช่วยลดโดยการปล่อยคาร์บอนจากการก่อสร้างและพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนได้ [3, 4] สำหรับอะลูมิเนียมอัลลอยด์ซีรีส์ 5xxx มีความแข็งแรงปานกลางถึงสูง ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี มีความสามารถในการตัดเฉือน นิยมใช้ในงานสถาปัตยกรรม งานตกแต่งและเชื่อมประกอบได้ง่าย การก่อสร้างร่วมสมัยนำอะลูมิเนียมผสมมาใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ อาคาร หอคอยและโดม [4] นอกจากมีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดี อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักน่าประทับใจเมื่อเทียบกับเหล็กกล้า ทำให้อะลูมิเนียมรวมทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เหมาะแก่การใช้งานในงานในด้านวิศวกรรมต่างๆ และนำมาทดแทนการใช้เหล็กกล้า [5] อย่างไรก็ตาม สำหรับงานก่อสร้างและตกแต่งอาคารการเลือกเหล็กกล้าไร้สนิมที่เหมาะสม นอกจากจะคำนึงถึงความแข็งแรงแล้วยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความทนทานต่อการกัดกร่อนที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน รายละเอียดการออกแบบ การตกแต่งพื้นผิว การผลิตและการบำรุงรักษา [6] สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 เป็นเกรดสำหรับใช้งานเกี่ยวกับอาหาร (Food grade) มีความทนทาน ไม่มีอันตรายและไม่เป็นสนิม จึงนำมาใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคารเช่นกัน ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงสร้างอาคาร ถึงแม้ว่าที่ผ่านมามีการเกิดเหตุไฟไหม้อาคารเหล็กบ้างเป็นครั้งคราว แต่โครงสร้างส่วนใหญ่ยังคงสามารถใช้งานได้หลังจากมีการประเมิน ซ่อมแซมและได้รับการเสริมความแข็งแรงอย่างเหมาะสม จึงช่วยลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจจากอุบัติเหตุไฟไหม้ได้ เนื่องด้วยระยะเวลาและการสัมผัสกับอุณหภูมิสูงมีผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม [7]

ในอดีตการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมมีต้นทุนที่สูง จึงถูกจำกัดใช้กับงานเฉพาะทางและงานที่มีราคาแพงเท่านั้น ขณะที่ปัจจุบันในงานก่อสร้างมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น โดยการเกิดขึ้นของมาตรฐานการออกแบบ การตระหนักรู้ที่ดีขึ้นเกี่ยวกับประโยชน์เพิ่มเติมของเหล็กกล้าไร้สนิม และการเปลี่ยนผ่านสู่ความยั่งยืน ทำให้มีการใช้ใน

โครงสร้างทั่วไปอย่างแพร่หลายมากขึ้น แม้ว่าจะมีความคล้ายคลึงกันหลายประการของเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา แต่สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมก็มีความหลากหลายที่เพียงพอ และมีขีดจำกัดการเกิดไฟไหม้ที่ดี [8] อย่างไรก็ตามความต้องการโครงสร้างที่มีความปลอดภัยและมีน้ำหนักเบาจำเป็นต้องออกแบบและสร้างรอยต่อที่แข็งแรงและทนทานระหว่างวัสดุต่างชนิด อะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาจึงมีความได้เปรียบได้เข้ามาแทนที่การใช้เหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิมในการใช้งานโครงสร้างต่างๆ หรือใช้ร่วมกัน วิธีการประสานด้วยสารยึดติด (Adhesive bonding) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับประสานอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน เนื่องจากการเชื่อมแบบหลอมรวมของวัสดุทั้งสองชนิดนั้นทำได้ยากจากความแตกต่างด้านสมบัติทางโลหะวิทยาของวัสดุ ความแข็งแรงของการประสานด้วยสารยึดติดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสารยึดติดที่ใช้ การออกแบบรอยต่อและการเตรียมพื้นผิว [9] วิธีนี้มีข้อด้อยโดยความแข็งแรงของรอยต่อจะน้อยกว่าวัสดุพื้นและรอยต่อมีความแข็งแรงลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [10] เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีลักษณะเด่น คือ มีความแข็งแรงมีความเหนียวสูง นอกจากนี้โครเมียมที่มีอยู่ทำให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากเคมีและสภาพแวดล้อมได้ดี จึงถูกนำไปใช้ในเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ การประสานด้วยสารยึดติดทำให้รอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิม X5CrNi18-10 มีความแข็งแรงสูงกว่ารอยต่อโลหะผสมอะลูมิเนียม EN AW-5754 อยู่ในช่วง 16-40% ขึ้นอยู่กับวิธีเตรียมพื้นผิวและสามารถปรับปรุงความแข็งแรงของรอยต่อได้ [11] มีรายงานการเชื่อมอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมก่อให้เกิดข้อเสียที่ไม่ต้องการในรอยเชื่อม เนื่องจากจุดหลอมเหลว และความสามารถในการละลายของแผ่นอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีความแตกต่างกันมาก การเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 6061 และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 โดยใช้การเชื่อมแบบมิก (Metal Inert Gas; MIG) อะลูมิเนียม ER5356 และสารเติมแต่งเหล็กกล้าไร้สนิม ER308LSi ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมและประเภทของโลหะเติมส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการเชื่อม การใช้กระแสไฟฟ้าสูงลดคุณภาพของรอยเชื่อมประสานนำไปสู่การเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง เช่น รูพรุนและบริเวณกระทบร้อน [12] เหล็กกล้าไร้สนิมนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง และมีการนำเทคนิคการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas; TIG) มาใช้เช่นกัน [13] อะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เทคโนโลยีการเชื่อมได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเชื่อมโลหะต่างชนิดที่ใช้ในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการเชื่อมยังคงสร้างปัญหาเนื่องมาจากสมบัติที่แตกต่างกันของโลหะ ข้อต่อเหล็ก-อลูมิเนียมที่มีความหนาไม่เกิน 1 mm เชื่อมด้วยวิธีความต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding; RSW) รอยแตกร้าวที่อะลูมิเนียมมีขนาดใหญ่กว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เกิดสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic compound; IMC) ที่ระหว่างพื้นผิวเนื่องจากความร้อนในกระบวนการและ IMC ขนาดใหญ่มีความเปราะมาก [14] Zhang และคณะ [15] พบความล้มเหลวของข้อต่ออะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นสาเหตุหลักของการเสียหายของโครงสร้าง ซึ่งทำให้มีบทบาทสำคัญกับประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมของการสร้างหอคอยจากโลหะผสมอะลูมิเนียม การเชื่อมประสานด้วยการถ่ายโอนโลหะเย็น (Cold metal transfer; CMT) แบบจุดสามารถควบคุมและลดปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้า จากการใช้โลหะเติมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำช่วยให้เกิด IMC ที่ดี สม่ำเสมอและปราศจากข้อบกพร่องของรอยต่อได้ [16] แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมประสานโลหะต่างชนิดด้วย CMT มีหลายปัจจัยในการควบคุมการเพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่มีความแข็งแรงและประสิทธิภาพที่ดี [17]

ในงานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมของการเชื่อมประสาน CMT แบบจุดระหว่างอะลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ตัวแปรในการศึกษาประกอบด้วย (1) กระแสไฟฟ้า (2) โหมดการเชื่อม และ (3) ความเร็วในการป้อนลวดเติม ใช้โหมดแตกต่างกันได้แก่ Synergic CMT Pulse และ Pulse Synergic ออกแบบการทดลองด้วยวิธีบล็อกเบห์นเคน (Box-Behnken) และใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในแง่ของความต้านทานแรงดึงเฉือนสูงสุดของรอยต่อ

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

อะลูมิเนียม 5052 ขนาด 30 x 100 x 1 mm (กว้าง x ยาว x หนา) และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ขนาด 30 x 100 x 0.5 mm นำมาทดลองเชื่อมสุ่มตัวแปรด้วยเครื่องเชื่อม CMT ยี่ห้อ Fronius รุ่น Transpuls Synergic 2700 โลหะเติมใช้ AWS A5.10 ER 4043 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm ขณะเชื่อมประสานปกป้องรอยเชื่อมประสานด้วยอาร์กอนมีอัตราการไหล 20 L/min มุมการเชื่อม 90° โดยตัวแปรและระดับในการทดลองที่สามารถเชื่อมวัสดุเข้าด้วยกันได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
กระแสไฟฟ้า	90	100	110
โหมดการเชื่อม	Synergic	CMT Pulse	Pules Synergic
ความเร็วป้อนโลหะเติม	3	6	9

ข้อมูลจากตารางที่ 1 ใช้โปรแกรม Minitab V.19 ออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคบ๊อกซ์-เบห์เคน (Box-Bahnken) ทำซ้ำ (Replicates) 3 ครั้งรวม 45 การทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และหาค่าที่เหมาะสม สำหรับรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้สมการที่ (1)

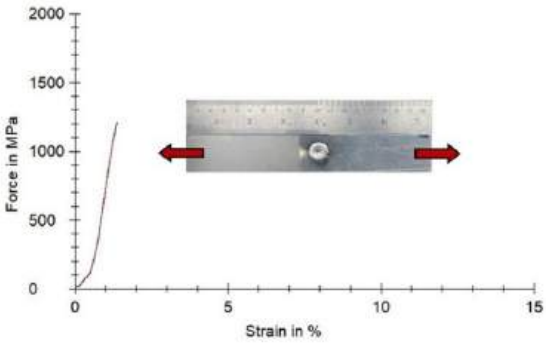
$$Y = \beta_0 + \Sigma_{i=1}^{n}\beta_i x_i + \beta_{ii} x_i^2 + \Sigma_{i\neq j=1}^{n}\beta_{ii} x_i x_j \quad (1)$$

เมื่อ β_0, β_i, β_{ii}, β_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ และ X_i คือ ตัวแปรอิสระ

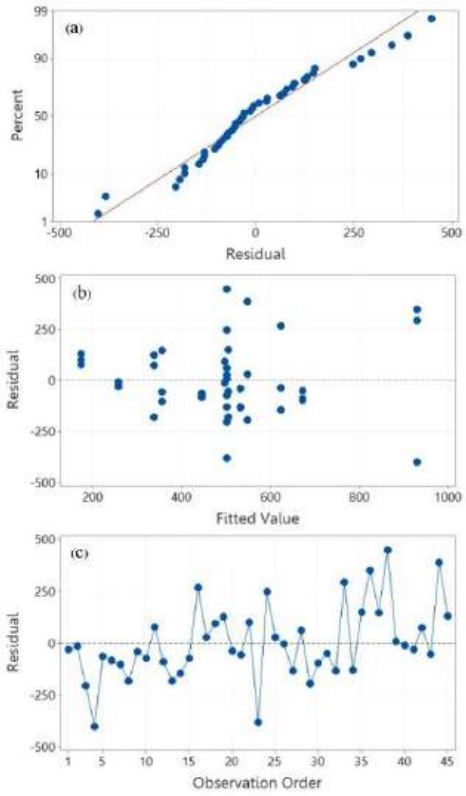
การหาความแข็งแรงของรอยเชื่อมประสานของทุกชิ้นนำไปทดสอบแรงดึงเฉือนด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 ดึงจนขาดออกจากกันใช้ความเร็วในการดึงที่ 10 mm/min

3. ผลการทดลอง

ชิ้นงานทุกชิ้นนำไปดึงจนขาดออกจากกันแสดงตัวอย่างชิ้นงานและผลการทดสอบดังรูปที่ 1 นำข้อมูลที่ได้ไปตรวจสอบ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลได้แก่ (1) การแจกแจงแบบปกติ รูปที่ 2 (a) แสดงให้เห็นข้อมูลเกาะกลุ่มกันในลักษณะเส้นตรง (2) ความเป็นอิสระของข้อมูล รูปที่ 2 (b) แสดงข้อมูลเป็นอิสระต่อกันไม่มีรูปแบบแนวโน้มใดๆ และ (3) ความแปรปรวนคงตัวของข้อมูล รูปที่ 2 (c) สำหรับข้อมูลที่ตรวจสอบแล้วไม่ละเมิดสมมติฐานนำไปวิเคราะห์



รูปที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงานและผลการทดสอบ

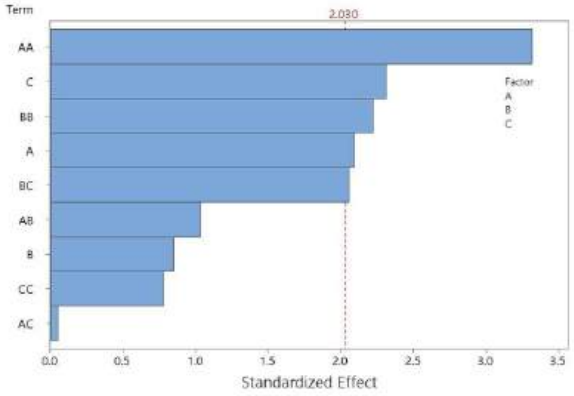


รูปที่ 2 การทดสอบสมมติฐานของข้อมูล

การวิเคราะห์ ANOVA สำหรับคัดเลือกตัวแปรที่มีผลแสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 เทอมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ พบว่าปัจจัยหลักได้แก่ กระแสไฟฟ้า (A) และความเร็วป้อนโลหะเติม (C) มีค่า P-value <α มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณาที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) หรือ α = 0.05 แต่โหมดรอยเชื่อม (B) มีค่า P-value > α จึงไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ อย่างไรก็ตามเทอมกำลังสองของกระแสไฟฟ้า (A^2) และการป้อนโลหะเติม (C^2) มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยต่ออย่างมีนัยสำคัญ เทอมของปัจจัยรวม (Interaction) พบเฉพาะโหมดและความเร็วในการป้อนโลหะเติม (B*C) ที่มีอิทธิพลรวมกันและส่งผลต่อผลตอบหรือสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3 และตารางที่ 3 แสดงผลการมีอิทธิพลต่อผลตอบไว้ คือ A^2 > C> B^2 > A > AB

ตารางที่ 2 ANOVA สำหรับเลือกปัจจัยที่มีผลกับผลตอบ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	1340914	148990	3.75	0.002
Linear	3	416082	138694	3.49	0.026
A	1	174781	174781	4.40	0.043
B	1	28534	28534	0.72	0.403
C	1	212766	212766	5.35	0.027
Square	3	713716	237905	5.99	0.002
A^2	1	437668	437668	11.01	0.002
B^2	1	197116	197116	4.96	0.032
C^2	1	24285	24285	0.61	0.440
Interaction	3	211117	70372	1.77	0.171
A*B	1	42464	42464	1.07	0.308
A*C	1	112	112	0.00	0.958
B*C	1	168540	168540	4.24	0.047
Error	35	1391139	39747		
Lack-of-Fit	3	141402	47134	1.21	0.323
Pure Error	32	1249737	39054		
Total	44	2732053			



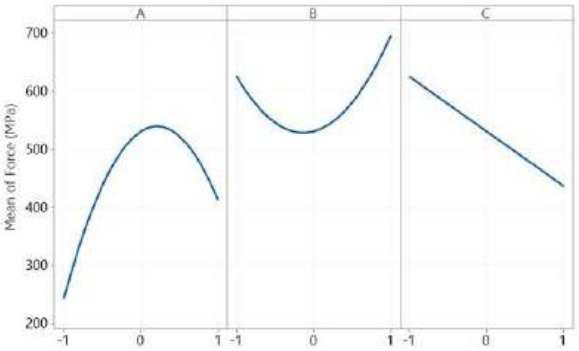
รูปที่ 3 เทอมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

ตารางที่ 3 ANOVA ปัจจัยมีผลต่อผลตอบ

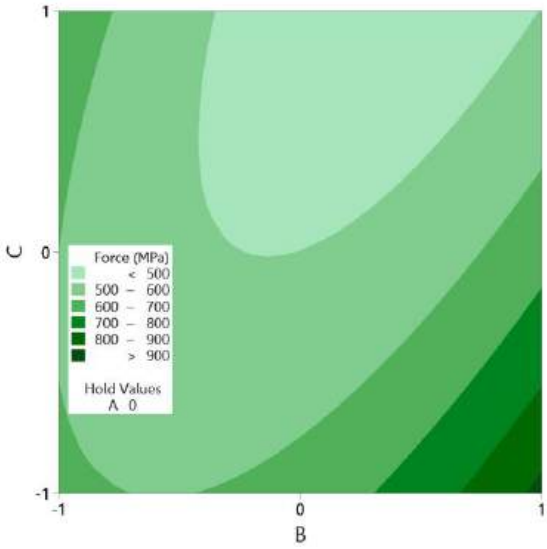
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	1274053	212342	5.53	0.000
Linear	3	416082	138694	3.61	0.022
A	1	174781	174781	4.56	0.039
B	1	28534	28534	0.74	0.394
C	1	212766	212766	5.55	0.024
Square	2	689431	344716	8.98	0.001
A^2	1	456373	456373	11.89	0.001
B^2	1	187727	187727	4.89	0.033
Interaction	1	168540	168540	4.39	0.043
B*C	1	168540	168540	4.39	0.043
Error	38	1458000	38368		
Lack-of-Fit	6	208264	34711	0.89	0.515
Pure Error	32	1249737	39054		
Total	44	2732053			

จากรูปที่ 4 แสดงปัจจัยหลักมีผลต่อผลตอบในลักษณะเส้นโค้งระฆังคว่ำสำหรับกระแสไฟฟ้า การกำหนดค่าที่ระดับกลางให้ผลที่ดีเช่นเดียวกับโหมดการเชื่อม (B) แต่กลับกันของรูปแบบเส้นโค้งสำหรับโหมดการเชื่อม ขณะการป้อนลวด (C) กำหนดระดับน้อยที่สุดเป็นผลดีต่อผลตอบ ในแง่ของผลกระทบร่วมของปัจจัย B และ C แสดงดังรูปที่ 5 กำหนดกระแสไฟฟ้าไว้ที่

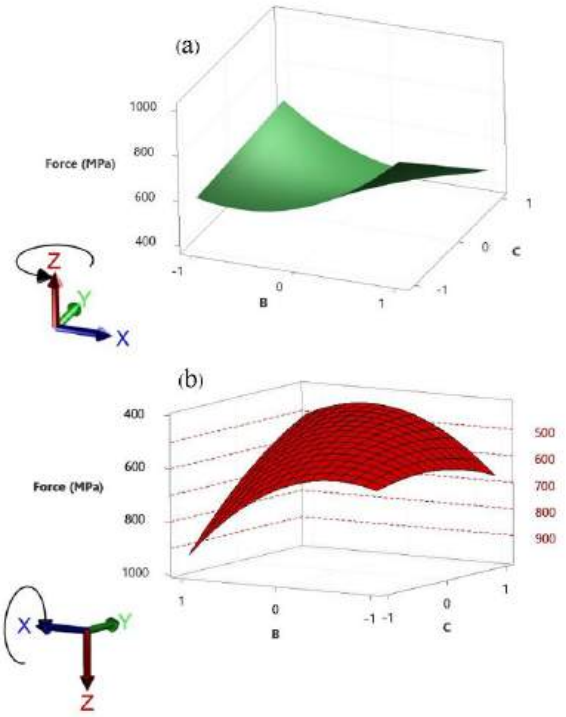
ระดับกลาง (Hold value = 0) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นได้การกำหนดที่ระดับต่ำสูงเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยที่ให้รอยต่อมีความแข็งแรงมากกว่า 900 MPa เมื่อใช้การพล็อตของพื้นผิว (Surface plot) ในลักษณะ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 ผลกระทบและปัจจัยหลัก



รูปที่ 5 ผลกระทบร่วมที่มีต่อผลตอบ



รูปที่ 6 ผลกระทบร่วมในลักษณะ 3 มิติ

เมื่อนำข้อมูลมาสร้างสมการทำนายผลแสดงค่าสัมประสิทธิ์ดังตารางที่ 4 และสมการที่ 2 แสดงสมการทำนายแบบเข้ารหัส

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สมการทำนายผล

Term	Coef.	SE Coef.	T-Value	P-Value
Constant	529.7	54.3	9.75	0.000
A	85.3	40.0	2.13	0.039
B	34.5	40.0	0.86	0.394
C	-94.2	40.0	-2.35	0.024
A^2	-202.4	58.7	-3.45	0.001
B^2	129.8	58.7	2.21	0.033
B*C	-118.5	56.5	-2.10	0.043

$$Y = 529.7 + 85.3 + 34.5\ B - 94.2\ C - 202.4\ A^2 + 129.8\ B^2 - 118.5\ B{*}C \quad (2)$$

เมื่อ A คือ กระแสไฟฟ้าการเชื่อมประสาน B คือ โหมดการเชื่อมประสาน และ C คือ ความเร็วป้อนโลหะเติม

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ ใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability function) เพื่อหาเงื่อนไขในการเชื่อมที่ให้ค่าแรงเฉือนสูงสุด ถ้าให้ $Y_i(x)$ เป็นค่าผลตอบ (Response value) ของเงื่อนไขการเชื่อม x และ $d_i(Y_i)$ คือ ฟังก์ชันความพึงพอใจของ Y_i ในช่วง 0-1 ของฟังก์ชันความพึงพอใจ ค่า $d_i(Y_i) = 0$ คือ ค่าความพึงพอใจที่น้อยที่สุด และ $d_i(Y_i) = 1$ คือ ค่าความพึงพอใจที่มากที่สุด และในทางปฏิบัติจะใช้ค่าทำนาย แทน Y_i และค่าความพึงพอใจรวม D สามารถหาได้จากค่ามัชฌิมเรขาคณิต (Geometric mean) ของความพึงพอใจของแต่ละผลตอบ ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$D = \left(\prod_{i=1}^{k} d_i(\hat{Y}_i) \right)^{1/k} \tag{3}$$

เมื่อ k คือ จำนวนของผลตอบ โดยที่ค่าผลตอบ สามารถแปลงเป็นค่าความพึงพอใจได้ ในกรณีที่ต้องการผลตอบที่น้อยที่สุด ฟังก์ชันความพึงพอใจสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 1 & if \quad \hat{Y}_i(x) < T_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^r & if \quad T_i \le \hat{Y}_i(x) \le U_i \\ 0 & if \quad \hat{Y}_i(x) > U_i \end{cases} \tag{4}$$

เมื่อ Ui คือ ขีดจำกัดบน (Upper limit) ของผลตอบ r คือ ค่าน้ำหนักของฟังก์ชัน และ T_i คือ ค่าเป้าหมาย (Target) ของผลตอบ ในกรณีที่ต้องการผลตอบที่มากที่สุด ฟังก์ชันความพึงพอใจสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & if \quad \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^r & if \quad L_i \le \hat{Y}_i(x) \le T_i \\ 1 & if \quad \hat{Y}_i(x) > T_i \end{cases} \tag{5}$$

เมื่อ L_i คือ ขีดจำกัดล่าง (Lower limit) ของผลตอบ และในกรณีที่ต้องการผลตอบที่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด ฟังก์ชันความพึงพอใจสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & if \quad \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^s & if \quad L_i \le \hat{Y}_i(x) \le T_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^t & if \quad T_i \le \hat{Y}_i(x) \le U_i \\ 0 & if \quad \hat{Y}_i(x) > U_i \end{cases} \tag{6}$$

กำหนดค่าเป้าหมายของผลตอบสนอง (Goal) เป็นค่ามากที่สุดของผลตอบสนอง (Maximum) เนื่องจากต้องการให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนสูงสุดของรอยเชื่อมประสาน ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยแสดงดังรูปที่ 7

Response Optimization: Force (MPa)

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Force (MPa)	Maximum	118.08	1275.15		1	1

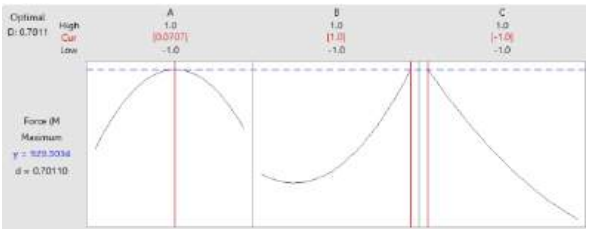
Solution

Solution	A	B	C	Force (MPa) Fit	Composite Desirability
1	0.0707071	1	-1	929.303	0.701101

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
A	0.0707071
B	1
C	-1

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Force (MPa)	929.3	99.8	(726.7, 1131.9)	(476.7, 1381.9)



รูปที่ 7 ผลตอบสนองเงื่อนไขที่เหมาะสมจากโปรแกรม

ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับชุดการทดลองนี้ คือ กระแสไฟฟ้าที่ 0.0707071 (~100.7 A) โหมดการเชื่อมประสาน ระดับ 1

(Pules Synergic) และความเร็วป้อนโลหะเติมระดับ -1 (3 m/sec) ได้ค่าผลตอบสนองจากการทำนายแรงเฉือนสูงสุดของจุดเชื่อม (Predicted Response) เท่ากับ 929.3 MPa และได้ค่าความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 0.7011 มีช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) ที่ 726.7-1130.9 เนื่องจากแหล่งพลังงานจาก CMT ไม่สามารถปรับตั้งได้ตามทำนาย จึงปรับให้มีความใกล้เคียงได้ที่ 101 A การทดลองเพื่อยืนยันผลจากค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงเฉือนสูงสุด ในงานวิจัยทำการปรับค่าปัจจัยต่าง ๆ บนเครื่องเชื่อม CMT ให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมจากการทำนายมากที่สุด โดยปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 101 A ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นแสดงผลดังตารางที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของแรงดึงเฉือนเท่ากับ 1205.44 MPa

ตารางที่ 5 การทดลองเพื่อยืนยันผล

No.	ปัจจัย			แรงดึงเฉือน (MPa)
	กระแสไฟฟ้า (A)	โหมดการเชื่อม	ความเร็วป้อนโลหะเติม (m/sec)	
1	101	Pules Synergic	3	1216.11
2	101	Pules Synergic	3	1198.34
3	101	Pules Synergic	3	1201.86
Average				1205.44

4. สรุป

ผลจากการศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมของการเชื่อมประสาน CMT แบบจุดระหว่างอะลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) ที่ พบว่า ปัจจัยหลักกระแสไฟฟ้า (A) และความเร็วในการเชื่อมประสาน (C) มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมประสาน ปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้าและความเร็วในการเชื่อม (B*C) และเทอมกำลังสองของกระแสไฟฟ้า (A^2) และโหมดการเชื่อมประสาน (B^2) มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ ผลการหาค่าที่เหมาะสมพบกระแสไฟฟ้าที่ 100.7 A จากการทำนายผลไม่สามารถปรับตั้งได้ ในการศึกษาจึงปรับให้ใกล้กับค่าทำนายที่สุด คือ กระแสไฟฟ้าที่ 101 A และใช้โหมด Pulse Synergic และความเร็วในการป้อนลวด 3 m/sec ตามที่ได้จากผลการทำนายทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 1205.44 MPa จึงแสดงให้เห็นการใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์ผลทำให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมนอกเหนือจากที่ทำการทดลองได้ และอาจจะมีข้อจำกัดสำหรับเครื่องที่ไม่สามารถปรับตามที่แนะนำได้บางตัวแปรเช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล สำหรับสนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] He, H., Niu, T., Ding, A., Ren, H., & Zhang, L. (2023). Application of ecological energy-saving materials in intelligent building decoration. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Smart Infrastructure and Construction, 177(3), 169-177.

[2] Chang, H. Y., Ma, S. N., Chiang, Y. C., & Lai, C. M. (2025). The effects of structural design alternatives on the embodied carbon emissions of steel buildings. Journal of Building Engineering, 99, 111603.

[3] Aluminium in the Building and Construction Industries.https://www.laminazionesottile.com/en/blog/aluminium-sheet/aluminium-building-construction-industries/ (Retrieved 1 April 2025)

[4] Sun, Y. (2023, November). The use of aluminum alloys in structures: Review and outlook. Structures (Vol. 57, p. 105290). Elsevier.

[5] Gupta, S., Singh, D., Yadav, A., Jain, S., & Pratap, B. (2020). A comparative study of 5083 aluminium alloy and 316L stainless steel for shipbuilding material. *Materials Today: Proceedings*, *28*, 2358-2363.

[6] ANSI/AISC 370-21 An American National Standard. Specification for structural steel buildings. Approved by the Committee on Structural Stainless Steel (June 11, 2021) AISC 2021 by American Institute of Steel Construction

[7] Gao, X., Zhang, X., Liu, H., Chen, Z., & Li, H. (2018). Residual mechanical properties of stainless steels S30408 and S31608 after fire exposure. Construction and Building Materials, 165, 82-92.

[8] Zhang, Y., Yu, Q., Song, W., Xu, J., Zhao, Y., & Sun, B. (2023). Mechanical properties of new stainless steel-aluminum alloy composite joint in tower structures. Steel and Composite Structures, 49(5), 517-532

[9] Hassan, M., Mishra, A., Raghav, M., Pal, M., Prakash, S., Kumar, N., & Kumar, S. (2023). Improvement of Adhesive Joint Strength of Aluminium to Stainless Steel by Laser Texturing. In Emerging Trends in Mechanical and Industrial Engineering: Select Proceedings of ICETMIE 2022 (pp. 903-916). Singapore: Springer Nature Singapore.

[10] Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.

[11] ZdravkoviĆ, N., KlobČar, D., MilČiĆ, D., ZupanČiČ, M., Žužek, B., MilČiĆ, M., & ĐuriĆ, A. (2024). Influence of surface preparation of aluminum alloy AW-5754 and stainless steel X5CRNI18-10 on the properties of bonded joints. *Materials*, *17*(11), 2561.

[12] Shah, L. H., Akhtar, Z., & Ishak, M. J. I. J. O. A. (2013). Investigation of aluminum-stainless steel dissimilar weld quality using different filler metals. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 8, 1121-1131.

[13] Lee, J. K., Bae, D. S., Lee, S. P., & Lee, J. H. (2014). Evaluation on defect in the weld of stainless steel materials using nondestructive technique. Fusion Engineering and Design, 89(7-8), 1739-1745

[14 Baskoro, A. S., Muzakki, H., Kiswanto, G., & Winarto, W. (2019). Mechanical properties and microstructures on dissimilar metal joints of stainless steel 301 and aluminum alloy 1100 by micro-resistance spot welding. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, *72*, 487-500.

[15] Zhang, Y., Yu, Q., Song, W., Xu, J., Zhao, Y., & Sun, B. (2023). Mechanical properties of new stainless steel-aluminum alloy composite joint in tower structures. Steel and Composite Structures, 49(5), 517-532.

[16] Huda, N., Chen, J., & Gerlich, A. P. (2023). Mechanical properties of aluminum to steel dissimilar spot joints produced by cold metal transfer weld-brazing. Forces in Mechanics, 11, 100192.

[17] Liu, Y., Yao, Y., Ye, H., & Zhang, L. (2018). Study on microstructure and properties of dissimilar welded joints of steel and aluminum by CMT welding process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 382, No. 4, p. 042025). IOP Publishing.

ผลกระทบของความสูงแหวนจิกที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน ในงานแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่น

The Vee-Ring Height Effect on Cutting Edge Quality in Sheet Metal Blanking Die

ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ[1*] พิสิทธิ์ เมืองน้อย[1] เฉลิมพล คล้ายนิล[1] และ พงศกร หลีตระกูล[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

Natthasak Pornputsiri[1] Phisith Muangnoy[1] Chalermpol Klaynil[1] and Pongsakorn Leetrakul[1*]
[1]Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: natthasak.por@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานโลหะแผ่นจากการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ตัด โดยการออกแบบแผ่นกดชิ้นงานให้มีแหวนจิกที่มีค่าความสูงแตกต่างกัน ซึ่งประกอบไปด้วย แบบไม่มีแหวนจิก และแบบมีแหวนจิกรูปตัววีมุมรวม 90° ที่มีค่าความสูงร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 ของความหนาชิ้นงานตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพชิ้นงานสำเร็จจากค่าความสูงของส่วนต่างๆ บนขอบตัดชิ้นทดสอบโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ทำการปั๊มตัดแผ่นเปล่าโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดที่มีระยะช่องว่างคมตัดร้อยละ 8 ของความหนาชิ้นงาน ติดตั้งบนเครื่องปั๊มโลหะขนาด 50 กิโลนิวตัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลดีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน โดยแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 50 ของความหนาชิ้นงานได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานดีที่สุด ส่วนแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิกได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานต่ำที่สุด ด้วยความสูงของแหวนจิกที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความเค้นอัดบริเวณพื้นที่การตัดเฉือนของวัสดุมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ความเค้นดึงจะมีค่าน้อยลง โดยเมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ระยะความสูงของส่วนเรียบตรงเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความสูงของครีบ รอยฉีกขาด และส่วนโค้งมนจะมีค่าลดลง

คำหลัก : แหวนจิก แม่พิมพ์ตัด ขอบตัด โลหะแผ่น เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

This research aims to improve the sheet metal workpieces quality by shearing with a blanking die by designing the blank holder plate to have a Vee-ring with different height values, consisting of: without a V-ring and a type with a V- ring shaped with a total angle of 90°, which a height values of 20, 30, 40 and 50 percent of the sheets thickness respectively. To compare the quality of the finished

workpiece from the value of the shear surface height on the cutting edge of AISI 430 stainless steel sheet with a thickness of 2 mm. sheet blanking on without lubrication and set with a cutting-edge clearance of 8% of the sheet thickness and installed on Mechanical Press of 50 kN. The experimental results showed that when the height of the V-ring increased, it had a positive effect on the quality of the workpiece cutting edge. The blank holder plate with a V-ring height of 1.0 mm. or 50% of the sheet thickness gave the best workpiece cutting edge quality. The blank holder plate without the V-ring has the lowest cutting-edge quality. As the height of the V-ring increases, the compressive stress in the material cutting area was increases while the tensile stress decreases. As the height of the V-ring increases, the height of the shear surface section was increased, while the height of the burr, fracture and die roll section decreases.

Keywords: V-ring, Blanking die, Cutting edge, Sheet metal, Stainless steel.

1. บทนำ

การผลิตชิ้นส่วนจากโลหะแผ่นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากโลหะแผ่นที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่น การตัดแผ่นเปล่า การเจาะรู การตัดขอบ และการลากขึ้นรูปเป็นต้น [1] เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการและมีขนาดที่เที่ยงตรง ด้วยกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้ล้วนต้องใช้แม่พิมพ์ ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์จึงมีความสำคัญ เนื่องจากแม่พิมพ์มีคุณภาพหรือมีความเที่ยงตรงก็จะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ [2]

แม่พิมพ์ตัด (Blanking Die) เป็นพื้นฐานของอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่น ซึ่งกระบวนการตัดที่ดีจะได้ชิ้นงานต่างๆ เช่น แผ่นเปล่า รูเจาะ ปีกถ้วยที่ผ่านการลากขึ้นรูป และการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตีขึ้นรูปที่มีคุณภาพหรือมีขนาดที่เที่ยงตรง ซึ่งจะส่งผลดีต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนถัดไป [3] ในกรณีการผลิตชิ้นส่วนปริมาณน้อยมักจะเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่มีราคาถูกเพื่อต้นทุนการผลิต แต่หากต้องการผลิตในปริมาณมากมักเลือกใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์ความแข็งหรือความแข็งแรง ซึ่งต้องเลือกใช้วัสดุอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการด้อยคุณภาพของชิ้นงานที่เกิดจากการสึกหรอของแม่พิมพ์ [4] ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์จะต้องคำนึงถึงปริมาณการผลิตและชนิดของวัสดุโลหะแผ่น ทั้งนี้การออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้องเหมาะสมจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนในการผลิต [5]

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีงานตัดละเอียด (Fine blanking) ได้กล่าวถึงแหวนจิก (Vee-ring) ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับกรรมวิธีนี้ ช่วยในการลดส่วนของรอยแตกบนขอบตัดชิ้นงาน [6] โดยได้แนะนำลักษณะและขนาดเพื่อการออกแบบไว้อย่างกว้างๆ แต่ไม่ได้อธิบายถึงผลกระทบของลักษณะของแหวนจิกว่าจะส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานหรือกลไกการตัดเฉือนบริเวณคมตัดแต่อย่างใด

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้แหวนจิกสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ตัดทั่วไป เพื่อจะศึกษาแนวทางหรือความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แหวนจิกสำหรับงานแม่พิมพ์ตัดและผลที่มีต่อคุณภาพชิ้นงานสำเร็จ เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาตัวแปรในส่วนของลักษณะและความสูงของแหวนจิก ที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ตัด เพื่อสร้างองค์ความรู้และเป็นประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านขึ้นรูปโลหะโลหะแผ่นของประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

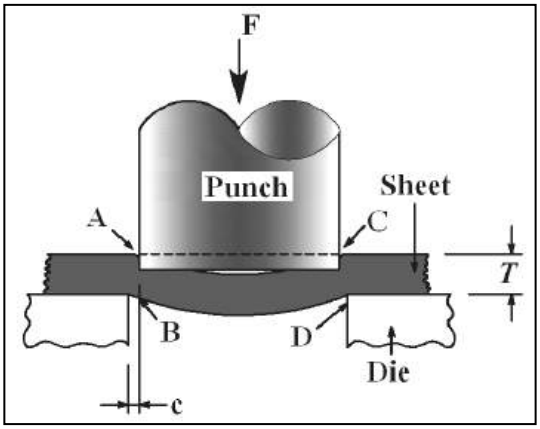
2.1 เพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานของกระบวนการผลิตชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัด

2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะแหวนจิกที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัด

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

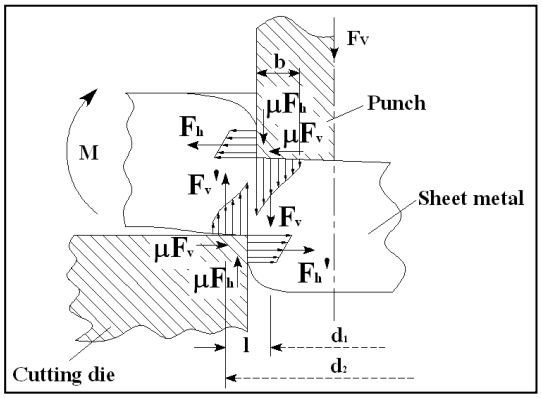
3.1 กลไกในการตัดเฉือนของแม่พิมพ์ตัด

กระบวนการตัดเฉือนบนแม่พิมพ์ตัด คือ การตัดโลหะแผ่นให้ขาดออกจากกันโดยใช้คมตัดของพันช์และดายกดลงบนเนื้อโลหะจนความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุชิ้นงานซึ่งจะส่งผลให้แผ่นโลหะฉีกขาดออกจากกัน [7] โดยชุดแม่พิมพ์ตัดจะประกอบด้วยพันช์ (Punch) ดาย (Die) แผ่นชิ้นงาน (Sheet) และแผ่นปลดชิ้นงาน (Blank holder) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการตัดเฉือนในงานปั๊มตัด

กลไกการตัดเฉือนจะเกิดในรูปแบบของแรงย่อย สำหรับการตัดเฉือน F_V และ F_V' กระทำห่างจากคมตัดเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากความเค้นอัดในบริเวณคมตัดเกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ตำแหน่งของแรงกระทำห่างกันเป็นระยะ L ทำให้เกิดโมเมนต์ดัด ซึ่งพยายามดัดหรือเอียงชิ้นงาน ดังรูปที่ 2 โมเมนต์หรือปฏิกิริยาดังกล่าวจะขึ้นในทิศตรงกันข้าม ซึ่งเป็นผลมาจากการดัดและความเค้นตั้งฉากกับแนวระนาบของแผ่นชิ้นงาน รวมทั้งผิวหน้าของพันช์และดาย [8]



รูปที่ 2 แรงย่อยในการตัดเฉือน

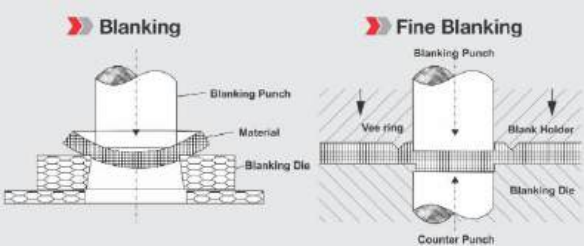
ความเค้นตั้งฉากในแนวระดับสามารถแทนด้วยผลลัพธ์ F_H และ F_H' นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อแม่พิมพ์ตัด (พันช์และดาย) มีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90° หรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่น นอกจากแรง F_V, F_V' , F_H , F_H' อีกทั้งยังมีแรงเสียดทานกระทำบนขอบผิวพันช์และดายอีกด้วย แรงในแนวระดับ F_H และ F_H' ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพันช์และดายแทนด้วย μF_H และ $\mu F_H'$ แรงตัดเฉือนซึ่งทำให้วัสดุเลื่อนไปบนผิวของพันช์และดายทำให้เกิดแรงเสียดทาน μF_V และ $\mu F_V'$ สำหรับการคำนวณหาค่าแรง F_s ที่ต้องการใช้ในการตัดหรือเจาะวัสดุกำหนดโดยให้ผิวหน้าตัดของพันช์และดายมีลักษณะเรียบหรือไม่มีการเอียงของคมตัดเฉือน

3.2 กรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นละเอียด (Fine Blanking)

หากเปรียบเทียบลักษณะของกรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นละเอียด (Fine Blanking) กับการปั๊มตัดโลหะแผ่น (Blanking) แสดงดังรูปที่ 3 การตัดโลหะแผ่นละเอียดมีลักษณะแตกต่างกับการปั๊มตัดดังนี้

- มีแผ่นกดชิ้นงาน (Blank Holder) ซึ่งมีลักษณะเป็นแหวนรูปตัววี (Vee-Ring)
- มีชุดรองรับชิ้นงาน (Counter Punch ทำหน้าที่ต้านแรงดันของพันช์
- ช่องว่างคมตัด (Die Clearance) มีขนาดเล็ก
- ขณะทำการตัดเฉือนจะเกิดแรงกระทำ 3 ทิศทาง (Three Force) คือ แรงกดของพันช์ (Punch Force) แรงต้านการกดของพันช์ (Counter Force) และ แรงกดของ

แผ่นกดชิ้นงาน (Blank Holder Force or Vee-Ring Force) [9]

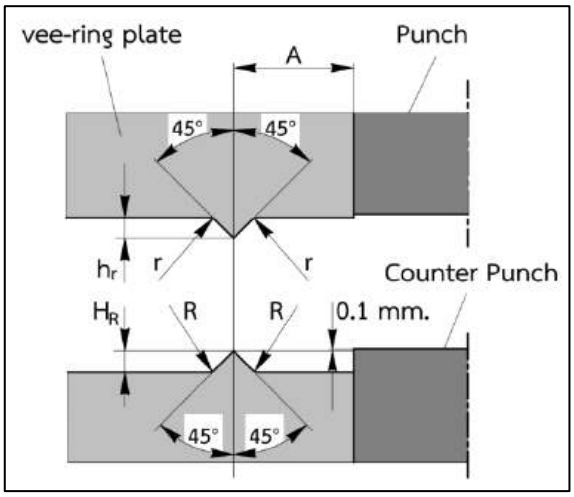


รูปที่ 3 เปรียบเทียบลักษณะกรรมวิธี Blanking กับ Fine Blanking

3.3 แหวนรูปตัววี (Vee-Ring)

แหวนรูปตัววีเป็นส่วนหนึ่งของแม่พิมพ์ตัดละเอียด (Fine Blanking) และมีบทบาทสูงในงานตัดละเอียด หน้าที่สำคัญของแหวนรูปตัววีมีอยู่ 2 ประการ คือ ให้กำเนิดความเค้นอัดและช่วยลดความเค้นดึง รวมทั้งทำหน้าที่บังคับชิ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ในทิศทางแนวนอน [10]

ทั้งนี้การวางตำแหน่งของแหวนรูปตัววีเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งต้องอาศัยผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์จากการทำงานสูง โดยแหวนรูปตัววีสามารถวางบริเวณตำแหน่งรอบนอกของการตัดหรือวางบริเวณภายในของการตัดเฉือน ขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานเป็นหลัก ทั้งนี้รูปแบบของการออกแบบแหวนรูปตัววีแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการออกแบบ Vee-Ring

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร เบื้องต้นจะนำโลหะแผ่นไปทำการตรวจสอบความต้านทานแรงดึงในทิศทางการรีดต่างๆ คือ ตามแนวการรีด (0°) เฉียงแนวการรีด (45°) และขวางแนวการรีด (90°) โดยผลการทดสอบแรงดึงแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304

Rolling direction	YS (N/mm^2)	UTS (N/mm^2)	TE (%)
0°	241.967	721.477	65.834
45°	241.233	695.141	69.351
90°	251.575	726.387	63.167
เฉลี่ย	**244.925**	**714.335**	**66.117**

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

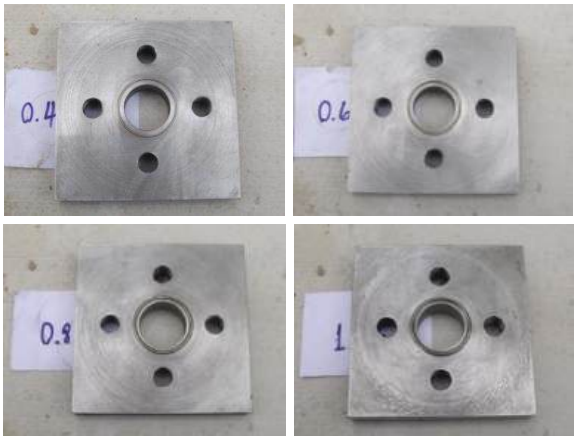
4.2.1 แม่พิมพ์ตัด (Blanking die)

ชุดแม่พิมพ์ตัดสำหรับงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้ง่ายต่อการถอดเปลี่ยนแผ่นจับยึดชิ้นงาน และสะดวกในการติดตั้งบนเครื่องปั้มโลหะ โดยงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อปั๊มตัดแผ่นเปล่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร พันช์ ดาย และแผ่นกดชิ้นงาน ทำจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 ทำการชุบแข็งเพื่อให้ได้ค่าความแข็ง 65±2 HRC กำหนดขนาดของรูดายไว้คงที่ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และระยะช่องว่างคมตัดที่ร้อยละ 8 ของความหนาชิ้นงาน โดยชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2 แผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิก (Vee-Ring)

ในการออกแบบแผ่นกดชิ้นงาน เลือกใช้วัสดุเกรด SKD11 ทำการกัดให้ได้ขนาดความกว้าง×ความยาว×ความหนา เท่ากับ100×100×16.5 มิลลิเมตร เจาะรูเพื่อทำเกลียวในขนาด M12 x 1.5 จำนวน 4 รู จากนั้นทำการคว้านรูด้วยเครื่องกัด CNC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เพื่อให้พันช์สามารถผ่านได้ และทำการกลึงแหวนจิกรอบนอกรูผ่านพันช์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร มุมรวม 90° ขนาดความสูงของแหวนจิกประกอบไปด้วย 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปทำการชุบแข็งให้ได้ค่าความแข็ง 65±2 HRC โดยลักษณะของแผ่นกดชิ้นงานที่มีแหวนจิกแสดงดังรูปที่ 6



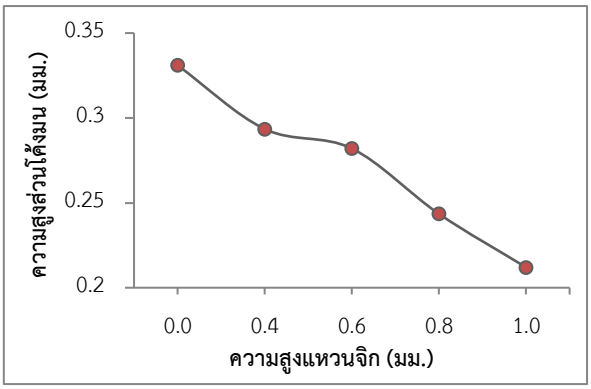
รูปที่ 6 ลักษณะของแผ่นกดชิ้นงานที่มีแหวนจิก

5. ผลการทดลอง

ลักษณะแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะขอบตัดชิ้นงาน จากผลการทดลองวัดค่าความสูงส่วนโค้งมน รอยฉีกขาด ส่วนเรียบตรง และความสูงครีบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (Optical Macro-Scope) ที่เกิดขึ้นบนขอบตัดชิ้นงาน โดยการเปลี่ยนแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูงต่างกัน 5 แผ่น ทำการปั๊มตัดเงื่อนไขละ 30 ชิ้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อทำการเปรียบเทียบกราฟแนวโน้มในแต่ละส่วนของขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9

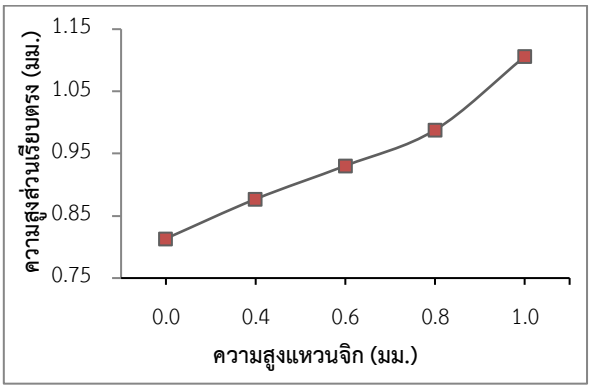
5.1 ความสูงของส่วนโค้งมน

จากรูปที่ 7 กราฟแสดงระยะความสูงของส่วนโค้งมนบนขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งพบว่าเมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสูงเฉลี่ยของส่วนโค้งมนมีแนวโน้มลดลง ดังผลการทดลองที่พบว่าแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร ได้ระยะความสูงของส่วนโค้งมนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับที่ 0.212 มิลลิเมตร และแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก มีระยะความสูงของส่วนโค้งมนมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.331 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 ระยะความสูงของส่วนโค้งมนบนขอบตัดชิ้นงาน

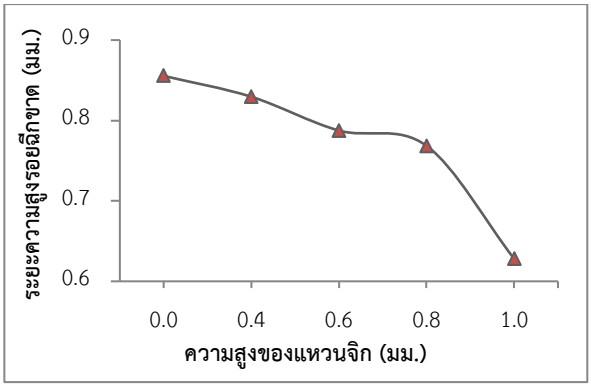
5.2 ความสูงของส่วนเรียบตรง



รูปที่ 8 ระยะความสูงของส่วนเรียบตรงบนขอบตัดชิ้นงาน

จากผลการทดลองรูปที่ 8 แสดงระยะความสูงของส่วนเรียบตรงบนขอบตัดชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าความสูงของส่วนเรียบตรงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มขึ้น และยังพบว่าแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร ได้ระยะความสูงของส่วนเรียบตรงมากที่สุดโดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.106 มิลลิเมตร และแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก ได้ระยะความสูงของส่วนเรียบตรงน้อยที่สุด โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8135 มิลลิเมตร

5.3 ความสูงของรอยฉีกขาด

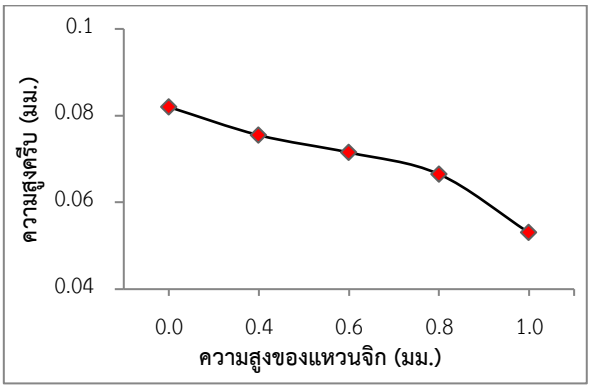


รูปที่ 9 ระยะความสูงของรอยฉีกขาดบนขอบตัดชิ้นงาน

จากผลการทดลองรูปที่ 9 แสดงระยะความสูงของรอยฉีกขาดบนขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งเห็นได้ว่าความสูงของรอยฉีกขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มขึ้น และยังพบว่าแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร ได้ระยะความสูงของรอยฉีกขาดน้อยที่สุด โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.628 มิลลิเมตร และแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก ได้ระยะความสูงของรอยฉีกขาดมากที่สุด โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.856 มิลลิเมตร

5.4 ความสูงของครีบ

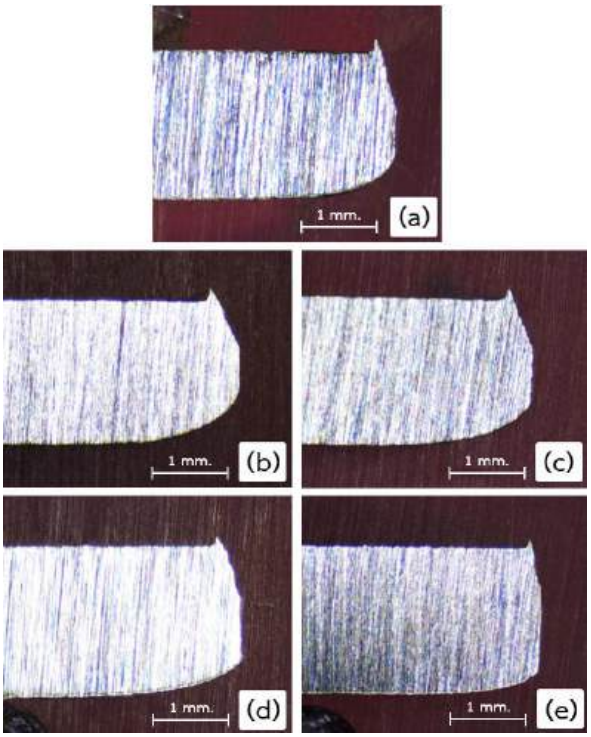
จากผลการทดลองรูปที่ 10 แสดงระยะความสูงของครีบบนขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งเห็นได้ว่าความสูงของครีบมีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงของแหวนจิกเพิ่มขึ้น และยังพบว่าแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร ได้ระยะความสูงของครีบน้อยที่สุด โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.053 มิลลิเมตร และแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก ได้ระยะความสูงของครีบมากที่สุด โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.082 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 ระยะความสูงของครีบบนขอบตัดชิ้นงาน

5.5 ลักษณะขอบตัด

ตัวอย่างของชิ้นงานที่ได้จากการปั๊มตัด โดยการเปลี่ยนแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิกและแบบมีแหวนจิกซึ่งมีความสูงแตกต่างกัน 4 ระดับ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะขอบตัดชิ้นงานดังรูปที่ 11 (a) – (e)



รูปที่ 11 ลักษณะขอบตัดชิ้นทดสอบ (a) ไม่มีแหวนจิก (b) แหวนจิกสูง 0.4 มม. (c) 0.6 มม. (d) 0.8 มม. (e) 1.0 มม.

จากผลการทดลองรูปที่ 11 พบว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ที่ไม่มีแหวนจิก (รูปที่ 11(a)) จะมีส่วนของการเกิดครีบ ส่วนรอยแตก และส่วนโค้งมนเกิดขึ้นสูงสุด

เมื่อทำการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีแหวนรูปตัววีจะส่งผลให้ส่วนดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความสูงของแหวนจิกเพิ่มมากขึ้น โดยการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีค่าความสูงของแหวนจิก 1 มิลลิเมตร รูปที่ 11 (e) จะส่งผลให้ลักษณะขอบตัดมีส่วนเรียบตรงเกิดขึ้นสูงสุด

6. อภิปรายผล

เมื่อวิเคราะห์ส่วนต่างๆ ของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก และแบบมีแหวนจิกที่มีความสูงต่างกันคือ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิเมตร พบว่าแผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0 มิลลิเมตร ได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นทดสอบดีที่สุดและแผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก ได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานต่ำที่สุด ซึ่งมีสาเหตุมาจากความสูงของแหวนจิกที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความเค้นอัดภายในวัสดุมากขึ้น และความเค้นดึงภายในวัสดุลดลงตามลำดับความสูงของแหวนจิก ซึ่งจะส่งผลทำให้ระยะความสูงโค้งมน รอยฉีกขาด และความสูงครีบมีค่าลดลง ส่วนระยะความสูงของส่วนเรียบตรงจะเพิ่มสูงขึ้น

7. สรุป

7.1 ความสูงของของแหวนจิกเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุมากขึ้น และความเค้นดึงภายในเนื้อวัสดุลดลง ส่งผลให้ระยะความสูงของครีบ รอยฉีกขาด และส่วนโค้งมนมีค่าความสูงลดลง ส่วนระยะความสูงของส่วนเรียบตรงจะเพิ่มสูงขึ้น

7.2 แผ่นกดชิ้นงานแบบมีแหวนจิกที่มีความสูง 1.0มิลลิเมตรได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานดีที่สุด โดยได้ค่าความสูงของครีบ 0.053 มิลลิเมตร รอยฉีกขาด 0.682 มิลลิเมตร ส่วนเรียบตรง 1.106มิลลิเมตร และส่วนโค้งมน 0.212 มิลลิเมตร

7.3 แผ่นกดชิ้นงานแบบไม่มีแหวนจิก ได้คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานต่ำที่สุดโดยได้ค่าความสูงของครีบ 0.082 มิลลิเมตร รอยฉีกขาด 0.8555 มิลลิเมตร ส่วนเรียบตรง 0.8135 มิลลิเมตร และส่วนโค้งมน 0.331 มิลลิเมตร

กล่าวคือการประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ตัด สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในกระบวนการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ตัด

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่อำนวยความสะดวกเรื่องสถานที่ รวมถึงนักศึกษาและคณะอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยเตรียมอุปกรณ์และดำเนินการทดลองจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] JONSSON, C.J., STOLT, R. and ELGH, F., “Stamping Tools for Sheet Metal Forming: Current State and Future Research Directions”, International Conference on Transdisciplinary Engineering, (2020), pp. 281-290.

[2] Hou, X., Manhua, X., Weiwen, Y., Hongliang, J. and Guoqiang, L., “Research on Precision Control and Optimization of Automatic Feeding Device of Stamping Die”, Journal of Engineering System (ISSN: 2959-0604) Vol. 2 No. 2, (2024), pp. 52-57.

[3] Ji, K.S., Liu, Y.X., Zhang, Y.J. and Zhang, H., “Die design for fine micro-blanking process”, The 19th International Conference on Metal Forming (MF 2022), (2022) 012044., doi:10.1088/1757-899X/1270/1/012044

[4] Rahul, A.P., and Avinash, T.P., “Design of Die for Industrial Part”, International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), (2017), pp. 140-144.

[5] Asnafi, N., “The tool and die materials research and innovation agenda”, International Heat Treatment and Surface Engineering, (2013), Vol. 7, No. 3, pp. 101-105.

[6] Claus, G., Weber, M. and Demmler M., “Increase

of Lifetime for Fine Blanking Tools". Procedia Engineering 183, (2017), pp. 45-52.

[7] Adnan, l.O.Z., "Blanking and piercing theory, applications and recent experimental results", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 60 (2014) 012065.

[8] Omolayo, M.I., Sunday, A.A., Olawale, S.F., Rasaq, A.K., Adedotun, A. A., and Samuel O.O., "A Concise Study on Shearing Operation in Metal Forming", E3S Web of Conferences 309, 01004 (2021).

[9] Poongothai, R., Sundar, S.N., Kumar, S.S., and Girish, V.K., "Effects of V Ring Pattern in Fine Blanking Process by FEA", International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations, (2019), Vol. 7, Issue 2, pp: 291-296.

[10] Kwaka, T.S., Kima, Y.J., Seoa, M.K. and Bae, W.B., "The effect of V-ring indenter on the sheared surface in the fine-blanking process of pawl", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 143–144 (2003), pp. 656–661.

ผลกระทบของอุณหภูมิการอบอ่อนหลังกระบวนการที่ส่งผลต่อพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิก และความสามารถในการลากขึ้นรูปของโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

The Effect of Process Annealing Temperature on Anisotropic Evaluating and Deep Drawing ability of Stainless Steel Sheet SUS304

ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ[1*] เฉลิมพล คล้ายนิล[1] พงศกร หลีตระกูล[1] และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง[2]
[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Natthasak Pornputsiri[1*] Chalermpol Klaynil[1] Pongsakorn Leetrakul[1] and
Bhadpiroon Watcharasresomroeng[2]
[1]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
[2]Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: natthasak.por@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการอบอ่อนหลังกระบวนการที่ส่งผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปของทิศทางการรีดหรือค่าแอนไอโซทรอปิกของวัสดุโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม จุดประสงค์ของการวิจัยนี้คือศึกษาโดยการออกแบบการทดลอง เพื่อประกอบการประเมินผลพฤติกรรมการขึ้นรูปลึกและความสามารถในการลากขึ้นรูปของโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ซึ่งถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย เพื่อพัฒนาแนวทางในการทำนายเชิงเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิการอบอ่อน จากสมบัติทางกล ความกว้างของปีกถ้วย และการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาผนังถ้วย โดยทำการอบอ่อนที่ระดับอุณหภูมิ 200 °C 400 °C และ 600 °C ภายในเตาอบไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการทดสอบแรงดึงและทดสอบการลากขึ้นรูปถ้วยทรงระบอกบนเครื่องทดสอบการขึ้นรูปของอิริคสัน โดยกำหนดค่าอัตราการลากขึ้นรูปตามมาตรฐานที่ 1.8 ผลการทดลองพบว่า ค่าความแตกต่างของของความกว้างปีกถ้วยและค่าความหนาของผนังถ้วยจะแปรผกผันกับอุณหภูมิการอบอ่อน ทั้งนี้การขึ้นรูปตามแนวการรีดจะส่งผลให้ค่าความหนาผนังถ้วยลดลงมากที่สุด ส่วนปีกถ้วยจะมีความกว้างมากที่สุด ในขณะที่การขึ้นรูปในทิศทางขวางแนวรีดค่าความหนาผนังจะลดลงน้อยที่สุดส่วนปีกถ้วยจะมีความกว้างน้อยที่สุด ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีความสอดคล้องกับสมบัติทางกลของวัสดุที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

คำหลัก : อุณหภูมิการอบอ่อน สมบัติทางกล ความสามารถในการลากขึ้นรูป แอนไอโซทรอปิก เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

This research aimed to study the effect of process annealing temperature on the formability of each rolling direction or anisotropic of stainless steels sheets. The objective of this research is to study by experimental design to evaluate the deep drawing behavior and drawing ability of stainless steels sheet metal grade SPFC 590 which is widely used to produce various industrial products. To develop a comparative prediction approach for the effects of annealing temperature on changes in cup wall thickness, earing characteristics and earing width of metal cups. The annealing process is performed by heating at temperatures of 200 °C, 400 °C and 600 °C in an electric furnace for 5 minutes. The deep drawing test will then be carried out on an Erichsen tester, with a standard drawing ratio is 1.8 The experimental results showed that the cup wall thickness and the width of earing cup values were inversely proportional to the annealing temperature. In case of forming along the rolling direction will result in the cup wall thickness being maximum reduced, while the earing cup will be the widest. On the forming in transverse rolling direction, the wall thickness and the width of earing cup is least reduced. This behavior is consistent with the mechanical properties of the material obtained from tensile tests.

Keywords : Annealing temperature, Mechanical properties, Formability, Anisotropic, Stainless steel.

การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ด้วยกระบวนการ GMAW โดยใช้หุ่นยนต์เชื่อม

A Study on the Effect of Welding Path Patterns on Mechanical Properties of Aluminum Alloy 6061 Using GMAW Process with Robotic Welding

วิทยา ศิริคุณ[1] วิฒเนศ เพชรสุวรรณ์[1*] ซูไฮดี สนิ[1] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1,2] และ รอมฎอน บูระพา[1,2]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[2] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Witthaya Sririkun[1] Wikanet Phetsuwan[1*] Suhaidee Sani[1] Surasit Rawangwong[1,2] and Romadorn Burapa[1,2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
[2] Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla
E-mail: wikanet.p@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ภายใต้กระบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยใช้แขนกลหุ่นยนต์เชื่อม KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ควบคู่กับแหล่งจ่ายกำลังเชื่อม Fronius รุ่น TPS 320i ภายใต้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย (Gas Metal Arc Welding: GMAW) หรือ MIG (Metal Inert Gas Welding) วัสดุทดสอบเป็นแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ขนาด 100 × 200 × 4 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์การเชื่อมคงที่ ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของก๊าซเฉื่อย 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที โดยพิจารณาผลของรูปแบบการเดินแนวเชื่อม 3 ลักษณะ คือ แบบเส้นตรง (ไม่มีการส่าย) แบบส่ายซิกแซก และแบบส่ายเป็นวงกลม ผลการทดสอบเชิงกลโดยวิธีความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) และการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเดินแนวเชื่อมแบบส่ายวงกลมส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่ 70.38 HV และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 154.74 MPa รองลงมาคือแบบส่ายซิกแซกที่ให้ค่าความแข็งเฉลี่ย 64.10 HV และแรงดึง 141.39 MPa ขณะที่แบบไม่ส่ายให้ค่าต่ำสุดคือ 66.94 HV และ 135.44 MPa ตามลำดับ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของการเดินแนวเชื่อมมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมทางกลของแนวเชื่อมในโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดกลยุทธ์การควบคุมกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงานเชื่อมให้มีคุณภาพสูงมากยิ่งขึ้น

คำหลัก โลหะผสมอะลูมิเนียม 6061 การเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ รูปแบบการเดินแนวเชื่อม การเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย

Abstract

This research aims to investigate the effects of welding path patterns on the mechanical properties of aluminum alloy 6061 under an automated welding process. The study utilizes a KUKA robotic arm model KR 8 R1440-2 arc HW integrated with a Fronius TPS 320i welding power source, operating under the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process, also known as Metal Inert Gas (MIG) welding. The test specimens are aluminum alloy 6061 plates with dimensions of 100 × 200 × 4 mm. Constant welding parameters are maintained, including a welding current of 180 A, shielding gas flow rate of 12 L/min, wire feed speed of 6 m/min, and travel speed of 0.5 m/min. Three distinct welding path patterns are examined: linear (without weaving), zigzag weaving, and circular weaving. Mechanical properties are evaluated using the Vickers Hardness Test and Tensile Test. The results indicate that the circular weaving pattern yields the highest average weld hardness of 70.38 HV and the highest tensile strength of 154.74 MPa. The zigzag weaving pattern follows with a hardness of 64.10 HV and tensile strength of 141.39 MPa, while the linear pattern produces the lowest values at 66.94 HV and 135.44 MPa, respectively. These findings demonstrate that the welding path pattern significantly influences the mechanical behavior of the weld in aluminum alloy 6061. The results can be applied to optimize robotic welding strategies in industrial applications to enhance weld quality and performance.

Keywords: Aluminum Alloy 6061, Robotic Welding, Welding Path Pattern, Gas Metal Arc Welding (GMAW)

การปรับปรุงกระบวนการปั่นแยกผลึกน้ำตาล ในการผลิตน้ำตาลทรายดิบ : กรณีศึกษา

Improving the sugar crystal separation process in raw sugar production : Case Study

รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1] ประภัสพงษ์ สาธรพันธ์[1] ปรวิทย์ เจียนดอน[1] ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ[1] ภูริพัส แสนพงษ์[1]
ฐิติ หมอรักษา[2] ประจักร จัตกุล[2] และ ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Ratanaporn Wongthong[1] Praphatphong Sathonphan[1] Porawit Jiandon[1] Phuriphut Saenpong[1]
Thiti Mhoraksa[2] Prajak Jattakul[2] and Teerawut Khuenkaew[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
E-mail: teerawut.ke@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

อัตราความสำเร็จในการควบคุมคุณภาพของความบริสุทธิ์ของแมกมาบี (B Magma) เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำตาลทรายดิบของแผนกหม้อปั่นในบริษัทผลิตน้ำตาลกรณีศึกษา โดยกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 จากการสำรวจสภาพปัจจุบันพบว่าอัตราความสำเร็จมีค่าร้อยละ 74.94 ซึ่งต่ำกว่าค่าเป้าหมาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราความสำเร็จในการควบคุมคุณภาพของความบริสุทธิ์ของแมกมาบีโดยการปรับปรุงกระบวนการปั่นแยกผลึกน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเต็มรูป (Full Factorial Experiment Design) ในการคำนวณหาองศาการเปิดวาล์วน้ำร้อนของหม้อปั่น จากนั้นนำผลการทดลองที่เหมาะสมไปใช้ในระบบควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ (Distributed Control System: DCS) ผลการศึกษาพบว่าองศาของวาล์วเปิดน้ำร้อนของหม้อปั่นที่ถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 สามารถเพิ่มอัตราความสำเร็จได้เท่ากับร้อยละ 85.63

คำหลัก อัตราความสำเร็จ แมกมาบี การออกแบบการทดลองเต็มรูป ระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The success rate of quality control of B Magma purity is an index of the raw sugar quality of the blender department in the case study company. It is set to be more than 80 percent. From the current survey, the success rate is 74.94 percent, lower than the target value. This research aims to increase the success rate of quality control of B Magma purity by improving the sugar crystal separation

process in raw sugar production by using the full factorial experiment design technique to calculate the degree of opening the hot water valve of the blender. Then, the appropriate experimental results are used in the computer-controlled production control system (Distributed Control System: DCS). The study's results found that the correct degree of opening the hot water valve of the blender at a confidence level of 95 percent can increase the success rate to 85.63 percent.

Keywords: Success rate, B Magma, Full Factorial Experiment Design, Distributed Control System

1. บทนำ

ในยุคที่ต้นทุนการผลิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากราคาวัตถุดิบเช่น อ้อย ค่าแรงงาน พลังงาน และค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร โรงงานผลิตน้ำตาลจึงจำเป็นต้องมุ่งเน้นการบริหารจัดการต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันในตลาดและสร้างผลกำไรอย่างยั่งยืน การลดต้นทุนการผลิตจึงกลายเป็นกลยุทธ์สำคัญที่โรงงานน้ำตาลไม่อาจมองข้ามได้ การลดต้นทุนการผลิตสามารถทำได้หลายแนวทาง ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร การบำรุงรักษาเครื่องจักรและเครื่องมือให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ การลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการบริหารจัดการแรงงานอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้ เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือการวิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการผลิต ก็เป็นอีกทางที่สามารถช่วยลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างมาก เช่น งานวิจัยของกมลวรรณ มูลเวียง [1] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มน้ำตาลในบริษัทผลิตน้ำตาลพบว่าแผนกหม้อต้มมีปัญหาควบคุมคุณภาพน้ำอ้อย จึงได้นำระบบควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ (Distributed Control System: DCS) เข้ามาควบคุมการทำงานของวาล์วน้ำอ้อยอัตโนมัติ ผลการวิจัยพบว่า สามารถเพิ่มค่าบริกซ์จาก 65.03 เป็น 66.70 และอัตราความสำเร็จจากร้อยละ 63.63 เป็นร้อยละ 93.54 เพิ่มประสิทธิภาพได้ถึงร้อยละ 29.91 งานวิจัยของสุกฤษฎิ์ เพชรสวัสดิ์และคณะ [2] ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการแก้ปัญหาในการผลิตน้ำตาลทรายดิบเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ในการดำเนินงานวิจัยใช้แนวทางการจำลองสถานการณ์การผลิตในระยะเวลาจำนวน 2 วันทำงาน โดยดำเนินการทำซ้ำจำนวน 100 รอบ แล้วคำนวณจำนวนของลูกหีบและปรับเปลี่ยนจำนวนชุดหม้อต่างๆ ให้มีความเหมาะสมทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้นกว่าเดิมถึงร้อยละ 298.1 งานวิจัยของดำรง อินทรเสนา และ ศุภชัย ประทุมนากุล [3] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาลของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประสบปัญหาผลผลิตน้ำตาลต่อตันอ้อยลดลงและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น โดยใช้เครื่องมือการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วมร่วมกับการปรับปรุงเฉพาะเรื่องเพื่อลดความสูญเสียในการผลิต เริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือสถิติ เช่น แผนภูมิพาเรโตและแผนภาพต้นไม้ พบว่าปัญหาหลักมาจากการสูญเสียน้ำตาลในกากน้ำตาลสุดท้ายในกระบวนการเคี่ยวและปั่นน้ำตาล การปรับปรุงด้วยวิธี PDCA ทำให้ประสิทธิภาพการเคี่ยวและปั่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.43 ผลิตน้ำตาลเพิ่ม 110.6 กิโลกรัมต่อตันอ้อย และลดต้นทุนการผลิตได้ 1,616.86 บาทต่อตันน้ำตาล นอกจากนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตยังมีอีกหลายงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับหลักการบริหารการผลิตเช่น อภิสิทธิ์ สายเครือและคณะ [4] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวที่โรงงานโอ้ว เจริญพร ใช้หลัก ECRS โดย การรวมกัน ลดจำนวนพนักงานและปรับปรุงวิธีการเคลื่อนย้ายถังน้ำตาล การจัดใหม่ จัดพื้นที่ว่างให้เป็นที่เก็บน้ำตาล การทำให้ง่าย ใช้พลาสติกคลุมแม่พิมพ์น้ำตาลเพื่อป้องกันการปนเปื้อน ผลการปรับปรุงพบว่าเวลาเฉลี่ยในการผลิตลดลง 102.8 นาที หรือร้อยละ 19.48 ฤดี นิยมรัตน์และคณะ [5] ได้วิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวที่โรงงานโอ้วเจริญพร โดยใช้การจัดการโรงงานแบบมีส่วนร่วม การศึกษากระบวนการผลิตและการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น Why-Why Analysis, 5W-1H, และ PDCA พบว่าได้หลังปรับปรุงกระบวนการผลิตได้การลดจำนวนขั้นตอนการผลิต 6 กิจกรรม ลดเวลาการทำงาน 80 นาที ลดอุบัติเหตุได้ 6 ครั้ง และสามารถปรับปรุงคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์จนไม่พบสิ่งแปลกปลอม ผลิตภาพเพิ่มขึ้นในด้านแรงงาน ต้นทุน และวัตถุดิบ บริษัทกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในผู้นำอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รองรับตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ควบคู่ไปกับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน มีนโยบายในการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำตาลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเช่นกัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ ซึ่งเริ่มกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการหีบอ้อยเพื่อสกัดเอาน้ำอ้อยและนำน้ำอ้อยที่ได้ไปทำใสตกตะกอนแล้วนำไปต้มเพื่อให้ออกมาเป็นน้ำเชื่อมแล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการเคี่ยวน้ำเชื่อมให้เกิดเป็นผลึกน้ำตาลที่ผสมอยู่ในของเหลวจากนั้นก็จะส่งไปยังในแผนกหม้อปั่น ซึ่งทำหน้าที่แยกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลเป็น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาล เอ บี และ ซี พบว่ากระบวนการปั่นแยกน้ำตาลบี ยังขาดมาตรฐานในการควบคุมเนื่องจากการปรับอัตราการไหลของแมสควิทบี (Massecuite B) และน้ำร้อนแบบเดิมใช้การปรับด้วยมือและขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงาน ทำให้ค่าความบริสุทธิ์ของ แมกมาบี (B Magma) มีความผันผวน จากข้อมูลจากฤดูการหีบอ้อยย้อนหลัง 2 ปีพบว่าอัตราความสำเร็จของ แมกมาบี (B Magma) อยู่ที่ร้อยละ 74.94 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายร้อยละ 80 จึงได้มีแนวคิดการนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาใช้ในการปรับอัตราการไหลของวาล์วแมสควิทบี (Massecuite B) และท่อน้ำร้อน โดยการควบคุมองศาการเปิดวาล์วที่ถูกต้องเพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดข้อผิดพลาดจากการควบคุมด้วยมนุษย์และเพิ่มประสิทธิภาพในการปั่นแยกน้ำตาล

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุง

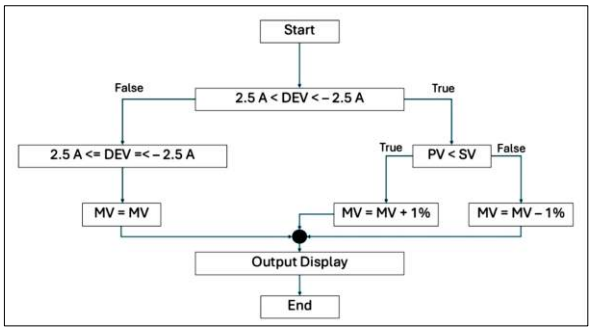
ข้อมูลอัตราความสำเร็จของความบริสุทธิ์ แมกมาบี ไลน์ 3 ที่นำมาใช้สำหรับการวิจัยได้มาจากการรวบรวมข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดฤดูกาลหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาล พบว่าอัตราความสำเร็จของความบริสุทธิ์แมกมาบีไลน์ 3 นั้นอยู่ที่ร้อยละ 74.94 ต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้คือมากกว่าร้อยละ 80

2.2 การนำระบบ Distributed Control System: DCS เข้ามาใช้งาน

ระบบ DCS (Distributed Control System) คือระบบควบคุมและตรวจสอบกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมแบบกระจายศูนย์ ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับโรงงานน้ำตาลที่มีกระบวนการผลิตต่อเนื่องหลายขั้นตอน ระบบดังกล่าวช่วยลดภาระของพนักงานในการควบคุมเครื่องจักรแบบแมนนวล อีกทั้งยังสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์มาตรฐานเพื่อควบคุมวาล์วแมสควิทบีและวาล์วน้ำร้อนได้อย่างแม่นยำ สอดคล้องกับสภาพการผลิตจริงในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ ระบบ DCS ยังมีจุดเด่นด้านความเสถียร ความแม่นยำในการควบคุมแบบเรียลไทม์ และความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสม่ำเสมอ

2.3 การออกแบบหลักการของวาล์ว แมสควิทบี

การทำงานของท่อแมสควิทบีจะถูกออกแบบให้คอยรักษาปริมาณแมสควิทบีที่ไหลลงหม้อปั่นให้ปริมาณคงที่โดยจะอ้างอิงปริมาณลงหม้อจากกระแสมอเตอร์ของหม้อปั่น โดยระบบจำทำการตรวจสอบว่ากระแสมอเตอร์จริงกับที่ต้องการต่างกันเกินบวกลบ 2.5 แอมป์หรือไม่ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขระบบจะสั่งให้วาล์วเปิดร้อยละวาล์วเพิ่มหรือลดลง ร้อยละ 1 ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 Flow Diagram ของวาล์วแมสควิทบี

2.4 การทดลองแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error)

ได้ทำการทดลองหาสัดส่วนน้ำร้อนที่เหมาะสกับแมสควิทบี โดยใช้วิธีลองผิดลองถูกซึ่งเป็นเพียงขั้นตอนเริ่มต้นในการหาขอบเขตที่เหมาะสม เริ่มจากการใช้ค่ากระแสมอเตอร์และร้อยละการเปิดวาล์วน้ำร้อนที่กำหนดโดยพนักงานที่มีประสบการณ์ จากนั้นตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลทางกายภาพ เช่น สีและลักษณะของเม็ดน้ำตาลให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของพนักงานที่ทำ แล้วบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์และสมการเส้นตรง เพื่อใช้ควบคุมการเปิดวาล์วให้สัมพันธ์กับกระแสมอเตอร์ในแต่ละช่วงเวลา สุดท้ายได้นำสมการที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีของพนักงาน พบว่าผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกัน และสามารถควบคุมคุณภาพแมกมาบีให้อยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้

2.5 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment Design)

จากการทดลองในหัวข้อ 2.4 จึงนำข้อมูลจากการปรับแบบสมการมาออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปตามปัจจัยและระดับปัจจัยตามตารางที่ 1 เพื่อทดสอบว่าการเปิดวาล์วน้ำร้อนในระดับกระแสมอเตอร์ที่พนักงานใช้ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดหรือไม่ โดยกำหนดค่าการเปิดวาล์วน้ำร้อนจากสมการเป็นค่ากลาง และเพิ่ม-ลดจากค่านั้นร้อยละ 3 แล้วทำการทดลองเพื่อหาว่าการเปิดวาล์วน้ำร้อนที่เท่าใดในระดับของกระแสมอเตอร์ที่กำหนดมีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพื่อนำไปสร้างสมการการเปิดวาล์วน้ำร้อนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment Design)

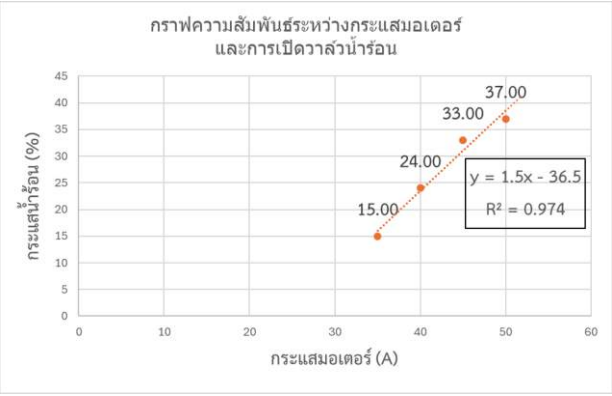
การตั้งค่ากระแสมอเตอร์ (Amp.)	เปอร์เซนต์การเปิดวาล์วน้ำร้อน		
	ค่าต่ำ	ค่ากลาง	ค่าสูง
35	12	15	18
40	21	24	27
45	27	30	33
50	34	37	40

หลังจากทำการทดลองครบทุกช่วงของกระแสหม้อปั่นที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้ จึงได้ทำการสรุปร้อยละการเปิดวาล์วน้ำที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละช่วงของกระแสมอเตอร์ ตารางที่ 2 ผลการทดลองเพื่อประเมินระดับกระแสมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพความบริสุทธิ์ของแมกมาบีไลน์ 3 โดยเริ่มจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามประสบการณ์ของช่างผู้ชำนาญงาน และดำเนินการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปพร้อมเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวัดคุณภาพ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อชุดเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองพบว่าในระดับกระแสมอเตอร์ทั้ง 4 ระดับ พบว่าระดับที่ 45 แอมป์ให้ค่าความบริสุทธิ์สูงที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการทดลองเชิงระบบในการค้นหาค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 ตารางสรุปของการเปิดน้ำร้อน

สรุป	
การตั้งค่ากระแสมอเตอร์ (Amp.)	เปอร์เซนต์การเปิดวาล์วน้ำร้อน
35	15
40	24
45	33
50	37

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอเตอร์กับร้อยละการเปิดวาล์วน้ำร้อน โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์แนวโน้มและหาสมการเชิงเส้นที่อธิบายความสัมพันธ์ใน Excel ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของมอเตอร์และองศาการเปิดวาล์วน้ำร้อน (หลังทำการทดลอง)

หลังจากได้กราฟความสัมพันธ์แล้วจึงสามารถสร้างสมการเส้นตรงขึ้นมาได้ ได้ดังนี้ และได้ทำการเผื่อในกรณีที่แมสควิทบี (Massecuite B) ผิดปกติ จำเป็นต้องเพิ่มหรือลดร้อยละการเปิดองศาวาล์วน้ำร้อน เพื่อให้น้ำตาลที่ปั่นออกมาได้นั้นมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำตาลปกติจึงมีการเพิ่มตัวคูณเข้ามาในสมการ

$$\% \text{ Valve} = [(\text{Amp} * 1.5) - 36.5] * \text{Factor} \qquad (1)$$

ซึ่งในสภาวะปกติน้ำตาลในระบบไม่มีความผิดปกติ ตัวคูณหรือ Factor จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ถ้าหากมีสภาวะผิดปกติเกิดขึ้นก็จะมีแนวทางในการปรับค่า ตัวคูณ (Factor) ในระบบ DCS จึงได้ทำตารางการใช้งานขึ้นมา

ตารางที่ 3 แสดงแนวทางการปรับเพิ่มลดค่าตัวคูณ

Purity	Picture	Comment
91		สีของเม็ดน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลเข้มเม็ดน้ำตาลมีลักษณะเป็นก้อนมีน้ำเลี้ยงผสีกเคลือบเม็ดน้ำตาลอยู่ค่อนข้างมากหากลองสัมผัสจะมีคราบน้ำเลี้ยงผสีกติดมือมาก
92		สีของน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลคล้ายน้ำตาลทรายแดงเม็ดน้ำตาลจับกันเป็นก้อนที่เล็กกว่าเดิมมีน้ำเลี้ยงผสีกเคลือบเม็ดน้ำตาลอยู่บาง ๆ หากสัมผัสจะมีคราบน้ำเลี้ยงผสีกติดมือเล็กน้อย
93		สีของน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลอ่อนมีน้ำตาลที่จับตัวกันเป็นก้อนน้อยมากเม็ดน้ำตาลเริ่มร่วนหากสัมผัสจะไม่มีคราบน้ำเลี้ยงผสีกติดที่มือ
94		สีของน้ำตาลเป็นสีเหลืองค่อนไปทางน้ำตาลเม็ดมีลักษณะร่วนและขนาดเม็ดเริ่มเล็กลงกว่าปกติไม่มีน้ำตาลจับตัวกันเป็นก้อน
95		สีของน้ำตาลเป็นสีเหลืองอ่อนมีเม็ดขนาดเล็กร่วนละเอียด

จากผลการทดลองจึงได้นำสมการนี้ไปใช้งานจริงในระบบ DCS ของหม้อปั่น แมสควิทบี (Massecuite B) ไลน์ 3 ทุกหม้อปั่น

3. ผลการดำเนินงาน

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลความบริสุทธิ์ ของ แมกมาบี ไลน์ 3 ในช่วงเดือน ธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2568 พบว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ อัตราความสำเร็จของความบริสุทธิ์ แมกมาบี ไลน์ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังการปรับปรุงอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 85.63 ซึ่งจากเดิมอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 74.94 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ามีแนวโน้มทีคุณภาพของความบริสุทธิ์ แมกมาบี ไลน์ 3 นั้นเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมตามรูปที่ 3

รูปที่ 3 เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จ ระหว่างปี 2566 - 2567 และ ปี 2567 - 2568

จากแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบอัตราความสำเร็จ ระหว่างปี 2566 - 2567 และปี 2567 - 2568 จะเห็นได้ว่าปี 2566 – 2567 มีอัตราความสำเร็จเท่ากับ ร้อยละ 74.94 หลังการปรับปรุงทำให้ปี 2567 - 2568 มีอัตราความสำเร็จเท่ากับร้อยละ 85.03 มีอัตราความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 ตามเป้าหมาย โดยมีอัตราความสำเร็จเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 10.69

4. สรุปผล

จากการผลการทดลองที่เหมาะสมไปใช้ในระบบควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ (DCS) องศาของวาล์วเปิดน้ำร้อนของหม้อปั่นที่ถูกต้องสามารถเพิ่มอัตรา

ความสำเร็จได้เท่ากับร้อยละ 85.63 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้โดยมีอัตราความสำเร็จเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 10.69 จะเห็นได้ว่าจากการนำใช้การออกแบบการทดลองเชิงระบบร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ช่วยค้นหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมการเปิดวาล์วน้ำร้อน ส่งผลให้คุณภาพของแมกมาบี ไลน์ 3 ดีขึ้นอย่างชัดเจน และสามารถนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นในโรงงานได้

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและคอยอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กมลวรรณ มูลเวียง, “การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้ม กรณีศึกษา: บริษัทผลิตน้ำตาล”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, (2566)

[2] สุกฤษฎ์ เพชรสวัสดิ์ ธัชชัย เทพกรณ์ และณัฐพร ตั้งเจริญชัย, “การกำหนดปริมาณที่เหมาะสมของทรัพยากรการผลิตน้ำตาลทรายดิบ ด้วยแบบจำลองสถานการณ์”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2564, มิถุนายน-สิงหาคม 2564 พิษณุโลก, (2564), หน้า 138–155.

[3] ดำรง อินทรเสนา ศุภชัย ประทุมนากุล, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม กรณีศึกษาบริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด (สาขามิตรภูเวียง)”, วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ: มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2554, กรกฎาคม-ธันวาคม 2554 ขอนแก่น, (2554), หน้า 19–34.

[4] อภิสิทธิ์ สายเครือ สิริวัฒ แย้มพกสุข และร.ศ.ด.ร.ฤดี นิยมรัตน์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวของโรงงานโอ้วเจริญพร”, การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี พ.ศ. 2565, 21 มีนาคม 2565 กรุงเทพมหานคร, (2565), หน้า 244–253.

[5] ฤดี นิยมรัตน์ สมเกียรติ กอบัวแก้ว ไสว ศิริทองถาวร และเกิรกเกรียติ กอบัวแก้ว, “การเพิ่มผลิตภาพการผลิตน้ำตาลมะพร้าว จังหวัดสมุทรสงครามด้วยการจัดการโรงงาน”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 ประจำปีพ.ศ. 2565, กรกฎาคม-ธันวาคม 2565 กรุงเทพมหานคร, (2565), หน้า 37–53.

การวิเคราะห์และลดข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วยหลักการทางวิศวกรรม

Examination and Mitigation of Surface Imperfections in Plastic Injection Molding Through Engineering Methodologies

เอกวิศว์ สงเคราะห์[1] บวรวิทย์ แสนสุข[1] และ ปรีชา ลึกสีทา[2*]
[1] สาชาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและนวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Ekawit Songkroh[1] Bovornwit Sansuk[1] and Preecha Lueksita [2*]
[1] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
[2] Department of Manufacturing Engineering and Materials Innovation,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: ekawit.s@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดขึ้นรูปทั้งนี้เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด การดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานและแม่พิมพ์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่พบหลังการทดลองฉีดขึ้นรูป ได้แก่ ปัญหาครีบเกิน (Bari) รอยขีดข่วน (Scratch) และความไม่สม่ำเสมอของระดับผิว (Step) ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยตรง เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) ซึ่งเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการอย่างเป็นระบบ และใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) เป็นเครื่องมือสนับสนุนในแต่ละขั้นตอนของการดำเนินงาน ปัญหารอยขีดข่วนบนชิ้นงานได้รับการคัดเลือกเป็นประเด็นหลักในการปรับปรุง ซึ่งผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปัญหารอยขีดข่วนลงได้ถึง 74.01% และลดปัญหาครีบเกินลงได้ถึง 52.99% ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการฉีดพลาสติกดีขึ้นอย่างชัดเจน ลดปริมาณของเสีย และสามารถผลิตชิ้นงานได้ตรงตามความต้องการของลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำหลัก แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก, การวิเคราะห์ปัญหา, QC 7 Tools, DMAIC, การลดของเสีย

Abstract

This article examines the research and advancement of injection molds for the automotive sector, emphasizing the analysis and resolution of issues in the injection molding process to guarantee high-quality components that conform to industry requirements. The investigation started with an examination of component and mold data, pinpointing critical faults like flash (Bari), scratches, and irregular surface levels (Step), all of which affect product quality. The DMAIC approach (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) was employed to tackle these difficulties, alongside the application of the seven quality control tools (QC 7 Tools) during the enhancement process. The principal issue identified was surface scratches, which were diminished by 74.01%, and flash flaws were decreased by 52.99%. These enhancements increased manufacturing efficiency, minimized waste, and facilitated improved alignment with client demands.

Keywords: Injection Molding, Problem Analysis, Quality Control Seven Tools, DMAIC, Waste Minimization

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเพื่อการส่งออกมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเป็นแหล่งสร้างรายได้หลักและเสริมสร้างการเติบโตในภาคเศรษฐกิจต่างๆ อย่างไรก็ตาม ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังคงเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญในยุคปัจจุบัน หนึ่งในปัญหาที่เด่นชัดคือการปรับขึ้นค่าแรงขั้นต่ำ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้ความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการไทยลดลงเมื่อเทียบกับประเทศที่มีค่าแรงต่ำกว่า เช่น จีน เวียดนาม และอินเดีย การลดต้นทุนการผลิตจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ประกอบการต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ บริษัท คูโรด้า ซึ่งเป็นหนึ่งในบริษัทที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพสูงสำหรับการส่งออก ปัญหาที่บริษัทพบในกระบวนการนี้คือการเกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ เช่น ครีบและ รอยขีดข่วน ซึ่งเกิดจากการออกแบบและการตั้งค่ากระบวนการที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ซึ่งเพิ่มต้นทุนและลดประสิทธิภาพการผลิต การศึกษาของ Chiarini (2019) แสดงให้เห็นว่า การใช้ QC 7 Tools ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตช่วยให้สามารถระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เหมาะสม นอกจากนี้ การศึกษาโดย Juran et al. (2017) ได้แนะนำว่า การใช้ QC 7 Tools ช่วยให้การบริหารคุณภาพมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยช่วยลดข้อบกพร่องและการสูญเสียจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ งานวิจัยของ Kim & Choi (2018) ยังได้ยืนยันถึงประสิทธิภาพของการใช้ QC 7 Tools ในการลดความผิดพลาดในการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกที่มีความท้าทายในการควบคุมคุณภาพ Breyfogle, (2018) กระบวนการ DMAIC ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน Define, Measure, Analyze, Improve และ Control ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการใช้ DMAIC จะช่วยในการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ ซึ่งการศึกษาโดย Antony (2014) ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ DMAIC สามารถช่วยให้กระบวนการผลิตมีความเสถียรมากขึ้น ลดข้อบกพร่อง และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การศึกษาในงานวิจัยของ Pande & Neuman (2009) ยังได้ยืนยันถึงประสิทธิภาพของกระบวนการ DMAIC ในการขับเคลื่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีความท้าทายในการรักษา

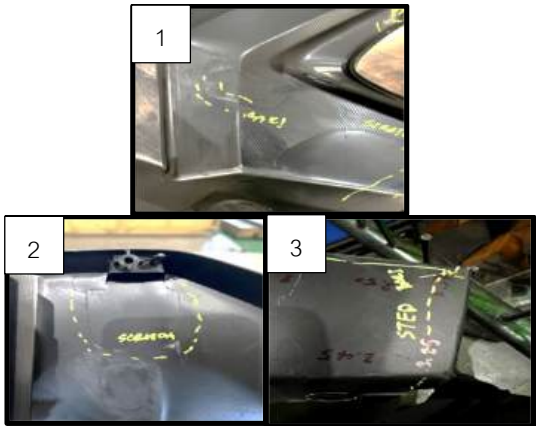
คุณภาพ โดยเฉพาะในกระบวนการที่ซับซ้อนเช่น การผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งการใช้เครื่องมือ DMAIC ช่วยให้สามารถหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงและดำเนินการแก้ไขอย่างเป็นระบบ งานวิจัยของ Chakraborty et al. (2019) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ DMAIC ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมที่ต้องการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยได้แสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ DMAIC สามารถลดข้อบกพร่องและเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การใช้เทคนิค DMAIC ยังช่วยให้การบริหารกระบวนการผลิตมีความแม่นยำและสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างลึกซึ้ง การศึกษาในงานวิจัยของ Subramanian & Rajendran (2020) ยังได้กล่าวถึงการใช้ DMAIC และ QC 7 Tools ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ซึ่งได้ผลในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตที่เกิดจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก นอกจากนี้ การใช้ซอฟต์แวร์ Mold Flow Analysis ที่กล่าวถึงในงานวิจัยของ Lee et al. (2021) ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบแม่พิมพ์และลดข้อบกพร่องที่เกิดจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้ดำเนินงานและทีมงานจึงได้นำเครื่องมือการบริหารคุณภาพที่ได้รับการยอมรับ เช่น QC 7 Tools และกระบวนการ DMAIC มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้สามารถระบุสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีระบบ และสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การดำเนินงาน

การดำเนินการแก้ไขปัญหาในบทความนี้จะดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานที่เกิดขึ้นหลังจากการทดลองฉีด โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดด้วยวิธีการสังเกตุภาพรวมของกระบวนการและการตรวจสอบลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด พบว่า ชิ้นงานที่ได้ออกมามีปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ปัญหาหลัก คือ ชิ้นงานมีครีบ(Bari) เกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงาน(Scratch) และ ผิวของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ (Step) จากการสังเกตุและบันทึกผลการทดลองฉีด 100 ชิ้น ทำให้สามารถทราบจำนวนของปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองฉีด

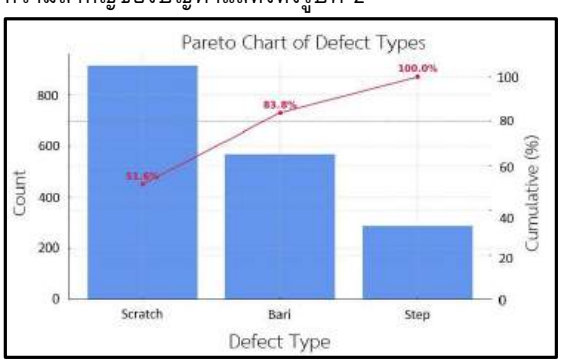
ปัญหา	จำนวน(จุด)
Scratch	912
Bari	568
Step	287



รูปที่ 1 ปัญหาที่เกิดในการทดลองฉีด (1) Bari (2) Scratch (3) Step

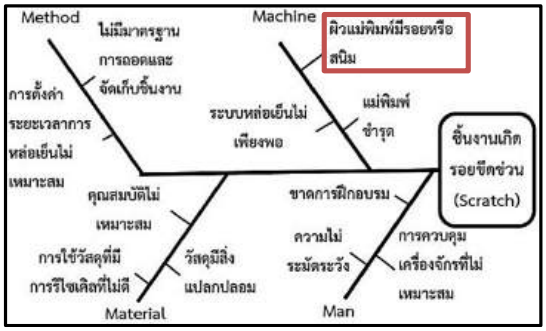
จากตารางที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอน *D (Define)* และ *M (Measure)* ตามหลักการ DMAIC พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ ชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วน จำนวน 912 จุด จากจำนวนปัญหาทั้งหมด 1,767 จุด คิดเป็นร้อยละ 51.6 ของปัญหาทั้งหมด เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ในขั้นตอนถัดไปจะเป็นในส่วนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา *A (Analyze)* โดยมีการใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ QC 7 tools มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงลำดับความสำคัญของปัญหาผู้ดำเนินงานได้นำหลักการของ Pareto principle (80/20) มาคัดเลือกว่าปัญหาใดควรได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก และนำปัญหาที่ได้จากการคัดเลือกมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Cause and Effect Diagram โดยใช้หลักการ 4M (Man, Machine, Material, Method) แยกสาเหตุหลัก และสาเหตุย่อยของปัญหาที่ได้คัดเลือกมา เพื่อที่จะได้ทราบถึงต้นตอการเกิดปัญหาที่แท้จริงใน

กระบวนการทดลองฉีดพลาสติก การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Pareto chart ลำดับความสำคัญของปัญหา

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัญหาชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วนนั้นเป็นปัญหาหลักเมื่อรวมกับปัญหาชิ้นงานเกิดครีบแล้วคิดเป็นร้อยละ 83.8 ของปัญหาทั้งหมด ดังนั้นหากแก้ไขทั้ง 2 ปัญหานี้ก็จะสามารถลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ แต่เนื่องด้วยระยะเวลาในการดำเนินงานที่จำกัด ทางผู้ดำเนินงานและทีมงานจึงตัดสินใจเลือกแก้ไขปัญหาการเกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานเนื่องจากมีจำนวนความถี่ในการเกิดมากที่สุด ซึ่งมีจำนวนการเกิดมากกว่าครึ่งหนึ่งของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Cause and Effect Diagram แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 Cause and Effect Diagram

จากรูปที่ 3 ทางผู้ดำเนินงานและทีมงานได้ทำการเลือกสาเหตุจากผิวแม่พิมพ์มีรอยหรือเป็นสนิมที่อยู่ในส่วนของ Machine นำมาแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก เนื่องจากสาเหตุนี้ส่งผลโดยตรงต่อผิวของชิ้นงาน และเป็นสาเหตุหลักที่จะทำให้เกิดปัญหาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งสาเหตุนี้ยังสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ทันที โดยไม่ต้องมีการสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงานหรือฝึกอบรมใดๆ ให้กับพนักงาน

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา *I (Improve)* ก่อนดำเนินการปรับปรุงแก้ไขผู้ดำเนินงานและทีมงานได้ร่วมกันพิจารณาความเหมาะสมของแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยพิจารณาจากสภาพที่เกิดขึ้นจริง พบว่าแม่พิมพ์ไม่ได้มีรอยลึก แต่มีสนิมเกิดขึ้นบนผิวแม่พิมพ์เท่านั้น ดังนั้นจึงได้เลือกแนวทางการแก้ไขด้วยการขัดและปรับแต่งผิวแม่พิมพ์ให้กลับมาอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ภาพก่อนและหลังการแก้ไขแสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ก่อนและหลังทำการแก้ไขแม่พิมพ์

3. ผลการดำเนินงาน

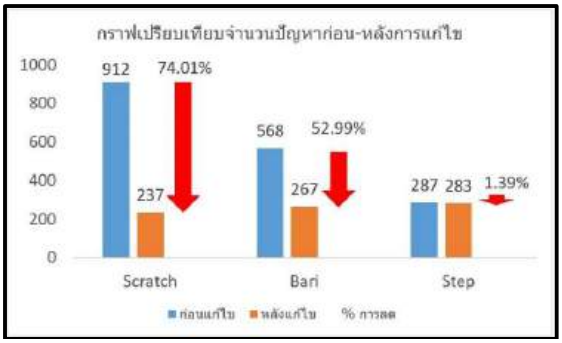
หลังจากการดำเนินการปรับปรุงสภาพผิวของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานแล้ว ได้ทำการทดลองฉีดพลาสติกและเก็บข้อมูลหลังการฉีดชิ้นงาน 100 ชิ้น เพื่อนำข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังการฉีดมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปัญหาที่เกิดก่อนการแก้ไขปรับปรุงแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองฉีด

ปัญหา	ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	% การลด
Scratch	912	237	74.01 %
Bari	568	267	52.99 %
Step	287	283	1.39 %

จากตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่พบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงสภาพผิวของแม่พิมพ์ พบว่าสามารถลดจำนวนปัญหาชิ้นงานที่เกิด

รอยขีดข่วนลงได้ถึงร้อยละ 74.01 เมื่อเทียบกับก่อนดำเนินการปรับปรุง นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนปัญหาชิ้นงานที่เกิดครีบลดลงเช่นกัน โดยลดลงจากเดิมร้อยละ 52.99 จากผลดังกล่าวผู้ดำเนินงานและทีมงานจึงได้ทำการวิเคราะห์และสันนิษฐานว่า ปัญหาชิ้นงานที่เกิดครีบอาจเกิดมาจากการที่แม่พิมพ์ปิดไม่สนิท ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดสนิมและความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวแม่พิมพ์ ดังนั้นเมื่อได้มีการปรับปรุงสภาพผิวของแม่พิมพ์เพื่อลดปัญหาชิ้นงานที่เกิดรอยขีดข่วน การปรับปรุงดังกล่าวจึงส่งผลให้ปัญหาชิ้นงานที่เกิดครีบลดลงไปด้วย



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบจำนวนปัญหา

เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพหลังการปรับปรุงในขั้นตอนของ *C (Control)* ได้มีการจัดทำเอกสารสำหรับตรวจสอบและบันทึกความผิดปกติรายวันของแม่พิมพ์ อีกทั้งยังมีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน PM (Preventive Maintenance) เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์มีปัญหาเกิดขึ้นในอนาคตอีกด้วย

4. สรุปผล

จากผลการดำเนินงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังการฉีดพลาสติก โดยอ้างอิงกระบวนการตามหลักการ DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) ร่วมกับการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิด (QC 7 Tools) ในแต่ละขั้นตอน พบว่า การปรับปรุงสภาพผิวของแม่พิมพ์เพื่อลดปัญหาชิ้นงานที่เกิดรอยขีดข่วน ยังส่งผลให้สามารถลดจำนวนปัญหาชิ้นงานที่เกิดครีบได้อีกด้วย ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการของ Pareto Principle ซึ่งระบุว่า ปัญหาจำนวนร้อยละ 80 มักเกิดจากสาเหตุเพียงร้อยละ 20 ของทั้งหมด ซึ่งในกรณีนี้ การปรับปรุงที่จุดเดียวสามารถส่งผลเชิงบวกต่อหลายปัญหาในกระบวนการผลิต ทำให้จำนวนของเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติกลดลงอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการดำเนินการปรับปรุงในครั้งนี้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้นก็ด้วยความอุตสาหะพยายามของผู้ร่วมโครงการทุกท่าน ซึ่งได้สละเวลากำลังสมองกำลังสติปัญญา เพื่อมุ่งหวังที่จะให้โครงการฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุดซึ่งทางคณะผู้จัดทำหวังอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อยหากมีข้อผิดพลาดทางคณะผู้จัดทำขอรับไว้เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณ นายปิยะพันธ์ แสงแดง พนักงานที่ปรึกษาที่ได้ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำจนการดำเนินงานนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการผลิตทุกท่านที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ซึ่งนับว่าเป็นความสำคัญอย่างมากในผลักดันให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Chiarini, A. (2019). PDCA cycle and the continuous improvement: Evidence from the lean production. TQM Journal, 31(6), 743–760.

[2] Juran, J. M., Godfrey, A. B., & Schilling, E. G. (2017). Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence (7th ed.). McGraw-Hill Education.

[3] Kim, D., & Choi, S. (2018). Application of quality control tools for reduction of defects in plastic molding process. Journal of Industrial Engineering and Management, 11(3), 516–532.

[4] Breyfogle, F. W. (2018). Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. John Wiley & Sons.

[5] Antony, J. (2014). Readiness factors for the Lean Six Sigma journey in the higher education sector. International Journal of Productivity and Performance Management, 63(2), 257–264.

[6] Pande, P. S., & Neuman, R. P. (2009). The Six Sigma Way: How to Maximize the Impact of Your Change and Improvement Efforts. McGraw-Hill.

[7] Chakraborty, S., Saini, R., & Dey, A. (2019). Improving manufacturing performance through the application of Six Sigma DMAIC methodology. International Journal of Lean Six Sigma, 10(3), 865–888.

[8] Subramanian, N., & Rajendran, C. (2020). Enhancing the quality and productivity in plastic injection molding industry through DMAIC and QC tools. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 26(3), 395–412.

[9] Lee, H., Park, S., & Kim, Y. (2021). Optimization of plastic injection molding process using Mold Flow Analysis and design of experiments. Journal of Manufacturing Processes, 64, 345–352.

การเจาะรูลึกด้วยเทคนิคแบบผสมเพื่อลดเวลาในการทำงาน

Hybrid Deep Hole Drilling Techniques for Reducing Machining Time

จตุพร ใจดำรงค์[1*] วรวิทย์ ศรีวิทยกูล[2] พิชัย จันทร์มณี[3] และ กมลพงศ์ แจ่มกมล[4]
[1,2] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[3,4] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Jatuporn Jaidumrong[1*] Worawit Sriwitthayakul[2] Pichai Janmanee[3] and Kamonpong Jamkamon[4]
[1*, 2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya
[3, 4] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: jatuporn.j@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

วิจัยฉบับนี้นำเสนอแนวทางใหม่ในการปรับปรุงกระบวนการเจาะรูลึก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในสายงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ แม่พิมพ์ และระบบไฮดรอลิก จุดแข็งของงานวิจัยอยู่ที่การพัฒนาเทคนิคแบบผสมระหว่างการเจาะแบบหักเศษ (G76) และแบบคายเศษ (G83) ซึ่งช่วยลดปัญหาเรื่องการอุดตันของเศษและการเบี่ยงเบนของขนาดรูเจาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองเจาะรูวัสดุชิ้นงานทองเหลืองบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีและทำเปรียบเทียบผลของวิธีการแบบหักเศษ คายเศษ และแบบผสม ผลการทดลองพบว่าวิธีการเจาะรูแบบผสมมีความเหมาะสมในการใช้งานเมื่อพิจารณาด้านระยะเวลาในการเจาะและขนาดของรูที่ตำแหน่งต้นทางและปลายทาง

คำหลัก การเจาะรูลึก เจาะแบบหักเศษ เจาะแบบคายเศษ เจาะแบบผสม

Abstract

This research proposes a novel approach to enhancing the deep hole drilling process, which remains a critical challenge in high-precision industries such as automotive manufacturing, mold making, and hydraulic systems. The strength of this study lies in the development of a hybrid drilling technique that integrates chip-breaking (G76) and peck drilling (G83) strategies. This combined method effectively mitigates issues related to chip clogging and dimensional deviation of drilled holes. Experimental drilling was conducted on brass workpieces using a CNC lathe to compare the performance of chip-breaking, peck drilling, and the proposed hybrid method. The results demonstrate that the hybrid approach offers superior performance in terms of drilling time and dimensional accuracy, particularly at both entry and exit points of the hole, making it a promising solution for deep hole drilling applications in precision-driven manufacturing sectors.

Keywords: deep hole drilling, chip breaking, peck drilling, hybrid drillings

1. บทนำ

การเจาะรูลึก (Deep Hole Drilling) มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตกระบอกสูบไฮดรอลิก อุปกรณ์การแพทย์และชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งต้องการรูที่มีความตรงและพื้นผิวภายในเรียบเนียน เทคโนโลยีที่ใช้ในการเจาะรูลึก ได้แก่ การเจาะแบบ Gun Drilling, BTA (Boring and Trepanning Association) และ Single-Lip Drilling (SLD) นอกจากนี้การเจาะรูลึกยังเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน เช่น คอปท่อเจาะ (drill collars), ตัวควบคุมแรงดัน (valve bodies), อุปกรณ์ตรวจวัดใต้หลุม (downhole instrumentation), และข้อต่อท่อ (tubing connectors) ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้ต้องการความแม่นยำสูงและความสามารถในการทนต่อแรงดันและอุณหภูมิที่สูงในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงใต้พื้นโลก [1]

คำว่า "รูลึก" (deep hole) ในงานวิจัยด้านวิศวกรรมการผลิตและการเจาะโลหะ มักนิยามตามอัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (Depth-to-Diameter Ratio หรือ D:d) โดยทั่วไปหากรูมีความลึกมากกว่า 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจะถือว่าเป็น "รูลึก" อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน VDI 3210 ของเยอรมนี [2] กำหนดว่า กระบวนการเจาะรูลึกหมายถึงการเจาะรูที่มีอัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 3:1 โดย Chandar, J. B., Nagarajan, L., & Siva Kumar, M. [3] ได้ทำการทบทวนความก้าวหน้าในกระบวนการเจาะรูลึกโดยเน้นที่การเจาะรูที่มีอัตราส่วน D/d > 10 ซึ่งต้องการความแม่นยำสูงและมีความท้าทายทางเทคนิค เช่น การควบคุมแรงตัด การจัดการเศษโลหะ และการระบายความร้อน

การวิจัยเกี่ยวกับการเจาะรูลึก Pollák, M., Kočiško, M., Petrus, J., Grozav, S. D., & Ceclan, V. [4] ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและอัตราป้อนต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือเจาะรูลึก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิต โดยใช้วัสดุเหล็กกล้า DIN 1.7225 และเครื่องกลึงซีเอ็นซีทำการเจาะรูลึกผลการวิจัยพบว่าการลดความเร็วรอบจาก 3000 เป็น 2400 รอบต่อนาที ร่วมกับการลดอัตราป้อนจะสามารถช่วยยืดอายุเครื่องมือได้ถึง 25% โดยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดกับความสึกหรอได้อย่างชัดเจนงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของการสมดุล “balance” ระหว่างประสิทธิภาพของรูเจาะและอายุการใช้งานเครื่องมือตัดในกระบวนการเจาะรูลึก Omirou, S. L., & Fyrillas, M. M. [5] ทำการเจาะรูลึกด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่มีความซับซ้อนและต้องการความยืดหยุ่นในการปรับกลยุทธ์การเจาะ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาอัลกอริทึม G-code สำหรับเจาะรูลึกโดยใช้รูปแบบที่สามารถปรับได้ตามความลึกและชนิดวัสดุด้วยเทคนิคแบบ “parametric subprogramming” เพื่อให้สามารถทำการควบคุมรูปแบบการป้อนเจาะและการระบายเศษเจาะแบบอัตโนมัติ ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถลดเวลาในเจาะรูได้เฉลี่ย 12-18% เทียบกับ G83 มาตรฐาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดเศษ (chip removal) และลดความเสี่ยงต่อการหักของดอกสว่านในรูเจาะลึกกว่า 10D Liao, C., Zhang, H., & Li, Y. [6] นำเสนอตัวแบบการพยากรณ์อายุการใช้งานของดอกสว่านและเลือกพารามิเตอร์การเจาะรูลึกภายใต้ข้อกำหนดของเวลาในการทำงาน โดยอ้างอิงจากการวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องมือและการประมาณอายุการใช้งาน ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้ตัวแบบที่เสนอในการเลือกพารามิเตอร์ พบว่าการสึกหรอลดลง 19.7% และเวลาทำงานลดลง 14% ซึ่งให้ผลดีกว่าการตั้งค่าด้วยค่าคงที่โดยเฉลี่ย Omirou, S. L., & Chasos, C. A. [7] การพัฒนาเทคนิคการเจาะรูลึกแบบสี่โซนเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับพารามิเตอร์การเจาะในแต่ละโซน โดยเทคนิค “Quadruple Zone Drilling” ซึ่งทำการแบ่งระยะการเจาะรูลึกออกเป็น 4 ช่วง เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ในแต่ละช่วงให้เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าช่วยลดอัตราการสั่นสะเทือนของดอกสว่านได้มากถึง 22% ความลึกที่สามารถเจาะได้โดยไม่ล้มเหลวเพิ่มขึ้นจาก 18D เป็น 25D ค่าความกลมและผิวสำเร็จดีขึ้นเฉลี่ย 10–15%

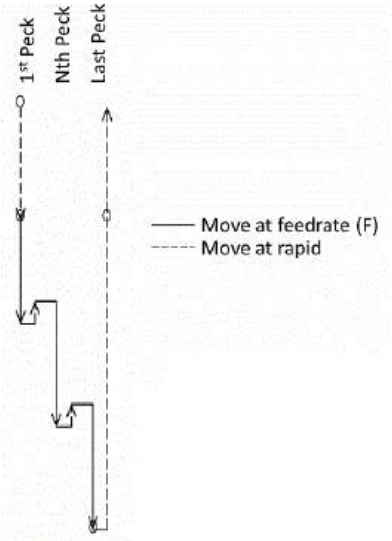
งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางใหม่ในการปรับปรุงกระบวนการเจาะรูลึกโดยการพัฒนาเทคนิคแบบผสมระหว่างการเจาะแบบหักเศษ (G76) และแบบคายเศษ (G83) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะรูลึก โดยการทดลองเปรียบเทียบกับการเจาะรูแบบหักเศษและคายเศษ

2. การเจาะรูลึก (Deep hole drilling)

การเจาะรูลึกซึ่งมีการทำงานเจาะรูบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยวิธีการเขียนโปรแกรมควบคุมรูปแบบการเจาะรูแบบมาตรฐาน คือ การเจาะรูแบบหักเศษและแบบคายเศษ สำหรับวิธีการเจาะรูลึกแบบผสมผสานเป็นการพัฒนาฮัลกอริทึมรูปแบบการทำงานเจาะรูแบบมีการทำงานร่วมกันของสองวิธีการข้างต้น

2.1 การเจาะรูแบบหักเศษ (Chip breaking)

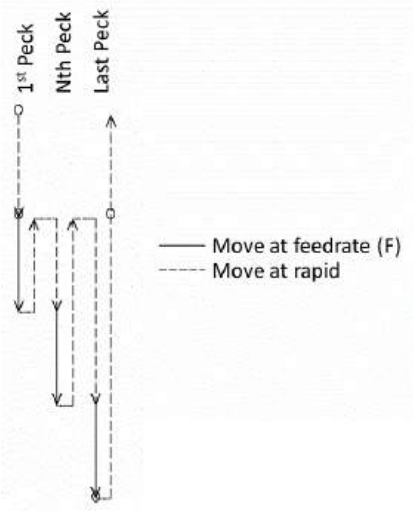
การเจาะแบบหักเศษจะไม่ใช้การเจาะต่อเนื่องแบบลึกทีเดียวเหมือน G81 แต่จะเป็นการเจาะด้วย G76 ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบสั้นๆ ซ้ำๆ โดยมีการหยุดพักหรือถอยขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเจาะ เพื่อให้เศษที่เกิดขึ้นหักออกเป็นท่อนๆ ดังรูปที่ 1 เป็นเทคนิคที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมการสร้างและจัดการเศษ (chip) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเจาะ โดยเฉพาะเมื่อเจาะวัสดุที่เหนียว เช่น สแตนเลส หรืออลูมิเนียม ซึ่งมักทำให้เกิดเศษยาวและพันกัน ส่งผลให้เครื่องมือสึกหรอเร็วหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานและเครื่องจักร



รูปที่ 1 การเจาะรูลึกแบบหักเศษ [8]

2.2 การเจาะรูลึกแบบคายเศษ (Pack drill)

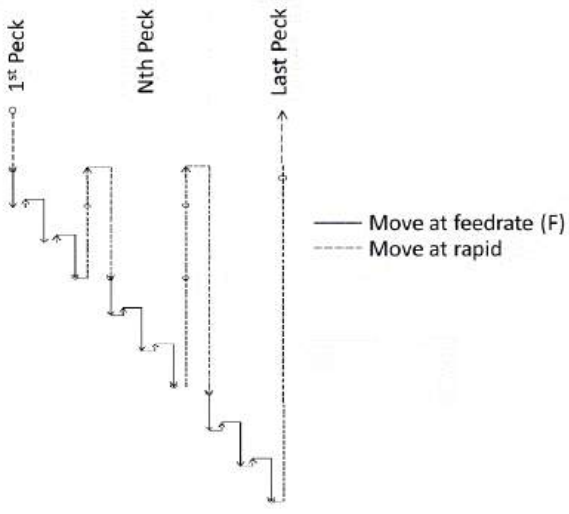
การเจาะรูแบบคายเศษ (Pack Drilling) ด้วย G-code G83 เป็นการเจาะลึกลงไปทีละช่วง (peck) แล้วถอยดอกสว่านขึ้นมาบางระยะ ดังรูปที่ 2 เพื่อให้เศษที่เกิดขึ้นมีโอกาสหลุดออกจากรูเจาะจากนั้นจึงเจาะต่อจนถึงความลึกที่ต้องการเป็นเทคนิคการเจาะที่ออกแบบมาเพื่อลดปัญหาเรื่องการสะสมของเศษ (chips) ภายในรูเจาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เจาะรูลึกหรือเจาะวัสดุที่มีแนวโน้มจะสร้างเศษยาว เช่น อะลูมิเนียม, สแตนเลส หรือทองเหลือง



รูปที่ 2 การเจาะรูลึกแบบคายเศษ [8]

2.3 การเจาะรูลึกแบบผสม (HDD, Hybrid deep drilling)

การเจาะรูลึกแบบผสมเป็นการเจาะรูโดยแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยแต่ละช่วงของการเจาะจะเป็นแบบหักเศษ และทำการถอยดอกสว่านขึ้นเป็นแบบคายเศษ ต่อจากนั้นให้ทำการเจาะรูโดยสลับช่วงการเจาะเรื่อยๆจนกระทั่งได้ความลึกที่ต้องการ ดังรูปที่ 3



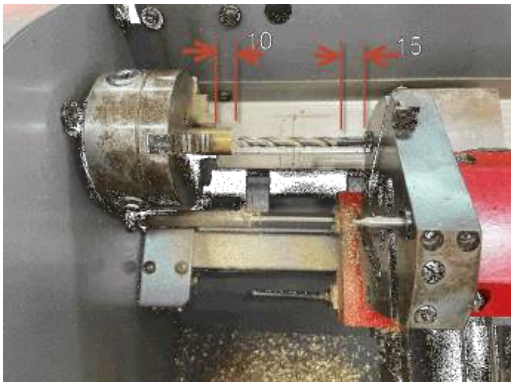
รูปที่ 3 การเจาะรูลึกแบบผสม

3. การทดลองและผล

3.1 การทดลอง

เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ EMCO รุ่น PC-TURN 50 ระบบควบคุม FANUC 0iT การทดลองเจาะรูลึกด้วยดอกสว่านคาร์บอนสูง ขนาด ∅6 มิลลิเมตร ความยาวคมตัด 55 มิลลิเมตร วัสดุทดลองชิ้นงานทองเหลือง เกรด C3604 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.875 มิลลิเมตร (5/8”) ความยาว 60 มิลลิเมตร ความลึกในการเจาะรู (Z) 64 มิลลิเมตร ระยะถอยหักเศษของดอกสว่าน (R) 0.5 มิลลิเมตร อัตราป้อนเจาะรู (F) 0.045 มิลลิเมตรต่อรอบ (mm/rev) ความเร็วรอบชิ้นงานหมุน 1,000 รอบต่อนาที (rpm) การทดลองเจาะรูลึกแบบผสมด้วยรหัสควบคุม G-code [9] คือ G76 , G83 และแบบผสมผสานของ G76 และ G83 กำหนดค่าความลึกในการเจาะแต่ละครั้ง (Q) เท่ากับ 2 และ 3 มิลลิเมตร ค่าความลึกของช่วงการเจาะแบบผสมผสาน (L) 10 มิลลิเมตร เมื่อลำดับการเจาะรูชิ้นงานรูลึกเป็นแบบสุ่ม การตรวจสอบขนาดรูในด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร

รูปที่ 4 EMCO รุ่น PC-TURN 50 ชุดควบคุม FANUC 0iT



รูปที่ 5 การเตรียมเจาะรูลึกชิ้นงาน

3.2 ผลการทดลอง

การทดลองเจาะรูลึกชิ้นงานจำนวน 6 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 6 มีผลการทดลองด้านเวลา (นาที : วินาที) และขนาดรูเจาะ (มิลลิเมตร) ด้านต้นทาง (∅d1) และปลายทาง (∅d2) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าการเจาะแบบหักเศษ (G76) มีความลึกในการเจาะรูครั้งละ 3.0 มิลลิเมตร ไม่สามารถเจาะรูได้ทะลุเนื่องจากมีเศษอัดแน่นในรูเจาะ ไม่มีการระบายเศษเจาะออกจากร่องดอกสว่านและเครื่องหยุดการทำงาน

รูปที่ 6 ชิ้นงานทดลองเจาะรูลึกแบบผสม

เวลาเจาะรูเฉลี่ยน้อยที่สุดพบว่าเป็นการเจาะรูแบบแบบหักเศษ (G76) แต่เมื่อค่า Q เพิ่มมากขึ้น

ขนาดของรูเจาะตำแหน่งต้นทางพบว่าวิธีการเจาะรูแบบหักเศษให้ขนาดรูเฉลี่ยที่ดีที่สุดแต่เมื่อเพิ่มค่า Q จะไม่สามารถทำการเจาะรูได้ ขนาดรูปลายทางพบว่าวิธีการเจาะแบบผสมจะให้ค่าขนาดเฉลี่ยน้อยที่สุด สำหรับวิธีการเจาะรูแบบคายเศษ (G83) จะมีขนาดของรูเจาะตำแหน่งต้นทางและปลายทางมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

ชิ้นงาน	Gcode	Q (ม.ม.)	L (ม.ม.)	เวลา (นาที: วินาที)	∅d1 (ม.ม.)	∅d2 (ม.ม.)
1	76	2	-	2:18	6.00	6.20
2	76	3	-	-	6.00	-
3	83	2	-	5:13	6.20	6.20
4	83	3	-	3:59	6.20	6.20
5	76-83	2	10	2:58	6.02	6.00
6	76-83	3	10	2:57	6.10	6.10

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางใหม่ในการออกแบบกระบวนการเจาะรูลึกที่สามารถลดเวลาในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ลดทอนคุณภาพของชิ้นงาน อีกทั้งยังสามารถนำไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงในโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วยการประยุกต์ใช้คำสั่งควบคุมที่มีอยู่เดิม โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดเวลาในการเจาะรูลึก ในขณะเดียวกันยังสามารถรักษาคุณภาพขนาดของรูให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การเจาะรูลึกแบบผสมเมื่อเปรียบเทียบกับการเจาะรูลึก (L/d >10) กับวิธีการเจาะรูแบบหักเศษพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านการทำงานและขนาดของรูในช่วงปลายทางแต่มีเวลาในการทำงานมากกว่า สำหรับเวลาในการทำงานและขนาดของรูเจาะในช่วงต้นทางและปลายทางในการเจาะรูมีค่าดีกว่าวิธีการเจาะรูแบบคายเศษ

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ คือ แนวทางการออกแบบวงรอบการเจาะแบบผสมสามารถต่อยอดไปสู่กระบวนการเจาะรูลึกที่มีความซับซ้อนหรือรูที่ต้องการคุณภาพสูงในอุตสาหกรรมที่มีข้อกำหนดเข้มงวด เช่น การผลิตท่อส่งแรงดันสูง หรือชิ้นส่วนระบบไฮดรอลิก โดยเฉพาะเมื่อมีการผสมผสานการทำงานกับระบบควบคุมอัจฉริยะ (Smart Machining) หรือ AI-Based Monitoring เพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของกระบวนการมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่และทุนในการเดินทางนำเสนองานวิจัย โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Neway CNC Machining. (2025). Deep hole drilling in the oil and gas industry: Solving complex drilling challenges. Retrieved April 17, 2025, from https://www.newaymachining.com/study-cases/deep-hole-drilling-in-the-oil-and-gas-industry-solving-complex-drilling-challenges/

[2] VDI – The Association of German Engineers. (2006). VDI 3210 Blatt 1: Deep-hole boring. Beuth Verlag. https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-3210-blatt-1-deep-hole-boring

[3] Chandar, J. B., Nagarajan, L., & Siva Kumar, M. (2021). Recent research progress in deep hole drilling process: A review. Surface Review and Letters, 28(11), 2130003. https://doi.org/10.1142/S0218625X21300033

[4] Pollák, M., Kočiško, M., Petrus, J., Grozav, S. D., & Ceclan, V. (2022). Research into the Impact of Spindle Speed and Feed Rate Changes on the Life of a Deep-Drilling Technology Tool. Machines, 10(4), 268. https://doi.org/10.3390/machines10040268

[5] Omirou, S. L., & Fyrillas, M. M. (2015). A General G-Code Algorithm for Deep Hole Drilling. Journal of Manufacturing Science and Production, 15(2), 225–237. https://doi.org/10.1515/jmsp-2014-0028

[6] Liao, C., Zhang, H., & Li, Y. (2018). Selection of Deep Hole Drilling Parameters Under Cycle Time Requirement Based on Tool Wear Analysis and Life Estimation. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, 5(10).

[7] Omirou, S. L., & Chasos, C. A. (2022). CNC Deep Hole Drilling with the Quadruple Zone Technique. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2081106/v1

[8] G & M Code REFERENCE MANUAL (2016) http://www.machmotion.com/

[9] EMCO WinNC GE Series Fanuc 0-MC Software description/ Software (2003). EMCO Maier Ges.m.b.H. Hallein-Taxach/Austria.

การยืดอายุการใช้งานของพันช์เจาะรูด้วยการเคลือบผิว

Life Extension of Piercing Punches with Coating

บดินเดช จูมมณี[1] ปกรณ์ ชุมรุม[2*] พิชิต อ่อนปรางค์[3] พัชระ กัญจนกาญจน์[4] สัญญา คำจริง[5] เฉลิม ขุนเอียด[6]
และ แม็ค บุญเพ็ญศิลป์[7]
[1-7] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
E-mail: pakorn.c@rmutsb.ac.th[*]

Brodindech joommanee[1] Pakorn Chumrum[2*] Pichit Onprang[3] Patchara Kunjanakarn[4] Sanya Kumjring[5]
Chalerm Khunaed[6] and Mack Boonpensin[7]
[1-7] Department of tool and die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: pakorn.c@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

การที่กระบวนการเจาะรูชิ้นงานในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ส่วนใหญ่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุให้พันช์เจาะรูเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีด้านการเคลือบผิวได้เข้ามามีบทบาทในการลดการสึกหรอของพันช์เจาะรูเพื่อให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ขอบเขตการทดลองลดการสึกหรอของพันช์เจาะรูวัสดุเหล็กเกรด SPCC ความหนา 1 มม. วัสดุที่ใช้ทำพันช์เป็นเหล็กเกรด SKD11 ชุบแข็งที่ 60 HRC โดยนำพันช์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN ด้วยกระบวนการ PVD (Double layer) และ AlCrN ด้วยกระบวนการ PVD (Monolayer) และพันช์เจาะรูที่ไม่ได้เคลือบมาทำการเปรียบเทียบด้วยการวัดการสึกหรอด้านข้างของพันช์และค่าความหยาบผิว ผลการทดลองพบว่าพันช์ที่ไม่ได้เคลือบผิวเกิดการสึกหรอสูงที่สุด ส่วนพันช์ที่เคลือบผิวด้วย AlCrN ด้วยกระบวนการ PVD (Monolayer) และ TiCN ด้วยกระบวนการ PVD (Double layer) เกิดการสึกหรอรองลงมาตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วสรุปได้ว่าการเคลือบผิวสามารถยืดอายุการใช้งานของพันช์เจาะรูได้

คำหลัก พันช์เจาะรู, การเคลือบผิว, การสึกหรอ

Abstract

The process of punching holes in workpieces in the manufacturing industry, where parts are produced in large quantities, leads to rapid wear of the punching dies. Surface coating technology has played a significant role in reducing wear on the punching dies, thereby extending their service life. The scope of the experiment focused on reducing the wear of punching dies made of SPCC steel material with a thickness of 1 mm. The material used for the punches was SKD11 steel, hardened to 60 HRC. Punches were coated with TiCN using the PVD process (Double layer) and AlCrN using the PVD process (Monolayer), and non-coated punching dies were also tested for comparison by measuring the wear on

the side of the punch and surface roughness. The experimental results showed that the non-coated punch exhibited the highest wear, while the punches coated with AlCrN via PVD (Monolayer) and TiCN via PVD (Double layer) showed progressively lower wear. In conclusion, surface coating can extend the service life of punching dies.

Keywords: Piercing punch, Surface coating, Wear

การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อของสายการผลิต Molding KDM

Reducing Waste In The Casting Process of The Production Line Molding KDM

อภิสิทธิ์ เพชรดี[1] ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ[2] พีรวิทย์ โชคเหมาะ[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Apisit Phetdee[1] Asst. Prof. Dr. Sombun Charoenwilaisiri[2] Peerawit Chokemorh[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: Peerawit.ch@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงปัญหาในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อของสายการผลิต Molding KDM โดยพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกระบวนการขึ้นรูปทรายหล่อ เช่น ปัญหาทรายติดแบบ ซึ่งก่อให้เกิดความล่าช้า ส่งผลต่อการรอแบบ และทำให้ส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุหลักจากคุณภาพของทรายหล่อที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ความแข็งแรงในสภาพชื้นของทรายแบบหล่อโลหะลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้ทรายสามารถคงรูปและรับน้ำหนักในขณะยังมีความชื้นอยู่โดยไม่แตกหรือเสียรูป

ในการปรับปรุง ได้มีการหารือร่วมกับแผนก Molding KDM เพื่อพัฒนาสูตรผสมทรายใหม่ แม้จะมีการปรับสูตรเบื้องต้นแล้ว แต่ยังไม่สามารถลดของเสียได้ตามเป้าหมาย การตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าค่าร้อยละความสามารถในการอัด (% Compactibility) ยังไม่สามารถควบคุมได้ จึงได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมโดยเติมสารเคมีหรือปรับสูตรทางเคมีใหม่ และกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับใช้งานจริงในสายการผลิต โดยได้นำหลักการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) 4M1E, แนวคิด ECRS และความรู้ด้านวัสดุทรายมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ ทดลองเพิ่ม Bentonite และ Sand Core จากเดิมที่ใช้ร้อยละ 0.4 เป็นร้อยละ 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดและไม่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นเพิ่มเติม

ผลจากการดำเนินงานร่วมกับบริษัท พบว่าสามารถลดของเสียในสายการผลิต Molding KDM ให้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของกำลังการผลิต โดยลดต้นทุนของเสียได้ถึง 42,535 บาทต่อเดือน จากต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัม 50 บาท สำหรับเหล็กเกรด FCD 300 ถึง FCD 700 ก่อนการปรับปรุงมีของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.79 และหลังการปรับปรุงลดลงเหลือร้อยละ 0.30 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 0.49 หรือคิดเป็นร้อยละ 62.03 ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวดีกว่าจุดประสงค์และสมมติฐานที่ตั้งไว้

คำหลัก: กระบวนการหล่อ , ความแข็งแรงในสภาพชื้น และ ร้อยละความสามารถในการอัด

Abstract

This research aims to study and improve the casting molding process of the Molding KDM production line. The majority of the problems were found in the sand molding process, particularly issues such as sand sticking to the mold, which caused delays and affected the chemical composition of the molten metal, resulting in non-compliance with the specified standards. The root cause was identified as the poor quality of molding sand, which lacked sufficient green strength the ability to retain its shape and bear weight under moist conditions without cracking or deforming.

To address this issue, discussions were held with the Molding KDM department to develop a new sand mixture formula. Although a preliminary improved formula had already been implemented, it failed to significantly reduce production defects. Initial quality inspections showed that the percent compactibility could not be adequately controlled. Therefore, a new chemical composition was developed and standard values were established for use in the production line. The improvement process applied analytical tools such as the 4M1E fishbone diagram, ECRS principles, and sand material studies. An experiment was conducted by increasing Bentonite and Sand Core contents from 0.4 percent to 0.5 percent, which proved to be the most suitable ratios without introducing new issues.

The results from the implementation, in collaboration with the company, showed that the waste in the Molding KDM production line could be reduced to less than 0.5 percent of production capacity. This improvement led to an estimated monthly cost savings of 42,535 Baht, based on an average cost of 50 Baht per kilogram for casting steel grades ranging from FCD 300 to FCD 700. Prior to the improvement, the average waste rate was 0.79 percent, which was reduced to 0.30 percent, representing a 0.49 percent reduction or a 62.03 percent improvement, exceeding the initial objectives and assumptions of the study.

Keywords: Casting Process , Green Strength and Compactibility

1. บทนำ

ในกระบวนการหล่อโลหะที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นทรายที่ได้รับความนิยมมากในงานหล่อโลหะทรายซิลิกาเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหล่อโลหะเนื่องจากสมบัติที่เหมาะสมในการทนความร้อนและการหาซื้อได้ง่ายในธรรมชาติ ซึ่งมีราคาไม่แพง โดยทั่วไปแล้วทรายซิลิกามีความบริสุทธิ์สูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อโลหะและลดปัญหาที่อาจเกิดจากสิ่งปนเปื้อนที่ลดคุณภาพของงานหล่อในการศึกษานี้จะกล่าวถึงลักษณะและบทบาทของทรายซิลิกาในการผลิตงานหล่อ รวมถึงความสำคัญของการรักษาความบริสุทธิ์ของทรายในการผลิตให้ได้คุณภาพสูงสุดทางบริษัท ปัจจุบันรับผลิตชิ้นงานหล่อโลหะขึ้นรูปในรูปแบบต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนรางรถไฟ โครงสร้างสะพาน และ เพลส ดาย เป็นต้น ในส่วนของ Molding KDM และ Melting KDM เป็นงานของชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีความเป็นมาตรฐานสูงลูกค้าจึงอยากให้ปรับปรุงในสายการผลิตให้ดีขึ้นให้ได้ตามสมบัติที่ต้องการในแผนก Molding KDM และ Melting KDM ได้แหล่งที่เกิดปัญหาในกระบวนการขึ้นแบบหล่อทรายในการผลิตซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตการควบคุมส่วนผสมทรายที่อัตราส่วนขาดความเหมาะสมในการขึ้นรูปแบบหล่อทรายจึงทำให้งานบางตัวที่ออกมาเสียมากกว่าที่คาดว่าจะได้รับแต่ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลอีกด้วยคือส่วนผสมทางเคมีในน้ำเหล็กการออกแบบในน้ำเหล็กแต่ส่วนที่เป็นที่มาของปัญหาหลักๆคือการทำทรายให้ได้คุณภาพในกระบวนการขึ้นรูปทรายที่ควบคุมไม่ได้ดีปัจจุบันมีการผสมทรายได้บ้างไม่สม่ำเสมอแม้ว่าจะทำตามบริษัทกำหนดตามมาตรฐานไว้ก็ตามก็ยังเกิดปัญหานี้ขึ้นได้จึงได้จัดทำหัวข้องานวิจัยปัญหาและสาเหตุที่พบมาทำในเรื่องการลดของเสียในกระบวนการผลิต

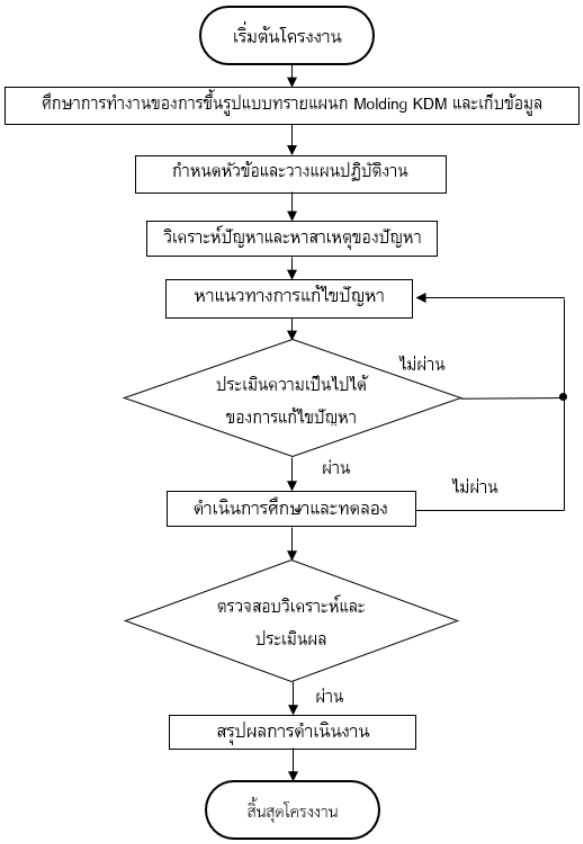
จากการศึกษางานวิจัยของผู้ปฏิบัติงานได้ทำการศึกษาและพูดคุยกับอาจารย์ที่ปรึกษาของบริษัทพบว่าบริษัทมีความต้องการที่จะลดต้นทุนในส่วนของงาน

ที่ผิดพลาดให้บริษัทเป็นบริษัทที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นและลดต้นทุนการผลิตลงได้จำพวกค่าไฟและเพิ่มกำลังผลิตเพื่อที่จะสามารถให้บริษัทชั้นนำของโลกยอมรับมาตรฐานในการผลิตของบริษัท เป็นไปอย่างกว้างขวางมากในตลาดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

ดังนั้นจึงเล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้หาข้อมูลเพื่อที่จะปรับปรุงในส่วนกระบวนการทำแบบหล่อทราย ปรับปรุงส่วนผสมในการขึ้นรูปแบบหล่อทรายเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหล่อโลหะวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดของเสียของสายการผลิต Molding KDM

2. ดำเนินการศึกษาและทดลอง

2.1 การดำเนินงานวิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการการผลิตแผนก Molding KDM ของชิ้นส่วนยานยนต์ที่เกิดปัญหาในการขึ้นแบบทราย และให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทางผู้จัดทำได้กำหนดหลักการและกรอบแนวคิดการดำเนินงาน งานวิจัยเพื่อให้การดำเนินงานวิจัยไปในทิศทางที่ถูกต้อง โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

2.2 วิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา

ผู้ดำเนินงานวิจัยทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียการขึ้นแบบทรายในงานหล่อโลหะ โดยกำหนดกลุ่มปัจจัย (Factors) ซึ่งมั่นใจว่ากลุ่มที่ถูกกำหนดไว้เป็นปัจจัยที่จะช่วยสามารถแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ โดยใช้หลักการ 4M (แผนภูมิก้างปลา) เป็นกลุ่มปัจจัยเพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ หลังจากนั้นทำการระดมสมอง (Brainstorm) จากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญและความรู้เฉพาะทางมาเสนอความคิดเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหานั้นโดยแบ่งกลุ่มปัจจัยดังนี้

รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงเหตุและผลแสดงสาเหตุของปัญหา [1]

2.3 ดำเนินการศึกษาและทดลอง

ในการแก้ไขปัญหาจากการที่วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ทางผู้จัดทำได้ทำการแก้ไขปัญหา ดังนี้

2.3.1 วัตถุดิบ (Material) และวิธีการทำงาน ทางผู้จัดทำและพนักงานที่ปรึกษาพร้อมทางบริษัทได้ทำการวิเคราะห์และตรวจสอบเรียบร้อยแล้วการผสมทรายส่วนผสมเดิมที่ใช้ต่อการโม่ทราย ที่มีกำหนดในขอบเขตของงานนั้นๆพบว่ายังไม่ดีพอที่จะทำให้งานเสียหายได้น้อยจึงได้ปรับเปลี่ยนส่วนผสมในการผสมทรายใหม่ชิ้นงานที่จะแก้ปัญหาส่วนที่มีการติดแบบและเกิดข้อผิดพลาดในการขึ้นแบบทรายและปัญหาเรื่องทรายให้มากที่สุดจึงได้ดำเนินการแก้ไขปัญหานี้และเมื่อผู้ดำเนินการได้ทำการแก้ไขและปรับปรุงจากการทดลองผลที่ได้ในสามวันแรกเกิดข้อผิดพลาดน้อยลงของเดือนสิงหาคม

ตารางที่ 1 ส่วนผสมก่อนการทดลอง [2]

ที่	สารเติมแต่ง	น้ำหนักต่อโม่ทราย (Kg)	ปริมาณ (%)	น้ำหนัก (Kg)
1	Bentonite	1,700	4	68
2	Sand Core		4	68
3	Sand ใหม่		33	561
4	Sand เก่า		57.20	972.4
5	น้ำ		1.8	30.6

จะทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้งเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการเมื่อทำการเก็บข้อมูลทั้งหมดที่พบในการทดลองแต่ละแผนการทดลองพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในครั้งที่สองและครั้งที่สามนั้นมีของเสียที่ลดลงถึงสองเท่าจากของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิมเฉลี่ย 7-8 ชิ้นต่อวันจากการทดลองครั้งที่สองและสามพบว่าของเสียที่ลดลงมาครึ่งหนึ่งอยู่ที่ 3-4 ชิ้นต่อวัน ทางผู้จัดทำได้เข้าไปนำเสนอกับผู้เชี่ยวชาญและขอข้อเสนอแนะจึงสรุปเป็นสูตรผสมทรายที่ได้และเหมาะสมในการทำงานครั้งนี้เพื่อลดปัญหาเรื่องทรายและยังได้ผลประโยชน์ร่วมที่นอกเหนือจากทรายคือเหล็กที่หล่อไม่เกิดปัญหาเรื่องแก๊สไม่ระบาย

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมหลังการทดลองและสรุปผล [3]

ที่	สารเติมแต่ง	น้ำหนักทราย (Kg)	ปริมาณ (%)	น้ำหนัก (Kg)
1	Bentonite	1,600 - 1,700	5 คงที่	85
2	Sand Core		5 คงที่	85
3	New Sand		33 คงที่	561
4	Used Sand		55.4 - 55.5	941.8 - 943.5
5	น้ำ		1.5 - 1.6	25.5 - 27.2

2.4 สูตรการใช้งานในการเก็บผลงานวิจัย

2.4.1 การหาค่าเฉลี่ย หมายถึง ค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนของข้อมูลการหาค่าเฉลี่ยสามารถหาได้จากสูตร

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{n} \quad (1)$$

$\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล n แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

x_i แทนค่าของข้อมูล I = 1 2 3 4…n

2.4.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณมีค่าน้อย แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อยส่วนการคำนวณค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})}{n-1}} \quad (2)$$

S แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร

X แทนค่าของข้อมูลแต่ละตัว $\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

n แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มประชากร

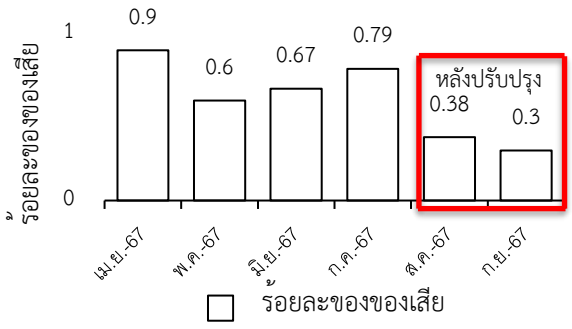
S^2 แทนความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

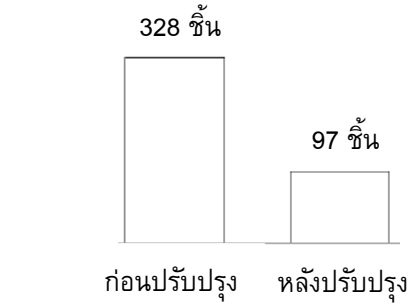
จากการดำเนินงานวิจัย ณ บริษัทจักรกลสยาม จำกัด ได้ทำการแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากทรายเพื่อลดของเสียในสายการผลิต Molding KDM เพื่อเพิ่มผลผลิตในทางที่ดีขึ้นและเป็นแนวทางเสนอลูกค้า ให้มีงานเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยผลการดำเนินงานมีดังนี้

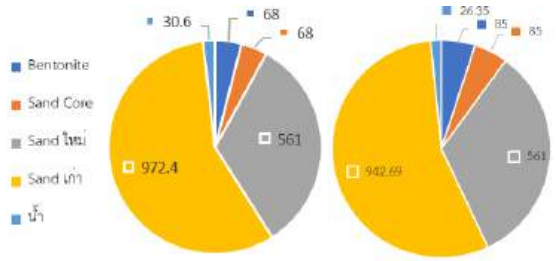
ตารางที่ 3 แสดงสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นต่อเดือนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ที่	ก่อนและหลังการปรับปรุง	เดือน	จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	ของเสียต่อเดือนไม่รวมที่เกิดจากน้ำเหล็กและสาเหตุอื่นๆ (ชิ้น)	ของเสียเฉลี่ยต่อวัน (ชิ้น)
1	ก่อนปรับปรุง	เม.ย.	30,437	589	19
2		พ.ค	47,694	284	9
3		มิ.ย.	31,970	214	7
4		ก.ค.	28,281	223	7
5	หลังปรับปรุง	ส.ค.	28,036	106	3
6		ก.ย.	29,234	87	2



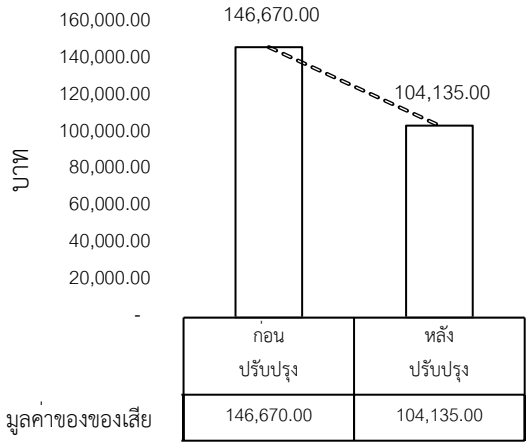
รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบร้อยละของของเสียก่อนปรับปรุงและหลัง ปรับปรุงแผนก Molding KDM [4]





รูปที่ 4 กราฟส่วนผสมและของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงแผนก Molding KDM

3.1 สรุปผลการดำเนินงาน



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงแผนก Molding KDM

3.1.1 การดำเนินงานวิจัย การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อของสายการผลิต Molding KDM มีปัญหาเรื่องทรายเสียเกินค่าที่สถานประกอบการตั้งไว้ ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและทำการระดมความคิดกับฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการสรุปหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา

อย่างไรก็ตามของเสียที่เกิดจากทรายก็ยังส่งผลต่อน้ำเหล็กที่เกิดขึ้นเกิดขึ้น คิดเฉลี่ยเป็น 0.30% เมื่อพิจารณาสาเหตุจากปัจจัย 4M (แผนภูมิก้างปลา) ที่ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงไปแล้ว พบว่ายังมีประเด็นที่ยังสามารถแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติมได้

4. อภิปรายผล

4.1 เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบพบว่าของเสียจากการลดของเสียที่เกิดในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2567 ที่มีการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ปริมาณของเสียลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยจากเดิมของเสียที่เกิดจากทราย เฉลี่ยอยู่ที่ 328 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 0.79 ลดลงเฉลี่ยเป็น 97 ชิ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 0.30 ซึ่งลดลงได้ถึง ร้อยละ 0.49 และ คิดเป็นร้อยละได้ถึง ร้อยละ 62.03 ซึ่งดีกว่าวัตถุประสงค์และสมมติฐานที่ตั้งไว้ในการดำเนินงานวิจัย

4.2 จากผลการดำเนินงานวิจัยร่วมกับบริษัทเพื่อลดของเสียให้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของกำลังการผลิตแผนก Molding KDM ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นที่สามารถประเมินได้สามารถลดต้นทุนของเสียได้ถึง 42,535 บาทต่อเดือน โดยเฉลี่ยต้นทุนต่อชิ้น 40 บาทถึง 50 บาทในเกรดเหล็กตั้งแต่ FCD 300 ถึง FCD 700

ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพของส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยเฉพาะการเพิ่ม Bentonite และ Sand Core มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดของเสียในสายการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ **เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ และ ชาญณรงค์ สายแก้ว(2554)** ที่ระบุว่า การเลือกและปรับส่วนผสมของแบบหล่อทรายอย่างเหมาะสมช่วยปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานเหล็กหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ **รณฤทธิ์ ซึ่งภูเขียว และ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว (2558)** ที่กล่าวถึงอิทธิพลของส่วนผสมแบบหล่อทรายต่อสมบัติของแบบหล่อและคุณภาพของชิ้นงาน [6] ซึ่งการควบคุมองค์ประกอบของทรายมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและความแม่นยำของชิ้นงานอย่างชัดเจน

5. สรุป

จากงานวิจัยการศึกษาเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อขอสายการผลิต Molding KDM มีปัญหาเรื่องทรายเสียเกินค่าที่สถานประกอบการตั้งไว้ ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

การดำเนินงานวิจัย การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อของสายการผลิต Molding KDM มีปัญหาเรื่องทรายเสียเกินค่าที่สถานประกอบการตั้งไว้ ผู้ศึกษา

ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและทำการระดมความคิดกับฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการสรุปหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยเมื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาแล้วได้นำผลการแก้ไขปัญหามาเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลก่อนการปรับปรุงกับข้อมูลหลังการปรับปรุงแล้วพบว่าก่อนการปรับปรุงนั้นสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากทรายที่ได้จริง

5.1 จากการดำเนินงานปรับปรุงกระบวนการผลิตในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากทรายสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน โดยจากเดิมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 223 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 0.79 ของกำลังการผลิต ลดลงเหลือเฉลี่ย 87 ชิ้น หรือร้อยละ 0.30 ทำให้สามารถลดของเสียลงได้ถึงร้อยละ 0.49 และคิดเป็นสัดส่วนการลดลงที่ร้อยละ 62.03 ซึ่งผลการดำเนินงานดังกล่าวอยู่ในระดับที่ดีกว่าตามวัตถุประสงค์และสมมติฐานที่ตั้งไว้ในแผนงานวิจัย ถือเป็นความสำเร็จในด้านการควบคุมคุณภาพและการลดของเสียในกระบวนการผลิต

5.2 ผลจากการลดของเสียอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้แผนก Molding KDM สามารถลดต้นทุนของเสียได้เฉลี่ยประมาณ 42,535 บาทต่อเดือน โดยอ้างอิงจากต้นทุนการผลิตต่อชิ้นที่อยู่ระหว่าง 40 – 50 บาท ซึ่งเป็นชิ้นงานในเกรดเหล็กตั้งแต่ FCD 300 ถึง FCD 700 ทั้งนี้ยังสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ร่วมกับบริษัทในการลดของเสียให้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของกำลังการผลิต ส่งผลดีต่อทั้งด้านต้นทุนและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นการที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษาตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 11 ตุลาคม 2567 ข้าพเจ้าได้รับความรู้ ด้านการทำงาน ในกระบวนการทำงานออกแบบวิศวกรรม กระบวนการผลิตรูปแบบและประเภทวัสดุในกระบวนการหล่อ ประสบการณ์ที่มีค่าอย่างยิ่ง ในการทำงานร่วมกับผู้อื่น สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ ตำแหน่ง ที่ปรึกษาบริษัท
2. คุณชานน ชูอินทร์ ตำแหน่ง Supervisor

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณผู้มีพระคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) เข้าถึงได้จาก http://www.tpif.or.th/WebDev/index.php

[2] รณฤทธิ์ ซึ่งภูเขียวและ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว (2558) อิทธิพลของส่วนผสมแบบหล่อทรายต่อสมบัติของแบบหล่อทรายและชิ้นงานเหล็กหล่อเข้าถึงได้จาก file:///C:/Users/ AsusAdmin

[3] เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษและ ชาญณรงค์ สายแก้ว(2554) การปรับปรุงคุณภาพเหล็กด้วยการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย เข้าถึงได้จาก https://gsbooks.gs.kku.ac.th

[4] ณัติฐากร ชูก้าน, (2559), การศึกษางานอุตสาหกรรม, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[5] เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษและ ชาญณรงค์ สายแก้ว (2554) การปรับปรุงคุณภาพเหล็กด้วยการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย

[6] รณฤทธิ์ ซึ่งภูเขียวและ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว (2558) อิทธิพลของส่วนผสมแบบหล่อทรายต่อสมบัติของแบบหล่อทรายและชิ้นงานเหล็กหล่อ

อิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20

Effect of Electrode Shape on Machining Performance of Electrical Discharge Machining Process on Tool Steel AISI P20

กมลพงศ์ แจ่มกมล[1*], ศุภวัฒน์ ชูวารี[2], ไพบูลย์ หาญมนต์[3], จตุพร ใจดำรงค์[4],
จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[5] และสมชาย วนไทยสงค์[6]
[1*,2,3,6] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[4] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[5] วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตรและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Kamonpong Jamkamon[1*], Suppawat Chuvaree[2], Phaiboon Hanmon[3], Jatuporn Jaidumrong[4],
Chirawat Na-Badalung[4] and Somchai Wonthaisong[6]
[1*,2,3,6] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
[4] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya
[5] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: kamonpong.j@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับการเจาะรูบนวัสดุเหล็กกล้า AISI P20 โดยใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ที่เป็นรูปทรงกระบอกตรงและรูปทรงกระบอกแบบมีบ่าโดยทำการเจาะรูลึก 45 มิลลิเมตร ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานถูกประเมินจากความเร็วที่ใช้ในการแปรรูปสำหรับการเจาะรู และความเสถียรของสัญญาณทางไฟฟ้าในขณะที่ทำการสปาร์ค ผลจากการทดลอง พบว่า เวลาที่ใช้สำหรับการแปรรูปรูเจาะจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก อย่างไรก็ตามความเร็วในการเจาะโดยใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกของรูเจาะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าจะมีความเร็วในการเจาะมีแนวโน้มคงที่ ความเร็วโดยเฉลี่ยสำหรับการเจาะรูในช่วงความลึก 0 - 2 มิลลิเมตร ของอิเล็กโทรดทรงบอกและอิเล็กโทรดแบบมีบ่า อยู่ที่ 0.213 มิลลิเมตรต่อนาที และ 0.233 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการเจาะที่ระดับความลึก 43 – 45 มิลลิเมตร อยู่ที่ระดับ 0.167 มิลลิเมตรต่อนาที และ 0.271 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงของประสิทธิภาพการทำงานจะสอดคล้องกับความไม่เสถียรของสัญญาณทางไฟฟ้าในขณะที่ทำการสปาร์ค

คำหลัก การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า, รูปทรงอิเล็กโทรด, อิเล็กโทรดทองแดง

Abstract

This research is an experimental testing to study the influence of electrode shape on the efficiency of electrical discharge machining for drilling hole on the tool steel AISI P20. Material of electrode is cylindrical copper with the diameter of 9 mm. Cylindrical and stepped electrode were employed to drill hole for machining depth of 45 mm. Machining performance was evaluated in term of drilling speed and the stable of pulse during electrical sparking. An experimental test found that machining time increased with the depth of drilling hole. The drilling speed was increased with the drilling depth for the cylindrical electrode. However, the drilling speed was constant and independent with the machining depth. Averages of drilling speed for machining depth of 0 – 2 mm for cylindrical and stepped electrode were approximately 0.213 and 0.223 mm/min, and the drilling speed for machining depth of 43 – 45 mm represented by 0.167 and 0.271 mm/min, respectively. The decrease in the machining performance was related to an unstable signal of an electrical sparking.

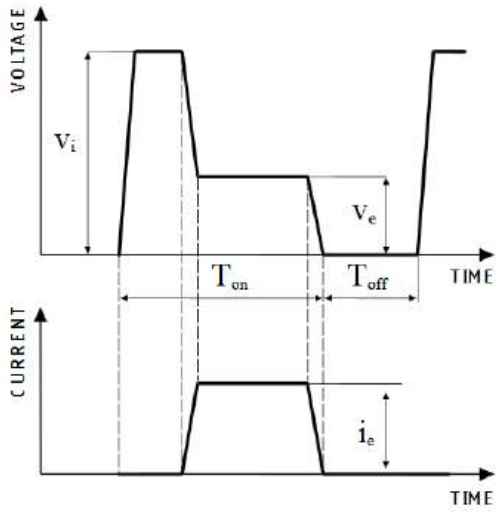
Keywords: Electrical Discharge Machining, Electrode Shape, Copper Electrode

1. บทนำ

การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machining, EDM) เป็นกระบวนการแปรรูปวัสดุชิ้นงานโดยการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการสปาร์คระหว่างวัสดุเครื่องมือที่เรียกว่าอิเล็กโทรด กับพื้นผิววัสดุชิ้นงานที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าผ่านชั้นของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นขวางกั้นและขจัดเศษอนุภาควัสดุชิ้นงานขจัดออกจากพื้นผิวการกัดเซาะเพื่อรักษาความเสถียรในการสปาร์ค [1,2] กระบวนการดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้สำหรับการแปรรูปวัสดุชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและยากต่อการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือคมตัด [3,4] อย่างไรก็ตามอัตราการขจัดเนื้องานสำหรับการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการตัดเฉือนด้วยกระบวนการทางกลทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานที่หลากหลาย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา Uhlmann และคณะ [5] ได้ทดลองใช้วิธีการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดเศษอนุภาคและฟองอากาศออกจากพื้นผิวการสปาร์ค โดยผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเจาะรูบนอิเล็กโทรดจะช่วยให้เศษเนื้องานและฟองกาาศไหลตัวออกจากบริเวณพื้นผิวการเจาะรูได้ง่ายขึ้น Patel Gowdru Chandrashekarappa และคณะ [6] ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน-โครเมี่ยมสูง (High carbon high chromium, HcHcr) โดยใช้อิเล็กโทรด (ทองแดง ทองเหลือง และกราไฟต์) และของเหลวไดอิเล็กทริก (น้ำกลั่น และน้ำมัน) โดยการทดลองด้วยวิธีการ ทากูชิ ภายใต้การกำหนดตัวแปรทางไฟฟ้า เป็น ระดับกระแส (Peak current) และ ระดับเวลาเปิด (Pulse-on-tine) ผลจากการศึกษา พบว่า อัตราขจัดเนื้องานสูงสุด 0.0632 กรัมต่อนาที อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและความหยาบผิวงานต่ำสุด 0.012 กรัมต่อนาที และ 0.168 ไมโครเมตร ปรากฏในการใช้วัสดุอิเล็กโทรดแกรไฟต์ภายใต้ของเหลวไดอิเล็กทริกที่เป็นน้ำกลั่น Singh และคณะ [7] ทำการศึกษาพารามิเตอร์ควบคุมในการสปาร์ค อาธิ เช่น ชนิดของวัสดุอิเล็กโทรด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เวลาเปิด และ เวลาปิด เป็นต้น โดยคณะผู้วิจัยได้แสดงความคิดเห็นไว้ว่า การปรับกระแสไฟฟ้าจะส่งผลสูงสุดต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า Caiazzo และคณะ [8] ได้แสดงความสัมพันธ์ในอุดมคติของแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) ในการปล่อยประจุในช่วงเวลาเปิด (Pulse on time, T_{on}) และการหยุดจ่ายประจุในช่วงเวลาปิด (Pulse off time, T_{off}) ดังรูปที่ 1 ทั้งนี้ในเชิงทฤษฎีแล้วจะมีการสร้างระยะห่างที่เหมาะสำหรับการสปาร์ค

โดยการใช้ไฟฟ้าแรงดันสูง (Peak current, V_i) จากนั้นจะมีการลดแรงดัน (Discharge voltage, V_e) พร้อมกับปล่อยกระแสไฟฟ้า (Discharge current, i_e) อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ตรวจจับจากการปฏิบัติงานจริงจะแปรผันตามความเสถียรของการสปาร์ค [9]

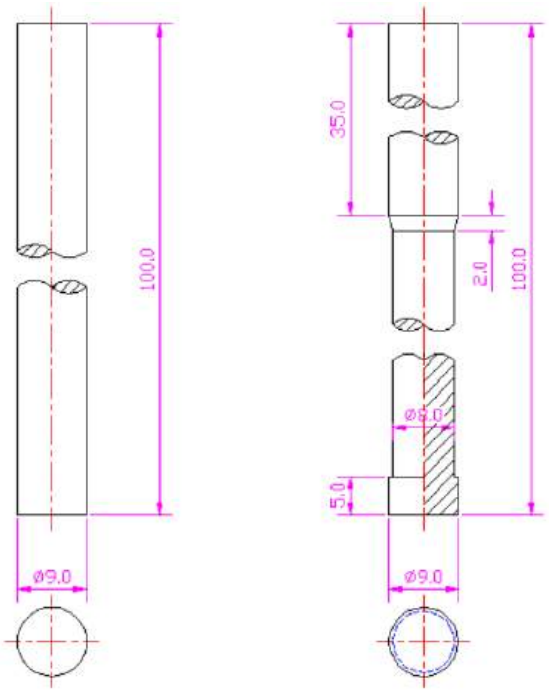


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากการควบคุมเวลาเปิด และเวลาปิดในวัฏจักรการสปาร์ค

จากงานวิจัยก่อนหน้า [10] แสดงให้เห็นว่ารูปทรงของอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับการเจาะรูลึกจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้มีงานวิจัยน้อยมากที่อธิบายถึงอิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางไฟฟ้าในขณะทำการสปาร์ควัสดุชิ้นงานที่ส่งผลต่อเวลาและความเร็วในการเจาะรูบนวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่มีผลต่อความเร็วในการเจาะและความเสถียรในสปาร์คของกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า การทดลองนี้กระทำบนเครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า ยี่ห้อ ARISTECH รุ่น EDM CNC 430 วัสดุชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P20 ถูกจับยึดบนโต๊ะงานสำหรับการทดลองเจาะรูลึก 45 มิลลิเมตร ด้วยอิเล็กโทรดทองแดงขนาด 9 มิลลิเมตร แบบทรงกระบอกตรงและทรงกระบอกมีบ่าดังแสดงในรูปที่ 2 การตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อประเมินความเสถียรในการสปาร์คกระทำโดยใช้ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ YOGOKAWA รุ่น DL950



รูปที่ 2 แบบอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับการทดลอง

การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกเป็นแบบฉีดด้านข้างอิเล็กโทรดโดยควบคุมพารามิเตอร์ในการสปาร์คดังแสดงในตารางที่ 1

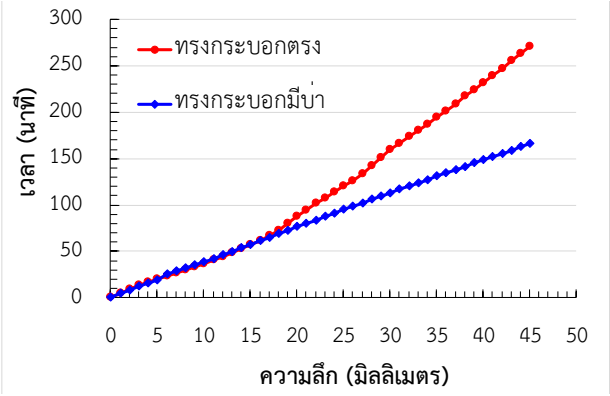
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และสภาวะแวดล้อมในการทดลอง

พารามิเตอร์	รายละเอียด
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	15
เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	150
เวลาปิด (ไมโครวินาที)	150
แรวดันไฟฟ้า (โวลต์)	12
ช่องว่างการสปาร์ค (ระดับ)	10
ระยะยกอิเล็กโทรด (มิลลิเมตร)	2
เวลาในการสปาร์ค (มิลลิเมตร)	2
ความลึกการกัดเซาะ (มิลลิเมตร)	45
การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริก	ฉีดด้านข้าง

3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

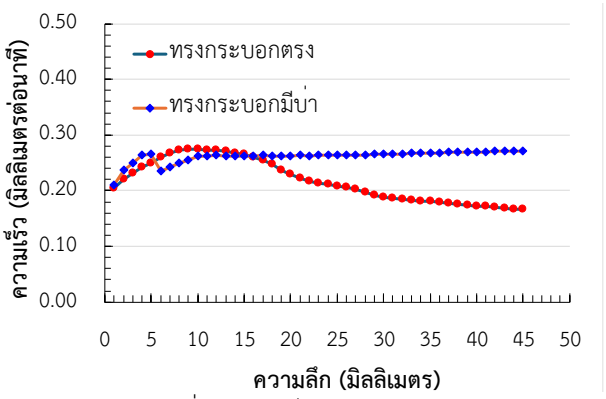
3.1 เวลาที่ใช้ในการเจาะรู

การประเมินเวลาในการเจาะรูแสดงดังรูปที่ 3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกสำหรับทั้งสองชนิดอิเล็กโทรด อย่างไรก็ตามอิเล็กโทรดที่ระดับความลึกโดยประมาณเกินกว่า 16 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเจาะสำหรับอิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลึกอยู่ที่ 271 นาที และอยู่ที่ 166 นาที สำหรับอิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่า ทั้งนี้การเจาะรูโดยอิเล็กโทรดแบบมีบ่าส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลดลง 38.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอิเล็กโทรดแบบทั่วไป (อิเล็กโทรดทรงกระบอกตรง) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า รูปทรงอิเล็กโทรดมีอิทธิพลต่อเวลาที่ใช้สำหรับการเจาะรู โดยเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น อิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดส่งผลประสิทธิภาพการทำงานจะยิ่งเด่นชัด

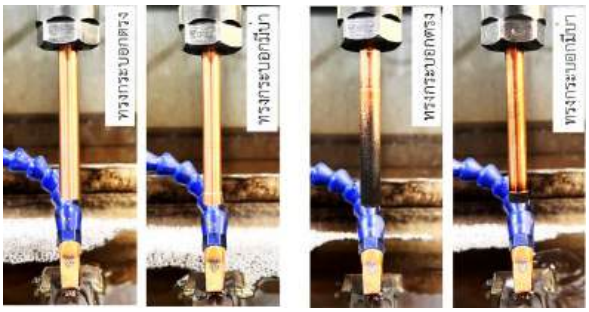


รูปที่ 3 เวลาที่ใช้สำหรับการเจาะรูลึก 45 มิลลิเมตร

รูปที่ 4 แสดงความเร็วที่ใช้ในการเจาะรูตามระดับความลึก จะเห็นได้ว่า ความเร็วในการเจาะสำหรับอิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น โดยความเร็วเฉลี่ยในการเจาะในช่วงเริ่มต้น (ลึก 0 – 2 มิลลิเมตร) อยู่ที่ 0.213 มิลลิเมตรต่อนาที และช่วงปลาย (43 – 45 มิลลิเมตร) อยู่ที่ 0.167 มิลลิเมตรต่อนาที อย่างไรก็ตามความเร็วในการเจาะสำหรับอิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่ามีแนวโน้มคงที่ โดยความเร็วเฉลี่ยในการเจาะในช่วงเริ่มต้น (ลึก 0 – 2 มิลลิเมตร) อยู่ที่ 0.223 มิลลิเมตรต่อนาที และช่วงปลาย (43 – 45 มิลลิเมตร) อยู่ที่ 0.271 มิลลิเมตรต่อนาที ทั้งนี้การลดลงของความเร็วเกิดจากความสามารถในการไหลตัวของเศษอนุภาคเนื้องานและฟองอากาศผ่านช่องว่างระหว่างพื้นผิวอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะลดต่ำลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสปาร์คบริเวณด้านข้างทำให้เกิดการกระจายตัวของพลังงานที่ใช้สำหรับการกัดเซาะ โดยหลักฐานการเกิดการสปาร์คบริเวณด้านข้างจะปรากฏเป็นคราบเขม่าดำบนพื้นผิวอิเล็กโทรดดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ความเร็วในการเจาะรู



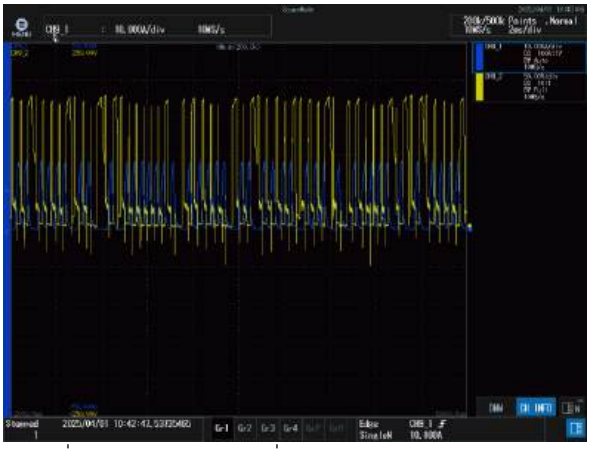
ก) ก่อนการสปาร์ค ข) หลังการสปาร์ค

รูปที่ 5 ลักษณะพื้นผิวอิเล็กโทรด

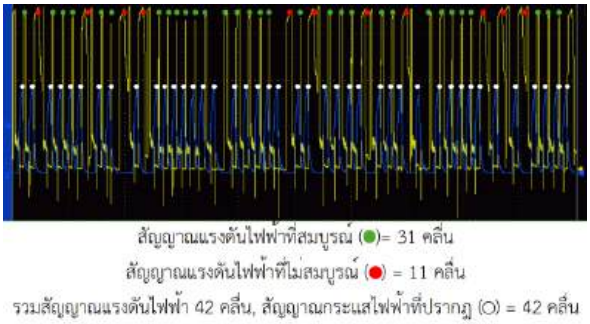
3.2. ความเสถียรของการสปาร์ค

อิทธิพลของรูปทรงอิเล็กโทรดที่มีผลต่อความเสถียรในการสปาร์คประเมินจากความสมบูรณ์ของคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าที่ตรวจจับโดยใช้ออสซิลโลสโคป จากการตรวจสอบจำนวนคลื่นที่เกิดขึ้นจริงดังแสดงตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 6 ผลจากการทดลอง พบว่า สัญญาณที่ตรวจจับจะมีการปรากฏของจำนวนคลื่นที่ต่ำกว่าทฤษฎีเนื่องจากการสร้างระยะช่องว่างที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้เกิด

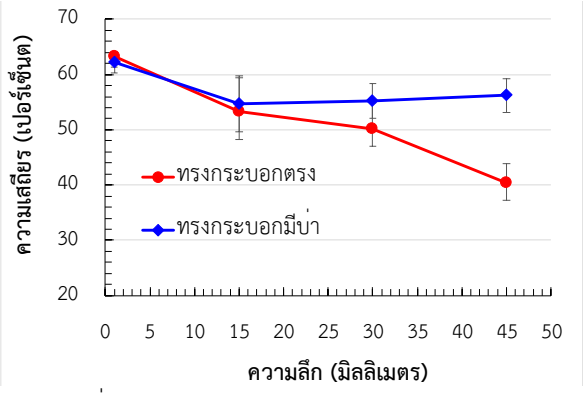
การสปาร์คจะทำให้ช่วงเวลาปิดเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ความเสถียรในการสปาร์คจากเปอร์เซ็นต์ของคลื่นสัญญาณที่ปรากฏ



รูปที่ 6 ตัวอย่างสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ความเสถียรในการสปาร์ค



รูปที่ 7 ตัวอย่างการตรวจบันสัญญาณสำหรับการวิเคราะห์ความเสถียรในการสปาร์ค



รูปที่ 8 เปรียบเทียบความเสถียรของการสปาร์ค

การปรับตั้งต่าพารามิเตอร์เวลาเปิด 150 ไมโครวินาที เวลาปิด 150 ไมโครวินาที และการปรับตั้งเวลาบันทึกของออสซิลโลสโคปเป็น 2 มิลลิวินาที/ช่อง (ms/div) โดยที่หน้าจอบันทึกผลได้ 10 ช่อง

ดังนั้นจำนวนสัญญาณปรากฏทางทฤษฎีโดยประมาณจะมี 67 คลื่น ((10 (ช่อง) x 2 x 1000 (ไมโครวินาที/ช่อง)) / (150 (ไมโครวินาที) + 150 (ไมโครวินาที)))

ความเสถียรในการสปาร์คประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณจาก (จำนวนคลื่นสัญญาณที่ปรากฏ x 100)/จำนวนคลื่นสัญญาณทางทฤษฎี จากรูปที่ 7 ความเสถียรในการสปาร์คจะคิดเป็น 62.69 เปอร์เซ็นต์ ((42 x 100) / 67)

รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความเสถียรของการสปาร์คตามระดับความลึกของรูเจาะสำหรับอิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงและทรงกระบอกแบบมีบ่า จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร คลื่นสัญญาณสำหรับการใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงและอิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าจะปรากฏอยู่ในระดับ 63.18 และ 62.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อระดับความลึกของการเจาะเพิ่มขึ้นเป็น 45 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์คลื่นสัญญาณที่ปรากฏสำหรับการใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกตรงจะลดลงเหลือ 40.30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าจะมีการปรากฏของคลื่นสัญญาณ 56.22 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบอิเล็กโทรดโดยเพิ่มช่องว่างเพื่อให้เกิดการไหลตัวสำหรับของเหลวไดอิเล็กทริกในการขจัดเศษอนุภาคเนื้องานจะช่วยให้การสปาร์คสำหรับกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าจะมีความเสถียรมากขึ้น

4. สรุป

การศึกษาอิทธิพลของรูปทรงของอิเล็กโทรดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในการเจาะรูโดยกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) รูปทรงของอิเล็กโทรดส่งผลต่อเวลาในการเจาะรู โดยอิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการเจาะลงได้ 38.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อิเล็กโทรดแบบทั่วไป (ทรงกระบอก

ตรง)

2) ความเร็วในการเจาะรูสำหรับอิเล็กโทรดแบบทั่วไปมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าจะช่วยให้ความเร็วในการเจาะมีแนวโน้มคงที่

3) อิเล็กโทรดทรงกระบอกแบบมีบ่าจะช่วยคงสภาพความเสถียรของการสปาร์คมากกว่าการใช้อิเล็กโทรดแบบทั่วไป ซึ่งเกิดจากช่องว่างระหว่างผนังอิเล็กโทรดกับรูเจาะจะช่วยให้เศษอนุภาคเนื้องานไหลตัวออกจากบริเวณพื้นผิวการแปรรูปได้ง่ายขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Alam, M.N., Siddiquee, A.N., Khan, Z.A. and Khan, N.Z., “A comprehensive review on wire EDM performance evaluation”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 236(4): (2022), pp.1724-1746.

[2] Kumar, S.S., Varol, T., Canakci, A., Kumaran, S.T. and Uthayakumar, M., “A review on the performance of the materials by surface modification through EDM”, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 4(1): (2021), pp.127-144.

[3] Jagtap, V.L., “A review of EDM Process for difficult to cut materials”, Int Res J Multidiscip Stud, 2 (2016) pp.2454-8499.

[4] Gouda, D., Panda, A., Nanda, B.K., Kumar, R., Sahoo, A.K. and Routara, B.C., “Recently evaluated Electrical Discharge Machining (EDM) process performances: A research perspective”, Materials Today: Proceedings, 44 (2021.), pp.2087-2092.

[5] Uhlmann, E., Polte, M. and Yabroudi, S., “Novel advances in machine tools, tool electrodes and processes for high-performance and high-precision EDM”, Procedia CIRP, 113 (2022.), pp.611-635.

[6] Patel Gowdru Chandrashekarappa, M., Kumar, S., Pimenov, D.Y. and Giasin, K., “Experimental analysis and optimization of EDM parameters on HcHcr steel in context with different electrodes and dielectric fluids using hybrid taguchi-based PCA-utility and CRITIC-utility approaches”, Metals, 11(3) (2021) p.419.

[7] Singh, V., Sharma, A.K., Goyal, A., Kumar Saxena, K., Negi, P. and Rao, P.C.S., “Electric discharge machining performance measures and optimisation: A review”, Advances in Materials and Processing Technologies, 10(2) (2024) pp.517-530.

[8] Caiazzo, F., Cuccaro, L., Fierro, I., Petrone, G. and Alfieri, V., “Electrical discharge machining of René 108 DS nickel superalloy for aerospace turbine blades”, Procedia CIRP, 33 (2015) pp.382-387.

[9] Sisodiya, M.S., Shukla, S. and Bajpai, V., “Feasibility analysis of novel Maglev EDM by comparing with conventional micro EDM”, Scientific Reports, 12(1) (2022) pp.2613.

[10] Jamkamon, K. and Janmanee, P., “Improving machining performance for deep hole drilling in the electrical discharge machining process using a step cylindrical electrode”, Applied Sciences, 11(5) (2021) p.2084.

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของคมตัด โดยวิธีการกัดชิ้นงานแบบโทรคอยด์

Investigation of Factors Affecting Tool Wear in the Trochoidal Milling Process

ประสาน แสงเขียว*, ภูเมศวร์ แสงระยับ, ภาสุรีย์ ล้ำสกุล, อรจิตร แจ่มแสง, อุไรวรรณ พงสา, วิชัย พุ่มจันทร์ และ ทวี หมัดสะ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Prasan Saengkhiao*, Phoomath Sangrayub, Pasuree Lumsakul, Orajit Jamesang, Uraiwan Pongsa, Wichai Pumchan and tavee Madsa

Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: Prasan.san@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของคมตัดในกระบวนการกัดชิ้นงานแบบโทรคอยด์ (Trochoidal Milling) บนวัสดุเหล็กล้าคาร์บอน S50C ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์และชิ้นส่วนเครื่องจักร การทดลองนี้เน้นการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์การกัดที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle Speed),อัตราป้อน (Feed Rate) และระยะขยับ (Step Over) ต่อการสึกหรอด้านข้างคมตัด (Flank wear) โดยเก็บข้อมูลการสึกหรอของคมตัดในแต่ละรอบการกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereo Microscope) การออกแบบการทดลองใช้แบบ Factorial design และวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยกับการสึกหรอของคมตัด

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราป้อนและความเร็วรอบ เป็นปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการสึกหรอของคมตัด โดยพบว่าการเพิ่มอัตราป้อนและความเร็วรอบส่งผลให้คมตัดเกิดการสึกหรอสูงขึ้น ขณะที่ ระยะขยับ ส่งผลเพียงเล็กน้อย ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการตัด เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

คำหลัก การกัดแบบโทรคอยด์ , การสึกหรอด้านข้างคมตัด , การกัดวัสดุ

Abstract

This research aims to investigate the factors influencing tool wear in the trochoidal milling process on S50C carbon steel, a material commonly used in mold and machinery component industries. The study focuses on the effects of key machining parameters—Spindle speed, Feed rate and Step-over on tool wear. Tool wear data were collected after each cutting cycle using a stereo microscope. The experimental design used a factorial design and data were analyzed using ANOVA to evaluate the relationship between each parameter and tool wear.

The experimental results revealed that feed rate and spindle speed significantly affect the rate of tool wear. Increasing both feed rate and spindle speed led to greater tool wear, whereas step-over had

only a minor impact. The findings of this study can be applied to determine cutting conditions that help extend tool life and improve machining efficiency.

Keywords: Trochoidal milling, Flank wear, Machining of materials

1. บทนำ

ในกระบวนการตัดเฉือนโลหะ การสึกหรอของคมตัด (Tool Wear) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ประสิทธิภาพการผลิต และต้นทุนการดำเนินงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตัดเฉือนวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน S50C ซึ่งมักพบปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดอย่างรวดเร็ว[1] [2] เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เทคนิคการกัดแบบโทรคอยด์ (Trochoidal Milling) ได้รับการพัฒนาและนำมาใช้ เนื่องจากสามารถลดแรงตัด ลดความร้อนสะสม และยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

การกัดแบบโทรคอยด์มีลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในรูปแบบวงกลมหรือวงรีซ้อนกัน ซึ่งช่วยลดมุมปะทะระหว่างเครื่องมือและชิ้นงาน ส่งผลให้แรงตัดและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นลดลง จากการศึกษาของ Wagih et al [4] พบว่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความลึกในการกัด (Axial Depth of Cut), ความเร็วป้อน (Feed Rate) และระยะขยับของโทรคอยด์ (Trochoidal Step) มีผลต่อแรงตัด อัตราการขจัดเนื้อวัสดุและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความลึกในการกัดและระยะขยับของโทรคอยด์มีอิทธิพลต่อแรงตัดถึง 32% และ 31% ตามลำดับ นอกจากนี้ Liu et al [5] ได้ศึกษาการสึกหรอของคมตัดและลักษณะของเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในการกัดแบบโทรคอยด์แบบแห้งของไทเทเนียมอัลลอย Ti–6Al–4V โดยพบว่าความหนาของเศษวัสดุที่ไม่ได้แปรรูปมีผลต่อการสึกหรอของคมตัด และได้พัฒนาโมเดลการสึกหรอที่สัมพันธ์กับปริมาณวัสดุที่ถูกกำจัดออก และในด้านการจำลองแรงตัด Bergmann et al [6] ได้พัฒนาโมเดลการจำลองแรงตัดที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงคมตัดเนื่องจากการสึกหรอ ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์แรงตัดในกระบวนการกัดแบบโทรคอยด์

แม้ว่าจะมีการศึกษาหลายชิ้นเกี่ยวกับการกัดแบบโทรคอยด์ แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษา Flank wear ในเงื่อนไขการกัดแบบโทรคอยด์โดยใช้เครื่องมือตัดขนาดเล็ก อีกทั้งยังขาดการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของคมตัดในกระบวนการนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกัดวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของคมตัดในกระบวนการกัดแบบโทรคอยด์บนวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S50C เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเฉือนและยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

2. ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้เริ่มแรกจะทำการออกแบบและสร้างเส้นทางเครื่องมือตัดด้วยโปรแกรมช่วยในการออกแบบและการผลิต (CAD/CAM) โดยเงื่อนไขและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 1 ถูกออกแบบด้วยโปแกรมช่วยวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design 2^k) จำนวนทำซ้ำ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นจะทำการทดลองกัดชิ้นงาน ตามคำสั่งและรูปแบบที่ได้ประมวลผลจากโปรแกรม และตรวจวัดค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนคมตัด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ด้วย ANOVA

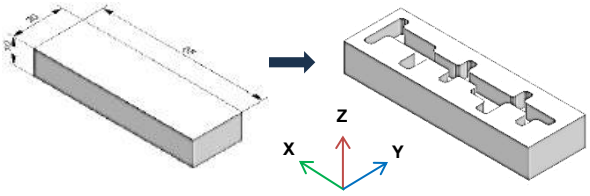
ตารางที่ 1 เงื่อนไขและระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3
ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)	8000	10000	12000
อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)	500	1000	1500
Step Over (% Tool)	5	7	10

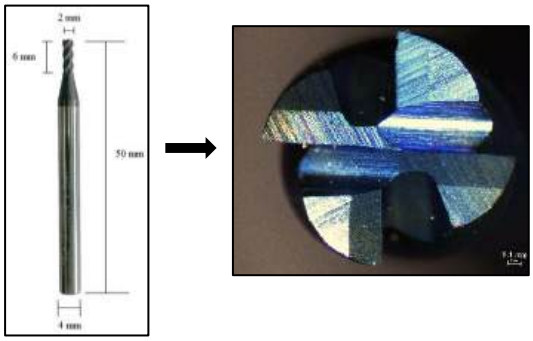
2.1 วัสดุและเครื่องมือ

ในการทดลองวิจัยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ขนาด 20x65x10 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxหนา) ซึ่งมีความแข็งแรง และความต้านทานต่อการสึกหรอ เหมาะสำหรับ

การผลิตเครื่องมือตัด ชิ้นส่วนแม่พิมพ์และแม่พิมพ์พลาสติก โดยชิ้นงานถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นร่องขนาดเล็กสุดที่ 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ทดลองกัดด้วยดอกกัดคาร์ไบด์ (End Mill Carbide) เส้นผ่านศูนย์กลางคมตัด 2 มิลลิเมตร จำนวน 4 คมตัด (Flutes) มุมเกลียว (Helix angle) 45 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางด้ามจับ (Shank Diameter) 4 มิลลิเมตร ความยาวคมตัด (Flute Length) 6 มิลลิเมตร ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยวิธีการแบบ PVD (Physical vapor deposition) ดังรูปที่ 2 การทดลองจะทดลองด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Machine) แบรนด์ BRIDGEPORT รุ่น XR760 ชุดควบคุม Fanuc 18i-MB ภายหลังการทดลองจะทำการถ่ายภาพและตรวจวัดค่าการสึกหรอด้านข้างคมตัด(Flank wear: VB) ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ แบรนด์ Nikon รุ่น SMZ745T โดยทำการวัดค่าจากทั้ง 4 คมตัดและคำนวนเป็นค่าเฉลี่ย



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดลองแบบ 3 มิติ



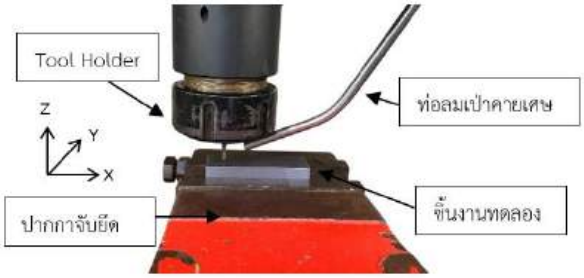
รูปที่ 2 ดอกกัดคาร์ไบด์ที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

ภายหลังทำการสร้างเส้นทางเครื่องมือตัดด้วยโปรแกรมCAM ตามเงื่อนไขการทดลองที่ออกแบบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติจำนวน 27 การทดลอง ชิ้นงานจะถูกจับยึดด้วยปากกาจับยึด(Vise) และดอกกัด (End mill) จะถูกจับยึดด้วยชุดจับ (Holder) แบบใช้ปลอกจับ (Collet) มีระยื่นของดอกกัด (Tool stick out) 25 มิลลิเมตร โดยดอกกัดที่ใช้ในการทดลองจะเปลี่ยนใหม่ทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยได้กำหนดตัวแปรควบคุม (Control variables) อื่นๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรในการทดลองควบคุมคงที่

ตัวแปร	รายละเอียด
ความลึกในการตัด (Depth of cut)	5 มิลลิเมตร
การหล่อเย็น (Cooling)	แบบแห้ง/ลมเป่าผ่านท่อลม ขนาด Ø 6 มิลลิเมตร แรงดัน 0.5 Mpa
ความกว้างโทรคอยด์ (Trochoidal width)	100% Tool



รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งชิ้นงานทดลอง

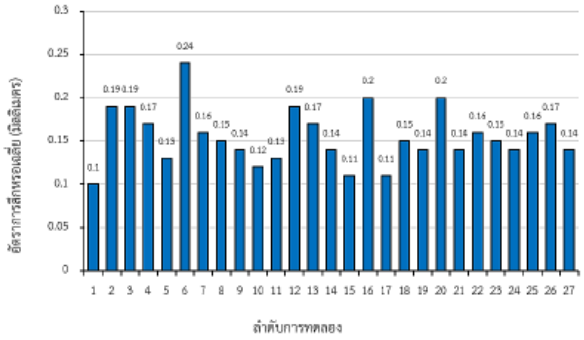
3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาในแง่ของค่าการสึกหรอของด้านข้างคมตัด (Flank wear) ที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle speed), ความเร็วป้อน (Feed rate) และระยะขยับเข้าตัดงาน (Step over)

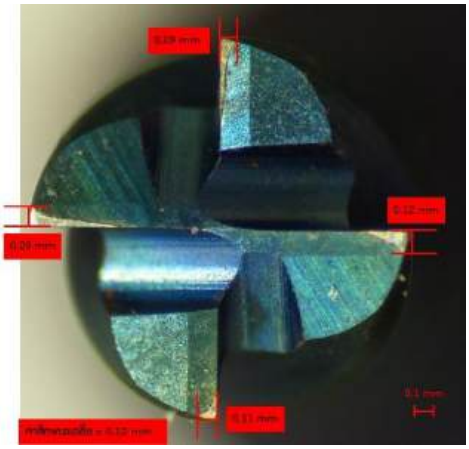
3.1 การสึกหรอของคมตัด

จากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับปัจจัยทำให้เกิดค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณด้านข้างคมตัด จากการตรวจสอบและวัดค่าการสึกหรอ พบว่า ลำดับการทดลองที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที อัตรา

การป้อน 1500 มิลลิเมตร/นาที Step over 10% ให้ค่าการสึกหรอด้านข้างคมตัด (Flank wear) เฉลี่ยน้อยสุดที่ 0.10 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4 ค่าการสึกหรอเกิดขึ้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าที่วัดได้ทั้ง 4 คมตัด อยู่ระหว่าง 0.09 – 0.12 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 5 และลำดับการทดลองที่ 6 ที่ความเร็วรอบ 12000 รอบ/นาที อัตราการป้อน 500 มิลลิเมตร/นาที Step Over 5% มีค่าการสึกหรอสูงสุดเฉลี่ยที่ 0.24 มิลลิเมตร โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al [5] ที่มีการทดลองและพบว่า การสึกหรอที่ด้านข้างจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วการตัดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 แสดงค่าการสึกหรอเฉลี่ยแต่ละลำดับการทดลอง

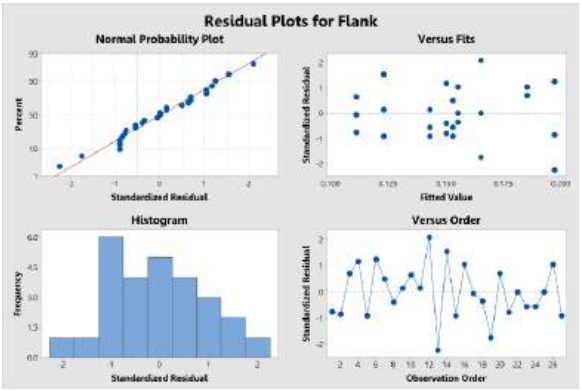


รูปที่ 5 แสดงการสึกหรอบริเวณด้านข้างคมตัดทั้ง 4 คมตัด (Flank wear 0.10 mm)

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าที่ลำดับการทดลองที่ 15 และ 17 มีค่าการสึกหรอเฉลี่ยที่ 0.11 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองลำดับที่ 1 โดยทั้ง 2 ลำดับการทดลองนั้นใช้ค่าตัวแปรที่ ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที อัตราการป้อน1500 มิลลิเมตร/นาที และ Step Over ที่ 5% และ10% ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการตรวจสอบความผิดปกติของแบบจำลอง จากกราฟในรูปที่ 6 พบว่า การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal probability plot) ค่าส่วนตกค้างเกาะกลุ่มกันในลักษณะเส้นตรง มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ ส่วนตกค้าง (Versus fits) มีความแปรปรวนคงที่และความเป็น
อิสระของส่วนตกค้าง (Versus order) ลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่า ไม่พบสิ่งผิดปกติในระหว่างการทดลอง ดังนั้นจึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและหาค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัย (Analysis of variance; ANOVA) ต่อไป



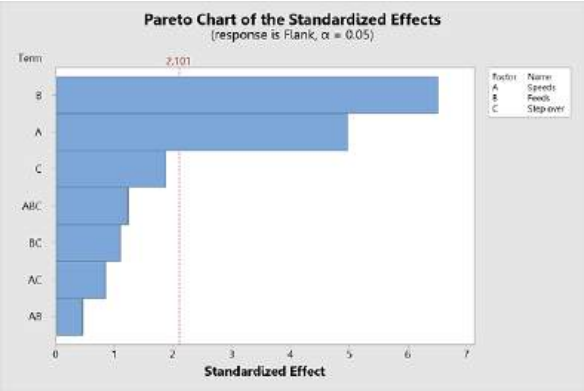
รูปที่ 6 ส่วนตกค้างของข้อมูลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์และหาความแปรปรวนของแบบจำลองในเทอมต่าง ๆ จากตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ Flank wear คือ Spindle speeds และ Feed rate มีผลต่อค่า Flank wear อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value < 0.05) สำหรับปัจจัย Step over พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า Flank wear

ตารางที่ 3 การหาความแปรปรวนของแบบจำลองแบบ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.017720	0.004430	17.98	<0.001
Linear	3	0.017678	0.005893	23.92	<0.001
Speeds	1	0.006176	0.006176	25.06	<0.001
Feeds	1	0.010626	0.010626	43.12	0.000
Step over	1	0.000876	0.000876	3.56	0.073
Curvature	1	0.000071	0.000071	0.29	0.597
Error	22	0.005421	0.000246		
Lack-of-Fit	4	0.000904	0.000226	0.90	0.484
Pure Error	18	0.004517	0.000251		
Total	26	0.023141			

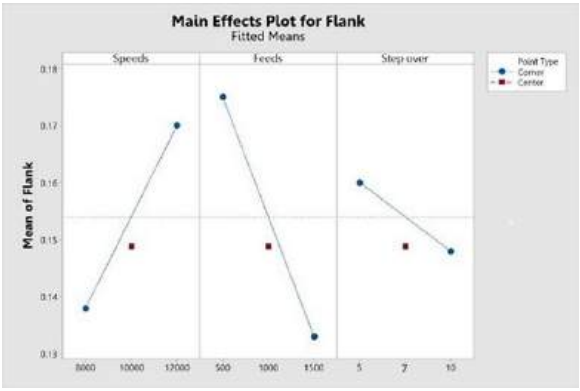
เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองในรูปแบบตัวแปรที่มีผลต่อ Flank wear ประกอบด้วย Spindle speeds , Feed rate และ Step over มีค่า R-sq = 76.57% และ R-sq (adj) = 72.32% และเมื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ความแปรปรวนคงที่ และการกระจายตัวอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ผลการทดลองสามารถเชื่อถือได้



รูปที่ 7 แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) ของตัวแปรที่มีผลต่อ Flank wear

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์และหาความแปรปรวนของแบบจำลองในเทอมต่าง ๆ จากตารางที่ 2 และแผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) ของตัวแปรที่มีผลต่อ Flank Wear ที่ขอบเขตวิกฤต T = 2.06 (α = 0.05) ดังรูปที่ 7 เห็นได้ว่า ในแบบจำลองค่า Step over เป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์เพิ่มด้วย Main effects plot เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Step over ที่ส่งต่อ Flank wear ในการศึกษาครั้งนี้ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 8 พบว่า การใช้ค่า Step over ในงานกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Flank wear มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน

จากรูปที่ 8 ค่าของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิด Flank wear ของดอกกัด End mill ด้วยวิธีการแบบ Trochoidal ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้ค่า Spindle speed ที่ต่ำ จะให้ค่า Flank wear ที่ต่ำกว่าการเลือกค่า Spindle speed สูง ซึ่งลักษณะของเส้นที่แสดงมีความชัน นั่นหมายถึงว่า หากมีการเปลี่ยนค่าความเร็วที่สูงขึ้น จะทำให้ค่า Flank wear มีค่าสูงเช่นกัน โดยในส่วนของ Feed rate กราฟมีความชันอย่างมาก นั่นหมายถึงการเลือกใช้ค่า Feed rate ที่สูงขึ้นจะให้ค่า Flank wear ที่ต่ำลง และในส่วนของ Step Over เส้นมีค่าความชันเล็กน้อย แต่ก็แสดงให้เห็นว่า หากเลือกค่า Step Over ที่สูงขึ้นก็จะทำให้ได้ค่า Flank wear ที่ต่ำลงเช่นกัน



รูปที่ 8 อิทธิพลของตัวแปรหลัก (Main effects) ที่ส่งผลต่อ Flank wear

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถสรุปว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของคมตัดในกระบวนการกัดแบบโทรคอยด์บนวัสดุเหล็กล้าคาร์บอน S50C ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle speed) และอัตราป้อน (Feed rate) ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการสึกหรอด้านข้างของคมตัด (Flank wear) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) ส่วนระยะขยับ

(Step Over) แม้จะไม่แสดงผลในเชิงสถิติอย่างชัดเจน แต่ก็พบแนวโน้มว่าอาจช่วยลดการสึกหรอได้เมื่อค่าเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองวิจัยโดย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. C. Nguyen, D. H. Tien, B. N. Nguyen, and Q. C. Hsu, “Multi-Response Optimization of Milling Process of Hardened S50C Steel Using SVM-GA Based Method”, Metals (Basel), Vol.13, No.5, (2023), May.

[2] R. B. Da Silva, W. F. Sales, A. R. Machado, M. A. S. Barrozo, and A. C. Souza, “Tool wear analysis in milling of medium carbon steel with coated cemented carbide inserts using different machining lubrication/cooling systems”, Wear, Vol.271, No.9–10, (2011), pp.2459–2465, July.

[3] M. Wagih, I. Maher, H. El-Hofy, J. Yan, and M. A. Hassan, “Analysis and development of elliptical tool path in trochoidal milling”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol.47, (2023), pp.168–183, December.

[4] M. Wagih, M. A. Hassan, H. El-Hofy, J. Yan, and I. Maher, “Effects of process parameters on cutting forces, material removal rate, and specific energy in trochoidal milling”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol.238, No.7, (2024), pp.2745–2757, April.

[5] D. Liu, Y. Zhang, M. Luo, and D. Zhang, “Investigation of tool wear and chip morphology in dry trochoidal milling of titanium alloy Ti-6Al-4V”, Materials, Vol.12, No.12, (2019), June.

[6] J. A. Bergmann, N. Potthoff, T. Rickhoff, and P. Wiederkehr, “Modeling of cutting forces in trochoidal milling with respect to wear-dependent topographic changes”, Production Engineering, Vol.15, No.6, (2021), pp.761–769, December.

การออกแบบและสร้างหัวพิมพ์ชิ้นงานสามมิติสำหรับพิมพ์ช็อกโกแลต

Design and Development of a 3D Printing Head for Chocolate

ชนัญชัย อุทโท[1*] เอกรินทร์ อินประมูล[2] และ สุบงกช โตไพบูลย์[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[2] วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Chananchai Utto[1*] Aekarin Inpramoon[2] and Subongkoj Topaiboul[2]
[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna
[2] College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna
E-mail: Chananchaiutto@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาหัวพิมพ์สามมิติสำหรับการพิมพ์ช็อกโกแลต โดยเน้นการลดขนาด และน้ำหนักของหัวพิมพ์ เพื่อลดภาระต่อโครงสร้างเครื่องพิมพ์ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพิมพ์ หัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งบนเครื่องพิมพ์ที่มีโครงสร้างแบบ Core x-y และใช้เทคนิค Fused Deposition Modeling (FDM) ในการขึ้นรูปช็อกโกแลตบนฐานพิมพ์ การทดสอบแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ การออกแบบและสร้างหัวพิมพ์สามมิติ การเตรียมช็อกโกแลตสำหรับการพิมพ์ และการวัดขนาดความหนาและความสม่ำเสมอของเส้นช็อกโกแลต ส่วนผสมช็อกโกแลต ได้แก่ สูตร A ใช้ดาร์กช็อกโกแลต 60% (ช็อกโกแลตนม) 80 g ต่อกับดาร์กช็อกโกแลต 100% 20 g และสูตร B ใช้ดาร์กช็อกโกแลต 60% (ช็อกโกแลตนม) 70 g ต่อดาร์กช็อกโกแลต 100% 30 g โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 30°C ถึง 34°C การวัดคุณภาพเส้นช็อกโกแลตเพื่อวิเคราะห์ขนาดความหนาของเส้นช็อกโกแลตที่พิมพ์ออกมาด้วยการใช้หัวพิมพ์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1, 1.5, และ 2 mm และกำหนดช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ ±0.075 mm จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการควบคุมพารามิเตอร์การพิมพ์ที่เหมาะสมที่หัวฉีดขนาด 1.5 mm ได้ค่าเฉลี่ย 1.44 mm และ 2.0 mm ได้ค่าเฉลี่ย 1.98 mm ที่อุณหภูมิ 30°C และความเร็ว 20 mm/s โดยใช้ส่วนผสมสูตร A ให้เส้นที่ต่อเนื่องและใกล้เคียงขนาดรูหัวฉีด นอกจากนี้ความเร็วการฉีดสูงหรือช้าเกินไปส่งผลต่อความต่อเนื่องและรูปร่างของเส้นพิมพ์ เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ ส่วนผสมที่มีผลต่อความหนืด และพฤติกรรมการไหลโดยตรง การเลือกใช้หัวฉีดขนาดที่เหมาะสมร่วมกับอุณหภูมิ และส่วนผสมที่สอดคล้องกับความเร็วที่ใช้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพการพิมพ์ช็อกโกแลต 3 มิติ

คำหลัก การพิมพ์สามมิติ, การพิมพ์อาหาร, ช็อกโกแลต, เกียร์ปั๊ม

Abstract

To reduce structural load and enhancing painting quality of chocolate, this research focuses on the design and development of a lightweight and compact 3D printing head specifically for chocolate extrusion, The print head is compatible with Core x-y gantry 3D printers that utilizes the Fused

Deposition Modeling (FDM) technique to form chocolate onto a build platform. The study is divided into three main phases mechanical design and fabrication of the print head, preparation of two chocolate formulations (Formula A 80% milk chocolate and 20% dark chocolate Formula B 70% milk chocolate and 30% dark chocolate), and dimensional analysis of extruded chocolate lines. The extrusion temperature was maintained between 30°C and 34°C, and tests were conducted using nozzles of 1.0 mm, 1.5 mm, and 2.0 mm diameter. An acceptable tolerance of ±0.075 mm. The test results indicated that the optimal printing parameters for a 1.5 mm nozzle yielded an average line width of 1.44 mm, while a 2.0 mm nozzle produced an average of 1.98 mm at 30°C and a speed of 20 mm/s using mixture formula A. These settings provided continuous lines closely matching the nozzle diameter. Furthermore, excessively high or low injection speeds adversely affected line continuity and shape, as these directly affect line and layer, shape fidelity, and flow behavior. Optimal print quality was achieved through the integration of appropriate nozzle dimensions, compatible chocolate formulations, and well-regulated thermal conditions

Keywords: 3D printing, food printing, chocolate, gear pump

1. บทนำ

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ การแพทย์ เครื่องจักร และอาหาร เนื่องจากสามารถออกแบบและผลิตชิ้นงานที่ซับซ้อนได้อย่างอิสระ ลดน้ำหนักของชิ้นงาน และปรับแต่งตามความต้องการได้ง่าย [1] เทคนิคการพิมพ์สามมิติมีหลายประเภท โดย Fused Deposition Modeling (FDM) ได้รับความนิยม เนื่องจากต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และรองรับวัสดุหลากหลายชนิด [2-4]

ในอุตสาหกรรมอาหาร เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้ช็อกโกแลตซึ่งมีศักยภาพสูงในการออกแบบและเพิ่มมูลค่าสินค้า อย่างไรก็ตาม ระบบหัวพิมพ์ที่ใช้ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัด เช่น ระบบสกรูหมุนที่มีขนาดใหญ่ [5] ระบบเกียร์ที่ใช้วัสดุเป็นสแตนเลสมีน้ำหนักมาก และต้นทุนสูงกว่าวัสดุประเภทอื่น [6] และระบบกระบอกฉีดต้องใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งและมีความจุจำกัด [7] ส่งผลต่อเสถียรภาพและคุณภาพของชิ้นงาน

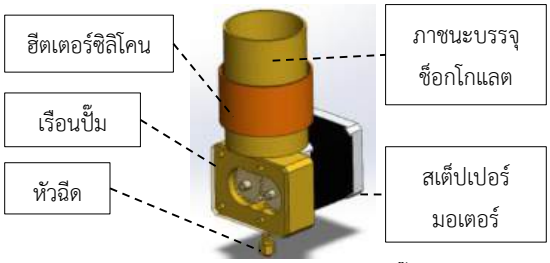
ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบหัวพิมพ์สามมิติสำหรับช็อกโกแลต โดยปรับปรุงให้มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา ติดตั้งบนเครื่องพิมพ์โครงสร้างแบบ Core x-y เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพิมพ์ใช้หลักการ (FDM)

2. วิธีการและการดำเนินงาน

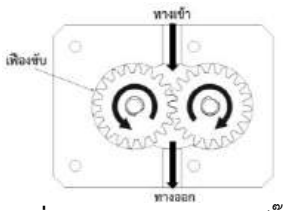
งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ออกแบบหัวพิมพ์ช็อกโกแลต

หัวพิมพ์สามมิติสำหรับการพิมพ์ช็อกโกแลตได้รับการออกแบบให้มีขนาดไม่เกิน 60 * 60 * 130 mm และน้ำหนักไม่เกิน 700 g การทำงานโดยรวม ระบบหัวพิมพ์ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ภาชนะบรรจุช็อกโกแลต 120 ml ฮีตเตอร์ซิลิโคน DC12V 15W เกียร์ปั๊มเลือกใช้เป็นวัสดุทองเหลืองมีคุณสมบัตินำความร้อนดี ทนทาน และสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเกียร์ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1 ส่วนประกอบเกียร์ปั๊ม



รูปที่ 2 การทำงานของเกียร์ปั๊ม

ซึ่งการออกแบบระบบนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการไหลของช็อกโกแลตกับอัตราการหมุนของเกียร์ปั๊มตามทฤษฎีปริมาตรที่ส่งผ่านได้ต่อรอบการหมุน (volumetric displacement) ของเกียร์ปั๊ม [8] เพื่อคำนวณอัตราการไหลที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$V_D = \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2)L \quad (1)$$

โดยที่ V_D คือ ปริมาตรที่ส่งผ่านได้ต่อรอบการหมุน (mm^3/rev) D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรัศมีภายนอกเฟือง (mm) D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรัศมีภายในเฟือง (mm) L คือ ความหนาของเฟือง (mm) ซึ่งการกำหนดขนาดของเฟืองระบุไว้ในตารางที่ 1 เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ปริมาตรที่ส่งผ่านได้ต่อรอบการหมุน V_D = 1,396.04 (mm^3/rev) และอัตราการไหลทางทฤษฎี หาได้จากสมการ

$$Q_{chocolate} = \frac{\pi d^2}{4} v \quad (2)$$

โดยที่ $Q_{chocolate}$ คือ อัตราการไหลของช็อกโกแลต (mm^3/s) d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (mm) และ v คือ ความเร็วการพิมพ์ (mm/s) โดยค่าตัวแปรของ d กับ v ที่ใช้ในการคำนวณระบุไว้ตารางที่ 2 ทั้งนี้เพื่อให้การไหลของช็อกโกแลตจากเกียร์ปั๊มสอดคล้องกับขนาดของหัวฉีด ต้องมีการหาความเร็วรอบโดยหาได้จากสมการ

$$N = \frac{Q_{chocolate}}{V_D} \quad (3)$$

โดยที่ N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rev/s) การคำนวณนี้ช่วยให้สามารถกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับขนาดหัวฉีด และความเร็วการพิมพ์ในแต่ละกรณี โดยค่าที่คำนวณได้ระบุไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดของเกียร์

โมดูล	L (mm)	D_o (mm)	D_i (mm)	จำนวนฟัน	มุมความดัน
1	10	22	17.50	20	20°

ตารางที่ 2 ค่าความเร็วรอบของเกียร์ปั๊ม

v (mm/s)	d (mm)	Q_{choco} (mm^3/s)	N (rev/s)
10	1	7.85	0.0056
	1.5	17.67	0.0127
	2	31.42	0.0225

ตารางที่ 2 ค่าความเร็วรอบของเกียร์ปั๊ม (ต่อ)

v (mm/s)	d (mm)	Q_{choco} (mm^3/s)	N (rev/s)
20	1	15.71	0.0113
	1.5	35.34	0.0253
	2	62.83	0.045

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

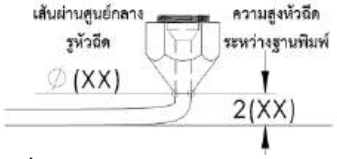
ในการวิจัยนี้ใช้ช็อกโกแลตที่ผลิตในประเทศไทยจากบริษัทโกโก้ดอย (Cocoa Doi) โดยเลือกใช้ดาร์กช็อกโกแลต 100% และดาร์กช็อกโกแลต 60% (ช็อกโกแลตนม) สำหรับเตรียมเป็นส่วนผสมทดสอบ 2 สูตร ได้แก่สูตร A ใช้ดาร์กช็อกโกแลต 60% (ช็อกโกแลตนม) 80 g ผสมกับดาร์กช็อกโกแลต 100% 20 g และสูตร B ใช้ดาร์กช็อกโกแลต 60% (ช็อกโกแลตนม) 70 g ผสมกับดาร์กช็อกโกแลต 100% 30 g

2.3 การกำหนดวิธีการทดสอบ

การขึ้นรูปช็อกโกแลตให้ได้เส้นที่มีความสม่ำเสมอและคงรูปได้ดีเกิดจากสมบัติทางกายภาพของช็อกโกแลตที่ไวต่อปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิซึ่งการเลือกอุณหภูมิในการพิมพ์ช็อกโกแลตอยู่ในช่วง 30 ถึง 34°C เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30°C จะมี ความหนืดสูง และหากอุณหภูมิ สูงกว่า 34°C จะเกิดการแยกตัวไขมัน ความเร็วพิมพ์เนื่องจากความเร็วการพิมพ์จะส่งผลต่อการไหล และความสูงของหัวฉีดระหว่างฐานควรอยู่ที่ประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ดังรูปที่ 3 ป้องกันไม่ให้เส้นถูกกดแบนจากการขยายตัวเล็กน้อยเมื่อฉีดออก ช่วยให้เส้นยึดเกาะและคงรูปได้ดี การทดสอบนี้ใช้ค่าตัวแปรตามที่ระบุในตารางที่ 3 โดยเน้นการประเมินความสม่ำเสมอของ และความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นจากเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ±0.075

ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรในการทดสอบช็อกโกแลต

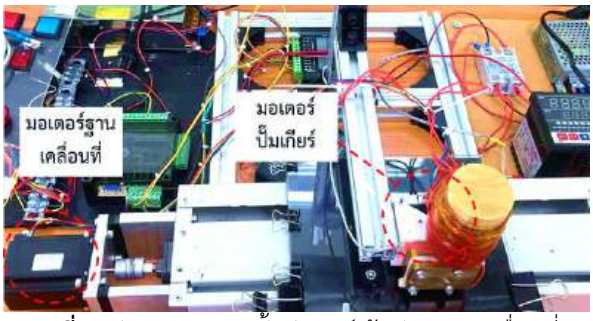
ตัวแปรต้น	- อุณหภูมิช็อกโกแลต 30, 32, 34°C - ความเร็วการพิมพ์ 10, 20 mm/s - อุณหภูมิห้อง 25°C - เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 1, 1.5, 2 mm - ความสูงหัวฉีดระหว่างฐาน 2, 3, 4 mm
ตัวแปรควบคุม	- ความเรียบเนียน ความสม่ำเสมอของเส้น



รูปที่ 3 ความสูงหัวฉีดระหว่างกับฐาน

2.4 การติดตั้งหัวพิมพ์กับฐานฉีดเคลื่อนที่

การติดตั้งหัวพิมพ์กับฐานเคลื่อนที่มีความสำคัญในการควบคุมตำแหน่งการพิมพ์เส้นช็อกโกแลตให้วางแนวได้ตรงตามแบบที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 4 โดยระบบควบคุมการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 ความเร็วมอเตอร์ของเกียร์ปั๊ม และความเร็วของฐานเคลื่อนที่ใช้ lead screw ซึ่งทั้ง 2 ส่วนต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน โดยคำนวณความถี่ของมอเตอร์แต่ละตัว เพื่อให้ความเร็วการไหล และความเร็วเคลื่อนที่สอดคล้องกัน



รูปที่ 4 ลักษณะการติดตั้งหัวพิมพ์เข้ากับระบบเคลื่อนที่

ส่วนที่ 1 การคำนวณความเร็วมอเตอร์ของเกียร์ปั๊มเพื่อควบคุมอัตราการไหลของช็อกโกแลตที่ถูกฉีดออกจากหัวพิมพ์ จำเป็นต้องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเกียร์ปั๊ม โดยใช้หลักการปริมาตรการไหลจากสมการที่ (3) เมื่อทราบอัตราการไหลที่ต้องการ และใช้ไมโครสเต็ป 6400 pulse/rev โดยที่ Hz คือ ความถี่ที่ต้องใช้ควบคุมมอเตอร์หาได้จากสมการ

$$Hz = N{*}pulse/rev \quad (4)$$

ส่วนที่ 2 การคำนวณความเร็วของฐานเคลื่อนที่ใช้ lead screw ขับเคลื่อนผ่านมอเตอร์ซึ่งความเร็วเชิงเส้น (mm/s) ที่ต้องการถูกควบคุมโดยการหมุนซึ่งใช้ (lead screw pitch = 5 mm) ซึ่งหาได้จากสมการ

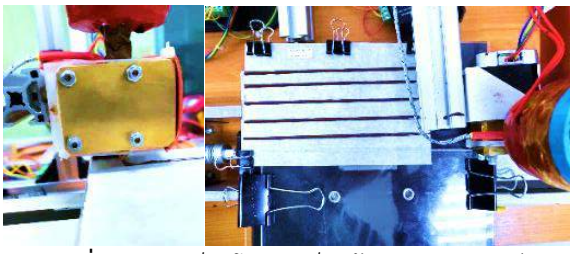
$$Motor\ speed\ (rev/s) = \frac{Linear\ speed(mm/s)}{lead\ screw\ pitch} \quad (5)$$

และใช้ไมโครสเต็ป 1600 pulse/rev ความถี่ที่ต้องใช้ควบคุมมอเตอร์หาได้จากสมการ

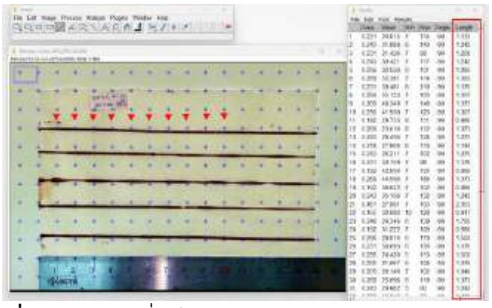
$$Hz = Motor\ speed\ (rev/s){*}pulse/rev \quad (6)$$

2.5 การวัด และวิเคราะห์

การวัดอัตราการไหลใช้วิธีการปรับค่าความถี่ของมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วในการฉีด และทำการวัดปริมาณช็อกโกแลตที่ไหลออกในช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้กระบอกตวง และเครื่องชั่งร่วมด้วย เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการฉีดช็อกโกแลตเป็นเส้นลงบนฐานพิมพ์ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิ ความเร็วการพิมพ์ และขนาดหัวฉีด ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 5 แล้วถ่ายภาพเส้นที่ได้นำไปวัดความหนาของเส้นด้วยโปรแกรม ImageJ โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับขนาดหัวฉีดที่กำหนด เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อน และความสม่ำเสมอของเส้นในการวัดจะกำหนดจุดวัด 10 ตำแหน่งต่อเส้น และวิเคราะห์ทั้งหมด 5 เส้น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 การฉีดช็อกโกแลตเป็นเส้นลงบนฐานพิมพ์



รูปที่ 6 ถ่ายภาพที่นำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

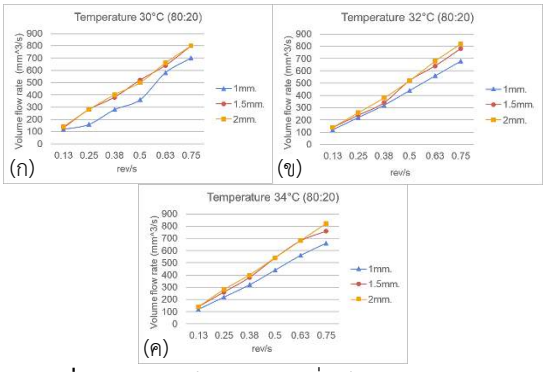
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการวิจัยนี้นำเสนอการทดสอบพฤติกรรมการไหลภายใต้เงื่อนไขต่างๆ และทดสอบการฉีดเป็นเส้นดังนี้

3.1 อัตราการไหลภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ

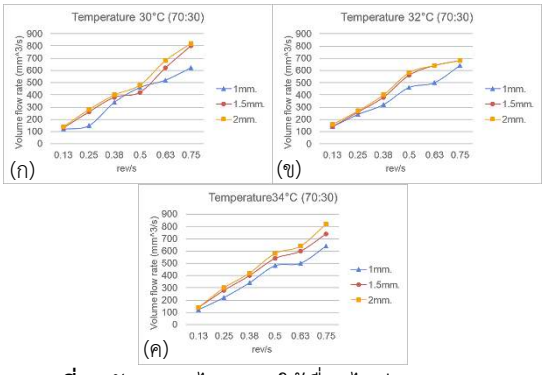
การทดสอบนี้เป็นการพิจารณาคุณสมบัติการไหลของช็อกโกแลตเมื่อฉีดผ่านหัวฉีด โดยพิจารณาปัจจัยหลัก 3 ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิ 30, 32, 34°C ความเร็วมอเตอร์ 6 ระดับ 0.13 ถึง 0.75 rev/s และขนาดหัวฉีด 1, 1.5, 2 mm พร้อมเปรียบเทียบลักษณะการไหลระหว่างช็อกโกแลต 2 สูตร ภายใต้สภาวะที่กำหนด สูตร A (ดังรูปที่ 7) พบว่าอัตราการ

ไหลเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยหัวฉีดขนาด 1.5, 2 mm ให้อัตราการไหลใกล้เคียงกันทุกเงื่อนไข ขณะที่หัวฉีด 1 mm มีข้อจำกัดการไหลของของไหลโดยลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นที่อุณหภูมิ 30°C ดังรูปที่ 7 (ก) แต่มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้นมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง ดังรูปที่ 7 (ข) (ค)



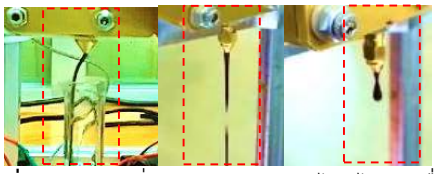
รูปที่ 7 อัตราการไหลภายใต้เงื่อนไขต่างๆ (สูตร A)

และความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงปริมาตรตามสูตร B (รูปที่ 8) แสดงแนวโน้มคล้ายกับรูปที่ 7 โดยอัตราการไหลเพิ่มขึ้นตามความเร็ว และอุณหภูมิ แต่ไม่เป็นเชิงเส้นในทุกกรณี เนื่องจากคุณสมบัติของส่วนผสมช็อกโกแลตที่เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในรูปที่ 8 (ข) พบว่าอัตราการไหลต่ำกว่ากรณีอื่น เช่น ที่ความเร็ว 0.75 rev/s หัวฉีดขนาด 1.5 และ 2.0 mm อัตราการไหลลดลงเหลือประมาณ 700 mm^3/s ขณะที่รูปที่ 8 (ค) สะท้อนข้อจำกัดเมื่อความเร็วและอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการไหลกลับลดลงก่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แสดงถึงพฤติกรรมที่ไม่สม่ำเสมอของการไหล



รูปที่ 8 อัตราการไหลภายใต้เงื่อนไขต่างๆ (สูตร B)

จากการทดสอบพบว่าการไหลของช็อกโกแลตไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วฉีด ขนาดหัวฉีด และอุณหภูมิ โดยเมื่อความเร็วสูงเกินจุดวิกฤต แรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นบริเวณหัวฉีดทำให้การไหลราบรื่นเปลี่ยนเป็นแบบปั่นป่วน เกิดเส้นสั่นและหมุนควง ขณะที่ความเร็วต่ำอาจทำให้การไหลไม่ต่อเนื่องหรือสะสมเป็นหยด ดังแสดงในรูปที่ 9 ด้านอุณหภูมิหากสูงกว่า 34°C ความหนืดจะลดลงมากจนควบคุมการไหลได้ยาก ส่วนที่ 30, 32°C มีความเสี่ยงต่อการไหลขาดหรือบิดตัว สำหรับหัวฉีดขนาด 1 mm ให้แรงต้านการไหลสูง ขณะที่ขนาด 1.5 และ 2 mm ช่วยให้การไหลราบรื่นมากขึ้น แต่ต้องระวังการบวมของเส้นหรือเสียรูป ดังนั้น ควรควบคุมทั้งความเร็วฉีด ขนาดหัวฉีด และอุณหภูมิร่วมกัน เพื่อให้ได้การไหลที่ต่อเนื่อง และมีเสถียรภาพ



รูปที่ 9 ลักษณะที่หมุนควง และการไหลไม่ต่อเนื่อง

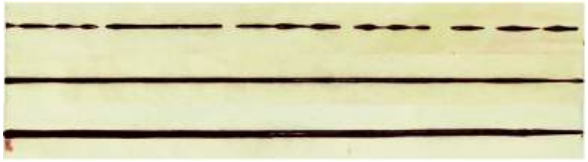
3.2. ขนาดความหนาของเส้นช็อกโกแลต

ผลทดสอบวัดขนาดเส้นที่ได้จากการทดลองภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิ ความเร็ว และขนาดหัวฉีดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขการฉีด (สูตร A)

อุณหภูมิ (°C)	v (mm/s)	ø รูหัวฉีด (mm)	□̄
30	10	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	1.33 ±0.245
		2	2.60 ±207
	20	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	1.44 ±0.118
		2	1.98 ±0.163
32	10	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	2.15 ±0.232
		2	2.88 ±0.268
	20	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	2.06 ±0.171
		2	2.78 ±0.191
34	10	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	2.20 ±0.316
		2	2.94 ±0.225
	20	1	วัดค่าไม่ได้
		1.5	2.08 ±0.181
		2	2.56 ±0.193

จากการทดสอบพบว่า ความสม่ำเสมอของเส้นขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ขนาดหัวฉีด อุณหภูมิ ความเร็วการพิมพ์ และสัดส่วนผสม ตัวอย่างเส้นที่ได้จากหัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 11 โดยหัวฉีดขนาด 1.5 mm ได้ค่าเฉลี่ย 1.44 mm และ 2 mm ได้ค่าเฉลี่ย 1.98 mm ที่อุณหภูมิ 30°C และความเร็ว 20 mm/s ให้เส้นที่ต่อเนื่องความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ในขณะที่หัวฉีด 1 mm ทำให้เส้นไม่ต่อเนื่องทุกเงื่อนไขจึงไม่สามารถวัดค่าได้ ส่วนความเร็วต่ำหรืออุณหภูมิสูงทำให้เส้นหนาเกินขนาด เปรียบเทียบได้จากตารางที่ 4 สูตร A ซึ่งให้เส้นสม่ำเสมอกว่าสูตร B ที่มีความหนืดไม่คงที่ส่งผลให้ขนาดเส้นที่ไม่สม่ำเสมอในทุกเงื่อนไข



รูปที่ 11 ตัวอย่างเส้นที่ได้จากหัวพิมพ์ Ø1, 1.5, 2mm

4. สรุป

บทความนี้เป็นงานวิจัยที่มีศักยภาพต่อภาคอุตสาหรรมอาหาร โดยเฉพาะตลาด 3D Food Printing ที่เติบโตเร็วในกลุ่มโรงแรม โรงงานเบเกอรี่ และธุรกิจของขวัญที่ต้องการปรับแต่งตามความต้องการเฉพาะสูง ซึ่งการออกแบบหัวพิมพ์ให้มีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด ถือเป็นการแก้จุดบกพร่องในระบบ เช่น หัวพิมพ์มีขนาดไม่เหมาะสม และข้อจำกัดปริมารการจ่ายช็อกโกแลตน้อย ระบบหัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นใช้ เกียร์ปั๊ม ฮีตเตอร์แบบซิลิโคนเพื่อให้ความร้อน ร่วมกับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยมีการประยุกต์ใช้สมการปริมาตรการไหลและความเร็วรอบ รวมถึงการคำนวณพัลส์เพื่อควบคุมมอเตอร์ ซึ่งสามารถขยายผลสู่ระบบควบคุมอัตโนมัติได้จริง จุดเด่นคือการทดลองหลากหลายตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วพิมพ์ หัวฉีด และสูตรผสมช็อกโกแลต โดยใช้โปรแกรม ImageJ เป็นเครื่องมือวัดค่าทางวิศวกรรมที่มีมาตรฐาน ผลการทดลองชี้ชัดว่า หัวฉีดขนาด 1.5 mm และ 2 mm ที่อุณหภูมิ 30°C ความเร็ว 20 mm/s คือค่าที่ให้คุณภาพดีที่สุด ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในมุมอุตสาหกรรม คือ ติดตั้งระบบทำความเย็นที่ฐาน หากมีการเสริมระบบควบคุม PID และเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน หรือ vision system ตรวจเส้นขณะพิมพ์ จะทำให้ระบบมีความเสถียรต่อการใช้งานจริงมากขึ้น อีกทั้งควรมีการประเมิน ความคงตัวในสภาพแวดล้อม เช่นห้องแอร์ และความชื้นสูง และวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตหัวพิมพ์ เพื่อประเมินความคุ้มค่ารวมถึงการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อรองรับการใช้งานในโรงงานอาหารได้ครอบคลุม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรมประจำปี 2568 และขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมการผลิตอาหารเพื่อผู้ประกอบการ วิทยาลัยเทคโนโลยี และสหวิทยาการ มทร.ล้านนา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สินเจริญ โภคัย (2563). เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติกับการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิก. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, หน้า 29-32.

[2] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2567). เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ. สืบค้นจาก https://www.depa.or.th (เมื่อ 10 พ.ค. 2567)

[3] วีรวัฒน์ เหลี่ยมมณี. (2560). เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติในมุมมองคณิตศาสตร์. ในการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 2, มรภ.กำแพงเพชร.

[4] MTEC. (2567). เทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ. สืบค้นจาก https://www.mtec.or.th (เมื่อ 18 พ.ค 2567)

[5] ณัฐวุฒิ สานคล่อง, และ ปภากร พิทยชวาล. (2563). ผลของรูปทรงและองศาสันสกรูต่อขนาดเส้นช็อกโกแลต. การประชุม IE Network Conference 2020, มจพ.

[6] Rathnayake, B. M. S. K., & Ratnayake, N. A. (2021). Pump- based Chocolate 3 D Printer. Smart Computing and Systems Engineering, pp209–216.

[7] Lanaro, M. et al. (2017). 3D printing complex chocolate objects: Platform design and evaluation. J. Food Eng., pp215, 13–22.

[8] Qandeel, M. A. A. (2023). Positive Displacement Pump: Classifications and Performance. Helwan University, Cairo, Egypt.

อิทธิพลของเครื่องมือตัดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดเจาะแผ่นอลูมิเนียมอัลลอย ด้วยแม่พิมพ์ตัดเจาะ

Influence of Tooling Sharpness on the Piercing Behavior of Aluminum Alloy Sheets using a Piercing Process

พงศกร หลีตระกูล[1] วิชัย พุ่มจันทร์[1] เฉลิมพล คล้ายนิล[1] จิณกมล ลุยจันทร์[1] พิสิทธิ์ เมืองน้อย[1] ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ[1*]
คมกริช ละวรรณวงษ์[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: natthasak.por@rmutr.ac.th*

Pongakorn Leetrakul[1] Wichai Pumchan[1] Chalempol Klaynil[1] Phisith Muangnoy[1] Natthasak Pornputsiri[1*]
Komgrit Lawanwong[2]
[1] Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kang Won Campus
[2] Department of Industrial engineering technology, Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: natthasak.por@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

ในยุคที่อุตสาหกรรมยานยนต์มุ่งสู่การผลิตชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา การใช้แผ่นอลูมิเนียมในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในกระบวนการเจาะรูซึ่งมีผลต่อคุณภาพของขอบตัด และอายุการใช้งานของชิ้นงาน งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบพันช์ให้มีคมตัดเอียง (Concave punch) เพื่อปรับปรุงคุณภาพขอบตัด และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการตัดเจาะ โดยเปรียบเทียบกับพันช์แบบดั้งเดิม (Conventional punch) วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง คืออลูมิเนียมอัลลอย เกรด AA1100 ความหนา 2 มิลลิเมตร ใช้ช่องว่างระหว่างคมตัด 5% และ 15% ของความหนาแผ่นชิ้นงาน พร้อมทั้งจำลองพฤติกรรมการตัดเจาะด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ผ่านโปรแกรม DEFORM 2D ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พันช์แบบคมตัดเอียงสามารถสร้างพื้นผิวเฉือนที่มีความยาวมากขึ้นและเรียบสม่ำเสมอแม้ในระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่กว้าง อีกทั้งแรงเจาะที่เกิดขึ้นมีความเสถียร ลดแรงกระแทกเฉียบพลันที่อาจส่งผลเสียต่อขอบตัดได้ นอกจากนี้ การจำลอง FEM ยังแสดงให้เห็นถึงการกระจายความเค้นที่เหมาะสม ในกรณีใช้พันช์คมตัดเอียง ซึ่งช่วยชะลอการเกิดรอยแตก และลดการเกิดส่วนโค้งมน (die roll) ดังนั้น พันช์คมตัดเอียงจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาแม่พิมพ์เจาะรู ที่สามารถใช้งานในสายการผลิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก ขอบตัดชิ้นงาน, โลหะแผ่น, แม่พิมพ์ตัดเจาะ, ไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

In an era where the automotive industry is striving toward lightweight component manufacturing, aluminum sheets have become widely adopted for producing vehicle parts. This is especially true in the hole-piercing process, which directly affects the quality of the sheared edge and the service life of the component. This research presents a novel punch design with an inclined cutting edge (Concave punch) aimed at improving edge quality and enhancing the efficiency of the piercing process, in comparison with a conventional punch. The material used in the experiments was AA1100 aluminum alloy with a thickness of 2 mm. Two clearance levels 5% and 15% of the sheet thickness were applied between the punch and die. In addition, the punching behavior was simulated using the Finite Element Method (FEM) via the DEFORM 2D software. The results show that the inclined-edge punch can produce a longer and more uniform sheared surface, even at larger clearances. Moreover, the generated punching force exhibits greater stability, reducing sudden impacts that could otherwise compromise edge quality. FEM simulation further revealed a more favorable stress distribution when using the concave punch, delaying crack initiation and reducing the formation of die roll. Therefore, the inclined-edge punch is considered a suitable alternative for developing punching dies that can be effectively applied in actual production lines with improved performance and reliability.

Keywords: Cutting edge, Sheet metal, Piercing process, FEM simulation

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์มีการปรับตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับแนวโน้มการเติบโตของรถยนต์ไฟฟ้า (EVs) ซึ่งส่งผลให้เกิดความต้องการใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หนึ่งในวัสดุที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือแผ่นอลูมิเนียม เนื่องจากมีน้ำหนักเบา สามารถรีไซเคิลได้ และมีความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้เหมาะสมอย่างยิ่งกับแนวทางการผลิตที่ยั่งยืนในยุคปัจจุบัน กระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนโลหะแผ่น เช่น แผงตัวถัง กล่องแบตเตอรี่ และชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ คือ กระบวนการตัดเจาะรู ซึ่งพบได้ทั้งในรูปแบบของแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปและการเจาะด้วยแรงดันไฮดรอลิก (hydro-piercing) โดยเฉพาะในการใช้แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป การควบคุมคุณภาพของขอบตัดถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนและความแม่นยำของผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการใช้ระยะเคลียแรนซ์ที่แคบระหว่างหัวเจาะกับแม่พิมพ์สามารถเพิ่มความยาวของพื้นผิวเฉือน (sheared surface) ได้ แต่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือ เช่น งานของ Mori et al. [1] และ Chumrum et al. [2] ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการเฉือนของเหล็กแรงดึงสูงโดยอาศัยพารามิเตอร์กระบวนการต่าง ๆ ในขณะที่ Lo et al. [3] และ Mucha et al. [4] ศึกษาผลของวัสดุหัวเจาะ มุมเฉือน และระยะเคลียแรนซ์ต่อการเกิด die roll และ burr นอกจากนี้ กระบวนการ fine blanking และ shaving die ก็ได้รับการพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขอบตัด แต่กลับต้องแลกมาด้วยความซับซ้อนในการออกแบบและต้นทุนเครื่องจักรที่สูง [5–7] จึงยังไม่เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไปในสายการผลิตที่มีปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม การออกแบบหัวเจาะที่มีคมตัดแบบเอียง หรือใช้มุมเอียงของหัวเจาะ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความยาวของพื้นผิวเฉือน และลดแรงตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพตามงานของ [8-9]

จากเอกสารวิจัยที่ผ่านมาในเรื่องของตัวแปรและกระบวนการต่างๆ เทคโนโลยีทางเลือก การออกแบบกระบวนการ และชนิดของวัสดุ พบว่าส่วนใหญ่มีความซับซ้อนของโครงสร้างแม่พิมพ์ ผู้วิจัยเสนอแนวคิดการ

ออกแบบพันช์แบบใหม่ ที่สามารถลดความซับซ้อนของแม่พิมพ์ของกระบวนการเจาะรูแบบเดิม โดยเฉพาะสำหรับวัสดุอลูมิเนียมอัลลอย พันช์รูปแบบใหม่นี้ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่แคบหรือกระบวนการหลายขั้นตอน แต่ใช้แม่พิมพ์โครงสร้างไม่ซับซ้อนที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ในขณะที่ยังคงคุณภาพของผิวตัดไว้ได้ในระดับสูง การออกแบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในสายการผลิตด้วยแม่พิมพ์ปั๊มทั่วไป และเป็นพัฒนาการที่สำคัญเมื่อเทียบกับแนวทางเดิม ช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์ในการมุ่งสู่การผลิตที่มีน้ำหนักเบาและยั่งยืนมากขึ้น

2. วิธีการดำเนินงานและการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือแผ่นอลูมิเนียม เกรด AA1100 มีความหนา 2 มิลลิเมตร เตรียมชิ้นงานให้มีขนาด 40×60 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 2 วัสดุชิ้นงานสำหรับการทดลองนำไปทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุโดยมีขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8M ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ AA1100

Mechanical properties	Materials workpiece AA1100
Yield strength (MPa)	105
Tensile strength (MPa)	122
Elongation (%)	17.58

2.2 เครื่องมือและอุปกร์ที่ใช้ในการทดลอง

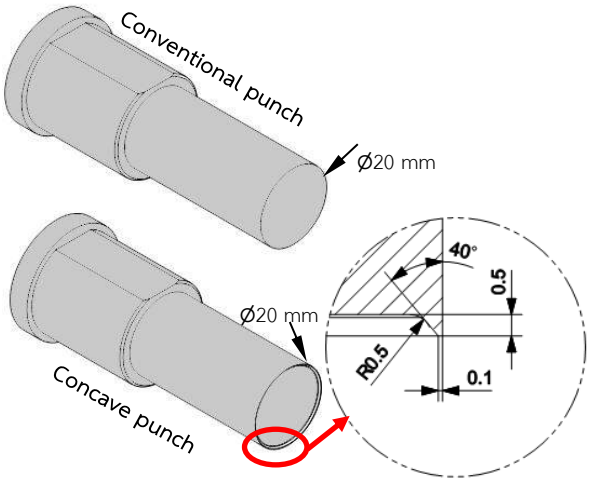
เพื่อศึกษาวิธีการและปรับปรุงคุณภาพของรูเจาะบนแผ่นอลูมิเนียม AA1100 ซึ่งมีความหนา 2 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบพันช์สำหรับตัดเจาะ 2 แบบ ได้แก่ พันช์แบบดั้งเดิม (Conventional punch) พันช์แบบคมตัดเอียง (Concave punch) ซึ่งมีคมตัดเอียงทำมุม 40 องศา ที่ปลายแสดงในรูปที่ 1 เพื่อให้ได้พื้นผิวรูเจาะที่เรียบ

สำหรับการทดลองนี้ ใช้ช่องว่างระหว่างคมตัด (Clearance: cl) คือ 5 และ 15% ของความหนาแผ่นชิ้นงาน สรุปขนาดช่องว่างระหว่างคมตัด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดช่องว่างระหว่างคมตัดสำหรับตัดชิ้นงานความหนา 2 มิลลิเมตร

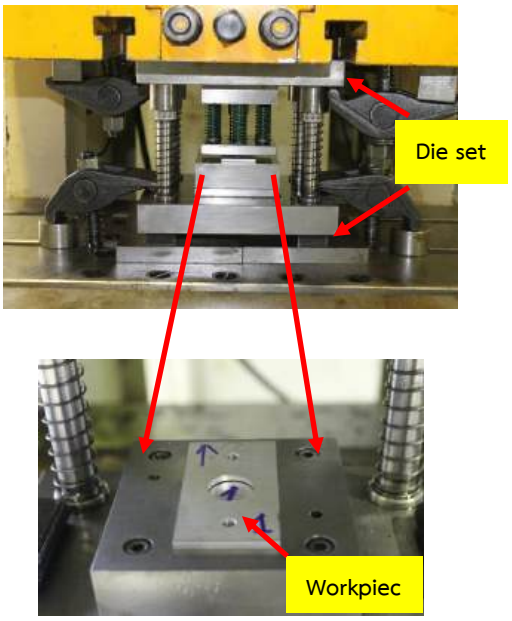
เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างคมตัด (%)	ขนาดช่องว่างระหว่างคมตัด (mm.)
5	0.1
15	0.3

เพื่อศึกษาผลต่อคุณภาพพื้นผิวของรูที่เจาะ วัสดุที่ใช้ทำพันช์ คือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS SKD11 ผ่านกระบวนการชุบแข็งจนมีค่าความแข็งอยู่ที่ 60 ±2 HRC



รูปที่ 1 แสดงรูปทรงพันช์ที่ใช้ในการตัดเจาะ

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงใน รูปที่ 2 เป็นชุดแม่พิมพ์ (die set) ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งมีเสาไกด์ทั้ง 4 เสา เพื่อควบคุมแนวการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ให้แม่นยำ ขณะทำการเจาะลงบนชิ้นงาน (workpiece) ซึ่งเป็นแผ่นอลูมิเนียมที่วางอยู่บนปากดาย (Die) ทั้งนี้ ในการดำเนินการตัดเจาะดำเนินการโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น เพื่อให้เห็นผลของรูปทรงพันช์ต่อพื้นผิวรูเจาะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงทดลองมีความน่าเชื่อถือ การทดลองแต่ละชุดจะทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง โดยใช้แฟกทอเรียล (Factorial)



รูปที่ 2 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองและการตัดเจาะชิ้นงาน

2.3 วิธีการจำลองการตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

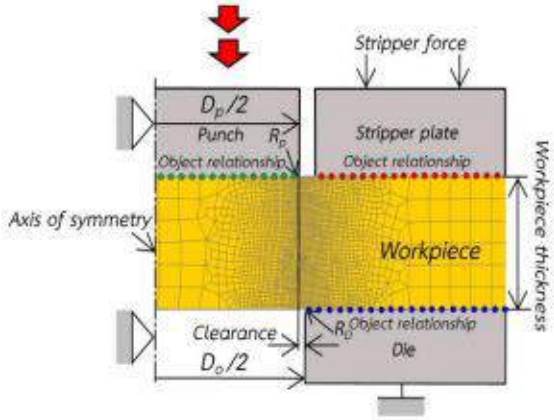
ในการศึกษานี้ มีการใช้การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุในกระบวนการตัดเจาะ จุดประสงค์หลักคือเพื่อให้เข้าใจกลไกของการตัดเฉือน และแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม DEFORM 2D สำหรับการสร้างแบบจำลองการตัด การตั้งค่าและกำหนดการจำลอง FEM ในการทดลองนี้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3

- วัสดุชิ้นงาน: อลูมิเนียมเกรด AA1100 จำลองพฤติกรรมแบบอีลาสโต-พลาสติก (Elasto-Plastic) ด้วยฟังก์ชันความเค้น-ความเครียด
- วัสดุเครื่องมือ (Tooling): กำหนดให้เป็นวัตถุแข็ง (Rigid body)
- จำนวนองค์ประกอบ (Mesh): ใช้โครงข่ายจำนวน 4,000 แบบสี่เหลี่ยม 4 โหนด และมีบริเวณคมตัดที่มีความละเอียดสูง
- รัศมีมุมพันช์ (Tip radius): 0.02 มิลลิเมตร
- สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน: 0.12

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Detail of finite element	
Tooling	Rigid body
workpiece	Elasto-Plastic
Flow curve	AA1100 $\bar{\sigma} = 168\varepsilon^{0.21}$
Mesh	4,000
Friction coefficient	0.12
Tip radius	0.02 mm

การจำลองนี้ใช้รูปแบบ สองมิติแบบสมมาตรตามแกน (Axisymmetric Model) ตามที่แสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแสดงโครงสร้างของแม่พิมพ์เจาะ ประกอบด้วยพันช์ (Punch), แผ่นกด (Stripper plate), ชิ้นงาน (Workpiece), และดาย (Die) พร้อมระยะช่องว่างระหว่างคมตัด (Clearance) ที่กำหนดไว้ ในการประมวณผลใช้ (Iterative Newton-Raphson) โดยจำลองการเคลื่อนที่ของพันช์ครั้งละ 0.05 มม./ขั้นตอน รวมทั้งหมด 120 ขั้นตอน มีการใช้ฟังก์ชันปรับโครงข่ายอัตโนมัติ (Adaptive Remeshing) ทุก 3 ขั้นตอน เพื่อรักษาความแม่นยำของการจำลองและลดปัญหาความผิดเพี้ยนของโครงข่าย สำหรับพฤติกรรมของวัสดุสมมติให้เป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) และใช้สมการครากของฟอนไมเซส (Von Mises Yield Function) ในการอธิบายพฤติกรรมการเสียรูป



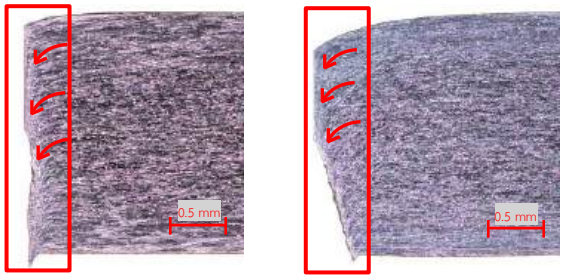
รูปที่ 3 การสร้างรูปแบบการตัดเจาะด้วยโปรแกรม DEFORM 2D

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ลักษณะของขอบตัดหลังการตัดเจาะ

เพื่อตรวจสอบลักษณะของขอบตัดที่เกิดขึ้นหลังการตัดเจาะ ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเจาะจะถูกตัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของรู จากนั้นไปขัดตามขั้นตอนตามทฤษฎีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อให้เห็นโครงสร้างภายในบริเวณขอบตัดอย่างชัดเจน ผลการทดลองใน รูปที่ 4 แสดงให้เห็นลักษณะของพื้นผิวที่ถูกเฉือนภายใต้หัวเจาะ 2 แบบ และช่องว่างระหว่างคมตัดที่ต่างกัน 5%t และ 15%t ของความหนาแผ่นชิ้นงาน รูปที่ 4ก คือขอบตัดที่ผ่านการตัดด้วย Conventional punch พบว่ามีการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน (Grain flow) อย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างคมตัดเป็น 15%t จะเห็นร่องรอยการเลื่อนตัวของเกรนที่ชัดเจนและกว้างขึ้น ซึ่งบ่งชี้ถึงแรงเฉือนที่กระจายไปในบริเวณกว้างและการเสียรูปของวัสดุมากขึ้น

รูปที่ 4ข ในกรณีที่ใช้ Concave punch ลักษณะการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด แม้จะใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่สูงถึง 15%t พื้นผิวที่เกิดจากการเจาะยังคงเรียบ และร่องรอยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมีน้อย แสดงให้เห็นว่าแรงเฉือนถูกควบคุมให้อยู่ในบริเวณเฉพาะ ทำให้ได้ขอบตัดที่คมและมีคุณภาพสูง



Clearance 5%t Clearance 15%t

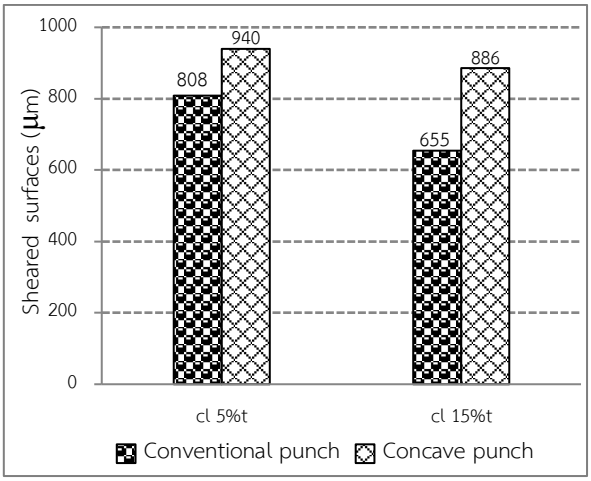
ก. Conventional punch

Clearance 5%t Clearance 15%t

ข. Concave punch

รูปที่ 4 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเกรน

ขนาดระยะความยาวของส่วนตัดเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัด ถูกนำมาวิเคราะห์จากผลการทดลองที่แสดงใน รูปที่ 5 พบว่า Concave punch สามารถสร้างพื้นผิวที่ถูกเฉือน (Sheared surface) ได้ยาวกว่าหัวเจาะแบบ Conventional punch อย่างชัดเจนในทุกระดับของช่องว่างระหว่างคมตัดที่ใช้ ในการทดลอง Concave punch ที่ Cl 5%t สร้างพื้นผิวเฉือนที่มีความยาวเฉลี่ยมากกว่า Conventional punch ประมาณ 100 ไมโครเมตร ส่วน Cl 15%t แม้ระยะห่างระหว่างคมตัดจะมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปอาจทำให้คุณภาพผิวลดลง แต่ Concave punch ยังคงสามารถรักษาความยาวของพื้นผิวเฉือนให้อยู่ในระดับสูงได้ แสดงถึงความสามารถในการตัดเฉือนที่ดีและให้ผิวตัดที่เรียบสม่ำเสมอ

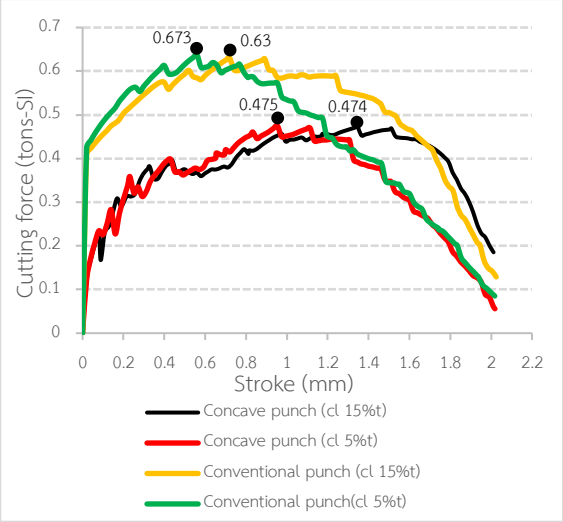


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัดชิ้นงาน

3.2 การวิเคราะห์แรงตัดที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะ

การเปลี่ยนแปลงของแรงตัด (Cutting force) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะชิ้นงานอลูมิเนียม AA1100 โดยเปรียบเทียบระหว่าง Conventional punch และ Concave punch ภายใต้ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%t และ 15%t สามารถสรุปลักษณะของแรงเจาะได้ในรูปที่ 6 Conventional punch มีลักษณะแรงเจาะที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของกระบวนการ เมื่อพันช์สัมผัสกับชิ้นงาน แรงจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (peak force) อย่างรวดเร็ว เช่น ที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%t แรงสูงสุดอยู่ที่ 0.63 ตัน จากนั้นแรงจะลดลงทันทีหลังเกิดการแตกร้าวของวัสดุ

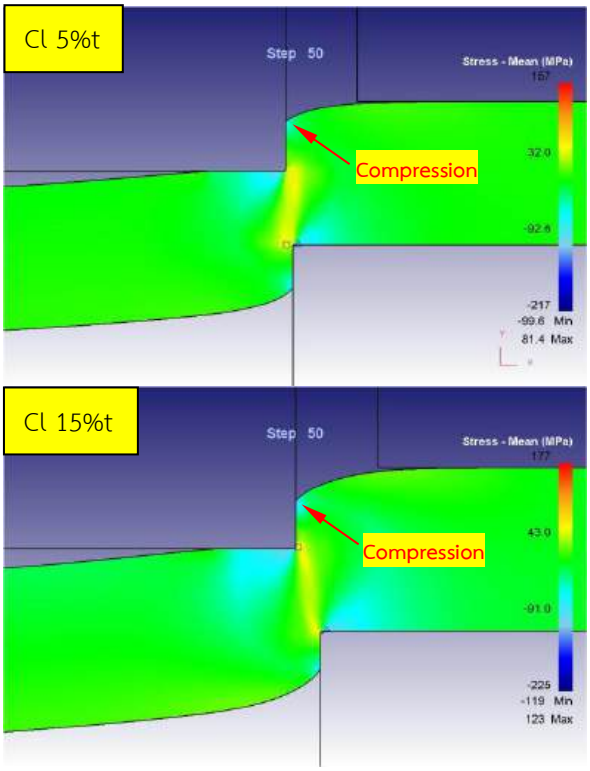
Concave punch ให้การเพิ่มขึ้นของแรงที่ราบเรียบและค่อยเป็นค่อยไปมากกว่า โดยเฉพาะในกรณี ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%t จะเห็นว่าแรงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนถึงจุดสูงสุดที่ 0.673 ตัน ก่อนค่อยๆ ลดลง ซึ่งแสดงถึงการถ่ายเทแรงและการเสียรูปที่ควบคุมได้ดีขึ้น ด้วยเหตุนี้ Concave punch ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงของแรงตัดระหว่างกระบวนการเจาะมีความเสถียร และช่วยลดแรงกระแทกเฉียบพลันเมื่อเทียบกับ Conventional punch ส่งผลให้คุณภาพของการตัดดีขึ้น



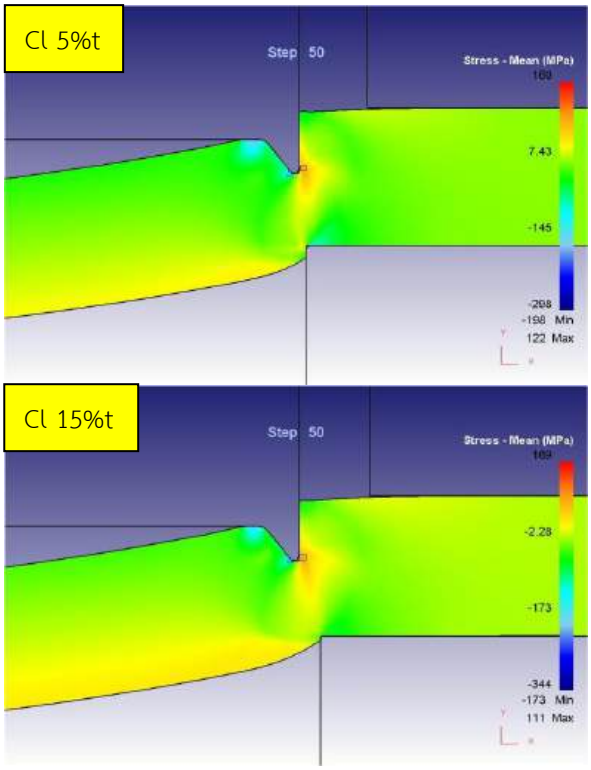
รูปที่ 6 เปรียบเทียบแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดเจาะ

3.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเจาะด้วยการจำลอง FEM

การกระจายตัวของความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress) กระบวนการเจาะชิ้นงานอลูมิเนียม AA1100 ด้วยพันช์สองรูปแบบ ได้แก่ Conventional punch และ Concave punch ภายใต้ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%t และ 15%t จากการจำลอง FEM พบว่าลักษณะการกระจายของความเค้นส่งผลต่อพฤติกรรมการเสียรูปของชิ้นงาน ในการตัดเจาะด้วย Conventional punch รูปที่ 7ก ความเค้นอัด เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดของชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดส่วนโค้งมน (Die roll) ขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ยังพบการกระจายของความเค้นดึงจากมุมคมตัดพันช์ ไปยังมุมคมตัดดาย (Die) อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การแตกของวัสดุเกิดขึ้นเร็ว และลดพื้นที่ของผิวเฉือนที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ Concave punch ความเค้นดึงเกิดขึ้นในระยะที่ลึกกว่า ทำให้รอยแตกเกิดขึ้นช้ากว่า Concave punch ช่วยกระจายความเค้นอย่างเหมาะสม ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเจาะ ซึ่งเป็นข้อดีกว่า Conventional punch



ก. Conventional punch



ข. Concave punch

รูปที่ 7 การกระจายความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress)

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของรูปทรงพันช์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานอลูมิเนียม AA1100 โดยเปรียบเทียบระหว่างพันช์แบบดั้งเดิม (Conventional punch) และมีคมตัดเอียง (Concave punch) ภายใต้เงื่อนไขช่องว่างระหว่างคมตัด 5%t และ 15%t ผ่านการทดลองจริงและการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM)

1. จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการหลายรายการ สามารถสรุปผลการศึกษานี้ได้ดังนี้: Concave punch สามารถสร้างพื้นผิวที่ถูกเฉือน (sheared surface) ได้ยาวกว่าและเรียบสม่ำเสมอกว่าหัวเจาะแบบดั้งเดิมในทุกระดับของ clearance

2. แรงเจาะที่เกิดขึ้นจาก Concave punch มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ราบเรียบและเสถียรกว่า ลดแรงกระแทกเฉียบพลัน และช่วยให้เกิดการควบคุมการแตกของวัสดุได้ดีขึ้น

3. การจำลอง FEM แสดงให้เห็นว่า Concave punch ช่วยลดความเข้มข้นของความเค้นดึงบริเวณขอบตัด ทำให้รอยแตกเกิดขึ้นล่าช้า ส่งผลให้เกิดการเฉือนที่มากขึ้น และ ส่วนโค้งมน (die roll) ที่น้อยลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ให้การช่วยเหลือเครื่องมือเครื่องจักรในการดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอของคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนซอทแวร์ในการคำนวณ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Mori K, Abe Y, Kidoma Y, Kadarno P (2013) Slight clearance punching of ultra- high strength steel sheets using punch having small round edge. Int J Mach Tools Manuf 65:41–46 https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.09.005

[2] Chumrum P, Koga N, Premanond V (2015) Experimental investigation of energy and punch wear in piercing of advanced high- strength steel sheet. Int J Adv Manuf Technol 79:1035–1042. https://doi 10.1007/s00170-015-6902-z

[3] Lo SP, Chang DY, Lin YY (2010) Relationship between the punch- die clearance and shearing quality of progressive shearing die. Mater and Manuf Process 25(8):786–792 https://doi.org/10.1080/10426910903447295

[4] Mucha J, Tutak J (2019) Analysis of the Influence of Blanking Clearance on the Wear of the Punch, the Change of the Burr Size and the Geometry of the Hook Blanked in the Hardened Steel Sheet. Materials 17;12(8):1261. https://doi.org/10.3390/ma12081261

[5] Jaafar N.A., Abdullah A.B., Samad Z. (2019) Effect of punching die angular clearance on punched hole quality of S275 mild steel sheet metal. Int J Adv Manuf Technol 101:1553–1563. https://doi.org/10.1007/s00170-018-3040-4

[6] Sahli M, Roizard X, Colas G, Assoul M, Carpentier L, Cornuault PH, Giampiccolo S, Barbe JP (2020) Modelling and numerical simulation of steel sheet fine blanking process. Procedia Manuf 50:395-400. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.08.072

[7] Aravind U, Gopalakrishnan CK, Uday C, Venugopal P (2017) The effect of using rubber for applying counter force in fine blanking of AISI 304 Stainless Steel. Procedia Eng 207:1523-1527. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.1072

[8] Choi HS, Kim BM, Ko DC (2014) Effect of clearance and inclined angle on sheared edge and tool failure in trimming of DP980 sheet. J

Mech Sci Technol 28(6):2319-2328. https://doi10.1007/s12206-014-0522-7

[9] Bao H, Sun H, Xing R, Cheng L, Zhang Z (2018) Finite element simulation of the punch with inclined edge in the sheet metal blanking process. Int J Comp Sci Math 9(4):377–389. https://doi.org/10.1504/IJCSM.2018.094671

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire EDM) สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

Investigation of Optimal Conditions for Wire Electrical Discharge Machining (Wire EDM) of Medium-Carbon Steel

ภมร อำกระโทก[1*] จารุพงษ์ บรรเทา[2] ธนสาร จอมพุทรา[3] รัชพัฒย์ ศาสตร์สูงเนิน[4] และ กฤษธนกร อิทธิพัทธ์เดชากุล[5]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Pamorn Amkrathok[1*] Jarupong Banthao[2] Thanasarn Chomputhra[3] Ratchapat Sartsoongnern[4] and Kittanakorn Ittipatdachakul[5]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: Pamorn.am@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกัดด้วยกระแสไฟฟ้า (Wire EDM) สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Experiment design) ใช้หลักการทากูชิ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน การทดลองดำเนินการด้วยเครื่อง Wire Cut EDM รุ่น DK7750 โดยพิจารณาปัจจัยหลัก ได้แก่ กระแสไฟฟ้า (1, 2, 3 แอมปแปร์), แรงดันไฟฟ้า (60, 62, 75 โวลต์) และอัตราป้อน (12, 14, 16 มิลลิเมตรต่อนาที) กระแสไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อควาวามเรียบผิวมากที่สุด จากกราฟพบว่าเมื่อเทียบกระแสไฟฟ้า 3 ค่า ความเรียบผิว (Ra) มีความแตกต่างกันตามระดับ เมื่อเทียบกับระดับ 1 และ 2 การเพิ่มกระแสไฟฟ้าไปยังระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยให้ผิวเรียบได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ที่มีอิทธิพลสูงในการควบคุมความเรียบผิวชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้ามีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra) โดยระดับแรงดันที่ต่ำ 62 โวลต์ ให้ค่าความเรียบผิวต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มแรงดันไปที่ 75 โวลต์ ค่าความเรียบผิวสูงขึ้น (Ra) แรงดันไฟฟ้าสูงจะทำให้ผิวหยาบขึ้น อัตราป้อนจึงไม่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra)
คำหลัก การกัดด้วยกระแสไฟฟ้า, เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง, อุตสาหกรรมแม่พิมพ์, ความเรียบผิวของชิ้นงาน, การออกแบบการทดลอง

Abstract

This research aims to study the optimal conditions for wire electrical discharge machining (Wire EDM) of medium carbon steel using experimental design techniques based on the Taguchi method to analyze the factors affecting the surface roughness of the workpiece. The experiment was conducted using a Wire Cut EDM machine, model DK7750. The main factors considered were: electrical current (1, 2, 3 amperes), voltage (60, 62, 75 volts), and feed rate (12, 14, 16 millimeters per minute).Among these

factors, electrical current had the most significant impact on surface roughness. The graph shows that surface roughness (Ra) varies with different current levels. When compared to levels 1 and 2, increasing the electrical current to an appropriate level can improve surface smoothness, making it a key factor influencing surface roughness control. Voltage also affects surface roughness (Ra); a lower voltage level of 62 volts yields the lowest surface roughness, while increasing the voltage to 75 volts results in higher Ra values, indicating rougher surfaces. Therefore, higher voltage leads to increased surface roughness. On the other hand, the feed rate was found to have no significant effect on surface roughness (Ra).

Keywords: Wire EDM, medium-carbon steel, mold industry, surface roughness, design of experiments

1. บทนำ

การกัดอาร์คชิ้นงานด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Electrical Discharge Machine: WEDM) เป็นกระบวนการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม ยานยนต์ และเครื่องมือและแม่พิมพ์ การกัดอาร์คด้วยเส้นลวดนั้นคล้ายกับกระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่ง (Electrode Discharge Machine: EDM) ซึ่งในกระบวนการกัดอาร์คจะไม่มีการสัมผัสกันระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน กระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด จึงได้พัฒนาเป็นกระบวนการตัดเฉือนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตชิ้นส่วนที่ซับซ้อนและมีความแม่นยำในการตัดสูง [1]

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์นิยมใช้เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel : S45C) ซึ่งมีสมบัติเด่นด้านความแข็งแรงและความทนทานต่อแรงกระแทก ในปัจจุบันมีการนำเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในการผลิตงานต่าง ๆ [2-4] ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางถือว่าเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจ Kumar et al., [5] กล่าวในกระบวนการตัดเฉือนภายใต้ความร้อนระหว่างการตัดเฉือนจะเกิดลักษณะการเปลี่ยนรูปแตกตัวเป็นเศษ ทำให้ชิ้นงานภายหลังกระบวนการตัดเฉือนมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบ ซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วลวด แรงในการสั่นของเส้นลวด แรงดันน้ำ กระแสไฟฟ้า Arikatla et al., [6] และ Kumar et al, [7-8] ได้ทำการศึกษาปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวด้วยปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ระยะเวลาเปิด-ปิด ความ ตึงลวด อัตราการป้อนเส้นลวด โดยพิจารณาผลการทดลองจากอัตราเร็วในการตัดชิ้นงาน ความต่างศักย์และ ความหยาบผิว พบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นความเรียบผิวของชิ้นงานจะหยาบมากขึ้น จากนั้นได้ทำการศึกษากระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวโดยทำการตัดแบบตัดหยาบและการตัดละเอียดด้วยปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้า

ความต่างศักย์ ระยะเวลาเปิด-ปิด พิจารณาผลการทดลองจากความกว้างรอยตัด ความหยาบผิว และอัตราขจัดเนื้องาน พบว่า เมื่อทำการตัดด้วยวิธีการตัดละเอียด พื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางดีขึ้นและ เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอัตราขจัดเนื้องานและความกว้างรอยตัดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากปัจจัยที่ผู้วิจัยได้ศึกษาแล้วนั้นพบว่าระดับความสูงของเส้นลวดถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดเฉือน ดังที่ Ishfaq et al., [9] ได้ทำการศึกษากระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 โดยการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ ศึกษาปัจจัยการทดลองได้แก่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความเร็วลวด และความสูงของเส้นลวด โดยออกแบบการทดลองของปัจจัย 4 ระดับ จากการทดลองดังกล่าวพบว่ากระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวมากที่สุดและระดับความสูงของเส้นลวดที่สูงที่สุดส่งผลต่อความหยาบผิวน้อยที่สุด De et al., [10] ได้ค้นหาตัวแปรที่สำคัญในการตั้งค่าเครื่องกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้าสำหรับการผลิตชิ้นส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยการ วิเคราะห์พารามิเตอร์การตัดเฉือนด้วยประจุไฟฟ้าด้วย เส้นลวดโมลิบดินัม ผลของที่ส่งผลต่อความกว้างรอยตัดและค่าความคลาดเคลื่อนรอยตัด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม

หลักสถิติด้วยการตอบสนองพื้นผิว พบว่า ค่าเวลาเปิดและปิดไฟฟ้าส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ไทเทเนียม ทั้งในด้านของอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด ลักษณะความสมบูรณ์ของพื้นผิวอันได้แก่ ความหยาบผิว รอยแตกร้าวขนาดเล็ก และลักษณะอื่นๆ

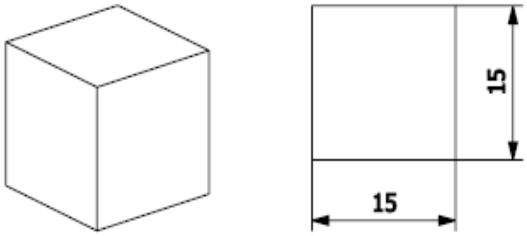
เมื่อพิจารณาผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ายังขาดการศึกษาในประเด็น ความหนาของชิ้นงาน กระแสไฟและความเร็วในการเดินเส้นลวด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้าของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of experiments: DOE) ร่วมกับบวิเคราะห์การแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อขนาดและความเรียบผิวของชิ้นงาน และพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้าของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

2. วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วัสดุทดลองเป็นเหล็ก เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง นำมาใช้แพร่หลายในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เส้นลวดที่ใช้ในการตัดเป็นเส้นลวดโมลิบดินัมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.18 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องจักรอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดยี่ห้อ Fang Zheng CNC Machine Tool Co., Ltd, ดังรูปที่ 1 การติดตั้งชิ้นงานดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ขนาดชิ้นงานมีเส้นรอบรูป 15 มิลลิเมตร มีความหนา15 มิลลิเมตร

รูปที่ 1 เครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด

รูปที่ 2 การติดตั้งชิ้นงาน



รูปที่ 3 ขนาดของเหล็กกล้าคาร์บอน ภายหลังการกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้า

2.2 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากการพัฒนาทางด้านวัสดุวิศวกรรมที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงขึ้น ส่งผลให้การหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสม ในกระบวนการตัดชิ้นงานด้วยเส้นลวดเป็นไปได้ยาก ทำให้เครื่องตัดชิ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้าไม่มีค่าตัวแปรที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการที่เหมาะสมของระดับตัวแปรโดยทำการทดลอง จากค่าอ้างอิงคู่มือที่มีความใกล้เคียงกับชนิดของชิ้นงานเพื่อให้ได้ลักษณะเฉพาะในการตัดชิ้นงานตามต้องการ กระแสไฟฟ้า (Ingress protection ratings: IP) มีค่า 1, 2 และ 3 แอมแปร์แรงดันไฟฟ้า (Conductivity: μs) มีค่า 60, 62 และ 75 โวลต์ อัตราป้อน (Feed of the main spindle: VF) มีค่า 12, 14 และ 16 แอมแปร์ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการออกแบบการทดลอง ด้วยวิธี (Experiment design) ใช้หลักการทากูชิ ทำการออกแบบการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ซึ่งระดับ

ต่าง ๆ ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยการทดลอง	หน่วย	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กระแสไฟฟ้า (IP)	แอมแปร์	1, 2, 3
แรงดันไฟฟ้า (µs)	ไมโครวินาที	60, 62, 75
อัตราป้อน (VF)	แอมแปร์	12, 14, 16
ชนิดของเส้นลวด	-	โมลิบดินัม
เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด	มิลลิเมตร	0.18
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	-	เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

3. ผลการวิจัย

ในกระบวนการทดลองผู้วิจัยได้ประเมินผลตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า โดยได้ทำการทดลองจากการศึกษาวรรณกรรมและจากค่าอ้างอิงคู่มือที่มีความใกล้เคียงกับชนิดของชิ้นงาน เพื่อหาค่าปัจจัยการทดลองที่เหมาะสมในระหว่างการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด ได้ออกแบบปัจจัยการทดลอง แรงดันไฟฟ้า (µs) กระแสไฟฟ้า (IP) อัตราป้อน (VF) ผลการวิเคราะห์จาก ค่าความกว้างรอยตัด(Kerf Width) และค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface roughness: Ra)

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการกัดอาร์คเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ด้วยเส้นลวด โดยทำการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า 60, 62 และ 75 โวลต์ กระแสไฟในการกัดอาร์ค 3 ระดับที่ 1, 2 และ3 แอมแปร์ อัตราป้อน มีค่า 12, 14 และ 16 แอมแปร์ ทำการตัดชิ้นงานเป็น รูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า โดยกำหนดให้มีความหนาชิ้นงานที่ 15 มิลลิเมตร และความกว้าง 15 มิลลิเมตร และความยาว 15 มิลลิเมตร โดยมีเส้นทางเดินลวดไฟฟ้า 60 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 จากนั้นหาประสิทธิภาพของปัจจัยการทดลองภายหลังกระบวนการกัดอาร์ค เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยพิจารณาจาก ความกว้างรอยตัดและความเรียบผิว (Surface roughness: Ra)

3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเรียบผิวของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Test) ดังรูปที่ 4 จากนั้นนำไปวัดความกว้างรอยตัดของชิ้นงาน ด้วยไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo ค่าความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5

รูปที่ 4 เครื่องวัดความเรียบผิว

รูปที่ 5 ไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo ค่าความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร

4. อภิปรายผล

จากปัจจัยในการทดลองที่ส่งผลของการกัดอาร์คชิ้นงานของเหล็กกล้าคาร์บอนภายหลังกระบวนการกัดอาร์คโดยปัจจัยปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, อัตราการป้อนตัด สามารถบันทึกผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตารางการเก็บข้อมูลผลทดลอง

ลำดับ	แรงดันไฟฟ้า (µs)	กระแสไฟฟ้า (IP)	อัตราป้อน (VF)	Kerf width (mm)	Kerf length (mm)	Ra µm
1	62	1	16	15.11	15.06	4.298
2	75	2	12	15.06	15.10	4.649
3	62	3	16	15.12	15.10	4.649
4	60	1	14	15.06	15.06	5.278
5	62	1	12	15.08	15.13	5.346
6	60	3	12	15.05	15.04	7.122
7	75	2	16	15.11	15.11	5.858
8	60	1	16	15.11	15.11	5.533
9	60	2	14	15.05	15.04	5.875
10	60	2	12	15.11	15.11	4.912
11	60	1	12	15.12	15.11	4.579
12	62	1	14	15.10	15.10	3.234
13	62	2	16	15.06	15.06	2.969
14	62	2	14	15.12	15.11	5.459
15	75	1	12	15.12	15.11	6.132
16	75	1	14	14.98	15.07	8.786
17	75	3	14	15.12	15.06	5.612
18	75	3	16	14.13	15.13	6.046
19	60	3	14	15.13	15.13	4.785
20	62	2	12	15.08	15.07	4.785
21	62	3	12	15.13	15.14	4.792
22	75	1	16	15.08	15.08	5.611
23	75	2	14	15.07	15.08	7.323
24	60	2	16	15.06	15.07	8.635
25	75	3	12	15.13	15.14	4.332
26	62	3	14	15.13	15.14	4.332
27	60	3	16	15.12	15.13	4.153

ผลจากการออกแบบการทดลอง สามารถดำเนินการตัดชิ้นงานและภายหลังกระบวนการกัดอาร์คชิ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้า จากตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกัน สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเรียบผิวและขนาดของชิ้นงาน

4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปร

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองการกัดอาร์คชิ้นงานด้วยเส้นลวด ได้นำเอาค่าความเรียบผิวและค่าขนาดความกว้างและความยาว ดังนี้

ตารางที่ 3 Analysis of Variance ความเรียบผิวต่อแรงดันไฟฟ้า

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
แรงดันไฟฟ้า	2	12.54	6.269	4.15	0.028
Error	24	36.27	1.511		
Total	26	48.81			

ตารางที่ 4 Analysis of Variance ความเรียบผิวต่อกระแสไฟฟ้า

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
แรงดันไฟฟ้า	2	1.271	0.6357	0.32	0.729
Error	24	47.540	1.9808		
Total	26	48.812			

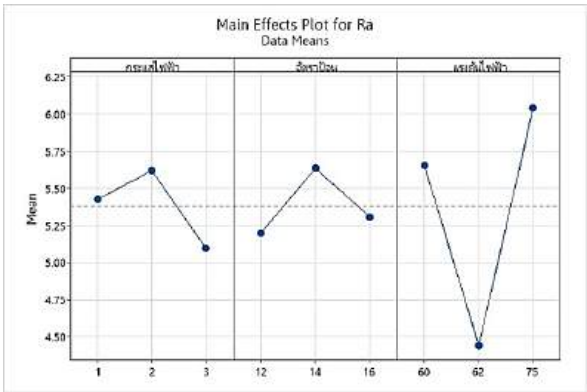
ตารางที่ 5 Analysis of Variance ความยาวต่อกระแสไฟฟ้า

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
แรงดันไฟฟ้า	2	0.003941	0.001970	2.18	0.135
Error	24	0.021711	0.000905		
Total	26	0.025652	0.025652		

ตารางที่ 6 Analysis of Variance ความกว้างต่อกระแสไฟฟ้า

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
แรงดันไฟฟ้า	2	0.03434	0.01717	0.46	0.635
Error	24	0.89102	0.03713		
Total	26	0.92536			

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยในการทดลองด้วยเทนิคทากูชิ ทำการเปรียบเทียบผลของการกัดอาร์คชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง และสามารถนำผลจากการวิเคราะห์มาใช้กำหนดปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีในการกัดอาร์คชิ้นงาน และเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการกัดอาร์คเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางได้ ผลจากการเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมจากการใช้เทคนิคทากูชิ พบปัจจัยประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า มีผลกระทบต่อการกัดอาร์คชิ้นงานเหล็กกล้าคารบอนปานกลางอย่างมีนัยสำคัญ

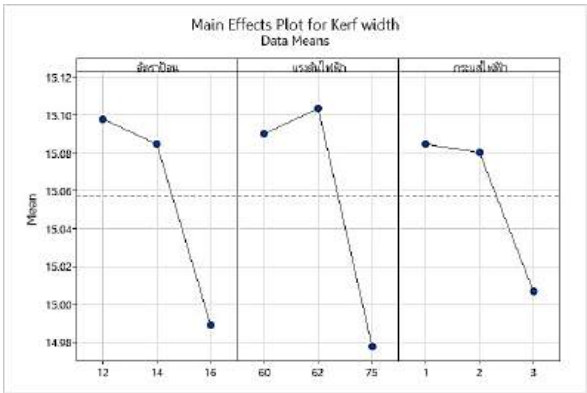


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าอัตราป้อนและแรงดันไฟฟ้าต่อความเรียบผิว

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยต่อความเรียบผิว (Ra) 1. กระแสไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคววามเรียบผิวมากที่สุด จากกราฟพบว่าเมื่อเทียบกระแสไฟฟ้า 3 ค่า ความเรียบผิว (Ra) มีความแตกต่างกันตามระดับ เมื่อเทียบกับระดับ 1 และ 2 การเพิ่มกระแสไฟฟ้าไปยังระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยให้ผิวเรียบได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ที่มีอิทธิพลสูงในการควบคุมความเรียบผิวชิ้นงาน

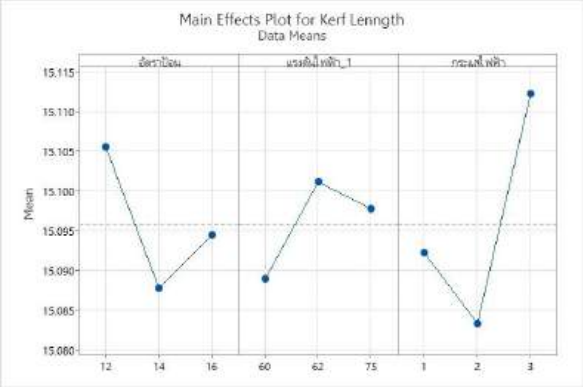
2. อัตราป้อน มีผลกระทบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าปัจจัย 3 ระดับที่ 12, 14, และ16 ความเรียบผิวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อัตราป้อนจึงไม่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra)

3. แรงดันไฟฟ้ามีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra) โดยระดับแรงดันที่ต่ำ 62 โวลต์ ให้ค่าความเรียบผิวต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มแรงดันไปที่ 75 โวลต์ ค่าความเรียบผิวสูงขึ้น (Ra) แรงดันไฟฟ้าสูงจะทำให้ผิวหยาบขึ้น



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าอัตราป้อนและแรงดันไฟฟ้าต่อความกว้าง

จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อน (Feed Rate) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) มีผลต่อความกว้างรอยตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 12 เป็น 16 มิลลิเมตรต่อนาที ความกว้างของรอยตัดมีแนวโน้มลดลง กระแสไฟฟ้าเมื่อเพิ่มจาก1 แอมแปร์เป็น 3 แอมแปร์ทำให้รอยตัดแคบลง โดยค่าแรงดัน ที่ 62 โวลต์ทำให้รอยตัดกว้าง และเมื่อเพิ่มเป็น75 โวลต์ทำให้รอยตัดแคบลง หากต้องการลดความกว้างของรอยตัดให้แคบที่สุด ควรใช้อัตราป้อน 16 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ 75 โวลต์ จะส่งผลให้ ความกว้าง (Kerf width) ต่ำสุดจากการทดลอง



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าอัตราป้อนและแรงดันไฟฟ้าต่อความยาว

จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อน (Feed Rate) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) มีผลต่อความยาวรอยตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 12 เป็น 16 มิลลิเมตรต่อนาที ความยาวของรอยตัดมีแนวโน้มเพิ่ม กระแสไฟฟ้าเมื่อเพิ่มจาก 1 แอมแปร์เป็น 3 แอมแปร์ทำให้รอยตัดก้วางขึ้น โดยค่าแรงดัน ที่ 62 โวลต์ทำให้รอยตัดกว้าง และเมื่อเพิ่มเป็น75โวลต์ทำให้รอยตัดแคบลง หากต้องการลดความกว้างของรอยตัดให้แคบที่สุด ควรใช้อัตราป้อน 16 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ 75 โวลต์ จะส่งผลให้ ความยาว (Kerf Lenngth) ต่ำสุดจากการทดลอง

4.2 อภิปรายผล

การเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมในการกัดอาร์คชิ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการทดลอง (Experiment design) ใช้หลักการทากูชิ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลจากการออกแบบการทดลอง สามารถนำค่าการทดลองและหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกัดอาร์คด้วยเส้นลวด จึงสามารถนำวิธีการวิเคราะห์ปใช้ในการปรับตัวให้เหมาะสมในการกัดอาร์คชิ้นงานด้วยลวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุป

ในการศึกษาผลของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและอัตราป้อน ที่ระดับต่างกัน ในกระบวนการกัดอาร์ควัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเส้นลวดโมลิบดินัมผลการทดลองสรุปได้ ดังนี้

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยต่อความเรียบผิว (Ra) 1. กระแสไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวมากที่สุด จากกราฟพบว่าเมื่อเทียบกระแสไฟฟ้า 3 ค่า ความเรียบผิว (Ra) มีความแตกต่างกันตามระดับ เมื่อเทียบกับระดับ 1 และ 2 การเพิ่มกระแสไฟฟ้าไปยังระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยให้ผิวเรียบได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ที่มีอิทธิพลสูงในการควบคุมความเรียบผิวชิ้นงาน

2. อัตราป้อน มีผลกระทบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าปัจจัย 3 ระดับที่ 12, 14, และ16 ความเรียบผิวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อัตราป้อนจึงไม่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra)

3. แรงดันไฟฟ้ามีผลกระทบต่อความเรียบผิว (Ra) โดยระดับแรงดันที่ต่ำ 62 โวลต์ ให้ค่าความเรียบผิวต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มแรงดันไปที่ 75 โวลต์ ค่าความเรียบผิวสูงขึ้น (Ra) แรงดันไฟฟ้าสูงจะทำให้ผิวหยาบขึ้น

4. จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อน (Feed Rate) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) มีผลต่อความกว้างรอยตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 12 เป็น 16 มิลลิเมตรต่อนาที ความกว้างของรอยตัดมีแนวโน้มลดลง กระแสไฟฟ้าเมื่อเพิ่มจาก1 แอมแปร์เป็น 3 แอมแปร์ทำให้รอยตัดแคบลง โดยค่าแรงดัน ที่ 62 โวลต์ทำให้รอยตัดกว้าง และเมื่อเพิ่มเป็น75 โวลต์ทำให้รอยตัดแคบลง หากต้องการลดความกว้างของรอยตัดให้แคบที่สุด ควรใช้อัตราป้อน 16 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 แอมแปร์ และ

แรงดันไฟฟ้าที่ 75 โวลต์ จะส่งผลให้ ความกว้าง (Kerf width) ต่ำสุดจากการทดลอง

5. จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อน (Feed Rate) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) มีผลต่อความยาวรอยตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 12 เป็น 16 มิลลิเมตรต่อนาที ความยาวของรอยตัดมีแนวโน้มเพิ่ม กระแสไฟฟ้าเมื่อเพิ่มจาก 1 แอมแปร์เป็น 3 แอมแปร์ทำให้รอยตัดก้วางขึ้น โดยค่าแรงดัน ที่ 62 โวลต์ทำให้รอยตัดกว้าง และเมื่อเพิ่มเป็น75โวลต์ทำให้รอยตัดแคบลง หากต้องการลดความกว้างของรอยตัดให้แคบที่สุด ควรใช้อัตราป้อน 16 มิลลิเมตรต่อนนาที กระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ 75 โวลต์ จะส่งผลให้ ความยาว (Kerf Lenngth) ต่ำสุดจากการทดลอง

6. การทดสอบชิ้นงานภายหลังกระบวนการกัดอาร์ค ทำให้ทราบว่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ส่งผลต่อชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ต่ำเกินไปมากเกินไป ทำให้ชิ้นงานผิวหยาบไม่เรียบและส่งผลต่อความเสียหายได้เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมาคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ โปรแกรมวิชาช่างผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ และโปรแกรมวิชาช่างกลโรงงาน ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับทำงานวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปทิตา นาควงษ์ และ ธีรพล ทรัพย์บุญ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์, สาขาวิศวกรรมการจัดการ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 2563 S.S. Nair and N. Joshi, Trends in WireElectrical Discharge Machining (WEDM): A Review, Intemnational Journal of Engineering Research and Applications, 2014, 4,71 -76.

[2] T. Liu, J. Lin, Y. Guan, Z. Xie, L. Zhu and J. Zhai, Effects of Ultrasonic Vibration onthe Compression of Pure Titanium,Ultrasonics, 2018, 89, 26 - 33.

[3] A.V.S. Prasad Ram, R. Koona and G.L. Datta, An Experimental Study of Wire EDM on Ti-6Al-4V Alloy", Procedia Materials Science, 2014, 5, 2567 - 2576.

[4] S.P. Arikatla, K.T. Mannan and A. Krishnaiah, Parametric Optimization in Wire Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy Using Response Surface Methodology, Materials Today: Proceedings, 2017, 4, 1434 - 1441.

[5] J. Kumar and J. S. Khamba, An Experimental Study on Ultrasonic Machining of Pure Titanium Using Designed Experiments, Joumal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Enaineering. 2008.0. 2008. 30(3). 231 -238.

[6] S.P. Arikatla, K.T.I Mannan and A. Krishnaiah, Surface Integrity Characteristics in Wire Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy during Main cut and Trim cuts, Proceedings Materials Today: Proceedings, 2007, 4(2),1500 - 1509.

[7] A. Kumar, V. Kumar and J. Kumar, An Investigation into Machining Characteristics of Commercially Pure Titanium (Grade-2) Using CNC WEDM, Applied Mechanics and Materials, 2012, 159. 56 - 68.

[8] A. Kumar, V. Kumar, J. Kumar, Surface Integrity and Material Transfer Investigation of Pure Titanium for Rough Cut Surface after Wire Electro Discharge Machining, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering

Manufacture, 2013, 228, 880 - 901.

[9] K. Ishfaq, N Ahmad, M. Jawad, M.A. Ali and A.M. Al-Ahmari, Evaluating Material's Interaction in Wire Electrical Discharge Machining of Stainless Steel (304) for Simultaneous Optimization of Conflicting Responses. Materials, 2019, 12(12), Article No. 1940, 1 - 15.

[10] D. De, T. Nandi and A. Bandyopadhyay, Analysis of Machining Parameters for Wire Cut Electrical Discharge Machining of Pure Titanium using Response Surface Methodology, Materials Today: Proceedings, 2018, 5, 2(1), 5374 - 5383.

[11] H.R. Tonday and A.M. Tigga, Analysis of Effects of Cutting Parameters of Wiro Electrical Discharge Machining on Matorial Removal Rate and Surface Integrity, IOP Conference Series: Materials Science and Enginooring, 2016, 115, 1-7.

[12] B.C. Khatrl and P.P. Rathod, Investigations on The Performance of Concentrlo Flow Dry Wire Electric Discharge Machining (WEDM) for Thin Sheots of Titanlum Alloy, The IIntemational Joumal of Advanced Manutacturing Technology, 2017, 92,1945-1954.

[13] A. Shah, N. A. Muftl, D. Rakwal and E. Bamberg, Material Removal Rato, Korf, and Surface Roughness of Tungsten Carbide Machined with Wire Electrical Discharge Machining, Joumal of Materials Enginooring and Performanco, 2010, 20, 71 -76.

[14] T. Konishi, S. Hablb, A. Okada, Y. Okamoto, and H. Kurhara, Infuence of Nozzie Jot Flushing on Wire Deflection and Broakago, Intemnational Conference on Machining Materials and Mechanical Technology (IC3MT), 2014, 1-5.

[15] K. Takuro, A. Okada, Y. Okamoto and H. Kurihara, Effect of Titing Jet Flushing Nozzie on Wire EDM Performanca, Intemnational Joumal of Electioal Machining. 2015, 20, 3-8.

[16] A. Okada, Y. Uno, S. Onoda, S. Hablb, Computational Fluid Dynamics Analysis of Working Fluld flow and Debris Movement In Wire EDMed Kert, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2009, 58 (1), 209-212

การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบตะขอแขวนเสื้อด้วยเทคนิคโทโพโลยี

Enhancing Coat Hook Design Efficiency through Topology Optimization Techniques

พิมลรัตน์ พรมยศ[1] อดิเรก ชัยนวกุล[1] ธีรวัฒน์ แสงกาศ[1] ศุภชัย อัครนรากุล[1]
พิเชษฐ์ โค้วตระกูล[2] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[3] ธนภูมิ มะวิญธร[4] และ ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง[1*]
[1*] หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[2] หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[4]กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

Pimonrat Pomyot[1] Adirake Chainawakul[1] Teerawat Sangkas[1] Supachai Aukaranarakul
Pitchet Kowtakul[2] Jittiwat Nithikarnjanatharn[3] Tanapoom Mawintorn[4] and Supasit Manokruang[1*]
[1*] Tools and Die Engineering Program, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
[2] Bachelor of Science in Technical Education Program in Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[4]Department of Mechanical Engineering
Chulachomklao Royal Military Academy
E-mail: supasit.m@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ออกแบบชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อด้วยเทคนิค Topology optimization เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบในด้านลดการใช้วัสดุ แต่ยังคงสามารถรับน้ำหนักตามหน้าที่การทำงาน และไม่เกิดความเสียหาย การทดลองนี้เริ่มจากชิ้นงานต้นแบบตะขอแขวนเสื้อต้นแบบ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุด้วยวิธีการ Topology optimization ที่ 10%, 30% และ 50% ตามลำดับ และวัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ อะคริโลไนไทรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene: ABS) พอลิแลคติคแอซิด (Polylactic Acid: PLA) และ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ไกลคอล โมดิฟาย (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified: PETG) ซึ่งแต่วัสดุมีเงื่อนไขการขึ้นรูปชิ้นงาน และคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติเพื่อเปรียบเทียบในด้านต่างๆ เช่น การรับน้ำหนัก ต้นทุนต่อหน่วย และเวลาในการผลิต ผลการทดลองสรุปได้ว่า เงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุที่ 30% เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสม โดย

วัสดุ ABS รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 10 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 13.06 กรัม (ลดลง 2.94 กรัม หรือ 18.38%) ราคาต่อชิ้นที่ 6.65 บาท/ชิ้น (ลดลง 1.27 กรัม หรือ 16.04%) และเวลาในการผลิตที่ 1:45 ชั่วโมง (ลดลง 15 นาที หรือ 12.50%) วัสดุ PLA รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 15 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 15.23 กรัม (ลดลง 1.77 กรัม หรือ 10.41%) ราคาต่อชิ้นที่ 7.14 บาท/ชิ้น (ลดลง 0.86 กรัม หรือ 10.75%) และเวลาในการผลิตที่ 1:47 ชั่วโมง (ลดลง 23 นาที หรือ 17.69%) และวัสดุ PETG รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 10 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 15.38 กรัม (ลดลง 2.62 กรัม หรือ 14.56%) ราคาต่อชิ้นที่ 10.90 บาท/ชิ้น (ลดลง 1.86 กรัม หรือ 14.58%) และเวลาในการผลิตที่ 1:46 ชั่วโมง (ลดลง 34 นาที หรือ 24.29%) ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการนำเอาเทคนิค Topology optimization เข้ามาช่วยออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยพัฒนาประสิทธิภาพดังกล่าว และยังสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาในงานผลิตภัณฑ์อื่นด้วยเช่นกัน

คำหลัก ตะขอแขวนเสื้อ, การเพิ่มประสิทธิภาพโทโพโลยี, การผลิตแบบเติมเนื้อ, การพิมพ์สามมิติ

Abstract

This research aims to design a coat hook using Topology Optimization techniques to enhance design efficiency by reducing material usage while maintaining load-bearing capacity and preventing damage. The experiment begins with a prototype coat hook and compares it with conditions of material reduction using Topology Optimization at 10%, 30%, and 50%, respectively. The materials used in the tests are Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polylactic Acid (PLA), and Polyethylene Terephthalate Glycol-modified (PETG), each with different molding conditions and properties. These materials are 3D printed for comparison in various aspects, such as load-bearing capacity, cost per unit, and production time. The experimental results conclude that the 30% material reduction condition is optimal. ABS material can bear a maximum load of 10 kilograms, with the coat hook weighing 13.06 grams (a reduction of 2.94 grams or 18.38%), costing 6.65 THB per piece (a reduction of 1.27 THB or 16.04%), and a production time of 1:45 hours (a reduction of 15 minutes or 12.50%). PLA material can bear a maximum load of 15 kilograms, with the coat hook weighing 15.23 grams (a reduction of 1.77 grams or 10.41%), costing 7.14 THB per piece (a reduction of 0.86 THB or 10.75%), and a production time of 1:47 hours (a reduction of 23 minutes or 17.69%). PETG material can bear a maximum load of 10 kilograms, with the coat hook weighing 15.38 grams (a reduction of 2.62 grams or 14.56%), costing 10.90 THB per piece (a reduction of 1.86 THB or 14.58%), and a production time of 1:46 hours (a reduction of 34 minutes or 24.29%). Therefore, this research demonstrates the application of Topology Optimization techniques in product design to enhance efficiency. These techniques can be further applied and developed in other product manufacturing processes.

Keywords: Coat hook, Topology optimization, Additive Manufacturing, 3D Printing

1. บทนำ

ปัจจุบันที่เทคโนโลยีการผลิตพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว การออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ ก็มีความซับซ้อนและต้องการประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยๆ หนึ่งในเป้าหมายหลักของการออกแบบผลิตภัณฑ์คือการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาแข็งแรง และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ทรัพยากรให้น้อยที่สุด การผลิตแบบเติมเนื้อ (Additive Manufacturing, AM) เป็นกระบวนการเติมเนื้อวัสดุเป็นชั้นทับซ้อนกันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานที่ออกแบบไว้ จุดเด่นของกระบวนการดังกล่าวสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ดี และยังสามารถช่วยในการลดการใช้วัสดุได้ [1] เทคนิค Topology Optimization [2-4] อยู่ในกลุ่มกระบวนการผลิตแบบเติมเนื้อ (AM) เป็นเครื่องมือช่วยในการบรรลุเป้าหมายดังกล่าว โดยให้สามารถออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ Topology Optimization คือกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของชิ้นงาน โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เช่น แรงที่กระทำ จุดยึด และข้อจำกัดอื่น ๆ [5] จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการวิเคราะห์และหาโครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด ซึ่งแตกต่างจากวิธีการออกแบบแบบดั้งเดิมที่มักจะเริ่มต้นจากรูปทรงมาตรฐานแล้วมีการปรับเปลี่ยนตามเงื่อนไขของการใช้งานต่างๆ กรณีศึกษาตัวอย่างคือ ตะขอแขวนเสื้อเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานทั่วไปในชีวิตประจำวัน การออกแบบตะขอแขวนเสื้อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ไม่เพียงแต่ต้องรับน้ำหนักได้ดี แต่ยังต้องมีรูปทรงที่สวยงามและใช้งานได้สะดวก การนำเทคนิค

Topology Optimization มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตะขอแขวนเสื้อ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ความสำคัญของ Topology Optimization ในการออกแบบตะขอแขวนเสื้อช่วยให้สามารถออกแบบตะขอแขวนเสื้อที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักเสื้อผ้า เพิ่มความแข็งแรง รูปทรงที่ได้จากการวิเคราะห์จะช่วยให้ตะขอแขวนเสื้อสามารถกระจายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีความแข็งแรงทนทาน ประหยัดวัสดุ และการลดปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผลิตจะช่วยลดต้นทุนการผลิต

งานวิจัยนี้การออกแบบผลิตภัณฑ์ตะขอแขวนเสื้อด้วยเทคนิค Topology Optimization เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพหน้าที่การทำงาน และยังเป็นแนวทางประยุกต์สร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตแบบเติมเนื้อ (Additive Manufacturing: AM)

การผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing: AM) ในปัจจุบันถูกเรียกว่าเทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติ (Three-Dimensional Printing: 3DP) เป็นกระบวนการสร้างวัตถุสามมิติ โดยจะสร้างวัตถุเรียงกันเป็นชั้นต่อเนื่องในแนวแกน Z ซึ่งโดยปกติจะใช้วัสดุที่เป็นพลาสติกหรือโลหะ โดยวิธีการแบบ AM เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานจาก ข้อมูล 3 มิติ (3D Data) โดยมีวิธีการ คือ วัสดุจะถูกขึ้นรูปตามรูปทรงที่ได้จากแบบจำลอง (Computer Aided Design: CAD) ภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์ ทั้งในรูปแบบข้อมูล 3 มิติ หรือในรูปแบบชุดข้อมูล 2 มิติ ที่เรียงซ้อนเป็นชั้น ๆ (Sequential layers) ซึ่งทำให้สามารถขึ้นรูปได้ทุกรูปทรง [6-7]

2.2 Topology Optimization Method

Topology Optimization หรือ การเพิ่มประสิทธิภาพโทโพโลยี เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมโครงสร้าง ทำให้สามารถค้นหารูปทรงที่เหมาะสมที่สุดของชิ้นงานภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด เช่น แรงที่กระทำ น้ำหนัก และปริมาตร หลักการพื้นฐานเริ่มต้นจากโดเมน (Domain) ที่มีวัสดุบรรจุอยู่เต็ม กำหนดเงื่อนไขขอบเขต บริเวณที่ตรึง บริเวณที่รับแรง และข้อจำกัดอื่น ๆ การกำหนดฟังก์ชันที่ต้องการให้ระบบค้นหา การลดน้ำหนัก หรือการเพิ่มความแข็งแรง การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างและปรับเปลี่ยนความหนาแน่นของวัสดุในแต่ละจุดซ้ำๆ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด และสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่ควรมีวัสดุและบริเวณที่สามารถนำออกได้ [8] ทำให้ได้รูปทรงที่เหมาะสมที่สุด ตามสมการดังนี้

$$Minmize\ C = u^T K u \quad (1)$$

เมื่อ C คือ การปริมาณเนื้อวัสดุ, u คือเวกเตอร์ระยะทางกระจัด (Displacement vector), K คือ เมทริกซ์โครงสร้าง (global stiffness matrix) [9]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

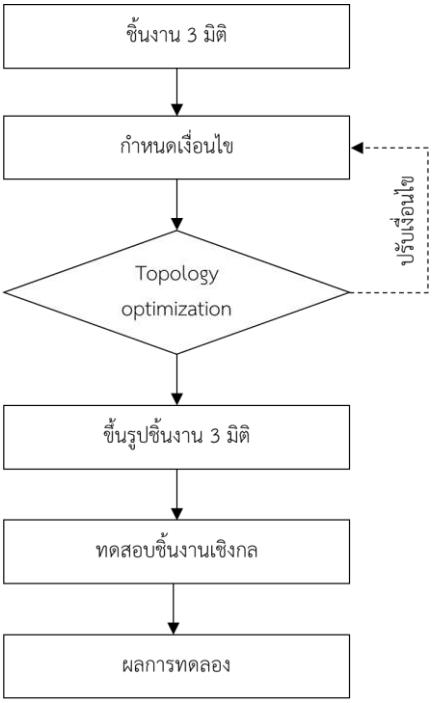
การดำเนินงานวิจัยนี้ นำกรณีศึกษาตะขอแขวนเสื้อ เพื่อปรับปรุงการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน มุ่งเน้นการวิเคราะห์และปรับปรุงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีน้ำหนักลงลด ความแข็งแรงที่เพียงพอในการใช้งานมีการดำเนินการดังต่อนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

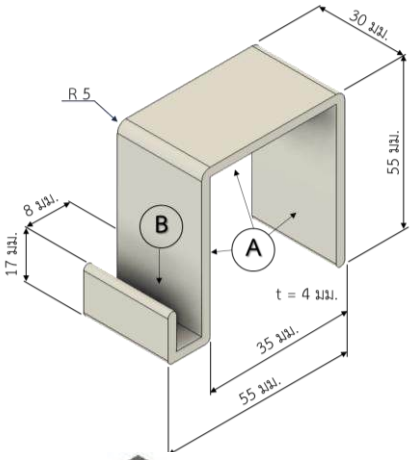
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เริ่มจากชิ้นงาน 3 มิติ ทำการกำหนดเงื่อนไข คือ เป้าหมายของการลดเนื้อวัสดุ (Reduce) ตำแหน่งน้ำหนักที่กระทำต่อชิ้นงาน (Force) และจุดอยู่กับที่ (Fixed) จากนั้นทำการวิเคราะห์ Topology optimization ผลการวิจัยแต่ละเงื่อนไงทำการขึ้นรูป 3 มิติ ทำสอบชิ้นงานเชิงกล และสรุปผลการวิจัยในแต่ละเงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 1

3.2. ขนาดตะขอแขวนเสื้อกรณีศึกษา

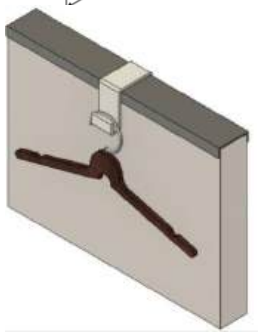
ตะขอแขวนเสื้อกรณีศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อแขวนเสื้อจำนวน 1 ชุด มีขนาดความยาว 55 มม. สูง 55 มม. ความกว้าง 30 มม. ความสูงตะขอ 17 มม. ช่องกว้างตะขอ 8 มม. ความหนา 4 มม. โดยตำแหน่ง A คือบริเวณจุดยึดของชิ้นงาน และตำแหน่ง B คือ บริเวณจุดรับน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ตะขอแขวนเสื้อกรณีศึกษา
(ก) ขนาดตะขอแขวนเสื้อกรณีศึกษา
(ข) ตำแหน่งจุดยึดและจุดรับน้ำหนัก

3.3. กระบวนการทำ Topology optimization

ขั้นตอนการทำ Topology optimization โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินการ Autodesk Fusion 360 และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การกำหนดวัสดุ

วัสดุมีส่วนสำคัญในการขึ้นรูปและการรับแรงของโครงสร้างชิ้นงาน การทดลองนี้เลือกใช้ 3 ชนิด เพื่อทำการเปรียบเทียบ ดังต่อไปนี้

- อะคริโลไนไทรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene: ABS)

วัสดุที่สามารถหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้งเมื่อได้รับความร้อน และจะเย็นตัวและแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในเชิงโครงสร้างทางเคมี [10]

- พอลิแลคติคแอซิด (Polylactic Acid: PLA)

PLA เป็นวัสดุพลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้รับความนิยมในงาน 3D Printing เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีคุณสมบัติการย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ PLA ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ข้าวโพดหรือมันสำปะหลัง ซึ่งทำให้สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะที่เหมาะสม [11]

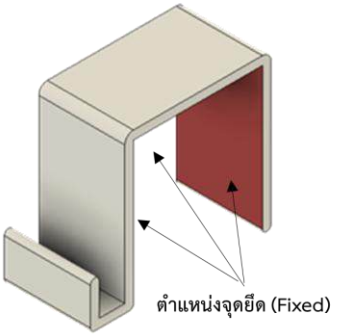
- พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต ไกลคอล โมดิฟาย (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified: PETG)

PETG เป็นวัสดุพลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ความใสและให้ผิวมันวาว ยืดหยุ่น ทนทานต่อสารเคมีบางชนิด เช่น กรดและด่าง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสารเคมีเจือปน การเติมไกลคอลใน PET ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น [12]

3.3.2 การกำหนดจุดยึด (Fixed)

การกำหนดตำแหน่งจุดยึด (Fixed) เพื่อจำลองตำแหน่งที่ไม่มาการเคลื่อนที่ในแนวแกน x, y, และ z เปรียบเสมือนตำแหน่งนั้นๆไม่มีการเคลื่อนไหว เมื่อมีการจำลองแรงกระทำต่อชิ้นงานจะสามารถทราบถึงเงื่อนไขของการปรับปรุงชิ้นงาน ซึ่งในกรณีศึกษาตะขอแขวนเสื้อ มีตำแหน่งจุดยึด (Fixed) บริเวณช่องความกว้างที่ 35 มม. เนื่องจากเป็น

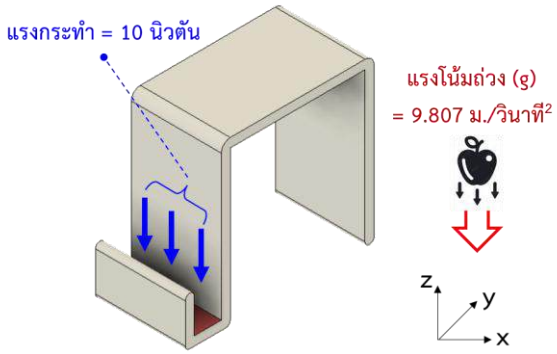
ตำแหน่งในการวางตะขอแขวนเสื้อ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งจุดยึดของตะขอแขวนเสื้อ (Fixed)

3.3.3 การกำหนดแรงกระทำ

แรงมีผลต่อการออกแบบเป็นอย่างมาก สาเหตุจากส่งผลกระทบโดยตรงกับรูปแบบของการรับแรงตะขอแขวนเสื้อ สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบแรงกระทำกับตะขอแขวนเสื้อ 1 ชุด/ตะขอแขวนเสื้อ โดยที่ 1 ชุดพร้อมไม้แขวนเสื้อมีน้ำหนักรวมที่ 500 กรัม น้ำหนักการทดสอบรวมกับค่าความปลอดภัยที่ 2 เท่า คือ 1 กิโลกรัม หรือ 9.8067 นิวตัน ดังแรงที่กระทำกับตะขอแขวนเสื้อประมาณ 10 นิวตัน อีกทั้งกำหนดแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity, g) ที่ 9.807 ม./วินาที^{2} [13] แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4

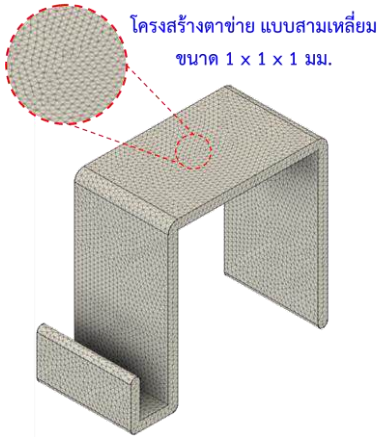


รูปที่ 4 การกำหนดตำแหน่งแรงกระทำที่ 10 นิวตัน และแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ที่ 9.807 ม./วินาที^{2}

ทำการทดลองทั้ง 3 วัสดุ ด้วยวิธีและขั้นตอนเดียวกัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลที่จะได้รับของการทดลอง

3.3.4 การกำหนดโครงสร้างตาข่าย (Mesh)

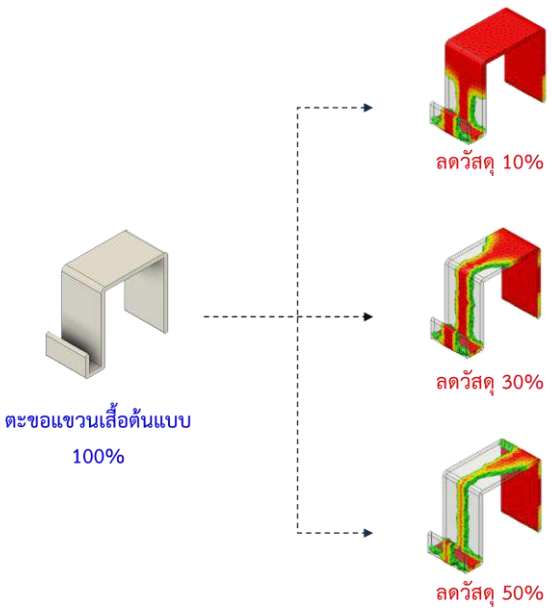
การกำหนดขนาดโครงสร้างตาข่ายมีความสำคัญอย่างมากของการทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite Element Analysis: FEA) [14] รูปร่างของการกำหนดโครงสร้างตาข่าย (Mesh) รูปแบบสามเหลี่ยม [15] ขนาดของโครงสร้างตาข่ายที่ 1 x 1 x 1 มม. แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การประมวลผลโครงสร้างตาข่ายของชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อ

3.3.5 การกำหนดเงื่อนไขและการประมวลผล

การกำหนดเงื่อนไขของเทคนิค Topology optimization นี้ เป็นการกำหนดเงื่อนไขการลดเนื้อของวัสดุเทียบกับต้นแบบที่ 100% การทดลองนี้ทำการกำหนดเงื่อนไขลดเนื้อวัสดุที่ 10%, 30% และ 50% ของแต่ละวัสดุ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การกำหนดเงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุและรูปร่างของการประมวลผลด้วยเทคนิค Topology optimization

3.3.6 การสร้างแบบ 3 มิติ

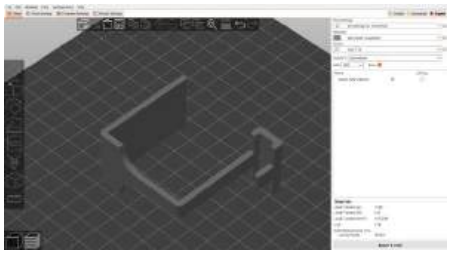
หลังจากลดเนื้อวัสดุตามเงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุที่ 10%, 30% และ 50% ทำการสร้างแบบ 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การสร้างแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 ของการลดเนื้อวัสดุตะขอแขวนเสื้อ

3.4 การขึ้นรูปตะขอแขวนเสื้อด้วยการพิมพ์สามมิติ

3.4.1 กระบวนการแบ่งชั้นเนื้อวัสดุด้วยโปรแกรม PrusaSlicer

ชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้าง เข้าสู่กระบวนการ Slicing Software ผ่านโปรแกรม PrusaSlicer เพื่อเตรียมไฟล์สำหรับการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ โดยจะทำหน้าที่แปลงไฟล์โมเดล 3 มิติ (เช่น STL, OBJ) เพื่อแปลงเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ G-code [16] ซึ่งต้องคำนึงถึงการเลือกวางแนวของชิ้นงานตามความเหมาะสมในการใช้งานของชิ้นงานนั้น ๆ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวางตำแหน่งตะขอแขวนเสื้อในโปรแกรม PrusaSlicer

3.4.2 การพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติตะขอแขวนเสื้อ

นำไฟล์ G-code เข้าเครื่องพิมพ์สามมิติ สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) [17] Anet รุ่น ET4 ความสามารถเครื่องพิมพ์สามมิติ ขนาดชิ้นงานสูงสุด 220 x 220 x 250 มม. ความเร็วในการพิมพ์สูงสุด 150 มิลลิเมตรต่อวินาที อุณหภูมิทำงานสูงสุด 250 องศาเซลเซียส และตัวอย่างการพิมพ์ขึ้นสามมิติของตะขอแขวนเสื้อ แสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

รูปที่ 9 เครื่อง 3D Printer Anet รุ่น ET4 [18]

รูปที่ 10 การพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติตะขอแขวนเสื้อ

3.5 การทดสอบการรับน้ำหนักเชิงกล

การทดสอบของตะขอแขวนเสื้อไม่สามารถทำการทดสอบกับ โหลดเซลล์ (Load cell) [19] ได้ จึงได้มีการพัฒนาการทดสอบโดยสร้างอุปกรณ์จับยึด (Fixture) [20] โดยน้ำน้ำหนักใส่ถัง นำตะขอแขวนเสื้อวางในตำแหน่งที่กำหนดบนอุปกรณ์จับยึด (Fixture) และถ่วงน้ำหลังลงบนชิ้นงาน โดยการทดสอบนี้เป็นการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing) [21] นี้ จะทำการทดสอบน้ำหนักเริ่มต้นที่ 5 กิโลกรัม และเพิ่มครั้งละ 5 กิโลกรัม จนกระทั่งตะขอแขวนเสื้อเกิดความเสียหายของวัสดุนั้นและบันทึกผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 11

1. นำเหล็กมาชั่งน้ำหนัก
2. นำน้ำหนักวางในตำแหน่งการรับแรงและเพิ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม/ครั้ง จนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียหาย
3. บันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 11 อุปกรณ์จับยึด (Fixture) และการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing)

4. อภิปรายผล

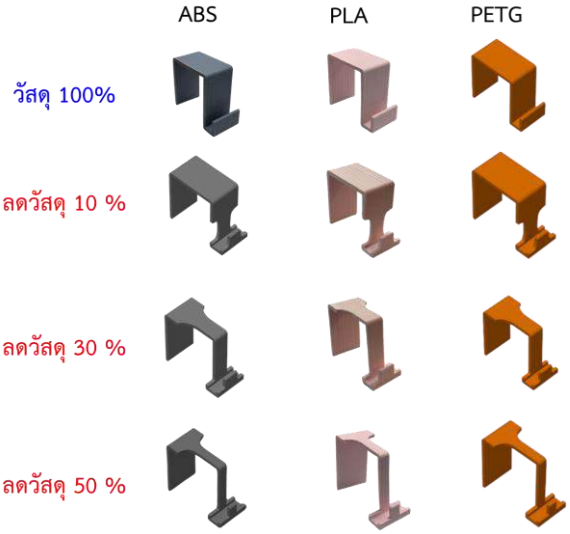
4.1 ผลการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติของแต่ละวัสดุ

การพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติของแต่ละวัสดุมีเงื่อนไขการพิมพ์ที่แตกต่างกันในด้านอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุ และอุณหภูมิของโต๊ะ ความเร็วคงที่ 100 มม./วินาที อุณหภูมิการพิมพ์ขึ้นรูปที่ 30 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มต้นการพิมพ์ขึ้นรูป โดยมีพารามิเตอร์การพิมพ์สามมิติ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการตั้งค่าการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติของแต่ละวัสดุ [22]

วัสดุ	อุณหภูมิหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิโต๊ะงาน (องศาเซลเซียส)	ความเร็ว (มม./วินาที)
ABS	250	110	100
PLA	230	90	100
PETG	240	100	100

ผลจากการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อ ด้วยเครื่องพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ โดยวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ABS, PLA และ PETG ตามลำดับ ทำการพิมพ์ขึ้นรูปจำนวน 5 ชิ้น/วัสดุ แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตะขอแขวนเสื้อของวัสดุ ABS, PLA และ PETG

ตะขอแขวนเสื้อที่ขึ้นรูปด้วย วัสดุ ABS พบว่าลักษณะผิวของชิ้นงานมีลักษณะไม่เรียบ แต่ยังคงเรียบกว่าวัสดุ PLA ทั้งนี้ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวัสดุ ABS มีกลิ่นแรงระหว่างกระบวนการหลอมละลายเส้นพลาสติก และกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานทำได้ยากกว่า จำเป็นต้องใช้กาวในการช่วยยึดติดชิ้นงานระหว่างที่เครื่องพิมพ์ทำการพิมพ์ชั้นรับรอง (Support) เนื่องจากวัสดุ ABS มีการหดตัวระหว่างทำการขึ้นรูปชิ้นงาน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ขึ้นรูปด้วยวัสดุ PETG พบว่าไม่ส่งกลิ่นรบกวนขณะทำการขึ้นรูป อีกทั้งผิวของชิ้นงานมีความเรียบเนียนและมีลักษณะมันวาว ทำให้วัสดุ PETG เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการคุณภาพพื้นผิวสูง

4.2 ผลการทดสอบการถ่วงน้ำหนัก

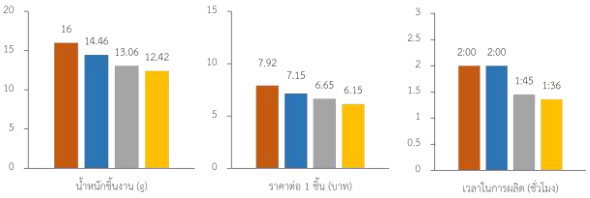
จากการทดสอบชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อ ด้วยการถ่วงน้ำหนัก วัสดุ ABS, PLA และ PETG โดยไม่ลดเนื้อวัสดุ และเงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุ 10%, 30% และ 50% ตามลำดับ โดยใช้ถังแขวนกับตะขอแขวนเสื้อ จากนั้นทำการเพิ่มน้ำหนักโดยการเพิ่มโลหะ 5 กิโลกรัม/ครั้ง จนกว่าชิ้นงานจะเกิดการแตกหักหรือเสียหาย แสดงผลดังรูปที่ 13 และตารางที่ 2 และรูปที่ 14-16 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบ น้ำหนักตะขอแขวนเสื้อ ราคา/ชิ้น และเวลาในการผลิต/ชิ้น ของแต่ละวัสดุตามลำดับ แทบสีน้ำตาล แทน วัสดุ 100% แทบสีน้ำเงิน

แทน เงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุ 10%, แทบสีเทา เงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุ 30% และ แถบสีเหลือง เงื่อนไขการลดเนื้อวัสดุ 50%

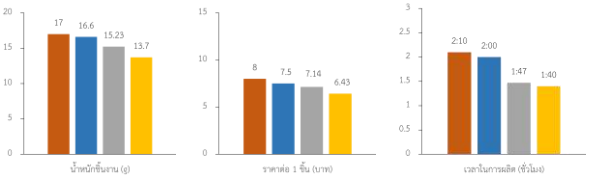
รูปที่ 13 ผลการถ่วงน้ำหนักและการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการถ่วงน้ำหนักตะขอแขวนเสื้อ

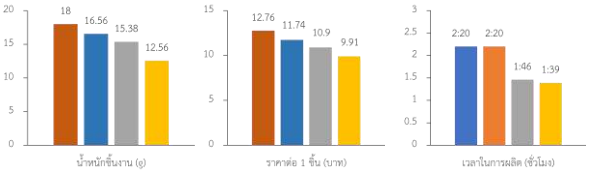
วัสดุ	เงื่อนไขการลดวัสดุ (%)	น้ำหนักทดสอบ (กิโลกรัม)
ABS	100%	15
	ลด 10%	10
	ลด 30%	10
	ลด 50%	5
PLA	100%	25
	ลด 10%	20
	ลด 30%	15
	ลด 50%	5
PETG	100%	20
	ลด 10%	20
	ลด 30%	10
	ลด 50%	10



รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงแนวโน้มของน้ำหนัก, ราคาต่อหน่วย และเวลาในการผลิตของชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อวัสดุ ABS



รูปที่ 15 แผนภูมิแสดงแนวโน้มของน้ำหนัก, ราคาต่อหน่วย และเวลาในการผลิตของชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อวัสดุ PLA



รูปที่ 16 แผนภูมิแสดงแนวโน้มของน้ำหนัก, ราคาต่อหน่วย และเวลาในการผลิตของชิ้นงานตะขอแขวนเสื้อวัสดุ PETG

5. สรุป

จากการทดสอบพบว่าการลดเนื้อวัสดุลง 30% เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบชิ้นงานโดยวิธี Topology Optimization เมื่อพิจารณาจากความคุ้มค่าด้านการลดน้ำหนักของชิ้นงาน และการรับน้ำหนักของชิ้นงานของทุกวัสดุของตะขอแขวนเสื้อ เมื่อทำการลดเนื้อวัสดุ 30% ยังคงความสามารถในการรับน้ำหนักอยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยสามารถแยกตามวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับตะขอแขวนเสื้อต้นแบบ (วัสดุ 100%) ดังต่อไปนี้

- ABS รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 10 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 13.06 กรัม (ลดลง 2.94 กรัม หรือ 18.38%) ราคาต่อชิ้นที่ 6.65 บาท/ชิ้น (ลดลง 1.27 กรัม หรือ 16.04%) และเวลาในการผลิตที่ 1:45 ชั่วโมง (ลดลง 15 นาที หรือ 12.50%)

- PLA รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 15 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 15.23 กรัม (ลดลง 1.77 กรัม หรือ 10.41%) ราคาต่อชิ้นที่ 7.14 บาท/ชิ้น (ลดลง 0.86 กรัม หรือ 10.75%) และเวลาในการผลิตที่ 1:47 ชั่วโมง (ลดลง 23 นาที หรือ 17.69%)
- PETG รับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 10 กิโลกรัม น้ำหนักของตะขอแขวนเสื้อที่ 15.38 กรัม (ลดลง 2.62 กรัม หรือ 14.56%) ราคาต่อชิ้นที่ 10.90 บาท/ชิ้น (ลดลง 1.86 กรัม หรือ 14.58%) และเวลาในการผลิตที่ 1:46 ชั่วโมง (ลดลง 34 นาที หรือ 24.29%)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมของการออกแบบด้วย Topology optimization เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนด้านวัสดุและเวลาการผลิตได้อีกทาง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ในการอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ สำหรับการทดลอง สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่มีบุคลากรที่มีส่วนร่วมงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Wu, W., “Progress and Prospects of Additive Manufacturing in Lightweight Design”. Highlights in Science Engineering and Technology, 120: (2024), pp. 236-242.
DOI: 10.54097/bg0vfd37

[2] Yu, H., Hong H., Cao S. and Ahmad R., “Topology optimization for multipatch fused deposition modeling 3D printing”. Applied Sciences, 10(3): (2020), pp. 943.
DOI: 10.3390/app10030943

[3] Gandhi, Y., and Giangiacomo M., "A Review on topology optimization strategies for additively manufactured continuous fiber-reinforced composite structures." Applied sciences, 12(21): (2022), pp. 11211.
DOI: 10.3390/app122111211

[4] Yitang, L., “Advances in 3D Printing Research Based on Topology Optimization.” Highlights in Science Engineering and Technology, 120: (2024), pp. 210–220.
DOI: 10.54097/8zdja488

[5] Antar, I., M. Othmani, Kh Zarbane, M. El Oumami, and Z. Beidouri. "Topology optimization of a 3D part virtually printed by FDM." Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 112, 1: (2022).
DOI: 10.5604/01.3001.0016.0289.

[6] Manokruang, S., “Phenomenological model of thermal effects on weld beads geometry produced by Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM)”. (2020), Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes.

[7] Marcel, R., Reinhard, H. and Andreas, K. “Accuracy of CAD/CAM-fabricated bite splints: milling vs 3D printing”. Clinical oral investigations, 24: (2020), pp. 4607-4615.
DOI: 10.1007/s00784-020-03329-x

[8] Rad, M., Habashneh, M., and Logo, J. "Elasto-Plastic limit analysis of reliability based geometrically nonlinear bi-directional evolutionary topology optimization." In Structures, 34: (2021), pp. 1720-1733.
DOI: 10.1016/j.istruc.2021.08.105

[9] Bi, M., Tran, P., Xia, L., Ma, G. and Xie, Y.M.

"Topology optimization for 3D concrete printing with various manufacturing constraints". Additive Manufacturing, 57: (2022), p.102982.

[10] Zegeye, L.H. and Atalie, D. "Recycling of Polycarbonate/Acrylonitrile Butadiene Styrene Blends with Flame Retardant Additives for 3D Printing Filament". Journal of Engineering, 1: (2024), pp.2084718.
DOI: 10.1155/2024/2084718

[11] Yu, W., Li, M., Lei, W. and Chen, Y. "FDM 3D printing and properties of PBAT/PLA blends". *Polymers*, *16*(8): (2024), pp. 1140.
DOI: 10.3390/polym16081140

[12] Bremer, M., Janoschek, L., Kaschta, D., Schneider, N. and Wahl, M. "Influence of plastic recycling—a feasibility study for additive manufacturing using glycol modified polyethylene terephthalate (PETG)". SN Applied Sciences, 4(5): (2022), pp.156.
DOI: 10.1007/s42452-022-05039-3

[13] Debeurre, M., Grolet, A. and Thomas, O. "Extreme nonlinear dynamics of cantilever beams: effect of gravity and slenderness on the nonlinear modes". Nonlinear Dynamics, 111(14): (2023), pp.12787-12815.
DOI: 10.1007/s11071-023-08637-x

[14] Khan, M.I. and Nayak, C. "Topology optimization of mono leaf spring for electric vehicle using finite element analysis". International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), (2022), pp.1-8.
DOI: 10.1007/s12008-022-01073-y

[15] Kim, M., Byung-Dal, S., SatByul, K., Taehwan, J., and Sung-Joon, C. "Mesh size effect on finite source inversion with 3-D finite-element modelling." Geophysical Journal International 237, 2: (2024), pp. 716-728.

[16] Ahmed, R.U., Dowell, E., Alam, C.S. and Rahman, M.S. "November. Design and Development of a Desktop 3D Printer for Conformal Additive Manufacturing". In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 88681: (2024), pp. V010T13A020.

[17] Fatmayati, F., Soares, T.G., Tonggiroh, M. and Alexander, A.D. "Implementation of a Combination of Rank Reciprocal and Additive Ratio Assessment Approaches for 3D Printer Selection". Bulletin of Informatics and Data Science, 2(2): (2023), pp.115-124.
DOI: 10.61944/bids.v2i2.83

[18] เซินเจิ้น Anet Technology Co., Ltd., ข้อมูลจาก https://manuals.plus/th/anet/et4-3d-printer-manual (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 เมษายน 2568)

[19] Zhuang, S., Yang, W., Cheng, X., Kevin, J.S., Liu, C., Zhang, G., Zhu, W. and Tian, C. "Analysis of Return-to-Zero Error after the First Load of Load Cell". Sensors, 23(21): (2023), pp.8712.
DOI: 10.3390/s23218712

[20] Kim, D.H., Kim, Y.C., Kim, S.W., Kim, H.G. and Kim, S. "Structural safety evaluation of test fixture for static load test of external fuel tank for fixed-wing aircraft". International Journal of Aeronautical and Space Sciences, 23: (2022), pp.52-65.

[21] Nowacki, J. and Sieczkiewicz, N. "Problems of determination of MultiJet 3D printing distortions using a 3D scanner". Archives of Materials Science and Engineering, 103(1): (2020), pp.30-41.
DOI: 10.5604/01.3001.0014.1771

[22] Shenzhen Esun Industrial., ข้อมูลจาก https://www.esun3d.com/news/7222/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 เมษายน 2568)

การศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า

Studying Performance of Cutting Thin Sheet on the Tool Steel SCM440 Using Wire-Electrical Discharge Machining

ศุภวัฒน์ ชูวารี[1*] เอกชัย รอดพิสา[2] วงศธร วงษ์ดีอิน[3] และ กมลพงศ์ แจ่มกมล[4]
[1234] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Suppawat Chuvaree[1*] Eakkachai Rodpisa[2] Wongsathon Wongdeein[3] and Kamonpong Jamkamon[4]
[1234] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: suppawat.c@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าด้วยพารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักรทำการศึกษาตัดชิ้นงานที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัด 5 ระดับ เริ่มต้นที่ระยะ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปด้วยกล้อง Digital Microscope ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัด 0.5 มิลลิแมตร ชิ้นงานเกิดการเสียรูปในรูปแบบการบิดตัวของแผ่นโลหะสูงสุด โดยค่า MAX height เท่ากับ 1787.172μm และ MIN height เท่ากับ -166.099μm อย่างไรก็ตาม ที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัด 2.5 มิลลิเมตร ค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปมีแนวโน้มลดลง โดยที่ ค่า MAX height เท่ากับ 154.635μm และ MIN height เท่ากับ -109.743μm ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานภายหลังการแปรรูปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ปรับตั้งไว้ พบว่า ความหนาชิ้นงานที่ได้จะขนาดความหนาของชิ้นงานที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเท่ากับระยะตั้งลวดลบด้วยขนาดสองเท่าของระยะเผื่อสำหรับการเดินตัด

คำหลัก โลหะแผ่นบาง, กระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้า, การบิดตัวของชิ้นงาน

Abstract

This research aims to study the efficiency of thin sheet metal cutting on SCM440 tool steel using the electrical discharge machining (EDM) process, specifically wire-cut EDM, based on the machine's recommended parameters. The study involves cutting the workpiece at five different wire offset distances, ranging from 0.5 mm to 2.5 mm. The deviation in workpiece deformation after machining is observed using a digital microscope. Experimental results show that at a wire offset distance of 0.5 mm, the workpiece exhibits the highest level of deformation in the form of metal sheet warping, with a MAX height of 1787.172 μm and a MIN height of -166.099 μm. However, at a wire offset distance of 2.5 mm, the deviation due to warping tends to decrease, with a MAX height of 154.635 μm and a MIN height of -109.743 μm.

The examination of the thickness deviation after machining, when compared with the preset values, reveals that the resulting thickness of the workpiece equals the set wire offset minus twice the machining allowance.

Keywords: Sheet Metal, Wire-Electrical Discharge Machining, Squeezing

1. บทนำ

กระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire electrical discharge machining, WEDM) [1-2] เป็นกระบวนการแปรรูปสมัยใหม่ที่นิยมใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล โดยการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและสภาวะแวดล้อมที่หลากหลายเพื่อให้การสปาร์คระหว่างเส้นลวดอิเล็กโทรด (Wire electrode) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องมือกับพื้นผิววัสดุชิ้นงาน (Workpiece) ที่มีสมบัติในการนำไฟฟ้าภายใต้การขวางกันและปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าจากการสปาร์คจะทำให้เกิดความร้อนที่สูงเพียงพอต่อการระเหยของวัสดุเนื้องานและถูกขจัดออกในรูปของก๊าซ ของเหลว และของแข็งในระดับอนุภาค (Debris particle) [3-4] โดยมีของเหลวไดอิเล็กทริกซึ่งคอยทำหน้าที่ขจัดเศษเนื้องานออกจากบริเวณพื้นผิวการแปรรูปและรักษาความเสถียรในการสปาร์คส่งผลให้ลวดอิเล็กโทรดที่เป็นเครื่องมือจะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน เป็นเหตุให้สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานไม่ส่งผลต่อความสามารถในการแปรรูป

วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 เป็นเหล็กกล้าโครมโมลิบดีนัมที่ผ่านการชุบแข็ง เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ร้อน เช่น แม่พิมพ์ฉีดโลหะ หรือแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะที่ต้องทนต่ออุณหภูมิและแรงกดสูง ด้วยคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนความร้อน และความต้านทานต่อการสึกหรอ SCM440 จึงเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างมาก [5] แต่อย่างไรก็ตาม การตัดเฉือนแผ่นบางของเหล็กชนิดนี้ยังคงเป็นความท้าทาย เนื่องจากมีโอกาสเกิดการโก่งตัวหรือเสียรูปจากความร้อนที่สะสมในระหว่างกระบวนการตัด [6]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านร่วมกับทฤษฎีของกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าพบว่า การเสียรูปจากความร้อนในกระบวนการ WEDM มักเกิดจากการสะสมของพลังงานความร้อนบริเวณจุดตัด ซึ่งหากบริเวณที่ถูกตัดระบายความร้อนได้ไม่ดี หรือขนาดของวัสดุบางเกินไป ความร้อนจะสะสมและทำให้เกิด ความเค้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Stress) ภายในเนื้อวัสดุส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูป บิดงอ หรือ การโก่งตัวของผนังชิ้นงานได้ นอกจากนี้ปัจจัยด้านการระบายความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ รวมไปถึงการขาดการรองรับที่ดีของวัสดุแผ่นบาง ก็อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบกระบวนการตัดและการควบคุมพารามิเตอร์ของ Wire-EDM [7] การควบคุมพารามิเตอร์และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการตัดโลหะด้วยไฟฟ้ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ตอบโจทย์ต่อภาคอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีการการใช้ชุดพารามิเตอร์แนะนำในการตัดที่มาพร้อมกับเครื่องจักรก็เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยกระบวนการนี้มีข้อบ่งชี้สำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีการแบ่งตามกลุ่มวัสดุและความหนาของชิ้นงานควบคู่กับชนิดและขนาดของวัสดุลวดอิเล็กโทรด [8] ทั้งนี้ในการตัดวัสดุชิ้นงานจะช่วยให้ทราบถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริง โดยลดขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้งานวิจัยที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการตัดชิ้นงานด้วยพารามิเตอร์แนะนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลด้านความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานที่เหมาะสมต่อการเสียรูปของชิ้นงานยังคงมีอยู่น้อยมาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า ด้วยพารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักร ทำการศึกษาการตัดชิ้นงานที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัด 5 ระดับ เริ่มต้นที่ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปด้วยกล้อง Digital Microscope ซึ่งผลจากการทดลองจะสามารถเป็นข้อบ่งชี้

สำหรับการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจในการวางแผนการทำงานและการควบคุมคุณภาพสำหรับการตัดวัสดุชิ้นงานโดยกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองตัดชิ้นงาน เพื่อศึกษาความสามารถของกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าที่มีระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดชิ้นงานที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ประกอบไปด้วย 0.5, 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ บนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 โดยการใช้พารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักรสำหรับการตัดโลหะแผ่นบาง เงื่อนไขการตัดแบบกึ่งละเอียด (Semi-Finish Cutting) Code : E-Pack 16751 ทั้งนี้คุณภาพของชิ้นงานภายหลังการตัดจะประเมินจากการเสียรูปของชิ้นงานในรูปแบบค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงาน (MAX-MIN : µm) และการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานภายหลังการแปรรูปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ปรับตั้งไว้ จำนวน 9 จุด ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 การทดลองตัดชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันด้วยค่าพารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักร และจุดการตรวจสอบชิ้นงาน

2.2 เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการด้วยเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire-Electrical Discharge Machining : WEDM) ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น MV1200S ตรวจวัดความหนาของชิ้นงานจริง เปรียบเทียบกับค่าที่ปรับตั้งบนเครื่องจักร จำนวน 12 จุดรอบชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์ ค่าความละเอียด 0.001 µm ยี่ห้อ Mitutoyo สำหรับการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงานในรูปแบบค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงาน ถูกตรวจวัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล (Digital Microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น DSX1000 กำลังขยาย 10X ที่ระยะ Zoom 1.4X

วัสดุชิ้นงานในการทดลองนี้เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับงานร้อน SCM440 ถูกจัดเตรียมโดยการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าให้มีขนาด กว้าง × หนา × ยาว เท่ากับ 50 × 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ลวดอิเล็กโทรดสำหรับการทดลองเป็นลวดทองเหลือง (Cu : Zn, 60 : 40) แบบไม่เคลือบผิวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง0.25 มิลลิเมตร โดยการทดลองตัดชิ้นงานกระทำภายใต้การปกคลุมและการขจัดเศษอนุภาคเพื่อรักษาความเสถียรในการสปาร์คโดยของเหลวไดอิเล็กทริกที่เป็นน้ำกลั่น

2.3 สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการทดลอง

ชุดพารามิเตอร์แนะนำและระยะชดเชยแนวการเดินตัดแนะนำ (Wire path compensated) รวมทั้งค่าคาดหมายที่คาดว่าจะได้รับมาพร้อมกับเครื่องจักรและค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าจากการตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DL950 แสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์แนะนำและค่าคาดหมายที่คาดว่าจะได้รับ

Cut no.	E-pack no.	Setup speed (mm/min)	Compensate tool path (mm)	Roughness Ra (µm)
1	16751	3.60	0.134	0.47

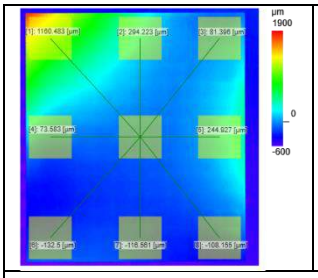
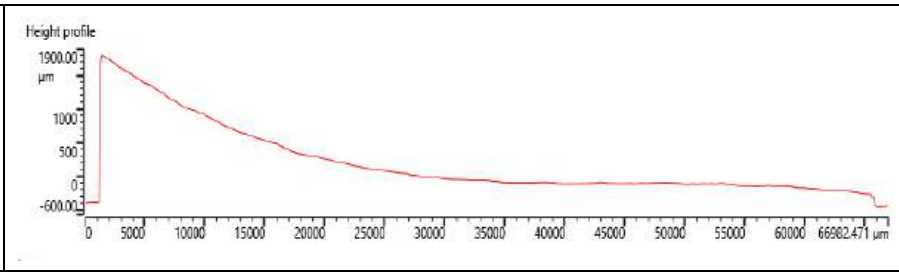
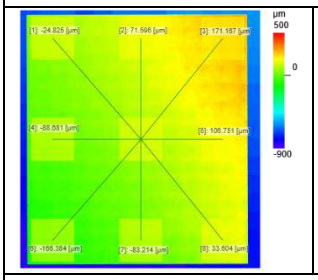
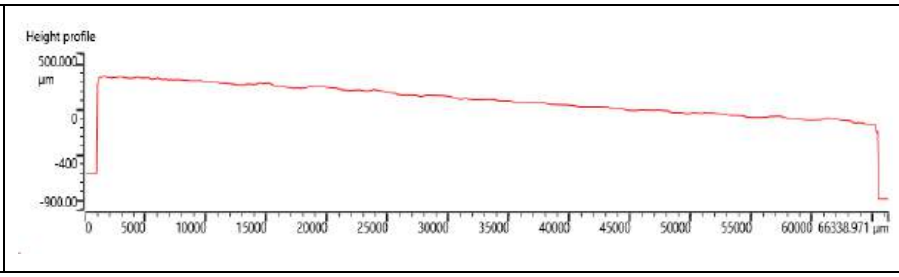
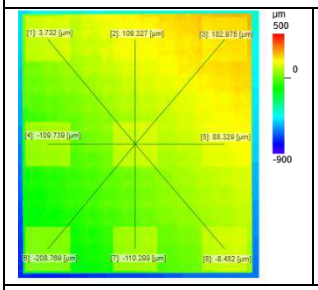
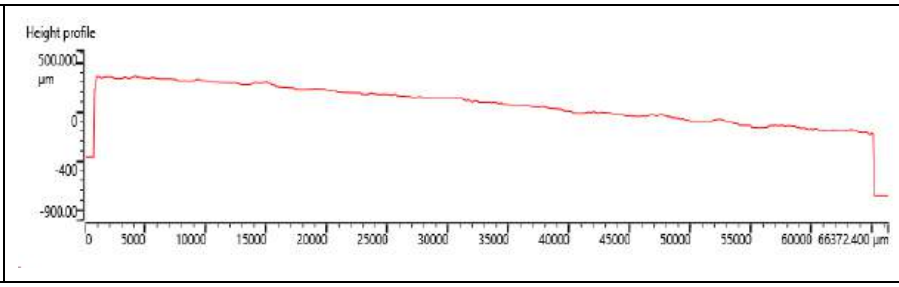
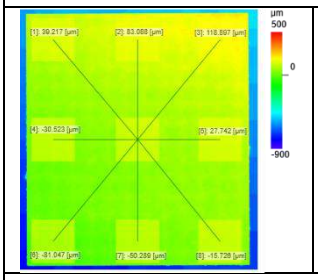
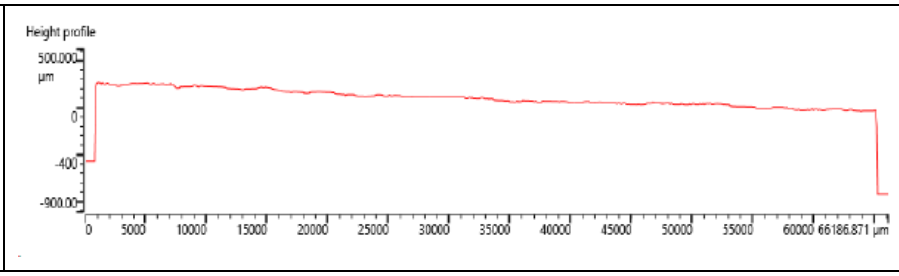
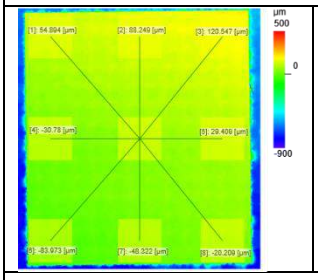
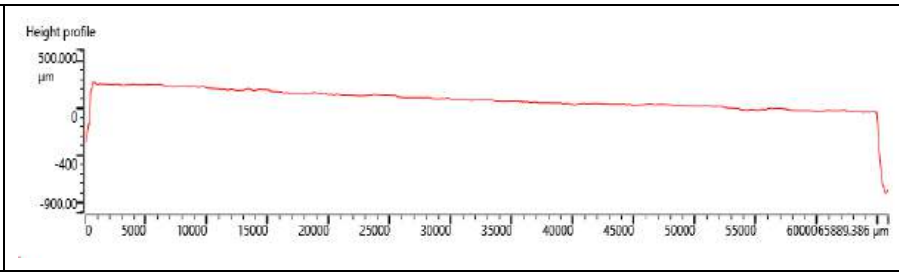
E-pack no.	Peak voltage (V)	Peak current (A)	Pulse on time (µs)	Pulse off time (µs)
16751	70	1.00	118	12

3. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า ด้วยพารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักร สามารถแสดงผลและวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

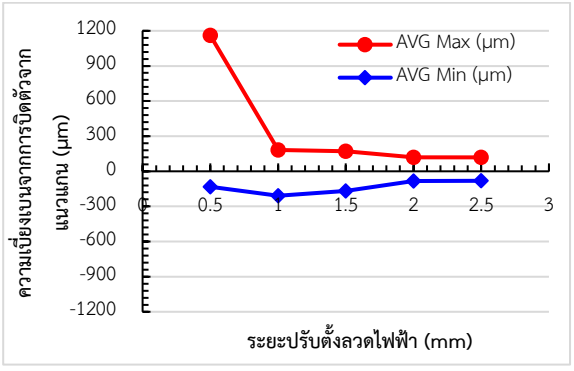
3.1 ผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงานใน
รูปแบบค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงานในรูปแบบค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงาน

	
T=0.5 มิลลิเมตร (MAX height 1787.172µm), (MIN height -166.099µm)	
	
T=1.0 มิลลิเมตร (MAX height 213.644µm), (MIN height -218.218µm)	
	
T=1.5 มิลลิเมตร (MAX height 218.934µm), (MIN height -280.548µm)	
	
T=2.0 มิลลิเมตร (MAX height 139.535µm), (MIN height -115.992 µm)	
	
T= 2.5 มิลลิเมตร (MAX height 154.635µm), (MIN height -109.743µm)	

การศึกษาประสิทธิภาพในการตัดโลหะแผ่นบางบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SCM440 ด้วยกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า ด้วยพารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักร ทำการศึกษาตัดชิ้นงานที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัด 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1, 1.5, 2, และ 2.5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปด้วยกล้อง Digital Microscope บนพื้นที่ผิว 50 × 50 มิลลิเมตร ผลจากการตรวจสอบพบว่าที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดชิ้นงานที่ 0.5 มิลลิแมตร ภายหลังการตัดด้วยลวดไฟฟ้าเกิดการเสียรูปในรูปแบบการบิดตัวของแผ่นโลหะสูงสุด โดยค่า MAX height เท่ากับ 1787.172μm และ MIN height เท่ากับ -166.099μm อย่างไรก็ตาม ที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดชิ้นงาน 2 และ 2.5 มิลลิเมตร ค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปมีแนวโน้มลดลง โดยที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดที่ 2.5 มิลลิเมตร ค่า MAX height เท่ากับ154.635μm และ MIN height เท่ากับ -109.743μm ดังแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 2 แสดงผลการตรวจสอบค่าเฉลี่ย (Average Height : μm) ของการเสียรูปของชิ้นงานบนพื้นที่ผิว 50 × 50 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปมีแนวโน้มลดลง ตามระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดที่ 0.5 – 2.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 2 ผลการตรวจสอบค่าเฉลี่ยการเสียรูปของชิ้นงานบนพื้นที่ผิว 50 × 50 มิลลิเมตร

จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งลวดไฟฟ้าจะเป็นตัวนำไฟฟ้าและเกิดการสปาร์คกับชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนที่เพียงพอต่อการขจัดเนื้องานออกไป และมีไดอิเล็กทริกซึ่งคอยทำหน้าที่ขจัดเศษเนื้องานออกจากบริเวณพื้นผิวการแปรรูป รวมไปถึงเป็นสารหล่อเย็นชิ้นงาน ด้วยเหตุนี้ หากความหนาของชิ้นงานมีขนาดน้อยเกิดไปก็จะส่งผลให้ชิ้นเกิดการเสียรูปและบิดตัวจากกระบวนการถ่ายเทความร้อน คล้ายกับกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนหรือกระบวนการเชื่อมโลหะ [6]

3.2 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานภายหลังการแปรรูป

ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานภายหลังการแปรรูปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ปรับตั้งไว้ จำนวน 9 จุด ดังรูปที่ 1 โดยแต่ละจุดจะทำการวัด 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับผลการตรวจสอบพบว่า ความหนาชิ้นงานที่ได้จะขนาดความหนาของชิ้นงานที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเท่ากับระยะตั้งลวดลบด้วยขนาดสองเท่าของระยะเผื่อสำหรับการเดินตัด ทั้งนี้ระยะเผื่อเป็นค่าชดเชยที่จะใช้เพื่อตั้งค่าระยะเดินตัดเพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดตามที่ต้องการ โดยการใช้พารามิเตอร์แนะนำของเครื่องจักรสำหรับการตัดโลหะแผ่นบาง เงื่อนไขการตัดแบบกึ่งละเอียด (Semi-Finish Cutting) Code : E-Pack 16751

ความหนาชิ้นงาน = (ระยะปรับตั้งลวด – ขนาดสองเท่าของระยะเผื่อสำหรับการเดินตัด) ...(1)

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานภายหลังการแปรรูป

ระยะปรับตั้งลวดสำหรับการเดินตัดชิ้นงาน (mm)	ความหนาชิ้นงานที่เกิดขึ้นจริง (mm)	ระยะเผื่อสำหรับการเดินตัด (mm)
0.5	0.167	0.333
1	0.672	0.328

1.5	1.169	0.331
2	1.676	0.324
2.5	2.171	0.329

ผลจากการทดลองจะสามารถเป็นข้อบ่งชี้สำหรับการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจในการวางแผนการทำงานและการควบคุมคุณภาพสำหรับการตัดวัสดุชิ้นงานโดยกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังสามารถนำไปคำนวณหาระยะชดเชยในการตัดชิ้นงานจริงเพื่อให้เกิดความแม่นยำสูงสุดในการปฏิบัติงาน

4. สรุปผลการทดลอง

1. ที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดชิ้นงาน 0.5 มิลลิแมตร พบว่า เกิดการเสียรูปในรูปแบบการบิดตัวของแผ่นโลหะสูงสุด โดยค่า MAX height เท่ากับ 1787.172μm และ MIN height เท่ากับ -166.099μm อย่างไรก็ตาม ที่ระยะปรับตั้งลวดไฟฟ้าสำหรับการเดินตัดชิ้นงาน 2.5 มิลลิเมตร ค่าความเบี่ยงเบนของการบิดตัวของชิ้นงานภายหลังการแปรรูปมีแนวโน้มลดลง โดยที่ ค่า MAX height เท่ากับ 154.635μm และ MIN height เท่ากับ -109.743μm

2. จากผลการทดลอง พบว่า ความหนาของชิ้นงานที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเท่ากับระยะตั้งลวดลบด้วยขนาดสองเท่าของระยะเผื่อสำหรับการเดินตัด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา งบวิจัยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2568 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. K. Chaubey, S. Singh and A. Singh, “Some investigations into machining of AISI D2 tool steel using wire electro discharge machining (WEDM) process,” Materials Today: Proceedings, vol. 5, no.11, pp. 24347-24357, 2018.

[2] K. Jamkamon and P. Kumkoon, “Designing and manufacturing clamping accessory for multi-stage cutting process on the wire electrical discharge machine,” UTK RESEARCH JOURNAL, vol. 15, no. 2, pp. 95-105, 2565.

[3] M. E. Asgar and A. K. S. Singholi, “Parameter study and optimization of WEDM process: A Review,” IOP conference series: Materials science and engineering, vol. 404 no. 1, pp. 012007, 2018.

[4] K. Jamkamon and S. Chuvaree, “A Study of Electrical Discharge Machining Performance by Applied Rotating Electrode with Dielectric Flushing through the Axis of Electrode,” Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal, vol. 14, no. 1, pp. 16-30, 2565.

[5] S. Thamizhmanii and S. Hasan, “Machinability Characteristics of Hard SCM 440 Alloy Steel using CBN and PCBN Tools by Turning Process” Applied Science and Engineering Progress, vol. 4, no.1, pp 15-21, 2011.

[6] L. Chengrang, L. Zhidong, F. Laijiu, P. Hongwei and Q. Mingbo. “Super-high-thickness high-speed wire electrical discharge machining” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 95, pp 1805-1818, 2018.

[7] [16] B. Li, S. Zhang, Z. Yan and J. Zhang, “Effect of edge hone radius on chip formation and its microstructural characterization in hard milling of AISI H13 steel,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 97, pp. 305–318, 2018.

[8] A. S. Balan and A. Giridharan, “A progress review in wire electrical discharge machining process,” International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, vol. 14, no. 2, pp. 4097–4124, 2017.

การพัฒนารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจากโครงสร้างรถจักรยานยนต์เดิม

Development of an Electric Motorcycle Based on the Original Motorcycle Structure

ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี[1] รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา[1] ศศิกานต์ สุวรรณประทีป[2] พัชระ กัญจนกาญจน์[3] กฤษณะ จันทสิทธิ์[4] และ ประชา บุณยวานิชกุล[5*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต [2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ [3] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์

[1, 2, 3] คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[4]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[5]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Natchanun Angsuseranee[1] Rawintanath Thipsena[1] Sasikan Suwanprateep[2] Patchara Kunjanakarn[3]

Kritsana Chantasit[4] and Pracha Bunyawanichkul[5*]

[1] Department of Manufacturing Engineering, [2] Department of Industrial Engineering,

[3] Department of Tools and Die Engineering,

[1, 2, 3] Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[4] Department of Technology Energy, Faculty of Industrial Technology

[5] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

*E-mail: natchanun.a@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัดแปลงรถจักรยานยนต์น้ำมันเป็นพลังงานไฟฟ้า มีขนาดความสูงเท่ากับ 42 นิ้ว ความกว้างเท่ากับ 14 นิ้ว ความยาวเท่ากับ 70 นิ้ว และมีน้ำหนักเท่ากับ 30 กิโลกรัม มีกล่องคอนโทรลชนิด 48 โวลต์ เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านชนิด 48 โวลต์ ขนาดกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตชนิด 48 โวลต์ ขนาดกระแส 30 แอมแปร์ เป็นแหล่งพลังงาน

ผลจากการทดสอบพบว่ารถจักรยานยนต์ดัดแปลงสามารถวิ่งได้ระยะทางสูงสุดเท่ากับ 25 กิโลเมตร รับภาระโหลดได้ 130 กิโลกรัม การชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ใช้เวลา 4 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อการชาร์จประจุหนึ่งครั้งเท่ากับ 10.30 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 7 เดือน

คำสำคัญ: การดัดแปลง, พลังงานไฟฟ้า, มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน, ระยะเวลาคืนทุน

Abstract

This research aims to develop and modify a gasoline-powered motorcycle into an electric-powered one. The modified motorcycle has a height of 42 inches, a width of 14 inches, a length of 70 inches, and a weight of 30 kilograms. It is equipped with a 48-volt control box that manages the operation of the electrical system. The propulsion system uses a 48-volt, 500-watt brushless DC motor, powered by a 48-volt, 30-ampere lithium iron phosphate battery.

Test results showed that the modified motorcycle can travel a maximum distance of 25 kilometers per charge, carry a load of up to 130 kilograms, and takes 4 hours to fully charge the battery. The

electricity cost per charge is 10.30 baht, and the payback period is 1 year and 7 months.

Keywords: Modification, Electric Power, Brushless Motor, Payback Period

1. บทนำ

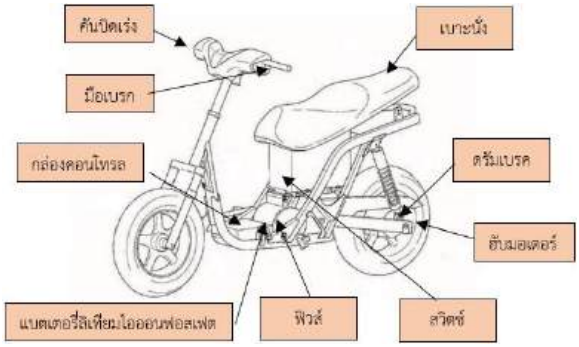
ในปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้กลายเป็นประเด็นสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคการขนส่งที่ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศและภาวะโลกร้อน การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างมีประสิทธิภาพการดัดแปลงยานยนต์จากระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในมาเป็นระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้านั้นจึงเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากการซื้อจักรยานยนต์ไฟฟ้าใหม่ และสามารถนำยานพาหนะที่หมดอายุการใช้งานกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างคุ้มค่า การดัดแปลงดังกล่าวไม่เพียงแต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระยะยาวได้อีกด้วย

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาดัดแปลงรถจักรยานยนต์น้ำมันให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาจากโครงรถจักรยานยนต์รุ่นเก่าที่มีจอดทิ้งไว้หรือจะนำไปขายเป็นเศษเหล็กนำมาพัฒนาเป็นรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าเพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือก ลดการพึ่งพาน้ำมันเชื้อเพลิง และส่งเสริมความยั่งยืนด้านพลังงานในอนาคต

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ลักษณะของรถจักรยานยนต์

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้โครงรถจักรยานยนต์เล็กขนาด 50 ซีซี เชื้อเพลิงน้ำมันรุ่นเก่าที่เครื่องยนต์ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว และถูกทิ้งเพื่อรอขายเป็นเศษเหล็กนำมาดัดแปลงสภาพให้เป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของรถจักรยานยนต์เล็กขนาด

2.2 ขั้นตอนการดัดแปลง

ขั้นตอนการดัดแปลงโดยเริ่มจากการล้างทำความสะอาดและพ่นสีกันสนิมโครงรถจักรยานยนต์เก่าที่ถูกทิ้งไว้ไม่ได้ใช้งาน ทำการถอดถังน้ำมันและตัวเครื่องยนต์เดิมออกเพื่อออกแบบโครงสร้างใหม่ให้สามารถวางแบตเตอรี่และกล่องคอนโทรลได้ เมื่อถอดสำเร็จก็จะได้โครงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้นที่พร้อมสำหรับขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 3 แสดงลักษณะโครงรถจักรยานยนต์เก่า

นำโครงรถจักรยานยนต์ที่ทำความสะอาดแล้วมาออกแบบโครงสร้างเพื่อวางตำแหน่งอุปกรณ์ที่จะยึดติดกับรถ ได้แก่ แบตเตอรี่ กล่องคอนโทรล ฟิวส์ และคันบิดเร่ง โดยการเชื่อมเหล็กแบน ขนาด 30*20 เซนติเมตร ไว้ที่ฐาน

ด้านล่างโครงรถจำนวนสองเส้น เพื่อไว้สำหรับวางกล่องที่ออกแบบมาเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ

รูปที่ 4 แสดงลักษณะกล่องเก็บอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า

ติดตั้งคันบิดเร่งไฟฟ้าเข้ากับโครงรถจักรยานยนต์ โดยการนำท่อกระดูกงูมาหุ้มสายคันเร่งไว้เพื่อป้องกันการขาดและการชำรุดเสียหายทำการติดตั้งสายคันบิดเร่งไปยังกล่องที่ออกแบบไว้เพื่อติดตั้งระบบไฟฟ้า

รูปที่ 5 แสดงลักษณะของสายคันบิดเร่งไฟฟ้า

ติดตั้งคันบิดเร่งและนำสายส่งต่อมายังกล่องที่ออกแบบไว้แล้วทำการต่อวงจรเข้ากับกล่องคอนโทรล หลังจากนั้นทำการติดตั้งสวิตช์เข้ากับใต้เบาะที่นั่ง โดยการเจาะรูติดตั้งที่ตรงกลางข้างหน้าของใต้เบาะ

รูปที่ 6 แสดงลักษณะการติดตั้งสวิตช์ภายในและภายนอก

ติดตั้งฮับมอเตอร์ขนาด 48 โวลต์ ขนาดกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ เข้ากับล้อหลังของตัวรถจักรยานยนต์

รูปที่ 7 แสดงลักษณะของการติดตั้งฮับมอเตอร์

ระบบความปลอดภัยในการขับขี่ทำการติดตั้งระบบเบรกที่ล้อหน้าและล้อหลังโดยใช้เป็นดรัมเบรก

รูปที่ 8 แสดงลักษณะของการติดตั้งเบรก

ส่วนประกอบอื่นๆที่สำคัญและเป็นเครื่องช่วยสนับสนุนให้ชุดส่งกำลังทางกลทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใส่กล่องคอนโทรลหรือกล่องควบคุม แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และคันบิดเร่ง เพื่อช่วยให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าทางคณะผู้จัดทำได้ติดกล่องคอนโทรลไว้ในกล่องกันน้ำที่ออกแบบไว้สำหรับใส่อุปกรณ์ติดตั้งวงจรบริเวณที่พักเท้าด้านล่าง

รูปที่ 9 แสดงลักษณะภายในกล่องควบคุม

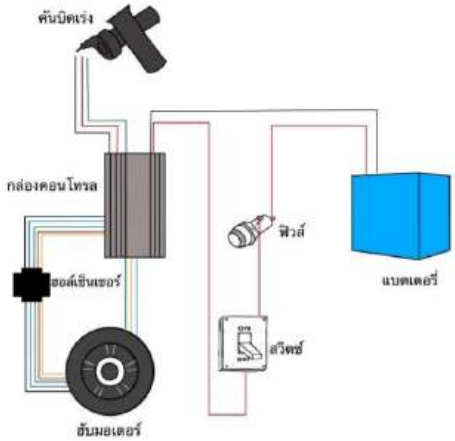
ติดตั้งคันบิดเร่งเพื่อติดตั้งสายไปยังกล่องคอนโทรล เมื่อเวลาบิดจะมีการส่งแรงไปยังฮับมอเตอร์เพื่อให้รถเดินหน้าโดยผ่านระบบการทำงานจากกล่องคอนโทรลและแบตเตอรี่ที่คณะผู้จัดทำได้ติดตั้งไว้ หลังจากที่ทำการติดตั้งเบรกเสร็จทางคณะผู้จัดทำจะทำการทดสอบระยะเวลาในการวิ่งและการบิดคันเร่ง เมื่อทำการเบรกทำให้รถชะลอความเร็วและก็หยุดรถในทันที

รูปที่ 10 แสดงลักษณะติดตั้งคันบิดเร่ง

รถจักรยานยนต์ที่ดัดแปลงแล้วเสร็จจะตั้งตั้งเฉพาะอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการขับขี่เท่านั้นเนื่องจากเป็นการนำเอาชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์เก่าทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ใหม่จึงไม่คำนึงถึงเรื่องของความสวยงามและรูปลักษณะภายนอก

รูปที่ 11 แสดงลักษณะรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ดัดแปลงเสร็จ

รถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ได้จัดสร้างขึ้นมีหลักการในการทำงานดังนี้ คือเมื่อต้องการใช้งานรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยเริ่มจากการยกสวิตช์ควบคุมระบบการทำงานของรถยกไปที่ตำแหน่งเปิด ผู้ใช้งานขึ้นไปนั่งพร้อมที่จะควบคุมรถ เริ่มบิดคันเร่งเบาๆให้รถค่อยๆเคลื่อนที่ บังคับทิศทางตามการใช้งาน เมื่อต้องการหยุดรถให้ผู้ใช้งานทำการกำเบรกที่แฮนด์บริเวณด้านซ้ายของรถการใช้งานรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าให้ผู้ขับขี่คำนึงถึงความปลอดภัยตลอดระยะเวลาการใช้งาน ไดอะแกรมของวงจรไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 12 แสดงลักษณะแสดงไดอะแกรมการทำงาน

3. ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงของการใช้งานคือดำเนินการทดสอบในช่วงความเร็ว 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วระหว่าง 15-20 km/h, 25-30 km/h และ 35-40 km/h (ความเร็ว40 km/h เป็นค่าแรงบิดคันเร่ง

รถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า) โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บผลการทดสอบประกอบไปด้วย แอมป์มิเตอร์ เซนเซอร์ความเร็ว นาฬิกาจับเวลา เป็นการทดสอบกับลู่วิ่งสนามกีฬามีพื้นที่ราบเรียบปราศจากทางลาดชันผลที่ได้จากการทดสอบโดยสามารถแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการทดสอบรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า

ความเร็ว (km/h)	ระยะทาง (km)	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	เวลา (min)	กระแส (A)
15-20	25	17	45	3
25-30	22	27	33	5
35-40	18	37	26	8

วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางพบว่ารถไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 40 กม./ชม. ที่ระดับการเร่งเต็มที่ แต่ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 8 A ส่งผลให้ระยะทางลดลงเหลือ 18 กม./ชาร์จ เมื่อบรรทุกน้ำหนัก 130 กก. พบว่าความเร็วสูงสุดลดลงเหลือ 30 กม./ชม. และระยะทางลดลง 20% จากปกติ และจากการใช้งานในสภาพแวดล้อมเช่นลมแรงทำให้ประสิทธิภาพลดลง 15-20%

หลังจากมีการออกแบบจัดสร้างรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าและได้ดำเนินการทดสอบการทำงานเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะมาถึงขั้นตอนการวิเคราะห์และประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ โดยการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดสร้างในครั้งนี้จะเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนครั้งแรกในการจัดสร้าง ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดในการดำเนินงานในครั้งแรกอยู่บ้างทำให้ต้นทุนอาจไม่คงที่เป็นธรรมดาสามารถสรุปต้นทุนค่าใช้จ่ายของการจัดสร้างรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดัดแปลง

รายการอุปกรณ์	ราคา (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1.สีสเปรย์+สีกันสนิม	500	1 ชุด	500
2.ชุดติดตั้งรถไฟฟ้า		1 ชุด	6,310
3.อุปกรณ์ชุดระบบไฟฟ้า		1 ชุด	3,430
4.วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ	760	1 ชุด	760
รวมทั้งสิ้น			**11,000**

จากข้อมูลข้างต้นของรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าเมื่อนำมาเปรียบเทียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ รุ่น Honda scoopy i 2019 แบบที่ใช้งานกันทั่วไปก็จะทำให้ทราบข้อแตกต่างได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์ Honda scoopy i 2019

คุณสมบัติ	รถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้า	รถยนต์รุ่น Honda scoopy I 2019
1. ราคา	11,000 บาท	51,100 บาท
2. อุปกรณ์และการบำรุงรักษา	อุปกรณ์น้อยและบำรุงรักษาง่าย	อุปกรณ์เยอะและบำรุงรักษายาก
3. ค่าพลังงานหรือต้นทุน	ไม่เกิน 10.30 บาท/การชาร์จหนึ่งครั้ง	ไม่เกิน 41.96 บาท/การวิ่งในระยะทาง 30 กิโลเมตร
4. ความเร็ว	ทำความเร็วตั้งแต่ 0 – 40 km/h	ทำความเร็วตั้งแต่ 0 -140 km/h
5. น้ำหนักรวมของรถ	ประมาณ 30 กิโลกรัม	ประมาณ 98 กิโลกรัม
6. ความปลอดภัยในการใช้งาน	การใช้งานด้านความปลอดภัยต่ำ	การใช้งานด้านความปลอดภัยสูง
7. ภาษียานพาหนะ	ไม่เสียภาษี	เสียภาษี
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4. การคิดระยะเวลาคืนทุน

โดยเริ่มคิดจากการชาร์จประจุของเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ชนิด 48 โวลต์ โดยเครื่องชาร์จประจุจะมีค่ากระแสชาร์จประจุเท่ากับ 5 แอมแปร์ ทำการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมชนิด 48 โวลต์ ซึ่งมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 5 แอมป์แปร์ ใช้เวลาชาร์จประจุแบตเตอรี่ให้เต็มในช่วงเวลากลางคืนที่ 4 ชั่วโมง (วิ่งในระยะทางไกลสุด 25 กิโลเมตร/การชาร์จหนึ่งครั้ง) ค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ = 5 แอมแปร์

= 5 แอมแปร์ x 220 โวลต์

ค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวม = 1100 วัตต์/ชั่วโมง

เวลาชาร์จประจุ 4 ชั่วโมง = 4 ชั่วโมง x 1100วัตต์

= 4,400 วัตต์/1000 วัตต์

= 4.4 หน่วย

ไฟฟ้าไม่เกิน150หน่วย (15 หน่วยแรก) ซึ่งจะคิดเป็น 2.34 บาท/หน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,2564)

= 4.4 หน่วย x 2.34 บาท

= 10.30 บาท

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าต่อการชาร์จประจุเต็มหนึ่งครั้งเท่ากับ 10.30 บาท/การชาร์จประจุเต็ม 1 ครั้ง

ระยะเวลา 1 เดือน (30 วัน) = 10.30 บาท x 30 วัน

= 309 บาท/เดือน

คิดเป็นรายปีจะเสียค่าไฟเท่ากับ 309 บาท x 12 เดือน

= 3,708 บาท/ปี

รถจักรยานยนต์ Honda scoopy I 2019 วิ่งในระยะทาง 25 กิโลเมตร ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ไป 0.7 ลิตร ราคาลิตรละ 41.96 บาท

คิดเป็นเงินเท่ากับ 41.96 บาท x 0.7 ลิตร = 29.3 บาท

ระยะเวลา 1 เดือน (30วัน) = 879 บาท/เดือน

ต้นทุนค่าเดินทางของรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์ Honda scoopy i 2019

= 879 – 309 บาท

= 570 บาท

ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 11,000/570 บาท = 19 เดือน

= 1 ปี 7 เดือน

5. สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาดัดแปลงรถจักรยานยนต์เป็นรถจักรยานไฟฟ้า คณะผู้จัดทำนำโครงรถจักรยานยนต์เก่าที่ขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันมาพัฒนาดัดแปลงเป็นรถจักรยานที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าโดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อจัดสร้างรถจักรยานไฟฟ้าจำนวน 1 คัน และเพื่อทดสอบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าที่ได้พัฒนาดัดแปลง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ Honda Scoopy i 2019 พบว่ารถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้ามีต้นทุนในการจัดสร้างที่ค่อนข้างต่ำสนับสนุนกิจกรรมการขนส่งได้เป็นอย่างดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยได้จัดสร้างรถจักรยานยนต์พลังงานไฟฟ้าจำนวน 1 คัน โดยมีขนาดความสูง 42 นิ้ว กว้าง 14 นิ้ว และยาว 70 นิ้ว น้ำหนักรวมของตัวรถเท่ากับ 30 กิโลกรัม ระบบขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ขนาด 48 โวลต์ กำลัง 500 วัตต์ และควบคุมการทำงานด้วยกล่องคอนโทรล 48 โวลต์ โดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตชนิด 48 โวลต์ ความจุ 30 แอมแปร์ เป็นแหล่งพลังงานหลัก รถไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถวิ่งได้ระยะทางไกลสูงสุดเท่ากับ 25 กิโลเมตรต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง รับน้ำหนักได้สูงสุด 130 กิโลกรัม การชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็ม 100% ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง และมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อครั้งอยู่ที่ 10.30 บาท ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พลังงานพบว่ารถไฟฟ้าดังกล่าวมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 1 ปี 7 เดือน ซึ่งถือว่าเป็นจุดแข็งที่ช่วยให้มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจในการนำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม การใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ซึ่งแม้จะมีอายุการใช้งานยาวนานและมีความปลอดภัยสูงแต่ก็มีข้อจำกัดเมื่อใช้งานในอุณหภูมิต่ำซึ่งอาจลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลง นอกจากนี้ระบบยังขาดการเบรกแบบ Regenerative Braking ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบรถไฟฟ้าในด้านข้อเสนอแนะการติดตั้งระบบระบายความร้อนเพิ่มเติมสำหรับแบตเตอรี่และมอเตอร์ถือเป็นแนวทางที่สำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องใช้งานต่อเนื่องเกิน 1 ชั่วโมงเพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่ง

อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในการใช้งานระยะยาว

โดยสรุปรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานสะอาดในระดับต้นแบบ แต่ยังมีโอกาสในการพัฒนาเพิ่มเติมทั้งด้านเทคนิคและการใช้งานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณทีมงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณอาจารย์กฤษณะ จันทสิทธิ์ ที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดมาจนงานสำเร็จสมบูรณ์

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กฤษณะ จันทสิทธิ์ และคณะ, “การพัฒนาจักรยานไฟฟ้ากึ่งอัตโนมัติเพื่อชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี”, วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 9(3): (2558), หน้า 16-25.

[2] วิรุณ โมนะตระกูลและคณะ, “การออกแบบและพัฒนาต้นแบบยานยนต์อเนกประสงค์ไฟฟ้า”, วรสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ, 9(2): (2567), หน้า 87-102.

[3] วิรุณ โมนะตระกูล วสันต์ เธียรสุวรรณ และ ปรัตถกร เหมะรัตน์. “การออกแบบรถสามล้อไฟฟ้าอเนกประสงค์ต้นแบบ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, ขอนแก่น, ประเทศไทย, 15-17 ตุลาคม 2557: หน้า 560-564.

[4] มงคล ลาดซุยและคณะ, “การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ”, วรสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, 9(3): (2564), หน้า 19-29.

[5] ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะและคณะ, “การออกแบบและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเดินทางระยะสั้นคนเดียว”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 6(1): (2566), หน้า 90-99.

[6] สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2563), “มาตรฐานแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า”, มอก.3026-2563 (UN R100).

[7] Srivastava, A., & Misra, A. Conversion of conventional motorcycles to electric vehicles: A cost-benefit analysis. Journal of Sustainable Transportation (2022), Vol. 15, No.3, pp.245-260.

[8] Zhang, L., & Wang, Y. Design and optimization of electric propulsion systems for two-wheelers. IEEE Transactions on Vehicular Technology (2023), Vol.72, No.4, pp.5123-5135.

[9] Chen, H., et al. Performance evaluation of lithium iron phosphate batteries in electric motorcycles. Energy Storage Materials (2021), Vol.38, pp.102-115.

[10] Kumar, R., & Singh, S. Economic feasibility of electric vehicle conversion: A case study of retrofitting petrol bikes. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2020), Vol.124, pp.109-773.

[11] Patel, V., & Joshi, R. Brushless DC motor applications in lightweight electric vehicles. International Journal of Electric and Hybrid Vehicles (2023), Vol.15. No.1, pp.45-60.

[12] Lee, J., et al. Thermal management strategies for electric motorcycle powertrains. Applied Thermal Engineering (2022), Vol.195, pp.117-210.

[13] Garca-Olivares, A., & Ballabrera-Poy, J. Lifecycle assessment of converted electric motorcycles: Environmental impacts and resource efficiency. Journal of Cleaner Production (2021), Vol.298, pp. 126-784.

[14] Ito, M., & Yamada, K. Safety standards for retrofitted electric vehicles: A review of international regulations. Safety Science (2023), Vol.158, pp.105-943.

[15] Nguyen, T., et al. Adaptive control systems for converted electric two-wheelers. Control Engineering Practice (2022), (2022). Vol.118, pp.104-456.

[16] Wong, K., & Tan, L. Market adoption of electric motorcycles in Southeast Asia: Barriers and opportunities. Transportation Research Part D:

Transport and Environment (2023), Vol.115, pp.103-
567.

ผลกระทบของการเชื่อมหลายกระบวนการต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับงานผลิตถังภาชนะรับแรงดัน

Effect of Multiple Welding Process on Mechanical and Microstructural Properties of High Strength Steel for Pressure Vassel Tank

ณัฐ แก้วสกุล[1] สุภารัตน์ บุตรไชย[2*] ธวัชชัย คำแดง[3] อัญญารัตน์ สอนนาม[4] ภาวินี อ่างบุญตา[5] และชเนรินทร์ รักสัตย์[6]

[1-5] สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[6] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Nut Kaewsakul[1] Suparat Bootchai[2*] Thawatchai Comedaeng[3] Anyarat Sonsanam[4] Parvinee Angboonta[5] and Chanerin Ruksut[6]

[1-5] Division of Industrial Education, Faculty of Education Technology,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[6] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: nut_k@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยผลกระทบของการเชื่อมหลายกระบวนการต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับงานผลิตถังภาชนะแรงดันสูงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding: GTAW) การเชื่อมอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding: SMAW) และการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding: SAW) ที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลได้แก่ความแข็งแรงดึง การต้านทานการดัดงอ ความแข็งจุลภาค และสมบัติด้านโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับการผลิตถังแรงดันสูงในอุตสาหกรรมประกอบถังแรงดัน จากการทดลองเชื่อมชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อมทั้ง 3 กระบวนการประกอบด้วยการเชื่อมแนวรูท (Root Pass) และแนวเชื่อมร้อน (Hot Pass) ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุมใช้ตัวแปรการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 30 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 52 มม../นาที ต่อด้วยการเชื่อมแนวเติมร่อง (Fill Pass) ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ใช้ตัวแปรการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 120 มม./นาที และเชื่อมแนวทับหน้า (Cover Pass) ด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ตัวแปรการเชื่อม กระแสไฟเชื่อม 480 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 34 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 170 มม./นาที โดยการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลตามม.าตรฐาน ASME IX ได้ผลการทดสอบดังนี้การทดสอบด้วยแรงดึงสามารถต้านทานแรงดึงได้สูงสุด 471.8 นิวตัน/ตร.มม. ค่าความแข็งแรงที่จุดคราก 351.78 นิวตัน/ตร.มม. การฉีกขาดพังทลายของชิ้นงานเกิดที่บริเวณเนื้อของโลหะงาน การทดสอบด้วยแรงดัดทั้งด้านหน้าแนวเชื่อม (Face Bend Test) และด้านแนวรูท (Root Bend Test) ชิ้นงานเกิดการงอเสียรูปตามแรงดัดแต่ไม่ปรากฏการเกิดรอยแตกร้าวในบริเวณแนวเชื่อม ผลกระทบร้อน และเนื้อชิ้นงานเชื่อม การทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ความแข็งบริเวณเนื้อชิ้นงาน 156 HV ความแข็งบริเวณผลกระทบร้อน 137 HV และความแข็งบริเวณแนวเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม 156 HV ความ

แข็งบริเวณแนวเชื่อมอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ 164 HV และความแข็งของแนวเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ 175 HV ซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างจุลภาคของงานเชื่อมที่เนื้อชิ้นงานประกอบด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรท์เป็นหลักและมีโครงสร้างเพิร์ลไลท์กระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ในส่วนของบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมพบว่ามีการขยายตัวของเกรนเฟอร์ไรท์ใหญ่ขึ้นตามขอบของแนวเชื่อมและมีความกว้างมากบริเวณขอบแนวเชื่อมใต้ฟลักซ์ทำให้บริเวณนี้มีค่าความแข็งลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ความแข็งในแนวเชื่อมอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์และแนวเชื่อมใต้ฟลักซ์มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจากการเย็นตัวเร็วปรากฏโครงสร้างวิดแมนเฟอร์ไรท์มีขนาดเกรนค่อนข้างละเอียดให้ค่าความแข็งสูงสุดที่แนวเชื่อมใต้ฟลักซ์เนื่องจากการเย็นตัวเร็วและไม่ได้รับความร้อนซ้ำจากการเชื่อม

คำหลัก การเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, กระบวนการเชื่อม, ภาชนะแรงดันสูง, การเชื่อมหลายกระบวนการ

Abstract

The study of the effects of multiple welding processes on the mechanical properties and microstructure of high-strength steel for high-pressure vessel production aimed to study the effects of Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Shield Metal Arc Welding (SMAW), and Submerged Arc Welding (SAW) on the mechanical properties, including tensile strength, bending, microhardness and microstructural properties of high-strength steel for high-pressure vessel production. From the experiment of welding workpieces with 3 welding processes consisting of Root Pass and Hot Pass welding with Gas Tungsten Arc Welding process using welding variable current 110 A, arc voltage 30 V, welding speed 52 mm/min followed by Fill Pass welding with flux cored wire arc welding process using welding variable current 110 A, arc voltage 24 V, welding speed 120 mm/min and Cover Pass welding with Submerged Arc Welding process using welding variable current 480 A, arc voltage 34 V, welding speed 170 mm/min By preparing the test pieces according to ASME IX standards, the test results are as follows. The tensile test can withstand a maximum tensile strength of 471.8 N/mm^2, the yield strength is 351.78 N/mm^2. The failure of the workpiece occurred at the base metal. The face bend test and the root bend test showed that the specimens were bent by bending force but did not show any cracks in the weld metal, heat affected zone and base metal. The Vickers hardness test showed the hardness in the base metal as 156 HV, the hardness in the heat affected zone as 137 HV and the hardness in the weld metal of GTAW as 156 HV, the hardness in the weld metal of SMAW area as 164 HV and the hardness in the weld metal of SAW area as 175 HV. In the area of HAZ, it was found that the ferrite grains expanded were very rough, causing the hardness in this area to decrease significantly. In the weld metal of GTAW area, the hardness value was close to the base metal because of the repeated annealing from the welding heat in the following layers. The hardness in weld metal of SMAW and SAW increases with rapid cooling. The presence of a relatively fine grain Widman ferrite structure gives the highest hardness at the SAW due to rapid cooling and no reheating during welding.

Keywords High-strength steel welding, Welding process, High pressure vessel, Multiple Welding process

1. บทนำ

เป้าหมายที่จะเพิ่มผลผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตและประกอบภาชนะรับแรงดันสูงเป็นแรงจูงใจอย่างต่อเนื่องในการค้นหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและประกอบที่ใช้ความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อม เพื่อที่จะรักษาความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตภาชนะรับแรงดันสูงจึงทำให้เกิดการศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง เช่นการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมแต่ละกรรมวิธีที่นิยมใช้ใน

การเชื่อมถังภาชนะแรงดันสูง เช่นการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding: GTAW) การเชื่อมอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding: SMAW) การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerge Arc Welding: SAW) ยังคงเป็นกรรมวิธีที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการเชื่อมประกอบงานถังแรงดันสูงในปัจจุบันทั้งสามวิธีการดังกล่าวไม่เพียงแต่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมเท่านั้น แต่ยังเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ต้องการมากที่สุดของรอยเชื่อมด้วย ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการรับรองประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ผลิตขึ้นเพื่อเกิดความปลอดภัยอย่างสูงสุดกับผู้ใช้งาน เนื่องจากกระบวนการเชื่อมแต่ละกรรมวิธีเป็นการใช้พลังงานจากการอาร์กของขั้วกระแสไฟเชื่อมที่จ่ายออกจากเครื่องเชื่อมไปสู่ชิ้นงานทำให้เกิดการหลอมในรูปแบบที่แตกต่างกันอันเกิดจากพารามิเตอร์ของแต่ละกรรมวิธีการเชื่อมส่งผลกระทบให้ชิ้นงานเกิดการหลอมละลายรวมตัวกันของเนื้อชิ้นงานเชื่อมกับลวดเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคของงานเชื่อมที่เห็นได้อย่างชัดเจนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นเนื้อของโลหะงานเชื่อมหรือเรียกว่า (Base Metal: BM) เป็นส่วนที่ไม่ได้รับอิทธิพลใด ๆ จากพารามิเตอร์ของการเชื่อม เนื้อชิ้นงานคงโครงสร้างปกติเหมือนสภาพจำหน่าย ส่วนที่สองเป็นบริเวณผลการจากความร้อนในการเชื่อมหรือเรียกว่า (Heat Affected Zone: HAZ) เป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนเข้า (Heat Input) ของการเชื่อมเป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่น่าเป็นห่วงอย่างยิ่งเพราะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลต่อชิ้นงานเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง[1,2] จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิจัยเพื่อควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมให้เหมาะสมเพื่อความสมบูรณ์ของงานเชื่อมและปลอดภัยในการใช้งาน ส่วนที่สามได้แก่บริเวณเนื้อแนวเชื่อมหรือเรียกว่า (Weld Metal: WM) เป็นบริเวณที่มีโครงสร้างจุลภาคแตกต่างจากทั้งสองส่วนโดยสิ้นเชิงมีการหลอมละลายผสมผสานกันของเนื้อโลหะงาน ลวดเชื่อม และฟลักซ์ มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นเพื่อสร้างรอยเชื่อมให้สมบูรณ์ทั้งบริเวณผลกระทบร้อน และแนวเชื่อมจะได้รับอิทธิพลจากความร้อนในการเชื่อมโดยตรงทำให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้สมบัติทางกลเช่นความแข็งแรง ความแข็ง ความเหนียวของงานเชื่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน [3,4,5] ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมแต่ละกระบวนการที่มีผลต่อสมบัติทางกลและสมบัติของโครงสร้างจุลภาคต่องานเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตถังแรงดันสูง

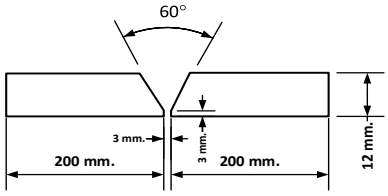
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการทำวิจัย

กำหนดกระบวนการเชื่อมทดสอบตามสภาวะการเชื่อมจริงในการเชื่อมประกอบภาชนะรับแรงดันสูงทั้งสามกระบวนการเชื่อมได้แก่การเชื่อมแนวรูท และแนวเชื่อมร้อนด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุมด้วยสภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 30 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 52 มม./นาที สองกระบวนการเชื่อมเติมร่องบากชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์สภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 120 มม./นาที สามกระบวนการเชื่อมแนวทับหน้าด้วยการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์สภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 480 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 34 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 170 มม./นาที โดยใช้โลหะงานเชื่อมเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับการทำภาชนะรับแรงดันสูง A516 G70 มีความหนาของชิ้นงาน 12 มม. การเตรียมชิ้นงานเชื่อมทดสอบเป็นการเตรียมชิ้นงานในลักษณะต่อชนบากมุมรวม 60 องศา การเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นไปตามม.าตรฐาน ASME IX ทดสอบแรงดึงและแรงดัด ทดสอบความแข็งจุลภาค และตรวจสอบสมบัติโครงสร้างงจุลภาคของงานเชื่อม

2.2 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบมีขนาดความกว้างชิ้นละ 200 มม. มีความยาว 500 มม. ความหนา 12 มม. บากร่องชิ้นมุมบากรวม 60 องศา ความหนาหน้าฐาน 3 มม. ระยะเปิดหน้าฐาน 3 มม. ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อม

การตัดเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบด้วยแรงดึง และแรงดัดตามมาตรฐาน ASME IX ตามรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงการตัดเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางโครงสร้างจุลภาค

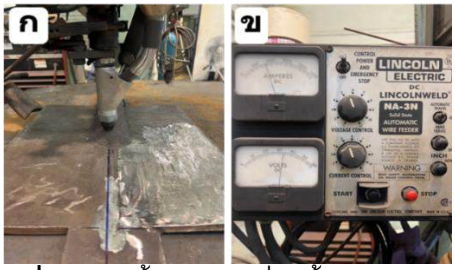
2.3 วัสดุและเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุชิ้นงานเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ASTM A516 G70 เป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่นิยมนำมาผลิตภาชนะแรงดันสูงมีความหนา 12 มม. โดยมีสมบัติทางกลในสภาพจำหน่ายดังแสดงใน

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม ASTM 516 G70

สมบัติทางกล	คุณลักษณะเฉพาะ
Tensile Strength (MPa)	485-620
Yield Strength (MPa)	260
Elongation in 200 mm. (%)	17
Hardness (HV)	156

การเชื่อมทดสอบชิ้น งานการปรับพารามิเตอร์ในการเชื่อม การตัดเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกล



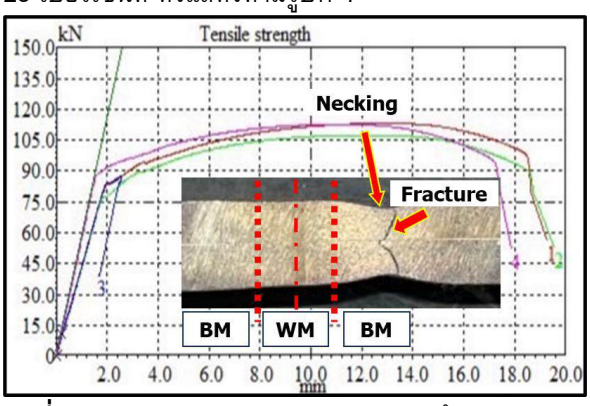
รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3 (ก)เป็นการเตรียมการเชื่อมแนวทับหน้าด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (ข) การปรับกระแสไฟเชื่อมและแรงดันอาร์กในการเชื่อมใต้ฟลักซ์

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบด้วยแรงดึง

ผลการทดสอบด้วยแรงดึงชิ้นงานเชื่อมได้ค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด 471.8 นิวตัน/ตร.มม.. ค่าความต้านทานแรงดึงจุดคราก 351.8 นิวตัน/ตร.มม.. มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว 23 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบด้วยแรงดึงและการขาดพังทลายของชิ้นงานทดสอบ

ปรากฏผลของรอยขาดของชิ้นงานแสดงให้เห็นการยืดตัวมีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดก่อนที่จะขาดออกจากกันแสดงถึงความเหนียวและเกิดการยืดตัวได้ดีของเนื้อชิ้นงาน เนื่องจากการขาดพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นในบริเวณของเนื้อชิ้นงานแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมของทั้งสามกรรมวิธีสามารถสร้างแนวเชื่อมได้สมบูรณ์เกิดการหลอมละลายเข้ากันได้เป็นอย่างดีของเนื้อชิ้นงาน และเนื้อของลวดเชื่อม ทำให้แนวเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึงได้ดีกว่าเนื้อชิ้นงาน ดังแสดงผลการทดสอบด้วยแรงดึง

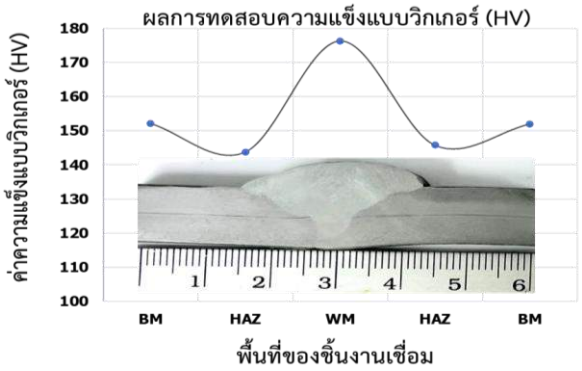
3.2 ผลการทดสอบด้วยแรงดัด

การทดสอบด้วยแรงดัดงอเป็นการทดสอบการหลอมละลายของแนวเชื่อมกับชิ้นงานเชื่อมโดยการทดสอบด้วยแรงดัดทั้งแบบดัดผิวหน้าแนวเชื่อมและดัดแนวรูทของแนวเชื่อมจากผลการทดสอบพบว่าพารามเตอร์ในการเชื่อมของทั้งสามกระบวนการเชื่อมสามารถหลอมละลายสร้างความสมบูรณ์ให้แนวเชื่อมและเนื้อชิ้นงานได้เป็นอย่างดีเนื่องจากไม่ปรากฏรอยแตกร้าวใด ๆ บริเวณเนื้อแนวเชื่อม บริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม

และเนื้อชิ้นงานเชื่อมซึ่งทั้งสามบริเวณเกิดการยืดตัวอย่างรุนแรงจากการดัดชิ้นงานแต่ชิ้นงานสามารถต้านทานการเกิดรอยร้าวได้ทั้งผิวหน้าแนวเชื่อมและแนวรูทของชิ้นงาน

3.3 ผลการทดสอบความแข็งจุลภาค

ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งรุ่นอินโนวาเทส(Innovatest) แสดงค่าความแข็งมากที่สุดคือ 177 HV เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเชื่อมทับหน้าแนวสุดท้ายด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์แต่ในขณะเดียวกันแนวเชื่อมในชั้นแนวเติมร่องบากที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการอาร์กด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ความแข็งลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็งในแนวเชื่อมยังคงให้ค่าความแข็งที่สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5

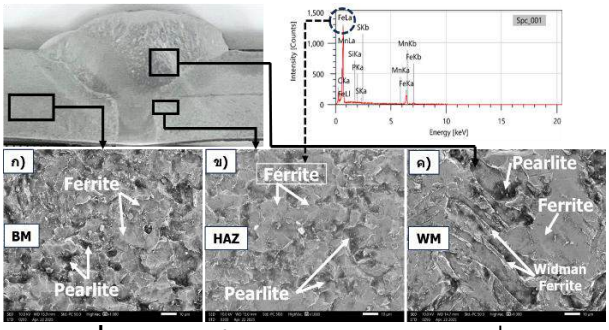


รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (HV)

ส่วนในพื้นที่บริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) ปรากฏค่าความแข็งที่น้อยที่สุด 142 HV ในพื้นที่ของชิ้นงานเชื่อมทั้งสองด้านโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่บริเวณผลกระทบร้อนของแนวเชื่อมใต้ฟลักซ์ปรากฏค่าความแข็งต่ำที่สุดในชิ้นงานเชื่อม ส่วนพื้นที่บริเวณเนื้อชิ้นงานปรากฏค่าความแข็งปานกลางที่ 154 HV

3.4 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจากกล้องโอลิมปัสกำลังขนาด 10X ปรากฏลักษณะโครงสร้างของเนื้อชิ้นงานเดิมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมจะมีโครงสร้างเกรนเป็นแนวยาวตามการรีดชิ้นงานโดยมีเนื้อโครงสร้างหลักเป็นเฟอร์ไรท์ และมีเพิร์ลไลท์กระจายตัวบาง ๆ ตามขอบเกรนของเฟอร์ไรท์ ในบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมลักษณะเกรนมีการขยายตัวใหญ่ขึ้นของโครงสร้างเฟอร์ไรท์และให้ลักษณะเกรนที่เป็นก้อนกลมมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ผลกระทบร้อนใต้แนวเชื่อมใต้ ฟลักซ์โครงสร้างในส่วนของแนวเชื่อมจะปรากฏโครงสร้างเฟอร์ไรท์มีลักษณะคล้ายเข็มแหลม (Needle ferrite) หรือโครงสร้างวิดแมนเฟอร์ไรท์มีขนาดเกรนค่อนข้างละเอียดดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงผลโครงสร้างจุลภาคของงานเชื่อม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy: EDS) ยี่ห้อ Jeol รุ่น JSM-IT200 พบปริมาณเหล็กสูงมากในโครงสร้างเฟอร์ไรท์ และพบองค์ประกอบของคาร์บอนมากโครงสร้างเพิร์ลไลท์ที่อยู่บริเวณขอบเกรนของเฟอร์ไรท์

4. อภิปรายผล

จากการเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยกระบวนการเชื่อมสามกระบวนทำให้ค่าความแข็งแรงบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เกิดการฉีกขาดจากแรงดึงเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากความร้อนซ้ำในการเชื่อมหลาย ๆ แนวทำให้เกรนมีการขยายตัวโตกว่าบริเวณอื่น ๆ [6] ของงานเชื่อมทำให้เกิดการยืดตัวจากการดึงได้ง่ายสอดคล้องกับค่าความแข็งที่วัดได้ต่ำกว่าบริเวณจึงทำให้เกิดการเสียรูปและฉีกขาดในที่สุด ในณะที่บริเวณเนื้อแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่มีการเย็นตัวค่อนข้างไวจึงทำให้เกรนบริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นแท่งแหลมละเอียดทำให้ต้านทานต่อแรงดึงได้ดี [7] และค่าความแข็งสูงสุดแต่ไม่มีความเปราะเนื่องจากโครงสร้างหลักเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์ที่มีความเหนียวสูง

5. สรุป

การเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับงานผลิตภาชนะรับแรงดันด้วยกระบวนการเชื่อมทังสเตนแก๊สคลุมเชื่อมแนวรูทและแนวเชื่อมร้อนด้วยกระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 30 โวลต์ ความเร็วเชื่อม 52 มม./

นาที เชื่อมแนวเติมร่องบากด้วยการเชื่อมลวดหุ้มฟลักซ์ กระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ ความเร็วเชื่อม 120 มม./นาที และเชื่อมแนวทับหน้าด้วยการเชื่อมใต้ฟลักซ์ กระแสไฟเชื่อม 480 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 34 โวลต์ ความเร็วเชื่อม 170 มม./นาที เชื่อมชิ้นงานหนา 12 มม. ชิ้นงานสามารถรับแรงดึงได้สูงสุด 471.8 นิวตัน/ตร.มม. เนื้อแนวเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึงได้โดยไม่เกิดการฉีกขาด ชิ้นงานเชื่อมทดสอบสามารถต้านทานแรงดัดได้โดยไม่เกิดรอยแตกร้าว แนวเชื่อมมีความแข็งมากที่สุดแต่สามารถต้านทานแรงดึงและแรงดัดได้โดยไม่เกิดการแตกร้าวและฉีกขาด ดังนั้นในการเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับงานผลิตและประกอบถังแรงดันสูงควรควบคุมอุณหภูมิจากความร้อนในการเชื่อม ได้แก่กระแสไฟเชื่อม แรงดันอาร์ก และความเร็วในการเชื่อม รวมถึงอุณหภูมิสะสมระหว่างชั้นแนวเชื่อมอย่างเหมาะสมเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของงานเชื่อมให้น้อยที่สุด

6. ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

ควรทำการศึกษาวิจัยผลกระทบของกระบวนการเชื่อมอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมเหล็กกล้าคงามแข็งแรงสูงเพื่อเป็นทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมการประกอบ และผลิตถังภาชนะรับแรงดันสูงต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ไอทีซี กำจัด ขอขอบบุคลากรสาขาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นงาน ทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดลองในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Didit Sumardiyanto*, Sri Endah Susilowati, Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties of Low Carbon Steel API 5L Shielded Metal Arc Welds, American Journal of Materials Science 2019, 9(1): 15-21.

[2] HAYASHI Kenji[1], NAGAO Akihide, MATSUDA Yutaka, 550 and 610 MPa Class High-strength Steel Plates with Excellent Toughness for Tanks and Penstocks Produced Using Carbide Morphology Controlling Technology†, JFE TECHNICAL REPORT No. 11 (June 2008).

[3] Abdul Wahab[a,b,*], Lukmanul Hakim Armac, Hairul Arsyadd, Rozaini Bin Othmane, Effect of Temperature Variation PWHT Dissimilar Welding Low Carbon Steel ASTM A36 with ASTM A240 Type 316L, EPI International Journal of Engineering, Volume 7, Number 1, February 2024, pp. 33-37.

[4] Jerzy Winczek, Modeling of Temperature Field during Multi-Pass GMAW Surfacing or Rebuilding of Steel Elements Taking into Account the Heat of the Deposit Metal, Appl. Sci. 2017, 7, 6.

[5] steelsXiang Luoa, Yawei Niua, Xiaohua Chenb,*, Hao Tanga, Zidong Wanga,*, High performance in base metal and CGHAZ for ferrite-pearlite steels, Journal of Materials Processing Technology, 242(2017), Page.101-109.

[6] Amirhossein Mashhuriazar[a], C.Hakan Gur[b], Zainuddin Sajuri[c], Hamid Omidvara[*], Effects of heat input on metallurgical behavior in HAZ of multi-pass and multi-layer welded IN-939 superalloy, journal of materials research and technology 2021; 15: 1590 -1603.

[7] Didit Sumardiyanto*, Sri Endah Susilowati, Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties of Low Carbon Steel API 5L Shielded Metal Arc Welds, American Journal of Materials Science 2019, 9(1): 15-21.

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานไม่สมมาตรเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 โดยใช้ตรอบิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า

Design and Making of a Deep Drawing Die for Asymmetrical Stainless steel grade 304 Using a Drawbead with an Unequal Rectangular Cross-Section.

เชษฐ อุทธิยัง[1*] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ[1] นทีชัย ผัสดี[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
E-mail: chet_tde@hotmail.com*

Chet Uthiyoung[1*] Watcharin Sitticharoen[1] and Nateechai Pasdee[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Lanna
E-mail: chet_tde@hotmail.com*

บทคัดย่อ

วิจัยนี้ใช้ตรอบิดสำหรับกระบวนการลากขึ้นรูปโลหะในครั้งเดียวของชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร โดยใช้ตรอบิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ทำการศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร โดยลากขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร พบว่าการใช้รูปทรงตรอบิด และไม่ใช้ตรอบิดสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ การใช้ตรอบิดความหนาของชิ้นงานมีค่าลดลง

สำคัญ : แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป, ชิ้นงานไม่สมมาตร, ตรอบิด, ความหนาชิ้นงาน

Abstract

This research is to a drawbead with an unequal rectangular cross-section in a single-operation deep drawing process of asymmetrical sheet metal parts. The objective is to investigate the material flow behavior during the deep drawing of asymmetrical components using stainless steel sheet (SUS304) with a thickness of 0.5 mm. Experimental results indicate that both with and without the drawbead, the asymmetrical parts can be successfully formed. However, the application of the drawbead results in a reduction in the final thickness of the drawn part, suggesting its influence on controlling material flow during the forming process.

Keyword : Deep Drawing Die, Asymmetrical Workprice, Draw bead, thickness of the drawn part

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต มีหลากหลายวิธี โดยในจำนวนนั้น กระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การลากขึ้นรูปลึกเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นภายใต้ แรงดึง (Tensile Stress) และ แรงอัด (Compressive Stress) ที่เกิดร่วมกัน โดยแผ่นโลหะเปล่าจะถูกดึงเข้าไปในแม่พิมพ์ขึ้นรูปผ่านการทำงานร่วมกันของชุดพันช์ (Punch) และดาย (Die) โดยแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank Holder) จะกดแผ่นชิ้นงาน (Blank) และตัวพันช์ จะเคลื่อนที่กดแผ่นชิ้นงาน เข้าไปในดาย จนได้รูปทรงของชิ้นงาน. การขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะสามมิติแบบสมมาตรตามแนวแกน เช่น กระป๋องอะลูมิเนียม และยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ซึ่งเป็นชิ้นงานไม่สมมาตร ในกระบวนการลากขึ้นรูปลึก มักพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน เช่น รอยย่น (Wrinkling) และ การฉีกขาด (Tearing) ซึ่งสาเหตุหลักมักเกิดจาก แรงกดยึดแผ่นโลหะ (Blank Holding Force) ที่ไม่เหมาะสม กล่าวคือ หากแรงกดมีค่ามากเกินไป อาจทำให้แผ่นโลหะเกิดการฉีกขาดได้ ในขณะที่แรงกดที่น้อยเกินไปก็อาจทำให้เกิดรอยย่นขึ้นบนชิ้นงานได้ เพื่อควบคุมการไหลของโลหะแผ่นในกระบวนการขึ้นรูปและลดปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ เช่น การปรับแรงกดยึดให้เหมาะสม หรือการลดแรงเสียดทานระหว่างผิวแม่พิมพ์กับชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม เทคนิคเหล่านี้ยังคงมีข้อจำกัดในด้านการควบคุมการไหลของวัสดุในบางบริเวณเฉพาะจุดเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคที่เรียกว่าตรอบิด (Draw Bead) ซึ่งเป็นการออกแบบร่องหรือสันที่เฉพาะเจาะจงบนผิวแม่พิมพ์ เพื่อช่วยควบคุมและต้านการไหลของโลหะแผ่นในบริเวณที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคนี้สามารถช่วยลดการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดของชิ้นงานในกระบวนการขึ้นรูปได้อย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร โดยการใช้ตรอบิดที่มีรูปร่างที่ต่างกันและทำการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ารูปทรงของตรอบิดมีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่น ที่ตรอบิดหน้าตัดครึ่งวงกลม ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและรอยย่นลดลง [1] การประยุกต์ใช้ตรอบิดแบบ Free-form ในกระบวนการลากขึ้นรูปเพื่อเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานในการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการลากขึ้นรูป การใช้ตรอบิดเป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการนำตรอบิดแบบ Free-form มาใช้งาน จากการศึกษา พบว่าการใช้ตรอบิดประเภทนี้สามารถลดปัญหาการบางลงของวัสดุและช่วยควบคุมการโก่งของผนังชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพชิ้นงานที่ได้ดีกว่าการใช้ตรอบิดแบบมาตรฐาน [2] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของรัศมีบ่าดายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมแบบมีปีกสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จากผลการจำลองโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลองจริงพบว่าขนาดของรัศมีบ่าดายทั้ง 4 ระดับ สามารถทำการลากขึ้นรูปวัสดุสองชนิดได้สำเร็จทั้งหมด ความแข็งแรงของวัสดุที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูงขึ้น โดยที่รัศมี บ่าดายเท่ากับ 12 มิลลิเมตร จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปน้อยและความหนาของถ้วยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด [3] ศึกษาความหยาบผิวตรอบิดที่มีผลต่อการขึ้นรูปตรอบิดมีความหยาบผิว สามระดับ พบว่าผิวตรอบิดที่มีความละเอียดมากใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุดเกิดความเครียดที่ชิ้นงานน้อยสุด เปลี่ยนแปลงความหนาน้อยและผิวชิ้นงานมีผิวละเอียดขึ้นอย่างไรก็ตามความหยาบผิวตรอบิดมีอิทธิพลต่อการลากขึ้นรูปไม่มากนัก [4] การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์ที่ใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงโดยจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ การออกแบบตรอบิด ขนาดของแผ่นชิ้นงานเริ่มต้น และแรงจับยึดชิ้นงาน เพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการแตกและการย่นของชิ้นงานลงได้ การใช้ระบบแก๊สสปริงแทนที่ระบบจับยึดชิ้นงานด้วยแรงจากเครื่องจักรโดยตรง ผลการจำลองได้ชิ้นงานที่ดีกว่าในแง่ของการเกิดรอยย่น[5] การขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร ใช้ตรอบิดที่มีความหยาบผิวต่างกัน และทำการจำลองด้วยวิธีไฟไนเอลิเมนต์ ใช้ตรอบิดรูปทรงครึ่งวงกลม ชิ้นงานเป็นวัสดุเหล็กรีดเย็น SPCD ผลการทดลองพบว่าความหยาบผิวตรอบิดมีผลต่อการไหลตัวของชิ้นงาน ตรอบิดที่มีความหยาบผิว

มากส่งผลให้ชิ้นงานมีโอกาสฉีกขาด และเกิดรอยย่นได้มาก การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองจริงที่มีผลลัพธ์สอดคล้องกัน [6] บทความวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับแรงเสียดทานในกระบวนการลากขึ้นรูปลึก โดยจะใช้รูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีการไหลของวัสดุแบบไม่สมมาตรเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ จากการศึกษาจะถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดอัตราส่วนแรงเสียดทานที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายในบริเวณมุมของรูปทรง [7] การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปลึก โดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาเครื่องมือประเมินการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งในด้านเวลาและพื้นที่ ซึ่งจะช่วยในการควบคุมการติดตามโดยใช้ระบบการกระทำที่ฝังตัวในแม่พิมพ์ การแสดงผลแบบต่อเนื่องของการกระจายอุณหภูมิในแม่พิมพ์ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ในการประมาณค่าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ระดับสูง เพื่อคำนึงถึงรูปร่างซับซ้อนของเครื่องมือ การระบุค่าพารามิเตอร์ถูกดำเนินการโดยใช้ข้อมูลการวัด เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการประมาณค่าไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ดีที่สุด[8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและ สร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร ใช้ตรอบิดเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานและทำการวัดตรวจสอบชิ้นงาน

รูปที่ 1 แบบจำลองชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก[9] [10] ดังรูปที่ 1 ชิ้นงานเป็นลักษณะรูปไต ขนาด 69 x 127x 20 มิลลิเมตร โดยคำนวณหาขนาดแผ่นเปล่าได้ค่าเท่ากับ 235 x 235 มิลลิเมตร คำนวณแรงในการลากขึ้นรูป (P_{dr}) จากสมการที่ 1 ได้ค่าเท่ากับ 53.08 กิโลนิวตัน คำนวณแรงจับยึดชิ้นงาน (F_{BH}) จากสมการที่ 2 ได้ค่าเท่ากับ 17.70 กิโลนิวตัน ค่ารัศมีดาย (R_D) จากสมการที่ 3 เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ค่ารัศมีพันช์ (R_P) เท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ค่าช่องว่างระหว่างพันช์กับดาย (CL) จากสมการที่ 4 เท่ากับ 0.66 มิลลิเมตร อัตราส่วนการลากขึ้นรูปเท่ากับ 1.9 วัสดุที่นำมาทำแม่พิมพ์ส่วนของพันช์และดาย ใช้เหล็กกล้า SKD11 ชุบแข็ง 58-60 HRC. การหาแรงในการลากขึ้นรูปมีดังนี้

$$P_{dr} = \sigma_u \times T \times [(2\pi r_c * C_1)] + (l_s * C_2) / 1{,}000 \qquad (1)$$

โดยที่ σ_u คือความแข็งแรงต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุ (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร) T คือความหนาของแผ่นโลหะ (มิลลิเมตร) r_c คือรัศมีมุมโค้ง (มิลลิเมตร) l_s คือผลรวมความยาวส่วนขอบ (มิลลิเมตร) C_1 ค่าคงที่ เมื่อขึ้นรูปกล่องตื้น ๆ เท่ากับ 0.5 เมื่อขึ้นรูปกล่องที่ลึกมากกว่า 5 - 6 เท่าของรัศมีมุมโค้ง เท่ากับ 2 C_2 คือค่าคงที่ เมื่ออัตราส่วนลากขึ้นรูปต่ำและไม่ใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานเท่ากับ 0.2 เมื่อลากขึ้นรูปที่ใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานเท่ากับ F/3 เท่ากับ 0.3 สำหรับกรณีที่ใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานที่สูงเท่ากับ 1

แรงกดของแผ่นยึดชิ้นงาน (Blank Holder Force) คำนวณหาค่าได้จาก สมการ ที่ 2

$$F_{BH} = \frac{\text{Drawing Force}}{3} \qquad (2)$$

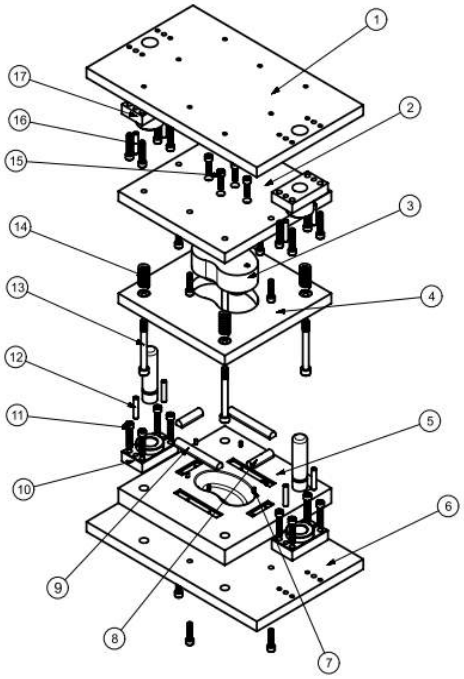
การคำนวณหารัศมีดาย ได้จากสมการที่ 3

$$R_D = (5 \text{ ถึง } 10) \times T \qquad (3)$$

ส่วนรัศมีพันช์ (R_p) ควรใหญ่กว่ารัศมีดายประมาณ 3 - 5 เท่า ค่ารัศมีพันช์ต้องไม่เล็กกว่ารัศมีดาย เนื่องจากอาจทำให้เกิดการกดฉีกเนื้อโลหะให้แยกกันเหมือนกับแม่พิมพ์ตัดเฉือนได้ การคำนวณหาช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ได้จากสมการที่ 4

$$CL = T + 0.07\sqrt{10T} \qquad (4)$$

ออกแบบและเขียนแบบชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก

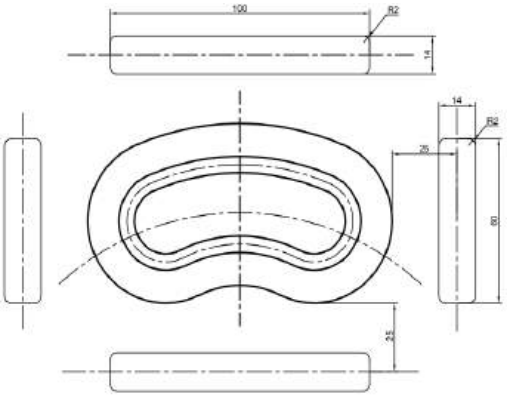
ชื่อชิ้นส่วนแม่พิมพ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก

NO	List	Material Dimensions	materials	Drawing Number	Quantity
18	Guide Bush	□ 48x84x45	Standard	18	2
17	Pin	∅8x40	Standard	17	8
16	Screw	M8x1.25x40	Standard	16	12
15	Spring	∅20x∅9x40	Standard	15	4
14	Screw	M8x1.25x95	Standard	14	4
13	Guide	∅25x100	Standard	13	2
12	Screw	M8x1.25x50	Standard	12	16
11	Guide Bush	□ 48x84x30	Standard	11	2
10	Spacer Block	□ 30x250x60	S50C	10	3
9	Draw Bead	□ 14x100x11	SKD11	9	2
8	Draw Bead	□ 14x50x11	SKD11	8	2
7	Pin	∅5x8	ST37	7	8
6	Die Holder	□ 250x400x20	S50C	6	1
5	Die	□ 250x250x25	SKD11	5	1
4	Stripper Plate	□ 250x250x14	S50C	4	1
3	Punch	□ 115x63.5x55	SKD11	3	1
2	Punch Plate	□ 250x250x20	S50C	2	1
1	Punch Holder	□ 250x400x20	S50C	1	1

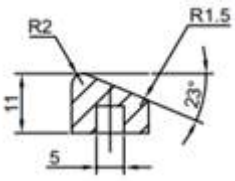
รูปที่ 3 ชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก

ตำแหน่งการวางตรอบิด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งการวางตรอบิด

ลักษณะของตรอบิดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตรอบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า

2.2 วัสดุ อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

วัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ความหนา 0.5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 670 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ใช้สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกชนิด PE ความหนา 0.04 มิลลิเมตร วางประกบแผ่นเปล่าทั้งสองด้าน ใช้เครื่องเพรสขนาดแรงกด 800 กิโลนิวตัน โดยนำชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกไปติดตั้งบนเครื่องเพรส ดังรูปที่ 6 เพื่อทดลองขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร บันทึกผลการทดลองโดยทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นทำการวัดความหนาของชิ้นงาน ตามจุดตรวจวัดที่กำหนด

รูปที่ 6 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์บนเครื่องเพรส

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดลองลากขึ้นรูปลึก

การทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร โดยไม่ใช้ตรอบิดและใช้ตรอบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานดังตารางที่ 2

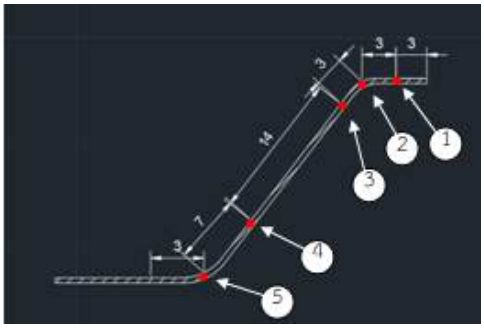
ตารางที่ 2 ความสามารถในการลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร

ตรอบิด	รูปภาพประกอบ	หมายเหตุ
ไม่ใช้ตรอบิด		ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ดี และชิ้นงานมีความสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกและฉีกขาด
หน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า		ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ดี และชิ้นงานมีความสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกและฉีกขาด

จากตารางที่ 2 การทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ดี และชิ้นงานมีความสมบูรณ์ ได้รูปทรง ไม่มีรอยแตกและฉีกขาด

3.2 การวัดขนาดชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร

เมื่อทำการลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตรเสร็จแล้ว ได้นำชิ้นงานมาตรวจสอบ โดยทำการวัดความเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน แบ่งจุดวัดเป็น 20 จุด โดยชิ้นงานที่ทำการวัดความหนา ดังรูปที่ 7

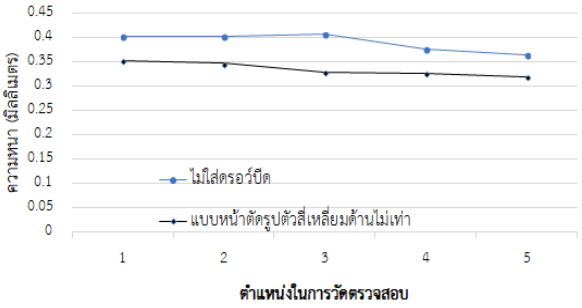


รูปที่ 7 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดขนาดความหนา

โดยตัดผ่าครึ่งชิ้นงานด้านยาวและด้านกว้าง และวัดขนาดความหนาชิ้นงานทั้งห้าตำแหน่ง ผลการวัดขนาดความหนาดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความหนาชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร

การวัดความหนาชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร						
ไม่ใช้ตรอบิด	ชิ้นที่	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5
	1	0.42	0.43	0.41	0.39	0.38
	2	0.40	0.39	0.40	0.38	0.36
	3	0.39	0.40	0.41	0.38	0.38
	4	0.39	0.38	0.40	0.37	0.37
	5	0.41	0.42	0.41	0.36	0.34
	ค่าเฉลี่ย	0.40	0.40	0.41	0.38	0.36
	ค่า SD.	0.013	0.020	0.005	0.011	0.016
	รวม					0.021
ตรอบิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	ชิ้นที่	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5
	1	0.35	0.35	0.32	0.32	0.30
	2	0.36	0.35	0.34	0.34	0.35
	3	0.36	0.35	0.32	0.32	0.32
	4	0.36	0.34	0.34	0.33	0.32
	5	0.34	0.34	0.33	0.32	0.33
	ค่าเฉลี่ย	0.35	0.35	0.33	0.33	0.32
	ค่า SD.	0.008	0.005	0.010	0.008	0.018
	รวม					0.015



รูปที่ 8 ความหนาโดยเฉลี่ยของชิ้นงาน

จากรูปที่ 8 การทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร ที่ใช้รูปทรงตรอบิดหน้าตัดรูปตัวสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าและไม่ใส่ตรอบิด ที่ทำให้ความหนาเปลี่ยนแปลงหลังการลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร ตรอบิดหน้าตัดรูปตัวสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ตำแหน่งที่ 1 ที่ปีกถ้วย มีความหนาสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.35 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่ 3, 4 และ5 ที่ผนังชิ้นงานความหนาเฉลี่ยจะลดลงมีค่า 0.32-0.33 มิลลิเมตร ไม่ใส่ตรอบิด ตำแหน่งที่ 4 และ 5 ที่ผนังชิ้นงานใกล้ฐานชาม มีความหนาเฉลี่ยลดลงมีค่า 0.34-0.36 มิลลิเมตร

4. อภิปรายผล

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร หลังจากทำการปรับแต่งชุดแม่พิมพ์ตามที่ได้ทำ จึงได้ทำการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานได้ชิ้นงานไม่แตก ไม่ฉีกขาด ไม่มีรอยย่น โดยเทคนิคการใช้ตรอบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ทำให้ได้ความหนาที่ผนังชิ้นงานบางลงเนื่องจากควบคุมและต้านการไหลของโลหะแผ่น ทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานที่แผ่นงาน ที่จะไหลเข้าสู่ดายทำให้การไหลตัวของเนื้อโลหะสม่ำเสมอและถึงลากดึงเข้าไปในดาย ตรอบิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าช่วยควบคุมการไหลของโลหะได้ดีในบริเวณมุมชิ้นงานที่ไม่สมมาตร แต่อาจก่อให้เกิดความเครียดสะสมในบางจุด

5. สรุป

5.1 การใช้แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกทดลองลากขึ้นรูปในครั้งเดียวชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร ทั้งการใช้ตรอบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า และไม่ใช้ตรอบิด สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้

5.2 การทดลองลากขึ้นรูปในครั้งเดียวชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร การใช้ตรอบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ทำให้ความหนาชิ้นงานลดลง มากกว่าเมื่อไม่ใช้ตรอบิด

5.3 การใช้วัสดุเหล็กกล้าไรสนิม SUS304 อาจทำให้เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์เร็วขึ้นควรมีการเคลือบผิวแม่พิมพ์เพื่อยืดอายุการใช้งาน

5.4 ในการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร ควรมีการใช้ตรอบิดแบบอื่นๆด้วยเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองและจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และการเผยแพร่งานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พิสิษฐ์ ศรีน้อยและศิริชัย ต่อสกุล, “การศึกษาอิทธิพลของรูปทรงตรอบิดที่มีผลต่อการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยรูปทรงชิ้นงานไม่สมมาตร”วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 24 ฉบับที่ 3, (2556), หน้า 33-40.

[2] วิริยากร พานิชวงษ์, “การศึกษาการประยุกต์ใช้ตรอบิดสำหรับกระบวนการลากขึ้นรูป” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2562.

[3] ธวัชชัย แก้วสีใส และคณะ, “ศึกษาอิทธิพลของรัศมีดายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมแบบมีปีกสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์”,การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2555, 17- 19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี, (2555).

[4] ธีรยุทธ กาญจนแสงทองและคณะ, “การศึกษาอิทธิพลของความหยาบผิวของดอร์บิสในงานลากขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบไม่สมมาตร”,การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2555, 17- 19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี, (2555).

[5] ภานุพงษ์ สุวรรณจินดาและสรุศักดิ์ สุรนันทชัย, “การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชิ้นส่วนยานยนต์โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ :

กรณีศึกษา BRACKET, FR BUMPER SIDE LH/RH วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 39 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม 2559.

[6] กฤติธรณ์ นามสง่าและคณะ, “การเปรียบเทียบความหยาบผิวของดรอว์บีดในการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์” วารสารวิศวกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร เล่ม12 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน, (2560), หน้า 63-72.

[7] M. Miiller, L. Uhlmann, T. Herrig, T. Bergs, “Numerical analysis of the dependence of damage on friction during deep drawing of asymmetric geometries”, Advances in Industrial and Manufacturing Engineering 8,(2024) 100136.

[8] M. Wroble and T. Meurer, “Optimal sensor placement and estimator-based temperature control for a deep drawing process”, Journal of Process Control 124(2023)92-104.

[9] ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, “การออกแบบแม่พิมพ์”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, (2552), พิมพ์ครั้งที่ 10.

[10] วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, “งานขึ้นรูปโลหะ”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, (2552), พิมพ์ครั้งที่ 4.

การศึกษาการอัดขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยก้านกล้วย

A Study on Compression Molding of Cushioning Materials from Banana Pseudostem Fibers

ธีรวัฒน์ แสงกาศ[1*] ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง[2] อดิเรก ชัยนวกุล[3] ศุภชัย อัครนรากุล[4] นทีชัย ผัสดี[5] เชษฐ อุทธิยัง[6]
[1] หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Teerawat Sangkas[1*] Supasit Manokruang[2] Adirake Chainawakul[3] Supachai Aukaranarakul[4]
Nateechai Passadee[5] Chet Uthiyoung[6]
[1] Program of Tools and Die Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai
[2] Department of Industry Engineering, Faculty of Industry and Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai
E-mail: Teerawat@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแม่พิมพ์สำหรับกดอัดขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยก้านกล้วย ตลอดจนศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกทดแทนโฟมสังเคราะห์ โดยใช้การทดสอบความแข็งแรงจากแรงกด (Compression Test) และการตกกระแทก (Drop Test) ผลการทดลองพบว่าสูตรที่มีค่าทนแรงกดอัดมากที่สุดคือ สูตรที่ 1 ทนแรงกดได้ 217.82 kgf ขณะที่สูตรที่มีค่าทนแรงกดอัดต่ำที่สุดคือ สูตรที่ 4 ทนแรงกดได้ 33.65 kgf ซึ่งใกล้เคียงกับโฟมกันกระแทกทั่วไปที่มีค่าทนแรงกดเพียง 3.17 kgf จึงเหมาะสำหรับใช้งานจริงมากที่สุด ผลการทดสอบ Drop Test โดยใช้ชิ้นงานจากสูตรที่ 4 พบว่าไม่มีความเสียหายต่อวัตถุที่บรรจุ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการกันกระแทกได้ งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุธรรมชาติในการทดแทนวัสดุสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำหลัก แม่พิมพ์กดอัด, วัสดุกันกระแทก, เส้นใยก้านกล้วย, กาวแป้งมัน, กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Abstract

This research aimed to design and fabricate a mold for compression molding of cushioning materials made from banana pseudostem fibers, and to determine the most suitable formulation for replacing conventional foam. The mechanical properties of the molded products were evaluated using compression and drop tests. The results showed that Formula 1 had the highest compressive strength at 217.82 kgf, while Formula 4 exhibited the lowest compressive strength at 33.65 kgf, which is close to that of commercial foam (3.17 kgf). Due to its similar softness, Formula 4 was considered the most appropriate for practical cushioning applications. In the drop test, the molded sample from Formula 4 was used to protect a ceramic item during impact, and no damage was observed. These findings demonstrate the potential of natural materials to effectively replace synthetic foams with a more

environmentally friendly alternative.

Keywords: compression mold, cushioning material, Fiber from banana stalks, Tapioca starch, Poly Vinyl Alcohol

1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันส่วนใหญ่มักผลิตจากพลาสติก เช่น กล่องเก็บของ กล่องโฟม กล่องใส่อาหาร รวมถึงวัสดุกันกระแทก ซึ่งแม้ว่าพลาสติกจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานในหลายด้าน แต่กลับมีข้อเสียสำคัญคือ ย่อยสลายได้ยากตามธรรมชาติ[1] และก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อันนำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน จึงทำให้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เองทางธรรมชาติได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม[2] มากยิ่งขึ้น ในด้านของบรรจุภัณฑ์ วัสดุกันกระแทกถือเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยมีหน้าที่ลดแรงกระแทกและป้องกันความเสียหายของสินค้าในระหว่างการขนส่ง[3] วัสดุกันกระแทกที่สามารถผนวกรวมไว้ภายในบรรจุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยจึงกลายเป็นที่ต้องการอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม[4] วัสดุธรรมชาติที่มีศักยภาพ เช่น เส้นใยจากพืชตระกูลไผ่หรือพืชน้ำ สามารถใช้ทดแทนวัสดุสังเคราะห์จากพลาสติกและโฟมได้ โดยเส้นใยพืชเหล่านี้มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ อาทิ ความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก น้ำหนักเบา คุณสมบัติเชิงกลที่ดี และมีต้นทุนการผลิตต่ำ

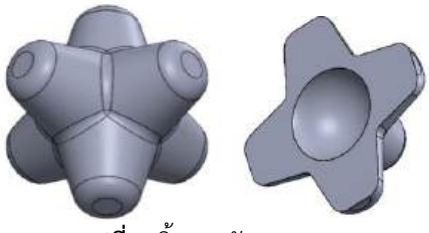
สำหรับประเทศไทย “กล้วย” นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง มีการบริโภคและส่งออกในปริมาณมาก ส่งผลให้มีการเพาะปลูกกล้วยกระจายอยู่ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ต้นกล้วยมักถูกตัดทิ้งเป็นของเสียทางการเกษตรจำนวนมาก

ในงานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดในการนำ ก้านกล้วย[5] ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของต้นกล้วยที่ถูกทิ้ง มาแปรรูปเป็นวัสดุกันกระแทก โดยผ่านกระบวนการสกัดเส้นใย[6] และนำไปผสมกับแป้งมัน,โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำยางพารา เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ก่อนจะนำมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์กดอัดความร้อน เพื่อใช้ทดแทนวัสดุกันกระแทกประเภทโฟมหรือพลาสติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2. วัสดุและขั้นตอนในการทำวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติมาทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด[7] โดยแม่พิมพ์กดอัดขึ้นรูป[8] (Compression mold) ทำจากเหล็ก S55C และทำการตรวจสอบขนาดชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นของแม่พิมพ์กดอัดขึ้นรูป จากนั้นทำการทดลองขึ้นรูป โดยนำชุดแม่พิมพ์กดอัดขึ้นรูปไปติดตั้งกับเครื่องกดขึ้นรูปชิ้นงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ขนาดแรงอัด 250 กิโลกรัมแรง โดยศึกษาคุณสมบัติวัสดุทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อทดสอบการกดอัดขึ้นรูป[6] ทดสอบการทดแรงกด จากนั้นบันทึกผลเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูป รวมไปถึงการทดสอบ Drop Tester

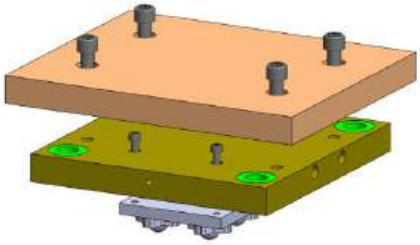
2.1 ขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 1 ชิ้นงานกันกระแทก

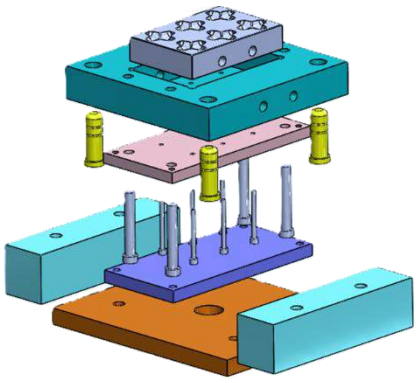
ในการสร้างวัสดุกันกระแทกนั้นผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการนำรูปทรงที่ใช้ คือTetrapod หรือ โครงสร้างตุ๊กตาญี่ปุ่น มักเอาใช้ในการป้องกันชายฝั่งในลักษณะของกำแพงกันคลื่น (Sea wall) โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้รูปทรง Hexapod ในการทำวัสดุกันกระแทกเนื่องจากมีมุมของชิ้นงานที่มากกว่า เพื่อเป็นการรองรับมุมต่างๆของสิ่งที่จะนำมาบรรจุร่วมกับวัสดุกันกระแทก

จากนั้นสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปและทำการประกอบ ซึ่งในการประกอบชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแม่พิมพ์ชุด Core นำชิ้นส่วน Core insert ประกอบเข้ากับตัว Core plate ทำการยึดสกรูจากข้างบนลงและประกอบ Clamping plate (top) ยึดสกรูบนสุด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนแม่พิมพ์ชุด Core

การประกอบแม่พิมพ์เมีย (Cavity) นำชิ้นส่วน Cavity insert ประกอบเข้ากับตัว Cavity plate จากนั้นนำ Spacer Block มาประกอบและยึดสกรูกับ Clamping Plate (Bottom) โดยมีชุด Ejector plate ที่ประกอบแล้วอยู่ตรงกลาง ดังแดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนแม่พิมพ์ชุด Cavity

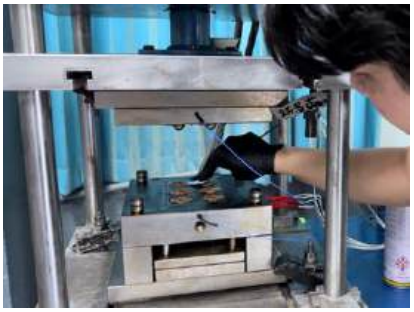
2.2 การทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

การออกแบบการทดลองผู้วิจัยจะใช้การผสมอยู่ 6 สูตร[15] ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยสูตรแรกจะใช้ใยก้านกล้วยผสมแป้งมัน และพอลิไวนิลแอลกอฮอลล์ สูตรที่ 4,5 และ 6 จะเพิ่มยางพาราเข้าไปในสูตร จะใช้อัตราส่วนน้ำยางพารา 20% ของน้ำหนักแป้งมัน แล้วลดปริมาณกาวแป้งมัน ออกตามจำนวนน้ำยางพาราที่เพิ่มเข้าไป ในการคำนวณปริมาณวัสดุผสม ผู้วิจัยใช้ปริมาณเส้นใยก้านกล้วยเป็นตัวกำหนดปริมาณวัสดุประสาน โดยจะใช้ใยก้านกล้วย 22 กรัม เนื่องจากปริมาณที่เหมาะสมในการกดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมของใยก้านก้านกล้วยกับวัสดุประสาน

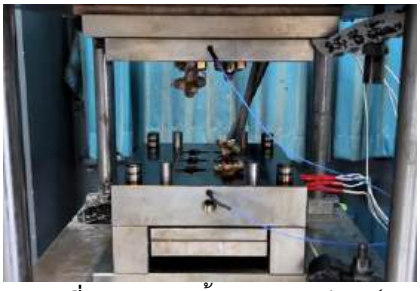
สูตรที่	เส้นใยก้านกล้วย	แป้งมัน	PVA	ยางพารา
1	50	30	20	-
2	60	25	15	-
3	70	20	10	-
4	50	24	20	6
5	60	20	15	5
6	70	16	10	4

ขั้นตอนในการอัดขึ้นรูปทำการผสมวัสดุตามอัตราส่วนในแผนการทดลองแล้วแบ่งออกเป็น 6 ส่วนให้เท่ากัน เนื่องจากชุดแม่พิมพ์มีทั้งหมด 6 คาวิตี้ และนำวัสุดที่ได้ผสมตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ มาใส่ในชุดแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การใส่วัสดุลงในชุดแม่พิมพ์กดอัด

จากนั้นทำการกดอัดและให้ความร้อนและเมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ทำการดันปลดชิ้นงานและนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การปลดชิ้นงานจากแม่พิมพ์

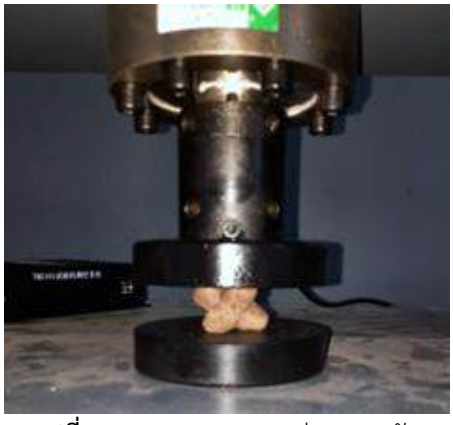
ชิ้นงานที่ได้จะมีทั้งหมดจำนวน 6 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 6

จากนั้นนำมาประกบติดกันด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังแสดงรูปที่ 7

รูปที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านการกดอัดขึ้นรูป

รูปที่ 7 ชิ้นงานกันกระแทกจากใยก้านกล้วย

จากนั้นทำการทดสอบการทนต่อแรงกดอัดของชิ้นงานกันกระแทกจากใยก้านกล้วย ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบการทนต่อแรงกดอัด

3. ผลการวิจัย

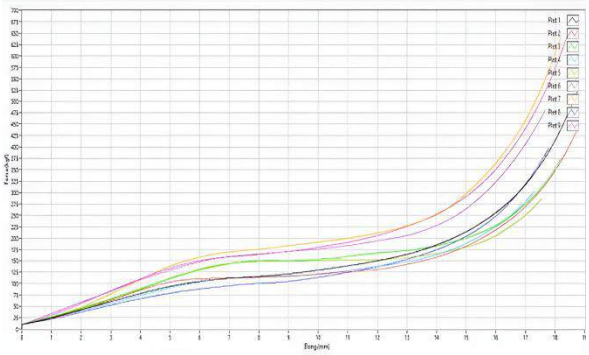
หลังจากได้ชิ้นงานที่กดอัดตามแผนการทดลองเสร็จแล้วจึงได้นำชิ้นงานทั้ง 54 ชิ้น โดยจะแบ่งการทดสอบออกเป็นอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน 6 สูตร โดยแต่ละสูตรจะมีค่าแรง, อุณหภูมิ และเวลาที่ต่างกันไป 9 แบบ แล้วนำไปกดทดสอบการทนแรงกดโดยใช้เครื่อง material testing equipment จะได้กราฟและค่าการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยในการวิเคราะห์กราฟจะเลือกวิเคราะห์จากการจุดที่กราฟเริ่มมีความชัน เนื่องจากตัววัสดุกันกระแทกจากใยกล้วยเป็นวัสดุที่มีความเหนียว เมื่อทำการทดสอบการรับแรงกดอัดเนื้อวัสดุจะแน่นยิ่งขึ้น ทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงพิจารนาได้ว่าเมื่อวัสดุกันกระแทกจากใยก้านกล้วยถูกกดอัดจนแน่นจะทำให้วัสดุแข็งขึ้น ส่งผลทำให้วัสดุนั้นไม่มีคุณสมบัติในการซับแรงกระแทกแล้ว จึงเลือกใช้จุดที่กราฟเริ่มมีความชันมาวิเคราะห์

Run	แรงกดอัด (kgf)	อุณหภูมิกดอัด (องศาเซลเซียส)	เวลากดอัด (นาที)	อัตราส่วนผสม (เส้นใยก้านกล้วย, กาวแป้งมัน, กาวPVA, ยางพารา)					
				50:30 :20	60:25 :15	50:24 :20:6	70:16 :10	60:20 :15:5	70:16 :10:4
				ค่าทนแรงกด (kgf)					
1	110	120	5	136.61	92.81	131.51	63.67	142.74	80.88
2	110	140	10	108.71	132.51	120.73	91.62	138.95	93.10
3	110	160	15	116.04	108.38	123.45	80.62	127.37	100.61
4	120	120	10	94.69	123.44	159.29	50.86	116.98	93.93
5	120	140	15	217.82	161.66	98.18	46.34	98.36	132.31
6	120	160	5	131.29	118.89	156.04	76.70	83.39	100.49
7	130	120	15	170.96	126.56	89.22	100.75	119.60	76.04
8	130	140	5	111.24	148.63	113.26	33.65	91.84	101.16
9	130	160	10	177.57	109.85	89.48	76.21	90.92	116.18
ค่าเฉลี่ย				140.55	124.75	120.13	68.94	112.24	99.41

รูปที่ 9 ผลการทดสอบแรงกดของชิ้นงานด้วยเครื่อง material testing equipment

3.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการทนต่อแรงกดอัดของชิ้นงาน

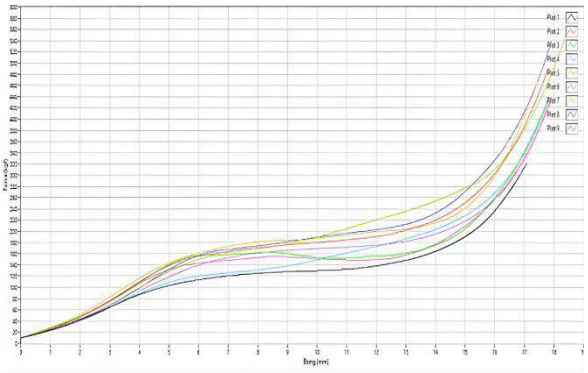
สูตรที่ 1 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันนั้นค่อนข้างสูง โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 5 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 217.81 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 4 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 94.68 กิโลกรัมแรง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 1

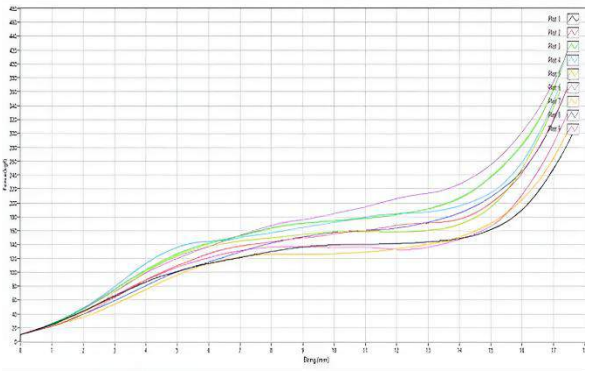
สูตรที่ 2 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันอยู่ต่ำกว่าสูตรที่ 1 โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 8 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่า

รับแรงกดอัดอยู่ที่ 161.66 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 1 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 92.81 กิโลกรัมแรง จึงวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานทดสอบสูตรที่ 2 มีความแข็งน้อยกว่าสูตรที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 11



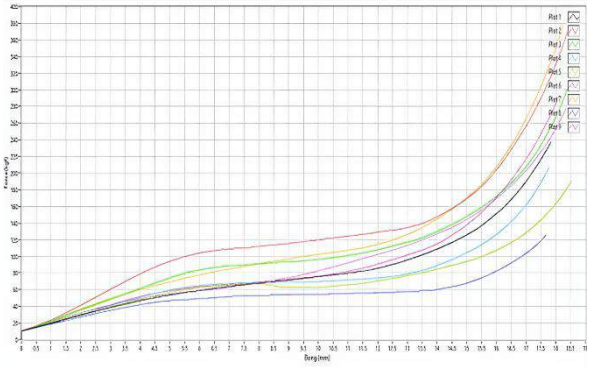
รูปที่ 11 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 2

สูตรที่ 3 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันอยู่ต่ำกว่าสูตรที่ 1 แต่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 2 โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 4 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 159.29 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 7 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 89.22 กิโลกรัมแรงจึงวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานทดสอบสูตรที่ 3 มีความแข็งน้อยกว่าสูตรที่ 1 และมีความแข็งใกล้เคียงสูตรที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 12



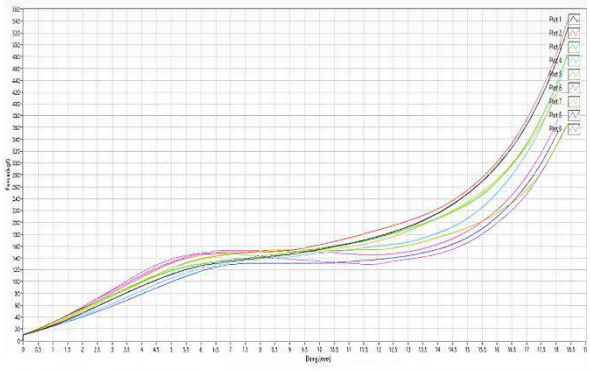
รูปที่ 12 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 3

สูตรที่ 4 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันอยู่ต่ำกว่า ทั้ง 3 สูตรก่อนหน้า โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 7 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 100.75 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 8 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 33.65 กิโลกรัมแรง จึงวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานทดสอบสูตรที่ 4 นี้มีความแข็งน้อยกว่าสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 จึงจะใช้สูตรที่ 4 ในการพิจารณาสูตรต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 13



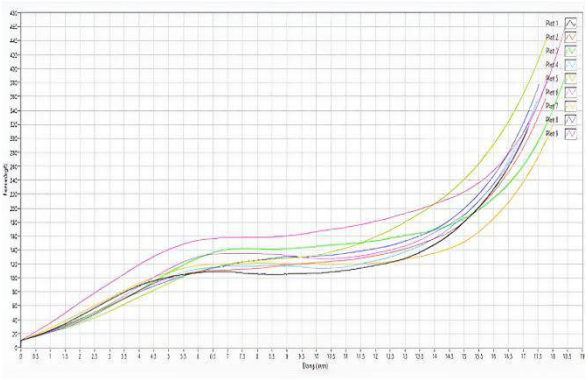
รูปที่ 13 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 4

สูตรที่ 5 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันอยู่สูงกว่าสูตรที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 142.74 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 6 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 83.39 กิโลกรัมแรง จึงวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานทดสอบสูตรที่ 5 นี้มีความแข็งมากกว่าสูตรที่ 4



รูปที่ 14 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 5

สูตรที่ 6 จะสังเกตได้ว่าจุดที่กราฟเริ่มมีความชันอยู่สูงกว่าสูตรที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 5 มีค่าสูงที่สุดจะมีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 132.31 กิโลกรัมแรง และชิ้นทดสอบที่มีค่ารับแรงกดอัดต่ำสุดคือชิ้นทดสอบที่ 7 มีค่ารับแรงกดอัดอยู่ที่ 76.04 กิโลกรัมแรง จึงวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานทดสอบสูตรที่ 6 นี้มีความแข็งมากกว่าสูตรที่ 4



รูปที่ 15 แสดงกราฟผลการทดสอบทนแรงกดอัดสูตรที่ 6

4. อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยธรรมชาติ โดยเลือกใช้ เส้นใยก้านกล้วยเป็นวัสดุตั้งต้นหลัก ซึ่งผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด (Compression Molding) โดยใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเป็นการเฉพาะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปทรงและคุณสมบัติตามที่ต้องการ ทั้งนี้ได้ทำการประเมินสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ผลิตขึ้นผ่านการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงกด (Compression Test) และการทดสอบการตกกระแทก (Drop Test) จากผลการทดลองพบว่า สูตรวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดต่อแรงกด คือ สูตรที่ 1 รูปแบบที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยก้านกล้วย 22 กรัม กาวแป้งมัน 13.2 กรัม และกาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 8.8 กรัม โดยสามารถทนแรงกดได้สูงถึง 217.82 กิโลกรัมแรง (kgf) ขณะที่ สูตรที่ 4 รูปแบบที่ 8 ซึ่งมีการเติมยางพาราในส่วนผสม เป็นสูตรที่ให้ค่าการทนแรงกดต่ำสุดที่ 33.65 kgf ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าการทนแรงกดของโฟมกันกระแทกในเชิงพาณิชย์ที่ 3.17 kgf มากที่สุด

ในการทดสอบ Drop Test ได้เลือกใช้ชิ้นงานจากสูตรที่ 4 โดยนำไปห่อหุ้มภาชนะเซรามิกและทำการปล่อยตกจากความสูง 30 นิ้ว ตามมาตรฐานของ International Safe Transit Association (ISTA) จำนวน 10 จุด (มุม ขอบ และด้านต่าง ๆ) ผลการตรวจสอบภายหลังการทดสอบพบว่า วัตถุภายในไม่เกิดความเสียหายใด ๆ แสดงถึงศักยภาพของวัสดุดังกล่าวในการดูดซับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุป

งานวิจัยนี้สามารถออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กดอัดที่ใช้งานได้จริงในการผลิตวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยก้านกล้วย โดยได้ศึกษาสูตรส่วนผสมและกระบวนการที่เหมาะสม พบว่าสูตรที่มีองค์ประกอบของยางพาราร่วมด้วยให้ผลการดูดซับแรงกระแทกได้ดีที่สุดโดย พบว่าสูตรที่มีค่าทนแรงกดอัดมากที่สุดคือ สูตรที่ 1 ทนแรงกดได้ 217.82 kgf ขณะที่สูตรที่มีค่าทนแรงกดอัดต่ำที่สุดคือ ซึ่งใช้แรงกดอัด120 kg/cm^2 อุณหภูมิ140 องศาเซลเซียสและใช้เวลากดอัด 15 นาที สูตรที่ 4 ใช้แรงกดอัด130 kg/cm2 อุณหภูมิ140 องศาเซลเซียสและใช้เวลากดอัด 5 นาที พบว่าทนแรงกดได้ 33.65 kgf ซึ่งใกล้เคียงกับโฟมกันกระแทกทั่วไปที่มีค่าทนแรงกดเพียง 3.17 kgf และสามารถใช้แทนโฟมกันกระแทกในบรรจุภัณฑ์ทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Miengarrom, T., & Ketkaew, T. (2024). การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร จากวัสดุธรรมชาติ: Development of Food Container Forming Machine from Natural Materials. Advanced Science Journal, 24(1), 181-201.

[2] หทัยกาญจน์ ใบนานา. (2024). การศึกษา และ พัฒนาบรรจุภัณฑ์กันกระแทกเครื่องแก้วจากกระดาษรีไซเคิล และ เส้นใยธรรมชาติ. วารสาร ศิลปกรรม บูรพา, 11(1), 46-52.

[3] ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, วีรชัย อาจหาญ, & กระวี ตรีอำนรรค. (2013). การ ปกป้อง ผล แอปเปิ้ล ด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว.

[4] Manalu, J., Numberi, J. J., Safanpo, A., Fitriyana, D. F., Wijaya, T. L., Siregar, J. P., ... & Jaafar, J.

(2024). Characterization of eco - friendly composites for automotive applications prepared by the compression molding method. Polymer Composites, 45(9), 8104-8118.

[5] Omprakasam, S., & Raghu, R. (2024). Mechanical behavior of banana fiber polymer composite. Journal of Mechanical Science and Technology, 38(6), 2943-2948.

[6] Fan, Y. (2023, July). Study on preparation and application of banana fiber-based composites. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2539, No. 1, p. 012093). IOP Publishing.

[7] Namwong, J., Cheychom, K., Lertcumfu, N., & Panyata, S. (2024). การศึกษาคุณสมบัติ เชิง กายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และ การพัฒนาแผ่นชิ้น ไม้อัด จาก เปลือกทุเรียน ด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES MECHANICAL PROPERTIES AND THE DEVELOPMENT OF PARTICLEBOARD FROM DURIAN PEEL USING A COMPRESSION MOLDING PROCESS. Journal of Industrial Education, 23(1), 43-53.

[8] Li, W., Feng, T., Lu, T., Zhao, F., Zhao, J., Guo, W., & Hua, L. (2024). Optimization of Compression Molding Parameters and Lifecycle Carbon Impact Assessment of Bamboo Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. Polymers, 16(23), 3435.

[9] Boonchouytan, W., Chirandorn, T., Yuraphan, R., Homkhiew, C., Jaidumrong, J., Temsirimongkon, S., & Nukhiao, P. (2023). การศึกษา กระบวนการ อัดขึ้นรูป และ สมบัติทางกลของภาชนะบรรจุอาหาร จาก เส้นใยเปลือกมะพร้าว. Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 42(2), 16-31.

[10] นัทรี ฉัตรยาลักษณ์. การเตรียม ฟิล์ม พอลิเมอร์ จาก ยาง ธรรมชาติ ผสม แป้ง มันฝรั่ง (Doctoral dissertation, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย).

[11] ศิรประภา ดีประดิษฐ์, ณัฏฐพล ศรีช่วงโชติ, จักรภพ คงสมแสวง, วรายุส ทรัพย์พล, & สุพัฒน์ สารอรรถ. (2024). สมบัติการทนต่อแรงกระแทก และ สัณฐาน วิทยาของ วัสดุเชิงประกอบ พอลิเอทิลีน ผสมเส้นใย ธรรมชาติ ด้วย กระบวนการ ขึ้น รูป แบบ หมุน เหวี่ยง. Kasem Bundit Engineering Journal, 14(3), 153-173.

[12] อนุรักษ์ รอดบำรุง, พอพันธ์ สุทธิวัฒนะ, เบญจมาศ เนติวรรักษา, กานต์ นัครวรายุทธ, & ไพลิน ทองสนิท กาญจน์. (2020). การศึกษา คุณสมบัติเชิงกลในไฟเบอร์กลาส ผสมน้ำยางพารา และ เส้นใยธรรมชาติ. วารสาร วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏ อุดรธานี, 8(2), 133-144.

[13] Sukmak, W. การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากยางฟองน้ำ Development of Cushioning Material from Natural Latex Foam (Doctoral dissertation, Prince of Songkla University).

[14] Thorat, Y. V., Chavan, S. S., Mohite, D. D., & Pawar, U. S. (2024). Development of eco-friendly bio-composites using banana fibers for enhanced tensile and flexural properties. Materials Today: Proceedings.

[15] Wirunphan, K., Saetow, K., Kawiinjaronchai, S., Taauea, P., & Paliphot, S. (2025). การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางต้นไม้ ชีวภาพ จากเศษ เหง้ามันสำปะหลัง และ ชาน อ้อย. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, *44*(1), 6-14.

การศึกษาอิทธิพลและปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุดด้วย Robot 6 Axis

An Investigation of the Influences and Factors Affecting the Geometry of Workpieces Formed by a Continuous Point-to-Point Forming Process Using a 6-Axis Robot

รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา[1] ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี[1] ณัฐติยา ดำรงค์ศักดิ์[1] และ ภัทรเชนทร์ รามคง[2*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและนวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Rawinthanath Thipsena[1] Natchanun Angsuseranee[1] Nattiya Damrongsak[1]
and Phattharachen Ramkhong[2*]
[1] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
[2] Department of Manufacturing Engineering and Materials Innovation,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: rawintanath.t@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด เป็นการขึ้นรูปที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลง รูปร่างและขนาดอย่างถาวร โดยทูลกดแผ่นชิ้นงานด้วยโรบอท การเคลื่อนที่ของทูลส่งผลต่อรูปทรงคุณภาพชิ้นงาน เช่น ความหนาผิว และความสูงชิ้นงาน เป็นต้น

ในการทดลองนี้ ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและลักษณะของชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ทำการขึ้นรูปภายใต้สภาวะปกติในกรณีที่เครื่องมือกด (Tool) ไม่มีความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ และใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกด 200 มิลลิเมตรต่อนาที เครื่องมือกดที่ใช้ในการการกดขึ้นรูปมี 3 ลักษณะ คือ วงกลม วงรี และสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ขนาดความโต 8 มิลลิเมตร และสารหล่อลื่นใช้ในการขึ้นรูปเป็นจาระบีผสมน้ำมัน (Slideway Oil 68) ทำการ ขึ้นรูปชิ้นงานรูปหน้ากากแบทแมน ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกา

ผลการทดลองพบว่า เครื่องมือกดแต่ละชนิดมีวัตถุประสงค์และความสามารถในการกดขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเครื่องมือกด ในกรณีการศึกษาวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างความแตกต่าง ของเครื่องมือกด ออกมาเป็น 3 ชนิด เพื่อสรุปหาประสิทธิภาพในการขึ้นรูปผลที่ได้ คือ เครื่องมือกดชนิดวงกลม (Original Tool) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ขนาดใกล้เคียงและเกิดความเสียหายน้อยที่สุด แต่ไม่สามารถกดขึ้นรูปในลักษณะที่เป็นมุมแหลมและมุมที่มีรัศมีน้อยได้ดีเท่า เครื่องมือกดชนิดวงรี (V-Tool)

คำหลัก การขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด, เครื่องมือกด, การขึ้นรูป

Abstract

Incremental sheet forming is a process that results in permanent changes to the shape and size of a workpiece by pressing a sheet of material with a robot. The movement of the tool influences the shape and quality of the workpiece, such as surface thickness and workpiece height.

This experiment investigates the influence of variables affecting the shape and characteristics of the workpiece during continuous forming using industrial robots. The forming process was performed under normal conditions, where the press tool (Tool) had no rotational speed, and the movement speed of the tool was set to 200 millimeters per minute. Three types of press tools were used for forming: circle, oval, and rectangle, each with a diameter of 8 millimeters. A lubricant, a grease mixed with oil (Slideway Oil 68), was used for the process. The workpiece, shaped like a Batman mask, was formed using a counterclockwise motion.

The experimental results revealed that each type of press tool had different purposes and capabilities depending on the shape of the tool. In this study, the researcher provided examples of the differences in press tools to summarize their efficiency in the forming process. The results showed that the circular press tool (Original Tool) could form workpieces to a consistent size with minimal damage. However, it was less effective in pressing shapes with sharp angles or small radii compared to the oval press tool (V-Tool), which was better suited for these forms.

Keywords: Incremental sheet forming, Tools, Forming

1. บทนำ

ปัจจุบัน การแข่งขันในระบบการผลิตมีความยืดหยุ่นและนวัตกรรม กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบดั้งเดิมที่ใช้ดีที่สุดสำหรับการผลิตในปริมาณมากขาดความยืดหยุ่นและต้องการลงทุนจำนวนมาก ในการผลิตต้นแบบ และส่วนประกอบในราคาที่เหมาะสมและเวลาที่เหมาะสม จำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการรูปแบบใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการ ทางเลือกที่สามารถตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมในปัจจุบันและอนาคตได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำและรับรองความยืดหยุ่นในระดับสูงโดยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ในหลากหลายเทคโนโลยีกระบวนการหุ่นยนต์อุตสาหกรรมถูกนำมาใช้เพื่อแทนที่ผู้ปฏิบัติงานที่เป็นมนุษย์ที่เกี่ยวข้องในงานซ้ำซาก การผลิตชิ้นส่วนเพื่อใช้เป็นต้นแบบหรือจำนวนงานที่ปริมาณน้อยอาจมีราคาแพงมาก จึงหาแนวทางเพื่อรักษาต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุด

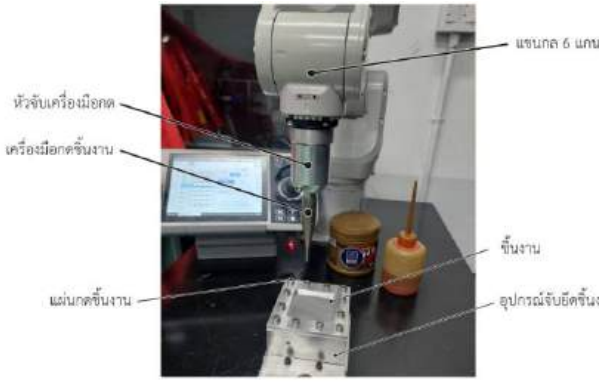
กระบวนการที่สำคัญในวิจัยนี้คือ Robot-Assisted Incremental Sheet Metal Forming (RAISF) เป็นเทคนิคหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบค่อยเป็นค่อยไป (Incremental Sheet Forming, ISF) โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม เพื่อช่วยควบคุมเครื่องมือขึ้นรูป ซึ่งมีความยืดหยุ่นมากกว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบดั้งเดิม เช่น deep drawing หรือ stamping RAISF เป็นการผสมผสานระหว่าง Incremental Sheet Forming (ISF) และกระบวนการrobotic automation ทำให้สามารถขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยไม่ต้องใช้แม่พิมพ์ (die) ที่ซับซ้อน และแน่นอนว่า หุ่นยนต์มีความแข็งแรงน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องจักร cnc แต่หุ่นยนต์ได้เปรียบในเรื่องความยืดหยุ่นสูงในงานหลายประเภท

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อจำกัดและความเป็นไปได้ ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปต่อเนื่องด้วยการสัมผัสจุดต่อจุด โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ขนาด Payload 4 กิโลกรัม โดยใช้การจำลององค์ ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในกระบวนการขึ้นรูป และเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือกดต่อความแม่นยำทางเรขาคณิตและความล้มเหลวทางกายภาพขั้นสุดท้าย ซึ่งจะเป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมการขึ้นรูป

โลหะแผ่นไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมทั่วไป และอุตสาหกรรมการแพทย์ ต่อไป

2. รูปแบบการทดลอง

งานวิจัยเล่มนี้ได้นำเอาโรบอทเข้ามาใช้ในกระบวนการขึ้นรูป Robot-Assisted Incremental Sheet Metal Forming (RAISF) โดยโรบอทจะมีความทนทานน้อยกว่าเครื่องซีเอ็นซี ซึ่งอาจทำให้เครื่องมือเบี่ยงเบนได้เมื่อได้รับแรงที่สูงมาก ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในงานตัดเฉือน ทางผู้วิจัยได้ใช้โรบอทที่รับน้ำหนักได้น้อย ABB1100 ซึ่งสามารถรับโหลดได้ 4 กิโลกรัม โดยแสดงดังภาพที่ 2 เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้โรบอทขึ้นรูปยากและเกิดความเสียหาย เนื่องจากหากเป็นวัสดุหนาจะมีความแข็งต่ำ กระบวนการขึ้นรูปจึงทำได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้ใช้วัสดุที่บาง คือ อลูมิเนียม เกรด AA1100 หนา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อการทดสอบได้เต็มประสิทธิภาพและเหมาะกับการขึ้นรูปด้วยโรบอทที่มีภาระโหลดต่ำ



ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการขึ้นรูปต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุดด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

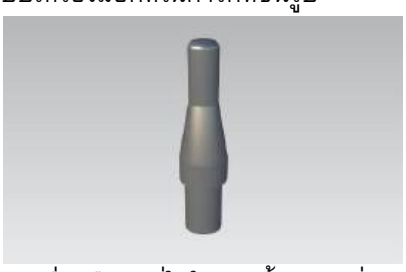
- โรบอท ABB IRB1100-0.58
- เครื่องมือกดขึ้นรูป แบบวงกลม (Original Tool), แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Hammer Tool) และ แบบวงรี (V-Tool) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3 เครื่องมือกดขึ้นรูป Original Tool, Hammer Tool และ V-Tool

- สารหล่อลื่นจาระบีผสมน้ำมัน (Slideway Oil 68)
- เครื่องวัด CMM สำหรับเปรียบเทียบผลการทดลอง

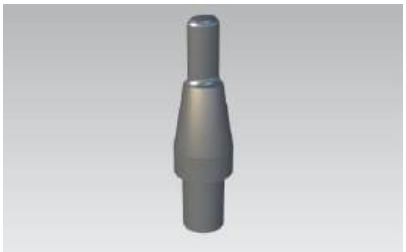
3.2 วิธีการทดลอง

1. ออกแบบเครื่องมือกดในการกดขึ้นรูป



ภาพที่ 4 เครื่องมือกดที่ใช้ในการขึ้นรูปตัวที่ 1 Original Tool

ภาพที่ 5 เครื่องมือกดที่ใช้ในการขึ้นรูปตัวที่ 2 Hammer Tool

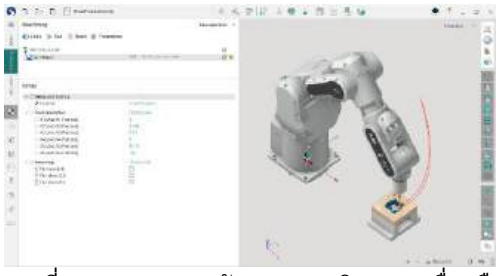


ภาพที่ 6 เครื่องมือกดที่ใช้ในการขึ้นรูปตัวที่ 3 V-Tool

2. ออกแบบรูปทรงชิ้นงาน

ภาพที่ 7 แสดงรูปทรงชิ้นงานที่ใช้ในการกดขึ้นรูป

3. กำหนดเส้นทางการเดินของเครื่องมือ (Tool path)

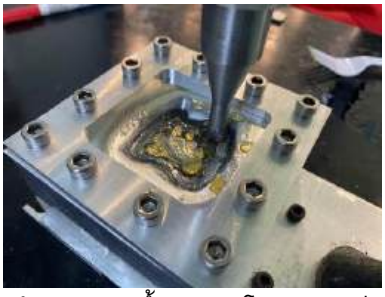


ภาพที่ 8 การกำหนดเส้นทางการเดินของเครื่องมือ

4. เตรียมชิ้นงานทดสอบตัดโลหะแผ่นอลูมิเนียมเกรด AA-1100 ความหนา 0.5 มิลลเมตร ขนาด 100x100 มิลลิเมตร

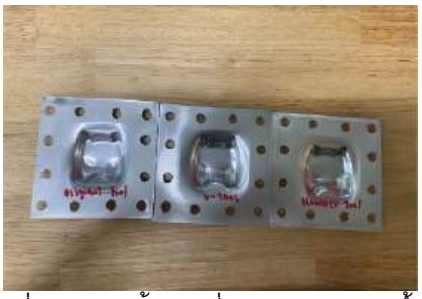
5. ติดตั้งอุปกรณ์ในการกดขึ้นรูป

6. ทำการกดขึ้นรูปโลหะแผ่นอลูมิเนียมด้วยโรบอท ABB IRB100-0.58



ภาพที่ 9 ลักษณะการขึ้นรูปแผ่นโลหะอลูมิเนียมด้วยโรบอท

7. ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะอลูมิเนียม



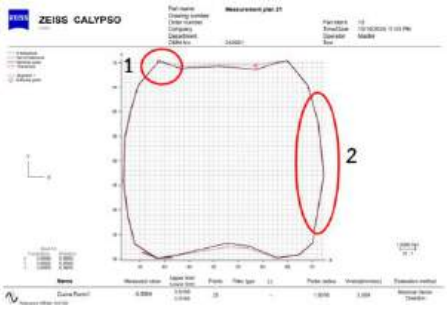
ภาพที่ 10 แสดงชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป

4. อภิปรายผล

งานวิจัยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุดและสังเกตการเดินเส้นของเครื่องมือกด ทำการขึ้นรูปภายใต้สภาวะปกติ โดยไม่นำความเร็วรอบมาเป็นปัจจัย เนื่องจากต้องการทราบถึงกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุดในกรณีที่เครื่องมือกด (Tool) ไม่มีความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกด 200 มิลลิเมตรต่อนาที เครื่องมือกดที่ใช้ในการการกดขึ้นรูปมี 3 ลักษณะ คือ วงกลม วงรี และสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3 และสารหล่อลื่นใช้ในการขึ้นรูปเป็นจาระบีผสมน้ำมัน (Slideway Oil 68) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับขนาดชิ้นงาน ทำการขึ้นรูปชิ้นงานรูปหน้ากากแบทแมน ดังแสดงในภาพที่ 7 ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกา เพื่อดูปัจจัยของเครื่องมือกด 3 ลักษณะที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างของชิ้นงานหลังจากระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสัมผัสจุดต่อจุด แสดงดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของเครื่องมือกด ชนิดวงกลม (Original Tool) ขนาดความโต 8 มิลลิเมตรที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 200 มิลลิเมตร/นาที ต่อรูปร่างของชิ้นงาน

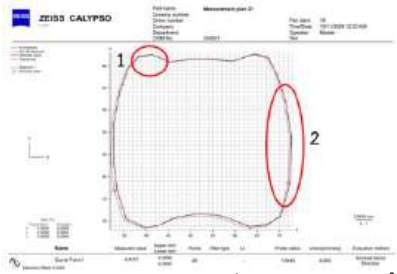
รูปร่างของเครื่องมือกด ชนิดวงกลม (Original Tool) จะไม่สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ในกรณีที่รูปร่างของชิ้นงานมีลักษณะเป็นมุมแหลมที่มีองศาหรือรัศมีที่มีขนาดน้อยกว่าเครื่องมือกด (ขนาด 8 มิลลิเมตร) ดังแสดงในภาพที่ 11 (หมายเลข 1) และในส่วนมุมที่มีขนาดรัศมีที่ขนาดโตกว่ารัศมีของเครื่องมือกดจะสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 (หมายเลข 2)



ภาพที่ 11 แสดงค่าเส้นรอบรูปที่ได้จากการกดขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกดชนิด วงกลม (Original Tool)

2. อิทธิพลของเครื่องมือกด ชนิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Hammer Tool) ขนาดความโต 8 มิลลิเมตรที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 200 มิลลิเมตร/นาที ต่อรูปร่างของชิ้นงาน

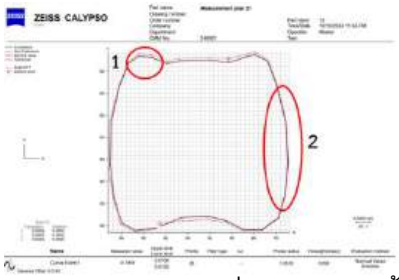
รูปร่างของเครื่องมือกด ชนิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Hammer Tool) จะมีเส้นทางการเดินรอบรูปที่มีความเป็นมุมป้าน (Geometric obtuse angle) และสามารถเข้าถึงมุมที่ลักษณะแหลมได้ ดังแสดงในภาพที่ 12 (หมายเลข 1) และในส่วนมุมที่มีขนาดรัศมีที่ขนาดโตกว่ารัศมีของเครื่องมือกดจะสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 12 (หมายเลข 2)



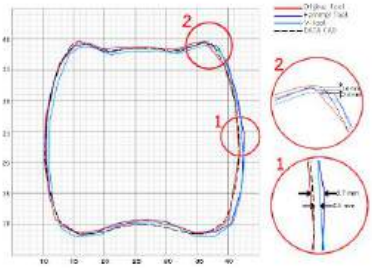
ภาพที่ 12 แสดงค่าเส้นรอบรูปที่ได้จากการกดขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกดชนิด ชนิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Hammer Tool)

3. อิทธิพลของเครื่องมือกด ชนิดวงรี (V-Tool) ขนาดความโต 8 มิลลิเมตรที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 200 มิลลิเมตร/นาที ต่อรูปร่างของชิ้นงาน

รูปร่างของเครื่องมือกด ชนิดวงรี (V-Tool) จะไม่สามารถขึ้นรูปได้ดีในกรณีที่รูปร่างของชิ้นงานมีลักษณะเป็นมุมแหลมที่มีองศาหรือรัศมีที่มีขนาดน้อยกว่าเครื่องมือกด (ขนาด 8 มิลลิเมตร) ดังแสดงในภาพที่ 13 (หมายเลข 1) และในส่วนมุมที่มีขนาดรัศมีที่ขนาดโตกว่ารัศมีของเครื่องมือกดจะสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 13 (หมายเลข 2)



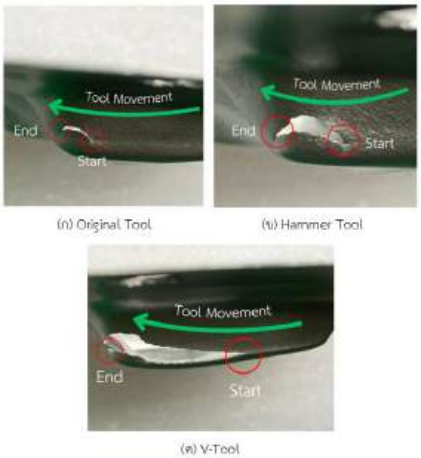
ภาพที่ 13 แสดงค่าเส้นรอบรูปที่ได้จากการกดขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกดชนิด วงรี (V-Tool)



ภาพที่ 14 แสดงกราฟเปรียบเทียบความกว้างและความสูงของชิ้นงานของเครื่องมือกดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้

4. ตรวจสอบรอยแตกหัก (Crack) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นรูปต่อเนื่องแบบจุดต่อจุด

สรุปได้ว่า เครื่องมือกด ชนิดวงกลม (Original Tool) สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของรอยแตกได้มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องมือกด ชนิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Hammer Tool) และชนิดวงรี (V-Tool)



ภาพที่ 15 แสดงรอยแตกที่เกิดจากการกดขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกด 3 ชนิด

5. สรุป

สรุปผลการทดลองได้ว่า เครื่องมือกดแต่ละชนิดมีวัตถุประสงค์และความสามารถในการกดขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเครื่องมือกด ในกรณีการศึกษาวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างความแตกต่างของเครื่องมือกด ออกมาเป็น 3 ชนิด เพื่อสรุปหาประสิทธิภาพในการขึ้นรูปผลที่ได้ คือ เครื่องมือกดชนิดวงกลม (Original Tool) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ขนาดใกล้เคียงและเกิดความเสียหายน้อยที่สุด สามารถกดขึ้นรูปในลักษณะที่เป็นมุมแหลมและมุมที่มีรัศมีน้อยได้ดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. Song Wu a,b,* , Peihao Geng a , Ninshu Ma a,b,**, Fenggui Lu c, Contact-induced vibration tool in incremental sheet forming for formability improvement of aluminum sheets, Volume 17, March–April 2022, Pages 1363-1379 ศึกษาออกแบบเครื่องมือการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการสัมผัส (V-Tool) กับปลายรูปร่างเอลลิปติกแบนและนำเข้ากับ ISF ของแผ่น 0.5 มม. Al5052 รูป Hyperbola ถูกผลิตโดย ISF ด้วยเครื่องมือ V-Tool และเครื่องมือธรรมดา (C-tool) ด้วยความเร็วการหมุนที่แตกต่างกัน เพื่อทดลองตรวจสอบขีด จำกัด การก่อตัว อุณหภูมิ ความแข็ง โลหิตการแตกหัก และความผิดปกติของวัสดุ
2. Mainak Pala, Hreetabh Kishorea, Anupam Agrawala, Chandrakant K Niralaa*,Fabrication of Precise Hemispherical End Tool for Micro Incremental Sheet Forming using Reverse-EDM, Procedia CIRP 107 (2022) 1600–1605 ศึกษาเชิงพารามิเตอร์ได้รับการดำเนินการเพื่อตรวจสอบผลกระทบของพวกเขาในความแม่นยำของมิติและคุณภาพพื้นผิวของเครื่องมือที่ผลิต
3. H. Long*, W.X. Peng, Z.D. Chang, H. Zhu, Y.J. Jiang, Z.H. Li, New Rosette Tools for Developing Rotational Vibration-assisted Incremental Sheet Forming, 23 January 2024, การศึกษานี้มีการเสนอเครื่องมือโรเซ็ตชนิดใหม่เพื่อพัฒนากระบวนการ ISF ใหม่เพื่อปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ ซึ่งเรียกว่า ISF ที่ช่วยการสั่นสะเทือนแบบหมุน (RVISF).
4. Hans Vanhove*, Yannick Carette Joost R. Duflou, An explorative study on, the influence of an elliptical tool on incremental forming, Procedia Manufacturing 29 (2019) 74-79 การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความสามารถในการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องมือยืดหยุ่น
5. Kurra Suresh* , Arman Khan, Srinivasa Prakash Regalla, Tool path definition for numerical simulation of single point incremental forming, Procedia Engineering 64 (2013) 536 – 545, วิเคราะห์ทิศทางของเครื่องมือ โดยมีการแนะนำการใช้โปรแกรม CAD AND CAE
6. Walid K. Shaker, Simulation Study for Robot-based Single Point Incremental Forming, การศึกษาการจำลองสำหรับการขึ้นรูปส่วนเพิ่มจุดเดียวที่ใช้หุ่นยนต์
7. Bârsan et al., Robot-based incremental sheet forming – the tool path planning,การขึ้นรูปแผ่นงานส่วนเพิ่มที่ใช้หุ่นยนต์ – การวางแผนเส้นทางเครื่องมือ
8. CHERA Ionu , BOLOGA Octavian , RACZ Gabriel and BREAZ Radu., Robot-Forming – An Incremental Forming Process using an Industrial Robot by means of DELMIA software package, Robot-Forming – กระบวนการขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นโดยใช้หุ่นยนต์

อุตสาหกรรมโดยใช้แพ็คเกจซอฟต์แวร์ DELMIA

9. Daniel Nasulea and Gheorghe Oancea, Achieving Accuracy Improvements for Single-Point Incremental Forming Process Using a Circumferential Hammering Tool,
10. Tanaka, S., Nakamura, T., Hayakawa, K., Nakamura, H., and Motomura, K., Incremental sheet metal forming process for pure titanium denture plate, ICTP, Verona Italy, (2005).
11. Verbert, J., Belkassem, B., Henrard, C., Habraken, A. M., Gu, J., Sol, H., Lauwers, B., and Duflou, J. R., Multi-Step toolpath approach to overcome forming limitations in single point incremental forming, ESAFORM 2008, Lyon France, (2008).

การลดเวลาและต้นทุนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

Reduction of time and cost in the manufacturing process of workpiece fixtures

จิรายุ ศิริรวง[1] สุธี คงโคกแฝก[2] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2] วรรณนิศา นุชคุ้ม[2*] และ ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง[3]
[1]สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
E-mail: Wannisa.nu@rmuti.ac.th*

Jirayu Siriruang[1] Suthi Khongkhokfaek[2] Jittiwat Nithikarnjanatharn[2]
Wannisa Nutkhum[2*] and Supasit Manokruang[3]
[1] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology Isan
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology Isan
[3] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Lanna
E-mail: Wannisa.nu@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานของ บริษัท โกลบอล-ไทยซอน พรีซิชั่น อินดัสทรี จำกัด โดยมุ่งเน้นการลดเวลาและต้นทุนการผลิต ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS การดำเนินงานด้วยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดขึ้นเองแทนการจัดซื้อจากภายนอก การปรับปรุงกระบวนการเขียนโปรแกรม และการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดขั้นตอนการผลิตจาก 9 ขั้นตอน เหลือ 7 ขั้นตอน ซึ่งเวลาการผลิตจาก 3,056.14 นาที เหลือ 378.20 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 87.64 และลดต้นทุนจาก 4,129 บาท เหลือ 3,058 บาท คิดเป็น การลดลงร้อยละ 25.89 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจากการใช้แรงงานคนเป็นการใช้โปรแกรม CAM และ CNC ต้องอาศัยการฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

คำสำคัญ: อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การลดเวลา การลดต้นทุน ECRS

Abstract

This study aimed to improve the production process of fixtures at Global-Thaison Precision Industry Co., Ltd. by focusing on reducing production time and cost through the application of the ECRS principle, designing and building fixtures in-house instead of purchasing from external suppliers, and optimizing both the programming and production processes. The results showed that the production process was reduced from 9 steps to 7 steps, reducing the production time from 3,056.14 minutes to 378.20 minutes (an 87.64% reduction) and the cost from 4,129 baht to 3,058 baht (a 25.89% reduction). The shift from human labor to the use of CAM and CNC programs necessitates continuous employee training to enhance work efficiency and further improve the production process.

Keywords: Workpiece Fixtures, time reduction, cost reduction, ECRS

1. บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนถ่ายเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักร และระบบอัตโนมัติที่ทันสมัยอย่างหุ่นยนต์แขนกลที่เข้ามาทดแทนการใช้แรงงานจากมนุษย์ ตลอดจนการพัฒนานวัตกรรมของหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรม [1-2] มีการแข่งขันทางธุรกิจค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอะไหล่ชิ้นส่วนทางด้านวิศกรรมหุ่นยนต์ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ซึ่งใช้วิธีการลดต้นทุนการนำเข้าแบบถาวรเป็นการผลิตขึ้นเองที่ต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีความรวดเร็ว ความถูกต้องโดยเฉพาะชิ้นงานที่มีความซับซ้อน [3] ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตได้นำเครื่องจักรสมัยใหม่ที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี เช่น เครื่องจักร CNC เพื่อใช้ในการแปรรูปโลหะที่ต้องการชิ้นงานด้วยเครื่องจักรต่าง ๆ ซึ่งในโรงงานที่มีการผลิตจำนวนมาก ส่วนใหญ่มักใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน เพื่อให้ง่ายในการปฏิบัติงาน [4-5] นอกจากนี้ ได้นำเอาระบบเทคโนโลยีในการออกแบบในการผลิตหรือระบบ CAD/CAM เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต ช่วยให้ผู้ออกแบบ เห็นภาพก่อนการผลิตงานจริง อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งแก้ไขรูปร่างเพื่อความเหมาะสมกับการทำงานจริง [6-8]

บริษัท โกลบอล-ไทยซอน พรีซิชั่น อินดัสทรี จำกัด เป็นบริษัท ผลิตชิ้นส่วนโลหะที่มีความละเอียดสูง เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ชิ้นส่วนแขนกลหุ่นยนต์ และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการศึกษาไลน์การผลิตชิ้นส่วนหุ่นยนต์ โดยเฉพาะการผลิตอุปกรณ์จับยึด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหุ่นยนต์ ภายในไลน์การผลิตของบริษัท พบว่ามีปัญหาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต เช่น การใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมคว้านอุปกรณ์อยู่หน้าเครื่องนาน และการจัดซื้ออุปกรณ์จับยึดจากซับพลายเออร์ภายนอกจะมีต้นทุนที่สูง บริษัทมีความคิดจัดทำอุปกรณ์จับยึดเองแทนการจัดซื้อจากซับพลายเออร์ และทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึด เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตอุปกรณ์จับยึด

จากการศึกษางานวิจัย บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์ [9] การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุน ของการผลิตชิ้นงาน โดยมีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์และพัฒนาอย่างเป็นระบบ ได้แก่ ECRS, Why-Why Analysis และ 7 QC Tools เพื่อระบุสาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสม พบว่าจำนวนขั้นตอนการผลิตจากเดิมที่ต้องใช้กระบวนการผลิต 7 ขั้นตอน ลดเหลือ 4 ขั้นตอน ส่งผลให้กระบวนการ การลดเวลาในการผลิต ต่อชิ้นลดลงจาก 21.35 นาที เหลือ 14.88 นาที ลดเวลาได้ถึง 30.29 เปอร์เซ็นต์ และลดต่อชิ้นจาก 149.68 บาท เหลือ 107.65 บาท คิดเป็น 28.08 เปอร์เซ็นต์ คล้ายกับงาน สมพงษ์ แตงโสภา [10] การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนเครื่องเชื่อมรางรถไฟ เพื่อลดเวลาการประกอบ โดยนี้ใช้เทคนิค ECRS มาช่วยวิเคราะห์ และออกแบบฟิกเจอร์ให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงาน พบว่าลดเวลาได้ 3.38 ชั่วโมง จากเดิมใช้เวลาประกอบถึง 7.25 ชั่วโมง คิดเป็น ร้อยละ 49.54 ผู้วิจัยได้นำเอาหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และ คลอเคลีย วจนะวิชากร และคณะ [11] ลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพ ในกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว จากการวิเคราะห์กระบวนการด้วย แผนภูมิกระบวนการไหล โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึด เพื่อช่วยในขั้นตอนการผลิต ลดจำนวนพนักงานในขั้นตอนการตัดลวดจาก 2 คน เหลือ 1 คน รอบเวลาในการผลิตลดลงจาก 46 นาทีต่อด้าม เหลือ 40 นาทีต่อด้าม คิดเป็นการลดลง 13.04 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น มีแนวคิดแก้ไขปัญหากระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงในกระบวนการและออกแบบอุปกรณ์จับยึด เพื่อผลิตอุปกรณ์ทดแทนการสั่งซื้อ เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการผลิต และลดต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์จับยึด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การศึกษาขั้นตอนการทำงานในบริษัทกรณีศึกษา

การปฏิบัติงานในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สั่งซื้ออุปกรณ์จับยึดจากซับพลายเออร์ โดยระบุประเภท และขนาดของอุปกรณ์จับยึด

ขั้นตอนที่ 2 นำอุปกรณ์จับยึดมาจัดเก็บที่คลังเพื่อรอเข้ากระบวนการถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเบิกอุปกรณ์จับยึดมายังไลน์ผลิตเพื่อเตรียมไปยังกระบวนการถัดไป ฝ่ายผลิตส่งคำขอเบิกอุปกรณ์จับยึดไปยังคลัง พร้อมระบุรายละเอียด เช่น จำนวน ชื่อชิ้นส่วน

ขั้นตอนที่ 4 จับอุปกรณ์ตัดเฉือน ซึ่งใช้ดอกเอ็นมิลขนาด 10 มิลลิเมตร ในการคว้านอุปกรณ์จับยึด

ขั้นตอนที่ 5 เขียนโปรแกรมคว้านอุปกรณ์จับยึดหน้าเครื่องจักรเพื่อที่จะจับชิ้นงาน โดยวางแผนลำดับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตรวจสอบตำแหน่งและขนาดของรูที่ต้องการคว้านจากแบบ จากนั้นทำการเขียน G-Code ตามที่วางแผนไว้ และใช้โหมด จำลอง เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 6 นำอุปกรณ์จับยึดมาติดตั้งบนเครื่องจักรกับแท่นรองยึดเข้าด้วยกัน

ขั้นตอนที่ 7 ตั้งศูนย์เครื่องจักร ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องจักรเพื่อเตรียมการคว้านอุปกรณ์จับยึดเพื่อจับชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 8 การคว้านอุปกรณ์จับยึดใช้โปรแกรม CNC (G-Code) ที่กำหนดไว้ทำการคว้านอุปกรณ์จับยึดโดยใช้เครื่องมือตัดที่เตรียมไว้ เพื่อใช้งานในการจับชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบจับชิ้นงาน เป็นการตรวจสอบการจับชิ้นงานในอุปกรณ์จับยึด เพื่อให้มั่นใจในการจับชิ้นงานและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานหรือกระบวนการผลิต

และได้ทำการเก็บข้อมูลเวลา และค่าใช้จ่ายในการทำงาน นำข้อมูลมาจัดทำแบบภาพกระบวนการไหล ดังรูปที่ 1

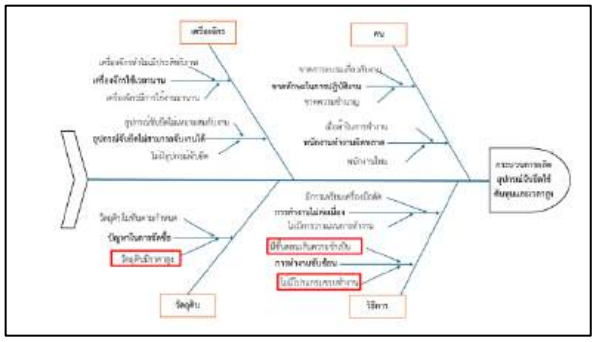
ตารางที่ 1 กระบวนการไหลก่อนปรับปรุง

แผนภูมิการไหลของกระบวนการ					
แผนภูมิหมายเลข		สรุปผล			
ชื่อบริษัท : โกลบอลไทยซอน พรีซิชัน อินดัสทรี จำกัด	Activity		ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
	ปฏิบัติงาน	○	5		
กรรมวิธี : ผลิตอุปกรณ์จับยึด	การขนส่ง	⇨	1		
	การรอคอย	D	1		
ผู้บันทึก : นายจิรายุ ศิริวง	การตรวจสอบ	□	1		
	การจัดเก็บ	▽	1		
	รวม		9		
	ระยะทาง		15		
	ต้นทุน		ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
			4130		
	รวม				

คำอธิบาย	ต้นทุน (บาท)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
สั่งซื้ออุปกรณ์จับยึด	3229	2880			■			
จัดเก็บ	9	10.46					▼	
เบิกชิ้นงาน	13	15.55	●					
จับอุปกรณ์ตัดเฉือน	17	20.31	●					
เขียนโปรแกรมหน้าเครื่อง	240	36.14	●					
นำอุปกรณ์จับยึดมาเข้าเครื่องจักร	148	22.3		●				
Setup เครื่องจักร	170	25.6	●					
การคว้านอุปกรณ์จับยึดเพื่อจับชิ้นงาน	168	25.28	●					
ตรวจสอบจับชิ้นงาน	136	20.5				■		
รวม	4130	3056.14						

2.2 วิเคราะห์สาเหตุและปัญหา

2.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล หรือแผนภาพก้างปลาโดยระบุปัญหาระดมความคิดการแก้ไขปัญหา สรุปปัญหาจากแผนภาพสาเหตุและผล ดังรูปที่ 1 เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเสี่ยง และเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 วิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา

จากวิเคราะห์สาเหตุก้างปลา พบว่าประสิทธิภาพการทำงานต่ำ เกิดจากหลังสาเหตุที่เกี่ยวกับ คน เครื่องจักร วัสดุ และวิธีการ ซึ่งสาเหตุแต่ละส่วนส่งผลต่อการทำงานดังนี้

1. พนักงานไม่ชำนาญงาน เกิดจากทักษะไม่เพียงพอ หรือเป็นพนักงานใหม่ที่ไม่มีความคุ้นเคยกับงาน ส่งผลให้กระบวนการทำงานล่าช้า

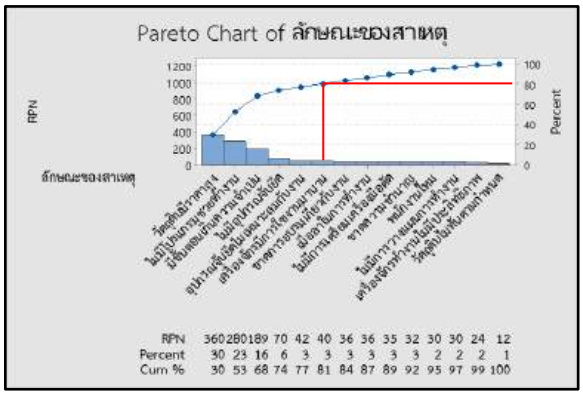
2. เครื่องจักรเสื่อมคุณภาพไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ทำให้การทำงานไม่ต่อเนื่องส่งผลให้การผลิตล่าช้าและต้นทุนเพิ่มขึ้น

3. อุปกรณ์จับยึดมีราคาที่สูง เกิดจากการสั่งซื้อที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น และการจัดซื้ออุปกรณ์จับยึดใช้เวลานานทำให้กระบวนการผลิตล่าช้า

4. วิธีการคว้านใช้เวลานาน ซึ่งต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมเอ็นซีหน้าเครื่องทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดในรูปแบบแผนภูมิก้างปลา จะนำมาทำการวิเคราะห์ แนวทางการแก้ไข โดยเริ่มจากสาเหตุที่มีค่า RPN มากไปน้อย ซึ่งเป็นแนวทางในการประเมินหาระดับความเสี่ยงนั้น จะได้มาจากการประเมิน

องค์ประกอบ 3 ประการ คือ ความรุนแรงของผลกระทบ (S) โอกาสที่เกิดขึ้น (O) และการตรวจจับ (D) ดังนั้นค่า RPN ที่ได้มาจาก S x O x D นำค่าความรุนแรงของสาเหตุทั้งหมดมาแจกแจงในรูปแบบแผนภูมิพาเรโต เพื่อให้เห็นความรุนแรงของสาเหตุที่ชัดแจน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโต

จากการแสดงของแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เห็นว่าสาเหตุที่ทำเกิดปัญหามากที่สุด 6 ลำดับ ซึ่งทำการแก้ไขปัญหาใหญ่ 3 ปัญหา คือ วัตถุดิบมีราคาที่สูง มีขั้นตอนเกินความจำเป็น และไม่มีโปรแกรมช่วยในการทำงาน จากการแก้ไข 3 ปัญหานี้ สามารถทำให้ปัญหาที่ 4-5 ถูกแก้ไขไปด้วย [12]

2.3 แนวทางการแก้ไข

จากการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อหาสาเหตุของปัญหา แนวทางแก้ไขปัญหา และผลที่คาดว่าจะได้รับ โดยการใช้เทคนิคด้านการจัดการงานวิศวกรรม ดังตารางที่ 2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ตารางที่ 2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

ลำดับ	ปัญหา	แนวทางการแก้ปัญหา
1	ไม่มีโปรแกรมช่วยในการทำงาน	สร้างโปรแกรม CAM เป็นการลดต้นทุนและเวลาในกระบวนการผลิต
2	วัตถุดิบมีราคาที่สูง	ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเองแทนการสั่งซื้อ
3	มีขั้นตอนเกินความจำเป็น	จัดขั้นตอนการทำงาน โดยใช้หลักการ ECRS
4	ไม่อุปกรณ์ช่วยในการจับยึด	ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึด
5	อุปกรณ์จับยึดไม่เหมาะสมกับงาน	ออกแบบอุปกรณ์จับยึดให้เหมาะสมกับงาน
6	พนักงานขาดความชำนาญ	พิจารณาพนักงานใช้คนที่มีประสบการณ์

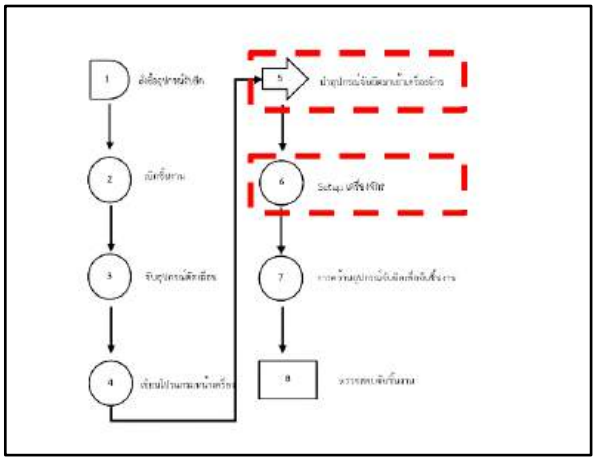
2.4 การแก้ไขโดยใช้หลักการ ECRS

ในการแก้ไขปัญหานี้ได้นำหลักการ ECRS มาใช้โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การกำจัด (Eliminate) หมายถึง ขั้นตอนการผลิตที่ไม่จำเป็น โดยทำการวิเคราะห์ขั้นตอนของกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึด จากการวิเคราะห์ขั้นกระบวนการผลิตพบว่าขั้นตอนเพิ่มคุณค่า VA มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน NNVA ขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่ มีทั้งหมด 3 ขั้นตอน และขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าและไม่จำเป็นต้องทำ NVA มี 1 ขั้นตอน จึงสามารถกำจัดกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดได้

2.4.2 การรวมกัน (Combine) การรวมขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยลง รวม ขั้นตอนนำอุปกรณ์จับยึดเข้าเครื่องรวมกับขั้นตอน Setup เครื่องจักร เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีความรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

จากการดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนโดยการรวมขั้นตอนการทำงานที่คล้ายคลึงกันโดยทำการรวมขั้นตอนการทำงานที่ 5 กับ 6 เข้ากันจาก 8 ขั้นตอนเหลือการทำงานทั้งหมด 9 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3

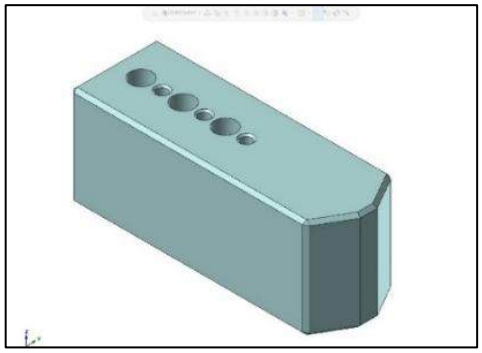


รูปที่ 3 แก้ไขปัญหาด้วยหลักการ ECRS

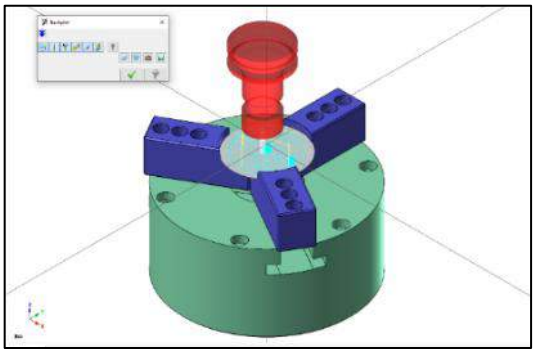
2.4.3 การทำให้ง่าย (Simplify) การปรับปรุงวิธีการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น ซึ่งจะทำการแก้ไขปัญหา 2 หัวข้อ ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาใหม่แทนการสั่งซื้อจากซับพลายเออร์ ดังรูป 4

2. สร้างโปรแกรม CAM ขึ้นมาเพื่อลดเวลาในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมหน้าเครื่อง ดังรูป 5



รูปที่ 4 เขียนแบบในโปรแกรม 3 มิติ



รูปที่ 5 สร้างโปรแกรม CAM

3. ผลการวิจัย

3.1 การผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

หลังจากปรับปรุงขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์จับยึดทำให้ทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้นมีการ รวม และปรับปรุงขั้นตอนเพื่อไม่ให้ทำงานซับซ้อน และช่วยลดเวลาและต้นทุน จากการแก้ไขปัญหา วัตถุดับมีราคาที่สูง การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการจึงได้มีการออกแบบ และผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นเองแทนการสั่งซื้อ โดยมีกระบวนการ ดังตาราง ที่ 3

ตารางที่ 3 การบันทึกเวลาของการสร้างอุปกรณ์จับยึด

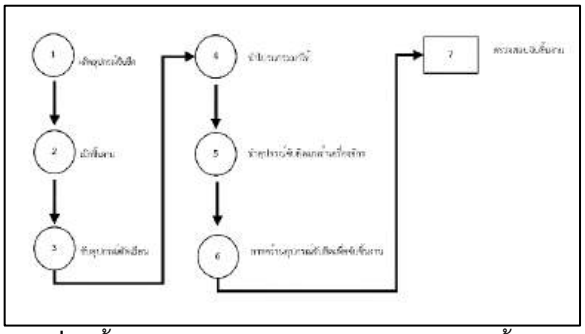
ลำดับ	ขั้นตอน	เวลา (นาที)
1	ออกแบบโดยการเขียน 2 มิติ	20.07
2	เขียนแบบ 3 มิติ	40.12
3	เขียนโปรแกรม CAM	60
4	ทำการแก้ไข NC	16.86
5	นำเหล็ก	9.24
6	นำโปรแกรม CNC มาลงในเครื่อง CNC และ Setup	14.35
7	ขึ้นรูปชิ้นงานในด้านที่ 1	21.19
8	ขึ้นรูปชิ้นงานในด้านที่ 2	22.34
9	อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเสร็จ	4.22
รวม		**208.15**

3.2 การสร้างโปรแกรมคว้านอุปกรณ์จับยึด

จากปัญหาไม่มีโปรแกรมช่วยในการทำงานซึ่งใช้เวลา และมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดสูง ทำให้มีแนวทางการแก้ปัญหา คือ สร้างโปรแกรม CAM เพื่อช่วยลดเวลาในการทำงาน โดยคว้านชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งรูขนาด 20 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร จากที่ได้เขียนโปรแกรม NC เสร็จสิ้นแล้วโปรแกรมจะถูกเก็บไว้ในเฟรชไดร์เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำสามารถเรียกใช้มาโปรแกรมโดยการนำโปรแกรมที่เก็บไว้ในเฟรชไดร์ไปใส่ในเครื่อง CNC ซึ่งจะแสดงผลก่อนการปรับปรุง 36.14 นาที หลังการปรับปรุง 14.56 นาที ลดลง 22.06 นาที

3.3 กระบวนการหลังปรับปรุง ECRS

จากปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำให้ทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้นมีการขจัดขั้นตอนการจัดเก็บอุปกรณ์จับยึด มีการรวมขั้นตอนนำอุปกรณ์จับยึดเข้าเครื่องกับขั้นตอน ตั้งศูนย์เครื่องจักร และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น ซึ่งจะสร้างอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาเองและเขียนโปรแกรม CAM ขึ้นมาเพื่อลดเวลาการทำงาน และไม่ให้ซับซ้อนในการทำงาน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

แสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานหลังการปรับปรุง โดยมี 1) ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์จับยึด คือ ขั้นตอนที่ผลิตอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาใช้งานเองแทนการสั่งซื้อ 2) เบิกชิ้นงาน 3) ขั้นตอนจับอุปกรณ์ตัดเฉือน 4) นำโปรแกรมมาใช้ คือ ในการเขียนโปรแกรมค้วานจากเดิมเขียนด้วยมืออยู่หน้าเครื่อง โดยได้ทำการเปลี่ยนมาใช้โปรแกรม CAM ที่เขียนไว้แทน 5) นำอุปกรณ์จับยึดเข้าเครื่องจักร คือ การรวมขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยลง 6) การค้วานอุปกรณ์จับยึดเพื่อจับชิ้นงาน คือ ขั้นตอนนี้จะเรียกใช้โปรแกรม CNC (G-Code) ที่กำหนดไว้ทำการค้วานอุปกรณ์จับ 7) ตรวจสอบจับชิ้นงาน สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของพนักงานได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กระบวนการไหล หลังปรับปรุง

แผนภูมิการไหลของกระบวนการ								
แผนภูมิหมายเลข		สรุปผล						
ชื่อบริษัท : โกลบอลไทยซ่อน พรีซิชั่น อินดัสทรี จากัด	Activity		ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง			
	ปฏิบัติงาน	○	5	6	1			
กรรมวิธี : ผลิตอุปกรณ์จับยึด	การขนส่ง	⇨	1	0	0			
	การรอคอย	D	1	0	0			
ผู้บันทึก : นายจิรายุ ศิริรวง	การตรวจสอบ	□	1	1	0			
	การจัดเก็บ	▽	1	0	2			
	รวม		9	7	2			
	ต้นทุน		ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง			
			4134	3058	305.8			

คำอธิบาย	ต้นทุน (บาท)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
ผลิตอุปกรณ์จับยึด	2163	208.29	●					
เบิกชิ้นงาน	13	15.5	●					
จับอุปกรณ์ตัดเฉือน	17	20.55	●					
นำโปรแกรมมาใช้	243	14.57	●					
Setup เครื่องจักร นำโปรแกรม CAM มาใช้	318	73.51	●					
กรรค้วานอุปกรณ์จับยึดเพื่อจับชิ้นงาน	168	25.28	●			■		
ตรวจสอบจับชิ้นงาน	136	20.5						
รวม	3058	378.20						

3.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

จากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประเมินการลดลงของระยะเวลาและต้นทุนในการผลิต อันเป็นผลมาจากการ ตัดลดกระบวนการที่ไม่จำเป็น การรวมกระบวนการ และการปรับปรุงลำดับขั้น ตอนการผลิตให้มีความสะดวก รวดเร็ว และลดความซับซ้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวช่วยลดเวลา และต้นทุนตลอดจนเพิ่มศักยภาพของระบบการผลิต โดยสามารถแสดงตัวอย่างกรณี ศึกษาของการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การเปรียบเทียบระหว่างเวลาก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า การปรับปรุงดังกล่าวสามารถละจำนวนขั้นตอนการทำงานจาก 9 ขั้นตอน เหลือ 7 ขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้เวลาในการผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากเดิมที่ใช้เวลา 3056.14 นาที ลดลงเหลือ 378.2 นาที โดยมีการลดเวลาการผลิตรวมทั้งสิ้น 2677.91 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 87.64

3.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง กระบวนการผลิตพบว่า การปรับปรุงดังกล่าวทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง จากเดิมที่ 4129 บาทต่อชิ้น เป็น 3058 บาทต่อชิ้น ซึ่งสามารถลด ต้นทุนได้ 1071 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 25.89 ตามที่แสดงในรูป ที่ 3.4 การลดต้นทุนนี้เกิดจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ช่วยลด จำนวนขั้นตอนในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร ซึ่งทำให้การสั่งซื้อวัสดุจากซับพลายเออร์ลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การปรับปรุงการจัดการสต็อกและการควบคุมคุณภาพที่ดีขึ้น ยังมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนในระยะยาว ทั้งนี้การลดต้นทุนในส่วนนี้ ส่งผลให้สามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและสร้างผลกำไรที่ดียิ่ง ขึ้นในอนาคต

4. อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสามารถลดระยะเวลาใน การผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะเวลาการผลิตลดลงมากกว่าร้อยละ 20 จาก 3,056.14 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์ [9] ที่ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถลดขั้นตอนการผลิตจาก 7 ขั้นตอน เหลือ 4 ขั้นตอน ส่งผลให้ระยะเวลาการผลิตลดลงร้อยละ 30.29 และต้นทุนลดลงร้อยละ 28.08 แสดงให้เห็นว่าการ ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้ ECRS เป็นแนวทางที่มี

ประสิทธิภาพในการลดต้นทุนและเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิต นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้ยังพบว่าการออกแบบและผลิตอุปกรณ์จับยึดเอง ภายในองค์กรแทนการจัดซื้อจากภายนอกช่วยลดต้นทุนการผลิตได้จาก 4,129 บาท เหลือ 3,058 บาท คิดเป็นการลดลงร้อยละ 25.89 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ สมพงษ์ แตงโสภา [9] ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนเครื่องเชื่อมรางรถไฟ พบว่าสามารถลดเวลาการทำงานได้ร้อยละ 49.54 และช่วยลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการซื้ออุปกรณ์จากภายนอกในด้านเทคโนโลยีที่นำมาใช้ การศึกษานี้ได้นำ CAD/CAM และ CNC Milling Machine มาใช้แทนการดำเนินงานแบบดั้งเดิมที่ ต้องเขียนโปรแกรมคว้านหน้าเครื่องด้วยแรงงานคน ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำของ กระบวนการผลิตผล การศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ กมลพงศ์ แจ่มกมล [13] ที่ศึกษาการ ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า พบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบ ใหม่สามารถเพิ่มสมรรถนะของกระบวนการจับยึดและลดข้อผิดพลาดของการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการนำ CAM และ CNC มาใช้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่การเปลี่ยนแปลงจากแรงงานคนไปสู่ระบบอัตโนมัติยังคงต้องอาศัยการฝึกอบรมพนักงานเพื่อเพิ่มทักษะใน การใช้ซอฟต์แวร์และเครื่องจักร CNC ซึ่งเป็นประเด็นที่คล้ายคลึงกับงานของ เจษฎา ภรณ์ ยอดเพชร [14] ที่พบว่าการออกแบบอุปกรณ์จับยึดใหม่ช่วยลดเวลาการตรวจสอบชิ้นงานลงได้มากกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องมีการอบรมพนักงานเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การนำแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลัก ECRS และเทคโนโลยี CAD/CAM และ CNC ช่วยลดต้นทุนและเวลาในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ เป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมได้ต่อไป

5. สรุป

5.1.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานด้วยหลักการ ECRS มาใช้ปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน โดยการกำจัด รวม และการปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการเขียนโปรแกรม พบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 9 ขั้นตอน ลด 7 ขั้นตอน

5.1.2 ผลจากการปรับปรุงแก้ไขก่อนและหลังประสิทธิภาพของขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน พบว่าในการปรับปรุงนั้นสามารถลดต้นทุนลงที่ร้อยละ 25.89 มากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ หรือลดต้นทุนลงได้ 1,071 บาท สามารถลดเวลาในการทำงานจากเดิม 3,056.14 นาทีต่อชิ้น เป็น 378.20 นาที ลดลง 2,678 นาที คิดเป็นร้อยละ 87.64 และปรับปรุงกระบวนการเขียนโปรแกรมหน้าเครื่อง สามารถลดเวลาในการทำงานจากเดิม 36.14 นาทีต่อชิ้น เป็น 14.56 นาทีต่อชิ้น ลดลง 22.06 นาทีต่อชิ้น

5.1.3 ผลจากการดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนด้วยหลักการ ECRS และใช้เทคโนโลยี CAD/CAM มาใช้ในการปรับปรุงเปรียบเวลา และต้นทุนกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทั้งก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยระยะเวลาการในกระบวนการผลิตลดลงมากกว่าร้อยละ 20 จาก 3,056.14 นาที และช่วยลดต้นทุนการผลิตได้จาก 4,129 บาท เหลือ 3,058 บาท คิดเป็นการลดลงร้อยละ 25.89

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ บริษัท โกลบอล-ไทยซอน พรีซิชั่น อินดัสทรี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและโอกาสในการศึกษากระบวนการทำงาน ตลอดจนขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล และสัมภาษณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สุรชัย เหมหิรัญ กิตติคม นนท์ประสาท พงษ์นรินทร์ สว่างวงษ์. “การศึกษาจลนศาสตร์และการสร้างแบบจำลองของหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรมด้วยโปรแกรม แมทแลป” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี 6(2) (2565) หน้า 59-57

[2] สวทช, อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) แนวทางของอุตสาหกรรมแห่งอนาคต, ข้อมูลจาก https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/industry-4-0/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[3] วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์, อดุลย์ พัฒนภักดี และเผชิญ จันทร์สา “การควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซี ชนิด 3 แกน ด้วยตัวควบคุมแบบ พี ไอ ดี” การประชุมระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. ครั้งที่ 15 ประจำปี 2563, 18 ธันวาคม 2563

[4] บริษัท โอเอ็นไอ อินเตอร์เทด จำกัด, CNC (Computer Numerical Control), ข้อมูลจาก : https://www.oniintertrade.com/blog/55662/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[5] บริษัท ไพลิน เลเซอร์ เมทเทิล จำกัด, เครื่อง CNC คืออะไร เหมาะกับใช้งานประเภทไหนมากที่สุด, ข้อมูลจาก : https://www.plm.co.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[6] Mahanakorn University of Technology, CAD CAM CNC สำคัญอย่างไรต่องานวิศวะ ข้อมูลจาก: https://mut.ac.th/cad-cam-cnc/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[7] Sumipol Agile Technology), ปากกาจับชิ้นงาน คืออะไร, ข้อมูลจาก: https://www.sumipol.com/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[8] บริษัท สเปคแคม จำกัด, ซอฟต์แวร์ CAD/CAMZ, สำหรับผู้ผลิต” ข้อมูลจาก: https://sprutcam.com/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2568)

[9] บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์, พิพัฒน์ เลิศโกวิทย์ “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุน” วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี 8(1) (2567) หน้า 44-59

[10] นายสมพงษ์ แตงโสภา (2557) “ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนเครื่องเชื่อมรางรถไฟเพื่อลดเวลาการประกอบ” ข้อมูลจาก : https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/

[11] คลอเคลีย วจนะวิชากร, ปานจิต ศรีสวัสดิ์วรัญญู และทิพย์โพธิ “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่า และเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา” วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 9(2) (2559) หน้า 38-46

[12] ธัญลักษณ์ โคตะมี, พรรทิภา อติชาติ, วรรณพร จันโทภาส การใช้แผนภูมิพาเรโตสำหรับควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม หน้า 2-7

[13] กมลพงศ์ แจ่มกมล, ปิยะพงษ์ ค้ำคูณ “ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัดแบบหลายขั้นตอนบนเครื่องตัดดลหะด้วยลวดไฟฟ้า” วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชมงคลกรุงเทพ 15(2) (2564) หน้า 96-104

[14] เจษฎาภรณ์ ยอดเพชร, สิทธิชัย วรรณกิจ, ชานนท์ มูลวรรณ, วีรญา กรทิพย และสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ “การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดในกระบวนการผลิตชิ้นงานความเที่ยงตรงสูง” การประชุมวิชาการและแสดงนิทรรศการระดับชาติ ครั้งที่ 4, 5-6 พฤศจิกายน 2565

การศึกษาและวิเคราะห์โมเดลของล้อแม็กโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

Study and Analysis of Wheel Rim Models Using Engineering Analysis Software

สมมารถ ศรีประเทือง[1*] กฤตยา ด้วงพูล[2]
[1*] สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Sommart Sripratuang 1* Kittaya Duangpool[2]
[1*] Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok.
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
E-mail: sommart_sr@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาโมเดลของล้อแม็กในรูปแบบต่างๆโดยวิธีโปรแกรมวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมซึ่งจำลองการใช้วัสดุทำดังนี้ อลูมิเนียมอัลลอย(Aluminum Alloy), แมกนีเซียมอัลลอย (Magnesium Alloy),และคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) เพื่อหาค่าความเค้นและเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำล้อรถยนต์ จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบตามการเปลี่ยนรูป (Total Deformation) ได้ผลลัพธ์ดังนี้ วัสดุที่ให้การเปลี่ยนรูปต่ำที่สุด WR2 Aluminum Alloy (0.038786 mm) วัสดุที่ให้การเปลี่ยนรูปสูงที่สุด WR3 Carbon Fiber (0.91439 mm) และ Aluminum Alloy มีค่าการเปลี่ยนรูปต่ำที่สุดในทุกรูปแบบโมเดลทั้ง 3 โมเดลและCarbon Fiber มีค่าการเปลี่ยนรูปสูงที่สุดในทุกรูปแบบโมเดลทั้ง 3 โมเดล การเปรียบเทียบตามความเค้น (Equivalent Von-Mises Stress) วัสดุที่ให้ความเค้นต่ำที่สุด: WR1 Aluminum Alloy (20.193 MPa) วัสดุที่ให้ความเค้นสูงที่สุด: WR2 Carbon Fiber (262.16 MPa) Aluminum Alloy และ Magnesium Alloy มีความเค้นต่ำกว่า Carbon Fiber อย่างชัดเจนและความเค้นใน Carbon Fiber สูงมาก ซึ่งอาจใกล้ถึงจุดวิกฤติของวัสดุ การเปรียบเทียบตามการยืดตัวเชิงเส้นสมมูล (Equivalent Elastic Strain) วัสดุที่ให้การยืดตัวต่ำที่สุด:WR2 Aluminum Alloy (0.00019163) วัสดุที่ให้การยืดตัวสูงที่สุด:WR2 Carbon Fiber (0.0060545) การยืดตัวของ Aluminum Alloy ต่ำที่สุดในทุกกรณี การยืดตัวของ Carbon Fiber สูงที่สุดในทุกกรณี ซึ่งบ่งบอกถึงความยืดหยุ่นสูงแต่ยังต้องตรวจสอบความคงทน

คำหลัก ล้อแม็ก,อลูมิเนียมอัลลอย,แมกนีเซียมอัลลอย,คาร์บอนไฟเบอร์, โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม.

Abstract

Study of the model of the alloy wheels in various forms by the engineering analysis program, which simulates the use of materials: Aluminum Alloy, Magnesium Alloy, Carbon Fiber to find the value and compare the materials used to make car wheels. From the analysis of comparison according to the policy (image change), the results are as follows WR2 Aluminum Alloy (0.038786 mm) material). WR3 Carbon Fiber (0.91439 mm) and Aluminum Alloy has the lowest change in all 3 models and Carbon Fiber. Equivalent Von-Mises Stress (throttle). The most sensuality material: WR1 Aluminum Alloy (20.193 MPA) The highest materials: WR2 Carbon Fiber (262.16 MPA) Alloy and Magnesium Alloy are more than Carbon Fiber and Carbon Fiber. The Fiber is very high, which may be close to the crisis of the material. Comparison according to the Equivalent Elastic Strain (in -line -up stretching), the lowest stretching material: WR2 Aluminum Alloy (0.00019163). The highest stretching material: WR2 Carbon Fiber (0.0060545) The lowest Aluminum Ally stretching in all cases of CARBON FIBER in all cases. Which indicates high flexibility but still need to check the durability.

Keywords: Wheel Rim, Aluminum Alloy, Magnesium Alloy, Carbon Fiber, Computer programs for engineering analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ คนส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันอย่างมาก เนื่องจากการดำเนินชีวิตที่มีความเร่งรีบและมีภารกิจมากมายทำให้เราต้องหาวิธีในการเพิ่มความสะดวกสบายให้กับตัวเอง หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันคือ “การเดินทาง” ซึ่งในสังคมปัจจุบันนี้ รถยนต์ถือเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่คนส่วนใหญ่เลือกใช้ เนื่องจากรถยนต์ช่วยประหยัดเวลาในการเดินทางและทำให้การเดินทางมีความสะดวกสบายมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางไปทำงาน ไปโรงเรียน หรือการท่องเที่ยวในวันหยุด หากเมื่อพูดถึงรถยนต์หลายคนมักจะนึกถึงสิ่งที่สำคัญทั้งในแง่ของการใช้งานและความสวยงาม เช่น ดีไซน์ของตัวรถที่ต้องสวยงามและทันสมัยเพื่อสะท้อนถึงตัวตนของเจ้าของ แต่สิ่งที่หลายคนอาจมองข้ามไปคือ “ล้อแม็ก” ซึ่งเป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบที่มีความสำคัญไม่แพ้กันในการปรับแต่งรถยนต์ให้ดูดีขึ้น ล้อแม็กไม่ได้เป็นเพียงแค่ส่วนประกอบที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของรถยนต์เท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในด้านดีไซน์และสไตล์ของรถด้วย

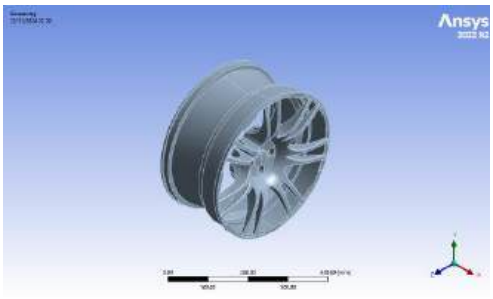
ล้อแม็กได้รับความนิยมมากขึ้นในหมู่คนที่ชื่นชอบการปรับแต่งรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นวัยรุ่นที่ต้องการให้รถของตัวเองโดดเด่นหรือแม้แต่คนทำงานที่ต้องการให้รถของตัวเองดูหรูหรามากขึ้น ล้อแม็กมีหลากหลายดีไซน์ รูปทรงและสีสันที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกปรับแต่งรถของตัวเองตามความชอบและความต้องการส่วนบุคคลได้อย่างเต็มที่โดยการออกแบบของล้อแม็กมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับเทรนด์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย นอกจากนี้เทคโนโลยีการผลิตล้อแม็กก็มีการพัฒนาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติต่างๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เช่น วัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน และน้ำหนักเบา ช่วยให้รถมีสมรรถนะที่ดีกว่าเดิม ในขณะเดียวกันล้อแม็กบางรุ่นยังมีการออกแบบที่ช่วยในการประหยัดพลังงานหรือช่วยลดแรงต้านทานในการหมุน ทำให้การขับขี่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ความสนใจในล้อแม็กไม่ได้จำกัดอยู่แค่ดีไซน์ภายนอกเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งวัสดุที่ใช้จะมีผลต่อความทนทานและการใช้งานในระยะยาว เช่น ล้อแม็กที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ (Aluminum Alloy) ซึ่งมีน้ำหนักเบาแต่แข็งแรง จากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจึงเป็นเหตุและปัจจัยทำให้มีความสนใจที่จะศึกษาโมเดลของล้อแม็กในรูปแบบต่างๆเป็นอย่างยิ่ง

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและวิธีการทดสอบ

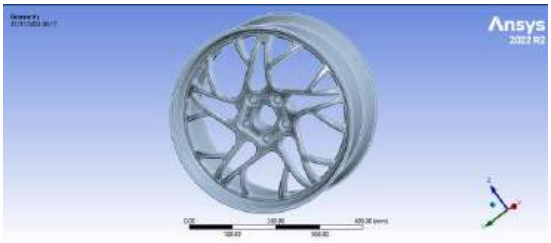
Models

ในการศึกษานี้จะมีการเลือกโมเดลมาทั้ง หมด 3 รูปแบบ และในแต่ละรูปแบบโมเดลล้อแม็กจะมีการใช้วัสดุที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 วัสดุด้วยกัน ได้แก่ 1. Aluminum Alloy 2. Magnesium Alloy 3. Carbon Fiber โดยแต่ละรูปแบบโมเดลล้อแม็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร และความกว้าง 20 เซนติเมตร ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 1 โมเดลล้อแม็ก 1

รูปที่ 2 โมเดลล้อแม็ก 2



รูปที่ 3 โมเดลล้อแม็ก 3

ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบโมเดลและวัสดุล้อแม็กที่จะทำการศึกษา

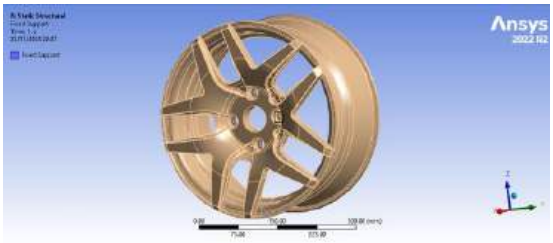
รูปแบบโมเดล	โมเดลล้อแม็กและวัสดุที่ใช้
1	โมเดลล้อแม็ก 1 Aluminum Alloy
2	โมเดลล้อแม็ก 1 Magnesium Alloy
3	โมเดลล้อแม็ก 1 Carbon Fiber
4	โมเดลล้อแม็ก 2 Aluminum Alloy
5	โมเดลล้อแม็ก 2 Magnesium Alloy
6	โมเดลล้อแม็ก 2 Carbon Fiber
7	โมเดลล้อแม็ก 3 Aluminum Alloy
8	โมเดลล้อแม็ก 3 Magnesium Alloy
9	โมเดลล้อแม็ก 3 Carbon Fiber

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

Boundary

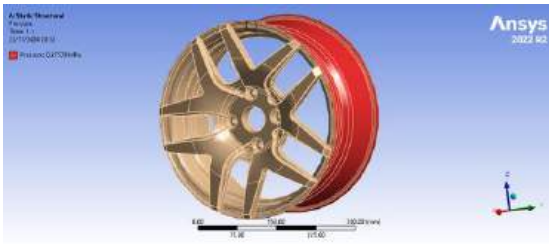
ในการศึกษาโมเดลล้อแม็กในรูปแบบต่างๆ นี้จะมีการกำหนด Boundary ดังต่อไปนี้

1. กำหนด Fix Supports ที่รูยึดล้อทุกรูที่มีอยู่ที่โมเดลล้อแม็ก เนื่องจากเป็นจุดที่ไม่มีการเคลื่อนที่จึงกำหนดตำแหน่งนี้ให้เป็น Fix Supports



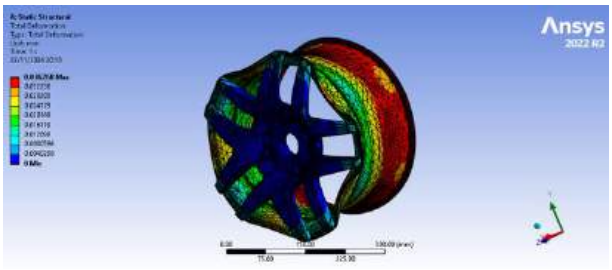
รูปที่ 4 กำหนด Fix Supports ที่รูยึดล้อ

2. กำหนด Pressure ที่บริเวณความกว้างของล้อทั้งล้อแม็กที่ 0.27579 MPa เนื่องจากต้องการจำลองแรงดันลมยางที่กระทำอยู่บนวงล้อจริง ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ล้อแม็กต้องเจอในการใช้งานปกติ



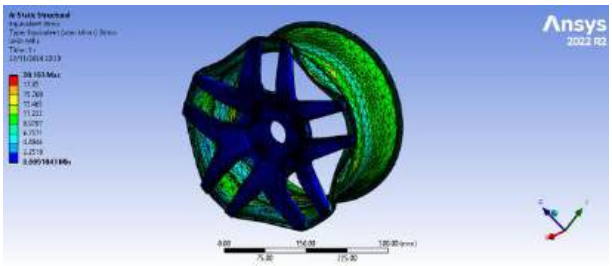
รูปที่ 5 กำหนด Pressure ที่บริเวณความกว้างของล้อทั้งล้อแม็กที่ 0.27579 MPa

ผลลัพธ์



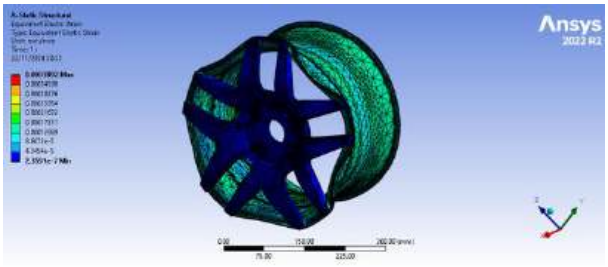
รูปที่ 6 โมเดลล้อแม็ก 1 Total Deformation of Aluminum Alloy

รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



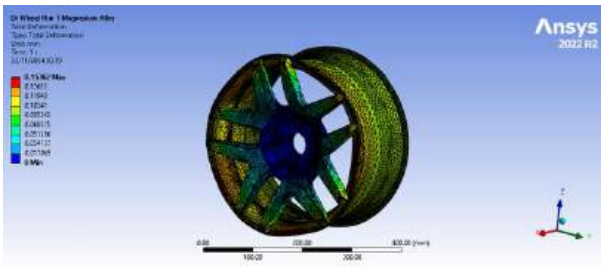
รูปที่ 7 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Von-mises stress of Aluminum Alloy

รูปที่ 7 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



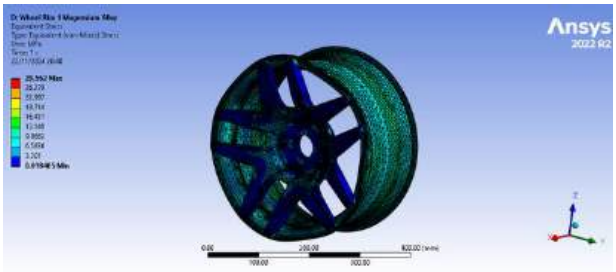
รูปที่ 8 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy

รูปที่ 8 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



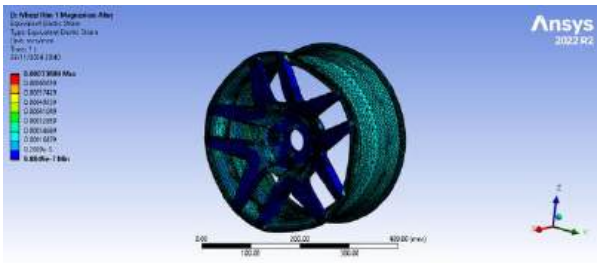
รูปที่ 9 โมเดลล้อแม็ก 1 Total Deformation of Magnesium Alloy

รูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



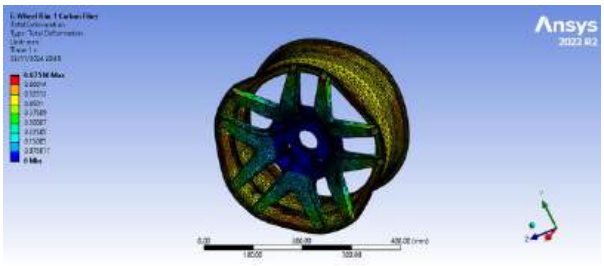
รูปที่ 10 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Von-mises stress of Magnesium Alloy

รูปที่ 10 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



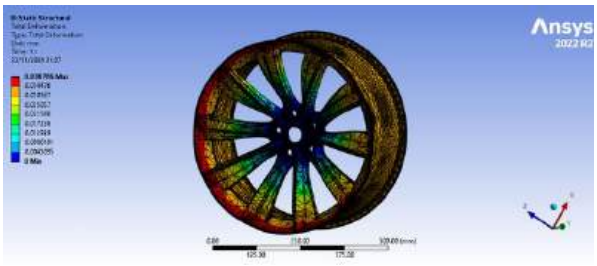
รูปที่ 11 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Elastic Strain of Magnesium Alloy

รูปที่ 11 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



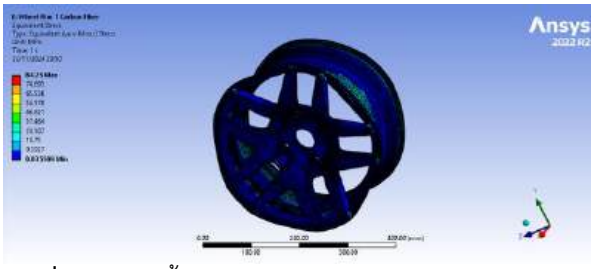
รูปที่ 12 โมเดลล้อแม็ก 1 Total Deformation of Carbon Fiber

รูปที่ 12 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Carbon Fiber



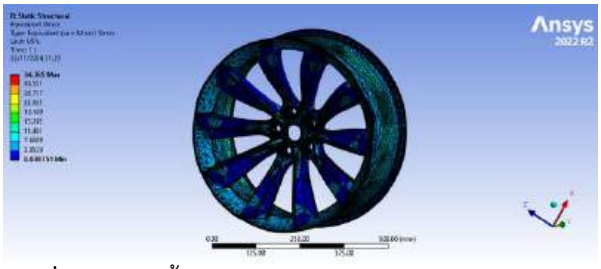
รูปที่ 15 โมเดลล้อแม็ก 2 Total Deformation of Aluminum Alloy

รูปที่ 15 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



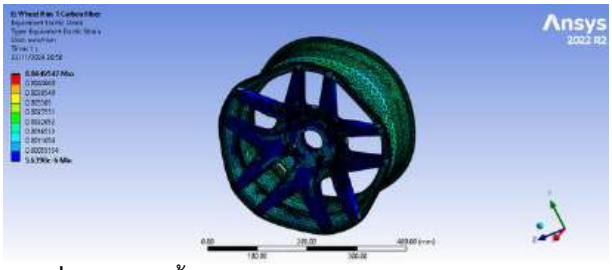
รูปที่ 13 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Von-mises stress of Carbon Fiber

รูปที่ 13 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Carbon Fiber



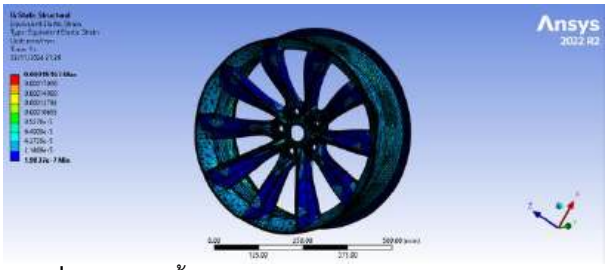
รูปที่ 16 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Von-mises stress of Aluminum Alloy

รูปที่ 16 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



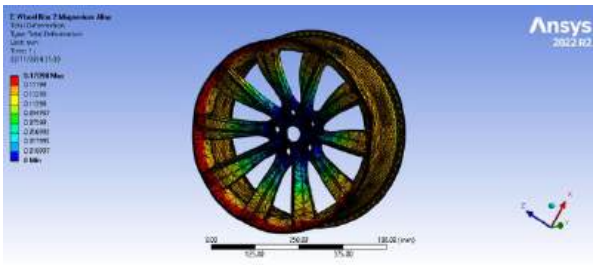
รูปที่ 14 โมเดลล้อแม็ก 1 Equivalent Elastic Strain of Carbon Fiber

รูปที่ 14 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 1 วัสดุ คือ Carbon Fiber



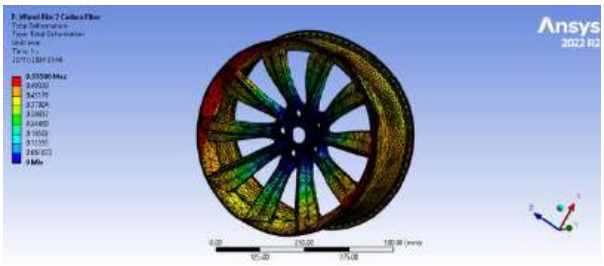
รูปที่ 17 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy

รูปที่ 17 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



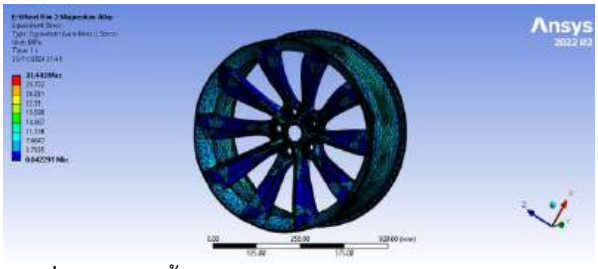
รูปที่ 18 โมเดลล้อแม็ก 2 Total Deformation of Magnesium Alloy

รูปที่ 18 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุคือ Magnesium Alloy



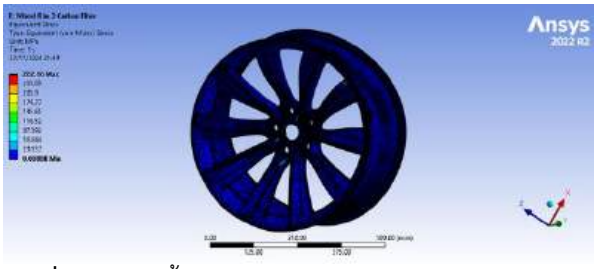
รูปที่ 21 โมเดลล้อแม็ก 2 Total Deformation of Carbon Fiber

รูปที่ 21 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุคือ Carbon Fiber



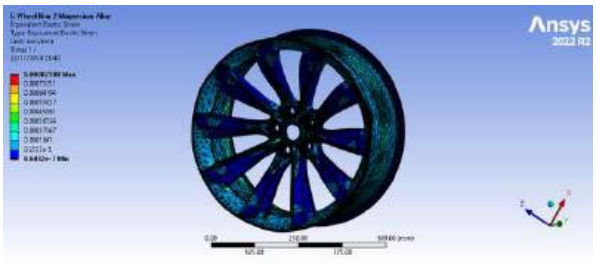
รูปที่ 19 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Von-mises stress of Magnesium Alloy

รูปที่ 19 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุคือ Magnesium Alloy



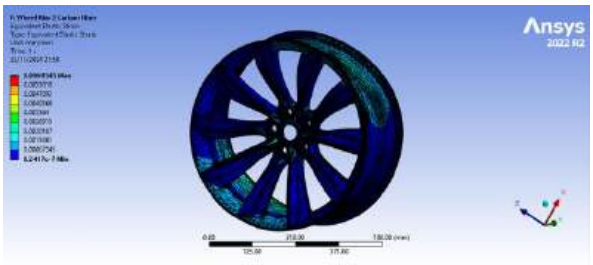
รูปที่ 22 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Von-mises stress of Carbon Fiber

รูปที่ 22 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุคือ Carbon Fiber



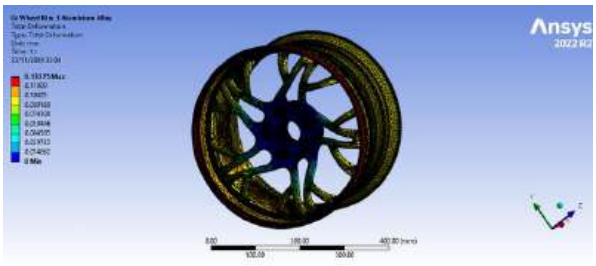
รูปที่ 20 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Elastic Strain of Magnesium Alloy

รูปที่ 20 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



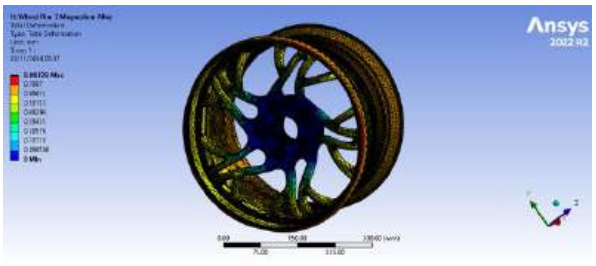
รูปที่ 23 โมเดลล้อแม็ก 2 Equivalent Elastic Strain of Carbon Fiber

รูปที่ 23 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 2 วัสดุ คือ Carbon Fiber



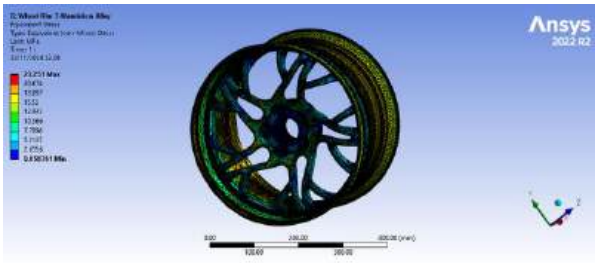
รูปที่ 24 โมเดลล้อแม็ก 3 Total Deformation of Aluminum Alloy

รูปที่ 24 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



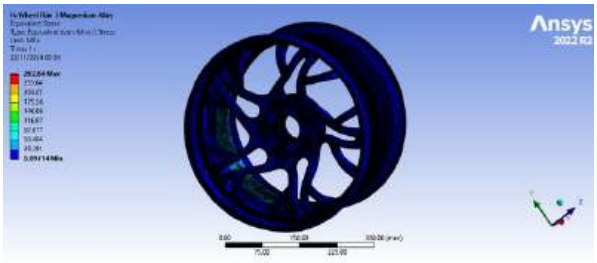
รูปที่ 27 โมเดลล้อแม็ก 3 Total Deformation of Magnesium Alloy

รูปที่ 27 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



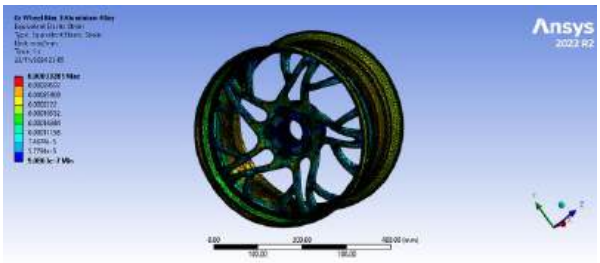
รูปที่ 25 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Von-mises stress of Aluminum Alloy

รูปที่ 25 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



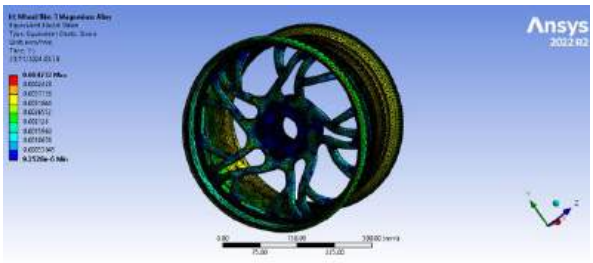
รูปที่ 28 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Von-mises stress of Magnesium Alloy

รูปที่ 28 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



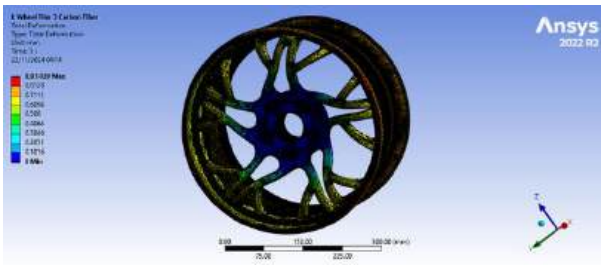
รูปที่ 26 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy

รูปที่ 26 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Aluminum Alloy



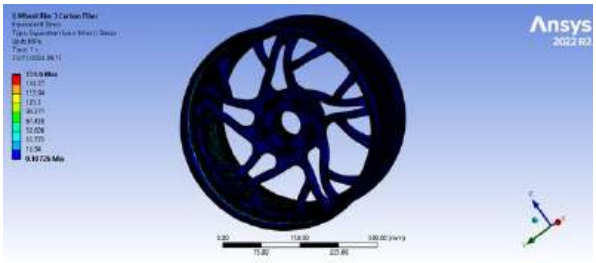
รูปที่ 29 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Elastic Strain of Magnesium Alloy

รูปที่ 29 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Magnesium Alloy



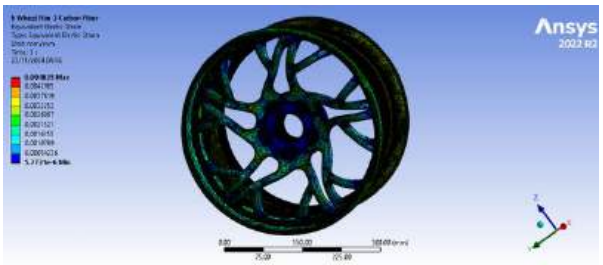
รูปที่ 30 โมเดลล้อแม็ก 3 Total Deformation of Carbon Fiber

รูปที่ 30 แสดงการเปลี่ยนรูปโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Carbon Fiber



รูปที่ 31 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Von-mises stress of Carbon Fiber

รูปที่ 31 แสดงค่าความเค้นโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Carbon Fiber



รูปที่ 32 โมเดลล้อแม็ก 3 Equivalent Elastic Strain of Carbon Fiber

รูปที่ 32 แสดงค่าความเครียดโมเดลล้อแม็ก 3 วัสดุ คือ Carbon Fiber

หลังจาก Set Up ค่าต่างๆตาม Boundary ที่ได้กำหนดไว้ในตอนแรกและได้ทำการ Solve เพื่อหาค่า Total Deformation of Carbon Fiber, Equivalent Von-mises stress of Carbon Fiber และ Equivalent Elastic Strain of Carbon Fiber จึงสรุปค่าต่างๆ ได้ดังรูปต่อไปนี้

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 รวมค่า Deformation, Von-mises stress และ Equivalent Elastic Strain โมเดลทุกรูปแบบ

Model	Total Deformation	Equivalent Von-mises stress	Equivalent Elastic Strain
WR1 Aluminum Alloy	0.36268	20.193	0.0003892
WR1 Magnesium Alloy	0.15362	29.562	0.00073809
WR1 Carbon Fiber	0.67516	84.25	0.0049547
WR2 Aluminum Alloy	0.038786	34.365	0.00019163
WR2 Magnesium Alloy	0.17093	33.443	0.00082508
WR2 Carbon Fiber	0.55506	262.16	0.0060545
WR3 Aluminum Alloy	0.13375	23.251	0.00033285
WR3 Magnesium Alloy	0.88729	262.84	0.004772
WR3 Carbon Fiber	0.91439	151.6	0.004835

(*WR = Wheel Rim ล้อแม็ก*)

4.อภิปรายผล

1.การเปรียบเทียบตาม Total Deformation (การเปลี่ยนรูป)

วัสดุที่ให้การเปลี่ยนรูปต่ำที่สุด:

WR2 Aluminum Alloy (0.038786 mm)

วัสดุที่ให้การเปลี่ยนรูปสูงที่สุด:

WR3 Carbon Fiber (0.91439 mm)

ข้อสังเกต:

Aluminum Alloy มีค่าการเปลี่ยนรูปต่ำที่สุดในทุกรูปแบบโมเดลทั้ง 3 โมเดล

Carbon Fiber มีค่าการเปลี่ยนรูปสูงที่สุดในทุกรูปแบบโมเดลทั้ง 3 โมเดล

2.การเปรียบเทียบตาม Equivalent Von-Mises Stress (ความเค้น)

วัสดุที่ให้ความเค้นต่ำที่สุด:

WR1 Aluminum Alloy (20.193 MPa)

วัสดุที่ให้ความเค้นสูงที่สุด:

WR2 Carbon Fiber (262.16 MPa)

ข้อสังเกต:

Aluminum Alloy และ Magnesium Alloy มีความเค้นต่ำกว่า Carbon Fiber อย่างชัดเจน

ความเค้นใน Carbon Fiber สูงมาก ซึ่งอาจใกล้ถึงจุดวิกฤติของวัสดุ

3. การเปรียบเทียบตาม Equivalent Elastic Strain (การยืดตัวเชิงเส้นสมมูล)

วัสดุที่ให้การยืดตัวต่ำที่สุด:

WR2 Aluminum Alloy (0.00019163)

วัสดุที่ให้การยืดตัวสูงที่สุด:

WR2 Carbon Fiber (0.0060545)

ข้อสังเกต:

การยืดตัวของ Aluminum Alloy ต่ำที่สุดในทุกกรณี

การยืดตัวของ Carbon Fiber สูงที่สุดในทุกกรณี ซึ่งบ่งบอกถึงความยืดหยุ่นสูงแต่ยังต้องตรวจสอบความคงทน

5.สรุปผล

วัสดุสำหรับล้อแม็ก:

1.วัสดุที่เหมาะสมที่สุด (สมดุลระหว่างการเปลี่ยนรูป, ความเค้น และการยืดตัว): อลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloy)มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในแง่ของการ เปลี่ยนรูปต่ำ ความเค้นต่ำ และการยืดตัวต่ำ ซึ่งช่วยให้มีความแข็งแรงและทนทานในระยะยาว เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปและเชิงพาณิชย์

2.วัสดุที่เบาแต่มีข้อเสียเรื่องความเค้นและการเปลี่ยนรูป:คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงสูงแต่ความเค้นและการเปลี่ยนรูปสูงซึ่งอาจทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความทนทานหรือความแข็งแรงระยะยาว

3.วัสดุที่มีคุณสมบัติกลางๆ:แมกนีเซียมอัลลอย (Magnesium Alloy) มีค่าความเค้นและการเปลี่ยนรูปที่ใกล้เคียงกับอลูมิเนียมอัลลอย แต่การยืดตัวสูงกว่าและต้นทุนสูงกว่า เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความเบาแต่ไม่เน้นความทนทานหรือการยืดอายุการใช้งาน

จะเห็นได้ว่า อลูมิเนียมอัลลอยเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในแง่ความสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความทนทานโดยมีต้นทุนที่คุ้มค่า ขณะที่คาร์บอนไฟเบอร์ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการน้ำหนักเบาแต่ไม่คำนึงถึงความทนทานสูง และแมกนีเซียมอัลลอย เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการน้ำหนักเบาในบางกรณี แต่ต้นทุนสูงและการยืดตัวสูง และ WR2 Aluminum Alloy คือวัสดุและรูปแบบโมเดลล้อแม็กที่ดีที่สุดในการออกแบบล้อแม็กจากการวิเคราะห์นี้ด้วยสมดุลที่ดีที่สุดระหว่างการเปลี่ยนรูปต่ำ ความเค้นที่อยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัย และการยืดตัวต่ำ ทำให้วัสดุนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานในชีวิตจริงและเชิงพาณิชย์ในระยะยาว โดยไม่เพียงแต่มีความทนทาน ยังมีต้นทุนที่คุ้มค่าอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ปราโมทยเดชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟต์แวร์ สำนักพิมพจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, 2550

[2]เรียนลัดวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยแอนซีส (FINITE ELEMENT METHOD CRASH COURSE WITH ANSYS) สำนักพิมพจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, 2565

[3] Karthik A.S. et al, Static Analysis of Alloy Wheel using FEA. International Journal for Innovative Research in Science & Technology,Volume 2, Issue 12 May 2016 nISSN (online): 2349-6010

[4] Mr. Sasank Shekhar Panda, et al, Modeling and Structural Analysis of Alloy Wheel Using Ansys. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, March, 2016

การวิจัยการขึ้นรูปโลหะในประเทศไทย : การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

Research on Metal Forming in Thailand : A Systematic Literature Review

ธวัชชัย ไหมด้วง เอกภพ วุฒิสิทธิญาณ และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง*
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและนวัตกรรมวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC)
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Tawatchai Maidung, Ekkapop Vuttisittiyan and Bhadpiroon Watcharasresomroeng*
Manufacturing Engineering and Material Innovation, Tool and Die Technology Center (TDTC)
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: bhadpiroon.s@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อเป็นทางเลือกใช้ทบทวนวรรณกรรมในการทำวิจัยโดยยกกรณีศึกษาการวิจัยการขึ้นรูปโลหะของประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเป็นการวิจัยรูปแบบหนึ่งที่มีความแตกต่างจากการทบทวนวรรณกรรมโดยทั่วไป มีการตั้งคำถามการวิจัย การกำหนดเกณฑ์วิธีการคัดกรองเพื่อเลือกบทความวิจัยมาวิเคราะห์และสังเคราะห์อย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน ตลอดจนใช้นักวิจัยมากกว่า 2 คน ในการคัดกรองและทบทวนวรรณกรรมเพื่อลดอคติในการดำเนินการดังกล่าว การดำเนินการแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวางแผน การดำเนินการ และการรายงาน จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบในครั้งนี้พบว่า มีบทความวิจัยที่เข้าเกณฑ์วิธีและผ่านการคัดกรองจำนวน 49 บทความ จากจำนวน 13,770 บทความ ที่สืบค้นในฐานข้อมูลที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่างานวิจัยด้านการขึ้นรูปโลหะของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยด้านอื่นแล้ว ยังคงมีปริมาณที่น้อยอยู่ ซึ่งจะเป็นโอกาสให้นักวิจัยไทยสามารถขยายพื้นที่วิจัยทางด้านนี้เพิ่มมากขึ้นได้

คำหลัก: การขึ้นรูปโลหะ การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ การวิจัย

Abstract

This article aims to propose a systematic literature review method as an alternative for conducting literature reviews in research, using the case study of metal forming research in Thailand. The study found that a systematic literature review is a type of research that differs from a general literature review. It involves formulating research questions, establishing screening criteria to select research articles for analysis and synthesis in a clear step-by-step manner, and employing more than two researchers to screen and review the literature to reduce bias in the process. The procedure is divided into three main steps: planning, execution, and reporting. From this systematic literature review, it was found that 49 articles met the criteria and passed the screening out of 13,770 articles searched in the studied database. This indicates that metal forming research in Thailand has been increasing over the past 20 years. However, compared to other fields of research, the volume remains low, presenting an opportunity for Thai researchers to expand their research in this area.

Keywords: Metal Forming, Systematic Literature Review, Research

1. บทนำ

"การวิจัย คือ กระบวนการแสวงหาความรู้ข้อเท็จจริง อย่างมีระบบแบบแผนที่เชื่อถือได้โดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้คำตอบที่นำไปใช้ในการอ้างอิง การสร้างกฎเกณฑ์และทฤษฎีการวางแผนและการแก้ปัญหาในการหาคำตอบอย่างเป็นระบบ" [1] ผลกระทบเชิงบวกจากงานวิจัยที่มีคุณภาพช่วยพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจ ท้าทายองค์ความรู้เดิมที่มีอยู่เพื่อใช้ในการต่อยอดองค์ความรู้ สร้างองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่เพื่อนำไปใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม กระบวนการวิจัยเริ่มจากความต้องการแก้ปัญหาที่มีอยู่แล้วจึงตั้งวัตถุประสงค์และสมมติฐานในการวิจัย จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการออกแบบการวิจัย การทดลองหรือวัดค่าตัวแปร เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล โดยกระบวนการวิจัยจะมีทฤษฎีหรืองานวิจัยเดิมที่มีผู้คิดและได้คำตอบแล้วเป็นฐานเพื่อการต่อยอดองค์ความรู้ การต่อยอดองค์ความรู้เดิมที่มีผู้เคยได้ทำมาแล้วนั้นสิ่งสำคัญที่สุด คือ การทบทวนวรรณกรรม เพื่อลดความซ้ำซ้อนการทำวิจัยในพื้นที่วิจัยที่ผู้ทำสนใจ

การวิจัยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบหรือเอสแอลอาร์ (Systematic Literature Review, SLR) เป็นการวิจัยรูปแบบหนึ่งเนื่องจากมีกระบวนการแสวงหาความรู้ ข้อเท็จจริง อย่างมีระบบแบบแผนที่เชื่อถือได้โดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้คำตอบที่นำไปใช้ในการอ้างอิง (เป็นไปตามความหมายของการวิจัย) เอสแอลอาร์มีความแตกต่างจากการทบทวนวรรณกรรมโดยทั่วไป การวิจัยรูปแบบนี้เป็นการวิจัยเอกสารที่นำผลการวิจัยในประเด็นใดประเด็นหนึ่งหรือสาขาใดสาขาหนึ่งหรือพื้นที่วิจัยหนึ่งที่ดำเนินการในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งมาทำการศึกษาตามระเบียบวิธีของการวิจัยรูปแบบนี้

เอสแอลอาร์เป็นเครื่องมือในการสังเคราะห์ผลการวิจัย สามารถช่วยให้ผู้วิจัยมองเห็นภาพรวมของพื้นที่วิจัยที่จะดำเนินการศึกษา รวมถึงการใช้ข้อมูลที่ได้เพื่อแสดงหลักฐานการสนับสนุนและโต้แย้งผลการศึกษา [2] งานวิจัยจำนวนมากใช้เอสแอลอาร์ช่วยสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยเพื่อป้องกันการนำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมที่ขาดความละเอียดจากการไม่ได้ดำเนินการอย่างเป็นระบบได้

ประเทศไทยมีการใช้เอสแอลอาร์ในการทบทวนวรรณกรรมยังไม่แพร่หลาย พบใช้ในการศึกษาทางด้านศาสตร์เกี่ยวกับสุขภาพมากที่สุด [3] เริ่มมีใช้ในการวิจัยด้านการศึกษาและการบริหารจัดการด้วยเช่นกัน [3-8] ผู้วิจัยมีความต้องการเสนอวิธีการการวิจัยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อเป็นแนวทางให้นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและนักวิจัยที่สนใจส่งบทความเพื่อร่วมการประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่ผ่านการจัดการประชุมมาแล้ว 9 ครั้ง ได้นำไปประยุกต์ใช้ เพื่อการพัฒนาและยกระดับคุณภาพบทความในการประชุมวิชาการนี้ รวมถึงการเผยแพร่ผลงานวิจัยในเวทีอื่น ๆ โดยขอยกประเด็นด้านการวิจัยการขึ้นรูปโลหะในประเทศไทยซึ่งยังไม่มีการใช้เอสแอลอาร์เป็นระเบียบวิธีในการทบทวนวรรณกรรม

2. การขึ้นรูปโลหะ

การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) เป็นกระบวนการผลิตเพื่อเปลี่ยนรูป (Deformation) วัสดุโลหะให้มีรูปร่างหรือรูปทรงตามที่ต้องการโดยการทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงสภาพพลาสติก (Plasticity) หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร มีเงื่อนไขของกระบวนการที่สำคัญ คือ "ปริมาตรก่อนขึ้นรูปเท่ากับปริมาตรหลังการขึ้นรูป" [9]

การขึ้นรูปแบ่งตามลักษณะสภาพชิ้นงานเริ่มต้น (Initial Workpiece) ได้ 2 ประเภท ได้แก่ การขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming) และการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming) การใช้อุณหภูมิช่วยในการขึ้นรูปจะทำให้ความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) ดีขึ้น ดังนั้นการขึ้นรูปโลหะยังสามารถแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ 3 ประเภท ได้แก่ การขึ้นรูปเย็น (Cold Forming) การขึ้นรูปอุ่น (Warm Forming) และการขึ้นรูปร้อน (Hot Forming) [9, 10] มีกระบวนการสำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ได้แก่ แบลงกิง (Blanking) เพียร์ซิง (Piercing) เบนดิง (Bending) ดีพดรอว์อิง (Deep Drawing) ฟอร์จิง (Forging) โรลลิง (Rolling) ดรอว์อิง

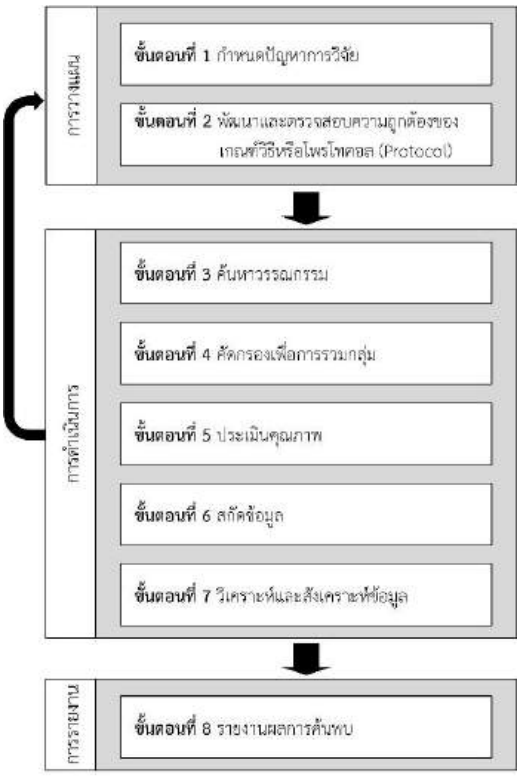
(Drawing) และ เอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นต้น โดยการทำวิจัยด้านขึ้นรูปโลหะสามารถแบ่งได้ 5 มิติหลัก ได้แก่ การออกแบบแม่พิมพ์/เครื่องมือ การศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูป (Forming Behavior) การปรับปรุงสมบัติของโลหะ การปรับปรุงคุณภาพผิว และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [9, 13]

3. ระเบียบวิธีวิจัยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

เอสแอลอาร์มีรูปแบบที่หลากหลาย เช่น PRISMA, PRISMA-IPD, Cochrane Collaboration Guidelines และ GRADE เป็นต้น ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีลักษณะที่คล้ายกันประการหนึ่ง คือ การมีขั้นตอนดำเนินการที่ชัดเจนเพื่อให้ได้มาซึ่งบทความที่จะนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล อย่างไรก็ตามแต่ละรูปแบบจะมีจำนวนขั้นตอนที่แตกต่างกัน โดยบทความฉบับนี้ได้ใช้แนวทางของ Xiao & Watson อ้างอิงจาก [3] ซึ่งมีจำนวน 8 ขั้นตอน ใน 3 การดำเนินการหลัก ดังรูปที่ 1

สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ คือ ต้องมีความโปร่งใส (Transparency) และมีภาระความรับผิดชอบ (Accountability) ในขั้นตอนการดำเนินการ ดังนั้น ลักษณะสำคัญประการหนึ่งของเอสแอลอาร์ คือ จำนวนนักวิจัยที่ใช้ในการทบทวนวรรณกรรมจะมีมากกว่า 2 คนขึ้นไปเพื่อลดอคติ (Bias) ในการดำเนินการ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากการทบทวนวรรณกรรมโดยทั่วไป ที่อาจมีผู้ทำวิจัยเพียงคนเดียวในการดำเนินการทบทวนวรรณกรรม

นอกจากจำนวนของนักวิจัยในการร่วมทบทวนวรรณกรรมแล้ว เอสแอลอาร์ยังมีประเด็นที่น่าสนใจซึ่งแตกต่างจากการทบทวนวรรณกรรมโดยทั่วไป คือ มีการตั้งคำถามการวิจัย ทำให้คุณค่าของการทบทวนวรรณกรรมที่ได้จากเอสแอลอาร์มีลักษณะเชื่อมโยงกับความเชี่ยวชาญของผู้ทำวิจัยกับหลักฐานที่ประจักษ์ชัดแจ้งจากผลการทำวิจัยที่ได้จากบทความที่ถูกคัดเลือกมาดำเนินการ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ [3-8]

4. การวางแผนและการดำเนินการ

4.1 การวางแผน

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบครั้งนี้ มีคำถามการวิจัยที่ว่า “*แนวโน้มการวิจัยการขึ้นรูปโลหะในประเทศไทยได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นหรือไม่ และมีการทำวิจัยเน้นไปในมิติด้านใด*” โดยมีเกณฑ์วิธีที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

• ฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้น : Thai Journals Online (ThaiJO), Thai-Journal Citation Index Centre (TCI) และ Google Scholar

• คำสำคัญในการสืบค้น : ผู้วิจัยใช้ภาษาอังกฤษในการสืบค้นเพื่อป้องกันปัญหาการแปลเป็นภาษาไทยหรือการใช้การเขียนทับคำศัพท์ภาษาอังกฤษ เนื่องจากคำศัพท์หลายคำยังไม่มีการกำหนดโดยราชบัณฑิตยสถาน โดยคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นครั้งนี้ประกอบด้วย Metal Forming, Sheet Metal Forming, Bulk Metal Forming, Cold Forming, Warm Forming และ Hot Forming

• ช่วงเวลาของบทความที่ได้รับการแผยแพร่ : ไม่จำกัด

• ภาษาที่ใช้เขียน : ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

• บทความที่จะถูกคัดกรองเพื่อการรวมกลุ่มต้องเป็นบทความที่สามารถหาฉบับเต็มได้ และต้องเป็นบทความฉบับเต็มที่มีผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author) หรือผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author) ที่ระบุสังกัดเป็นหน่วยงานในกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม หรือกระทรวงศึกษาธิการของประเทศไทย

• การซ้ำกันของบทความ : บทความที่ซ้ำกันในแต่ละฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นจะถูกนำมาพิจารณาเพียง 1 บทความเท่านั้น

• บทความที่ไม่ตรงกับเป้าหมายของคำถามในการศึกษาครั้งนี้จะถูกตัดทิ้ง จะไม่นำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์

• เอกสารอ้างอิงที่มีพบในบทความที่สืบค้นได้ หากเป็นบทความวิจัยและเป็นไปตามเกณฑ์วิธีข้างต้นจะถูกนำมาพิจารณาด้วย

• คุณภาพของบทความที่สืบค้นได้จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในขั้นตอนการคัดกรองเพื่อทบทวนวรรณกรรมในครั้งนี้ แต่จะคัดเลือกใช้เฉพาะบทความที่ถูกเผยแพร่ในวารสารวิชาการและต้องไม่เป็นบทความปริทัศน์ และไม่นับรวมบทความที่ถูกเผยแพร่ในหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการ (Proceeding)

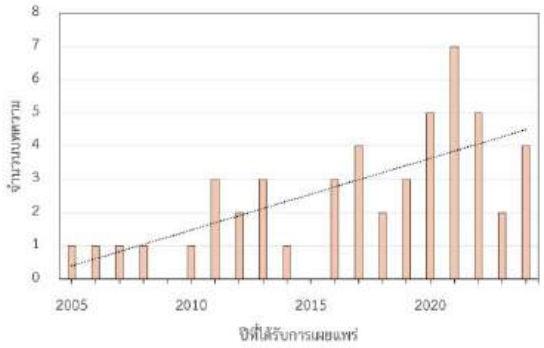
• การดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 ถึง 7 ตามรูปที่ 1 ใช้ผู้วิจัยจำนวน 3 คน โดยขั้นตอนที่ 4 จะพิจารณาคัดกรองจากชื่อเรื่องและบทคัดย่อ โดยบทความที่ผ่านเกณฑ์จะถูกนำมาประเมินคุณภาพตามเกณฑ์วิธีทั้งฉบับอีกครั้ง (ขั้นตอนที่ 5)เพื่อให้ได้บทความที่จะนำมาสกัดข้อมูลวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลต่อไป

4.2 การดำเนินการ

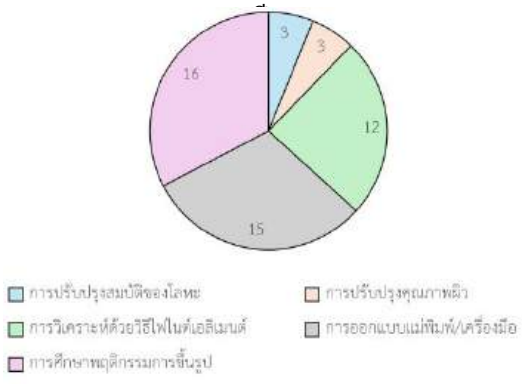
การคัดเลือกและรวบรวมบทความดำเนินการอย่างเคร่งครัดตามเกณฑ์วิธีที่กำหนดจากขั้นการวางแผน โดยพบบทความจากการสืบค้นด้วยคำสำคัญในฐานข้อมูลทั้ง 3 แห่ง รวม 13,770 บทความ รายละเอียดดังรูปที่ 2

จากการสืบค้นด้วยคำสำคัญในขั้นตอนที่ 3 แล้ว เมื่อผ่านขั้นตอนที่ 4 และ 5 พบบทความที่ตรงตามเกณฑ์วิธีเพื่อนำมาสกัด วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ตีพิมพ์เผยแพร่ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จำนวน 49 บทความ โดยปรากฏบทความในฐานข้อมูลทั้ง 3 แห่ง ตั้งแต่ปี 2005 ถึง 2024 แยกจำนวนบทความตามรายปีดังรูปที่ 3 โดยในปี 2025 ยังไม่พบบทความวิจัยด้านการขึ้นรูปโลหะจากนักวิจัยไทยตีพิมพ์เผยแพร่ ซึ่งมีจำนวนงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในฐานข้อมูลที่ศึกษาแบ่งตามมิติการวิจัยด้านขึ้นรูปโลหะดังรูปที่ 4

รูปที่ 2 ผลการดำเนินการคัดกรองบทความตามเกณฑ์วิธี



รูปที่ 3 จำนวนบทความที่ได้รับการเผยแพร่แยกตามราย



รูปที่ 4 จำนวนบทความแยกตามมิติการวิจัยการขึ้นรูปโลหะของนักวิจัยไทย ระหว่างปี 2005 ถึง 2025

5. ผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่านักวิจัยไทยให้ความสนใจงานด้านขึ้นรูปโลหะเพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มการทำวิจัยและเผยแพร่

ผลงานวิจัยเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี 2010 แม้ว่าในบางปีจะมีผลงานวิจัยเผยแพร่ลดลงก็ตาม การศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูปของโลหะเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 32.65 จากจำนวนบทความวิจัยที่ผ่านการคัดกรอง รองลงมาได้แก่มิติด้านการออกแบบแม่พิมพ์หรือเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปโลหะ (ร้อยละ 30.61) และการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) เป็นเครื่องมือในการศึกษา (ร้อยละ 24.49) ตามลำดับ โดยมีการทำวิจัยในมิติด้านการปรับปรุงสมบัติของโลหะและการปรับปรุงคุณภาพผิวในปริมาณรวมกันเพียงร้อยละ 12.25

5.1 การศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูป

การศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูปของโลหะเป็นรากฐานสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการขึ้นรูปทั้งโลหะแผนและโลหะก้อนในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์โลหะ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ต้องการชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังคงมีความสามารถในการรับแรงได้ดี ดังนั้นจึงพบการศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูปกับวัสดุกลุ่มเหล็กกล้าความต้านแรงสูง (High Strength Steel) และกลุ่มเหล็กกล้าความต้านแรงขั้นสูง (Advanced High Strength Steel) รวมถึงวัสดุอัลลอยด์ (Alloy) ชนิดต่าง ๆ พฤติกรรมการเกิดสปริงแบก (spring-back) ของชิ้นงานหลังขึ้นรูปได้รับความสนใจและมีการเสนอวิธีการแก้ปัญหาเพื่อลดสภาพอิลาสติก (Elasticity) ในเนื้อวัสดุชิ้นงานบริเวณที่ถูกดัดขึ้นรูป หรือใช้หลักการชดเชยของศาการดัด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ในกระบวนการเฉือนตัด (Shearing) โลหะแผ่น รวมถึงการศึกษาเพื่อหาความสามารถในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปโลหะต่าง ๆ เป็นต้น การศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูปของโลหะช่วยให้นักวิจัยสามารถทราบตัวแปรและข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะ

5.2 การออกแบบแม่พิมพ์หรือเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปโลหะ

งานวิจัยในมิติของการออกแบบแม่พิมพ์หรือเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปโลหะมุ่งเน้นการวิเคราะห์องค์ประกอบของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ตลอดจนการเสนอวิธีการลดต้นทุนการผลิตแม่พิมพ์และชิ้นงานโลหะ ปัจจุบันนักวิจัยไทยให้ความสนใจการศึกษา เฟลกซิเบิลเมทัลฟอร์มมิง (Flexible Metal Forming) ซึ่งเป็นการขึ้นรูปโลหะด้วยกระบวนการหรือแม่พิมพ์ที่มีความยืดหยุ่นเนื่องจากแนวโน้มการผลิตสมัยใหม่เปลี่ยนจากการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) เป็นการผลิตที่มีปริมาณการผลิตลดน้อยลงตามความต้องการของลูกค้า กระบวนการที่ได้รับความสนใจของนักวิจัยในช่วงเวลานี้ ได้แก่ อินครีเมนทัลชีตฟอร์มมิง (Incremental Sheet Forming)

5.3 การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การประยุกต์ใช้การจำลองการขึ้นรูปโลหะด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิควิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยลดเวลาและต้นทุนในการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะได้ มีการใช้เทคนิคนี้ในงานวิจัยเพื่อช่วยวิเคราะห์สถานะความเค้น (State of Stress) พฤติกรรมการขึ้นรูปโลหะ การทำนายรูปทรงของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปเพื่อใช้ข้อมูลในกการออกแบบแม่พิมพ์โลหะ เป็นต้น แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการจำลองการขึ้นรูปเพื่อวิเคราะห์งานขึ้นโลหะได้แก่ พาวเวอร์ลอว์ (Power Law) สำหรับการศึกษาปัญหาการขึ้นรูปโลหะที่มีพฤติกรรมการเสียรูปของโลหะในช่วงสภาพอิลาสติกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ปัญหาสปริงแบกในวัสดุกลุ่มเหล็กกล้าความต้านแรงสูงหรือเหล็กกล้าความต้านแรงขั้นสูง แบบจำลองวายยู (Y-U Model) ถูกรายงานว่าได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่แม่นยำกว่า นอกจากนี้ เอไอ (ปัญญาประดิษฐ์) ก็เริ่มได้รับความสนใจจากนักวิจัยไทยในการนำมาใช้ศึกษาปัญหางานขึ้นรูปโลหะควบคู่กับเทคนิควิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย

5.4 การปรับปรุงสมบัติของโลหะ

งานวิจัยในมิติการปรับปรุงสมบัติของโลหะจะมุ่งเน้นไปที่สมบัติเชิงกลของวัสดุโลหะโดยแบ่งการทำวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ การปรับปรุงสมบัติของวัสดุชิ้นงานเพื่อเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป และการปรับปรุงสมบัติของวัสดุทำแม่พิมพ์เพื่อเพิ่มความต้านการสึกหรอให้กับวัสดุทำแม่พิมพ์ โดยทั้ง 2 กรณี จะใช้การปรับสมบัติด้วยความร้อนซึ่งมีเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง

5.5 การปรับปรุงคุณภาพผิว

คุณภาพผิวของแม่พิมพ์โลหะส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป เนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานภายใต้

แรงดันผิวคู่สัมผัส (Contact Pressure) มีอิทธิพลต่อพื้นผิวคู่สัมผัสดังกล่าว การปรับปรุงคุณภาพผิวของแม่พิมพ์ที่นิยมใช้นอกเหนือจากการทำให้แข็ง (Hardening) และทำการเจียหรือบดผิว (Grinding and Lapping) แม่พิมพ์ส่วนที่ต้องสัมผัสกับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปแล้ว การเคลือบผิวด้วยฟิล์มบางแข็ง (Hard Thin Film) หรือการสร้างความเค้นอัดบนผิววัสดุแม่พิมพ์โดยวิธีชอตพีนนิง (Shot Peening) ก็ได้รับความนิยมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการขึ้นรูปโลหะได้ ผลจากการดำเนินการดังกล่าวจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้และช่วยให้ได้ชิ้นงานจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะมีคุณภาพผิวดีขึ้น

6. สรุป

จากการใช้วิธีทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบศึกษาการวิจัยการขึ้นรูปโลหะในประเทศไทย ช่วยให้ผู้วิจัยมีการกำหนดเกณฑ์วิธีในการสืบค้นอย่างเป็นระบบและมีข้อมูลการทำวิจัยของนักวิจัยไทยด้านการขึ้นรูปโลหะ โดยเฉพาะแนวโน้มและทิศทางการทำวิจัยทางด้านนี้ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปทำการวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) เพื่อกำหนดปัญหาการวิจัย จะช่วยลดความซ้ำซ้อนและสามารถต่อยอดงานวิจัยในพื้นที่วิจัยที่ผู้ทำสนใจได้ ถึงแม้ว่างานวิจัยด้านการขึ้นรูปโลหะของประเทศไทยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยด้านอื่นแล้ว เชื่อได้ว่ายังคงมีปริมาณที่น้อยอยู่ ซึ่งจะเป็นโอกาสให้นักวิจัยไทยสามารถขยายพื้นที่วิจัยทางด้านนี้เพิ่มมากขึ้นได้ โดยเฉพาะประเด็นวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนหรือเอสดีจี (Sustainable Development Goals, SDGs) อย่างไรก็ดีนอกจากปริมาณของงานวิจัยที่ควรเร่งสร้างองค์ความรู้ทางด้านการขึ้นรูปโลหะเพื่อสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมของประเทศให้เพิ่มขึ้นแล้ว คุณภาพของงานวิจัยก็เป็นสิ่งที่ต้องตระหนักและทำการพิจารณาอย่างรอบคอบด้วยเช่นกัน

บทความนี้ไม่ได้ลงรายละเอียดการค้นพบของบทความวิจัยทั้ง 49 บทความที่ผ่านเกณฑ์วิธีคัดกรอง เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนหน้าบทความในการประชุมวิชาการครั้งนี้ หากผู้อ่านต้องการทราบข้อมูลเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามได้จากอีเมลของนักวิจัยที่ได้ระบุไว้ในบทความนี้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนงบประมาณเพื่อการนำเสนอบทความนี้ในการประชุมวิชาการ RMTC2025

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ลัดดาวัลย์ เพชรโรจน์. (2556). *เทคนิคการเลือกทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย*. http://www.rlc.nrct.go.th/ewt_dl.php?nid=1092

[2] Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, *104*, 333-339.

[3] จำเนียร จวงตระกูล, กล้าหาญ ณ น่าน และอรรถพล ศิริลัทธยากร. (2566). การนำการวิจัยแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบไปใช้ในการวิจัยทางรัฐประศาสนศาสตร์ในประเทศไทย. *วารสารสมาคมรัฐประศาสนศาสตร์แห่ง ประเทศไทย, 5*(9), 1-23.

[4] ชนนิกานต์ รอดมรณ และนลินภัสร์ ปรวัฒน์ปรียกร. (2561). การบริหารจัดการสารสนเทศเพื่อยกระดับคุณภาพองค์กรของรัฐวิสาหกิจไทย: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 20*(3). 134-146.

[5] ณัฐวุฒิ อรุณรัตน์ และปราวีณยา สุวรรณณัฐโชติ. (2562). การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, *18*(1), 22-31.

[6] ชิดชนก อนันตมงคลกุล และนิติพงษ์ ทนน้ำ. (2565). การท่องเที่ยวโดยชุมชนพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย : การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็น

ระบบ. *วารสารวิชาการการท่องเที่ยวไทยนานาชาติ, 18*(2), 80–96.

[7] ธวัช ราษฎร์โยธา และภัทรวรรธน์ จีรพัฒน์ธนธร. (2566). กลยุทธ์การสอนเพื่อสร้างนวัตกร : การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ. *วารสารการบริหารและนวัตกรรมการศึกษา, 7*(3). 43-57.

[8] Yaowiwat, M., Poonpaiboonpipat, W., & Wongkia, W. (2024). Research on Thai student's misconceptions in mathematics: A systematic literature review. *Journal of Education and Innovation*, *26*(3), 59-85.

[9] Lange, K. (1985). *Handbook of Metal Forming*. McGraw-Hill.

[10] Schuler. (1998). *Metal Forming Handbook*. Springer.

[11] Osakada, K. (2010). History of plasticity and metal forming analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, *210*(11), 1436-1454.

[12] Gronostajski, Z., Pater, Z., Madej, L., Gontarz, A., Lisiecki, L., Łukaszek-Sołek, A., ... & Ziółkiewicz, S. (2019). Recent development trends in metal forming. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *19*(3), 898-941.

[13] Trzepieciński, T. (2020). Recent developments and trends in sheet metal forming. *Metals*, *10*(6), 779.

การพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องวัดด้วยภาพ

Development of an Automated System to Improve the Efficiency of Vision Measuring Machines

ดอน แก้วดก[1] กวี บุญสุวรรณ[2] สงคราม เวชการ[2] และ เทอดศักดิ์ ใจงาม[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติแบบลีน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
[2]บริษัทมิตูโตโย ประเทศไทย จำกัด

Don Kaewdook[1] Kawee Boonsuwan[2] Songkram Vechkarn[2] and Therdsak Jaingam[1*]
[1] Robotics and Lean Automation Engineering Program, Faculty of Engineering,
Thai-Nichi Institute of Technology
[2] Mitutoyo (Thailand) Company
E-mail: therdsak@tni.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ โดยประยุกต์ใช้กับ Vision Measuring Machine ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อเสริมศักยภาพภาคอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผ่านการบูรณาการเทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อลดการพึ่งพาการทำงานของพนักงาน และแก้ไขปัญหาความล่าช้าและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานด้วยพนักงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยแอคชูเอเตอร์ไฟฟ้า หน่วยควบคุม PLC และโปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการตรวจวัดชิ้นงานด้วยระบบภาพ ซึ่งสนับสนุนการทำงานแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ ออกแบบโครงสร้างกลไกของระบบด้วยโปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ การพัฒนาโปรแกรมควบคุมใช้โปรแกรมเฉพาะทางเพื่อเชื่อมโยงคำสั่งการทำงานให้กับอุปกรณ์ ผลการทดลองเปรียบเทียบเวลาการทำงานระหว่างการทำงานด้วยพนักงานและระบบอัตโนมัติ พบว่าระบบอัตโนมัติสามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบจาก 172 วินาที คงเหลือ 58 วินาที คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 66.28% นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนการทำงานต่อรอบ 7.56 บาท ใช้ระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน ผลการดำเนินงานสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของระบบอัตโนมัติในการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และยกระดับมาตรฐานกระบวนการวัดในภาคอุตสาหกรรม

คำหลัก ระบบอัตโนมัติ, การวัดด้วยภาพ, การควบคุมแบบเรียลไทม์, การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

This research presents the development of an automated system for vision-based measurement using the Vision Measuring Machine, an innovative measuring tool for the industrial sector. The goal is to improve the accuracy and efficiency of the measurement process through automated control technologies, thereby reducing labor cost, time delays and errors caused by manual operation. The system includes electric actuators, a PLC control device, and specialized software for component measurements utilizing an imaging system, supporting efficient real-time operation. Apply computer-

aided design software to the mechanical design of the system. The control program's development utilizes specialized software for communicating operating commands to the equipment. The experimental results indicated that the automation system decreased the average cycle time from 172 seconds to 58 seconds, providing a 66.28% improvement in efficiency compared to manual operation. In addition, it has the potential to decrease the cost of labor per round by approximately 7.56 baht. The analysis showed a four-month return on investment. The performance outcomes demonstrate the capability of automation systems to enhance productivity, diminish labor expenses, and improve measurement process standards in the industrial sector.

Keywords: Automated System, Vision-Based Measurement, Real-Time Control, Increase Productivity

การประเมินประสิทธิภาพการตัดวัสดุอะคริลิคใสด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง

Performance Evaluation of Clear Acrylic Cutting Using a Laser Cutter Based on the Application of Response Surface Methodology

วิฆเนศ เพชรสุวรรณ์[1] วิทยา ศิริคุณ[1*] ซูไฮดี สนิ[1] จตุพร ใจดำรงค์[1] และ รอมฎอน บูระพา[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Wikanet Phetsuwan[1] Witthaya Sririkun[1*] Suhaidee Sani[1] Jatuporn Jaidumrong[1] and Romadorn Burapa[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: witthaya.s@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการตัดวัสดุอะคริลิคใสหนา 6 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO_2 พิจารณาปัจจัยการตัดประกอบด้วย กำลังไฟ 60 70 และ 80 วัตต์ ความเร็วตัด 2 4 และ 6 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะหัวตัด 4 6 และ 8 mm ผลตอบสนองคือ ค่าความหยาบผิว ผลจากการศึกษาพบว่า กำลังไฟ ความเร็วตัด และระยะหัวตัด ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อกำลังไฟและความเร็วตัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น และเมื่อปรับระยะหัวตัดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง สภาวะที่เหมาะสมการตัดคือ กำลังไฟ 70 วัตต์ ความเร็วตัด 4 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะหัวตัด 8 มิลลิเมตร สามารถสร้างสมการถดถอยที่ทำนายค่าความหยาบผิว จากสมการ R_a = +0.1207 +0.0140P -0.0113V -0.0427H -0.0478PV +0.0159PH +0.0374VH +0.0333P^2 +0.0671V^2 -0.0263H^2 ผลความแตกต่างของค่าการทำนายและการทดลองมีค่าประมาณ 3.639% ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกจากนี้วัสดุอะคริลิคใสไม่ต้องมีการปรับแต่งผิวหลังการตัดตามมาตรฐานความหยาบผิว ISO 1302 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเลือกเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมได้

คำหลัก ตัดเลเซอร์, อะคริลิค, ออกแบบการทดลอง, ความหยาบผิว

Abstract

This study applies the Box-Behnken Response Surface Methodology (RSM) to evaluate the cutting performance of 6 mm-thick clear acrylic using a CO_2 laser cutting machine. The investigated cutting parameters include laser power (60, 70, and 80 W), cutting speed (2, 4, and 6 mm/s), and focal height (4, 6, and 8 mm). The surface roughness (R_a) was selected as the response variable. The results reveal that laser power, cutting speed, and focal height significantly affect surface roughness. Specifically, increasing laser power and cutting speed tends to increase the Ra value, whereas increasing focal height

results in a decrease in surface roughness. The optimal cutting condition was identified as 70 W laser power, 4 mm/s cutting speed, and 8 mm focal height. A regression model was developed to predict the surface roughness, expressed as: R_a = +0.1207 + 0.0140P – 0.0113V – 0.0427H – 0.0478PV + 0.0159PH + 0.0374VH + 0.0333P^2 + 0.0671V^2 – 0.0263H^2 The prediction error between the model and experimental data was approximately 3.639%, which is below the acceptable threshold and within a reliable range. Furthermore, the cut surfaces met the ISO 1302 surface roughness standard, indicating that no post-processing was necessary. This confirms that clear acrylic can be effectively processed using CO_2 laser cutting under optimized conditions for practical applications.

Keywords: Laser cutting, Acrylic, Experimental design, Surface Roughness

1. บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ (Laser Cutting) ถือเป็นเทคโนโลยีการตัดที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิตกันอย่างแพร่หลาย สามารถตัดชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพและมีความแม่นยำสูง โดยเครื่องตัดเลเซอร์มีหลักการทำงานประกอบด้วยสองส่วน คือ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์และหัวตัดเลเซอร์ระบบการตัดด้วยเลเซอร์ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงจะผลิตแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูงและหัวตัดเลเซอร์จะบีบลำแสงเลเซอร์ให้มีขนาดเล็กตามต้องการ และโฟกัสแสงผ่านหัวตัดไปยังจุดที่ต้องการตัดบนวัตถุ ทำให้วัตถุนั้นเกิดการหลอมละลาย และถูกตัดออกจากกัน [1-2] การตัดเลเซอร์สามารถตัดชิ้นงานให้มีคุณภาพภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว สามารถตัดวัสดุที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนและซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ โดยขอบผิวของรอยตัดจะมีรอยไหม้ที่เกิดขึ้นจากความร้อนที่เล็กมากๆ ทำให้ได้ผิวรอยตัดที่เรียบสวยงาม และที่สำคัญยังช่วยลดต้นทุนการผลิตแม่พิมพ์ (Punch-Die) [3] เครื่องตัดเลเซอร์สามารถตัดวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น เหล็ก สแตนเลส ไม้ พลาสติก วัสดุผสม และอะคริลิค ชนิดอื่นๆ เช่น อะคริลิคโปร่งแสง (Translucent Acrylic), อะคริลิคใส (Clear Acrylic), อะคริลิคทึบแสง (Opaque Acrylic), อะคริลิคชนิดป้องกัน UV (UV Resistant Acrylic), อะคริลิคชนิดทนแรงกระแทก (Impact Resistant Acrylic), อะคริลิคสี (Colored Acrylic), อะคริลิคชนิดกันไฟ (Fire Retardant Acrylic) [4] อย่างไรก็ตามเครื่องตัดเลเซอร์จะสามารถทำงานได้อย่างมีคุณภาพสูง ก็ยังมีข้อจำกัดหลายๆอย่าง เช่น การตัดด้วยเลเซอร์ต้องการการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ และลำแสงเลเซอร์มีความละเอียดอ่อนในการจับ ข้อผิดพลาดเล็กน้อยในการปรับระยะหัวตัดและอุณหภูมิอาจทำให้ชิ้นงานไหม้หรือเปลี่ยนสีได้ ซึ่งจะทำให้ผิวชิ้นงานหลังการตัดเลเซอร์จะมีลักษณะผิวไม่เรียบ อาจเกิดปัญหาการเกิดรอยบากหรือการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผิววัสดุ เช่น ถ้ามีการเพิ่มกำลังไฟที่สูงเกิน จะทำให้รอยตัดจะมีรอยไหม้และสูญเสียเนื้อผิววัสดุบริเวณขอบชิ้นงานที่ตัด ปัญหาดังกล่าวนี้อาจจะส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานลดลง ซึ่งความหยาบผิวมีผลต่อการใช้งานอย่างมาก โดยเฉพาะในงานที่ต้องการประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวหลังจากการตัดเลเซอร์ คือ กำลังไฟ ความเร็วตัด และระยะหัวตัด

วัสดุอะคริลิคใส (Acrylic) คือ พลาสติกชนิดหนึ่งที่มีความโปร่งใสและมีคุณสมบัติคล้ายกับกระจก แต่มักจะเบากว่ากระจกและมีความทนทานมากกว่า นอกจากนี้อะคริลิคยังสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและทนต่อการขีดข่วนเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไป ซึ่งทำให้มันถูกนำไปใช้งานในหลากหลายสาขา เช่น งานตกแต่ง, กระจก, ชั้นวางสินค้า, โครงสร้างไฟส่องสว่าง, อุปกรณ์การแพทย์ หรือแม้แต่ในงานศิลปะและการออกแบบต่างๆ [5] มีความโปร่งใสสูงถึง 92% ซึ่งใกล้เคียงกับกระจก ทำให้สามารถใช้แทนกระจกได้ในหลายๆ งาน เช่น หน้าต่าง, แผ่นป้องกัน, และงานตกแต่งที่ต้องการให้เห็นผ่านได้ชัดเจน มีน้ำหนักเบากว่ากระจกถึง 50% ซึ่งทำให้การขนส่งและติดตั้งสะดวกขึ้นมาก ทนทานต่อแรงกระแทกและการแตกหักสูงกว่าแก้ว ทำให้เหมาะสมกับการ

ใช้งานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการกระแทก สามารถตัด เจาะ ดัด หรือขัดรูปได้ง่าย ทำให้เหมาะกับงานที่ต้องการการปรับแต่งให้เข้ากับรูปแบบต่างๆ และที่สำคัญมีความทนทานต่อรังสี UV ซึ่งทำให้ไม่เหลืองหรือเสื่อมสภาพเมื่อโดนแสงแดดเป็นเวลานาน จึงสามารถใช้ในงานกลางแจ้งได้ ทำความสะอาดได้ง่ายและไม่ค่อยเก็บฝุ่นหรือรอยขีดข่วนมากนักเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ ถือเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูงมาก ทำให้เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าในการใช้งาน

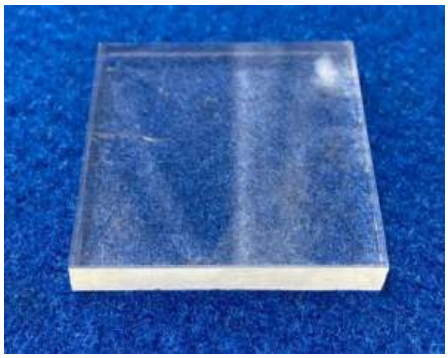
มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดเลเซอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร CO_2 โดยใช่วิธีทากูชิ วีระพล และคณะ [6] ได้ศึกษาปัจจัยในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่มี 3 ระดับได้แก 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังไฟสูงสุดมี 3 ระดับ ได้แก 70 80 และ 90% และกำลังไฟต่ำสุดมี 3 ระดับ ได้แก 70 80 และ 90% พบวาปัจจัยด้านความเร็วส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ให้สูงขึ้นจะทำให้ค่าความหยาบผิวลดลงปัจจัยหลักที่สงผลให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดคือความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 90% ปัจจัยหลักที่สงผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดน้อยที่สุดคือความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 80% ต่อมาเจษฎา และคณะ [7] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกในการแกะสลักด้วยเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับวัสดุอะคริลิก ปัจจัยประกอบไปด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) 3,600-6,000 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ (Power Laser) 60-120 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (Gap) 4.2-5.0 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานทดสอบวัสดุชนิดอะคริลิกมีค่าเฉลี่ยค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) บริเวณร่องการแกะสลักเท่ากับ 1.965 ไมโครเมตร และบริเวณผิวชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 1.403 ไมโครเมตร จากการปรับค่าความเร็วตัด 6,000 มิลลิเมตร/นาที ค่าพลังงานเลเซอร์ 120 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน 4.8 มิลลิเมตร

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยที่กล่าวถึงการศึกษาปัจจัยการตัดวัสดุอะคริลิคใสด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO_2 มีอย่างจำกัด โดยปัจจัยตัวแปรการตัดที่ส่งผลต่อสมรรถนะการตัดเลเซอร์ นั้นคือ กำลังไฟ ความเร็วตัด และระยะหัวตัด ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพการตัดวัสดุอะคริลิคใสด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง เพื่อนำปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้เป็นประโยชน์กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการตัดเลเซอร์ โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในกระบวนการ และทำให้ผิวชิ้นงานมีคุณภาพ ผิวเรียบ ความกว้างของรอยตัดเล็ก และได้ขนาดและรูปทรงตามที่ออกแบบไว้ การวิจัยนี้จะช่วยลดการสูญเสียจากกระบวนการที่ผลิตสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตัดเลเซอร์ให้เหมาะสมกับวัสดุที่หลากหลาย

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) วัสดุอะคริลิคใส งานวิจัยนี้ได้ใช้อะคริลิคใสทั่วไปในเชิงพาณิชย์ ขนาดแผ่นตัดในการทดลอง 40×40×6 mm ดังรูปที่ 1 ผลิตจากพอลิเมอร์ Polymethyl Methacrylate (PMMA) โดยมีคุณสมบัติเด่นคือ ความใส ความแข็งแรง น้ำหนักเบา และทนต่อรังสี UV จึงนิยมใช้ทดแทนกระจกในหลายอุตสาหกรรม เช่น ป้าย โชว์เคส แผงหน้ากากอุปกรณ์ต่าง ๆ และงานตกแต่ง [5]



รูปที่ 1 อะคริลิคใส

2) เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อมิตูโตโย รุ่น SJ-210 ดังรูปที่ 3 เป็นเครื่องวัดความหยาบผิวของชิ้นงานในลักษณะการวัดแบบหัวกดเคลื่อนที่ [8]

3) เครื่องตัดเลเซอร์ยี่ห้อ Grant ผลิตในประเทศจีน รุ่น BCL1309 ดังรูปที่ 2 เป็นเครื่องเลเซอร์ CO_2 ที่นิยมใช้ในการตัดวัสดุอย่างอะคริลิค ไม้ MDF ผ้า และพลาสติกบางชนิด

รูปที่ 2 เครื่องตัดเลเซอร์ CO_2

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box–Behnken Experimental Design) โดยกำหนดปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อค่าความหยาบผิว 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ มีสภาวะการทดลอง 17 สภาวะ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 81 การทดลอง พิจารณาช่วงปัจจัยการตัดจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การตัดที่แนะนำคือ กำลังไฟ (P) ในช่วง 40-80 W ความเร็วตัด (V) ในช่วง 1-8 mm/s และระยะหัวตัด (H) ในช่วง 4-8 mm ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยการตัด

ปัจจัยการตัด	หน่วย	ระดับ		
		ต่ำ	กลาง	สูง
กำลังไฟ (*P*)	W	60	70	80
ความเร็วตัด (*V*)	mm/s	2	4	6
ระยะหัวตัด (*H*)	mm	4	6	8

2) วิธีการประเมินคุณภาพความหยาบผิวรอยตัดชิ้นงาน

งานวิจัยนี้มีการประเมินคุณภาพความหยาบผิวรอยตัดได้ใช้เครื่องวัดความหยาบผิว ดังรูปที่ 2 นำมาใช้ในการวัดคุณภาพพื้นผิวรอยตัด โดยวัดซ้ำ 3 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัดได้ (R_a) เป็นค่าที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิต ดังรูปที่ 4

รูปที่ 3 การประเมินคุณภาพความหยาบผิวรอยตัดชิ้นงาน

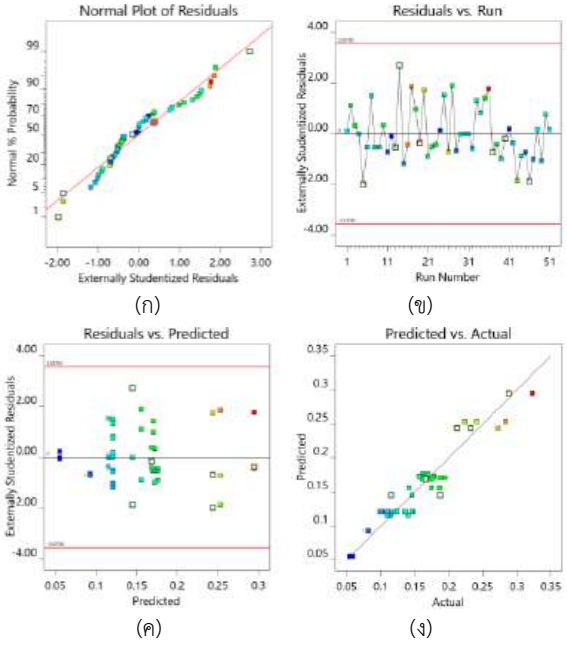
3. ผลการทดลองและการอภิปลายผล

3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยตัดที่ส่งผลการต่อความหยาบผิว

ผลจากการทดลองการตัดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ถูกวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Design-Expert Version [9] ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1) การตรวจสอบความปกติของข้อมูลความหยาบผิว

การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลความหยาบผิว พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ กระจายตัวของข้อมูลเป็นอิสระ มีความเสถียรภาพของความแปรปรวน และข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้น ดังนั้นสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของเรียบผิวได้ ดังรูปที่ 4 [10]



รูปที่ 4 การตรวจสอบความปกติของข้อมูล (ก) ความเป็นปกติของข้อมูล (ข) ความเป็นอิสระของข้อมูล (ค) ความเสถียรภาพของความแปรปรวน และ (ง) การทำนายต่อค่าการทดลองจริง

2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิว

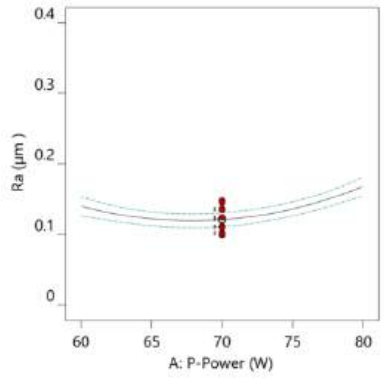
จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิวโดยพิจารณาผลกระทบหลักของปัจจัยการกตัด คือ กำลังไฟ (*P*) ความเร็วตัด (*V*) และระยะหัวตัด (*H*) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปัจจัยการตัดทั้งหมดมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 [10] แสดงว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งระยะหัวตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยร่วม คือ กำลังไฟกับความเร็วตัด (PV) กำลังไฟกับระยะหัวตัด (PH) และความเร็วตัดกับระยะหัวตัด (VH) พบว่ามีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความหยาบผิว

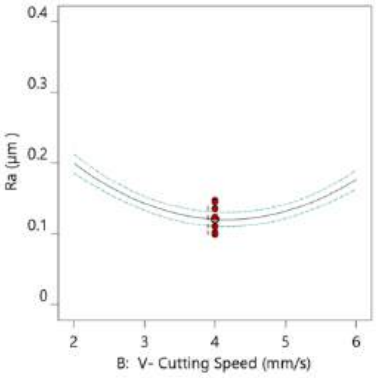
ANOVA for Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value
Model	0.1785	9	0.0198	54.09	< 0.0001*
P - Power	0.0047	1	0.0047	12.90	0.0009*
V - Cutting Speed	0.0031	1	0.0031	8.34	0.0062*
H - Focal Height	0.0439	1	0.0439	119.60	< 0.0001*
PV	0.0275	1	0.0275	74.87	< 0.0001*
PH	0.0030	1	0.0030	8.29	0.0063*
VH	0.0168	1	0.0168	45.81	< 0.0001*
P^2	0.0140	1	0.0140	38.20	< 0.0001*
V^2	0.0569	1	0.0569	155.24	< 0.0001*
H^2	0.0087	1	0.0087	23.79	< 0.0001*
Residual	0.0150	41	0.0004		
Lack of Fit	0.0019	3	0.0006	1.86	0.1529
Pure Error	0.0131	38	0.0003		
Total	0.1935	50			
R^2	92.23				
Adjusted R^2	90.53				

หมายเหตุ : * หมายถึง ค่าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

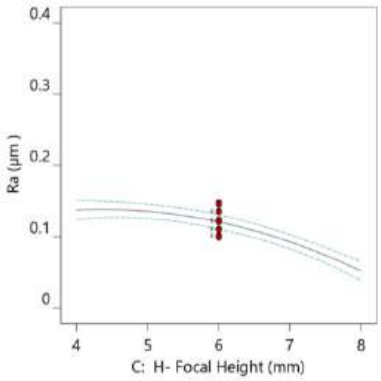
เมื่อทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักการตัดที่ส่งผลต่อความหยาบผิว ดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อกำลังไฟและความเร็วตัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5 (ก) และ (ข)) เมื่อเพิ่มระยะหัวตัดทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง (รูปที่ 4 (ข) และ (ค)) [10] สาเหตุที่ทำให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นเนื่องจากกำลังไฟที่เพิ่มและความเร็วตัดต่ำทำให้ชิ้นงานเกิดผิวไหม้ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น



(ก)



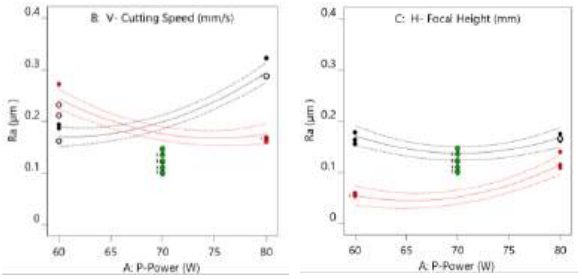
(ข)



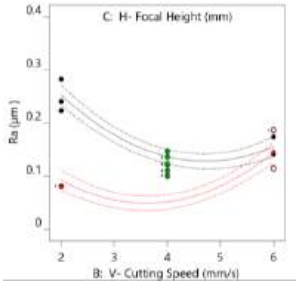
(ค)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักการตัดที่ส่งผลต่อความหยาบผิว: (ก) กำลังไฟ (ข) ความเร็วตัด และ (ค) ระยะหัวตัด

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวดังรูปที่ 6 พบว่า หากต้องการค่าความหยาบผิวที่ต่ำต้องใช้กำลังไฟ ความเร็วตัด และระยะหัวตัดระดับกลาง (รูปที่ 6 (ก) (ข) และ (ค))



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 6 ผลกระทบปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิว (ก) กำลังไฟกับความเร็วตัด (ข) กำลังไฟกับระยะหัวตัด และ (ค) ความเร็วตัดกับระยะหัวตัด

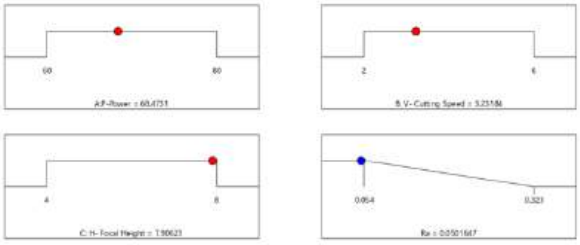
3) การวิเคราะห์สมการถดถอยของความหยาบผิว

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตัวแปรการตัดที่ส่งผลต่อความหยาบผิวสามารถสร้างสมการถดถอยที่ทำนายค่าความหยาบผิว ดังแสดงในสมการที่ (1) โดยค่าความผันแปร R^2 มีค่า 92.23% และค่า Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 90.53% สามารถนำสมการไปทำนายผลเพื่อหาคำตอบได้

$$R_a = +0.1207 +0.0140P -0.0113V -0.0427H -0.0478PV +0.0159PH +0.0374BC +0.0333 P^2 +0.0671 V^2 -0.0263 H^2 \quad (1)$$

4) การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด

สภาวะที่เหมาะสมในการตัดอะคริลิคใสที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมีค่าน้อยที่สุด พบว่าเงื่อนไขการตัดที่แนะนำเพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ เงื่อนไขที่ค่ากำลังไฟ 70 วัตต์ ความเร็วตัด 4 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะหัวตัด 8 มิลลิเมตร ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยประมาณ 0.050 µm ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ต้องมีการขัดปรับแต่งหลังการตัด [11]



รูปที่ 7 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด

5) การทดลองเพื่อยืนยันผลสมการถดถอย

ผู้วิจัยได้ทดลองการตัด 10 เงื่อนไขเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความหยาบผิวพบว่า ความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 3.639% ดังตารางที่ 3 ซึ่งน้อยกว่า 5% สามารถยอมรับได้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากสมการการถดถอยกับค่าที่วัดได้จริง

No.	*P*	*V*	*H*	Cal. Ra (F_t)	Actual Ra (d_t)	Error $e_t = d_t - F_t$	$\frac{\lvert e_t \rvert}{d_t} \times 100$
1	80	2	6	0.249	0.242	-0.007	-2.89
2	70	2	8	0.185	0.193	0.008	4.15
3	70	4	6	0.121	0.131	0.010	7.63
4	60	4	4	0.143	0.155	0.012	7.74
5	80	4	8	0.126	0.12	-0.006	-5.00
6	70	6	8	0.123	0.111	-0.012	-10.81
7	60	4	8	0.079	0.083	0.004	4.82
8	70	2	4	0.229	0.232	0.003	1.29
9	80	2	6	0.236	0.246	0.010	4.07
10	60	6	6	0.612	0.601	-0.011	-1.83
						MAPE	3.639

4. สรุป

จากการประเมินประสิทธิภาพการตัดวัสดุอะคริลิคใสด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง พบว่าปัจจัยการตัดประกอบด้วย กำลังไฟ ความเร็วตัด และระยะหัวตัด มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหยาบผิว ปัจจัยระยะหัวตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด รองลงมา กำลังไฟ และความเร็วตัดตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยร่วมพบว่า กำลังไฟกับความเร็วตัด (PV) กำลังไฟกับระยะหัวตัด (PH) และ ความเร็วตัดกับระยะหัวตัด (VH) พบว่ามีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เงื่อนไขการตัดที่แนะนำเพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิว

ต่ำสุดคือ กำลังไฟ 70 วัตต์ ความเร็วตัด 4 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะหัวตัด 8 มิลลิเมตร ให้ค่าความหยาบผิวประมาณ 0.050 µm ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ต้องมีการปรับแต่งผิวหลังการตัดตามมาตรฐานความหยาบผิว ISO 1302 [11] ผลความแตกต่างของค่าการทำนายและการทดลองค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 3.639% ซึ่งสามารถนำไปทำนายคุณภาพการตัดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย และสถานที่ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Khatak, P. (2022). Laser cutting technique: A literature review. Materials today: proceedings, 56, 2484-2489.

[2] Walia, Y., Varshney, R., & Singh, P. (2024). Laser Cutting, Drilling, and Piercing. Laser-Assisted Machining: Processes and Applications, 273-292.

[3] Patidar, D., & Rana, R. S. (2018). The effect of CO_2 laser cutting parameter on Mechanical & Microstructural characteristics of high strength steel-a review. Materials Today: Proceedings, 5(9), 17753-17762.

[4] ฤทธชัย สังฆทิพย์, เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์, และ ประยูร สุรินทร์. (2555). การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดสเตนเลส เกรด 304 ด้วยเครื่องเลเซอร์ CO_2. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม 2555, ชะอำ, เพชรบุรี.

[5] พินทุสรา มาฆะสวัสดิ์. (2559). การวางกลยุทธ์เพื่อบริหารจัดการ OEM supplier ของธุรกิจจำหน่ายและแปรรูปพลาสติกอะคริลิค: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2568)

[6] วีระพล ทับทิมดี, บรรพจน มีสา, และ ประเวช เชื้อวงษ (2567). การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO2 โดยใช้วิธีทากูชิ. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์สมัยใหม่และเทคโนโลยีนวัตกรรม (วารสาร มทร.อีสาน), 17(2), 1-16.

[7] เจษฎา แก้ววิชิตร, ลีรัตน์ แซ่อ๋อง, และ สัญญา คำจริง. (2567). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกในการแกะสลักด้วยเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับวัสดุอะคริลิก (กรณีศึกษา). วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า, 2(1-2), 43-55.

[8] Mitutoyo Corporation. 2023. Portable Surface Roughness Tester SJ-210. https://www2.mitutoyo.co.jp/eng/support/service/catalog/03/E15028.pdf, (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2568)

[9] Stat Ease. 2023. Design-Expert. https://www.statease.com/software/design-expert/, (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2568)

[10] W. Phetsuwan and K.Thongkaew. 2025. A Study of Slot Milling Factors Affect the Machined Surface Quality of Wood-Plastic Composite. Recent Science and Technology 17(2): 262664 (in Thai)

[11] ISO. 2002, ISO 1302:2002(E), ข้อมูลจาก, https://www.sharifcadcam.ir/uploaded/8ed0498b-0ddb-4d36-8914-03459fa70e1c.pdf, (วันที่สืบค้นข้อมูล 4 มกราคม 2568)

อิทธิพลของทิศทางการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L ในการทดสอบแรงดึง

The Influence the Forming Routing of Stainless Steel SUS316L on Tensile Testing

ชัชวาลย์ สุขมั่น[1*] ปริญญา ศรีสัตยกุล[2] ภาณุเดช แสงสีดำ[3] สุธรรม ศิวาวุธ[4] จักรินทร์ กุโลทัยพิภพ[5]
และ พัชรพล สุดจิตจูล[6]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2, 3, 4, 5, 6] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: parinya.sr@mail.rmutk.ac.th*

Chatchawan Sookman[1*], Parinya Srisattayakul[2], Panudet Saengseedam[3], Sutham Siwawut[4], Chakkarin Kulotaiphiphob[5] and Patcharaphon Sudjitjul[64]
and Nathiti Panbangna[5]
[1] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: parinya.sr@mail.rmutk.ac.th*
[2, 3, 4, 5, 6] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: parinya.sr@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

จากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของทิศทางการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L ต่อสมบัติทางกลโดยเน้นการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยทำการขึ้นรูปชิ้นงานใน 3 ทิศทาง ได้แก่ แนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยงมุม จากนั้นนำไปทดสอบเครื่องแรงดึงและวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติ One-Way ANOVA เพื่อตรวจสอบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไหม จากการทดสอบค่าที่ได้หลังผ่านการวิเคราะห์ One-Way ANOVA สำหรับค่าความแข็งแรงดึงได้เปรียบเทียบกันทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทิศทางการขึ้นรูปไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อสมบัติแรงดึงและค่าความแข็งของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L เนื่องจากค่าเฉลี่ยทั้ง 3 แนวมีความใกล้เคียงกันและค่าทางสถิติไม่มีความแตกต่างกัน (P-value > 0.05 ทุกผลลัพธ์ที่ทดสอบ) ดังนั้นสามารถเลือกทิศทางการขึ้นรูปได้อย่างยืดหยุ่นโดยไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุ เหมาะสำหรับการไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความทนทานต่อแรงดึงเช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางการแพทย์

คำหลัก เหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L, การทดสอบความแข็งแรงแรงดึง, One-Way ANOVA

Abstract

The tensile testing of Stainless Steel SUS316L specimens was conducted according to ASTM E8 standards. The specimens were prepared in three different orientations: longitudinal, transverse, and diagonal. A tensile testing machine was used to measure the strength, and the results were statistically analyzed using One-Way ANOVA to determine whether there was a significant difference in strength. The

One-Way ANOVA analysis for tensile strength among the three groups showed a confidence level of 95% which these results indicate that the tensile properties of Stainless Steel SUS316L do not vary significantly across the three orientations tested. This suggests that Stainless Steel SUS316L is highly reliable in terms of strength, making it suitable for use in industries requiring high strength and durability, such as the food industry, marine industry, and medical applications.

Keywords: Stainless Steel SUS316L, Tensile Testing, One-Way ANOVA

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากสเตนเลสเพิ่มมากขึ้นในทุกปีเพราะสเตนเลส สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเนื่องจากสเตนเลส เป็นโลหะที่ผสมระหว่างเหล็กคาร์บอน และโครเมียม จึงมีความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนเนื้อสเตนเลสได้ดี และสเตนเลสในตามท้องตลาดก็ยังมีให้เลือกใช้ในหลากหลายประเภท ซึ่งจะแตกต่างกันตามอัตราส่วนผสมหรือมีการใส่ธาตุอื่นๆ เข้าไปทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น และในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ สเตนเลส-316L (Stainless Steel SUS316L) ในการทดสอบแรงดึงของโลหะ (Tensile Testing) เพื่อศึกษาข้อมูลคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบแรงดึงในทางวิศวกรรม ลักษณะแผ่นของ Stainless Steel SUS316L เป็นแบบออสเทนนิติก (Chromium-Nickel Stainless) ซึ่งมี Molybdenum 3% คือ แม่เหล็กดูดไม่ติด) เป็นสเตนเลสที่ใช้งานอย่างกว้างขวางมีส่วนผสมของเหล็ก (Fe), โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) เป็นส่วนประกอบโดยสเตนเลส-316L มีส่วนผสมของ โครเมียม 16-18% และมีนิกเกิล 12-15% วัสดุ Stainless Steel SUS316L เป็นสเตนเลสที่สามารถทนน้ำทะเล ทนกรด-ด่าง ได้ดี เมื่อเทียบกับ Stainless Steel-304 ตามท้องตลาดโดยทั่วไป Stainless Steel SUS316L ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี ชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับน้ำทะเล ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกสเตนเลส-316L มาใช้ในการทดสอบแรงดึง

2. ผลการวิจัย

จากการทดสอบค่าแรงดึงและความแข็งแรงของแต่ละแนวรีดที่มีแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยงมุม ของชิ้นงานทดสอบอย่างละ 5 ชิ้น ในแต่ละแนวรีด รวมเป็นชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 15 ชิ้นการคำนวณแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 แนวมีค่าที่ไกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากค่า P-value ที่ได้จากค่า Yield ค่า (Ultimate Tensile Strength; UST) และค่า Hardness มากกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่า ทำการยอมรับ H0 จึงหมายความว่าจะนำวัสดุแนวรีดที่มีแนวตั้ง แนวนอน หรือแนวทแยงมุม จะให้ค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

ตารางที่ 1 ค่าความแข็ง (Hardness) แบบ Micro Vicker

NO.	Routing	Hardness
1	Vertical	28
2	Vertical	27
3	Vertical	30
4	Vertical	26
5	Vertical	26
6	Diagonal	32
7	Diagonal	29
8	Diagonal	28
9	Diagonal	27
10	Diagonal	28
11	Horizontal	28
12	Horizontal	29
13	Horizontal	28
14	Horizontal	27
15	Horizontal	28

จากตารางที่ 1 คือตารางข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ One-Way ANOVA เพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งระหว่าง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรง (Tensile Strength)

NO.	Routing	Yield	UTS
1	Vertical	285.236542	768.25708
2	Vertical	282.126343	715.639282
3	Vertical	282.419067	716.534546
4	Vertical	281.343811	715.408142
5	Vertical	279.735168	713.184631
6	Diagonal	279.200867	724.554993
7	Diagonal	281.438538	728.722473
8	Diagonal	272.927368	721.747864
9	Diagonal	281.839294	714.763916
10	Diagonal	284.370667	718.254944
11	Horizontal	272.318237	723.637939
12	Horizontal	279.888641	715.961365
13	Horizontal	280.618734	716.918213
14	Horizontal	281.170441	715.988831
15	Horizontal	276.36441	710.627747

จากตารางที่ 2 นำมาเปรียบเทียบค่าความแข็งโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ผลที่ได้เป็นดังตาราง

ตารางที่ 3 ผลรวมค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่ม One way ANOVA

Groups	Count	Sum	Average	Variance
แนวตั้ง	5	1410.8609	282.17219	4.0196469
แนวทแยงมุม	5	1399.7767	279.95535	18.801471
แนวนอน	5	1390.3599	278.07197	13.851241

จากตารางที่ 3 เป็นผลรวมค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มในการทดสอบ One way ANOVA ที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	5	3629.0237	725.80474	564.70765
Column 2	5	3608.0442	721.60884	29.351131
Column 3	5	3583.1341	716.62682	21.519862

จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของแต่ละกลุ่ม ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง ผลรวมของค่าข้อมูลของแต่ละกลุ่ม ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปวน

ตารางที่ 5 สรุปค่าพื้นฐานของแต่ละตัวอย่าง

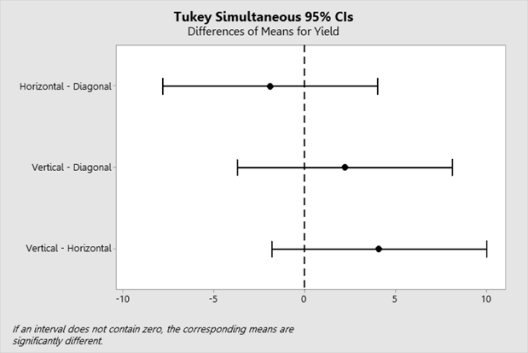
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	5	137	27.4	2.8
Column 2	5	144	28.8	3.7
Column 3	5	140	28	0.5

จากตารางที่ 5 เป็นตารางสรุปค่าพื้นฐานของแต่ละตัวอย่างประกอบไปด้วย กลุ่มข้อมูล จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ผลรวมของค่าทั้งหมด ค่าเฉลี่ยและความแปรปวนภายในกลุ่ม

ตารางที่ 6 สถิติเชิงพรรณนาค่าความแข็งแรงแต่ละกลุ่ม

Routing	N	Mean	StDev	95% CI
แนวทแยงมุม	5	279.96	4.34	(276.55, 283.36)
แนวนอน	5	278.07	3.72	(274.67, 281.48)
แนวตั้ง	5	282.172	2.005	(278.765, 285.579)

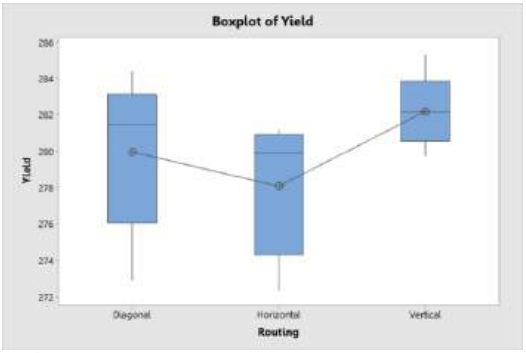
จารางที่ 6 ตารางนี้ให้ข้อมูลเชิงพรรณนาของค่าความแข็งแรงของแต่ละกลุ่ม พบว่า Vertical มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดและมีความแปรปรวนต่ำสุด แต่เมื่อนำไปทดสอบด้วย ANOVAฃ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มต่างๆ



รูปที่ 1 กราฟผลทดสอบ Tukey Simultaneous สำหรับเปรียบเทียบความแข็งแรงระหว่างกลุ่ม

จากรูปที่ 1 เส้นแนวนอนแต่ละเส้นแสดงช่วงความเชื่อมั่น 95% สำหรับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างแต่ละกลุ่ม จุดตรงกลางของแต่ละเส้น คือ ค่าประมาณของ

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย กราฟนี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความแข็งแรงระหว่างทั้ง 3 แนว อย่างมีนัยสำคัญ

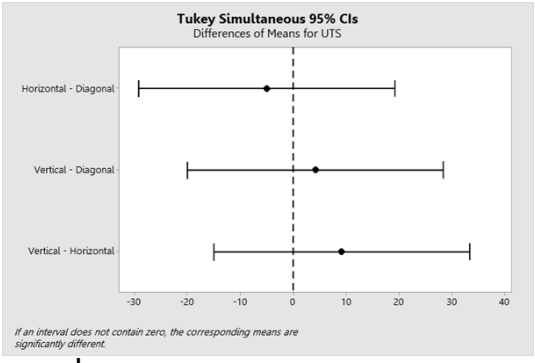


รูปที่ 2 กราฟผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลความแข็งกับทิศทางการขึ้นรูปด้วยวิธี Box Plot

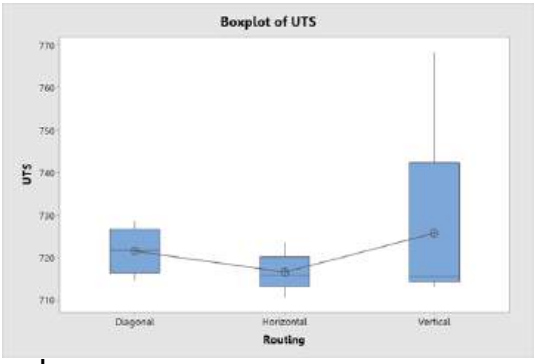
จากรูปที่ 2 แสดงผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลความแข็งแรงกับทิศทางการขึ้นรูปด้วยวิธี Box Plot จากกราฟผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานในแนวตั้งมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกันทั้ง 3 แนว และแนวที่น้อยคือแนวนอน

จากรูปที่ 3 เส้นแนวนอนแต่ละเส้นบอกช่วงความชื่อมั่น 95% และแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างแต่ละกลุ่ม จุดตรงกลางของแต่ละเส้น คือค่าประมาณของความแตกต่างของค่าเฉลี่ย กราฟนี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดระหว่างทั้ง 3 แนว อย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานทั้ง 3 แนว มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากแต่ค่าที่ออกมาสูงสุดยังคงเป็นแนวตั้งและน้อยที่สุดเป็นแนวนอน



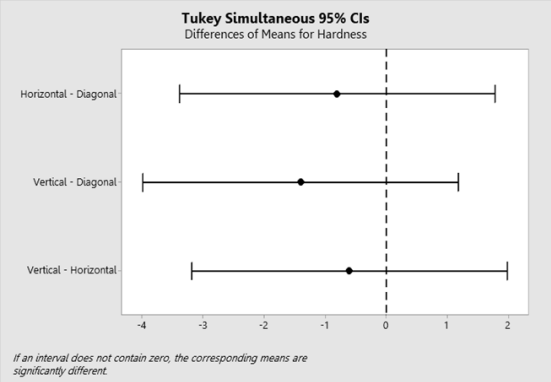
รูปที่ 3 กราฟผลทดสอบ Tukey Simultaneou สำหรับเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงสูงสุดระหว่างกลุ่ม



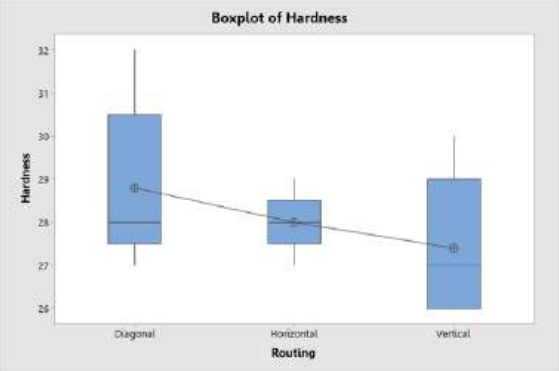
รูปที่ 4 กราฟผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลความแข็งกับทิศทางการขึ้นรูปด้วยวิธี Box Plot

จากรูปที่ 5 เส้นแนวนอนแต่ละเส้นบอกช่วงความเชื่อมั่น 95% และแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างแต่ละกลุ่ม จุดตรงกลางของแต่ละเส้น คือค่าประมาณของความแตกต่างของค่าเฉลี่ย กราฟนี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความแข็งระหว่างทั้ง 3 แนว อย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานในแนวทแยงมีค่าความแข็งมากที่สุดและแนวตั้งมีค่าความแข็งน้อยที่สุด



รูปที่ 5 กราฟผลทดสอบ Tukey Simultaneous สำหรับเปรียบเทียบความแข็งระหว่างกลุ่ม



รูปที่ 6 กราฟผลลัพธ์การเปรียบเทียบข้อมูลความแข็งกับทิศทางการขึ้นรูปด้วยวิธี Box Plot

จากการทดสอบค่าแรงดึงและความแข็งแรงของแต่ละแนวรีดที่มีแนวตั้ง (Vertical), แนวนอน (Horizontal) และแนวทแยงมุม (Diagonal) ของชิ้นงานทดสอบอย่างละ 5 ชิ้น ในแต่ละแนวรีด รวมเป็นชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 15 ชิ้นการคำนวณแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 แนว มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากค่า P-value ที่ได้จากค่า Yield ค่า (UST) และค่า Hardness มากกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่า ทำการยอมรับ H0 จึงหมายความว่าจะนำวัสดุแนวรีดที่มีแนวตั้ง แนวนอน หรือแนวทแยงมุม จะให้ค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

3. สรุปผลงานวิจัย

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม -316L ในแนวรีดที่แตกต่างกัน ได้แก่ แนวตั้ง (Vertical), แนวนอน (Horizontal) และแนวทแยงมุม (Diagonal) พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength: UTS) ของชิ้นงานในแต่ละแนวมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย โดยแนวรีดแนวตั้งมีค่าเฉลี่ย UTS สูงกว่าชิ้นงานแนวนอนและแนวทแยงมุมเล็กน้อย ค่า Yield Strength มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกแนวการรีดผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย One-Way ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าความแข็งแรงของชิ้นงานในแต่ละแนวรีด (P-value > 0.05) การที่แนวรีดมีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงานอาจเกิดจากการเรียงตัวของโครงสร้างจุลภาคในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบพบว่าความแตกต่างระหว่างแนวการรีดไม่สูงมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L ที่มีความสม่ำเสมอสูง ความแตกต่างเล็กน้อยที่พบอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของกระบวนการผลิตและทดสอบ เช่น ความแม่นยำของเครื่องมือหรือปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อผลการทดลอง การเลือกใช้แนวรีดในการขึ้นรูปอาจไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของชิ้นงานสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป จากการศึกษาพบว่าทิศทางการขึ้นรูปของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS316L ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงแรงดึงในเชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะชนิดนี้มีคุณสมบัติที่คงที่ในทุกแนวการขึ้นรูป ดังนั้นสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมได้โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของแนวรีดต่อความแข็งแรงของวัสดุ แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงแนวทางการเลือกแนวรีดเพื่อประหยัดวัตถุดิบ (Raw Material) หรือเวลา (Time) รวมถึงข้อจำกัดและแนวทางการศึกษาต่อยอดในอนาคตต่อไป

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณา เสียสละ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายท่าน คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในความอนุเคราะในการประสานงานในการจัดหาสถานที่จัดซื้อวัสดุทำการทดสอบความแข็งแรงแรงดึงในครั้งนี้ และในความอนุเคราะห์ ที่ได้ให้แนวคิด เสนอแนะ และให้คำแนะนำในการชี้แนะหัวข้อสรุปงานวิจัยฉบับนี้

5. เอกสารอ้างอิง

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2019. การทดสอบแรงดึง. [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/documentensile_Test.pdf. (19 พฤศจิกายน 2567

[2] ดร.ไพทรูย์ ศิริโอพาร. 2559. หนังสือ สถิติสำหรับวิศวกร (Statistics for Engineers)

[3] รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. 2553. หนังสือสถิติสำหรับวิศวกรรม (Engineering Statistics).

[4] สเตนเลส316L (Stainless Steel 316L). [ออนไลน์] สืบค้นจาก https://www.clinemetal.com/content/13661/%E0%B8%AA%E0%B9%81%E0%B8%95%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%AA-316l. (25 พฤศจิกายน 2567)

[5] วิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E8-E8M. 2021. [ออนไลน์] สืบค้นจาก https://www.laboratuar.com/th/testler/astm-testleri/astm-e8 - e8 m-metalik-malzemelerin-gerilim-testi-icin-standart-test-yontemleri/. (26 พฤศจิกายน 2567).

[6] ศิรวิชญ์ เจนใจ. ได้ศึกษาการทดสอบแรงดึงของโลหะแผ่นเชื่อมพ่วง. 2553. [ออนไลน์] สืบค้นจาก https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/5575/1/SirawitJenjai.pdf. (8 ธันวาคม 2567).

[7] เฉลิมพล คล้ายนิล และพงศกร หลีตระกูล. การทดสอบแรงดึงที่มีผลต่อสมบัติทางกลและ โครงสร้าง จุลภาคของเหล็กกล้าความแข็งแรง. 2019. [ออนไลน์] สืบค้นจาก https://www.thaiscience.info/Journals/Article/EJCM/10990883.pdf. (8 ธันวาคม 2567).

[8] เชษฐ์ถกล ตำนานวัน และโสภณ บุญวัง. 2562. ได้ศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุพลาสติก PLA-(Polylactic acid) จากกระบวนการพิมพ์3มิติ. [ออนไลน์] สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/profile/KittichaiSojiphan/publication/345389758_Study_of_mechanical_properties_using_tensile_testing_methods_of_plastic_material_PLA_Polylactic_acid_from_the_3D_printing_process/links/5fa57a44299bf10f73292649/Study-of-mechanical-properties-using-tensile-testing-methods-of-plastic-material-PLA-Polylactic-acid-from-the-3D-printing-process.pdf. (8 ธันวาคม 2567).

อิทธิพลการขึ้นรูปของ Ti-6Al-4V ในการทดสอบความแข็งแรงดึง ด้วยมาตรฐาน ASTM E8

The Influence of the Forming of Ti-6Al-4V on Tensile Testing by ASTM E8 Standard

ปริญญา ศรีสัตยกุล[1*] ภาณุเดช แสงสีดำ[2] สุธรรม ศิวาวุธ[3] โอรีส มณีสาย[4] ธีรวัฒน์ เพชรสัมฤทธิ์[5] และ นที แป้นบางนา[6]
[1, 2, 3, 4, 5, 6] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Parinya Srisattayakul[1*], Panudet Saengseedam[2], Sutham Siwawut[3], Oris Maneesait[4], Thirawat Phetsamrit[5] and Nathi Panbangna[6]
[1, 2, 3, 4, 5, 6] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: parinya.sr@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทดสอบวัสดุมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีความสำคัญอย่างสูงให้วิศกรต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้เพื่อความปลอดภัยของบุคคลที่นำไปใช้งาน โดยงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงดึงว่าวัสดุมีความแข็งแรงที่ทนต่อแรงดึงได้ตามค่าที่กำหนดหรือไม่ โดยทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแรงดึง โดยเลือกวัสดุเป็นโลหะผสมไทเทเนียม เกรด 5 (Ti-6Al-4V) เนื่องจากเป็นวัสดุเกรดที่มีความแข็งแรงและมีความคงทนต่อแรงดึงได้มากที่สุด โดยเป็นที่นิยมใช้ในงานวิศกรรมและตลาดมากที่สุด ซึ่งในการทดสอบ พบว่า แนวเส้นของชิ้นงานมีผลต่อการกระทำของแรงดึง ผู้วิจัยจึงนำวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมาตัดเป็น 3 แนว โดยประกอบด้วยแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยง เพื่อเปรียบเทียบหาแนวชิ้นงานที่มีความคงทนต่อแรงดึงมากที่สุด โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการทดสอบเป็นหลักจึงประยุกต์ใช้มาตรฐานในการทดสอบสากลตามมาตรฐาน ASTM E8 ในการทดสอบ แรงดึงในครั้งนี้

คำหลัก ไทเทเนียม เกรด 5 (Ti-6Al-4V), ความแข็งแรงแรงดึง, มาตรฐาน ASTM E8

Abstract

Currently, there are many types and methods of material testing, all of which are important. Therefore, engineers must take these things into account for the safety of the person who will use it. This research is that tests the tensile testing to see if the material has the strength to withstand the tensile force as specified. The research has conducted a tensile test by selecting the material as titanium alloy grade 5 (Ti-6Al-4V) because it is the strongest and most durable material against tensile force and is the most popular in engineering and the worldwide market. Therefore, the research has applied Ti-6Al-4V for this test. In the test it was found that the line of the specimen affects the action of tensile force. Therefore, the project has cut the material used in the test into 3 routing of mame;t; vertical, horizontal and diagonal,In comparison 3 routing of mame;t find the routing of specimen with the highest tensile strength with the main consideration.

Keywords: Titanium Alloy Grade 5 (Ti-6Al-4V), Tensile Testing, ASTM E8 Standard

1. บทนำ

ปัจจุบันงานวิศวกรรม ได้มีบทบาทความสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวัน ทั้งด้านการพักอาศัย การอุปโภคบริโภค การเดินทาง การสื่อสาร และการอำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นอย่างมาก โดยกลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบและคิดค้น อุปกรณ์ หรือสิ่งปลูกสร้างทำการผลิตชิ้นงานออกมา จำเป็นต้องมีการทดสอบหลายๆ ด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความคงทนต่ออุณหภูมิ และขีดจำกัดของชิ้นงาน ฯลฯ เพื่อที่สามารถเลือกวัสดุที่นำมาใช้กับสำหรับงานนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม และปลอดภัย ซึ่งการทดสอบวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องเก็บ หรือนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวัสดุต่างๆ ที่จะนำไปใช้กับชิ้นงาน เพื่อความปลอดภัยกับการใช้งานต่อไป

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาและทำการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแรงดึง (Tensile-Test) ของโลหะผสมไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) โดยเลือกใช้โลหะผสมไทเทเนียมเกรด 5 แบบแผ่นที่ความหนา 2 mmตามแบบสั่งงานเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อความแข็งแรงของวัสดุ และนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไทเทเนียมเกรด 5 (Titanium Grade 5)

ไทเทเนียม (Titanium) ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1791 โดย William Gregor นักแร่ธาตุชาวอังกฤษ โดยค้นพบแร่ที่มีไทเทเนียมชื่อว่า Ilmenite (FeTiO3) ในแร่จากแหล่งแร่ในประเทศอังกฤษ ในช่วงแรกไทเทเนียมไม่ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 1930 มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการแยกไทเทเนียมออกจากแร่และผลิตเป็นโลหะบริสุทธิ์ได้สำเร็จ

ไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) ถือเป็นโลหะผสมแรกที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1954 โดยการผสมไทเทเนียม (Ti) กับ อะลูมิเนียม (Al) และวานาเดียม (V) ในสัดส่วน 90% Ti, 6% Al และ 4% V

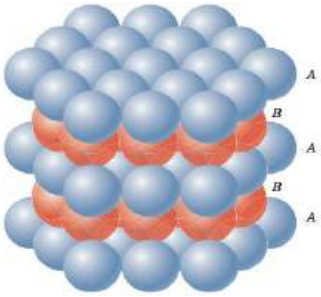
การผสมผสานนี้ทำให้ไทเทเนียมเกรด 5 มีคุณสมบัติที่โดดเด่น ได้แก่ ความแข็งแรงสูง ความทนทานต่อการกัดกร่อน น้ำหนักเบา และทนทานต่ออุณหภูมิสูง ไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) ได้รับการยอมรับและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานที่มีความเค้นสูงและอุณหภูมิสูง โดยการใช้ไทเทเนียมเกรด 5 ช่วยให้เครื่องบินสามารถลดน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิการบินได้ ต่อมามีการนำไทเทเนียมเกรด 5 ไปใช้ในอุตสาหกรรมการแพทย์ โดยเฉพาะในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ข้อต่อเทียม และการปลูกถ่ายกระดูก เพราะไทเทเนียมเกรด 5 มีความปลอดภัยและความเข้ากันได้กับร่างกายมนุษย์ (Biocompatibility) และในอุตสาหกรรมยานยนต์ และวิศวกรรมทั่วไป ก็ได้นำไทเทเนียมเกรด 5 มาใช้ในชิ้นส่วนที่ต้องการทนทานและน้ำหนักเบา เช่น การผลิตเครื่องยนต์ และส่วนประกอบของเครื่องจักร

รูปที่ 1 William Gregor นักแร่ธาตุชาวอังกฤษ [1]

2.2 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียม [2]

ไทเทเนียมสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างผลึกหลักๆ ได้ 2 แบบ คือ α-phase (Alpha-phase) และ β-phase (Beta phase) ซึ่งแต่ละเฟสมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันและสามารถเกิดขึ้นได้ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน:

α-phase (Alpha phase) ลักษณะโครงสร้าง: ผลึกแบบ Hexagonal Close-Packed (HCP) หรือ ผลึกหกเหลี่ยม (HCP) คือ โครงสร้างผลึกที่มีอะตอมเรียงกันอย่างหนาแน่นในภาพทรงหกเหลี่ยม คุณสมบัติ:มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการกัดกร่อน และจุดหลอมเหลวสูง แต่มีความยืดหยุ่นต่ำเมื่อเทียบกับ β-phase อุณหภูมิที่เกิด: เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 882°C ในไทเทเนียมบริสุทธิ์ (Pure Titanium) การใช้งาน:ใช้ในงานที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อนสูงและความแข็งแรง เช่น การผลิตท่อทางเคมี,อุปกรณ์ทางทะเล,และการใช้งานในอุตสาหกรรมการแพทย์



รูปที่ 2 โครงสร้างผลึกแบบ (HCP) [3]

β-phase (Beta Phase) ลักษณะโครงสร้าง: ผลึกแบบ Body-Centered Cubic (BCC) หรือผลึกลูกบาศก์ที่มีอะตอมอยู่ตรงกลาง (BCC) คือ โครงสร้างที่อะตอมจัดเรียงในภาพแบบของลูกบาศก์โดยมีอะตอมหนึ่งอยู่ตรงกลางของลูกบาศก์ คุณสมบัติ: มีความยืดหยุ่นสูง การทำให้สามารถเปลี่ยนภาพได้ง่าย แต่ความแข็งแรงจะต่ำกว่า α-phase อุณหภูมิที่เกิด: เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ สูงกว่า 882°C ใช้งาน ใช้ในงานที่ต้องการความยืดหยุ่นสูงและความแข็งแรงปานกลาง เช่น ในชิ้นส่วนที่ต้องการขึ้นรูปหรือดัดแปลงภาพทรง α+β-phase (Alpha + Beta Phase): ลักษณะโครงสร้าง: ในบางอุณหภูมิที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจาก α-phase เป็น β-phase หรือกลับกัน จะเกิดการผสมผสานระหว่าง α-phase และ β-phase ที่ทำให้มีทั้งความแข็งแรงจาก α-phase และความยืดหยุ่นจาก β-phase คุณสมบัติ: ให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นในระดับปานกลางซึ่งเหมาะกับการใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตเครื่องมือ, ชิ้นส่วนยานยนต์, และการบิน

2.3 การควบคุมโครงสร้างจุลภาคในไทเทเนียม

การควบคุมโครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุในหลายๆ ด้าน เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว ความทนทานต่อการกัดกร่อน และการขึ้นรูป เพื่อให้ได้โครงสร้างจุลภาคที่ต้องการ จะใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การหลอม (Casting): การทำให้ไทเทเนียมเป็นของเหลวและปล่อยให้มันเย็นตัวลง โดยอาจควบคุมอุณหภูมิในการหล่อเพื่อให้ได้โครงสร้างที่ต้องการ การอบร้อน (Annealing): การให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างผลึก เช่น การทำให้เกรนของ α-phase ใหญ่ขึ้นหรือการเปลี่ยนจาก β-phase มาเป็น α-phase การรีด (Rolling) หรือ การตีขึ้นรูป (Forging): กระบวนการเหล่านี้สามารถทำให้ขนาดของเกรนเล็กลงหรือทำให้โครงสร้างจุลภาคที่ได้มีความละเอียดและมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

2.4 ผลกระทบของโครงสร้างจุลภาคต่อคุณสมบัติของไทเทเนียม

ความแข็งแรง: ไทเทเนียมที่มี α-phase จะมีความแข็งแรงสูงกว่าในทิศทางที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของ Dislocations ส่วน β-phase จะให้ความยืดหยุ่นสูงแต่ความแข็งแรงต่ำกว่า ความเหนียว: โครงสร้าง α-phase ให้ความเหนียวมากกว่าเนื่องจากการจัดเรียงอะตอมที่หนาแน่น การทนทานต่อการกัดกร่อน: ไทเทเนียมที่มี α-phase มีคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมีหรือการสัมผัสกับน้ำทะเลได้ดีกว่า การเปลี่ยนภาพ: โลหะที่มี β-phase จะสามารถปรับเปลี่ยนภาพได้ง่ายกว่าซึ่งมีประโยชน์ในกระบวนการขึ้นรูปและการผลิตชิ้นส่วนที่มีภาพร่างซับซ้อน โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุโดย α-phase (HCP) ให้ความแข็งแรงสูงและทนทานต่อการกัดกร่อนขณะที่ β-phase (BCC) ให้ความยืดหยุ่นสูงแต่แข็งแรงน้อยกว่าการควบคุมอุณหภูมิและกระบวนการต่างๆ ในการผลิตจะช่วยให้ได้โครงสร้างจุลภาคที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ เช่น การบิน การแพทย์ และการผลิตเครื่องมือ

2.5 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด 5 [3]

โครงสร้างจุลภาคของ Ti-6Al-4V (ไทเทเนียมเกรด 5) α-phase (Alpha Phase) ใน Ti-6Al-4V, α-phase เป็นผลึกชนิด Hexagonal Close-Packed (HCP) ซึ่งมีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมโดยอะตอมจะเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นในลักษณะเฉพาะอลูมิเนียม (Al) เป็นส่วนประกอบหลักที่ช่วยให้เกิดα-phase เนื่องจากอลูมิเนียมจะช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของไทเทเนียมในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 882°C คุณสมบัติ α-phase ให้ความแข็งแรงสูงและความทนทานต่อการกัดกร่อนแต่มีความยืดหยุ่นต่ำเมื่อเทียบ

กับ β-phase

β-phase ใน Ti-6Al-4V เป็นผลึกแบบ Body-Centered Cubic (BCC) ซึ่งอะตอมจะจัดเรียงตัวในลักษณะของลูกบาศก์โดยมีอะตอมหนึ่งอยู่ตรงกลางของลูกบาศก์

วานาเดียม (V) เป็นองค์ประกอบหลักที่ช่วยกระตุ้นให้เกิด β-phase โดยวานาเดียมช่วยลดจุดหลอมเหลวและทำให้เกิดโครงสร้างที่ยืดหยุ่นในอุณหภูมิที่สูงขึ้น คุณสมบัติ: β-phase ให้ความยืดหยุ่นสูงและมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปที่ดีแต่ความแข็งแรงจะต่ำกว่า α-phase โครงสร้างจุลภาคของ Ti-6Al-4V ภาคจะเป็นการผสมผสานระหว่าง α-phase และ β-phaseซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 882°C แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมละลาย คุณสมบัติ: การผสมผสานระหว่าง α-phase และ β-phase ทำให้ Ti-6Al-4V มีความแข็งแรงสูงในขณะที่ยังคงความยืดหยุ่นในระดับที่ดีเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อแรงดึงและแรงกระแทก การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตจะสามารถควบคุมสัดส่วนของ α-phase และ β-phase ได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

2.5.1 การเกิดและการควบคุมโครงสร้างจุลภาคของ Ti-6Al-4V การอบอ่อน (Annealing)

การควบคุมอุณหภูมิในการอบร้อนสามารถทำให้ Ti-6Al-4V มีสัดส่วนระหว่าง α-phase และ β-phase ที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุ การหล่อ (Casting): ในกระบวนการหล่อการควบคุมอุณหภูมิช่วยให้ Ti-6Al-4V มีโครงสร้างจุลภาคที่มีเกรนเล็กซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียว การรีด (Rolling) หรือการตีขึ้นรูป (Forging): กระบวนการเหล่านี้ช่วยให้ขนาดเกรนเล็กลงและกระจายสัดส่วนของ α-phase และ β-phase ที่เหมาะสมซึ่งจะเพิ่มคุณสมบัติในการขึ้นรูปและความแข็งแรง คุณสมบัติของ Ti-6Al-4V ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างจุลภาค ความแข็งแรงสูง: ความแข็งแรงสูงของ Ti-6Al-4V มาจากการมี α-phase ที่มีการจัดเรียงอะตอมอย่างหนาแน่นรวมถึงการผสม β-phase ที่ทำให้เพิ่มความแข็งแรงในบางทิศทาง ความยืดหยุ่นที่ดี: การผสมผสานระหว่าง α-phase และ β-phase ทำให้ Ti-6Al-4V สามารถยืดหยุ่นได้ในระดับที่ดีเมื่อเทียบกับไทเทเนียมบริสุทธิ์ ทนทานต่อการกัดกร่อน: โครงสร้าง α-phase ใน Ti-6Al-4V ช่วยให้วัสดุมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีหรือสแวดล้อมที่รุนแรง เช่น น้ำทะเลหรือกรดความเหนียว (Toughness) Ti-6Al-4V มีความเหนียวดีซึ่งทำให้ทนต่อการแตกหักหรือการกระแทก

2.5.2 การใช้งานของ Ti-6Al-4V

อุตสาหกรรมการบิน (Aerospace): เนื่องจากความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา Ti-6Al-4V จึงเหมาะสำหรับการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องบิน เช่น ปีก โครงสร้าง และชิ้นส่วนเครื่องยนต์ อุตสาหกรรมการแพทย์ (Medical) Ti-6Al-4V ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ข้อต่อกระดูกเทียม ชิ้นส่วนของร่างกายเทียม และเครื่องมือศัลยกรรม อุตสาหกรรมการทหาร (Military): ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความแข็งแรงสูง และทนทานต่อการกัดกร่อนในอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25°C) โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) จะมีลักษณะเป็นการผสมระหว่าง α-phase และ β-phase โดยส่วนใหญ่จะมี α-phase เป็นส่วนประกอบหลักในโครงสร้างจุลภาคในอุณหภูมิห้องเนื่องจากไทเทเนียมเกรด 5 ประกอบด้วยอลูมิเนียม (Al) ซึ่งช่วยกระตุ้นให้เกิด α-phase ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal Close-Packed (HCP) ที่มีความหนาแน่นสูง

2.6 การเลือกวิธีการทดสอบความแข็งที่เหมาะสม [4]

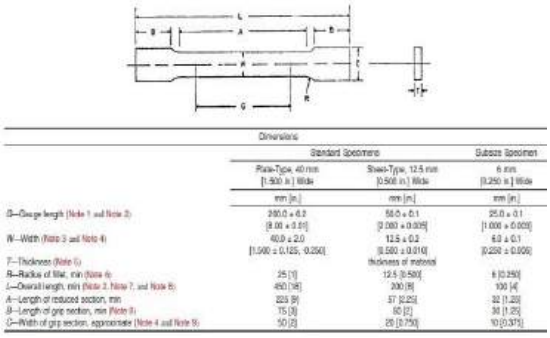
การเลือกวิธีการทดสอบความแข็งที่ใช้กับวัสดุต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุและการใช้งาน: Rockwell เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุโลหะทั่วไปที่มีความแข็งปานกลางถึงสูง Brinell ใช้สำหรับวัสดุที่มีผิวหยาบหรือวัสดุที่มีความแข็งไม่เท่ากันทั่วทั้งพื้นที่ Vickers and Knoop ใช้สำหรับวัสดุที่มีความแข็งสูงหรือวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น เซรามิก หรือวัสดุเคลือบ

มาตรฐาน ASTM มีหลายวิธีในการทดสอบความแข็งของวัสดุที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยการเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถประเมินคุณสมบัติของวัสดุได้แม่นยำยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุ ขนาด ความแข็ง และการใช้งาน

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

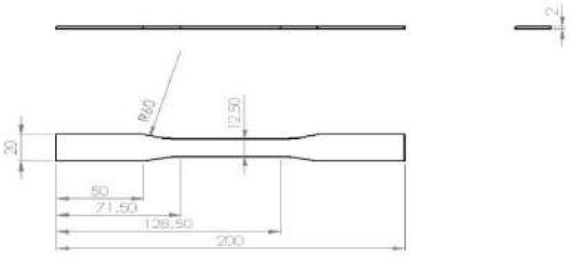
การแปรสภาพชิ้นงานออกมาเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E8 ได้นั้นต้องมีไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) การชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 ประยุกต์ใช้เป็น ดังนี้



รูปที่ 3 ตารางกำหนดขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 [5]

ตารางขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 ใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของโลหะโดยเฉพาะการวัดค่าความแข็งแรงและการยืดตัวของวัสดุเมื่อถูกดึงจนขาดข้อมูลในตารางสามารถช่วยให้เตรียมชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรม เพื่อประเมินคุณสมบัติในการใช้งานต่างๆ

การทดสอบความยาวเกจ (G-Gauge length) ใช้ขนาด50 mm ± 0.1 mm ความกว้างเกจ (W-Width) อยู่ที่ 12.5 ± 0.2 mm ความกว้างของด้านที่ใช้จับชิ้นงานกับเครื่องทดสอบ (C-Width of Grip Section Approximate) อยู่ที่ 20 mm และความหนา (T-Thickness) ชิ้นงานอยู่ที่ 2 mm



รูปที่ 4 ขนาดชิ้นงานทดสอบด้วยโปรแกรม Solidwork

ความแข็งแรงแรงดึงที่เก็บได้ทั้งความแข็งแรงแรงดึงความแข็งแรงแรงดึงสูงสุดระยะยืด และความแข็งของชิ้นงานทดสอบโดยหน่วยที่ใช้ในการบอกความต้านทานที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบเป็น N/mm^2

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength Machine) ยี่ห้อ BPS Instrument รุ่น PLS-150 ช่วยในการประเมินสมบัติทางกลของวัสดุ และใช้ในการทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength Test) เพื่อเก็บค่าต่างๆ เพื่อทดสอบอิทธิพลของทิศทางการขึ้นรูปของไทเทเนียมในการทดสอบความแข็งแรง จึงเลือกใช้เครื่อง BPS PLS-150 ในการทดสอบแรงดึงของวัสดุไทเทเนียมเกรด 5 ในแนวการรีดแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยงมุม

3.2.2 เครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC Milling Machine) หน้าที่ของเครื่องกัดควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้มาตรฐาน ASTM E8 กำหนด เพื่อทำการกัดชั้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 และนำไปใช้เพื่อทดสอบแรงดึงจึงเลือกใช้เครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) ตามรูปที่ 5

รูปที่ 5 เครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ใช้วัดขนาดชิ้นงานทดสอบให้ได้ตามแบบกำหนดมาตรฐาน ASTM E8 ขนาดความยาวเกจ (G-Gauge-length) ที่ 50 mm ความกว้าง (W-Width) ส่วนที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile-Strength Test) ที่ 12.5 mm ความยาวทั้งหมด (L-Overall Length) ที่ 200 mm และความหนา (T-Thickness) ที่ 2 mm

3.3 ขั้นตอนการทำงาน

3.3.1 การเตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดกำหนดดดด้วย

โปรแกรม Solidwork และ Generate Code ผ่านโปรแกรม Solidcam

3.3.2 ข การขึ้นโปรแกรมด้วยโปรแกรม Solidcam และกำลังวิเคราะห์โปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) เพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน ASTM E8

3.3.3 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานแนวต่างๆ ด้วยโปรแกรม Solidcam เพื่อนำไปขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8]

รูปที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแนวตั้ง

3.3.4 การนำ code ที่ Generate ผ่านโปรแกรม Solidcam ไปทดสอบบนโปรแกรม Mastercam เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของโค้ดโปรแกรม CNC ของชิ้นงานทดสอบที่สร้างผ่านโปรแกรม Solidcam และนำไปใช้สำหรับการแปรรูปชิ้นงานต่อไป

3.3.5 การจำลองภาพการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยโปรแกรม Mastercam เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดในขณะขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) ตามมาตรฐาน ASTM E8

รูปที่ 7 ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแนวทแยงมุม

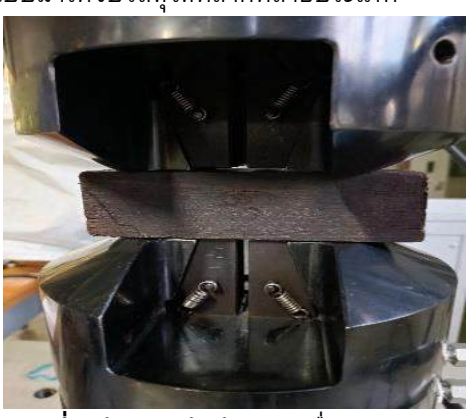
รูปที่ 8 ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแนวนอน

3.3.6 การนำชิ้นงานไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติแผ่นไทเทเนียมเกรด 5 จากโรงงาน ที่ผ่านการรีดขึ้นรูปออกมาเป็นแผ่นบางขนาดใหญ่เพื่อรอไปใช้ในการขึ้นรูปตามขนาดที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E8

3.3.7 การนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength Machine) ยี่ห้อ BPS Instrument รุ่น PLS-150

3.3.8 การทดสอบความแข็งแรงแรงดึงโดยการยึดชิ้นงานเข้ากับฟันจับทั้ง 2 ด้านตามมาตรฐาน ASTM E8

3.3.9 ลักษณะฟันจับแบบลิ่ม (Wedge) มีข้อดีหลายอย่าง ได้แก่ การกระจายแรงจับยึดที่ดี ฟันจับแบบลิ่มช่วยให้สามารถกระจายแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับแรงดึงสูง ฟันจับลิ่มสามารถรองรับแรงดึงสูงได้ดี ทำให้เหมาะกับการทดสอบแรงดึงของวัสดุที่แข็งแรงได้ดี ป้องกันการลื่นของชิ้นงาน ฟันจับถูกออกแบบมาให้สามารถจับยึดชิ้นงานได้แน่นหนาเพื่อลดโอกาศที่วัสดุจะหลุดระหว่างการทดสอบ ใช้งานได้หลากหลาย ฟันจับแบบลิ่มถูกออกแบบมาให้จับวัสดุได้หลากหลายประเภท



รูปที่ 9 ลักษณะฟันจับของเครื่องทดสอบแรงดึงแบบ Wedge หรือแบบลิ่ม

3.3.10 ชิ้นงานทดสอบถูกดึงจนขาดขณะชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงหลังจากชิ้นงานทดสอบขาดจะค่าต่าง ๆ เช่น ค่าความแข็งแรง ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

3.3.11 การเก็บค่าหลังจากทำการทดสอบแรงดึงผ่านโปรแกรม Excel จากการทดสอบจะได้ค่าต่างๆ และกราฟแรงดึง

3.4 การเก็บผลการทดสอบ

หลังจากเก็บค่าต่างๆ จากการทดสอบแล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ ความแปรปวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เปรียบเทียบข้อมูลด้วยวิธี Fisher หรือเปรียบเทียบข้อมูลด้วยวิธี Tukey เป็นต้นเพื่อหาค่า P-Value เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ความน่าเชื่อถือที่ 95% หรือ P-Value ที่ 0.05

3.4 ผลการวิจัย

จากการทดสอบด้วยวิธี One-Way ANOVA ของความแข็ง ค่า P-Value < 0.05 นั้นหมายความว่าไม่มีนัยสำคัญกล่าวคือไม่ว่าจะขึ้นรูปแนวใด ๆ ความแข็งของไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) ก็ไม่ต่างกัน จากการทดสอบด้วยวิธี One-Way ANOVA ของความแข็งแรงแรงดึงและความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด ค่า P-Value < 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) นั้นหมายความว่ามีนัยสำคัญกล่าวคือกล่าวขึ้นรูปแต่ละนั้นช่วยเพิ่มความแข็งแรงแรงดึงให้กับไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V)

3.4.1 แนวนอน พบว่า มีการจัดเรียงของ α-phase และ β-phase มีการกระจายตัวแบบค่อนข้างสุ่มและกระจายตัวกว้างทำให้มีแนวโน้มที่วัสดุในแนวนี้จะมีความแข็งแรงแรงดึงต่ำที่สุด เพราะไม่มีทิศทางการจัดเรียงที่ชัดเจนอาจมีความเหนียวมากกว่าแนวตั้ง เนื่องจากโครงสร้างเปิดโอกาสให้เกิดการเสียภาพก่อนแตกหัก

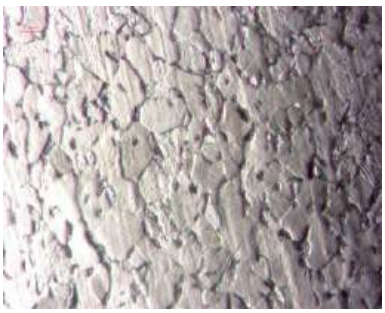
3.4.2 แนวตั้ง พบว่า มีการจัดเรียงของ α-phase เป็นเส้นตามแนวตั้งซึ่งช่วยให้รองรับแรงดึงในแนวแกนได้ดี ทิศทางของเฟสที่เป็นแนวตั้งช่วยให้วัสดุมีค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงขึ้น เพราะสามารถต้านทานการแตกร้าวในทิศทางดึงได้ดีกว่าแนวนอน อย่างไรก็ตามอาจมีความเปราะมากกว่า เพราะโครงสร้างเรียงตัวในแนวเดียวกันทำให้แตกหักได้ง่ายขึ้นเมื่อเกิดแรงดึงข้ามแนว

3.4.3 แนวทแยงมุม พบว่า มีการจัดเรียงของ α-phase และ β-phase เป็นแนวทแยงมุมเป็นการผสมระหว่างโครงสร้างแนวนอนและแนวตั้ง ทำให้วัสดุสามารถรองรับแรงได้หลายทิศทาง จากการทดลองทางกลพบว่าแนวนี้ให้ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงใกล้เคียงกับแนวตั้ง แต่สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าอาจเป็นทิศทางที่เหมาะสมที่สุดหากต้องการสมดุลระหว่าง ความแข็งแรงและความเหนียว

โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปทั้ง 3 แนวมีโครงสร้างเป็นแบบ α-phase และ β-phase โครงสร้างสีขาวเงิน คือ β-phase หมายความว่าเป็นโครงสร้างของ Ti-6Al-4V ในสภาวะปกติไทเทเนียมจะมีโครงสร้างทั้ง 2 เฟส ในอุณหภูมิห้องเฟส α-phase จะมีสภาวะที่มั่นคงกว่าเบต้ากลับกัน ขณะอุณหภูมิสูง β-phase จะสภาวะที่มั่นคงกว่า α-phase

การที่ Ti-6Al-4V มีเฟสเบต้าผสมอยู่ในอัลฟานั้นทำให้โครงสร้างอัลฟาที่มีโครงสร้างผลึกแบบ HCP ที่มีความเปราะอยู่ในตัวมีความเหนียวที่มากขึ้น ทำให้ไทเทเนียมผสมโลหะมีความทนทาน ความเหนียวและความต้านทานความล้าที่มากขึ้น ในขณะที่ได้ความแข็งจากไทเทเนียมและวานาเดียมทำให้ไทเทเนียมเกรด 5 มีความแข็งแรงที่สูงขณะที่น้ำหนักยังต่ำอยู่

โครงสร้างจุลภาคของแนวตั้งและแนวทแยงมุมมีการเรียงตัวของเฟสที่ดีกว่าแนวนอน ทำให้มีค่าความแข็งแรงสูงกว่า แนวนอนอาจมีความเหนียวมากที่สุด เพราะมีโครงสร้างที่กระจายตัวแบบสุ่ม ซึ่งช่วยดูดซับพลังงานก่อนแตกหักแนวทแยงมุมอาจเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดเนื่องจากให้ความแข็งแรงสูงและสามารถรองรับแรงในหลายทิศทาง



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด 5+ ทิศทางการขึ้นรูปแนวนอน

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองที่ทำการทดสอบความแข็งและความแข็งแรงแรงดึงของไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) ตามแนวการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน สามารถอภิปรายผล ได้ดังนี้

ผลกระทบของทิศทางการขึ้นรูปต่อความแข็งและความแข็งแรงแรงดึง การทดสอบความแข็งโดยใช้ Micro

Vicker แสดงให้เห็นว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ชิ้นงานที่ขึ้นรูปในแนวนอน (396.5 HV) และค่าต่ำสุดอยู่ที่ชิ้นงานแนวตั้ง (339.16 HV) การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า ค่า P-Value > 0.05 แสดงว่าทิศทางการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การทดสอบแรงดึงด้วย ASTM E8 พบว่า ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (UTS) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05) โดยแนวตั้งให้ค่าแรงดึงสูงสุดในขณะที่แนวนอนให้ค่าต่ำที่สุด

รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด 5 ทิศทางการขึ้นรูปแนวตั้ง

รูปที่ 12 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด 5 ทิศทางการขึ้นรูปแนวทแยงมุม

การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากโครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมเกรด พบว่ามี α-phase และ β-phase ผสมกัน โดย α-phase มีความแข็งแรงสูงแต่เปราะ ในขณะที่ β-phase มีความเหนียวและยืดหยุ่น ทิศทางการขึ้นรูปมีผลต่อการเรียงตัวของผลึกภายในวัสดุ ทำให้ค่าความแข็งแรงแรงดึงของชิ้นงานในแนวตั้งสูงกว่าแนวนอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า การขึ้นรูปโลหะมีผลต่อโครงสร้างภายในและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ข้อจำกัดของการทดลอง ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีเพียง 5 ชิ้นงานต่อแนวทางการขึ้นรูป ซึ่งอาจยังไม่ครอบคลุมถึงความหลากหลายของค่าความแข็งและแรงดึง ปัจจัยด้านการผลิต เช่น การควบคุมอุณหภูมิและแรงดันในกระบวนการขึ้นรูป อาจส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน

6.4 แนวทางในการศึกษาต่อไป ศึกษาผลของ การอบชุบความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของไทเทเนียมเกรด 5 ทดลองกับขนาดและภาพแบบของชิ้นงานที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนขึ้นใช้เครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคขั้นสูง เช่น SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของ α-phase และ β-phase ในแต่ละทิศทางของการขึ้นรูป

จากการทดสอบ พบว่า ทิศทางการขึ้นรูปมีผลต่อค่าความแข็งแรงแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ ดังนั้นในการเลือกทิศทางการขึ้นรูปของไทเทเนียมเกรด 5 สำหรับการใช้งานจริง ควรพิจารณาค่าความแข็งแรงแรงดึงเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบโครงสร้างและกระบวนการผลิต จากการวิจัยครั้งนี้ได้ข้อสรุป ดังนี้

6.1 ทราบว่าทิศทางการขึ้นรูปของไทเทเนียมเกรด 5 มีผลต่อความแข็งแรง

6.2 ทราบว่าทิศทางการขึ้นรูปของไทเทเนียมเกรด 5 ไม่มีผลต่อความแข็ง

6.3 วัสดุผสมอย่างไทเทเนียมเกรด 5 การขึ้นรูปในทิศทางต่างกัน อาตส่งผลให้การกระจายตัวของ α-phase และ β-phase เปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติวัสดุ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณา เสียสละ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายท่าน คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์แบะทีมงานวิจัยระดับนักศึกษา ในการประสานงานในการจัดหาสถานที่จัดซื้อวัสดุทำการทดสอบความแข็งแรงแรงดึง และในแนวคิด เสนอแนะ และให้คำแนะนำในการชี้แนะหัวข้อสรุปงานวิจัยนี้ รวมไปถึงการประสานงานในการขอเข้าใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength Testing) ยี่ห้อ BPS รุ่น PLS-150 คำชี้แนะ ในการตั้งค่าเครื่องทดสอบความแข็งแรงแรงดึง และการเก็บ

ข้อมูลผล จากเครื่องทดสอบความแข็งแรงแรงดึง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการในการให้ยืมสถานที่และอุปกรณ์ในวัดชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength Testing) อื่นๆ ทำให้นวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, การทดสอบแรงดึง, (2554), ข้อมูลจาก http.//eng.sut.ac.th/me//2014/laboratory/document/Tensile_Tesr.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2567)

[2] TMS, วิธีการเลือกเกรดที่เหมาะสมของไทเทเนียม, (2562), ข้อมูลจาก https://th.china-titanio.com/info/how-to-choose-the-right-grade-of-titanium-38992504.html. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2567)

[3] เฉลิมพล คล้ายนิล และพงศกร หลีตระกูล, การทดสอบแรงดึงที่มีผลต่อสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าความแข็ง, (2560), ข้อมูลจาก http://www.thaiscience.info/Journals/Article/EJCM/100990883.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2567)

[4] ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร, สถิติสำหรับวิศวกร (Statistic for Engineerings), สำนักพิมพ์ซีเอ็ดบุ๊ค, กรุงเทพฯ, 2559.

[5] EUROLAB Laboratory, วิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E8-E8M, (2559), ข้อมูลจาก http://laboratuar.com/th/testler/astm-e8-e8m-metalik-malzemelerin-grilim-test-icin-standart-test-youtemleri/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2567)

[4]. เชษฐ์ถกล ตำนวนวัน และโสภณ บุญวัง, การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุพลาสติก PLA (Polylactic acid) จากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ, (2564), ข้อมูลจาก http://www.researchgate.net/profile//Kittichai_Sojiphan/publication/345389758_Study_of_mechanical_properties_using_tensile_testing_methods_of_plastic_material_PLA_Polylactic_acid_from_the_3D_printing_proess/links/5fa57a44299bf10f73292649/Study_of_mechanical_properties_using_tensile_testing_methods_of_plastic_material_PLA_Polylactic_acid_from_the_3D_printing_process.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2567)

การเพิ่มประสิทธิภาพการกัดซีเอ็นซีเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ภายใต้การหล่อลื่นปริมาณน้อยด้วยวิธีทากูชิ

Enhancing CNC Milling Performance of Zirconium Dioxide (ZrO_2) under MQL Using the Taguchi Method

ชัยยะ ปราณีตพลกรัง[1*] ปรกช สิริสุวัณณ์[1] สมควร แววดี[1] บุญส่ง จงกลณี[1] ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์[1] และจตุพร ใจดำรงค์[2]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Chaiya Praneetpongrung[1*] Porakoch Sirisuwan[1] Somkuan Vaodee[1] Boonsong ChonKolnee[1] Kaona Jongwuttangaruk[1] and Jatuporn Jaidumrong[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: chaiya.p@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการหล่อเย็น และตัวแปรกระบวนการกัดที่มีต่อค่าความหยาบผิว และการสึกหรอของดอกกัดในการกัดวัสดุเซรามิกโดยเปรียบเทียบการหล่อเย็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การกัดแบบแห้ง (Dry) การหล่อเย็นแบบน้ำท่วม (Flood) และการหล่อเย็นแบบปริมาณน้อย (MQL) ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงระดับของความเร็วตัดอัตราป้อน และความลึกตัดโดยออกแบบการทดลองด้วยวิธี Taguchi L9 และประเมินผลลัพธ์ด้วยค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) ตามเกณฑ์ Smaller-is-Better ผลการทดลองพบว่าการกัดแบบแห้งให้ค่าความหยาบผิว และการสึกหรอของดอกกัดดีที่สุด รองลงมาคือการหล่อเย็นแบบปริมาณน้อย และการหล่อเย็นแบบน้ำท่วมตามลำดับ โดยเฉพาะในสภาวะที่มีสารหล่อเย็นพบว่าผงเซรามิกที่เกิดจากการกัดมีแนวโน้มจับตัวเป็นก้อน และเกาะติดคมตัด ส่งผลให้ผิวหยาบ และเครื่องมือสึกหรอเร็วขึ้น ขณะที่การหล่อเย็นแบบปริมาณน้อยช่วยลดการใช้สารหล่อเย็นลงอย่างมีนัยสำคัญจึงเป็นแนวทางที่สมดุลระหว่างคุณภาพ และสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ผลแสดงให้เห็นว่าชนิดการหล่อเย็นมีอิทธิพลสูงสุดต่อคุณภาพผิว และการสึกหรอของดอกกัด รองลงมาคืออัตราป้อน ความลึกตัด และความเร็วตัดตามลำดับ ทั้งนี้การเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกับชนิดการหล่อเย็นที่สอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุสามารถช่วยยกระดับคุณภาพกระบวนการกัดวัสดุเซรามิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก การหล่อเย็น, ความหยาบผิว, การสึกหรอของดอกกัด, การกัดเซรามิก, วิธีการของทากูชิ

Abstract

This research aims to investigate the effects of different cooling conditions and machining parameters on surface roughness and tool wear in ceramic milling. Three types of cooling methods—

dry cutting, flood cooling, and minimum quantity lubrication (MQL) were compared alongside variations in cutting speed, feed rate, and depth of cutting. The Taguchi L9 orthogonal array was employed for experimental design, and the results were analyzed using signal-to-noise (S/N) ratios under the Smaller-is-better criterion. The results indicated that dry cutting provided the best performance in terms of minimizing roughness and tool wear, followed by MQL and flood cooling, respectively. It was observed that in the presence of coolant, ceramic dust tended to agglomerate and adhere to the cutting edge, leading to increased tool wear and poorer surface finish. In contrast, MQL demonstrated a balance between performance and environmental benefit by significantly reducing coolant consumption. Response analysis revealed that cooling methods had the most significant influence on both surface roughness and tool wear, followed by feed rate, depth of cut, and cutting speed, respectively. Selecting appropriate cutting parameters in combination with a suitable cooling approach is essential to enhance efficiency and surface quality in ceramic milling processes.

Keywords: cooling method, surface roughness, tool wear, ceramic milling, Taguchi method

1. บทนำ

เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) เป็นเซรามิกที่มีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยม ได้แก่ ความแข็งสูง ทนต่อการสึกหรอ และเป็นฉนวนความร้อนดีจึงถูกใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ และการบิน [1][2] แต่ความแข็ง และเปราะที่สูงทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดสูง และได้คุณภาพผิวงานต่ำ การกัดเซอร์โคเนียจึงนิยมทำในสภาพที่ยังเผาไม่เต็มที่โดยใช้เครื่องมือคาร์ไบด์แต่ถ้าต้องกัดวัสดุที่เผาเต็มที่จะต้องใช้เครื่องมือเพชรสังเคราะห์ (PCD) [1][3] ปัจจัยที่สำคัญต่อการกัด CNC ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกกัดซึ่งสำหรับเซอร์โคเนียนั้น ความลึกกัดส่งผลต่อความหยาบผิวมากที่สุด รองลงมาคือความเร็วตัด และอัตราป้อน [4][5] ด้านการหล่อเย็นปริมาณน้อย (Minimum Quantity Lubrication, MQL) ซึ่งใช้น้ำมันหล่อลื่นในปริมาณน้อยพบว่าช่วยลดแรงเสียดทาน ลดอุณหภูมิบริเวณตัด และลดการสึกหรอของเครื่องมือได้ดีกว่าการกัดแบบแห้งหรือไม่ใช้สารหล่อเย็น (Dry) [6][7] ถึงแม้งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษากับวัสดุโลหะ แต่คาดว่า MQL จะมีประโยชน์กับการกัดเซรามิกแข็งอย่าง ZrO_2 เนื่องจากช่วยลดปัญหาความร้อนสะสม [8][9] วิธี Taguchi เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบมีประสิทธิภาพใช้การทดลองน้อยแต่ให้ผลชัดเจนพบว่าเหมาะสำหรับศึกษาผลของปัจจัยการกัด และเทคนิค MQL ได้อย่างเป็นระบบ [4][5] อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการกัดเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ยังขาดการศึกษาที่ครอบคลุมภายใต้เทคนิค MQL โดยใช้วิธี Taguchi จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้เพื่อเติมเต็มช่องว่างด้านองค์ความรู้ และระบุเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกัดเซอร์โคเนียด้วย MQL [1][6][8]

งานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองด้วยตาราง Taguchi L9 เพื่อตรวจสอบอิทธิพลเชิงประสานของความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะกินลึก และรูปแบบการหล่อเย็นต่อความหยาบผิว และการสึกหรอของดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์เคลือบพร้อมเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสภาวะการหล่อเย็นแบบแห้ง น้ำท่วม และ MQL อย่างเป็นระบบ ผลลัพธ์จะได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเลือกสภาพการกัด ZrO_2 ที่ให้คุณภาพผิวสูง ลดการสึกหรอของเครื่องมือตัด และลดการใช้สารหล่อเย็น ตอบโจทย์ทั้งประสิทธิภาพเศรษฐกิจ และการผลิตสีเขียวอย่างชัดเจน [11]

2. วัสดุและเครื่องมือ

2.1 วัสดุ และเครื่องมือ

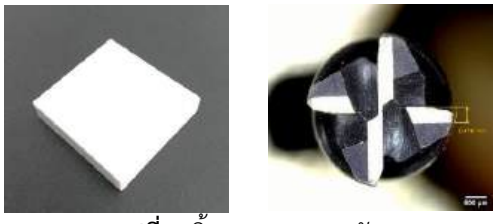
ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นแผ่นเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ขนาด 30 × 30 × 5 มม. ซึ่งมีโครงสร้างละเอียด และความแข็งสูงเหมาะต่อการประเมินประสิทธิภาพการกัดวัสดุเซรามิกขั้นสูง เครื่องจักรที่ใช้คือ

เครื่องกัด CNC แบบ 3 แกน ซึ่งให้ความเที่ยงตรง และเสถียรภาพในการตัดเฉือน ส่วนเครื่องมือตัดเลือกใช้ดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์เคลือบ TiAlN ชนิด 4 ฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อให้ทนต่ออุณหภูมิสูง และลดแรงเสียดทานระหว่างการตัด

สำหรับระบบหล่อเย็น-หล่อลื่นกำหนดไว้สามรูปแบบ ได้แก่ การกัดแบบแห้ง (Dry) เป็นการไม่ใช้สารหล่อเย็น การหล่อเย็นแบบน้ำท่วม (Flood) ด้วยอิมัลชันน้ำมัน-น้ำ ความเข้มข้น 7 % และการหล่อเย็น-หล่อลื่นปริมาณน้อย (MQL) โดยใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมหลักจากน้ำมันคาโนล่าพ่นในรูปละอองละเอียด อัตราการไหลเฉลี่ย 30 มล./ชั่วโมง ภายใต้แรงดันลม 6 บาร์ ทั้งนี้การตรวจวัดความหยาบผิวดำเนินการด้วยเครื่องวัดความหยาบแบบ stylus (Mitutoyo) ตามมาตรฐาน ISO 4287 ส่วนการสังเกต และวัดความสึกหรอของคมตัด (VB) ใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล Dino-Lite กำลังขยายสูงเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกของกลไกการสึกกร่อนหลังการกัดในแต่ละเงื่อนไขการหล่อเย็น-หล่อลื่น

ตารางที่ 1 วัสดุชิ้นงาน และดอกกัด

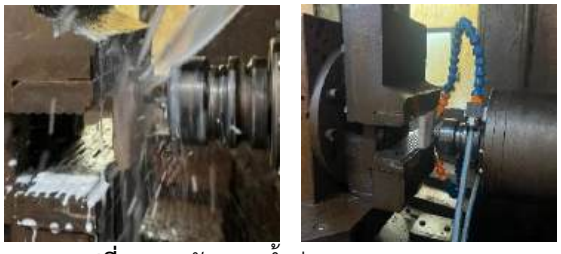
วัสดุชิ้นงาน	เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)
เครื่องมือตัด (End-mill)	ดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์เคลือบ TiAlN, 4 ฟัน, Ø 4 มม.



รูปที่ 1 ชิ้นงาน และดอกกัด

รูปที่ 2 การติดตั้งการหล่อเย็นแบบ MQL

รูปที่ 1 แสดงแผ่นเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ซ้าย) ซึ่งใช้เป็นชิ้นงานทดสอบ และภาพมุมมองด้านปลายของดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์เคลือบ TiAlN ขนาด Ø 4 มม. 4 ฟัน (ขวา) ที่ใช้ในการกัด รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งระบบ MQL ในเครื่องกัด CNC ประกอบด้วยถังจ่ายน้ำมันคาโนล่า Accube Lube (ซ้าย) และหัวฉีดละอองน้ำมัน-อากาศที่ปรับทิศทางให้พ่นเข้าสู่เขตตัดบริเวณปลายดอกเอ็นมิล (ขวา)



รูปที่ 3 การกัดแบบน้ำท่วม และแบบ MQL

รูปที่ 3 เปรียบเทียบสภาวะการกัดเซอร์โคเนียมไดออกไซด์แบบน้ำท่วม (ซ้าย) ที่ใช้สารหล่อเย็นปริมาณมากกับการกัดภายใต้ MQL (ขวา) ซึ่งพ่นละอองน้ำมันคาโนล่าปริมาณน้อยตรงสู่คมตัด

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองแบบ Taguchi ใช้ Orthogonal Array (OA) เพื่อกำหนดชุดการทดลองจำนวนน้อยแต่ยังแยกวิเคราะห์ผลหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยได้อย่างเป็นอิสระ ตัวชี้วัดคืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise, S/N) ซึ่งรวมข้อมูลค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนทำให้ได้สภาวะกระบวนการที่ทนต่อความแปรปรวนภายนอก สำหรับคุณลักษณะที่ต้องการค่าให้น้อยที่สุด เช่น ความหยาบผิว และการสึกหรอโดยใช้เกณฑ์ Smaller-is-Better คำนวณ S/N ตามสมการ

$$S/N_{SB} = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \qquad (1)$$

เมื่อ y_i คือค่าผลตอบสนองในการทำซ้ำครั้งที่ i และ n คือจำนวนการทำซ้ำ ค่า S/N ที่สูงกว่าจะบ่งชี้ว่าผลตอบสนองต่ำ และมีความเสถียรตามเป้าหมายการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ 1 สรุปปัจจัยการทดลอง และระดับที่ใช้ในแบบแผน Taguchi L9 ประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ (A) ชนิดการหล่อเย็นมี 3 ระดับคือการกัดแบบแห้ง (Dry), น้ำท่วม (Flood) และ MQL; (B) ความเร็วตัด กำหนดที่ 100, 110 และ 120 ม./นาที; (C) อัตราป้อน 20, 25 และ 30 มม./

นาที และ (D) ความลึกตัด 0.1, 0.2 และ 0.3 มม. การจับคู่ระดับต่าง ๆ ตามอาร์เรย์ L9 ช่วยลดจำนวนทดลองในขณะที่ยังครอบคลุมผลกระทบของทุกปัจจัยต่อความหยาบผิว และการสึกหรอของดอกกัดได้ครบถ้วน

ตารางที่ 1 ระดับของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3
A ชนิดการหล่อเย็น	Dry	Flood	MQL
B ความเร็วตัด (m/min)	100	110	120
C อัตราป้อน (mm/min)	20	25	30
D ความลึกตัด (mm)	0.1	0.2	0.3

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 ผลของ S/N ของความหยาบผิว

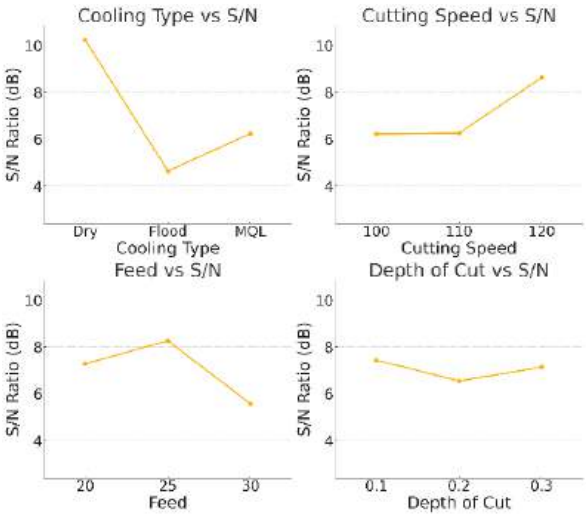
Run	A ชนิดการหล่อเย็น	B ความเร็วตัด	C อัตราป้อน	D ความลึกตัด	S/N
1	Dry	100	20	0.1	10.06
2	Dry	110	25	0.2	10.20
3	Dry	120	30	0.3	10.45
4	Flood	100	25	0.3	5.14
5	Flood	110	30	0.1	2.78
6	Flood	120	20	0.2	5.98
7	MQL	100	30	0.2	3.46
8	MQL	110	20	0.3	5.79
9	MQL	120	25	0.1	9.44

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองตามแบบแผนการทดลองของ Taguchi (L9) โดยเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) ของค่าความหยาบผิวภายใต้สภาวะการตัดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยชนิดของการหล่อเย็น, ความเร็วตัด, อัตราป้อน และความลึกตัดโดยใช้เกณฑ์ Smaller-is-Better เพื่อเน้นการลดค่าความหยาบผิวให้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงผลการตอบสนองของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สำหรับค่าความหยาบผิวภายใต้การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยกระบวนการ ได้แก่ ชนิดการหล่อเย็น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด โดยใช้เกณฑ์ Smaller-is-Better ในการวิเคราะห์ จากผลการคำนวณพบว่าชนิดการหล่อเย็นมีผลกระทบต่อค่า S/N มากที่สุด รองลงมาคืออัตราป้อน ความเร็วตัด และความลึกตัดตามลำดับ สะท้อนว่าการเลือกชนิดการหล่อเย็นที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการลดความหยาบผิวของชิ้นงาน

ตารางที่ 3 การตอบสนองของค่า S/N ของความหยาบผิว

Level	Cooling Type	Cutting speed	Feed	Depth of cut
1	10.24	6.22	7.28	7.43
2	4.64	6.26	8.26	6.55
3	6.24	8.63	5.57	7.13
Delta	5.60	2.41	2.70	0.88
Rank	1	3	2	4



รูปที่ 4 แสดงกราฟ Main Effects Plot ของค่า S/N สำหรับความหยาบผิว

รูปที่ 4 แสดงกราฟ Main Effects Plot ของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สำหรับค่าความหยาบผิวโดยพิจารณาผลกระทบจากชนิดการหล่อเย็น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด การวิเคราะห์พบว่าชนิดการหล่อเย็นแบบการกัดแบบแห้งให้ค่า S/N สูงที่สุด แสดงถึงคุณภาพผิวที่ดีที่สุด ขณะที่การเพิ่มความเร็วตัดถึง 120 เมตร/นาที และอัตราป้อน 25 มิลลิเมตร/นาที ช่วยเพิ่มค่า S/N เช่นกัน ส่วนความลึกตัดที่ 0.1 มิลลิเมตรให้ผลดีที่สุด

ในการลดความหยาบผิว โดยลำดับความสำคัญของปัจจัยตามค่า Delta คือ ชนิดการหล่อเย็น อัตราป้อน ความเร็วตัด และความลึกตัดตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลของ S/N การสึกหรอของดอกกัด

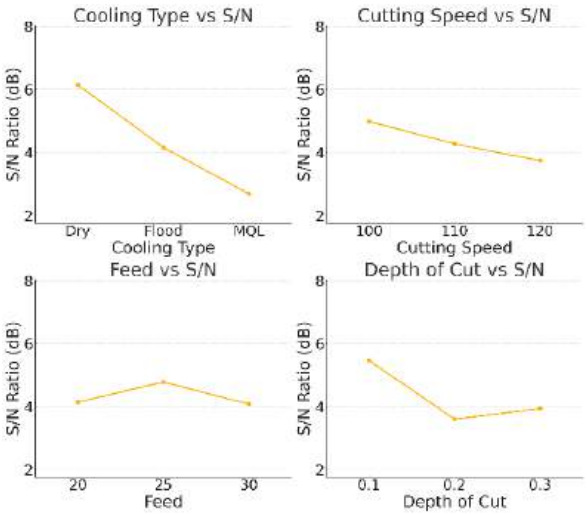
Run	A ชนิดการหล่อเย็น	B ความเร็วตัด	C อัตราป้อน	D ความลึกตัด	S/N
1	Dry	100	20	0.1	7.74
2	Dry	110	25	0.2	5.81
3	Dry	120	30	0.3	4.91
4	Flood	100	25	0.3	4.86
5	Flood	110	30	0.1	4.98
6	Flood	120	20	0.2	2.65
7	MQL	100	30	0.2	2.36
8	MQL	110	20	0.3	2.05
9	MQL	120	25	0.1	3.67

ตารางที่ 4 แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สำหรับตัวแปรตอบสนองด้านการสึกหรอของดอกกัดภายใต้สภาวะการตัดที่แตกต่างกันโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ Smaller-is-Better เพื่อประเมินผลกระทบของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ชนิดการหล่อเย็น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด

ตารางที่ 5 การตอบสนองของค่า S/N ของการสึกหรอของดอกกัด

Level	Cooling type	Cutting speed	Feed	Depth of cut
1	6.15	4.99	4.15	5.46
2	4.16	4.28	4.78	3.61
3	2.69	3.74	4.08	3.94
Delta	3.46	1.24	0.70	1.86
Rank	1	3	4	2

ตารางที่ 5 แสดงผลการตอบสนองของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สำหรับการสึกหรอของดอกกัดโดยวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดการหล่อเย็น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด ผลการวิเคราะห์พบว่าชนิดการหล่อเย็นมีอิทธิพลต่อค่า S/N มากที่สุด รองลงมาคือความลึกตัด ความเร็วตัด และอัตราป้อน ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเลือกชนิดการหล่อเย็นที่เหมาะสมและการควบคุมความลึกตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดการสึกหรอของเครื่องมือในกระบวนการตัด



รูปที่ 5 แสดงกราฟ Main Effects Plot ของค่า S/N สำหรับการสึกหรอดอกกัด

รูปที่ 5 แสดงกราฟ Main Effects Plot ของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สำหรับการสึกหรอของดอกกัดโดยวิเคราะห์ผลกระทบจากชนิดการหล่อเย็น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด ผลการวิเคราะห์พบว่าการใช้ชนิดการหล่อเย็นแบบการกัดแบบแห้งช่วยให้ได้ค่า S/N สูงที่สุดซึ่งสะท้อนถึงการต้านการสึกหรอที่ดีที่สุด ขณะที่การเพิ่มความเร็วตัด และการควบคุมอัตราป้อนมีแนวโน้มช่วยลดการสึกหรอเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าความลึกตัดที่ต่ำที่สุด (0.1 มิลลิเมตร) ส่งผลให้ค่า S/N สูงสุดในการทดลองทั้งหมด

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่าการหล่อเย็นด้วยวิธี MQL มีแนวโน้มให้คุณภาพการกัดที่ดีกว่าการหล่อเย็นแบบน้ำท่วม แต่ยังมีคุณภาพด้อยกว่าการตัดแบบแห้งเล็กน้อย สาเหตุหลักเนื่องจากในกระบวนการกัดเซรามิกจะเกิดผงละเอียดจากเศษวัสดุ เมื่อมีน้ำหรือสารหล่อเย็นผงเหล่านี้จะจับตัวเป็นก้อนเหนียว และเกาะติดกับคมตัดส่งผลให้เกิดการสึกหรอของเครื่องมือ และทำให้ผิวชิ้นงานหยาบขึ้น ในทางกลับกันการกัดแบบแห้งสามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้ ส่งผลให้ได้ผิวชิ้นงานที่เรียบกว่า แม้ MQL จะมีข้อด้อยบางประการแต่ก็ยังมีข้อได้เปรียบในด้านการลดการใช้สารหล่อเย็นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดต้นทุนการผลิต

ทั้งนี้สำหรับการกัดวัสดุเซรามิกที่มีความเปราะ และเกิดเศษผงมาก แนวทางที่น่าสนใจเพิ่มเติมคือการประยุกต์ใช้ระบบลมเย็น (Cold Air) เพื่อช่วยระบายความร้อน และเป่าเศษผงออกจากเขตตัดซึ่งอาจช่วยยืดอายุเครื่องมือ และปรับปรุงคุณภาพผิวได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองกัดวัสดุเซรามิกโดยใช้วิธีการหล่อเย็นที่แตกต่างกัน ได้แก่ การกัดแบบแห้ง (Dry), การหล่อเย็นแบบน้ำท่วม (Flood) และการหล่อเย็นแบบปริมาณน้อย (MQL) พบว่าการกัดแบบแห้งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในแง่ของค่าความหยาบผิว และการสึกหรอของดอกกัดโดยให้ค่า S/N สูงที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงผิวงานที่เรียบ และแรงต้านการสึกหรอที่ดี สาเหตุหลักมาจากการที่ในสภาวะแห้งผงเซรามิกที่เกิดจากการตัดไม่รวมตัวเป็นก้อนเหนียวที่เกาะติดกับคมตัดเหมือนในสภาวะที่มีสารหล่อเย็น

สำหรับการหล่อเย็นแบบน้ำท่วมพบว่าค่า S/N ต่ำที่สุดทั้งในด้านความหยาบผิว และการสึกหรอ เนื่องจากผงเซรามิกมีแนวโน้มเกาะติดคมตัดมากขึ้นส่งผลให้เกิดการสึกหรอเร็วและผิวชิ้นงานหยาบ ขณะที่ MQL ให้ผลลัพธ์ดีกว่าการหล่อเย็นแบบน้ำท่วมโดยเฉพาะในด้านการลดการสึกหรอ และยังมีข้อดีในด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารหล่อเย็นในปริมาณน้อย เมื่อพิจารณาปัจจัยกระบวนการพบว่า:

- ความเร็วตัด (Cutting Speed) มีผลต่อการลดค่าความหยาบผิวอย่างชัดเจนโดยความเร็วตัดสูงช่วยให้ผิวงานเรียบขึ้น
- อัตราป้อน (Feed Rate) ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวและการสึกหรอเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่าที่สูง
- ความลึกตัด (Depth of Cut) มีอิทธิพลรองลงมาโดยความลึกตัดมากมีแนวโน้มเพิ่มการสึกหรอแต่มีผลต่อความหยาบผิวไม่เด่นชัด

ผลการวิเคราะห์ค่า Delta ในตารางการตอบสนองของค่า S/N แสดงให้เห็นว่าชนิดการหล่อเย็นมีผลมากที่สุดต่อทั้งความหยาบผิว และการสึกหรอ รองลงมาคืออัตราป้อน ความลึกตัด และความเร็วตัดตามลำดับ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้ระบบลมเย็นอาจเป็นแนวทางที่เหมาะสมในอนาคตสำหรับการกัดเซรามิกเพื่อช่วยระบายความร้อน ขจัดเศษผงออกจากเขตตัดและลดโอกาสการเกิดการเกาะติดของเศษวัสดุกับคมตัดซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือ และคุณภาพผิว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ CNC และระบบ MQL ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิค และการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Yan, X., Li, X., Zhao, Z., Dong, S., & An, L. (2022). Optimization of machining parameters for milling zirconia ceramics by polycrystalline diamond tool. *Materials*, 15(1), 208.

[2] Kongkiatkamon, S., Rokaya, D., Kengtanyakich, S., & Peampring, C. (2023). Current classification of zirconia in dentistry: An updated review. *PeerJ*, 11, e15669.

[3] Irvine, D., Goh, W. T., Dailami, F., & Matthews, J. (2019). The analysis of tool wear mechanisms in the machining of pre-sintered zirconia dental crowns. *Procedia Manufacturing*, 38, 1026–1033.

[4] Sarikaya, M., & Güllü, A. (2014). Taguchi design and response surface methodology-based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604–616.

[5] Waghoo, P., Kumar, V., & Lodha, R. (2018). Optimization of surface roughness for milling of zirconia ceramic material. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 5(5), 173–178.

[6] Parray, M. A., Khan, M. J., Fayaz, A., & Gulzar, A. (2025). A comprehensive exploration of minimum quantity lubrication in machining process. *Journal of Mechanical Engineering and*

Sciences, 19(1), Article 0818.

[7] Salur, E., Kuntoğlu, M., Aslan, A., & Pimenov, D. Y. (2021). The effects of MQL and dry environments on tool wear, cutting temperature, and power consumption during end milling of AISI 1040 steel. *Metals*, 11(11), 1674.

[8] Khatai, S., Sahoo, A. K., Kumar, R., & Panda, A. (2025). Sustainable hard machining under zirconia nano-cutting fluid: A step towards a green and cleaner manufacturing process. *Measurement*, 242, 116087.

[9] Demarbaix, A., Mulliez, M., Rivière-Lorphèvre, E., Spitaels, L., Duterte, C., Preux, N., & Ducobu, F. (2021). Green ceramic machining: Determination of the recommended feed rate for Y-TZP milling. *Ceramics*, 4(3), 231.

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยไหม้ ในกระบวนการกัดขึ้นรูป ต่างหูจิวระเบิด ที่ทำจากไม้มะฮอกกานี

Study on the factors affecting wood burning marks in milling process of expansion earrings from mahogany wood plugs

มนัส ศรีสวัสดิ์[1*] รัชกรณ์ โฉมแฉล้ม[1] ติณญาณา มาตกุล[1] อรรถพล สุขีวุฒิ[2] พุฒิพงศ์ ตาแก้ว[2]
ประดิษฐ์ สังข์ศิริ[3] สาโรช สมัยมาก[3] และ ดุสิต อิ่มอ่อง[3]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
[2] แผนกวิชาช่างเขียนแบบเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
[3] แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา

Manus Sriswat[1*] Ratchakorn Chomchalam[1] Tinyana Matkul[1] Atthapol Sukeevuth[2] Phuttipong Takaew
Pradit Sangsiri[3] Saroch Samaimak[3] and Dusit Imong[3]
E-mail: manus_mgf@pit.ac.th*

[1] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology
[2] Department of Mechanical Drafting, Ayutthaya Technical College
[3] Department of Machine Shop, Ayutthaya Technical College
E-mail: manus_mgf@pit.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดรอยไหม้จากกระบวนการกัดไม้มะฮอกกานีในอุตสาหกรรมการผลิตต่างหูจิวระเบิด (Plugs earring) ซึ่งในกระบวนการผลิตในปัจจุบันมีอัตราการเกิดรอยไหม้ที่ผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตถึง 14.6% โดยชิ้นงานที่เกิดรอยไหม้จะถูกกำจัดออกเนื่องจากรอยไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นฝังลึกเข้าไปในผิวไม้ ส่งผลต่อความสวยงามของผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่สามารถขัดหรือแก้ไขให้รอยไหม้หายออกได้ โดยในกระบวนการผลิตในปัจจุบันใช้เครื่องกัดมินิซีเอ็นซีในการกัดขึ้นรูป และใช้ดอกเราเตอร์คาไบด์ ที่มีความหนา 8 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ในการกัดด้านข้างรอบตัวต่างหูให้เป็นร่องลึกเข้าไปในเนื้อไม้ 5 mm เป็นรูปแบบต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ จากการศึกษาพบว่าสาเหตุที่เกิดรอยไหม้ที่ผิวชิ้นงาน เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดขึ้นรูป ซึ่งมีสาเหตุจากเงื่อนไขในการกัดขึ้นรูป ได้แก่ ความเร็วรอบในการกัด ความเร็วเดินกัด คุณสมบัติของไม้ ได้แก่ ความแข็ง และความชื้นของเนื้อไม้ ทางผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาเงื่อนไขการกัดขึ้นรูปที่เหมาะสม ศึกษาความชื้นและความแข็งของเนื้อไม้ที่ส่งผลต่อรอยไหม้ โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความร้อนที่ผิวไม้ระหว่างกัดงาน อบไม้เพื่อควบคุมความชื้นที่ระดับต่างๆ รวมถึงทดสอบความแข็งของเนื้อไม้มะฮอกกานีที่ใช้ เนื่องจากไม้มะฮอกกานีที่ใช้มีแหล่งที่มาหลากหลาย จากการศึกษาพบว่า ไม้มะฮอกกานีที่ใช้มีความแข็ง 838+14.2 (Janka) โดยไม้มะฮอกกานีที่มีความชื้นไม่เกิน 20% และใช้ความเร็วรอบในการกัดขึ้นรูปที่ 9,000 รอบต่อนาที พบว่ามีความร้อนที่ผิวงานน้อยกว่า 110°C ซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดรอยไหม้ที่ผิวเนื้อไม้ ส่วนความเร็วเดินกัดไม่ส่งผลต่อการเกิดรอยไหม้

คำหลัก ไม้มะฮอกกานี, รอยไหม้, กระบวนการกัดขึ้นรูป, เครื่องกัดมินิซีเอ็นซี

Abstract

This research study aims to solve the problem of wood burning marks caused by the milling process of mahogany in the production of plug earrings. Currently, the production process has a wood burn mark rate on the workpiece surface of up to 14.6%. Workpieces that exhibit wood burning marks are discarded because the burns penetrate deeply into the wood's surface, affecting the aesthetic appeal of the product, and cannot be polished or repaired to remove the wood burning marks. In the current production process, mini-CNC milling machine is used for shaping, along with a carbide router bit that has a thickness of 8 millimeters and a diameter of 50 millimeters by grooving into the wood with a depth of 5 millimeters, according to the designed patterns. The study found that the cause of the wood burning marks on the workpiece surface arises from the heat generated during the milling process, which is caused by milling conditions such as spindle speed, feed rate, and the properties of mahogany wood which are hardness and moisture content. The researchers designed experiments to investigate suitable milling conditions and study the moisture and hardness of the wood that affect to wood burning marks. Heat measurement devices are installed on the wood surface during milling, dried the wood to control moisture at various levels, and tested the hardness of the mahogany used, as it originated from various sources. The study found that the mahogany used has a hardness of 838±14.2 (Janka), with moisture levels not exceeding 20%, and a spindle speed for shaping of 9,000 RPM, which resulted in surface temperatures below 110°C. This was affected to prevent the occurrence of wood burning marks on the wood surface, while the feed rate did not influence the occurrence of wood burning marks.

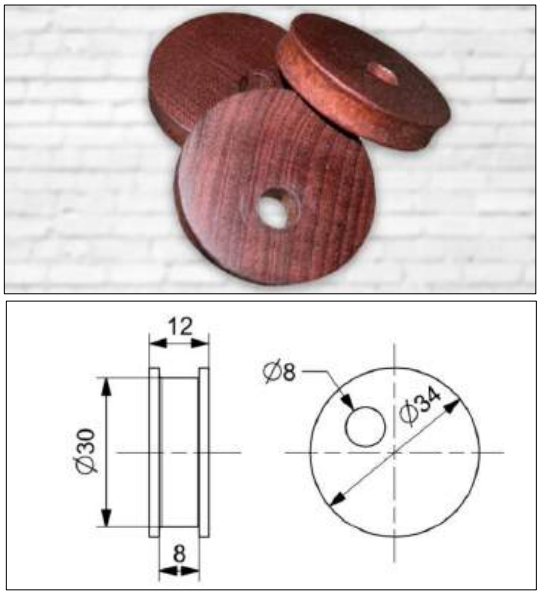
Keywords: mahogany wood, wood burning marks, milling process, mini-CNC milling machine

1. บทนำ

ไม้มะฮอกกานีเป็นไม้เนื้อแข็ง มีคุณสมบัติด้านความทนทาน และแข็งแรง ลักษณะทายกายภาพมีโทนสีน้ำตาล-แดง เนื้อไม้มีความละเอียด และมีลวดลายที่สวยงาม [1] ,[2], [3], [4] ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์จากไม้มะฮอกกานีนั้น มีความหรูหราส่งผลให้มีราคาสูง ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับทำเฟอร์นิเจอร์ วัสดุตกแต่งบ้าน ยานพาหนะ รวมถึงเครื่องดนตรี (กีต้าร์) เป็นต้น [5], [6] เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวของไม้มะฮอกกานี จึงมีการนำมาประยุกต์ผลิตเป็นเครื่องประดับต่างๆ เช่น ลูกปัด จี้ และต่างหู [6], [7] โดยเฉพาะพฤติกรรมวัยรุ่นไทยในปัจจุบันเป็นสิ่งที่ถูกหล่อหลอมมาจากสังคมจนกลายเป็นค่านิยมด้วยนิสัยของวัยรุ่นที่อยู่ในวัยอยากรู้ อยากลอง อยากเลียนแบบ และต้องการความตื่นเต้น [8] เช่น ใส่จิว หรือต่างหู ตามร่างกาย ได้แก่ หู จมูก ปาก คิว สะดือ เป็นต้น ซึ่งเป็นแฟชั่นจากต่างประเทศที่มีดารา นักร้อง นักแสดง เป็นต้นแบบ จึงส่งผลให้ผู้ผลิตนั้นต้องออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตอบรับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยม นั้นคือ ต่างหูจิวระเบิด (Plugs earring) หรือที่เรียกกันว่าการระเบิดหู โดยต่างหูจิวระเบิดผลิตได้จากวัสดุหลากหลาย ตามความต้องการของกลุ่มลูกค้า ได้แก่ กลุ่มวัสดุโลหะที่ไม่เป็นสนิม โลหะมูลค่าสูง เช่น เงิน ทอง วัสดุพลาสติก และไม้เนื้อแข็ง [9], [10], โดยในกระบวนผลิตต่างหูจิวระเบิดจากไม้มะฮอกกานี พบปัญหาเกิดรอยไหม้ที่ผิวเนื้อไม้จากขั้นตอนกัดร่องด้านข้างรอบตัวต่างหู ซึ่งส่งผลให้เกิดของเสียจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยไหม้ที่ผิวเนื้อไม้จากขั้นตอนกัดร่องด้านข้างรอบตัวต่างหู เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดรอยไหม้ หรือลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อต้นทุนการผลิต

2. วัสดุ อุปกรณ์ การติดตั้ง และเงื่อนไขในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ต่างหูจิวไม้มะฮอกกานี มีลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 mm หนา 12 mm เซาะร่องรอบวง ลึกในเนื้อไม้ 2 mm สูง 8 mm และเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 mm ภายในที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 1 รู ดังแสดงรูปร่างและรายละเอียดผลิตภัณฑ์ต่างหูจิวไม้มะฮอกกานี ในรูปที่ 1 ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลองเป็นวัสดุและอุปกรณ์ ที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิตต่างหูจิวระเบิดของบริษัทผู้ผลิต โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองด้วยการศึกษาตัวแปรต่างๆในการกัดร่องด้านข้างต่างหู โดยใช้เงื่อนไขในการกัดร่องด้านข้างต่างหูที่ใช้จริงก่อนการศึกษาเป็นตัวแปรควบคุม รวมทั้งได้ออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดรอยไหม้ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ต่างหูจิวไม้มะฮอกกานี และรายละเอียด

2.1 ไม้มะฮอกกานี

ไม้มะฮอกกานีที่ใช้เป็นไม้มะฮอกกานีที่นำเข้าจากทวีปแอฟริกา เนื้อไม้มีความละเอียด มีสีโทนน้ำตาล ดังแสดงลักษณะทางกายภาพของไม้มะฮอกกานีที่ใช้ในการทดลองในรูปที่ 2 จากการทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน Janka ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1037 โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์แบบตั้งพื้น (Zwick/Roell: Z100) ในการทดสอบ โดยสุ่มทดสอบไม้มะฮอกานี จำนวน 50 ชิ้น จากสต๊อคไม้ 5 ล๊อต โดยไม้ที่ใช้ทดสอบผ่านการควบคุมความชื้นไม้ให้มีความชื้นไม่เกิน 12% ด้วยกระบวนการอบ จากการทดสอบพบว่ามีความแข็งเฉลี่ยที่ 838+14.2 (Janka)

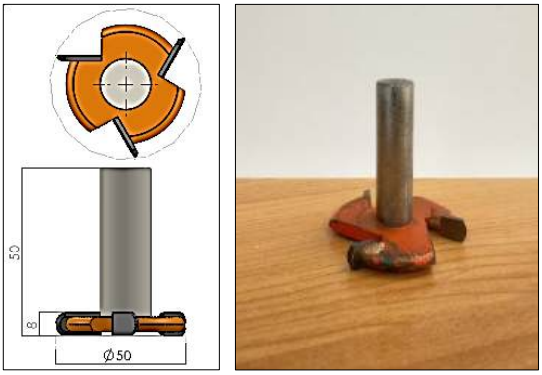
รูปที่ 2 ไม้มะฮอกกานีที่ใช้ในการทดลอง

2.2 เครื่องมินิซีเอ็นซี และดอกเราเตอร์

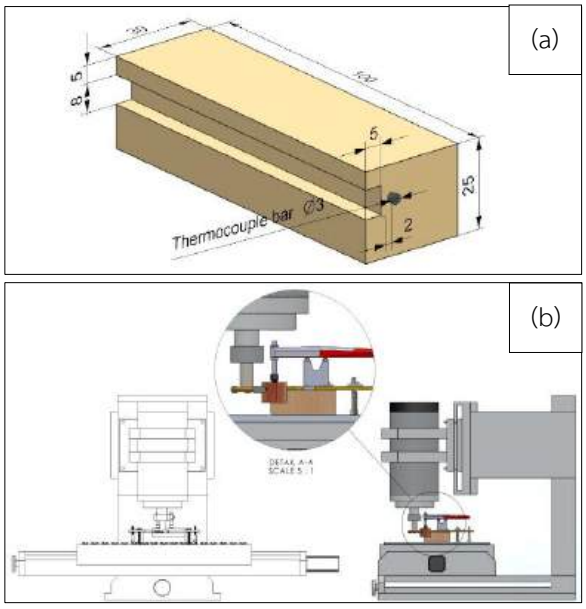
ในกัดร่องด้านข้างสำหรับเป็นร่องในการสวมรูหู ใช้เครื่องมินิซีเอ็นซีในการกัด มีความเร็วรอบสูงสุด 2,400 รอบต่อนาที โดยติดตั้งดอกเราเตอร์ที่วัสดุคาไบด์ แบบ 3 ฟัน หนา 8 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ดังแสดงเครื่องมินิซีเอ็นซี และดอกเราเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในรูปที่ 3

2.3 การออกแบบการทดลอง

จากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ต่างหูจิวไม้มะฮอกกานี ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองโดยการเป็นแนวตรงลึกเข้าไปในเนื้อไม้ 5 mm ทดลองกัดงานเป็นระยะทาง 100 mm (เส้นรอบวงผลิตภัณฑ์ต่างหู 92.25 mm) โดยกำหนดให้ขอบด้านบนดอกเราเตอร์ต่ำกว่าผิวไม้ด้านบน 5 mm ส่วนชิ้นงานทดสอบมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 30x100x25 mm เจาะรูขนาด 3 mm ห่างจากผนังร่อง 2 mm เพื่อติดตั้งแท่งเทอร์ โมคัปเปิล Type K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ยาว 100 mm เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผนังผิวไม้ด้านใน ส่งข้อมูลความร้อนและบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปและยังเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ (GRAPHTEC: Midi Logger GL840) และที่ผิวร่องกัดด้านนอกจะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิเลเซอร์ (Laser thermometer) (Fluke: 64 MAX) วัดความร้อนหลังจากดอกเราเตอร์กัดผ่านไปทันที ดังแสดงรายละเอียดชิ้นงานทดสอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ดอกเราเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 รายละเอียดชิ้นงานทดสอบ และการติดตั้งอุปกรณ์
(a) รายละเอียดชิ้นงานทดสอบไม้มะฮอกกานี และ
(b) การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ อุปกรณ์ บนเครื่องกัดมินิซีเอ็นซี

2.4 เงื่อนไขในการกัดทดลอง

การกำหนดระดับของเงื่อนไขในการกัดทดลอง จากประสบการณ์ของพนักงานที่ผลิตพบว่าความเร็วรอบเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลให้เกิดรอยไหม้ที่ผิวไม้ โดยความเร็วที่ใช้อยู่ก่อนการศึกษาใช้ที่ 12,000–15,000 รอบต่อนาที ผู้วิจัยจึงกำหนดระดับความเร็วรอบทั้งหมด 4 ระดับได้แก่ 18,000, 15,000, 12,000, และ 9,000 รอบต่อนาที และกำหนดความเร็วเดินกัดจำนวน 3 ระดับได้แก่ 1,400, 1,600 และ 1,800 เมตรต่อนาที กำหนดความลึกตัดคงที่ที่ 5 mm โดยชิ้นงานทดสอบถูกนำไปอบไล่ความชื้นให้มีความชื้นในช่วง ≤15%, ≥15-20% และความชื้นที่อุณหภูมิห้อง (25±3%) ทุกเงื่อนไขทดลองทำซ้ำเงื่อนไขละ 5 ครั้ง ดังแสดงเงื่อนไขในการทดลองในตารางที่ 1

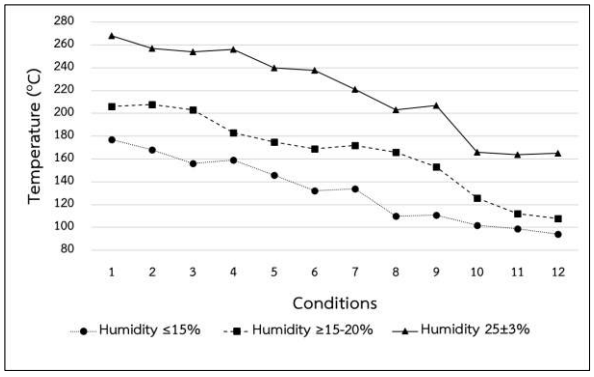
ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทดลอง

Conditions	Spindle Speed (rpm)	Feed (m/min)
1	18,000	1,400
2	18,000	1,600
3	18,000	1,800
4	15,000	1,400
5	15,000	1,600
6	15,000	1,800
7	12,000	1,400
8	12,000	1,600
9	12,000	1,800
10	9,000	1,400
11	9,000	1,600
12	9,000	1,800

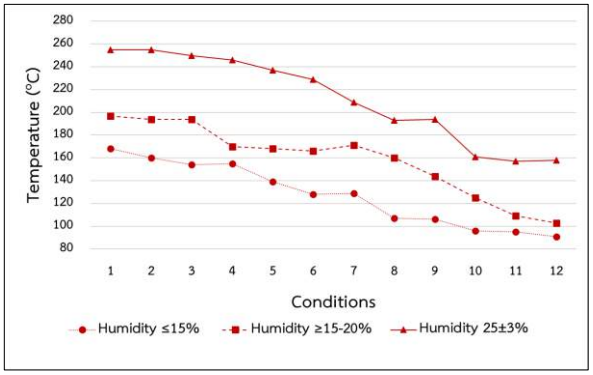
3. ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ผิวไม้มีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเร็วรอบที่ใช้ในการกัดที่สูงขึ้น [11], [12] ส่วนอุณหภูมิที่ผิวไม้มีแนวโน้มลดลงตามความเร็วเดินกัดที่ช้าลง [13], [14] และความชื้นที่ต่ำส่งผลให้ความร้อนที่ผิวไม้นั้นต่ำกว่าไม้ที่มีความชื้นสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ [15] ที่พบว่าความชื้นไม้ส่งผลต่อจุดติดไฟของไม้, โดยความร้อนที่ผิวไม้ที่สัมผัสกับดอกเราเตอร์โดยตรงจะมีอุณภูมิสูงกว่าอุณภูมิที่ผิวไม้ด้านในที่วัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิลเล็กน้อย โดยมีอุณหภูมิที่ต่างกันประมาณ 6.3±2°C เนื่องจากการวัดอุณหภูมิด้านในนั้น มีความหนาของเนื้อไม้จากผิวด้านนอกกับแท่งเทอร์โมคัปเปิล และแท่งเทอร์โมคัปเปิลไม่ได้สัมผัสกับผิวไม้ที่ถูกกัดด้วยดอกเราเตอร์โดยตรง โดยชิ้นงานทดสอบที่อบไล่ความชื้น ≤15% ที่ความเร็วรอบ

9,000 รอบต่อนาที ในทุกระดับความเร็วเดินกัด มีอุณหภูมิที่ผิวไม้เฉลี่ยต่ำกว่า 102°C และที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกัด 1,600 และ 1,800 เมตรต่อนาที มีอุณหภูมิที่ผิวไม้เฉลี่ยต่ำกว่า 110-110°C ไม่พบรอบไหม้ที่ผิวไม้ ส่วนเงื่อนไขการทดลองอื่นพบรอยไหม้ที่ผิวไม้ชิ้นงานทดสอบที่อบไล่ให้ความชื้นอยู่ในช่วง ≥15-20% เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดสอบที่ควบคุมความชื้น ≤15% ในทุกเงื่อนไขการทดลองมีอุณหภูมิที่ผิวไม้เฉลี่ยสูงกว่า 66.5°C โดยเงื่อนไขการทดลองที่ 11 และ 12 มีอุณหภูมิที่ผิวไม้เฉลี่ยต่ำกว่า 112°C ไม่พบรอบไหม้ที่ผิวไม้ ส่วนเงื่อนไขการทดลองอื่นพบรอยไหม้ที่ผิวไม้ทั้งหมด ส่วนชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีการอบไล่ความชื้น (ความชื้น 25±3%) ทุกเงื่อนไขการทดลองพบรอยไหม้ที่ผิวไม้ทั้งหมด โดยมีอุณหภูมิที่ผิวไม้ต่ำสุดที่ 182°C ที่เงื่อนไขการทดลองที่ 12 และสูงสุด 268°C ที่เงื่อนไขการทดลองที่ 1 โดยกลไกที่ไม้ที่มีความชื้นมากมีความร้อนที่ผิวไม้หลักจากผ่านกระบวนการกัด มากกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำเนื่องจาก นั้นมีสาเหตุจากไม้ที่มีความชื้นต่ำมีเนื้อไม้นั้นจะมีลักษณะแห้งและแข็งกว่าไม้ที่มีความชื้นสูง เมื่อผ่านกระบวนการตัดเฉือนไม้ที่มีเนื้อแข็งและแห้งเศษกัดถูกกำจัดออกได้ง่ายและไม่เกิดการยึดเกาะกับคมตัดของดอกเราเตอร์ ส่วนไม้ที่มีความชื้นสูงนั้นเศษกัดจะไปเกาะที่คมตัดดอกเราเตอร์ ประกอบกัดเนื้อไม้มีลักษณะอ่อนและชื้นกว่าจึงส่งผลให้เกิดความร้อนที่ผิวไม้มากกว่า [16] ดังแสดงอุณหภูมิที่ผิวไม้ด้านนอก ในรูปที่ 5 และอุณหภูมิที่ผิวไม้ด้านใน ในรูปที่ 6



รูปที่ 5 อุณหภูมิที่ผิวไม้ด้านนอก (วัดโดย Laser thermometer)



รูปที่ 6 อุณหภูมิที่ผิวไม้ด้านใน (วัดโดยเทอร์โมคัปเปิล)

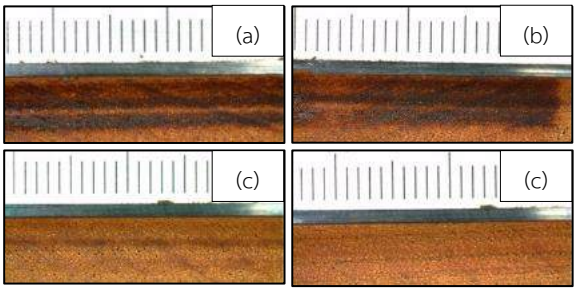
ตารางที่ 2 รอยไหม้ที่ผิวไม้ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

Conditions	Humidity (Wood)		
	≤15%	≥15-20%	25±3%
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X	X	X
5	X	X	X
6	X	X	X
7	X	X	X
8	√	X	X
9	√	X	X
10	√	X	X
11	√	√	X
12	√	√	X

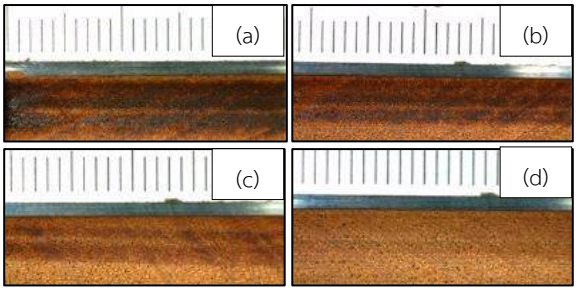
***หมายเหตุ** √ ไม่เกิดรอยไหม้, X เกิดรอยไหม้

ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากความเร็วเดินกัดที่ช้าส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมที่ผิวไม้มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดรอยไหม้ที่ผิวไม้ โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงขึ้นพบว่ามีรอยไหม้สีเข้มเกิดขึ้นตลอดทั้งแนวกัด ดังแสดงรอยไหม้ที่ผิวไม้ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ในตารางที่ 2 และลักษณะรอยไหม้ผิวไม้ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ที่ถ่ายจากกล้องสเตอริโอ (Leica: S9i) ที่ความชื้นไม้ ≤15% ในรูปที่ 7 ที่ความชื้นไม้ ≥15-20% ในรูปที่ 8 และที่ความชื้นไม้ 25±3% ในรูปที่ 9

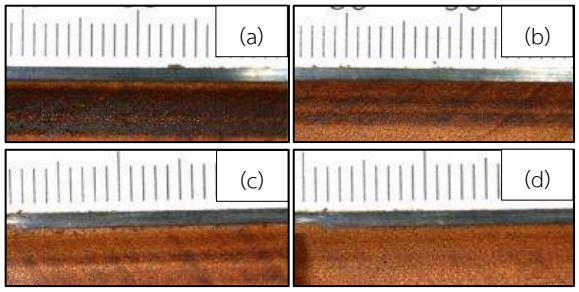
จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ผู้วิจัยได้นำเงื่อนไขการทดลองที่ 12 (N = 12,000 rpm/F=1,800 m/min) ซึ่งเป็นเงื่อนไขการทดลองที่ใช้เวลาในการผลิตต่ำที่สุด ที่อบไล่ความชื้นในช่วง ≥15-20% ไปทดลองกัดเดินเป็นวงกลมรอบชิ้นงาน ตามรายละเอียดผลิตภัณฑ์ต่างหูจิวไม้มะฮอกกานีในรูปที่ 1 จำนวน 20 ชิ้น พบว่าทั้งหมดไม่เกิดรอยไหม้ที่ผิวชิ้นไม้ ซึ่งสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิต จาก 14.6% เหลือ 0%



รูปที่ 7 ผิวไม้จากกระบวนการกัดที่ความเร็วรอบต่างๆ ความชื้นไม้ ≤15% และความเร็วตัด 1,800 m/min (a) S18,000, (b) S15,000, (c) S12,000 และ (d) S9,000



รูปที่ 8 ผิวไม้จากกระบวนการกัดที่ความเร็วรอบต่างๆ ความชื้นไม้ ≥15-20% และความเร็วตัด 1,800 m/min (a) S18,000, (b) S15,000, (c) S12,000 และ (d) S9,000



รูปที่ 9 ผิวไม้จากกระบวนการกัดที่ความเร็วรอบต่างๆ ความชื้นไม้ 25±3% และความเร็วตัด 1,800 m/min (a) S18,000, (b) S15,000, (c) S12,000 และ (d) S9,000

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าในการกัดร่องไม้มะฮอกกานีที่มีความแข็งในช่วง 838+14.2 (Janka) ให้ไม่เกิดรอยไหม้ที่ผิวไม้ นั้น ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกัดอยู่ที่ 9,000 รอบต่อนาที และควรอบไล่ความชื้นไม้ให้ไม่เกิน 20% ใช้ความเร็วเดินกัดที่ 1,800 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วเดินกัดที่ใช้เวลาในการผลิตต่ำที่สุด และมีความร้อนสะสมที่ผิวไม้ต่ำที่สุด ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่ผิวไม้ไม่เกิน 110°C

ทั้งนี้ไม้มะฮอกกานีจากแหล่งอื่นหรือไม้เนื้อแข็งชนิดอื่นๆ อาจมีความแข็งเนื้อไม้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเกิดรอยไหม้ในการตัดกัดแตกต่างออกไป ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมก่อนดำเนินผลิต

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Anoop E.V., Jijeesh C.M., Sindhumathi C.R. and Jayasree C.E., “Wood physical, Anatomical and Mechanical properties of Big Leaf Mahogany (Swietenia macrophylla Roxb) a potential exotic for South India”, Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences, Vol.2, (2014), pp 7-13.

[2] A. Bikoro Bi Athomo, S.P. Engozogho Anris, R. Safou-Tchiama and B. Charrie, “Chemical composition of African mahogany (K. ivorensis A. Chev) extractive and tannin structures of the bark

by MALDI-TOF", Industrial Crops and Products, Vol.133, (2018), pp 167-178.

[3] Emmanuel Appiah-Kubi, Charles Kwame Kankam, Kwasi Frimpong-Mensah and Emmanuel Opuni-Frimpong, "The bending strength and modulus of elasticity properties of plantation-grown Khaya ivorensis (African Mahogany) from Ghana", Journal of the Indian Academy of Wood Science, Vol.13, (2016), pp 48-54.

[4] Tamara S.F.A. Franca, Frederico J.N. Franca, Rachel A. Arango and Mercy Ogurunku, "Properties of African Mahogany Wood Commercially Available in the United States", Forest Products Journal, Vol.73, (2023), pp 339-349.

[5] Agustin P. Ruiz, Rolando Schimpf and Rolando H. Martínez, "Fine wood, architectural components, and furniture from Prosopis", Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume, Chapter 13, (2022), pp. 199-212.

[6] Jing Zeng and Deng Shuang, "The Development Direction of The New Chinese-style Mahogany Furniture Design-Based on Market Trend Concerning the Generation of 1980s/1990s", Advances in Social Science, Education and Humanities Research, Vol.33 101, (2017), pp 320-324.

[7] Ana Paula Pinho Pinheiro and José Roberto Moraes d'Almeida, "Peach palm: Pseudo-wood for sustainable jewelry design", Materials Today: Proceedings, Vol.33, (2020), pp 1869-1873.

[8] รัฐกานต์ กัณพิพัฒน์, "พฤติกรรมเลียนแบบกับค่านิยมการสักของวัยรุ่นหญิงในเขตกรุงเทพมหานคร, วารสารวิทยบริการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 25: (2557), หน้า 39-47.

[9] Pragati Singh, "A new age technique: In the ecosystem of mixed media in jewelry design", Materials Today: Proceedings, Vol.56, (2022), pp 3835-3840.

[10] ศุทธินี อัศวเบ็ญจาง, "การศึกษาพฤติกรรมและปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อสินค้าเครื่องประดับแฟชั่น, วิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล, (2558).

[11] Guquan Gu, Shujing Wu, Dazhong Wang, Shu Zhou, Lida Zhu and Changhe Li, "A review of the research on the variation of tool's motion trajectory and its influence on the formation mechanism of surface quality in ultrasonic vibration machining", Journal of Manufacturing Processes, Vol.107, (2023), pp 294-319.

[12] Yo Akiyama, Maiko Iwaki, Yuriko Komagamine, Shunsuke Minakuchi and Manabu Kanazawa, "Effect of Spindle Speed and Feed Rate on Surface Roughness and Milling Duration in the Fabrication of Milled Complete Dentures: An In Vitro Study", applied sciences, Vol.13, (2023), pp 1-11.

[13] Shamsuddin Sulaiman, Amir RoshanSoroosh Borazjani and Soroosh Borazjani, "Effect of Cutting Parameters on Tool-Chip Interface Temperature in an Orthogonal Turning Process" Advanced Materials Research, Vol.903, (2014), pp 21-26.

[14] Ni Chen, Hao Nan Li, Jinming Wu, Zhenjun Li, Liang Li Gongyu Liu and Ning He, "Advances in micro milling: From tool fabrication to process outcomes" International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.160, (2021), pp 103670.

[15] Alastair I. Bartlett, Rory M. Hadden and Luke A. Bisby, "A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction" Fire Technology, Vol.55, (2109), pp 1-49.

[16] G.W. Stachowiak and A.W. Batchelor, "11 Abrasive, Erosive and Cavitation Wear" Tribology Series, Vol.24, (2008), pp 557-612.

การศึกษาประสิทธิภาพของการเคลือบผิวแข็งในการต้านทานการสึกหรอของหัวพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์สามมิติที่ใช้วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์

Investigates the effectiveness of hard surface coatings in reducing wear on 3D printer nozzles used for 3D printing process with carbon fiber-reinforced PETG (PETG CF) filament

สราวุธ ทามี[1] ปฏิภาณ นิลเพ็ชร[1] และกุลชาติ จุลเพ็ญ[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Sarawoot Thamee[1] Patiparn Ninpetch[2] and Kunlachart Junlapen[*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: Kunlachart.J@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเคลือบผิวแข็งในการลดการสึกหรอของหัวพิมพ์ในเครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ โดยใช้หัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็งที่มีขนาดรูหัวพิมพ์ 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิด TiN, TiAlN, TiCN และ CrN ด้วยกระบวนการ PVD ภายใต้เงื่อนไขการพิมพ์ที่ความเร็วหัวพิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที อุณหภูมิหัวพิมพ์ 240 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐานพิมพ์ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บข้อมูลผลการสึกหรอและคุณภาพของชิ้นงานในช่วงปริมาณการพิมพ์ตั้งแต่ 100 ถึง 3,000 กรัม โดยพิจารณาค่าขนาดรูหัวพิมพ์ ความยาวรวมของหัวพิมพ์ ความหยาบผิว ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน X, Y และ Z รวมถึงน้ำหนักของชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าหัวพิมพ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบทั้งสี่ชนิดสามารถต้านทานการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีอัตราการสึกหรอของรูหัวพิมพ์ไม่เกินร้อยละ 0.32 ความยาวรวมหัวพิมพ์ไม่เกินร้อยละ 0.08 ความคลาดเคลื่อนของความสูงเลเยอร์ไม่เกินร้อยละ 0.11 ขนาดชิ้นงานในแนวแกน X และ Y คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.97 และในแนวแกน Z ไม่เกินร้อยละ 0.51 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการเคลือบผิวแข็งในการเพิ่มความทนทานและยืดอายุการใช้งานของหัวพิมพ์เมื่อใช้งานร่วมกับวัสดุที่มีคุณสมบัติการสึกหรอสูง เช่น PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์

คำหลัก การเคลือบผิวหัวพิมพ์สามมิติ การต้านทานการสึกหรอหัวพิมพ์สามมิติ วัสดุ PETG คาร์บอนไฟเบอร์

Abstract

This research investigates the effectiveness of hard surface coatings in reducing wear on 3D printer nozzles used for printing with carbon fiber-reinforced PETG (PETG CF) filament. The nozzles, made of hardened steel with a diameter of 0.6 mm, were coated using the Physical Vapor Deposition (PVD) process with four types of coatings: TiN, TiAlN, TiCN, and CrN. Printing was performed under consistent conditions: a nozzle travel speed of 30 mm/s, a nozzle temperature of 240°C, and a bed temperature of 70°C. Wear characteristics and print quality were evaluated across a range of printed material weights from 100 to 3,000 grams by measuring nozzle diameter, total nozzle length, surface roughness, part dimensions along the X, Y, and Z axes, and part weight. The results demonstrated that all four coating types of significantly improved nozzle wear resistance. The maximum observed wear in nozzle diameter was less than 0.32%, total nozzle length wear was under 0.08%, layer height deviation was below 0.11%, and dimensional deviations in the printed parts were within 0.97% in the X and Y axes, and 0.51% in the Z axis. These findings highlight the potential of hard surface coatings to extend nozzle lifespan when printing with highly abrasive composite materials such as PETG CF

Keywords: Hard surface coatings on 3D printer nozzles, Wear resistance, Carbon fiber-reinforced PETG

1. บทนำ

การพิมพ์สามมิติระบบ FDM (Fused Deposition Modeling) เป็นกระบวนการขึ้นรูปวัสดุที่ได้รับความนิยม เนื่องจากใช้งานง่าย วัสดุมีราคาถูกและหลากหลาย โดยทำงานผ่านการหลอมเส้นพลาสติกและฉีดออกเป็นชั้น ๆ เพื่อสร้างชิ้นงาน หัวพิมพ์และวัสดุพิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน [1, 2] ปัจจุบันมีการใช้วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งมีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำและน้ำหนักเบา [3] อย่างไรก็ตาม เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์เป็นสาเหตุหลักของการสึกหรอของหัวพิมพ์อย่างรวดเร็ว [4, 5] การใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงและความเร็วในการพิมพ์ยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียหายของหัวพิมพ์ จึงมีการนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวแข็งแบบ Physical vapor deposition (PVD) มาใช้ เนื่องจากสามารถเคลือบผิวได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างของหัวพิมพ์ และช่วยลดแรงเสียดทาน จึงจำเป็นต้องเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานการสึกหรอของหัวพิมพ์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีคุณภาพ ด้วยกระบวนการเคลือบผิวแข็งแบบ Physical vapor deposition (PVD) เนื่องจากสามารถเคลือบผิวได้ที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ทำให้หัวพิมพ์เกิดความเสียหายในระหว่างการเคลือบผิว ช่วยลดแรงเสียดทาน และเป็นเกราะป้องกันความเสียหายให้กับพื้นผิวของหัวพิมพ์ได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเคลือบผิวหัวพิมพ์ด้วยสารเคลือบแข็ง เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานในการพิมพ์ด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์

2. วิธีการทดลอง

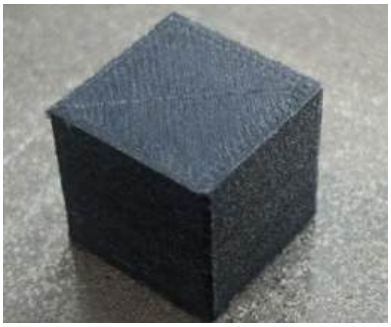
2.1 วัสดุ

การศึกษานี้เลือกใช้หัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็ง E3D V6 Hardened steel nozzle ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 0.6 มิลลิเมตร จากโรงงานผู้ผลิตที่ได้มาตรฐาน สามารถสั่งซื้อได้ทั่วไปและมีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลาย และเส้นวัสดุ PETG ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนไฟเบอร์ร้อยละ 20 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร อุณภูมิที่ใช้ในการพิมพ์ 240 ถึง 260 องศาเซลเซียส รูปที่ 1 แสดงหัวพิมพ์ทองเหลือง E3D V6 Brass Nozzle

รูปที่ 1 หัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็ง E3D V6 Hardened steel nozzle

2.2 กระบวนการพิมพ์สามมิติ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขการพิมพ์ขึ้นรูปดังต่อไปนี้ 1) อุณหภูมิในการพิมพ์ 240 องศาเซลเซียส 2) อุณหภูมิฐานพิมพ์ 70 องศาเซลเซียส 3) ความเร็วในการพิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที 4) อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง 25 องศาเซลเซียส 5) กำหนดระยะความสูงของชั้นเลเยอร์ 0.2 มิลลิเมตร และ6) ความเร็วในการพิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยการพิมพ์ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ (Cubic) ที่มีขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร ความยาว 20 มิลลิเมตร และความสูง 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานลูกบาศก์ที่พิมพ์จากกระบวนการพิมพ์สามมิติ

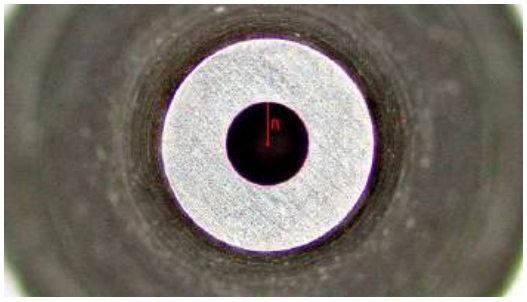
2.3 การเคลือบผิวหัวพิมพ์สามมิติ

ในการศึกษานี้ หัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็ง E3D V6 Hardened steel nozzle ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ถูกทำการชุบเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ด้วยสารชุบที่แตกต่างกัน ได้แก่ ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) โครเมียมไนไตรด์ (CrN) ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (TiCN) รูปที่ 3 แสดงหัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็ง ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD

รูปที่ 3 หัวพิมพ์เหล็กกล้าชุบแข็ง ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD

2.4 การเก็บผลการทดลอง

สำหรับการทดลองในการศึกษาวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงหัวพิมพ์สามมิติ ได้แก่ 1) ขนาดเส้นรัศมีรูหัวพิมพ์ 2) ความยาวรวมของหัวพิมพ์ โดยใช้วิธีการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ Industrial microscope และอุปกรณ์ไมโครมิเตอร์ รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการวัดขนาดรูหัวพิมพ์ โดยได้กำหนดระยะในการบันทึกผลการทดลองตามปริมาณการพิมพ์ของหัวพิมพ์ที่ระยะ 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,200, 1,500, 1,800, 2,100, 2,400, 2,700, และ3,000 กรัม เพื่อบันทึกค่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลของขนาดลูกบาศก์ที่ถูกปริ้นออกมาในแต่ละช่วงปริมาณการพิมพ์ เพื่อประเมินผลกระทบการสึกหรอของหัวพิมพ์ต่อคุณภาพของชิ้นงานพิมพ์สามมิติ

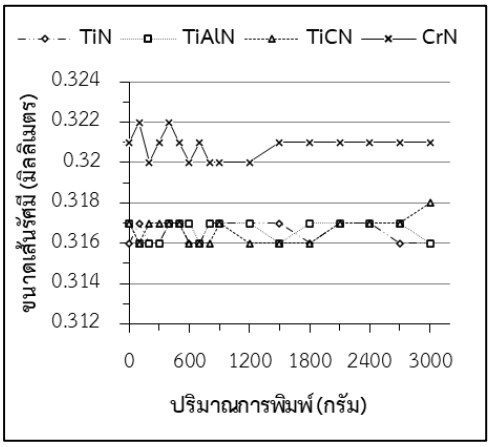


รูปที่ 4 ตัวอย่างการวัดขนาดรัศมีรูหัวพิมพ์

3. ผลการวิจัย

3.1. ผลการวัดขนาดรัศมีรูหัวพิมพ์

จากการศึกษาพบว่าขนาดเส้นรัศมีของรูหัวพิมพ์ พบว่าขนาดเส้นรัศมีรูหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiN มีค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองเท่ากับ 0.316 มิลลิเมตร แล้วมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนอยู่ในช่วง ± 0.001 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.32 จนถึงช่วง 3,000 กรัม ขนาดรัศมีของรูหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiAlN มีค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองเท่ากับ 0.317 มิลลิเมตร แล้วมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนอยู่ในช่วง ± 0.001 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.32 จนถึงช่วง 3,000 กรัม หัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiAlN มีขนาดเท่ากับ 0.316 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดลดลง 0.001 มิลลิเมตร ขนาดรัศมีของรูหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiCN มีค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองเท่ากับ 0.317 มิลลิเมตร แล้วมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนอยู่ในช่วง ± 0.001 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.32 จนถึงช่วง 3,000 กรัม หัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiCN มีขนาดเท่ากับ 0.318 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้น 0.001 มิลลิเมตร หรือมีขนาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.32 นอกจากนี้ ขนาดเส้นรัศมีของรูหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร CrN มีค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองเท่ากับ 0.321 มิลลิเมตร แล้วมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ± 0.001 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.32 จนถึงช่วง 1,500 กรัม ขนาดเส้นรัศมีรูหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร CrN เริ่มหยุดการเปลี่ยนแปลง แล้วมีค่าคงที่เท่ากับ 0.321 มิลลิเมตร จนถึงปริมาณการพิมพ์ที่ 3,000 กรัม รูปที่ 5 แสดงขนาดเส้นรัศมีของรูหัวพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่แตกต่างกัน

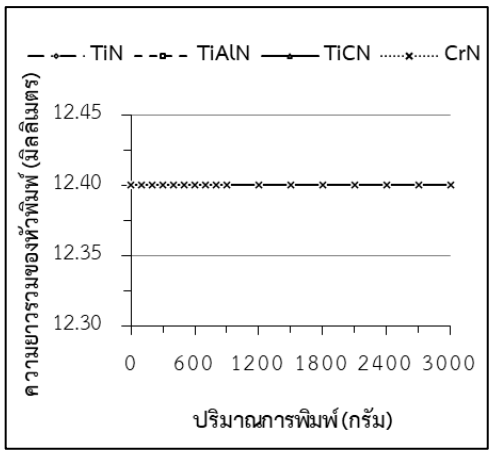


รูปที่ 5 ขนาดเส้นรัศมีของรูหัวพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่แตกต่างกัน

3.2 ผลความยาวรวมของหัวพิมพ์

รูปที่ 6 แสดงความยาวรวมของหัวพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่แตกต่างกัน จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าขนาดความยาวรวมของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว TiN, TiAlN, TiCN, และCrN มีค่าคงที่เท่ากับ 12.40 มิลลิเมตรในทุกช่วงการพิมพ์ 0-3,000 กรัม การสึกหรอของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแข็งแต่ละชนิด หลังจากผ่านการพิมพ์ชิ้นงาน 3,000 กรัม ส่งผลกระทบต่อค่าความยาวรวม

ของหัวพิมพ์น้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร หรือมีความสึกหรอน้อยกว่าร้อยละ 0.08



รูปที่ 6 ความยาวรวมของหัวพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่แตกต่างกัน

3.3 ผลการวัดขนาดของชิ้นงานพิมพ์สามมิติ

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นงานลูกบาศก์วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ ในแต่ละแนวแกน X, Y, และZ ในแต่ละช่วงปริมาณการพิมพ์ 100-3,000 กรัม จากการวัดขนาดชิ้นงานของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiN พบว่าขนาดของชิ้นงานในแนวแกน X มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.55 ถึง 20.58 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.97 ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Y มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.58 ถึง 20.61 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.97 และขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Z มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 19.55 ถึง 19.57 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.51 ของขนาดชิ้นงาน จากการวัดขนาดชิ้นงานของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiAlN ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน X มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.55 ถึง 20.57 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.97 ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Y มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.58 ถึง 20.61 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.97 และขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Z มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 19.55 ถึง 19.57 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.51 ของขนาดชิ้นงาน จากการวัดขนาดชิ้นงานของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร TiCN ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน X มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.55 ถึง 20.57 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.49 ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Y มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.59 ถึง 20.61 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.97 และขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Z มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 19.55 ถึง 19.57 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.51 ของขนาดชิ้นงาน และจากการวัดขนาดชิ้นงานของหัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสาร CrN ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน X มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.56 ถึง 20.58 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.49 ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Y มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 20.59 ถึง 20.61 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.48 และขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Z มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 19.55 ถึง 19.56 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 0.51 ของขนาดชิ้นงาน

จากผลการวัดขนาดชิ้นงานรูปทรงลูกบาศก์ในแนวแกน X, Y, และ Z ในแต่ละช่วงปริมาณการพิมพ์ตั้งแต่ 0 ถึง 3,000 กรัม โดยใช้หัวพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแข็ง TiN, TiAlN, TiCN และ CrN สรุปผลการศึกษาได้ว่า ขนาดของชิ้นงานรูปทรงลูกบาศก์ในแนวแกน X, Y, และ Z ไม่เกิดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง มีเพียงความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการหดตัวของวัสดุพิมพ์ และความแม่นยำของเครื่องพิมพ์ สังเกตได้จากผลของขนาดชิ้นงานในแนวแกน X และแกน Y ที่มีค่ามากกว่าการออกแบบชิ้นงานสามมิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Y จะมีค่ามากกว่าแกน X เสมอ เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวแกน X เป็นการขับเคลื่อนชุดหัวพิมพ์ ซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา แต่การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y เป็นการขับเคลื่อนชุดฐานพิมพ์ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากกว่า ส่วนขนาดของชิ้นงานในแนวแกน Z มีค่าน้อยกว่าการออกแบบชิ้นงานสามมิติ เนื่องจากการหดตัวของวัสดุพิมพ์ และการยึดเกาะระหว่างวัสดุพิมพ์กับหัวพิมพ์ ทำให้พลาสติกหลอมเหลวไม่ถูกเติมอย่างเต็มที่ ส่งผลให้ขนาดในแนวแกน Z มีค่าลดลง

ตารางที่ 1 ขนาดของชิ้นงานลูกบาศก์วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ ในแต่ละแนวแกน X, Y, และZ ในแต่ละช่วงปริมาณการพิมพ์ 100-3,000 กรัม

ชนิดสารเคลือบ	ขนาดของชิ้นงานตามแนวแกน (มม.) ในช่วงปริมาณการพิมพ์ 100-3,000 กรัม		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
TiN	20.55 - 20.58	20.58 - 20.61	19.55 - 19.57
TICN	20.55 - 20.57	20.58 - 20.61	19.55 - 19.57
TiAlN	20.55 - 20.57	20.59 - 20.61	19.55 - 19.57
CrN	20.56 - 20.58	20.59 - 20.61	19.56 - 19.57

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการ PVD ในการลดการสึกหรอของหัวพิมพ์ในเครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟ ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

1) สารเคลือบผิวแข็งทั้งสี่ชนิดสามารถต้านทานการสึกหรอของหัวพิมพ์ จากการพิมพ์ชิ้นงานด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ได้ เมื่อพิมพ์ชิ้นงานในปริมาณ 3,000 กรัม อัตราการสึกหรอของขนาดเส้นรัศมีรูหัวพิมพ์ไม่เกินร้อยละ 0.32 อัตราการสึกหรอของความยาวรวมหัวพิมพ์น้อยกว่าร้อยละ 0.08 ความสูงของชั้นเลเยอร์คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.11

2) ชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ในช่วง 0 ถึง 3,000 กรัม ไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนจากการพิมพ์ชิ้นงานในปริมาณที่มากขึ้น ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่ได้จากหัวพิมพ์แต่ละชนิดไม่เกินร้อยละ 0.97 ในแนวแกน X และแนวแกน Y ส่วนความคลาดเคลื่อนในแนวแกน Z มีค่าไม่เกินร้อยละ 0.51 ของขนาดชิ้นงานเริ่มต้น

3) เมื่อพิจารณาทางด้านต้นทุนในการผลิต สารเคลือบผิว TiN มีต้นทุนในการเคลือบผิวต่ำกว่าสารเคลือบผิวชนิดอื่น และพบว่าสารเคลือบผิว CrN สามารถเคลือบผิวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสารเคลือบผิวชนิดอื่น ช่วยลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุจากความร้อน ขณะที่ สารเคลือบผิว TiCN มีคุณสมบัติการยึดเกาะกับวัสดุที่ใช้เคลือบผิวได้ดี แต่ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมาก ๆ ได้ จึงเหมาะสำหรับการเคลือบผิวรองพื้นเพื่อเพิ่มคุณภาพการยึดเกาะให้กับสารเคลือบผิวชนิดอื่นในการเคลือบผิวแบบหลายชั้น (multi-layers)

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 (รหัสทุน ววน. FRB66012/0168 และรหัสโครงการวิจัย FRB66E66E2801)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Valvez, A. P. Silva, and P. N. B. Reis, “Optimization of Printing Parameters to Maximize the Mechanical Properties of 3D-Printed PETG-Based Parts”, Polymers, Vol.14, (2022), pp. 1-24.

[2] N. Vidakis, M. Petousis, E. Velidakis, N. Mountakis, P.E. Fischer-Griffiths, S.A. Grammatikos, L. Tzounis, “Fused Filament Fabrication 3D printed polypropylene/alumina nanocomposites: effect of filler loading on the mechanical reinforcement”, Polymer testing, Vol.109 (2022), 107545.

[3] D. Dev Singh, A. R. Reddy, S. Arjula, “Characterization of Additive Manufactured PETG and Carbon Fiber - PETG,” International Journal for Research in Engineering Application & Management, vol. 4, No. 2 (2018), pp.152 - 156.

[4] I. Bianchi, T. Mancia, Ch. Mignanelli, M. Simoncini, “Effect of nozzle wear on mechanical properties of 3D printed carbon fiber reinforced polymer parts by material extrusion”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.130 (2024), pp.4699–4712.

[5] สราวุธ ทามี กุลชาติ จุลเพ็ญ และปฏิภาณ นิลเพ็ชร “ผลกระทบของการสึกหรอของหัวพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์สามมิติแบบดันวัสดุหลอมที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวสำเร็จและความคลาดเคลื่อนขนาดของชิ้นงาน PETG ผสมด้วยคาร์บอนไฟเบอร์” การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9 1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เฮอริเทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย หน้า 440-449

การศึกษาชนิดของวัสดุที่มีผลต่ออายุการใช้งานของหัวพิมพ์ขึ้นรูปงานสามมิติด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์

An Investigation into the Effect of Nozzle Material on Nozzle Lifespan in 3D Printing with Carbon Fiber Reinforced PETG

กุลชาติ จุลเพ็ญ[1*] ปรกช สิริสุวัณณ์[2] พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์[3] และ ปฏิภาณ นิลเพ็ชร[4]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Kunlachart Junlapen[1*] Porakoch Sirisuwan[2] Phanphong Kongphan[3] and Patiparn Ninpetch[4]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: kunlachart.j@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งวิเคราะห์ผลของวัสดุหัวพิมพ์ต่อความต้านทานการสึกหรอระหว่างการพิมพ์สามมิติด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ โดยใช้หัวพิมพ์ทองเหลือง สแตนเลส และไทเทเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร ภายใต้เงื่อนไขการพิมพ์เดียวกัน ได้แก่ ความเร็วหัวพิมพ์ 30 มม./วินาที อุณหภูมิหัวพิมพ์ 240 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐานพิมพ์ 70 องศาเซลเซียส โดยเก็บข้อมูลขนาดรูหัวพิมพ์ ความหยาบผิว ความยาวหัวพิมพ์ และขนาดชิ้นงานในแกน X, Y, Z รวมถึงน้ำหนักของชิ้นงานในแต่ละช่วงการพิมพ์ ผลการทดลองพบว่าหัวพิมพ์ไทเทเนียมสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้สูงสุด 3,000 กรัม สแตนเลส 1,500 กรัม และทองเหลือง 1,200 กรัม อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณการพิมพ์เกินค่าที่กำหนด หัวพิมพ์ทุกชนิดจะเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ส่งผลให้คุณภาพชิ้นงานลดลง แสดงให้เห็นว่าวัสดุหัวพิมพ์ที่แข็งแรงสามารถยืดอายุการใช้งานได้เพียงเล็กน้อย และไม่สามารถต้านทานการสึกหรอจากวัสดุที่มีความเสียดทานสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก ชนิดวัสดุของหัวพิมพ์ การสึกหรอของหัวพิมพ์ เครื่องพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานสามมิติ

Abstract

This study investigates the effect of nozzle material on wear resistance during 3D printing using carbon fiber reinforced PETG. Brass, stainless steel, and titanium nozzles with a diameter of 0.4 mm were tested under identical printing conditions: nozzle speed of 30 mm/s, nozzle temperature of 240°C, and bed temperature of 70°C. Data were collected on orifice diameter, surface roughness, total nozzle length, and dimensional accuracy of printed parts in the X, Y, and Z axes, as well as part weight at various print intervals. The results showed that titanium nozzles could print up to 3,000 grams of material, while stainless steel and brass nozzles reached 1,500 grams and 1,200 grams, respectively. However, beyond specific print volumes, all nozzle types exhibited rapid wear, leading to a significant decline in print quality. These findings indicate that although more durable nozzle materials can marginally extend operational lifespan, they cannot effectively resist the abrasive wear caused by high-friction composite filaments such as carbon fiber reinforced PETG.

Keywords: Effect of nozzle material, Wear on 3D nozzle, 3D Printing

1. บทนำ

เครื่องพิมพ์สามมิติ คือ เครื่องจักรที่ใช้กระบวนการทำให้ตัวเนื้อของวัสดุก่อตัวเป็นรูปร่างตามที่มีการออกแบบไว้ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเป็นกระบวนการที่เรียกว่า Additive Process Additive Manufacturing อุตสาหกรรมการผลิตแบบเติมเนื้อ คือ การผลิตชิ้นงานแบบเพิ่มเนื้อ หรือที่หลายคนรู้จักกันในชื่อ Rapid Prototyping สำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ในปัจจุบันเราจะเรียก Additive Manufacturing ว่า การผลิตโดยเทคโนโลยี 3D Printing เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีเดิม หรือ Subtractive Manufacturing ซึ่งเป็นการผลิตแบบนำก้อนวัสดุมาทำการกัด กลึง เจาะ เอาชิ้นเนื้อออก เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามต้องการ แน่นอนว่าข้อจำกัดสำคัญ คือ การออกแบบและของเสียจากกระบวนการผลิต แต่สำหรับ Additive Manufacturing เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานจาก 3D เพื่อแก้ไข้ปัญหาหลักจากการผลิต [1-2] ซึ่งการพิมพ์จะดำเนินไปทีละขั้นหรือทีละ layer โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบการพิมพ์ไฟล์ที่ใช้กับเครื่องพิมพ์เป็นไฟล์ในรูปแบบสามมิติจะไม่เหมือนกับภาพในตัวเครื่องพิมพ์ระบบสองมิติที่พิมพ์ลงบนแผ่นกระดาษทั่วไป ข้อมูลภาพหรือวัตถุในระบบนี้ จะถูกบันทึกในรูปแบบไฟล์ดิจิทัลที่ถูกสร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น AutoCAD, SolidWorks, 3Ds Max, Inventor เครื่องพิมพ์ 3 มิติส่วนใหญ่ใช้หลักการทำงานเหมือนกันคือ พิมพ์แต่ละชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลกแบบแกน XY หรือแนวตัดขวาง (Cross Section) ก่อน หลังจากนั้นเครื่องพิมพ์จะเลื่อนฐานไปพิมพ์ในชั้นถัดไป ทับไปเรื่อย ๆ จนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ

วัสดุพิมพ์ชนิด PETG (Polyethylene terephthalate glycol) เสริมด้วย Carbon Fiber เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนทานต่อการบิด, การดัดงอ การรับแรงและยังมีน้ำหนักเบา เหมาะสำหรับใช้ทำออกแบบโครงสร้าง ชิ้นส่วนรถยนต์ หรือชิ้นส่วนที่ต้องทนกับความร้อนทนต่อสารเคมีการดูดซับความชื้นต่ำและมีกลิ่นน้อยขณะพิมพ์

ส่วนประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญต่อการพิมพ์ชิ้นงานและคุณภาพของชิ้นงาน คือ หัวพิมพ์และวัสดุพิมพ์ ซึ่งหัวพิมพ์ที่นิยมใช้กันอย่างมาก คือ หัวพิมพ์ทองเหลือง ที่มีลักษณะคล้ายกับรูปทรงกรวยที่มีรูตรงกลาง เพราะทองเหลืองมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น และมีต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ แต่ทองเหลืองก็ยังไม่ใช่วัสดุที่ทนทานที่สุด และมีความเสี่ยงที่จะเกิดการสึกหรอสูงเหมาะกับวัสดุพิมพ์ที่ไม่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนมาก เช่น PLA, ABS, PETG, Nylon และ TPE เป็นต้น ซึ่งบางชนิดมีส่วนผสมของวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน และในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนั้นนิยมใช้วัสดุ PETG ในการสร้างชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง และมีความแข็งแรงแต่จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากวัสดุที่มีส่วนผสมของคาร์บอนไฟเบอร์นั้น[3-4] สามารถทำลายพื้นผิวภายในของหัวฉีดได้ หากใช้เป็นประจำรูภายในที่เสียหายอาจทำให้คุณภาพในการพิมพ์ชิ้นงานลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่องด้วยความร้อน ความเร็วในการพิมพ์ และความแข็งของวัสดุที่แตกต่างกันอาจเป็นตัวเร่งที่ทำให้รูในของหัวพิมพ์เกิดการเสียหายได้ และส่วนใหญ่มักเกิดการเสียดสีจนสูญเสียเนื้อโลหะที่พื้นผิวนำไปสู่การสึกหรอ (Wear) ได้ในที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพิมพ์ชิ้นงาน ทำให้คุณภาพที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการแต่เนื่องจากทองเหลืองมีความแข็งไม่มาก เมื่อพิมพ์ชิ้นงานด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเส้นใยที่มีความแข็งหรือมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนจึงทำให้ตัวหัวพิมพ์ มีการสึกหรออย่างรวดเร็วและมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติ[5]

ดังนั้นเพื่อการศึกษาหัวพิมพ์ที่มีชนิดวัสดุต่างกัน ซึ่งมีความต้านทานการสึกหรอต่างกันทำให้อายุการใช้งานและคุณภาพของชิ้นงานต่างกันออกไป การศึกษาดังกล่าวช่วยให้สามารถเลือกใช้หัวพิมพ์ที่เหมาะสมกับการพิมพ์สามมิติ เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ และยืดอายุการใช้งานของหัวพิมพ์สามมิตินอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ สามารถเผยแพร่ไปยังกลุ่มผู้ใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติและผู้ที่เกี่ยวข้องได้

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ FDM (Fused Deposition Modeling) ยี่ห้อ Anycubic รุ่น Kobra โดยทำการพิมพ์ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิฐานพิมพ์ 70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหัวพิมพ์ 240 องศาเซลเซียส ความเร็วเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์อยู่ที่ 30 ±5 มิลลิเมตรต่อวินาที วัสดุที่ใช้คือเส้นพลาสติก PETG ผสม

คาร์บอนไฟเบอร์ในอัตราร้อยละ 20 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร หัวพิมพ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นหัวพิมพ์รุ่น E3D V6 ขนาด 0.4 มิลลิเมตร แบ่งเป็นหัวพิมพ์ทองเหลือง จำนวน 8 หัว หัวพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมจำนวน 9 หัว และหัวพิมพ์ไทเทเนียมจำนวน 10 หัว ดังรูปที่1 โดยมีคุณสมบัติทางกลแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 1 การบันทึกผลการสึกหรอของหัวพิมพ์จะดำเนินการในทุกช่วงปริมาณการพิมพ์ 300 กรัม โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์ ความยาวรวมของหัวพิมพ์ ค่าความหยาบผิว และระยะการสึกหรอของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างหัวพิมพ์กับวัสดุพิมพ์ ขณะเดียวกันก็มีการประเมินคุณภาพของชิ้นงานในทุกช่วง 300 กรัม โดยการวัดขนาดของชิ้นงานลูกบาศก์ และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน

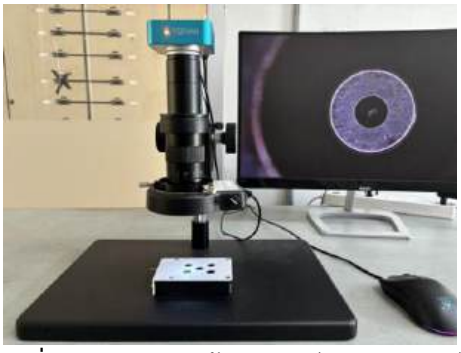
รูปที่ 1 หัวพิมพ์รุ่น E3D V6

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหัวพิมพ์แต่ละชนิด

วัสดุหัวพิมพ์	ค่าคุณสมบัติทางกล		
	ความแข็ง (HV)	Elastic Modulus (GPa)	ความหยาบผิว (Ra)
ทองหลือง CuZn30	80–200	90–110	0.32
สแตนเลส AISI 304	150–250	190–200	0.3
ไทเทเนียม Ti6Al4V	300–400	105–120	0.22

2.1 อุปกรณ์บันทึกผลการสึกหรอของหัวพิมพ์

การบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงจะมีการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวพิมพ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Industrial microscope ดังรูปที่ 2 วัดการเปลี่ยนแปลงของความยาวรวมด้วยไมโครมิเตอร์ วัดความหยาบผิวของหัวพิมพ์ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว และวัดส่วนโค้งปลายหัวพิมพ์ด้วยระบบ Profile projector ซึ่งทำให้เห็นส่วนโค้งได้ชัดเจน ดังรูปที่ 3

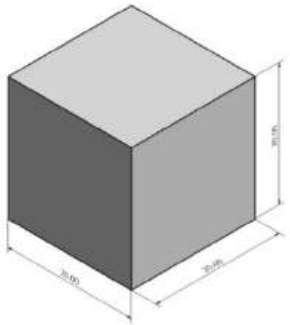


รูปที่ 2 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์

รูปที่ 3 การวัดส่วนโค้งด้วยเครื่อง Profile projector

2.2 การวัดผลกระทบของชิ้นงาน

จากการผลการวิจัยก่อนหน้าของคณะวิจัย [5] ทำให้ทราบว่า เมื่อหัวพิมพ์เกิดการสึกหรอจะมีผลกระทบต่อชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาทำให้ขนาดของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงไป การบันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของชิ้นงานในแต่ละช่วงการประเมินคุณภาพชิ้นงาน ทุกช่วง 300 กรัม โดยชิ้นงานมาตรฐานเป็นลูกบาศก์ขนาด กว้าง 20 ยาว 20 สูง 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4

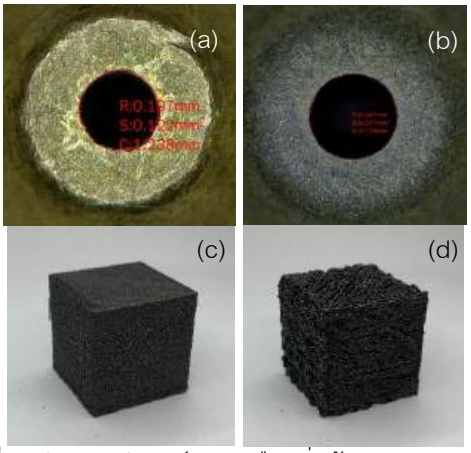


รูปที่ 4 แบบชิ้นงานสำหรับการประเมินคุณภาพ

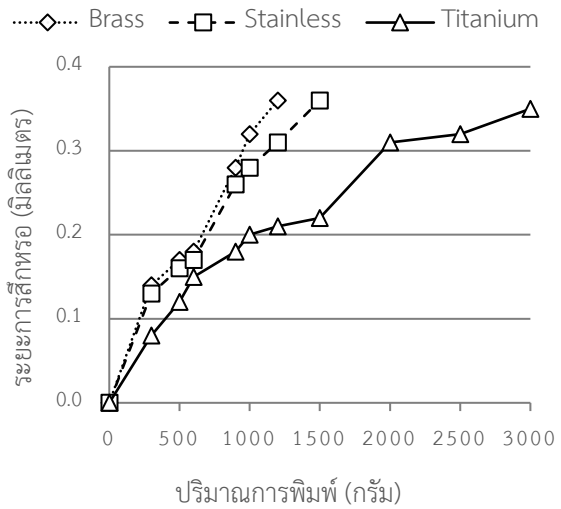
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการสึกหรอของหัวพิมพ์

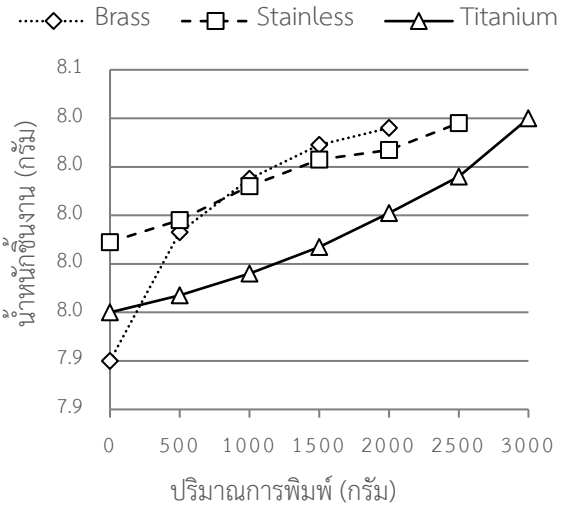
จากการดูการสึกหรอของด้วยภาพถ่าย พบว่าหัวพิมพ์ทองเหลืองเริ่มมีการสึกหรอตั้งแต่ปริมาณการพิมพ์ 300 กรัม และสามารถพิมพ์ต่อได้เพียงแค่ 1,200 กรัม ส่วนวัสดุหัวพิมพ์ที่ทำจากสแตนเลสสามารถพิมพ์ได้เพียง 2,000 กรัม และวัสดุหัวพิมพ์ที่ทำจากไทเทเนียมสามาถพิมพ์ได้ที่ปริมาณ 3,000 กรัม ก่อนที่หัวพิมพ์จะไม่สามารถพิมพ์ได้ เนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ ดังแสดงภาพตัวอย่างการสึกหรอของหัวพิมพ์ในรูปที่ 5 และมีระยะการสึกหรอของหัวพิมพ์แต่ละชนิดดังรูปที่ 6 และกราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานที่ได้จากหัวพิมพ์แต่ละชนิดดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 ลักษณะหัวพิมพ์ทองเหลืองเริ่มต้น (a) ปริมาณการพิมพ์สุดท้ายที่ 1,200 กรัม (b) สภาพผิวชิ้นงานเริ่มต้น (c) และสภาพผิวที่ปริมาณการพิมพ์สุดท้ายที่ 1,200 กรัม (d)



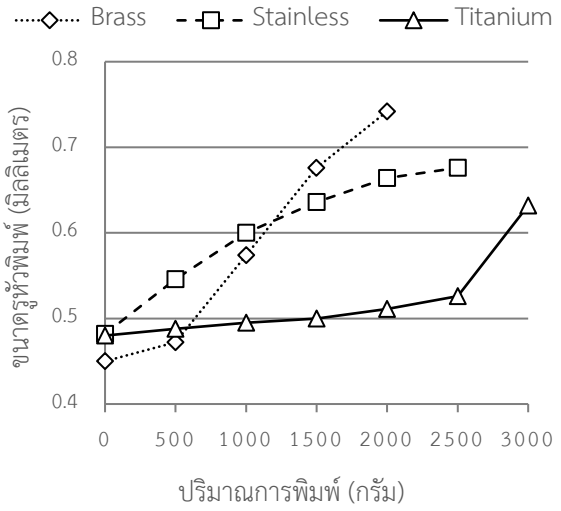
รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของระยะการสึกหรอของหัวพิมพ์แต่ละชนิด



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานที่ได้จากหัวพิมพ์แต่ละชนิด

3.2. เปรียบเทียบขนาดรูของหัวพิมพ์แต่ละชนิด

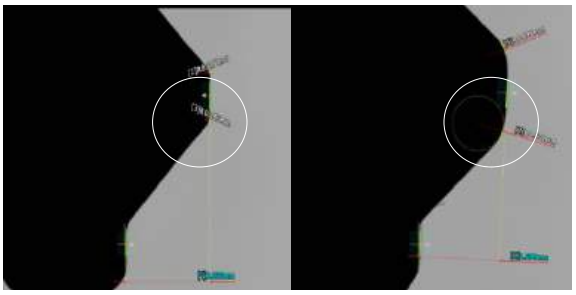
จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างขนาดรูของหัวพิมพ์แต่ละชนิดหัวพิมพ์เมื่อเกิดการสึกหรอ พบว่าหัวพิมพ์ทองเหลืองที่เกิดการสึกหรอเมื่อปริมาณการพิมพ์ 1200 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดรูต่างจากตอนเริ่มต้นพิมพ์ (0 กรัม) ที่ร้อยละ 73 สำหรับหัวพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมที่เกิดการสึกหรอเมื่อปริมาณการพิมพ์ 1500 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดรูเทียบกับตอนเริ่มต้นที่ร้อยละ 45 และ หัวพิมพ์ไทเทเนียมที่เกิดการสึกหรอเมื่อปริมาณการพิมพ์ 3000 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงจากจากขนาดรูเทียบกับตอนเริ่มต้นที่ร้อยละ 35



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบขนาดรูหัวพิมพ์แต่ละชนิดหัวพิมพ์

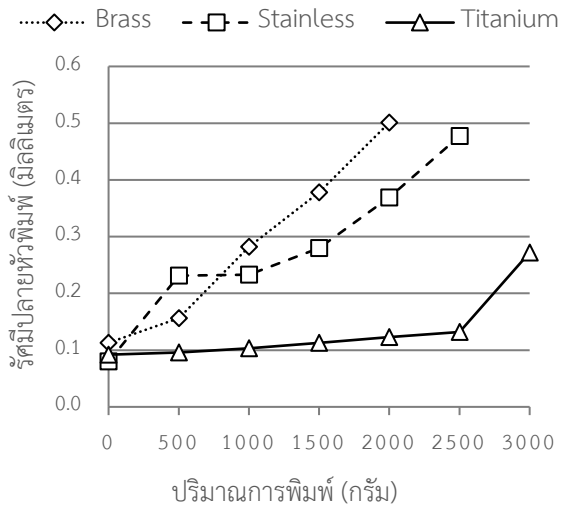
3.3 เปรียบเทียบการสึกหรอรัศมีโค้งบริเวณขอบพื้นที่หน้าสัมผัสของหัวพิมพ์แต่ละชนิด

จากรูปที่ 9 และ รูปที่10 เป็นการแสดงเปรียบเทียบการสึกหรอของรัศมีโค้งบริเวณขอบพื้นที่หน้าสัมผัสของหัวพิมพ์แต่ละชนิด พบว่าขณะทำการพิมพ์เนื้อวัสดุ PETG ที่ถูกอัดผ่านมาทางรูหัวพิมพ์นั้น จะเกิดการเสียดสีกับพื้นที่หน้าสัมผัสหัวพิมพ์ ทำให้เกิดการหลุดออกของเนื้อบริเวณรัศมีหัวพิมพ์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ปริมาณการพิมพ์ 1200 กรัมเท่ากัน หัวพิมพ์ทองเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีโค้งบริเวณต่างจากเริ่มต้น (0 กรัม) อยู่ที่ร้อยละ 300 หัวพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ที่ร้อยละ 258 และ หัวพิมพ์ไทเทเนียมอยู่ที่ร้อยละ 88



หัวพิมพ์ใหม่ (0 กรัม) 1200 กรัม

รูปที่ 9 ภาพเปรียบเทียบรัศมีหัวพิมพ์ใหม่กับหัวพิมพ์ที่ผ่านการใช้งานของหัวพิมพ์วัสดุทองเหลือง



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบส่วนโค้งบริเวณขอบของพื้นที่หน้าสัมผัสระหว่างหัวพิมพ์ของหัวพิมพ์แต่ละชนิด

4. อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนวัสดุของหัวพิมพ์สามารถยืดอายุการใช้งานของหัวพิมพ์ได้เพียงเล็กน้อย จากเดิมหัวพิมพ์ทองเหลืองที่พิมพ์ชิ้นงานด้วยวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้สูงสุด 1200 กรัม เมื่อเปลี่ยนวัสดุของหัวพิมพ์เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้สูงสุดอยู่ที่ 1500 กรัม และ เมื่อเปลี่ยนวัสดุของหัวพิมพ์เป็นไทเทเนียมสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้สูงสุดอยู่ที่ 3000 กรัม เนื่องจากหัวพิมพ์ทองเหลือง หัวพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม และหัวพิมพ์ไทเทเนียมมีปริมาณการพิมพ์สูงสุดที่แตกต่างกัน ซึ่งหัวพิมพ์ทองเหลืองสามารถพิมพ์ชิ้นงานที่ปริมาณการพิมพ์ไม่เกิน 900 กรัม หัวพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถพิมพ์ชิ้นงานที่ปริมาณการพิมพ์ไม่เกิน 1200 กรัม และหัวพิมพ์ไทเทเนียมสามารถพิมพ์ชิ้นงานที่ปริมาณการพิมพ์ไม่เกิน 2500 กรัม ถ้าหลังจากปริมาณการพิมพ์ที่กล่าวมานั้นชิ้นงานที่ได้จะเกิดความเสียหาย เนื่องจากการสึกหรอของหัวพิมพ์ การเปลี่ยนวัสดุของหัวพิมพ์เครื่องพิมพ์สามมิติไม่สามารถต้านทานการสึกหรอจากการพิมพ์ชิ้นงานด้วย วัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ได้ ทำได้เพียงยืดอายุการใช้งานออกไปเล็กน้อยแต่หัวพิมพ์ทั้งสามชนิดยังคงเกิดความสึกหรออย่างรวดเร็ว

1) หัวพิมพ์วัสดุทองเหลือง ที่มีปริการพิมพ์ 1200 กรัม อัตราการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์อยู่ที่ร้อยละ 61 อัตราการสึกหรอของความยาวรวมหัวพิมพ์จะอยู่ที่ ร้อยละ 4 ความสูงของชั้นเลเยอร์อยู่ที่ ร้อยละ 84 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์

2) หัวพิมพ์วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีปริมาณการพิมพ์ 1500 กรัม อัตราการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์อยู่ที่ ร้อยละ 37 อัตราการสึกหรอของความยาวรวมหัวพิมพ์จะอยู่ที่ ร้อยละ 3 ความสูงของชั้นเลเยอร์อยู่ที่ ร้อยละ 80 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์

3) หัวพิมพ์วัสดุไทเทเนียม ที่มีปริมาณการพิมพ์ 3000 กรัม อัตราการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์อยู่ที่ ร้อยละ 38 อัตราการสึกหรอของความยาวรวมหัวพิมพ์จะอยู่ที่ ร้อยละ 2 ความสูงของชั้นเลเยอร์อยู่ที่ ร้อยละ 82 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์

4) เมื่อเปรียบเทียบราคาของหัวพิมพ์ที่ทำจากวัสดุแต่ละชนิดเทียบกับวัสดุทองเหลืองที่มีราคาถูกที่สุดพบว่า หัวหัวพิมพ์วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีราคาสูงกว่า 1.5 เท่า และหัวพิมพ์วัสดุไทเทเนียมมีราคาสูงกว่า 3 เท่า

5. สรุป

การเปรียบเทียบหัวพิมพ์จากวัสดุทั้งสามชนิดพบว่าหัวพิมพ์ไทเทเนียมมีความทนทานต่อการสึกหรอสูงที่สุด รองลงมาคือเหล็กกล้าไร้สนิม และทองเหลืองมีอัตราการสึกหรอสูงที่สุด แม้ว่าไทเทเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีราคาสูงกว่าทองเหลืองประมาณ 3 เท่า และ 1.5 เท่าตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความทนทานต่อการสึกหรอและปริมาณการพิมพ์ที่รองรับได้แล้ว พบว่า หัวพิมพ์ไทเทเนียมมีความคุ้มค่าที่สุดในระยะยาว โดยมีอัตราส่วน "ปริมาณการพิมพ์ต่อราคา" และ "ความเสถียรของชั้นเลเยอร์" ดีกว่าหัวพิมพ์ชนิดอื่น ทั้งนี้ความสูงของชั้นเลเยอร์ที่รักษาไว้ได้ยังคงอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันทุกชนิด โดยอยู่ที่ร้อยละ 80–84 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวพิมพ์

หากใช้งานทั่วไปและมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ หัวพิมพ์ทองเหลืองยังถือว่าเพียงพอในระยะสั้น แต่สำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูงต่อเนื่องหรือการพิมพ์วัสดุผสมเส้นใย หัวพิมพ์ไทเทเนียมจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดในเชิงระยะยาว ทั้งนี้แม้ไทเทเนียมจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่า แต่ก็ยังเกิดการสึกหรออย่างต่อเนื่องเมื่อใช้งานกับวัสดุ PETG ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ งานวิจัยนี้จึงเน้นย้ำถึงความสำคัญของการเลือกวัสดุหัวพิมพ์ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุพิมพ์ โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความแม่นยำและความคงทนในระยะยาว

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 (รหัสทุน ววน. FRB660012/0168 และรหัสโครงการวิจัย FRB66E66E2801)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Valvez, A. P. Silva, and P. N. B. Reis, “Optimization of Printing Parameters to Maximize the Mechanical Properties of 3D-Printed PETG-Based Parts”, Polymers, Vol.14, (2022), pp. 1-24.

[2] N. Vidakis, M. Petousis, E. Velidakis, N. Mountakis, P.E. Fischer-Griffiths, S.A. Grammatikos, L. Tzounis, “Fused Filament Fabrication 3D printed polypropylene/alumina nanocomposites: effect of filler loading on the mechanical reinforcement”, Polymer testing, Vol.109 (2022), 107545.

[3] D. Dev Singh, A. R. Reddy, S. Arjula, “Characterization of Additive Manufactured PETG and Carbon Fiber - PETG,” International Journal for Research in Engineering Application & Management, vol. 4, No. 2 (2018), pp.152 - 156.

[4] I. Bianchi, T. Mancia, Ch. Mignanelli, M. Simoncini, “Effect of nozzle wear on mechanical properties of 3D printed carbon fiber reinforced polymer parts by material extrusion”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.130 (2024), pp.4699–4712.

[5] สราวุธ ทามี กุลชาติ จุลเพ็ญ และปฏิภาณ นิลเพ็ชร “ผลกระทบของการสึกหรอของหัวพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์สามมิติแบบดันวัสดุหลอมที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวสำเร็จและความคลาดเคลื่อนขนาดของชิ้นงาน PETG ผสมด้วยคาร์บอนไฟเบอร์” การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9 1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เฮอริเทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย หน้า 440-449

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่าง พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ผสมกับกากกาแฟ

Study of mechanical properties of composite materials between polybutylene succinate mixed with coffee grounds

ฐิติพร นิธิกาญจนธาร[1] ชญาดา ตะวันหะ[1] ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช[2] วรรณนิศา นุชคุ้ม[3] ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[4] และ สุภัทรา หมู่ป่ารัง[5*]

[1]โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย บุรีรัมย์

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[5]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

thitiporn Nithikarnjanatharn[1] Chayada Tawanha[1] Yingyos Thipsrirach[2] Wannisa Nutkhum[3] Thammawit Prasert[4] and Supattra Muparang[5*]

[1] Princess Chulabhorn Science High School Buriram

[2]Department of Industrial Engineering,Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamagala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

[2] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

[4]Department of Industrial Engineering and Management Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

[5]Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

E-mail: Supattra_mu@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับกากกาแฟ มีสัดส่วนการผสมกากกาแฟปริมาณ 90:10 และ 80:20 ขนาดกากกาแฟโดยมีขนาด 40 และ 60 Mesh โดยทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่อง Ram Extruder

จากผลการทดลอง พบว่าการผสมกากกาแฟ ส่งผลให้ ค่าแรงกระแทก ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และค่าความแข็ง เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความต้านทานแรงดึง มีค่าลดลง และเมื่อปริมาณการเติมกากกาแฟที่ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าแรงกระแทกร้อยละการยืดตัว และค่าความแข็งลดลง และพบว่าสัดส่วนกาผสมกากกาแฟ 90:10 กาแฟขนาด 40 Mesh มีค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เหมาะสมสำหรับการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
คำหลัก พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กากกาแฟ คุณสมบัติเชิงกล

Abstract

This research aims to investigate the mechanical properties of polybutylene succinate (PBS) blended with spent coffee grounds (SCG). The SCG were incorporated into the PBS matrix at ratios of 90:10 and 80:20 by weight, using particle sizes of 40 and 60 mesh. The blending was carried out using a twin-screw extruder, followed by specimen fabrication through the ram extrusion process for mechanical property testing. Experimental results indicated that the addition of SCG led to increases in impact strength, elongation at break, and hardness. Conversely, the modulus of elasticity and tensile strength decreased with the incorporation of SCG. At a 20% SCG content, reductions in tensile strength, impact strength, elongation at break, and hardness were observed. Among all tested formulations, the blend with a 90:10 ratio of PBS to SCG using 40 mesh particles exhibited the most favorable mechanical properties, indicating its suitability for injection molding applications.
Keywords: Polybutylene Succinate, Spent Coffee Grounds, Mechanical Properties

1. บทนำ

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามีการวิจัยเกี่ยวกับพอลิเมอร์ชนิดใหม่และสารประกอบที่มีคุณสมบัติเชิงกล เพื่อการปรับปรุงคุณลักษณะต่างๆ ที่ยังคงเดิมสารประกอบและพอลิเมอร์ชนิดใหม่ อีกทั้งยังคิดค้นการนำวัสดุที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาเพิ่มมูลค่าจากอุตสาหกรรมต่างๆ [1] ซึ่งปัจจุบัน หน่วยงานต่างๆ มีความตระหนักเกี่ยวกับมลพิษจากขยะทั่วโลก ที่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน หนึ่งในทางเลือกในการลดมลพิษจากพลาสติก คือ การวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [2-4]

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) เกิดขึ้นจากพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยการทำปฏิกิริยาควบแน่น (condensation polymerization) [5] โดยส่วนใหญ่ผลิตจากทรัพยากรธรรมชาติทางเกษตรหมุนเวียน เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง [6-7] ซึ่งพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีคุณสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีเสถียรภาพทางความร้อนและทางเคมี และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี [8] อย่างไรก็ตามข้อเสียที่สำคัญ คือ ต้นทุนที่สูง [9] วิธีหนึ่งในการลดราคา คือ การเติมสารตัวเติม ทั้งนี้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารตัวเติมอินทรีย์และอนินทรีย์หลายประเภท [10-11]

ในปี 2020-2021 การบริโภคกาแฟทั่วโลก ประมาณ 9,980 ตัน [12] เนื่องจากกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่นิยมทั่วโลก การบริโภคกาแฟทำให้เกิดของเสียจำนวนมากจากการบดกาแฟประกอบไปด้วยเซลลูโลสและลิกนินเป็นหลัก [13] อีกทั้งกากกาแฟที่ใช้แล้วสามารถทดแทนวัสดุจากแป้ง หรือวัสดุเนื้อไม้ในวัสดุผสมพอลิเมอร์ได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า Aleksander Hejna และคณะ [14] ได้เปรียบเทียบการผสมโพลีเอทิลีนกับกากกาแฟ และการผสมโพลีเอทิลีนเปลือกโกโก้ พบว่า กากกาแฟและเปลือกโกโก้สามารถผสมผสานเข้ากับโพลีเอทิลีนได้ดี ซึ่งกากกาแฟยังสามารถนำผสมกับเรซินอีพอกซีได้ Tuan Anh Nguyen และคณะ [15] ได้วิจัยเกี่ยวกับการผสมกากกาแฟกับเรซินอีพอกซี และเติมสารไดเอทิลีนไตรเอมีน พบว่าวัสดุสามารถเข้ากันได้ดี โดยไม่แบ่งเฟสกัน ซึ่งกากกาแฟยังสามารถผสมผสานเข้ากับพอลิโพรพิลีนได้ดี Joo Seong Sohn และคณะ [16] ได้พัฒนาเม็ดพลาสติกชีวภาพโดยผสมพอลิโพรพิลีนกับกากกาแฟ พบว่าพอลิเมอร์

คอมโพสิตสามารถฉีดขึ้นรูปได้ดี ในลักษณะเดียวกัน Jittiwat Nithikarnjanatharn และคณะ [17] ศึกษาการนำพอลิแลคติกแอซิดผสมกับกากกาแฟ และเติมสารควบคู่ปฏิกิริยา พบว่าคุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้น การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาทำให้ทราบวาไม่ควรผสมกากกาแฟสูงกวาร้อยละ 20 เพราะจะสงผลต่อความสามารถในการคงรูปและความเป็นเนื้อเดียวกันของคอมโพสิต จากการค้นคว้างานวิจัยพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับกากกาแฟ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกล

ดังนั้นหากมีการวิจัยการนำกากกาแฟผสมกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพทางอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนการผลิต และทดแทนทรัพยากรปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังสามารถหมุนเวียนทรัยากรและปกป้องสิ่งแวดล้อมได้

2. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วัตถุดิบที่ใช้สำหรับวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ดำเนินงานวิจัย การผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับกากกาแฟ การสร้างชิ้นงานด้วยกระบวนการ Ram Extruder อัดขึ้นรูปชิ้นงาน การทดสอบสมบัติเชิงกลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง [18]

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) แสดงดังรูปที่ 1 และกากกาแฟแสดงดังรูปที่ 2

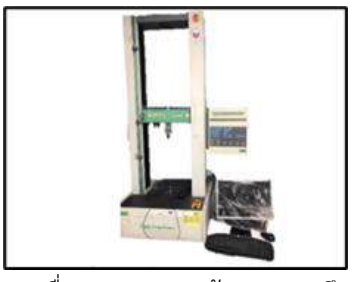
รูปที่ 1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) [19]

รูปที่ 2 กากกาแฟ [20]

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) [18] ใช้ความเร็วรอบ 50 Rpm และใช้อุณหภูมิหลอมเหลว 180 - 200 °C สัดส่วนการผสม พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) 90% และกากกาแฟ 10% ขนาดกากกาแฟ 40 และ 60 Mesh พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) 80% และกากกาแฟ 20% ขนาดกากกาแฟ 40 และ 60 Mesh เครื่อง Ram Extruder สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ของคณะวิศวกรรมศาสต์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน แสดงดังรูปที่ 3 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง Universal Testing/ Machine รุ่น/LS/100/plus ผู้ผลิต Ametek Lloyd Instruments แสดงดังรูปที่ 4 และ เครื่องทดสอบความแข็ง TECLOK รุ่น GS-720N Type D ผูผลิต Made In Japan แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 3 เครื่อง Ram Extruder [18]



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง [21]

รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความแข็ง [21]

2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป

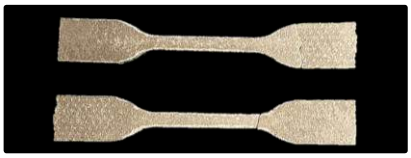
ใช้เครื่อง Ram Extruder อัดขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อนำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 Type IV และตามมาตรฐาน ASTM D256 นำเม็ด พอลิเมอรเพื่อให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมละลายตามลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ อัดรีดขึ้นรูปแนวตั้งด้วยเครื่อง Ram Extruder โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป

ที่ 120 ℃ ให้ความร้อนกอนอัดรีดใสแม่พิมพ แล้วนำชิ้นงานออกจากแม่พิม์ [21]

จากการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ อัดขึ้นรูปได้ดี ชิ้นงานมีลักษณะเต็มแม่พิมพ์ ไม่เกิดฟองอากาศ ไม่มีความบิดเบี้ยว ชิ้นงานพลาสติกมีความเติมเต็ม ไม่เกิดช่องว่าง

2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Tensile Testing) [22] โดยเริ่มจากชิ้นงานตามมาตรฐาน D638 Type IV ซึ่งลักษณะรูปร่างคล้ายดรัมเบลล (Dumbbell) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

เพื่อให้การดึง เป็นไปอย่างสมบูรณแบบ และขาดบริเวณตรงกลาง ซึ่งบอกถึงความแกร่งของพอลิเมอร์ เมื่อได้รับแรงดึง การวัดความทนทานของพอลิเมอร์ที่รับแรงคงที่อย่างช้าๆ (Static Load) ซึ่งสามารถบอกความแข็งแรงของชิ้นงาน ทำการทดสอบชิ้น ตัวอย่าง สัดส่วนละ 5 ชิ้น โดยผลทดสอบที่ต้องการในงานวิจัยนี้ คือ ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

การทดสอบความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ (Durometer Shore D) น้ำหนักกด 10 แรงปอนด์ (Lbf) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod impact strength) ตามมาตรฐาน ASTM D256 ด้วยพลังงานกระแทก 2.7 จูล (Jule) ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก

2.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

มาตรฐาน ASTM D1238 ค่า MFI คือน้ำหนักของพอลิเมอร์ ที่หลอมไหลผ่านหัวดายมาตรฐาน (2.095x8 มม.) ที่อุณหภูมิหลอมเหลว 220 ℃ ใช้น้ำหนักกดที่ 2.16 กิโลกรัม (อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามมาตรฐาน) ชั่งน้ำหนักและคำนวนหาค่าดัชนีการไหลหน่วย g/10 min [21]

3. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกากกาแฟ ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ ซึ่งแทนการกำหนดสูตรดังนี้

100/0 B คือ สัดส่วนที่ไม่มีการเติมกากกาแฟก่อนกระบวนการหลอม

100/0 A คือ สัดส่วนที่ไม่มีการเติมกากกาแฟหลังกระบวนการหลอม

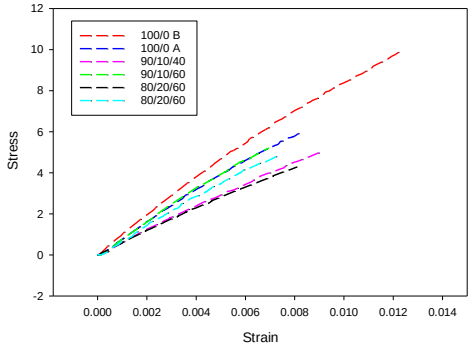
90/10/40 คือ สัดส่วนพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 90 สัดส่วน กากกาแฟร้อยละ 10 ขนาด 40 Mesh

90/10/60 คือ สัดส่วนพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 90 สัดส่วน กากกาแฟร้อยละ 10 ขนาด 60 Mesh

80/20/40 คือ สัดส่วนพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 80 สัดส่วน กากกาแฟร้อยละ 20 ขนาด 40 Mesh

80/20/60 คือ สัดส่วนพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 80 สัดส่วน กากกาแฟร้อยละ 20 ขนาด 60 Mesh

3.1) ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเคลียด (Stress-Strain) ดังรูปที่ 6

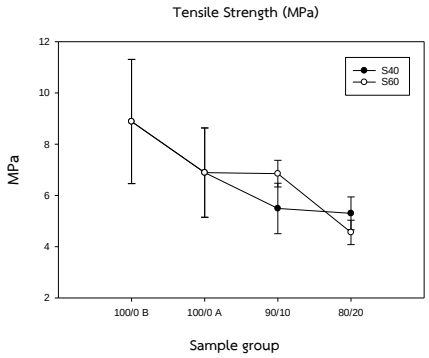


รูปที่ 6 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเคลียด (Stress-Strain)

จากรูปที่ 6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของขึ้นงาน เห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่มีส่วนผสมของกากกาแฟก่อนกระบวนการหลอม มีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด แต่เมื่อมีการเติมกากกาแฟ ในสัดส่วนต่างๆ ส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดลดลง

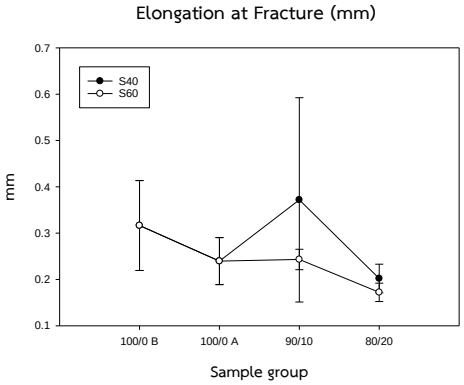
3.2) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile

Strength) พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่มีส่วนผสมของกากกาแฟก่อนกระบวนการหลอม มีค่าความต้านทางแรงดึงโดยประมาณ 8.886 MPa สูงกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตหลังการหลอม เนื่องจากเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้คุณสมบัติการยึดเกาะกันลดลง [17] และเมื่อผสมกากกาแฟในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นพบว่า มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงน้อยที่สุด โดยประมาณ 4.557 MPa เนื่องจากอนุภาคของกากกาแฟที่มีปริมาณมาก ส่งผลให้พอลิเมอร์ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน [17] ดังรูปที่ 7



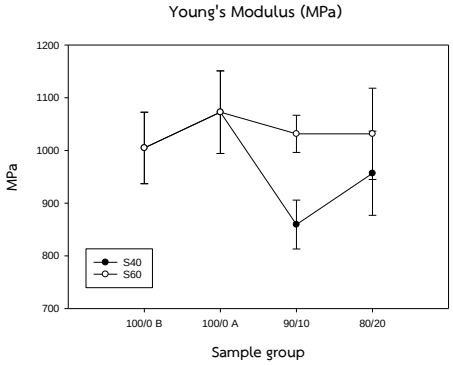
รูปที่ 7 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

3.3) ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation at Fracture) แสดงให้เห็นว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกากกาแฟ ขนาด 40 Mesh มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว โดยประมาณ 0.371 mm ซึ่งสูงกว่า ขนาด 60 Mesh แต่ในทางกลับกันค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกากกาแฟขนาด 40 Mesh มีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 8



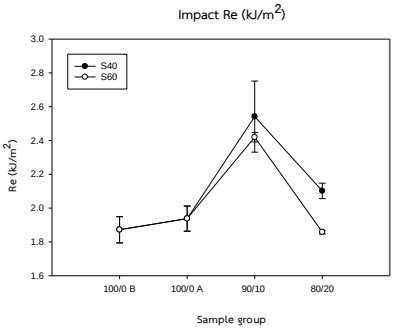
รูปที่ 8 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

3.4) ผลการทดสอบมอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) แสดงให้เห็นถึงความสามารถของพอลิเมอร์ เมื่อมีส่วนผสมของกากกาแฟ เมื่อปริมาณการเติมกากกาแฟเกิน 10% ส่งผลให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 9 การทดสอบมอดูลัสความยืดหยุ่น

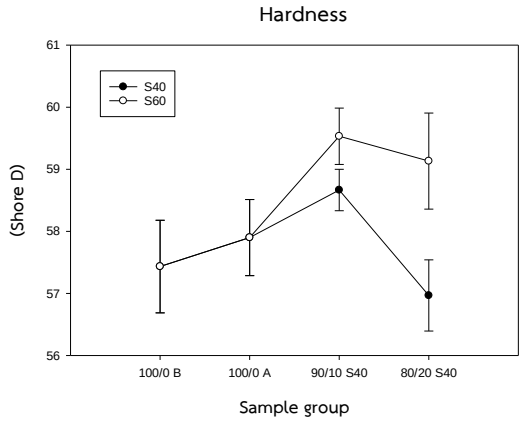
3.5) ผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact) แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมกากกาแฟ ขนาด 40 Mesh มีความสามารถในการรับแรงกระแทกสูงสุด ประมาณ 2.542 KJ/m^2 ส่งผลต่อคุณสมบัติความเหนียวแน่นที่ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว มอดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็ง [17] และเมื่อปริมาณการเติมกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบแรงกระแทก

3.6) ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness) แสดงให้เห็นว่า พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่มีส่วนผสมของกากกาแฟก่อนกระบวนการหลอมมีค่าต่ำ และเมื่อผสมกากกาแฟในขนาด 60 Mesh ส่งผลให้ค่าความแข็งสูงกว่าการผสมกากกาแฟ 40 Mesh และมีลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของกากกาแฟ (วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส) ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมกันระหว่างอนุภาคกากกาแฟกับสายโซ่ของ พอลิโพรพิลีนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้น [18][23][24] ดังรูป

ที่ 11



รูปที่ 11 การทดสอบความแข็ง

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับกากกาแฟ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ก่อนการหลอมและหลังการหลอม พบว่าคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง ซึ่งในทางกลับกัน ส่งผลให้ความแข็งและมอดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อมีสัดส่วนการผสมกากกาแฟ ที่สัดส่วน 10% และ 20% ทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง เช่นเดียวกับ จิตติวัฒน นิธิกาญจนธาร และคณะ [17] เมื่อผสมกากกาแฟในปริมาณที่สูงเกินร้อยละ 20 ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลลดลงโดยเฉพาะค่าความต้านทานแรงดึง และพบว่ากากกาแฟขนาด 40 Mesh มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงกว่าขนาด 60 Mesh เนื่องจากมีขนาดละเอียดกว่า ส่งผลให้พอลิเมอร์ยึดเกาะกันได้ดี ในทางกลับกัน ขนาดกากกาแฟ 60 Mesh มีความแข็งที่สูง เนื่องจากขนาดมีความใหญ่กว่า ส่งผลให้การผสมผสานกันของพอลิเมอร์

5. สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับกากกาแฟ พบว่า สัดส่วนการเติมกากกาแฟ 90:10 ขนาด 40 Mesh มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลสูงที่สุด คือ ค่าแรงกระแทก 2.542 Re (KJ/m^2) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว 0.371 mm ในทางกลับกัน ค่าความแข็ง ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึง น้อยกว่าสัดส่วนที่มีการผสมกากกาแฟขนาด 60 Mesh

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ห้องปฏิบัติการขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Singh, A.K., Bedi, R., Kaith, B.S.: Mechanical properties of composite materials based on waste plastic: a review. Mater. Today Proc. 26, 1293–1301 (2020). https:// doi. org/ 10. 1016/j. matpr. 2020.02.258.

[2] Q. Chen, X. Wen, H. Chen, Y. Qi, J. Gong, H. Yang, Y. Li, T. Tang, Study of the effect of nanosized carbon black on flammability and mechanical properties of poly(butylene succinate), Polym. Adv. Technol. 26 (2015) 128 – 135.

[3] J. Li, X. Luo, X. Lin, Preparation and characterization of hollow glass microsphere reinforced poly(butylene succinate) composites, Mater. Des. 46 (2013) 902 – 909.

[4] X. Luo, J. Li, J. Feng, T. Yang, X. Lin, Mechanical and thermal performance of distillers grains filled poly (butylene succinate) composites, Mater. Des. 57 (2014) 195 – 200.

[5] Y. Zhao, J. Qu, Y. Feng, Z. Wu, F. Chen, H. Tang, Mechanical and thermal properties of epoxidized soybean oil plasticized polybutylene succinate blends, Polym. Adv. Technol. 23 (2012) 632 – 638.

[6] J. Huang, X. Lu, N. Zhang, L. Yang, M. Yan, H. Liu, G. Zhang, J. Qu, Study on the properties of nano - TiO2/polybutylene succinate composites prepared by vane extruder, Polym. Compos. 35 (2014) 53 – 59.

[7] A.K. Mohanty, M. Misra, L.T. Drzal, Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world, J. Polym. Environ. 10 (2002) 19 – 26.

[8] S.A. Rafiqah, A. Khalina, A.S. Harmaen, I.A. Tawakkal, K. Zaman, M. Asim, M.N. Nurrazi, C. H. Lee, A review on propeties and application of bio-based poly(butylene succiante), Polym. 13 (2021) 1436.

[9] B.P. Calabia, F. Ninomiya, H. Yagi, A. Oishi, K. Taguchi, M. Kunioka, M. Funabashi, Biodegradable poly(butylene succinate) composites reinforced by cotton fiber with silane coupling agent, Polym. 5 (2013) 128 – 141.

[10] L.-L. Hwang, J.-C. Chen, M.-Y. Wey, The properties and filtration efficiency of activated carbon polymer composite membranes for the removal of humic acid, Desalination. 313 (2013) 166 – 175.

[11] J. Bandyopadhyay, S.A. Al-Thabaiti, S.S. Ray, M. Bousmina, Viscoelastic and electrical properties of carbon nanotubes filled poly(butylene succinate), Int. Polym. Proc. 29 (2014) 88 – 94.

[12] Organization, I.C.: World Coffee Consumption. https:// www. ico. org/prices/new-consumption-table.pdf

[13] Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I.: Chemical, func tional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. Food Bioprocess Technol. 7, 3493–3503 (2014). https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z

[14] Aleksander Hejna, Mateusz Barczewski, Paulina Kosmela and Olga Mysiukiewicz. Comparative Analysis of the Coffee and Cocoa Industry By-Products on the Performance of Polyethylene-Based Composites. Waste and Biomass Valorization (2023) 14:2691–2706

[15] Tuan Anh Nguyen and QuangTungNguyen. Hybrid Biocomposites Based on Used Coffee Grounds and Epoxy Resin: Mechanical Properties and Fire Resistance. Hindawi International Journal of Chemical Engineering Volume 2021, Article ID 1919344, 12 pages https://doi.org/10.1155/2021/1919344

[16] Joo Seong Sohn ,Youngjae Ryu, Chang-Seok Yun, Kun Zhu and Sung WoonCha. Extrusion Compounding Process for the Development of Eco-Friendly SCG/PP Composite Pellets. Sustainability 2019, 11, 1720

[17] Jittiwat Nithikarnjanatharn and Anuchit Khongrit. Effectsof couplingagent on mechanical and physical properties of spent coffee ground filled with polylactic acid composites. UBU Engineering Journal. No. 13, Issue 2

[18] Anuchit Khongrit and Jittiwat Nithikarnjanatharn Effect of Compatibilizing Agents on Mechanical and Physical Properties of Spent Coffee Ground Filled Polypropylene Composites. UBU Engineering Journal. No. 11, Issue 1

[19]https://www.peijinchem.com/biodegradable-polymer/pbs-polybutylene-succinate/polybutylene-succinate-pbs.html

[20]https://th.pngtree.com/free-png-vectors/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9F

[21] Supatthra Muparang (2565). Study of Recycled Polypropylene Mixed with Polylactic Acid Adding Phosphor to Produce Plastic Filaments for Forming Parts with 3D Printers (Master of Engineering Thesis) Rajamangala University of Technology Isan.

[22] ปริญญา พวงนาค.เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ,

เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, 2543, หนา 179-194

[23] Yang HS, Kim HJ, Son J, Park HJ, Lee BJ, Hwang TS. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. Composite Structures. 2004; 63: 305–312.

[24] Kwona JH, et al. Tensile properties of kenaf fiber and corn husk flour reinforced poly (lactic acid) hybrid bio-composites: Role of aspect ratio of natural fibers. Composites: Part B. 2014; 56: 232-237.

การศึกษาสมบัติเชิงกลพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซิเมทิลีนและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด

A Study on the Mechanical Properties of Polyoxymethylene and Polybutylene Succinate Blends Formed by Injection Molding Process

ภัสราพร อัศวภูมิ[1], Kazuki Fujimoto [2], Hiroyuki Hamada [1], สมหมาย ผิวสอาด[1] และ ณรงค์ชัย โอเจริญ[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] บริษัท ไทยโพลีอะซีทัล จำกัด (TPAC) อาคารเอ็มโพเรี่ยม ชั้น 24/4-8 622 ถ. สุขุมวิท แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 ประเทศไทย

Patsaraporn Atsawaphoom, Kazuki Fujimoto[2], Hiroyuki Hamada[1], Sommai Pivsa-Art and Narongchai O-Charoen[1*]

[1] Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[2] Thai Polyacetal Co., Ltd. Emporium Tower Floor 24/4-8 622 Sukhumvit Road, Klongton, Klongtoey, Bangkok 10110, Thailand

E-mail: narongchai.o@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซิเมทิลีน (POM) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) โดยเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแห้งในอัตราส่วน POM:PBS ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100 โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นทำการทดสอบสมบัติการไหลและสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็ง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่ม PBS ส่งผลให้ค่าความหนืดลดลงและพฤติกรรมการไหลเปลี่ยนไปในทิศทางที่เหมาะสมกับกระบวนการขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณ PBS ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ ความแตกต่างของอุณหภูมิหลอมเหลว และแนวโน้มการเสื่อมสภาพของ PBS ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสม POM/PBS เพื่อประยุกต์ใช้เชิงวิศวกรรมที่ยั่งยืน เป็นแนวทางสำคัญในการลดการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียมและตอบโจทย์แนวทางการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำหลัก พอลิออกซิเมทิลีน, พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต, พอลิเมอร์ผสม, พอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพ, กระบวนการฉีด

Abstract

This study aimed to investigate the mechanical properties of polymer blends composed of polyoxymethylene (POM) and polybutylene succinate (PBS). The blends were prepared by dry blending at POM:PBS weight ratios of 100:0, 75:25, 50:50, and 0:100, then molded by injection molding. The flow behavior and mechanical properties such as tensile strength, elastic modulus, impact strength and hardness were tested. The results revealed that increasing the PBS content reduced viscosity and

altered flow behavior that is suitable for the molding process. However, the mechanical properties decreased with higher PBS content, potentially due to polymer incompatibility, differences in melting temperatures, and the thermal degradation tendency of PBS during processing. This research provides a foundation for developing sustainable POM/PBS polymer blends for engineering applications, offering a promising alternative to petroleum-based plastics and supporting the advancement of environmentally friendly materials.

Keywords: Polyoxymethylene, Polybutylene succinate, Polymer blend, Biodegradable polymer, Injection molding

1. บทนำ

การพัฒนาวัสดุใหม่มีหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพนั่นคือพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัด และได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) เนื่องจากกระแสการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น ผู้คนเริ่มปรับตัวในการลดการใช้พลาสติก ในขณะเดียวกันผู้ประกอบการก็มีปรับตัวมากขึ้น เช่นลดการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ไม่จำเป็น หรือการใช้พลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ตอบโจทย์ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งนักวิจัยด้านวัสดุพอลิเมอร์ก็พยายามศึกษาและพัฒนาวัสดุใหม่ๆ เพื่อจัดการกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

พอลิออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) เป็นเทอร์โมพลาสติกเชิงวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นการผลิตเฟือง แบริ่ง บูช ตัวยึด และส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีความแม่นยำ [1]

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง แต่ไม่แข็งแรงเท่ากับพลาสติกวิศวกรรมบางชนิด เหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการระดับประสิทธิภาพสูงมากนัก เช่น บรรจุภัณฑ์ สิ่งทอ เกษตรกรรม และวัสดุทางการแพทย์ [2,3]

การผสมกันระหว่าง POM และ PBS มีความน่าสนใจ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีสมบัติที่โดนเด่นที่แตกต่างกัน ซึ่ง POM ก็มีข้อจำกัดที่ควรปรับปรุงคือการย่อยสลายทางชีวภาพ ทั้ง POM และ PBS จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวัสดุพอลิเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติทั้งด้านสมรรถนะและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของอุตสาหกรรมยุคใหม่ที่ให้ความสำคัญการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM กับ PBS จึงนับเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์แบบ Eco-Friendly Engineering Plastics ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจมากขึ้นในการพัฒนาวัสดุวิศวกรรมที่ยั่งยืน [4]

ปัจจุบันยังมีงานวิจัยที่ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM และ PBS ค่อนข้างน้อย เช่น งานวิจัยของ Qi Jiao และคณะ [5] ได้ศึกษาพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ขึ้นรูปแบบแผ่นฟิล์มบาง พบว่าการมีอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดการตกผลึกไม่พร้อมกัน และการวิเคราะห์ DMA พบว่ามี Tg สองค่า บ่งชี้ถึงการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว ซึ่งการเติม PBS ใน POM ยังช่วยเพิ่มค่าความเหนียวและความต้านทานความร้อนของวัสดุผสมได้อีกด้วย อีกหนึ่งงานวิจัยของ Zi-Li Zheng และคณะ [6] ได้ศึกษาการเกิดผลึกแบบ Trans-crystallization บริเวณรอยต่อของพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ที่ขึ้นรูปในลักษณะแผ่นฟิล์มบาง โดยใช้เส้นใย Polyamide 6 เป็นตัวเหนี่ยวนำ เพื่อศึกษาควบคุมลักษณะและรูปแบบของผลึกในวัสดุคอมโพสิต

อย่างไรก็ตาม เห็นได้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นการศึกษาในลักษณะของแผ่นฟิล์มบางและพฤติกรรมการตกผลึกเป็นหลัก ในทำนองเดียวกัน ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาศักยภาพของ POM ในการผสมกับพอลิเมอร์ชีวภาพอื่น เช่น PLA ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อย

สลายได้เช่นเดียวกับ PBS โดย Jianhua Li และคณะ [7] ได้รายงานว่า พอลิเมอร์ผสม POM/PLA สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพบางส่วน และพบว่าการเพิ่มปริมาณ PLA ในส่วนผสมช่วยส่งเสริมอัตราการย่อยสลายให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ Jitlada B. และคณะ [8] รายงานว่าพอลิเมอร์ผสม POM และ PLA ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ฉีดขึ้นรูปด้วยความเร็ว 100 mm/s สามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของ POM ได้ ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มที่น่าสนใจในการปรับปรุงสมบัติด้านความยั่งยืนของ POM ผ่านการผสมกับพอลิเมอร์ชีวภาพ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้หลากหลายแนวทาง

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM และ PBS โดยใช้วิธีการผสมแบบ Dry blending เพื่อให้เม็ดพลาสติกผ่านความร้อนเพียงครั้งเดียวก่อนขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่มักมุ่งเน้นการศึกษาในรูปแบบฟิล์มบาง โดยเลือกให้ POM เป็นเฟสหลักในระบบผสม จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ เพื่อประเมินผลกระทบของการเติม PBS ต่อสมบัติของวัสดุ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาศักยภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ในระยะต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ทดลอง

เม็ดพลาสติกพอลิออกซิเมทิลีน (POM) ชนิด Copolymer ชื่อทางการค้า Iupital F30-03 เกรดสำหรับงานฉีด จากบริษัท Mitsubishi Engineering-Plastic มีค่า MFR (190°C, 2.16 kg) เท่ากับ 27 g/10min และ และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ชื่อทางการค้า PlastMate เกรด PL34002J จากบริษัท PTT Global Chemical มีค่า MFR (190°C, 2.16 kg) เท่ากับ 30 g/10min

2.2 การเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม POM/PBS

ขั้นตอนนี้จะนำเม็ดพลาสติก POM และ PBS ไปอบเพื่อกำจัดความชื้นที่ 80°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผสมกันด้วยวิธีผสมแบบแห้ง (Dry blending) ที่อัตราส่วน POM: PBS ต่างๆ ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100 %wt โดยมุ่งเน้นศึกษาที่ POM เป็นพอลิเมอร์พื้นฐาน จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบดัมเบลตามมาตราฐาน ASTM D638 type I ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกรุ่น ARBURG Allrounder 470 C โดยตั้งค่าอุณหภูมิกระบอกฉีด อยู่ที่ 170 – 200°C จาก Feed zone ถึง Nozzle zone ตามลำดับ

2.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม POM/PBS

การทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนด้วยเครื่อง Capillary Rheometer (NETZSCH) รุ่น RH2000 ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D3835 ที่อุณหภูมิ 200°C

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile test) ดำเนินการโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น Hounsfield H10KS ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I โดยทดสอบด้วย Loadcell ขนาด 25 kN ที่อัตราตราเร็ว 50 mm/min และใช้ชิ้นงานจำนวน 6 ชิ้นในการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact test) ดำเนินการโดยใช้เครื่อง CEAST 6542 ตามมาตรฐาน ASTM D256 แบบไอซอด (Izod test) โดยใช้ชิ้นงานดัมเบลจากการฉีดขึ้นรูปตัดให้มีความกว้าง 6.35 มิลลิเมตร และทำรอยบาก (Notch) ที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน ทดสอบด้วยค้อนน้ำหนัก 2 จูลจำนวน 5 ชิ้น เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบความแข็ง (Hardness test) ดำเนินการทดสอบแบบร็อคเวล (Rockwell) ตามมาตรฐาน ATSM D785 ใช้ลูกบอลขนาด 10 kg, หัวกดขนาด ¼ นิ้ว สเกล L ในการวัด โดยทดสอบด้วยเครื่อง Matsuzawa รุ่น DXT-1

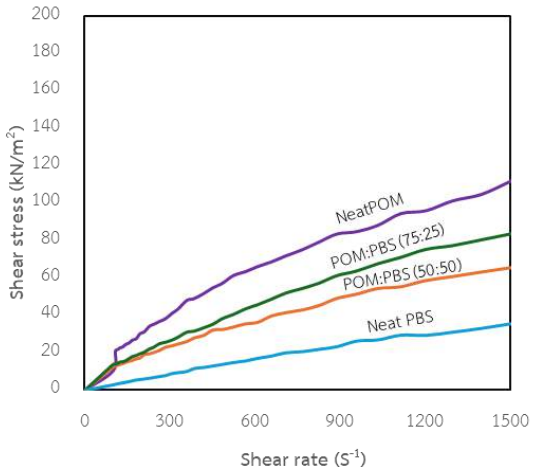
3. ผลการวิจัย

3.1 สมบัติการไหล (Rheology properties)

รูปที่ 1 คือกราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์ผสมของอัตราสวนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 200°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิของหัวฉีด พบว่า POM มีค่า Shear stress

สูงสุด แสดงให้เห็น POM มีความหนืดสูง และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ PBS ในพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่า Shear rate ลดลงตามปริมาณของ PBS ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก PBS มีค่าความหนืดต่ำกว่า จึงทำให้ค่าความหนืดโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนลดลง

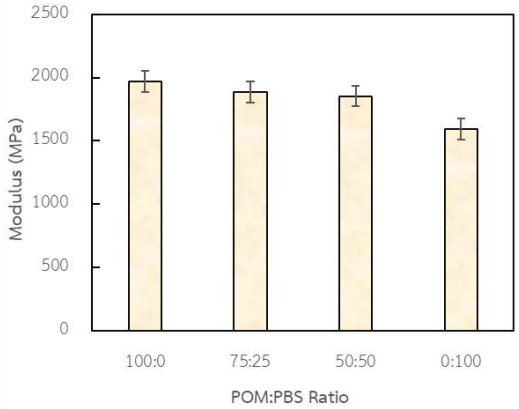
นอกจากนี้กราฟของพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้ง แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสม POM/PBS มีลักษณะแบบ Non-Newtonian fluid และมีพฤติกรรมการไหลแบบ Shear Thinning คือ เมื่อ Shear rate เพิ่มขึ้น ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมจะลดลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมการไหลที่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปแบบฉีด



รูปที่ 1 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิ 200°C

3.2 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

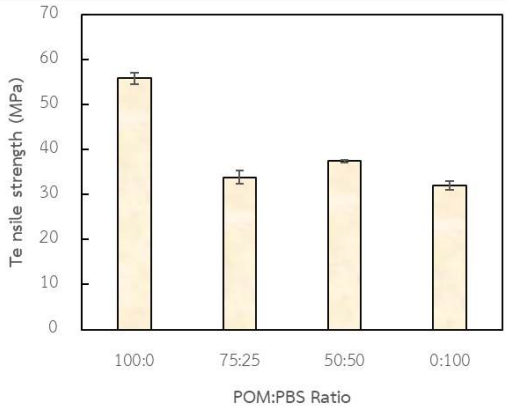
รูปที่ 2 คือกราฟที่แสดงมอดูลัสยืดหยุ่น (Tensile modulus) จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสม POM:PBS 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100 %wt ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1970, 1885, 1853 และ 1592 MPa ตามลำดับ



รูปที่ 2 กราฟแสดงมอดูลัสยืดหยุ่น (Tensile modulus)

ผลการทดสอบพบว่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีปริมาณ PBS เพิ่มขึ้น โดย POM มีค่ามอดูลัสสูงสุด ซึ่งแสดงถึงความแกร่ง (Stiffness) ของ POM ในขณะที่ PBS มีค่ามอดูลัสต่ำสุด เนื่องจากสมบัติโดยทั่วไปของ PBS มีความเหนียวและยืดหยุ่นมากกว่า POM [5] เมื่อเติม PBS เข้าไปอาจให้ความแข็งแรงโดยรวมของเมทริกซ์ POM ลดลง อย่างไรก็ตาม ค่ามอดูลัสของวัสดุผสมยังคงสูงกว่า PBS ในทุกอัตราส่วนการผสม

รูปที่ 3 แสดงผลทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) พบว่า POM มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 56 MPa และการเพิ่มปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงลดลง โดยอัตราส่วนที่ 75:25 มีค่าใกล้เคียงกับ PBS ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วน 50:50 ซึ่งความต้านทางแรงดึงของอัตราส่วน 75:25 ที่ลดลงนี้อาจเกิดจากปัจจัยด้านโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม เช่นการแยกเฟสไม่สมบูรณ์, การกระจายตัวของ PBS, และรอยต่อระหว่างเฟส เป็นต้น [10] ทั้งนี้ต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุผสมเพิ่มเติมเพื่อยืนยันสาเหตุให้ชัดเจนขึ้น

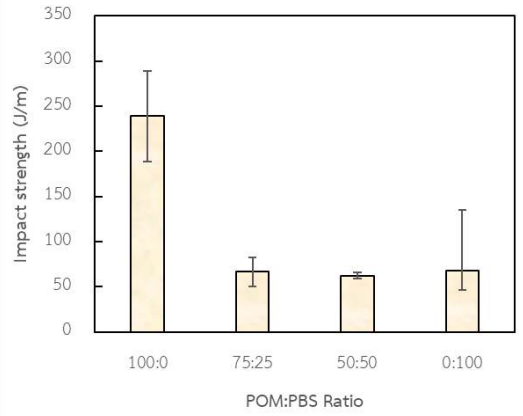


รูปที่ 3 กราฟแสดงความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

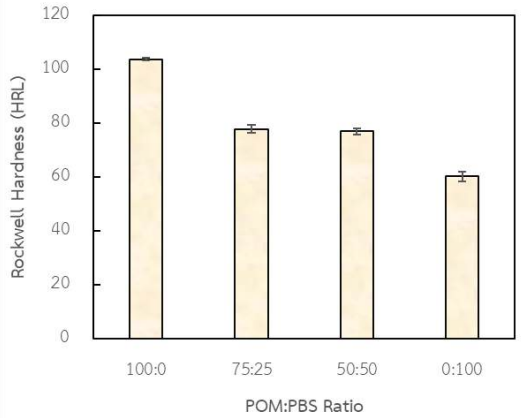
รูปที่ 4 แสดงจากผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ โดยผลการทดสอบพบว่า POM มีค่าสูงสุดประมาณ 238 J/m เมื่อมีการผสม PBS ทำให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าอยู่ที่ 100-150 J/m ซึ่งลดลงจนใกล้เคียงกับ PBS ที่มีค่าทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยที่ 67

J/m ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเติม PBS ซึ่งมีสมบัติด้านความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง แต่มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำเมื่อเทียบกับ POM อาจส่งผลให้การถ่ายเทแรงกระแทกในเมทริกซ์ลดลง ทำให้เกิดการลดลงในการรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jianhua Li และคณะ [7] ที่รายงานว่าการเติม PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเช่นเดียวกับ PBS ลงใน POM ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงเช่นเดียวกัน

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล พบว่า POM มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 103 HRL แต่เมื่อมีการเพิ่ม PBS เข้าไปในพอลิเมอร์ผสมพบว่าค่าความแข็งมีค่าลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength)



รูปที่ 5 กราฟแสดงความแข็งหรือความต้านทานต่อแรงกด (Hardness)

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาสมบัติการไหลเบื้องต้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเมทริกซ์ POM กับ PBS พบว่า การเพิ่มปริมาณ PBS ส่งผลให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดยังอยู่ในช่วงระหว่างค่าความหนืดของ POM และ PBS ในส่วนของผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า การเพิ่มปริมาณ PBS ในเมทริกซ์ POM ส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก และความแข็งของพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1.) การเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ POM และ PBS ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของวัสดุผสมไม่ดีนัก โดยพฤติกรรมการแยกเฟสดังกล่าวพบในพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่สามารถเข้ากันได้เพียงบางส่วน (Partially miscible blend) และในพอลิเมอร์ผสม HDPE/PBS ที่ไม่เข้ากันได้ (Immiscible blend) ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะการแยกเฟสอย่างชัดเจน [4,9]

2.) พอลิเมอร์ทั้งสองมีอุณหภูมิหลอมเหลวแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการแข็งตัวและการตกผลึกในขั้นตอนการเย็นตัว โดยงานวิจัยของ Qi Jiao และคณะ [5] พบว่า พอลิเมอร์ผสม POM/PBS มีความเข้ากันได้ดีในสถานะหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 190°C แต่เกิดการแยกเฟสเมื่อเย็นตัวลง เนื่องจากการตกผลึกของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่เกิดพร้อมกัน

3.) การเสื่อมสภาพของ PBS โดยทั่วไป PBS มีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายในกระบวนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงกระแทก ถึงแม้ว่า PBS จะมีความยืดหยุ่น แต่ค่าความทนต่อแรงกระแทกกลับต่ำกว่า POM อย่างมีนัยสำคัญ

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสัดส่วนของ PBS ในพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ส่งผลให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็งลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ POM บริสุทธิ์ ถึงแม้สมบัติเชิงกลจะลดลงเมื่อมีการเติม PBS แต่ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ผสม POM/PBS ต่อไป

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้วัสดุผสมดังกล่าวมีศักยภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาสมบัติด้านอื่นเพิ่มเติมที่

นอกเหนือจากขอบเขตของงานวิจัยนี้ เช่น สมบัติทางความร้อน การเปลี่ยนรูปทางสัณฐานวิทยา รวมถึงการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ผ่านการเติมสารช่วยประสาน (Compatibilizer) ตลอดจนการประเมินความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ เพื่อพัฒนาให้เป็นวัสดุให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงวิศวกรรมและตอบโจทย์แนวทางการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ไทยโพลีอะซีทัล จำกัดที่สนับสนุนเม็ดพลาสติก POM ในงานวิจัยนี้ ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรีที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Tamotsu Hashimoto and Toshikazu Sakaguchi, “POM(Polyoxymethylene),Polyacetals,” Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, (2014), pp. 1-7. doi:10.1007/978-3-642-36199-9_256-1.

[2] Laura Aliotta,Maurizia Seggiani, Andrea Lazzeri, Vito Gigante, and Patrizia Cinelli, “A brief review of poly (butylene succinate) (PBS) and its main copolymers: Synthesis, blends, composites, biodegradability, and applications,” Polymers, 14(4), (2022), 844.

[3] Jun Xu and Bao-Hua Guo, “Poly (butylene succinate) and its copolymers: Research, development and industrialization,” Biotechnology Journal, 5(11), (2010), pp. 1149-1163.

[4] AFT Fluorotec. The future of sustainable engineering plastic [Internet]. AFT Fluorotec; 2023 May 22 [cited 2025 Apr 5]. Available from: https://www.fluorotec.com/news/blog/future-of-sustainable-engineering-plastic/

[5] Qi Jiao, Jieqing Shen, Lijun Ye, Yongjin Li, and Hualin Chen, “Poly (oxyethylene)/poly (butylene succinate) blends: Miscibility, crystallization behaviors and mechanical properties,” Polymer, 167, (2019), pp. 40-47.

[6] Zi-Li Zheng, Wen-Jing Sun, Xi-Xi Zhang, Zhou-Yun-Tong Liu, Wen-Bin Wang, Bai, Meng-Han Bai, Hao-Ran Yang, Gan-Ji Zhong, Xu, Jia-Zhuang Xu, and Zhong-Ming Li, “Interfacial banded transcrystallization of polyoxymethylene/poly (butylene succinate) blends induced by the polyamide 6 fiber,” Chinese Journal of Polymer Science, 40(4), (2022), pp. 394-402.

[7] Jianhua Li, Yatao Wang, Xiaodong Wang, and Dezhen Wu, “Development of polyoxymethylene/polylactide blends for a potentially biodegradable material: crystallization kinetics, lifespan prediction, and enzymatic degradation behavior”, Polymers, Vol. 11, No. 9, 2019, Article 1510.

[8] Jitlada Boonlertsamut, Supaphorn Thumsorn, Toshikazu Umemura, Hiroyuki Hamada, and Atsushi Sakuma, “Enhancement in thermal stability of polyoxymethylene (POM)-based biopolymer blend materials”, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, Vol. 7, 2019, pp. 67–78.

[9] Ajcharaporn Aontee and Wimonlak Sutapun, “Effect of blend ratio on phase morphology and mechanical properties of high density polyethylene and poly (butylene succinate) blend”, Advanced Materials Research, Vol. 747, 2013, pp. 555–559.

[10] Leszek A. Utracki, Charles A. Wilkie. Polymer blends handbook. Secord edition. Dordrecht: Springer; 2014.

การประยุกต์ใช้ ไฟไนต์ เอเลเมนต์ ในกระบวนการขึ้นรูปแบบสัมผัสเป็นจุด

Application of Finite element in the Single Point Incremental Forming Process

ธงชัย เพ็งจันทร์ดี[1] ชวลิต อินปัญโญ[1] วีรพัฒน์ เฉยโพธิ์[1] และ ประสาน คำดีผล[2*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Thongchai Pengjundee[1] Chawalit inpunyo[1] Weerapat Cheoypho[1] and Prasan Kumdeephol[2*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2]Faculty of Engineering Srinakharinwirot university
E-mail: thongchai_p@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอ ผลการศึกษาการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยใช้การจำลองกระบวนขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยจะทำการจำลองการขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียมที่ ความหนา 0.6 มิลลิเมตร ให้มีรูปทรงพีรามิดหัวตัดลึก 20 มิลลิเมตร ด้วยมุมในการขึ้นรูปที่แตกต่างกันคือ มุม 30, 40 และมุม 50 องศา และด้วยปัจจัยการทำงานที่ถูกกำหนดไว้คือ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีและความเร็วเดิน 100, 200 และ 300 มิลลิเมตรต่อนาทีและระยะการกดในแต่ละรอบ เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยจากผลการจำลองสามารถสรุปได้ว่ามุมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปโดยการสัมผัสเป็นจุดกับวัสดุอลูมิเนียมคือมุมในการขึ้นรูปที่ 50 องศา เนื่องจากเป็นมุมที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด

คำหลัก การจำลองการขึ้นรูปแบบสัมผัสเป็นจุด แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป

Abstract

This research presents the results of a study on the influence of factors affecting the force used in forming. It uses a simulation of the continuous forming process through point contact, employing the finite element method to simulate the forming of an aluminum sheet with a thickness of 0.6 millimeters into a truncated pyramid shape with a depth of 20 millimeters. The forming angles considered are 30, 40, and 50 degrees, with working parameters set at a speed of 200 revolutions per minute and feed rates of 100, 200, and 300 millimeters per minute, and a pressing distance of 0.5 millimeters per cycle. The simulation results indicate that the optimal forming angle for aluminum using the point contact forming process is 50 degrees, as it requires the least force for forming.

Keywords: Single Point Incremental Forming, Force, Angle

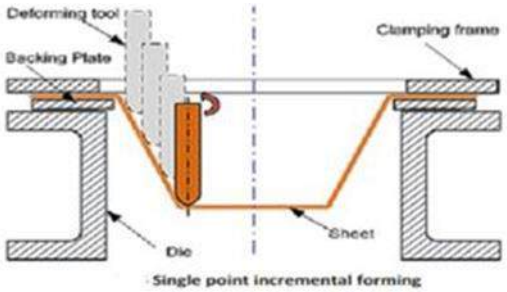
1. บทนำ

กระบวนการการจำลองแบบและใช้โปรแกรมวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ในหมู่วิศวกรหรือผู้ทำการวิจัยในด้านนี้เป็นอย่างมาก ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะสลับซับซ้อนทุกแบบ สามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมที่แท้จริงได้ใกล้เคียง มีความสะดวกรวดเร็ว และทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการขึ้นรูปแบบสัมผัสเป็นจุดมาทำการจำลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยในการขึ้นรูปโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบสัมผัสเป็นจุด ยังมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงอีกด้วย อีกและยังมีระบบการทำงานที่มีความซับซ้อน น้อยมาก ซึ่งสำหรับใช้กระบวนการนี้ในการผลิต ต้นแบบ หรือ ปรับแต่งผลิตผลิตภัณฑ์ เพื่อสนองต่อความต้องการของตลาด กระบวนนี้ ยังมีข้อจำกัดในการผลิตที่ได้ช้ากว่า กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบอื่นๆในปัจจุบัน โดยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ได้นำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านอื่น ๆ หลายด้านไม่ว่าจะเป็นด้านก่อสร้างด้านการออกแบบด้านเครื่องจักรกลด้านการแพทย์ด้านการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น เช่นเดียวกันในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์และการจำลองกระบวนการขึ้นรูป โดยการสัมผัสเป็นจุด งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเสียรูปของโลหะแผ่น โดยจำลองด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสจุด (Single Point Incremental Forming) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ด้วยโปรแกรมเชิงวิศวกรรม Abaqus เพื่อศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเสียรูประหว่างชิ้นงานกับการทดสอบจริง [5] [6]

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้าและทบทวนวรรณกรรมพบว่าในกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดนี้เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่จำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร นั้นจะเกิดจากการสัมผัสระหว่างปลายของเครื่องมือกดที่มีลักษณะเป็นรัศมีโค้งกับแผ่นโลหะเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ส่วนของการสัมผัสที่เกิดขึ้นจะมีแรงกดลงที่พื้นผิวตามอัตราการป้อนลึกของแต่ละรอบความเร็วในการเดินของเครื่องมือและความเร็วรอบที่กำหนดจากโปรแกรมช่วยในการทำงาน (CAM) [1]จึงทำให้มีความเค้นเกิดบนพื้นผิวของโลหะดังกล่าวและนำไปสู่การเสียรูปอย่างถาวร โดยปัจจุบันนี้ กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบใหม่

การขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดนั้นง่ายต่อการทำงานมากยิ่งขึ้นจึงได้ทำการนำอุณหภูมิมาช่วยในการผลิต เพื่อทำให้เกิดกระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพและเป็นระเบียบแผนในการทำงาน งานวิจัยนี้จะศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดโดยอุณหภูมิเข้ามาช่วยในการผลิต วัสดุที่จะนำมา คือ อะลูมิเนียม และ ทองเหลือง ตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปโลหะแผ่น คือ อุณหภูมิและมุม[2]ที่ใช้ในการขึ้นรูป นำมาเปรียบเทียบลักษณะการขึ้นรูปที่เกิดขึ้น พร้อมวิเคราะห์ลักษณะการทำงานที่เกิดขึ้น ในตัวแปรความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแผ่นโลหะและความหนาของแผ่นโลหะด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดโดยมีอุณหภูมิช่วยในการผลิตต่อไป ดังรูปที่ที่ 2.1



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด

3. หลักการทั่วไปทั่วไปสำหรับวิธีไฟไนเอลิเมนท์

ก่อนที่จะศึกษาในรายละเอียดของวิธีไฟไนเอลิเมนท์เราจำเป็นต้องเข้าใจหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดต่าง ๆ ของเอลิเมนต์ [3] วิธีการแบ่งเอลิเมนการกำหนดตำแหน่งต่างๆของเอลิเมนลักษณะของฟังก์ชันการกระจัดและการจำลองแบบของวิธีไฟไนเอลิเมนรวมทั้งจะต้องมีพื้นความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของเข็ง ความสัมพันธ์ของ

ความเนความเครียดและการกระจัด รวมทั้งควรทราบหลักการของงานและพลังงาน เพื่อใช้ประกอบในการสมการไฟไนเอลิเมน และควรทราบการประยุกต์ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ ส่วนหลักการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนเอลิเมนกับปัญหาที่ซับซ้อนอย่างพิศวารนั้น สามารถจะศึกษาได้จากตำราไฟไนเอลิเมนขั้นสูง

3.1 ความรู้พื้นฐานที่จำเป็น

การศึกษาและออกแบบโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์ ต้องมีความรู้พื้นฐานด้านต่าง ๆ หลายด้านจึงจะเข้าใจถึงหลักการ และวิธีการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนเอลิเมนท์ได้เป็นอย่างดีเช่น ความรู้ด้านเมตริก สมการพีชคณิตวิธีอินทริเกรตเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าโดยประมาณ และจะต้องมีพื้นฐานความรู้ทฤษฎีกลศาสตร์ของแข็ง หลักการของพลังงาน เป็นต้น

3.2 ชนิดของเอลิเมนท์

การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนเอลิเมนจำเป็นต้องแบ่งโครงสร้างหรือชิ้นส่วนออกเป็นส่วนเล็ก 1 และเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนให้เหมาะสมกับรูปร่างลักษณะของงานและการกระทำของโหลด ชนิดของเอลิมนต์อาจจะแบ่งได้ 4 ประเภท ตามมิติคือเอลิเมนต์สำหรับปัญหามิติเดียว สองมิติ สามมิติ และเอลิเมนต์แบบสมมาตรรอบแกน

3.3 การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนเอลิเมนท์

เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์งานทางวิศวกรรมทั่วไปมักมีรูปร่างซับซ้อน ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์จึงมีบทบาทเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ญหาต่าง ๆ ในปัจจุบัน เช่น ปัญหาการถ่ายเทความร้อนในวัตถุ และการใช้ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคู่กับคอมพิวเตอร์ [4]ทำให้เราสามารถคำนาณหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยสะดวก และในขณะเดียวกันสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เคยใช้ในการทดลองจริงการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิไฟไนเอลิเมนท์ในยุคแรกเริ่มจากงานทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง (solid Mechanics) และโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในงานทางด้านนี้สามารถทำความเข้าใจได้โดยไม่ยาก วิวัฒนาการระเบียบไฟไนเอลิเมนท์ในทางด้านของแข็งสามารถนำไปใช้ออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ เช่น ก้านเบรกมือ เนื่องจากระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์สามารถนำมาใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์นี้ขยายวงกว้างออกไปนอกเหนือจากทางวิศวกรรม เช่น การใช้ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์กับงานทางด้านการแพทย์ เป็นต้น ในปัจจุบันการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์ก็ยังคงรุดหน้าไปอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากระเบียบวิธีนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ กันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์ได้ถูกนำไปใช้ประยุกต์กับงานในหลายแขนงโดยเฉพาะทางด้านวิศวกรรม เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิมของโหลดเซลล์ในเครื่องบีบอัด (compression Machine) ที่จำเป็นต้องออกแบบในส่วนที่ถูกความร้อนมากระทำมาก ๆ ให้เกิดอายุการใช้งานที่ยืนยาวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้น้อยที่สุด โดยผ่านระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนท์ก็ได้ เป็นต้น[4]

4. วัสดุในการจำลอง

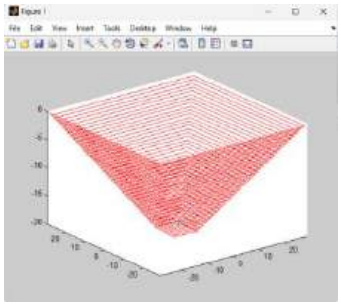
ได้มีการเลือกใช้เกรดอะลูมิเนียม ประเภท 1100 AA 1100 เนื่องเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถพับขึ้นรูปได้ดี ไม่เป็นสนิมมีน้ำหนักเบากว่าสแตนเลสและเหล็ก 3 เท่า อลูมิเนียมแผ่นใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ทำถังบรรจุของเหลว,ทำภาชนะต่างๆ จะมีทั้งแผ่นเรียบและม้วน อลูมิเนียมแผ่น 1100 มีฟิมล์เคลือบPE กันรอยให้ 1 ด้าน สามารถตัดได้ตามขนาดที่ต้องการ อลูมิเนียมแผ่นความหนา 0.3 มม - 10 มม เป็นอลูมิเนียมที่มีปริมาณอลูมิเนียม99.3 ถึง 99.7 และผสมด้วยเหล็กและซิสิคอน เป็นธาตุหลักซึ่งทนต่อการกัดกร่อนได้ดี การนำความร้อน และการนำไฟฟ้าสูง คุณสมบัติทางกลต่ำใช้งานได้ดี มีความแข็งแรงระดับปานกลาง มีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง นำไปใช้งานได้หลากหลายประเภท

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง

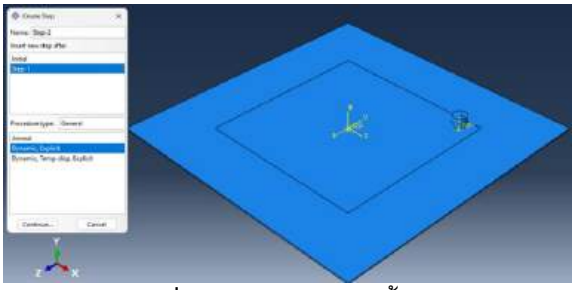
สมบัติทางกล
Temper H14
Tensile Strength 124 (MPa)
Yield Strength 117 (MPa)
Hardness (HR) 32
Shear Strength 76 (MPa)
Hard (HB) 160

5 การจำลอง

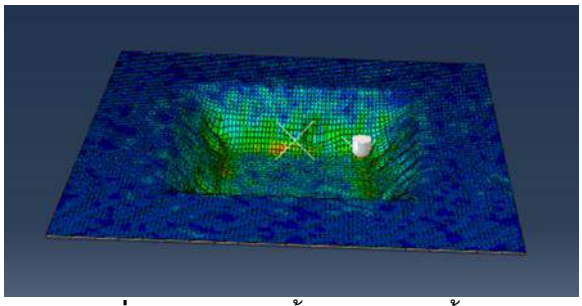
ในโครงการนี้เราจะทำการวิเคราะห์การเสียรูปของโลหะแผ่นเพื่อให้เกิดการขึ้นรูป เนื่องจากผลการวิเคราะห์จากในโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าโลหะแผ่นนั้นเกิดการเสียรูปต่อเนื่องแบบสัมผัสเป็นจุด (single point incremental forming) โดยจะเลือกที่ Mesh Controls และเลือก Element Shape แบบ Quad dominated และ Technique : Structure และใส่ขนาดเมช 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 การจำลองเส้นทางการเดินกด Tool path



รูปที่ 3 การประกอบการขึ้นรูป



รูปที่ 4 รูปลักษณะชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

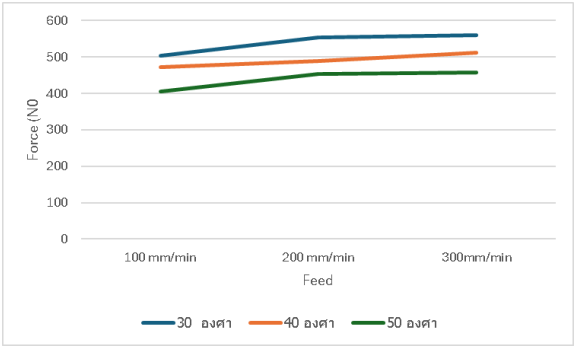
ในการกำหนดปัจจัยในการจำลองนั้น ได้กำหนดให้ปัจจัยต่างในการทดลองเทียบเคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อเทียบเคียงผลที่เกิดขึ้น[1]

ตารางที่ 2 ตารางการใช้ปัจจัยการขึ้นรูป[7]

Process parameter	
l (mm) (Width)	58 mm
p (mm) (Depth)	0.5 mm
h(mm) (Height)	20 mm
α(˚)	30, 40 และ 50
Feed (mm/min)	100, 200 และ 300
Speed (rpm/min)	200

6. อภิปรายผล

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน



รูปที่ 5 ผลการทดลองวัดแรง

1) มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป การจำลองปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยการขึ้นรูปที่มุม 30,40 และ 50 องศา

พบว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป จะลดลงเมื่อมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น โดยค่าของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจะผกผันกับมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป กล่าวคือมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของวัสดุจะเพิ่มมากขึ้น โดยแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของวัสดุอลูมิเนียม โดยมุมที่ก่อให้เกิดแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานสูงสุดคือมุม 30 องศา เท่ากับ 560.51 นิวตันและแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานที่ต่ำสุดที่มุม 50 องศาเท่ากับ 405.66 นิวตัน

2) อัตราป้อน การจำลองปัจจัยอัตราป้อนโดยทำการขึ้นรูปด้วยอัตราป้อนที่ 100,200 และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้มุมในการขึ้นรูปและความเร็วในการหมุนที่เท่ากันนั้น พบว่าค่าของแรงที่เกิดจากปัจจัยดังกล่าว จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก ทำให้เห็นได้ว่าปัจจัยอัตราป้อน ส่งผลต่อการก่อให้เกิดแรงในกระบวนการทำงานน้อย

7. สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงในกระบวนการขึ้นรูป พบว่ามีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อแรงที่เกิดขึ้น ได้แก่ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป และ อัตราป้อนมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น สำหรับวัสดุ อลูมิเนียม แรงที่เกิดขึ้นสูงสุดที่มุม 30° (560.51 นิวตัน) และต่ำสุดที่มุม 50° (405.66 นิวตัน) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ต่ำกว่าจะต้องใช้แรงมากขึ้นในการขึ้นรูปจากการทดลองที่อัตราป้อน 100, 200 และ 300 มม./นาที พบว่าค่าแรงที่เกิดขึ้นมีความใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่า อัตราป้อนมีผลต่อแรงในกระบวนการขึ้นรูปน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการทดลองของ Naranjo [6]

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] ธงชัย เพ็งจันทร์ดี, อิทธิพลของการขึ้นรูปแผ่นโลหะทองเหลืองด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดโดยการทางานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเชิงตัวเลข, ปริญญานิพนธ์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2554.

[2] P.A.F.Martin , N.Bay , M Skjoedt , M.B Silva, Theory of single point increamental forming, Crip Ann. Manufacturing Technology 57 (2008) 247-252.

[3] สุรศักดิ์ สุรนันทชัย, การทำนายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของการแตกหักในงาน ขึ้นรูปโลหะก้อนโดยอ้างอิงถึงแบบจำลองกลศาสตร์ความเสียหายของลาไมเทีย, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1 (กุมภาพันธ์ - กรกฎาคม 2549) : หน้า 07 – 13.

[4] คมกร ไชยเดชาธร, วีรพันธุ์ เจียมมีปรีชา, การวิเคราะห์ความเค้นในเสาท่อเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดวงกลมโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 32,

[5] Courtin S, Henaff-Gardin C, Bezine G (2003) Finite element simulation of roller burnishing in crankshafts. Proceedings of Surface Treatment 2003, Greece. In: Brebbia CA, de Hosson JTM, Nishida SI (eds) Computer methods and experimental measurements for surface treatment effect. WIT, Ashurst, pp 333–342, ISBN: 1-85312-962-3, ISSN: 1466-7266

[6] Naranjo, Jesús & Miguel, Valentín & Martínez-Martínez, Alberto & Coello, Juana & Manjabacas, María. (2019). Evaluation of the Formability and Dimensional Accuracy Improvement of Ti6Al4V in Warm SPIF Processes. Metals. 9. 272. 10.3390/met9030272.

[7] อลูมิเนียม-1100-aluminium-1100, สารสนเทศออนไลน์, 4 เมษายน 2025, https://naspaasia.com/%e0%b8%ad%e0%b8%a5%e0%b8%b9%e0%b8%a1%e0%b8%b4%e0%b9%80%e0%b8%99%e0%b8%b5%e0%b8%a2%e0%b8%a1%e0%b8%ad%e0%b8%b1%e0%b8%a5

%e0%b8%a5%e0%b8%ad%e0%b8%a2%e0%b8

%94%e0%b9%8caa1100/

การศึกษาสมบัติความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาคในงานเชื่อมต่อแบบเทเลอร์เวลด์แบลงค์สำหรับเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูง

Study of hardness and microstructure in Tailor-welded Blanks (TWBs) for high strength-dual phase steels

ยอดชาย –[1] ฤทธิชัย เภาเนียม[2*] คมกริช ละวรรณวงษ์[3] จักรพันธุ์ ชาระ[4]
สมชาย วนไทยสงค์[5] ปิยะพงษ์ ค้ำคูณ[6] และเอกชัย รอดพิสา[7]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2,3,4,5,6,7] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Yodchai -[1], Rittichai Phaoniam[2*], Komgrit Lawanwong[3], Jakkapan Chara[4]
Somchai Wongthaisong[5], Piyapong Kumkoon[6] and Ekkachai Rodpisa[7]
[1] Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
[2,3,4,5,6,7] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand

E-mail: rittichai.p@mail.rmutk.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างเหล็กกล้าเฟสคู่ (Dual Phase steel) ต่างชนิดกันหรือเรียกว่า เทเลอร์เวลด์แบลงค์ (Tailor-welded Blanks ; TWBs) ซึ่งโดยทั่วไปโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเฟศคู่นี้ประกอบด้วย เฟอร์ไรต์และมาร์เทนไซต์เป็นหลัก การดำเนินการทดลองประกอบด้วย การเชื่อมต่อระหว่างเหล็กกล้าเฟสคู่ เกรด 590Y และเกรด 980Y ความหนา 1.2 มม. ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สปกคลุม (GTAW) จากนั้นได้ทดสอบค่าความแข็งแบบไมโครวิคเกอร์ ด้วยแรงกด 0.98 N เวลานาน 10 วินาที และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณ โลหะฐาน (Base Metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และเนื้อเชื่อม (Weld Metal) เช่นกัน ผลการทดลองพบว่า การเชื่อมด้วยค่าความร้อนนำเข้า (Heat Input) เท่ากับ 0.125 kJ/mm ทำให้บริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งสูงขึ้นเท่ากับ 415 HV0.1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของโลหะฐานของ เกรด 590Y เท่ากับ 203 HV0.1 และเกรด 980Y เท่ากับ 303 HV0.1 ตามลำดับอย่างไรก็ตามบริเวณกระทบร้อนด้านเหล็กเกรด 980Y มีค่าลดลงต่ำสุดเท่ากับ 243 HV0.1 เมื่อพิจารณาโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์หยาบและเบนไนต์บางส่วนซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น ขณะที่บริเวณกระทบร้อนด้านเหล็กเกรด 590Y พบโครงสร้างอะซิคูลาร์เฟอร์ไรต์ (Acicular Ferrite) และเบนไนต์บางส่วนเช่นกัน อย่างไรก็ตามบริเวณเนื้อเชื่อมด้านเหล็กเกรด 980Y พบโครงสร้างอะซิคูลาร์เฟอร์ไรต์ เบนไนต์และคาร์ไบต์ ซึ่งบ่งชี้ว่าทำให้ค่าความแข็งลดลงจากเดิม (Soft Zone) จากงานวิจัยนี้ทำให้สรุปได้ว่าการเชื่อมต่อระหว่างเหล็กกล้าเฟสคู่ต่างชนิดกัน จะทำให้เกิดการแข็งขึ้น (Hard Zone) ณ บริเวณเนื้อเชื่อม ในทางกลับกันเหล็กกล้าเฟสคู่เกรดความแข็งแรงสูงกว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดการอ่อนตัวลง ณ บริเวณกระทบร้อน

คำหลัก : รอยเชื่อม เหล็กกล้าเฟสคู่ เทเลอร์เวลด์แบลงค์ เฟอร์ไรต์ มาร์เทนไซต์

Abstract

This research aims to study the hardness properties and the evolution of microstructures resulting from the dissimilar welding of dual-phase steels, commonly referred to as “Tailor-Welded Blanks (TWBs).” Generally, such steel consists of martensite and ferrite phases. For the experimental procedure, dual-phase steels of 590Y grade and 980Y grade were welded together using the gas tungsten arc welding (GTAW) process. The specimen plate had a thickness of 1.2 mm. Vickers hardness testing was conducted with a load of 0.98 N for 10 seconds, and microstructure examination was performed on the base metal, the heat-affected zone (HAZ), and the weld metal, respectively. The results revealed that a welding heat input of 0.128 kJ/mm increased the hardness of the weld metal to 145 HV0.1. Meanwhile, the hardness values of the base metals, 590Y grade and 980Y grade, were 203 HV0.1 and 303 HV0.1, respectively. However, in the HAZ of the 980Y grade, the hardness decreased to 243 HV0.1. Regarding microstructure examination, the weld metal predominantly contained coarse martensite along with some bainite, which correlates with the increased hardness of the weld metal. In the HAZ of the 590Y grade, acicular ferrite and some bainite were observed. Meanwhile, in the HAZ of the 980Y grade, acicular ferrite, some bainite, and carbides were present. This research concludes that welding different dual-phase steels promotes a hardened zone at the dissimilar weld metal. In contrast, the higher-strength dual-phase steel tends to develop a soft zone in the HAZ.

Keywords: Weld, Dual Phase Steel, Tailor-Welded Blanks (TWBs), Ferrite, Martensite

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ให้ความสำคัญกับความปลอดภัย ความสะดวกสบาย ประสิทธิภาพ และการลดน้ำหนักของรถยนต์ [1] พบว่าเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูง ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์จำนวนมาก เนื่องจากมีความโดดเด่นด้านความแข็งแรง น้ำหนักเบา [2] มีสมบัติที่ผสมผสานกันระหว่างความสามารถในการขึ้นรูปและมีค่าความแข็งแรงสูง [3] ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของโครงสร้างจุลภาคซึ่งประกอบด้วย 2 เฟสหลักคือ เฟสชนิดมาร์เทนไซต์ (Martensite) ซึ่งมีความแข็งแรงสูงที่เกิดกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างพื้นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) มีสมบัติเด่นคือมีความเหนียวสูง [4] และหนึ่งในกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักและเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างยานยนต์ คือการใช้เทคโนโลยี Tailor-Welded Blanks (TWBs.) [5] ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะสองแผ่นที่เชื่อมเข้าด้วยกันบนระนาบเดียวกันก่อนกระบวนการขึ้นรูปโดย TWBs. สามารถผลิตได้ผ่านกระบวนการเชื่อมที่หลากหลาย เช่น การเชื่อมเลเซอร์ (Laser Welding) การเชื่อมแบบเหนี่ยวนำ (Induction Welding) และการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม (GTAW) ตามที่งานวิจัยล่าสุดได้ระบุไว้ [6] การเชื่อมโลหะเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีหลักในการเชื่อมต่อวัสดุโลหะให้กลายเป็นชิ้นงานเดียวกัน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ โครงสร้างเหล็ก และการผลิตเครื่องจักรต่าง ๆ การเชื่อมช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน และประสิทธิภาพในการใช้งานของชิ้นส่วนโลหะ กระบวนการนี้ยังส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความแข็งแรงและความเหนียว การควบคุมพารามิเตอร์ของการเชื่อมและความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโลหะหลังการเชื่อมจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงและเหมาะสมกับการใช้งาน อย่างไรก็ตามความร้อนที่ได้รับในระหว่างการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวที่สูงภายหลังการเชื่อมส่งผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของวัสดุเสมอ ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล ที่แตกต่างกันออกไป

[7] ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการการศึกษาสมบัติของเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูงที่ผ่านการเชื่อมต่อแบบ Tailor-Welded Blanks เพื่อศึกษาผลกระทบทางโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการเชื่อมต่อ สมบัติความแข็ง เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานและแนวทางในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1 เหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูง (High Strength-Dual Phase Steels) เป็นเหล็กในกลุ่ม HSS ที่มีความสำคัญที่สุดได้ถูกนำมาใช้ในชิ้นส่วนยานยนต์เป็นหลัก เช่น คานกันชน โครงด้านข้าง และเสากลาง โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเฟสคู่ประกอบด้วยเฟสมาร์เทนไซต์ (Martensite) ที่มีความแข็งแรง กระจายตัวใน เฟสเฟอร์ไรต์ (Ferrite) ที่มีความเหนียวส่งผลให้มีทั้งความแข็งแรงและความเหนียวสูง ความแข็งแรงขึ้นอยู่กับปริมาณ มาร์เทนไซต์และปริมาณคาร์บอนขณะที่ความเหนียวถูกควบคุมโดยขนาดเกรนของเฟอร์ไรต์โดยทั่วไปเหล็กกล้าเฟสคู่มีปริมาณมาร์เทนไซต์ ประมาณ 5-30% การปรับปรุงสมบัติเชิงกลสามารถทำได้โดยลดขนาดเกรนของเฟอร์ไรต์ เพิ่มสัดส่วนมาร์เทนไซต์และเพิ่มปริมาณคาร์บอน เพื่อให้มีความแข็งแรงเหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ [8-10]

2.2 กระบวนการเชื่อม Tailor-Welded Blanks

เดิมทีคำว่า "Tailored Blanks" หมายถึงแผ่นโลหะที่มีความหนาต่างกันและถูกเชื่อมหลอมรวมกันเพื่อสร้างชิ้นส่วนที่มีสมบัติเฉพาะตามต้องการ เมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น แนวคิดนี้ได้พัฒนาให้ครอบคลุมการเชื่อมวัสดุขนาดเล็กเข้ากับแผ่นหลัก การผลิต Tailor-Welded Blanks (TWBs) ประกอบด้วยการเชื่อมแผ่นโลหะตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไปเข้าด้วยกันในระนาบเดียวก่อนกระบวนการขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคการเชื่อมหลากหลาย เช่น การเชื่อมเลเซอร์ (Laser Welding) การเชื่อมแบบเหนี่ยวนำ (Induction Welding) และการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม (GTAW) ซึ่งชิ้นงานอาจมีความหนาหรือความแข็งแรง คุณสมบัติที่แตกต่างกันก็ได้ โดยเทคนิคนี้ช่วยเสริมความแข็งแรงเฉพาะบริเวณของชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานหรือความแข็งแกร่งเพิ่มเติม ซึ่งช่วยลดน้ำหนักรวมของยานพาหนะ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและสมรรถนะของรถดีขึ้น นอกจากนี้ การวางตำแหน่งวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงในบริเวณที่มีความเค้นสูง (High-Stress Areas) หรือในบริเวณที่ต้องรับแรงกระแทก (Collision Zones) ร่วมกับการใช้ TWBs ยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับยานยนต์ได้อีกด้วย [11]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

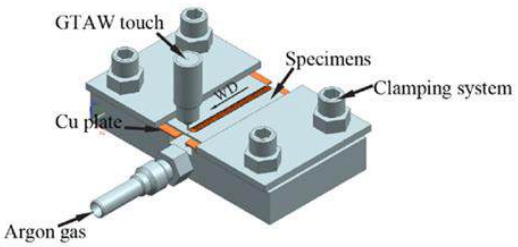
เป็นเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูง เกรด 590Y และ 980Y ขนาด $70^{\text{กว้าง}}$x$70^{\text{ยาว}}$x$1.2^{\text{หนา}}$ mm แสดงส่วนผสมเคมีของเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูงเกรด 590Y และ 980Y ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี

วัสดุ	C	Si	Mn	P	S	Al	V	B	Cr	Fe
590Y	0.12	0.40	1.60	0.025	0.010	0.015	0.2	0.005	-	Bal.
980Y	0.177	1.426	1.386	0.019	-	-	-	-	0.031	Bal.

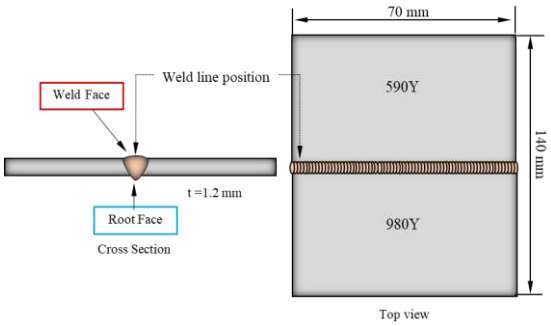
3.2 กระบวนการเชื่อม

กระบวนการนี้ใช้การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding) เป็นวิธีการเชื่อมที่ให้ความร้อนอย่างแม่นยำและมีความสะอาดสูง เหมาะสมกับการเชื่อมวัสดุที่ไวต่อความร้อน เช่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง [12-13] ในการทดลองในครั้งนี้ใช้รอต่อเชื่อมแบบต่อชน (Butt-Weld) โดยมีอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานเพื่อป้องกันการบิดเบี้ยว และตำแหน่งการเชื่อม แสดงดังรูปที่1 และ รูปที่2 และตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการเตรียมอุปกรณ์และอุปกรณ์จับยึด

ชิ้นงาน



รูปที่ 2 ตำแหน่งการเชื่อมชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ตัวแปรสำคัญในงานเชื่อม

ตัวแปรที่สำคัญในงานเชื่อม	ตัวแปรในการทดลอง
กระแส (Current)	75 แอมแปร์
แรงดันเชื่อม (Voltage)	11 โวลต์
แก๊สปกคลุม	แก๊สอาร์กอน 99.9%
อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม	10 ลิตรต่อนาที
ความเร็วเชื่อม	6 มิลลิเมตรต่อวินาที
แท่งอิเล็กโทรด (Electrode)	WT20, Ø 2.4 มิลลิเมตร
ระยะอาร์ก (Arc Length)	2 มิลลิเมตร

3.3 ทดสอบค่าความแข็งแบบไมโครวิคเกอร์

เหมาะสำหรับการวัดความแข็งของวัสดุที่มีความบาง หรือพื้นที่ทดสอบขนาดเล็ก รอยกดมีขนาดเล็กและสามารถให้ค่าความแข็งที่ละเอียดแม่นยำก่อนการทดสอบให้ขัดผิวชิ้นงานให้เรียบเพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำโดยใช้แรงกด 0.98 N เวลานาน 10 วินาที

3.4 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

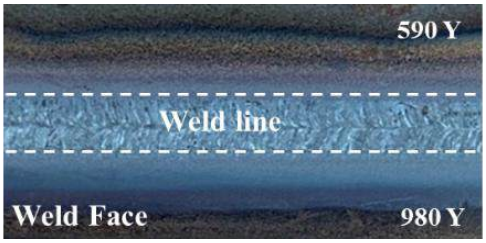
หน้าตัดของรอยเชื่อมถูกขัดเงาโดยใช้เครื่องขัดอัตโนมัติตามมาตรฐาน ASTM E407 จากนั้นนำไปกัดกรดด้วยสารละลายกรดไนตริก 2% เป็นเวลาประมาณ 5-10 วินาที เพื่อเตรียมสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) บริเวณ โลหะฐาน (Base Metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และเนื้อเชื่อม (Weld Metal)

4.ผลการทดลอง

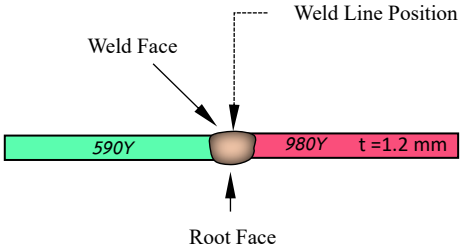
4.1 ผลการเชื่อมชิ้นงานแบบ TWBs ภายหลังการเชื่อมเสร็จได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมเบื้องต้นด้วยสายตา บริเวณด้านหน้า (Weld Face) แนวเชื่อมมีลักษณะเรียบต่อเนื่อง ไม่มีรอยร้าว รูพรุนหรือ การกัดขอบ และบริเวณด้านหลัง (Weld Face) มีการหลอมละลายและเติมแนวเชื่อมได้อย่างเหมาะสมผลการตรวจสอบไม่พบข้อบกพร่องที่มองเห็นได้ แสดงดังรูปที่ 3 (ก-ค)

4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง

ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบไมโครวิคเกอร์ (Micro-Vickers Hardness) ของชิ้นงานเชื่อม TWBs ดังรูปที่ 4 พบว่า บริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ของวัสดุ 590Y มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 203 HV0.1 ขณะที่บริเวณกระทบร้อน (Heat-Affected Zone: HAZ) มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 313 HV0.1 ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งของโลหะฐานอย่างชัดเจน

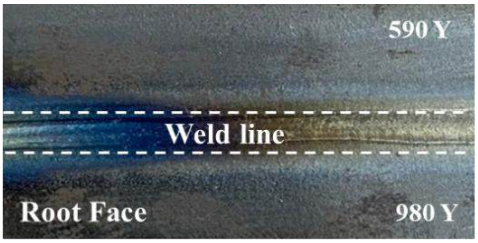


(ก) บริเวณด้านหน้าแนวเชื่อม (Weld Face)



Cross Section

(ข) ลักษณะภาพตัดขวางของชิ้นงานเชื่อม



(ค) บริเวณด้านหลังรอยเชื่อม (Root Face)

รูปที่ 3 ชิ้นงานเชื่อม TWBs

บริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ของวัสดุ 980Y มีค่าความแข็งเฉลี่ย 303 HV0.1 ขณะที่บริเวณกระทบร้อน (Heat-Affected Zone: HAZ) มีค่าความแข็งลดลงต่ำสุดอยู่ที่ 243 HV0.1 เมื่อเทียบกับโลหะฐาน

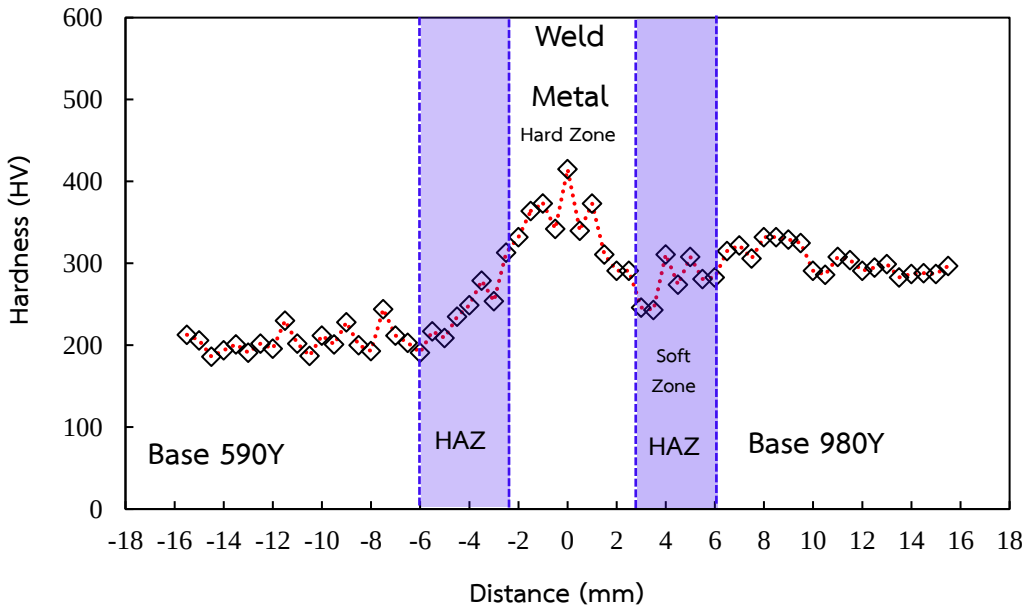
บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) มีค่าความแข็งสูงขึ้นอยู่ที่ 415 HV0.1 เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ของวัสดุทั้งสองชนิด

4.3 ผลโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าเฟสคู่

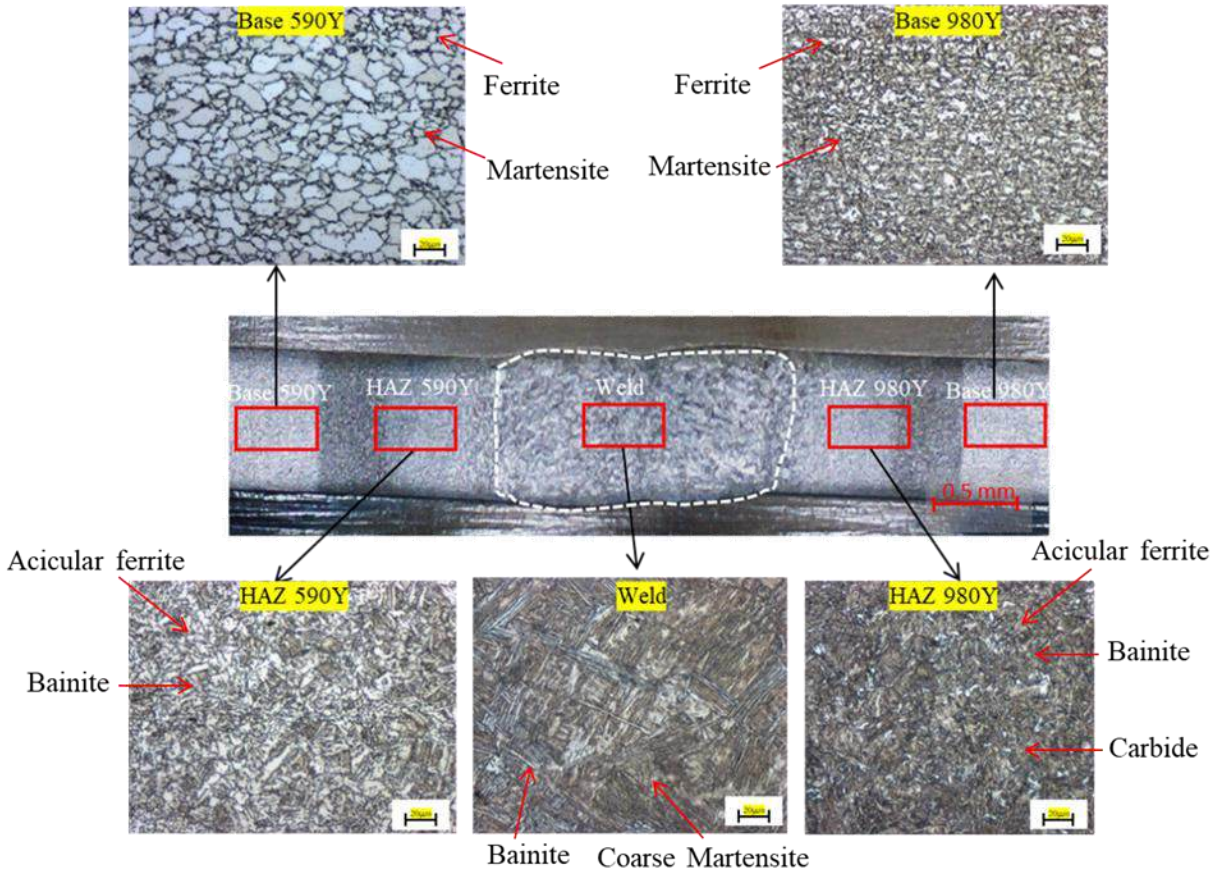
ความร้อนที่วัสดุได้รับจากกระบวนการเชื่อมมีลักษณะแตกต่างกัน โดยบริเวณที่อยู่ใกล้แนวเชื่อมจะได้รับอุณหภูมิสูงที่สุด และอุณหภูมิจะลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไปจากแนวเชื่อม ความร้อนดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ ทำให้เกิดเขตที่มีสมบัติแตกต่างกันภายในชิ้นงานเดียวกัน เช่น เขตโลหะเชื่อม (Weld Metal), เขตกระทบร้อน (Heat-Affected Zone: HAZ) และโลหะฐาน (Base Metal) [14]

ลักษณะและระดับของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบธาตุผสมในวัสดุ และค่าความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงาน (Heat Input) ในกระบวนการเชื่อม ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดชนิดของเฟสที่เกิดขึ้น เช่น เฟอร์ไรต์ มาร์เทนไซต์ เบนไนต์ หรืออะซิคูลาร์เฟอร์ไรต์ โดยแต่ละเฟสมีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความแข็ง ความเปราะ และความเหนียว ที่แตกต่างกันไป

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม TWBs รูปที่ 5 แสดงหน้าตัดแนวเชื่อม โดยลักษณะของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะฐานของทั้งสองวัสดุประกอบ ด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรต์และโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โครงสร้างวัสดุ 590Y มีลักษณะที่หยาบกว่า เมื่อเทียบกับโลหะฐานของวัสดุ 980Y ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของสมบัติทางจุลภาคระหว่างเหล็กทั้งสองชนิดนี้ บริเวณกระทบร้อน (HAZ) วัสดุ 590Y พบโครงสร้างอะซิคูลาร์เฟอร์ไรต์ (Acicular Ferrite) และเบนไนต์บางส่วนบริเวณกระทบร้อน (HAZ) วัสดุ 980Y พบโครงสร้างอะซิคู-ลาร์เฟอร์ไรต์ เบนไนต์และคาร์ไบต์ ซึ่งบ่งชี้ว่าทำให้ค่าความแข็งลดลงจากเดิม (Soft Zone) ในบริเวณโลหะเชื่อม (Weld Metal) พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์แบบหยาบ (Coarse Martensite) และเบนไนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็ง คือทำให้มีค่าความแข็งที่สูงขึ้น (Hard Zone)



รูปที่ 4 ผลตรวจสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม TWBs



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมTWBs

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเชื่อมต่อแบบ TWBs ระหว่างเหล็กกล้าเฟสคู่ความแข็งแรงสูง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การเชื่อมต่อระหว่างเหล็กกล้าเฟสคู่ต่างชนิดกัน จะทำให้เกิดการแข็งขึ้น (Hard Zone) ณ บริเวณเนื้อเชื่อม ในทางกลับกันเหล็กกล้าเฟสคู่เกรดความแข็งแรงสูงกว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดการอ่อนตัวลง ณ บริเวณกระทบร้อน

2) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) ของวัสดุ 590Y มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างเปลี่ยนเป็น อะซิคูลาร์เฟอร์ไรต์ (Acicular Ferrite) และเบนไนต์ (Bainite) ซึ่งมีความแข็งสูงกว่า โครงสร้างเฟอร์ไรต์ปกติที่พบในโลหะฐาน บริเวณกระทบร้อน (HAZ) ของวัสดุ 980Y มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกิด การอบคืนตัว (Tempering) ของมาร์เทนไซต์ จากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเชื่อม ส่งผลให้เกิดการตกผลึกใหม่ของเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และคาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งทำให้ความแข็งของบริเวณนี้ลดลง

3) บริเวณโลหะเชื่อม (Weld Metal) มีค่าความแข็งสูงที่สุดในชิ้นงาน เนื่องจากเกิด มาร์เทนไซต์แบบหยาบ (Coarse Martensite) จากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วภายหลังการเชื่อม ส่งผลให้บริเวณนี้มีโครงสร้างที่แข็งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ขอขอบพระคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ สาขาวิศวกรรมการผลิตและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7.เอกสารอ้างอิง

[1] C. D. Horvath, "Advanced Steels for Lightweight Automotive Structures" Materials, Design and

Manufacturing for Lightweight Vehicles (Second Edition), 2021: p. 39-95.

[2] R. KAWALLA, S.W. 'Advanced high strength steels for automotive industry'. ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING., 2008.

[3] Min Yang , Y.J.C., Xiaodong Li b, Jinzhu Tan., Splitting in Dual-Phase 590 high strength steel plates Part I. Mechanisms. Materials Science and Engineering A 497 (2008) 451–461, 2008: p. 451-461.

[4] ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, “ผลกระทบของกระบวนการทางความร้อนที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและลักษณะขอบตัดโลหะแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิดเฟสคู่ (DP590)”. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ, 2564. หน้า 84-94.

[5] Merklein, M., et al. , A review on tailored blanks-Production, applications and evaluation Mater. Process. Technol. , 2014. 151-164.

[6] Kinsey, B., et al., , Tailor welded blanks for the automotive industry. Woodhead Publishing, 2011. 164–180. .

[7] อัศรทัต พึ่งอ้น, โลหวิทยาการเชื่อมสำหรับวิศวกรเหล็กกล้าคาร์บอน. 2567, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] Zuidema B., e.a., ULSAB-advanced vehicle concepts: safety/crash management. SAE Technical Paper 010638., 2002.

[9] Natthasak Pornputsiri, W.S., Phisith Muangnoy and Pongsakorn Leetrakul., "The Effect of Process Annealing Temperature to Mechanical Properties and Microstructure of High Strength Steel". Manufacturing Engineering . 2024: p. 681.

[10] Klaynil., C., "Prediction of Spring-back in Warm and Hot Forming of Hige Strength Steels by Back Propation Neural Network Model". Rajamangala University of Technology Rattanakosin., 2018.

[11] Rittichai P., Komgrit L., Effect of weld-line position on springback behavior in advanced high-strength steel tailor-welded blanks on hat-shaped bending application. Journal of Advanced Joining Processes, 2024. 13.

[12] Kou, S. (2003). Welding Metallurgy. 2nd ed. John Wiley & Sons.

[13] Cary, H. B. & Helzer, S. C. (2005). Modern Welding Technology. 6th ed. Pearson Education.

[14] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ "วิศวกรรมการเชื่อม" กรุงเทพ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ,2549. หน้า 103-120.

การศึกษาความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัว ของเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ด้วยการทดสอบอิมแพลนต์

Study of Cold Cracking Susceptibility in GR900A Railway Steel by Implant Testing

ฤทธิชัย เภาเนียม [1*] กิจทวี นุรินรัมย์ [2] นรินทร์ อินต๊ะวงค์ [3]
จักรพันธุ์ ชาระ [4] สมชาย วนไทยสงค์ [5]
[1,2,3,4,5] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Rittichai Phaoniam [1*] Kittawee Nurinram [2] Narin Intawong [3]
Jakkapan Chara [4] Somchai Wongthaisong [5]
[1,2,3,4,5] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: rittichai.p@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้านทานการแตกร้าวขณะเย็นตัวด้วยวิธีการทดสอบอิมแพลนต์ตามมาตรฐาน ISO 17642-3 ซึ่งการทดลองประกอบด้วยวัสดุเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ซึ่งมีธาตุผสมหลัก ได้แก่ คาร์บอน แมงกานีสและซิลิคอน ทำให้มีสมบัติทางกลที่เด่นชัด คือ มีความแข็งสูงและทนต่อการสึกหรอได้ดี สำหรับการทดลองเหล็กรางรถไฟจะถูกขึ้นรูปทางกลให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. มีร่องบากทำมุมรวม 40 องศา และลึก 0.5 มม. โดยกำหนดเงื่อนไขระดับความเค้นแรงดึงแตกต่างกัน ภายหลังจากการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์ในเครื่องทดสอบอิมแพลนต์หลังจากนั้นทำการสังเกตและเก็บข้อมูลช่วงเวลาการแตกหักของชิ้นงานทดลองหรือเรียกว่า “Time To Failure; TTF” และตรวจสอบลักษณะพื้นผิวรอยแตกหัก จากการทดลองพบว่าชิ้นงานถูกดึงภายหลังกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์ที่ระดับความเค้นแรงดึงสูงกว่า 440 เมกะปาสคาล เกิดการแตกหักทันทีทันใด ขณะที่ระดับความเค้นแรงดึง 369, 352 และ 308 เมกะปาสคาล มีช่วงเวลาการแตกหักเท่ากับ 35, 60 และ 80 นาที ตามลำดับ ซึ่งระดับความเค้นแรงดึงต่ำกว่า 264 เมกะปาสคาล ถูกกำหนดให้เป็นช่วงระดับความเค้นดึงวิกฤติต่ำสุด เนื่องจากไม่เกิดการแตกหักภายหลัง 16 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาผลตรวจสอบลักษณะพื้นผิวการแตกหักสามารถแบ่งออกได้ 2 โซน ได้แก่ โซนแตกหักแบบกึ่งเปราะและโซนแตกหักฉับพลัน พบว่าระดับความเค้นแรงดึงสูงกว่า 440 เมกะปาสคาล มีลักษณะแตกหักฉับพลันทั้งหมด ขณะที่ระดับความเค้นแรงดึงต่ำกว่า 369 เมกะปาสคาล จะมีลักษณะแตกหักฉับพลันและแตกหักแบบกึ่งเปราะ เมื่อระดับความเค้นแรงดึงต่ำลงบริเวณแตกหักแบบกึ่งเปราะจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าระดับความเค้นแรงดึงมีผลต่อช่วงเวลาในการแตกหักถึงแม้จะใช้พารามิเตอร์การเชื่อมเดียวกันและลักษณะพื้นผิวการแตกหักชนิดแตกหักแบบกึ่งเปราะเพิ่มมากขึ้น บ่งชี้ถึงช่วงเวลาในการแตกหักนานยิ่งขึ้นเมื่อได้รับความเค้นที่ต่ำลง

คำหลัก ทดสอบอิมแพลนต์, ระดับความเค้นแรงดึง, ช่วงเวลาในการแตกหัก

Abstract

This research aims to evaluate the resistance to cold cracking through implant testing conducted in accordance with ISO 17642-3. The experimental material used in this study is railway rail steel of grade GR900A, which primarily consists of carbon (C), manganese (Mn), and silicon (Si). These alloying elements significantly enhance the material's mechanical properties, particularly its high hardness and excellent wear resistance. For the testing procedure, the steel was mechanically processed into specimens with a diameter of 6 mm, each featuring a V-notch with a total angle of 40 degrees and a depth of 0.5 mm. The specimens were subjected to varying levels of tensile stress during welding, which was performed using the Flux-Cored Arc Welding (FCAW) process in an implant testing machine. The time to fracture (TTF) of each specimen was subsequently observed and recorded. Fracture analysis was also conducted and examine the fracture surfaces. The experimental results revealed that specimens subjected to tensile stresses exceeding 440 MPa fractured instantaneously after welding. In contrast, at tensile stress levels of 369, 352, and 308 MPa, the recorded TTF values were 35, 60, and 80 minutes, respectively. A tensile stress level below 264 MPa was identified as the lower critical stress (LCS), as no fracture was observed even after 16 hours. Fracture observation can be divided into two zones: the quasi-cleavage (QC) zone and the final rupture (FR) zone. It was found that at tensile stress levels higher than 440 MPa, all FR zones were observed, while at tensile stresses lower than 369 MPa, both FR and QC zones were observed, with the proportion of QC zones increasing with decreasing tensile force. These findings indicate that tensile force has a significant effect on fracture time. Despite the same welding parameters, the presence of increased QC fracture surfaces was associated with longer TTF, indicating increased cold cracking resistance at lower tensile stresses.

Keywords: Implant Testing, Tensile stress levels, Time to failure

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการขนส่งทางรางถือเป็นปัจจัยสำคัญในห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ซึ่งมีบทบาทอย่างมากทางด้านการขนส่งผู้โดยสารกระทั่งขนส่งสินค้าในภาคอุตสาหกรรมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งในประเทศและระหว่างประเทศ เพื่อรองรับปริมาณการขนส่งขนาดใหญ่ได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมระยะทางไกลภายในระยะเวลาที่สั้นให้มีความคล่องตัวในระบบขนส่งและการกระจายสินค้า [1-3] การเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศจะควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบคมนาคมการขนส่งทางรางถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากระบบขนส่งทางรางมีความยืดหยุ่นสูงสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้มีจำนวนเที่ยววิ่งของรถไฟเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก การใช้งานรางเป็นเวลานาน ๆ รางรถไฟอาจมีการชำรุดหรือเสียหาย การเปลี่ยนรางใหม่ต้องใช้เวลานานและมีต้นทุนสูง จึงนิยมใช้วิธีการเชื่อมซ่อม หากพารามิเตอร์และวิธีการเชื่อมอย่างไม่เหมาะสม อาจส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวขณะเย็นตัว (Cold Cracking) การแตกร้าวนี้ไปลดสามารถอายุการใช้งานของรางได้อย่างมากเพราะรอยแตกร้าวมีลักษณะการแตกร้าวใต้ผิวรอยเชื่อมที่ไม่สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้และอาจนำไปสู่ความเสียหายเป็นวงกว้าง [2-6]

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวข้อง พบว่ามาร์เทนไซต์ส่งผลให้แนวเชื่อมมีความไวต่อการแตกร้าวจากการแทรกซึมของไฮโดรเจน นอกจากนี้อัตราการให้ความร้อนสูงระหว่างการเชื่อมส่งผลในบริเวณกระทบร้อน (Heat-Affected Zone; HAZ) การเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยาการก่อตัวของโครงสร้างมาร์เทนไซต์ช่วยเพิ่มความไว

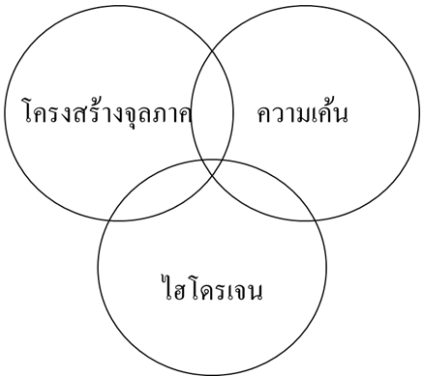
ต่อการแตกร้าวค่าความแข็งและความเค้นตกค้างช่วยส่งเสริมการเริ่มต้นและขยายตัวของรอยแตกร้าว [7-11] แม้จะมีการศึกษาเหล่านี้ยังมีความจำเป็นในการทำความเข้าใจและควบคุมการแตกร้าวขณะเย็นตัวผ่านการปรับพารามิเตอร์การเชื่อมอย่างเหมาะสมอย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่เจาะจงเกี่ยวกับการศึกษารอยแตกร้าวขณะเย็นตัวในระหว่างกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์ (Flux-Cored Arc Welding; FCAW) ของเหล็กรางรถไฟ

ดังนั้น ผู้จัดทำโครงการจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัวของเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ด้วยวิธีการทดสอบอิมแพลนต์ตามมาตรฐาน ISO 17642-3 ซึ่งกำหนดเงื่อนไขทดลองที่ระดับความเค้นแรงดึงต่าง ๆ และบันทึกช่วงเวลาการแตกหัก (Time To Fracture; TTF)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแตกร้าวขณะเย็นตัว [12-13]

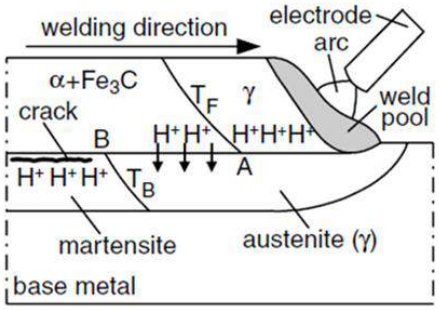
การแตกร้าวขณะเย็นตัว ซึ่งมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแตกร้าว ได้แก่ ความเค้นตกค้าง ปริมาณไฮโดรเจนและโครงสร้างจุลภาค ดังรูปที่ 1 ดังนั้นหากสามารถตัดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งออกไปจะสามารถป้องกันการแตกร้าวขณะเย็นตัวได้



รูปที่ 1 ปัจจัยของการเกิดรอยแตกร้าวขณะเย็นตัว

2.1.1 ปริมาณไฮโดรเจนที่แพร่เข้าสู่รอยเชื่อม

ส่วนใหญ่แล้วจะมาจากการแตกตัวของน้ำและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ลวดเชื่อมมีความชื้นและชิ้นงานที่เชื่อมมีสนิม ซึ่งปกติแล้วสนิมจะมีความพรุนทำให้ความสามารถสะสมอยู่ได้ทำนองเดียวกันกับความชื้น สามารถแตกตัวกลายเป็นไฮโดรเจนได้ระหว่างที่ทำการเชื่อมประสาน ซึ่งจะเกิดเป็นบ่อหลอมและไฮโดรเจนสามารถละลายเข้าไปในน้ำโลหะ เมื่อเย็นตัวลงปริมาณไฮโดรเจนในโลหะจะลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนสามารถละลายได้ดีในน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูง ขณะที่อุณหภูมิต่ำลงความสามารถในการละลายของไฮโดรเจนก็จะต่ำลงด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องแพร่กระจายออกมาจากเนื้อวัสดุขณะที่บ่อหลอมเริ่มที่จะแข็งตัวไฮโดรเจนจำเป็นที่จะต้องให้ออกจากบ่อหลอม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแทรกตัวของไฮโดรเจนในแนวเชื่อม [13]

2.2.2 โครงสร้างจุลภาค

วัสดุที่มีโครงสร้างจุลภาคที่แข็งและเปราะทำให้การขยายตัวของรอยแตกร้าวเป็นไปได้ง่าย เนื่องจากวัสดุความสามารถในการดูดซับพลังงานต่ำทำให้ไม่สามารถยับยั้งการขยายตัวของรอยแตกร้าวได้ โดยเฉพาะกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนและโครงสร้างที่มีแข็งสูง ซึ่งมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์และเกิดออสเทไนต์จากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ในกรณีของกระบวนการเชื่อมอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานเป็นไปอย่างรวดเร็วบริเวณกระทบร้อนจะได้รับอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเฟสออสเทไนต์ เมื่อเย็นตัวกลายเป็นมาร์เทนไซต์ได้รวมทั้งหมดมีปริมาณความนำร้อนเข้าที่สูงขนาดเกรนของออสเตนไนต์สามารถขยายตัวได้มากขึ้นทำให้ความสามารถในการชุบแข็งสูงขึ้นและส่งผลให้โอกาสในการเกิดมาร์เทนไซต์มากขึ้นเช่นเดียวกัน

2.2.3 ความเค้นตกค้าง

จะเกิดความเค้นตกค้างขึ้นภายในรอยเชื่อม เนื่องจากการขยายตัวและหดตัวของรอยเชื่อมในระหว่างที่ทำการ

เชื่อมทั้งนี้โดยปกติแล้วความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นนี้ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับความแข็งแรงจุดครากของวัสดุ ดังนั้นหากใช้วัสดุที่มีความแข็งสูงความแข็งแรงจุดครากก็จะสูงด้วยทำให้ความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นก็จะสูงไปด้วย เช่นเดียวกันการแตกร้าว เนื่องจากไฮโดรเจนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้การออกแบบรอยต่อและการยึดของโครงสร้างจะส่งผลต่อการเกิดความเค้นตกค้าง หากรอยต่อหรือโครงสร้างออกแบบมาให้มีความยืดหยุ่นสูงและควบคุมความร้อนนำเข้า เพื่อควบคุมความแข็งของโครงสร้างจุลภาคและมีการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมโดยอาศัยข้อมูลของปริมาณไฮโดรเจนโดยพื้นที่แสดงความเสี่ยงของการแตกร้าว

3. วิธีการทดลอง

3.1 เหล็กรางรถไฟ เกรด RG900A

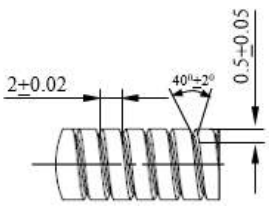
นำวัสดุเหล็กรางรถไฟ เกรด RG900A ซึ่งได้ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี (Optical Emission Spectrometer : OES) เพื่อความถูกต้อง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีเหล็กรางรถไฟ เกรด RG900A [14]

Grade of steel	Chemical composition, Elements in % of mass					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
R900A	0.7051	1.227	0.2078	0.0233	0.0037	Bal.

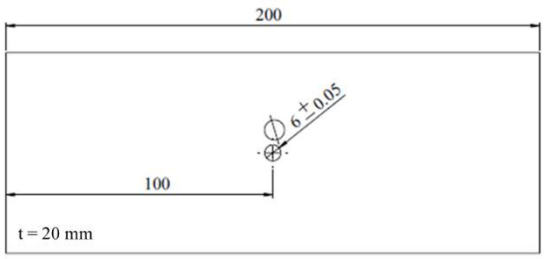
3.2 เตรียมชิ้นงานทดลอง

เตรียมชิ้นงานทดลองอิมแพลนต์วัสดุเหล็กรางรถไฟ เกรด RG900A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ความยาว 20 มม. โดยมีมุมรวม 40° ลึก 0.5 มม. ดังรูปที่ 3 และส่วนอื่น ๆ ออกแบบตามขนาดเฉพาะเครื่องทดสอบอิมแพลนต์



รูปที่ 3 ขนาดชิ้นงานทดสอบอิมแพลนต์ [15]

จากนั้นเตรียมแผ่นรองหลังวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนขนาด $75^{\text{กว้าง}} \times 200^{\text{ยาว}} \times 20^{\text{หนา}}$ มม. พร้อมรูเจาะ ณ บริเวณกึ่งกลางชิ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 $\pm$ 0.05 มม. ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขนาดชิ้นงานแผ่นรองหลัง

3.3 เงื่อนไขการทดลอง

วัสดุเหล็กรางรถไฟเกรด RG900A ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 880 เมกะปาสคาล [14] ใช้สำหรับการกำหนดระดับความเค้นแรงดึงต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 เพื่อประเมินความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัว โดยจะทำการทดลอง 3 ชิ้นต่อ 1 เงื่อนไขทดลอง

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลอง

สัดส่วนความเค้นแรงดึง (σ_y)	ความเค้นแรงดึงในการทดลอง (เมกะปาสคาล)
0.70	616
0.60	528
0.50	440
0.45	396
0.40	352
0.35	308
0.30	264
0.10	88

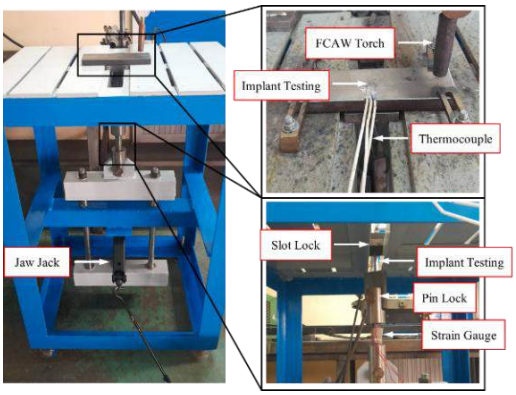
3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ดำเนินการทดลองเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมยี่ห้อ Hitronic รุ่น MIG 250S ใช้ลวดเชื่อมชนิด E71T-1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มม. ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์การเชื่อมและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ทดสอบและตัวแปรการเชื่อม

พารามิเตอร์การทดสอบอิมแพลนต์	
ช่วงให้โหลด (องศาเซลเซียส)	150-100
สภาพแวดล้อม (องศาเซลเซียส)	30-35
เทอร์คัปเปิล (ชนิด)	K
ตัวแปรงานเชื่อม	
กระบวนการเชื่อม	FCAW
กระแสเชื่อม (แอมแปร์)	180
แรงดัน (โวลต์)	20-25
ระยะคอนแทคทิปถึงชิ้นงาน (มม.)	15
ความเร็ว (มม./วินาที)	1.7
มุมเชื่อม (องศา)	90

จากนั้นทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลกับชิ้นงานสำหรับวัดประวัติอัตราการเย็นตัวบันทึกข้อมูลด้วย (Data Logger) เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิสำหรับการให้โหลดภายหลังการเชื่อมสิ้นสุดลงและจากนั้นทำการติดตั้งชิ้นงานกับเครื่องทดสอบอิมแพลนต์ ดังรูปที่ 5

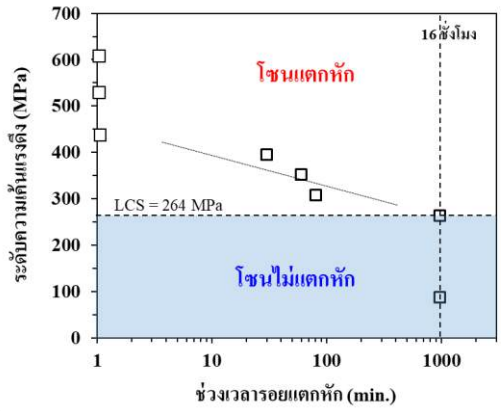


รูปที่ 5 เครื่องทดสอบอิมแพลนต์

เมื่อสิ้นสุดการเชื่อมชิ้นงานมีช่วง 150 ถึง 100 องศาเซลเซียส จะต้องให้โหลดถึงตามที่กำหนดภายในเวลา 20-60 วินาที ขณะที่ชิ้นงานอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสหยุดให้โหลดทันทีและทำการบันทึกช่วงเวลาการแตกหัก (TTF) เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์ (USB Digital Microscope Endoscope Otoscope Camera)

4. ผลการทดลอง

จากการศึกษาความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัวของเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ด้วยการทดสอบอิมแพลนต์เพื่อประเมินความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัว ณ ระดับความเค้นแรงดึงต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเค้นแรงดึงสูงกว่า 440 เมกะปาสคาล เกิดการแตกหักทันทีทันใด เมื่อให้โหลดตามเงื่อนไขที่กำหนด ขณะที่ระดับความแรงดึง 369, 352 และ 308 เมกะปาสคาล มีช่วงเวลาการแตกหัก (TTF) เท่ากับ 35, 60 และ 80 นาที ตามลำดับ โดยที่ระดับความเค้นแรงดึงต่ำกว่า 264 เมกะปาสคาล ถูกกำหนดให้เป็นช่วงระดับความเค้นดึงวิกฤติต่ำสุด (Lower Critical Stress; LCS) เนื่องจากไม่พบการเกิดรอยแตกหักภายหลัง 16 ชั่วโมง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค้นแรงดึงและช่วงเวลาการแตกหัก (TTF)

การตรวจสอบผิวรอยแตกหักจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งผิวรอยแตกหักออกได้ 2 โซน ได้แก่ โซนแตกหักแบบกึ่งเปราะ (Quasi-Cleavage; QC) และโซนแตกหักฉับพลัน (Final Rupture; FR) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[16-17] บ่งชี้แนวโน้มที่มีพฤติกรรมการแตกหักที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้ การเริ่มขยายรอยแตกหักจากขอบเกรนที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรเจนที่แพร่กระจายได้และระดับความเค้นแรงดึง (Residual stress) หลังจากให้โหลดกับชิ้นงานทดลองยังจะมีปริมาณปัจจัยไม่มากพอที่จะทำให้เกิดรอยแตกหักในระหว่างรอช่วงฟักตัวของไฮโดรเจนที่จะแพร่กระจายจาก

โลหะเชื่อมไปยังบริเวณเนื้อเกรนหยาบกระทบร้อน (Coarse-Grained Heat-Affected Zone; CGHAZ) และจะปรากฏเป็นบริเวณรอยแตกหักแบบกึ่งเปราะ (QC) ก่อน เมื่อการขยายตัวของรอยแตกหักดำเนินต่อไป ปัจจัยระดับความเค้นดึงจะเพิ่มขึ้นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนจะลดลงที่ปลายรอยแตกหัก ซึ่งนำไปสู่บริเวณรอยแตกหักระหว่างกึ่งเปราะและรอยแตกหักฉับพลัน (QC+ FR) จนกระทั่งแตกหักอย่างสมบูรณ์ ณ บริเวณรอยแตกหักฉับพลัน (FR)

(a) ระดับความเค้นแรงดึง 616 เมกะปาสคาล (b) ระดับความเค้นแรงดึง 528 เมกะปาสคาล

(c) ระดับความเค้นแรงดึง 440 เมกะปาสคาล (d) ระดับความเค้นแรงดึง 369 เมกะปาสคาล

(e) ระดับความเค้นแรงดึง 325 เมกะปาสคาล (f) ระดับความเค้นแรงดึง 308 เมกะปาสคาล

รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวรอยแตกหักและความเค้นแรงดึง

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าระดับความเค้นแรงดึงมากกว่า 440 เมกะปาสคาล มีลักษณะผิวรอยแตกหักเป็นแบบแตกหักฉับพลัน (FR) ทั้งหมด ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระดับความเค้นแรงดึง ขณะที่ระดับความเค้นแรงดึง 369, 352 และ 308 เมกะปาสคาล พบว่าบริเวณโซนแตกหักแบบกึ่งเปราะ (QC) และแบบแตกหักฉับพลัน (FR) ซึ่งบริเวณแตกหักแบบกึ่งเปราะ (QC) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเค้นแรงดึงลดลง ซึ่งอาจจะมีผลจากปัจจัยปริมาณไฮโดรเจนและระดับความเค้น บ่งชี้ถึงช่วงเวลาในการแตกหักนานยิ่งขึ้น เมื่อได้รับระดับความเค้นแรงดึงที่ต่ำลง

5. สรุป

จากการประเมินความไวในการแตกร้าวขณะเย็นตัวของเหล็กรางรถไฟ เกรด GR900A ด้วยการทดสอบอิมแพลนต์ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. จากการบันทึกช่วงเวลาการแตกหัก (TTF) พบว่าระดับความเค้นแรงดึงมากกว่า 440 เมกะปาสคาล เกิดการแตกหักทันทีทันใด ขณะที่ระดับความเค้นแรงดึง 369, 352 และ 308 เมกะปาสคาล มีช่วงเวลาการแตกหัก (TTF) เท่ากับ 35, 60 และ 80 นาที ตามลำดับ ซึ่งระดับความเค้นแรงดึงต่ำกว่า 264 เมกะปาสคาล ถูกกำหนดให้เป็นช่วงระดับความเค้นดึงวิกฤติต่ำสุด (LCS) เนื่องจากไม่เกิดการแตกหักภายหลังเชื่อม 16 ชั่วโมง

2. จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวรอยแตกหัก พบว่าระดับความเค้นแรงดึงมากกว่า 440 เมกะปาสคาล มีลักษณะผิวรอยแตกหักฉับพลัน (FR) ทั้งหมด ขณะที่ระดับความเค้นแรงดึงต่ำกว่า 369 เมกะปาสคาล มีลักษณะผิวรอยโซนแตกหักฉับพลัน (FR) เล็กน้อย และมีรอยแตกหักแบบกึ่งเปราะ (QC) จะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเค้นแรงดึงลดลงตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ยุทธศาสตร์ใช้ระบบรางผลักดันการพัฒนาประเทศ, https://thaipublica.org/2023/09/ministry-of-transport-launches-rail-system-development-strategy/ (วันที่สืบค้น : 18 พฤศจิกายน 2566)

[2] ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรดิพงศ์, 2537, วัสดุในงานวิศวกรรม, กรุงเทพฯ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น

[3] ณรงค์ศิกดิ์ ธรรมโชติ 2549. วัสดุวิศวกรรม. สำนักพิม ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.

[4] มงคล เพิ่มฉลาด, 2556, วิศวกรรมการเชื่อม, กรุงเทพฯ บริษัท โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์

[5] Dr.Tech Sci, 1983, Introduction to the Physical Metalluray of Welding, UK Page Bros (Norwich) Ltd.

[6] Fukuhisa. et al., “Quantitative Evaluation of Solidification Brittleness of Weld Metal during Solidification by Means of In-Situ Observation and Measurement (Report I)”, Transactions of JWRI. 12(1) P.65-P.72, (1983-08).

[7] N. Coniglio and C. Cross, 2013, “Initiation and growth mechanisms for weld solidification cracking,” International Materials Reviews, Vol. 58, No. 7, pp. 375–397.

[8] Takayuki Shiraiwa. et al., “Evaluation of hydrogen-induced cracking in high-strength steel welded joints by acoustic emission technique”, Materials and Design 190 (2020) 108573.

[9] Shengfu Yu et al., “Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties in the CGHAZ of Electroslag Welded Pearlitic Rail Steel” 30 June 2019

[10] Hong Zhou.et al., “Hardness prediction based on microstructure evolution and residual stress evaluation during high tensile thick plate butt welding” International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 12 (2020) 146e156

[11] D.W. Rathod et al., “Residual stresses in arc and electron-beam welds in 130 mm thick SA508 steel Part 1 Manufacture” International Journal of Pressure Vessels and Piping 172 (2019) 313–328

[12] American Welding Society. Welding handbook Welding processes, part 1. Vol. 1, 2017.

[13] S. Kou, Welding Metallurgy, Second Edition (New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002).

[14] European Committee for Standardization, EN 13674-1: Railway applications – Track – Rail – Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above, CEN, 2017.

[15] International Organization for Standardization, ISO 17642-3: Destructive tests on welds in metallic materials – Cold cracking tests for weldments – Part 3: Implant test, ISO, 2005.

[16] Schaupp T, Ernst W, Spindler H, Kannengiesser T. Hydrogen-assisted cracking of GMA welded 960 เมกะปาสคาล grade high-strength steels.Int J Hydrogen Energy. 2020; 45:20080–93.

[17] Kang Y, Kim M, Kim G, Kim N, Song S. Characteristics of susceptible microstructure for hydrogen-induced cracking in the coarse-grained heat-affected zone of carbon steel. Metall Mater Trans A. 2020;51A:2143–54

การศึกษาสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟสสำหรับการตรวจสอบรอยบกพร่องในวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส

Study of Phased Array Ultrasonic Signals for Defect Inspection in Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

จักรพันธุ์ ชาระ[1] ฤทธิชัย เภาเนียม[2] ปิยะพงษ์ ค้ำคูณ[3] และ สมชาย วนไทยสงค์[4*]
[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Jakkapan Chara[1] Rittichai Phaoniam [2] Piyapong Kumkoon[3] and Somchai Wonthaisong [4*]
[1,2,3,4] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: Somchai.wo@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟสสำหรับการตรวจสอบรอยบกพร่องในวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส การทดลองประกอบด้วยการสร้างชิ้นงาน 2 ชนิด คือ วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น (Polyester Resin: PR) และวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) จำนวนไฟเบอร์กลาส 4 ชั้น เพื่อตรวจสอบค่าความเร็วคลื่นเสียงของวัสดุแต่ละชนิด จากนั้นทำการจำลองรอยบกพร่อง 3 ประเภท ได้แก่ รอยแตกร้าว (Crack) รูพรุน (Pore) และการแยกชั้น (Delamination) บนชิ้นงานวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส ในขั้นตอนถัดมา ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเสียงของวัสดุทั้งสองชนิด พร้อมตรวจสอบและจำแนกลักษณะของรอยบกพร่องโดยใช้เทคนิคคลื่นเสียงความ ถี่สูงแบบเรียงเฟส (Phased Array Ultrasonic Testing: PAUT) ที่ความถี่ 4 MHz ผลการศึกษาพบว่า วัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) มีค่าความเร็วคลื่นเสียง 2,337 เมตรต่อวินาที ขณะที่วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่นมีค่าความเร็วคลื่นเสียง 2,533 เมตรต่อวินาที ซึ่งสูงกว่าวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส อันเป็นผลมาจากโครงสร้างของวัสดุชนิดไฟเบอร์กลาสที่ทำให้เกิดการกระเจิงและการลดทอนพลังงานคลื่นเสียงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงน้อยกว่าวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น โดยที่วัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเสียงเท่ากับ 0.188 dB/mm ขณะที่วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่นให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเสียงเท่ากับ 0.164 dB/mm ที่ระดับความหนาเดียวกัน ผลการตรวจสอบรอยบกพร่องที่ระดับร้อยละ 80 ของหน้าจอแสดงผล พบว่า รอยแตกร้าวมีค่าระดับสัญญาณ 22 dB รูพรุนอยู่ที่ 23.2 dB และการแยกชั้นให้ค่าต่ำสุดที่ 5.48 dB จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า จำนวนชั้นของไฟเบอร์กลาสส่งผลโดยตรงต่อค่าความเร็วคลื่นเสียงและสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียง โดยเมื่อจำนวนชั้นไฟเบอร์กลาสเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการกระเจิงและการลดทอนของคลื่นเสียงภายในวัสดุวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส นอกจากนี้ ประเภทของรอยบกพร่องยังส่งผลต่อรูปแบบของสัญญาณที่ตรวจพบ รอยแตกร้าวให้สัญญาณแหลมสูงจากการสะท้อนที่ชัดเจน รูพรุนให้สัญญาณกระจายตัวและแอมพลิจูดต่ำเนื่องจากพื้นผิวที่ไม่เรียบ ขณะที่รอยแยกชั้นให้สัญญาณแหลมสูงคล้ายรอยแตกร้าวเช่นกัน

คำสำคัญ: วัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) รอยบกพร่อง คลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส

Abstract

This research aims to investigate phased array ultrasonic signals for defect detection in glass fiber-reinforced polymer (GFRP) composites. The experiment involved fabricating two types of specimens: polyester resin and GFRP with four layers of fiberglass, to determine the ultrasonic velocity of each material. Subsequently, three types of artificial defects cracks, pores, and delaminations were introduced into the GFRP specimen to analyze their impact on ultrasonic wave propagation. The ultrasonic velocities of both materials were then compared, and defect characteristics were examined using Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) at a frequency of 4 MHz. The results revealed that the ultrasonic velocity in GFRP was 2,337 m/s, whereas in polyester resin, it was 2,533 m/s, indicating a higher velocity in the resin. This difference is attributed to the structure of fiberglass, which increases ultrasonic wave scattering and attenuation. Additionally, GFRP exhibited lower wave reflection than polyester resin. The ultrasonic attenuation coefficient for GFRP was 0.188 dB/mm, while that for polyester resin was 0.164 dB/mm, at the same material thickness. Defect detection at 80% FSH showed that cracks exhibited a signal level of 22 dB, pores 23.2 dB, and delaminations the lowest at 5.48 dB. Based on these findings, it can be concluded that the number of fiberglass layers directly affects both ultrasonic velocity and attenuation coefficient. As the number of layers increases, wave scattering and attenuation within the GFRP material also increase. Furthermore, defect type significantly influences signal characteristics: cracks produce sharp, high-amplitude signals due to clear wave reflection, pores result in dispersed, low-amplitude signals due to uneven surfaces, while delaminations also yield sharp signals similar to cracks but with distinct characteristics.

Keywords: Glass Fiber-Reinforced polymer, Defect, Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT)

1. บทนำ

วัสดุพลาสติกเสริมใย (Fiber Reinforced Plastics: FRP) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างของอากาศยานและยานอวกาศ เนื่องจากมีเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นด้านอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถปรับแต่งคุณสมบัติเชิงกลให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทได้ โดย FRP มีหลายประเภท โดยเฉพาะวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber Reinforced Plastic: GFRP) และวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP) [1-2] ชิ้นส่วนอากาศยานประกอบด้วยวัสดุหลากหลายชนิด โดยเฉพาะปัจจุบันได้ประยุกต์ใช้วัสดุผสม (Composite Material) เป็นอย่างมาก เช่น ชิ้นส่วนปีก (Wing Skins) ใบพัด หางเสือ (Stabilizers) ประตู (Doors) และโครงสร้าง (Structural Components) เป็นต้น ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวมีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา วัสดุผสมชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดรอยบกพร่องภายในระหว่างกระบวนการผลิตและการใช้งาน ประเภทความเสียหายทั่วไป (Damage) ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดจากการเจาะ ความเสียหายจากการกระแทก การแยกชั้น และรอยแตกร้าว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกล ความสามารถในการรับแรง และอายุการใช้งานของชิ้นงานในระยะยาวชิ้นส่วนอากาศยาน [3-4] อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนวัสดุผสมดังกล่าวนี้ต้องมีการตรวจสอบความเสียหาย (Damage) ภายในเนื้อวัสดุเสมอเพื่อความปลอดภัยต่อผู้โดยสารสูงสุด

ซึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพมากและยอมรับใช้ในปัจจุบันคือการทดสอบโดยไม่ทำลาย วิธีการนี้ใช้ตรวจหาการแตกร้าว

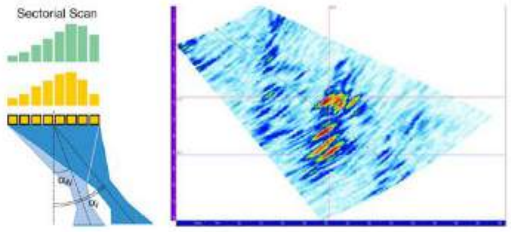
(Crack) หรือรอยบกพร่อง (Internal Imperfections) ต่างๆ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำสูง ความท้าทายในการตรวจสอบ เช่น วิธีการทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing) แต่มีข้อจำกัดที่รอยแตกร้าวต้องตั้งฉากกับทิศทางคลื่นเสียงจึงจะตรวจพบได้ [5] ขณะที่เทคโนโลยีสมัยใหม่ได้พัฒนาให้หัวตรวจสอบสามารถส่งคลื่นเสียงมาครั้งละหลายมุมตรวจสอบได้ในคราวเดียวกัน จึงทำให้ความสามารถในการตรวจพบความเสียหายในเนื้อวัสดุได้มากขึ้น วิธีการสมัยใหม่นี้เรียกว่า วิธีการทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส (Phased Array Ultrasonic)

ดังนั้น คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส (PAUT) สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างของสัญญาณที่เกิดจากรอยบกพร่องแต่ละประเภทภายในวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส เพื่อนำไปพัฒนาช่างทดสอบโดยไม่ทำลายทักษะสูงในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน จะช่วยลดความซับซ้อนในการประเมินผล และป้องกันการผิดพลาดในการตีความรอยความไม่ต่อเนื่อง ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และปลอดภัย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส PAUT

หลักการคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส คือ ปรากฏการณ์การแทรกสอดกันของหน้าคลื่นโดยมีผลึก (Element) ที่วางในหัวตรวจสอบแต่ละผลึกเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นทรงกระบอก (Cylindrical Wave) หัวตรวจสอบสามารถส่งคลื่นเสียงหลายมุมพร้อมกัน เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับความเสียหายภายในวัสดุ รองรับการตรวจสอบพื้นที่ซับซ้อน และมีฟังก์ชันเสริมเพื่อความแม่นยำยิ่งขึ้น การแสดงผลการตรวจสอบแบบ เอส-สแกน (Sectorial Scanning : S-Scan) เป็นลักษณะการสแกนแบบกวาดตามแนวดิ่งตามภาคตัดขวางของชิ้นงาน อาจจะมีช่วงระยะโฟกัสความลึกเฉพาะ โดยที่มุมเริ่มต้นและมุมสุดท้ายขึ้นกับหัวตรวจสอบ [5] ดังรูปที่ 1

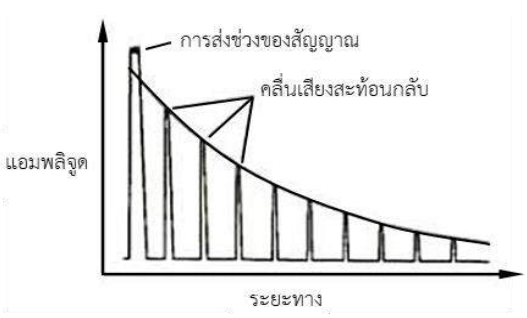


รูปที่ 1 การแสดงผลให้เห็นภาคตัดขวางของชิ้นงานที่ระยะโฟกัสความลึกเฉพาะ และเอส-สแกนปกติ [5]

2.2 การลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูงเนื่องจากระยะทาง

การเดินทางของคลื่นเสียงระหว่าง 2 จุดทำให้พลังงานสูญเสียจากการดูดกลืน การกระเจิง และคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งเรียกว่าการลดทอนพลังงาน โดยวิเคราะห์จากแอมพลิจูดของสัญญาณตามระยะทาง [6] แสดงดังสมการที่ 1 และรูปที่ 2

$$\text{Attenuation} = \frac{\text{Amplitude}}{\text{Distance}} \qquad (1)$$



รูปที่ 2 การลดทอนของพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูงเทียบกับระยะทางและแอมพลิจูด [6]

การดูดซับคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นกระบวนการที่พลังงานคลื่นเสียงเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น ความร้อนหรือแนวลำพลังงานคลื่นเสียงส่งผ่านตัวกลาง ทำให้พลังงานคลื่นเสียงลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น [6] สามารถแสดงดังสมการที่ 2

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x} \qquad (2)$$

โดย A_X คือ แอมปลิจูดของคลื่นเสียงที่ตำแหน่ง X

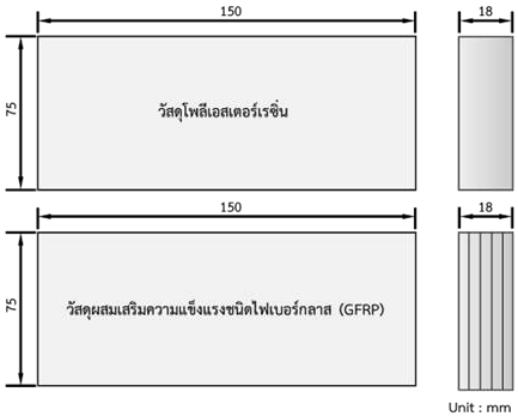
A_0 คือ แอมปลิจูดของคลื่นเสียงที่จุดเริ่มเต้น (X=0)

α คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาน (dB/mm)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

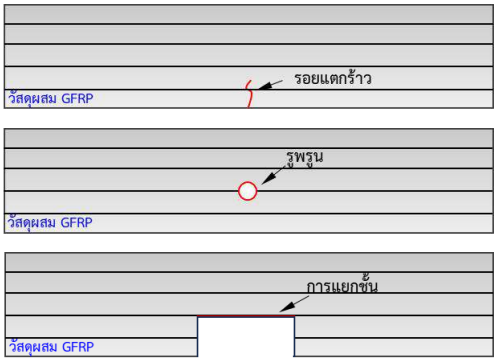
3.1 วัสดุและเครื่องที่ใช้ในการตรวจสอบ

วัสดุที่ใช้สำหรับการตรวจสอบลักษณะรอยบกพร่อง คือ วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น (PR) และวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) จำนวนไฟเบอร์กลาส 4 ชั้น ความกว้าง 75 mm ความยาว 150 mm และความหนา 18 mm ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบถูกออกแบบจำลองรอยบกพร่อง 3 ประเภท ได้แก่ รอยแตกร้าว (Crack) รูพรุน (Pore)และการแยกชั้น (Delamination) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นงานจำลองรอยบกพร่องทั้ง 3 ประเภท

การตรวจสอบลักษณะของรอยบกพร่องด้วยเครื่องตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส จากผู้ผลิต GE Inspection Technologies รุ่น Phasor XS หัวตรวจที่ใช้ความถี่ 4 MHz จำนวนของผลึก 16 Elements และสารนำคลื่น (Couplant) เป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณคลื่นเสียงเข้าไปในเนื้อวัสดุ แสดงดังรูปที่ 6 และการตั้งค่าในการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 1

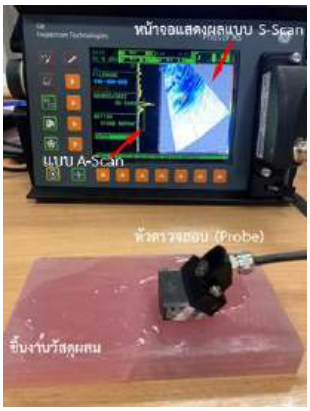
ตารางที่ 1 การปรับตั้งค่าในการตรวจสอบ PAUT

การปรับตั้งเครื่องตรวจสอบ (PAUT Set up)	
จำนวนผลึก (elements)	16
คลื่นเสียงเสียงในแนวตามขวาง	35° ถึง 75°
ความถี่ใช้งาน (Frequency), MHz	4.0
โหมดแสดงบนหน้าจอ (Mode)	A-Scan, S-Scan
ความเร็วคลื่นเสียงวัสดุ PR (m/s)	2533
ความเร็วคลื่นเสียงวัสดุ GFRP (m/s)	2337

3.2. การหาการลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูง

ขนาดความหนาและลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการประเมินการลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูง โดยชิ้นมีขนาดความหนา 5 8 11 และ 18 mm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ขนาดความหนาของชิ้นงานเพื่อหาการลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูง



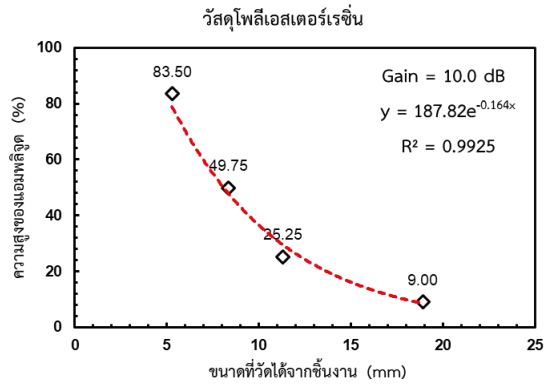
รูปที่ 6 การตรวจสอบลักษณะของรอยบกพร่องด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

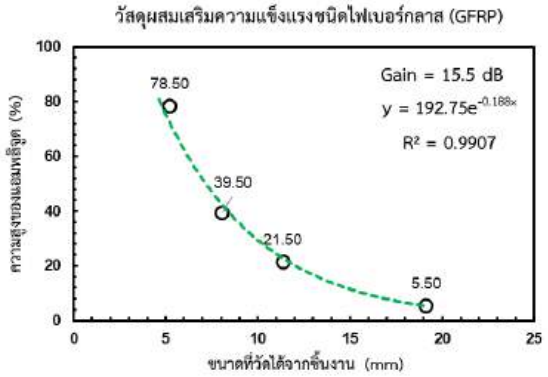
4.1 ผลการลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส (PAUT)

ผลการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟสที่ความถี่ 4.0 MHz โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง

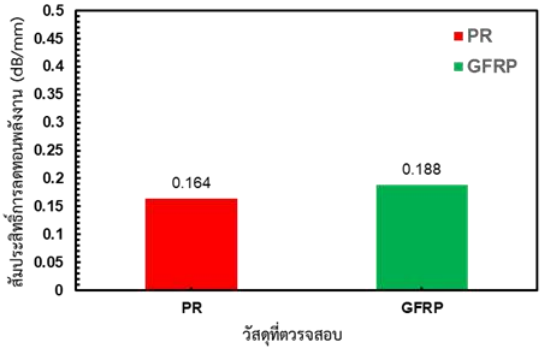
ของชิ้นงาน (แกน X) และค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียง (แกน Y) รูปที่ 7 และ 8 แสดงเส้นโค้งการลดทอนคลื่นเสียงของวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น (PR) และวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) โดยที่ความหนาเริ่มต้น 5.0 mm ค่าความสูงของแอมพลิจูดอยู่ที่ร้อยละ 83.5 และร้อยละ 78.5 ตามลำดับ ภายใต้การปรับค่าความแรงของสัญญาณ (Gain) ที่ 10 dB และ 15.5 dB เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 18.0 mm ค่าความสูงของแอมพลิจูดลดลงเหลือร้อยละ 9.0 และร้อยละ 5.5 ของหน้าจอแสดงผล ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น (PR) เท่ากับ 0.164 dB/mm ขณะที่วัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส (GFRP) มีค่าสูงกว่าที่ 0.188 dB/mm ที่ระดับความหนาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากการกระเจิงและการลดทอนของคลื่นเสียงภายในโครงสร้างวัสดุผสม



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาชิ้นงานและความสูงของแอมพลิจูดวัสดุ PR



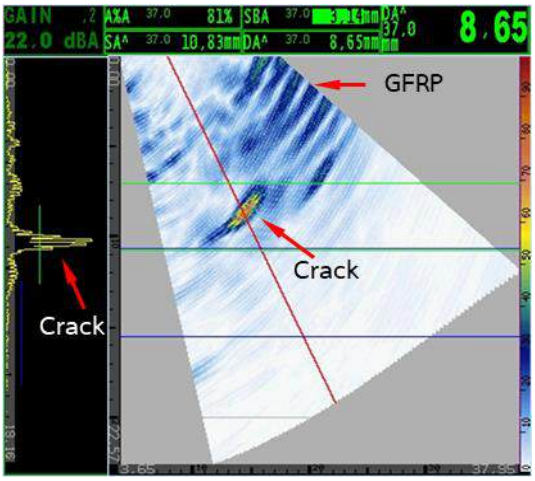
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาชิ้นงานและความสูงของแอมพลิจูดวัสดุ GFRP



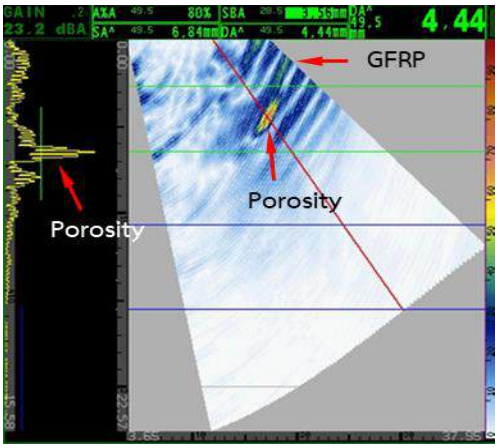
รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานระหว่าง PR และ GFRP

4.2 ผลการศึกษาลักษณะรอยบกพร่องจากการตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟส (PAUT)

ผลการศึกษาลักษณะรอยบกพร่องพบว่า รอยแตกร้าวให้สัญญาณแหลมสูงจากการสะท้อนที่ขอบรอยแตกร้าว โดยมีค่าความแรงของสัญญาณ (Gain) ที่ 22 dB ดังรูปที่ 10 ส่วนรูพรุนให้สัญญาณกระจายตัวและแอมพลิจูดต่ำกว่าเนื่องจากพื้นผิวไม่เรียบและการสะท้อนแบบกระจายตัว ทำให้ต้องเพิ่มค่าความแรงของสัญญาณเป็น 23.2 dB ดังรูปที่ 11 สำหรับรอยแยกชั้น สัญญาณที่ได้รับมีลักษณะแหลมสูงคล้ายรอยแตกร้าว เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นเสียงที่บริเวณผิวรอยแยก แต่มีค่าความแรงของสัญญาณต่ำกว่าที่ 5.8 dB ดังรูปที่ 12



รูปที่ 10 ลักษณะสัญญาณรอยแตกร้าว



รูปที่ 11 ลักษณะสัญญาณรูพรุน

รูปที่ 12 ลักษณะสัญญาณการแยกชั้น

5. สรุป

การศึกษาสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงแบบเรียงเฟสสำหรับการตรวจสอบรอยบกพร่องในวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาสสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) จำนวนชั้นของไฟเบอร์กลาสส่งผลโดยตรงต่อค่าความเร็วคลื่นเสียงและสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียง โดยเมื่อจำนวนชั้นไฟเบอร์กลาสเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการกระเจิงและการลดทอนของคลื่นเสียงภายในวัสดุวัสดุผสมเสริมความแข็งแรงชนิดไฟเบอร์กลาส โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเสียงเท่ากับ 0.188 dB/mm ขณะที่วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่นให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเสียงเท่ากับ 0.164 dB/mm ที่ระดับความหนาเดียวกัน

2) ประเภทของรอยบกพร่องยังส่งผลต่อรูปแบบของสัญญาณที่ตรวจพบ รอยแตกร้าวให้สัญญาณแหลมสูงจากการสะท้อนที่ชัดเจน รูพรุนให้สัญญาณกระจายตัวและแอมพลิจูดต่ำเนื่องจากพื้นผิวที่ไม่เรียบ ขณะที่รอยแยกชั้นให้สัญญาณแหลมสูงคล้ายรอยแตกร้าวเช่นกัน ทั้งนี้ผลการตรวจสอบดังกล่าวสามารถสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Gibson, A.G. “The cost-effective use of fiber reinforced composites offshore”, Research Report 039, University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, United Kingdom, 2003

[2] Ciaraldi, S.W.; Alkire, J.D.; and Huntoon, G.G., “Fiberglass firewater systems for offshore platforms”, Proceedings of the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1992, 8 pages.

[3] Feito N., Jose´ D.-A., Antonio D.-A, et al. “Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs”, Materials 2014, 7(6), 4258–4271.

[4] Naebe M, Abolhasani MM, Khayyam H, et al. “Crack damage in polymers and composites: A review”, Polym Rev 56(1), 2016, pp. 31–69.

[5] Olympus, “Introduction of Phased Array Ultrasonic Technology Applications Olympus Guideline”, 4th ed., Olympus, USA, 2017, pp. 108-128.

[6] อาษา ประทีปเสน, “การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและงานวิจัย”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2554, หน้า 30-233.

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งของเหล็กกล้าผสม เกรด A335 P91 และ A335 P22 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อม GTAW

The study of microstructure and hardness of alloy steels grade A335 P91 and A335 P22 after GTAW welding process

กิตติคุณ แก้วภิรมย์[1] พีระภัทร สิทธิเจริญสวัสดิ์[2] และ จันทร์ศิริ พลอยงาม[3]
[1, 2, 3] ภาควิชาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Kittikun Keawpirom [1] Peeraphat Sithicharoensawat [2] and Jansiri Ploryngam [3]
[1, 2, 3] Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail : ice_peeraphat@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งของเหล็กกล้าผสม P91 และ P22 หลังผ่านกระบวนการเชื่อม GTAW โดยใช้ค่าความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน 2.4 kJ/mm กับท่อเหล็กกล้าผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm ยาว 75 mm หนา 5 mm โดยไม่ใช้ลวดเติม และเปรียบเทียบชิ้นงานระหว่างสภาวะหลังการเชื่อม (As-weld) กับชิ้นงานที่ให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT) ผลการทดลองพบว่า โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยบริเวณเกรนหยาบและเกรนละเอียด หลังผ่านกระบวนการ PWHT พบโซนอ่อน ที่แนวเส้นการหลอมละลายระหว่างรอยเชื่อมกับชิ้นงาน P22 ค่าความแข็งก่อนผ่านกระบวนการ PWHT บริเวณเนื้อรอยเชื่อมและ HAZ มีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณชิ้นงาน หลังจากผ่านกระบวนการ PWHT ค่าความแข็งในบริเวณดังกล่าวลดลงใกล้เคียงกับบริเวณชิ้นงาน

คำหลัก : กระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม โครงสร้างจุลภาค บริเวณกระทบร้อน ส่วนต่อประสานรอยเชื่อม

Abstract

This research aims to study the microstructure and hardness of P91 and P22 steels after GTAW welding with a heat input of 2.4 kJ/mm on a 47 mm diameter, 75 mm length, and 5 mm thickness steel pipe, without filler material. The workpieces were compared between the as welded and post-weld heat treatment (PWHT) conditions. The experiment showed that the microstructure consists of coarse and fine grains. After PWHT, a soft zone was found at the fusion line between the weld and P22 workpiece. Hardness in the weld and HAZ before PWHT was higher than in the base material, but after PWHT, it decreased to levels similar to the base material.

Keywords : Post Weld Heat Treatment, Microstructure, Heat Affect Zone, Fusion line

1. บทนำ

ระบบท่อในหม้อไอน้ำของอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่สามารถใช้งานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงและแรงดันสูง[1] ซึ่งในระบบดังกล่าวจะประกอบด้วยวัสดุโลหะผสมเฟอร์ริติก ได้แก่ ท่อเหล็กกล้าผสม P91 และ P22 โดยท่อเหล็ก P91 ถูกใช้งานที่อุณหภูมิซุปเปอร์ฮีทในการผลิตไอน้ำยิ่งยวด และท่อเหล็ก P22 ถูกใช้งานที่อุณหภูมิและแรงดันที่ลดลงมาในการผลิตไอน้ำ[1] ซึ่งการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้งาน จะต้องใช้กระบวนการเชื่อมในการเชื่อมต่อท่อเหล็ก P91 และ P22 เข้าด้วยกัน เนื่องจากวัสดุทั้งสองชนิดเป็นวัสดุต่างชนิดกัน ทำให้แนวเชื่อมหลังการเชื่อมมีความแข็งสูงรวมถึงความเค้นตกค้างสูง จึงไม่สามารถทนต่อการใช้งานในระบบหม้อไอน้ำได้[2] [4] กระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อมจึงเป็นบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุเนื่องจากกระบวนการเชื่อม [1] [3]

เนื่องจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลนั้นพบได้น้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนของชิ้นงานท่อเหล็กกล้าผสม P91 และ P22 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สปกคลุมโดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (As-weld) กับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT)

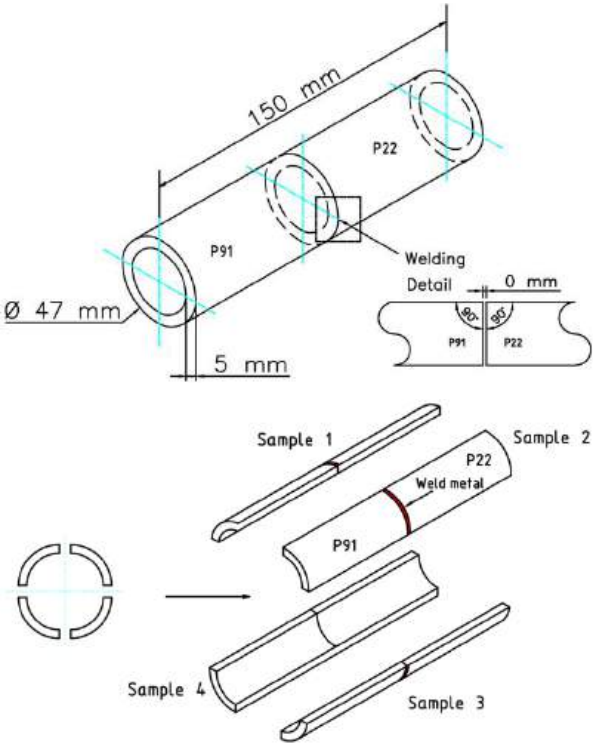
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 เตรียมท่อเหล็กกล้าผสม P91 และ P22 ยาว 75 mm หนา 5 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-1/2 นิ้ว หรือ 47 mm ที่ตรวจสอบยืนยันส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก P91 และ P22 ด้วยเครื่อง Spectrometer โดยมีส่วนผสมทางเคมี และคุณสมบัติทางกล แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก P91 และ P22

Steel	Base steel Element (Wt.%)									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Nb
P91	0.105	0.407	0.239	0.002	0.016	9.130	0.153	1.040	0.194	0.077
P22	0.118	0.447	0.222	0.006	0.001	2.010	-	1.210	-	-
Mechanical properties of base metal										
Steel	Tensile strength (MPa)			% Elongation (%)			Hardness (HV)			Std. No.
P91	715 ± 15			20 ± 2			231			A335
P22	610 ± 2			35 ± 3			212			A335

2.2 กำหนดรูปแบบรอยต่อชนแบบไม่บากหน้างาน และทำการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW แสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ตัวแปรดังนี้ Welding current 160 A, Arc voltage 16 V และ Welding speed 1.565 mm/s โดยค่า Heat input ในกระบวนการเชื่อมเท่ากับ 2.4 kJ/mm จำนวน 4 ชิ้น



รูปที่ 1 การเชื่อมชิ้นงาน

2.3 ตัดแบ่งชิ้นงานแล้วนำชิ้นงาน ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT) ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปขัดเงา และกัดขึ้นรอยด้วยวิธีการจุ่มกรด ด้วยกรดผสมระหว่าง เอทานอล 925 มิลลิลิตร, กรดพิคลิก 25 กรัม และ กรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตร ทำการจุ่มกรดเป็นเวลา 2-4 วินาที

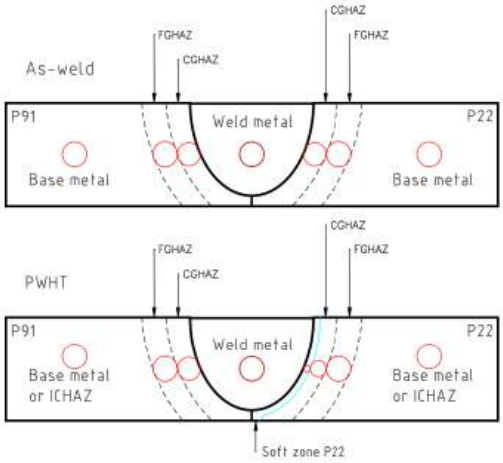
2.4 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส ที่น้ำหนักกด 0.5 กิโลกรัมแรง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชิ้นงาน As-weld กับชิ้นงาน PWHT

3. ผลการวิจัย

3.1 ความกว้างบริเวณ HAZ

ชิ้นงาน As-weld ประกอบไปด้วยบริเวณกระทบร้อน (HAZ)ได้แก่ บริเวณเกรนหยาบ (CGHAZ) และบริเวณเกรนละเอียด (FGHAZ) ของเหล็กทั้งสองฝั่ง ความกว้างของ HAZ ในเหล็ก P22 ที่ CGHAZ กว้าง 1,001 µm และที่ FGHAZ มีกว้าง 1,700 µm ความกว้างของ HAZ ในเหล็ก P91 CGHAZ กว้าง 351 µm และ FGHAZ กว้าง 1,003 µm แสดงในรูปที่ 2 และในตารางที่ 2

ชิ้นงาน PWHT บริเวณ HAZ ไประกอบด้วยบริเวณ CGHAZ และบริเวณ FGHAZ ของเหล็กทั้งสองฝั่ง โดย PWHT ส่งผลให้เกิดโซนอ่อน (Soft zone) ในบริเวณ Fusion line ของเหล็ก P22 ความกว้างของ HAZ ในเหล็ก P22 ที่ Soft zone กว้าง 266 µm CGHAZ กว้าง 315 µm และที่ FGHAZ กว้าง 1,900 µm ความกว้าง HAZ ในเหล็ก P91 ที่ CGHAZ กว้าง 373 µm และ FGHAZ กว้าง 1,320 µm แสดงในรูปที่ 2 และในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ชิ้นงาน As-weld ชิ้นงาน PWHT

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบความกว้างของ HAZ

HAZ Area	As-weld	PWHT
P22 Soft zone	ไม่มี	266 µm
P22 CGHAZ	1,001 µm	315 µm
P22 FGHAZ	1,700 µm	1,900 µm
P91CGHAZ	351 µm	373 µm
P91 FGHAZ	1,003 µm	1,320 µm

3.2 โครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณ HAZ

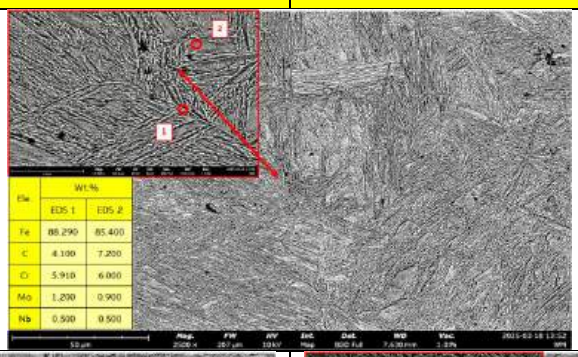
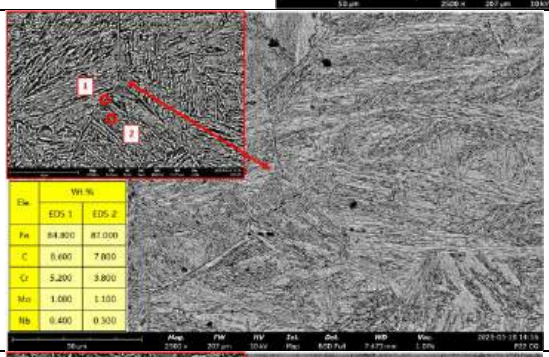
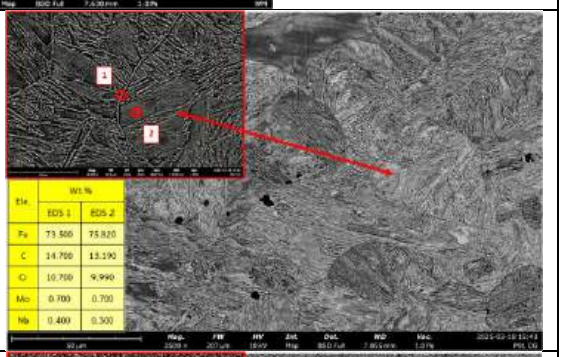
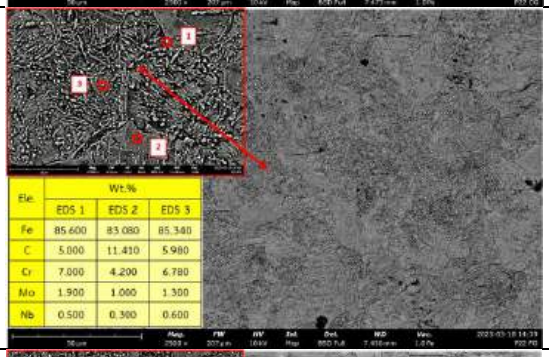
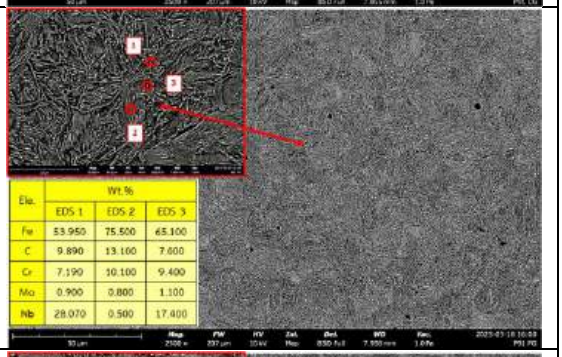
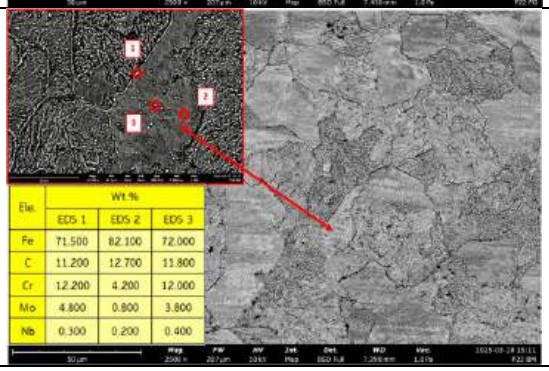
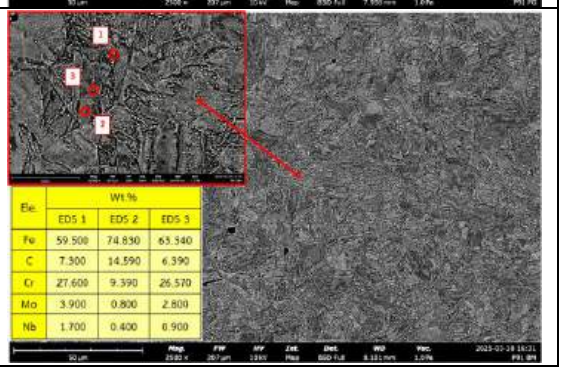
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน As-weld พบว่าบริเวณ Weld metal มีโครงสร้างMartensite และ Lath blocks ขนาดเกรนโดยเฉลี่ย (Average Grain Size : AGS) เท่ากับ 35.11 µm บริเวณ P22 CGHAZ มีโครงสร้าง Martensite และมี AGS 48.40 µm บริเวณ P22 FGHAZ มีโครงสร้าง Bainite และมี AGS 14.63 µm บริเวณ P22 Base metal มีโครงสร้าง Bainite และ Ferrite และมี AGS 25.93 µm บริเวณ P91 CGHAZ มีโครงสร้าง Martensite และมี AGS 37.87 µm บริเวณ P91 FGHAZ แสดงโครงสร้าง Bainite และมี AGS 7.15 µm บริเวณ P91 Base metal แสดงโครงสร้าง Martensite และมี AGS 7.73 µm แสดงในตารางที่3-4

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน PWHT พบว่า บริเวณ Weld metal มีโครงสร้าง Martensite และ Lath blocks โดยมี AGS 35.39 µm บริเวณ P22 Soft zone มีโครงสร้างแบบ Austenite และมี AGS 89.45 µm บริเวณ P22 CGHAZ แสดงโครงสร้าง Bainite และ Ferrite โดยมี AGS 19.93 µm บริเวณ P22 FGHAZ แสดงโครงสร้าง Bainite และ Ferrite โดยมี AGS 7.93 µm บริเวณ P22 Base metal แสดงโครงสร้าง Bainite และ Ferrite โดยมี AGS 15.75 µm บริเวณ P91 CGHAZ แสดงโครงสร้าง Martensite และมี AGS 12.43 µm บริเวณ P91 FGHAZ แสดงโครงสร้าง Martensite และมี AGS 6.65 µm บริเวณ P91 Base metal มีโครงสร้าง Martensite และมี AGS 9.10 µm โดยรูปโครงสร้างจุลภาค PWHT แสดงในตารางที่ 3-5

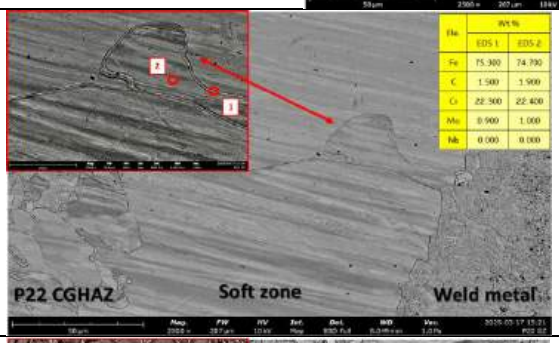
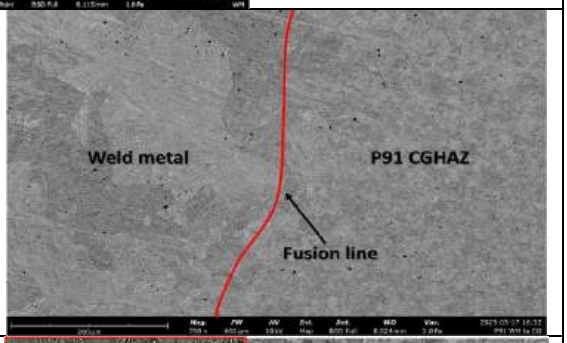
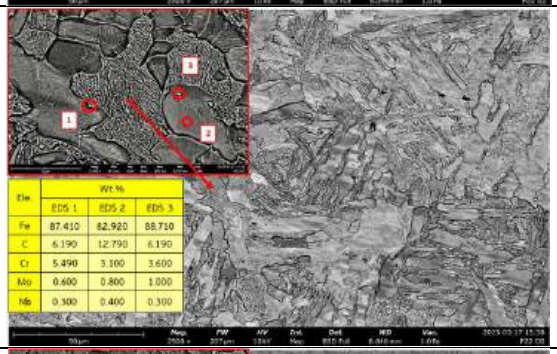
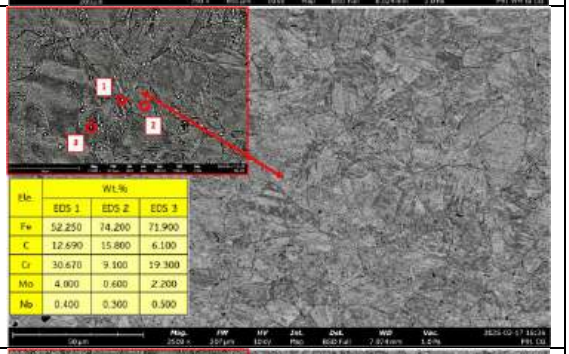
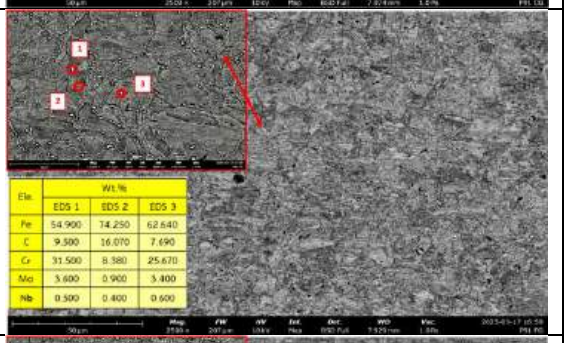
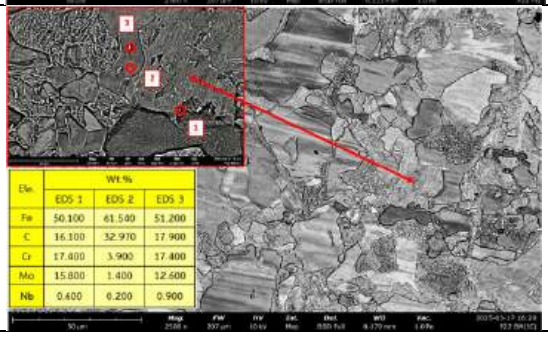
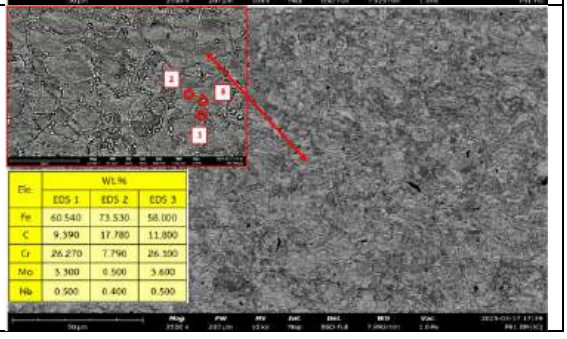
ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบขนาดเกรนโดยเฉลี่ย HAZ

HAZ Area	As-weld	PWHT
Weld metal	35.11 µm	35.39 µm
P22 Soft zone	ไม่มี	89.45 µm
P22 CGHAZ	48.40 µm	19.93 µm
P22 FGHAZ	14.63 µm	7.93 µm
P22Base metal	25.93 µm	15.75 µm
P91 CGHAZ	37.87 µm	12.43 µm
P91 FGHAZ	7.15 µm	6.65 µm
P91Base metal	7.73 µm	9.10 µm

ตารางที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (As-weld)

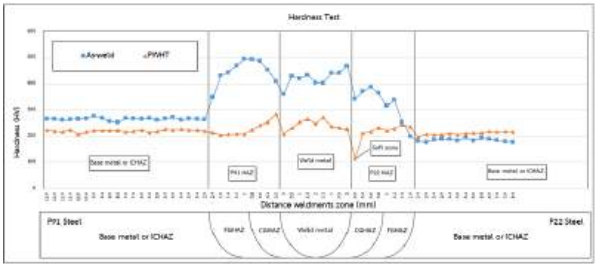
	As-weld	
	P22	P91
Weld metal		
CGHAZ		
FGHAZ		
Base metal		

ตารางที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT)

	PWHT	
	P22	P91
Weld metal		
Soft zone		
CGHAZ		
FGHAZ		
Base metal		

3.3 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

ชิ้นงาน As-weld บริเวณ Weld metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 421.21 HV บริเวณ P91 CGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 449.33 HV บริเวณ P91 FGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 485.06 HV บริเวณ P91 Base metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 282.17 HV บริเวณ P22 CGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 367.23 HV บริเวณ P22 FGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 338.93 HV บริเวณ P22 Base metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 189.24 HV



รูปที่ 3 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

4. อภิปรายผล

โครงสร้างจุลภาคในเหล็ก P22 หลังผ่านกระบวนการเชื่อมแสดงโครงสร้างแบบ Bainite และ Martensite เมื่อผ่าน PWHT โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น Bainite และ Ferrite ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยในเหล็ก P22 ลดลงทุกบริเวณ และเกิดโซนอ่อนในบริเวณ Fusion line ของเหล็ก P22 โครงสร้างจุลภาคในเหล็ก P91 หลังผ่านกระบวนการเชื่อมแสดงโครงสร้างแบบ Bainite และ Martensite เมื่อผ่านกระบวนการ PWHT โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยในเหล็ก P91 ลดลงทุกบริเวณ ยกเว้นในบริเวณวัสดุหลักที่มีขนาดเกรนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความแข็งหลังผ่านกระบวนการเชื่อม ในบริเวณรอยเชื่อมและ HAZ มีค่าความแข็งสูง ซึ่งค่าความแข็งที่สูงที่สุดในชิ้นงานอยู่ในบริเวณ P91 CGHAZ เมื่อผ่านกระบวนการ PWHT ค่าความแข็งลดลงในทุกบริเวณ ยกเว้นบริเวณ P22 Base metal ที่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเกิดโซนอ่อนขึ้นบริเวณ Fusion line ของเหล็ก P22 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด

5. สรุป

ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งในชิ้นงาน PWHT บริเวณ Weld metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 240.98 HV บริเวณ P91 CGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 260.26 HV บริเวณ P91 FGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 212.63 HV บริเวณ P91 Base metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 218.76 HV บริเวณ P22 SZ มีค่าความแข็ง 114.7 HV บริเวณ P22 CGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 220.26 HV บริเวณ P22 FGHAZ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 231.60 HV บริเวณ P22 Base metal มีค่าความแข็งเฉลี่ย 211.75 HV แสดงในรูปที่ 3 บริเวณรอยเชื่อมและ HAZ ของการเชื่อมเหล็กกล้าผสม P91 และ P22 พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการเชื่อม (As-weld) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และค่าความแข็งสูงในบริเวณรอยเชื่อมและ HAZ เมื่อนำชิ้นงานผ่านกระบวนการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT) ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีขนาดเกรนโดยเฉลี่ยที่เล็กลง ทั้งนี้ยังเกิดโซนอ่อนในบริเวณส่วนต่อประสานเนื้อรอยเชื่อม (Fusion line) ของเหล็ก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Kumar, C. Pandey and A. Goyal, (2020) Role of Dissimilar IN617 Nickel Alloy Consumable on Microstructural and Mechanical Behavior of P91 Welds Joint, Arch. Civ. Mech. Eng.,20, p 99.

[2] S. Sirohi, C. Pandey and A. Goyal, (2020) Role of Heat-Treatment and Filler on Structure-Property Relationship of Dissimilar Welded Joint of P22 and F69 Steel, Fusion Eng. Des. 159, 111935.

[3] C. Sudha, V.T. Paul, A.L.E. Terrance, S. Saroja and M. Vijayalakshmi, (2006) Microstructure and Microchemistry of Hard Zone in Dissimilar Weldments of Cr-Mo Steels, 85, p 71s– 80s

[4] J. Akram, P.R. Kalvala, P. Chalavadi and M. Misra, (2018) Dissimilar Metal Weld Joints of P91/Ni Alloy: Microstructural Characterization ofHAZ of P91 and Stress Analysis at the Weld Interfaces, J. Mater. Eng. Perform. 27, p 4115–4128.

อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเหล็กกล้าSS400และเหล็กกล้าS45C

The Influence of Variables Affecting the Impact Resistance of SS400 and S45C Steel Materials

เอกรัฐ ใจบุญ[1*], รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา[1], ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี[1], เอกวิศว์ สงเคราะห์[1], ชัยยันต์ ใจบุญมา[2]
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตย์กรรมศาสตร์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบราง วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตย์กรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
Eakarat jaiboon[1*] ,Rawintanath Thipsena[1] ,Natchanun Angsuseranee[1]
Ekawit Songkroh, Chaiyunjaiboonma[2]
1, Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
2, Department of Mechanical Engineering-Railway system Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya
E-mail:eakarat.j@rmutsb.ac.th[*]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติในการต้านแรงกระแทกของวัสดุเหล็กกล้าและเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ที่อุณหภูมิการทดสอบลดต่ำลงได้แก่อุณหภูมิห้อง (25°C) 0°C -10°C -25°C -40°C และ -70°C ตามลำดับ โดยใช้เวลาคงอุณหภูมิแต่ละช่วงนาน 15 นาที การทดสอบแรงกระแทกครั้งนี้เลือกใช้วิธีการทดสอบแบบ Charpy impact test การทดสอบได้เลือกใช้ตัวอย่างเหล็กกล้า SS400 และ S45C โดยเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ DIN50115 ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นชัดว่า เงื่อนไขของอุณหภูมิที่ลดลงทำให้พลังงานที่ใช้ในการตีกระแทกนั้นลดลงไปด้วย โดยผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิ 25°C ในเหล็กกล้า SS400 ใช้พลังงานในการตีกระแทกเฉลี่ย 112.67 Joules ในขณะที่อุณหภูมิ -70°C ใช้พลังงานเฉลี่ยเพียง 4.67 Joules และสำหรับเหล็กกล้า S45C พลังงานในการตีกระแทกเฉลี่ย 14.67 Joules ในขณะที่อุณหภูมิ -70°C ใช้พลังงานเฉลี่ยเพียง 4.33 Joules โดยที่ค่าความแข็งของทุกอุณภูมิของเหล็กกล้า SS400 เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่เฉลี่ย 75.53 HRB และเหล็กกล้า S45C เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่เฉลี่ย 15.53 HRC ขณะที่โครงสร้างจุลภาพก่อนและหลังการทดสอบการแรงกระแทกมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

คำหลัก พลังงานการต้านทานแรงกระแทก เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ความแข็งของวัสดุ

Abstract

This research study the impact resistance properties of steel and medium carbon steel at reduced test temperatures, namely room temperature (25°C) 0°C -10°C -25°C -40°C and -70°C respectively, with a holding time of 15 minutes at each temperature range. The impact test was conducted using the Charpy impact test method. The test used SS400 and S45C steel samples according to the DIN50115 test standard. The results showed that the reduced temperature conditions reduced the impact energy. The test results indicated that at 25°C, SS400 steel used an average impact energy of 112.67 Joules, while at -70°C, it used an average energy of only 4.67 Joules. For S45C steel, the average impact energy was 14.67 Joules, while at -70°C, it used an average energy of only 4.33 Joules. The hardness values of all temperatures of SS400 steel The average change of HRB is 75.53 HRC and the average change of S45C steel is 15.53 HRC while the microstructure before and after the impact test has a slight change.

Keywords Impact resistance energy, Medium carbon steel, Material hardness

1. บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมหลายประเภทเช่นอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ อุตสาหกรรมแช่เย็นหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่จำเป็นต้องทำงานในอุณหภูมิต่ำมาก วัสดุเหล่านั้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทางกลที่[1] เหมาะสมในการใช้งานและอยู่ในสภาวะปกติตลอดเวลา แม้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิติดลบ หรือถูกนำไปเป็นอุปกรณ์ส่วนควบคุมที่ประกอบกันขึ้นเพื่อรับการกระแทก ซึ่งอาจได้รับความเสียหายจากภาระการใช้งานที่ไม่ปกติหรือเป็นการใช้งานที่เกินค่ากำหนด (Over load)[2] การทราบค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก(Dynamic load) ของวัสดุจึงเป็นค่าหนึ่งที่สามารถกำหนดในการรับภาระของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากการทดสอบที่เรียกว่า Impact test ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาค่า Impact Energy [4] จึงให้ความสนใจการทดสอบวัสดุแบบกระแทกเป็นพิเศษโดยเฉพาะกลุ่มวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน[3] เนื่องจากเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้น ส่วนใหญ่เป็นเหล็กกล้ากลุ่มคาร์บอนต่ำถึงปานกลาง อีกทั้งการทดสอบดังกล่าวสามารถทำมาประยุกต์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นและเป็นการพยากรณ์อายุการใช้งานที่เหลือของวัสดุนั้นๆ ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นชิ้นส่วนที่มีการกระทำภายใต้ภาระแบบซ้ำๆ(Fatigue) จนเกิดเป็นการเสียหายแบบล้าตัว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่วัสดุกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นพิเศษ เนื่องจากนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยเหตุที่ราคาต้นทุนต่ำ ขึ้นรูปง่าย และมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในอุณหภูมิปกติ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและคาร์บอนปานกลางโดยเลือกเหล็กSS400และS45C [3] โดยการเตรียมชิ้นทดลองเป็นไปตามมาตรฐาน DIN50115 โดยเป็นการกัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด 10x10x55 มิลลิเมตร แล้วนำไปเจียระไนให้ผิวเรียบหลังจากนั้นนำไปบากร่องV 45°C ลึก 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

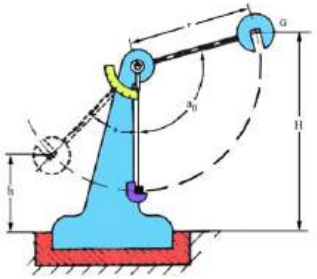
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและปานกลาง

เหล็ก	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	w	Co
SS400	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
S45C	0.45	<0.40	0.65	-	-	-	-	-	-

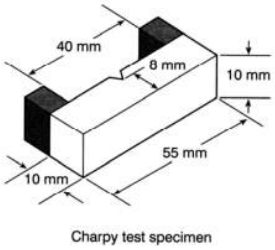
ข้อมูล: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้า

2.2 มาตรฐานและวิธีการทดลอง

การทดสอบครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดสอบแบบ Charpy impact test ตามมาตรฐานDIN50115 [4]โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบตีกระแทกที่ 25°C 0°C -10°C -25°C -40°C และ -70°C [6] ตามลำดับสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่1ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี้ตามมาตรฐาน DIN50115



รูปที่2ขนาดของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน DIN50115

ตารางที่2 เงื่อนไขต่างๆในการทดสอบวัสดุ

วัสดุ	อุณหภูมิทดสอบ	เวลาในการคงอุณหภูมิ
SS400 และ S45C	25 °C	15 นาที
	0 °C	
	-10 °C	
	-25 °C	
	-40 °C	
	-70 °C	

รูปที่3แสดงเครื่องทดสอบการกระแทกตามมาตรฐาน DIN50115

$$E = wr(\cos\beta - \cos\alpha) \qquad \text{สมการ (1)}$$

เมื่อ E คือพลังงานที่ใช้ในการตีชิ้นทดสอบให้หัก(Joules)

w คือน้ำหนักลูกตุ้ม (pound)

m คือมวลของลูกตุ้ม (kg)

g คือความเร่งจากแรงดึงดูดโลก (m/s^2)

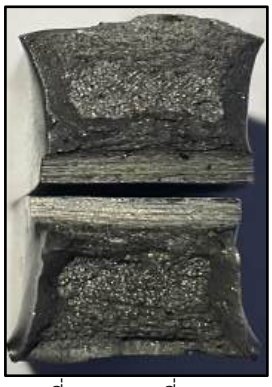
r คือความยาวแขนลูกตุ้ม (m)

3. ผลการวิจัยและการวิจารณ์

ตารางที่2

พลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบตีกระแทกวัสดุแต่ละอุณหภูมิ (Joules)

อุณหภูมิทดสอบ	วัสดุ	
	SS400	S45C
25 ℃	112.67	14.67
0 ℃	51.33	11.33
-10 ℃	25.67	8.00
-25 ℃	17.67	6.00
-40 ℃	11.67	5.67
-70 ℃	4.67	4.33

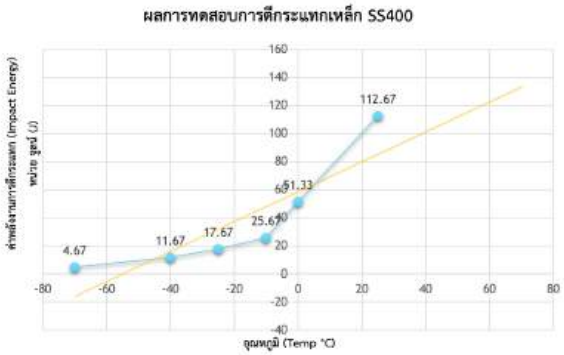


ภาพที่4 SS400 ที่25℃

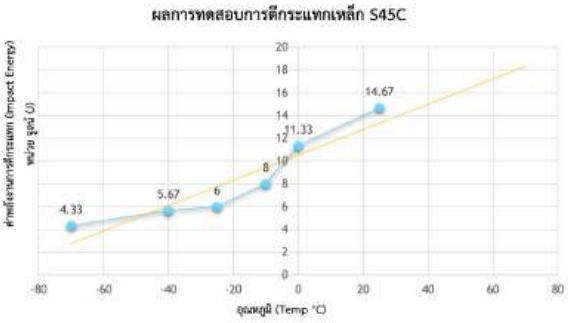
ภาพที่5 SS400 ตี-70℃

ภาพที่6 S45C ที่25℃

ภาพที่7 S45C ตี-70℃



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณภูมิและพลังงานที่ใช้ในการตีกระแทกของเหล็ก SS400



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณภูมิและพลังงานที่ใช้ในการตีกระแทกของเหล็ก S45C

4. สรุปผล

ผลการทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าพลังงานการกระแทกก็จะลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำกว่า -25°C เหล็กมีแนวโน้มเปราะเพิ่มขึ้น และเหล็ก S45C มีความเปราะมากกว่าเหล็ก SS400 ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง ในขณะที่เหล็ก SS400 ซึ่งเป็นเหล็กคาร์บอนต่ำ สามารถคงค่าความเหนียวได้ดีกว่าในบางช่วงอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิต่ำมาก เช่น -40°C ถึง -70°C เหล็กทั้งสองชนิดสูญเสียความเหนียวไปอย่างมาก

ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ควรพิจารณาคุณสมบัติด้านความเหนียวและความเปราะของเหล็กให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการแตกร้าวและความเสียหายในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สมนึกวัฒนศรียกุล ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือและห้องปฏิบัติการวัสดุวิทยา สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตราที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทดสอบแก่คณะผู้วิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.สมนึก วัฒนศรียกุล, หลักการทดสอบวัสดุ, พิมพ์ครั้งที่2, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545

[2] เอกรัฐใจบุญ, ศึกษาและเปรียบเทียบการทดสอบแรงกระแทกสำหรับชิ้นทดสอบเพลากลมกับชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยม วิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555

[3] ธีรพงษ์ ทับพร, สายันต์ เอี่ยมพรธนิต, การศึกษาอิทธิพลของแรงดันและเวลาในการต่อชนที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมวัสดุS45CและSS400 จากการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน, วารสารวิชาการ มหาวทยาลัยธนบุรี(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่2 ฉบับที่2 กรกฎาคม-ธันวาคม, 2561

[4] DIN50115, หลักการทดสอบวัสดุการทดสอบแบบชาร์ปี้, สมาคมมาตรฐานเยอรมัน, 2564

[5] ISO148-1, การทดสอบการตีกระแทกของวัสดุโลหะ, องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ, 2565

[6] M. Balakrias nan, Evaluation of Zero and Sub-zero Temperature Tensile and Impact Properties of Quenched and Tempered Steel Weldments, journal of iron and steel research. internation 2016.23(11) : 1177-1187

การเพิ่มมูลค่าเศษต้นกระวานเหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียง

Upcycling Waste Siam Cardamom Stems into Sound-Absorbing Materials

เบญจมาศ เนติวรรักษา[1*] สามารถ จันทนา[2] นฤมล เลิศคำฟู[3] สุรพงษ์ ปัญญาทา[3]
วิทวัส สิงห์สังข์[1] และ อนุรักษ์ รอดบำรุง[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการคุณภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
[2] สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีอัญมณีและเครื่องประดับ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Benjamas Netiworaruksa[1*] Samart Chanthana[2] Narumon Lertcumfu[3] Surapong Panyata[3]
Witawat Singsang[1] and Anurak Rodbumrung
[1] Department of Production Engineering and Quality Management, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
[2] Department of Industrial Art, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
[3] Department of Gem and Jewelry Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
E-mail: Benjamas.n@rbru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมเยื่อกระวานให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงและศึกษาคุณสมบัติเชิงกล สมบัติความต้านทานการลามไฟ และสมบัติการดูดซับเสียง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเตรียมเยื่อกระวานจากเศษต้นกระวานเหลือทิ้งโดยตัดต้นกระวานให้มีขนาดความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ปริมาณ 200 กรัม ต้มในน้ำปริมาณ 50 เท่าของน้ำหนักแห้งของต้นกระวาน เติมด้วยสารละลาย NaOH ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยใช้ปริมาณร้อยละ 15, 45, และ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง จะให้ค่าผลผลิตที่ได้แตกต่างกัน โดยเมื่อปริมาณ NaOH เพิ่มขึ้น ค่าผลผลิตที่ได้จะลดลง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระวาน คือที่ร้อยละ 75 ให้ค่าผลผลิตที่ได้ร้อยละ 48.5 ซึ่งค่าผลผลิตที่ได้น้อยกว่าการใช้ NaOH ร้อยละ 15 และ 45 แต่ลักษณะเส้นใยแยกออกเป็นเส้นชัดเจน และจากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.10 $\pm$ 0.06 MPa แสดงว่าเส้นใยฉีกขาดง่ายดังนั้นในการเตรียมเป็นวัสดุดูซับเสียงควรทำให้มีความหนาเพื่อป้องกันการฉีกขาดจึงขึ้นรูปให้มีความหนา 50 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบการดูดซับเสียงพบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน NRC สูงถึง 0.70 และเป็นวัสดุที่ไม่ลามไฟ จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้วัสดุนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้งานด้านการดูดซับเสียงทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

คำหลัก กระวาน, วัสดุดูดซับเสียง, ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน

Abstract

This research aimed to investigate the optimal conditions for preparing Siam cardamom fiber for use as a sound-absorbing material, as well as to study its mechanical properties, fire resistance, and sound absorption characteristics. The experiments involved cutting the discarded cardamom stems into 15-centimeter lengths (200 grams) and boiling them in water at a ratio of 50 times the dry weight of the stems. Sodium hydroxide (NaOH) was added at varying concentrations of 15%, 45%, and 75% by dry weight. The yield of Siam cardamom fiber varied with the concentration of NaOH, with higher concentrations resulting in lower yields. The optimal condition was found at 75% NaOH, which provided a yield of 48.5%. Although this yield was lower than those obtained with 15% and 45% NaOH, the fibers were more clearly separated. Mechanical testing showed a maximum tensile strength of 0.10 ± 0.06 MPa, indicating that the fibers were prone to tearing. To mitigate this issue in practical applications, the material was formed into sheets with a thickness of 50 millimeters. Sound absorption testing revealed a high noise reduction coefficient (NRC) of 0.70. Additionally, the material was found to be non-flammable, making it a promising eco-friendly alternative for acoustic applications.

Keywords: Siam cardamom, Acoustics Absorbing Material, Noise Reduction Coefficient

1. บทนำ

กระวาน เป็นพืชที่ชอบขึ้นอยู่ตามป่าที่มีความชื้นสูง และมีไม้ใหญ่ปกคลุม ชอบขึ้นในที่ร่มหรือใต้ต้นไม้อื่น ชอบดินที่มีความชื้นสูง มีฝนตกชุก พบกระจายตามบริเวณป่าเขาหรือป่าดงดิบ ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบปลูกหรือแพร่กระจายในประเทศต่าง ๆ ได้แก่ อินโดนีเซีย และประเทศใกล้เคียง รวมถึงประเทศไทย นิยมใช้เป็นอุตสาหกรรมยาแผนโบราณ มีลักษณะเด่น คือ ผลมีลักษณะค่อนข้างกลม โดยประเทศไทยพบกระวานได้ทั่วไปตามป่าในแถบเขาสอยดาว เขาระบาป ในจังหวัดจันทบุรี มีชื่อเรียกว่า “กระวานจันทบุรี” หรือ “กระวานจันท์” เป็นกระวานที่มีคุณภาพดีที่สุด ผลมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักต่อผลมาก [1] จังหวัดจันทบุรีที่มีชื่อเสียงมานานในการเป็นแหล่งผลิตและจำหน่ายกระวาน ในอดีตเกษตรกรต้องเดินเท้าเป็นเวลานานในการเข้าไปเก็บหาในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ประกอบกับกฎระเบียบที่เคร่งครัดของทางราชการ ทำให้เกษตรกรในท้องถิ่นริเริ่มนำพันธุ์กระวานออกมาทดลองปลูกในพื้นที่เกษตรของตน ปัจจุบันมีการจัดการเพาะปลูกกระวานไทยในรูปแบบวนเกษตร โดยปลูกร่วมกับไม้ผลและพืชอายุยาวชนิดอื่นภายในพื้นที่ทำการเกษตร [2] ดังนั้น กระวานจันทบุรีถือเป็นพืชที่แสดงอัตลักษณ์ของจังหวัดจันทบุรี ทุกส่วนของต้นกระวานไม่ว่าจะเป็นราก ลำต้น หน่อ เปลือก แก่นของลำต้น ใบ ผลแก่ เมล็ด หรือเหง้าอ่อนของสมุนไพรชนิดนี้ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้นทำเป็นยา เป็นอาหาร สำหรับในจันทบุรีอาหารขึ้นชื่อที่ใช้กระวานเป็นส่วนประกอบก็มีหลากหลายชนิด โดยเวลาทำอาหารจะนิยมใช้ส่วนของหัวและหน่อ แต่ส่วนลำต้นของกระวานส่วนมากจะทิ้งเป็นเศษขยะไม่ได้ใช้ประโยชน์ และจากงานวิจัยของ ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ กนกวรรณ มะสุวรรณ (2558) [3] ได้ศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ พบว่าถ้าเส้นใยมีเซลลูโลสในปริมาณที่มากจะส่งผลให้เส้นใยมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนดูดซับเสียงที่ดีขึ้นตามลักษณะของเยื่อแผ่นเมมเบรน โดย Javed Ahmed และคณะ (2021) [4] ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และสัณฐานวิทยาอย่างครอบคลุมของเส้นใยเซลลูโลสที่สกัดจากลำต้นของพืชกระวาน พบว่า มีปริมาณเซลลูโลสมากถึงร้อยละ 63.12 โดยน้ำหนัก ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจนำลำต้นกระวานซึ่งเป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตอาหารมาจัดทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นั่นคือวัสดุดูดซับเสียง จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้เส้นใยธรรมชาติมาทำเป็นวัสดุ

ดูดซับเสียง พืชที่เคยนำมาทำวัสดุดูดซับเสียงแล้ว ได้แก่ ชานอ้อย ให้ค่า NRC 0.355, เปลือกกล้วย ให้ค่า NRC 0.415 [8] เป็นต้น แต่พืชเหล่านี้ยังให้ค่า NRC ไม่สูงนัก

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านวัสดุศาสตร์และการออกแบบผลิตภัณฑ์ มาประยุกต์ใช้ในการนำเศษเหลือใช้จากต้นกระวาน ในกระบวนการผลิตอาหาร (แสดงในรูปที่ 1) มาพัฒนาให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งอย่างเศษต้นกระวานโดยจะนำเทคโนโลยีนวัตกรรมมาประยุกต์ในการออกแบบให้กลายเป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ 1.เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมเยื่อกระวานให้ได้สภาวะที่เหมาะสม และ 2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล สมบัติความต้านทานการลามไฟ และสมบัติการดูดซับเสียงจากเยื่อกระวาน

ก) ข)

รูปที่ 1 แสดง ก) กอต้นกระวาน ข) ลำต้นกระวานซึ่งเป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตอาหาร

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมเยื่อกระวาน

ตัดต้นกระวานให้มีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วนำมาชั่งให้ได้น้ำหนัก 200 กรัม จากนั้นนำมาล้างให้สะอาดและวางตากไว้ จากนั้นตวงน้ำเปล่าปริมาณ 50 เท่าของน้ำหนักแห้งของต้นกระวานที่ใช้ (น้ำหนักต้นกระวาน : น้ำ = 50 : 1) ใส่ลงในหม้อต้มสแตนเลสและชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกร็ด ปริมาณร้อยละ 15, 45, และ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง ใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกร็ดลงในน้ำที่เตรียมไว้ คนให้ละลาย นำต้นกระวานใส่ลงไปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เริ่มจับเวลาหลังจากสารละลายเดือด ต้มเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยคนทุก ๆ 30 นาที จากนั้นล้างเยื่อกระวานที่ผ่านการต้มด้วยน้ำสะอาดเพื่อชะล้างสารเคมี โดยล้างจนกว่าน้ำที่ใช้ล้างเยื่อมีค่า pH เป็นกลาง ตากเยื่อกระวานที่ได้ให้แห้ง ก่อนนำไปขึ้นรูป

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวานสามารถหาได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM D828 ในการทดสอบจะตัดชิ้นงานตามมาตรฐานเป็นชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25.4 $\pm$ 0.5 มิลลิเมตร และยาว 254 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบจะใช้อย่างน้อย 10 ตัวอย่าง และถูกทดสอบด้วยอัตราการดึง 25.4 มิลลิเมตรต่อนาที ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลเอนกประสงค์ (LLOYD Instruments)

2.3 การทดสอบสมบัติความต้านทานการลามไฟ

เนื่องจากแผ่นดูดซับเสียงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบภายในอาคาร ดังนั้น คุณสมบัติเกี่ยวกับการติดไฟหรือการลามไฟจึงเป็นสมบัติที่ควรคำนึงถึง ในงานวิจัยนี้การทดสอบสมบัติการลามไฟของแผ่นดูดซับเสียงดัดแปลงมาจากขั้นตอนที่แนะนำในมาตรฐานการทดสอบการลามไฟ ASTM D635 และเกณฑ์การทดสอบตามมาตรฐาน UL94 โดยระบุไว้ว่าในการทดสอบหนึ่งชุดจะใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง วัสดุที่ผ่านการทดสอบต้องมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้งสามตัวอย่างจึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์วัสดุที่มีสมบัติการต้านทานการลามไฟตามมาตรฐาน โดยมาตรฐานระบุเกณฑ์ไว้ 3 ข้อดังนี้

1. กรณีชิ้นงานมีความหนาระหว่าง 3-13 มิลลิเมตร จะต้องมีอัตราการเผาไหม้ไม่เกิน 40 มิลลิเมตรต่อนาที
2. กรณีชิ้นงานมีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร จะต้องมีอัตราการเผาไหม้ไม่เกิน 75 มิลลิเมตรต่อนาที
3. เปลวไฟต้องดับก่อนถึงระยะ 100 มิลลิเมตร

2.4 การทดสอบสมบัติการดูดซับเสียง

ในการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกระวาน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1050

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ของต้นกระวาน

จากการเตรียมเยื่อกระวานโดยการแช่ด้วยสารละลาย NaOH ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยใช้ปริมาณร้อยละ 15, 45, และ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง จากนั้นนำมาหาค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ของเยื่อกระวาน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ของเยื่อกระวาน

ความเข้มข้น NaOH (%)	มวลแห้งก่อนต้ม (กรัม)	เยื่อแห้งหลังต้ม (กรัม)	ร้อยละผลผลิต
15	200	113	56.5
45	200	109	54.5
75	200	97	48.5

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าผลผลิตที่ได้ในกรณีที่ใช้ NaOH ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง ให้ค่าน้อยที่สุดคือได้ร้อยละ 48.5 ลักษณะของเส้นใยที่ได้แยกออกเป็นเส้นชัดเจน มีความฟู แสดงดังรูปที่ 2 สามารถตีเยื่อได้ง่ายขึ้นซึ่งต่างจากเยื่อกระวานที่ใช้ NaOH ร้อยละ 15 และ 45 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง พบว่าเยื่อที่ได้จะมีลักษณะแข็งและยังเป็นเส้น เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการย่อยยังจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นและไม่แตกออกเป็นเยื่อ

จากตารางที่ 2 แสดงค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ของพืชต่างชนิดที่เตรียมด้วยความเข้มข้นของ NaOH ที่แตกต่างกัน โดยจากทุกงานวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ NaOH ค่าผลผลิตที่ได้ของพืชจะลดลงทุกชนิด โดยปริมาณที่ลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าพืชชนิดนั้นมีปริมาณเซลลูโลสอยู่มากน้อยเพียงใด เช่น ผักตบชวา สับปะรด และกาบกล้วย มีเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 43, 67 และ 31 ตามลำดับ ดังนั้นจึงส่งผลให้

รูปที่ 2 เยื่อกระวานที่ใช้ความเข้มข้น NaOH ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง

สับปะรดมีค่าผลผลิตที่ได้มากกว่าผักตบชวาและกาบกล้วย [5] ดังนั้นกระวานจึงมีเซลลูโลสในปริมาณมาก เพราะเมื่อใช้ NaOH ในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูง ค่าผลผลิตที่ได้ก็ยังสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับเสียง เพราะจากงานวิจัยของ ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ กนกวรรณ มะสุวรรณ (2558) ได้กล่าวไว้ว่าปริมาณของเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นใยมีสมบัติความเป็นฉนวนดูดซับเสียงที่ดีขึ้นตามลักษณะของเยื่อแผ่นเมมเบรน [3] ซึ่งการดูดซับเสียงคือการที่คลื่นเสียงสัมผัสกับผิววัสดุส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับ แทรกซึม และส่วนที่เหลือจะมีการดูดซับด้วยตัววัสดุเอง โดยถ้าวัสดุมีความพรุน มีเส้นใยมาก ก็จะสามารถดูดซับได้สูง [7] ดังนั้น กระวานจึงเป็นพืชที่น่าสนใจนำมาทำวัสดุดูดซับเสียง และจากลักษะเส้นใยที่ได้จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระวานคือเตรียมด้วย NaOH ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง

3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล และการทดสอบสมบัติความต้านทานการลามไฟ

นำแผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวานที่เตรียมด้วย NaOH ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง มาทำการทดสอบหาสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวาน สามารถหาได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM D828 หลังจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับเสียง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) มีค่าเท่ากับ 0.10 ± 0.06 MPa และค่ามอดูลัส (Young's modulus) มีค่าเท่ากับ 6.40 ± 2.30 MPa ซึ่งจากผลทดสอบ

ตารางที่ 2 แสดงค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ของพืชต่างชนิดที่เตรียมด้วยความเข้มข้นของ NaOH ที่แตกต่างกัน

ชนิดพืชที่นำมาทำเยื่อ	ความเข้มข้น NaOH (%)	ร้อยละผลผลิต	อ้างอิง
กระวาน	15	56.5	งานวิจัยนี้
	45	54.5	
	75	48.5	
ผักตบชวา	50	4.5	กาญจนา ลือพงษ์และคณะ (2560) [5]
สับปะรด	50	10.0	
กาบกล้วย	50	5.4	
ใบจาก	0.5	78.1	นพดล โพชกำเหนิด และคณะ (2562) [6]
	2	56.5	
	5	42.3	
	10	32.9	

ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดซึ่งบอกความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่เยื่อจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกันพบว่าเส้นใยกระวานมีค่าน้อยกว่าเส้นใยจากทางจาก จากงานวิจัยของ นพดล โพชกำเหนิด และคณะ (2562) [6] พบว่ากระดาษจากทางจากมีค่าความต้านทานแรงดึงต่อการฉีกขาดสูงสุดเท่ากับ 1.41± 0.05 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หรือเท่ากับ 1.41± 0.05 MPa แสดงว่าเส้นใยจากกระวานฉีกขาดง่ายกว่าเส้นใยทางจาก ดังนั้นในการเตรียมเป็นวัสดุดูซับเสียงควรทำให้มีความหนาเพื่อป้องกันการฉีกขาดหรือใช้วัสดุผสานในกระบวนการขึ้นรูป

การทดสอบสมบัติการลามไฟของแผ่นดูดซับเสียงดัดแปลงมาจากขั้นตอนที่แนะนำในมาตรฐานการทดสอบการลามไฟ ASTM D635 และเกณฑ์การทดสอบตามมาตรฐาน UL94 โดยการพิจารณาสมบัติการลามไฟจะพิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐาน UL94 โดยระบุไว้ว่าในการทดสอบหนึ่งชุดจะใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง วัสดุที่ผ่านการทดสอบต้องมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้งสามตัวอย่างจึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์วัสดุที่มีสมบัติการต้านทานการลามไฟตามมาตรฐาน จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ชิ้นงานทดสอบจากแผ่นดูดซับเสียงเยื่อกระวาน ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน UL94 ทุกประการ ดังนั้น แผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวานจึงจัดเป็นวัสดุที่เข้าหลักเกณฑ์ความปลอดภัยตามมาตรฐานที่ระบุไว้ สามารถนำมาทำวัสดุดูดซับเสียงได้ดีเพราะไม่ลามไฟ

ตารางที่ 3 อัตราการเผาไหม้ของแผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวาน

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	อัตราการเผาไหม้ (mm/min)
1	4.20	10.13
2	4.00	13.64
3	5.20	1.11

3.3 ผลการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงจากเยื่อกระวาน

การทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเยื่อกระวาน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน NRC (Noise Reduction Coefficient) โดย NRC จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่า NRC เข้าใกล้ศูนย์แสดงว่ามีคุณสมบัติในการซับเสียงต่ำ แต่ถ้ามีค่าเข้าใกล้หนึ่งแสดงว่ามีคุณสมบัติในการซับเสียงสูง จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1050 โดยบริษัท Acoustic Laboratory Thailand (ALT) ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 โดยทั่วไปค่า NRC ต้องมีค่ามากกว่า 0.4 จึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง [8] จากการทดลองพบว่าค่า NRC ของแผ่นดูดซับเสียงที่ทำจากเยื่อกระวานมีค่าเท่ากับ 0.70 ดังนั้นจึงถือว่าเป็นวัสดุดูซับเสียงที่ดี เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นต้นแบบวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยธรรมชาติ และควรทำต้นแบบเพื่อทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อขยายผลและส่งเสริมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

รูปที่ 3 ตัวอย่างเยื่อกระวานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงโดยมีความหนาที่ 50 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ก) 30 มิลลิเมตร ข) 100 มิลลิเมตร

4. สรุป

จากการทดลองเพิ่มมูลค่าเศษต้นกระวานเหลือทิ้งเพื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุดูซับเสียง พบว่ากระวานมีเซลลูโลสในปริมาณมาก และมีความเหมาะสมในการทำเป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการการต้มเยื่อคือใช้ความเข้มข้น NaOH ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของต้นกระวานแห้ง จากนั้นนำไปขึ้นรูปให้มีความหนา 50 มิลลิเมตร จะได้แผ่นดูดซับเสียงเยื่อกระวานที่มีคุณบัติการดูดซับเสียง มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน NRC สูงถึง 0.70 และเป็นวัสดุที่ไม่ลามไฟ แต่เยื่อรับแรงดึงได้น้อย โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 0.10 $\pm$ 0.06 MPa

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและนวัตกรรมจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.): งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 ผ่านหน่วยงานมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี (เลขที่สัญญา 1119/2567)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เฉลิมชล ช่างถม, “ตำราภูมิปัญญาการผลิตกระวานในจันทบุรี”, กลุ่มส่งเสริมและพัฒนาการผลิต สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี กรมส่งเสริมการเกษตร, (2566), หน้า 1-37.

[2] จิราวรรณ เปรื่องปราชญ์ และ วิพักตร์ จินตนา, “ผลผลิตและการจัดการกระวานในระบบวนเกษตร บ้านตามูล ตำบลทรายขาว อำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี”, วารสารวิชาการเกษตร, 36 (1) : (2561), หน้า 95-108.

[3] ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ กนกวรรณ มะสุวรรณ, “การศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 38(1): (2558), หน้า 71-86.

[4] Ahmed, J. et al., “A Comprehensive Physical, Chemical and Morphological Characterization of Novel Cellulosic Fiber Extracted from the Stem of Elettaria Cardamomum Plant”, Journal of Natural Fibers, Vol.18, No.2, (2021), pp 1–12.

[5] กาญจนา ลือพงษ์, นงนุช ศศิธร และ เกษม มานะรุ่งวิทย์, “การเตรียมกระดาษคราฟท์จากผักตบชวา ใบสับปะรด และกาบกล้วย”, วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 11(1): (2560), หน้า 15-22.

[6]. นพดล โพชกำเหนิด, สุปราณี วุ่นศรี และ ธัญวลัย รัศธนันกิจจ์, “การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากการผลิตใบจากสูบเพื่อความยั่งยืนของชุมชนลุ่มน้ำปะเหลียน”, วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต, 7(3): (2562), หน้า 271-282.

[7] อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา, “กระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์สำหรับงานหัตถกรรม”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, (2566), หน้า 1-12.

[8] นาปีเส๊าะ กาโบะ, ซอลีฮาห์ ละตะนา และ โรสลีนา จาราแว, “สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น”, การประชุมวิชาการระดับชาติ การนำเสนอผลงานวิจัยของนักศึกษาปริญญาตรี คุณภาพผู้เรียน คุณภาพครู, 11-12 กุมภาพันธ์ 2559 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, (2559), หน้า 34-42.

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของรูปแบบการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ

A Comparative Study of Mechanical Properties among Different 3D Printing Patterns

สุภัทรา หมู่ป่ารัง[1*] ฤดีมาศ สีดำ[1] นันทกานต์ โพธิจารย์[1] ปาณิธี เรืองศรี[1] วรเมธ ทองตัน[2] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[3]
วรรณนิศา นุชคุ้ม[3] และจิรวัฒน์ ณ พัทลุง[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[3]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Supattra Muparang[1*] Ruedeemat Seedarm[1] Nunthakarn Photijan[1] Panithee Rungsri[1] Woramet Thongtan[2] Thiti Mhoraksa[3] Prajak Jattakul[3] and Chirawat Na-Badalung[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[2]Department of Mechatronics and Robotics Engineering, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: Supattra_mu@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของรูปแบบการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ โดยมีรูปแบบการพิมพ์ แบบ Concentric, Grid และ ZigZag กำหนดอัตราความหนาแน่นของชิ้นงาน ได้แก่ ร้อยละ 80 ร้อยละ 90 และ ร้อยละ 100 จากนั้นดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลตามมาตราฐาน ASTM D638 Type V พบว่าการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ รูปแบบ ZigZag และ Concentric มีค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็ง สูงกว่ารูปแบบ Grid เนื่องจากรูปแบบ Grid ลักษณะการขึ้นรูปเกิดช่องว่างจำนวนมาก และพบว่า รูปแบบ ZigZag ที่ความหนาแน่น ร้อยละ 90 มีค่าคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับความหนาแน่น ร้อยละ 100 เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ เพื่อลดอัตราความหนาแน่นชิ้นงานและวัสดุสำหรับกระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ

คำหลัก การพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ พอลิแลคติกแอซิดเรืองแสง คุณสมบัติทางกล

Abstract

This research aims to study the mechanical properties of different printing patterns in the 3D printing process. The patterns examined include Concentric, Grid, and ZigZag, with infill density levels set at 80%, 90%, and 100%. Test specimens were fabricated and evaluated for mechanical properties according to ASTM D638 Type V standard. The results show that the ZigZag and Concentric patterns exhibit higher tensile strength, elastic modulus, and hardness compared to the Grid pattern. This is due to the Grid pattern having a structure that creates more voids. Furthermore, it was found that the ZigZag pattern at 90% infill density demonstrated mechanical properties close to those of the 100% infill, making it suitable for use in 3D printing processes where material usage and part density need to be reduced.

Keywords: 3D printing of fluorescent polylactic acid, mechanical properties, physical properties

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีความก้าวหน้าในกระบวนการผลิตแบบเติมแต่ง ในด้านต่างๆ ทั้งวัสดุ อุปกรณ์ ในกระบวนการพิมพ์แบบ 3 มิติ ผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์ขึ้นรูปในลักษณะเป็นชั้นยึดติดกัน [1][2] ซึ่งการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ (3D Printing) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วโลก ตั้งแต่อุตสาหกรรมออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการออกแบบไปจนถึงงานศิลปะและนวัตกรรม เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและยังส่งผลดีต่อเศรษฐกิจและสังคมในหลายมิติ [3][4] การผลิตเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีจำนวนโดยประมาณ 530,000 เครื่องทั่วโลก และมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 21 ต่อปี [5] การผลิตชิ้นงานจากกระบวนการ พิมพ์ 3D Printing สามารถเลือกใช้เส้นพลาสติกได้หลากหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นที่นิยมมาก คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid:PLA) [6] ด้วยคุณสมบัติที่เด่นต่างจากชนิดอื่น ๆ ทั้งการขึ้นรูปได้ดี ไม่มีกลิ่นไม่เป็นพิษและไม่ระคายเคือง ขณะการพิมพ์ อีกทั้งยังเป็นเส้นพลาสติกที่ผลิตมาจากวัสดุที่มาจากธรรมชาติ [7][8] เทคโนโลยีการพิมพ์ 3D Printing ที่มีการพิมพ์ขึ้นรูปแต่ละชั้นจึงประกอบด้วยเลเยอร์

เลเยอร์ประกอบไปด้วยเนื้อของพอลิเมอร์ คือปัจจัยสำคัญที่ควบคุมคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นส่วนที่ผลิตผ่านกระบวนการขึ้นรูป 3 มิติ ได้แก่ คุณภาพของชิ้นงาน และการเติมเต็มของชิ้นงาน [9] การลดปริมาณและความหนาแน่นของชิ้นงาน จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกล ทั้งนี้คุณภาพของพอลิเมอร์และลักษณะของความหนาแน่น เป็นฟังก์ชั่นของพารามิเตอร์ในกระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ในการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ มีฟังก์ชั่นการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ อุณหภูมิหัวฉีด อุณหภูมิฐานเครื่องพิมพ์ ความสูงของชั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ความหนาแน่นชิ้นงาน ทิศทางการพิมพ์ รูปแบบการเติมเต็ม ทั้งนี้ส่งผลต่อคุณภาพของการยึดติดกันของชั้นเลเยอร์ และการกำหนดปริมาณการเติมเต็มในขั้นตอนสุดท้าย

จากการศึกษางานวิจันที่ผ่านมา มีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ที่มีผลต่อชิ้นงาน Ahn S-H และคณะ ศึกษาความต้านทานแรงดึงจากการพิมพ์ขึ้นรูปโดยเส้นพลาสติกชนิด ABS พบว่าความหนาแน่น ร้อยละ 100 มีความแข็งแรงในการดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 72 [10] ในลักษณะเดียวกัน B. Akhoundi และคณะ [11] ได้ศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเติมเต็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและการดัดงอ สำหรับชิ้นงานจากกระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ พบว่ารูปแบบ Concentric มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้นเมื่อการเติมเต็มของพลาสติกเพิ่มขึ้น และยังพบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของเส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเรืองแสง Prin Nachaisit และคณะ [12] ได้ศึกษา

คุณสมบัติทางกลของเส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเรืองแสง พบว่าค่าโดยประมาณของความต้านทานแรงดึง 65.490 MPa ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น 1110 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวร้อยละ 1.64 ค่าความแข็ง 79.266 Shore D ค่าความสว่างโดยประมาณ 1.4 ลักซ์ นอกจากนี้ยังไม่มีการวิจัยเกี่ยวกับการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล

ดังนั้นหากมีการศึกษาการออกแบบรูปแบบทิศทางการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ ออกแบบทิศทางโดยใช้เส้นพลาสติกพอลิแลคติดแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสง เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล ความหนาแน่นชิ้นงานที่แตกต่างกัน การพัฒนาการขึ้นรูปเพื่อศึกษาความแข็งแรง ความแข็งแกร่งในทิศทางที่แตกต่างกัน และลดการสิ้นเปลืองในการใช้พลาสติก ซึ่งเป็นแนวทางที่ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตก้าวหน้ายิ่งขึ้น

2.วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูป 3 มิติ วัสดุอุปกรณ์เส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสง การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบตามมาตราฐาน ASTM D638 Type V จำนวน 3 รูปแบบ การเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

เส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 mm

2.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ดำเนินงาน

เครื่อง 3 มิติ รุ่น Ender-3 V2 Neo สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบตามมาตราฐาน ASTM D638 Type V

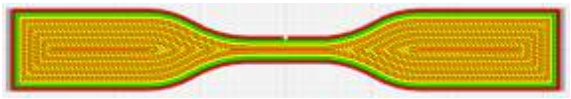
เครื่องทดสอบดัชนีการไหล ตามมาตรฐาน ASTM D1238

เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Autograph AGS-X

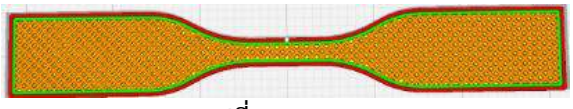
เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D ยี่ห่อ TECLOK รุ่น GS-720N Type D

2.3 การออกแบบรูปแบบชิ้นงานทดสอบ

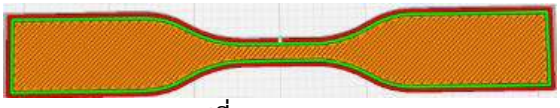
งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม UltiMaker Cura โดยมี 3 รูปแบบ ได้แก่ Concentric ,Grid และ Zig zag ดังรูปที่ 6 - 8



รูปที่ 6 แบบ Concentric



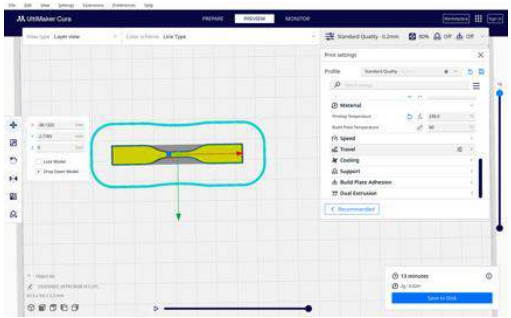
รูปที่ 7 แบบ Grid



รูปที่ 8 แบบ ZigZag

2.4 การสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Modeling (FDM)

การสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยใช้โปรแกรม Ulti Maker Cura และทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ คือ อุณหภูมิของ หัวฉีดพลาสติก โดยตั้งค่าอุณหภูมิหัวฉีด 230°C อุณหภูมิฐานพิมพ์ 60°C การฉีดเติมเต็มเนื้อพลาสติก ร้อยละ 80 ร้อยละ 90 และ ร้อยละ100 ในการพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 9 แสดงให้เห็นภาพที่เข้าใจยิ่งขึ้นเกี่ยวกับลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึง แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โปรแกรม UltiMaker Cura สร้างชิ้นงาน 3 มิติ

2.5 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Tensile Properties) [8] [13] โดยเริ่มจากชิ้นงานตามมาตรฐาน D638 Type V ซึ่งลักษณะรูปร่างคล้ายดรัมเบลล์ (Dumbell) ทั้งนี้เพื่อให้การดึงเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ และขาดบริเวณตรงกลาง ซึ่งบอกถึงความแกร่งของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรง ดึงการวัดความทนทานของพอลิเมอร์ที่รับแรงคงที่อย่างช้า ๆ (Static

Load) ซึ่งสามารถบอกความแข็งแรงของชิ้นงาน ทำการทดสอบชิ้นตัวอย่าง อย่างละ 5 ชิ้น โดยผลการทดสอบที่ต้องการในงานวิจัยนี้ คือ ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

การทดสอบความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ (Shore hardness) ทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D785 เป็นการทดสอบที่นิยมสำหรับวัสดุที่มีความแข็งไม่สูงมาก ในการทดสอบนั้นจะให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไป ยังชิ้นงานทดสอบ และใช้ความแข็งของสปริงกดเป็นส่วนที่ให้แรงแทนที่จะเป็นน้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริงเชิงเส้นซึ่งมีค่าความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบและมาตรวัด เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยัง ชิ้นงานทดสอบ แรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ความลึก ที่หัวทดสอบเจาะลงไปในชิ้นงานจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความแข็งของวัสดุบนมาตรวัดความแข็ง 1 ชอร์ มีค่าเท่ากับระยะการเคลื่อนที่ในเนื้อชิ้นงาน 0.025 มิลลิเมตร ค่าความแข็งบนหน้าปัดมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยวัสดุที่มีความแข็งมากจะแสดงค่าที่สูงกว่าวัสดุที่มีความแข็งต่ำกว่า โดยทั่วไปแล้วกำหนดให้อ่านค่าทดสอบประมาณ 1-15 วินาที หลังการกดและต้องระบุเวลาที่ใช้อ่านผลในรายงานผลการทดสอบด้วย

2.6 การทดสอบทางกายภาพ

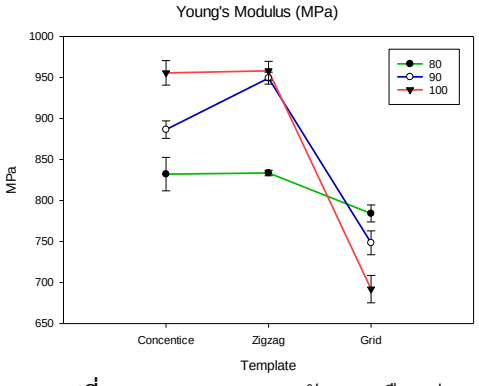
การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index : MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 คือน้ำหนักของพอลิเมอร์ ที่หลอมไหลผ่านหัวดายมาตรฐาน (2.095x8 มม.) ที่อุณหภูมิหลอมเหลว 230 °C ใช้น้ำหนักกดที่ 2.16 กิโลกรัม (อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามมาตรฐาน) ชั่งน้ำหนักและคำนวนหาค่าดัชนีการไหลหน่วย g/10 min [13]

3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบสมบัติทางกล และทางกายภาพ แสดงผลดังต่อไปนี้

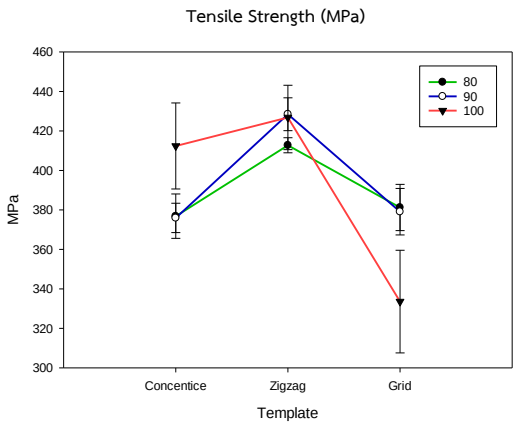
3.1) ผลการทดสอบสมบัติทางกล

3.1.1) ผลการทดสอบมอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของเส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยืดหยุ่น เมื่อความหนาแน่นที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะการขึ้นรูปแบบ ZigZag ที่อัตราความหนาแน่น ร้อยละ 100 มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงสุดโดยประมาณ 958.197 MPa และพบว่ารูปแบบ Grid ที่อัตราความหนาแน่น ร้อยละ 80 ร้อยละ 90 และ ร้อยละ 100 มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นน้อยที่สุด เนื่องจากรูปแบบ Grid มีการพิมพ์ขึ้นรูปที่ระยะที่สั้นกว่ารูปแบบอื่นๆและมีช่องว่างจำนวนมาก จึงส่งผลให้ความยืดหยุ่นน้อย [11]



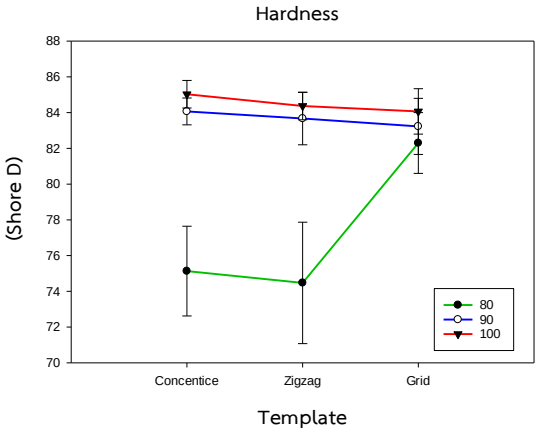
รูปที่ 10 การทดสอบมอดูลัสความยืดหยุ่น

3.1.2) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของเส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสง พบว่าลักษณะการขึ้นรูปแบบ ZigZag มีค่าความต้านทานแรงดึงโดยประมาณ 428.492 MPa ซึ่งสูงกว่าการขึ้นรูปแบบ Concentric และรูปแบบ Grid สอดคล้องกับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง เนื่องจากโครงสร้างรูปแบบ ZigZag มีช่องว่างน้อย เนื่องจากเส้นทางการขึ้นรูปมีระยะยาว ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิได้ดี ส่งผลให้การยึดติดแต่ละเลเยอร์มีความหนาแน่น [11][14-16]



รูปที่ 11 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

3.1.3) ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness) ของเส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดเติมแต่งสารเรืองแสงแสดงให้เห็นว่า ลักษณะการขึ้นรูปแบบ Concentric มีค่าความแข็งสูงที่สุดโดยประมาณ 84.069 Shore D และพบว่า มีความสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น [16]



รูปที่ 12 การทดสอบความแข็ง

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกลของการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะทิศทาง และรูปแบบที่แตกต่างกัน จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่า รูปแบบ ZigZag และ Concentric มีความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของหัวฉีดในระยะทางยาวที่คล้ายกัน และไม่มีช่องว่าง สำหรับความหนาแน่น ร้อยละ 100 [11] ส่งผลให้มีความต้านทานแรงดึงมากกว่า รูปแบบ Grid และผลการทดสอบมอดูลัสความยืดหยุ่น พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่น ร้อยละ 100 ส่งผลให้รูปแบบ Concentric มีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ รูปแบบ ZigZag เนื่องจากแนวของการพิมพ์ขึ้นรูป และทิศทางการรับน้ำหนัก ทำให้มีการยึดติดและแข็งแรงระหว่างชั้น ส่งผลให้มอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้น คล้ายกับงานวิจัยของ B. Akhoundi [11] ได้ศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเติมเต็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและการดัดงอ สำหรับชิ้นงานจากกระบวการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ พบว่า รูปแบบ Concentric มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้นเมื่อการเติมเต็มของพลาสติกเพิ่มขึ้น และผลการทดสอบความแข็งพบว่าทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกันในอัตราความหนาแน่น ร้อยละ90 และ ร้อยละ100 เมื่ออัตราเติมเต็มลดลง ส่งผลให้ความแข็งลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีช่องว่างของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น

5. สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกลของรูปแบบการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ สำหรับรูปแบบและความหนาแน่นที่แตกต่าง พบว่า รูปแบบ ZigZag ที่ความหนาแน่น ร้อยละ 100 มีคุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุด คือ ค่าความต้านทานแรงดึง 958.197 MPa ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น 428.492 MPa และในทางกลับกันค่าความแข็งน้อยกว่ารูปแบบ Concentric เพียงเล็กน้อย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความการสนับสนุนจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ และได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือจากสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรม ศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เครื่องทดสอบที่ใช้สำหรับงานวิจัยจาก สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี และขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ให้คำแนะนำ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติ หมอรักษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักร จัตกุล

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Shaffer S, Yang K, Vargas J, Di Prima MA, Voit W (2014) On reducing anisotropy in 3D printed polymers via ionizing radiation. Polymer 55(23):5969–5979

[2] Guo N, Leu MC (2013) Additive manufacturing: technology, applications and research needs. Front Mech Eng 8(3):215–243

[3] Mostafa N, Syed HM, Igor S, Andrew G (2009) A study of melt flow analysis of an ABS-iron composite in fused deposition modelling

process. Tsinghua Sci Technol 14:29–37

[4] Jiang S, Liao G, Xu D, Liu F, Li W, Cheng Y, et al. Mechanical properties analysis ofpolyetherimide parts fabricated by fused deposition modeling. High Perform Polymers 2019;31(1):97-106

[5] Diaz, J. V., Noort, M., and Van, B. Method for the production of an Edible Object by Power Bed (3d) Printing and Food Products Obtainable Therewith. Google Patents (2015).

[6] Lu Y, Jiaguang M, Tao XUE. Effect of 3D printing process parameters on tensile strength of PLA specimen. Plastics Industry. 201; 49(05): 73-77.

[7] Lay M, Thajudin NLN, Hamid ZAA, Rusli A, Abdullah MK, Shuib RK. Comparison of physical and mechanical properties of PLA, ABS and nylon 6 fabricated using fused deposition modeling and injection molding. Composites Part B: Engineering. 2019; 176:107341).

[8] Liang S. Preparation and Research of Polylactic Acid Composite Material for Ecological Vehicle [Dissertation]. Jilin University. 2021.

[9] Sun Q, Rizvi G, Bellehumeur C, Gu P (2008) Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments. Rapid Prototyp J 14(2):72–80

[10] Ahn S-H, Montero M, Odell D, Roundy S, Wright PK (2002) Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyp J 8(4):248–257

[11] B. Akhoundi and A.H. Behravesh. Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products. Experimental Mechanics (2019) 59:883–897

[12] Prin Nachaisit, Supatthra Muparang, Wannisa Nutkhum, and Jittiwat Nitthikarnjanatharn. (2022) Study of fluorescent polylactic acid resin for printing and forming specimens to test mechanical and physical properties. The Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference. (7)760-768

[13] Supatthra Muparang (2565). Study of Recycled Polypropylene Mixed with Polylactic Acid Adding Phosphor to Produce Plastic Filaments for Forming Parts with 3D Printers (Master of Engineering Thesis) Rajamangala University of Technology Isan

[14] Es-Said O, Foyos J, Noorani R, Mendelson M, Marloth R, Pregger BA. Effect of Layer Orientation on Mechanical Properties of Rapid Prototyped Samples. Mater Manuf Process. 2000;15(1):107-122.

[15] Nickel AH, Barnett DM, Prinz FB. Thermal stresses and deposition patterns in layered manufacturing. Mater Sci Eng A. 2001;317(12):59-64.

[16] Miguel Fernandez-Vicente, Wilson Calle, Santiago Ferrandiz, and Andres Conejero. (2016) Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing. 3D Printing and Additive Manufacturing 3(3):183-192

ผลของสเปรย์โพรโพลิสในช่องปากต่อแรงยึดติดแบบเฉือนและรูปแบบความเสียหายระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟัน

Effect of Propolis Mouth Spray on Shear Bond Strength Between Resin Composite and Enamel

แม็ค บุญเพ็ญศิลป์[1*] นายบดินเดช จูมมณี[1] นายปกรณ์ ชุมรุม[1] พิชิต อ่อนปรางค์[1] พัชระ กัญจนกาญจน์[1] สัญญา คำจริง[1] เฉลิม ขุนเอียด[1] และ ชญาดา เทียนไชย์[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[2]ศูนย์บริการโครงสร้างพื้นฐาน สำนักวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: Mack.b@rmutsb.ac.th*

Mack Boonpensin[1*] Brodindech Joommanee1 Pakorn Chumrum[1] Pichit Onprang[1] Patchara Kunjanakarn[1] Sanya Kumjring[1] Chalerm Khunaed[1] and Chayada Teanchai[2]

[1]Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[2]Ultrastructural Service Center, Research Office, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Bangkok, Thailand

E-mail: Mack.b@rmutsb.ac.th*

บทคัดย่อ

การยึดติดระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จในการบูรณะทางทันตกรรมแบบติดแน่น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยภายนอกบางประการ เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับช่องปาก อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแรงยึดติด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของสเปรย์พ่นปากโพรโพลิส ซึ่งมีส่วนผสมของโพรโพลิสธรรมชาติ ต่อแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength; SBS) ระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันมนุษย์ และเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของความเสียหายหลังการยึดติด ตัวอย่างฟันแท้จำนวน 30 ซี่ ถูกสุ่มแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (แช่ในน้ำกลั่น) และกลุ่มทดลอง (ใช้สเปรย์โพรโพลิสพ่นบนผิวฟันวันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 7 วัน) จากนั้นนำไปทดสอบค่าแรงยึดติดแบบเฉือนด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine; UTM) และประเมินลักษณะความเสียหายด้วยค่าดัชนีดัชนีเศษกาวยึดติด (Adhesive Remnant Index; ARI) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วยสเปรย์โพรโพลิส มีค่าแรงยึดติดแบบเฉือนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีลักษณะความเสียหายแบบ Adhesive มากกว่า สรุปได้ว่าการพ่นสเปรย์โพรโพลิสในช่องปากส่งผลให้แรงยึดติดของวัสดุเรซินคอมโพสิตต่อเคลือบฟันมีค่าลดลง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ความเป็นกรดของสารสกัดโพรโพลิส

คำหลัก โพรโพลิส, แรงยึดติดเฉือน, เรซินคอมโพสิต, เคลือบฟัน

Abstract

The adhesion between resin composite and tooth enamel plays a crucial role in the long-term success of direct dental restorations. However, certain external factors, such as oral care products, may influence bond strength. This study aimed to evaluate the effect of Propoliz mouth spray, which

contains natural propolis extract, on the shear bond strength (SBS) of resin composite to human enamel, and to analyze the failure mode following bond testing. Thirty extracted human teeth were randomly assigned to two groups (n=15): the control group (immersed in distilled water) and the Propoliz-treated group (sprayed once daily for 7 days). Specimens were then subjected to SBS testing using a universal testing machine. The adhesive remnant index (ARI) was used to evaluate the failure pattern. Results showed that the Propoliz-treated group exhibited significantly lower SBS compared to the control group ($p < 0.05$), with a higher prevalence of adhesive failure. These findings suggest that daily use of Propoliz mouth spray may negatively affect the bond strength between resin composite and enamel. This may be attributed to the acidic nature of the propolis extract, which could alter the enamel surface and interfere with the adhesive interface.

Keywords: Propolis, Shear bond strength, Resin composite, Failure mode, Enamel

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ได้ส่งผลกระทบอย่างลึกซึ้งต่อระบบสาธารณสุขทั่วโลก และเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของผู้คนในหลายด้าน หนึ่งในนั้นคือการดูแลสุขภาพทางช่องปาก ซึ่งได้รับความสนใจมากขึ้นทั้งในระดับบุคคลและในมิติของการแพทย์ป้องกันผลกระทบของ COVID-19 มิได้จำกัดเฉพาะระบบทางเดินหายใจ แต่ยังเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการบริโภค ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในช่องปาก และความตื่นตัวต่อการเลือกใช้สารจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพและต้านการอักเสบ โดยเฉพาะในช่วงที่การเข้ารับบริการทางทันตกรรมมีข้อจำกัด การใช้ผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพช่องปาก เช่น สเปรย์พ่นปากหรือน้ำยาบ้วนปาก จึงกลายเป็นแนวทางสำคัญในการลดการสะสมของเชื้อโรคในช่องปาก [1,2]

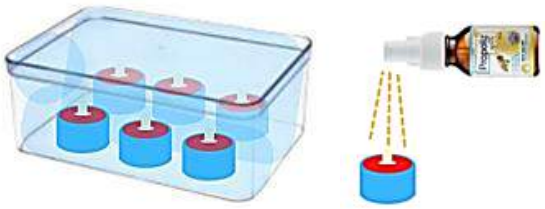
หนึ่งในสารจากธรรมชาติที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในด้านการดูแลช่องปากคือ "โพรโพลิส" (Propolis) ซึ่งเป็นสารที่ผึ้งรวบรวมจากเรซินของพืชผสมกับไขผึ้ง เอนไซม์ เกสร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้เสริมสร้างโครงสร้างของรังผึ้ง โพรโพลิสมีลักษณะเป็นสารเหนียวคล้ายกาว จึงมักถูกเรียกว่า "กาวผึ้ง" สารประกอบนี้มีคุณสมบัติต้านจุลชีพ ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และยังพบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลชีพที่เกี่ยวข้องกับโรคในช่องปาก เช่น สเตรปโตค็อกคัส มิวแทนส์ (Streptococcus Mutans) และแคนดิดา แอลบิแคนส์ (Candida Albicans) ที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคฟันผุและการติดเชื้อราในช่องปาก [3,4,5] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าโพรโพลิสอาจมีบทบาทช่วยฟื้นฟูเนื้อเยื่อภายในช่องปากภายหลังการผ่าตัดหรือการรักษาทางทันตกรรม [3] ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากเพื่อส่งเสริมสุขภาพและลดความเสี่ยงของการเกิดโรคในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่กล่าวถึงประโยชน์ของโพรโพลิสต่อสุขภาพช่องปากโดยรวม แต่ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับผลของโพรโพลิสต่อประสิทธิภาพของวัสดุบูรณะฟันทางทันตกรรมโดยเฉพาะในด้านแรงยึดติดระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับผิวฟัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบูรณะที่ประสบความสำเร็จในระยะยาว แรงยึดติดแบบเฉือน (Shear Bond Strength: SBS) ถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญของความมั่นคงของวัสดุในช่องปาก หากมีปัจจัยใดที่ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดลดลง ก็อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการหลุดร่อน การรั่วซึม หรือการเกิดฟันผุซ้ำ [6, 7] งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สเปรย์โพรโพลิสในช่องปาก EPP-AF ต่อแรงยึดติดแบบเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟัน และเพื่อศึกษารูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวการยึดติดหลังการทดสอบ เพื่อประเมินว่าสเปรย์โพรโพลิสดังกล่าวส่งผลดีหรือผลเสียต่อการยึดติดในการบูรณะฟันอย่างไร

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ทำการรวบรวมวัสดุฟันกรามน้อยแท้ของมนุษย์ที่มีสภาพปกติจำนวน 15 ซี่ ซึ่งปราศจากรอยแตกของผิวเคลือบฟัน ผิวเกิดรอยฟันผุ ผิวเกิดการกัดเซาะ หรือการแตกร้าว สำหรับนำมาใช้ในการศึกษาโดยเก็บรักษาไว้ในสารละลายไทมอล 0.1% ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ฟันแต่ละซี่ถูกตัดแบ่งเป็น 2 ท่อนตามแนวของซี่ฟัน จนได้ตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น ซึ่งฝังในแท่งพีวีซีทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ด้านในถูกเทด้วยเรซินทั่วทั้งผิวฟันและปล่อยให้แข็งตัว จากนั้นนำชิ้นงานที่เราได้เตรียมไว้ขัดด้วยกระดาษขัดซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) เบอร์ 240, 600, 1000 และ 2000 โตามลำดับ โดยใช้เครื่องขัดผิว (Grinder Polisher, EcoMet 30, Buehler, USA) จากนั้นจึงกัดผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริก 37% (ActicEtch Gel, DentaLife, Australia) เป็นเวลา 15 วินาที ล้างด้วยน้ำ 20 วินาที และเป่าลมแห้งอีก 15 วินาที ทาแอดฮีซีฟ (Optibond FL, Kerr, USA) บนพื้นผิวที่ถูกกัดกรด จากนั้นเป่าลมเบา ๆ เป็นเวลา 15 วินาที และฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ตัวอย่างเรซินคอมโพสิต ถูกบรรจุบนบริเวณที่เคลือบฟันโดยใช้แม่พิมพ์ซิลิโคนรูปทรงกระบอกขนาด 2 × 2 มิลลิเมตร จากนั้นฉายแสงเพื่อบ่มวัสดุเป็นเวลา 40 วินาที ตัวอย่างทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสเปรย์โพรโพลิส



รูปที่ 1 แสดงการเก็บชิ้นงานหลังจากพ่นทดสอบโดยน้ำกลั่นและพ่นสเปรย์โพลโพลิส

ในกลุ่มทดลอง จะพ่นสเปรย์โพรโพลิสจำนวน 3 ครั้ง ในแนวตั้งฉากกับผิวตัวอย่าง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำประปาไหลผ่าน และแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนนี้ทำซ้ำวันละ 1 ครั้ง ติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน สำหรับกลุ่มควบคุม จะถูกแช่น้ำในเงื่อนไขเดียวกันโดยไม่พ่นสเปรย์

2.2 การทดสอบแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength Test)

ทดสอบค่าแรงยึดติดเฉือนของแต่ละตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (Universal Testing Machine, Digital Material Tester LS1, AMETEK, Inc., USA) โดยตั้งความเร็วหัวกดไว้ที่ 0.5 มิลลิเมตร/นาที จนกว่าจะเกิดการหลุดของแท่งเรซิน แล้วบันทึกค่าความแข็งแรงในการยึดติดในหน่วยเมกะพาสกาล (MPa) ตามรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล(Universal Testing Machine, Digital Material Tester LS1, AMETEK, Inc., USA)

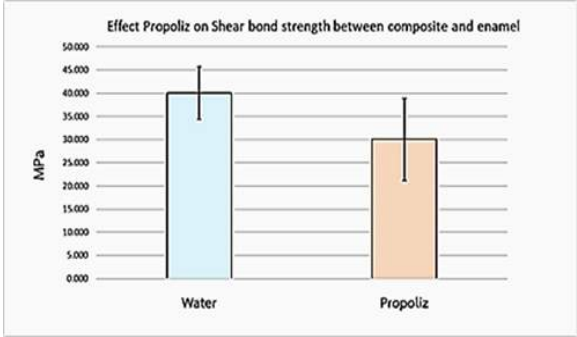
2.3 การวิเคราะห์รูปแบบความเสียหาย (Mode of Failure)

ตัวอย่างที่หลุดออกจากกันถูกนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JSM-IT700HR (JEOL, Ltd., Japan) ที่กำลังขยาย 27 เท่า เพื่อประเมินปริมาณของกาวยึดติดที่หลงเหลืออยู่บนผิวฟัน โดยจำแนกรูปแบบความเสียหายจากค่าดัชนี (Adhesive Remnant Index: ARI) ดังนี้จากนั้นจำแนกรูปแบบความเสียหายออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่หนึ่ง ความเสียหายที่ชั้นยึดติด (adhesive failure) คือ การหลุดล่อนที่บริเวณระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับผิวเคลือบฟัน ประเภทที่สอง ความเสียหายภายในวัสดุ (cohesive failure) คือ การแตกหักภายในเนื้อเรซินคอมโพสิตหรือตัวฟัน ประเภทที่สาม ความเสียหายแบบผสม (mixed failure) คือ เกิดการเสียหายทั้งที่ชั้นยึดติดและภายในวัสดุร่วมกัน

3. ผลการทดลอง

3.1. แรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength: SBS)

จากผลการทดสอบแรงยึดติดเฉือนระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟัน พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (P = 0.334) และค่าความแปรปรวนของกลุ่มมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (P = 0.068) ทำให้สามารถดำเนินการวิเคราะห์ด้วย t-test ได้อย่างเหมาะสม ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วย t-test แบบสองกลุ่ม (1-tailed) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วยสเปรย์โพรโพลิส (P = 0.001) โดยกลุ่มควบคุมซึ่งแช่น้ำกลั่นมีค่าแรงยึดติดเฉือนเฉลี่ยอยู่ที่ 40.01 ± 5.69 เมกะพาสกาล ขณะที่กลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วยสเปรย์โพรโพลิส มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.03 ± 8.90 เมกะพาสกาล ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการพ่นสเปรย์โพรโพลิส ส่งผลลดค่าแรงยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะกับเคลือบฟันอย่างชัดเจน



รูปที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength: SBS) ระหว่างกลุ่มควบคุม (Water) และกลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วย

จากแผนภูมิใน รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่า SBS อย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ได้รับ Propoliz เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสนับสนุนข้อสมมุติฐานที่ว่าองค์ประกอบในโพรโพลิสอาจมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของผิวเคลือบฟันหรือรบกวนกระบวนการยึดติดของกาวทางทันตกรรม

3.2. ลักษณะของความเสียหาย (Mode of Failure)

ลักษณะของความเสียหายหลังจากการทดสอบแรงยึดติดเฉือนถูกประเมินและเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับสเปรย์โพรโพลิส โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ความเสียหายแบบโคฮีซีฟ (Cohesive failure), ความเสียหายแบบแอดฮีซีฟ (Adhesive failure) และความเสียหายแบบผสม (Mixed failure) ผลจาก ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มควบคุมมีความเสียหายแบบโคฮีซีฟถึง 7 ตัวอย่าง ขณะที่กลุ่มที่ได้รับสเปรย์โพรโพลิส ไม่มีลักษณะความเสียหายในรูปแบบนี้เลย ในทางตรงกันข้าม กลุ่มที่ได้รับสเปรย์โพรโพลิส กลับมีความเสียหายแบบแอดฮีซีฟมากถึง 10 ตัวอย่าง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีเพียง 6 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบความเสียหายแบบผสมในกลุ่มควบคุม 2 ตัวอย่าง และในกลุ่มทดลอง 5 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบลักษณะของความเสียหายระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการพ่นสเปรย์โพลโพลิส

Failure mode	Group	
	Control	Propoliz
Cohesion	2	0
Adhesion	7	10
Mixes	6	5
Total	15	15

ผลการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายนี้แสดงให้เห็นว่าการพ่นสเปรย์โพรโพลิส มีแนวโน้มทำให้เกิดการเสียหายของการยึดติดในลักษณะแบบ แอดฮีซีฟ (adhesive failure) มากกว่าลักษณะอื่น ซึ่งหมายความว่าการแยกตัวของวัสดุเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตและพื้นผิวฟันโดยตรง ไม่ใช่ภายในเนื้อวัสดุเอง (cohesive failure) หรือลักษณะผสม (mixed failure) โดยการที่กลุ่มสเปรย์โพรโพลิส ไม่มีความเสียหายแบบโคฮีซีฟเลย สะท้อนว่าการยึดติดกับผิวเคลือบฟันอ่อนแอลงอย่างชัดเจน และจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ที่ขอบเขตการยึดติด ไม่ใช่ภายในวัสดุ

รูปที่ 4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะของการเสียหายหลังการทดสอบแรงยึดติดเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ Cohesive, Adhesive, และ Mixed failure

จากรูปที่ 4 ซึ่งเป็นภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ขยาย 27 เท่า สามารถเห็นความแตกต่างของลักษณะการเสียหายระหว่างสามรูปแบบ ได้แก่ แบบโคฮีซีฟ (Cohesion), แบบแอดฮีซีฟ (Adhesion) และแบบผสม (Mixed) โดยบริเวณที่มีสีชมพูคือพื้นที่ของกาวที่ยังติดอยู่กับผิวฟัน จากการสังเกตพบว่ากลุ่มที่ได้รับพ่นสเปรย์โพลโพลิส มีความชัดเจนของพื้นที่แอดฮีซีฟที่มากกว่า และมีบริเวณกาวหลงเหลือน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สเปรย์พ่นปากที่มีส่วนผสมของโพรโพลิส ส่งผลให้แรงยึดติดเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเปลี่ยนแปลงรูปแบบความเสียหายของการยึดติดไปในทิศทางที่ไม่พึงประสงค์ กล่าวคือ มีแนวโน้มเกิดความเสียหายแบบแอดฮีซีฟมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากผลของสารออกฤทธิ์ในโพรโพลิสที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนหรือรบกวนการทำงานของกาวยึดติด จึงควรพิจารณาอย่างระมัดระวังในการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวร่วมกับการบูรณะฟันที่ใช้วัสดุเรซินคอมโพสิต

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการศึกษานี้พบว่า การใช้สเปรย์พ่นปากที่มีส่วนผสมของโพรโพลิส มีผลทำให้ค่าแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength: SBS) ระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันมนุษย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Arslan และคณะ (2023) ซึ่งศึกษาผลของโพรโพลิสต่อการยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะกับเคลือบฟัน โดยพบว่า โพรโพลิสส่งผลให้แรงยึดติดลดลง และอาจเป็นเพราะสารตกค้างจากโพรโพลิสที่ผิวเคลือบฟันอาจรบกวนการยึดติดของกาวทันตกรรม รวมถึงอาจส่งผลต่อการเกิดช่องว่างจุลภาค (microleakage) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุกับฟัน [Arslan et al., 2023]

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น เช่น งานของ Sodagar และคณะ (2019) ซึ่งศึกษาผลของอนุภาคนาโนโพรโพลิส (propolis nanoparticles) ที่ผสมในวัสดุเรซิน พบว่าค่าการยึดติดเฉือนของกลุ่มที่มีโพรโพลิสผสมอยู่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน สอดคล้องกับแนวโน้มของผลการศึกษานี้ที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงของแรงยึดติดเมื่อมีการสัมผัสกับสารโพรโพลิสอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้ในลักษณะพ่นบนผิวฟันเป็นประจำทุกวัน

นอกจากนี้ Arslan และ Balkaya ยังรายงานว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับโพรโพลิสมีค่าแรงยึดติดเฉือน สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับวัสดุที่มีโพรโพลิสผสมในเรซินคอมโพสิตอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่แสดงว่า การพ่นสเปรย์ด้วยโพลโพลิสในช่องปาก ส่งผลให้เกิดการลดลงของแรงยึดติดเช่นเดียวกัน สันนิษฐานว่า กลไกการรบกวนอาจเกิดจากส่วนประกอบในโพรโพลิสที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือมีสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวฟัน หรือรบกวนกระบวนการยึดติดของกาวและเรซิน

อย่างไรก็ดี ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือการทดลองดำเนินการในสภาวะห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจแตกต่างจากสภาวะในช่องปากจริง ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้นจากน้ำลาย การไหลเวียนของของเหลวในช่องปาก และการรับแรงทางกลในระยะยาว อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของสเปรย์โพรโพลิสและการยึดติดในสถานการณ์จริง นอกจากนี้ ความเข้มข้นและวิธีการใช้สเปรย์ EPP-AF ก็อาจมีผลต่อผลลัพธ์ ในการศึกษานี้ได้ใช้ความเข้มข้นและวิธีใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิตเท่านั้น ดังนั้น อาจต้องมีการศึกษาต่อเนื่องเพื่อสำรวจผลของปัจจัยเหล่านี้ รวมถึงประสิทธิผลของสเปรย์โพรโพลิสในสภาวะการใช้งานทางคลินิกจริง เพื่อยืนยันความปลอดภัยและประโยชน์ของการใช้โพรโพลิสในการบูรณะฟัน

5. สรุป

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้สเปรย์พ่นปากโพลโพลิส มีผลทำให้แรงยึดติดเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการบูรณะฟันในทางคลินิก ผลลัพธ์ที่พบชี้ให้เห็นว่า การพ่นสเปรย์โพลโพลิส บนผิวฟันก่อนหรือหลังการบูรณะ อาจรบกวนกระบวนการยึดติดระหว่างวัสดุเรซินกับผิวฟัน โดยเฉพาะที่บริเวณชั้นของกาวยึดติด (Adhesive layer)

ดังนั้น จึงควรใช้ความระมัดระวังในการใช้

ผลิตภัณฑ์ที่มีโพรโพลิสร่วมกับการรักษาทางทันตกรรมแบบติดแน่น หรือพิจารณาระยะเวลาในการใช้ผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับช่วงก่อนและหลังการบูรณะ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการลดลงของแรงยึดติดที่อาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของวัสดุบูรณะในช่องปาก

6. เอกสารอ้างอิง

1) Pradeep, A. R., Sathyabama, D., & Murthy, K. G. (2020). Oral manifestations in COVID-19: A literature review. J. Indian Soc. Pedod. Dent. Public Health, 39(3), 239-244.
2) Figueiredo, L. F., et al. (2020). Oral complications and considerations during the COVID-19 pandemic. Int. J. Environ. Res. Public Health, 17(12), 4555.
3) Bankova, V., et al. (2000). Antibacterial and antifungal properties of propolis. Honeybee Sci., 2(3), 155-160.
4) Sforciniti, C., et al. (2013). Propolis and its beneficial effects in dentistry. Nat. Prod. Commun., 8(8), 1007-1013.
5) Orlandi, M., et al. (2013). Propolis in dentistry: a review. Int. J. Dent. Hyg., 11(4), 269-278.
6) Paes Leme, A. F., et al. (2020). Oral health considerations for individuals with COVID-19. Oral Dis., 26(7), 1119-1125.
7) Burucoa, C., et al. (2013). In vitro antibacterial activity of Chilean propolis extracts against oral pathogens. Int. J. Oral Sci., 5(4), 207-212.

การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 เคลือบผิวแบบแคโทดิกอาร์ค โดยการทดสอบการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ไป-กลับ และแนวรัศมี

Studying Wear Behavior of Stainless Steel 316 Coated Cathodic Arc Method with the Testing of Linear Back-And-Forth and Radial Path

ภูมิภัทร วงษ์ปิติรัตน์ [1], ปริญญา ศรีสัตยกุล [2] และปิยะพงษ์ ค้ำคูณ [3*]
[1, 2, 3*] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Pumpat Wongpitirut [1] Parinya Srisattayakul [2] and Piyapong Kumkoon [3*]
[1, 2, 3*] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: piyapong.k@mail.rmutk.ac.th.

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธีแคโทดิกอาร์ค โดยการทดสอบการสึกหรอเป็นแบบเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงไป-กลับ และในแนวรัศมี ชิ้นงานทดสอบประกอบด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ไม่เคลือบสาร และเคลือบด้วยสารต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ และไทเทเนียมไนไตรด์ ผลลัพธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย ค่าความหยาบผิว และลักษณะพื้นของรอยสึกหรอ ผลการทดลองพบว่า การเคลื่อนที่แนวรัศมีทำให้เกิดการสึกหรอมากกว่าการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงไป-กลับ ค่าน้ำหนักที่สูญเสียและค่าความหยาบผิวสูงเนื่องจากทิศทางของแรงกระทำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่เคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์มีความสามารถในการลดอัตราการสึกหรอได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ และไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ ตามลำดับ ทั้งนี้ลักษณะการสึกหรอบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบในแนวเส้นตรงไป-กลับ มีรอยสึกหรอกระจายตัวในแนวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ ในขณะที่การทดสอบในแนวรัศมีปรากฏลักษณะรอยสึกหรอเป็นร่องลึก

คำหลัก เหล็กกล้าไร้สนิม 316, การสึกหรอ, ความหยาบผิว, แคโทดิกอาร์ค

Abstract

This research aimed to study the wear behavior of coated layer on the 316 stainless with cathodic arc method. Wear tests are performed in both linear back-and-forth and radial path. The specimens for testing consisted of uncoated 316 stainless steel and three different coating layer of titanium aluminum nitride, titanium carbonitride, and titanium nitride. Analysis of results using weight reduction, surface roughness and wear characteristics. The experimental results found that radial path moving caused more wear behavior than linear back-and-forth path direction. The weight loss and surface roughness were high because the direction of the force was fluctuates and changes all the time.

In addition, stainless steel coated with titanium presented the highest decrease in the wear second was titanium aluminum nitride and the last once was titanium carbonitride, respectively. Wear characteristics on the surface of specimens for a back-and-forth path shown that the delamination of coated layer was distributed parallel to the direction of movement while radial path testing shown the appearance of wear marks as a deep groove.

Keywords: Stainless Steel 316, Wear, Surface Roughness, Cathodic Arc

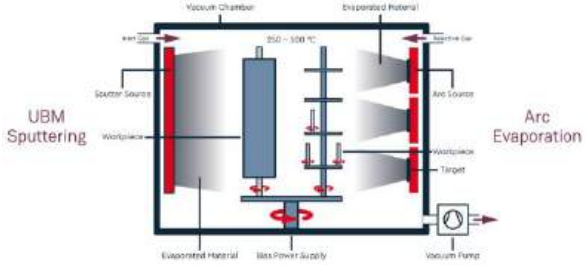
1. บทนำ

การสึกหรอของวัสดุเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรมทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือโครงสร้างที่ต้องรับแรงเสียดทานจากการใช้งานอย่างต่อเนื่อง แนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ เช่น การเพิ่มความแข็ง หรือการเคลือบสารป้องกันการสึกหรอ ยกตัวอย่างงานวิจัย เช่น ปริญญา และคณะ[1] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอเหล็กสแตนเลส 316 สำหรับการสร้างสมการพยากรณ์เกี่ยวกับอายุการใช้งาน ศุภกัญญา[2] ได้ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เจษฎา และภาสพิรุฬห์[3] ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วเลื่อนไถล และความดันสัมผัสที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางไตรบอโลยีของผิวสัมคู่ผัสวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ชุบแข็ง กับวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 430 HL ภายใต้สภาวะไม่ใช้สารหล่อลื่น ดังนั้นการเคลือบสารจึงเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดแรงเสียดทาน ป้องกันการสูญเสียเนื้อวัสดุ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของชิ้นส่วนได้อย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการสึกหรอโดยการเคลือบผิวด้วยวิธีการต่าง ๆ ยังมีน้อยมาก ผู้วิจัย และคณะจึงมีแนวความคิดที่จะนำกระบวนการแคโทดิกอาร์คซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวชิ้นงาน มาทำการวิจัย และมุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนและแรงเสียดทานสูง การศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการสึกหรอของสารเคลือบแต่ละประเภท และสามารถนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ให้มีความทนทานและคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

การเคลือบผิววัสดุด้วยกระบวนการแคโทดิกอาร์ค

กระบวนการเคลือบผิววัสดุด้วยแคโทดิกอาร์ค (Cathodic Arc Deposition, CAD)[4] เป็นเทคโนโลยีการเคลือบที่ใช้พลังงานสูงเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ทนทานของวัสดุ โดยเฉพาะในด้านการป้องกันการสึกหรอ การกัดกร่อน และการเสื่อมสภาพของพื้นผิววัสดุ กระบวนการนี้ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านแคโทด (วัสดุเป้าหมาย) เพื่อสร้างอาร์คที่มีพลังงานสูง ซึ่งทำให้อนุภาคโลหะถูกทำให้ร้อนและละลาย จากนั้นจะไปเคลือบพื้นผิววัสดุที่ต้องการเคลือบ กระบวนการเริ่มต้นด้วยการที่แคโทดซึ่งเป็นวัสดุเป้าหมายจะถูกทำให้เกิดการปล่อยอาร์คพลาสมา ซึ่งสร้างอนุภาคโลหะที่มีพลังงานสูงและเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิววัสดุที่ต้องการเคลือบ เมื่ออนุภาคเหล่านี้สัมผัสกับพื้นผิว พวกมันจะเย็นลงและรวมตัวกันเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่มีคุณสมบัติเฉพาะ โดยส่วนใหญ่ชั้นฟิล์มที่ได้จะมีความแข็งแรงสูง ทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อน รวมถึงมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง กระบวนการเคลือบผิวจะแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการแคโทดิกอาร์ค[5]

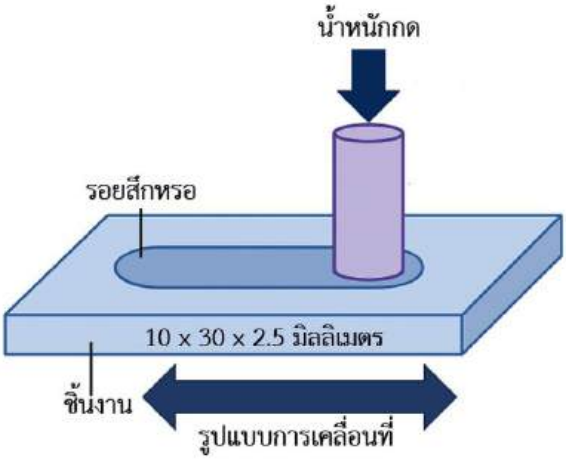
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในขั้นตอนของวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองรูปแบบ ได้แก่ การทดลองในแนวเส้นตรงไป-กลับ และการทดลองในแนวรัศมี โดยการทดลองสองรูปแบบนี้ ประกอบด้วยชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ไม่เคลือบสาร และเคลือบด้วยสารต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ และไทเทเนียมไนไตรด์ และใช้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเหมือนกันทุกประการ ได้แก่ ความเร็วรอบ ระยะทาง น้ำหนักกด และสภาวะที่ใช้ในการทดลองแบบไม่มีสารหล่อลื่น โดยในแต่ละการทดลองจะมีการชั่งน้ำหนักก่อนการทดลอง และชั่งน้ำหนักหลังการทดลองเพื่อนำมาคำนวณค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงาน ในส่วนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองจะแสดงในตารางที่ 1

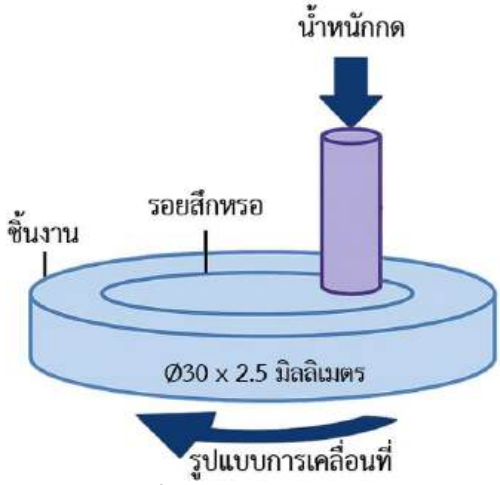
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	ระดับของพารามิเตอร์
ความเร็วรอบ (เมตร/วินาที)	0.2
ระยะทางทดลอง (เมตร)	20, 40, 60, 80, 100
น้ำหนักกด (นิวตัน)	1, 3
สภาวะการทดลอง	ไม่มีสารหล่อลื่น

หลังจากกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้แล้ว จะทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงาน โดยจะแบ่งช่วงการชั่งน้ำหนักตามระยะทางหลังจากการทดลอง ยกตัวอย่างเช่น ทำการชั่งน้ำหนักหลังการทดลองที่ระยะทาง 20 เมตร จากนั้นนำมาลบด้วยน้ำหนักก่อนการทดลอง จะได้ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย สำหรับชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองนั้นจะแบ่งตามรูปร่างชิ้นงานตามประเภทของการทดลอง ซึ่งชิ้นงานทดลองที่ใช้ในการทดลองในแนวเส้นตรงไป-กลับจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10 x 30 มิลลิเมตร หนา 2.5 มิลลิเมตร และชิ้นงานทดลองในแนวเส้นตรงไปกลับจะมีลักณะเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 2.5 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานที่ใช้การทดลองจะประกอบด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ไม่เคลือบสาร และเคลือบด้วยสารต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ และไทเทเนียมไนไตรด์ หลังจากการทดลองทั้งสองรูปแล้วแล้วเสร็จ จะนำไปส่องดูบริเวณพื้นผิวการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอล ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิว ภายใต้กำลังขยาย 20 เท่า เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้น หลังจากเก็บภาพพื้นผิวการสึกของชิ้นงานจะทำการเก็บค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นงานการทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลในลำดับต่อไป ซึ่งรูปแบบการทดลองทั้งแนวเส้นตรงไป-กลับ และแนวรัศมีจะแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 การทดลองในแนวเส้นตรงไป-กลับ



รูปที่ 3 การทดลองในแนวรัศมี

3. ผลการวิจัย

ในการดำเนินการทดลองแต่ละครั้ง มีการวางแผนเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อประเมินผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยควบคุมต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าน้ำหนักของชิ้นงานก่อนและหลังการทดลอง เพื่อใช้คำนวณค่าน้ำหนักที่สูญเสียระหว่างกระบวนการ รวมถึงค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เป็นตัวชี้วัดคุณภาพพื้นผิวหลังการทดลอง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพและผลกระทบของกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะดำเนินการผ่านซอฟต์แวร์ทางสถิติที่มีความสามารถสูงอย่าง Minitab ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าผลการทดลอง จากนั้นจะใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ภายในโปรแกรมดังกล่าว เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลต่อค่าการตอบสนองให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ซึ่งช่วยให้สามารถปรับปรุงกระบวนการให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์

นอกจากการวิเคราะห์เชิงสถิติ ยังมีการศึกษาลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงานทดลอง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอล ภายใต้กำลังขยาย 20 เท่า ภาพที่ได้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้อย่างละเอียด โดยในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย และค่าเฉลี่ยความหยาบผิว ในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับ ที่น้ำหนักถ่วง 1 และ 3 นิวตัน และในส่วนของตารางที่ 4 และตารางที่ 5 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย และค่าเฉลี่ยความหยาบผิว ในการทดลองแนวรัศมี ที่น้ำหนักถ่วง 1 และ 3 นิวตัน

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 และค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับ

ชนิดสารเคลือบ	ระยะทางทดลอง (เมตร)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
ไม่เคลือบสาร	20	9.5840	9.5838	0.0002	0.2042
	40	9.5838	9.5839	-0.0001	0.2278
	60	9.5839	9.5838	0.0001	0.2484
	80	9.5838	9.5838	0.0000	0.2580
	100	9.5838	9.5838	0.0000	0.2578
ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์	20	9.5765	9.5766	-0.0001	0.1002
	40	9.5766	9.5766	0.0000	0.2200
	60	9.5766	9.5767	-0.0001	0.1474
	80	9.5767	9.5766	0.0001	0.2270
	100	9.5766	9.5766	0.0000	0.2326
ไทเทเนียมคาร์ไบไนไตรด์	20	9.5107	9.5108	-0.0001	0.1926
	40	9.5108	9.5110	-0.0002	0.4242
	60	9.5110	9.5110	0.0000	0.1894
	80	9.5110	9.5111	-0.0001	0.1624
	100	9.5111	9.5109	0.0002	0.1906
ไทเทเนียมไนไตรด์	20	9.5586	9.5591	-0.0005	0.2988
	40	9.5591	9.5593	-0.0002	0.2052
	60	9.5593	9.5591	0.0002	0.1338
	80	9.5591	9.5587	0.0004	0.1486
	100	9.5587	9.5591	-0.0004	0.2366

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่น้ำหนักถ่วง 3 นิวตัน ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 และค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับ

ชนิดสารเคลือบ	ระยะทางทดลอง (เมตร)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
ไม่เคลือบสาร	20	9.5328	9.5327	0.0001	0.4274
	40	9.5327	9.5327	0.0000	0.9972
	60	9.5327	9.5326	0.0001	0.9716
	80	9.5326	9.5323	0.0003	1.0878
	100	9.5323	9.5317	0.0005	1.1652
ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์	20	9.5623	9.5623	-0.0001	0.1542
	40	9.5623	9.5624	0.0000	0.2648
	60	9.5624	9.5624	0.0000	0.2906
	80	9.5624	9.5623	0.0001	0.4054
	100	9.5623	9.5624	-0.0001	0.3528
ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์	20	9.5247	9.5247	0.0001	0.1270
	40	9.5247	9.5247	0.0000	0.1740
	60	9.5247	9.5248	-0.0001	0.3322
	80	9.5248	9.5249	0.0000	0.1478
	100	9.5249	9.5251	-0.0002	0.0808
ไทเทเนียมไนไตรด์	20	9.5057	9.5059	-0.0002	0.1890
	40	9.5059	9.5059	0.0001	0.2010
	60	9.5059	9.5060	-0.0001	0.2396
	80	9.5060	9.5059	0.0001	0.1770
	100	9.5059	9.5059	0.0000	0.1198

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 และค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในการทดลองแนวรัศมี

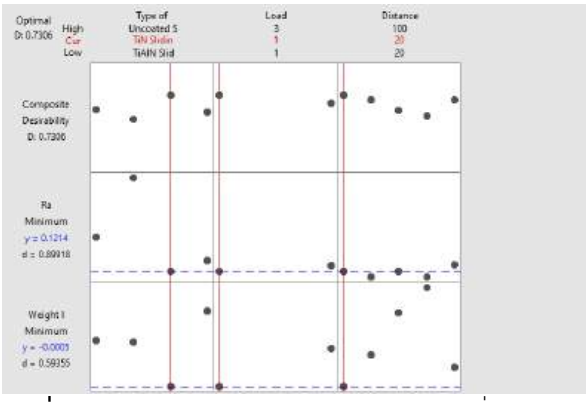
ชนิดสารเคลือบ	ระยะทางทดลอง (เมตร)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
ไม่เคลือบสาร	20	9.5840	9.5838	0.0002	0.2042
	40	9.5838	9.5839	-0.0001	0.2278
	60	9.5839	9.5838	0.0001	0.2484
	80	9.5838	9.5838	0.0000	0.2580
	100	9.5838	9.5838	0.0000	0.2578
ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์	20	9.5765	9.5766	-0.0001	0.1002
	40	9.5766	9.5767	0.0000	0.2200
	60	9.5767	9.5766	-0.0001	0.1474
	80	9.5766	9.5766	0.0001	0.2270
	100	9.5766	9.5766	0.0000	0.2326
ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์	20	9.5107	9.5108	-0.0001	0.1926
	40	9.5108	9.5110	-0.0002	0.4242
	60	9.5110	9.5110	0.0000	0.1894
	80	9.5110	9.5111	-0.0001	0.1624
	100	9.5111	9.5109	0.0002	0.1906
ไทเทเนียมไนไตรด์	20	9.5585	9.5591	-0.0006	0.2988
	40	9.5591	9.5593	-0.0002	0.2052
	60	9.5593	9.5591	0.0002	0.1338
	80	9.5591	9.5587	0.0004	0.1486
	100	9.5587	9.5591	-0.0004	0.2366

ตารางที่ 5 ข้อมูลที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 และค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในการทดลองแนวรัศมี

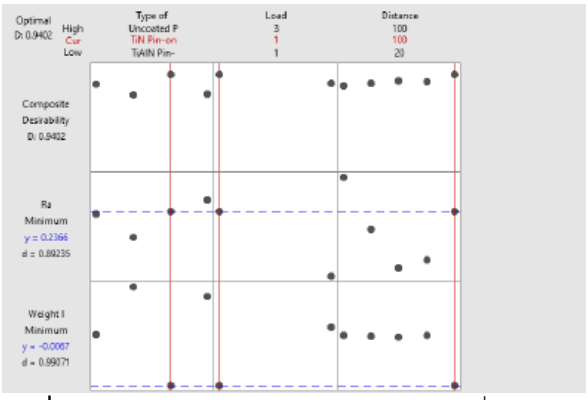
ชนิดสารเคลือบ	ระยะทางทดลอง (เมตร)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังทดลอง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
ไม่เคลือบสาร	20	9.5623	9.5623	0.0000	0.4274
	40	9.5623	9.5624	-0.0001	0.9972
	60	9.5624	9.5624	0.0000	0.9716
	80	9.5624	9.5623	0.0001	1.0878
	100	9.5623	9.5624	-0.0001	1.1652
ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์	20	9.5623	9.5623	0.0000	0.1542
	40	9.5623	9.5624	-0.0001	0.2648
	60	9.5624	9.5624	0.0000	0.2906
	80	9.5624	9.5623	0.0001	0.4054
	100	9.5623	9.5624	-0.0001	0.3528
ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์	20	9.5247	9.5247	0.0000	0.1270
	40	9.5247	9.5247	0.0000	0.1740
	60	9.5247	9.5248	-0.0001	0.3322
	80	9.5248	9.5249	-0.0001	0.1478
	100	9.5249	9.5251	-0.0002	0.0808
ไทเทเนียมไนไตรด์	20	9.5057	9.5059	-0.0002	0.1890
	40	9.5059	9.5059	0.0000	0.2010
	60	9.5059	9.5060	-0.0001	0.2396
	80	9.5060	9.5059	0.0001	0.1770
	100	9.5059	9.5059	0.0000	0.1198

3.1 ผลการทดลองเชิงสถิติ

ในการดำเนินการทดลองครั้งนี้ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงสถิติ ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของวัสดุ เพื่อหาค่าผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ตอบสนองที่สำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดลอง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดถึงความทนทานและคุณภาพผิวของวัสดุ ดังที่แสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงาน และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับ



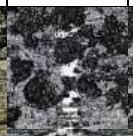
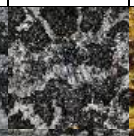
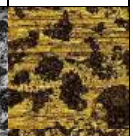
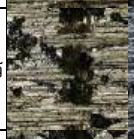
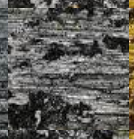
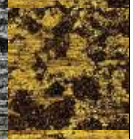
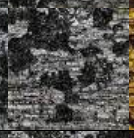
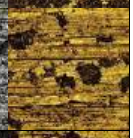
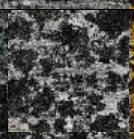
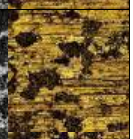
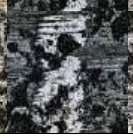
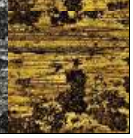
รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงาน และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในการทดลองแนวรัศมี

3.2 ลักษณะการสึกหรอบนพื้นผิวชิ้นงานทดลอง

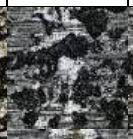
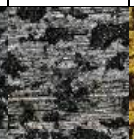
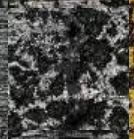
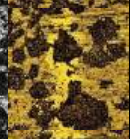
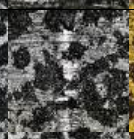
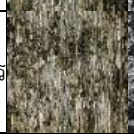
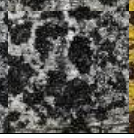
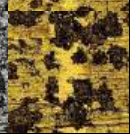
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ โดยใช้เทคนิคที่มีความแม่นยำสูงในการถ่ายภาพและวิเคราะห์พื้นผิววัสดุ โดยสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับพื้นผิววัสดุในแต่ละประเภท ในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับจะมีลักษณะการสึกหรอที่มีการกระจายตัวขนานตามแนวเส้น ดังที่แสดงใน

ตารางที่ 6 และตารางที่ 7 และในส่วนของการทดลองในแนวรัศมีจะมีลักษณะการสึกหรอเป็นร่องลึก ดังที่แสดงในตารางที่ 8 และตารางที่ 9

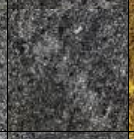
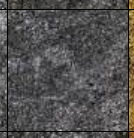
ตารางที่ 6 พื้นผิวการสึกหรอ หลังการทดลองของชิ้นงานที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ในแนวเส้นตรงไป-กลับ

ระยะทาง	Uncoated	TiAlN	TiCN	TiN
20 เมตร				
40 เมตร				
60 เมตร				
80 เมตร				
100 เมตร				

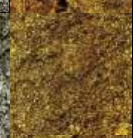
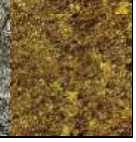
ตารางที่ 7 พื้นผิวการสึกหรอ หลังการทดลองของชิ้นงานที่น้ำหนักถ่วง 3 นิวตัน ในแนวเส้นตรงไป-กลับ

ระยะทาง	Uncoated	TiAlN	TiCN	TiN
20 เมตร				
40 เมตร				
60 เมตร				
80 เมตร				
100 เมตร				

ตารางที่ 8 พื้นผิวการสึกหรอ หลังการทดลองของชิ้นงานที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ในแนวรัศมี

ระยะทาง	Uncoated	TiAlN	TiCN	TiN
20 เมตร				
40 เมตร				
60 เมตร				
80 เมตร				
100 เมตร				

ตารางที่ 9 พื้นผิวการสึกหรอ หลังการทดลองของชิ้นงานที่น้ำหนักถ่วง 3 นิวตัน ในแนวรัศมี

ระยะทาง	Uncoated	TiAlN	TiCN	TiN
20 เมตร				
40 เมตร				
60 เมตร				
80 เมตร				
100 เมตร				

4. วิเคราะห์ และอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ และอภิปลายผลเชิงสถิติ

กราฟผลกระทบตอบสนองระหว่างปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ข้อมูลหาค่าผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าน้ำหนักที่สูญเสีย และค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน จากการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานที่เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อผ่านกระบวนการสึกหรอ ที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ในระยะทางที่ 20 เมตร เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสม ความพึงพอใจเชิงสถิติ (Desirability) อยู่ที่ 73.06 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักที่สูญเสียลดลงน้อยที่สุด เท่ากับ -0.0005 กรัม และจะทำให้ได้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด เท่ากับ 0.1214 ไมโครเมตร ในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับ กราฟผลกระทบตอบสนองระหว่างปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ข้อมูลหาค่าผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าน้ำหนักที่สูญเสีย และค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน จากการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานที่เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อผ่านกระบวนการสึกหรอ ที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน ในระยะทางที่ 100 เมตร เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสม ความพึงพอใจเชิงสถิติ (Desirability) อยู่ที่ 94.02 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักที่สูญเสียลดลงน้อยที่สุด เท่ากับ -0.0067 กรัม และจะทำให้ได้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด เท่ากับ 0.2366 ไมโครเมตร ในการทดลองแนวรัศมี

4.2 การวิเคราะห์ และอภิปลายลักษณะพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ

ในการทดลองแนวเส้นตรงไป-กลับที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน และ 3 นิวตัน พบว่าพื้นผิวที่ไม่เคลือบสาร มีการสึกหรอสูงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในระยะทาง 40 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของแรงเสียดทานและการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้ วัสดุที่ไม่เคลือบสารมีการเสียหายอย่างรวดเร็วเนื่องจากการสัมผัสกับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ ทำให้พื้นผิวเกิดการสึกหรออย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ผ่านการเคลือบสาร ซึ่งมีการทนทานต่อการเสียดทานที่ดีกว่า ในขณะเดียวกัน พื้นผิวที่เคลือบสาร ไทเทเนียมไนไตรด์, ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ และไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ มีแนวโน้มที่จะลดการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุที่ไม่เคลือบสาร โดยเฉพาะในช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งการเคลือบสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเสียดทานและลดการเกิดการสึกหรอจากการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามยังคงพบความแตกต่างในระดับประสิทธิภาพของการเคลือบสารแต่ละชนิด ซึ่งลักษณะรูปแบบของการสึกหรอในแนวเส้นตรงไป-กลับที่พบนั้น มีลักษณะการสึกหรอแบบการกระจายตัวตามแนวเส้นขนาน

ในการทดลองแนวรัศมีที่น้ำหนักถ่วง 1 นิวตัน และ 3 นิวตัน พบว่าพื้นผิวที่ไม่เคลือบสาร มีการสึกหรอสูงอย่างชัดเจน โดยเริ่มแสดงการสึกหรออย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ระยะทาง 60 เมตร ซึ่งบ่งชี้ถึงผลกระทบที่เกิดจากแรงเสียดทานและการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองวัสดุที่ไม่เคลือบสารมีการสึกหรออย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบทำให้พื้นผิวของวัสดุเกิดความเสียหายได้เร็วในระยะเวลาอันสั้น ในขณะที่พื้นผิวที่เคลือบสาร ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ มีการสึกหรอสูงเช่นกัน แต่มักเริ่มเห็นการสึกหรอที่ชัดเจนตั้งแต่ระยะทาง 80 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากแรงเสียดทานที่ยังคงเกิดขึ้น แม้ว่าจะมีการเคลือบสารเพื่อเพิ่มความทนทานของพื้นผิว อย่างไรก็ตาม พื้นผิวที่เคลือบสาร เช่น ไทเทเนียมไนไตรด์ และ ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ มีแนวโน้มในการลดการสึกหรอได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่เคลือบสาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเสียดทานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ยังมีความแตกต่างกันในระดับประสิทธิภาพระหว่างชนิดของการเคลือบสารแต่ละประเภท ซึ่งลักษณะรูปแบบของการสึกหรอในแนวรัศมีที่พบนั้น มีลักษณะการสึกหรอแบบร่องลึก

สาเหตุที่ต้องกำหนดระดับปัจจัยของการทดลองที่น้ำหนัก 1 และ 3 นิวตัน และระยะทางการทดลองที่ 20, 40, 60, 80, 100 เมตรนั้น หากใช้ระดับปัจจัยของน้ำหนักถ่วงหรือ ระยะทางการทดลองที่สูงขึ้นกว่านี้ จะไม่สามารถสังเกตลักษณะของการสึกหรอได้ เนื่องจากรอยสึกหรอที่เกิดขึ้นที่ระยะทางทดลองตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป หรือน้ำหนักถ่วงมากกว่า 3 นิวตัน จะไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าพื้นผิวเริ่มมีการสึกหรอชัดเจนตั้งแต่ระยะทางที่เท่าใด ดังนั้นจึงได้กำหนดระดับปัจจัยของการทดลองนี้ขึ้นมา

5. สรุป

จากผลการทดลองพบว่าสามารถทำการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของชิ้นงานทดลองในแนวเส้นตรงไป-กลับ และแนวรัศมี ที่ผ่านการเคลือบสารด้วยวิธีแคโทดิกอาร์ค จากการวิเคราะห์เชิงสถิติซึ่งมีผลตอบสนองที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความหยาบผิว และการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวการสึกหรอ

5.1 ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย วัสดุที่ ไม่เคลือบสาร สูญเสียน้ำหนักมากกว่าชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อระยะทางหรือแรงถ่วงเพิ่มขึ้นวัสดุที่เคลือบด้วย ไทเทเนียมไนไตรด์ มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดการสูญเสียน้ำหนัก รองลงมาคือ ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ และ ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ การเคลื่อนที่ในแนวรัศมีทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าแนวเส้นตรง เนื่องจากแรงเสียดทานและทิศทางของแรง

5.2 ค่าความหยาบผิว วัสดุ ไม่เคลือบสาร มีค่าความหยาบผิวสูงสุด โดยเฉพาะในระยะทางหรือน้ำหนักถ่วงที่เพิ่มขึ้น วัสดุที่เคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด แสดงถึงความสามารถในการลดแรงเสียดทานและป้องกันความเสียหายผิว แนวรัศมีให้ค่าความหยาบผิวโดยเฉลี่ยสูงกว่าแนวเส้นตรง เนื่องจากแรงกระทำที่ไม่คงที่

5.3 ลักษณะพื้นผิวการสึกหรอ แนวเส้นตรงไป-กลับ พบการสึกหรอแบบมีการกระจายตัวไปในแนวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ ในวัสดุไม่เคลือบสาร แต่สึกหรอน้อยลงเมื่อใช้สารเคลือบ ส่วนแนวรัศมี พบการสึกหรอแบบร่องลึก และเกิดรอยแตก หลุดล่อนในวัสดุไม่เคลือบ โดยรวมแนวรัศมีทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นผิวมากกว่าการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญญา ศรีสัตยกุล ภาณุเดช แสงสีดำ สุธรรม ศิวาวุธ และศิริพร ตั้งวิบูลย์พาณิชย์, “การเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอเหล็กสแตนเลส 316 สำหรับการสร้างสมการพยากรณ์เกี่ยวกับอายุการใช้งาน”, วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ปีที่ 1 (ฉบับที่ 2), (2021), หน้า 1-9

[2] ศุภกัญญา ขันชัยภูมิ, “พฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์”, วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ ปีที่ 12 (ฉบับที่ 1), (2018), หน้า 71-80

[3] เจษฎา จันทร์ผา และภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง, “อิทธิพลของความเร็วเลื่อนไถลและความดันสัมผัสที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางไตรบอโลยีของผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 430 HL”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 15 (ฉบับที่ 3), (2020), หน้า 32-43

[4] กระบวนการแคโทดิกอาร์ค, ข้อมูลจาก https://www.ionbond.com/technology/pvd/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 23 ธันวาคม 2566)

[5] กระบวนการแคโทดิกอาร์ค (Cathodic Arc Process), ข้อมูลจาก https://www.ionbond.com/ technology /pvd/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 23 ธันวาคม 2566).

ผลกระทบธาตุโครเมี่ยม แมงกานีส และสตรอนเชียมและเวลาการกระแทกต่อเฟสซิลิคอนและสารประกอบเชิงโลหะในโลหะผสม Al-7Si-1Fe โดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

Effect of chromium manganese and strontium modifier element and bump time on silicon phase and intermetallic compound in modified Al-7Si-1Fe cast alloy by using low frequency induction furnace

พิสิทธิ์ เมืองน้อย[1*] ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ[1] วิชัย พุ่มจันทร์[1] เฉลิมพล คล้ายนิล[1] พงศกร หลีตระกูล และจิณกมล ลุยจันทร์[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Phisith Muangnoy[1] Natthasak Pornputsiri[1] Wichai Pumchan[1] Chalermpol Klaynil[1] Pongsakorn leetrakul[1] and Jinkamon Luijan[1]
Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: phisith.mua@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของธาตุผสมและเวลาในการกระแทกน้ำโลหะต่อรูปร่างของเฟสยูเทคติกซิลิคอนและสารประกอบเชิงโลหะในโลหะผสมอะลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก องค์ประกอบของโลหะผสมที่ปรับปรุงโดยการเติมธาตุรองโครเมี่ยม 0.15%, แมงกานีส 0.45% และสตรอนเชียม 0.04% การทดลองโดยใช้เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ เวลาในการกระแทกน้ำโลหะ 0, 4 และ 8 นาที ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของโลหะผสมอะลูมิเนียม-โครเมี่ยม พบว่าประกอบด้วยสารประกอบ Al_7Cr โลหะผสมอะลูมิเนียม-แมงกานีสประกอบด้วยสารประกอบ Al_6Mn และโลหะผสมอะลูมิเนียม-สตรอนเชียมประกอบด้วย Al_4Sr ภาพโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก ประกอบด้วยเฟส β และเฟสซิลิคอนที่มีรูปทรงไม่แน่นอน การทดลองปรับสภาพโดยการเติมธาตุผสมโครเมี่ยม แมงกานีสและสตอนเชียม ไม่ใช้การกระแทก โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสตะกอนและเฟส α $Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ ตลอดพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบด้านบนและด้านล่าง ในขณะที่เฟสยูเทคติกซิลิคอนถูกปรับสภาพเป็นรูปทรงโครงข่ายบางส่วน ใช้เวลาการกระแทกน้ำโลหะ 4 และ 8 นาที บริเวณด้านบนชิ้นงานหล่อ พบว่าเกิดการก่อตัวของเฟส α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน ในขณะที่ด้านล่างเกิดการก่อตัวของเฟสตะกอน มีส่วนผสมของธาตุอะลูมิเนียม, ซิลิคอน, เหล็ก, โครเมี่ยม, แมงกานีส และสตรอนเชียม การมีอยู่ของธาตุสตรอนเชียมในเฟสตะกอนส่งผลให้การปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอนมีประสิทธิภาพลดลง การรวมกันของอัตราการเย็นตัวที่เพิ่มขึ้น และการเติมโครเมี่ยม, แมงกานีส และสตรอนเชียม ส่งผลต่อรูปร่างและขนาดของเฟสตะกอนและเฟส $Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ และเฟสยูเทคติกขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่เวลาการกระแทก 4 และ 8 นาที การเปลี่ยนรูปร่างของเฟส β และยูเทคติกซิลิคอนส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลที่ดีทั้งค่าความแข็งแรงที่จุดคราก, ความแข็งแรงสูงสุด และอัตราการยืดตัว

คำหลัก ฟังก์ชั่นการกระแทก เฟสซิลิคอน สารประกอบเชิงโลหะ เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

Abstract

This study investigates the effect of alloying elements and bump time on the silicon and intermetallic morphologies in a modified Al-7Si-1Fe cast alloy. The composition was modified by adding minor alloying elements: 0.15% chromium, 0.45% manganese, and 0.04% strontium. The experiments were conducted using a low-frequency induction furnace, with bump times of 0, 4, and 8 minutes. Optical microscopy and scanning electron microscopy of the Al-4%Cr alloy microstructure revealed the aluminum-chromium alloy contained the Al_7Cr compound, the aluminum-manganese alloy contained the Al_6Mn compound, and the aluminum-strontium alloy contained the Al_4Sr compound. The base of Al-7Si-1Fe microstructure consisted of a β phase and acicular silicon. Without the bump function, the addition of Cr, Mn, and Sr resulted in the formation of a sludge phase (α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$) across the cross-sectional area of both the top and bottom of the test specimen. Meanwhile, the eutectic Si phase was partially modified into a fibrous morphology. However, with bump times of 4 and 8 minutes, differences emerged between the top and bottom regions. At the top, the α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ phase appeared in a Chinese script-like morphology, while the bottom retained the sludge phase with Al, Fe, Cr, Mn, and Sr. Notably, the presence of Sr in the sludge phase resulted in a reduction in the efficiency of eutectic Si modification. The combined effect of increased cooling rate and the addition of Cr, Mn, and Sr influenced the morphology and size of both the sludge phase and eutectic Si, resulting in a finer sludge morphology, particularly after 4 and 8 minutes of bump time. These morphological changes in β-Al_5FeSi and eutectic Si contributed to enhanced mechanical properties, including improved yield strength, ultimate strength, and elongation.

Keywords: bump function, silicon phase, intermetallic compound, low frequency induction furnace

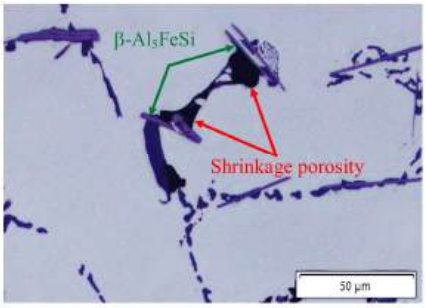
1. บทนำ

ประเทศไทยไม่มีเหมืองแร่บอกไซต์ (Bauxite) ที่ใช้สำหรับผลิตอะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary Alloy Ingot) มีเพียงการผลิตอะลูมิเนียมจากเศษโลหะเพื่อใช้ในประเทศเท่านั้น (Secondary Alloy Ingot) อะลูมิเนียมปฐมภูมิถูกนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ออสเตรเลีย บราซิล และจีน เป็นต้น ความต้องการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในทุกปี เพื่อที่จะนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักร อุปกรณ์ รวมทั้งชิ้นส่วนต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติของอะลูมิเนียม เช่น ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ผิวสวยงาม ความหนาแน่นต่ำ ใช้พลังงานสำหรับการขึ้นรูปต่ำ และความแข็งแรงสูง [1] เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมหลอมเศษอะลูมิเนียม มีการนำเศษอะลูมิเนียมที่หมุนเวียนอยู่ในตลาดกลับมาหลอมใหม่อีกครั้ง แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ เศษอะลูมิเนียมจากการอัดขึ้นรูป (Extrude) เศษอะลูมิเนียมแผ่นจากงานขึ้นรูปและอะลูมิเนียมอัลลอยต่ำ (Wrought, Low Alloy) เศษอะลูมิเนียมจากการหล่อ (Casting, High Si) และกระป๋องเครื่องดื่ม (Beverage Can) เป็นต้น

การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการหลอมเป็นอินกอตขึ้นมาใหม่ โดยเฉพาะเศษอะลูมิเนียมที่ผ่านการหลอมซ้ำหลายๆ ครั้ง มีโอกาสที่ธาตุเหล็กเข้าไปปนเปื้อนในน้ำโลหะเหลวได้ โดยเฉพาะแบบหล่อทรายชื้น (Green Sand) ที่มีอัตราการเย็นตัวต่ำ ธาตุเหล็กเกิดรวมตัวกับอะลูมิเนียม และซิลิคอน ก่อตัวเป็นสารประกอบเชิงโลหะ β-Al_5FeSi (เฟส β) มีลักษณะรูปร่างคล้ายเข็ม [2] กระจายตัวบริเวณแขนของต้นเดนไรท์ (Inter-dendritic) จากลักษณะรูปร่างของเฟส β ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงกลที่ลดต่ำลง และส่งผลต่อปริมาณ

รูพรุนที่เพิ่มมากขึ้นบริเวณเฟส β [3] ดังแสดงใน รูปที่1

การควบคุมลักษณะและรูปร่างของเฟส β นิยมใช้ธาตุโครเมียม, แมงกานีส และธาตุผสมอื่นๆ เติมลงไปในน้ำโลหะหลอมเหลว โดยที่ธาตุดังกล่าวนั้นจะส่งเสริมการฟอร์มตัวของสารประกอบ α (เฟส α, $Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$) แทนที่เฟส β โดยกำหนดค่า Sedimentation facter (SF) เท่ากับ 1.8 ตามสมการ Sedimentation, SF = Fe + 3Cr + 2Mn กรณีที่ค่า SF สูงมากกว่า 1.8 นั้น ส่งผลต่อการรวมตัวกันของธาตุอลูมิเนียม, ซิลิคอน, เหล็ก, โครเมี่ยม และ แมงกานีส มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ ตกตะกอนบริเวณด่านล่างของชิ้นงานหล่อ [4]



รูปที่ 1 รูพรุนที่เกิดขึ้นบริเวณเฟส β [3]

การปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานหล่อสามารถปรับปรุงได้หลายรูปแบบ เช่น การปรับสภาพโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน เป็นที่ทราบกันดีว่าปริมาณธาตุซิลิคอนสูงส่งผลต่อความสามารถในการหล่อที่ดี สามารถไหลตัวของน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบที่มีความสลับซับซ้อนได้สูง และยังส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นของชิ้นงานหล่อด้วย กรรมวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงลักษณะ รูปร่างและการกระจายตัวของโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนนั้น นิยมเติมธาตุโซเดียมและสตอนเทียมลงไปในน้ำโลหะหลอมเหลว และทำหน้าที่ขวางการเติบโตของซิลิคอนในขั้นตอนการแข็งตัว ทำให้มีการเติบโตหลายทิศทาง [4] มีลักษณะรูปร่างขนาดเล็กและกลมมน (Fibrous) ซึ่งส่งผลดีต่อคุณสมบัติเชิงกล และความเหนียวของชิ้นงานหล่อ [5] นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการป้อนเติมน้ำโลหะได้ดีขึ้นในกระบวนการแข็งตัวให้ดีขึ้น

วิธีสำหรับปรับปรุงน้ำโลหะหลอมเหลวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการเติมธาตุผสม และวิธีการสั่นทางกล เป็นต้น มีการศึกษากระบวนการปรับปรุงน้ำโลหะเหลว (Melt treatment) โดยการเติมสตรอนเชียม ที่ทำหน้าที่ปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน และโลหะแม่ Al-5Ti-1B ทดลองในโลหะผสม A356 [6] พบว่าสตรอนเชียมสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะและรูปร่างของเฟสซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลง ในขณะที่ธาตุไทเทเนียมและโบรอนนั้น ส่งผลต่อขนาดเกรนเฉลี่ยที่ลดต่ำลง และมีการทดลองผสมกันระหว่างผลกระทบสองชนิดคือการปรับสภาพเฟสซิลิคอนและปรับสภาพเกรนเฉลี่ย พบว่าสามารถปรับสภาพทั้งเฟสซิลิคอนและปรับสภาพเฟส α-Al ให้เล็กลง การปรับปรุงน้ำโลหะเหลวนี้ ส่งผลดีต่อค่าความแข็งและความสามารถต้านทานการกระแทกสูง

Qing และคณะได้ศึกษาผลกระทบของธาตุนิกเกิลและแมงกานีส ทดลองในโลหะผสมอะลูมเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่มีปริมาณซิลิคอนใกล้เคียงปฏิกิริยายูเทคติก (11.7Si) โดยใช้กระบวนการหล่อแรงดันสูง (High pressure die casting) ต่อโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติเชิงกล [7] ผลการทดลองพบว่าเกิดการก่อตัวของสารประกอบ $Al_6(FeNiMn)$, $Al_{17}(FeNiMn)_4Si$ และ $Al_4(FeNiMn)Si_2$ การทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิสูง พบว่าโลหะผสมที่มีปริมาณธาตุนิกเกิล 3.80% และเหล็ก 2.30% มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่อุณหภูมิทดสอบ 300 °C เท่ากับ 157 MPa เปรียบเทียบกับเกรด A383 ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 75 MPa จากชนิด, ลักษณะรูปร่างของสารประกอบ และปริมาณธาตุผสมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลที่ต่างกัน

การศึกษาผลกระทบของธาตุ เหล็ก แมงกานีส และสตรอนเชียม [8] ทดลองในโลหะผสมหล่อ Al–Si–Cu–Mg–Fe ที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคและความสามารถในการต้านทานการกระแทก พบว่าที่สัดส่วนของแมงกานีส/เหล็กระหว่างค่า 1.06-1.49 เกิดการก่อตัวของเฟส α-$Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ ขณะที่ค่าสัดส่วนที่สูงเท่ากับ 1.67 ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของเฟสตะกอนขึ้น ส่วนธาตุสตรอนเชียมปริมาณ 0.01-0.02% สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างของเฟสยูเทคติกซิลิคอนให้มีรูปร่างเป็นโครงข่าย (Fibrous) จากการทดสอบความสามารถต้านทานการกระแทกพบว่าโลหะผสมที่มีสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน

(Chinese script) มีค่าสูงกว่าโลหะผสมที่มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสตะกอน

สำหรับการออกแบบการทดลองที่มีปริมาณธาตุโครเมี่ยมเหมาะสมจะเกิดการก่อตัวของเฟส α-$Al_{15}(FeCrMn)_3Si_2$ ในโครงสร้างจุลภาค [9] และกรณีที่มีปริมาณธาตุโครเมี่ยมและแมงกานีสในปริมาณที่สูง ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของเฟสตะกอน ซึ่งขนาดและรูปร่าง และปริมาณเฟสตะกอน ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุโครเมี่ยมและแมงกานีส [10]

Hao [11] ได้ศึกษาผลกระทบของแมงกานีสและโมลิบดินั่มต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมและคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-ทองแดง-แมกนีเซียม-เหล็ก พบว่าการเพิ่มขึ้นของโมลิบดินั่มส่งผลต่อขนาดที่เล็กลงของเฟส α-$Al_{15}(FeMnMo)_3Si_2$ และส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้น

การศึกษาพฤติกรรมของการแข็งตัวโดยใช้การสั่นสะเทือนทางกล [12] ของโลหะผสม A356 ที่อุณหภูมิ 616-554 องศาเซลเซียส พบว่าการสามารถเปลี่ยนรูปร่างของเฟส α-Al จากโครงสร้างเดนไรท์ (Dendritic) กลายเป็นลักษณะที่เป็นก้อนกลม (Globular) ขนาดอยู่ในช่วง 33–36 ไมครอน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบของธาตุเหล็กหลังจากผ่านกระบวนการสั่นสะเทือน พบว่าขนาดความยาวของเฟส β ลงมีความยาวน้อยกว่า 20 ไมครอน เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเท่ากันแต่ไม่ได้ผ่านการสั่นสะเทือน

ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาการปรับสภาพเฟสซิลิคอนและเฟส β ซึ่งปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นการจากการเติมธาตุผสมลงในน้ำโลหะเหลว คือการควบคุมการกระจายตัวของธาตุผสม ให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานนั้นทำได้ยาก เกิดการกระจายตัวของเฟสซิลิคอนและสารประกอบเชิงโลหะเป็นไม่สม่ำเสมอ สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบธาตุผสมและเวลาในการกระแทกน้ำโลหะเหลวโดยการใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ โดยคาดหวังว่าการกระแทกน้ำโลหะเหลวนั้น ส่งผลดีต่อกระจายตัวที่ดีของธาตุผสมก่อนการแข็งตัว ในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก

2. กระบวนการทดลอง

2.1 การผลิตและการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-โครเมี่ยม โลหะผสมอะลูมิเนียม-แมงกานีส และโลหะผสมอะลูมิเนียม-สตรอนเทียม

เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำที่ใช้สำหรับการทดลองและหน้าจอควบคุม แสดงในรูปที่ 2 มีฟังก์ชั่นการกระแทก (ปุ่ม BUMP) ก่อนเทน้ำโลหะ กำหนดอุณหภูมิผลิตโลหะผสมที่ใช้ปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค Al-5Cr และ Al-5Mn ที่อุณหภูมิ 1800-2000 องศาเซลเซียส เวลาค้างน้ำโลหะ 30 นาที ใช้กระแสและความถี่ในฟังก์ชั่นการกระแทก 15-20 A และความถี่ 18-20 kHz ในฟังก์ชั่นการกระแทก จากฟังก์ชั่นของเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ เวลา 5 นาที ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6510ติดตั้ง อุปกรณ์ Energy dispersive X-ray analyzer (EDS)

รูปที่ 2 เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำและหน้าจอควบคุม

2.2 ขั้นตอนการปรับสภาพเฟสในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก โดยการเติมโครเมี่ยม แมงกานีส และสตรอนเทียม โดยใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกของเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1เหล็ก ปริมาณการหลอมแต่ละครั้ง 2.5 กิโลกรัม เติมโลหะผสม Al-4โครเมี่ยม ปริมาณ 3.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (93.75 กรัม) โลหะผสม Al-10% แมงกานีส ปริมาณ 4.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (112.50 กรัม) และปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอนโลหะผสม Al-10% สตรอนเชียม 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (3.75 กรัม) กำหนดอุณหภูมิหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก ที่ 800 องศาเซลเซียส ค้างน้ำโลหะหลังเติมโลหะผสม 30 นาที

และใช้กระแสและความถี่ในฟังก์ชั่นการกระแทก 15-20 A และความถี่ 18-20 kHz ในฟังก์ชั่นการกระแทก เวลา 0, 4 และ 8 นาที ตามลำดับ เทลงแม่แบบสเตนเลสผนังบาง ที่มีอัตราการเย็นตัวต่ำ และแม่แบบเหล็กกล้า โดยกำหนดความหนาแม่แบบเท่ากับ 8 มิลลิเมตร ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscopy, OM) Olympus รุ่น BX53M

ตารางที่ 1 การออกแบบปริมาณการเติมของโลหะผสมและเวลาในการใช้ฟังก์ชั้นการกระแทกน้ำโลหะเหลว (หน่วย: เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก)

Code	Cr	Mn	Sr	Time (m)	Cooling rate (ºC/s)
AA	-	-	-	-	0.2
A0	0.15	0.40	0.04	0	0.2
A4	0.15	0.40	0.04	4	0.2
A8	0.15	0.40	0.04	8	0.2
BB	-	-	-	-	-
B0	0.15	0.40	0.04	0	10
B4	0.15	0.40	0.04	4	10
B8	0.15	0.40	0.04	8	10

2.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบแรงดึง

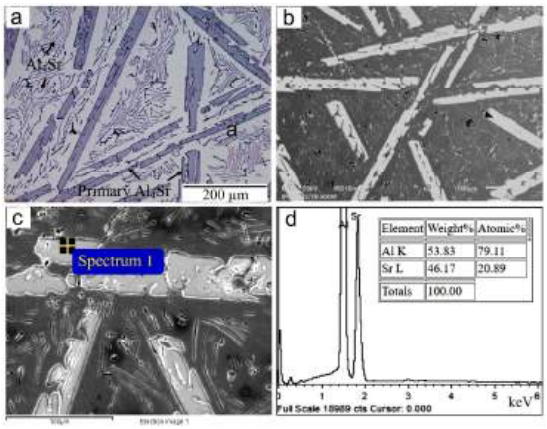
ตรวจสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบความทดสอบแรงดึง ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM B108-03a ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AGS-X 50kN กำหนดความเร็วทดสอบ 1 มิลลิเมตร ต่อ 1 นาที

3. ผลการวิจัย

3.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-สตรอนเทียม

โลหะผสมอะลูมิเนียม-10สตรอนเชียม ประกอบด้วยเฟสปฐมภูมิ Al_4Sr (สีเทา) รูปจากโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและสีขาวสว่างในโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด) เฟสยูเทคติกสตอนเชียม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเฟสที่ปฏิกิริยายูเทคติกระหว่างเฟส α-Al และเฟส Al_4Sr มีลักษณะเป็นเส้นขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่บนเนื้อพื้น (Matrix) ของเฟส α-Al แสดงใน รูปที่ 3 (a-b)

รูปจากกล้องจุลทรรศน์ SEM สเปกตรัมที่ 1 โดยใช้เทคนิค EDS แบบจุด บริเวณเฟสปฐมภูมิ Al_4Sr แสดงชนิดของธาตุอะลูมิเนียมและสตรอนเชียม แสดงใน รูปที่ 3 (c-d)



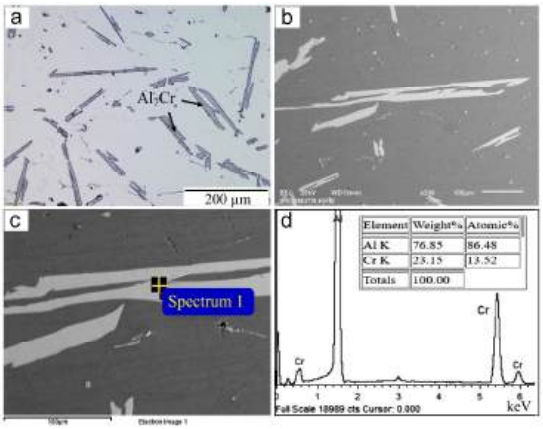
รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-10 สตรอนเทียม

3.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-โครเมี่ยม

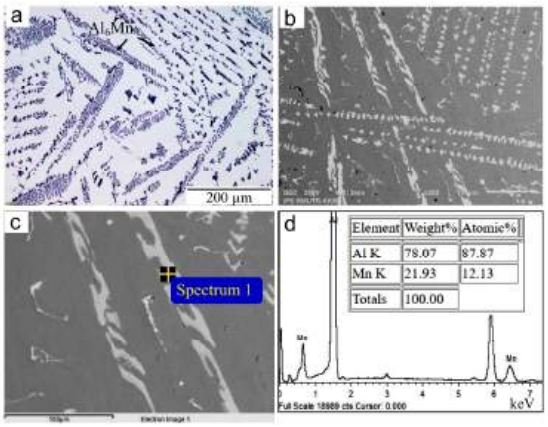
โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-10 โครเมี่ยม แสดงในรูปที่ 4 ประกอบด้วยเฟส Al_7Cr ลักษณะเป็นแท่งสั้นและยาว ความยาวอยู่ในช่วง 50-250 ไมครอน (สีเทา รูปจากโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและสีขาวสว่างในโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด) แสดงในรูปที่ 4 (a-b) รูปจากกล้องจุลทรรศน์ SEM สเปกตรัมที่ 1 โดยใช้เทคนิค EDS แบบจุด บริเวณเฟส Al_7Cr แสดงชนิดของธาตุอะลูมิเนียมและโครเมี่ยม แสดงในรูปที่ 4 (c-d)

3.3 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-แมงกานีส

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-10 แมงกานีส แสดงในรูปที่ 5 ประกอบด้วยเฟส Al_6Cr ลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (สีเทา รูปจากโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและสีขาวสว่างในโหมดกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด) แสดงในรูปที่ 5 (a-b) รูปจากกล้องจุลทรรศน์ SEM สเปกตรัมที่ 1 โดยใช้เทคนิค EDS แบบจุด บริเวณเฟส Al_6Mn แสดงชนิดของธาตุอะลูมิเนียมและแมงกานีส แสดงในรูปที่ 5 (c-d)



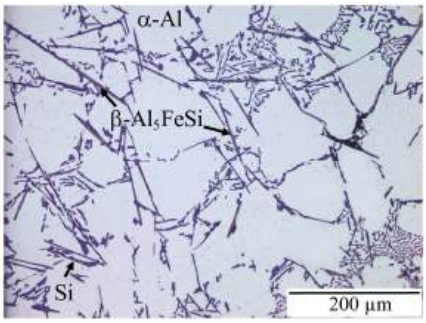
รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-10 โครเมี่ยม



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-10 แมงกานีส

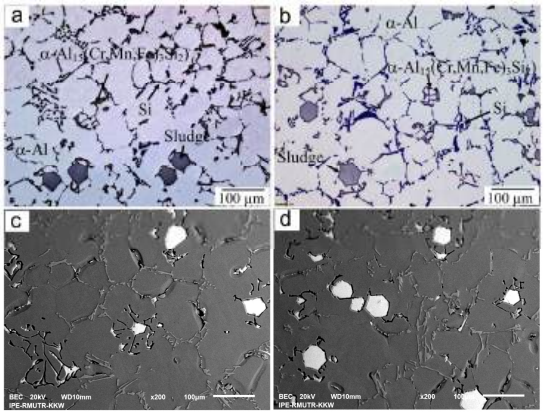
3.4 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1% เหล็กก่อนและหลังปรับสภาพ

โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 1% ก่อนปรับสภาพเฟส (AA) ผ่านการใช้ฟังก์ชั่นการกระแทก 15-20 A และความถี่ 18-20 kHz ประกอบด้วยเฟส β-Al5FeSi ลักษณะเป็นแผ่นยาว ความยาวอยู่ในช่วง 50-250 ไมครอน กระจายตัวอยู่ทั่วไปบริเวณระหว่างแขนของต้นเดนไรท์ α-Al บริเวณใกล้เคียงกับเฟสยูเทคติกซิลิคอน ที่มีลักษณะรูปทรงไม่แน่นอน แสดงในรูปที่ 6

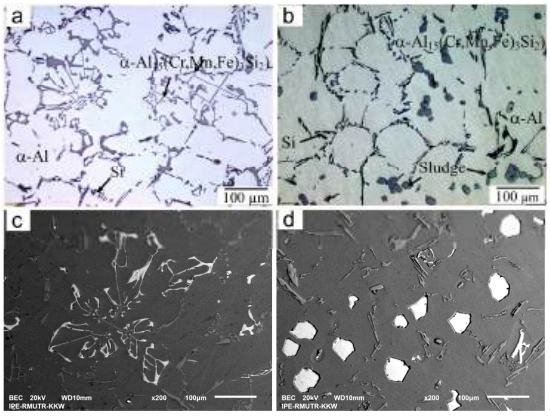


รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1% เหล็ก (A0)

โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 1% หลังปรับสภาพเฟส โดยการเติม 0.15%โครเมี่ยม ผสมกับ 0.4%แมงกานีส ไม่ผ่านการใช้ฟังก์ชั่นการกระแทก (A0) บริเวณด้านบนและด้านล่างชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วยเฟสตะกอน α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ ลักษณะเป็นก้อน ขนาดอยู่ในช่วง 50 ไมครอน กระจายตัวอยู่ทั่วไป ลักษณะรูปร่างบริเวณเฟสตะกอนมีลักษณะคล้ายกับปีกเล็กๆ พุ่งออกมาจากเฟสตะกอน และเฟส α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน เฟสยูเทคติกซิลิคอน ที่มีลักษณะรูปทรงโครงข่ายขนาดเล็กผสมกับรูปทรงไม่แน่นอน แสดงในรูปที่ 7 โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง หลังปรับสภาพเฟส โดยการเติม 0.15%โครเมี่ยม ผสมกับ 0.4% แมงกานีส ผ่านการใช้ฟังก์ชั่นการกระแทก 15-20 A และความถี่ 18-20 kHz เวลา 4 นาที (A4) บริเวณด้านบนประกอบด้วย α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ ลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน กระจายตัวอยู่ทั่วไป แสดงในรูปที่ 8 (a, c) ในขณะที่บริเวณด้านล่างชิ้นงานทดสอบนั้น ประกอบด้วยเฟสตะกอนมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน แสดงในรูปที่ 8 (b, d) เฟสยูเทคติกซิลิคอน ที่มีลักษณะรูปทรงโครงข่ายขนาดเล็กผสมกับรูปทรงไม่แน่นอน

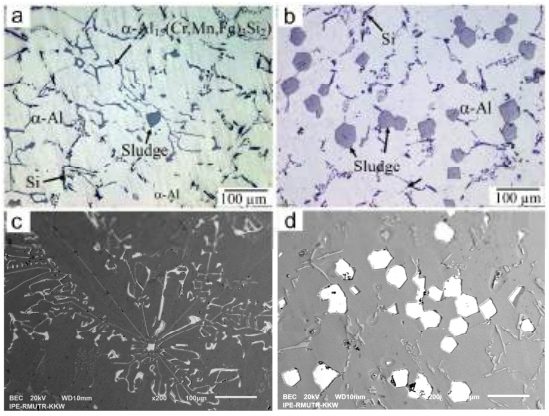


รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสม A0 (a,c) ด้านบน (b,d) ด้านล่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสม A4 (a,c) ด้านบน (b,d) ด้านล่างชิ้นงานทดสอบ

โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 1% หลังปรับสภาพเฟส โดยการเติม 0.15%โครเมี่ยม ผสมกับ 0.4% แมงกานีส ผ่านการใช้ฟังก์ชั่นการกระแทก 15-20 A และความถี่ 18-20 kHz เวลา 8 นาที (A8) บริเวณด้านบนประกอบด้วย α-Al15(Fe,Cr,Mn)3Si2 ลักษณะคล้ายตัวอักษรจีนที่มีขนาดใหญ่ แสดงในรูปที่ 9 (a, c) ในขณะที่บริเวณด้านล่างชิ้นงานทดสอบนั้น ประกอบด้วยเฟสตะกอนมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน แสดงในรูปที่ 9 (b, d) เมื่อเปรียบเทียบกับกับรูปที่ 7 พบว่ามีปริมาณมากกว่าโลหะผสมที่ไม่ผ่านฟังก์ชั่นการกระแทก ในขณะที่เฟสยูเทคติกซิลิคอนที่มีลักษณะรูปทรงโครงข่ายขนาดเล็กผสมกับรูปทรงไม่แน่นอน



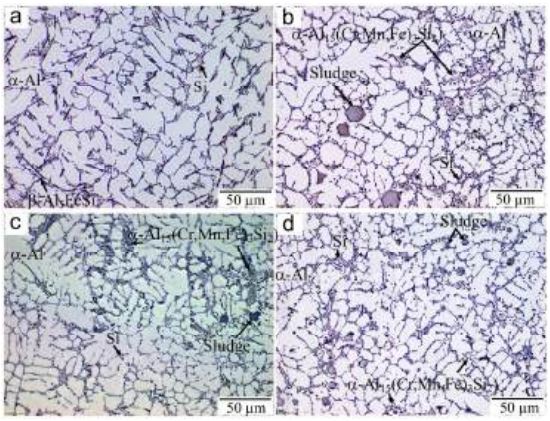
รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสม A8 (a,c) ด้านบน (b,d) ด้านล่างชิ้นงานทดสอบ

3.5 ผลกระทบของอัตราการเย็นตัว

อัตราการแข็งตัวของโลหะผสมมีผลอย่างมากต่อลักษณะและรูปร่างของเฟสของสารประกอบที่เกิดขึ้น [13] ในขั้นตอนการแข็งตัว ผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการเย็นตัวควบคู่กับการเติมโลหะผสมสำหรับปรับสภาพ และใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกเข้าด้วยกัน โครงสร้างจุลภาคแสดงในรูปที่ 10 โลหะผสม BB ที่ไม่ผ่านการเติมโลหะผสมและไม่ผ่านการกระแทกก่อนการเทน้ำโลหะ โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส β ที่มีขนาดเล็ก ความยาวน้อยกว่า 50 ไมครอน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอัตราการแข็งตัวที่ช้า (รูปที่ 7) พบว่าอัตราการแข็งตัวส่งผลโดยตรงต่อขนาดและความยาวของเฟส β ลดลง แสดงในรูปที่ 10 (a)

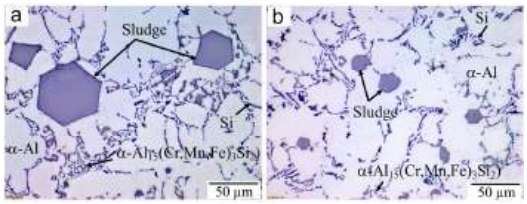
การเติมธาตุโครเมี่ยมและแมงกานีสลงในน้ำโลหะเหลวของโลหะ B0 สามารถเปลี่ยนแปลงเฟส β กลายเป็นเฟส α ซึ่งมีลักษณะ 2 รูปแบบประกอบด้วย เฟสตะกอนและเฟสตัวอักษรจีน ดังแสดงในรูปที่ 10 (b)

โครงสร้างจุลภาคของโลหะ B4 และ B8 ที่ผ่านการเติมโลหะผสมและผ่านฟังก์ชั่นการกระแทกน้ำโลหะเหลวก่อนก่อนเทนั้น โครงสร้างประกอบด้วยเฟสตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า ดังแสดงในรูป 10 (c-d) เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะผสมที่ไม่ผ่านการกระแทกน้ำโลหะในโลหะผสม B0 (รูปที่ 10 a) ผลจากอัตราการแข็งตัวที่เร็วส่งผลต่อรูปร่างและขนาดของสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้พบว่าเฟสตะกอนมีขนาดเล็กเป็นอย่างมาก



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคอัตราการแข็งตัวเร็ว (a) โลหะผสม BB (b) โลหะผสม B0 (c) โลหะผสม B4 (d) โลหะผสม B8

ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบขนาดของเฟสตะกอนของโลหะผสม B0 และโลหะผสม B8 ที่กำลังขยายสูง 500 เท่า พบว่าเฟสตะกอนมีขนาดใหญ่ ขนาด 20-60 ไมครอน เมื่อโลหะผสมไม่ผ่านการกระแทก ดังรูปที่ 11 (a) ในขณะที่การใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกและใช้อัตราการแข็งตัวรวดเร็วขนาดของเฟสตะกอนเล็กลงเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 11 (b)

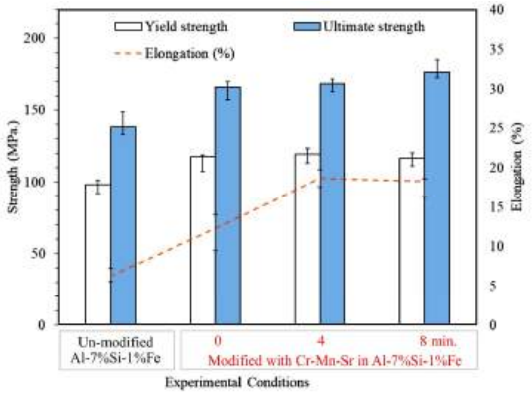


รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของเฟสตะกอน (a) โลหะผสม B0 (b) โลหะผสม B8

3.6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบแรงดึง

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมแสดงในรูปที่ 12 โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความแข็งแรงที่จุดครากเท่ากับ 98.72 MPa และความแข็งแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 138.04 MPa อัตราการยืดตัวเท่ากับ 6.21 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแข็งแรงที่จุดครากและค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 117.41 และ 166.45 MPa เมื่อผ่านการปรับสภาพโครงสร้างจุลภาคโดยการเติมธาตุแมงกานีส โครเมี่ยม และสตรอนเชียมในโลหะผสมที่ไม่ผ่านฟังก์ชั่นการกระแทกน้ำโลหะ ส่วนค่าอัตราการยืดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.21%



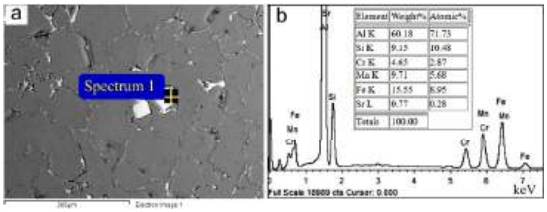
รูปที่ 12 คุณสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบแรงดึงของโลหะผสมก่อนและหลังการปรับสภาพ

ผลกระทบการปรับสภาพโครงสร้างจุลภาคโดยการเติมธาตุแมงกานีส โครเมี่ยม และสตรอนเชียม และใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกน้ำโลหะเหลว 4 และ 8 นาที ค่าความแข็งแรงที่จุดครากเท่ากับ 119.28 และ 116.61 MPa และค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 168.64 และ 176.73 MPa

4. อภิปรายผล

การปรับสภาพเฟส β ที่มีลักษณะเป็นแผ่น มีโครงสร้างผลึก Monoclinic มีความเปราะ ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน โดยเฉพาะความแข็งแรงและความเหนียวของชิ้นงานหล่อ [3] การปรับปรุงน้ำโลหะหลอมเหลว โดยการเติมธาตุผสมโครเมี่ยมและแมงกานีส ทำหน้าที่ในการปรับสภาพเฟส β จากการตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้นของโลหะผสมที่ใช้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (รูปที่ 3-4) ประกอบด้วยเฟส Al_7Cr และ Al_6Mn เมื่อเติมลงไปในโลหะผสมอะลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลาค้างน้ำโลหะ 20 นาที สารประกอบดังกล่าวจะเกิดการสลายตัว หลังจากนั้นเทน้ำโลหะลงแม่แบบ การก่อตัวของเฟส α-$Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ (เฟสตะกอน) ที่อุณหภูมิสูงเท่ากับ 650 องศาเซลเซียส เกิดก่อนเฟสเดนไรท์ α-Al (Pre-dendritic) โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานทดสอบที่มีอัตราการเย็นตัวช้า [4] ดังแสดงในรูปที่ 13 เมื่อเวลาในการกระแทกน้ำโลหะเหลวเท่ากับ 4 นาที ส่งผล

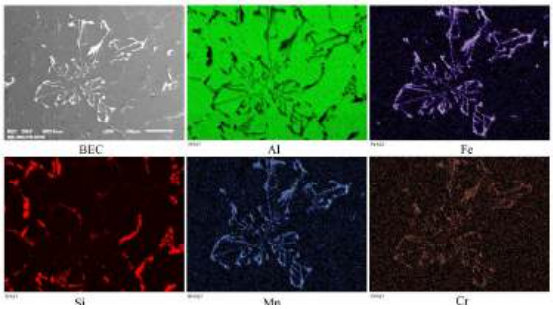
อย่างยิ่งต่อลักษณะการก่อตัวของเฟส สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ประกอบด้วยเฟสตะกอน ที่ก่อตัวก่อนเฟสเดนไรท์อะลูมิเนียม ที่มีส่วนผสมของธาตุอะลูมิเนียม, ซิลิคอน, เหล็ก, โครเมี่ยม, แมงกานีส และสตรอนเชียม ซึ่งการมีอยู่ของธาตุสตรอนเชียมในเฟสตะกอนนี้ส่งผลให้การปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอนมีประสิทธิภาพลดลง



รูปที่ 13 ภาพ SEM ใช้เทคนิค EDS บริเวณเฟสตะกอน α (A4) โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-7ซิลิคอน-1เหล็ก เติม 0.2%โครเมี่ยม ผสมกับ 0.4%แมงกานีส ผ่านฟังก์ชั่นการกระแทก 4 นาที

บริเวณด้านบนชิ้นงานทดสอบ A4 และ A8 มีปริมาณธาตุโครเมี่ยม แมงกานีสน้อยกว่าด้านล่าง ส่งผลให้ไม่เกิดการก่อตัวของเฟสตะกอน แต่จะแทนที่ด้วยเฟส α ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีนแทน กลไกในการก่อตัวสารประกอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารประกอบนั้นๆ การใช้เทคนิค X-ray mapping ในโหมด BEC จากกล้องจุลทรรศน์ SEM เพื่อใช้สำหรับศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของธาตุโครเมี่ยมและแมงกานีส ทำหน้าที่ส่งเสริม (Promote) ที่เกิดขึ้นการก่อตัวของเฟส α จากรูปที่ 8 (c) และ 14 พบว่ามีการกระจายตัวของธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก ซิลิคอน แมงกานีส และโครเมี่ยม อย่างสม่ำเสมอบริเวณเฟส α ซึ่งผลจากการใช้เทคนิค X-ray mapping นี้ สามารถยืนยันว่าสารประกอบดังกล่าวมีส่วนผสมของโครเมี่ยมและแมงกานีส

การใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกน้ำโลหะเหลว ส่งผลต่อการกระจายตัวของธาตุผสม ซึ่งพิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคที่มีลักษณะรูปร่างของเฟส α ที่แตกต่างกัน ส่วนการตกตะกอนของสารประกอบเชิงโลหะเกิดจากปริมาณธาตุผสมที่มากเกินไป เกิดการรวมตัวและตกตะกอนบริเวณด้านล่าง เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นมากกว่าอะลูมิเนียมและเฟส α การใช้ฟังก์ชั่นของเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำนี้ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะและรูปร่างของสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้น และคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 14 การใช้เทคนิค X-ray Mapping บริเวณเฟส α ในโครงสร้างจุลภาคโลหะผสม A4

5. สรุป

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วยสารประกอบ Al_7Cr, Al_6Mn ที่ทำหน้าที่ในการปรับสภาพเฟส β และสารประกอบ Al4Sr ที่ทำหน้าที่การปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน

โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก โครงสร้างประกอบด้วยเฟส β และเฟสยูเทคติกซิลิคอนที่มีรูปทรงไม่แน่นอน สารประกอบ Al_7Cr และ Al_6Mn สามารถปรับสภาพเฟส β กลายเป็นสารประกอบ α-$Al_{15}(Fe,Cr,Mn)_3Si_2$ แต่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 รูปแบบ ประกอบด้วยลักษณะเป็นตะกอนและตัวอักษรจีน

การกวนน้ำโลหะโดยการใช้ฟังก์ชั่นการกระแทก เวลา 4 และ 8 นาที ทำให้เกิดการแยกส่วนของเฟสบริเวณด้านล่างประกอบด้วยเฟสตะกอนและด้านบนชิ้นงานทดสอบประกอบด้วยเฟส α ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน

การเพิ่มขึ้นของอัตราการแข็งตัวส่งผลต่อขนาดและรูปร่างของเฟสยูเทคติกซิลิคอนและเฟสตะกอนที่เล็กลง

การเติมโลหะผสมและใช้ฟังก์ชั่นการกระแทกน้ำโลหะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล ค่าความแข็งแรงที่จุดครากค่าความแข็งแรงสูงสุดและค่าอัตราการยืดตัวสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและ

พัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สัญญาเลขที่ C53/2567

7. เอกสารอ้างอิง

[1]John L. Jorstad, Wayne M. Rasmussen “Aluminum Casting Technology”. American Foundrymen's Society, (1993).

[2] Jinkamon. L and Phisith. M, “Effects of Beverage Can Body Addition on β Phase Modification in Recycled Al- Si- Fe Cast Alloy”. Pathumwan Academic Journal, Vol. 31 No. 11 (2021), pp. 114-127.

[3] จิณกมล ลุยจันทร์1 วัชระพร สำมณี1 นิติธร ทองสุข1 อัฐพล แสงนิล1 มินทาดา ขำจริง1 วุฒิชัย ตังคพานิช และพิสิทธิ์ เมืองน้อยผลกระทบของอัตราการแข็งตัวต่อรูปร่างของเฟส β-Al5FeSi และเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก โดยการการเติมโลหะแม่อะลูมิเนียม-5%โครเมี่ยม-3%แมงกานีส-1% สตรอนเชียม, วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 มกราคม – มิถุนายน 2567)

[4] Lennart Bäckerud, Guocai Chai, Jarmo Tamminen “ Solidification Characteristics of Aluminum Alloys: Foundry alloys Volume 2 of Solidification Characteristics of Aluminum Alloys” . Skanaluminium, (1990).

[5] A. Knuutinen, K. Nogita, S.D. McDonald, A.K. Dahle., “Modification of Al–Si alloys with Ba, Ca, Y and Yb”, Journal of Light Metals, 1: (2001) pp. 229–240.

[6] M. AMNE ELAHI, S. G. SHABESTARI, Effect of various melt and heat treatment conditions on impact toughness of A356 aluminum alloy, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 26(2016) 956–965.

[7] Qing Cai , Ewan Lordan, Shihao Wang, Guangyu Liu, Chamini L. Mendis , Isaac T.H. Chang, Shouxun Ji, Die-cast multicomponent near-eutectic and hypoeutectic Al–Si–Ni–Fe–Mn alloys:Microstructures and mechanical properties, Materials Science and Engineering: A, Volume 872, 8 May 2023, 144977

[8] Ossama Elsebaie, Agnes M. Samuel, F.H. Samuel, H.W. Doty, Impact toughness of Al–Si–Cu–Mg–Fe cast alloys: Effects of minor additives and aging conditions, Materials and Design 60 (2014) 496–509.

[9] G. Gustafsson, T. Thorvaldsson, G.L. Dunlop, The influence of Fe and Cr on the microstructure of cast Al–Si–Mg alloys. Metall. Mater. Trans. A 17, 45–52 (1986).

[10] Alberto Fabrizi, Stefano Ferraro, Giulio Timelli, THE INFLUENCE OF Fe, Mn AND Cr ADDITIONS ON THE FORMATION OF IRON-RICH INTERMETALLIC PHASES IN AN Al-Si DIE-CASTING ALLOY.

[11] Hao He, Jing Zou, Hai-tao Zhang, Da-chuan Hu, Zhi-jun Feng, Yu-fei Li, Ze-hua Li, and Hua-cheng Li, Effect of Mn and Mo on microstructure and mechanical properties of Al- Si- Cu- Mg- 0. 6Fe alloy, CHINA FOUNDRY, Vol. 20 No. 6 November 2023, pp. 511-518.

[12] Katherine E. Rader, Adrian S. Sabau, and Aashish Rohatgi, Microstructural refinement in ultrasonically modified A356 aluminum castings, J Mater Sci (2023) 58:17340–17361

[13] K eidhed, P muangnoy, Effect of cooling rates of production process of Al-3% B-3% Sr master alloy on grain refinement and eutectic modification efficiency in cast A356 alloy, MATEC Web of Conferences 192, 01036

การศึกษาการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์แนวโน้มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตอลูมิเนียมหล่อ–ลวดเหล็ก เพื่อพยากรณ์การทดลองเชิงปฏิบัติ

A Study on the Use of Mathematical Models to Predict the Mechanical Property Trends of Aluminum casting–Steel Wire Composites for Experimental Prediction

อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย และ ศุภฤกษ์ รัศมีแพทย์*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Apisak Harnpicharnchai and Suphalerk Rassamipat*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: Suphalerk.ra@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์แนวโน้มของสมบัติเชิงกลในวัสดุคอมโพสิตโลหะที่ประกอบด้วยอลูมิเนียมหล่อเสริมแรงด้วยลวดเหล็ก โดยพิจารณาผลของการเกิดชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส (intermetallic compound: IMC) ที่ก่อตัวบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเมทริกซ์และวัสดุเสริมแรง ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

การวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง Rule of Mixtures แบบสามเฟส ที่ประกอบด้วยเมทริกซ์อลูมิเนียม ลวดเหล็ก และ IMC เพื่อคำนวณค่า modulus รวมของวัสดุ และนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการพยากรณ์สมบัติเชิงกลอื่นๆ ได้แก่ ความต้านแรงดึง ความแข็ง ความแกร่ง และความล้า โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงประจักษ์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งวิเคราะห์แนวโน้มของผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเทโลหะ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ IMC เพิ่มขึ้น และทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุดีขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเฟส IMC มีผลกระทบต่อสมบัติมากที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น การศึกษานี้จึงมีศักยภาพในการใช้เป็นเครื่องมือช่วยวางแผนการทดลองจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนด้านเวลาและวัสดุในการผลิตชิ้นงานทดสอบ

คำสำคัญ: คอมโพสิตโลหะ, อลูมิเนียมหล่อ, ลวดเหล็ก, โลหะผสมระหว่างเฟส, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การพยากรณ์สมบัติเชิงกล

Abstract

This research presents a mathematical modeling approach to predict the mechanical property trends of metal matrix composites (MMCs) composed of cast aluminum reinforced with steel wire. The study particularly focuses on the influence of intermetallic compounds (IMCs) formed at the interface between the aluminum matrix and steel reinforcement, which significantly affect the overall elastic

modulus of the composite.

A three-phase Rule of Mixtures model—comprising the aluminum matrix, steel wire, and IMC layer—is applied to calculate the effective modulus of the composite. This modulus is then used to estimate other mechanical properties, including tensile strength, hardness, toughness, and fatigue strength, through empirical correlations derived from published literature. The effect of pouring temperature on the formation and volume of IMCs is incorporated into the model, allowing for prediction under varying processing conditions.

The results reveal that higher pouring temperatures lead to increased IMC formation, which in turn enhances the composite's mechanical properties. Sensitivity analysis indicates that the IMC phase has the most significant impact on the overall behavior. This model can serve as a valuable tool for experimental planning by reducing time, material usage, and uncertainty in physical testing.

Keywords: Metal matrix composite, Cast aluminum, Steel wire, Intermetallic compound, Mathematical model, Mechanical property prediction

1. บทนำ

วัสดุคอมโพสิตที่มีเมทริกซ์เป็นโลหะ (Metal Matrix Composites: MMCs) เป็นวัสดุวิศวกรรมที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยาน และเครื่องจักรกล เนื่องจากสามารถปรับแต่งสมบัติเชิงกลได้โดยการเลือกชนิดและสัดส่วนของวัสดุเสริมแรง เช่น ใยแก้ว ซิลิคอนคาร์ไบด์ หรือเส้นลวดเหล็ก วัสดุคอมโพสิตชนิดนี้มีจุดเด่นด้านความแข็งแรง น้ำหนักเบา และความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะที่วัสดุทั่วไปไม่สามารถรองรับได้

แม้ว่าวัสดุคอมโพสิตโลหะจะมีศักยภาพสูง แต่การออกแบบกระบวนการผลิตและทดสอบสมบัติเชิงกลในระดับทดลองยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุน เวลา และความไม่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของวัสดุคอมโพสิตที่มีปฏิกิริยาทางโลหะวิทยาเกิดขึ้นระหว่างวัสดุเมทริกซ์ (เช่น อลูมิเนียม) และวัสดุเสริมแรง (เช่น เหล็ก) ซึ่งอาจก่อให้เกิดชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส (intermetallic compound) ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

เพื่อวางแผนการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพ นักวิจัยจึงเริ่มนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์แนวโน้มของสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตก่อนทำการทดลองจริง ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Surappa (2003) และ Chawla & Chawla (2006) ได้เสนอแนวคิดของการใช้ Rule of Mixtures เพื่อประมาณค่า modulus ของคอมโพสิต ในขณะที่งานของ Ferro et al. (2020) และ Ibrahim et al. (1991) ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการประเมินผลกระทบจากโครงสร้างจุลภาคต่อสมบัติเชิงกลของ MMCs

อย่างไรก็ตาม ยังมี ช่องว่างทางวิชาการ ในการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ผลของ intermetallic compound ต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้อลูมิเนียมหล่อเสริมแรงด้วยลวดเหล็กโดยเฉพาะ ทั้งในแง่ของการกำหนดพารามิเตอร์เชิงเรขาคณิต การคำนวณอัตราส่วนปริมาตรของแต่ละเฟส และการเชื่อมโยงไปสู่ค่าความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะ Rule of Mixtures แบบสามเฟส เพื่อพยากรณ์แนวโน้มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชนิดอลูมิเนียมหล่อเสริมแรงด้วยลวดเหล็ก โดยนำความสัมพันธ์ทางวิศวกรรมวัสดุที่มีอยู่มาเชื่อมโยงและแปลงเป็นค่าความต้านแรงดึง ความแข็ง ความแกร่ง และความล้า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการทดลองเชิงปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับพยากรณ์สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชนิดอลูมิเนียมหล่อเสริมแรงด้วยลวดเหล็ก โดยอิงตามหลัก Rule of Mixtures แบบสามเฟส ซึ่งประกอบด้วย เมทริกซ์อลูมิเนียม วัสดุเสริมแรง และชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส
2. วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิการเทโลหะ ที่มีต่อการเกิดชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส (intermetallic compound) และผลกระทบต่ออัตราส่วนเชิงปริมาตรของวัสดุในคอมโพสิต
3. ประเมินแนวโน้มของสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง ความแข็ง ความแกร่ง และความล้า ของวัสดุคอมโพสิตภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนด โดยใช้ผลจากแบบจำลองเป็นเกณฑ์พยากรณ์
4. ใช้แบบจำลองที่พัฒนา เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบการทดลองจริง เพื่อช่วยลดต้นทุน เวลา และความเสี่ยงในการผลิตชิ้นงานทดสอบในห้องปฏิบัติการ

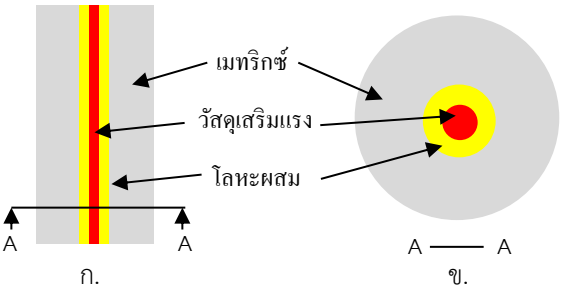
3. ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

การวิเคราะห์วัสดุคอมโพสิตในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง Rule of Mixtures แบบสามเฟส คือ เมทริกซ์ (m) (อลูมิเนียมหล่อ), วัสดุเสริมแรง (f) (ลวดเหล็ก), และโลหะผสมระหว่างเฟส (imc) ซึ่งเกิดขึ้นโดยรอบลวดเหล็ก ดังรูปที่ 1 เมื่อทำการเทโลหะหลอมเหลวลงในแม่พิมพ์ โดยแบบจำลองนี้พิจารณาทั้งมิติของเฟสเสริมแรงและพฤติกรรมการเกิดโลหะผสมระหว่างเฟสที่มีผลต่อสมบัติโดยรวมของวัสดุ

งานนี้ใช้แบบจำลองเชิงเรขาคณิตเพื่อคำนวณปริมาตรของชั้นโลหะผสมระหว่างเฟสที่เกิดขึ้นรอบลวดเหล็กในรูปทรงกระบอก โดยสมมุติให้ความหนาชั้นโลหะผสมระหว่างเฟสแปรผันตามอุณหภูมิการเทโลหะตามสมการที่ 1

$$\Delta r = k(T - T_base) \qquad (1)$$

โดยที่ Δr คือความหนาที่เพิ่มขึ้นของโลหะผสมระหว่างเฟส, T คืออุณหภูมิการเท, T_base คืออุณหภูมิเริ่มเกิดโลหะผสมระหว่างเฟสซึ่งสามารถพิจารณาจาก phase diagram ของโลหะผสมนั้นๆซึ่งในงานวิจัยนี้โลหะผสมระหว่างเฟส ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ Fe_2Al_5 ซึ่งจะมีอุณหภูมิเริ่มก่อตัวโดยประมาณ 530 °C และ k คือค่าคงที่เชิงประจักษ์ (empirical constant) ซึ่งโดยทั่วไปไม่มีการกำหนด แต่สามารถประมาณจากการทดลอง เช่นในงานวิจัยนี้ตั้งค่า k = 0.0001 cm/°C เพื่อประเมินพฤติกรรมเชิงแนวโน้ม (Ferry & Han, 2012)



รูปที่ 1 ภาพจำลองวัสดุเสริมแรง ก. แนวตั้ง ข. ภาพตัดขวาง A-A

เมื่อทราบความหนา Δr แล้ว ปริมาตรของโลหะผสมระหว่างเฟส (Vimc) คำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยค่า r และ h คือขนาดของวัสดุเสริมแรง

$$Vimc = \pi \times ((r + \Delta r)^2 - r^2) \times h \qquad (2)$$

ค่าปริมาตรที่ได้จะถูกแปลงเป็นอัตราส่วนเชิงปริมาตร (volume fraction) และใช้คำนวณ modulus รวมของวัสดุคอมโพสิตด้วยสมการ Rule of Mixtures แบบสามเฟสคือสมการที่ 3

$$Ec = (Em\ Vm') + (Ef\ Vf') + (Eimc\ Vimc') \qquad (3)$$

เมื่อ E คือ modulus ของแต่ละวัสดุ และ V คือสัดส่วนปริมาตรโดยจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 1 คือเป็นวัสดุชิ้นนั้นทั้งหมด โดยหาได้จาก นำผลรวมของปริมาตรวัสดุที่เกิดขึ้นมาหารปริมาตรของแต่ละวัสดุ จากนั้นสามารถนำค่า Modulus ของวัสดุคอมโพสิต (Ec) ไปใช้พยากรณ์สมบัติทางกลอื่นๆโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

ความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ _UTS): (Davis, 1993)

$$\sigma _UTS \approx 0.0035 \times Ec$$

ความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness, HB): (Totten & Mackenzie, 2003)

$$HB \approx \sigma _UTS / 3.45 \approx 0.001 \times Ec$$

ความแกร่ง (Toughness): (Callister & Rethwisch, 2020)

$$Toughness \approx \sigma _UTS^{2} / 2Ec$$

ความล้า (Fatigue Strength): (Suresh, 1998)

$$\sigma _fatigue \approx 0.4 \times \sigma _UTS \approx 0.0014 \times Ec$$

โดยในการทดลองนี้จะใช้ข้อมูลของวัสดุในการคำนวณดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสมบัติของวัสดุ

Materials	Melting Point	Modulus	Dimension (cm^2)		Vol.
	(°C)	(GPa)	r (cm)	h (cm)	(cm^3)
อลูมิเนียมหล่อ (AC2B)	600	72	0.75	10	4.42
ลวดเหล็ก	1500	205	0.06	10	0.03
โลหะผสมระหว่างเฟส (Fe_2Al_5)	1170	180	Equation (1-2)		

4. ผลการวิจัย

ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรม Microsoft Excel แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเทโลหะมีผลต่อการเกิดชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส (intermetallic compound) โดยตรง ซึ่งปริมาณของโลหะผสมนี้จะส่งผลต่อปริมาตรสัมพัทธ์ของแต่ละเฟสในวัสดุคอมโพสิต และส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่น (modulus) ของวัสดุโดยรวมจากตารางที่ 2 และรูปที่ 2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิการเทเพิ่มขึ้นจาก 750°C เป็น 950°C ความหนาของชั้นโลหะผสม (Δ r) เพิ่มขึ้นตามสมการเชิงเส้น ส่งผลให้ปริมาตรของชั้น IMC เพิ่มขึ้นจาก 0.008 cm^3 เป็น 0.016 cm^3 และสัดส่วนเชิงปริมาตรของ IMC เพิ่มขึ้นจาก 0.002 เป็น 0.004ซึ่งแม้จะดูเป็นสัดส่วนที่น้อย แต่มีอิทธิพลสูงเนื่องจาก IMC มี modulus สูงกว่าเมทริกซ์อลูมิเนียมมาก ส่งผลให้ modulus รวม (Ec) เพิ่มจาก 72 GPa เป็น 73.289 GPa ภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 200°C

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการคำนวณของวัสดุคอมโพสิต

Parameter	Symbol	Unit	Unreinforced	Reinforced		
				Test 1	Test 2	Test 3
Modulus of matrix	Em	GPa	72	72	72	72
Modulus of reinforcement	Ef	GPa		205	205	205
Modulus of IMC	Eimc	GPa		180	180	180
Pouring temperature	T	℃	750	750	850	950
Volume of matrix	Vm	cm^3	4.42	4.42	4.42	4.42
Volume of reinforcement	Vf	cm^3		0.03	0.03	0.03
Volume of IMC layer	Vimc	cm^3		0.008	0.012	0.016
Volume of phases	Vp	cm^3	4.420	4.458	4.462	4.466
Volume fraction of matrix	Vm'		1.000	0.991	0.991	0.990
Volume fraction of reinforcement	Vf'		0.000	0.007	0.007	0.007
Volume fraction of IMC	Vimc'		0.000	0.002	0.003	0.004
Estimated composite modulus	Ec	GPa	72.000	73.099	73.194	73.289
Estimated Tensile Strength	σ_UTS	MPa	0.2520	0.2558	0.2562	0.2565
Estimated Brinell Hardness	HB	HB	0.0800	0.0812	0.0813	0.0814
Estimated Toughness	Toughness	J/m^3	0.000441	0.000448	0.000448	0.000449
Estimated Fatigue Strength	σ_fatigue	Mpa	0.1008	0.102339	0.102471	0.102605

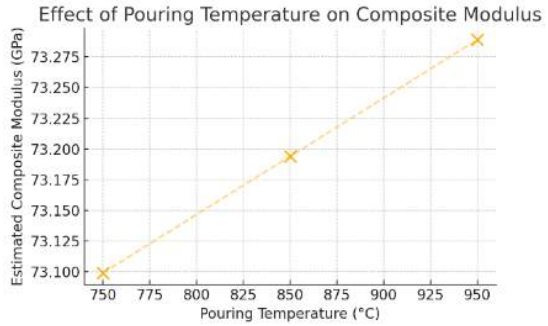
การเปลี่ยนแปลงของ Ec นี้ นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกลอื่นๆ ได้แก่:

ความต้านแรงดึง (σ _UTS) เพิ่มจาก 0.2520 MPa เป็น 0.2565 MPa

ค่าความแข็ง (HB) เพิ่มจาก 0.0800 เป็น 0.0814

ค่าความแกร่ง (Toughness) เพิ่มจาก 0.000441 J/m³ เป็น 0.000449 J/m³

ความล้า (σ _fatigue) เพิ่มจาก 0.1008 MPa เป็น 0.1026 MPa



รูปที่ 2 กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่า Modulus ของวัสดุคอมโพสิต (Ec)

5. วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่า แนวโน้มที่สังเกตได้อย่างชัดเจนคือ ความหนาและปริมาตรของ IMC เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอย่างเป็นสัดส่วน และส่งผลโดยตรงต่อ Ec และคุณสมบัติเชิงกลอื่นๆ กล่าวคือ การเพิ่มอุณหภูมิเทโลหะช่วยกระตุ้นการก่อตัวของ IMC ซึ่งมีโมดูลัสสูง (180 GPa) ส่งผลให้วัสดุโดยรวมแข็งแรงขึ้น แต่หาก IMC มีมากเกินไปอาจส่งผลต่อความเปราะ ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรพิจารณาต่อในการทดลองเชิงลึก และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดย จากงานของ Ferro et al. (2020) พบว่าในคอมโพสิตที่ใช้เส้นลวดโลหะเสริมแรง การเกิด intermetallic compound รอบเส้นลวดมีผลต่อค่าความแข็งแรงเชิงกลโดยรวมเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในจุดเชื่อมต่อที่ IMC ทำหน้าที่เป็นตัวกลางรับแรง นอกจากนี้ งานของ Surappa (2003) ยังชี้ให้เห็นว่าค่า modulus ของวัสดุคอมโพสิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นลวดมี IMC ล้อมรอบบางส่วน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของงานวิจัยนี้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ ผลกระทบของแต่ละตัวแปร พบว่า:

ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อค่า Ec คือ modulus ของเฟสเสริมแรงและ IMC

รองลงมาคือ สัดส่วนเชิงปริมาตรของ IMC (Vimc') ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอุณหภูมิการเท

ส่วน modulus ของเมทริกซ์อลูมิเนียม (Em) มีผลน้อย เนื่องจากเป็นค่าคงที่ในทุกชุดการทดลอง

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า แม้การเปลี่ยนแปลงของ Δ r เพียงเล็กน้อยก็สามารถสร้างผลกระทบต่อพฤติกรรมทางกลได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตจริง

6. สรุปผลการวิจัย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยอิงหลักการของ Rule of Mixtures แบบสามเฟส แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพยากรณ์แนวโน้มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชนิดอลูมิเนียมหล่อเสริมแรงด้วยลวดเหล็กได้อย่างมีเหตุผลทางวิศวกรรม โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิการเทโลหะซึ่งมีผลต่อการก่อตัวของชั้นโลหะผสมระหว่างเฟส (intermetallic compound: IMC)

จากผลการคำนวณ พบว่าความหนาและปริมาตรของ IMC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนเชิงปริมาตรในวัสดุคอมโพสิต และส่งผลต่อค่า modulus รวม (Ec) และสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กัน เช่น ความแข็งและความล้า ทั้งนี้ ผลกระทบจากเฟส IMC มีความเด่นชัดที่สุดเมื่อเทียบกับเฟสอื่น

แม้ในงานวิจัยนี้จะไม่มีการเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขเกี่ยวกับต้นทุนโดยตรง แต่ลักษณะของแบบจำลองที่สามารถช่วยคัดกรองเงื่อนไขที่เหมาะสมก่อนทำการทดลองจริง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการช่วยลดจำนวนรอบการทดลองที่ไม่จำเป็น ลดการสูญเสียทรัพยากร และลดความไม่แน่นอนในการวางแผนการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยเชิงปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหล่อโลหะและวัสดุคอมโพสิต

กล่าวโดยสรุป โมเดลที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือเชิงวิเคราะห์สำหรับการวางแผนการทดลองในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตอย่างแม่นยำ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการสร้างต้นแบบ

นวัตกรรม (Fabrication Laboratory) สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ทั้งนี้ การสนับสนุนดังกล่าวเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

1. Ferry, M., & Han, B. Q. (2012). Influence of cooling rate on the Fe intermetallic formation in an AA6063 Al alloy. *Journal of Alloys and Compounds, 536*, S456–S460. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.03.004
2. Ferro, P., Fabrizi, A., Bonollo, F., & Berto, F. (2020). Microstructural and mechanical characterization of a stainless-steel wire mesh–reinforced Al-matrix composite. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 111*, 865–876. https://doi.org/10.1007/s00170-020-06020-8
3. Surappa, M. K. (2003). Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities. *Sadhana, 28*(1–2), 319–334. https://doi.org/10.1007/BF02717141
4. Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., & Lavernia, E. J. (1991). Particulate reinforced metal matrix composites – A review. *Journal of Materials Science, 26*, 1137–1156. https://doi.org/10.1007/BF00544448
5. Chawla, N., & Chawla, K. K. (2006). *Metal matrix composites*. Springer Science & Business Media.
6. Davis, J. R. (Ed.). (1993). *Aluminum and Aluminum Alloys*. ASM International.
7. Totten, G. E., & Mackenzie, D. S. (2003). *Handbook of Aluminum: Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes*. CRC Press.
8. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
9. Suresh, S. (1998). *Fatigue of Materials*. Cambridge University Press.

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของการเชื่อมซ่อมแซมชิ้นงานเหล็กหล่อ FC 250

Study of Microstructure and Weld Hardness of the FC 250 Gray Cast Iron Workpiece

อภิวัฒน์ ขาวกระจ่าง[1*] อันทิชา สุขันธ์[1] ณัฐวุฒิ ดาหัวโทน[1] และ ชวนันท์ ทองโยธี[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Apiwat Khaokrajang[1*] Anthicha Sukhan[1] Nattawut Dahuathon [1] and Chawanan Thongyothee[1]
[1]Department of Metallurgical Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: boby3455@hotmail.com*

บทคัดย่อ

จากปัญหาที่พบการชำรุดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตร ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) เพื่อมาศึกษาในการแก้ปัญหาโดยมีการเลือกใช้ลวดเชื่อม 2 ชนิดได้แก่ ลวดเชื่อม Ni 98 ลวดเชื่อม Ni 55 โดยตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และความแข็งเฉพาะแนวเชื่อมของเหล็กหล่อเทา FC 250 เพื่อนำผลจากการศึกษามาเปรียบเทียบในการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อใช้งานในการเชื่อมซ่อมแซมชิ้นงานเหล็กหล่อ ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของกระบวนการเชื่อมซ่อมแซมบนเหล็กหล่อเทา FC 250 พบว่าบริเวณรอยเชื่อมประกอบด้วยเมทริกซ์ออสเทนนิติกเป็นหลัก และมีอนุภาคแกรไฟต์ที่กระจายตัวอยู่ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลวดเชื่อม Ni 55 และ Ni 98 พบว่า Ni 55 แกรไฟต์มีขนาดใหญ่กว่า Ni 98 และมีปริมาณมากกระจายอยู่เนื้อพื้น โดยบริเวณพื้นที่กระทบร้อนประกอบด้วยเฟอร์ไรต์ และแกรไฟต์อยู่ในเนื้อพื้นของเพิร์ลไลต์ ซึ่ง Ni 55 มีเกรนหยาบและโตเนื่องจากลวดเชื่อม Ni 55 มีธาตุผสม Ni, Mn, Si ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้ช้า ส่วนลวดเชื่อม Ni 98 มีธาตุผสมส่วนใหญ่คือ Ni 98 ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้เร็วกว่า Ni 55 ทำให้เกรนมีขนาดที่เล็กละเอียดกว่า Ni 55 ส่วนลวดเชื่อม Ni 98 จะมีค่าความแข็งมากกว่า Ni 55 จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง พบว่าลวดเชื่อม Ni 98 เหมาะสมที่จะใช้ ในการเชื่อมซ่อมแซมเหล็กหล่อเทา FC 250

คำหลัก เหล็กหล่อเทา FC 250 กระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ ลวดเชื่อม Ni 55 ลวดเชื่อม Ni 98

Abstract

From the problems found in the damaged parts of agricultural machinery, the research team has studied the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process to solve the problem by selecting 2 types of welding wires: Ni 98 welding wire and Ni 55 welding wire. The microstructure and specific hardness of the weld line of FC 250 gray cast iron were examined to compare the results of the study in selecting the appropriate welding wire for use in welding and repairing cast iron pieces. The results of the examination

of the microstructure and hardness of the repair welding process on FC 250 gray cast iron found that the weld area mainly consists of austenitic matrix and graphite particles are distributed. When comparing between Ni 55 and Ni 98 welding wires, it was found that Ni 55 graphite is larger than Ni 98 and is distributed in large quantities in the substrate. The heat-affected area consists of ferrite and graphite is in the pearlite substrate, Ni 55 has coarse and large grains because Ni 55 welding wire has Ni, Mn, Si alloy elements, causing the heat to be transmitted slowly. As for Ni 98 welding wire, the majority of the alloy elements are Ni 98, causing the heat to be transmitted faster than Ni 55, causing the grain size to be smaller and finer than Ni 55. As for Ni 98 welding wire, it will have a higher hardness value than Ni 55. From examining the microstructure and hardness, it was found that Ni 98 welding wire is suitable for use in welding and repairing FC 250 gray cast iron.

Keywords: FC 250 gray cast iron, Shielded Metal Arc Welding, Ni 98 welding wire, Ni 55 welding wire

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมทางการเกษตรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตรผลิตจากเหล็กหล่อเทา FC 250 การใช้งานเครื่องจักรที่ต่อเนื่องทำให้ชิ้นส่วนบางชิ้นเกิดการชำรุดเสียหายการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ถือว่าเป็นวิธีที่สะดวก แต่มักพบปัญหาของชิ้นส่วนบางอย่างที่ต้องสั่งซื้อและนำเข้าจากต่างประเทศทำให้เกิดระยะเวลาที่รอชิ้นส่วนนานขึ้น และมีต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการเชื่อมซ่อมแซมมาใช้ในการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเหล็กหล่อเทา FC250 โดย M. Pouranvari [1] ได้ทำการวิจัยความสามารถในการเชื่อมเหล็กหล่อเทาโดยใช้โลหะเติมที่เป็นนิกเกิลสามารถป้องกันการเกิดเฟสแข็งเปราะในโซนหลอมเหลวได้ และการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (PWHT) สามารถแก้ปัญหาการเชื่อมเหล็กหล่อได้ จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยจะศึกษาการเชื่อมซ่อมแซมเหล็กหล่อเทา FC250 โดยวิธีการเชื่อมอาร์กลวดหุ้ม ฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็งโดยเฉพาะของแนวเชื่อม (Weld Metal) โดยใช้ลวดเชื่อม 2 ชนิด ได้แก่ ลวดเชื่อม Ni98 ลวดเชื่อม Ni55 และบริเวณที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากความร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) เพื่อนำผลจากการศึกษามาเปรียบเทียบในการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อใช้งานในการเชื่อมซ่อมแซมชิ้นงานเหล็กหล่อเทาต่อไป

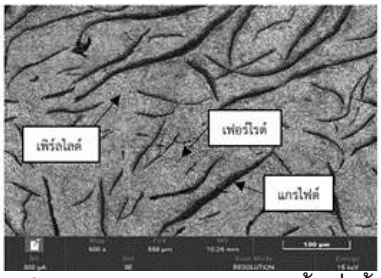
2. การดำเนินงาน

- เตรียมเหล็กหล่อขนาด ความหนา 10 มิลลิเมตร ความยาว 97 มิลลิเมตร ความกว้าง 20 มิลลิเมตร มาทำการเจียระไนผิวหน้าชิ้นงาน และทำการเจียระไนจุดที่จะทำการทดลองเป็นรูปทรงตัว U มาตรฐาน AWS D1.1 [2,3]
- ทำการอบลวดเชื่อม Ni 98 และ Ni 55 (ตามมาตรฐาน AWS A5.15) เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ความร้อนชิ้นงานก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิ 350 - 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [4,5]
- ทำการเชื่อมโดยใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) ปรับกระแสไฟเครื่องเชื่อมระหว่างช่วง 80-110 แอมป์ [6]
- หลังจากทำการเชื่อมเสร็จจะให้ความร้อนหลังเชื่อม โดยการผ่านเปลวไฟไปที่ชิ้นงานทดลองที่อุณหภูมิ 350 – 600 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดตรวจสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ [7]
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)
- ตรวจสอบค่าความแข็งด้วยเครื่อง ไมโครวิกเกอร์ (HV) มาตรฐาน ASTM E140-07

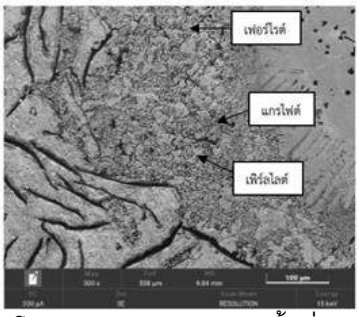
3. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของ

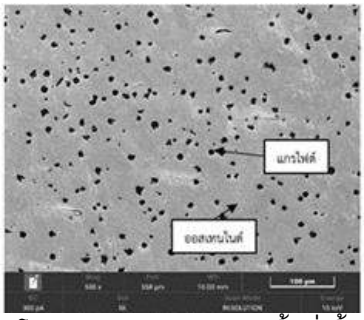
ชิ้นงาน ในการดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคบริเวณพื้นที่เนื้อพื้น (BASED METAL ZONE), พื้นที่กระทบร้อน (HEAT AFFECTED ZONE) และพื้นที่รอยเชื่อม (WELDING ZONE) บนชิ้นงานหล่อเทา FC 250 โดยการใช้ลวดเชื่อม Ni 55 และลวดเชื่อม Ni 98 ในการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ ผลจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่1-6



รูปที่ 1 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่เนื้อพื้น (BZ) ของลวดเชื่อม Ni 55 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



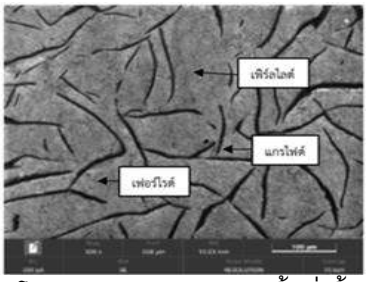
รูปที่ 2 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) ของลวดเชื่อม Ni 55 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



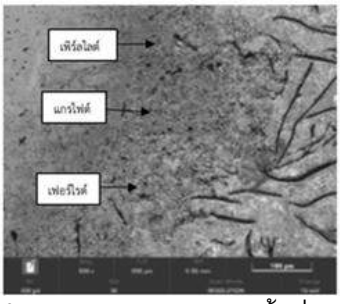
รูปที่ 3 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่เนื้อพื้น (WZ) ของลวดเชื่อม Ni 55 ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของลวดเชื่อม Ni 55 บริเวณพื้นที่เนื้อพื้น และตรวจสอบส่วนผสมเคมีของเหล็กหล่อเทา FC 250 โดยใช้เครื่อง Spectrometer chemical analysis ผลที่ได้คือ C - 2.5-4.0%, SI - 1.0-3.0%, P – 0.05 – 1.0%, MN – 0.2-1.0%, S – 0.02-0.25%,โครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และแกรไฟต์ที่อยู่ในโครงสร้างพื้นเพิร์ลไลต์ [8]

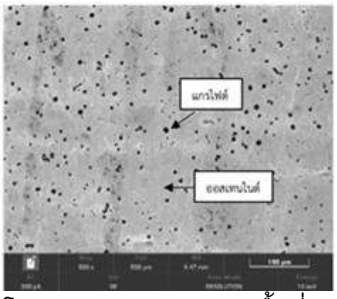
บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) ประกอบด้วยเฟอร์ไรต์ และ แกรไฟต์ในเนื้อพื้นเพิร์ลไลต์ที่มีขนาดเกรนใหญ่ขึ้น และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนเป็นบริเวณกว้างเกิดจากการแพร่ของนิกเกิลและธาตุผสมอื่นในลวดเชื่อม ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้ช้าในขณะเย็นตัว ดังแสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของลวดเชื่อม Ni 55 รูปที่ 1-3



รูปที่ 4 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่เนื้อพื้น (BZ) ของลวดเชื่อม Ni 98 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 5 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่กระทบ (HAZ) ร้อนของลวดเชื่อม Ni 98 ที่กำลังขยาย 500 เท่า

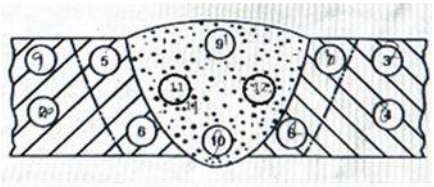


รูปที่ 6 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่รอยเชื่อมของลวดเชื่อม Ni 98 ที่กำลังขยาย 500 เท่า

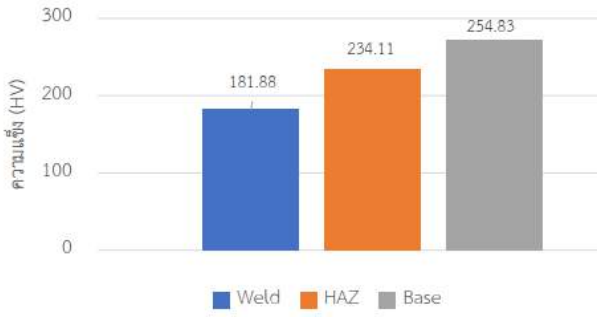
ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของลวดเชื่อม Ni 98 บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) ประกอบด้วยด้วยเฟอร์ไรต์และ แกรไฟต์ ในเนื้อพื้นเพิร์ลไลต์ที่มีขนาดเกรนที่เล็กลงและบริเวณพื้นที่กระทบร้อนเป็นบริเวณแคบ เกิดจากการแพร่ของนิกเกิลที่มีเปอร์เซ็นต์สูงในลวดเชื่อม ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้ดีในขณะเย็นตัว ดังแสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของลวดเชื่อม Ni 98 รูปที่ 4-6 บริเวณพื้นที่รอยเชื่อม (WZ) ประกอบด้วยเมทริกซ์ออสเทนนิติกเป็นหลักที่มีอนุภาคแกรไฟต์จำนวนมากกระจายตัวเป็นลักษณะเกาะกลุ่มกันในเนื้อพื้น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมนิกเกิลสามารถตกตะกอนคาร์บอนที่แพร่มาจากเนื้อพื้นในรูปแบบคาร์บอนอิสระเป็นแกรไฟต์ได้ กล่าวคือในระหว่างการเชื่อมคาร์บอนของเนื้อพื้นจะเจือจางด้วยนิกเกิลจากบริเวณรอยเชื่อมเมื่อปริมาณคาร์บอนในรอยเชื่อมสูงกว่าขีดจำกัดการละลายของคาร์บอนในนิกเกิลอย่างมาก ทำให้คาร์บอนส่วนเกินตกตะกอนเป็นแกรไฟต์ในระหว่างรอยเชื่อมเกิดการแข็งตัว และภายใต้สภาวะการแข็งตัวส่วนใหญ่คาร์บอนจะแยกตัวออกมาในรูปแบบแกรไฟต์ [1,9-11]

การทดสอบความแข็ง (Vicker Hardness)

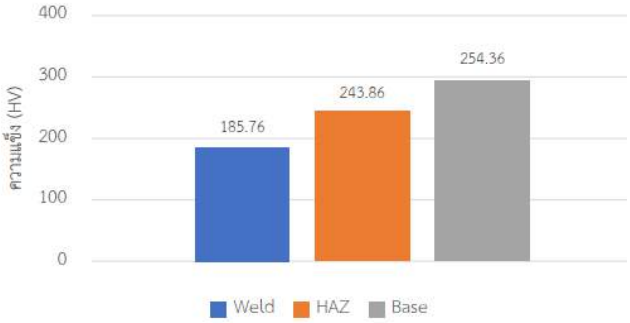
ด้วยแรงกด 300 กรัม เวลา 10 วินาทีค่าความแข็งเป็น HV ทำการกดวัดค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม, บริเวณกระทบร้อน และบริเวณเนื้อพื้น จำนวน 12 จุด ดังรูปที่7



รูปที่ 7 แสดงการกดวัดค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม, บริเวณกระทบร้อน และบริเวณเนื้อพื้น



รูปที่ 8 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ที่ใช้ลวดเชื่อม Ni 55



รูปที่ 9 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ที่ใช้ลวดเชื่อม Ni 98

จากการทดสอบวัดค่าความแข็งดังแสดงในรูปที่8-9 พบว่าบริเวณรอยเชื่อมของลวดเชื่อม Ni 55 และ Ni 98 มีค่าความแข็งที่น้อยกว่าบริเวณของเนื้อพื้น (Based metal zone) โดยบริเวณของลวดเชื่อม Ni 98 มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 185.76 HV ส่วนบริเวณของลวดเชื่อม Ni 55 มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 181.88 HV และในส่วนของบริเวณเนื้อพื้นแต่ละชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม Ni 98 มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 254.36 HV และ Ni 55 มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 254.83 HV

จากผลการทดสอบพบว่าความแข็งบริเวณพื้นที่รอยเชื่อม (WZ) จะมีความแข็งน้อยกว่าทุกบริเวณซึ่งเป็นผลมาจากให้ความร้อนหลังเชื่อมชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 350 – 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

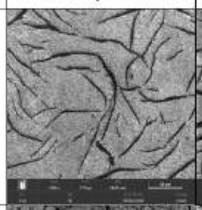
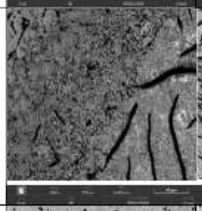
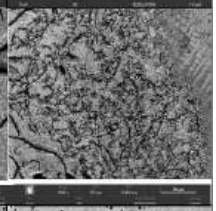
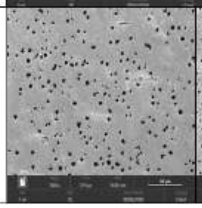
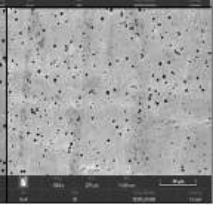
4. สรุปและอภิปรายผล

เหล็กหล่อในทั่วไปมักไม่สามารถทนต่อความเค้นที่เกิดจากการเชื่อมได้ เนื่องจากขาดความเหนียวที่เกิดจากเกล็ดแกรไฟต์หยาบ การใช้ลวดเชื่อม Ni จะช่วยลดปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดจากลวดเชื่อมได้ ซึ่งในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบการเลือกลวดเชื่อมที่เหมาะสมในการทำทดลอง จากการทดสอบวัดค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาค พบว่าบริเวณรอยเชื่อมของลวดเชื่อม Ni 55 และ Ni 98 มีค่าความแข็งที่น้อยกว่าบริเวณของเนื้อพื้น (Based metal zone) และค่าความแข็งของลวดเชื่อม Ni 98 มีค่าความแข็งมากกว่าลวดเชื่อม Ni 55 แต่ไม่แตกต่างกันมากดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างลวดเชื่อม Ni 98 และ Ni 55

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค บริเวณพื้นที่เนื้อพื้น (BASED METAL ZONE), พื้นที่กระทบร้อน (HEAT AFFECTED ZONE) และพื้นที่รอยเชื่อม (WELDING ZONE) บนชิ้นงานหล่อเทา FC 250 โดยการใช้ลวดเชื่อม Ni 55 และลวดเชื่อม Ni 98 ในการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคระหว่างลวดเชื่อมNi 55 และ Ni 98

พื้นที่	กำลังขยาย	โครงสร้างจุลภาคNi 55	โครงสร้างจุลภาคNi 98
โลหะพื้น	1000 เท่า		
กระทบร้อน	1000 เท่า		
รอยเชื่อม	1000 เท่า		

พบว่าบริเวณรอยเชื่อมประกอบด้วยเมทริกซ์ออสเทนนิติกเป็นหลัก และมีอนุภาคแกรไฟต์ที่กระจายตัวอยู่จากอิทธิพลของธาตุผสมในเหล็กหล่อ นิกเกิล (Ni) เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์ และเป็นธาตุที่ช่วยให้ออสเตนไนท์มีเสถียรภาพ นอกจากนี้นิกเกิลมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิยูเทคติกเพิ่มขึ้น จะทำให้คาร์บอนที่มาจากเนื้อพื้นตกตะกอนในรูปแบบเป็นแกรไฟต์อิสระได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลวดเชื่อม Ni 55 และ Ni 98 พบว่า Ni 55 แกรไฟต์มีขนาดใหญ่กว่า Ni 98 และมีปริมาณมากกระจายอยู่เนื้อพื้น ลำดับการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างการเย็นตัวของบริเวณใกล้รอยเชื่อม ซึ่งส่วนหนึ่งของเมทริกซ์ของเนื้อพื้นใกล้กับแกรไฟต์จะหลอมละลายในระหว่างการเชื่อม ในขณะที่เมทริกซ์ที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์และถูกเสริมด้วยคาร์บอน [1,9-12] เมื่อให้ความร้อนหลังการเชื่อม พบว่าบริเวณกระทบร้อนของชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม Ni 55 มีเกรนหยาบและโตเนื่องจากลวดเชื่อม Ni 55 มีธาตุผสม Ni, Mn, Si ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้ช้า ส่วนลวดเชื่อม Ni 98 มีธาตุผสมส่วนใหญ่คือ Ni 98 ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านออกมาได้เร็วกว่า Ni 55 ทำให้เกรนมีขนาดที่เล็กละเอียดกว่า Ni 55 และจะส่งผลต่อความแข็งที่แตกต่างกันระหว่างในรอยเชื่อม โดยจะส่งผลต่อพฤติกรรมการแตกร้าวของการเชื่อม ส่วนลวดเชื่อม Ni 98 จะมีค่าความแข็งมากกว่า Ni 55 ในส่วนเนื้อพื้นจะมีโครงสร้างของเมทริกซ์หลักของเหล็กหล่อต่อกระบวนการเชื่อมซ่อมแซมบนเหล็กหล่อเท่า FC 250 จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง พบว่าลวดเชื่อม Ni 98 เหมาะสมที่ใช้ในการเชื่อมซ่อมแซม

5. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Pouranvari, “On the weldability of graycast iron using nickel-based filler metal”, ข้อมูลจาก https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306910001342, (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[2] สุรเดช แม้นสิริพรหมและคณะ, “การเชื่อมเหล็กหล่อเหนียว การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ GIMINI 680Welding”, การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2, กรุงเทพ,16 ธันวาคม 2561, (2561), หน้า 126-131.

[3] ชินราช ป้องเจริญ, “อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อคุณสมบัติการต้านทานการสึกหรอของ

เหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25", ข้อมูลจาก http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3336/1/RMUTT-158688.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[4] บริษัท อุดมสวัสดิ์อ๊อกซิเย่น จำกัด. การเลือกใช้ลวดเชื่อม, ข้อมูลจาก https://www.udo.co.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[5] หจก.เอส.พี.คริสตัล คอมเมอร์เชียล. การเลือกใช้ลวดเชื่อม, ข้อมูลจาก https://www.spc1986.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[6] กระบวนการเชื่อมเหล็กหล่อ, ข้อมูลจาก https://ded.rmutsv.ac.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[7] สุภชัย ประเสริฐสกุล. "โลหะวิทยากายภาพสำหรับวิศวกร เล่ม4 ปฏิบัติการอบชุบโลหะ", ขอนแก่น : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น.

[8] ปราโมท พูนนายมและคณะ, "โครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนผิวเหล็กหล่อเทา FC25", ข้อมูลจาก https://www.thaiscience.info/Journals/Article/R%26DT/10984910.pdf, (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[9] Trevor Beach, "Welding of gray and ductile Iron", ข้อมูลจาก https://www.moderncasting.com/articles/2023/07/11/welding-gray-and-ductile-iron, (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[10] Wikan Jatimurti, Mas Irfan P. Hidayat, Rochman Rochiem, "Welding Cylinder Head: The Effect of Filler Variations and Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Microstructure and Mechanical Properties on TIG Welded Cast Iron FC 250", ข้อมูลจาก https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/18/matecconf_iiw18_01011.pdf, (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[11] Forrest RD," Welding ductile iron casting" ข้อมูลจาก https://www.sciencedirect com/science /article /abs/pii/S1006706X1460039X?fbclid, (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[12] Saurabh Mangate, Sangharkshak Manwatkar, Bhushan Nehare, Nikhil Borkar,"Welding of cast iron material", " ข้อมูลจาก file:///C:/Users/ASUS%20X509/Downloads/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

การปรับปรุงกระบวนการชุบแข็งมีดที่ขึ้นรูปจากเหล็กตะไบของชาวบ้านม่วงหวาน

The improvement of the quenching process of knife forming from a file steel of the Ban Muang Whan

ปัญญา วินทะไชย[1] คมกริช จันทรเสนา[2] รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1] ภูริพัส แสนพงษ์[1] ณัทปภา จันทร์โสม[3]
ยศพล พงษ์แก้ว[4] โกวิทย์ พลหาญ[2] พีระพงศ์ ท้าวเพชร[2] และปรวิทย์ เจียนดอน[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น[2]
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น
[4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Panya Wintachai[1] Komkrit Juntaracena[2] Rattanaporn Wongthong[1] Bhuriphat. Saenpong[1] Natpapha Chansom[3] Yossapol Pongkaew[4] Kowit Ponhan[2] Peerapong Taopetch[2] and Porawit Jiandon[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
[3]Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[4]Industrial Engineering and Aviation management Department, Academic Faculty, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail:porawit.ji@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการชุบแข็งของเหล็กตะไบที่ขึ้นรูปจากกลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวานและปรับปรุงกระบวนการชุบแข็งให้ดีขึ้น เนื่องจากมีดตะไบที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและชุบแข็งของชาวบ้านม่วงหวานมีค่าความแข็งประมาณ 50.7 HRC โดยมีค่าต่ำกว่าเหล็กตะไบที่ไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและชุบแข็งเป็นมีด ที่มีค่าความแข็งประมาณ 63.5 HRC และมีค่าความแกร่งที่ได้ทำการทดสอบจากเครื่องทดสอบพลังงานการกระแทกแบบชาร์ปีมีดตะไบที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและชุบแข็งของชาวบ้านม่วงหวานมีค่าพลังงานการกระแทกที่96 J/cm^{2}แต่ในส่วนของค่าความแข็งนั้นได้มีสาเหตุมาจากการที่ชาวบ้านม่วงหวานไม่ได้รับการพัฒนาวิธีการทางด้านวิศวกรรมที่ถูกต้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการชุบแข็งในน้ำและอากาศ โดยมีพื้นฐานของเวลาในการชุบแข็งมาจากกลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวาน เพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้มีดมีค่าความแข็ง และความแกร่งที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุด ซึ่งเมื่อทำการทดลองแล้วได้ข้อสรุปว่า ถ้าทำการชุบแข็งมีดในน้ำเป็นเวลา 3 วินาทีและสลับกับบนอากาศ 3 วินาที เป็นจำนวน 6 รอบ จะทำให้ได้ค่าความแข็งและมีค่าพลังงานการกระแทกเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากที่สุด

คำหลัก : การชุบแข็ง ความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก

Abstract

This research studies the hardening of file steel made by Ban Muang Whan knife strike group and hardening process for the better. Because the file knife through forming and hardening of Ban Muang Whan has a hardness of about 50.7 HRC. By lower the file steel Not through a process of forming and hardening knife. It hasa hardness of about 63.5 HRC. And the toughness of Charpy impact test machine the file knife through the process of forming and hardening of Ban Muang Whan, the Impact energy to 96 J/cm^2. Such cause due to the Ban Muang Whan not developed methods in engineering is required.

On the basis of the time in the hardening of Ban Muang Whan. For conditions that make a knife suitable hardness and suitable strength to use in most applications. When the trial concluded that. If the hardened knives in water for 3 seconds and switch on the air for 3 seconds for 6 rounds to make up the hardness and impact energy values suitable to apply to most applications.

Keywords: Hardening, Hardness, Toughness

1. บทนำ

จากการศึกษาการตีมีดของชาวบ้านม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นกลุ่มตีมีดที่มีชื่อเสียงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเบื้องต้น พบว่ามีดตะไบที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและชุบแข็งตามแบบวิถีของชาวบ้านม่วงหวาน โดยที่การชุบแข็งตามแบบวิถีของกลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวานทำโดยการนำเหล็กกล้าที่ผ่านการทำออสเทนไนท์ซึ่งจุ่มลงในน้ำและยกขึ้นมาสัมผัสอากาศ โดยทำสลับกันไปเรื่อย ๆ (interrupted quenching) ตามประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติซึ่งเมื่อนำมีดตะไบที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและชุบแข็งตามแบบวิถีของชาวบ้านม่วงหวานไปทดสอบค่าความแข็งพบว่ามีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่50.7 HRC ซึ่งมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าเหล็กตะไบก่อนที่จะนำไปตีขึ้นรูปและชุบแข็งโดยชาวบ้านม่วงหวาน โดยเหล็กตะไบมีค่าความแข็งประมาณ 63.7 HRC ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดจากการที่ชาวบ้านม่วงหวานไม่ได้รับการพัฒนาวิธีการทางด้านวิศวกรรมและกระบวนการทางความร้อนที่ถูกต้อง

เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการทางความร้อนมีอิทธิพลอย่างมากต่อเหล็กกล้า เนื่องจากช่วยเพิ่ม สมบัติเชิงกล โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพการใช้งาน ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ [1-3]แต่อย่างไรก็ตามการชุบแข็งแบบไม่ต่อเนื่อง(interrupted quenching)เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ โดยวัสดุยังคงมีความแข็งและมีความแกร่ง[4-6]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการทางด้านวิศวกรรมเกี่ยวกับการชุบแข็งที่ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับมีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็ง โดยการนำเหล็กตะไบยี่ห้อTree File ที่เหลือใช้จากการเรียนการสอนวิชาฝึกปฏิบัติมาทำการศึกษา โดยกระบวนการศึกษาเป็นการนำเหล็กตะไบที่ผ่านการเหลือใช้ไปทำการขึ้นรูปเป็นมีดและนำไปทดลองชุบแข็งเพื่อหากระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมเกี่ยวกับเวลาและอุณหภูมิที่จะทำให้สามารถเพิ่มความแข็งให้กับมีดหลังผ่านการชุบแข็งและนำเสนอกระบวนการดังกล่าวให้กับชาวบ้านม่วงหวานเพื่อนำไปพัฒนาและประยุกต์ให้เข้ากับวิถีชาวบ้านม่วงหวานเพื่อให้ได้การตีมีดมีคุณภาพที่สูงขึ้นและสามารถเป็นสินค้าของกลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวานสืบไป

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการศึกษาการพัฒนามีดตะไบที่ผ่านกระบวนการตีขึ้นรูปเหล็กตะไบเป็นมีดตะไบจากบ้านม่วงหวานด้วยกระบวนการอบชุบตามวิถีการชุบแข็งแบบกลุ่มตีมีดชาวบ้านม่วงหวานโดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนากระบวนการชุบแข็งตามวิถีการชุบแข็งแบบกลุ่มตีมีดชาวบ้านม่วงหวาน และทดสอบค่าความแข็งการทนต่อแรงกระแทกและโครงสร้างจุลภาค เพื่อพัฒนามีดตะไบให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น

2.1 ตรวจหาส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กตะไบและมีดตะไบจากบ้านม่วงหวาน

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของเหล็กตะไบและมีดตะไบจากบ้านม่วงหวานเพื่อเป็นการยืนยันเกรดเหล็กในการวิจัยและเป็นการยืนว่าไม่มีส่วนประกอบทางเคมีที่เพิ่มขึ้นหรือสูญเสียไปจากการผลิตตามวิธีการผลิตมีดของชาวบ้านม่วงหวานเพื่อที่จะสามารถออกแบบกระบวนการอบชุบที่เหมาะสมกับวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิการทำออสเทนไนซิ่ง (austenitizing) และสารชุบแข็ง (quenching media) โดยการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีในงานวิจัยนี้ใช้Optical Emission Spectrometer (รุ่น ARL 3460) โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วนำส่วนประกอบทางเคมีไปเปรียบเทียบกับเกรดมาตรฐานของ JIS แสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าส่วนผสมทางเคมีของเหล็กตะไบและมีดตะไบตัวอย่างที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวานมีค่าส่วนประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเหล็กทั้งสองเป็นเหล็กชนิดเดียวกัน นอกจากนี้กระบวนการผลิตมีดตามวิถีของชาวบ้านม่วงหวานไม่เกิดการสูญเสียส่วนประทางเคมีจากการผลิตด้วยวิถีชาวบ้านม่วงหวาน

เมื่อนำส่วนผสมทางเคมีของเหล็กตะไบและมีดตัวอย่างที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวานมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเหล็กเกรด JIS [7]พบว่าเหล็กตะไบและมีดตะไบที่นำมาทดสอบเป็นเหล็กเกรด JIS-SK3

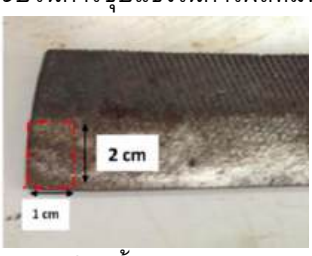
ตารางที่ 1ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กตะไบและมาตรฐาน JIS [7]

ชิ้นงานทดสอบ	wt%						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
ตะไบ	1.18	0.2	0.37	0.01	0.01	0.4	bal.
มีดตะไบจากบ้านม่วงหวาน	1.12	0.23	0.33	0.01	0.01	0.4	bal.
JIS-SK3	1.05 to 1.15	0.15 to 0.35	0.15 to 0.5	0.03 (max)	0.03 (max)	0.3	bal.

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

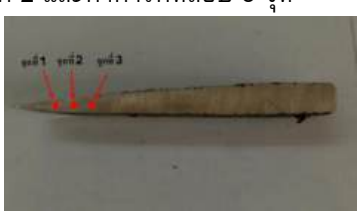
2.2.1 การทดสอบค่าความแข็ง

การทดสอบความแข็งของเหล็กตะไบมีดตะไบที่ผ่านการตีขึ้นและชุบแข็งจากบ้านม่วงหวาน และมีดตะไบในการทดลอง ด้วย Rockwell Hardness Test โดยเลือกเงื่อนไขการทดสอบเป็นหัวกดเพชร และนำหนักกด 1471 นิวตัน โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้งในชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ ในส่วนของมีดตะไบจะทำการตัดในแนวภาคตัดขวางบริเวณคมมีดตามเส้นปะสีแดง แสดงดังรูปที่ 1 ด้วยเครื่องตัดไฟเบอร์แบบหล่อเย็น เพื่อนำไปเป็นชิ้นงานตัดอย่างในการทดสอบค่าความแข็ง เพราะเป็นบริเวณที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งในการผลิตมีด



รูปที่ 1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบค่าความแข็งของมีดตะไบ

ในส่วนของตำแหน่งสำหรับการวัดค่าความแข็งเนื่องจากลักษณะของตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีลักษณะเป็นลิ่มหรือคมมีดดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบตำแหน่งในการทดสอบค่าความแข็ง บริเวณภาคตัดขวางของคมมีด แสดงดังรูปที่ 2 และทำการทดสอบ 3 จุด



รูปที่ 2ตำแหน่งในการทดสอบค่าความแข็งของมีดตะไบ

ตารางที่ 2การทดสอบค่าความแข็งก่อนการทดลอง

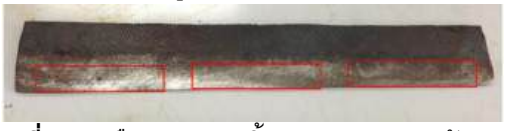
ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRC)	
	เหล็กตะไบ	มีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวาน
1	63.6	48.7
2	64.1	52.8
3	63.4	50.6
ค่าเฉลี่ย	63.7	50.7

การทดสอบค่าความแข็งเบื้องต้นของตัวอย่างเหล็กตะไบและมีดตะไบจากบ้านม่วงหวานแสดงดังตาราง

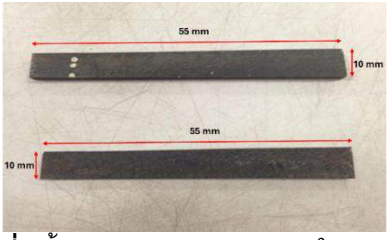
ที่ 2 พบว่า พบว่าค่าความแข็งของเหล็กตะไบมีค่าเฉลี่ย 63.7 HRC ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยมากกว่ามีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งโดยชาวบ้านม่วงหวาน แม้ว่าชิ้นงานทั้งสองที่นำมาทดสอบนี้เป็นเหล็กชนิดเดียวกันแต่มีดตะไบจากบ้านม่วงหวานกลับมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าเหล็กตะไบ 13HRCซึ่งผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการชุบแข็งของชาวบ้านม่วงหวานขาดการนำความองค์ความรู้ทางวิศวกรรมในการผลิตมีดจากเหล็กตะไบ

2.2.2 การทดสอบแรงกระแทก

สำหรับการทดสอบแรงกระแทกทำการทดสอบพลังงานกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบวิธี Charpy Test โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อชิ้นงานทดสอบ (มีดตะไบ) ในส่วนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างใช้เครื่อง EDM Wire Cut เพื่อทำการตัดชิ้นงานทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากข้อจำกัดของรูปร่างชิ้นงาน ดังนั้นในงานวิจัยได้ทำการออกแบบชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงกระแทกแสดงดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3การเลือกตำแหน่งชิ้นงานทดสอบสำหรับงานทดสอบแรงกระแทกของมีดตะไบ



รูปที่ 4ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกในงานวิจัย

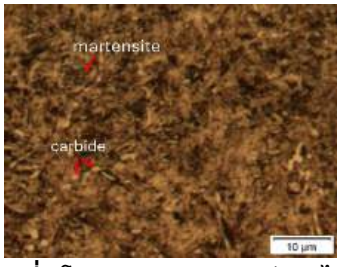
จากรูปที่ 3 ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบจากมีดตะไบ โดยที่มีดตะไบ 1 ชิ้น สามารถเลือกตำแหน่งและสร้างชิ้นงานตัวอย่างทดสอบแรงกระแทกได้3 ชิ้นงานทดสอบ

2.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

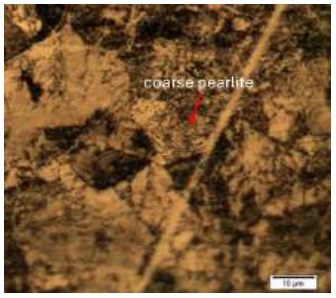
การทดลองโดยการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามแนวตัดขวาง โดยการใช้เครื่องตัดไฟเบอร์หล่อเย็นตัดส่วนบริเวณโคนของเหล็กตะไบและบริเวณคมมีดตะไบ จากนั้นทำการขึ้นเรือนชิ้นส่วนของใบมีดตัวอย่าง แล้วนำไปขัดเพื่อส่องดูโครงสร้าง โดยไล่ระดับความละเอียดของกระดาษทรายจากเบอร์ 320 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ แล้วขัดด้วยผงอลูมิน่าขนาด 1 และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ จากนั้นทำการกัดผิวโลหะด้วยสารละลายไนตรอล แล้วนำไปส่องโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

รูปที่ 5 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นระหว่างเหล็กตะไบและมีดตะไบจากบ้านม่วงหวานแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าเหล็กตะไบมีโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์และมีคาร์ไบด์อยู่ในโครงสร้าง ในส่วนของมีดตะไบจากบ้านม่วงหวานโครงสร้างจุลภาคของมีดประกอบไปด้วยเฟสเพิร์ลไลท์หยาบ และซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการชุบแข็งมีของบ้านม่วงหวานแบบเดิมไม่สามารถทำให้คมมีดมีโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ได้



รูปที่ 6โครงสร้างจุลภาคเหล็กตะไบ

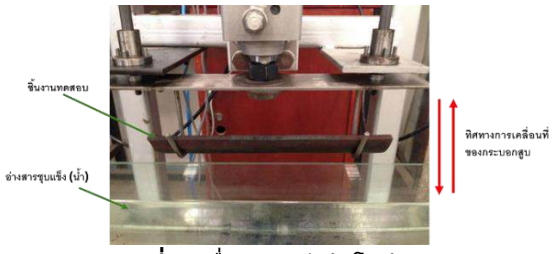


รูปที่ 7โครงสร้างจุลภาคมีดตะไบจากบ้านม่วงหวาน

2.4 การออกแบบกระบวนการทางความร้อน

ในส่วนการทดลองการชุบแข็งจะมุ่งเน้นไปที่

กระบวนการชุบแข็งตามวิถีของกลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวานที่ใช้วิธีการและสารชุบแข็งด้วยน้ำสลับกับอากาศ หรือเรียกว่า interrupted quenchingซึ่งในการทดลองนี้จึงมีความจำเป็นในการควบคุมเวลาในการชุบแข็งให้แม่นยำมาขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องชุบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 8 เพื่อควบคุมเวลาในการชุบแข็งด้วยน้ำสลับกับอากาศได้แม่นยำมากขึ้น โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ เข้าเตาอบชุบพร้อมตั้งอุณหภูมิของเตาไว้ที่ 800 องศาเซลเซียส [8] และทำการเผาแช่ที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลา30 นาทีเพื่อทำให้เป็นออสเตนไนต์สมบูรณ์ หลังจากนั้นใช้คีมจับชิ้นงานออกจากเตาแล้วนำไปเข้าเครื่องชุบแข็งอัตโนมัติทันที ซึ่งเครื่องชุบแข็งจะถูกเขียนโปรแกรมตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้ได้ออกแบบเงื่อนไขการทดสอบไว้ 9 เงื่อนไข แสดงดังตารางที่ 3 โดยที่เครื่องชุบแข็งอัตโนมัติจะทำการยกชิ้นงานขึ้นและลงในแนวตั้งฉากเพื่อชุบแข็งสารชุบน้ำในอ่างน้ำและจุ่มแช่ตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วเครื่องชุบแข็งอัตโนมัติจะยกขึ้นเพื่อชุบแข็งในอากาศตามเวลาที่กำหนด และจะทำสลับกันไปเรื่อยๆ ตามจำนวนรอบที่ได้ออกแบบและกำหนดไว้ในโปรแกรมซึ่งจำนวนรอบในกระบวนการชุบแข็งจะถูกกำหนดไว้ที่ 6 รอบตามวิธีแบบที่กลุ่มตีมีดบ้านม่วงหวาน



รูปที่ 8เครื่องชุบแข็งอัตโนมัติ

ตารางที่ 3เวลาในการชุบแข็งของชิ้นงานทดสอบ(W คือ การชุบแข็งในน้ำ A คือ การชุบแข็งในอากาศ)

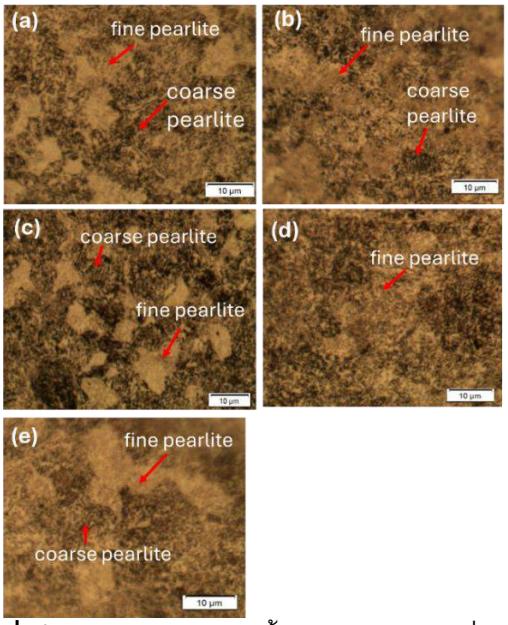
ครั้งที่	เงื่อนไขที่	เวลา (วินาที)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7
2	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7
3	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7
4	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7
5	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7
6	W	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	A	3	5	7	3	5	7	3	5	7

3. ผลการวิจัย

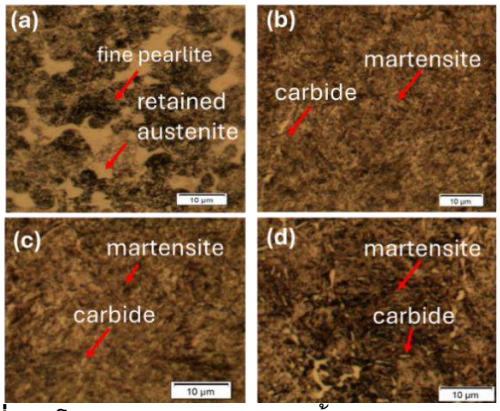
หลังจากทำการชุบแข็งชิ้นงานทั้ง 9 ชิ้นด้วยเครื่องชุบแข็งอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว จากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทดสอบค่าความแข็งและทดสอบแรงกระแทก ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานทดสอบ

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบหลังจากผ่านการชุบแข็งตามเงื่อนไขทดสอบที่ 1 ถึง 5 แสดงดังรูปที่ 9 และ เงื่อนไขทดสอบที่ 6 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขชุบแข็ง (a) เงื่อนไขที่ 1 (b) เงื่อนไขที่ 2 (c) เงื่อนไขที่ 3 d) เงื่อนไขที่ 4และ (e) เงื่อนไขที่ 5



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขชุบแข็ง (a) เงื่อนไขที่ 6 (b) เงื่อนไขที่ 7 (c) เงื่อนไขที่ 8 และ (d) เงื่อนไขที่ 9

จากรูปที่ 9และ 10 เมื่อตรวจสอบเฟสที่ปรากฏและปริมาณเฟส(volume fraction)ด้วยวิธี point counting method[9]พบว่าชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่1 ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์หยาบร้อยละ 65และเพิร์ลไลท์ละเอียดร้อยละ35ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 2ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์หยาบร้อยละ 69 และเพิร์ลไลท์ละเอียดร้อยละ31 ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 3ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์หยาบร้อยละ 82และเพิร์ลไลท์ละเอียดร้อยละ18ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 4ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์ละอัยดร้อยละ 100ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 5ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์หยาบร้อยละ 84 และเพิร์ลไลท์ละเอียดร้อยละ16 ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 6ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสเพิร์ลไลท์ละเอียดร้อยละ 57และออสเทนไนท์ตกค้างร้อยละ 43 ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 7ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นมาร์เทนไซต์ร้อยละ 98 และคาร์ไบด์ร้อยละ 2ชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 8ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นมาร์เทนไซต์ร้อยละ 97 และคารฺไบด์ร้อยละ 3 และสุดท้ายชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 9 ปรากฏโครงสร้างจุลภาคเป็นมาร์เทนไซต์ร้อยละ 95 และคารฺไบด์ร้อยละ 5

จากการตรวจสอบโครงสร้างและปริมาณเฟสที่ปรากฏในโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่มแช่ชุบแข็งในน้ำส่งผลให้ชิ้นงานมีปริมาณมีปริมาณเฟสเพิร์ลไลท์ละเอียดเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมีอัตราการเทความร้อนที่สูงกว่าอากาศส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเทนไนท์เป็นเพิร์ลไลท์ได้รวดเร็วขึ้นทำให้ได้โครงสร้างเป็นเฟสเพิร์ลไลท์ละเอียด แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่มแช่ชุบแข็งในน้ำที่4 วินาที ในชิ้นงานทดสอบเงื่อนไขที่ 7 ถึง 9 ชิ้นงานจะปรากฏโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ เนื่องจากการลดอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็วทำให้คาร์บอนเกินการแพร่ไม่ทันทำให้ชิ้นงานเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ซึ่งโครงสร้างที่พบมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Jumaidin(2019) [10] ที่ได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า SK3 ในสภาวะต่างๆ เช่น การชุบแข็ง การอบอ่อน และการอบคืนไฟ เป็นต้น

3.2ผลการทดสอบค่าความแข็ง

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขทดสอบ

ชิ้นงานที่	ค่าความแข็ง (HRC)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
1	55.5	53.5	52.0	53.5
2	54.5	50.5	53.0	52.6
3	49.5	50.2	49.8	49.8
4	57.1	57.5	57.5	57.3
5	53.5	54.5	53.5	53.8
6	53	56.8	54.6	54.8
7	61.5	60.5	60.1	60.7
8	59.5	57.5	58.2	58.4
9	59.7	58	57.5	58.4

เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบค่าความแข็ง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งสูงสุดคือชิ้นที่ 7ที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 60.74HRC โดยชิ้นงานนี้ใช้เวลาในการเย็นตัวในน้ำ 4 วินาที และในอากาศ 3 วินาที ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการทดสอบที่ใช้เวลาในการชุบแข็งในน้ำนานที่สุดและใช้เวลาในการชุบแข็งในอากาศน้อยที่สุดทำให้ได้โครงสร้างมาเทนไซต์ ซึ่งโครงสร้างมาเทนไซต์เป็นโครงสร้างที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งที่สูง ส่วนชิ้นงานที่มีค่าความแข็งต่ำสุดคือ ชิ้นที่ 3โดยมีค่าความแข็งอยู่ที่ 49.8HRC เนื่องจากเป็นเงื่อนไขที่ใช้เวลาการเย็นตัวในน้ำ 2 วินาที และอากาศ 7 วินาทีที่ใช้เวลาในการชุบแข็งในน้ำน้อยที่สุดและชุบแข็งในอากาศมากที่สุด ส่งผลให้ชิ้นงานมีโครงสร้างจุลภาคส่วนใหญ่

เป็นเฟสเพิร์ลไลท์หยาบทำให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งที่ต่ำ

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการชุบแข็งพบว่าการเพิ่มเวลาในการชุบแข็งในสารชุบน้ำจะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มเวลาในการชุบแข็งในอากาศส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง

3.3ผลการทดสอบแรงกระแทก

ตารางที่ 5ค่าพลังงานกระแทกของชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขทดสอบ(W คือ เวลาชุบแข็งในน้ำ และ A คือ เวลาชุบแข็งบนอากาศ)

ชิ้นงานที่	สภาวะการชุบแข็ง (วินาที)		ค่าพลังงานกระแทก (J/cm²)			
	W	A	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	2	3	92	84	88	88
2	2	5	88	82	88	86
3	2	7	106	120	112	115
4	3	3	76	68	74	73
5	3	5	74	76	75	75
6	3	7	82	74	81	79
7	4	3	20	36	25	27
8	4	5	33	25	34	31
9	4	7	47	37	39	41
มีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวาน			97	96	95	96

จากตารางที่ 5 พบว่าชิ้นงานที่ 7 มีค่าพลังงานกระแทกเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 27 J/cm^{2}ซึ่งชิ้นงานนี้ถูกชุบแข็งในอากาศ 3 วินาที และในน้ำ 4 วินาที เนื่องจากเงื่อนไขการชุบแข็งที่ที่ใช้เวลาชุบแข็งในสารชุบน้ำมากที่สุดที่และใช้เวลาในการชุบแข็งในอากาศน้อยส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้มีโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งเปราะ ส่วนชิ้นงานที่ 3 มีค่าพลังงานกระแทกเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 115 J/cm^{2}ซึ่งชิ้นงานนี้ถูกชุบในอากาศ 7 วินาที และในน้ำ 2 วินาที เนื่องจากเงื่อนไขการชุบแข็งที่ที่ใช้เวลาชุบแข็งในสารชุบน้ำน้อยที่สุดที่และใช้เวลาในการชุบแข็งในอากาศนานที่สุดส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำทำให้คาร์บอนมีเวลาในการแพร่จนกระทั่งมีโครงสร้างเป็นเพิร์ลไลท์หยาบ

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งและค่าพลังงานกระแทกของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งตามเงื่อนไขทั้ง 9 ชิ้น พบว่าชิ้นงานทดสอบส่วนใหญ่มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงกว่ามีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งโดยบ้านม่วงหวาน และมีค่าต้านทานแรงกระแทกที่ต่ำกว่ามีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งโดยบ้านม่วงหวานซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการในการพัฒนาการอบชุบสามารถเพิ่มความแข็งและค่าต้านทานแรงกระได้ดียิ่งขึ้นนอกจากนี้การทดลองการชุบแข็งโดยใช้เงื่อนไขได้แสดงให้เห็นว่าการชุบแข็งสลับสารชุบระหว่างน้ำและอากาศตามเวลาที่กำหนดสามารถส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลได้ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัย Tsuchiyama (2016) [5]ที่แสดงให้เห็นว่าการชุบแข็งแบบไม่ต่อเนื่องส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น

5. สรุป

5.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทั้งหมดพบว่าชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 1ถึง 6 มีโครงสร้างเป็นเพิร์ลไลท์และชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยเงื่อนไขที่ 7 ถึง 9มีโครงสร้างจุลภาคเป็นมาเทนไซต์

5.2 การเพิ่มเวลาการชุบแข็งในน้ำส่งผลให้โครงสร้างเพิร์ลไลท์มีความละเอียดมากขึ้นและส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแต่มีค่าต้านทานแรงกระแทกลดลง แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการชุบแข็งในอากาศส่งผลให้มีปริมาณของโครงสร้างเพิร์ลไลท์หยาบมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งลดลงแต่มีค่าต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

5.3 การเพิ่มเวลาในการชุบแข็งในน้ำเป็น 4 วินาทีส่งผลให้ชิ้นงานมีโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ทั้งหมดแม้ว่าจะเพิ่มเวลาในการชุบแข็งในอากาศ

5.4เมื่อพิจารณาค่าความแข็งค่าพลังงานกระแทกและโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานทั้งหมดมาพิจารณาพบว่าชิ้นงานที่ชุบแข็งตามเงื่อนไขที่4 มีแนวโน้มที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความแข็ง 57.32 HRC ที่มากกว่ามีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวานเอยู่ 7.25 HRC และมีค่าพลังงานกระแทก 73 J/cm^{2}ที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบชิ้นงานทดสอบชิ้นอื่นๆ กับมีดตะไบที่ผ่านการชุบแข็งจากบ้านม่วงหวาน และโครงสร้างทางจุลภาคเป็นเพิร์ลไลท์ละเอียด เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคเป็นเพิร์ลไลท์เป็นโครงสร้างที่มีเฟส2 เฟสผสมกันนั้นคือเฟสซีเมนไตท์ที่มีความแข็งและมีเฟสเฟอร์ไลท์ที่มีความเหนียวทำให้ได้คุณสมบัติที่มีความแข็งแรงที่เหมาะกับการนำไปใช้เป็นมีดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงาน วิจัยสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A.K. Bijan. and A. Mollaahmadi. 2017. “Rapid tempering of martensitic stainless steel AISI420: microstructure, mechanical and corrosion properties”. Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 26, (2017), pp.1626-1633.

[2] Isfahany, A.N., Saghafian, H. and Borhani, G., 2011. “The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel”. Journal of alloys and compounds, Vol. 509, No.9, (2011), pp.3931-3936.

[3] García de Andrés, C., Alvarez, L.F., López, V. and Jiménez, J.A., “ Effects of carbide-forming elements on the response to thermal treatment of the X45Cr13 martensitic stainless steel”, Journal of materials science, Vol. 33,(1998), pp.4095-4100.

[4] Sahoo, J.R., Aparna, T., and Sumeet, M., "Low temperature interrupted quenching improves formability without compromising natural ageing stability and paint-bake strength of an Al-Mg-Si alloy." Materials Science and Engineering: A 880 (2023): 145320.

[5]Tsuchiyama, T., Taishi I., Junya T., Daichi A., and Setsuo Takaki. "Microstructure and mechanical properties of a medium manganese steel treated with interrupted quenching and intercritical annealing." Scripta Materialia 122 (2016): 36-39.

[6] Nalcaci, B., Omer, C. A., Salih, Y., and Volkan, K. "Effect of interrupted quenching on the microstructure, mechanical properties and dislocation density of steel AISI 4340." Metal Science and Heat Treatment (2023), pp.1-10.

[7] Klar, E., and Prasan K.S. Powder metallurgy stainless steels: processing, microstructures, and properties. ASM international, 2007.

[8] Unterweiser, Paul M., Howard E. Boyer, and James J. Kubbs, eds. Heat treater's guide: standard practices and procedures for steel. ASM International (OH), 1982.

[9] ASTM E562-19 2019 Standard Test Method for Deter-mining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count. (ASTM International)

[10] Jumaidin, R., Iffa M.J., Rafidah, H., Muhammad I. H.C.A., Mohamed, S.F.H., Alia, R.A., Abdul, R. S., and Febrian, I. "Effect of cooling medium and tempering on microstructures and hardness of sk3 high carbon steel." Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Vol.63, No. 2 (2019), pp.199-209.

การศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิต สำหรับการใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม

A study of Mechanical and Thermal Properties of Louver Panel Product Plastic Composite for Architectural Applications

บุษบา การุณสิต[1] ไกรสุข บุญประดิษฐ์[1] ปฏิภาณ นิลเพ็ชร[2*] และไชยภัฒนก์ รัมมะรัตน์[3]
[1] สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3] บริษัท ยูจิ้น ประเทศไทย จำกัด
E-mail: Patiparn.n@en.rmutt.ac.th*
Budsaba Karoonsit[1] Kraisuk Boonpradit[1] Patiparn Ninpetch[2*] and Chaiyapat Rammarat[3]
[1] Science and Technology Research Institute
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[3] U-JIN (Thailand) co.,ltd.
E-mail: Patiparn.n@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

วัสดุพลาสติกคอมโพสิต (Plastic Composite, PC) เป็นหนึ่งในประเภทของวัสดุที่ได้รับความนิยมในการการผลิตเป็นแผ่นลูฟเวอร์ เพื่อนำไปใช้งานด้านสถาปัตยกรรม ตกแต่ง เพิ่มความสวยงามให้แก่อาคารทั้งภายในและภายนอก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงและความทนทานสูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาสมบัติทางวัสดุของแผ่นบานเกล็ดที่ผลิตจากวัสดุไม้พลาสติดคอมโพสิตจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับงานด้านสถาปัตยกรรม ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาและทดสอบสมบัติเชิงกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิต โดยอาศัยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษานี้ พบว่าวัสดุ PC I มีค่าความแข็ง ค่าต้านทานแรงดึง และระยะยืดตัวสูงสุดที่ 56 Shore D 13.08 MPa และ ร้อยละ 2.14 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงและความเหนียวที่ดี และวัสดุ PC I ยังมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและการโค้งงอได้ดีกว่าวัสดุ PC II และPC III ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและการโค้งงอที่ต่ำกว่า ในการทดสอบอุณหภูมิการแอ่นตัวพบว่าวัสดุ PC I PC II และPC III มีอุณหภูมิการแอ่นตัวที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางความร้อนและค่าพลังงานในการสลายพันธะของวัสดุ PC I PC II และPC III มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ผลลัพธ์จากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิตมีคุณภาพสูง ตอบสนองทั้งด้านความสวยงามและความคงทนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วัสดุพลาสติกคอมโพสิต ผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน

Abstract

Plastic Composite (PC) is a material extensively utilized in the production of louver panels for architectural and decorative purposes. It enhances the aesthetics of both interior and exterior buildings due to its lightweight, strength, durability, and environmental friendliness. Therefore, studying the material properties of louver panels made from PC is essential to select the most suitable and efficient material for architectural applications. This research focuses on investigating and testing the mechanical and thermal properties of louver panel product plastic composites using testing methods according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) standards. The results revealed that PC I has the highest hardness, tensile strength, and elongation of 56 Shore D, 13.08 MPa, and 2.14%, respectively, indicating good strength and toughness. PC I also demonstrated better impact resistance and bending resistance than PC II and PC III, which exhibited lower impact resistance and flexural strength. In the deflection temperature test, the testing results indicated that PC I, PC II, and PC III manifested slight differences in deflection temperature, but no significant differences were observed. Moreover, the thermal analysis showed that thermal properties and bond dissociation energy values of the materials PC I, PC II, and PC III exhibit no significant differences. The findings from this study can provide guidelines for the development of high-quality louver panels that effectively meet both aesthetic and durability requirements.

Keywords: Plastic Composite, Louver Panel Product, Mechanical Property, Thermal Property

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเฉือน พฤติกรรมการแตกหักและการก่อตัวของชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างอะลูมิเนียมผสมกับเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ

A Study on the Influence of Resistance Spot Welding Parameters on Tensile Shear Strength, Fracture Behavior, and Intermetallic Compound Formation in Dissimilar Joints of Aluminum Alloy and Low-Carbon Alloy Steel

ศราวุธ จันทร์กลาง[1] วรชัย มั่นศิลป์[2] คทาวุธ อรรคษร[3] วิชัย บุญโก่ง[4] เกียรติศักดิ์ สมนึก[4] ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[5] ศักดิ์ดา วงศ์อัจญริน[6] และ ประจักร จัตกุล[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

[2]แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออก

[3]แผนกวิชาช่างเชื่อมและเทคนิคโลหะ วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3

[4]แผนกวิชาช่างเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5

[5]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[6]ภาควิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคใต้ 3

Sarawut Junklang[1] Worachai Mansilp[2] Katawoot Akkasorn[3] Vichai Boonkong[4] Kiatisak Somnuek[4] Teerawut Khuenkaew[5] Sakda Wongadyarin[6] and Prajak Jattakul[1*]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus

[2]Department of Welding, Chanthaburi Technical College, Institute of Vocational Education: Eastern Region

[3]Department of Welding & Metal Technology Division, Khonkaen Technical College, Institute of Vocational Education: Northeastern Region 3

[4]Department of Production Technology, Surin Technical College, Institute of Vocational Education: Eastern Northeastern Region 5

[5]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

[6]Department of Electronics Technology, Hatyai Technical College, Institute of Vocational Education: Southern Region 3

E-mail: prajak_ja@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเฉือน พฤติกรรมการแตกหักและการก่อตัวของผลึกระหว่างอะลูมิเนียมผสม 5052 กับเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ SPFH 780 โดยใช้เงื่อนไขที่เป็น เวลาในการปล่อยกระแสขาขึ้นและเวลาในการปล่อยกระแสขาลง 0 และ 15 Cycle โดยควบคุมแรงกดของอิเล็กโทรดเป็น 0.075 MPa และ 0.150 MPa จากผลการศึกษา พบว่าเงื่อนไขที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนบริเวณรอยต่อของชิ้นงานสูงสุดคือ เวลาในการปล่อยกระแสขาขึ้นที่ 15 Cycle เวลาในการปล่อยกระแสขาลงที่ 0 Cycle และแรงกดของอิเล็กโทรด 0.075 MPa สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหักพบว่าชิ้นงานที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนสูงสุดปรากฏพฤติกรรมการแตกหักแบบเหนียว (Ductile) และมีการก่อตัวขึ้นของชั้นสารประกอบเชิงโลหะของเฟส $Al_{0.95}Mg_{0.05}$, $(Al_{0.5}Cr_{0.5})Fe$, $Cr_{0.03}Fe_{0.97}$ และ $Fe_{2.99}(Al_{0.441}Si_{0.559})$

คำหลัก เวลาในการปล่อยกระแสขาขึ้น, เวลาในการปล่อยกระแสขาลง, แรงกดของอิเล็กโทรด, ความต้านทานแรงดึงเฉือน, การเชื่อมความต้านทานแบบจุด, พฤติกรรมการแตกหัก, ชั้นสารประกอบเชิงโลหะ,

Abstract

This study aims to investigate the influence of resistance spot welding parameters on the tensile shear strength, fracture behavior, and crystal formation between 5052 aluminum alloy and SPFH 780 low-carbon alloy steel. The welding parameters included an upslope and downslope current time of 0 and 15 cycles, respectively, with electrode forces controlled at 0.075 MPa and 0.150 MPa. The results revealed that the condition yielding the highest tensile shear strength at the joint was an upslope current time of 15 cycles, a downslope current time of 0 cycles, and an electrode force of 0.075 MPa. Fracture behavior analysis indicated that the joint exhibiting the highest tensile shear strength demonstrated ductile fracture characteristics. Additionally, phase formation analysis revealed the presence of intermetallic compounds, including $Al_{0.95}Mg_{0.05}$, $(Al_{0.5}Cr_{0.5})Fe$, $Cr_{0.03}Fe_{0.97}$ และ $Fe_{2.99}(Al_{0.441}Si_{0.559})$

Keywords: Up slope, Down slope, Electrode force, Tensile shear force, Resistance spot weld, Fracture Behavior, Intermetallic Compound

Effect of Solution Parameters During Electrospinning Process on Morphological Features of PVP Nanofibrous Membranes

Attapol Chaiyara[1,2] Seksan Phonsuwan[1,2] Konkrai Nakowong[1] Phonsilp Ubali[1] Kanchana Sotho[3] and Apiwat Dankeaw[1,2*]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI), Sakon Nakhon 47160, Thailand

[2] Advanced Materials Science and Engineering, and Management (AMSEM) Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI), Sakon Nakhon 47160, Thailand

[3] School of Molecular Science and Engineering (MSE), Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology (VISTEC), Rayong 21210, Thailand

E-mail: apiwat.dn@rmuti.ac.th*

Abstract

Nanofibers composed of polymers, ceramics, carbons, and hybrid materials fabricated through electrospinning have garnered considerable scientific interest due to their broad spectrum of potential applications. Polyvinylpyrrolidone (PVP) has been predominantly employed as a functional additive in nanofiber composites and as a polymer binder in the synthesis of architectured carbon and ceramic nanofibers via electrospinning techniques. Therefore, elucidating the influence of electrospinning process parameters on the properties of the resultant nanofibrous structures is of paramount importance. In this study, the impact of solution parameters on the morphological characteristics and physical dimensions of electrospun PVP nanofibers was systematically investigated, with findings subjected to comprehensive analysis and discussion. Enhancing the understanding of how solution parameters modulate the morphology of PVP-based nanofibers is anticipated to facilitate the optimized fabrication of nanofibrous mats, leveraging PVP as a binder and/or structural component.

Keywords: Polyvinylpyrrolidone, Nanofibers, Electrospinning, Solution parameters, Morphology

Acknowledgments: This research was supported by Rajamangala University of Technology (Income budget) with Contract No. SKC2568INC008.

การเปรียบเทียบรูปแบบการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ตามข้อกำหนด ASTM E8

Comparison of Specimen Preparation Methods for Tensile Testing of SS400 Steel Based on ASTM E8 Requirements

ปิยะพงษ์ ค้ำคูณ[1] สมชาย วนไทยสงค์[2] และ จักรพันธุ์ ชาระ[3*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตความแม่นยำสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตความแม่นยำสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Piyapong Kumkoon[1] Somchai Wonthaisong[2] and Jakkapan Chara[3*]
[1] High Precision Manufacturing Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep.
[2] Industrial Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep.
[3] High Precision Manufacturing Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep.
E-mail: Jakkapan.c@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมผิวชิ้นงานที่แตกต่างกันต่อค่าผลการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM E8 โดยมุ่งเปรียบเทียบค่าความเค้นคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และค่าการยืดตัว (Elongation) ที่ได้จากกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน 4 รูปแบบ ได้แก่ การตัดด้วยเลเซอร์ที่ไม่มีการเจียรผิว (Laser + No Grinding), การตัดด้วยเลเซอร์ร่วมกับการเจียรผิว (Laser + Grinding), การตัดด้วยไวร์คัทที่ไม่มีการเจียรผิว (Wire Cut + No Grinding) และการตัดด้วยไวร์คัทร่วมกับการเจียรผิว (Wire Cut + Grinding) การทดลองดำเนินการโดยเตรียมชิ้นงานจากเหล็กกล้า SS400 ตามมาตรฐาน ASTM E8 และทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น TM-038 พร้อมบันทึกข้อมูลผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ผลการวิจัยพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วย Wire Cut ร่วมกับการเจียรผิว ให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด (ประมาณ 45.35 kN/mm²) ขณะที่กลุ่มที่ใช้การตัดด้วยเลเซอร์โดยไม่มีการเจียรผิวให้ค่าต่ำที่สุด (ประมาณ 42.35 kN/mm²) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า วิธีการตัดและการเจียรผิวมีผลต่อสมรรถนะทางกลของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดแบบ Wire Cut ซึ่งก่อให้เกิดความเค้นตกค้างต่ำ และการเจียรผิวที่ช่วยลดความหยาบและตำหนิของขอบชิ้นงาน ส่งผลให้การกระจายแรงภายในชิ้นงานมีความสม่ำเสมอมากขึ้น งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกกระบวนการเตรียมผิว

ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดสอบแรงดึง และสนับสนุนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม

คำหลัก ทดสอบแรงดึง, การเตรียมผิวชิ้นงาน, หล็กกล้าคาร์บอนต่ำ, ไวคัท, เลเซอร์คัต, การเจียรไนผิว

Abstract

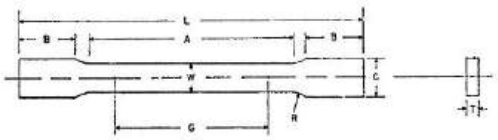
This research aims to investigate the effects of different specimen surface preparation methods on the tensile test results of SS400 steel based on ASTM E8 standards. The study focuses on comparing Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, and Elongation values obtained from four surface preparation techniques: laser cutting without grinding (Laser + No Grinding), laser cutting with grinding (Laser + Grinding), wire cut without grinding (Wire Cut + No Grinding), and wire cut with grinding (Wire Cut + Grinding).The experiment was conducted using SS400 steel specimens prepared in accordance with ASTM E8 standards. Tensile testing was performed using a Universal Testing Machine (Model TM-038), and data was recorded via computer systems. The results showed that specimens prepared using wire cut and grinding provided the highest tensile strength (approximately 45.35 kN/mm²), while the lowest value was found in specimens prepared by laser cutting without grinding (approximately 42.35 kN/mm²).The analysis indicated that both the cutting method and surface grinding significantly affect the mechanical performance of the material. Wire cutting, which generates minimal heat-affected zones and residual stresses, combined with surface grinding, which reduces surface roughness and imperfections, led to better stress distribution across the specimens. This study can be applied to selecting appropriate surface preparation methods to enhance the accuracy of tensile testing and support quality control in industrial production processes.

Keywords: Tensile Testing, Surface Preparation, Low Carbon Steel, Wire EDM, Laser Cutting, Surface Grinding,

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้ประเมินความสามารถของวัสดุในการรับแรงภายใต้การยืดออก วัสดุเหล็กกล้า SS400 เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น โครงสร้างอาคาร ชิ้นส่วนเครื่องจักร และงานเชื่อมต่อทั่วไป เนื่องจากมีสมบัติด้านความแข็งแรง เหนียว และต้นทุนที่เหมาะสม

มาตรฐาน ASTM E8 เป็นมาตรฐานสากลที่ใช้กำหนดขั้นตอนและวิธีการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงของวัสดุโลหะ โดยครอบคลุมถึงรูปทรง ขนาดผิวงาน และสภาพพื้นผิวของชิ้นทดสอบ อย่างไรก็ตาม การเตรียมชิ้นงานที่ต่างกัน แม้อยู่ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน อาจส่งผลให้ค่าทางกลที่ได้จากการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เช่น การเลือกใช้วิธีตัด การเจียร การกลึง หรือการขัดผิว ล้วนมีผลต่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานและค่าที่วัดได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของวิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงภายใต้ข้อกำหนดของ ASTM E8 เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าทางกลที่วัดได้มีความแม่นยำ สอดคล้องกับคุณสมบัติแท้จริงของวัสดุ และสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบหรือควบคุมคุณภาพได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 1 ตัวอย่างแบบงานตามมาตรฐาน ASTM E8 [1]

2.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างกันต่อค่าผลการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400

เพื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นคราก (Yield Strength), ความเค้นสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และความยืด (Elongation) ของเหล็ก SS400 ที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานแต่ละรูปแบบ

เพื่อประเมินความเหมาะสมของแต่ละรูปแบบการเตรียมชิ้นงานตามข้อกำหนด ASTM E8 สำหรับการนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพวัสดุในงานอุตสาหกรรม

เพื่อเสนอแนวทางหรือข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้รูปแบบการเตรียมชิ้นงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการเปรียบเทียบรูปแบบการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ตามข้อกำหนด ASTM E8

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นการทดสอบวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถระบุพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงดึงได้อย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปใช้ในการออกแบบ การควบคุมคุณภาพและการวิจัยวัสดุใหม่ ๆ สมบัติเชิงกลของวัสดุ (Mechanical Properties of Materials) สมบัติเชิงกลเป็นลักษณะที่แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกกระทำด้วยแรงทางกล ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่: ความเค้นคราก (Yield Strength): จุดที่วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวร หากแรงที่กระทำมากกว่าจุดนี้ วัสดุจะไม่สามารถคืนตัวได้เหมือนเดิม ความเค้นสูงสุด แรงดึงสูงสุดที่วัสดุรับได้ก่อนจะเริ่มขาด ความยืด วัสดุที่สามารถยืดได้มากก่อนขาด จะมีคุณสมบัติเหนียว (Ductile) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในงานโครงสร้าง มอดูลัสของยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) แสดงถึงความแข็งของวัสดุในการยืดตัวในช่วงที่ยังไม่เสียรูปถาวร หลักการของการทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดึงจะยึดชิ้นงานไว้ที่หัวจับของเครื่องทดสอบ จากนั้นใช้แรงดึงในแนวแกนเดียวกันจนวัสดุขาด การแปลผลมักใช้กราฟแรง-ระยะยืด หรือความเค้น-ความเครียด ซึ่งสามารถระบุพฤติกรรมของวัสดุได้อย่างชัดเจน โดยใช้มาตรฐาน ASTM E8/E8M

มาตรฐาน ASTM E8 (สำหรับหน่วยอิมพีเรียล) และ ASTM E8M (สำหรับหน่วยเมตริก) เป็นมาตรฐานหลักที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงโลหะ โดยเนื้อหาครอบคลุมถึง ขนาดของชิ้นงาน รูปร่าง เช่น แบบกลมหรือแบบแผ่น ความยาวช่วงวัด (Gage Length) วิธีการเตรียมขอบและผิวชิ้นงาน ความเร็วในการทดสอบ การยึดถือมาตรฐานนี้ช่วยให้ผลการทดสอบสามารถเปรียบเทียบกันได้ในระดับสากล ลักษณะของเหล็ก SS400 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผลิตตามมาตรฐาน JIS G3101 จากประเทศญี่ปุ่น มีคุณสมบัติเด่นคือ แปรรูปได้ง่าย เช่น การตัด พับ เชื่อม มีค่าความแข็งแรงระดับกลาง (Yield ~245 MPa, UTS ~400–510 MPa โดยประมาณ) ราคาถูกและหาง่าย จึงนิยมใช้ในการก่อสร้าง งานโครงเหล็ก และโครงสร้างทั่วไป อิทธิพลของวิธีการเตรียมชิ้นงาน แม้ว่าการทดสอบแรงดึงจะถูกควบคุมอย่างแม่นยำด้วยเครื่องมือ แต่การเตรียมชิ้นงานก็มีผลต่อความน่าเชื่อถือของผลทดสอบเป็นอย่างมาก เช่น ผิวหน้าหยาบหรือมีรอย: อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าว ทำให้ค่าความเค้นที่วัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริงรูปทรงคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน: ส่งผลให้เครื่องจับยึดไม่แน่น หรือกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ กระบวนการตัด: เช่น การใช้พลาสม่า, เลเซอร์, เครื่องกลึง หรือ CNC แต่ละแบบมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ และอาจทำให้เกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stress) การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างกันจึงมีความสำคัญ เพื่อเลือกวิธีที่ให้ผลแม่นยำและเหมาะสมที่สุด

4.วิธีการวิจัย

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นวิธีพื้นฐานที่สำคัญในการประเมินสมบัติเชิงกลของโลหะ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเหล็กที่ใช้วัสดุอย่าง SS400 อย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเหล็ก SS400 ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างกัน ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM E8 เพื่อศึกษาว่าวิธีใดให้ผลการทดสอบที่เสถียรและน่าเชื่อถือที่สุด

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดชิ้นงาน ลักษณะผิว และรูปร่างที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดรูปแบบการเตรียมชิ้นงาน 2 วิธี การตัดด้วยเลเซอร์ (Laser cutting) และ การตัดด้วย

ไวร์คัท (Wire Cut) พร้อมผลิตชิ้นงานแต่ละแบบให้ได้มาตรฐานเดียวกัน จากนั้นนำชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกนำไปปรับผิวด้วยกระบวนการเจียระไนราบ (Surface Grinder) ชิ้นงานทั้งหมดถูกนำไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อวัดค่า ค่าความเค้นคราก (Yield Strength), ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาด (Elongation) เป็นสมบัติเชิงกลสำคัญของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงและความสามารถในการยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึง โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลด้วยสถิติพื้นฐาน เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างที่เกิดจากวิธีการเตรียมชิ้นงาน ผลการศึกษานี้จะช่วยให้สามารถเลือกวิธีการเตรียมชิ้นงานที่เหมาะสมในการทดสอบแรงดึง ทั้งในด้านความแม่นยำและความคุ้มค่าในการใช้งานจริง โดยเฉพาะสำหรับการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตหรือการทดสอบในงานวิศวกรรม

4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

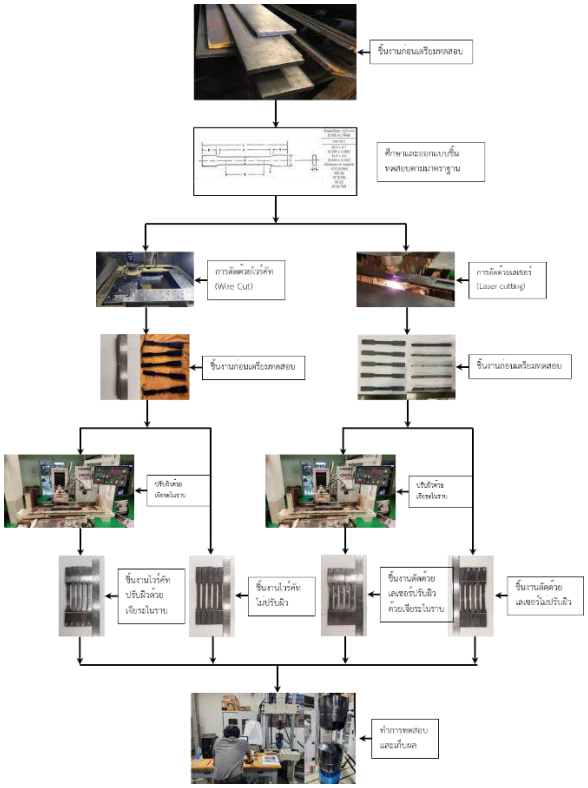
ในการศึกษานี้ การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อความถูกต้องและความเที่ยงตรงของผลการทดลอง โดยใช้เหล็กกล้า SS400 เป็นวัสดุในการทดสอบ และทำการเตรียมชิ้นงานในรูปแบบที่แตกต่างกันตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM E8 โดยมีขั้นตอนหลักในการเตรียมดังนี้:

1. การเลือกวัสดุ

เลือกใช้เหล็กกล้า SS400 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลและองค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน JIS G3101 โดยเลือกจากวัสดุแผ่นหรือเพลากลมที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงาน

รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบงานตามมาตรฐาน ASTM E8 [5]

2. การเตรียมชิ้นงานแบ่งออกออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้ การตัดด้วยไวร์คัท และมีการปรับผิวด้วยเครื่องเจียรไนราบ เริ่มต้นจากการศึกษารูปแบบและขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน เลือกตัดชิ้นงานด้วยเครื่องไวร์คัท จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาเจียระไนผิวเพื่อปรับปรุงความเรียบและทำให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ผลลัพธ์คือ “ชิ้นงานไวร์คัทปรับผิวด้วยเครื่องเจียรไนราบ” การตัดด้วยไวร์ โดยไม่ปรับผิวกระบวนการเริ่มเหมือนแบบที่ 1 แต่ ไม่มีขั้นตอนเจียรผิวเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบผลกระทบของการปรับผิวต่อผลการทดสอบ ผลลัพธ์คือ “ชิ้นงานไวร์คัท ไม่ปรับผิว” การตัดด้วยเลเซอร์ และปรับผิวด้วยเครื่องเจียรไนราบ ตัดชิ้นงานด้วยเลเซอร์ จากนั้นนำมาเจียรผิวให้เรียบตามขนาดมาตรฐาน ผลลัพธ์คือ “ชิ้นงานตัดด้วยเลเซอร์ ปรับผิวด้วยเครื่องเจียรไนราบ” การตัดด้วยเลเซอร์ โดยไม่ปรับผิว ตัดชิ้นงานด้วยเลเซอร์เช่นเดียวกับแบบที่ 3 แต่ ไม่มีขั้นตอนเจียรผิว ใช้เปรียบเทียบผลจากกระบวนการที่ไม่มีการเตรียมผิวเพิ่มเติม ผลลัพธ์คือ “ชิ้นงานตัดด้วยเลเซอร์ ไม่ปรับผิว” ดังแสดงใน รูปที่ 3 แผนผังกระบวนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3 แผนผังกระบวนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ

4.2 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

นำชิ้นงานแต่ละรูปแบบที่เตรียมไว้เข้าสู่กระบวนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง เพื่อประเมินสมบัติเชิงกลของวัสดุอย่างละเอียด ในระหว่างการทดสอบจะมีการบันทึกข้อมูลสำคัญต่าง ๆ เช่น ค่าความแข็งแรงของวัสดุ แรงดึงสูงสุด การเสียรูปของชิ้นงาน และพฤติกรรมของวัสดุเมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำ การทดสอบ

รูปที่ 4 Universal Testing Machine รุ่น TM-038

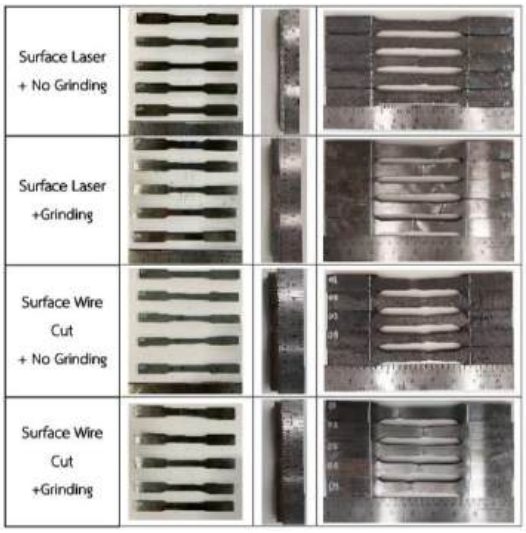
รูปที่ 4 แสดงให้เห็นเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้สำหรับประเมินสมบัติเชิงกลของวัสดุอย่างละเอียด เช่น ค่าความแข็งแรง แรงดึงสูงสุด และพฤติกรรมของวัสดุเมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำ โดยในระหว่างการทดสอบ จะมีการเก็บข้อมูลสำคัญผ่านซอฟต์แวร์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบแบบเรียลไทม์ เช่น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการยืดตัวของชิ้นงาน

รูปที่ 5 แสดงการจับยึดชิ้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเครื่องมีการติดตั้งชิ้นงานไว้ระหว่างหัวจับทั้งด้านบนและล่าง และมีคอมพิวเตอร์ควบคุมพร้อมหน้าจอแสดงผลที่ช่วยให้ผู้ทดสอบสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาและงานวิจัย.

5. ผลการวิจัย

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 และมีการเก็บข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลตามข้อกำหนดของ ASTM E8 นั้น สามารถอธิบายผลการวิจัยจากการเปรียบเทียบรูปแบบการเตรียมชิ้นงานได้ดังนี้



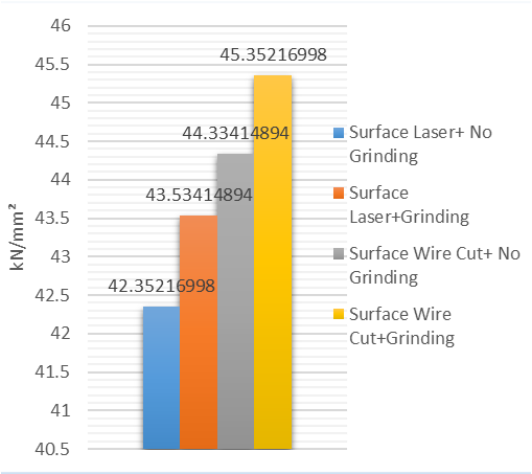
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ที่เตรียมโดยใช้กระบวนการต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ซึ่งเป็นการจับคู่ระหว่าง วิธีการตัด (Laser / Wire Cut) กับ การเจียรผิวหรือไม่เจียรผิว (Grinding / No Grinding) และแสดงชิ้นงานก่อนและหลังทดสอบแรงดึง

รูปที่ 7 วิเคราะห์ลักษณะการแตกหัก

จากรูปที่ 7 วิเคราะห์ลักษณะการแตกหัก รูป ก (Laser + No Grinding) รอยแตกไม่สม่ำเสมอ และเริ่มแตกจากขอบชิ้นงาน บ่งบอกถึงความเค้น (stress) ที่กระจุกตัวบริเวณขอบเป็นผลจากขอบที่ยังคม หยาบ และอาจมีการสะสมความร้อนจากเลเซอร์โดยมีการเจียรขอบลดผลกระทบ รูป ข (Laser + Grinding) รอยแตกยังเกิดจากด้านข้าง แต่แนว

แตกเริ่มสม่ำเสมอขึ้นการเจียรช่วยลดจุดอ่อนจากขอบคมได้บางส่วน รูป ค (Wire Cut+ No Grinding) แนวแตกค่อนข้างตรงและกลางชิ้นงานมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าการตัดด้วย ไวตัดมีผลดีต่อการลดผลกระทบจากความร้อน แต่ยังไม่มีการเจียรจึงอาจยังมีความไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย รูป ง (Wire Cut+ Grinding) แนวแตกสม่ำเสมอที่สุด และเกิดตรงกลางชิ้นงานเป็นรอยแตกแบบ ที่ดี แสดงถึงการกระจายแรงได้เหมาะสม เป็นกลุ่มที่มีการเตรียมผิวดีที่สุดตัดด้วย ไวคัต + เจียรผิว)



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการรับแรง

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (รุ่น TM-038) และวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ASTM E8 พบว่า วิธีการเตรียมผิวของชิ้นงานมีผลโดยตรงต่อค่าการรับแรงดึงของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการตัดและการเจียรผิว โดยแบ่งกลุ่มชิ้นงานออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ Surface Laser, Cut + No Grinding, Surface Laser Cut + Grinding, Surface Wire Cut + No Grinding, Surface Wire Cut + Grinding ผลการทดสอบจาก รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Wire Cut ร่วมกับการเจียรผิว มีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 45.35 kN/mm² รองลงมาคือกลุ่ม Wire Cut โดยไม่เจียรผิว ที่ 44.33 kN/mm² ขณะที่กลุ่มที่ใช้การตัดด้วยเลเซอร์ โดยไม่มีการเจียรผิว ให้ค่าการรับแรงดึงต่ำที่สุดที่ 42.35 kN/mm²

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมผิวชิ้นงานต่อสมบัติทางกลของเหล็ก SS400 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านกำลังรับแรงดึง พบว่า วิธีการเตรียมผิวมีผลโดยตรงต่อค่าการรับแรงดึงของชิ้นงาน โดยกลุ่มชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Wire Cut ร่วมกับการเจียรผิว (Surface Wire Cut + Grinding) ให้ค่าการรับแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเตรียมผิวต่างกัน ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับหลักการด้านวัสดุศาสตร์ที่ว่า การตัดแบบ ไวคัต มีผลกระทบทางความร้อนต่ำ ไม่ก่อให้เกิดความเค้นตกค้างหรือจุดอ่อนบริเวณขอบชิ้นงาน ในขณะที่ การตัดด้วยเลเซอร์ มักส่งผลให้เกิดบริเวณที่ได้รับความร้อนสูงและอาจมีความแข็งเปราะจากโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ การ เจียรผิว (Grinding) ช่วยลดความหยาบของขอบชิ้นงาน และลดตำหนิหรือรอยบาดที่อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าว ทำให้สมรรถนะของชิ้นงานในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาร่วมกับ ภาพลักษณะการแตกหัก (รูปที่ 7) พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้เจียรผิวมักเกิดการแตกร้าวจากขอบชิ้นงาน ขณะที่กลุ่มที่เจียรผิวมีแนวแตกที่เกิดบริเวณกลางชิ้นงาน แสดงถึงการกระจายแรงที่สมดุลและเป็นการแตกลักษณะ Ductile ซึ่งเป็นการแตกแบบเหนียวที่ต้องการในการใช้งานทางวิศวกรรม ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและควบคุมกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำและความแข็งแรงของชิ้นงานสูง เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ โครงสร้างเหล็ก หรือแม่พิมพ์โลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมาะสมต่อการใช้งาน และช่วยลดปัญหาความล้าหรือการแตกร้าวในระยะยาว นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังเป็นแนวทางที่ดีในการวางเกณฑ์มาตรฐานการเตรียมผิวของชิ้นงานก่อนการทดสอบทางกล รวมถึงสามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอนาคตที่ต้องการศึกษาผลของกระบวนการตัดเฉือนหรือปรับปรุงพื้นผิวอื่น ๆ ต่อคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย

7. สรุป

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (รุ่น TM-038) และวิเคราะห์

ผลตามมาตรฐาน ASTM E8 พบว่า วิธีการเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบมีผลต่อค่าการรับแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ โดยชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วย Wire Cut และผ่านการเจียรผิว (Surface Wire Cut + Grinding) ให้ค่าการรับแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการเตรียมผิวที่ช่วยลดผลกระทบจากความเค้นตกค้างและความหยาบผิว ในทางตรงกันข้าม ชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วย Laser โดยไม่มีการเจียรผิว (Surface Laser + No Grinding) ให้ค่าการรับแรงดึงต่ำที่สุด สะท้อนถึงผลกระทบจากความร้อนและความไม่สม่ำเสมอของผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดด้วยเลเซอร์ ดังนั้น การเลือกกระบวนการเตรียมผิวที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของชิ้นงาน ทั้งในด้านความแข็งแรง การกระจายแรง และอายุการใช้งานในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมที่ต้องการความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของวัสดุ จากผลการทดสอบ พบว่า กลุ่มที่ใช้ Wire Cut ร่วมกับการเจียรผิวให้ค่าการรับแรงดึงสูงที่สุดที่ประมาณ 45.35 kN/mm² ขณะที่กลุ่มที่ใช้ Laser Cut โดยไม่มีการเจียรผิว ให้ค่าน้อยที่สุดที่ประมาณ 42.35 kN/mm² ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกระบวนการเตรียมผิวแต่ละแบบ การเปรียบเทียบเชิงลึกชี้ให้เห็นว่า การตัดด้วย Wire Cut มีข้อได้เปรียบเหนือ Laser Cut เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดความร้อนต่ำ ลดโอกาสในการเกิดโครงสร้างเปราะหรือความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ที่อาจส่งผลให้ชิ้นงานแตกร้าวได้ง่าย นอกจากนี้ การ เจียรผิวยังช่วยปรับปรุงความเรียบ ลดรอยคม และกำจัดตำหนิที่อาจกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวได้ ผลการสังเกตจากลักษณะการแตกหักของชิ้นงานหลังการทดสอบแรงดึง พบว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการเจียรผิวมักเกิดการแตกร้าวจากขอบชิ้นงาน ขณะที่กลุ่มที่มีการเจียรผิว โดยเฉพาะในกลุ่ม Wire Cut + Grinding มีลักษณะการแตกหักที่สม่ำเสมอและเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการแตกลักษณะ Ductile ที่สามารถรับแรงได้ดีและยืดตัวก่อนขาด

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การเปรียบเทียบรูปแบบการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงของเหล็ก SS400 ตามข้อกำหนด ASTM E8” ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์และการสนับสนุนจากหลายภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอแสดงความขอบพระคุณอย่างสูงมายัง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลอง ตลอดจนให้คำแนะนำด้านวิชาการอย่างต่อเนื่อง ขอขอบพระคุณ อาจารย์จักรพันธุ์ ชาระ ที่อุทิศเวลาในการใช้เครื่องทดสอบ และวางแนวทางการวิจัย วิเคราะห์ผล และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาในงานวิจัยฉบับนี้อย่างละเอียดรอบคอบ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเพื่อนนักศึกษาที่มีส่วนร่วมในการเตรียมชิ้นงาน ทดลอง และเก็บข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมชาย วนไทยสงค์ ที่เป็นแรงผลักดันและกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วยความเคารพอย่างสูง

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials ข้อมูลจาก https://www.galvanizeit.com/uploads/ASTM-E-8-yr-13.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2568)

[2] วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึงของโลหะ ASTM E8 / E8M ข้อมูลจาก https://www.laboratuar-.com/th/testler/metal-test-laboratuvari/astm-e8 - e8 m-metalik-malzemelerin-cekme-testi-icin-standart-test-yontemleri (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มีนาคม 2568)

[3] เฉลิมพล คล้ายนิล และพงศกร หลีตระกูล. (2562). อิทธิพลของศูนย์รวมความเค้นและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 26, หน้า 158–168.

[4] สมชาย ประยงค์พันธ์ และกฤษณะ จันทรโชติ. (2560). การศึกษาปริมาณการยืดตัวของเหล็กเสริมจากการทดสอบกำลังรับแรงดึง. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, หน้า 457–469.

[5] เหล็กแบนขนาด 9 มม.ข้อมูลจาก https://www.vudhichai.com/product//เหล็ก/เหล็กแบน/254 (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 มีนาคม 2568)

[6] Totten, G. E. (2006). Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. CRC Press.

[7] ASTM International. (2013). ASTM E8/E8M-13a – Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International.

[8] สมเกียรติ ชัยพานิชย์กุล. (2559). วัสดุวิศวกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9]มานะ ชัยวุฒิ. (2555). การทดสอบวัสดุและการแปลผล. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[10] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. (2563). ข้อมูลคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า SS400. เข้าถึงจาก: https://www.isit.or.th/ (วันที่สืบค้น 14 มีนาคม 2568)

[11] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.

[12] Zhang, Y., & Zhang, D. (2020). Effect of surface finish on mechanical properties and fatigue life of metallic components: A review. Journal of Materials Processing Technology, 283, 116706.

[13] Wang, J., Liu, Y., & Zhou, H. (2017). Influence of wire electrical discharge machining on surface integrity and fatigue performance of tool steels. Procedia CIRP, 60, 211–216.

การวิเคราะห์ความเค้นในแผ่นเกราะอะลูมิเนียมอัลลอยที่มีหน้าสัมผัสหลายชั้น ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Finite Element Analysis of Stress in a Multilayer Contact Aluminum Alloy Armor Plate

ศศิกานต์ สุวรรณประทีป[1] ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี[2] ประกอบ ชาติภุกต์[3] พิเชษฐ์ บุญญาลัย[4] อัครเวช ศุภาคม[5] และ แจ๊ค ชุ่มอินทร์[6]*

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[3, 4] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[5, 6] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Sasikan Suwanprateep[1] Natchanun Angsuseranee[2] Prakorb Chartpuk[3] Pichest Boonyalai[4] Akrawech Subhakom[5] and Jack Chumin[6]*

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture

[2] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture

[1, 2] Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[3, 4] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

[5, 6] Department of Tools and Die Engineering, Faculty of Engineering

[3, 4, 5, 6] Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

*E-mail: jack.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

เกราะกันกระสุนด้วยวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอยนิยมนำมาใช้เป็นเกราะกันกระสุนสำหรับรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กติดเกราะที่มีขีดความสามารถในการต้านทานการเจาะของกระสุน 7.62x51 มิลลิเมตร ที่มีความเร็วของกระสุน 850 เมตรต่อวินาที บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนแผ่นเกราะอะลูมิเนียมอัลลอยที่ซ้อนกันหลายชั้นด้วยตัวแปรที่ต้องปรับเปลี่ยนคือลักษณะของหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นที่ซ้อนกันแต่ละแผ่น ประกอบด้วยหน้าสัมผัสแบบเชื่อมติด หน้าสัมผัสแบบไม่มีแรงเสียดทาน และหน้าสัมผัสแบบมีแรงเสียดทาน และมีตัวแปรคงที่ประกอบด้วย ความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร แผ่นเกราะมีจำนวน 6 แผ่น และไม่มีช่องว่างระหว่างแผ่น ทำจากวัสดุ 7075 T6 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปแบบ Explicit Dynamics ได้รับการพิสูจน์ด้วยวิธีการทดลองตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ 3 โดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ รูปแบบความเสียหาย และระดับความลึกของการเจาะทะลุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นสามารถเป็นตัวแทนของการทดสอบการยิงกระสุนจริงได้ ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหน้าสัมผัสแบบไม่มีแรงเสียดทาน และหน้าสัมผัสแบบมีแรงเสียดทาน ให้ผลการต้านทานการเจาะทะลุดีกว่าแบบหน้าสัมผัสเชื่อมติด สำหรับหน้าสัมผัสแบบไม่มีแรงเสียดทาน และหน้าสัมผัสแบบมีแรงเสียดทาน

ให้ผลการต้านทานการเจาะทะลุที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ความเค้นสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงความเร็วระหว่างการเจาะทะลุยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

คำหลัก: เกราะกันกระสุน, อะลูมิเนียมอัลลอย, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Aluminum alloy armor is widely used in lightweight armored vehicles due to its ability to withstand the penetration of 7.62×51 mm bullets traveling at a velocity of 850 meters per second. This study presents an analysis of the maximum stress occurring in multilayered aluminum alloy armor plates. The primary variable examined is the type of contact interface between stacked plates, including bonded contact, frictionless contact, and frictional contact. Constant parameters in the study include a plate thickness of 10 mm, a total of six stacked layers with no air gaps, and material specification of 7075-T6 aluminum alloy. A finite element model using the Explicit Dynamics approach was developed and validated against experimental testing based on NIJ Level III standards. Validation criteria included bullet hole diameter, damage patterns, and penetration depth. The results confirm that the developed finite element model can effectively represent actual ballistic impact scenarios. Among the contact types, both frictionless and frictional interfaces demonstrated better ballistic resistance than bonded contact. However, no significant difference was observed between the frictionless and frictional models in terms of penetration resistance, maximum stress, or velocity changes during the impact process.

Keywords: Ballistic Armor, Aluminum Alloy, Finite Element Method

1. บทนำ

มีการศึกษาและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเพื่อเข้าใจพฤติกรรมและกลไกการเสียหายของวัสดุต่างๆ เช่น โลหะ เซรามิก และวัสดุผสม โดยเน้นไปที่การปรับปรุงวัสดุเกราะให้สามารถต้านทานแรงกระแทกจากกระสุนได้ อย่างไรก็ตาม ในระยะแรกของการวิจัย การทดสอบจริงมักประสบปัญหาด้านความพร้อมของวัสดุและข้อจำกัดด้านต้นทุน รวมถึงต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากล ดังนั้น การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) จึงเป็นทางเลือกสำคัญในการศึกษากลไกการพังทลายของวัสดุก่อนลงมือทดสอบจริง โดยสามารถจำลองสถานการณ์รุนแรงหรือเสี่ยงอันตรายได้อย่างปลอดภัย และให้ผลการคำนวณที่รวดเร็ว พร้อมข้อมูลเชิงลึกที่อาจไม่สามารถได้จากการทดสอบจริงเสมอไป

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุเกราะแบบแผ่นตันที่มีความหนาต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS เพื่อจำลองการยิงกระสุนเจาะเกราะขนาด 7.62 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 830 เมตรต่อวินาที ไปยังเกราะเหล็กที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 °C และ 650 °C รวมถึงอะลูมิเนียมอัลลอย Al 7017 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเกราะเหล็กที่อบที่ 200 °C มีความสามารถในการหยุดกระสุนได้ดีกว่าแบบอื่นๆ โดยพิจารณาจากการเสียรูปของแผ่นเกราะด้านหลัง การกระจายตัวของแรงกระแทก และความเร็วกระสุนที่ส่งผลต่อการเสียรูป [1] มีการศึกษาผลกระทบของกระสุนที่ยิงใส่แผ่นอะลูมิเนียมอัลลอยซึ่งถูกยึดไว้ทุกด้าน โดยใช้การจำลองด้วยวิธี Finite Element ผ่านโปรแกรม Ansys Workbench เพื่อวิเคราะห์ผลของมุมกระแทกและความหนาของแผ่นเป้าหมาย การจำลองใช้ความเร็วกระสุน 830 เมตรต่อวินาที เปลี่ยนจากการทะลุเป็นการสะท้อนกลับ และในการศึกษาความหนาของแผ่น พบว่าตั้งแต่ความหนา 18 มิลลิเมตร ขึ้นไป กระสุนไม่สามารถเจาะทะลุได้ทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของมุมกระแทก

และความหนากับประสิทธิภาพในการต้านทานกระสุนของวัสดุ [2] และพบว่าศึกษาการยิงกระสุน NATO ball และ APM2 ใส่แผ่นอะลูมิเนียมหนา 20 มิลลิเมตร โดยใช้ทั้งการทดลองจริงและการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ที่ความเร็วกระสุน 830 เมตรต่อวินาที และใช้เลเซอร์วัดความเร็วก่อนและหลังชน พบว่าที่มุมกระแทกวิกฤตน้อยกว่า 60° การเจาะเปลี่ยนจากทะลุเป็นฝังตัว [3]

นอกจากนี้งานวิจัย [4] พบว่าอะลูมิเนียมอัลลอยเป็นทางเลือกที่ดีในการแทนเหล็กเกราะ เนื่องจากมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง งานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาสมรรถนะของอะลูมิเนียมอัลลอย โดยเน้นที่ค่าความเสียหาย (Damage Factor), ขีดจำกัดบอลิสติก (Ballistic Limit) และความเร็วคงเหลือของกระสุนหลังเจาะแผ่นเป้า โดยใช้แบบจำลอง Johnson-Cook fracture และ Recht-Ipson กับวัสดุ AA6061-T6 และ AA7075-T6 จุดประสงค์หลักคือการหาค่าความเสียหาย การทดสอบเริ่มจากแผ่นตันหนา 18 มิลลิเมตร โดยยิงด้วยกระสุนเจาะเกราะขนาด 7.62 มิลลิเมตร ความเร็ว 500 เมตรต่อวินาที จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นเกราะแบบหลายชั้นที่มีความหนาชั้นละ 3 มิลลิเมตร และงานวิจัย [5] ได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ขั้นสูงในการจำลองการชนของกระสุนเจาะเกราะขนาด 14.5 มิลลิเมตร สองนัดกับแผ่นเกราะเสริมหลายชั้น ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิเนียมอัลลอย แผ่นกระเบื้องอลูมินา ผ้าอะรามิด ไฟเบอร์ UHMWPE และแผ่นเหล็ก โดยมีแผ่นเหล็กหนา 8 มิลลิเมตร วางห่างจากแผ่นเกราะเสริม 2 เซนติเมตร การทดลองจริงดำเนินในสนามยิงพร้อมการวัดความเร็วกระสุนด้วยโครโนกราฟ ผลการทดลองพบว่า กระสุนลูกแรกสามารถเจาะทะลุแผ่นตรวจจับได้ ส่วนกระสุนลูกที่สองทำให้แผ่นเสียรูปเท่านั้น แบบจำลองสามมิติของกระสุนและแผ่นเกราะถูกสร้างขึ้นในโปรแกรม LS-DYNA เพื่อใช้ในการจำลอง โดยมีการทดสอบแรงดึงและแรงอัด รวมถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของความแข็งแรงและพฤติกรรมการพังทลายของวัสดุ ผลลัพธ์จากการจำลองด้วยแบบจำลอง Finite Element มีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง โดยเฉพาะในแง่ของมุมเอียง (yaw angle) ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ พบว่ามีการใช้วิธีไฟไนเอลิเมนต์และการทดลองศึกษาความเสียหายของแผ่นเกราะอะลูมิเนียมสองชนิดคือ 5083-H116 และ 7075 T6 ตามมาตรฐาน NIJ 3 โดยใช้โปรแกรม Ansys ด้วยการวิเคราะห์ในรูปแบบ Explicit Dynamics กระสุนทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ขนาด 7.62x51มิลลิเมตร ซึ่งมีโมเดลการเสียหายของวัสดุเป็น Johnson-Holmquist Failure Model (JH-1, JH-2) และกำหนดให้วัสดุ 5083-H116 มีรูปแบบเสียหายของวัสดุเป็นแบบ Johnson-Cook Strength และวัสดุ 7075 T6 มีโมเดลวัสดุเป็นไปตาม Steinberg-Guinan Strength พบว่ากรณีแผ่นเกราะแบบดั้งเดิมจากวัสดุ AL-7075 และ 5083-H116 ที่หนา 40 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับสามารถต้านทานการเจาะทะลุได้ ดังนั้นจึงทำการลดความหนาลงมาเป็น 10 มิลลิเมตร แต่มีหลายแผ่น และมีระยะห่าง พบว่ายังไม่พบความแตกต่างในกรณีที่มีหลายแผ่นและมีระยะห่างอย่างมีนัยสำคัญ [6] และมีการศึกษาผลของร่องด้านข้าง (side groove) ต่อการเกิดขอบเฉือน (Shear lips) ของอะลูมิเนียมอัลลอย Al6061 โดยใช้การจำลองการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy ภายใต้สัดส่วนความลึกร่องด้านข้างที่ต่างกันผ่านโปรแกรม Abaqus ผลการศึกษาพบว่า เมื่อสัดส่วนความลึกร่องเพิ่มขึ้น อัตราการเกิด Shear lips ลดลง พลังงานที่ดูดซับได้และแรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักก็ลดลงเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มความลึกร่องด้านข้างจะทำให้ความเหนียวของ Al6061 ลดลง [7]

นอกจากนี้ยังพบว่าความแข็งและความแข็งแรงของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความลึกของการเจาะทะลุ โดยความลึกดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นหากความเร็วของกระสุนสูงขึ้น [8]-[10] จากข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า รัศมีความเร็ว มุม ชนิดของกระสุน ความหนา ความแข็ง และความแข็งแรงของวัสดุเป้าหมาย ล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระแทกจากกระสุน ซึ่งการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว บทความนี้จึงได้ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้สร้างไว้แล้ว [11]-[12] ซึ่งผ่านการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แล้ว มาทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาการเกิดความเค้นและระยะแอ่นตัวของแผ่นเกราะอะลูมิเนียมอัลลอยหลายชั้นเพิ่มขึ้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย Ansys Explicit Dynamics ถูกเลือกนำมาใช้วิเคราะห์ความเสียหายของแผ่นเกราะที่เกิดขึ้นในรูปแบบ Nonlinear และมีการเคลื่อนที่ของวัตถุ (กระสุน) ด้วยความเร็วสูง จึงต้องใช้วิธีการรวมเวลาที่ใช้ในการจำลองไดนามิกเมื่อความเร็วเป็นสิ่งสำคัญ

2.1 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.1.1 การเตรียมก่อนการวิเคราะห์ เริ่มต้นจากการสร้างโมเดลจำลองแผ่นเกราะซ้อนที่มีขนาด 300x300 มิลลิเมตร มีความหนา 10 มิลลิเมตร นำมาวางเรียงซ้อนกันโดยแต่ละแผ่นแยกจากกันในลักษณะ Multibody (ไม่ติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน) และสร้างโมเดลกระสุน 7.62x51 มิลลิเมตร ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 8 ชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถแบ่งเอลิเมนต์ได้อย่างเหมาะสม กำหนดเงื่อนไขขอบเขต ความเร็วของกระสุนที่วิ่งเข้าหาแผ่นเกราะด้วยความเร็ว 850 เมตร/วินาที กำหนดการจับยึดที่ขอบด้านข้างของแผ่นเกราะ ซึ่งมีพื้นผิวจำนวน 24 พื้นผิวเป็นแบบยึดแน่น (Fixed) กำหนดหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นเกราะที่ติดกันเป็นแบบไม่มีความเสียดทาน (Frictionless) หรือมีความเสียดทาน (Friction) หรือติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน (Bonded) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการวิเคราะห์ที่กำหนดขึ้น โมเดลวัสดุประกอบด้วย โมเดล Johnson-Holmquist Failure Model (JH-1, JH-2) และ Steinberg-Guinan Strength เป็นต้น

2.1.2 การวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ที่เลือกใช้ระบบวิเคราะห์แบบ Explicit Dynamic เป็นขั้นตอนการทำงานที่ใช้เวลานานที่สุดในกระบวนการจำลอง

2.1.3 การแสดงผล เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์ ค่าที่แสดงจะเป็นค่าที่โหนด ประกอบด้วย ความเค้น ความเครียด และการเสียรูป

2.2 สมมติฐานในการวิเคราะห์

สมมติฐานของวัสดุที่ใช้สำหรับกระสุน แผ่นเกราะวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 7075 T6 กำหนดให้เป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และมีสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทุกทาง (Isotropic Materials) ความเสียหายที่เกิดขึ้นพิจารณาตั้งแต่ช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นไปจนถึงช่วงพลาสติก ความเสียหายที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่มีอัตราความเครียดสูง

2.3 ทฤษฎีและสมบัติของวัสดุ

ในหัวข้อ 2.3 นี้ทั้งหมดเป็นส่วนของทฤษฎีและสมการต่างๆ ที่อ้างอิงมาจากบทความต่างๆ ประกอบด้วยบทความ [6], [11], [12], [13], [14], [15], [16] และ [17] และมีรายละเอียดดังนี้

หัวกระสุนเจาะเกราะทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide bullet) ที่มีส่วนของหัวกระสุนอยู่ภายในปลอกทองเหลืองซึ่งทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ จึงเรียกตามขนาดคือ 7.62 mm จากบทความของ H.M. Wen et al. [18] และ M.J.Forrestal et al. [19] จะไม่สร้างโมเดลในส่วนของปลอกหุ้มทองเหลืองของกระสุนปืนเพราะไม่มีผลกระทบต่อการเจาะ ดังนั้นบทความจึงไม่ทำส่วนโมเดลปลอกทองเหลืองเช่นกัน ในการจำลองทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ใช้รูปแบบความเสียหายของ Johnson-Holmquist Failure Model (JH-1, JH-2) ที่มีความเสียหายเมื่อแบบจำลองวัสดุที่เปราะภายใต้แรงดันหรือแรงอัดสูงและมีอัตราความเครียดสูง

กำหนดให้ σ คือความเค้นคราก (Yield Stress) ดังสมการที่ (1)

$$\sigma = \left(A\left(P^* + T^*\right)^N (1+D) + B.\left(P^*\right)^M D\right)\left(1 + C\ln\dot{\varepsilon}^*\right) \quad (1)$$

โดยที่ $T^* = \dfrac{T}{T_{HEL}}$ และ $P^* = \dfrac{P}{P_{HEL}}$

เมื่อ *A, B, C, M, N* เป็นค่าคงที่ของวัสดุ (Materials Constant) ความดันปกติ คือ $P^* = P / P_{HEL}$ ให้ *P* คือค่า Normalized stresses และตัวแปร P_{HEL} คือค่าความดันไฮโดรสแตติกที่ *HEL* (Hugoniot Elastic Limit) แรงดึงสูงสุดที่ปรับให้เป็นมาตรฐานคือ $T^* = T / T_{HEL}$ ให้ *T* เป็นค่า Normalized tensile hydrostatic pressure $\dot{\varepsilon}^* = \dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}_0$ คือ อัตราความเครียดไร้มิติ โดยที่ $\dot{\varepsilon}$ คืออัตราความเครียดที่เทียบเท่าจริง และ $\dot{\varepsilon}_0 = 1\ s^{-1}$ [6], [11], [12], [20] จากสมการที่ (1) กรณีความแข็งแรงตามปกติไม่เสียหาย (The normalized intact strength) จะได้ดังสมการที่ (2) แต่สำหรับกรณีความแข็งแรงตามปกติเสียหาย (The

normalized fracture strength) สมการที่ (1) จะได้เป็นสมการที่ (3) ดังนี้

$$\sigma_i^* = A\left(P^* + T^*\right)^N .\left(1 + C\ln\dot{\varepsilon}^*\right) \quad (2)$$

$$\sigma_f^* = B(P^*)^M .\left(1 + C\ln\dot{\varepsilon}^*\right) \le SFMAX \quad (3)$$

โดยค่าสมบัติของวัสดุและพารามิเตอร์สำหรับแผ่นอะลูมิเนียมอัลลอย 7075 T6 แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สำหรับกระสุน 7.62x51 มิลลิเมตร เป็นวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) ที่ใช้ในการจำลองแสดงในตารางที่ 3 สำหรับความสัมพันธ์ของความเค้นคราก (Yield stress) และความเครียดแบบคงรูป (Plastic strain) สำหรับ AA 7075 T6 แสดงดังรูปที่ 1 [6], [11], [12]

ตารางที่ 1 Chemical composition of 7075 T6 [21]

Chemical composition wt%	7075 T6
Si	Max 0.4
Al	87.1-91.4
Fe	Max 0.5
Cu	1.2-2.0
Mn	Max 0.3
Mg	2.1-2.9
Cr	0.18-0.28
Zn	5.1-6.1
Ti	Max 0.2
Other	Max 0.05

ตารางที่ 2 Properties of AA 7075 T6 [16]

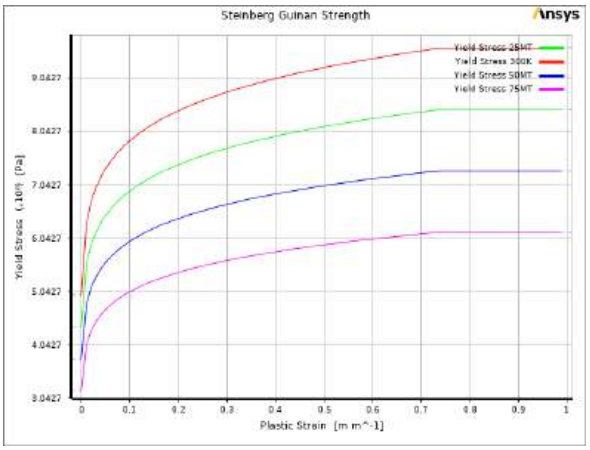
Properties	AA 7075 T6
Density (ρ, g/cm^3)	2804
Specific heat (J/kg °C)	848
Steinberg-Guinan Strength	
Initial yield stress (Y, MPa)	420
Max. yield stress (Ymax, MPa)	810
Shear modulus (GPa)	26.7
Hardening constant (B)	965
Hardening exponent (n)	0.1
Derivative (dG/dP, G'P)	1.74
Derivative (dG/dT, G'T), MPa/°C	-16.4
Derivative (dY/dP, Y'P)	0.02738
Melting temperature (T_{melt}, °C)	946.85
EOS	
Gruneisen coefficient	2.2
Parameter (C1, m/s)	5200
Parameter (S1)	1.36
Parameter quadratic (S2)	0

ตารางที่ 3 Properties and parameter JH of tungsten carbide (Bullet) [13], [16]

Properties	Tungsten carbide
Density (ρ, g/cm^3)	14.56
Young's modulus (E, GPa)	539
Poisson ratio (υ)	0.23
Bulk modulus (GPa)	332
Shear modulus (GPa)	219
Tensile yield strength (GPa)	3.85
Compressive yield strength (GPa)	4.53
Johnson-Holmquist Strength (Continuous JH-2)	
Damage type	Gradual (JH2)
Hugoniot Elastic Limit (HEL, GPa)	656
Intact strength constant (A)	0.9899
Intact strength exponent (n)	0.0322
Strain rate constant (C)	0
Fracture strength constant (B)	0.67
Fracture strength exponent (m)	0.0322
Maximum fracture strength ratio	1000
Damage constant (D1)	1
Damage constant (D2)	0
Hydrodynamic tensile limit (GPa)	-4

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของอลูมิเนียมอัลลอยด์ AA 7075 T6 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมที่หลากหลาย โลหะผสมอลูมิเนียมนี้มีปริมาณอลูมิเนียมอยู่ที่ 87–91% และส่วนประกอบของโลหะผสมประกอบด้วยทองแดง สังกะสี แมงกานีส แมกนีเซียม และ ซิลิกอน เป็นต้น AA 7075-T6 มีอัตราส่วนความแข็งแรงของน้ำหนักที่ดีเป็นอะลูมิเนียมที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียม มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ต้านทานการกัดกร่อนสูง เมื่อนำมาใช้เป็นเกราะป้องกันกระสุนจะส่งผลให้มี

ขีดความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุได้ รูปที่ 1 คือ ความสัมพันธ์ของ Yield stress และ Plastic strain ตามกฎของ Steinberg-Guinan Strength ที่กำหนดให้เป็นวัสดุยืดหยุ่นเข้าสู่สภาวะพลาสติกที่มีการอ่อนตัวจากความร้อนเมื่อวัสดุเข้าใกล้จุดหลอมเหลว ความแข็งแรงและโมดูลัสแรงเฉือนจะลดลงเหลือศูนย์ เพื่อใช้คำนวณในโปรแกรม Ansys Explicit Dynamic

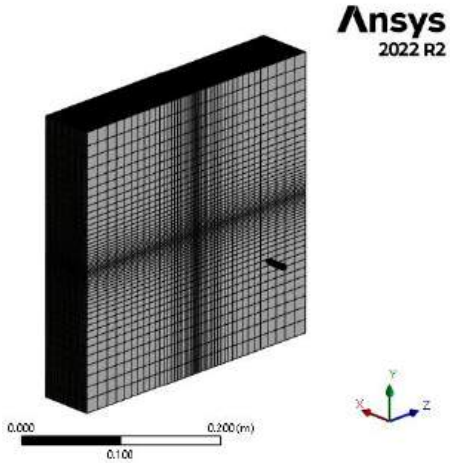


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง yield stress และ plastic strain ของ Steinberg-Guinan Strength สำหรับวัสดุ 7075 T6 [17]

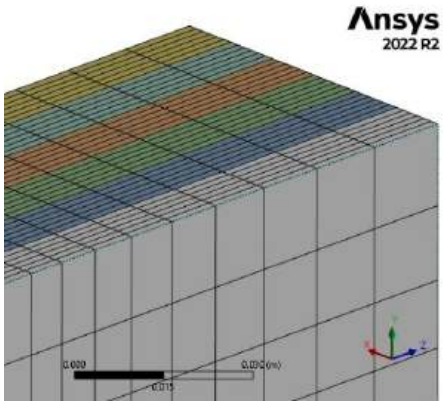
2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองสามมิติของแผ่นเกราะกันกระสุนและกระสุนถูกสร้างขึ้นด้วยรูปแบบโมเดลหลายชิ้นส่วน (Multibody) สำหรับกระสุนแบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนของปลายหัวที่มีลักษณะเป็นรูปกรวย และส่วนลำตัวทรงกระบอก ทำการแบ่งหัวและลำตัวกระสุนออกเป็นสี่ส่วน จึงรวมจำนวนชิ้นกระสุนได้ทั้งหมด 8 ชิ้น เพื่อให้สามารถทำการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์ได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของกระสุนที่ถูกแบ่งจะถูกกำหนดให้มีหน้าสัมผัสแบบเนื้อเดียวกัน (Bonded) อีกครั้งในขั้นตอนการกำหนดหน้าสัมผัส สำหรับแผ่นเกราะกันกระสุนถูกกำหนดให้มีขนาด 300x300 มิลลิเมตร ที่ค่าความหนา 10 มิลลิเมตร ในกรณีที่แผ่นเกราะมีพื้นที่ผิวติดกันจะถูกกำหนดให้มี Contact เป็นแบบ Frictionless หรือ Bonded ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาเป็นรายกรณีศึกษา การกำหนดจุดจับยึด จะกำหนดให้พื้นที่ผิวด้านข้างแผ่นเกราะเป็นแบบยึดแน่น (Fixed) ทั้งหมด กำหนดความเร็วของกระสุนเท่ากับ 850 เมตรต่อวินาที (ตามมาตรฐาน NIJ 3) มีทิศทางไปตามแกน x (ดูรูปที่ 2 ก) สำหรับค่าความเร็วในแผนวแกน y และ z ให้กำหนดเป็นศูนย์ โดยแผ่นแรกที่กระสุนวิ่งเข้าปะทะจะถูกกำหนดให้เป็นแผ่นเกราะแผ่นที่ 1 เสมอ ในการกำหนดวัสดุจะต้องเลือกใช้วัสดุในกลุ่ม Explicit Materials โดยมีสมบัติของวัสดุตามตารางที่ 1-3

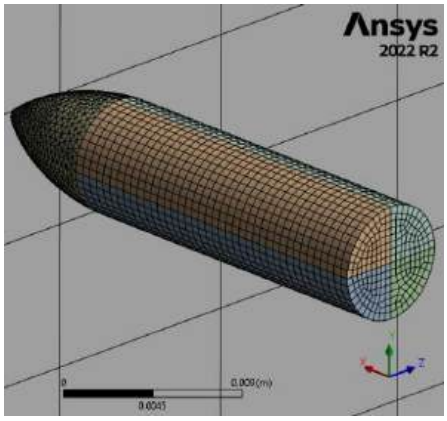
กำหนดชนิดของเอลิเมนต์โดยส่วนหัวกระสุนที่เป็นรูปทรงกรวยให้กำหนดเอลิเมนต์เป็นชนิดเตตระฮีดรอล (Tetrahedral type) มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.0004 เมตร และสำหรับแผ่นเกราะกันกระสุนและลำตัวกระสุนที่เป็นทรงกระบอกให้กำหนดเอลิเมนต์เป็นแบบเฮกซะฮีดรอล (Hexahedral type) มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.0006 เมตร และ 0.0005 เมตร ตามลำดับ จุดที่มีความสำคัญต่อผลของการวิเคราะห์คือจะต้องทำการสร้างรูปแบบการแบ่งเอลิเมนต์หรือควบคุมขนาดเอลิเมนต์ให้มีความเหมาะสมโดยเน้นไปที่พื้นที่ที่กระสุนจะวิ่งเข้าปะทะกับแผ่นเกราะ ดังนั้นให้ทำการกำหนดให้เอลิเมนต์เกิดการลดขนาดของเอลิเมนต์จากขอบทุกด้านเข้าไปยังจุดกึ่งกลางแผ่นเกราะด้วยการกำหนดค่า



ก) ผลลัพธ์การควบคุมขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม



ข) ผลลัพธ์การควบคุมจำนวนชั้นของเอลิเมนต์ตลอดความหนาแผ่นเกราะเท่ากับ 6 ชั้น



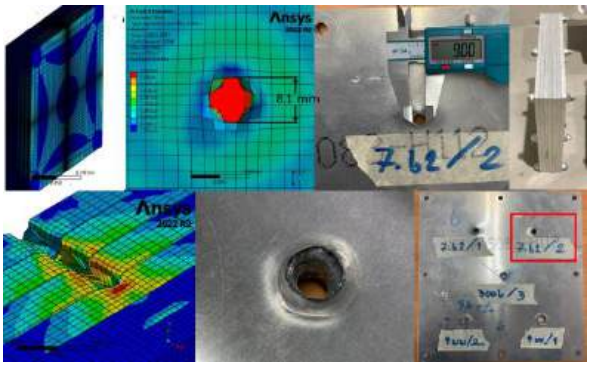
ค) ผลลัพธ์การแบ่งเอลิเมนต์ที่กระสุนส่วนหัวและลำตัว

รูปที่ 2 การควบคุมการแบ่งเอลิเมนต์ที่แผ่นเกราะและกระสุน

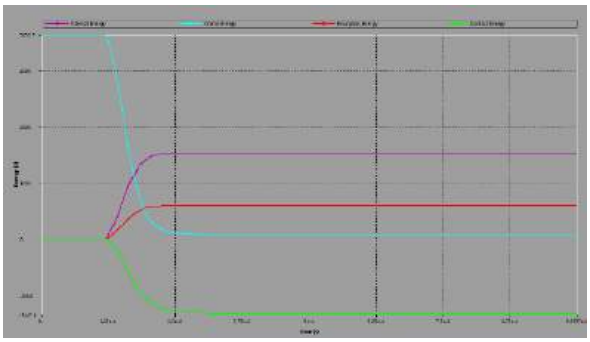
Bias type เป็นแบบขอบด้านข้างหยาบและลู่เข้าละเอียดที่กึ่งกลาง กำหนด Bias factor เท่ากับ 12 แสดงผลการควบคุมการแบ่งเอลิเมนต์ดังรูปที่ 3 ก) จากนั้นกำหนดให้เกิดการเรียงเอลิเมนต์ในแต่ละแผ่นออกเป็น 6 ชั้นด้วยการกำหนด Sizing และเลือกมุมขอบ (ขอบด้านความหนา) เช่น ถ้าแผ่นเกราะมี 6 แผ่น จะต้องเลือกขอบความหนาจำนวน 6 ขอบ และกำหนดค่า Number of divisions เท่ากับ 6 โดยจะส่งผลให้แผ่นเกราะ 6 แผ่นมีเอลิเมนต์รวมเท่ากับ 93,636 เอลิเมนต์ และจำนวนโหนด 113,568 โหนด กระสุนมีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 19,567 เอลิเมนต์ และมีจำนวนโหนดมากกว่า 15,510 โหนด รวมมีเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 113,203 เอลิเมนต์ และมีโหนดรวม 129,078 โหนด ทำการกำหนด Analysis setting โดยกำหนดให้ End time เท่ากับ 0.001 ค่า Maximum number of cycles เท่ากับ $1x10^7$ กำหนดค่า Output control ในส่วนของ Result number of point เท่ากับ 100 กำหนดการแสดงผลเป็นค่า Equivalent Stress (Von-Mises) [11], [12]

3. ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

ไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลได้รับการพิสูจน์จากวิทยานิพนธ์เรื่อง “การวิเคราะห์ความเค้นและการเสียรูปของแผ่นเกราะโลหะแบบเรียงซ้อนกันโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์” ของ มัลลิกา เดชสุภา [22] ซึ่งได้นำเสนอการสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลแผ่นเกราะกันกระสุนจากแผ่นอลูมิเนียมซ้อนโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง แสดงผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 3 ผ่านการทดสอบการยิงกระสุน 7.62x51 มิลลิเมตร ที่โรงงานวัตถุระเบิดทหาร จังหวัดนครสวรรค์ ด้วยการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ รูปแบบความเสียหายของรูเจาะและความลึกในการเจาะทะลุ จึงสรุปได้ว่าโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์มีความถูกต้อง ในการศึกษาวิจัยนี้ได้นำไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดล [22] มาทำการปรับปรุงด้วยการควบคุมขนาดเอลิเมนต์ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น และวิเคราะห์แผ่นเกราะอลูมิเนียมอัลลอยด์ภายใต้เงื่อนไขวัสดุที่แตกต่างกัน ความหนาแปรเปลี่ยน และการซ้อนกันของแผ่นเกราะได้ ผลลัพธ์ที่ตามมาคือความละเอียดของผลการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์แต่ละครั้งจะต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวนานขึ้น [11], [12]



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น [12], [22]

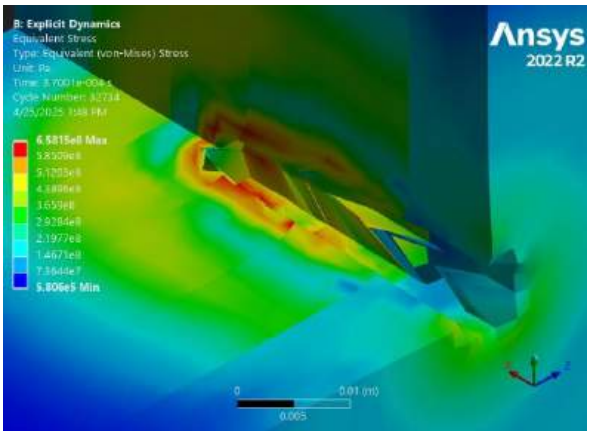


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงพลังงานต่างๆ ระหว่าง Internal energy, Kinetics energy, Hourglass energy และ Contact energy

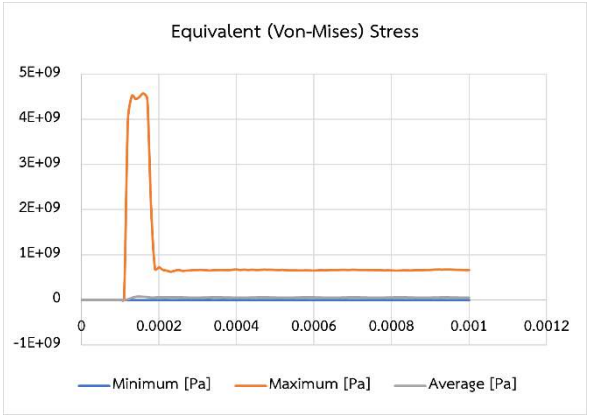
จากกระบวนการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า โปรแกรมจะแสดงผลของพลังงานในรูปแบบต่างๆ ระหว่างการวิเคราะห์ รูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่าง Internal energy, Kinetics energy, Hourglass energy และ Contact energy ซึ่งจากกฎอนุรักษ์พลังงานจะพบว่าเมื่อกระสุนวิ่งเข้าหาแผ่นเกราะ Kinetics energy จะสูงสุดในขณะที่พลังงานอื่นๆ จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อปลายหัวกระสุนเริ่มสัมผัสกับแผ่นเกราะ ความเร็วของกระสุนจะเริ่มลดลง นั่นแสดงให้เห็นว่า Kinetics energy จะเริ่มลดลงในขณะที่ Internal energy จะเพิ่มขึ้นและ Contact energy ก็จะเป็นค่าติดลบในขณะที่ Hourglass energy ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยแต่ก็จะต้องน้อยกว่า Internal energy และควรจะเข้าสู่ค่าสภาวะคงตัวอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวเกินธรรมชาติของเอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์จะต้องระมัดระวังค่า Hourglass energy ซึ่งเปรียบเสมือนพลังงานเทียมที่เกิดขึ้นจากโหมดการบิดเบี้ยวที่ไม่สมจริงขององค์ประกอบ (Elements) ในการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเฉพาะกับ solid elements แบบลดรูป (Reduced integration elements) เช่น SOLID164 (Explicit dynamics) แบบ reduced integration ใน Ansys และจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ไม่แม่นยำหรือผิดพลาด ดังนั้นจะต้องใช้เอลิเมนต์ที่มีการ integrate เต็ม (Full integration) แทนการทำ reduced integration และตรวจสอบว่า Hourglass energy ไม่เกิน 5–10% ของ Total internal energy ของระบบ

รูปแบบการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นกรณีศึกษาดังนี้

กรณีที่ 1 แผ่นเกราะกันกระสุนจำนวน 6 แผ่น หนาแผ่นละ 10 มิลลิเมตร ยึดติดกันแบบเป็นเนื้อเดียวกันพบว่ากระสุนสามารถวิ่งผ่านทะลุจากแผ่นที่ 1 ไปถึงแผ่นที่ 4 และหยุดที่แผ่นที่ 4 ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 4,573.5 MPa ผลการเจาะทะลุแสดงดังรูปที่ 5 ค่าการกระจายความเค้นค่างๆ เทียบกับช่วง Time step แสดงดังรูปที่ 6



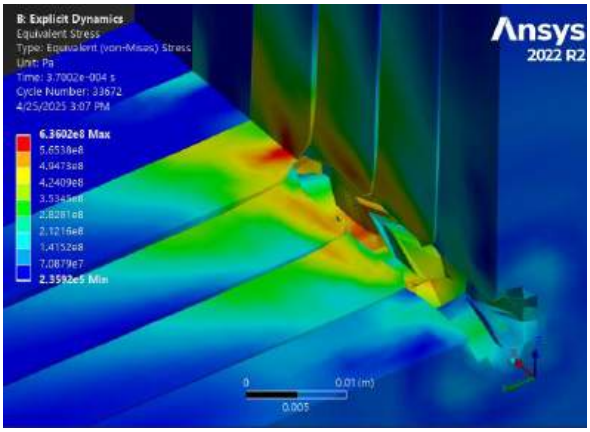
รูปที่ 5 การเกิดความเค้นและลักษณะการเสียหายในกรณีที่ 1



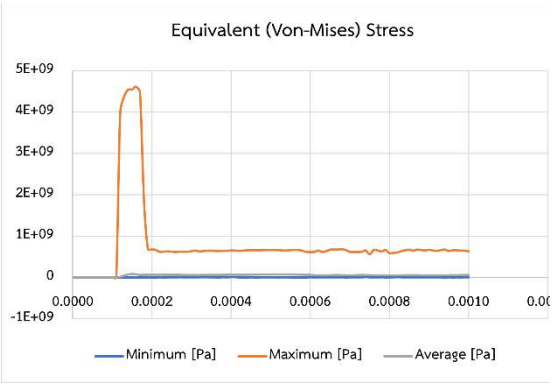
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความเค้น Von-Mises ทั้งแบบ Maximum, Minimum และ Average Stress ในกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 แผ่นเกราะกันกระสุนจำนวน 6 แผ่น หนาแผ่นละ 10 มิลลิเมตร ยึดติดกันแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีมีค่าความเสียดทานระหว่างแผ่นเกราะ พบว่ากระสุนสามารถวิ่งผ่านทะลุจากแผ่นที่หนึ่งไปถึงแผ่นที่ 3 และหยุดที่แผ่นที่ 4 ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 4,453.7 MPa ผลการเทะลุแสดงดังรูปที่ 7-8

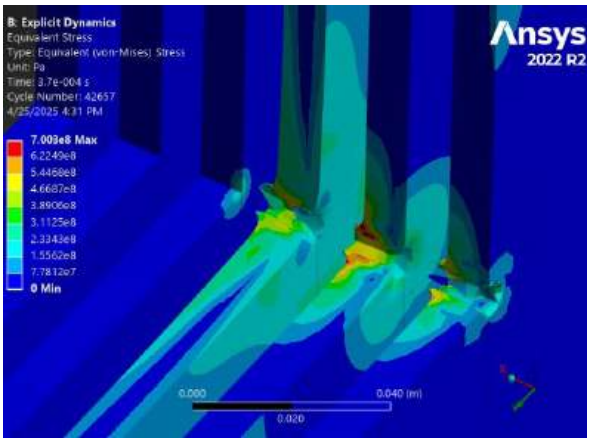
กรณีที่ 3 แผ่นเกราะกันกระสุนจำนวน 6 แผ่น หนาแผ่นละ 10 มิลลิเมตร วางอยู่ห่างกัน 10 มิลลิเมตร พบว่ากระสุนสามารถวิ่งผ่านทะลุจากแผ่นที่ 1 ไปถึงแผ่นที่ 3 และหยุดที่แผ่นที่ 4 ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 4,566.0 MPa ผลการเจาะทะลุ แสดงดังรูปที่ 9-10



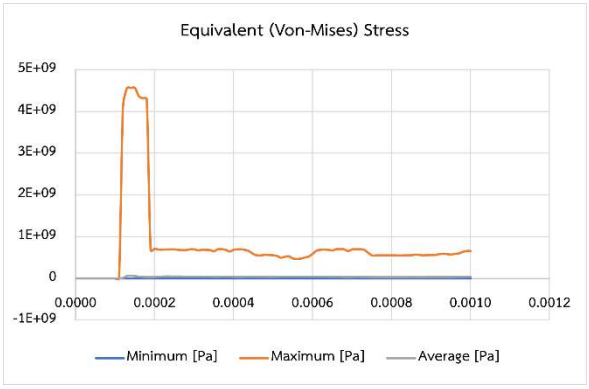
รูปที่ 7 การเกิดความเค้นและลักษณะการเสียหายในกรณีที่ 2



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความเค้น Von-Mises ทั้งแบบ Maximum, Minimum และ Average Stress ในกรณีที่ 2



รูปที่ 9 การเกิดความเค้นและลักษณะการเสียหายในกรณีที่ 3



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบความเค้น Von-Mises ทั้งแบบ Maximum, Minimum และ Average Stress ในกรณีที่ 3

4. สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นและเข้าสู่ช่วงพลาสติกด้วย Explicit Dynamics และได้ทำการปรับปรุงไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลโดยมุ่งไปที่การควบคุมขนาดเอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กลงและจะส่งผลต่อคุณภาพการวิเคราะห์ ทั้งนี้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการคำนวณที่สูงขึ้น ให้ผลลัพธ์การแสดงผลที่ชัดเจน ซึ่งการวิเคราะห์ความต้านทานการเจาะเกราะหลายชั้นของอลูมิเนียมอัลลอยด์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ได้แสดงให้เห็นว่าภายใต้เงื่อนไขค่าความหนาของแผ่นเกราะคงที่ที่ 10 มิลลิเมตร นี้ ความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุ

จะขึ้นอยู่กับการกำหนดหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นเกราะ ซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ frictionless, bonded, Gab 10 โดยมุ่งแสดงค่า Maximum Stress, Minimum Stress และ Average Stress โดยการเว้นระยะห่างระหว่างแผ่นที่ระยะ 10 มิลลิเมตร จะส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานการเจาะได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับบทความ S. K. Sundaram et al. [21] ที่อธิบายผลกระทบของโพรเจกไทล์ของกระสุนที่กระทำต่อแผ่นอลูมิเนียม จากการออกแบบโมเดลให้มีระยะห่างของแต่ละแผ่นเกราะส่งผลต่อค่าการกระจายความเค้น แผ่นเกราะที่มีระยะห่างระหว่างกันจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นเทียบกับเวลาที่ไม่คงที่สังเกตได้จากรูปที่ 10 และจากรูปที่ 8 และจากรูปที่ 6 เป็นกรณีที่หน้าสัมผัสยึดกันเป็นเนื้อเดียวจะมีการกระจายความเค้นที่คงที่เทียบกับเวลา และพบว่า การมีระยะห่างหรือมีหน้าสัมผัสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันจะส่งผลต่อความสามารถในการยับยั้งการเคลื่อนที่ของกระสุนได้ ทั้งนี้โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถนำไปต่อยอดได้ด้วยการเคลือบโพลียูเรียตามแนวทางที่ Yao Yu et al., [23] ได้นำเสนอไว้ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดแรงกระแทกลงได้อีก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนด้านเครื่องมือและสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบและทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Bagwe, S. Thale, P. Sawant, and M. J. Pawar, “Finite element analysis of armor steel and aluminium alloy under the impact of 7.62 mm projectile,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 4086–4091, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.447.

[2] M. K. Bhuarya, M. S. Rajput, and A. Gupta, “Finite Element Simulation of Impact on Metal Plate,” *Procedia Engineering*, vol. 173, pp. 259–263, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.009.

[3] T. Børvik, L. Olovsson, S. Dey, and M. Langseth, “Normal and oblique impact of small arms bullets on AA6082-T4 aluminium protective plates,” *International Journal of Impact Engineering*, vol. 38, no. 7, pp. 577–589, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2011.02.001.

[4] O. Vijay Dhavale, S. Chand Kundurti, and A. Sharma, “Ballistic response of additively manufactured AA6061/AA7075 multistack plate for armor-piercing projectile,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 98, pp. 194–199, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2023.10.111.

[5] Adrian Malciu, Cristina Pupăză, Constantin-Cristinel Puică, and Iuliana-Florina Pană, “Finite element model validation for a 14.5 mm armor piercing bullet impact on a multi-layered add-on armor plate,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 373, p. 00038, 2022.

[6] D. Mullika et al., “Prediction of Failure Behavior of 5083-H116 and 7075 T6 Aluminum Bulletproof Armor Plates by Finite Element Method,” in *Proceeding of the 8th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2023*, Chonburi, 2023, pp. 929-941.

[7] M. A. Asry and M. A. Harimon, “Effect of Side Groove on Shear Lips Formation of Aluminium Alloy 6061 using Finite Element Analysis,” JAMEA, vol. 02, no. 01, Aug. 2021, doi: 10.30880/jamea.2021.02.01.005.

[8] Khan M.A., et al., “Microstructure characteristic of spray formed 7055 Al alloy subjected to ballistic impact by two different steel core projectiles impact,” *J. Mater Res Technol*, vol. 8, pp. 6177-6190, 2019.

[9] Khan M.A., et al., “Microstructure

characterization of 7055-T6, 6061-T6511 and 7A52-T6 Al alloys subjected to ballistic impact against heavy tungsten alloy projectile," *Arch Civ Mech Eng*, vol. 19, pp. 1484-1496, 2019.

[10] Chuan Li et al., "Study on ballistic impact behavior of Al alloys against two different shapes of steel core projectiles, *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 20, pp. 2489-2500, Sep.–Oct. 2022.

[11] N. Angsuseranee, J. Chumin, T. Boonhrong and P. Chartpuk, "Finite Element Simulation of Ceramic/Aluminum Alloy Armor Plates Under Impact from 7.62 mm Bullets," in *Proceeding of Rajamangala Manufacturing & Management of Technology Conference; 9th RMTC*, 1–3 May 2024 at The Heritage Chiang Rai Hotel and Convention, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai, pp. 782-793.

[12] N. Angsuseranee, P. Chartpuk, M. Dejsupa and J. Chumin, "Analysis of the Multilayer Armor Penetration Resistance of Aluminum Alloys Using Finite Element Method," in *Proceeding of Rajamangala Manufacturing & Management of Technology Conference*; *9th RMTC*, 1–3 May 2024 at The Heritage Chiang Rai Hotel and Convention, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai, pp. 767-781.

[13] Jianxiu Wang, Yao Yin and Chuanwen Luo, "Johnson–Holmquist-II (JH-2) Constitutive Model for Rock Materials: Parameter Determination and Application in Tunnel Smooth Blasting," *Appl. Sci.*, vol. 8, pp. 1675, 2018.

[14] Hubert W. Meyer, Jr. and David S. Kleponis, "An Analysis of Parameters for the Johnson-Cook Strength Model for 2-in-Thick Rolled Homogeneous Armor," Army Research Laboratory, Jun. 2001.

[15] F. M. John, T. Jan Arild, S. Stian, B. Svien Morten, S.-E. Lasse, and F. Haakon, "Development of material models for semibrittle materials like tungsten carbide," *Norwegian Defence Research Establishment (EFI)*, pp. 1–51, Nov. 2010.

[16] D.J. Steinberg, *Equation of State and Strength Properties of Selected Materials*, California: Lawrence Livermore National Laboratory, 1991.

[17] T. Børvik, M.J. Forrestal, O.S. Hopperstad, T.L. Warren d, and M. Langseth, "Perforation of AA5083-H116 aluminium plates with conicalnose steel projectiles – Calculations," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 426-437, Mar. 2009.

[18] H. M. Wen, Y. He, and B. Lan, "A combined numerical and theoretical study on the penetration of a jacketed rod into semi-infinite targets," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 38, no. 12, pp. 1001–1010, Dec. 2011.

[19] M. J. Forrestal, T. Børvik, and T. L. Warren, "Perforation of 7075-T651 Aluminum Armor Plates with 7.62 mm APM2 Bullets," *Exp. Mech.*, vol. 50, no. 8, pp. 1245–1251, Oct. 2010.

[20] G.R. Johnson, W.H. Cook, "A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures," in *Proceedings of the Seventh International Symposium on Ballistics*, The Hague, pp. 541–547, 1893.

[21] S. K. Sundaram, A. G. Bharath and B. Aravind, "Influence of target dynamics and number of impacts on ballistic performance of 6061-T6 and 7075-T6 aluminum alloy targets," *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, vol. 50, no. 3, pp. 993–1011, Mar. 2022.

[22] Mullika Dejsupa, "Stress Analysis and Deformation of Stacked Metal Armor Plates Using the Finite Element Methodology," M.Eng. thesis, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, RMUTP., Bangkok, 2022.

[23] Yao Yu et al., "Ballistic performance of aluminum alloy plates with polyurea coatings for high-speed train structures," Composite Structures," vol. 351, P. 118553, Jan. 2025.

พฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก $(1–x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3–xBiFeO_3$

Microscale Mechanical Properties of $(1–x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3–xBiFeO_3$ Ceramics

รตบงกช แสนจุ้ม[1] ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช[2*] ฐิติ หมอรักษา[2] และกมลภัสสร์ มั่นศิลป์[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Ratabongkot Sanjoom[1] Yingyos Thipsrirach[2*] Thiti Mhoraksa[2] and Kamonpad Mansilp[1]
[1] Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
E-mail:Yingyos_th@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคและโครงสร้างผลึกของเซรามิกระบบ $(1–x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3–xBiFeO_3$ (x = 0.00, 0.01, 0.05, 0.10) ที่เตรียมด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ทำการวิเคราะห์โครงสร้างเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าเซรามิกมีโครงสร้างเฟสแบบเพอรอฟสไกต์ระบบออร์โทรรอมบิกปรากฏอย่างบริสุทธิ์ที่ $x \leq 0.05$ ในขณะที่ x = 0.10 นั้นมีเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้น จากนั้นตรวจสอบความหนาแน่นด้วยวิธีอาร์คิมีดีส พบว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 4.28 g/cm³ (x = 0.00) เป็น 5.53 g/cm³ (x = 0.10) และตรวจสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของเซรามิก พบว่าค่าความแข็งให้ค่าสูงสุด 4.80 GPa ที่ x = 0.05 จากนั้นมีค่าลดลงเหลือ 3.04 GPa ที่ x = 0.10 เนื่องจากการเกิดเฟสแปลกปลอมและความพรุนในโครงสร้างระดับจุลภาคจึงทำให้ขีดจำกัดการเติม $BiFeO_3$ อยู่ที่ $x \leq 0.05$ เพื่อป้องกันการเกิดเฟสแปลกปลอมและความพรุนที่ลดทอนสมบัติเชิงกล เซรามิกที่ได้นี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์แปลงพลังงานจิ๋ว เซ็นเซอร์แรงกดจุลภาค และไมโครแอคทูเอเตอร์ที่ต้องการความทนทานสูงระดับจุลภาค

คำหลัก เซรามิกเพอรอฟสไกต์ ความแข็งระดับจุลภาค อุปกรณ์แปลงพลังงานจิ๋ว

Abstract

This study investigates the micro-scale mechanical behavior and crystal structure of $(1–x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3–xBiFeO_3$ ceramics (x = 0.00, 0.01, 0.05, 0.10) synthesized via solid-state reaction. X-ray diffraction analysis confirmed a pure orthorhombic perovskite phase for $x \leq 0.05$, whereas the x = 0.10 composition exhibited a secondary phase. Archimedes density measurements showed an increase from 4.28 g/cm³ (x = 0.00) to 5.53 g/cm³ (x = 0.10). Vickers microhardness testing revealed a maximum hardness of 4.80 GPa at x = 0.05, which decreased to 3.04 GPa at x = 0.10 due to secondary

phase formation and microstructural porosity. The $BiFeO_3$ content should be limited to $x \leq 0.05$ to prevent the emergence of undesirable secondary phases and porosity that compromise mechanical performance. Ceramics with optimized $BiFeO_3$ loading are therefore well suited for micro energy harvesting devices, microscale pressure sensors, and micro-actuators requiring high durability at the microscale.

Keywords: Perovskite ceramics, Vickers microhardness, Micro energy harvesting

การพัฒนาออกแบบกลไกการหมุนของแขนหมุนในเครื่องหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน

THE DEVELOPMENT OF ROTATING MECHANISM OF ARM IN ROTATIONAL MOLDING MACHINE

วรเมธ สุขมานพ [1] พลภัทร ทิพย์บุญศรี [1] ศุภเอก ประมูลมาก [1]
บุญส่ง จงกลณี [1] จิรวัฒน์ ใจอู่ [2] และ อนินท์ มีมนต์ [1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: woramet_s@mail.rmutt.ac.th

Woramet Sukmanob [1] Ponlapath Tipboonsri [1] Supaaek Pramoonmak [1]
Boonsong Chongkolnee [1] Jirawat Jai-u [2] and Anin Memon [1]*
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi
E-mail: woramet_s@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาออกแบบกลไกการหมุนในเครื่องหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน จุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาออกแบบกลไกการหมุนของแขนหมุนในเครื่องหมุนขึ้นรูปได้ความสำคัญ ในการหมุนขึ้นรูปมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโดยเฉพาะชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก หรือสมมาตรตามแนวแกนโดยประโยชน์ที่จะได้จากการขึ้นรูป แบบหมุนคือผลิตชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูงโดยไม่ต้องเชื่อม เหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่ซับซ้อนและมีความโค้ง ต้นทุนเริ่มต้นต่ำกว่าการปั๊มขึ้นรูปลดการสิ้นเปลืองวัสดุ แต่ถึงจะสะดวกต่อการขึ้นรูปแต่ก็ยังมีปัญหาที่พบเจอบ่อยในปัจจุบันคือ คุณภาพชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ เครื่องจักรขาดความยืดหยุ่น ปัญหาการเสียรูปของชิ้นงาน โดยผู้จัดทำได้ทำการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นร่นระยะของช่วงแขนจาก1:1เป็น1:6 เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำการศึกษาตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน และศึกษาการอัตราทด ในการหมุนของแม่พิมพ์ในขั้นตอนการดำเนินงานได้ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการหมุนของแขนหมุนขึ้นรูป ใน งานวิจัยได้ท าออกแบบและสร้างแขนหมุนขึ้นรูปที่มี อัตราทด 1 ต่อ 6 มีขนาดของแขนกว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 685 มิลลิเมตร สูง 240 มิลลิเมตร และได้ท าการทดสอบประสิทธิ์ภาพของแขนหมุน โดยทำการศึกษาตัวแปรอุณหภูมิที่ใช้ใน การขึ้นรูปที่ 230 250 และ 270 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 15 Hz 25 Hz และ35 Hz หรือ 8 14 และ 20 รอบต่อนาที ตามล าดับ ในการขึ้นรูปผงพลาสติกพอลิเอทิลีนความ

หนาแน่นสูง (Linear low density polyethylene; LLDPE) และพอลิออล (PolyAl) ที ่ได้จากขยะประเภทกล่องนมที่มีองค์ประกอบของพอลิเอทิลิน (Polyethylene) และอลูมิเนียมฟอยล์ถูกผสมในอัตรา 60 : 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งชิ้นงานมีลักษณะเป็นลูกบาศก์ ขนาด 100 มิลลิเมตร x100 มิลลิเมตร x100 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานที่ได้ถูกนำมาวัดความหนาแต่ละด้านและได้ทำการ เปรียบเทียบกับแขนที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1 ผลการทดลองพบว่าการหมุนขึ้นรูปโดยใช้แขนหมุนในอัตราทด 1 ต่อ 6 ที่ใช้ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความเร็ว 14 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีผนังในแต่ละด้านมี ความหนาใกล้เคียงกันมากกว่าการใช้แขนที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1

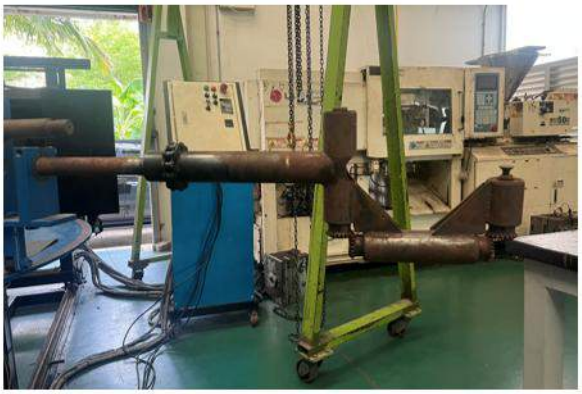
คำหลัก หมุนขึ้นรูป กลไกลการหมุน ผงพลาสติกพอลิเอทิลีน

Abstract

This research focuses on the development and design of a spinning arm mechanism in a rotational molding machine. The primary objective is to improve the design of the spinning arm to enhance the efficiency and quality of rotational molding processes. Rotational molding plays a crucial role in the manufacturing industry, especially in producing parts with cylindrical or axisymmetric shapes The advantages of rotational molding include the ability to produce strong, seamless parts, suitability for complex curved shapes, lower initial costs compared to stamping processes, and reduced material waste. Despite these advantages, several current challenges remain, such as inconsistent product quality, limited machine flexibility, and deformation of molded parts To address these issues, the researcher modified the spinning arm by adjusting the gear ratio from 1:1 to 1:6 to enhance performance. The study involved analyzing key process variables in rotational molding and examining the gear ratio of the mold rotation mechanism. A new spinning arm with a 1:6 gear ratio was designed and fabricated, with dimensions of 120 mm in width, 685 mm in length, and 240 mm in height Performance testing of the new arm was conducted by examining the effects of molding temperatures at 230°C, 250°C, and 270°C, and rotational speeds of 15 Hz, 25 Hz, and 35 Hz (equivalent to 8, 14, and 20 RPM respectively). The materials used for molding included linear low-density polyethylene (LLDPE) and a composite material made from recycled milk cartons containing 60% polyethylene and 40% aluminum foil by weight. The molded products were cube-shaped with dimensions of 100 mm × 100 mm × 100 mm. The wall thickness of each side of the molded cubes was measured and compared between the 1:6 gear ratio arm and the original 1:1 design. The results showed that molding with the 1:6 gear ratio arm at 250°C, 14 RPM, and a molding time of 15 minutes produced parts with more uniform wall thickness compared to those molded using the 1:1 ratio arm.

.

Keywords: Rotational molding using a rotational mechanism and polyethylene powder.

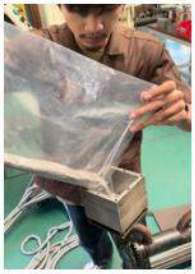


ขึ้นรูปด้วยแขนหมุนที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1

ขึ้นรูปด้วยแขนหมุนที่มีอัตราทด 1 ต่อ 6

Used beverage carton

LLDPE



ขั้นตอนการใส่ผงผงพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นเชิงเส้น (LLDPE) และพอลิออล (PolyAl) ลงในแม่พิมพ์

แขนหมุนขึ้นรูปสำหรับผลิตชิ้นงานขนาดเล็กด้วยวัสดุรีไซเคิล

ขั้นตอนการนำแม่พิมพ์เข้าห้องให้ความร้อน

การถอดชิ้นงานนำมาตรวจสอบ

ชิ้นงานที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล

การพัฒนาหวายเทียมจากขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์หลายชั้นฟิล์ม

Developing synthetic rattan from multi-layered film packaging waste

สิรภพ ราษฎร์ดุษดี[1*] พลภัทร ทิพย์บุญศรี [1] ศุภเอก ประมูลมาก [1]
บุญส่ง จงกลณี [1] จิรวัฒน์ ใจอู่ [2] และ อนินท์ มีมนต์ [1]
1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2 สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: siraphop_r@mail.rmutt.ac.th*
Siraphop Raddussadee[1*] Ponlapath Tipboonsri[1] Supaaek Pramoonmak[1]
Boonsong Chongkolnee[1] Jirawat Jai-u[2] and Anin Memon[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi4
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi
E-mail: siraphop_r@mail.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาหวายเทียมจากขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์หลายชั้นฟิล์ม มาทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หวายเทียมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ โดยนำเอาขยะที่ผ่านการบริโภคแล้วของกล่องบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่ม ขยะชนิดนี้ประกอบวัสดุหลายชั้นฟิล์ม เช่น ชั้นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน ชั้นอลูมิเนียม และชั้นกระดาษ ส่วนของชั้นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน และชั้นอลูมิเนียมเรียกว่า พอลลิออล ในที่นี้จะนำพอลลิออลมาผสมกับขยะพลาสติกรีไซเคิล 3 ชนิด ได้แก่ พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ ที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 40:60, 30:70, 20:80 และ10:90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปสำหรับนำไปทดสอบสมบัติทางกล เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมก่อนนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หวายเทียม โดยชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปได้ถูกนำไปตรวจสอบสมบัติทางกลได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) การทดสอบแรงดัดงอ (Flexural Test) และการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) จากผลการตรวจสอบสมบัติทางกล พบว่าค่าความแข็งแรง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) ค่าความแข็งแรงดัดงอ (Flexural strength) ค่ามอดูลัสแรงดัดงอ (Flexural modulus) ค่าทนแรงกระแทก (Impact) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ HDPE เนื่องจากวัสดุมีความแข็งแรง และเหนียว จึงทำให้ไปเพิ่มคุณสมบัติของขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์หลายชั้นฟิล์ม ในขณะเดียวกันวัสดุที่ได้ผสมนี้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยในที่นี้จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูปหวายเทียมระหว่าง พอลลิออล และ HDPE คือ 30:70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าผลการทดสอบความแข็งแรงดึง 15.94 เมกะปาสคาล ค่ามอดูลัสแรงดึง 242.04 เมกะปาสคาล อัตราส่วนนี้จึงเหมาะสมสำหรับถูกนำไปขึ้นรูปเส้นหวายเทียม พบว่าอัตราส่วนนี้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์หวายเทียมได้ อีกทั้งยังเป็นการนำเศษขยะที่เหลือทิ้ง ไปสร้างมูลค่าเพิ่มให้เกิดประโยชน์ได้อีกทางด้วย

คำหลัก หวายเทียม บรรจุภัณฑ์หลายชั้นฟิล์ม กระบวนการอัดรีดสกรูคู่

Abstract:

This research investigates the development of artificial rattan from multilayer plastic packaging waste using a twin-screw extruder. The waste materials derived from post-consumer beverage cartons are composed of multilayer film structures, including polyethylene plastic film, an aluminum layer, and a paper layer. The polyethylene film and aluminum layer, collectively referred to as polyol in this study, were extracted and utilized as the base material.PolyAl was blended with three types of recycled plastics: linear low-density polyethylene (LLDPE), high-density polyethylene (HDPE), and polypropylene (PP). The blends were prepared using a twin-screw extruder at various weight ratios: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, and 10:90 (polyol:recycled plastic). The resulting materials were then injection molded to form test specimens for mechanical property evaluation in order to determine the optimal mixing ratio for artificial rattan production.Mechanical properties assessed included tensile strength, tensile modulus, flexural strength, flexural modulus, and impact resistance. The results indicated that all measured mechanical properties improved with increasing HDPE content. This enhancement is attributed to the inherent strength and toughness of HDPE, which significantly improved the properties of the polyol-based multilayer plastic waste blends.Furthermore, the mechanical performance of the blended material was found to be comparable to that of commercially available alternatives. Based on the experimental results, the optimal polyAl-to-HDPE ratio for artificial rattan production was determined to be 30:70 by weight, yielding a tensile strength of 15.94 MPa and a tensile modulus of 242.04 MPa. This composition was deemed suitable for extrusion into artificial rattan strands. In conclusion, this study demonstrates that artificial rattan can be successfully manufactured from multilayer plastic packaging waste, particularly when blended with HDPE at an optimal ratio. This approach not only enhances material properties but also provides a sustainable method for adding value to otherwise discarded waste materials.

Keywords: synthetic rattan multi-layered film packaging extruder twin - screw process

การอัดรีดเส้นหวายเทียม Twin screw extruder machine

การอัดรีดเส้นหวายเทียม

ลักษณะเส้นหวายเทียมผสมพอลิออลกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่น

รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปหวายเทียมจากขยะกล่องบรรจุภัณฑ์ (พอลิออล)

การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากชิ้นส่วนพลาสติกของยานยนต์หมดอายุการใช้งานและเส้นใยคาร์บอนรีไซเคิลจากของเสียอุตสาหกรรม

Development of Composite Materials Fabricated from End-of-Life Vehicle Plastics and Recycled Carbon Fibers from Industrial Waste

ณัฏฐากรณ์ วงศ์เขื่อนแก้ว[1] พลภัทร ทิพย์บุญศรี[1] ศุภเอก ประมูลมาก[1] บุญส่ง จงกลณี[1] และ อนินท์ มีมนต์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Nuttakorn Wongkhuenkaew[1] Ponlapath Tipboonsri[1] Supaaek Pramoonmak[1]
Boonsong Chongkolnee[1] and Anin Memon[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: nuttakorn.wo@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการรีไซเคิลและขึ้นสามารถขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบที่มาจากเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์พรีเพรกคาร์บอนไฟเบอร์ และขยะกันชนรถยนต์ที่เหลือและถูกทิ้งจากอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยใช้วิธีการทางความร้อนในการรีไซเคิลเพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ และนำมาฉีดขึ้นรูปใหม่ร่วมกับกันชนรถยนต์ที่เป็นพอลิพรอไพลีนที่จัดอยู่ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกสามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้ เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ใช้อุณหภูมิในการเผาเพื่อรีไซเคิลที่อุณหภูมิ 500 550 และ 600 องศาเซลเซียสพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการรีไซเคิลเพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ คือ 500 องศาเซลเซียส โดยทิ้งระยะเวลาไว้ 60 นาที จะทำให้ได้เส้นใยคาร์บอนที่สะอาด โดยที่เส้นใยมีการเสียหายจากความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งมีน้ำหนักคงเหลือประมาณร้อยละ 51.74 จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ทำการผสมร่วมกับกันชนรถยนต์ที่ถูกบดย่อย โดยทำการทดลองในการเพิ่มร้อยละของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 0, 5 และ 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก นำมาทดสอบสมบัติเชิงกล แรงดึง แรงดัดงอ และแรงกระแทก พบว่า การเพิ่มเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ปริมาณสูง จะทำให้สมบัติเชิงกลทั้งแรงดึงและแรงดัดสูงขึ้นจากเดิมร้อยละ 37.4 และ 22.7 ตามลำดับ แต่ความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลงร้อยละ 75.4 เมื่อมีปริมาณเส้นใยที่สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณเส้นใยและการกระจายตัวของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ โดยพบว่าวัสดุทั้งสองสามารถรีไซเคิลได้โดยวิธีทางความร้อนและเมื่อนำเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ที่ถูกรีไซเคิลมาขึ้นรูปใหม่ร่วมกับพอลิพรอไพลีนจากกันชนรถยนต์จะส่งผลให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุจากเดิมที่เป็นขยะและก่อให้เกิดการหมุนเวียนทางเศรษฐกิจ เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่า และเป็นแนวทางในการผลิตวัสดุผสมที่เกิดจากการรีไซเคิลทั้งหมด

คำสำคัญ: เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์รีไซเคิล, ขยะกันชนรถยนต์, พรีเพรกคาร์บอนไฟเบอร์

Abstract

This research investigates the effects of recycling and the feasibility of fabricating prototypes from waste materials, specifically carbon fiber prepreg scraps and discarded car bumpers from the automotive industry. The temperature for recycling carbon fibers was performed at 500, 550 and 600 °C. The optimal thermal condition was identified as 500 °C for 60 minutes, yielding clean carbon fibers with minimal thermal degradation and a residual mass of approximately 51.74%. The fibers obtained were then mixed with shredded car bumpers, and experiments were conducted by varying the percentage of carbon fiber content at 0%, 5%, and 10% by weight. The samples were tested for mechanical properties, including tensile strength, flexural strength, and impact strength. It was found that increasing the carbon fiber content significantly improved the tensile and flexural properties by 37.4% and 22.7%, respectively. However, the impact resistance decreased by 75.4% as the carbon fiber content increased. This can be attributed to the fiber content and its dispersion within the composite material. Both materials were found to be recyclable through thermal processing. When recycled carbon fiber was reformed and combined with polypropylene from car bumpers, the resulting material exhibited enhanced mechanical properties. This process not only supports the circular economy but also promotes resource efficiency and provides a sustainable approach to producing fully recycled composite materials.

Keywords: Recycled carbon fibers, Car bumper waste, Prepreg carbon fiber

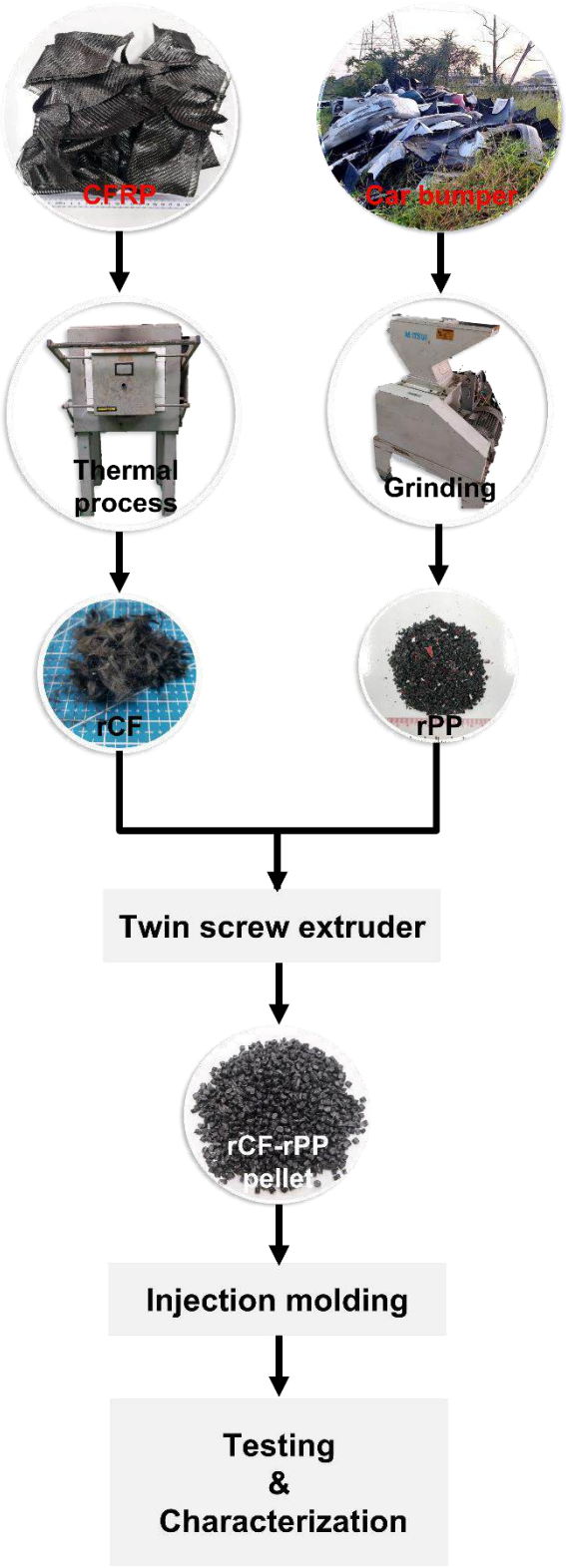


Figure 1: The process flow of recycled carbon fiber and car bumper waste to rCF-rPP composite material.

ระบบการรีไซเคิลกันชนรถยนต์จากกันชนรถยนต์ที่ชำรุด

Car bumper recycling system for damaged car bumpers

อนินท์ มีมนต์ ศุภเอก ประมูลมาก บุญส่ง จงกลณี สิรภพ ราษฎร์ดุษดี และ พลภัทร ทิพย์บุญศรี*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Anin Memon Supaaek Pramoonmak Boonsong chongkolnee
Siraphop Raddussadee and Ponlapath Tipboonsri*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: ponlapath.t@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรีไซเคิลกันชนรถยนต์จากกันชนรถยนต์ที่เกิดการเสียหายหรือรถยนต์เก่า ในการทดลองได้ทำการคัดแยกกันชนรถยนต์ ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ กันชนรถยนต์บริษัท A, B, C, D และแบบผสม ในแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วย กันชนใหม่ กันชนเก่าแบบมีสี และกันชนเก่าแบบไม่มีสี กันชนรถยนต์ถูกตัดให้มีขนาดเล็กและนำไปบดด้วยเครื่องบด (Shredder) หลังจากนั้นถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องอัดรีกสกรูคู่ (Twin screw extruder) และขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ชิ้นงานถูกทำการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบแรงดัด (flexural test) และการทดสอบแรงกระแทก (Impact test) สมบัติทางกายภาพได้แก่ การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน (DSC) และตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (FTIR) ผลการทดลองพบว่า กันชนรถยนต์ต่างชนิดมีผลการทดสอบสมบัติทางกลแตกต่างกันเพียง 5-15 เปอร์เซ็นต์ กันชนใหม่มีสมบัติแรงกระแทก (Impact strength) สูงกว่ากันชนเก่าที่มีสีและไม่มีสี ในส่วนของค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) ค่าความแข็งแรงดัด (Flexural strength) และค่ามอดูลัสแรงดัด (Flexural modulus) มีค่าแตกต่างกันเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ กันชนรถยนต์แบบผสมมีสมบัติทางกลแตกต่างกับชนิดอื่นเพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการคัดแยกชนิดและสีของตัวกันชนรถยนต์สำหรับการรีไซเคิล เม็ดพลาสติกรีไซเคิลจากกันชนรถยนต์ที่ได้ถูกนำไปทดแทนเม็ดพลาสติกที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน การใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลจากกันชนรถยนต์ช่วยส่งเสริมเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

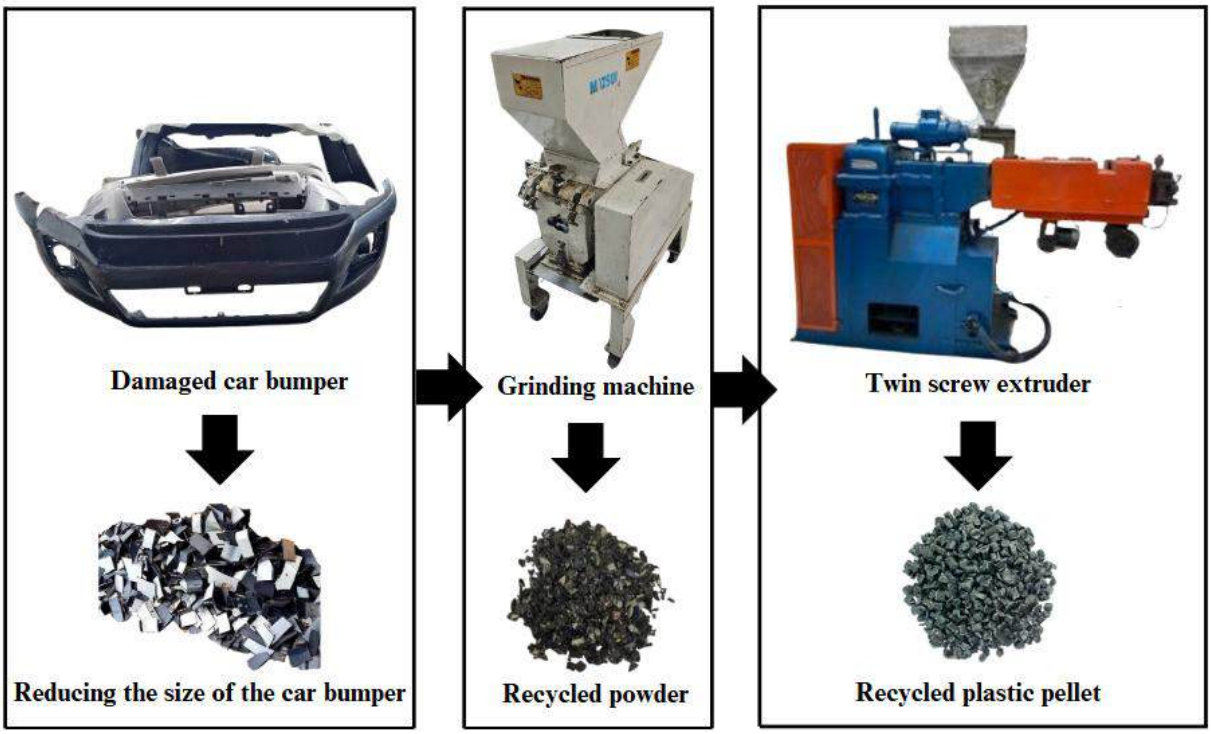
คำหลัก กันชนรถยนต์เก่า การรีไซเคิล การฉีดขึ้นรูป การทดสอบสมบัติทางกล

Abstract

This research studies the recycling system of car bumpers from damaged or old vehicles. In the experiments, car bumpers were sorted into five types, including those from Company A, Company B, Company C, Company D, and a mixed group. Each type included a new car bumper, an old car

bumper with paint, and an old car bumper without paint. These car bumpers were ground using a shredder. After that, the material was formed into plastic pellets using a twin-screw extruder, and then specimens were produced using injection molding. The specimens were investigated for mechanical properties, including tensile, flexural, and impact tests. Physical properties were also examined, including thermal properties (Differential Scanning Calorimetry: DSC) and chemical composition (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR). The results show that the different types of car bumpers exhibited slight variations in mechanical properties, ranging from 5% to 15%. New car bumpers had higher impact strength than old car bumpers with paint and those without paint. The tensile and flexural results, tensile strength, tensile modulus, flexural strength and flexural modulus showed small differences of 5–10%. The mixed car bumper exhibited mechanical properties with only slight differences of 5–20%. Therefore, it is not necessary to sort car bumpers by type or paint for recycling. Recycled plastic pellets from car bumpers are used to replace conventional plastic pellets with similar properties, supporting the promotion of sustainable development goals.

Keywords: Old car bumper, Recycling, Injection molding, Mechanical property tests



รูปที่ 1 กระบวนการรีไรเซิลกันชนรถยนต์

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งและน้ำหนักของวัสดุเรซิ่นผสมแป้งมันสำปะหลังในกระบวนการหล่อขึ้นรูป

Factors Affecting the Hardness and Weight of Cassava Starch Composite Resin in the Molding Process

ธนพนธ์ อรรคเนตร์[1] นพพร จันทะบุตร[1] สุธี คงโคกแฝก[2] วรรณนิศา นุชคุ้ม[2]
สุภัทรา หมูป่ารัง[3] ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง[4] และจิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักงานวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
E-mail: Jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

Thanapon Akkanate[1] Nopporn Janthabut[1] Suthi Khongkhokfaek[2] Wannisa Nutkhum[2]
Supatthra Muparang[3] Supasit Manokruang[4] and Jittiwat Nithikarnjanatharn[2*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
[3]Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[4]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
E-mail: Jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของชิ้นงานเรซิ่นที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยพิจารณาปัจจัยด้านความแข็ง ความทนทาน และความสามารถในการขึ้นรูป ทำการเตรียมชิ้นงานขนาดความกว้าง 9 ซม. ความยาว 9 ซม. และความสูง 5 ซม. ตามอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานดำเนินการผ่านเครื่องกัด CNC เพื่อให้ได้รูปทรงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลและกายภาพ ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เติมลงไปมีผลต่อค่าความแข็งและน้ำหนักของชิ้นงาน โดยแป้งมันสำปะหลังจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติไฮโดรฟิลิก สามารถดูดซับความชื้นได้ดีเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล ซึ่งความชื้นที่ถูกดูดซับไว้ดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการแข็งตัวของเรซิ่น ทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น โดยอัตราส่วน 60:40 แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างสมดุลระหว่างความแข็ง และ ความเหนียวของวัสดุ ลดความเปราะและโอกาสการแตกร้าวระหว่างกระบวนการขึ้นรูป

ทั้งนี้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่อัตราส่วน 60:40 อยู่ที่ 81.23 Shore D ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100:0 ในขณะที่ชิ้นงานที่มีอัตราส่วน 60:40 มีน้ำหนัก 157.12 กรัม ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วน 100:0 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาเรซิ่นชีวภาพที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในด้านวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำหลัก: วัสดุเชิงประกอบ เรซิ่น แป้งมันสำปะหลัง สมบัติเชิงกลและกายภาพ

Abstract

This research aimed to study the properties of resin composites filled with cassava starch, considering factors such as strength, durability, and formability. Specimens with dimensions of 9 cm width, 9 cm length, and 5 cm height were prepared according to the following ratios: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, and 60:40. The specimens were fabricated using a CNC milling machine to achieve suitable shapes for mechanical and physical property testing. The results showed that the proportion of cassava starch added affected the hardness and weight of the specimens. Cassava starch is classified as a hydrophilic material, capable of absorbing moisture well due to the presence of hydroxyl functional groups. This absorbed moisture may affect the resin curing process, leading to a decrease in the hardness of the specimens as the proportion of cassava starch increased. The 60:40 ratio demonstrated the most suitable balance between the strength and toughness of the material, reducing brittleness and the chance of cracking during the forming process.

Notably, the hardness of the specimens at the 60:40 ratio was 81.23 Shore D, which was lower compared to the 100:0 ratio. Meanwhile, the specimens with the 60:40 ratio weighed 157.12 grams, which was higher than the 100:0 ratio, indicating that the composition of cassava starch significantly influenced the physical properties of the specimens. The findings of this research can serve as preliminary data for the development of bio-based resins with suitable properties for applications in various industries, particularly in the field of environmentally friendly materials.

Keywords: Composite materials, Resin, Tapioca starch, Mechanical and physical properties

การศึกษาการรีไซเคิลและปรับปรุงคุณสมบัติถุงบรรจุภัณฑ์เจลลี่ไลท์ผสมกับพอลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

Study on the Recycling and Properties Improvement of Jelly Packaging Mixed by High-Density Polyethylene

ก้องกิดากอน ตรีสาร[1]* พลภัทร ทิพย์บุญศรี[1] ศุภเอก ประมูลมาก[1]
บุญส่ง จงกลณี[1] จิรวัฒน์ ใจอู่[2] และอนินท์ มีมนต์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: KongkidakonTs@gmail.com

Kongkidakon Treesran[1*] Ponlapath Tipboonsri[1] Supaaek Pramoonmak[1]
Boonsong Chongkolnee[1] Jirawat Jai-u[2] and Anin Memon[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการขึ้นรูปถุงบรรจุภัณฑ์เจลลี่ไลท์ที่นำมาผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนกราฟมาเรอิกแอนไฮด์ไดร์ โดยถุงบรรจุภัณฑ์เจลลี่ไลท์ประกอบไปด้วย PET (Polyethylene terephthalate) 12% Al (Aluminum) 7% Nylon 15% และ PE (Polyethylene) 70% ซึ่งเป็นถุงบรรจุภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้นฟิล์มจึงไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลในกระบวนการรีไซเคิลในปัจจุบันได้ เราจึงได้นำเอาวัสดุเหล่านี้กลับมารีไซเคิลโดยการนำมาบดให้เป็นชิ้นขนาดเล็กโดยใช้เครื่องบด (Shredder machine) หลังจากนั้นนำไปทดลองขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder) ใช้อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียสและนำเตรียมชิ้นทดสอบด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection machine) ใช้อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile testing) การทดสอบแรงดัดงอ (Bending testing) และการทดสอบแรงกระแทก (Impact testing) ผลการทดสอบสมบัติทางกล พบว่าผลทดสอบทางกลของวัสดุพลาสติกรีไซเคิลจากเจลลี่ไลท์ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีค่าการทดสอบเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง หลังจากนั้นนำมาปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะของวัสดุด้วยพอลิเอทิลีนกราฟมาเรอิกแอนไฮด์ไดร์ (PE-g-MA) โดยได้ทำการออกแบบการทดลองแบบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) โดยใช้ชนิดการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design ; CCD) อัตราส่วนที่มีค่าผลการทดสอบดีที่สุดคือวัสดุพลาสติกรีไซเคิลพลาสติกรีไซเคิลจากเจลลี่ไลท์ ร้อยละ 14.64 เปอร์เซ็นต์ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ร้อยละ 85.35 เปอร์เซ็นต์ และปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิเอทิลีนกราฟมาเรอิกแอนไฮด์ไดร์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 อัตราส่วนผสมนี้มีค่าความแข็งแรงดึง 19 เมกะปาสคาล ค่ามอดูลัสแรงดึง 273.98 เมกะปาสคาล ค่ายืดตัว 39.23 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแข็งแรงดัดงอ 16.93 เมกะปาสคาล ค่ามอดูลัสแรงดัดงอ 344.16 เมกะปาสคาล ค่าความแข็ง 57.3 ค่าแรงกระแทก 189.58 จูลต่อเมตร ค่าความหนาแน่น 1.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะสมบัติทางกลพบว่า สมบัติทางกลความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสแรง ค่าความแข็งแรงดัด

งอ ค่ามอดูลัสแรงดัดงอ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของพอลิเอทิลีนกราฟมาเรอิกแอนไฮด์ไดร์ (PE-g-MA) ในขณะเดียวกันค่าการยืดตัวกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปรียบเทียบกับถุงบรรจุภัณฑ์เจลลีไลท์ที่ไม่ได้มีการผสมสารเชื่อมประสาน (Coupling Agent) พบว่า วัสดุพบเชิงกลมีสมบัติที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: รีไซเคิลถุงบรรจุภัณฑ์เจลลี่ไลท์ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนกราฟมาเรอิกแอนไฮร์ไดร์

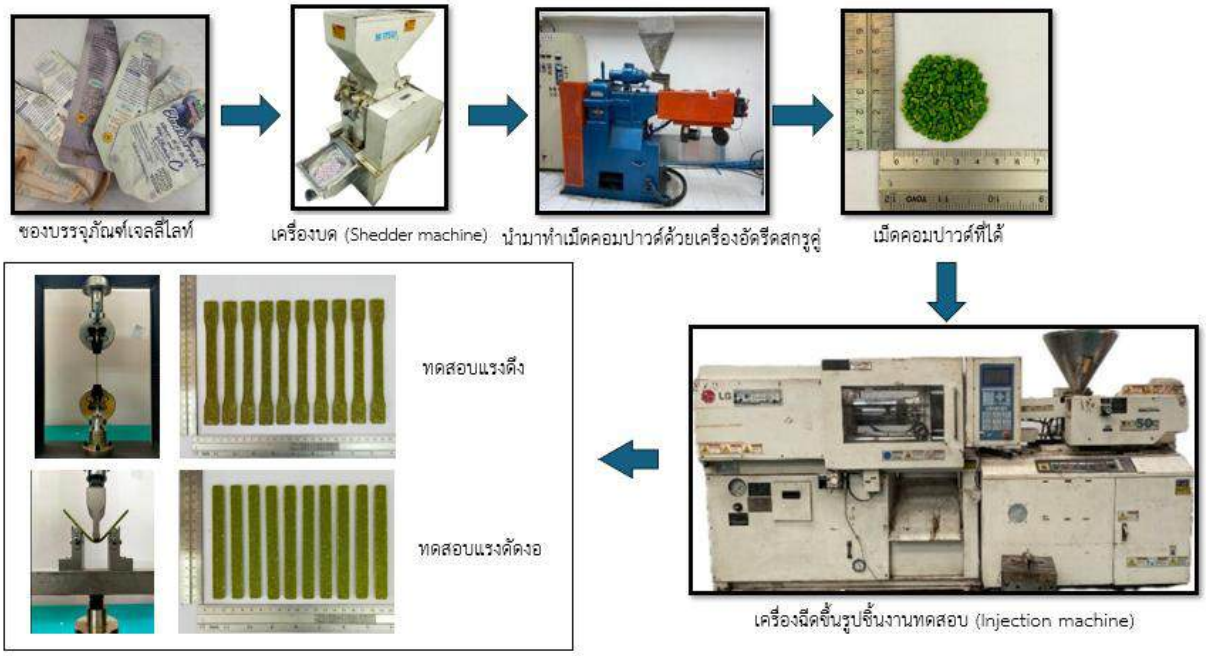
Abstract

This research investigates the formation of recycled packaging material derived from Jelly Lite pouches, which are combined with high-density polyethylene (HDPE) and polyethylene grafted with maleic anhydride (PE-g-MA). The original Jelly Lite pouches are multi-layered films consisting of 12% PET (polyethylene terephthalate), 7% aluminum, 15% nylon, and 70% PE (polyethylene), rendering them non-recyclable through conventional methods. To address this, the materials were shredded into small pieces using a shredder machine and then processed using a twin-screw extruder at 210 °C. Test specimens were prepared through injection molding at the same temperature and subjected to mechanical property testing, including tensile, flexural, and impact tests.

The results showed that the mechanical properties of the recycled Jelly Lite plastic improved with increased HDPE content. Subsequently, the interfacial adhesion of the material was enhanced using PE-g-MA. Experimental design was conducted using Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD). The optimal formulation consisted of 14.64% recycled Jelly Lite plastic, 85.35% HDPE, and 10% PE-g-MA. This composition exhibited a tensile strength of 19 MPa, tensile modulus of 273.98 MPa, elongation at break of 39.23%, flexural strength of 16.93 MPa, flexural modulus of 344.16 MPa, hardness of 57.3, impact strength of 189.58 J/m, and density of 1.04 g/cm^3.

The addition of PE-g-MA significantly improved the tensile strength, modulus, flexural strength, and flexural modulus of the material. Furthermore, the elongation at break increased compared to the recycled Jelly Lite material without coupling agents, indicating enhanced mechanical performance.

Keywords: Recycled Jelly Light packaging ,Recycled High-density polyethylene (HDPE), Polyethylene grafted with maleic anhydride



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการรีไซเคิลถุงบรรจุภัณฑ์เจลสี่ไลท์

การสกัดไมโครคริสตัลเซลลูโลสอย่างยั่งยืนจากขยะกระดาษลังรีไซเคิล

Sustainable Extraction of Microcrystalline Cellulose from Recycled Corrugated Fiberboard

อมรินทร์ อ่อนคูณ[1] วลัญช์รัก พุ่มชลิต[2] และ สุมนมาลย์ เนียงหลาง[1*]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: Sumonman.n@en.rmutt.ac.th*

Amarin Onkoon[1] Walunluk Pumchalit [2] and Sumonman Niamlang[1*]
[1] Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumtani, Thailand
[2] Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumtani, Thailand
E-mail: Sumonman.n@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสังเคราะห์ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส (MCC) จากขยะลังกระดาษ ผ่านกระบวนการทางเคมีสามขั้นตอน ได้แก่ การบำบัดด้วยสารละลายด่าง (Alkaline treatment) การฟอกขาว (Bleaching treatment) และการไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Acid hydrolysis) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตามลำดับ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy และกล้อง Optical microscope ยืนยันการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันและสัณฐานวิทยาของเส้นใย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การบำบัดด้วย NaOH ความเข้มข้น 8% w/w และการไฮโดรไลซิสด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 30% w/w เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต MCC ที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีเยี่ยม คือ อนุภาคขนาดเล็กและสม่ำเสมอช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และส่งผลดีต่อคุณสมบัติการดูดซับและการกระจายตัวในของเหลว ช่วยเพิ่มความเสถียรทางเคมีและเชิงกล โครงสร้างเป็นรูพรุน (Porous Structure)เหมาะสำหรับเป็นตัวดูดซับ ความชื้น หรือสารละลายต่าง ๆ มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีชัดเจน (จากผล FTIR) เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (–OH) ที่ช่วยในการเกิดพันธะไฮโดรเจน และสามารถปรับปรุงด้วยการเติมสารอื่น ไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปแต่สามารถกระจายตัวในสารแขวนลอยได้ดี มีความคงตัวทางความร้อนเหมาะกับการใช้งานในกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูง ความสามารถในการยึดเกาะและเพิ่มความหนืด จึงเหมาะใช้เป็นสารเติมแต่งในยา เครื่องสำอาง และอาหาร

ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงแนวทางที่มีประสิทธิภาพ ง่ายต่อการดำเนินการ และมีต้นทุนต่ำสำหรับการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะกระดาษจากบรรจุภัณฑ์

คำสำคัญ: ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส, ลังกระดาษลู, การไฮโดรไลซิสด้วยกรด, การเพิ่มมูลค่าของขยะ, วัสดุที่ยั่งยืน

Abstract

This study presents the synthesis of microcrystalline cellulose (MCC) from waste corrugated cardboard through a three-step chemical process comprising alkaline treatment, bleaching

treatment, and acid hydrolysis using sodium hydroxide (NaOH), sodium hypochlorite (NaClO), and sulfuric acid (H_2SO_4), respectively. FT-IR spectroscopy and optical microscopy were employed to characterize the functional group transformations and morphological changes of the fibers. The results demonstrated that alkaline treatment with 8% w/w NaOH followed by hydrolysis with 30% w/w H_2SO_4 yielded MCC with superior physical and chemical properties. This research highlights a simple, effective, and cost-efficient approach for enhancing the value of waste paper from packaging materials.

Keywords: Microcrystalline Cellulose, Cardboard, Sustainable Extraction, FTIR, Material Properties

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มในการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีความต้องการเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะวัสดุที่พัฒนามาจากขยะนำมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันปริมาณสินค้าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มีเพิ่มขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนการดำรงชีวิตของมนุษย์ยุคดิจิทัล โดยเฉพาะหลังจากเกิดวิกฤติการณ์สถานการณ์โรคระบาด ทำให้ปริมาณความต้องการใช้กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งที่ใช้ในรูปแบบ การขนส่งพัสดุส่งของหรือเพื่อใช้บรรจุหีบห่อสินค้าหรือต่าง ๆ เช่น กล่องพัสดุไปรษณีย์ กล่องบรรจุภัณฑ์หูหิ้ว ประกอบกับการเติบโตของตลาดออนไลน์และธุรกิจขนส่งทำให้มี ความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นเป็นเท่าตัว อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ของตลาดบรรจุภัณฑ์กระดาษทั่วโลกคาดว่าจะอยู่ที่ประมาณ 4.10% ระหว่างปี ค.ศ. 2024 ถึง ค.ศ. 2032 โดยในปี ในปี ค.ศ. 2024 ธุรกิจกล่อง กระดาษ และบรรจุภัณฑ์กระดาษทั่วโลกมีมูลค่าประมาณ 383.79 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ [1-2]

ปัจจุบันมีกระบวนการในการนำขยะจากกระดาศกล่องกระดาษมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ การรีไซเคิลกระดาษสามารถทำได้แต่คุณภาพ กระดาษจะลดลงเนื่องจากกระบวนการพิมพ์สี กระบวนการทางความร้อน [3] ทำให้มูลค่าลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะที่มาจากกระดาษ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์กระดาษลังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

ไมโครคริสตัลเซลลูโลส (Microcrystalline Cellulose หรือ MCC) เป็นวัสดุชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายเซลลูโลส เช่น เยื่อไม้ หรือเส้นใยพืช โดยไมโครคริสตับเซลลูโลสนั้นได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสากรรมวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากมีสมบัติโดดเด่น ในด้านความสามารถในการยึดเกาะ และความเฉื่อยทางเคมี [2,4]

ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสสามารถสังเคราะห์ได้จากหลายกระบวนการ ได้แก่ การใช้เอนไซม์ (Enzyme), การย่อยสลายด้วยกรด หรือการระเบิดด้วยไอน้ำ ซึ่งกลไกการทำงานของกระบวนการเหล่านี้ คือการทำลายบริเวณอสัณฐาน ออกจากโดเมนผลึกของเซลลูโลส โดยทั่วไปขนาดของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสนั้นมี ขนาดต่ำกว่า 5 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของทั้งหมด [5-8] โดยมากไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสถูกสกัดมาจากวัสดุจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นพืช หรือวัสดุเหลือ ทิ้งจากทางการเกษตร [8]

ปัจจุบันมีความพยายามจากนักวิจัยที่จะไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากขยะกระดาษ เช่น หนังสือ หนังสือพิมพ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับขยะ [9] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการผลิตไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากกระดาษลัง และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ สำหรับเป็นทางเลือกในการรีไซเคิลขยะกระดาษจากบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากทุกปี

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษ

นำลังกระดาษตัดกระดาษเล็กและนำมากระดาษที่ตัดแล้ว 25 กรัมมาต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 90

นาที หลังจากนั้นรอให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปปั่นให้ละเอียดอีกครั้ง และนำมาล้างและกรองอีก 2 รอบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำใยที่

เตรียมได้มาละลายในสารละลายอัลคาไลน์โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สมบัติที่ดีที่สุดจากกระบวนการ Alkaline คือ:ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสสูงขึ้นและความเป็นผลึก (crystallinity) ดีขึ้นโดยเฉพาะเมื่อใช้ NaOH ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม จะช่วยขจัดลิกนินและสิ่งเจือปนได้ดีเพิ่มสัดส่วนโซนผลึก (crystalline domain) ของเซลลูโลสทำให้โครงสร้างไฟเบอร์มีความสม่ำเสมอ เหมาะต่อการใช้งานเป็นสารตัวเติม

คือ ที่ความเข้มเข้นต่างๆ 2%,4%,6%,8%,16% w/w ที่สัดส่วนการผสมเส้นใยต่อสารละลายที่ 1:20 w/v ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 90 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง แล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

นำเส้นใยที่เตรียมได้มาทำ Bleaching treatment โดยเลือกตัวอย่างจากกระบวนการอัลคาไลน์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดมากำจัดลิกนินออกโดยนำเส้นใยที่เตรียมได้มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) ที่ความเข้มข้น 2 % w/w เวลา 60 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสกับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อกำจัดบริเวณอสันฐานของเซลลูโลส โดยจะศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดที่ความเข้มข้นต่างๆ (5%,15%,30%,60% w/w)ต่อสมบัติของไมโครคริสตับเซลลูโลสที่เตรียมได้ ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที [12]

2.2 การวิเคราะห์สมบัติไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษ

เพื่อทดสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีและสัณฐานของเส้นใยที่เตรียมได้ในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่ Alkaline treatment, bleaching และ Hydrolysis เส้นใยที่เตรียมได้แต่ละขั้นตอนจะถูกนำไปศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปและสัณฐานของเส้นใยที่เตรียมได้ด้วย ATR-FTIR Spectroscopy (Thermo Scientific, Nicolet 6700) และ Opitical Microscope (Leica)

ตัวอย่าง	Concentration of NaOH (%w/w) (Alkaline treatment)	ตัวอย่าง	Concentration of H_2SO_4 (%w/w) (Hydrolysis)
AL2	2	HD5	5
AL4	4	HD15	15
AL6	6	HD30	30
AL8	8	HD60	60
AL16	16		

ตารางที่ 1 สภาวะการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษ

3 ผลการวิจัย

3.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษ

การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษนั้นดำเนินการผ่าน 3 กระบวนการได้แก่ กระบวนอัลคาไลน์ (Alkaline treatrment) กระบวนการฟอกขาว (Bleaching treatment) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยเส้นใยที่ได้แต่ละขั้นตอนนั้นแสดงในรูปที่ 1

AL2

ก) ข) ค)

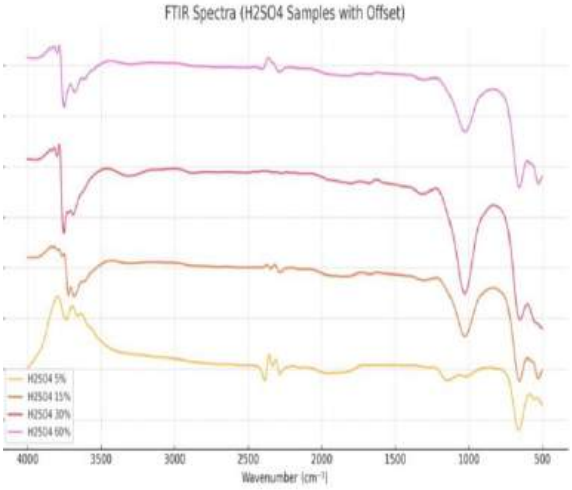
รูปที่ 1 ลักษณะเส้นใยที่เตรียมได้ในแต่ละขั้นตอน
ก)กระบวนอัลคาไลน์ (Alkaline treatrment)
ข) กระบวนการฟอกขาว (Bleaching treatment)
ค) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การหลังจากมีการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากลังกระดาษ เส้นใยที่ผ่านการต้ม และปั่นด้วยเครื่องปั่นจะถูกนำมาผ่านกระบวนการอัลคาไลเซชั่นที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ 2%, 4%, 6%, 8%, 16% w/w ที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเส้นใยที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ถูกใช้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีในเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการเตรียมด้วยสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ 2%, 6%, 8%, 10% และ 16% โดยมีช่วงวิเคราะห์อยู่ที่ 4000–500 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน O–H (Hydroxyl Stretching) พบแถบการดูดกลืนที่บริเวณประมาณ **3300–3400 cm^{-1}** ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของพันธะ O–H จากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเซลลูโลส โดยความเข้มของแถบนี้ลดลงอย่างชัดเจนในตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH ความเข้มข้นสูง เช่น NaOH 10% และ 16% สะท้อนถึงการลดลงของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของโครงสร้าง amorphous และการเกิดผลึกเซลลูโลสที่มีการจัดเรียงตัวดีขึ้น**หมู่ C–H Stretching** การสั่นของพันธะ C–H ที่พบในบริเวณประมาณ **2900 cm^{-1}** มีความแตกต่างเล็กน้อยระหว่างตัวอย่างแต่ละชุด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของสายโซ่หลัก (backbone) ยังคงอยู่ใกล้เคียงกัน **หมู่ C=O หรือ C–O (Carbonyl หรือ Carboxyl Group)** พบแถบการดูดกลืนที่บริเวณ **1730–1650 cm^{-1}** ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของหมู่คาร์บอนิล (C=O stretching) ที่มักเกี่ยวข้องกับเฮมิเซลลูโลสหรือลิกนินบางส่วน โดยความเข้มของแถบนี้ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NaOH เพิ่มขึ้น แสดงถึงการขจัดเฮมิเซลลูโลสหรือลิกนินออกจากโครงสร้างเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น **หมู่ C–O–C และ C–O (Glycosidic Linkages)** แถบการดูดกลืนที่ชัดเจนในช่วง **1050–1150 cm^{-1}** เป็นลักษณะเฉพาะของพันธะไกลโคซิดิก (C–O–C) และ C–O ในโครงสร้างเซลลูโลส พบว่าความเข้มของแถบนี้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ NaOH ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่ม NaOH 10% และ 16% ซึ่งบ่งชี้ถึงการคงอยู่ของโครงสร้างเซลลูโลสในรูปแบบที่เป็นผลึก (crystalline cellulose) และการขจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป**หมู่ C–H Bending และ Aromatic Ring Vibration (ลิกนิน)** บริเวณแถบ **600–900 cm^{-1}** ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของวงแหวนอโรเมติกและพันธะ C–H bending พบว่ามีความเข้มลดลงในตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH ความเข้มข้นสูง แสดงถึงการลดลงของลิกนินอย่างมีนัยสำคัญ FTIR spectra แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ NaOH ในการขจัดสิ่งเจือปนออกจากเซลลูโลส เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยความเข้มข้นของ NaOH ที่สูงขึ้น (8–16%) ส่งผลให้แถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ใช่เซลลูโลสลดลง ขณะที่แถบที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเซลลูโลสแท้มีความชัดเจนมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ NaOH ความเข้มข้นสูงสามารถเพิ่มความบริสุทธิ์และผลึกของเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 FT-IR Spectra ของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้นเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด H_2SO_4 ใน

ระดับ 5%, 15%, 30%, 60%การสังเกตและกราฟ FTIR แสดงสเปกตราของเซลลูโลสที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ในความเข้มข้น 5%, 15%, 30%, และ 60% โดยใช้ช่วงการวัด 4000–500 cm^{-1} เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันเคมีภายหลังการย่อยสลายโครงสร้างด้วยกรด แถบดูดกลืน O–H (3300–3400 cm^{-1}) บริเวณนี้แสดงถึงการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล พบว่าเมื่อความเข้มข้นข้น H_2SO_4 เพิ่มขึ้น ความเข้มของแถบลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่ม 30% และ 60% บ่งบอกถึงการสลายพันธะไฮโดรเจนและการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส แถบดูดกลืนของหมู่ C–H (≈2900 cm^{-1}) การสั่นของพันธะ C–H ยังคงปรากฏในทุกตัวอย่าง แต่ลดความเด่นลงในตัวอย่างที่ใช้กรดเข้มข้น แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงบางส่วนของสายโซ่เซลลูโลสจากกระบวนการไฮโดรไลซิส แถบดูดกลืนของหมู่ C=O หรือ C–O (1730–1650 cm^{-1}) พบแถบความถี่ที่เกี่ยวข้องกับหมู่คาร์บอนิลและคาร์บอกซิล ซึ่งเกิดจากลิกนินหรือเฮมิเซลลูโลส โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2SO_4 แสดงให้เห็นว่ากรดสามารถย่อยและแยกองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสได้ แถบดูดกลืนของพันธะไกลโคซิดิก (C–O–C, 1050–1150 cm^{-1}) แถบนี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลลูโลส พบว่าสัญญาณมีความชัดเจนในกลุ่ม 15–30% แต่กลับเริ่มลดลงใน 60% ซึ่งอาจเกิดจากการย่อยสายโซ่เซลลูโลสจนบางส่วนของโครงสร้างไกลโคซิดิกเสียหาย การสั่นของวงแหวนอโรเมติกและพันธะ C–H (600–900 cm^{-1}ลดลงชัดเจนในตัวอย่างที่ใช้ H_2SO_4 ความเข้มข้นสูง สะท้อนถึงการขจัดลิกนินและสารประกอบอโรเมติกอื่นๆ ออกไปจากวัสดุ แสดงให้เห็นว่า H_2SO_4 ที่มีความเข้มข้นสูง เช่น 30% และ 60% สามารถย่อยโครงสร้างเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยลดหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับลิกนินและเฮมิเซลลูโลส แต่ในความเข้มข้นสูงมากเกินไป เช่น 60% อาจทำให้โครงสร้างหลักของเซลลูโลสเกิดการสลาย ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันหลักอย่างไกลโคซิดิกบางส่วนลดลง ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการย่อยเพื่อได้ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสบริสุทธิ์สูงโดยไม่ทำลายโครงสร้างหลัก อาจอยู่ที่ประมาณ 15–30%



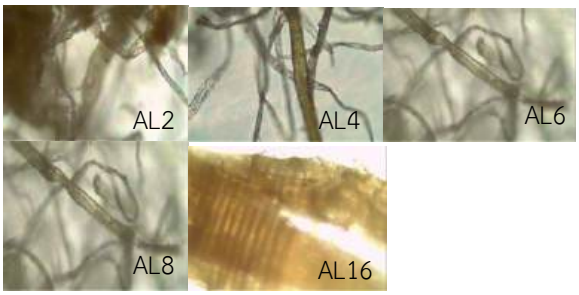
รูปที่ 3 FT-IR Spectra ของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายกรดซัลฟิวริก

3.2 สัณฐานวิทยา

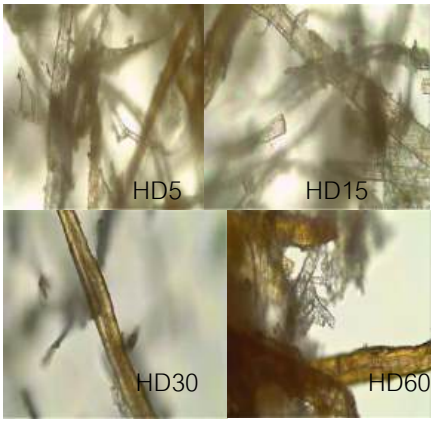
การทดสอบสัณฐานวิทยาดูลักษณะผิวของเส้นใยที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Microscope พบว่าสัณฐานวิทยาของไมโคลเซลลูโลสที่ผ่านการ Akaline Treament การเตรียมเซลลูโลสด้วยปฏิกริยาเคมีด้วยสารอัลคาไลน์ ด้วยสารละลาย Sodium Hydroxide ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์จะเปลี่ยนไปเป็นลักษณะมีความขรุขระที่ผิวเพิ่มมากขึ้นจากการทำการทรีทเม้นที่ผิว [10-12] โดยยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลักษณะเส้นใยที่เตรียมได้จะมีความขรุขระที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4

เมื่อเส้นใยผ่านกระบวนการฟอกขาวและไฮโดรไลซิส ลิกนินได้ถูกกำจัดออก ก็จะได้ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส ซึ่งยืนได้ด้วยผลจากเครื่อง FT-IR Spectrophotometer และลักษณะไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่เตรียมได้นั้น มีโครงสร้างโปรงแสงและมีการสลายตัวแต่เมื่อมีการปรับ ทำให้

สภาพผิวมีความเรียบเนียนมากขึ้นแต่รูพรุนหายไปแสดงโครงสร้างมวลที่อัดแน่นมากขึ้นโดยมีรูพรุนน้อย [8]ลงตัวอย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 4 สัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 5 สัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายกรดซัลฟิวริก

4. สรุป

จากการศึกษาการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากกระดาษลังนั้น การเตรียมไมโครเซลลูโลสจากลังกระดาษนำลังกระดาษนั้นพบว่ากระบวนการที่ใช้เตรียมมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ กระบวนอัลคาไลน์ (Alkaline treatrment) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กระบวนการฟอกขาว (Bleaching treatment) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ด้วยกรดซัลฟิวริก จากผลการวิเคราะห์พบว่าการสังเคราะห์ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากกระดาษลังนั้นสำเร็จ โดยยืนยันความสำเร็จด้วยการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วย เครื่อง FT-IR Spectractroacopy พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อความสำเร็จการการสังเคราะห์ และความเข้มข้น 8% w/w แสดงความเป็นเซลลูโลสที่ชัดที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่านี้ไม่ได้ทำให้พีคของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นอีก และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 30%w/w ทำให้เกิดการแตกของโครงสร้างอสัณฐานมากที่สุด และหากเพิ่มความเข้มข้นมากกว่านี้พบว่าเกิดการกัดกร่อนของกรดต่อเส้นใยที่ขึ้นรูปได้

ดังนั้นกระบวนการสังเคราะห์ที่รายงานในงานวิจัยนี้จึงเป็นกระบวนการที่ดำเนินการด้วยสารเคมีที่ไม่ซับซ้อนและกระบวนการที่ง่าย แต่ทำให้เพิ่มมูลค่าของขยะจากลังกระดาษได้อีกด้วย การเพิ่มมูลค่าในที่นี้ หมายถึง การเปลี่ยนของเสีย (กระดาษลัง) ให้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ (MCC) ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงกว่า เช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในยา อาหาร และเครื่องสำอางวัสดุเสริมแรงในชีววัสดุ สารดูดซับหรือพาหะในระบบปลดปล่อยยจัดเป็นงานวิจัยนี้จัดเป็นการศึกษาเบื้องต้น” (Preliminary study) โดยเน้นการพัฒนาและทดสอบกระบวนการสกัด MCC จากวัสดุเหลือทิ้ง โดยในอนาคตได้มีการใช้งานต่อยอดในภาคอุตสาหกรรม ในด้านเป็นตัวดูดซับความและตัวเพิ่มความหนืดในยาและเครื่องสำอางอีกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Asif, M., Ahmed, D., Ahmad, N., Qamar, M. T., Alruwaili, N. K., & Bukhari, S. N. A. (2022). Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from *Lagenaria siceraria* fruit pedicles. *Polymers, 14*(9), 1867.

[2] Cerqueira-Streit, J. A., Guarnieri, P., de Oliveira, L. H., & Demajorovic, J. (2023). From trash to profit: How packaging waste management has driven the

circular economy—An integrative literature review. *Logistics, 7*(3), 66.

[3] Gulati, S., & Sharma, P. (2022). Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from *Lagenaria siceraria*fruit pedicles. *Polymers, 14*(9), 1867.

[4] Introspective Market Research. (2024). *Paper packaging market industry analysis and forecast (2024–2032).*

[5] Junu Poudel, Bhattarai, S., Nath, N., & Tanti, B. (2025). An exclusive review of microcrystalline cellulose: Structure and applications, and limitations. *Materials Today Communications, 45*, 112247.

[6] Liu, Z., Wang, Z., Yang, S., Ji, N., & Li, D. (2025). Extraction process research and characterization of microcrystalline cellulose derived from bamboo (*Phyllostachys edulis*) fibers. *Polymers, 17*(9), 1143.

[7] Sridhar, V., & Park, H. (2020). Extraction of microfibrillar cellulose from waste paper by NaOH/urethane aqueous system and its utility in removal of lead from contaminated water. *Materials, 13*(12), 2850.

[8] Thoorens, G., Krier, F., Leclercq, B., Carlin, B., & Evrard, B. (2014). Microcrystalline cellulose, a direct compression binder design environment—A review. *International Journal of Pharmaceutics, 473*(1-2),64.

[9] Zhang, Y., Wang, Y., & Li, J. (2023). Study on the preparation and properties of jute microcrystalline cellulose membranes. *Molecules, 28*(4), 1783.

[10] S. T. Nguyen, J. Feng, T. T. Li Ai, N. Hoang, T. Vincent, B. C. and M. Duong Hai. “Cellulose aerogel from paper waste for crude oil spill cleaning” Industrial & Engineering Chemistry Research. (2013), 52, 18386- 18391.

[11] S. Fatimah. Md. Hanafiah, W. H. Danial, M. A. Samah, W. Z. Samad, D. Susanti, R. M. Salim, Z. A. Majid. “Extraction and characterization of microfibrillated and nanofibrillated cellulose from office paper waste” Malaysian Journal of Analytical Sciences. (2019), 23(5), 901 – 913.

[12] M.K Mohamad Haafiz, S.J. Eichhorn, Azman Hassan, and M. Jawaid. “Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from oil palm biomass residue” Carbohydrate Polymers. (2013), 93(2), 628 - 634

การพิสูจน์ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD11 ด้วยวิธีการทดสอบแบบโจมินี

Investigation on Hardenability for Cold Work Tool Steel of SKD11 with Jominy End-Quench Test

สัญญา คำจริง[1] สมชาย วนไทยสงค์[2] ต้นกล้า มิตรเอื้อสกุล[3] คณิน ลมุดเทศ[4] ปาริชาติ สุมา[5] และเจษฎา แก้ววิชิตร[6*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตรและสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์นนทบุรี)
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์สุพรรณบุรี)

Sanya Kumjing[1] Somchai Wonthaisong[2] Tonkla Mitaueasakul[3] Khanin Laudthet[4] Parichat Suma[5]
and Jesada Kaewwichit[6*]
[1]Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnbhumi (Nonthaburi),
[2]Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,Rajamangala University of Technology Krungthep,
[3456]Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Suphanburi)
E-mail: Jesada.ka@rmutsb.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการชุบแข็งและอัตราการเย็นตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD11 ด้วยวิธีการทดสอบชุบแข็งแบบโจมินี (Jominy End Quench Test) ต่อค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาค วัสดุทดลองคือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS G4404 เกรด SKD11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ยาว 100 mm เทอร์โมคัปเปิล Type K ถูกเชื่อมติดบนชิ้นงานเพื่อบันทึกอุณหภูมิกับเวลา หาอัตราการเย็นตัวในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ ของเฟสคาร์ไบด์ที่เกิดการตกตะกอนในช่วงอุณหภูมินี้ จากนั้นชิ้นงานถูกให้ความร้อนด้วยเตาอบชุบโลหะถึงช่วงอุณหภูมิการชุบแข็งประมาณ 900 °C เผาแช่เป็นเวลา 1 hr หลังจากนั้นถูกทดสอบด้วยวิธีโจมินี ฉีดพ่นด้วยน้ำที่ปลายด้านหนึ่งของชิ้นงาน ทดสอบค่าแข็ง ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณเฟสคาร์ไบด์ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ ระยะตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่ออัตราการเย็นตัวเร็วและช้าในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ ค่าความแข็งทุกระยะกดทดสอบตามความยาวชิ้นงานมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแข็งอยู่ในช่วงประมาณ 50-60 HRC โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าว เฟสคาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปทรงและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ปรากฏขอบเกรนออสเทนไนต์ตกค้างเกิดขึ้นที่อัตราการเย็นตัวช้า

คำหลัก ความสามารถในการชุบแข็ง เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น การทดสอบแบบโจมินี

Abstract

This research aims to investigate the hardenability and cooling rate of SKD11 cold work tool steels by Jominy End Quench Test method on hardness and microstructure. The experimental material is SKD11 grade cold Work tool steel of JIS G4404, 25.4 mm diameter, 100 mm long. Type K thermocouples were welded on the specimens to record the temperature and the cooling rate in the temperature range. $\Delta T_{8/5}$ of the carbide phase transformation that precipitates during this temperature range. The specimens were likewise heated by a electrical heat-treatment furnace to a hardening temperature range of about 900°C, for 1 hour. Hence, it was tested by the Jominy method and hardness test, microstructure was examined and combined with carbide phase analysis. The experimental results can be summarized as follows: It was found that the different temperature measurement distances affect the fast and slow cooling rate over the temperature range at $\Delta T_{8/5}$. The hardness values of all test distances along the length of the piece were approximately the same at all distances. It is in the range of about 50-60 HRC. The carbide phase has changed in size, shape, and is unevenly distributed. In addition, the appearance of retained austenite occurs in grain boundaries at a slowly cooling rate.

Keywords: Hardenability, Cold Work Tool Steel, Jominy End-Quench Test

1. บทนำ

ความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) โดยทั่วไปถูกอธิบายเกี่ยวกับการประเมินความแข็งในระยะความลึกต่างๆ ของวัสดุหลังจากการอบชุบด้วยความร้อน (Heat treatment) ซึ่งเป็นการประเมินเชิงปริมาณได้อย่างแม่นยำสำหรับทดสอบชุบแข็งโลหะหลายวัสดุ อาทิเช่น เหล็กกล้าคาร์บอน [1] เหล็กกล้าไร้สนิม [2] เหล็กรางรถไฟ [3] อลูมิเนียม [4] ไททาเนียม [5] เป็นต้น ซึ่งวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วิธีการทดสอบแบบโจมินี (Jominy end-quench test) เพื่อความเข้าใจวิธีการโจมินี ชิ้นงานจะถูกกำหนดขนาดตามมาตรฐาน ASTM A255 ถูกให้ความร้อนจนถึงเฟสออสเทนไนต์จากนั้นถูกชุบแข็งที่ปลายชิ้นงานด้านหนึ่งด้วยการฉีดพ่นน้ำโดยวิธีการนี้จะศึกษาปรากฏการณ์การเปลี่ยนเฟสของโครงสร้างออสเทนไนต์ต่อการระบายความร้อนในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ ที่มีความไว (Sensitive temperature range) ต่อการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase transformation) [6] โดยแสดงอัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ต่อค่าความแข็ง (Hardness) และโครงสร้างจุลภาคในชั้นระดับความลึกตามความยาวของชิ้นงานทดสอบ [7] นอกจากนี้เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) โดยทั่วไปมีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสำหรับเป็นแม่พิมพ์กระบวนการปั๊มขึ้นรูป (Forming processes) ชิ้นงานวัสดุหลากหลายชนิด อาทิเช่น โลหะ พลาสติก และวัสดุอื่นๆ [8] นอกจากนี้เกรดที่นิยมใช้ คือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold work tool steel) ได้แก่ เกรด SKD11 ซึ่งเป็นเกรดที่ถูกใช้งานทางด้านแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปโลหะ (Dies) แม่พิมพ์พลาสติก (Molds) เครื่องมือตัดในกระบวนการผลิต (Cutting tools) เนื่องจากอุตสาหกรรมแม่พิมพ์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้วัสดุเกรดนี้ที่มีสมบัติในด้านความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) ความแข็ง ความเสถียรของรูปทรง (Dimensional stability) [9, 10] จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกระบวนการอบชุบ (น้ำมันอากาศ) [11] หลังจากนั้นทำการอบคืนไฟ (Tempering) [12] เพื่อเพิ่มความเหนียว (Toughness)

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทดสอบแบบโจมินีส่วนมากมุ่งเน้นทางด้านวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าผสมอัลลอยสูง (High alloy steel) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง [13] นอกจากนี้การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชุบแข็งของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นโดยส่วนมากมุ่งเน้นทางกระบวนการอบชุบ อาทิ เช่น S.K.

Saha et al [14] การพิสูจน์การทดลองการปรับปรุงด้วยกระบวนการทางความร้อนของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นและในทางตรงกันข้ามมีการนำเสนอเกี่ยวกับอิทธิพลของอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลยังไม่ชัดเจน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการชุบแข็งและอัตราการเย็นตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นของ SKD11 ด้วยวิธีการทดสอบชุบแข็งแบบโจมินีในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ ที่มีความไวของเฟสคาร์ไบด์ตกตะกอนเกิดในช่วงอุณหภูมินี้ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเกรดนี้

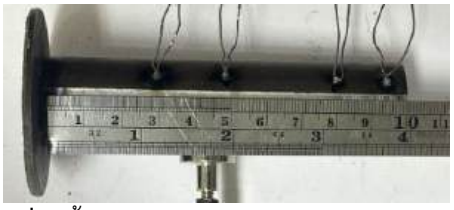
2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 วัสดุและการทดลอง

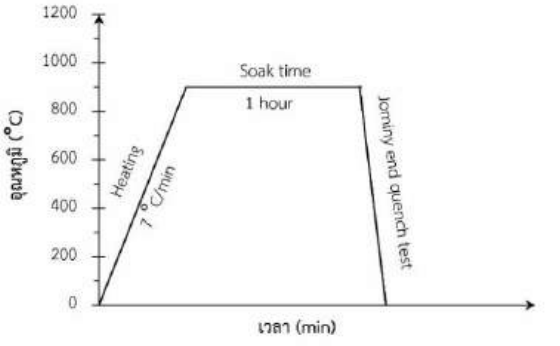
วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS G4404 เกรด SKD11 ถูกตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี (Optical Emission Spectrometer : OES) แสดงดังในตารางที่ 1 ขนาดชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ความยาว 100 mm ถูกกัดผิวดิบออกตามความยาวของชิ้นงานวัดจากขอบเส้นรอบวงประมาณ 2 mm สำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหลังการทดสอบ จากนั้นนำแหวนรองนัตเชื่อมยึดติดกับขอบหน้าตัดขวางของชิ้นงานด้านหนึ่งเพื่อเป็นบ่าประคอง และนำสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K เชื่อมติดบนชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง ที่ระยะ 5 20 50 และ 70 mm ด้วยเครื่องเชื่อมเทอร์โมคัปเปิลแบบจุด (Thermocouple Spot Welding Machine) เพื่อบันทึกอุณหภูมิกับเวลาในการเย็นตัวด้วยเครื่อง Data logger รุ่น GL 840 แสดงดังรูปที่ 1 ขั้นตอนต่อมาชิ้นงานถูกให้ความร้อนถึงช่วงอุณหภูมิการชุบแข็ง (Hardening temperature) ที่อุณหภูมิ 900 °C [15, 16] ด้วยเตาอบชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (โดยอัตราการให้ความร้อน 7 °C/min) และเผาแช่ประมาณ 1 hr จนเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์อย่างสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 2 นำชิ้นงานมาทดสอบชุบแข็งด้วยวิธีโจมินีที่ถูกสร้างตามมาตรฐานโดยใช้ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 12.5 mm สำหรับลำเลียงน้ำและควบคุมระยะห่างของปลายท่อพลาสติกถึงปลายชิ้นงานทดสอบ 12.5 mm (+/- 0.5mm) โดยมีแรงดันน้ำที่ใช้ในการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 2 บาร์ และมีอุณหภูมิของน้ำในท่อพลาสติกประมาณ 26 °C แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กล้าเครื่องมืองานเย็น JIS G4404 เกรด SKD11 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

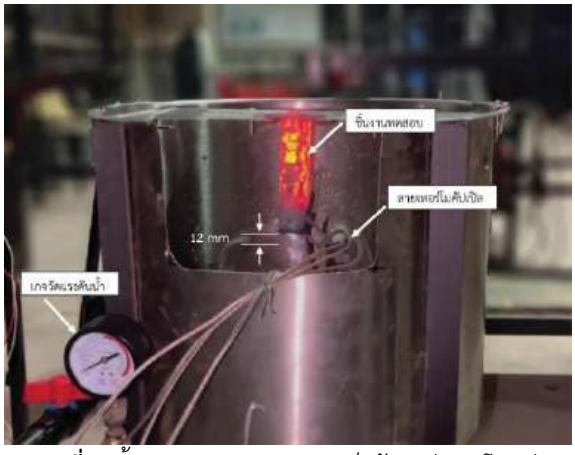
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V
1.58	0.27	0.36	0.02	0.02	0.16	11.45	0.88	0.07	0.33



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบและติดสายเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการให้ความร้อนชิ้นงาน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบชุบแข็งด้วยวิธีแบบโจมินี

3. ขั้นตอนการตรวจสอบ

3.1 การวิเคราะห์หาอัตราการเย็นตัวหลังการชุบแข็ง

อุณหภูมิที่ถูกบันทึกด้วยเครื่องด้วยเครื่อง Data logger ถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์เส้นโค้งการเย็นตัว (Cooling Curve) ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการเย็นตัว (Cooling Time) จากนั้นหาอัตราการเย็นตัวช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของโครงสร้างออสเทนไนต์ คือช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ โดยแสดงดังสมการที่ 1

$$\text{อัตราการเย็น (°C/sec)} = \frac{\Delta T_{8/5}}{\Delta t_{8/5}} \qquad (1)$$

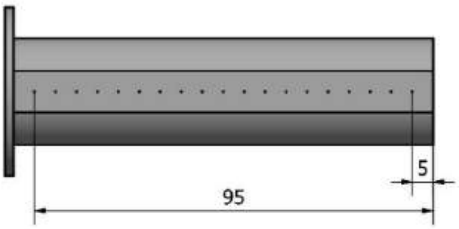
โดยที่ ΔT คือ ช่วงอุณหภูมิ 800 ถึง 500°C และ Δt คือ เวลาที่ได้รับจากช่วงอุณหภูมิ 800 ถึง 500°C ระหว่างการเย็นตัว [17]

3.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหลังการอบชุบ

ชิ้นงานชุบแข็งด้วยวิธีแบบโจมินีถูกนำมาขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 320 - 1,200 ขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1μm และกัดขึ้นรอย (Etching) ผิวหน้าชิ้นงานด้วยสารละลายไนตรัล (Nital) 1% ตามมาตรฐาน ASTM 407 [18] ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ณ ตำแหน่งที่ติดสายเทอร์โทคัปเปิลและวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยโปรแกรมคำนวณเฟส Dewenter Material plus.

3.3 การทดสอบความแข็งหลังการอบชุบ

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคมากดทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์สเกล C โดยใช้แรงกดทดสอบ 150 kgf มีระยะห่างจากขอบชิ้นงานเริ่มต้นและทุกๆ ตำแหน่งกดทดสอบ 5 mm แสดงดังรูปที่ 4

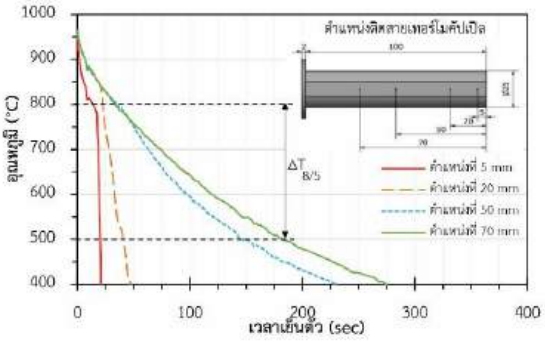


รูปที่ 4 ระยะกดทดสอบความแข็ง (หน่วย:mm)

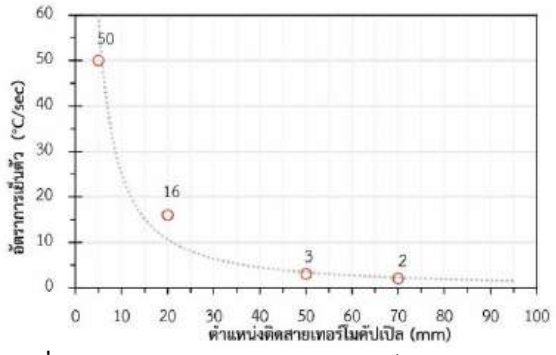
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 เส้นโค้งการเย็นตัวหลังการชุบแข็ง

รูปที่ 5 แสดงเส้นโค้งการเย็นทั้ง 4 ตำแหน่งพบว่าที่ระยะการติดสายเทอร์โมคัปเปิล 5 และ 20 mm มีลักษณะของเส้นเป็นแนวดิ่งลาดชั้นซึ่งแสดงการเย็นตัวและคลายความร้อนออกจากชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ระยะติดสายเทอร์โมคัปเปิล 50 และ 70 mm มีลักษณะของเส้นโค้งการเย็นตัวค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ และรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวกับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิพบว่าอัตราการเย็นตัวที่คลายอุณหภูมิความร้อนออกจากชิ้นงานได้เร็วคือตำแหน่ง 5 mm มีอัตราการเย็นตัว 50 °C/sec ตำแหน่ง 20 mm ให้อัตราการเย็นตัว 16 °C/sec และตำแหน่ง 50, 70 mm ให้อัตราการเย็นตัวอย่างช้าๆ คือ 3 และ 2 °C/sec ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฤทธิชัย เภาเนียม และคณะให้ค่าอัตราการเย็นตัวมีแนวโน้มคล้ายกัน

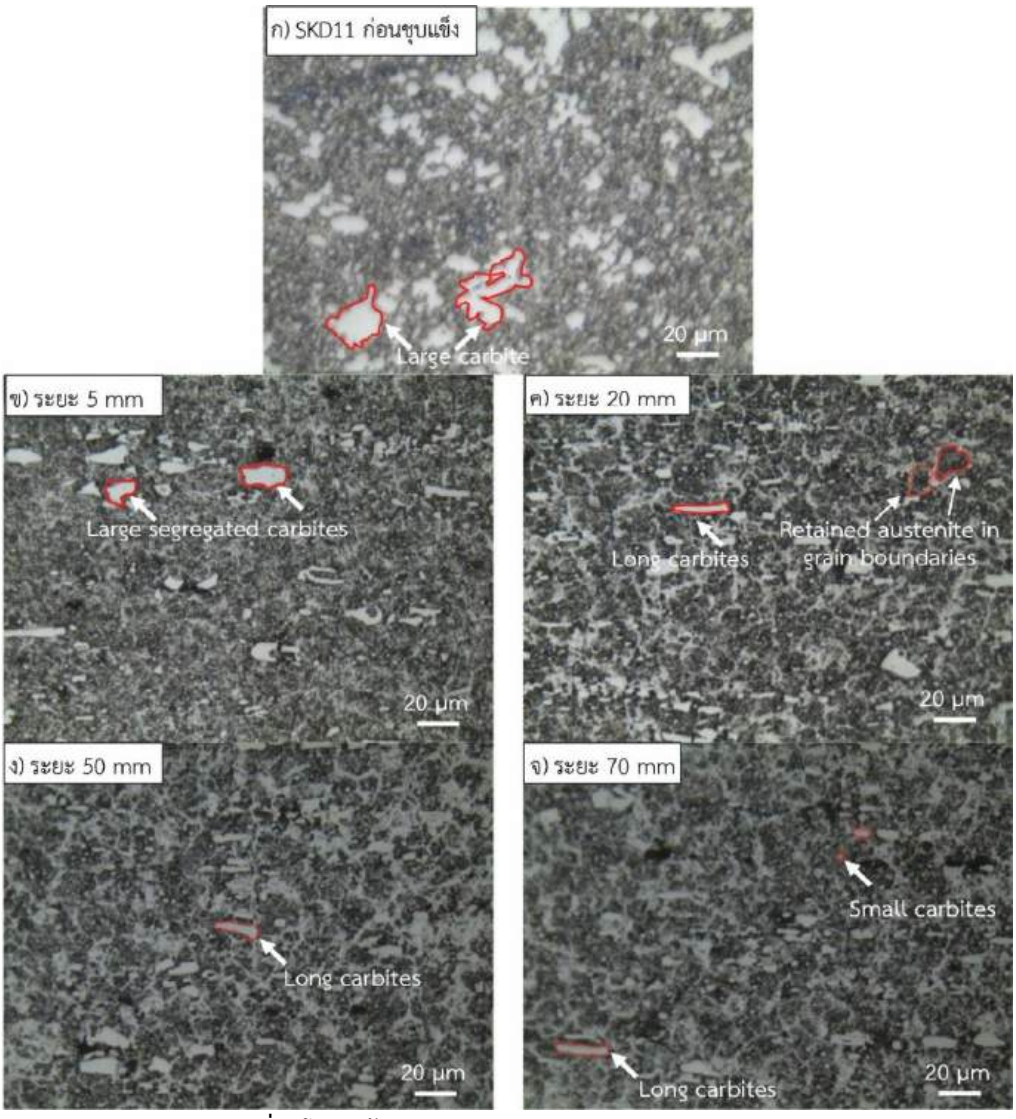


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวกับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 7 ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ก่อนชุบแข็ง ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างคาร์ไบด์ขนาดใหญ่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่รูป 7 (ข-จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคหลังผ่านการชุบแข็งด้วยวิธีโจมินี พบว่า ที่บริเวณระยะ 5 mm คาร์ไบด์เกิดการแยกชั้นขนาดใหญ่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ (Large segregated carbite) และโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ระยะ 20 mm ปรากฏขอบเกรนออสเทนไนต์ตกค้างเกิดขึ้นอยู่ตามขอบเกรน (Retained austenite in grain boundaries) [19] กับรูปร่างของคาร์ไบด์มีลักษณะเรียวยาว (Long carbite) กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณระยะ 50 และ 70 mm รูปร่างของโครงสร้างมีความคล้ายกันกับระยะ 20 mm แต่มีขนาดคาร์ไบด์เล็กลง

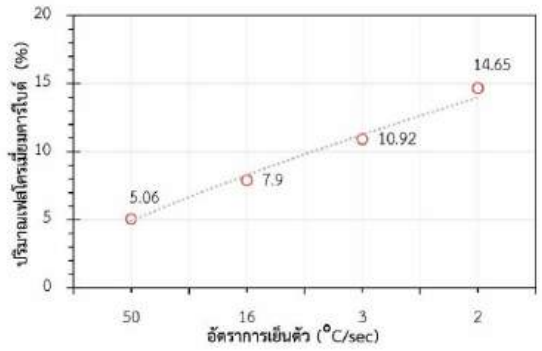


รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาค ณ ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่างๆ

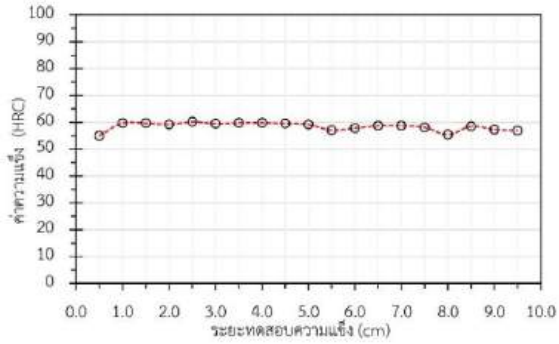
รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวกับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งแสดงแบบเชิงปริมาณ พบว่าอัตราการเย็นตัวเร็ว 50 ℃/sec มีเปอร์เซ็นต์ของเฟสคาร์ไบด์ต่อพื้นที่ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคปริมาณน้อย ในขณะที่อัตราการเย็นตัวช้าๆ คือ 16, 3 และ 2 ℃/sec ให้ปริมาณการกระจายตัวของเฟสคาร์ไบด์ต่อพื้นที่ภาพถ่ายโครงสร้างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อค่าความแข็งคงที่เห็นได้อย่างชัดเจน

จากรูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับระยะทดสอบพบว่าผลการทดสอบค่าความแข็งของเหล็กกล้า

เครื่องมืองานเย็นก่อนชุบสภาพจำหน่ายมีค่าความแข็งประมาณ 14 HRC หลังผ่านการทดสอบชุบแข็งด้วยวิธีแบบโจมินี มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 50-60 HRC ซึ่งค่าความแข็งทุกระยะการกดทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวกับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับระยะทดสอบ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการพิสูจน์ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD11 ด้วยวิธีการทดสอบแบบโจมินีเพื่อศึกษาหาอัตราการเย็นตัวในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$ ที่มีความไวของคาร์ไบด์ตกตะกอนเกิดขึ้น ต่อค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาคสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระยะตำแหน่งการวัดอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเย็นตัวเร็วและช้าในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T_{8/5}$

2. ผลค่าความแข็งของชิ้นงานในระยะกดทดสอบตามความยาวชิ้นงานมีค่าความแข็งใกล้เคียงกันโดยค่าความแข็งของชิ้นงานอยู่ในช่วง 50-60 HRC

3. โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นของ SKD11 ที่ผ่านทดสอบด้วยวิธีโจมินี คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูปทรงกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและปรากฏขอบเกรนออสเทนไนต์ตกค้างเกิดขึ้นที่อัตราการเย็นตัวช้า

6. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ และนักศึกษาของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตรและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์นนทบุรี) และบริษัท เอ็มเอ็มที เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่มีส่วนช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] E. Akinlabi, O. Ikumapayi, O. Bodunde, B. Adaramola, I. Uchegbu, and O. Fatoba, "Impact of Quenching on the Hardenability of Steels EN-3 (~1015), EN-8 (~1040) and EN-24 (~4340) during Jominy End Quench Technique," vol. 11, pp. 290-297, 2020.

[2] P. Landgraf, P. Birnbaum, E. Meza-García, T. Grund, V. Kräusel, and T. Lampke, "Jominy End Quench Test of Martensitic Stainless Steel X30Cr13," *Metals,* vol. 11, 07/03 2021.

[3] ฤทธิชัย เภาเนียม, สมชาย วนไทยสงค์, นรินทร์ อินต๊ะวงค์, จักรพันธุ์ ชาระ, and กิจทวี นุรินรัมย์, "การประเมินความแข็งวิกฤตสำหรับงานเชื่อมซ่อมเหล็กรางรถไฟ ณ บริเวณกระทบร้อนด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัว และ$\Delta T_{8/5}$," presented at the การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 8, ณ โรงแรม อมารี พัทยา จังหวัดชลบุรี, 24 – 26 พฤษภาคม 2566, 2566.

[4] J. Newkirk and D. Mackenzie, "The Jominy End Quench for Light-Weight Alloy Development," *Journal of Materials Engineering and Performance,* vol. 9, pp. 408-415, 2000.

[5] T. Ahmed and H. J. Rack, "Phase transformations during cooling in α+β titanium alloys," *Materials Science and Engineering: A,* vol. 243, no. 1, pp. 206-211, 1998.

[6] C. Nunura, C. dos Santos, and J. Spim, "Numerical – Experimental correlation of microstructures, cooling rates and mechanical properties of AISI 1045 steel during the Jominy end-quench test," *Materials & Design,* vol. 76, 2015.

[7] D. Landek, B. Liščić, T. Filetin, and T. Lübben, "End -quench hardenability test for gas quenched steels," *Strojarstvo,* vol. 53, 2011.

[8] Indah Uswatun Hasanah, Dedi Priadi, Donanta Dhaneswara, and A. Ali Alhamidi, "The influence of treatment on cold work tool steel SKD 11 with temperature variations on mechanical properties," *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI,* vol. 19, no. 01, pp. 36-42, 2023.

[9] T. Duc, T. Long, and N. Bao, "Effectiveness of alumina nanofluid on slotting end milling performance of SKD 11 tool steel," 2019.

[10] E. Demir and I. Toktas, "Effects of cryogenic treatment on residual stresses of AISI D2 tool steel," *Kovove Materialy,* vol. 56, pp. 153-161, 2018.

[11] T. V. S. Ashok Rajan, C.P. Sharma *Heat Treatment: Principles and Techniques*. 2011.

[12] S. Sutrisno, F. Nurtanto, and S. Darmanto, "Analysis of the Effect of Tempering Temperature on the Formation of Microstructure and Hardness Values in SKD11 Steel," *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis,* vol. 06, 2023.

[13] J.-K. Hwang, "Effects of Water Jet Height and End Dipping on the Cooling Rate and Hardenability in the Jominy End Quench Test," *Processes,* vol. 9, p. 607, 2021.

[14] V. Kumar and D. L. Prasad, "EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON HEAT TREATMENT OF COLD WORK TOOL STEELS: PART 1, AIR-HARDENING GRADE (D2)," vol. Vol. 2, pp. 510-519, 2012.

[15] A. Admin, K. Rababa, and A. Awad, "The Effect of Austenite Temperature on the Microstructure, Mechanical Behavior, Hardness, and Impact Toughness of AISI D2 Tool Steel," *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA),* vol. 2, no. 3, pp. 2890-2896, 2012.

[16] A. Rehan, A. Medvedeva, B. Högman, L.-E. Svensson, and L. Karlsson, "Effect of Austenitization and Tempering on the Microstructure and Mechanical Properties of a 5 wt% Cr Cold Work Tool Steel," *steel research international,* vol. 87, 2016.

[17] Rahul, H. Arya, and R. Saxena, "Experimental Determination of Cooling Rate and its Effect on Microhardness in Submerged Arc Welding of Mild Steel Plate (Grade c-25 as per IS 1570)," *Journal of Material Science & Engineering,* vol. 03, 2013.

[18] *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*, ASTM, United States., 1999.

[19] H. Vetters, J. Dong, and H.-W. Zoch, "Effect of residual austenite on properties of tool steel following shortened treatments in lower bainitic phase," *International Heat Treatment & Surface Engineering,* vol. 3, pp. 130-135, 2009.

ศึกษาผลของโลหะแม่ (Al-Cr) ที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด A383

Investigation of the Effects of Master Alloy (Al-Cr) on the Microstructure and Mechanical Properties of A383 Aluminum Alloy

รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1*], ภัทรพงษ์ มูลนิภา[2], ศุภวิชญ์ หาญสริย์[2], และ ตะวัน บำรุงไทย[2]
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ[1], สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ[2]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Rattanaporn Wongthong[1], Phattarapong Moolnipa[2], Suphawit Hansuri[2] and Tawan Bumrungthai[2]
Department of Industrial Engineering[1], Department of Metallurgical Engineering[2]
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: rattanaporn.wo@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการเติมโครเมียมที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม A383 โดยทำการหลอมอะลูมิเนียม A383 และเติมโครเมียมในรูปแบบโลหะหลัก Al-Cr ในปริมาณ 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง และความต้านทานแรงกระแทก จากการวิจัยพบว่าเมื่อปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงและความแข็งมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การลดลงของต้านทานแรงดึงและความแข็งเกิดจากการก่อตัวของสารประกอบประกอบเชิงโลหะที่เกิดจากการเติมโครเมียมลงในอะลูมิเนียมผสม ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากโครเมียมช่วยปรับปรุงความเหนียวของวัสดุโดยการปรับปรุงโครงสร้างเกรนหรือการกระจายตัวของเฟสทำให้ความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น
คำหลัก ความต้านทานแรงดึง, ความแข็ง, ความต้านทานแรงกระแทก

Abstract

This research focuses on studying the influence of chromium addition on the microstructure and mechanical properties of A383 aluminum alloy. A383 aluminum was melted and alloyed with chromium using an Al-Cr master alloy at concentrations of 0.2, 0.4, and 0.6 wt%. The mechanical properties examined include tensile strength, hardness, and impact resistance. The results indicate that increasing the chromium content tends to decrease both tensile strength and hardness, while impact resistance tends to improve. The reduction in tensile strength and hardness is attributed to the formation of intermetallic compounds resulting from the chromium addition. In contrast, the improvement in impact resistance is likely due to enhanced material toughness, which may be the result of grain refinement or improved phase distribution promoted by the presence of chromium.
Keywords: Ultimate tensile strength, Hardness, Impact resistance

1. บทนำ

อะลูมิเนียม A383 เป็นโลหะผสมอะลูมิเนียมซิลิกอนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการหล่อขึ้นรูป เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นในด้านความสามารถในการหล่อขึ้นรูปที่ดี ความแข็งแรงสูง และทนต่อการสึกหรอ ทำให้ถูกนำไปใช้ในงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร และชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ [1] อย่างไรก็ตาม โลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด A383 เป็นการหล่อแบบรีไซเคิล คือ การนำวัสดุ อุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายมาทำการหลอมใหม่ เช่น กระป๋องเครื่องดื่ม กรอบประตูหน้าต่าง เศษขี้กลึง แม็กรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งการหล่อแบบรีไซเคิลอาจส่งผลต่อสมบัติทางกลเนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุที่ไม่ต้องการเจือปนมา โดยเฉพาะธาตุเหล็กที่เมื่อเจือปนในโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด A383 ซึ่งเป็นกลุ่ม Al-Si-Cu จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงโลหะ ß -Al_5FeSi (เฟส ß) มีลักษณะรูปร่างคล้ายเข็มลักษณะของเฟส ß ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงกลที่ลดต่ำลง การเติมธาตุเจือลงในโลหะผสมอะลูมิเนียมเป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติอื่นๆ ให้ดียิ่งขึ้น โครเมียม (Cr) เป็นธาตุโลหะที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่อความร้อน การเติมโครเมียมลงในโลหะผสมอะลูมิเนียมสามารถปรับปรุงสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรง ความแข็ง และความต้านทานการกัดกร่อน [2] การทดสอบสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมเป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงว่าสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงต่อแรงที่มากระทำ เช่น การทดสอบความต้านทานแรงดึง การทดสอบความแข็ง และการทดสอบแรงกระแทก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณโครเมียมที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม A383 ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง และความต้านทานแรงกระแทกโดยเติมโครเมียมที่อยู่ในรูปแบบโลหะแม่หรือโลหะหลัก Al-Cr (Master alloy Al-Cr) โดยการเตรียมชิ้นงานทดสอบและทดสอบตามมาตรฐาน [3],[4],[5] ผลการวิจัยที่ได้จะช่วยให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม A383 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโลหะผสมอะลูมิเนียมสำหรับงานอุตสาหกรรมต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีอะลูมิเนียมเกรด A383 ด้วยเครื่องสเปกโต (Spectrometer) ดังแสดงองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมทางเคมีอะลูมิเนียมเกรด A383

วัสดุที่ใช้	ปริมาณส่วนผสมทางเคมี (%)				
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe
อะลูมิเนียม เกรด A383	2.40	10.93	0.27	0.81	0.73
	Mn	Ni	Ti	Cr	Al
	0.24	0.05	0.04	0.04	Bal.

และเติมโครเมียมที่อยู่ในรูปแบบโลหะหลัก Al-Cr (Master alloy Al-Cr) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณส่วนผสมทางเคมีโลหะหลัก Al-Cr

โลหะหลัก	ปริมาณส่วนผสมทางเคมี (%)				
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe
Al-Cr	-	-	-	-	-
	Mn	Ni	Ti	Cr	Al
	-	-	-	60.0	40.0

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทำวิจัยดังนี้

1.หลอมอะลูมิเนียม A383 ในเตาหลอม (Crucible Furnace) ที่อุณหภูมิ 680 ± 10 ºC ดังรูปที่ 1

2.หลังจากอะลูมิเนียมหลอมละลายกวนน้ำอะลูมิเนียม และตักดรอสออกเพื่อทำให้น้ำอะลูมิเนียมสะอาด

3.จากนั้นเติมโลหะหลักโครมเมียมในน้ำอะลูมิเนียมหลอมเหลว 0.2 ร้อยละโดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 680 ± 10 ºC

รูปที่ 1 อะลูมิเนียมหลอมเหลวในเตาหลอม

4.ทำความสะอาดน้ำอะลูมิเนียมด้วย Flux KK 436 ปริมาณ 20 กรัม โดยจุ่มลงไปที่ก้นเตากวนจนฟองแก๊สลอยขึ้นมาที่ผิวและตักดรอสที่ลอยขึ้นมาออกให้หมดดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 กวนอะลูมิเนียมหลอมเหลว

5.หลังจากทำความสะอาดน้ำอะลูมิเนียมด้วย Flux KK 436 จากนั้นไล่ก๊าซโดยใช้แก๊สอาร์กอนพ่นลงในน้ำอะลูมิเนียมเป็นเวลา 3 นาที

6.เทน้ำอะลูมิเนียมหลอมเหลว โดยใช้อุณหภูมิเท 680 ± 10 ºC ลงในโมลที่อุณหภูมิโมล 250 ± 10 ºC ที่เตรียมไว้รอให้โลหะผสมแข็งตัวและนำชิ้นงานออกจากโมล

7.ทำการทดลองตามขั้นตอนข้อ 1-6 อีกครั้ง โดยเติมโลหะหลักโครมเมียมในน้ำอะลูมิเนียมหลอมเหลว 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ

8.นำชิ้นงานหล่อไปทำเป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลดังต่อไปนี้

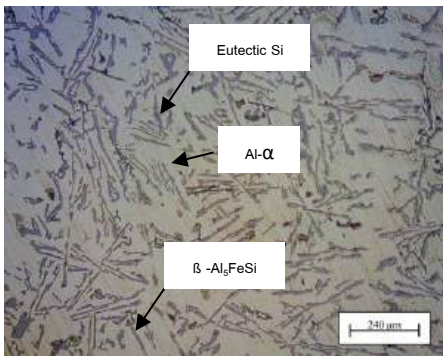
1) การทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงทดสอบ

2) การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM E18 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell B (HRB)

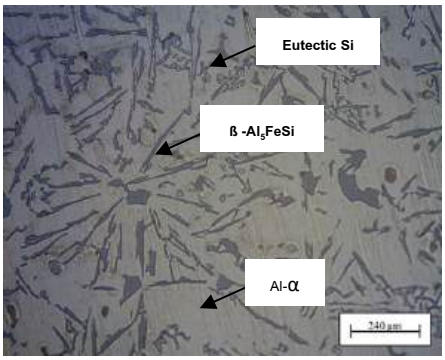
3) การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM E23 โดยใช้การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้

3. ผลการทดลอง

จากการหลอมอะลูมิเนียมผสมเกรด A383 และทดลองเติมโลหะหลักโครมเมียมในน้ำอะลูมิเนียมหลอมเหลว 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก ได้ผลการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3-6 และตารางที่ 3 ซึ่งแสดงโครงสร้างจุลภาคและผลการทดสอบสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมที่ไม่ได้เติมโครเมียมและเติมโครเมียม

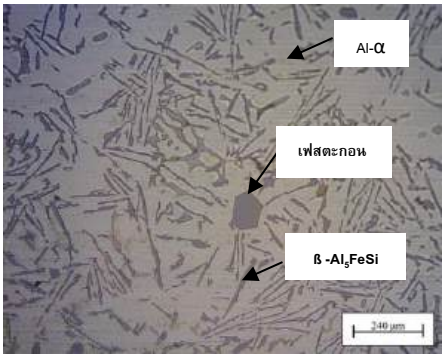


รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคที่ไม่ได้เติมโครเมียม กำลังขยาย 200 เท่า

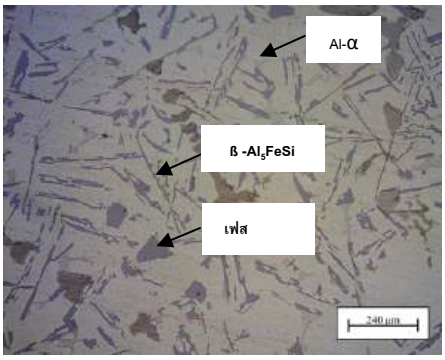


รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคที่เติมโครเมียม 0.2 ร้อยละโดย

น้ำหนัก กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคที่เติมโครเมียม 0.4 ร้อยละโดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200 เท่า



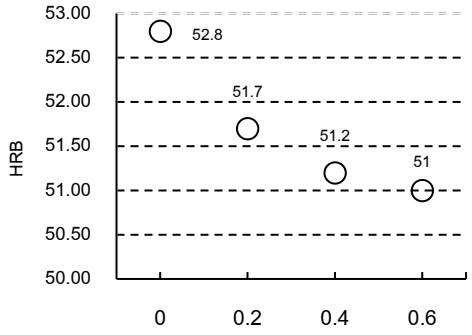
รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคที่เติมโครเมียม 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200 เท่า

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

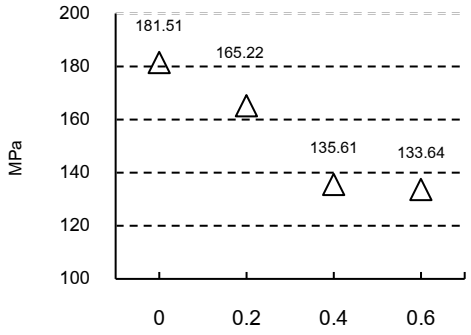
โลหะหลัก (Al-Cr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	ความแข็ง (HRB)	ความต้านทานแรงกระแทก (Joule)
0.0	181.51	52.8	1.5
0.2	165.22	51.7	2.6
0.4	135.61	51.2	3.0
0.6	133.64	51.0	4.5

4. อภิปรายผล

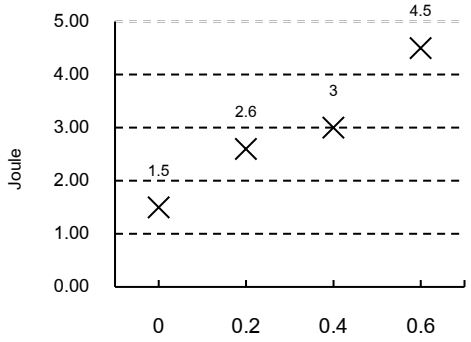
จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 3-6 และค่าผลการทดสอบสมบัติทางกลในตารางที่ 3 เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 7-9 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมที่ไม่เติมโครเมียมและเติมโครเมียมในปริมาณ 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความความต้านทานแรงดึงและความแข็งมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการเติมโครเมียมทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบเชิงโลหะ (intermetallic compounds) ß -Al_5FeSi (เฟส ß) มีลักษณะรูปร่างคล้ายเข็ม แข็งแต่เปราะส่งผลเสียต่อความแข็งแรงที่ลดต่ำลง [6],[7] ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจาก โครเมียมช่วยปรับปรุงความเหนียวของวัสดุโดยการปรับปรุงเกรนหรือการกระจายตัวของเฟสทำให้ความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น [8],[9] และเมื่อปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นจะปรากฏเฟสตะกอน $Al_x(Fe,Mn,Cr)_ySi_z$ในโครงสร้างจุลภาคเนื่องจากมีปริมาณของธาตุผสมที่สูงขึ้น [10]



รูปที่ 7 ค่าความแข็งก่อนและหลังเติมโครเมียม 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก



รูปที่ 8 ค่าความต้านทานแรงดึงก่อนและหลังเติมโครเมียม 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก



รูปที่ 9 ค่าความต้านทานแรงกระแทกก่อนและหลังเติมโครเมียม 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก

5. สรุป

จากงานผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การเติมโครเมียมในอะลูมิเนียม A383 ในปริมาณ 0.2 0.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงและค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง แต่ความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะทีมงานวิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น เป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Davis, J. R. (Ed.). (1993). Aluminum and aluminum alloys. ASM International.

[2] ASM Handbook Committee. (1990). ASM handbook: Vol. 2. Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials. ASM International.

[3] 2020 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (ASTM International) ASTM E8

[4] 2020 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials (ASTM International) ASTM E18-20

[5] 2020 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials (ASTM International) ASTM E23

[6] Keerthipalli, T., Aepuru, R., & Biswas, A. (2023). Review on precipitation, intermetallic and strengthening of aluminum alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 237(6-7), 833-850.

[7] Timelli, G., & Bonollo, F. (2010). The influence of Cr content on the microstructure and mechanical properties of AlSi9Cu3 (Fe) die-casting alloys. Materials Science and Engineering: A, 528(1), 273-282.

[8] Ayer, R., & Machmeier, P. M. (1996). Microstructural basis for the effect of chromium on the strength and toughness of AF1410-based high performance steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, *27*, 2510-2517.

[9] Doğan, Ö. N., Hawk, J. A., & Laird, G. (1997). Solidification structure and abrasion resistance of high chromium white irons. *Metallurgical and materials transactions A*, *28*, 1315-1328.

[10] Timelli, G., & Bonollo, F. (2010). The influence of Cr content on the microstructure and mechanical properties of AlSi9Cu3 (Fe) die-casting alloys. Materials Science and Engineering: A, 528(1), 273-282.

Fabrication of Composite Sheets from Jute/Polypropylene Yarn Using Compression Molding

Anin Memon[1] May Phu Pwint wai[2] Ponlapath Tipboonsri [3]
Supaaek Pramoonmak[3] and Boonsong chongkolnee[3]
[123] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Raja Mangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: anin.m@en.rmutt.ac.th*

Abstract

The growing demand for environmentally friendly materials has resulted in substantial research into natural fiber-reinforced polymer composites. However, a significant challenge remains in improving their mechanical qualities to meet those of synthetic fiber composites. This study focuses on the development of Jute/polypropylene (Jute/PP) yarn using compression molding to fabricate composite sheets. Composite sheets were prepared through compression molding with varying fiber loadings of 40%, 45%, 50%, and 55% by weight. Jute spun yarn with a fineness of approximately 1000 tex was employed as the reinforcement, while polypropylene fibers in a tow configuration (approximately 1080 denier) acted as the matrix fiber. Composite sheets were made by compression molding at 200°C and 9 MPa for 5 minutes to obtain the optimal fiber loading for better mechanical performance. Mechanical properties, including tensile strength (TS) and tensile modulus (TM) were evaluated using a computerized ASTM D3039 testing machine according to ASTM standards. The results showed that the tensile strength and modulus were optimized at 2025.63 MPa and 80.14 M Pa, respectively, using volume fraction of jute of 50% and a 106% filling ratio. The findings reveal that jute/PP composites with 50% Jute fiber content and a filling ratio of 106 provide an optimal combination of strength and sustainability, making them appropriate for automotive interiors, packaging, and construction. Furthermore, the usage of jute fibers has environmental benefits such as biodegradability, a lower carbon footprint, and agricultural waste valorization.

Keywords: Jute fiber, Thermoplastic Composite, Polypropylene, Weaving

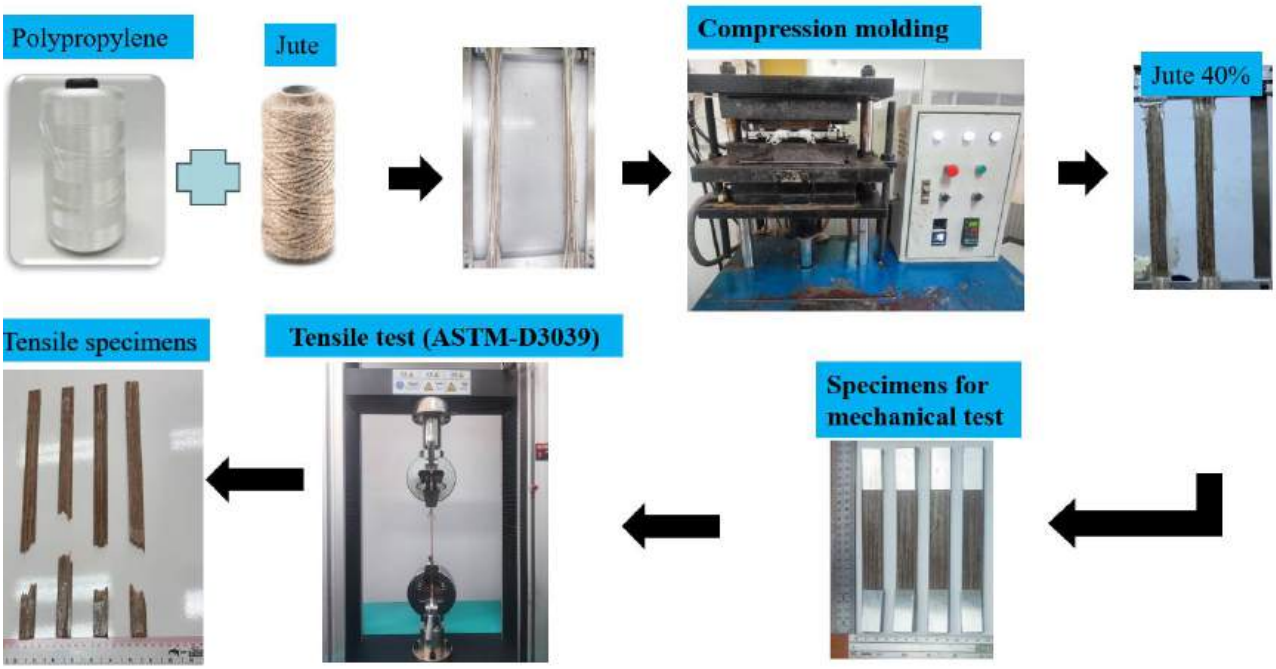


Figure. Preparation of Jute/PP composite composites

References

[1] Das, S., Paul, D., Fahad, M., Das, M., Rahman G.M., and Khan, M., "Effect of Fiber Loading on the Mechanical Properties of Jute Fiber Reinforced Polypropylene Composites", Advances in Chemical Engineering and Science, 8: (2018), pp. 215-224.

[2] Arju S.N., Afsar A., Khan M.A, Das D.K., "Effects of Jute Fabric Structures on the Performance of Jute-reinforced Polypropylene Composites", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Malaysia, 34:(2015), pp. 1306-1314.

[3] Berhanu, T., Kumar, P., and Singh, I., "Mechanical behavior of Jute fiber reinforced polypropylene composites", 5th International & 25th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014), December 2014, pp. 289-294.

[4] Kerni, L.; Singh, S.; Patnaik, A.; Kumar, N. "A review on natural fiber reinforced composites", Materials Today: Proceedings, 28: (2020), pp. 1616-1621.

[5] Gholampour, A.; Ozbakkaloglu, T. "A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications", Journal of Materials Science, 55: (2020), pp. 829-892.

[6] Baghaei, B.; Skrifvars, M.; Berglin, L. "Characterization of thermoplastic natural fiber composites made from woven hybrid yarn prepregs with different weave pattern", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 76: (2015), pp. 154-161.

[7] Gupta, R. K., Ziaulhaq, M., Deptt, M. E., & Pradesh, U., "Study of properties of polypropylene-natural fiber composite", Int Res J Eng Technol, 7: (2017), pp. 3507-3511.

Recycling of multi-layer plastic packaging to reduce aluminum composite core material in green building

Sokleng Srou, Ponlapath Tipboonsri, Supaaek Pramoonmak, Boonsong chongkolnee, Anin Memon*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: anin.m@en.rmutt.ac.th

Abstract

The growing demand for sustainable materials in green building applications has accelerated the search for innovative alternatives to conventional construction components. This study investigates the potential of recycled multi-layer plastic packaging, typically disposed of in landfills, as a core material for aluminum composite panels (ACPs). Recycled plastic derived from carton packaging was assessed for its mechanical performance. Tensile and bending tests were conducted to evaluate strength and flexibility, while the compression process was examined under nine conditions, combining pressures of 10 MPa, 12 MPa, and 14 MPa with temperatures of 170°C, 190°C, and 210°C. The results revealed that the condition of 14 MPa and 210°C produced the highest ultimate tensile strength, reaching approximately 56 MPa. These outcomes demonstrate the structural viability of recycled plastic-based cores in ACPs and underscore their potential as a reliable and sustainable material solution for modern building applications.

Keywords: Aluminum composite panel, Sandwich material, Multi-layer plastic packaging, composite core material, Waste reduction

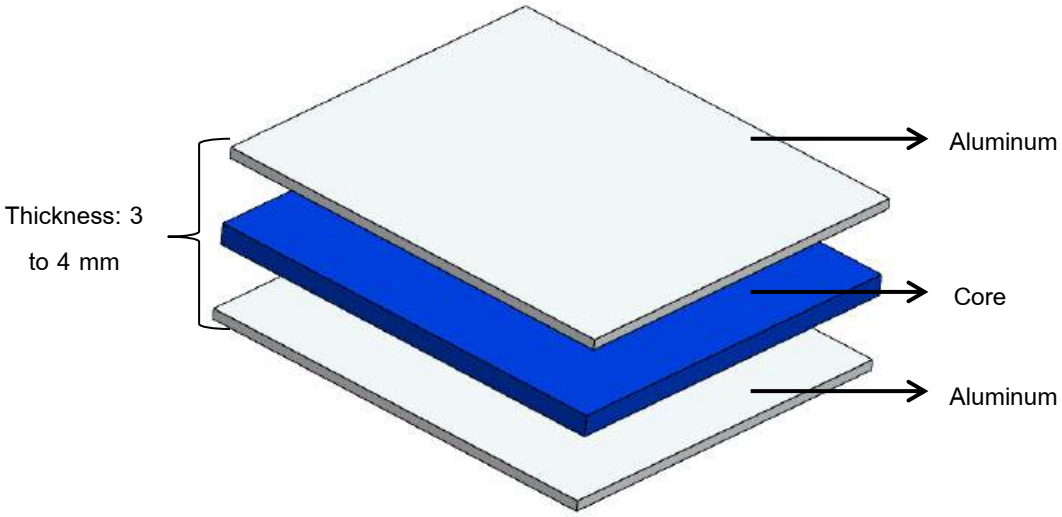


Figure 1. Aluminum composite panel.

Figure 2. Process flow diagram for multi-layer plastic packaging waste into pellets.

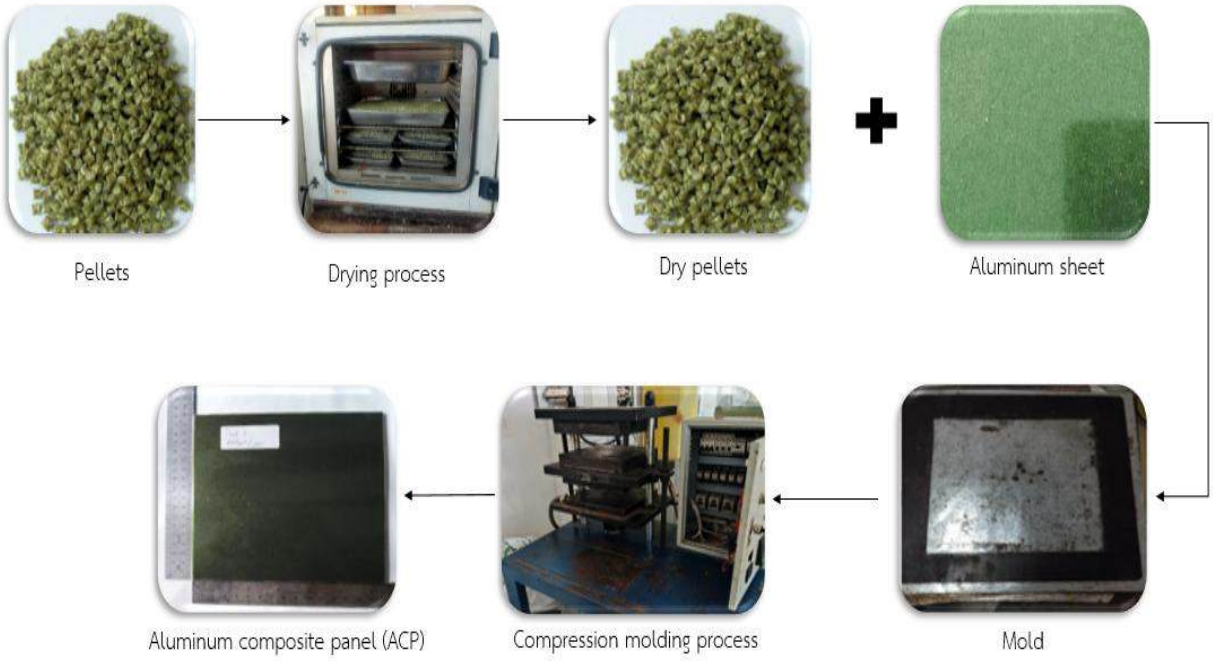


Figure 3. Process flow diagram for aluminum composite panel (ACP) production.

Predictive Accuracy of Compressive Strength Using Central Composite Design with Regression Techniques

Napassadol Singhata[1] and Prasert Aengchuan[1*]
[1] School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima, Thailand
E-mail: prasert.a@sut.ac.th*

Abstract

In this study, central composite design (CCD) experiments were applied to balance data sets for predicting compressive strength (CS). Three parameters were analyzed for the molarity of NaOH, the ratio of $Na2SiO_3$ to NaOH (SS/SH), and the solid-to-liquid (S/L) ratio. The performance of Taguchi, CCD, and hybrid Taguchi-CCD designs was compared using various regression techniques, including Linear Regression (LR), Bagging Regression (BR), Gradient Boosting (GB), and Random Forest (RF). It was indicated by the findings that the CCD design offers more accurate predictions of compressive strength. This method is proven to be the most effective and efficient approach for predicting compressive strength

Keywords: Prediction, Central composite design (CCD), Geopolymer concrete

1. Introduction

Geopolymer concrete uses industrial byproducts, reducing the need for energy-intensive limestone calcination, and significantly lowering CO_2 emissions, making it a better choice for eco-friendly construction [1-3]. Metakaolin, a highly reactive pozzolanic material, is used in concrete to enhance its strength, durability, and overall performance [4, 5]. It is obtained by calcining kaolin clay at 600-800°C [6, 7]. Metakaolin is selected as a partial replacement for cement in concrete due to its significant performance and environmental benefits. As a highly reactive pozzolan, it improves the mechanical properties of concrete by increasing compressive strength, reducing permeability, and enhancing resistance to chemical attacks [8]. Its fine particle size also improves workability and surface finish, making it an excellent choice for sustainable, high-performance concrete in demanding applications [9, 10]. The performance and strength of geopolymer concrete can be significantly enhanced by optimizing these variables. However, managing and predicting the interactions between different materials can be complex, increasing the risk of design flaws or inefficiencies. Diverse mixture designs present several challenges, complicating the optimization process. Quality control becomes more difficult with diverse mixtures, as slight variations can lead to significant changes in the outcome. This can result in difficulties in determining the ideal proportions of each component.

The experimental design should allow for interaction analysis, improving efficiency when dealing with multiple variables [11-13]. A full factorial design has significant effects on experiments. However, the comprehensive nature of a full factorial design can also lead to a high number of experimental runs,

which may require more resources and time, and can then be used to develop predictive models. CCD allows for examining primary effects and some interactions without testing every combination, unlike a random design [14-16]. This setup helps detect both main effects and interactions, including nonlinear relationships within the process. Adding points to a complex model enables a targeted investigation of intricate relationships, enhancing accuracy by capturing more variability [17-19]. ML algorithms analyze experimental data to create predictive models, allowing researchers to simulate various conditions without performing physical experiments, avoiding redundant tests [20]. Choosing the right regression model for predicting outcomes depends on several factors related to the data and the problem. It can select the most suitable regression model for accurate predictions by analyzing the data characteristics and applying these principles. Reducing the need for physical experiments by predicting outcomes based on data, thus saving time, resources, and costs. By identifying key factors influencing results. Design experiments with ML prediction aim to reduce the number of required experiments while still providing valuable insights into how various variables affect the output. Therefore, integrating experimental design with predictive modeling enables efficient identification of relationships between variables while minimizing the need for exhaustive testing. This combined approach reduces experimental runs, conserves resources, and enhances model accuracy. Training machine learning models on structured data allows untested scenarios to be reliably predicted. Consequently, this strategy improves both the efficiency and precision of material optimization. This study aims to reduce the number of required experiments by applying a machine learning (ML) approach to predict the compressive strength of geopolymer composites. The prediction is based on the Central Composite Design (CCD) method, considering three key parameters at three levels: the molarity of NaOH, the ratio of sodium silicate to sodium hydroxide (SS/SH), and the solid-to-liquid (S/L) ratio. The estimated compressive strength values are compared using four regression models: Linear Regression (LR), Bagging Regression (BR), Gradient Boosting (GB), and Random Forest (RF). This approach enables accurate prediction without extensive physical experimentation, significantly reducing testing time, cost, and resource consumption.

2. Methods

This study evaluated the predictive capabilities of various experimental design methods by using CCD for designing the experiment of geopolymer concrete to enhance model accuracy, stability, and reliability in predicting compressive strength. To design the experiment by varying these factors across three levels, the central composite design is shown in Table 1.

Table 1. Factors and levels

Factor	Low	Medium	High
NaOH (M)	10	12	14
SS/SH	1.2	1.6	2
S/L	0.85	1	1.15

2.1 Central composite design

Central composite design is a more complex experimental design that includes factorial, axial, and center points. In this context, CCD is applied with three factors denoted as A, B, and C, each at three levels: low, medium, and high. CCD is commonly used to build predictive models for responses. In this case, it is utilized to predict compressive strength

based on the experimental factors, as shown in Table 2.

Table 2. Central composite design

ID	CCD, P =3, L=3			Mol	SS/SH	S/L
	A	B	C			
C1	-1	-1	-1	10	1.2	0.85
C2	-1	-1	1	10	1.2	1.15
C3	-1	1	-1	10	2.0	0.85
C4	-1	1	1	10	2.0	1.15
C5	1	-1	-1	14	1.2	0.85
C6	1	-1	1	14	1.2	1.15
C7	1	1	-1	14	2.0	0.85
C8	1	1	1	14	2.0	1.15
C9	-α	0	0	10	1.6	1.00
C10	α	0	0	14	1.6	1.00
C11	0	-α	0	12	1.2	1.00
C12	0	α	0	12	2.0	1.00
C13	0	0	-α	12	1.6	0.85
C14	0	0	α	12	1.6	1.15
C15	0	0	0	12	1.6	1.00

The experiment involves 15 runs based on a central composite design for three factors. The factorial points consist of 8 experiments (rows 1 to 8) representing combinations of the low (-1), medium (0), and high (+1) levels of the three factors (A, B, C). The axial points are incorporated in 6 experiments, represented in rows 9 to 14. These axial points include - α and + α values, which extend the range of the design space and facilitate exploration beyond the initial levels. Finally, C15 has all factors set to their medium values. Overall, CCD consists of 15 points.

2.2 Test data

The 9 data points are utilized to evaluate the predictive performance of the models. Testing the accuracy of a model is crucial because it involves key parameters and data points that can be used as input variables and expected outcomes for model validation. This setup is used to evaluate how accurately the model predicts compressive strength based on different combinations of input parameters, as shown in Table 3.

Table 3. Experimental Test

ID	Mol	SS/SH	S/L
M 2	10	1.2	1.0
M 4	10	1.6	0.85
M 6	10	1.6	1.15
M 8	10	2	1.0
M 10	12	1.2	0.85
M 12	12	1.2	1.15
M 18	12	2	1.15
M 20	14	1.2	1.0
M 24	14	1.6	1.15

3. MODELING METHOD

Various machine learning models were then applied to predict outcomes based on the experimental factors. A regression model was fitted to the data, utilizing Linear Regression (LR), Bagging Regression (BR), Gradient Boosting (GB), and Random Forest (RF) in combination with the experimental design methods, Taguchi and CCD, to predict compressive strength.

3.1 Linear regression

Linear regression is a fundamental model used to predict a continuous response based on a linear relationship. This statistical method models the relationship between a dependent variable and one or more independent variables, particularly in geopolymer studies focused on material composition. For small datasets, linear regression aids in identifying trends by fitting a straight line through the data points, which represents the best approximation of the relationship. It can be employed to predict material properties based on experimental factors, thereby creating a predictive model from the experimental data.

4.2 Bagging regression

Bagging is an ensemble method that generates multiple models using different subsets of the data and aggregates their predictions. This process involves creating bootstrap samples by randomly selecting subsets of the experimental data with replacements. Multiple base regression models are then trained on these bootstrap samples, and their predictions are aggregated, usually by averaging, for regression tasks.

4.3 Gradient boosting

Gradient boosting is a sequential ensemble method that builds models iteratively, where each new model aims to correct the errors made by the previous ones. The process begins with training an initial model on the experimental data, after which the residuals from this initial prediction are calculated. A new model is then trained to predict these residuals, and its predictions are added to those of the previous models. This process is repeated iteratively until the accuracy of the prediction model improves.

4.4 Random Forest

Random Forest is an ensemble method that constructs multiple decision trees. At each split in the tree, a random subset of features is selected which helps reduce the correlation between the trees. By utilizing different subsets of data and features, the final prediction is obtained by averaging the predictions from all the trees.

4. Results

The performance of the CCD method with 15 data points will be evaluated. The analysis will focus on how each model predicts the compressive strength variable using training and test sets.

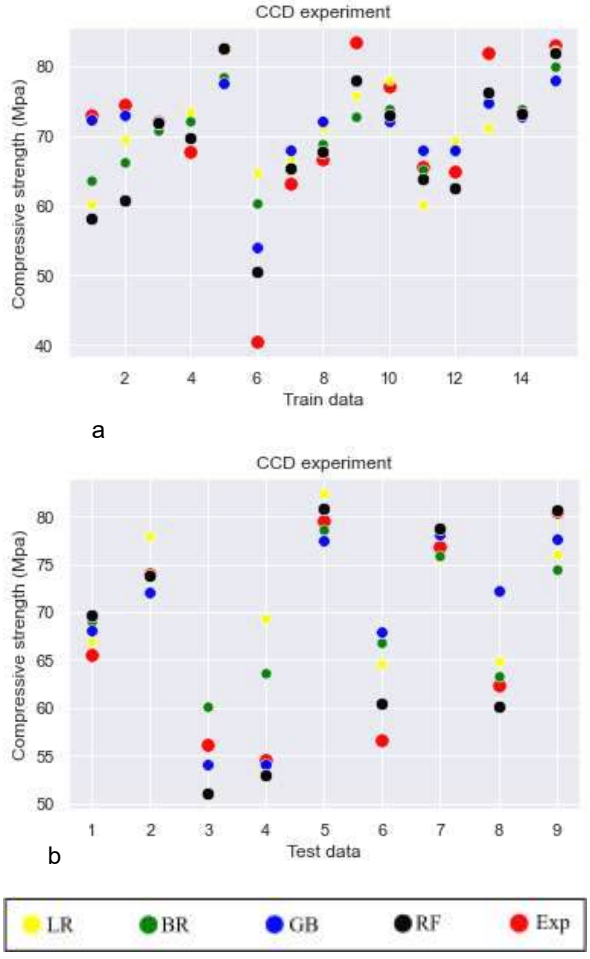


Figure 1. Compressive strength prediction with experiment design

In Figure. 1(a), the LR model shows moderate performance while stability is present, and variability persists. The BR model is more consistent with better generalization and accuracy than LR. The GB model performs similarly to BR, showing stable performance

across different data points. The RF model is more consistent as well. In Fig. 1(b), the LR model exhibits improved consistency on the test set. The BR model performs well, indicating effective generalization from training to test. The GB model performs similarly to BR, showing stable results but with slight variations in certain cases.

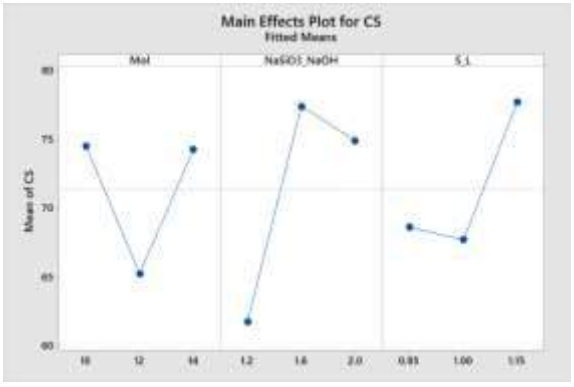


Figure 2. The effect of compressive strength parameters

In Figure 2. The trend observed in the molarity of NaOH (Mol) displays a slight performance drop at 12, resulting in a V-shaped curve. The significant increase occurs when the Na_2SiO_3/NaOH ratio rises from 1.2 to 1.6. In terms of the S/L ratio, a steady and significant increase in CS is observed as the S/L ratio increases.

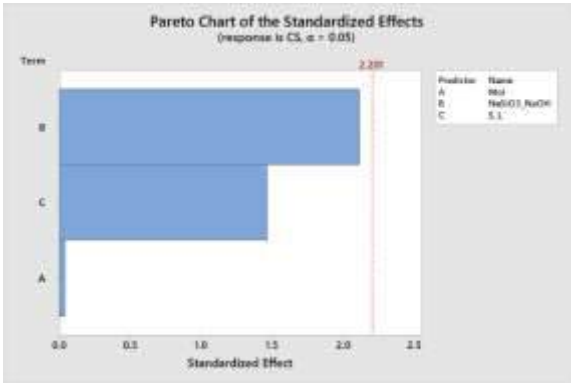


Figure 3 The effect of compressive strength parameters

In figure 3. The CCD, factor B (Na2SiO3/NaOH ratio) consistently exhibits the most substantial effect on compressive strength, Factor C (S/L ratio) shows a moderate influence, while factor A (Molarity of NaOH) has the least impact in all cases.

5. Conclusion

CCD captures more complex interactions between factors. the regression model used for prediction can capture more variability in the data. This leads to a more accurate and robust model, as the additional points help to better estimate the relationships between the factors and responses. The unbiased distribution of added points helps in covering the factor space more comprehensively. This ensures that the experimental design accounts for a wider range of conditions, improving the ability of the model to generalize across the factor space. The implications of this study suggest that the utilization of the CCD design can significantly enhance predictive modeling in material science, potentially guiding future research and practical applications in optimizing material formulations for improved structural integrity. The study considered only three variables at three levels. Contributions to the development of more reliable and efficient predictive tools in the field are aimed to be made by refining the parameters and methodologies used in this analysis. Future studies should explore expanding the number of variables, testing additional experimental designs such as Box–Behnken, and incorporating hybrid ML models for enhanced robustness.

6. Acknowledgments

This research was supported by the Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Krungthep Thailand.

7. References

[1] Nurjannah, S. A., Usman, A. P., Hu S., and Usman, F., (2023). Behavior of geopolymer concrete wall panels with square opening variations subjected to cyclic loads, Journal of Applied Engineering Science, vol. 21, no. 3, pp. 884-895.

[2] Hasanbeigi A., Price L., and Lin E., (2012). Emerging energy-efficiency and CO2 emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 8, pp. 6220-6238.

[3] Kueaket K. and Tonnayopas D., (2021).Compressive strength and durability performance of mortar containing palm oil boiler clinker aggregate, rice husk ash, and calcium bentonite, Journal of Applied Engineering Science, vol. 19, no. 1, pp. 193-203.

[4] John, N. , (2013). Strength properties of metakaolin admixed concrete, *International Journal of scientific and research publications,* vol. 3, no. 6, pp. 1-7.

[5] Awoyera P. O., Kirgiz M. S.,Viloria A., and Ovallos-Gazabon D., (2020). Estimating strength properties of geopolymer self-compacting concrete using machine learning techniques, Journal of materials research and technology, vol. 9, no. 4, pp. 9016-9028.

[6] Ayininuola G. M. and Adekitan O. A.,(2017). Characterization of Ajebo Kaolinite Clay for production of natural pozzolan, International Journal of Civil and Environmental Engineering, vol. 10, no. 9, pp. 1233-1240.

[7] Nmiri A.,Hamdi N., Yazoghli-Marzouk O., Duc M., and Srasra E., (2017). Synthesis and characterization of kaolinite-based geopolymer: Alkaline activation effect on calcined kaolinitic clay at different temperatures, J. Mater. Environ. Sci, vol. 8, no. 2, pp. 276-290.

[8] Ahmad J., Majdi A., Arbili M. M. , Deifalla A. F., and Naqash M. T., (2022). Mechanical, durability and microstructure analysis overview of concrete made with Metakaolin (MTK), Buildings, vol. 12, no. 9, p. 1401.

[9] Gopalakrishna B. and Pasla D., (2023). Development of metakaolin based high strength recycled aggregate geopolymer concrete, Construction and Building Materials, vol. 391, p. 131810.

[10] Nodehi M. and Aguayo F. , (2021). Ultra high performance and high strength geopolymer concrete, Journal of Building Pathology and Rehabilitation, vol. 6, no. 1, p. 34.

[11] Haq M. Z. U., Sood H., Kumar R., and Merta I., (2024). Taguchi-optimized triple-aluminosilicate geopolymer bricks with recycled sand: A sustainable construction solution, Case Studies in Construction Materials, vol. 20, p. e02780.

[12] Copetti Callai S., Tataranni P., and Sangiorgi C., (2021). Preliminary evaluation of geopolymer mix design applying the design of experiments method, Infrastructures, vol. 6, no. 3, p. 35.

[13] Rahman S. H. A., Zulkarnain N. N., and Shafiq N., (2021). Experimental study and design of experiment using statistical analysis for the development of geopolymer matrix for oil-well cementing for enhancing the integrity, Crystals, vol. 11, no. 2, p. 139.

[14] Ding E., Cao C., Hu H., Chen Y., and Lu X., (2020). Application of central composite design to the optimization of fly ash-based

geopolymers, Construction and Building Materials, vol. 230, p. 116960 .

[15] Pattanayak N., Behera H. K., and Das S. S., (2024). Mix design strategy and optimization considering characteristic evaluation of geopolymer concrete, *Journal of Building Engineering,* vol. 91, p. 109557, .

[16] Yıldırım Z. B.,Karacasu M., and Okur V., Optimisation of Marshall Design criteria with central composite design in asphalt concrete, International Journal of Pavement Engineering, vol. 21, no. 5, pp. 666-676, 2020.

[17] Zribi M., Samet B., and Baklouti S., (2022). Investigation of dealumination in phosphate-based geopolymer formation process: factor screening and optimization, Minerals, vol. 12, no. 9, p. 1104,

[18] Anuja N., Palanivel M., and Amutha Priya N., (2024). Enhancing Geopolymer Mix Optimization: Integration of the Plackett–Burman Method and Response Surface Methodology for Sustainable Construction Materials, Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2024, no. 1, p. 6401595. .

[19] Driouich A., et al., (2020). Modeling and optimizing synthesis of irreversible gel by sol-gel using experimental design, Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements, vol. 195, no. 1, pp. 50-59.

[20] Kuppusamy Y., et al.,(2022). Artificial neural network with a cross-validation technique to predict the material design of eco-friendly engineered geopolymer composites, Materials, vol. 15, no. 10, p. 3443, .

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งไข่ไก่สด ของร้านทุ่งแพรฟาร์มหาดใหญ่

Solving Fresh Eggs Transportation Vehicle Routing Problem of Thung Prae Farm Hatyai Shop

สมศักดิ์ แก้วพลอย[1*] เพ็ญนภา สุดชู[1] อูซานา เหย็บหนุด[1] และ สุจิตรา แก้วพลอย[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[2] กรรมการผู้จัดการ, บริษัทเอสพลัสเอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด

Somsak Kaewploy[1*] Phennapha Sutchu[1] Ausana Yebnud[1] and Sujittra Kaewploy[2]
[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University
[2] Managing Director, sPlus Engineering & Service Co., Ltd.
E-mail: somsak.ka@skru.ac.th*

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการเส้นทางการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญในการลดต้นทุนโลจิสติกส์ โดยเฉพาะในธุรกิจเกษตรกรรมที่มีความเปราะบางของสินค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางขนส่งไข่ไก่สดจากร้านทุ่งแพรฟาร์ม จังหวัดสงขลา ด้วย 3 วิธี ได้แก่ วิธีดั้งเดิม วิธีการเดินทางจากเมืองที่ใกล้ที่สุด และโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver โดยใช้ข้อมูลจากลูกค้า 56 ราย ผลการศึกษาแสดงว่าโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยลดระยะทางการขนส่งเหลือ 42.15 กิโลเมตร และลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ถึง 24.04% ขณะที่วิธีการเดินทางจากเมืองที่ใกล้ที่สุดลดต้นทุนได้เพียง 5.15% ผลการวิจัยชี้ถึงความสำคัญของการเลือกเทคนิคจัดเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ภาคเกษตร

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสม, ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง, การขนส่งไข่ไก่สด

Abstract

Efficient transportation route planning is essential for reducing logistics costs, particularly in agriculture where products are sensitive to time and quality. This study compares three delivery routing methods for fresh eggs from Thungphrae Farm in Songkhla: the traditional method, the nearest neighbor heuristic, and the VRP spreadsheet solver. Using real-world data from 56 customer locations, the analysis shows that the VRP spreadsheet solver performed best, reducing total distance to 42.15 km and fuel cost by 24.04% compared to the current practice. The nearest neighbor method achieved only a 5.15% cost reduction. These findings highlight the benefits of using data-driven routing tools to improve efficiency and competitiveness in agricultural logistics.

Keywords: Optimal Vehicle Routing, Vehicle Routing Problem, Fresh Eggs

การประยุกต์ใช้ ABC Analysis และ Visual Control ในการจัดการคลังวัสดุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการไหลวัสดุ: กรณีศึกษาคลังโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม

Application of ABC Analysis and Visual Control in Warehouse Management to Optimize Material Flow Processes: A Case Study of a Welding Practice Warehouse

สุภาพร แสนกุล[1], ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์[2*], รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล[3], สุรินธร เอกพันธ์[1], ธนากร ผิวศิริ[1], สิทธิศักดิ์ น้ำคำ[1] และนราธิป สุพัฒน์ธนานนท์[1]

[1] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[2] คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Supaporn Sankul[1], Natdhanai Supattananon[2*], Raknoi Akararungreangkul[3], Sulinton Akapan[1], Thanakorn Phiwsiri[1], Sittisak Namkham[1] and Naratip Supattananon[1]

[1]Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

[2]Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus

[3]Faculty of Engineering, Khonkaen University

E-mail: natdhanai.su@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการไหลของวัสดุในโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis เพื่อจัดกลุ่มวัสดุตามความถี่ในการเบิกจ่าย และใช้หลักการ Visual Control เพื่อระบุตำแหน่งจัดเก็บวัสดุอย่างชัดเจน การดำเนินงานเริ่มจากการสำรวจข้อมูลการเบิกจ่ายวัสดุจำนวน 17 รายการ และจัดหมวดหมู่วัสดุออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม A, B และ C ตามระดับความถี่การใช้งาน จากนั้นได้ออกแบบผังจัดวางวัสดุใหม่โดยใช้หลักการเคลื่อนที่แบบเป็นมุมฉาก เพื่อลดระยะเวลาในการค้นหาและเคลื่อนย้ายวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ จากการประเมินและจับเวลาการทำงานก่อนและหลังปรับปรุง แสดงว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สลดลง 14.02 เปอร์เซ็นต์ จากเดิม 228.69 วินาที เหลือ 196.62 วินาที และวัสดุประเภทเหล็กลดลง 37.47 เปอร์เซ็นต์ จากเดิม 211.54 วินาที เหลือ 132.28 วินาที นอกจากนี้ ได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สและเหล็กเท่ากับ 274.99 และ 185.01 วินาที ตามลำดับ ผลการศึกษายืนยันว่าการออกแบบผังคลังวัสดุอย่างเป็นระบบร่วมกับเทคนิค ABC Analysis และ Visual Control สามารถลดเวลาสูญเปล่า เพิ่มความปลอดภัย และสนับสนุนประสิทธิภาพการดำเนินงานในคลังวัสดุได้อย่างมีประสิทธิผล

คำหลัก การเพิ่มประสิทธิภาพ, การจัดการคลังวัสดุ, กระบวนการไหลวัสดุ

Abstract

This research aims to optimize the material flow process in a welding practice warehouse by applying the ABC Analysis technique to classify materials based on their withdrawal frequency and utilizing the Visual Control principle to clearly indicate storage positions. The study began by collecting data on 17 types of materials, which were categorized into three groups: A, B, and C, according to usage frequency. Subsequently, a new warehouse layout was designed based on the rectilinear movement principle to minimize the time required for searching and transporting materials. A comparative time study conducted before and after the implementation revealed that the average withdrawal time for gas materials was reduced by 14.02%, from 228.69 seconds to 196.62 seconds, while the withdrawal time for steel materials decreased by 37.47%, from 211.54 seconds to 132.28 seconds. In addition, the standard times for the withdrawal processes of gas and steel materials were established at 274.99 and 185.01 seconds, respectively. The findings confirm that systematic warehouse layout design, combined with ABC Analysis and Visual Control, significantly reduces wasted time, enhances material handling safety, and improves the overall operational efficiency of the warehouse.

Keywords: Productivity Improvement, Warehouse Management, Material Flow Process

1. บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจก่อสร้างเผชิญกับความท้าทายด้านต้นทุนวัสดุก่อสร้างที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการแข่งขันที่รุนแรงจากธุรกิจก่อสร้างขนาดเล็กที่มีจำนวนมากขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ได้แก่ การดำเนินงานที่มีคุณภาพ ต้นทุนที่เหมาะสม และการส่งมอบงานที่ตรงเวลา [1] อย่างไรก็ตาม การบริหารต้นทุนในหลายองค์กรยังเป็นแบบครอบครัว ทำให้การจัดการคลังวัสดุขาดประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดปัญหาการจัดเก็บและควบคุมวัสดุที่ไม่มีประสิทธิผล [2] การบริหารจัดการวัสดุเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินงาน เนื่องจากหากวัสดุไม่เพียงพออาจทำให้งานหยุดชะงัก ส่งผลให้เกิดความล่าช้าและเพิ่มต้นทุนแรงงานโดยไม่จำเป็น คลังวัสดุที่มีประสิทธิภาพควรมีระบบบริหารจัดการที่ดี เช่น ระบบเอกสารที่ชัดเจน ระบบจัดเก็บวัสดุที่เป็นระเบียบ และระบบการสั่งซื้อที่เหมาะสม ซึ่งช่วยลดปัญหาวัสดุคงคลังที่มากเกินไป ลดต้นทุนการดูแลรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่จัดเก็บ [2]

คลังวัสดุของโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อมมีวัสดุประเภทแก๊สและเหล็กจำนวนมาก แต่ยังขาดการจัดวางที่เป็นระบบ ไม่มีตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนสำหรับแยกประเภทวัสดุ อีกทั้งยังมีวัสดุที่เสื่อมสภาพ วัสดุอันตราย และวัตถุไวไฟ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านความปลอดภัย นอกจากนี้ คลังวัสดุยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ หากสามารถบริหารจัดการพื้นที่อย่างเหมาะสมและจัดประเภทวัสดุให้ชัดเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและการเบิกจ่ายวัสดุให้รวดเร็วขึ้น

ดังนั้น การบริหารจัดการคลังวัสดุประเภทแก๊สและเหล็ก ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นภายในโรงฝึกปฏิบัติการ จะช่วยให้สามารถเคลื่อนย้ายวัสดุได้สะดวก ลดเวลาในการเบิกจ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยการจัดการคลังวัสดุให้เหมาะสมกับข้อจำกัดของอาคารและตำแหน่งการจัดวางวัสดุ จะส่งผลให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริหารจัดการคลังสินค้าเป็นการบริหารจัดการตั้งแต่การป้อนสินค้าเข้าสู่คลังไปจนถึงการส่งออกหรือส่งมอบให้ลูกค้า [2] ซึ่งในการบริหารจัดการภายในคลังสินค้าจะต้อง

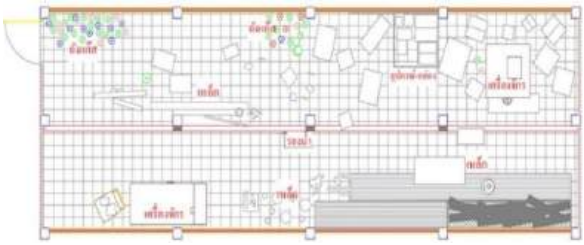
มีการวางผังพื้นที่ที่ใช้เป็นคลังวัสดุหรือสินค้า ซึ่งจะช่วยให้ควบคุมการจัดเก็บสินค้าได้อย่างมีระบบ ทำให้จัดเก็บสินค้าได้อย่างเหมาะสม ปลอดภัย ไม่เกิดความยุ่งยาก [3] การออกแบบการวางสินค้าหรือวัสดุการควบคุมสินค้าคงคลังนั้นมีหลายวิธีที่จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือการให้ความสำคัญสินค้าตามมูลค่าหรือความถี่ในการใช้งาน โดยจะมีการแบ่งประเภทสินค้าคงคลังเป็นกลุ่มๆ ตามมูลค่าของสินค้าออก เป็น 3 กลุ่ม คือ A, B และ C ตามลำดับความสำคัญ แต่ในการวางผังคลังสินค้าหรือวางผังโรงงานจะพิจารณาความสำคัญจากความถี่ในการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือใช้ความถี่ในการหยิบสินค้า เนื่องจากมีเป้าหมายเพื่อลดระยะทางและเวลาในการปฏิบัติงานของพนักงาน [4] จากนั้นจึงมีการระบุประเภทของแต่ละกลุ่มด้วยการควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) [5] ควบคู่ไปกับการแบ่งกลุ่มเป็นระบบควบคุมการทำงานที่ทำให้พนักงานทุกคนสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงาน เป้าหมาย ผลลัพธ์การทำงานได้ง่าย และชัดเจน รวมถึงเห็นความผิดปกติต่าง ๆ และแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้บอร์ด ป้าย สัญลักษณ์ กราฟ สีซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลักการของ Visual Control ในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] การศึกษากระบวนการไหลของวัสดุหลังจากการบริหารจัดการคลังวัสดุ โดยวิเคราะห์การทำงานทั้งหมด โดยแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์มาตรฐาน 5 รูปแบบ ได้แก่ การดำเนินงาน (Operations) ตรวจสอบ (Inspections) เคลื่อนย้าย (Transportation) การรอคอย (Delay) และการจัดเก็บ (Storage) [7] จะทำให้ทราบภาพรวมของขั้นตอนและเวลาทั้งหมดในการทำงานนั้นๆ ในการวิเคราะการไหลของวัสดุจะทำการวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังของการทำงานเพื่อเปรียบเทียบผลพร้อมทั้งการหาเวลามาตรฐาน ทำการจับเวลาเพื่อหาเวลามาตรฐานของการทำงานและหารอบที่เหมาะสมด้วย Maytag Table [8]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้องเพื่อแก้ปัญหาการบริหารจัดการคลังวัสดุให้มีประสิทธิภาพ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

วัสดุมีทั้งหมด 17 รายการ ซึ่งประกอบด้วยแก๊ส เหล็ก โลหะแผ่น และวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ จากการสำรวจพื้นที่คลังวัสดุ พบว่า คลังวัสดุมีประตูเข้าออก 1 ประตู และวัสดุถูกจัดวางตามประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุ ทำให้การวัดวางไม่เป็นระเบียบ ส่งผลต่อระยะเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุมากเกินความจำเป็น เนื่องจากความสูญเปล่าจากการค้นหาวัสดุแต่ละรายการ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังการจัดวางวัสดุ

จากรูปที่ 1 ทำการสุ่มรายการเบิกจ่ายวัสดุจำนวน 20 ใบ จากรายการวัสดุที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูงที่สุด 2 อันดับแรก ได้แก่ วัสดุประเภทแก๊ส 10 ใบ และวัสดุประเภทเหล็ก 10 ใบ เป็นต้น จากนั้นดำเนินการจับเวลาทุกขั้นตอนและหาเวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายวัสดุ พบว่า ก่อนการปรับปรุงมีเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สและเหล็กเฉลี่ย 228.69 และ 211.54 วินาที ตามลำดับ ซึ่งเวลาดังกล่าว ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำงานของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุคนเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ ได้พิจารณาเวลาในแต่ละขั้นตอนแล้ว พบว่า มีความเหมาะสมตามหลักการศึกษาเวลา และพิจารณาจำนวนครั้งในการจับเวลาด้วย Maytag Table [8]

3.2 การจัดหมวดหมู่ของวัสดุ

การศึกษานี้พิจารณาจัดหมวดหมู่หรือกลุ่มของสินค้าตามหลักการ ABC Analysis โดยพิจารณาจากความถี่ในการเบิกจ่ายวัสดุ เนื่องจากเป็นการศึกษาเวลาในการเบิกจ่ายและมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเปล่า จึงต้องวิเคราะห์จากการเคลื่อนย้ายวัสดุ จากวัสดุทั้งหมด 17 รายการ สามารถจัดหมวดหมู่ของวัสดุได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม A ความถี่สะสมที่ 70 เปอร์เซ็นต์แรก กลุ่ม B ความถี่สะสมที่ 20 เปอร์เซ็นต์

ต่อมา และกลุ่ม C ความถี่สะสมที่ 10 เปอร์เซ็นต์สุดท้าย ดังตารางที่ 1

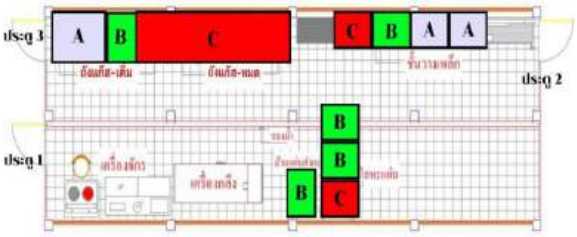
ตารางที่ 1 หมวดหมู่ของวัสดุตามหลักการ ABC Analysis

ลำดับ	รายการวัสดุ	เปอร์เซ็นต์ความถี่	เปอร์เซ็นต์ความถี่สะสม	กลุ่ม
1	แก๊ส CO_2	14.81	14.81	A
2	เหล็กแผ่น A	13.33	28.15	A
3	แก๊ส Ar	11.85	40.00	A
4	ท่อเหล็ก	11.11	51.11	A
5	แผ่นสังกะสี	8.89	60.00	A
6	แก๊ส O_2	7.41	67.41	A
7	เหล็กกล่อง	7.41	74.81	B
8	เหล็กแผ่น B	6.67	81.48	B
9	สแตนเลสแผ่น	5.93	87.41	B
10	เหล็กฉาก	5.19	92.59	C
11	แก๊สหุงต้ม LPG	3.70	96.30	C
12	อลูมิเนียมแผ่น	3.70	100	C
13	แก๊ส C_2H_2	0	100	C
14	ถังแก๊ส Ar เปล่า	0	100	C
15	ถังแก๊ส CO_2 เปล่า	0	100	C
16	ถังแก๊ส O_2 เปล่า	0	100	C
17	ถังแก๊สหุงต้มเปล่า	0	100	C

จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุกลุ่ม A ประกอบด้วย แก๊ส CO_2 เหล็กแผ่น A แก๊ส Ar ท่อเหล็ก แผ่นสังกะสี และแก๊ส O_2 วัสดุกลุ่ม B ประกอบด้วย เหล็กกล่อง เหล็กแผ่น B และสแตนเลสแผ่น ส่วนรายการวัสดุที่เหลือจัดเป็นวัสดุกลุ่ม C นอกจากนี้ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากใบเบิกจ่ายจำนวน 20 ใบ ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเบิกจ่ายวัสดุรายการที่ 13-17 แสดงว่าวัสดุดังกล่าวมีความถี่การเคลื่อนย้ายน้อย จึงก่อให้เกิดเวลาสูญเปล่าน้อย

3.3 การวางผังคลังวัสดุ

การศึกษานี้ออกแบบพื้นที่คลังวัสดุจากเดิมมีประตูเข้าออก 1 ประตู ปรับปรุงเป็นประตูเข้าออกได้ 3 ประตู จากนั้นวางผังคลังวัสดุของกรณีศึกษาโดยใช้หลักการเคลื่อนที่แบบเป็นมุมฉากร่วมกับหลักการ ABC Analysis กล่าวคือ ดำเนินการแบ่งช่องย่อยในพื้นที่คลังเป็นช่องๆ แต่ละช่องมีความกว้าง 2.4 เมตร และความยาว 2.4 เมตร และหาระยะคาดหวังจากช่องจัดเก็บวัสดุไปยังประตูทั้ง 3 ประตู โดยกำหนดให้ทั้งสามประตูมีอัตราการเข้าออกเท่าๆ กัน เมื่อดำเนินการหาระยะคาดหวังเรียบร้อยแล้ว ได้วางผังคลังวัสดุใหม่ โดยการพิจารณาลำดับของวัสดุจาก ABC Analysis ซึ่งจัดให้วัสดุกลุ่ม A หรือวัสดุที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายมากที่สุด ถูกจัดวางในช่องจัดเก็บที่มีค่าความคาดหวังต่ำที่สุด และวางวัสดุกลุ่ม B และ C ตามลำดับในตารางที่ 1 จนครบทั้ง 17 รายการ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังคลังวัสดุใหม่

จากรูปที่ 2 ระบุตำแหน่งของวัสดุด้วย Visual Control เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถค้นหาวัสดุที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ถังแก๊ส CO_2 และถังแก๊ส CO_2 เปล่า ได้ง่ายขึ้น

3.4 ศึกษาเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุ

สำหรับการศึกษาเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุจะเริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานด้วยแผนภูมิกระบวนการไหลและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเบิกจ่ายหลังการปรับปรุงคลังวัสดุตามแนวทางในข้อที่ 3.3 ซึ่งใช้เจ้าหน้าที่คลังวัสดุคนเดียวกัน จากนั้นจับเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนโดยใช้ใบเบิกจ่ายวัสดุในข้อที่ 3.1 สำหรับการศึกษานี้มีการประเมินอัตราความเร็วในการทำงานของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุ (Rating Factor; RF) โดยหัวหน้างาน พบว่า ทุกขั้นตอนการทำงานเจ้าหน้าที่มีทักษะการทำงาน ความพยายาม ความสม่ำเสมอ และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เหมือนกัน จึงคำนวณอัตราความเร็วในการทำงาน (RF) ได้เท่ากับ 1.26 นั่นคือ เจ้าหน้าที่ดังกล่าวมีอัตราความเร็วในการทำงาน

มากกว่าคนปกติเล็กน้อย นอกจากนี้ การพิจารณาค่าเวลาเผื่อ (Allowance Time; A) ได้พิจารณา 3 ด้าน ได้แก่ เวลาเผื่อส่วนบุคคล 5 เปอร์เซ็นต์ เวลาเผื่อสำหรับความเครียด 2 เปอร์เซ็นต์ และเวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า 4 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระบวนการไม่มีความซับซอน เป็นต้น ดังนั้น ค่าเวลาเผื่อรวม (A) เท่ากับ 11 เปอร์เซ็นต์

4.ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์กระบวนการไหลวัสดุ

จากการศึกษากระบวนการเบิกจ่ายก่อนการวิจัยครั้งนี้ พบว่า กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ยกตัวอย่างกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุประเภทเหล็ก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุ (เหล็ก)

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)
☑ ก่อนปรับปรุง ☐ หลังปรับปรุง ชื่องาน : กระบวนการเบิกเหล็ก

ขั้นตอนที่	ทำงาน / เคลื่อนย้าย / ตรวจสอบ / รอคอย / จัดเก็บ	รายละเอียด	ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)
1	● ⇨ □ D ▽	เขียนใบเบิกจ่าย	-	31.15
2	○ ➡ □ D ▽	นำใบเบิกจ่ายส่งให้พนักงาน	1.00	9.97
3	○ ➡ □ D ▽	เดินไปยังคลังเหล็ก	25.00	20.07
4	○ ⇨ ■ D ▽	มองหาเหล็กตามขนาดที่ต้องการ	-	59.65
5	● ⇨ □ D ▽	หยิบเหล็กแผ่นออกจากพื้น	-	31.17
6	○ ➡ □ D ▽	เคลื่อนย้ายเหล็กไปยังจุดปฏิบัติงาน	25.00	59.53
7	○ ⇨ □ D ▼	วางที่จุดปฏิบัติงาน	-	-

จากตารางที่ 2 พบว่า กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ใช้เวลาในการเบิกจ่ายวัสดุประเภทเหล็กเฉลี่ย 211.54 วินาที ต่อการเบิก 1 รายการ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ขั้นตอนที่ทำให้สูญเสียเวลามากที่สุดคือ ขั้นตอนที่ 4 และ 6 นั่นคือ การค้นหาหรือมองหาวัสดุตามรายการเบิกจ่าย และการเคลื่อนย้ายวัสดุไปยังจุดปฏิบัติงาน เนื่องจากไม่มีผังคลังวัสดุที่เหมาะสมและไม่มีการระบุตำแหน่งของวัสดุที่ชัดเจน จากการปรับปรุงด้วยวิธีที่นำเสนอ พบว่า เวลาในการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สและเหล็กลดลงเหลือเพียง 143.88 และ 132.28 วินาที ตามลำดับ ยกตัวอย่างผลการปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุประเภทเหล็ก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุ (เหล็ก)

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)
☐ ก่อนปรับปรุง ☑ หลังปรับปรุง ชื่องาน : กระบวนการเบิกเหล็ก

ขั้นตอนที่	ทำงาน / เคลื่อนย้าย / ตรวจสอบ / รอคอย / จัดเก็บ	รายละเอียด	ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)
1	● ⇨ □ D ▽	เขียนใบเบิกจ่าย	-	31.15
2	○ ➡ □ D ▽	นำใบเบิกจ่ายส่งให้พนักงาน	1.00	9.97
3	○ ➡ □ D ▽	เดินไปยังคลังเหล็ก	20.00	18.44
4	○ ⇨ ■ D ▽	มองหาเหล็กตามขนาดที่ต้องการ	-	11.25
5	● ⇨ □ D ▽	หยิบเหล็กแผ่นออกจากพื้น	-	28.49
6	○ ➡ □ D ▽	เคลื่อนย้ายเหล็กไปยังจุดปฏิบัติงาน	20.00	32.98
7	○ ⇨ □ D ▼	วางที่จุดปฏิบัติงาน	-	-

4.2 การเปรียบเทียบเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุ

จากการปรับปรุงคลังวัสดุใหม่และเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านเวลาในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุ พบว่า สามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานได้เฉลี่ย 111.33 วินาที หรือคิดเป็น 25.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อการเบิกจ่ายแก๊สและเหล็กมีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

การเบิกจ่ายวัสดุประเภท	ก่อนปรับปรุง (วินาที)	หลังปรับปรุง (วินาที)	ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
แก๊ส	228.69	196.62	14.02
เหล็ก	211.54	132.28	37.47
เฉลี่ย	220.12	164.45	25.75

4.3 ผลการหาเวลามาตรฐาน

เมื่อปรับปรุงกระบวนการจนเป็นมาตรฐานแล้ว จะดำเนินการหาเวลามาตรฐาน เพื่อใช้กำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงานจริงของกรณีศึกษา ซึ่งดำเนินการตามวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยเฉพาะข้อที่ 3.4 ศึกษาเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุ ซึ่งได้ประเมินอัตราความเร็วในการทำงานของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุ (RF) ได้เท่ากับ 1.26 และพิจารณาค่าเวลาเผื่อ (A) ได้เท่ากับ 11 เปอร์เซ็นต์ ดำเนินการหาเวลามาตรฐานจากขั้นตอนและเวลาการปฏิบัติงานในตารางที่ 3 ยกตัวอย่างการหาเวลามาตรฐานสำหรับกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สและเหล็ก ดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 เวลามาตรฐานของกระบวนการเบิกจ่ายแก๊ส

กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์				
กิจกรรม	**ST**	**NT**	**A**	**Std.**
1. เขียนใบเบิกจ่าย	31.77	40.03	4.40	44.43
2. นำใบเบิกจ่ายส่งให้พนักงาน	8.44	10.63	1.17	11.80
3. เดินไปยังคลังวัสดุ	36.37	45.83	5.04	50.87
4. มองหาแก๊สอาร์กอน	12.41	15.64	1.72	17.36
5. นำถังแก๊สขึ้นรถเข็น	32.16	40.52	4.46	44.98
6. เคลื่อนย้ายวัสดุไปยังจุดปฏิบัติงาน	67.23	84.71	9.32	94.03
7. วางถังแก๊สที่จุดปฏิบัติงาน	8.24	10.38	1.14	11.52
รวม	196.62	247.74	27.25	274.99

ตารางที่ 6 เวลามาตรฐานของกระบวนการเบิกจ่ายเหล็ก

กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์				
กิจกรรม	**ST**	**NT**	**A**	**Std.**
1. เขียนใบเบิกจ่าย	31.15	39.25	4.32	43.57
2. นำใบเบิกจ่ายส่งให้พนักงาน	9.97	12.56	1.38	13.94
3. เดินไปยังคลังเหล็ก	18.44	23.23	2.56	25.79
4. มองหาเหล็กตามขนาดที่ต้องการ	11.25	14.18	1.56	15.73
5. หยิบเหล็กแผ่นออกจากชั้น	28.49	35.90	3.95	39.85
6. เคลื่อนย้ายเหล็กไปยังจุดปฏิบัติงาน	32.98	41.55	4.57	46.13
7. วางที่จุดปฏิบัติงาน	-	-	-	-
รวม	121.00	166.67	18.33	185.01

5. อภิปรายผล

จากการปรับปรุงด้วยการวางผังคลังวัสดุใหม่ ทำให้วัสดุที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูงถูกจัดวางในตำแหน่งใกล้ประตูทางเข้าออก จึงทำให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและมีระยะทางในการเคลื่อนย้ายต่ำลงอย่างชัดเจนตามขั้นตอนที่ 3 และ 5 ซึ่งระยะทางที่ลดลงจะส่งผลต่อเวลาในการปฏิบัติงานที่ต่ำลงเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของวรพล อารีย์ และคณะ ที่วางผังคลังสินค้าใหม่ ทำให้ระยะทางและเวลาในการปฏิบัติงานรวมลดลง [4] นอกจากนี้ จะช่วยให้สามารถหยิบจับวัสดุในขั้นตอนที่ 5 ทำได้ง่ายขึ้นตามไปด้วย สำหรับการใช้ Visual Control ทำให้พนักงานสามารถค้นหาวัสดุได้ง่ายขึ้นจึงส่งผลให้ขั้นตอนการมองหาวัสดุในขั้นตอนที่ 4 มีระยะเวลาลดลง สอดคล้องกับการวิจัยของ ธนัชชา ขลุ่ยประเสริฐ และไพโรจน์ เร้าธนชลกุล ที่ใช้ Visual Control เพื่อลดระยะเวลาในการค้นหาสินค้า [5]

6. สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังวัสดุในโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis เพื่อจัดหมวดหมู่วัสดุตามความถี่การเบิกจ่าย พบว่า วัสดุกลุ่ม A คือ วัสดุที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูงเป็นลำดับแรก ซึ่งประกอบด้วย แก๊ส CO_2 เหล็กแผ่น A แก๊ส Ar ท่อเหล็ก แผ่นสังกะสี และแก๊ส O_2 เป็นต้น ส่วนวัสดุกลุ่ม B คือ วัสดุที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูงเป็นลำดับถัดมา ซึ่งประกอบด้วย เหล็กกล่อง เหล็กแผ่น B และสแตนเลสแผ่น เป็นต้น ส่วนรายการวัสดุที่เหลือจัดเป็นวัสดุกลุ่ม C นอกจากนี้ได้นำเทคนิค Visual Control มาช่วยระบุจุดจัดเก็บวัสดุให้ชัดเจน หลังดำเนินการปรับปรุง พบว่าระยะเวลาการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สลดลงจาก 228.69 วินาที เหลือ 196.62 วินาที คิดเป็นการลดลง 14.02 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุประเภทเหล็กลดลงจาก 211.54 วินาที เหลือ 132.28 วินาที คิดเป็นการลดลง 37.47 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าการจัดหมวดหมู่วัสดุตามหลัก ABC Analysis ร่วมกับการใช้ Visual Control และการวางผังคลังวัสดุใหม่ ช่วยลดเวลาสูญเปล่าในการค้นหาและเคลื่อนย้ายวัสดุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดในขั้นตอนการเบิกจ่ายได้อย่างชัดเจน

ทั้งนี้ ได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุประเภทแก๊สและเหล็กเท่ากับ 274.99 และ 185.01 วินาที ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าอัตราความเร็วในการทำงานของเจ้าหน้าที่คลังวัสดุ (RF) ที่ 1.26 และค่าเวลาเผื่อ (A) ที่ 11 เปอร์เซ็นต์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พุทธชาด ลุนคำและคณะ, “แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2566 วัสดุก่อสร้าง”, วิจัยกรุงศรี, กรกฎาคม 2566.

[2] บริษัท พีเอ็น สตีลโปรดักส์ จำกัด. “จัดการคลังสินค้าอย่างไร.. ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด [ฉบับเข้าใจง่าย]”, ข้อมูลจาก https://www.pnsteelproduct.com/article/warehouse-management/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 พฤศจิกายน 2567)

[3] เกียรติพงษ์ อุดมธนะธีระ. “LM57 การวางแผนจัดผังพื้นที่ในคลังสินค้า (Inventory Plan)”, ข้อมูลจาก https://www.iok2u.com/article/logistics-supply-chain/lm57-inventory-plan. (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2567).

[4] วรพล อารีย์, วัชริยา แช่มเมืองปัก, ภคพล แซ่ลิ่ม และนันทวัฒน์ สาวิสิทธิ์. “การประยุกต์ใช้เทคนิค ABC classification analysis เพื่อการจัดสินค้าคงคลังกลุ่มเครื่องปรุงรสและอาหารแห้ง: กรณีศึกษาห้างสรรพสินค้า XYZ”, วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), 5(2): (2563), หน้า 153-166.

[5] ธนัชชา ขลุ่ยประเสริฐ และไพโรจน์ เร้าธนชลกุล. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดผังคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด”, วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี, 19(3): (2566), หน้า 1-16.

[6] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ, ธีรพล เถื่อนแพ, และนิศาชล จันทรานภาสวัสดิ์. “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมบริการด้านโรงแรมโดยการวิเคราะห์แผนภูมิการไหล”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 31(1): (2564), หน้า 180-192.

[7] จิรวัฒน์ วรวิชัย, ทวีศักดิ์ มโนสืบ, จำเนียร แดงเถิน, พุทธสายัน นราพินิจ, ศรายุทธ หอมแก่นจันทร์ และอุเทน ตองอ่อน, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานดาเดียร์เซรามิกในจังหวัดลำปาง”, วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 10(2): (2559), หน้า 43-53.

[8] สุภิดา สาคร, สุภาพร แสนกุล, ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์, นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์, อุมาพร กัสนุกา และพลอยพนา นาแถมพลอย. “การปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุด้วยระบบ QR Code: กรณีศึกษาคลังวัสดุโรงฝึกปฏิบัติการเชื่อม” การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 15, 23 สิงหาคม 2567 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอนแก่น, (2567), หน้า 861-869.

การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมในการขนส่งน้ำแข็งหลอด

Application of Mathematical Model for Optimal Vehicle Routing in Tube Ice Transportation

สมศักดิ์ แก้วพลอย[1*] ผจงจิต พิจิตบรรจง[1] นิยดา รอดบุญ[1] ธวัชชัย ดิ่นทอง[1] และ จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Somsak Kaewploy[1*] Phajongjit Pijitbanjong[1] Niyada Rodbun[1] Thawatchai Dinthong[1]
and Chirawat naBadalung[2]
[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University
[2] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: somsak.ka@skru.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาประสบปัญหาการวางแผนเส้นทางขนส่งน้ำแข็งหลอดที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากอาศัยประสบการณ์ของพนักงานขับรถเป็นหลักส่งผลให้ระยะทางและต้นทุนเชื้อเพลิงสูง บทความวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงการจัดเส้นทางด้วยการใช้ปัญหา VRP ร่วมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์และโปรแกรม Lingo ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ พบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลดระยะทางรวมจาก 60.20 กิโลเมตร เหลือเพียง 32.95 กิโลเมตร และลดต้นทุนเชื้อเพลิงต่อครั้งจาก 225.8 บาท เหลือ 123.6 บาท คิดเป็นการประหยัดต้นทุนร้อยละ 45.26 หรือประมาณ 31,886.4 บาทต่อปี ผลการศึกษาแสดงว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Lingo สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการขนส่ง จึงเสนอให้ปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทางเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์

คำหลัก: ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ, โปรแกรม Lingo, ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

Abstract

The case study limited partnership currently faces inefficiencies in planning ice tube delivery routes, primarily relying on drivers' experience. This results in excessive travel distances and high fuel costs. This study proposes an improved routing approach using the vehicle routing problem (VRP), a mathematical model, and LINGO software. A comparison with the existing method shows that the mathematical model reduces the total distance from 60.20 km to 32.95 km and fuel costs per trip from 225.8 baht to 123.6 baht a 45.26% cost saving, or approximately 31,886.4 baht annually. The findings indicate that the LINGO-based model significantly improves efficiency and reduces costs, making it a viable solution for enhancing competitiveness in the logistics sector.

Keywords: Vehicle Routing Problem (VRP), Lingo Software, Mathematical Model

1. บทนำ

การขนส่งเป็นองค์ประกอบหลักในระบบโลจิสติกส์ มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการผลิตและกระจายสินค้า ผู้ประกอบการต้องจัดการการเคลื่อนย้ายสินค้าจาก

แหล่งผลิตไปยังลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว ส่งผลให้ธุรกิจขนส่งเติบโตอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ผู้ประกอบการควรพัฒนากระบวนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ โดยการจัดการเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม ใช้เทคโนโลยีในการวางแผนเส้นทางและการบำรุงรักษายานพาหนะอย่างสม่ำเสมอจะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า [1]

ห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษามีการใช้ยานพาหนะในการขนส่งน้ำแข็งหลอดให้กับลูกค้าเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังขาดเครื่องมือในการวางแผนการจัดส่งที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การจัดส่งดำเนินการตามความเคยชินของพนักงานขับรถ ซึ่งอาจนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่เกินความจำเป็นและประสิทธิภาพที่ลดลง [2]

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการขนส่งน้ำแข็งหลอดไปยังลูกค้าจำนวน 50 ราย ซึ่งในเส้นทางการขนส่งแบบเดิมเกิดต้นทุนเชื้อเพลิงที่ไม่มีประสิทธิภาพ [3] บทความวิจัยนี้จึงนำเทคนิควิธีการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem; VRP) โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น Lingo (Lingo Linear Programming) [4], [5] มาวิเคราะห์โดยการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการจัดเส้นทางยานพาหนะในการขนส่งน้ำแข็งหลอดให้มีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพและสามารถลดต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิงของการขนส่งน้ำแข็งหลอดที่คำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นการกำหนดเส้นทางและลำดับการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าหลายรายอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนการขนส่งและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า

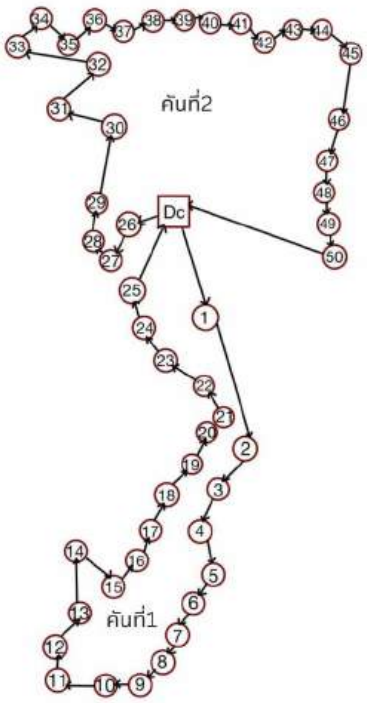
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) เป็นตัวแบบในการแก้ปัญหาการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (Optimal) หรือแนวทางการดำเนินงานอื่น ๆที่ให้เป็นประโยชน์มากที่สุดต่อระบบนั้น ๆ โดยพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนด ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วย (1) ตัวแปรตัดสินใจและพารามิเตอร์ (Decision Variable and Parameters) (2) ข้อจำกัดหรือขอบข่าย (Constrains or Restrictions) และ (3) ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) [6] โดยบทความวิจัยนี้จะเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) โดยมีการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าที่อยู่ตามจุดต่าง ๆอาจจะมีข้อจำกัดด้านปริมาณการขนส่ง เวลาในการขนส่ง และระยะทางรวมของการขนส่งแต่ละเที่ยว

ปัจจุบันมีซอร์ฟแวร์มากมายที่ใช้ในการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรม Excell Solver หรือโปรแกรม Lingo สำหรับโปรแกรม Lingo ถูกคิดค้นโดยบริษัท Lindo System ประเทศสหรัฐอเมริกาในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ของปัญหาเข้าไปได้เลยหรือเขียนในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ทั่วไปก็ได้ หากเป็นสมการรูปแบบทั่วไปจะต้องมีการประกาศตัวแปรและพารามิเตอร์ต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเขียนสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขในรูปแบบของโปรแกรม Lingo [7]

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งหลอดของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษานี้พบว่ามีจำนวนลูกค้าทั้งหมด 50 ราย โดยใช้รถกระบะตู้ทึบ 4 ล้อ ในการขนส่งน้ำแข็งหลอด การจัดส่งน้ำแข็งหลอดแต่ละครั้งของเส้นทาง มีพิกัดที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอดและลูกค้า ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของห้างหุ้นส่วนและลูกค้า

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งหลอดที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องศึกษาสภาพปัจจุบันของห้างหุ้นส่วนจำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายน้ำแข็งหลอดในกรณีศึกษา ในด้านการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่ง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำแข็งหลอด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ในกรณีศึกษาและข้อมูลทุติยภูมิจากข้อมูลสารสนเทศที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ได้เก็บรวบรวมไว้อยู่แล้ว ดังนี้ [8]

1) ตำแหน่งห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาที่จะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดการขนส่ง คือห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา ซึ่งอยู่บนพิกัด Google Map ที่ละติจูด 7°11'47"N และลองติจูด 100°36'01"E

2) กลุ่มลูกค้าที่มีปริมาณการสั่งน้ำแข็งหลอดจำนวน 50 ราย แสดงพิกัดบน Google Map ที่ละติจูด/ลองติจูด และปริมาณความต้องการน้ำแข็งหลอดเฉลี่ยในแต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

3) ระยะทางระหว่างลูกค้ากับลูกค้า และลูกค้ากับห้างหุ้นส่วนจำกัด เพื่อพิจารณาระยะทางขนส่งที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งไข่ไก่สดของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา ที่ถือเป็นจุดกระจายสินค้า (Distribution Center, DC) โดยแสดงระยะทางระหว่างจุดแต่ละจุด ซึ่งคำนวณระยะทางด้วย Google Map ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าและความต้องน้ำแข็งหลอด

ลูกค้าที่	ละติจูด	ลองติจูด	ความต้องการ (กระสอบ)
1	7°10'55"N	100°36'21"E	2
2	7°09'15"N	100°36'04"E	2
.	.	.	
.	.	.	
49	7°12'39"N	100°35'54"E	3
50	7°12'38"N	100°35'55"E	6
	รวม		124

ตารางที่ 2 เมตริกระยะทางระหว่างลูกค้า (หน่วย: กม.)

i/j	DC	1	2	3	.....	49	50
DC	0	2.85	7.77	8.40	.....	2.68	2.64
1	2.83	0	5.04	5.67	.....	4.85	4.81
2	6.81	4.29	0	2.07	.....	7.76	7.72
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
49	2.68	5.71	8.72	9.35	.....	0	0.04
50	2.64	5.67	8.67	9.31	.....	0.04	0

4) พิจารณาต้นทุนการขนส่งเพียงค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา โดยใช้ยานพาหนะขนส่งเป็นรถกระบะตู้ทึบ 4 ล้อ ขนาดบรรทุกไม่เกิน 65 กระสอบ (1.300 กก.) ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 8.89 กม./ลิตร สามารถคำนวณได้จากต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/กม.) = ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/ลิตร) ÷ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน (กม./ลิตร)

โดยอ้างอิงน้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ราคา 33.31 บาท/ลิตร เมื่อคำนวณต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงต่อกิโลเมตร จะมีค่าเท่ากับ 33.31/8.89 = 3.75 บาท/กม.

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีเดิม

การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งหลอดที่ได้จากวิธีปัจจุบันหรือวิธีเดิม สามารถแสดงเส้นทางได้ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยมีระยะทางรวม 60.2 กิโลเมตร ประกอบด้วยเส้นทางที่ 1 ระยะทาง 50.26 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 2 ระยะทาง 9.94 กิโลเมตร ดังนั้นมีต้นทุนด้านเชื้อเพลิงรวม (60.2x3.75) = 225.8 บาท

ตารางที่ 3 เส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการแบบเดิม

เส้นทาง	ลูกค้า	จำนวน (กระสอบ)	ระยะทาง (กม.)	ต้นทุน (บาท)
1	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-0	62	50.26	188.5
2	0-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-0	62	9.94	37.3
	รวม	124	60.20	225.8

4.2 ผลการจัดเส้นทางด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้

โปรแกรม Lingo

เป็นการปรับปรุงระบบการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งหลอดที่เหมาะสม จากห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาไปยังลูกค้าแต่ละราย ซึ่งปัจจุบันปัญหาด้านการขนส่งห้างหุ้นส่วนกรณีศึกษานั้นเกิดจากการใช้ประสบการณ์ของพนักงาน และไม่ได้วางแผนบนพื้นฐานของทฤษฎี จึงสมมติฐานได้ว่าระยะทางที่ห้างหุ้นส่วนกรณีศึกษา ใช้ขนส่งน้ำแข็งหลอดในปัจจุบัน ยังไม่ได้เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดและดีที่สุด

ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการน้ำแข็งหลอด แสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐาน [6] ได้ดังนี้

1) ดัชนี

i คือ ลูกค้ารายที่ i โดยที่ i = 1....N

j คือ ลูกค้ารายที่ j โดยที่ j = 1...N

k คือ ยานพาหนะคันที่ k โดยที่ k = 1....K

2) พารามิเตอร์

C_{ij} คือ ต้นทุนในการเดินทางจากลูกค้า i ไปลูกค้า j

L คือ จำนวนลูกค้า

q_i คือ ความต้องการสินค้า ณ จุด i

a_k คือ ความจุของยานพาหนะที่ k

3) ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

X^k_{ij} = 1 เมื่อยานพาหนะ k มีการเดินทางจาก i ไป j

X^k_{ij} = 0 เมื่อยานพาหนะ k ไม่มีการเดินทางจาก i ไป j

U^k_i คือ ค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบหรือทัวร์ย่อย (Subtour)

Y^k_i = 1 เมื่อลูกค้ารายที่ i ถูกเดินทางผ่านโดยยานพาหนะ k

Y^k_i = 0 เมื่อลูกค้ารายที่ i ไม่ถูกเดินทางผ่านโดยยานพาหนะ k

4) สมการเป้าหมาย

$$\text{Min} \quad \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} C_{ij} X^k_{ij} \qquad (1)$$

5) สมการขอบข่าย

$$\sum_{j=1}^{N} X^k_{0j} \le 1 \qquad k = 1.....K \qquad (2)$$

$$\sum_{i=0}^{N} X^k_{ip} - \sum_{j=0}^{N} X^k_{pj} = 0$$

$p = 1....N, k = 1....K$

(3)

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{N} X^k_{ij} = 1 \qquad i = 1....N \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i Y^k_i \le a_k \qquad k = 1.....K \qquad (5)$$

$$Y^k_i \le \sum_{j=0}^{N} X^k_{ji} \quad i = 1....N,\ k = 1....K \quad (6)$$

$$\sum_{k=0}^{K}\sum_{i=1}^{N} X^k_{ij} \ge 1 \qquad j = 1....N \qquad (7)$$

$$U^k_i \ge U^k_j + q_i - a_k + (a_k * (X^k_{ij} + X^k_{ij})) -$$
$$X^k_{ij}(q_i + q_L) \quad k = 1.....K,\ i = 0....N,$$
$$j = 1....N, \text{เมื่อ } i \ne j \qquad (8)$$

$$U^K_i \le a_k - X^k_{0i}(a_k - q_i) \quad k = 1.....K$$
$$i = 1....N \qquad (9)$$

$$U^K_i \le q_i + \sum_{j=1}^{N} q_j X^k_{ji} \quad k = 1.....K$$
$$j = 1....N \qquad (10)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลัก แสดงต้นทุนการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j โดยยานพาหนะ k สมการที่ (2) เป็นการประกันว่ายานพาหนะ k จะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า 0 และเดินทางไปยังลูกค้า j อย่างน้อย 1 ราย สมการที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่ง ๆจะเดินทางเข้าและออกเท่ากัน (1 ครั้ง) สมการที่ (4) เป็นการรับประกันว่าเมืองหนึ่งๆ จะได้รับการเดินทางผ่านจากยานพาหนะอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (5) เป็นการประกันว่ายานพาหนะใด ๆ จะขนสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าไม่เกินจำนวนที่สามารถบรรทุกได้ สมการ (6) รับประกันว่าการเดินทางเข้าเมือง i ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ k เดินทางผ่านเมือง i จากเส้นทางของเมือง j เมืองใดเมืองหนึ่งเท่านั้น และสมการ (7) รับประกันว่าเมือง j ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยยานพาหนะใด ๆอย่างน้อย 1 ครั้งโดยใช้เส้นทางที่ผ่านมากจาเมือง i ใด ๆ สมการที่ (8) ถึง (10) สมการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดทัวร์ย่อย (Subtour)

การจัดเส้นทางการขนส่งที่ได้จากโปรแกรม Lingo สามารถแสดงเส้นทางได้ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยมีระยะทางรวม 32.95 กิโลเมตร ประกอบด้วยเส้นทางที่ 1 ระยะทาง 8.95 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 2 มีระยะทาง 24.0 กิโลเมตร ดังนั้นมีต้นทุนด้านเชื้อเพลิงรวม (32.95x3.75) = 123.6 บาท

ตารางที่ 4 เส้นทางการขนส่งด้วยโปรแกรม Lingo

เส้นทาง	ลูกค้า	จำนวน (กระสอบ)	ระยะทาง (กม.)	ต้นทุน (บาท)
1	0-1-25-12-24-23-22-21-18-16-15-14-13-11-10-9-8-7-6-17-5-4-3-2-19-20-26-0	64	24.00	90.0
2	0-27-28-29-30-31-33-34-35-37-42-41-39-38-36-40-44-43-45-32-46-47-48-49-50-0	60	8.95	33.6
	รวม	124	32.95	123.6

4.3 ผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทาง

ผลการจำลองการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งน้ำแข็งหลอดของห้างหุ้นส่วนกรณีศึกษา ด้วยวิธีต่าง ๆสามารถสรุปผลในภาพรวม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของการจัดเส้นทาง

วิธีการจัดเส้นทาง	ระยะทางรวม (กม.)	ต้นทุน (บาท)
วิธีปัจจุบัน (วิธีเดิม)	60.20	225.8
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์	32.95	123.6

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Lingo แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการขนส่งอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นทุนลดลงจาก 225.8 บาท/ครั้ง เหลือเพียง 123.6 บาท/ครั้ง คิดเป็นการประหยัดได้ถึง 102.2 บาท/ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 45.26 เนื่องจากมีการจัดส่งสัปดาห์ละ 6 วัน ซึ่งสามารถประหยัดได้ถึง 31,886.4 บาท/ปี ดังนั้นห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาควรพิจารณานำวิธีการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมด้วย

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ มาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งและลดต้นทุนการดำเนินงาน

5. สรุปผล

บทความวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งหลอดของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษา โดยอาศัยแนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) ร่วมกับการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) โดยใช้โปรแกรม Lingo ในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางและลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิง

จากการศึกษาพบว่าการดำเนินงานตามแนวทางปัจจุบันของห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษามีระยะทางรวม 60.2 กิโลเมตร และมีต้นทุนเชื้อเพลิงรวม 225.8 บาท/ครั้ง อย่างไรก็ตามการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Lingo มาใช้เพื่อวิเคราะห์และหาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม ส่งผลให้สามารถลดระยะทางและต้นทุนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยโปรแกรม Lingo สามารถลดระยะทางลงเหลือ 27.25 กิโลเมตร/ครั้ง คิดเป็นต้นทุนเชื้อเพลิง 102.2 บาท/ครั้ง

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการใช้โปรแกรม Lingo สำหรับการจัดเส้นทางสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งลงร้อยละ 45.26 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบัน คิดเป็นมูลค่าการประหยัดต้นทุนรายปีประมาณ 31,886.4 บาท ดังนั้นห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาควรพิจารณานำแนวทางตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ที่ประมวลผลจากโปรแกรม Lingo ไปปรับใช้กับระบบขนส่งขององค์กร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ลดต้นทุน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัดกรณีศึกษาที่อนุญาตให้เปิดเผยข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณพนักงานเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ฉวีวรรณ ศรีวงศ์จรรยา และ ชาญเดช เจริญวิริยะกุล, “การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันธุรกิจขนส่งภายในประเทศของผู้ประกอบการภาคเอกชน”, วารสารการจัดการและการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 7(2): (2563), หน้า 39-56.

[2] ศักดิ์ดา คำจันทร์ และคณะ, “การจัดเส้นทางและตารางเวลาเดินรถสำหรับการจัดส่งไข่ไก่”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม, 6(3): (2567), หน้า 395-408.

[3] ธารชุดา พันธ์นิกุล และคณะ, “การลดต้นทุนในการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงงานอุบลอควาริส จ.อุบลราชธานี”, การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2554, กรุงเทพฯ, 8-9 กันยายน 2554: (2554), หน้า 60-64.

[4] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, “วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์”, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, (2556).

[5] ธัญญารัตน์ เทพารักษ์ และ ปณัทพร เรืองเชิงชุม, “การจัดการเส้นทางขนส่งเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากความล่าช้าในกระบวนการจัดส่งสินค้าโดยใช้อัลกอลิทึมแบบประหยัด กรณีศึกษา กิจเจริญทรัพย์ชุมแพขนส่งจังหวัดขอนแก่น”, วารสารบริหารธุรกิจศรีนครินทรวิโรฒ, 13(1): (2565), หน้า 119-136.

[6] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, “วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์”, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, (2556).

[7] Clarke, G. and Wright, J.R., “Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points”. (1964).

[8] สมศักดิ์ แก้วพลอย และคณะ, “การจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมในการขนส่งน้ำแข็งหลอด”, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, เชียงราย, 1-3 พฤษภาคม 2567: (2567), หน้า 920- 925.

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งสินค้าทางการแพทย์: กรณีศึกษาการจัดส่งน้ำยาล้างไตของบริษัทไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด

Enhancing the Efficiency of Medical Product Delivery: A Case Study of Dialysis Solution Distribution by Thailand Post Distribution Co., Ltd.

อมรรัตน์ พรประเสริฐ[1] ยุทธณรงค์ จงจันทร์[2*] เกียรติศักดิ์ พระเนตร[3] จตุพล พิสิฏฐ์ศักดิ์[4] ดนัย สอนสุภาพ[5] และ ภีม พรประเสริฐ[6]

[1] สาขาวิชาการจัดการทั่วไป คณะบริหารธุรกิจและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[2*,4] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

[3,6] สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[5]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น

Amonrat Pornprasert[1] Yuthanarong Jongjun[2*] Kiattisak Pranet[3] Jatuphon Pisitsak[4] Danai Sornsuphap[5] and Peema Pornprasert[6]

[1] Department of General Management, Faculty of Business Administration and Management, Ubon Ratchathani Rajabhat University

[2*,4] Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanajarindra Rajabhat University

[3,6] Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University

[5]Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดส่งน้ำยาล้างไต ของบริษัทไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด 2) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ ในการกระจายสินค้าทางการแพทย์งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ Fishbone Diagram และ Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พร้อมนำเทคนิค Route Optimization, AI-Based GPS Tracking, Machine Learning, และ Digital Platform มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการจัดส่งและการจัดการสินค้าคงคลัง ผลการวิจัยพบว่า การปรับเส้นทางขนส่งด้วยระบบ AI ช่วยลดระยะเวลาการจัดส่งจาก 72 ชั่วโมง เหลือ 48 ชั่วโมง และลดต้นทุนต่อคำสั่งซื้อจาก 350 บาท เหลือ 290 บาท การใช้ Machine Learning คาดการณ์สินค้าคงคลังช่วยลดอัตราสินค้าหมดสต็อกจาก 3.8% เหลือ 1.5% และลดสินค้าคงคลังค้างเกินกำหนดลง 40% ขณะเดียวกัน การใช้ระบบ Digital Platform เพื่อจัดการข้อมูลลูกค้าและฝึกอบรมพนักงานส่งผลให้อัตราการจัดส่งผิดพิกัดลดลงจาก 2.5% เหลือ 0.8% และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานจาก 85% เป็น 98% โดยสรุป การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และลดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ทางการแพทย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำหลัก โลจิสติกส์ ปรับปรุงเส้นทางขนส่ง การกระจายสินค้า อุปกรณ์การแพทย์

Abstract

This study has two main objectives: (1) to analyze the factors affecting the efficiency of dialysis solution delivery by Thailand Post Distribution Co., Ltd., and (2) to propose a logistics system improvement plan for the distribution of medical products. This is an applied research project employing industrial engineering tools such as the Fishbone Diagram and Why-Why Analysis to identify root causes of inefficiencies. Advanced technologies including Route Optimization, AI-Based GPS Tracking, Machine Learning, and Digital Platforms were implemented to enhance delivery operations and inventory management. The research findings reveal that AI-based route optimization reduced the average delivery time from 72 hours to 48 hours and lowered the average cost per order from 350 THB to 290 THB. Machine Learning-based inventory forecasting helped reduce the stockout rate from 3.8% to 1.5% and decreased excess inventory by 40%. Additionally, implementing a digital platform for customer data management and staff training reduced the misdelivery rate from 2.5% to 0.8% and improved employee performance from 85% to 98%. In conclusion, the application of these technologies significantly enhanced the efficiency, accuracy, and cost-effectiveness of the medical logistics system.

Keywords: Logistics, Route Optimization, Distribution, Medical Equipment

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการแพทย์ที่ต้องการความรวดเร็ว แม่นยำ และปลอดภัยในการจัดส่งสินค้า

บริษัทไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด เป็นหนึ่งในผู้ให้บริการโลจิสติกส์ชั้นนำของประเทศไทยที่ให้บริการจัดส่งสินค้าทางการแพทย์ รวมถึงน้ำยาล้างไต ซึ่งเป็นสินค้าที่มีความสำคัญต่อผู้ป่วยโรคไต การจัดส่งน้ำยาล้างไตให้ถึงมือผู้ป่วยอย่างรวดเร็วและปลอดภัยจึงเป็นภารกิจที่สำคัญของบริษัท อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานในปัจจุบันยังคงมีปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดส่ง เช่น ความล่าช้าในการจัดส่งสินค้าคงคลังไม่เพียงพอ และความผิดพลาดในการจัดส่ง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือวิเคราะห์เชิงระบบ เช่น Fishbone Diagram และ 5 Whys Analysis มาใช้ในการวิเคราะห์รากของปัญหา โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่น เช่น Pareto Chart หรือ Scatter Diagram แล้วพบว่า Fishbone Diagram มีความเหมาะสมในกรณีที่ต้องวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสาเหตุทั้งด้านคน เครื่องมือ วิธีการ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถแสดงความเชื่อมโยงของสาเหตุได้อย่างครอบคลุม ส่วน Why-Why Analysis มีจุดเด่นในการเจาะลึกสาเหตุที่แท้จริงและสามารถนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงที่ชัดเจน

นอกจากนี้ งานวิจัยได้นำ AI-Based GPS Tracking มาใช้ในการปรับปรุงเส้นทางการจัดส่ง โดยใช้ระบบ NOSTRA Logistics API ซึ่งซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [1] ที่พบว่าการใช้เทคโนโลยี GPS และ GIS ในการปรับปรุงเส้นทางโลจิสติกส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งได้อย่างมีประสิทธิผล โดย AI จะประมวลผลข้อมูลหลายแหล่งและแนะนำเส้นทางที่เร็วที่สุด ลดระยะทางและจุดแวะพักที่ไม่จำเป็น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ [2] ที่พบว่าการใช้ระบบ AI ในการพยากรณ์การขายสามารถเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับด้านการบริหารสินค้าคงคลัง ได้นำ Data Analytics และ Machine Learning มาช่วยในการคาดการณ์ความต้องการ โดยใช้ Time Series Forecasting และ Regression Analysis จากข้อมูลคำสั่งซื้อย้อนหลัง โดยระบบจะเรียนรู้จากแนวโน้มตามฤดูกาลและพฤติกรรมการใช้น้ำยาล้างไตในแต่ละพื้นที่ เพื่อลดปริมาณสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็นและลดปัญหาการขาดแคลน ซึ่งได้รับการสนับสนุนโดยงานวิจัยของ [3] ที่ระบุว่าการใช้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลังและลดต้นทุนรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังได้รับการสนับสนุนจากการศึกษา

ของ [4] ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ ระบบ Transport Management System (TMS) สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดจากการจัดการข้อมูลลูกค้าและเพิ่มความแม่นยำในการบริหารเส้นทางขนส่ง ผลการวิจัยพบว่าการนำเทคโนโลยีและวิธีการจัดการสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโลจิสติกส์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการลดระยะเวลาและต้นทุนในการจัดส่ง การจัดการสินค้าคงคลัง และความแม่นยำในการจัดส่ง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในยุคดิจิทัล

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ เพราะแสดงให้เห็นถึงแนวทางที่สามารถยกระดับระบบโลจิสติกส์ทางการแพทย์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดส่งน้ำยาล้างไต ของ บจ.ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น

2) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ ในการกระจายสินค้าทางการแพทย์

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อ วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการส่งน้ำยาล้างไต พัฒนาแนวทางปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ ให้มีความรวดเร็ว แม่นยำ และลดต้นทุน โดยดำเนินตามลำดับขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินการ	เครื่องมือที่ใช้	วัตถุประสงค์
1. วิเคราะห์สถานะปัจจุบันของระบบโลจิสติกส์	Check Sheet, Flowchart Analysis	ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาดำเนินงาน ปัญหาความล่าช้า และต้นทุนโลจิสติกส์
2. วิเคราะห์ปัญหาหลักและสาเหตุที่แท้จริง	Fishbone Diagram, 5 Whys Analysis	ระบุปัจจัยที่ทำให้ล่าช้า ต้นทุนสูง และข้อผิดพลาดในการขนส่ง
3. วางแผนเส้นทางขนส่ง และการติดตาม	Transportation Management System (TMS)	ลดระยะทางและเวลาการจัดส่ง เพิ่มความแม่นยำ และลดต้นทุนโลจิสติกส์
4. ใช้ Machine Learning และ Data Analytics คาดการณ์สินค้าคงคลัง	ABC Analysis, Time Series Forecasting, JIT System	ปรับปรุงการจัดการคลังสินค้า และลดของเสียจากการค้างสต็อก
5. เปลี่ยนระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าเป็น Digital Platform	Cloud-Based CRM, Barcode Scanning, Digital Training	เพิ่มความแม่นยำ ลดข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูล และการประสานงาน
6. ประเมินผลลัพธ์ของการปรับปรุง	KPI Analysis	วัดผลกระทบก่อนและหลังปรับปรุง

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์สถานะก่อนการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการ พบว่า มีรายละเอียดกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สถานะก่อนการปรับปรุง

ขั้นตอน	รายละเอียด	เวลาที่ใช้	ปัญหาที่พบ
รับคำสั่งซื้อ	รับคำสั่งซื้อจากโรงพยาบาลหรือผู้ป่วยผ่านระบบ	2 ชม.	ไม่มีปัญหาหลัก
ตรวจสอบสินค้าคงคลัง	ตรวจสอบสินค้าคงคลังในคลังกลางเพื่อยืนยันว่ามีของเพียงพอหรือไม่	3 ชม.	อาจเกิดปัญหาสินค้าหมดสต็อก
จัดเตรียมสินค้า	เจ้าหน้าที่คลังสินค้าเลือกและแพ็คสินค้าตามคำสั่งซื้อ	5 ชม.	ใช้เวลานานเนื่องจากไม่มีระบบจัดเรียงสินค้าอัตโนมัติ
รอการขนส่ง (Waiting Time)	สินค้ารอการจัดส่งในคลังสินค้า	12 ชม.	เวลารอนานเนื่องจากตารางขนส่งไม่ยืดหยุ่น
โหลดขึ้นรถขนส่ง	เจ้าหน้าที่ขนสินค้าขึ้นรถบรรทุก	2 ชม.	มีข้อผิดพลาดในการโหลดสินค้า (สินค้าถูกจัดส่งผิดพิกัด 2.5%)
การขนส่งไปยังจุดหมายปลายทาง	ขนส่งสินค้าไปยังโรงพยาบาลหรือบ้านของผู้ป่วย	40 ชม.	เส้นทางขนส่งไม่มีการปรับปรุง ทำให้เสียเวลามาก

ขั้นตอน	รายละเอียด	เวลาที่ใช้	ปัญหาที่พบ
จัดส่งถึงปลายทาง	ส่งสินค้าให้โรงพยาบาลหรือผู้ป่วย	8 ชม.	อาจมีความล่าช้าเนื่องจากข้อมูลลูกค้าไม่ครบถ้วน
รวม		**72 ชม.**	

จากตารางที่ 2 พบว่า สถานะก่อนการปรับปรุง มีปัญหาหลักในกระบวนการโลจิสติกส์ ดังนี้

- มี Waiting Time สูงถึง 12 ชั่วโมง เนื่องจากต้องรอรอบการขนส่ง
- กระบวนการขนส่งใช้เวลา 40 ชั่วโมง เนื่องจากเส้นทางการจัดส่งไม่ได้รับการวางแผนที่เหมาะสม
- มีอัตราส่งผิดพิกัด 2.5% เนื่องจากปัญหาด้านการโหลดสินค้า
- ค่าขนส่งต่อคำสั่งซื้อสูงถึง 350 บาท ประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 150 บาท ค่าจ้างแรงงาน (พนักงานขับรถและช่วยขนส่ง) 120 บาท ค่าเสื่อมราคาและค่าบำรุงรักษารถ 50 บาทค่าดำเนินงานและภาษีอื่นๆ: 30 บาท โดยคิดจากการจัดส่งแบบกลุ่ม (Group Delivery) เฉลี่ย 12 รายต่อเที่ยว
- มีการเก็บข้อมูลซ้ำ 30 รอบ เพื่อความน่าเชื่อถือ
- รูปแบบการจัดส่งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ Vehicle Routing Problem (VRP) โดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านระยะทาง จำนวนรถ และจำนวนลูกค้าในแต่ละเส้นทาง โดยเฉลี่ยแล้วต่อวันใช้รถกระบะควบคุมอุณหภูมิ 4 คัน จัดส่งรวมประมาณ 45–50 ราย (เฉลี่ยคันละ 12–13 ราย)
- การหยุดพักตามกฎหมายแรงงานในกรณีการเดินทาง 40 ชั่วโมงนั้น ไม่ได้เกิดขึ้นต่อเนื่องในเที่ยวเดียว แต่กระจายตามช่วงเวลา (เช่น ส่ง 2 วัน/เที่ยว) โดยมีการพิจารณา เวลาหยุดพักตามที่กฎหมายแรงงานกำหนด คือ พักทุก 4 ชั่วโมง และไม่ขับรถเกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งนี้บริษัทฯ มีการแบ่งกะพนักงานขับรถไว้แล้ว
- การจัดส่งถึงปลายทาง หมายถึงระยะเวลาที่เริ่มจากการขนสินค้าลงจากรถ ตรวจสอบเอกสาร ยืนยันตัวผู้รับ เซ็นรับสินค้า และอัปเดตสถานะในระบบ รวมใช้เวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ซึ่งไม่ใช่ Lead time ของลูกค้าโดยตรง แต่เป็นเวลาการประสานงานหน้างานในระบบของบริษัท

4.2 การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการโลจิสติกส์

ผู้วิจัยได้ใช้ Fishbone Diagram ช่วยวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการจัดส่งน้ำยาล้างไต โดยแบ่งปัจจัยหลักเป็น 5 หมวด ได้แก่ Man, Machine, Method , Material และ Environment ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สาเหตุของปัญหาความล่าช้าในการจัดส่ง

หมวดหมู่	รายละเอียดปัญหา
Man (คน)	- พนักงานขนส่งไม่ได้รับข้อมูลเส้นทางที่ถูกต้อง - ขาดการฝึกอบรมเรื่องการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ
Machine (เครื่องมือ)	- ไม่มีระบบ Real-time Tracking เพื่อติดตามสถานะการจัดส่งแบบเรียลไทม์ - ซอฟต์แวร์ Route Optimization ยังไม่มีประสิทธิภาพ
Method (วิธีการ)	- ไม่มีการกำหนดรอบเวลาขนส่งที่แน่นอน ทำให้เกิด Waiting Time มาก - ระบบการจัดลำดับเส้นทาง (Route Sequencing) ไม่มีประสิทธิภาพ
Material (วัสดุ)	- ปัญหาสินค้าคงคลัง ไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันเวลาเพราะสินค้าหมดสต็อก - ไม่มีการกระจายสินค้าล่วงหน้าไปยังจุดใกล้กับผู้ใช้ปลายทาง
Environment (สภาพแวดล้อม)	- เส้นทางขนส่งบางเส้นทางมีการจราจรติดขัด ทำให้เสียเวลา - ภูมิประเทศของบางพื้นที่เข้าถึงยาก ส่งผลให้ใช้เวลาจัดส่งนานขึ้น

นำสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการจัดส่งน้ำยาล้างไต มาสรุปได้ 3 ปัญหาหลัก ได้แก่

ปัญหาที่ 1: การจัดเส้นทางขนส่งไม่เหมาะสม

ปัญหาที่ 2: การจัดการสินค้าคงคลังไม่มีประสิทธิภาพ

ปัญหาที่ 3: พนักงานขนส่งรับข้อมูลเส้นทางไม่ถูกต้อง

จากนั้น ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเชิงลึกของปัญหาทั้ง 3 ด้วย Why-why Analysis ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ Why-Why Analysis การจัดเส้นทางขนส่งไม่เหมาะสม

Why	สาเหตุที่พบ
ทำไมการจัดส่งใช้เวลานานกว่าที่ควร?	เส้นทางที่ใช้ไม่ได้ถูกวางแผนให้มีประสิทธิภาพ
ทำไมเส้นทางขนส่งไม่ได้ถูกวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพ?	ไม่มีการใช้ระบบ Route Optimization

Why	สาเหตุที่พบ
ทำไมไม่มีการใช้ระบบ Route Optimization?	บริษัทไม่ได้ติดตั้งซอฟต์แวร์จัดเส้นทางอัตโนมัติ
ทำไมบริษัทไม่ได้ติดตั้งซอฟต์แวร์จัดเส้นทางอัตโนมัติ?	ขาดการลงทุนด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการโลจิสติกส์
ทำไมขาดการลงทุนด้านเทคโนโลยี?	บริษัทขาดการตระหนักถึงผลกระทบของปัญหาการขนส่งต่อประสิทธิภาพโดยรวม

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ Why-Why Analysis การจัดการสินค้าคงคลังไม่มีประสิทธิภาพ

Why	สาเหตุที่พบ
ทำไมสินค้าคงคลังหมดในบางพื้นที่?	ไม่มีการบริหารสต็อกล่วงหน้า
ทำไมไม่มีการบริหารสต็อกล่วงหน้า?	ไม่มีระบบคาดการณ์ความต้องการสินค้าแบบเรียลไทม์
ทำไมไม่มีระบบคาดการณ์ความต้องการสินค้าแบบเรียลไทม์?	ไม่มีการใช้เทคโนโลยี Data Analytics
ทำไมไม่มีการใช้ Data Analytics?	ระบบบริหารสินค้าคงคลัง (WMS) ที่ใช้เป็นระบบเก่าและไม่ได้เชื่อมกับข้อมูลคำสั่งซื้อ
ทำไมไม่อัปเกรดระบบ WMS?	ผู้บริหารยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการลงทุนด้าน IT ในโลจิสติกส์

ตารางที่ 5 วิเคราะห์ Why-why Analysis พนักงานขนส่งไม่ได้รับข้อมูลเส้นทางที่ถูกต้อง

Why	สาเหตุที่พบ
ทำไมพนักงานขนส่งได้รับข้อมูลเส้นทางผิดพลาด?	ข้อมูลลูกค้าไม่ถูกต้องตั้งแต่ต้น
ทำไมข้อมูลลูกค้าไม่ถูกต้อง?	ระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าไม่ได้รับการอัปเดตอย่างสม่ำเสมอ
ทำไมระบบจัดเก็บข้อมูลไม่ได้รับการอัปเดต?	ไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อมูลก่อนจัดส่ง
ทำไมไม่มีการกำหนดนโยบายตรวจสอบข้อมูล?	ระบบปฏิบัติการโลจิสติกส์ยังใช้ระบบแมนนวลแทนที่จะเป็นดิจิทัล
ทำไมยังใช้ระบบแมนนวล?	ขาดการพัฒนาระบบดิจิทัลและการฝึกอบรมพนักงานให้ใช้ระบบใหม่

ตารางที่ 6 Root Cause และแนวทางแก้ไข

ปัญหาหลัก	Root Cause	แนวทางแก้ไข
การจัดเส้นทางขนส่งไม่เหมาะสม	การวางแผนเส้นทางที่ไม่มีประสิทธิภาพ	นำระบบ Route Optimization Transportation Management System (TMS) เพื่อปรับปรุงเส้นทางขนส่ง
การจัดการสินค้าคงคลังไม่มีประสิทธิภาพ	ระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าไม่ได้รับการอัปเดตอย่างสม่ำเสมอ	ใช้ Data Analytics และ Machine Learning ในการคาดการณ์สินค้าคงคลัง เพื่อแก้ปัญหาขาดแคลนสินค้า
พนักงานขนส่งไม่ได้รับข้อมูลเส้นทางที่ถูกต้อง	ไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อมูลก่อนจัดส่ง	เปลี่ยนระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าให้เป็น Digital Platform และฝึกอบรมพนักงานให้ใช้งาน

4.4 การปรับปรุงแก้ไข

1) นำระบบ Route Optimization และ Transportation Management System มาใช้ เพื่อวางแผนเส้นทางขนส่งและสถานะการจัดส่งแบบเรียลไทม์

ใช้ระบบติดตามการเดินทางของรถขนส่งแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งใช้ AI วิเคราะห์และทำนายความล่าช้าในการขนส่งได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังช่วยหาเส้นทางที่ดีที่สุดเพื่อลดระยะทางและเวลาขนส่ง รวมถึงลดการแวะพักที่ไม่จำเป็นและหลีกเลี่ยงจุดที่มีการจราจรหนาแน่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่งโดยรวม โดยมีการดำเนินการดังนี้

- ติดตั้งซอฟแวร์ Transportation Management Systems ที่รองรับการทำงาน Route Optimization และ Real-time Tracking เพื่อวางแผนและติดตามการขนส่ง รวมถึง Barcode Scanning บนรถขนส่ง
- กำหนดNodes เป็น ศูนย์กระจายสินค้า, จุดแวะพักและปลายทาง
- กำหนด เส้นเชื่อม (Edges) เป็น เส้นทางขนส่งที่เป็นไปได้ พร้อมระยะทางและเวลาเดินทาง
- ป้อนข้อมูล จุดรับ-ส่งสินค้าและระยะทางระหว่างแต่ละจุด
- ใช้ Barcode Scanning เพื่อตรวจสอบ พัสดุที่ถูกโหลดขึ้นรถและลงจากรถ
- ใช้ระบบ GPS บันทึกข้อมูล ตำแหน่งปัจจุบันของรถ

และเวลาขนส่งจริง

- ใช้ AI วิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ เปรียบเทียบเวลาขนส่งจริงกับค่ามาตรฐาน ทำนาย โอกาสเกิดความล่าช้าในเส้นทาง

- วิเคราะห์เส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุดโดยคำนวณจากการจราจร, ความเร็วเฉลี่ย และระยะทาง

- ตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกเพื่อลดต้นทุน

2) ใช้ Data Analytics และ Machine Learning ในการคาดการณ์สินค้าคงคลัง เพื่อแก้ปัญหาขาดแคลนสินค้า

ขั้นตอนนี้มุ่งเน้นการลดปัญหาสินค้าหมดสต็อก และเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการสินค้าคงคลัง โดยใช้ ABC Analysis และ Machine Learning for Demand Forecasting เพื่อช่วยคาดการณ์ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดเก็บและสั่งซื้อล่วงหน้า โดยมีการดำเนินการดังนี้

2.1) ทำ ABC Analysis เพื่อจัดกลุ่มสินค้า

- รวบรวมข้อมูลสินค้าคงคลังที่ใช้งานอยู่

- วิเคราะห์ ยอดขายต่อปี, ต้นทุนของสินค้า และปริมาณการใช้สินค้า

- คำนวณสัดส่วนมูลค่าสินค้าทั้งหมดในระบบคลัง

- แบ่งสินค้าออกเป็น 3 กลุ่ม (A, B, C) ตามหลัก ABC Analysis โดยหมวด A ต้องมีการควบคุมสินค้าคงคลังอย่างเข้มงวด หมวด B ควบคุมปานกลาง และ หมวด C สามารถใช้แนวทางสั่งซื้อตามรอบ

ตารางที่ 7 Root Cause และแนวทางแก้ไข

หมวดหมู่สินค้า	สัดส่วนจำนวน	สัดส่วนมูลค่าต่อปี	แนวทางการควบคุม
A (สำคัญมาก)	20%	70%	ใช้ Just-In-Time และตรวจสอบสต็อกทุกวัน
B (ปานกลาง)	30%	20%	ควบคุมการเติมเต็มอัตโนมัติ
C (สำคัญน้อย)	50%	10%	ใช้แนวทางสั่งซื้อเป็นรอบๆ

2.2) ใช้ Machine Learning ทำนายความต้องการสินค้า

- รวบรวมข้อมูลยอดขายและจำนวนคำสั่งซื้อในอดีตใช้ข้อมูลย้อนหลัง 24 เดือน เพื่อหาความสัมพันธ์ของแนวโน้มยอดขาย

- ตรวจสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณคำสั่งซื้อ เช่น ฤดูกาล, โปรโมชั่น, และแนวโน้มความต้องการของลูกค้า

- ใช้ Machine Learning ในการพยากรณ์สินค้าคงคลังโดยใช้ Time Series Analysis (ARIMA Model) และ Regression Analysis เพื่อตรวจจับแนวโน้ม

- ทดสอบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ โดยใช้ RMSE (Root Mean Square Error) และ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำในการพยากรณ์

- นำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ไปใช้กับระบบจัดการสินค้าคงคลัง ปรับปรุง Reorder Point และ Minimum Stock Level ให้แม่นยำขึ้น

- ใช้ข้อมูลจาก AI เพื่อ กำหนดรอบการสั่งซื้อที่เหมาะสม

2.3) นำ Just-In-Time (JIT) System มาใช้ในคลังสินค้า

- กำหนด Minimum Stock Level และ Reorder Point ใช้ผลลัพธ์จาก Machine Learning เพื่อคำนวณระดับสินค้าขั้นต่ำ

- กำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ให้สอดคล้องกับความต้องการ

- เปลี่ยนรูปแบบการเติมเต็มสินค้า ใช้ JIT System เพื่อลดสินค้าคงคลังเกินกำหนด และปรับ Cycle Time ของการสั่งซื้อให้สั้นลง

3) กระบวนการเปลี่ยนระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าเป็น Digital Platform และฝึกอบรมพนักงาน

3.1) วิเคราะห์ปัญหาของระบบเดิม

- ตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลลูกค้าแบบแมนนวล จากใบจัดส่งสินค้าและใบแจ้งหนี้

- วิเคราะห์ปัญหาเช่น ที่อยู่ลูกค้าไม่ครบถ้วน, หมายเลขโทรศัพท์ผิด หรือรหัสไปรษณีย์ผิดพลาด

- วิเคราะห์อัตราการส่งสินค้าผิดพิกัด ใช้ Check Sheet และ Error Log บันทึกจำนวนสินค้าที่ถูกจัดส่งผิด

- ตรวจสอบว่าข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจาก พนักงานป้อนข้อมูลผิด หรือจากระบบขนส่งที่ไม่มีการอัปเดตข้อมูลลูกค้า

3.2) พัฒนาระบบ Digital Customer Database

- ออกแบบระบบ Digital Customer Databaseกำหนดโครงสร้างข้อมูลลูกค้า เช่น ชื่อ, ที่อยู่, ประวัติการสั่งซื้อและข้อมูลการติดต่อ

- ตั้งค่าระบบให้สามารถอัปเดตข้อมูลอัตโนมัติจากคำสั่งซื้อและการจัดส่งจริง

- ติดตั้ง Cloud-Based CRM และเชื่อมต่อกับระบบขนส่งอัตโนมัติให้พนักงานขายและฝ่ายโลจิสติกส์สามารถ

เข้าถึงและอัปเดตข้อมูลลูกค้าแบบเรียลไทม์

- ระบบ CRM จะซิงค์ข้อมูลกับ ระบบขนส่ง GPS Tracking เพื่อให้พนักงานขนส่งเข้าถึงข้อมูลลูกค้าผ่าน Mobile App

3.3) จัดฝึกอบรมพนักงานให้ใช้ Digital Platform

- จัดฝึกอบรมพนักงานให้ใช้ระบบใหม่ สอนพนักงานขนส่ง, เจ้าหน้าที่คลังสินค้า และทีมขาย เกี่ยวกับวิธีใช้ CRM และระบบขนส่งดิจิทัล
- ฝึกการใช้ Mobile App สำหรับการตรวจสอบข้อมูลลูกค้า
- สอนพนักงานขนส่งเกี่ยวกับ Barcode Scanning และ GPS Tracking
- ใช้ Barcode Scanning เพื่อลดข้อผิดพลาดในการจัดส่งสินค้า
- ใช้ GPS Tracking เพื่อติดตามสถานะการจัดส่งแบบเรียลไทม์

4.5 การประเมินผลลัพธ์

หลังการทดลองใช้ระบบ ทำการตรวจสอบว่าตัวชี้วัด (KPI) บรรลุเป้าหมายหรือไม่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อน-หลังปรับปรุง

ขั้นตอนการปรับปรุง	ตัวชี้วัด (KPIs)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	% การเปลี่ยนแปลง
ปรับปรุงเส้นทางขนส่งด้วย Route Optimization และ AI-Based GPS Tracking	เวลาการจัดส่งเฉลี่ย	72 ชม.	48 ชม.	**ลดลง 33%**
	ค่าขนส่งเฉลี่ยต่อคำสั่งซื้อ	350 บาท	290 บาท	**ลดลง 17%**
	อัตราสินค้าสูญหายจากการจัดส่งผิด	2.5%	0.8%	**ลดลง 68%**
	ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว	280 กม.	230 กม.	**ลดลง 17.9%**
	ความแม่นยำของการจัดส่ง	97.5%	99.2%	**เพิ่มขึ้น 1.74%**
ใช้ Data Analytics และ Machine Learning ในการคาดการณ์สินค้าคงคลัง	อัตราสินค้าหมดสต็อก	3.8%	1.5%	**ลดลง 61%**
	เวลาตรวจสอบสินค้าคงคลัง	3 ชม.	1 ชม.	**ลดลง 66%**
	ปริมาณสินค้าคงคลังที่ค้างเกินกำหนด	5,000 หน่วย	3,000 หน่วย	**ลดลง 40%**
	เวลารอสินค้าในคลัง	12 ชม.	6 ชม.	**ลดลง 50%**
เปลี่ยนระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าเป็น Digital Platform และฝึกอบรมพนักงาน	อัตราการส่งสินค้าผิดพิกัด	2.5%	0.8%	**ลดลง 68%**
	เวลาค้นหาข้อมูลลูกค้า	2 ชม.	30 นาที	**ลดลง 75%**
	ประสิทธิภาพของพนักงานในการใช้ระบบใหม่	85%	98%	**เพิ่มขึ้น**
	เวลาตรวจคำสั่งซื้อก่อนจัดส่ง	5 ชม.	2.5 ชม.	**ลดลง 50%**

5. สรุปและอภิปรายผล

การปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ด้วย Route Optimization, AI-Based GPS Tracking, Data Analytics, Machine Learning และ Digital Platform พบว่าประสิทธิภาพในการจัดส่งและการบริหารสินค้าคงคลังดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยระยะเวลาการจัดส่งลดลงจาก 72 ชั่วโมงเหลือ 48 ชั่วโมง คิดเป็น 33% ขณะที่ค่าขนส่งเฉลี่ยต่อคำสั่งซื้อลดลง 17% และระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยวลดลง 17.9% ทำให้สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราสินค้าสูญหายจากการจัดส่งผิดพิกัดจาก 2.5% เหลือ 0.8% และเพิ่มความแม่นยำของการจัดส่งเป็น 99.2% การนำ Machine Learning มาใช้ช่วยลดอัตราสินค้าหมดสต็อกจาก 3.8% เหลือ 1.5% ลดสินค้าคงคลังค้างเกินกำหนดลง 40% และทำให้เวลารอสินค้าในคลังลดลง 50% ซึ่ง

ส่งผลให้การบริหารสินค้าคงคลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนระบบจัดเก็บข้อมูลลูกค้าเป็น Digital Platform และการฝึกอบรมพนักงานช่วยลดอัตราการส่งสินค้าผิดพิกัดลง 68% ลดเวลาค้นหาข้อมูลลูกค้าลง 75% และเพิ่มความสามารถในการใช้ระบบของพนักงานจาก 85% เป็น 98% โดยรวมแล้ว การดำเนินการปรับปรุงครั้งนี้ช่วยเพิ่มความรวดเร็ว แม่นยำ และลดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ของบริษัทได้อย่างมีนัยสำคัญ การใช้ Route Optimization และ AI-Based GPS Tracking ช่วยลดระยะเวลาและระยะทางในการจัดส่งได้อย่างมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ [1] ที่พบว่าการใช้ระบบ GPS และการวิเคราะห์เส้นทางแบบเรียลไทม์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้ Data Analytics และ Machine Learning ในการคาดการณ์สินค้าคงคลังช่วยลดปัญหาการขาดสต็อกและลดต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] ที่เน้นความสำคัญของการใช้ข้อมูลและการวิเคราะห์ในการจัดการซัพพลายเชน การนำ Digital Platform มาใช้ในการจัดการข้อมูลลูกค้าและการฝึกอบรมพนักงานช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดส่งและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า สอดคล้องกับแนวคิดของ [2] ที่เสนอว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานและสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับลูกค้า อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ยังคงมีความท้าทายในด้านการปรับตัวของพนักงานและการลงทุนในเทคโนโลยี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [4] ที่ระบุว่าการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและกระบวนการทำงานต้องการการสนับสนุนและการจัดการที่ดีเพื่อลดแรงต้านทานและเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จ โดยสรุปแล้ว งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีและวิธีการจัดการสมัยใหม่ในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์สำหรับการกระจายสินค้าทางการแพทย์ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน แต่ยังช่วยเพิ่มความพึงพอใจและความปลอดภัยในการเข้าถึงสินค้าทางการแพทย์ของผู้ป่วยอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Li, Z., Ding, Z., Qin, Q., Huang, H., & Guo, Y. (2018). Research on Logistics Route Optimization Based on GPS and GIS Technology. 2017 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Intellectualization (ICEITI 2017).

[2] ชินวัฒน์ จึงพาณิชย์. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์การขายด้วยระบบ AI: กรณีศึกษาของบริษัท พรีซีสชั่น เอนยีเนียริ่ง จำกัด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[3] นพรัตน์ ราชจินดา. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลัง: กรณีศึกษาบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

[4] NOSTRA Logistics. (2023). *AI และ TMS:* นวัตกรรมใหม่สำหรับโลจิสติกส์ที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุด. Retrieved from https://www.nostralogistics.com

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้าในระบบโลจิสติกส์ของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน: กรณีศึกษาบริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท บางบัวทอง

Improvement of Product Inspection Process in the Logistics System of a Home Decoration Materials Distribution Center: A Case Study of Grand Home Mart, Bang Bua Thong

อมรรัตน์ พรประเสริฐ[1] ยุทธณรงค์ จงจันทร์[2*] สราวุธ อิศรานุวัฒน์[3] ดนัย สอนสุภาพ[4] คณิศร ภูนิคม[5]
เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป[6] และ ภีม พรประเสริฐ[7]
[1] สาขาวิชาการจัดการทั่วไป คณะบริหารธุรกิจและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
[2*] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[5]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[6]ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
[7]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Amonrat Pornprasert[1] Yuthanarong Jongjun[2*] Sarawut Itsaranuwat[3] Danai Sornsuphap[4] Kanitsorn Poonikom[5]
Keartisak Sriprateep[6] and Peema Pornprasert[7]
[1] Department of General Management, Faculty of Business Administration and Management,
Ubon Ratchathani Rajabhat University
[2*]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Rajanajarindra Rajabhat University
[3]Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University
[4]Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University
of Technology Isan Khonkaen Campus
[5]Department Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Uboratchathani University
[6]Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University
[7]Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Industrial Technology,
Ubon Ratchathani Rajabhat University
E-mail: yuthanarong@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาดในกระบวนการตรวจสอบสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน บริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท จำกัด และออกแบบแนวทางการปรับปรุงด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ดและ

ระบบเอกสารดิจิทัล โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงปฏิบัติการ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ศึกษาสถานะปัจจุบัน 2) วิเคราะห์สาเหตุด้วยเครื่องมือ Pareto Chart และ Fishbone Diagram 3) ออกแบบกระบวนการปรับปรุงตามหลัก Kaizen, Poka-Yoke และ 5S 4) ทดลองใช้ระบบใหม่ และ 5) ประเมินผลลัพธ์ ผลการวิจัยพบว่า ก่อนปรับปรุงมีอัตราความผิดพลาด 5.2% และใช้เวลาเฉลี่ย 8 นาทีต่อออเดอร์ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรม หลังการนำเทคโนโลยีบาร์โค้ดและ RFID มาใช้ร่วมกับระบบเอกสารดิจิทัล อัตราความผิดพลาดลดลงเหลือ 1.8% (ลดลง 65.4%) เวลาตรวจสอบลดลงเหลือ 6 นาทีต่อออเดอร์ (ลดลง 25%) และอัตราการสูญหายของบิลสินค้าลดลง 80% นอกจากนี้ ความพึงพอใจของพนักงานและลูกค้าเพิ่มขึ้น 40.6% และ 18.7% ตามลำดับ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีดิจิทัลในการลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโลจิสติกส์

คำหลัก กระบวนการตรวจสอบสินค้า ระบบโลจิสติกส์ การปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

This research aims to study the problems and factors contributing to errors in the product inspection process at the home decor distribution center of Grand Home Mart Co., Ltd., and to design improvements using barcode technology and a digital documentation system. The study employed a 5-step action research methodology: 1) analyzing the current process, 2) identifying root causes using Pareto Charts and Fishbone Diagrams, 3) designing process improvements based on Kaizen, Poka-Yoke, and 5S principles, 4) pilot testing the new system, and 5) evaluating the results. The findings revealed that, prior to improvements, the error rate was 5.2%, and the average inspection time was 8 minutes per order, both exceeding industry benchmarks. After implementing barcode scanners, RFID technology, and a digital document system, the error rate decreased to 1.8% (a 65.4% reduction), inspection time per order dropped to 6 minutes (a 25% reduction), and document loss decreased by 80%. Additionally, employee satisfaction increased by 40.6%, and customer satisfaction rose by 18.7%. The results align with related studies highlighting the effectiveness of digital technologies in reducing errors and enhancing logistics efficiency.

Keywords: Product inspection process, Logistics system, Process improvement

1. บทนำ

ระบบโลจิสติกส์ถือเป็นหัวใจสำคัญของการดำเนินธุรกิจค้าปลีก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมวัสดุตกแต่งบ้านที่ต้องจัดการสินค้าจำนวนมาก มีความหลากหลายทั้งประเภทและขนาด ซึ่งการตรวจสอบสินค้าให้ถูกต้องก่อนการจัดส่งเป็นขั้นตอนที่มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานและความน่าเชื่อถือขององค์กร อย่างไรก็ดี ศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท จำกัด กำลังเผชิญกับปัญหาความผิดพลาดในการตรวจสอบสินค้า ส่งผลให้เกิดความล่าช้าและความไม่พึงพอใจของลูกค้า จากข้อมูลก่อนการปรับปรุง พบว่าอัตราความผิดพลาดในการตรวจสอบและเวลาเฉลี่ยต่อออเดอร์ สูงกว่าค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรมถึง 33.3% และ 160% ตามลำดับ ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงเพิ่มต้นทุนการดำเนินงาน แต่ยังส่งผลต่อภาพลักษณ์องค์กรในระยะยาว

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการนำเทคโนโลยีมาใช้ในกระบวนการโลจิสติกส์มีส่วนสำคัญในการลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น งานวิจัยของ กนกวรรณ และคณะ[1] ที่ศึกษาการใช้แอปพลิเคชันสแกนคิวอาร์โค้ดในคลังสินค้าของบริษัท ยูเซ็น โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด พบว่าการลดขั้นตอนการทำงานตามหลัก ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) ร่วมกับเทคโนโลยีช่วยลด

ข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลได้ถึง 30% และระยะเวลาการทำงานลดลง 25% ในทำนองเดียวกัน กรภัทร์ และคณะ [2] ได้เน้นย้ำถึงประสิทธิภาพของระบบบาร์โค้ดในการจัดการคลังสินค้า โดยสามารถลดข้อผิดพลาดในการจัดเก็บและจัดส่งสินค้าได้ 40% อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีมาใช้อาจมีข้อจำกัดด้านต้นทุนและการยอมรับจากบุคลากร ดังที่ วรวุธ และคณะ{3} ระบุว่า การขาดการฝึกอบรมและโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสมเป็นอุปสรรคหลักต่อความสำเร็จของการปรับปรุงกระบวนการโลจิสติกส์ นอกจากนี้ งานวิจัยของ สรสินธุ์ [4] ยังชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการหลักการจัดการเข้ากับระบบดิจิทัลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มากกว่าการใช้เทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแก้ไขทั้งปัจจัยด้านคนและเครื่องมือไปพร้อมกัน

จากช่องว่างทางวิชาการข้างต้น การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาดในกระบวนการตรวจสอบสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน และออกแบบแนวทางการปรับปรุงโดยผสมผสานเทคโนโลยีบาร์โค้ดและระบบเอกสารดิจิทัลเข้ากับหลักการจัดการอย่าง Kaizen และ 5S เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ยั่งยืน ทั้งในด้านประสิทธิภาพการทำงานและความพึงพอใจของพนักงาน

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาดในการตรวจสอบสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน

2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบสินค้าในหมวดโลจิสติกส์ของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสถานะปัจจุบันของกระบวนการตรวจสอบสินค้า โดยมีเครื่องมือที่ใช้ได้แก่ การสังเกตการณ์ (Observation) การสัมภาษณ์ (Interview) และการศึกษาเวลา (Time Study)

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พนักงานแผนกตรวจสอบสินค้า (Checker) จำนวน 10 คน และหัวหน้างาน จำนวน 1 คน รวมทั้งสิ้น 11 คน ซึ่งเป็นบุคลากรที่มีหน้าที่ตรวจสอบสินค้าในศูนย์กระจายสินค้าบริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท สาขาบางบัวทอง

ผู้วิจัยใช้การเก็บข้อมูลจากการสังเกตการณ์จริง แบบสอบถาม แบบฟอร์มบันทึกข้อผิดพลาด (Check Sheet) และการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) และสถิติเชิงเปรียบเทียบ เช่น เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย เวลาที่ใช้ และจำนวนข้อผิดพลาด ก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาสาเหตุเชิงลึกของข้อผิดพลาดในกระบวนการตรวจสอบสินค้าและจัดกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาด โดยมีเครื่องมือที่ใช้ได้แก่

- Pareto Chart ช่วยวิเคราะห์ว่าปัญหาใดที่ส่งผลกระทบมากที่สุด
- Ishikawa Diagram ระบุสาเหตุของปัญหา

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้าเพื่อลดข้อผิดพลาด โดยมีหลักการที่ใช้ได้แก่

- Kaizen เพื่อปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง
- Poka-Yoke เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดโดยอัตโนมัติ
- 5S เพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงาน

ขั้นตอนที่ 4 ทดลองใช้ระบบใหม่ (Pilot Test) โดยทดสอบระบบกับออเดอร์จริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพ และตรวจสอบว่าการปรับปรุงช่วยลดข้อผิดพลาดได้จริงหรือไม่

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินผลลัพธ์และการขยายผล โดยวัดผลกระทบของการปรับปรุง วิเคราะห์ต้นทุน ประเมินความพึงพอใจของพนักงาน และขยายผลไปยังศูนย์กระจายสินค้าอื่นของบริษัท

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์สถานะก่อนการปรับปรุง

ในการศึกษากระบวนการตรวจสอบสินค้าในระบบโลจิสติกส์ของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้านของ บริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท พบว่ามีข้อผิดพลาดและความล่าช้าในกระบวนการทำงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบโลจิสติกส์โดยรวม เพื่อให้เข้าใจปัญหาอย่างละเอียด ได้

มีการเก็บรวบรวมข้อมูล ผ่าน การสังเกต (Observation) การสัมภาษณ์ (Interview) การวิเคราะห์กระบวนการปัจจุบัน (Process Flow Analysis) การศึกษาเวลาทำงาน (Time Study) และ การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาด (Cause and Effect Analysis) ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์กระบวนการตรวจสอบสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ก่อนการปรับปรุงได้ดังนี้

1) การตรวจสอบเอกสารและใบส่งสินค้า

- พนักงานแผนกโลจิสติกส์ได้รับเอกสารคำสั่งซื้อ (Picking List) และตรวจสอบกับใบส่งสินค้า

- กระบวนการนี้อาศัยพนักงาน 2 คน ในการตรวจสอบซ้ำเพื่อลดข้อผิดพลาด

2) การตรวจสอบสินค้าจริง (Physical Inspection)

- พนักงานแผนก Checker ตรวจสอบสินค้าที่อยู่บนพาเลทโดยเปรียบเทียบกับเอกสาร

- ตรวจสอบรหัส (SKU) จำนวนและคุณภาพสินค้า

3) การตรวจสอบก่อนจัดส่ง (Final Check)

- ตรวจสอบความถูกต้องของสินค้าก่อนขึ้นรถบรรทุก

- มีการบันทึกหมายเลขพาเลท และรับรองความถูกต้องของรายการสินค้า

โดยแต่ละขั้นตอนใช้เวลาต่อออเดอร์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาการตรวจสอบที่ใช้ต่อออเดอร์ (นาที)

ขั้นตอน	รายละเอียด	เวลาที่ใชต่อออเดอร์
การตรวจสอบเอกสาร	ตรวจสอบใบส่งสินค้ากับ Picking List	2 นาที
การตรวจสอบสินค้าจริง	ตรวจสอบ SKU, จำนวน, คุณภาพสินค้า	5 นาที
การตรวจสอบก่อนจัดส่ง	ยืนยันรายการสินค้าและหมายเลขพาเลท	1 นาที
รวม	**เวลาทั้งหมด**	**8 นาที**

4.2 ข้อผิดพลาดที่พบในกระบวนการเดิม

จากการศึกษาพบว่า ประเภทของข้อผิดพลาดในการตรวจสอบสินค้าอยู่ที่ 5.2% ของออเดอร์ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะข้อผิดพลาดที่พบในการระบวนการ

ประเภทของข้อผิดพลาด	%การเกิดข้อผิดพลาด	ลักษณะข้อผิดพลาดที่พบ
ตรวจสอบผิดล็อต	32%	สินค้าในพาเลทผิดล็อต แต่ไม่ได้รับการตรวจพบ
บิลสินค้าหายหรือไม่ตรงกับรายการสินค้า	27%	รายการสินค้าบนเอกสารไม่ตรงกับของจริง
พนักงานตรวจสอบไม่ครบทุกขั้นตอน	22%	ข้ามขั้นตอนบางอย่าง ทำให้เกิดข้อผิดพลาด
สินค้าเสียหายระหว่างการตรวจสอบ	12%	การย้ายสินค้าไป-มา ทำให้เกิดความเสียหาย
กรอกข้อมูลผิดพลาดในกระดาษ	7%	ไม่มีการใช้ดิจิทัล ทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อน

ลักษณะข้อผิดพลาดหลักที่พบจากตารางและการวิเคราะห์ตามหลักการ Pareto Chart พบว่า

- 80% ของลักษณะข้อผิดพลาดเกิดจาก 3 สาเหตุแรก (สินค้าผิดล็อต, บิลสินค้าหาย, การตรวจสอบไม่ครบ)

- หากสามารถแก้ไข 3 ปัญหาหลักนี้ได้ จะช่วยลดข้อผิดพลาดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.3 การเปรียบเทียบเวลาการตรวจสอบสินค้ากับค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรม

จากการเปรียบเทียบเวลาการตรวจสอบสินค้ากับค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรม ได้ผลดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลาก่อนปรับปรุงและค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรม

ตัวชี้วัด	ก่อนปรับปรุง	ค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรม	%ความแตกต่าง
เวลาตรวจสอบ (นาที/ออเดอร์)	8 นาที	6 นาที	+33.3%
%ข้อผิดพลาดในการตรวจสอบ	5.2%	2%	+160%

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่ากระบวนการตรวจสอบสินค้ายังใช้เวลานานกว่าค่าเฉลี่ยของอุตสาหกรรมถึง 33.3% และอัตราความผิดพลาดของการตรวจสอบสินค้าสูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 160% ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาด (Cause and Effect Analysis)

เพื่อให้เข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาดได้ชัดเจนขึ้น ได้ใช้เครื่องมือ Ishikawa Diagram วิเคราะห์ปัจจัยหลักที่ส่งผล

ต่อปัญหา พบว่าปัจจัยหลักและสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในกระบวนการตรวจสอบสินค้ามีดังนี้

1) ปัจจัยด้านคน (Man)

- พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรมที่เพียงพอ
- พนักงานมีภาระงานมากจนเกิด Human Error

2) ปัจจัยด้านวิธีการทำงาน (Method)

- ขั้นตอนการตรวจสอบไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน
- ไม่มีการใช้ Check list ที่เป็นมาตรฐาน

3) ปัจจัยด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ (Machine)

- ระบบการตรวจสอบสินค้า ยังคงใช้เอกสารกระดาษทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน
- ไม่มีการใช้ Barcode Scanner หรือ RFID ช่วย

4) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

- พื้นที่ตรวจสอบไม่เป็นระเบียบ หาสินค้าได้ยาก
- แสงสว่างไม่เพียงพอ ทำให้ตรวจสอบผิดพลาด

5) ปัจจัยด้านการบริหารจัดการ (Management)

- ไม่มีการกำหนด KPI สำหรับวัดประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจสอบ
- ขาดระบบติดตามข้อผิดพลาดแบบเรียลไทม์

4.5 การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้า

จากการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการตรวจสอบสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน บริษัทแกรนด์โฮมมาร์ท พบว่ามีข้อผิดพลาดสำคัญ ได้แก่ การตรวจผิดล็อต บิลสินค้าหาย และสินค้าเสียหายระหว่างการตรวจสอบ ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ บุคลากรวิธีการทำงาน เครื่องมือ วัสดุ การวัดผล และสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้าโดยอาศัย แนวคิด Kaizen Poka-Yoke และ 5S เพื่อลดข้อผิดพลาด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ใช้เทคโนโลยีช่วยในการทำงาน

- การนำ Barcode Scanner หรือ RFID มาใช้
- ติดตั้ง Barcode Scanner ในจุดตรวจสอบสินค้า
- ใช้ RFID Tags เพื่อตรวจจับล็อตสินค้าผ่านระบบอัตโนมัติ
- ลดการพึ่งพาการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ซึ่งเสี่ยงต่อความผิดพลาด

2) สร้างมาตรฐานการทำงาน (Work Instruction)

- จัดทำ Check sheet ตรวจสอบสินค้าให้พนักงาน
- ปรับปรุง Flow Process Chart ให้กระชับและลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น

3) ใช้ระบบดิจิทัลแทนเอกสารกระดาษ

- นำ E-Document System มาใช้แทนบิลกระดาษ
- จัดสร้างระบบ Digital Dashboard ให้สามารถตรวจสอบข้อมูลแบบเรียลไทม์

4) ฝึกอบรมพนักงานในการตรวจสอบสินค้า

- จัด Training Kaizen Workshop ให้พนักงานทุกคนเข้าใจการปรับปรุง
- ทดสอบการตรวจสอบสินค้าหลังการฝึกอบรม เพื่อวัดผลการเรียนรู้

5) ปรับปรุงพื้นที่ทำงานตามหลัก 5S

- แบ่งโซนตรวจสอบสินค้าให้ชัดเจน (Sort, Set in Order)
- ติดตั้งแสงสว่างเพิ่มเติมในจุดที่มีปัญหา

6) ทดลองใช้ระบบ (Pilot Test)

โดยมีเป้าหมายเพื่อทดสอบการใช้งานระบบ Barcode และ RFID ตรวจสอบผลกระทบต่อข้อผิดพลาดและเวลาทำงาน และ รับฟีดแบคจากพนักงานเพื่อปรับปรุง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- ทดลองใช้ Barcode Scanner กับ 50 ออเดอร์แรก ตรวจสอบว่าข้อมูลตรงกับระบบ ERP หรือไม่ และ เก็บสถิติอัตราความผิดพลาดหลังการใช้งาน
- นำ E-Document System มาใช้กับการจัดการบิลสินค้า ทดสอบการเชื่อมต่อระบบกับคลังสินค้า และตรวจสอบว่าสามารถลดการสูญหายของบิลสินค้าได้หรือไม่
- วัดผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุง โดยใช้ Time Study วัดเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบสินค้า และ สัมภาษณ์พนักงานว่าระบบใหม่ใช้งานง่ายขึ้นหรือไม่

4.6 การประเมินผลลัพธ์

หลังการทดลองใช้ระบบ ทำการตรวจสอบว่าตัวชี้วัด (KPI) บรรลุเป้าหมายหรือไม่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการดำเนินงานหลังปรับปรุง

ตัวชี้วัด (KPI)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลลัพธ์ (%)
อัตราความผิดพลาด	5.2%	1.8%	ลดลง 65.4%
เวลาตรวจสอบสินค้า (นาที/ออเดอร์)	8 นาที	6 นาที	ลดลง 25%
อัตราการสูญหายของบิลสินค้า	2.5%	0.5%	ลดลง 80%
อัตราความพึงพอใจของพนักงาน (1-5)	3.2	4.5	เพิ่มขึ้น 40.6%
ความพึงพอใจของลูกค้า	75%	89%	เพิ่มขึ้น 18.7%

จากตารางที่ 4 สรุปผลการประเมินได้ว่า

1) ระบบ Barcode Scanner และ RFID ช่วยลดข้อผิดพลาดได้อย่างมีนัยสำคัญ

2) การเปลี่ยนจาก บิลกระดาษเป็นระบบดิจิทัล ลดปัญหาการสูญหายของเอกสาร

3) เวลาการตรวจสอบลดลง 25%

การปรับปรุงกระบวนการในครั้งนี้มีต้นทุนรวมประมาณ 8,500 บาท แบ่งเป็น

- ค่าพัฒนาเอกสาร Checklists และ SWI 1,000 บาท
- ค่าอบรมพนักงาน 11 คน (2 ชั่วโมง) 3,500 บาท
- ค่าพิมพ์ป้ายและปรับระบบพื้นที่ 4,000 บาท

เมื่อเปรียบเทียบกับผลประหยัดที่ได้จากการลดข้อผิดพลาด พบว่าลดการใช้เวลาตรวจสินค้าได้ประมาณ 5 นาทีต่อพาเลท ลดข้อผิดพลาดที่ต้องส่งสินค้าใหม่ หรือเสียหาย คิดเป็นต้นทุนที่ลดได้เฉลี่ยเดือนละ 15,000–20,000 บาท ดังนั้นจึงถือว่าการปรับปรุงครั้งนี้ให้ ผลตอบแทนคุ้มค่าในระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน

หลังจากการอบรมและนำแนวทางใหม่ไปใช้จริง ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจของพนักงาน 11 คน พบว่า พนักงาน 90.9% มีความพึงพอใจในระดับมากและมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวม 4.62 จาก 5.00 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงตอบโจทย์ผู้ปฏิบัติงานอย่างแท้จริง

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบสินค้าโดยการนำเทคโนโลยี Barcode Scanner และระบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Document) มาใช้ ผลการวิจัยพบว่า อัตราความผิดพลาดลดลงจาก 5.2% เหลือ 1.8% และ เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบสินค้าลดลงจาก 8 นาที เหลือ 6 นาทีต่อออเดอร์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการปรับปรุงโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ กนกวรรณ และคณะ[1] ซึ่งศึกษาการปรับปรุงการดำเนินงานภายในคลังสินค้าด้วย โมบายแอปพลิเคชันและแนวคิด ECRS ในบริษัท ยูเซ็น โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยพบว่าการนำแอปพลิเคชัน QR Code Scanner มาใช้ในการบันทึกข้อมูลเลขรหัสสินค้าช่วยลดระยะเวลาและความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล นอกจากนี้ การปรับปรุงกระบวนการทำงานตามหลัก ECRS ยังช่วยลดขั้นตอนจาก 17 ขั้นตอน เหลือ 13 ขั้นตอน

นอกจากนี้ งานวิจัยของ กรภัทร์ และคณะ [2] ที่ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการคลังสินค้าด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ด ในบริษัท ดีเอพีพี ยูนิฟอร์ม จำกัด พบว่าการนำระบบบาร์โค้ดมาใช้ช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดการสินค้าและเพิ่มความรวดเร็วในการดำเนินงาน ได้อย่างมีนัยสำคัญ

มีงานวิจัยบางฉบับที่พบว่าการนำ เทคโนโลยีบาร์โค้ดหรือคิวอาร์โค้ด มาใช้ในกระบวนการโลจิสติกส์อาจมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้นทุนในการลงทุนระบบเทคโนโลยี การฝึกอบรมพนักงาน และปัญหาด้านความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยี ซึ่งอาจส่งผลให้การดำเนินการปรับปรุงไม่ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดหากไม่มีการวางแผนอย่างเหมาะสม (วรวุธ และคณะ) [3]

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กนกวรรณ กระจ่างเดือน, พุทธิวัต สิงห์ดง และ ปริญ วีระพงษ์. (2564). การปรับปรุงการดำเนินงานภายในคลังสินค้าด้วยโมบายแอปพลิเคชันและแนวคิด ECRS: กรณีศึกษาบริษัท ยูเซ็น โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี, 1*(2), 45-60.

[2] กรภัทร์ บุญเรืองพาณิชย์, ณัฐธยาน์ โสกุล, และ ศุภรัชชัย วรรัตน์. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการคลังสินค้าด้วยเทคโนโลยีบาร์โคด: กรณีศึกษาบริษัท ดีเอ พีพี ยูนิฟอร์ม จำกัด. ใน *การประชุมวิชาการนานาชาติ DPU ด้านธุรกิจ นวัตกรรม และสังคมศาสตร์ 2023* (น. 112-125).

[3] วรวุธ ปลื้มจิตร สักรินทร์ อยู่ผ่อง และ อัคครัตน์ พูลกระจ่าง. (2564). การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมหัวหน้างานธุรกิจขนส่งสินค้าในประเทศ. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ 15(1) มกราคม – เมษายน 2564.

[4] สรสินธุ์ ฉายสินสอน (2564) ปัจจัยเชิงสาเหตุด้านคุณลักษณะผู้ประกอบการและการรับรู้เทคโนโลยีที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการยอมรับเทคโนโลยีคลังสินค้าอัจฉริยะเชิงพานิชย์ของผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศไทย. วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ 6(1) มกราคม – มิถุนายน 2564.

การศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกเพื่อการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และการศึกษาความเป็นไปได้: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมชุดชั้นในสตรี

Comparative Analysis of Investment Alternatives for Domestic Product Transportation in Thailand Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Feasibility Study: A Case Study of a Female Undergarment Manufacturing Factory

นนทพรรณ นิติวดีลักขณา[1*] นพคุณ แสงเขียว[2] พีรภพ จอมทอง[3] และธรรมวิชช์ ประเสริฐ[4]
[1, 2, 4] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[3] ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยคริสเตียน

Nonthaphan Nitiwadeelukkana[1*] Noppakun Sangkhiew[2] Peerapop Jomtong[3] and Thammawit Prasert[4]
[1, 2, 4] Department of Industrial Engineering and Management,
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[3] Department of Biomedical Engineering, Faculty of Health Science, Christian University
E-mail: nitiwadeelukkan_n@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งในอุตสาหกรรมชุดชั้นในสตรีในประเทศไทย โดยองค์กรกรณีศึกษาพบว่าแม้จะลดการปล่อยก๊าซรวมได้ร้อยละ 6 ในปี พ.ศ. 2565 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2564 แต่ปริมาณการใช้น้ำมันกลับเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.870 ส่งผลให้การปล่อยก๊าซ Scope 1 จากรถยนต์สันดาปภายในยังคงสูงอยู่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่ง โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) และการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) ครอบคลุมปัจจัยหลัก 5 ด้าน ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T), การเงิน (F), การตลาด (M), กฎหมาย (L), และสิ่งแวดล้อม (E) จากการเก็บข้อมูลผู้บริหาร 7 ราย พบว่าปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดคือ ระยะทางต่อการเติมพลังงาน (T2) (0.493), ผลตอบแทนและต้นทุนการลงทุน 5 ปี (F1) (0.330), และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E1) (0.148) โดยทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดคือรถยนต์ไฟฟ้าแบบเช่า (Electric Vehicle with Rental Agreement: EV-R) (0.402) ผลวิจัยนี้สามารถสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ขององค์กร เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำหลัก กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, รถยนต์ไฟฟ้า, การศึกษาความเป็นไปได้, การลงทุนด้านการขนส่ง

Abstract

This research examines the issue of greenhouse gas emissions from transportation in the women's underwear manufacturing industry in Thailand. The case study organization found that although total emissions were reduced by 6% in 2022 compared to 2021, fuel consumption increased by 18.870%, leading to persistently high Scope 1 emissions from internal combustion engine vehicles. The objective of this study was to compare transportation investment alternatives using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Feasibility Study methods, covering five main criteria: technical feasibility (T), financial feasibility (F), market feasibility (M), legal feasibility (L), and environmental feasibility (E). Data were collected from seven executive respondents. The most influential sub-criteria identified were maximum driving range per refueling (T2) (0.493), five-year return and investment cost (F1) (0.330), and greenhouse gas reduction (E1) (0.148). The most suitable investment option was the electric vehicle with rental agreement (EV-R) (0.402). The findings provide strategic decision-making support for the organization, aligning with national greenhouse gas reduction targets and sustainable development goals.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Electric Vehicle, Feasibility Study, Transportation Investment

1. บทนำ

อุตสาหกรรมชุดชั้นในสตรีเป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อุปทาน โดยเฉพาะในด้านการผลิตและด้านการขนส่ง [1]

อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยต้องเผชิญกับการแข่งขันอย่างรุนแรงจากสินค้านำเข้าราคาถูกจากประเทศเพื่อนบ้าน โดยเฉพาะจีนและเวียดนาม ที่ส่งผลต่อส่วนแบ่งตลาดและต้นทุนการผลิต ประกอบกับแนวโน้มระดับโลกที่ให้ความสำคัญต่อความยั่งยืน ทำให้องค์กรในอุตสาหกรรมนี้ต้องปรับตัวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ทั้งในด้านคุณภาพ การจัดการสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้า

ณ ปัจจุบัน ทางองค์กรกรณีศึกษาพบปัญหาภาคขนส่งสินค้า ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักในกลุ่มScope 1 [2] โดยกระบวนการกระจายสินค้าภายในประเทศ ซึ่งใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด จากข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรปี พ.ศ.2565 พบว่า องค์กรสามารถลดการปล่อยก๊าซโดยรวมได้ร้อยละ 6 ในปี พ.ศ.2565 เทียบกับปี พ.ศ. 2564 แต่ปริมาณการใช้น้ำมันกลับเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.87 ส่งผลให้รถยนต์ภายใต้การดำเนินงานขององค์กร ได้แก่ รถตู้ 16 คัน และรถกระบะ 9 คัน ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 18,338.34 และ 12,705.64 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) ตามลำดับ

ภายใต้นโยบาย 30@30 [3] ของประเทศไทยที่ตั้งเป้าลดการปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคขนส่งลงร้อยละ 40 ภายในปี พ.ศ. 2573 องค์กรจึงจำเป็นต้องพิจารณาทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งสำหรับองค์กรกรณีศึกษา โดยมุ่งตอบคำถามวิจัยว่า "ทางเลือกการขนส่งใดมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับองค์กรกรณีศึกษา" โดยพิจารณาทางเลือก 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การเช่ารถยนต์สันดาปภายใน 2) การซื้อรถยนต์สันดาปภายใน 3) การเช่ารถยนต์ไฟฟ้า และ 4) การซื้อรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นทางเลือกที่องค์กรกรณีศึกษาพิจารณาว่าสอดคล้องกับบริบทการดำเนินธุรกิจและลักษณะการใช้งานจริงในปัจจุบัน การศึกษานี้ประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ร่วมกับการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการดำเนินงานด้านมิติต่าง ๆ เพื่อกำหนดเกณฑ์ปัจจัยการตัดสินใจและระบุทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับองค์กร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP)

เป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) ใช้วิเคราะห์ปัญหาซับซ้อนโดยจัดโครงสร้างเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) ตั้งแต่ เป้าหมาย (Goal), เกณฑ์หลัก (Criteria), เกณฑ์ย่อย (Sub-criteria) และ ทางเลือก (Alternatives) โดยการเปรียบเทียบแบบรายคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักและลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย

AHP ถูกพัฒนาโดย Thomas L. Saaty ในช่วงปลายทศวรรษ 1970 [4] และได้รับการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขาจนถึงปัจจุบัน

2.2 ประเมินความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

เป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้วิเคราะห์แนวคิดโครงการโดยพิจารณาข้อมูลเชิงลึกและหลักฐานสนับสนุน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน ช่วยให้สามารถตัดสินใจลงทุนได้อย่างแม่นยำและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ครอบคลุม 6 ด้านหลัก [5] ได้แก่ 1) ด้านเทคนิค (Technical Feasibility) 2) ด้านการเงิน (Financial Feasibility) 3) ด้านการตลาด (Market Feasibility) 4) ด้านการดำเนินงาน (Operational Feasibility) 5) ด้านกฎหมาย (Legal Feasibility) 6) ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Feasibility)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมได้วิเคราะห์เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจัดทำตารางสรุปเปรียบเทียบแนวทางการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบแนวทางจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง	เครื่องมือวิเคราะห์	ขอบเขตการศึกษา	ปัจจัยสำคัญ (ค่าน้ำหนัก)	ช่องว่างทางองค์ความรู้ (Literature Gap)
กันต์ธมน สุขกระจ่าง [6]	AHP	การคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งสิ่งทอ	รายละเอียดทั่วไปบริษัท (0.265), คุณภาพบริการ (0.203), ความสามารถผู้ให้บริการ (0.176)	ไม่รวม Feasibility Study เน้นการคัดเลือกผู้ให้บริการ ไม่ใช่การเปรียบเทียบการลงทุนหรือทางเลือกรถยนต์
Garcia & Lopez [7]	AHP	วิเคราะห์ความยั่งยืนของระบบขนส่ง	พลังงานหมุนเวียน (0.380), นโยบายขนส่งสีเขียว (0.340), ความสามารถลด CO_2 (0.280)	ไม่วิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจหรือการลงทุน เน้นเชิงนโยบายสิ่งแวดล้อม
Mardani et al. [8]	AHP	การตัดสินใจด้านการขนส่งและโลจิสติกส์	คุณภาพบริการ (0.370), ต้นทุนรวม (0.330), ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (0.300)	เป็นงานทบทวน MCDM โดยรวม ไม่เน้นการใช้ Feasibility Study หรือการเปรียบเทียบการลงทุนในบริบทอุตสาหกรรมไทย
Wang et al. [9]	AHP	เลือกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ในโลจิสติกส์	สมรรถนะขับขี่ (0.390), ระยะทาง/ชาร์จ (0.350), ต้นทุนดำเนินงาน (0.260)	มุ่งเน้นเทคโนโลยี EV ไม่ครอบคลุมการเปรียบเทียบการลงทุนระหว่าง ICE และ EV ในเชิงเศรษฐกิจและความคุ้มค่า

ผู้แต่ง	เครื่องมือวิเคราะห์	ขอบเขตการศึกษา	ปัจจัยสำคัญ (ค่าน้ำหนัก)	ช่องว่างทางองค์ความรู้ (Literature Gap)
Lee & Kim [10]	AHP + Feasibility Study	ประเมินความยั่งยืนระบบขนส่งสาธารณะ	ลด CO_2 (0.380), ประหยัดพลังงาน (0.340), การยอมรับประชาชน (0.280)	มุ่งเน้นระบบขนส่งสาธารณะ ไม่ครอบคลุมการวิเคราะห์ระบบขนส่งสินค้าและการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมไทย
Brewster & Wong [11]	AHP + Feasibility Study	เลือกโครงการลงทุนขนส่งมวลชน	คืนทุนการเงิน (0.420), ผลกระทบผู้โดยสาร (0.300), การยอมรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (0.280)	มุ่งเน้นการลงทุนขนส่งมวลชน ไม่ครอบคลุมบริบทการตัดสินใจลงทุนในระบบขนส่งสินค้าภายในอุตสาหกรรมไทย

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมามีช่องว่างทางองค์ความรู้ โดยส่วนใหญ่ศึกษาเครื่องมือ AHP หรือ Feasibility Study เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการศึกษาที่จำกัดเฉพาะบางด้านเท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำทั้งสองเครื่องมือมาบูรณาการเข้าด้วยกัน เพื่อประเมินทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมสำหรับองค์กรกรณีศึกษา โดยเน้นการเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) และรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ในบริบทของอุตสาหกรรมไทย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย เพื่อประเมินและคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดจากทั้งหมด 4 ทางเลือก โดยประยุกต์ใช้ AHP และFeasibility Study เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยและสนับสนุนการตัดสินใจในการลงทุน

การศึกษานี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือวิจัย โดยผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้งานจริง การประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามใช้ ดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) [12] คำนวณ IOC ตามสมการที่ 1

$$\text{IOC} = \frac{\Sigma \text{R}}{\text{N}} \qquad (1)$$

โดยที่ R คือคะแนนที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด, N คือจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ค่า IOC ตั้งแต่ 0.50-1.00 สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลได้

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 การประเมินลำดับความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยรองผ่านการเปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison) ส่วนที่ 3 การประเมินอิทธิพลของเกณฑ์ปัจจัยรองต่อทางเลือกการลงทุน (Pairwise Comparison of Sub-Criteria vs. Alternatives)

โดยใช้กลุ่มตัวอย่างคือผู้บริหารหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องด้านการขนส่งขององค์กรกรณีศึกษาจำนวน 7 ราย โดยใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

การวิเคราะห์ AHP ดำเนินการผ่าน 4 ขั้นตอน ดังนี้ [4]

1) กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นของปัญหา

2) การให้ดุลพินิจเชิงเปรียบเทียบ

3) การคำนวณค่าน้ำหนัก โดยใช้ค่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigenvector)

$$\lambda\text{max} = \Sigma_{i=1}^{n}[\Sigma_{j=1}^{n} a_{ij} W_i] \qquad (2)$$

โดยที่ λ คือค่า Eigenvector, Wi คือค่าน้ำหนักเกณฑ์ปัจจัย Ai

4) พิจารณาอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR)

ตรวจสอบความเชื่อถือได้ของดุลยพินิจในการ

เปรียบเทียบแบบคู่ โดยค่า CR ≤ 0.1 ถือว่ายอมรับได้ หากเกินกว่านี้อาจต้องทบทวนการให้ค่าดุลยพินิจ ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) คำนวณได้จาก

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n-1} \quad (3)$$

โดยที่ n คือจำนวนปัจจัย

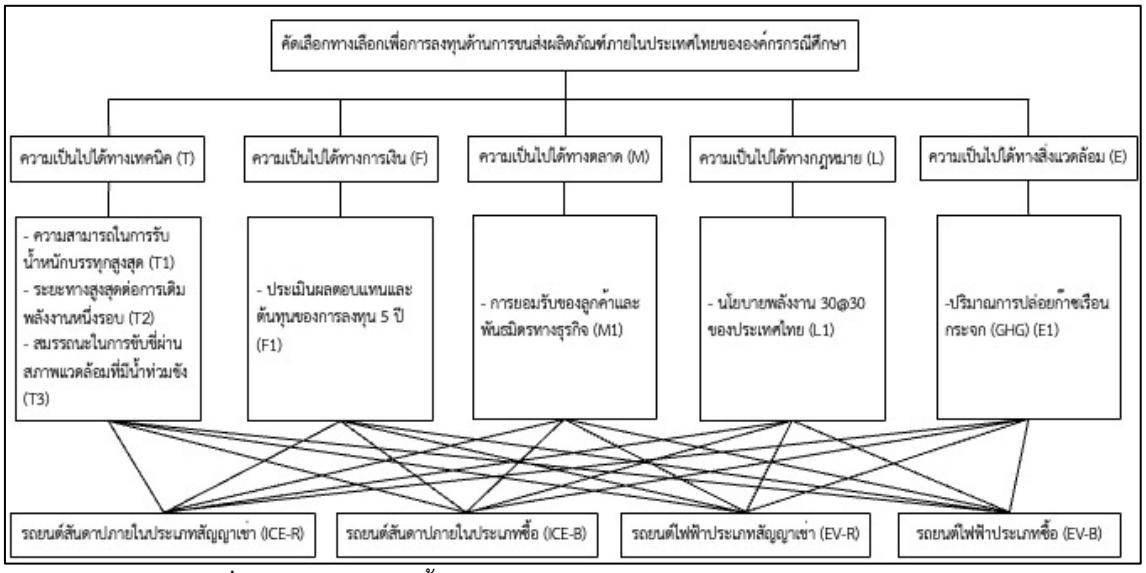
และพิจารณาอัตราส่วนความสอดคล้อง (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

โดยที่ RI (Random Index) คือค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม

4. ผลการวิจัย

โครงสร้างลำดับชั้นของปัญหาหลังทำ IOC ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้นหลายระดับสำหรับการคัดเลือกทางเลือกหลังทำ IOC

จากรูปที่ 1 เกณฑ์และปัจจัยหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์กำหนดขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม, การสัมภาษณ์เบื้องต้นกับผู้เชี่ยวชาญในองค์กร, รวมถึงข้อกำหนดเชิงนโยบายที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น นโยบายสิ่งแวดล้อม 30@30 ของประเทศไทย ทั้งนี้ Feasibility Study ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ครอบคลุม 5 ด้านสำคัญ ได้แก่ ความเป็นไปได้ด้านเทคนิค, ความเป็นไปได้ด้านการเงิน, ความเป็นไปได้ด้านการตลาด, ความเป็นไปได้ด้านกฎหมาย, และความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาทางเลือกการลงทุน 4 รูปแบบ ได้แก่ รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบเช่า (ICE-R), รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบซื้อ (ICE-B), รถยนต์ไฟฟ้าแบบเช่า (EV-R), และรถยนต์ไฟฟ้าแบบซื้อ (EV-B)

การวิจัยครั้งนี้นำเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการวิเคราะห์คำตอบจากแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทยขององค์กรกรณี โดยการวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ประกอบด้วยผู้บริหารหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องด้านการขนส่งขององค์กรกรณีศึกษาจำนวน 7 ราย โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง ซึ่งมีบทบาทหรือความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริหารจัดการหรือการวางแผนการใช้รถยนต์เพื่อการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในองค์กร ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	อายุ	ระดับการศึกษา	ตำแหน่งหน้าที่ในองค์กร	หน้าที่ความรับผิดชอบในองค์กร หมายเหตุ: 1 คน เลือกได้มากกว่า 1 ประเภท	ประสบการณ์ในสายงาน	ความเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการหรือวางแผนการใช้รถยนต์เพื่อการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในองค์กร
เพศหญิง (0.571)	ระหว่าง21-30 ปี (0.143)	ต่ำกว่าปริญญาตรี (0.143)	ผู้จัดการฝ่าย (0.143)	ฝ่ายสิ่งแวดล้อม / ความยั่งยืน (0.222)	ระหว่าง 3-5 ปี (0.286)	มีบทบาทในการตัดสินใจโดยตรง (0.286)
เพศชาย (0.429)	ระหว่าง 31-40 ปี (0.143)	ปริญญาตรี (0.571)	ผู้จัดการส่วน (0.429)	ฝ่ายคลังสินค้า / ขนส่ง (0.222)	ระหว่าง 6-10 ปี (0.143)	มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลหรือข้อเสนอแนะ (0.429)
	ระหว่าง 41-50 ปี (0.714)	ปริญญาโท (0.286)	ผู้จัดการทั่วไป (0.143)	ฝ่ายจัดซื้อ / จัดจ้าง (0.111)	ระหว่าง 16-20 ปี (0.286)	มีความเกี่ยวข้องในระดับทั่วไป (0.286)
			หัวหน้างาน (0.143)	ฝ่ายวางแผนการผลิต / โลจิสติกส์ (0.111)	มากกว่า 20 ปี (0.286)	
			จป.วิชาชีพ (0.143)	ฝ่ายทรัพยากรมนุษย์ (0.111)		
				ฝ่ายขาย (0.111)		
				ฝ่ายความปลอดภัยในการทำงาน (0.111)		

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้อาศัยข้อมูลจากแบบสอบถามซึ่งออกแบบมาเพื่อรวบรวมความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย โดยข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ โดยใช้หลักการ AHP เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนของกระบวนการวิเคราะห์ จึงได้แสดงตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบปัจจัยแบบคู่ (Pairwise Comparison Matrix) ที่ได้จากการประเมินของผู้ตอบแบบสอบถามจริง ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบแบบคู่ของปัจจัยย่อยทางด้านเทคนิค (T)

ปัจจัย	ความสามารถในการบรรทุก (T1)	ระยะทางสูงสุงต่อการเติมพลังงาน (T2)	สมรรถนะในการขับขี่ที่สภาพแวดล้อมน้ำท่วมขัง (T3)
ความสามารถในการบรรทุก (T1)	1.000	1.000	2.000
ระยะทางสูงสุงต่อการเติมพลังงาน (T2)	1.000	1.000	5.000
สมรรถนะในการขับขี่ที่สภาพแวดล้อมน้ำท่วมขัง (T3)	0.500	0.200	1.000
ผลรวมแนวตั้ง	2.500	2.200	8.000

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบแบบคู่ของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน

ปัจจัย	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T)	ความเป็นไปได้ทางการเงิน (F)	ความเป็นไปได้ทางตลาด (M)	ความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (L)	ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม (E)
ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T)	1.000	1.253	1.493	1.517	1.923
ความเป็นไปได้ทางการเงิน (F)	0.798	1.000	4.000	2.000	3.000
ความเป็นไปได้ทางตลาด (M)	0.670	0.250	1.000	1.000	0.500
ความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (L)	0.659	0.500	1.000	1.000	1.000
ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม (E)	0.520	0.333	2.000	1.000	1.000
ผลรวมแนวตั้ง	3.647	3.336	9.493	6.517	7.423

หลังจากการวิเคราะห์ Pairwise Comparison Matrix เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ แล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบค่าความสอดคล้อง (CR) เพื่อประเมินความสอดคล้องของผลลัพธ์ที่ได้ ถ้า CR ≤ 0.1 แสดงว่าความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยผลการคำนวณค่า CR สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

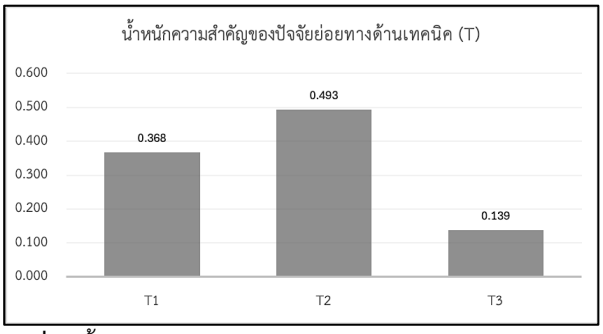
ตารางที่ 5 ค่าความสอดคล้องของปัจจัยย่อยด้านเทคนิค (T)

เกณฑ์	λmax	CI	CR
ความสามารถในการบรรทุก (T1)	3.095	0.047	0.082
ระยะทางสูงสุงต่อการเติมพลังงาน (T2)			
สมรรถนะในการขับขี่ที่สภาพแวดล้อมน้ำท่วมขัง (T3)			

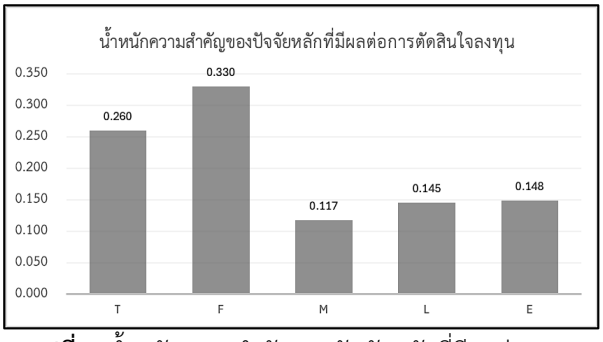
ตารางที่ 6 ค่าความสอดคล้องของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน

เกณฑ์	λmax	CI	CR
ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T)	5.181	0.045	0.040
ความเป็นไปได้ทางการเงิน (F)			
ความเป็นไปได้ทางตลาด (M)			
ความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (L)			
ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม (E)			

หลังจากทำการคำนวณ Pairwise Comparison Matrix และตรวจสอบค่า Consistency Ratio (CR) แล้ว จึงได้ค่าน้ำหนักความสำคัญ ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อยทางด้านเทคนิค (T)



รูปที่ 3 น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน

รูปที่ 2 แสดงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อยทางด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T) ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกทางเลือก จากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการ AHP พบว่าปัจจัยระยะทางสูงสุดต่อการเติมพลังงาน (T2) มีน้ำหนักสูงสุด (0.493) ซึ่งหมายความว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญมากที่สุดกับคุณสมบัติของรถยนต์ที่สามารถเดินทางในระยะไกลโดยไม่ต้องหยุดเติมพลังงานบ่อย รองลงมาคือ ปัจจัยความสามารถในการบรรทุก (T1) มีน้ำหนัก (0.368) สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของขีดความสามารถในการขนส่งสินค้าในแต่ละรอบการเดินทาง ส่วนปัจจัยที่มีน้ำหนักต่ำสุดคือ ปัจจัยสมรรถนะในการขับขี่ที่สภาพแวดล้อมน้ำท่วมขัง (T3) มีน้ำหนักเพียง (0.139) ชี้ให้เห็นว่าแม้ปัจจัยนี้จะสำคัญแต่ยังมีระดับความสำคัญต่ำกว่าปัจจัยอื่นอย่างชัดเจน

รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกการลงทุน ผลจากการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับ ปัจจัยความเป็นไปได้ทางการเงิน (F) สูงที่สุดด้วยน้ำหนัก (0.330) สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยด้านต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนเป็นปัจจัยสำคัญของการลงทุนด้านการขนส่งในบริบทองค์กร รองลงมาคือ ปัจจัยความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T) ด้วยน้ำหนัก (0.260) แสดงว่าประสิทธิภาพของรถยนต์ในด้านการใช้งานยังเป็นสิ่งสำคัญในลำดับถัดมา ส่วนปัจจัยที่มีระดับความสำคัญรองลงมาคือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (E) และ ปัจจัยความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (L) โดยมีน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันคือ (0.148) และ (0.145) ตามลำดับ หมายความว่าการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมและกฎหมายเป็นสิ่งที่องค์กรให้ความสำคัญในระดับรองลงมา ส่วน ปัจจัยความเป็นไปได้ทางการตลาด (M) มีน้ำหนักน้อยที่สุดคือ (0.117) แสดงว่าการยอมรับจากตลาดไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกทางเลือกการลงทุน

4.3 การคัดเลือกทางเลือกการลงทุนด้านขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย

การวิเคราะห์ส่วนนี้ใช้หลักการ AHP เพื่อสะท้อนค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญประกอบการคัดเลือกทางเลือกการลงทุนที่เหมาะสม โดยพิจารณาทางเลือกทั้งหมด 4 ทางเลือกที่องค์กรกรณีศึกษาให้ความสนใจ เพื่อแสดงภาพรวมของการวิเคราะห์จึงแสดงตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบปัจจัยแบบคู่ (Pairwise Comparison Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบแบบคู่ของทางเลือกการลงทุนปัจจัยหลักด้านความเป็นไปได้ทางการเงิน (F)

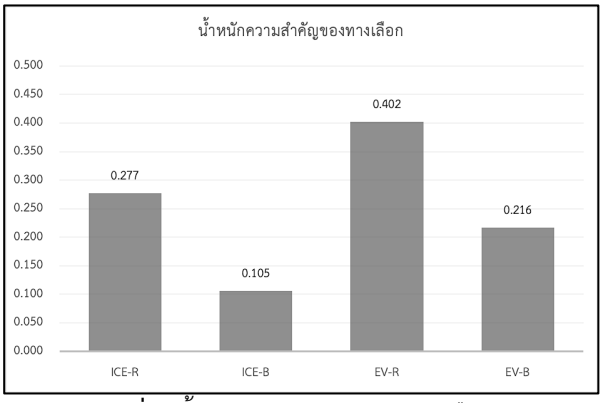
ทางเลือก	รถยนต์สันดาปภายในประเภทสัญญาเช่า (ICE-R)	รถยนต์สันดาปภายในประเภทซื้อ (ICE-B)	รถยนต์ไฟฟ้าประเภทสัญญาเช่า (EV-R)	รถยนต์ไฟฟ้าประเภทซื้อ (EV-B)
รถยนต์สันดาปภายในประเภทสัญญาเช่า (ICE-R)	1.000	5.000	0.500	2.000
รถยนต์สันดาปภายในประเภทซื้อ (ICE-B)	0.200	1.000	0.250	0.500
รถยนต์ไฟฟ้าประเภทสัญญาเช่า (EV-R)	2.000	4.000	1.000	4.000
รถยนต์ไฟฟ้าประเภทซื้อ (EV-B)	0.500	2.000	0.250	1.000
ผลรวมแนวตั้ง	3.700	12.000	2.000	7.500

หลังจากการวิเคราะห์ Pairwise Comparison Matrix เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักต่าง ๆ แล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบค่าความสอดคล้อง (CR) เพื่อประเมินความสอดคล้องของผลลัพธ์ที่ได้ ถ้า CR ≤ 0.1 แสดงว่าความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยผลการคำนวณค่า CR สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความสอดคล้องของปัจจัยหลักที่มีผลต่อทางเลือกการตัดสินใจลงทุน

เกณฑ์	λmax	CI	CR
ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (T)	4.098	0.033	0.036
ความเป็นไปได้ทางการเงิน (F)	4.087	0.029	0.032
ความเป็นไปได้ทางตลาด (M)	4.224	0.075	0.083
ความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (L)	4.209	0.070	0.077
ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม (E)	4.227	0.076	0.084

หลังจากทำการคำนวณ Pairwise Comparison Matrix และตรวจสอบค่า Consistency Ratio (CR) แล้ว จึงได้ค่าน้ำหนักความสำคัญ ดังรูปที่ 4

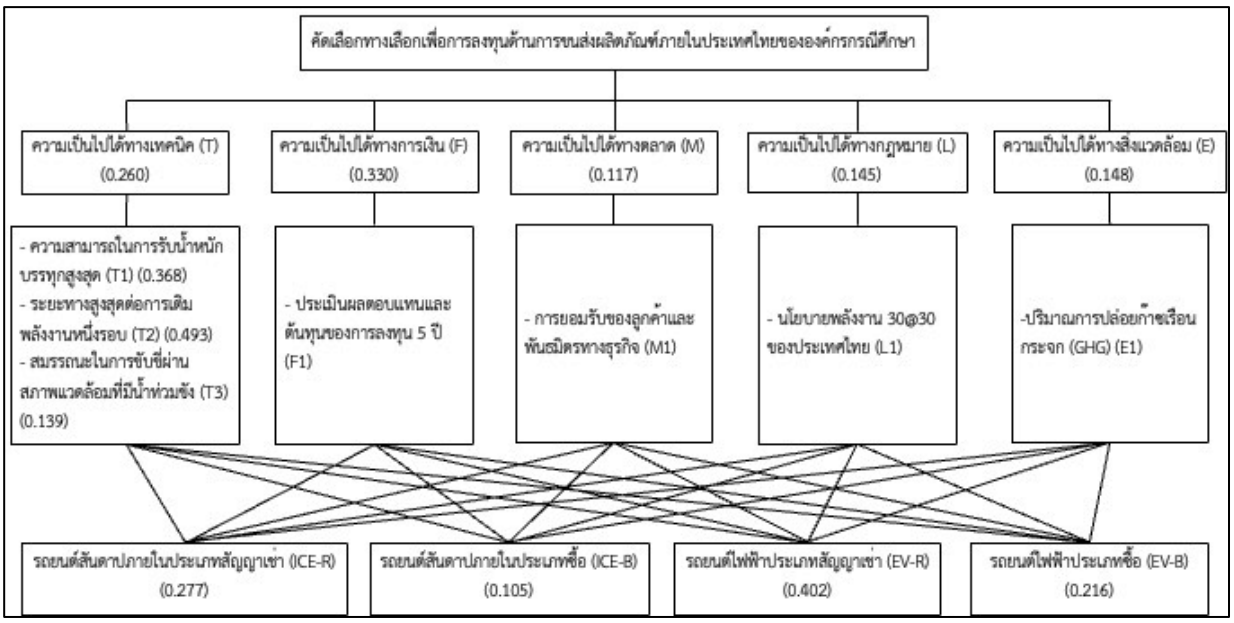


รูปที่ 4 น้ำหนักความสำคัญของทางเลือก

รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์การคัดเลือกทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า รถยนต์ไฟฟ้าประเภทสัญญาเช่า (EV-R) ได้รับค่าน้ำหนักรวมสูงสุด (0.402) แสดงถึงความเหมาะสมในฐานะตัวเลือกอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ รถยนต์สันดาปภายในประเภทสัญญาเช่า (ICE-R) (0.277), รถยนต์ไฟฟ้าประเภทซื้อ (EV-B) (0.216) และรถยนต์สันดาปภายในประเภทซื้อ (ICE-B) (0.105) ตามลำดับ

การวิเคราะห์เชิงลึกจากภาพสรุปแสดงให้เห็นว่า EV-R มีความได้เปรียบในหลายมิติ โดยมีคะแนนสูงสุดทั้งด้านการเงิน (0.477), การตลาด (0.402), กฎหมาย (0.411) และสิ่งแวดล้อม (0.434) ขณะที่ด้านเทคนิค (0.282) แม้ ICE-R จะได้คะแนนสูงกว่า (0.373) แต่เมื่อพิจารณารวมทุกเกณฑ์แล้ว EV-R ครองอันดับหนึ่งอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ปัจจัยย่อยสำคัญ เช่น ระยะทางสูงสุดต่อการเติมพลังงาน (T2) (0.493), การประเมินผลตอบแทนและต้นทุนการลงทุนตลอด 5 ปี (F1) (0.330) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E1) (0.148) ล้วนมีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจลงทุน ภาพรวมดังกล่าวสะท้อนถึงความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพทางเทคนิค ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้ EV-R เป็นทางเลือกการลงทุนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับองค์กรกรณีศึกษา

5. สรุปการวิจัยและการศึกษาวิจัยในอนาคต



รูปที่ 5 สรุปผลการศึกษาที่ใช้ในการคัดเลือกทางเลือกเพื่อการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย

ภาพที่ 5 แสดงผลสรุปการตัดสินใจเลือกทางเลือกการลงทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) [4] ซึ่งผลลัพธ์ยืนยันว่า รถยนต์ไฟฟ้าประเภทสัญญาเช่า (EV-R) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยมีน้ำหนักรวมสูงสุด (0.402) เหนือกว่าทางเลือกอื่นอย่างชัดเจน การวิเคราะห์เชิงลึกชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยที่สนับสนุนการตัดสินใจนี้ ได้แก่ ปัจจัยระยะทางสูงสุดต่อการเติมพลังงาน (T2) (0.493) ปัจจัยผลตอบแทนและต้นทุนการลงทุนตลอด 5 ปี (F1) (0.330) และปัจจัยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E1) (0.148)

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Garcia & Lopez [7] ที่เน้นความสำคัญของนโยบายการลด CO_2 และความยั่งยืนในระบบขนส่ง ซึ่งสนับสนุนโดยรายงานของสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์ [3] ที่ระบุถึงการเติบโตของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในไทยภายใต้นโยบาย 30@30 และแนวทางของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ [1] ที่ชี้ถึงความสำคัญของการลด Carbon Footprint ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ขณะเดียวกัน ข้อมูลของ Sabina Public Company Limited [2] ยังแสดงถึงความสำคัญของการปรับตัวเชิงสิ่งแวดล้อมในภาคธุรกิจอย่างเป็นรูปธรรม

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ต่อยอดจากทฤษฎีการใช้ AHP ตามแนวทางของ Saaty และ Vargas [4] และเสริมด้วยแนวคิดการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) [5] เพื่อประเมินความคุ้มค่าการลงทุน

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดสำคัญคือ การใช้ข้อมูลจากองค์กรกรณีศึกษาเพียงแห่งเดียว ซึ่งอาจไม่สะท้อนความหลากหลายของอุตสาหกรรมหรือภูมิภาค อีกทั้งการประเมินต้นทุนและพลังงานอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะตลาดและนโยบายในอนาคต งานวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตครอบคลุมอุตสาหกรรมและภูมิภาคอื่น เพิ่มความหลากหลายของกลุ่มตัวอย่าง โดยเฉพาะผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายนอก ทั้งนี้ ควรพิจารณาประยุกต์ใช้วิธีพหุเกณฑ์อื่น เช่น TOPSIS เพื่อความแม่นยำและความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์การตัดสินใจลงทุน

6.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, “Carbon Footprint ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ”, โครงการศูนย์สารสนเทศอัจฉริยะอุตสาหกรรมแฟชั่น ปี พ.ศ. 2565, (2565), หน้า 22–28.

[2] Sabina Public Company Limited, “แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี บริษัท ซาบีน่า จำกัด (มหาชน)”, (2567), หน้า 502.

[3] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์, “รายงานสถานการณ์รถยนต์ไฟฟ้า พ.ศ. 2566”, (2567), หน้า 1–16.

[4] Saaty, T. L. และ Vargas, L. G., “Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process”, 2nd ed., Vol. 175, (2022), pp. 1–343.

[5] Thai Winner, “Feasibility study คืออะไร? ดีอย่างไรบ้าง?”, (2563), ข้อมูลจาก https://thaiwinner.com/feasibility-study/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2568).

[6] กันต์ธมน สุขกระจ่าง, “การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นของกระบวนการตัดสินใจในการคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ: บริษัทกรณีศึกษา”, วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, (2558), หน้า 1–16.

[7] Garcia, M. และ Lopez, J., “Sustainability Assessment of National Transport Systems Using AHP Methodology”, Springer, 19(3), (2024), pp. 45–63.

[8] Mardani, A., Jusoh, A. และ Zavadskas, E. K., “A review of multi-criteria decision-making applications in transportation”, Expert Systems with Applications, 42(23), (2015), pp. 8277–8294.

[9] Wang, X., Liu, Y. และ Zhang, Z., “Selection of electric vehicle technology for logistics using AHP”, Sustainability, 12(15), (2020), pp. 6008.

[10] Lee, S. และ Kim, H., “Sustainable public transport assessment using AHP and feasibility analysis”, Journal of Cleaner Production, 230, (2019), pp. 1152–1163.

[11] Brewster, R. และ Wong, Y., “AHP-integrated feasibility assessment for public transit projects”, Transport Policy, 100, (2021), pp. 45–58.

[12] Rovinelli, R. J. และ Hambleton, R. K., “On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity”, Dutch Journal of Educational Research, 2, (1977), pp. 49–60.

การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต

Development of Waste Data Monitoring and Analysis System in Production Process

ธนพล สิทธิศักดิ์[1] ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ[1] อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย[1]
รัตนาภรณ์ วงษ์ทอง[1] ปริมประภา จุลบุดดี[1] และ สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์[1*]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Thanaphon Sitthisak[1] Paramet Baowan[1] Apisak Harnpicharnchai[1]
Rattanaporn Wongthong[1] Primprapa Junlabuddee[1] and Surached Thuankaewsing[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: surached.th@rmuti.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการบันทึกข้อมูลและสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น อีกทั้งผู้บริหารทราบข้อมูลได้ตลอดเวลา โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป กูลเกิ้ลฟอร์ม (Google Form) และกูลเกิ้ลชีท (Google Sheet) ในการสร้างแบบฟอร์มสำหรับจัดเก็บข้อมูล ร่วมกับลุคเกอร์ สตูดิโอ (Looker Studio) เพื่อทำการสรุปและวิเคราะห์ผลข้อมูล หลังการดำเนินงานพบว่าระบบสามารถช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานลงได้จากเดิมเฉลี่ย 30.33 นาที ลดเหลือ 10.30 นาที หรือมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 66.04 เมื่อเทียบกับเวลาเดิม
คำหลัก กูลเกิ้ลฟอร์ม, กูลเกิ้ลชีท, ลุคเกอร์ สตูดิโอ, ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสีย

Abstract

This research developed a waste data monitoring and analysis system for the production process of a case study company. The system aims to reduce working time for operators in data recording and make the process more user-friendly, while allowing management to access information in real-time. The system was developed by applying Google Form and Google Sheet software to create data collection forms, integrated with Looker Studio for data summarization and analysis. After implementation, the system successfully reduced the operation process time from an average of 30.33 minutes to 10.30 minutes, representing a 66.04% improvement in work efficiency compared to the previous method.
Keywords: Google Form, Google Sheet, Looker Studio, Waste Data Monitoring and Analysis System

การพัฒนาระบบการเบิกจ่ายอุปกรณ์และอะไหล่สำรอง

Development of Equipment and Spare Parts Requisition System

ณัฐวุฒิ จันทะสุระ[1] ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ[1] ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[1] ภูริพัส แสนพงษ์[1]
ปัญญา วินทะไชย[1] ปรวิทย์ เจียนดอน[1] และ สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์[1*]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Natthawut Chanthasura[1] Paramet Baowan[1] Teerawut Khuenkaew[1] Phuriphut Saenpong[1]
Panya Wintachai[1] Porawit Jiandon[1] and Surached Thuankaewsing[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: surached.th@rmuti.ac.th[*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองแบบออนไลน์ในโรงงานผลิตที่นั่งสำหรับยานยนต์ เพื่อแก้ไขปัญหาการเบิกจ่ายแบบดั้งเดิมที่ใช้การจดบันทึกในสมุด ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจสอบและการสั่งซื้ออุปกรณ์ทดแทน โดยประยุกต์ใช้แอพชีท (App Sheet) ในการพัฒนาระบบออนไลน์ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเบิกอุปกรณ์และติดตามสถานะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่าระบบใหม่สามารถลดเวลาในกระบวนการเบิกและตรวจสอบจากเดิมเฉลี่ย 1,401 วินาที เหลือเพียง 118 วินาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 91.58 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความสูญเสียเวลา และทำให้การบริหารจัดการอุปกรณ์และอะไหล่สำรองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
คำหลัก การเบิกจ่ายอุปกรณ์, ระบบออนไลน์, อุตสาหกรรมยานยนต์, การปรับปรุงกระบวนการ, แอพชีท

Abstract

This research aims to develop an online equipment and spare parts requisition system for an automotive seat manufacturing factory to solve problems associated with the traditional paper-based recording method, which caused delays in monitoring and replenishment. By applying App Sheet, an online system was developed to facilitate efficient requisition and tracking for users. The results showed that the new system reduced the average time for requisition and verification processes from 1,401 seconds to 118 seconds, representing a 91.58% reduction. This significantly improved operational efficiency, reduced time waste, and enhanced the management of equipment and spare parts inventory.
Keywords: Equipment Requisition, Online System, Automotive Industry, Process Improvement, App Sheet

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยการผลิตที่มีประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาเครื่องจักรมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิต [1], [2] บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตที่นั่งสำหรับ

ยานยนต์ โดยมุ่งเน้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยานยนต์ และนำเสนอนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ทันสมัย

ในการดำเนินงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะการจัดการอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง (Equipment and Spare Part) ที่ต้องมีพร้อมใช้งานเมื่อเกิดความจำเป็น [3], [4], [5] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองจากแผนกจัดเก็บ (Storage) ภายในโรงงานของบริษัทกรณีศึกษายังเป็นการเบิกแบบจดลงสมุด ซึ่งพนักงานต้องจดรายการที่เบิกรายวันเพื่อนำมาสรุปยอดในแต่ละวัน เพื่อตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ช่างเสียหายชำรุด หรืออะไหล่สำรองชนิดใดหมดและต้องสั่งซื้อเพิ่มเติม

การขาดระบบจัดการที่มีประสิทธิภาพทำให้บางครั้งพนักงานที่รับผิดชอบไม่สามารถตรวจสอบการเบิกจ่ายได้ทันเวลา เนื่องจากต้องปฏิบัติงานอื่นควบคู่ไปด้วย ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอุปกรณ์และอะไหล่สำรอง และการสั่งซื้อไม่ทันตามความต้องการ ทำให้การซ่อมบำรุงเครื่องจักรล่าช้าและกระทบต่อการผลิต สอดคล้องกับงานวิจัย [6] ที่พบว่าระบบการจัดการอะไหล่สำรองที่ไม่มีประสิทธิภาพส่งผลต่อความล่าช้าในการซ่อมบำรุงและเพิ่มต้นทุนการดำเนินงานโดยรวม

จากปัญหาและสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาระบบการเบิกและการตรวจสอบอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองผ่านระบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้เบิกและผู้ติดตามสามารถดำเนินการได้สะดวกรวดเร็ว สามารถตรวจสอบสถานะได้ตลอดเวลา อันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดเวลาการดำเนินงานของพนักงาน โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการคลังอะไหล่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [7]

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การศึกษากระบวนการเบิกและตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการเบิกจ่ายและตรวจสอบอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองในปัจจุบัน พบว่ามีขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

ช่างจะมาเบิกอะไหล่สำรองโดยเดินเข้าไปเลือกหยิบสิ่งที่ต้องการ หลังจากได้สิ่งที่ต้องการเบิกแล้วจึงเขียนรายการที่เบิกลงในสมุดเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 การเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

พนักงานผู้รับผิดชอบจะต้องตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง โดยต้องเดินจากออฟฟิศไปเช็ครายละเอียดการเบิกที่ห้องแผนกจัดเก็บเพื่อจัดทำสรุปรายการการเบิกจ่ายในแต่ละวัน ดังแสดงในรูปที่ 2

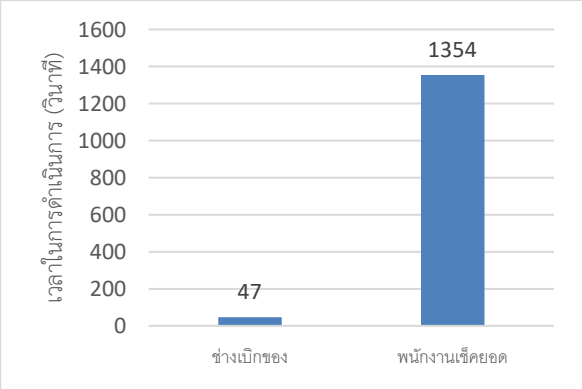
รูปที่ 2 การตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

วิธีการดำเนินงานนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ [8] ที่ได้ศึกษาการวิเคราะห์กระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย โดยใช้แผนภูมิการไหลเพื่อระบุความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน

2.2 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

จากการศึกษาและสอบถามพนักงานที่รับผิดชอบในส่วนงานอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง พบว่าปัญหาสำคัญคือไม่สามารถทราบยอดการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองได้แบบเรียลไทม์ (Real-time) และต้องเสียเวลาในการไปตรวจสอบยอดการเบิกจ่ายในแต่ละวัน เนื่องจากระบบปัจจุบันยังคงใช้การกรอกลงสมุดบันทึก ขาดระบบสารสนเทศที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการเบิกของช่างและกระบวนการตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายในแต่ละวัน พบว่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองใช้เวลานานมาก เกิดความสูญเสียเวลาในการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เวลาในการเบิกและตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยหลัก 4M (แผนภาพก้างปลา) เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เสียเวลากับการเช็คยอดการเบิกมากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากกระบวนการทำงาน (Method) โดยเฉพาะการไม่มีระบบการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้เสียเวลาในการตรวจสอบรายการการเบิกในแต่ละวัน โดยกระบวนการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพเป็นสาเหตุหลักของความล่าช้าในการจัดการคลังสินค้าในอุตสาหกรรมยานยนต์ [9], [10]

2.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงาน ดังนี้

1) การกำจัด (Eliminate) - ตัดขั้นตอนของพนักงานตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง เพื่อช่วยลดเวลาการทำงานลง

2) การรวมกัน (Combine) - นำขั้นตอนการเบิกและการตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายมารวมกันให้เป็นขั้นตอนเดียว โดยการดำเนินการผ่านระบบออนไลน์

3) การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) - ปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้นเพื่อลดระยะเวลาการทำงานและโอกาสเกิดความผิดพลาด โดยการพัฒนาแอพพลิเคชันสำหรับเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองแบบออนไลน์

การนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมการผลิตช่วยลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [11]

2.4 ดำเนินการแก้ไข

ผู้วิจัยได้ดำเนินการแก้ไขโดยการสร้างระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองออนไลน์ โดยประยุกต์ใช้แอพชีทซึ่งเป็นแอพพลิเคชันสำเร็จรูปของ Google ที่สามารถสร้างได้โดยไม่ต้องเขียนโค้ด ขั้นตอนการพัฒนามีดังนี้

1) สร้างฐานข้อมูลของรายการอุปกรณ์ช่างและ

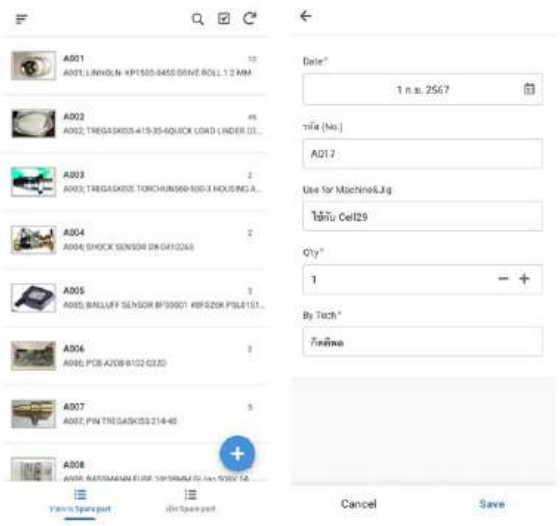
อะไหล่สำรองด้วย Google Sheet

2) สร้างโปรแกรมระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองด้วยแอพชีท

3) ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงระบบ

โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีหน้าตาแอพพลิเคชันดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5

การเลือกใช้แอพชีทสำหรับการสร้างระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอพพลิเคชันแบบ Low-code จะช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบและให้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งระบบได้ตามความต้องการ [12]



รูปที่ 5 ระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรอง

3. ผลการดำเนินงาน

ระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การเบิกอะไหล่และการตรวจสอบรายการการเบิกจ่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการในการดำเนินงานระหว่างแบบเก่าและแบบใหม่จำนวน 10 ครั้ง ดังข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของกระบวนการแบบเดิมและแบบใหม่

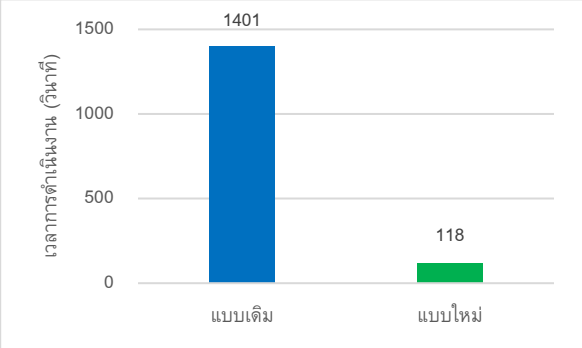
รูปแบบ	กระบวนการ	เวลาในการทำงาน (วินาที)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แบบเดิม	เบิก	46	40	54	43	44	54	42	39	47	57	47
	ตรวจสอบ	1,359	1,346	1,371	1,383	1,339	1,293	1,382	1,390	1,287	1,391	1,354
	รวม	1,405	1,386	1,425	1,426	1,383	1,347	1,424	1,429	1,334	1,448	1,401
แบบใหม่	เบิก	35	38	35	42	24	32	24	39	42	40	35
	ตรวจสอบ	71	73	92	97	71	111	61	105	92	52	83
	รวม	106	111	127	139	95	143	85	144	134	92	118

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า หลังมีการใช้ระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองที่พัฒนาขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการดำเนินการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในขั้นตอนการตรวจสอบรายการเบิกจ่ายที่ลดลงจากเฉลี่ย 1,354 วินาที เหลือเพียง 83 วินาที ซึ่งเป็นการลดลงมากกว่าร้อยละ 90

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการออกแบบและพัฒนาระบบการเบิกอุปกรณ์ช่างและอะไหล่สำรองด้วยการประยุกต์ใช้ App Sheet

สามารถทำให้ผู้เบิกและผู้ตรวจสอบทำงานได้สะดวกสบายขึ้น สามารถตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไปได้ และลดเวลาในกระบวนการดำเนินงานลง จากเดิมระยะเวลารวมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1,401 วินาที ลดลงเหลือ 118 วินาที คิดเป็นร้อยละ 91.58 ที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานแบบเดิม



รูปที่ 6 เปรียบเทียบเวลาการดำเนินงานระหว่างการทำงานแบบเดิมและแบบใหม่

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการคลังสินค้าสามารถลดเวลาในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [13] โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นผลลัพธ์ว่าสามารถลดเวลาได้ถึงร้อยละ 91.58 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระบบเดิมที่ใช้การจดบันทึกด้วยมือมีความล่าช้ามาก เมื่อเปลี่ยนเป็นระบบออนไลน์จึงเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

การปรับปรุงกระบวนการทำงานด้วยหลักการ ECRS ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ [14] ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่แสดงให้เห็นว่าการผสมผสานระหว่างการปรับปรุงกระบวนการและการนำเทคโนโลยีมาใช้สามารถสร้างผลลัพธ์ที่ดีได้

นอกจากนี้ การใช้ App Sheet ในการพัฒนาระบบยังมีข้อดีในด้านความรวดเร็วในการพัฒนาและความยืดหยุ่นในการปรับแต่งระบบ โดยการใช้แพลตฟอร์ม Low-code สามารถลดเวลาในการพัฒนาระบบได้เมื่อเทียบกับการพัฒนาแบบดั้งเดิม [12]

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ได้อนุเคราะห์ให้เข้าศึกษาปัญหาและดำเนินงานการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] อุทิศ พงศ์จิรวัฒนา และ จริยา ศรีทองแดง. (2019). "การวิเคราะห์ความเชื่อมโยงทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย." วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 29(3), 1–10. DOI: 10.14416/j.faa.2019.08.002.

[2] Peerayos Yoopraphat และ Trinate Tantakool. (2020). "Development of Technology Innovation to Promote Competitiveness of Industry Entrepreneurs Automotive Parts Manufacturing in Thailand." Journal of Suvarnabhumi Institute of Technology (Humanities and Social Sciences), 6(1), 1–10.

[3] Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). A review of condition-based maintenance decision-making. European Journal of Industrial Engineering, 6(5), 519–541.

[4] Zhang, H., & Wang, Y. (2018). The Lean Management of Spare Parts in Automotive Manufacturing. MATEC Web of Conferences, 201, 04005.

[5] Aunyawong, W., & Charoenrat, T. (2024). Innovative framework for effective service parts management in the Thai automotive industry. Frontiers in Mechanical Engineering, 10.3389/fmech.2024.1361688.

[6] Ibrahim, Y.M., Hami, N., & Othman, Z. (2019). Integrating Sustainable Maintenance into Sustainable Manufacturing Practices and its Relationship with Sustainability Performance: A Conceptual Framework. International Journal of

Energy Economics and Policy, 9(4), 30-39.

[7] Tong, C. (2023). An efficient intelligent semi-automated warehouse inventory stocktaking system. arXiv preprint arXiv:2309.12365. https://arxiv.org/abs/2309.12365

[8] Supsomboon, S., & Varodhomwathana, T. (2017). Robot and plant simulation for automotive part production process design: A case study. International Journal of Simulation Modelling, 16(4), 617-629.

[9] ชลธิชา ศรีสุข. (2559). การจัดระบบคลังสินค้าของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงของโรงงานผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย].

[10] ณัฐวุฒิ ศรีสวัสดิ์. (2559). การจัดการสินค้าคงคลังประเภทอะไหล่สำรอง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องจักรกล [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].

[11] Pertiwi, A. F. O., & Astuti, R. D. (2020). Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: A case study. Jurnal Sistem dan Manajemen Industri, 4(1), 13–29.

[12] Petrović, N., Roblek, V., Radenković, M., & Nejković, V. (2020). Approach to rapid development of data-driven applications for smart cities using AppSheet and Apps Script. Proceedings of the 10th International Conference on Applied Internet and Information Technologies (AIIT 2020), Zrenjanin, Serbia.

[13] Sharma, R., & Patel, A. (2025). The impact of digital transformation on warehouse efficiency. International Journal of Scientific Research & Engineering Trends (IJSRET), 11(1), 718–724. https://ijsret.com/wp-content/uploads/2025/01/IJSRET_V11_issue1_105.pdf

[14] Krajungduang, K., Singhdong, P., & Weerapong, P. (2021). Improving Warehouse Operations with Mobile Applications and ECRS Concepts Case Study of Yusen Logistics (Thailand) Co., Ltd. Journal of Learning Innovation and Technology (JLIT), 1(2), 62–69.

การเปรียบเทียบรูปแบบการพยากรณ์ยอดขายสินค้าอาหารเสริม: กรณีศึกษา บริษัท AAA

A Comparative Study of Sales Forecasting Models for Food Supplement Products: A Case Study of AAA Company

ญาดา ชาติพจน์[1] ณิชกานต์ ปะริเวทัง[1] พิมพ์พิศา วงศ์พล[1] และ ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์[1,*]
[1] คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Yada Chatiphon[1], Nichakan Pariwettang[1], Pimpisa Wongphon[1] and Natdhanai Supattananon[1,*]
[1]Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus
E-mail: natdhanai.su@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์ 4 รูปแบบ ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดซื้อสินค้าอาหารเสริมของบริษัท AAA โดยใช้ข้อมูลยอดขายรายเดือนของสินค้ารากสามสิบ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคม พ.ศ. 2567 การประเมินผลความแม่นยำใช้ค่าตัวชี้วัด MSE, MAD และ MAPE ผลการวิจัยแสดงว่า วิธีวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก หรือ WMA ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด กล่าวคือ MSE เท่ากับ 48,770,582.13 MAD เท่ากับ 4,900.00 และ MAPE เท่ากับ 32.65 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลที่มีความผันผวนสูง และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดซื้อเพื่อลดความเสี่ยงของการขาดแคลนหรือล้นสต็อกสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก: การพยากรณ์, การจัดซื้อ, อาหารเสริม

Abstract

This research aimed to compare the accuracy of four forecasting models: Simple Moving Average, Weighted Moving Average, Exponential Smoothing, and Double Exponential Smoothing, to apply them in the procurement planning of dietary supplements for AAA Company. The study utilized monthly sales data of the "Rak Sam Sip" product from January to August 2024. Forecasting accuracy was evaluated using Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Deviation (MAD), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results revealed that the Weighted Moving Average (WMA) method provided the lowest forecasting errors, with an MSE of 48,770,582.13, MAD of 4,900.00, and MAPE of 32.65%. Therefore, WMA is most suitable for highly volatile data and can be effectively used in procurement planning to reduce the risk of stock shortages or overstocking.

Keywords: Forecasting, Purchasing, Dietary supplements

1.บทนำ

ปัจจุบันภาคธุรกิจต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและการแข่งขันที่รุนแรงทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบจากการแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2563 ได้ก่อให้เกิดการหยุดชะงักและความเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน (Disruption) ต่อวิถีชีวิตของผู้บริโภคและกระบวนการดำเนินธุรกิจในหลากหลายอุตสาหกรรม หนึ่งในสินค้าที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงสถานการณ์ดังกล่าว คือ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากสมุนไพร ซึ่งมีแนวโน้มเติบโตตามกระแสการดูแลสุขภาพและความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ โดยคาดการณ์ว่าตลาดผลิตภัณฑ์สมุนไพรในประเทศไทยจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึง 59.5 พันล้านบาทในปี พ.ศ. 2569 [1]

จากแนวโน้มดังกล่าว บริษัทที่ดำเนินธุรกิจจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจึงประสบปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการสั่งซื้อสินค้า เนื่องจากความไม่แน่นอนของปริมาณความต้องการที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ประกอบกับปัญหาความล่าช้าในการผลิตหรือการส่งสินค้าจากโรงงาน ทำให้บางช่วงเวลาสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและรายได้ของบริษัทอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการจัดทำแผนการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนสินค้าและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพยากรณ์ยอดขายจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้บริษัทสามารถวางแผนการสั่งซื้อสินค้าได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการนำเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายสี่รูปแบบ ได้แก่ 1) วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย หรือ Simple Moving Average 2) วิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก หรือ Weighted Moving Average 3) วิธีปรับเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือ Exponential Smoothing และ 4) วิธีปรับเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบซ้ำสองครั้ง หรือ Double Exponential Smoothing เพื่อนำผลการพยากรณ์มาวิเคราะห์ความแม่นยำผ่านค่าตัวชี้วัดต่างๆ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE), ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ไปกำหนดแนวทางการจัดซื้อสินค้าที่มีปริมาณเหมาะสม ลดปัญหาการขาดแคลนหรือล้นสต็อก และส่งเสริมให้บริษัทสามารถบริหารจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้บริษัท AAA เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบธุรกิจจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ได้แก่ พลูคาว รากสามสิบ ริดสีดวง กษัยเส้น และกำลังช้างสาร เป็นต้น

2. การทบทวนวรรณกรรม

การบริหารจัดการสินค้าคงคลังและการวางแผนสั่งซื้อสินค้าเป็นกลไกสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขันขององค์กร โดยเฉพาะธุรกิจอาหารเสริมที่ต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนของความต้องการผู้บริโภคตลอดเวลา หากบริษัทสามารถพยากรณ์ยอดขายได้อย่างแม่นยำ จะช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้า และลดความเสี่ยงของสินค้าขาดแคลนหรือล้นสต็อก ส่งผลให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันท่วงที [2] และสามารถจัดทำแผนสั่งซื้อได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยเทคนิคที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย หรือ SMA ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีลักษณะคงที่ ไม่มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล โดยการนำข้อมูลในอดีตมาคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อคาดการณ์ค่าของช่วงเวลาถัดไป แม้ว่าวิธีนี้จะใช้งานง่าย แต่ข้อจำกัดที่สำคัญคือการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลค่อนข้างช้าและไม่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มหรือความผันผวนสูง [3] หากข้อมูลมีความเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว การใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก หรือ WMA จะช่วยให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากวิธีนี้ให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลในอดีต ซึ่งสามารถปรับค่าน้ำหนักให้สอดคล้องกับสภาพตลาดหรือสถานการณ์เฉพาะหน้าได้ดี [4] อีกหนึ่งเทคนิคที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือ ES ซึ่งเป็นการพยากรณ์โดยให้น้ำหนักข้อมูลในอดีตแบบลดหลั่นลงตามช่วงเวลา โดย

ข้อมูลล่าสุดจะได้รับน้ำหนักสูงสุด เหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาลชัดเจน ทั้งนี้ความแม่นยำของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ α (Alpha) ซึ่งควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล [2] อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ข้อมูลยอดขายมีแนวโน้มชัดเจน การพยากรณ์ด้วยวิธี Double Exponential Smoothing หรือ DES จะช่วยสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเพิ่มองค์ประกอบแนวโน้มเข้ามาในสมการพยากรณ์ ซึ่งทำให้การคาดการณ์มีความแม่นยำยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบอื่น [2]

ทั้งนี้ ได้เปรียบเทียบการพยากรณ์ยอดขายสินค้าด้วยวิธี Simple Moving Average, Weighted Moving Average และ Double Exponential Smoothing พบว่าการเลือกเทคนิคที่สอดคล้องกับพฤติกรรมของข้อมูลสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] อีกทั้งยังมีผลต่อการลดต้นทุนสินค้าคงคลังและป้องกันปัญหาสินค้าขาดแคลนในช่วงที่ความต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น การพยากรณ์ยอดขายจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนจัดซื้อสินค้าของธุรกิจอาหารเสริม เพราะจะช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างเหมาะสม และสนับสนุนการดำเนินงานของบริษัทให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์นิยมใช้ตัวชี้วัดค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE), ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (MAD) และเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) ซึ่งแต่ละค่ามีลักษณะและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน โดย MSE เหมาะกับข้อมูลที่มีความผันผวนสูง เนื่องจากให้ค่าน้ำหนักกับความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่มากเป็นพิเศษ ขณะที่ MAD เป็นค่าที่เข้าใจง่ายและไม่ไวต่อ outlier มากนัก เหมาะกับข้อมูลทั่วไป ส่วน MAPE จะแสดงผลในรูปเปอร์เซ็นต์ ซึ่งช่วยให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลที่มีหน่วยหรือขนาดต่างกันได้ แต่หากค่าจริงมีค่าน้อยมากอาจทำให้เกิดค่าเปอร์เซ็นต์ที่สูงผิดปกติ ดังนั้น การใช้ค่าทั้งสามร่วมกันจะช่วยให้การวิเคราะห์ผลการพยากรณ์มีความรอบด้านและแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของข้อมูลยอดขายที่มีความผันผวนตามฤดูกาลหรือปัจจัยภายนอก [2]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลยอดขายในอดีตของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากบริษัท AAA เพื่อพยากรณ์ความต้องการสินค้าและวางแผนการจัดซื้ออย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธีเชิงสถิติเพื่อเปรียบเทียบผลความแม่นยำของแบบจำลองพยากรณ์ทั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งมีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ข้อมูลยอดขายผลิตภัณฑ์อาหารเสริมของบริษัท AAA ทั้งหมด ได้แก่ พลูคาว รากสามสิบ ริดสีดวง กษัยเส้น และกำลังช้างสาร เป็นต้น ซึ่งมีการจัดจำหน่ายภายในประเทศ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นยอดขายรายเดือน ซึ่งรวบรวมจากระบบจัดเก็บข้อมูลของบริษัทในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือน มกราคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลยอดขายสินค้า

เดือน ปี 2567	ยอดขายสินค้า (กระปุก)				
	พลูคาว	ราก สามสิบ	ริดสีดวง	กษัย เส้น	กำลัง ช้างสาร
ม.ค.	781	10,754	1,419	741	3,253
ก.พ.	343	4,831	1,763	557	1,448
มี.ค.	383	21,551	1,317	1,588	1,828
เม.ย.	422	27,225	2,121	1,411	2,371
พ.ค.	642	19,101	1,916	1,170	1,968
มิ.ย.	564	21,021	2,226	1,333	2,363
ก.ค.	815	28,308	1,602	1,395	3,037
ส.ค.	244	11,857	1,646	1,105	1,664
เฉลี่ย	524.3	18,081.0	1,751.3	1,162.5	2,241.5

จากตารางที่ 1 วิเคราะห์มูลค่ายอดขายสินค้าเพื่อตัดสินใจเลือกสินค้าที่มีมูลค่าสูงที่สุดในการพยากรณ์ พบว่าสินค้าที่มีมูลค่าสูงสุดคือ รากสามสิบ (4,239,994.50 บาท) กำลังช้างสาร (525,514.50 บาท) ริดสีดวง (410,609.50

บาท) กษัยเส้น (350,343.00 บาท) และพลูคาว (122,878.00 บาท) ตามลำดับ นอกจากนี้ ข้อมูลของบริษัทแสดงว่ารากสามสิบเป็นสินค้าที่มียอดขายสูงที่สุด แต่มีปัญหาการขาดแคลน ดังนั้น จึงเลือกพยากรณ์รากสามสิบเพื่อนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลยอดขายรากสามสิบพบว่า ข้อมูลดังกล่าวมีความผันผวนสูงและไม่เป็นระเบียบ (Non-stationary) ซึ่งเหมาะกับการพยากรณ์ด้วยวิธี WMA และ ES [6] อย่างไรก็ตาม เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคพยากรณ์ที่หลากหลายและครอบคลุมลักษณะของข้อมูล จึงเลือกเทคนิคการพยากรณ์พื้นฐาน SMA และ DES รวมเป็น 4 รูปแบบ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยเครื่องมือต่อไปนี้

1) แบบจำลองการพยากรณ์ยอดขาย 4 รูปแบบ [2-3], [8] ได้แก่

- วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) ดังสมการที่ 1

$$\text{ค่า } SMA = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-n}}{n} \quad (1)$$

เมื่อ A_{t-n} คือ ค่าจริงในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

n คือ ค่าเคลื่อนที่ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ n = 2, 3 และ 4 [7-8]

- วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (WMA) ดังสมการที่ 2

$$\text{ค่า } WMA = \frac{W_{t-1}A_{t-1} + W_{t-2}A_{t-2} + W_{t-n}A_{t-n}}{\sum W} \quad (2)$$

เมื่อ W_{t-n} คือ ค่าน้ำหนักก่อนหน้า n ช่วง โดยกำหนดให้ค่าน้ำหนักเป็น 4:3:2:1 [8]

A_{t-n} คือ ค่าจริงในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

n คือ ค่าเคลื่อนที่ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ n = 2, 3 และ 4 [8]

- วิธีการปรับเอ็กซ์โปเนนเชียล (ES) ดังสมการที่ 3

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (3)$$

เมื่อ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเรียบ มีค่าตั้งแต่ 0-1 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่า α เท่ากับ 0.1-0.9 [8]

F_{t-n} คือ ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

A_{t-n} คือ ค่าจริงในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

- วิธีการปรับเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบซ้ำสองครั้ง (DES) ดังสมการที่ 4

$$FIT_t = F_t + T_t \quad (4)$$

เมื่อ $F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$

$T_t = (1-\beta)T_{t-1} + \beta(F_t - F_{t-1})$

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเรียบ มีค่าตั้งแต่ 0-1 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่า α เท่ากับ 0.4 จากวิธี ES

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเรียบของแนวโน้ม ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่า β เท่ากับ 0.1-0.9 [8]

F_{t-n} คือ ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

A_{t-n} คือ ค่าจริงในช่วงเวลาก่อนหน้า n ช่วง

2) โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล คือ Microsoft Excel เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมและใช้งานได้ง่ายในภาคธุรกิจทั่วไป โดยมักมีการติดตั้งใช้งานอยู่แล้วในทุกองค์กร อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการปรับตั้งสมการและกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ค่าน้ำหนัก หรือค่าคงที่ในโมเดลการพยากรณ์ ทำให้เหมาะสำหรับการทดลอง วิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมของข้อมูลในอนาคต

3) ข้อมูลยอดขายสินค้าอาหารเสริมรายเดือนของบริษัท AAA

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายและการวางแผนจัดซื้อสินค้าอาหารเสริม

2) เก็บรวบรวมข้อมูลยอดขายสินค้า ซึ่งมีข้อมูลยอดขายสินค้าทั้ง 5 ชนิด

3) พยากรณ์ยอดขายสินค้า (รากสามสิบ) โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ SMA, WMA, ES และ DES เป็นต้น ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และตรวจสอบความถูกต้องด้วยโปรแกรม Minitab

4) ประเมินความแม่นยำของแต่ละวิธีโดยเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MSE MAD และ MAPE เป็นต้น

5) นำเสนอผลการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาเลือกเทคนิคที่มีความเหมาะสมในการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าอาหารเสริมของบริษัท AAA

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการพยากรณ์

จากการพยากรณ์ยอดขายรากสามสิบด้วยวิธี SMA, WMA และ ES โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบว่า ค่าพยากรณ์ทั้ง 4 รูปแบบ สามารถแสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธี SMA

เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก)			
	ค่าจริง	n = 2	n = 3	n = 4
ม.ค.	10,754	-	-	-
ก.พ.	4,831	-	-	-
มี.ค.	21,551	7,792.5	-	-
เม.ย.	27,225	13,191.0	12,378.7	-
พ.ค.	19,101	24,388.0	17,869.0	**16,090.3**
มิ.ย.	21,021	23,163.0	22,625.7	**18,177.0**
ก.ค.	28,308	20,061.0	22,449.0	**22,224.5**
ส.ค.	11,857	24,664.5	22,810.0	**23,913.8**
ก.ย.		20,0821	20,395	**20,072**

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธี WMA

เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก)			
	ค่าจริง	n = 2	n = 3	n = 4
ม.ค.	10,754	-	-	-
ก.พ.	4,831	-	-	-
มี.ค.	21,551	6,805.3	-	-
เม.ย.	27,225	15,977.7	14,178.2	-
พ.ค.	19,101	25,333.7	21,601.3	**19,396.9**
มิ.ย.	21,021	21,809.0	22,217.3	**20,601.2**
ก.ค.	28,308	20,381.0	21,415.0	**21,738.8**
ส.ค.	11,857	25,879.0	24,344.5	**24,172.2**
ก.ย.		17,341	18,868	**19,350**

ตารางที่ 4 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธี ES

เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก) ที่ α				
	จริง	0.1	0.2	0.3	0.4
ม.ค.	10,754	-	-	-	-
ก.พ.	4,831	10,754.0	10,754.0	10,754.0	**10,754.0**
มี.ค.	21,551	10,161.7	9,569.4	8,977.1	**8,384.8**
เม.ย.	27,225	11,300.6	11,965.7	12,749.3	**13,651.28**
พ.ค.	19,101	12,893.1	15,017.6	17,092.0	**19,080.77**
มิ.ย.	21,021	13,513.9	15,834.3	17,694.7	**19,088.86**
ก.ค.	28,308	14,264.6	16,871.6	18,692.6	**19,861.72**
ส.ค.	11,857	15,668.9	19,158.9	21,577.2	**23,240.23**
ก.ย.		15,288	17,699	18,661	**18,6867**
เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก) ที่ α				
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ม.ค.					
ก.พ.	10,754.0	10,754.0	10,754.0	10,754.0	10,754.0
มี.ค.	7792.5	7,200.2	6,607.9	6,015.6	5,423.3
เม.ย.	14671.75	15,810.68	17,068.07	18,443.92	19,938.23
พ.ค.	20948.38	22,659.27	24,177.92	25,468.78	26,496.32
มิ.ย.	20,024.69	20,524.31	20,624.08	20,374.56	19,840.53
ก.ค.	20,522.84	20,822.32	20,901.92	20,891.71	20,902.95
ส.ค.	24,415.42	25,313.73	26,086.18	26,824.74	27,567.5
ก.ย.	18,136	17,240	16,126	14,851	13,428

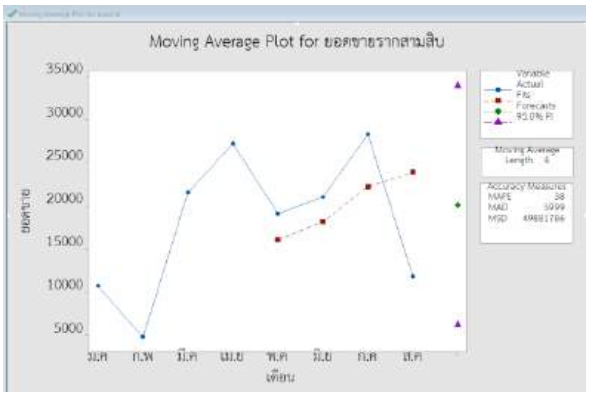
จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า α เท่ากับ 0.4 ทำให้ค่าพยากรณ์ดีที่สุดเมื่อประเมินด้วยค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MSE MAD และ MAPE เป็นต้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ α เท่ากับ 0.4 และปรับค่า β เท่ากับ 0.1-0.9 เพื่อพยากรณ์ด้วยวิธี DES ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธี DES

เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก) ที่ α = 0.4 และ β เท่ากับ				
	จริง	0.1	0.2	0.3	0.4
ม.ค.	10,754	-	-	-	-
ก.พ.	4,831	**10,754**	10,754	10,754	10,754
มี.ค.	21,551	**8,148**	7,911	7,674	7,437
เม.ย.	27,225	**13,965**	14,326	14,734	15,189
พ.ค.	19,101	**19,906**	20,706	21,467	22,175
มิ.ย.	21,021	**19,832**	20,391	20,762	20,949
ก.ค.	28,308	**20,608**	21,058	21,265	21,287
ส.ค.	11,857	**24,250**	24,873	25,236	25,447
ก.ย.		**19,140**	19,082	18,718	18,190

เดือน ปี 2567	ยอดขายรากสามสิบ (กระปุก) ที่ α = 0.4 และ β เท่ากับ				
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ม.ค.	-	-	-	-	-
ก.พ.	10,754	10,754	10,754	10,754	10,754
มี.ค.	7,200	6,963	6,726	6,489	6,253
เม.ย.	15,692	16,243	16,840	17,485	18,178
พ.ค.	22,816	23,375	23,838	24,191	24,420
มิ.ย.	20,961	20,811	20,522	20,117	19,630
ก.ค.	21,184	21,014	20,833	20,686	20,611
ส.ค.	25,591	25,728	25,896	26,108	26,356
ก.ย.	17,585	16,950	16,296	15,618	14,901

จากตารางที่ 2-5 ได้ตรวจสอบความถูกต้องด้วยโปรแกรม Minitab เรียบร้อยแล้ว ยกตัวอย่าง การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ด้วยวิธี SMA และกำหนดให้ n เท่ากับ 4 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 1 พบว่า ค่าพยากรณ์จากโปรแกรม Minitab มีค่าเท่ากับค่าพยากรณ์ในตารางที่ 2 คือ 20,071.8 กระปุก จึงยืนยันว่าค่าพยากรณ์ด้วยวิธีต่างๆ มีความถูกต้องทั้งหมด

4.2 ประเมินความแม่นยำ

สำหรับการวิจัยนี้จะประเมินความแม่นยำด้วยค่า MSE MAD และ MAPE ซึ่งจะเปรียบเทียบทั้ง 3 ค่า จากวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนและนำมาเปรียบเทียบกันของวิธีพยากรณ์ทั้ง 4 รูปแบบ จากการประเมินพบว่า 1) การพยากรณ์ด้วยวิธี SMA ที่ค่า n เท่ากับ 4 2) การพยากรณ์ด้วยวิธี WMA ที่ค่า n เท่ากับ 4 3) การพยากรณ์ด้วยวิธี ES ที่ α เท่ากับ 0.4 และ 4) การพยากรณ์ด้วยวิธี DES ที่ α เท่ากับ 0.4 และ β เท่ากับ 0.1 ให้ค่า MSE MAD และ MAPE ต่ำที่สุด ดังนั้น จึงนำตัวแทนการพยากรณ์ทั้ง 4 รูปแบบมาเปรียบเทียบกัน ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์

วิธีพยากรณ์	ค่าพยากรณ์	ค่าความคลาดเคลื่อน		
		MSE	MAD	MAPE
SMA	20,072	5,999.00	49,881,786.09	38.12
WMA	19,350	4,900.00	48,770,582.13	**32.65***
ES	18,687	7,777.83	85,332,546.47	52.67
DES	19,140	7,810.39	86,498,856.38	53.58

จากตารางที่ 6 พบว่า วิธี WMA มีความแม่นยำมากว่าวิธี SMA ES และ DES ตามลำดับ โดยจะต้องกำหนดให้ n เท่ากับ 4 และค่าน้ำหนักเท่ากับ 4:3:2:1

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ความแม่นยำสูงสุดในการพยากรณ์ยอดขายสินค้ารากสามสิบ คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก หรือ WMA โดยใช้ช่วงเคลื่อนที่เท่ากับ 4 และกำหนดค่าน้ำหนักเป็น 4:3:2:1 ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด กล่าวคือค่า MSE MAD และ MAPE เท่ากับ 48,770,582.13 4,900.00 และ 32.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี SMA, ES และ DES เนื่องจากวิธี WMA จะให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลในอดีต ซึ่งเหมาะกับลักษณะของข้อมูลยอดขายรากสามสิบที่มีความผันผวนสูง โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคมที่มียอดขายสูงมาก (เช่น เดือนเมษายน 27,225 กระปุก และกรกฎาคม 28,308 กระปุก) และลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนสิงหาคม (11,857 กระปุก) ทำให้วิธี WMA สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ SMA ซึ่งให้น้ำหนักเท่ากันในทุกช่วงเวลาไม่สามารถสะท้อนแนวโน้มดังกล่าว

ได้ทันที อย่างไรก็ตาม แม้วิธี ES และ DES จะมีจุดเด่นด้านการรองรับแนวโน้มของข้อมูล แต่เมื่อข้อมูลมีลักษณะผันผวนและเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียลไม่สามารถตอบสนองแบบทันทีได้ ส่งผลให้ค่าพยากรณ์คลาดเคลื่อนจากค่าจริงค่อนข้างมาก นอกจากนี้ พบว่าค่าพยากรณ์ของวิธี WMA ใกล้เคียงกับยอดขายเฉลี่ยจริงมากที่สุด โดยมีค่าพยากรณ์สุดท้ายในเดือนกันยายนเท่ากับ 19,350 กระปุก ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยยอดขายเดือนก่อนหน้า (ประมาณ 18,081 กระปุก) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ajiono และ Hariguna ที่เปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ต่าง ๆ และระบุว่าวิธี WMA เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีแนวโน้มและความผันผวนสูง [6]

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าวิธี WMA จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ยังสูงมาก โดยเฉพาะค่า MAPE ซึ่งอยู่ที่ 32.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยเฉพาะกิจ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภค เช่น 1) ฤดูกาลหรือช่วงเทศกาล เพราะช่วงเดือนเมษายนตรงกับเทศกาลสงกรานต์ ลูกค้าจึงอาจมีความต้องการสินค้ามากกว่าปกติ และ 2) กิจกรรมส่งเสริมการขาย ซึ่งบริษัท AAA มีการทำโฆษณาผ่านช่องทางออนไลน์มากขึ้น เป็นต้น ดังนั้น ข้อมูลที่พยากรณ์ได้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในระบบที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น การวางแผนจัดซื้อแบบ Just-in-Time หรือระบบบริหารสินค้าคงคลัง สะท้อนให้เห็นว่าข้อมูลยอดขายมีความผันผวนมาก และรูปแบบพฤติกรรมของข้อมูลอาจไม่เหมาะกับวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอในครั้งนี้ สำหรับการวิจัยในอนาคตจึงควรพิจารณานำแบบจำลองที่มีความสามารถในการตรวจจับความซับซ้อนของข้อมูลได้ดีกว่ามาใช้ เช่น วิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) หรือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) [9] นอกจากนี้ ควรมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์แต่ละวิธี เพื่อช่วยให้การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่มีความแม่นยำและเหมาะสมสำหรับข้อมูลด้วย

6.เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักพัฒนาและส่งเสริมธุรกิจบริการ กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. “มูลค่าตลาดผลิตภัณฑ์สมุนไพรในประเทศ”, ข้อมูลจาก http://tradereport.moc.go.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 พฤศจิกายน 2567)

[2] ลักษณาภรณ์ ถาวรสิน. “การพยากรณ์ยอดขายในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้ปัจจัยด้านอุปสงค์ลูกค้าและปัจจัยชี้วัดทางเศรษฐกิจ กรณีศึกษา บริษัท ลู้บ เทคโนโลยี จำกัด”, วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการเงิน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2556.

[3] ชุลีกร ชูโชติถาวร. “การพยากรณ์และการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์สำหรับการผลิต กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตร จังหวัดพัทลุง”, วารสารเครือข่ายส่งเสริมการวิจัยทางมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 3(3): 2563, หน้า 92-108.

[4] ธีระพงษ์ ทับพร, ยอดนภา เกษเมือง, เอกพล ทับพร และภชรดิษฐ์ แปงจิตต์. “การพยากรณ์ยอดขายและการบริหารสินค้าคงคลังของสินค้าคางหมึกยักษ์แช่แข็ง: บริษัท สยามแม็คโคร จำกัด มหาชน”, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 2(2):2561, หน้า 28-41.

[5] สุชาวดี กำเหนิด. “การพยากรณ์ความต้องการและการวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมสำหรับสินค้าตลับลูกปืน กรณีศึกษาบริษัท บีอีวี-เอ็กซ์”, วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2566.

[6] Ajiono and Hariguna, T. “Comparison of Three Time Series Forecasting Methods on Linear Regression, Exponential Smoothing and Weighted Moving Average”, International Journal of Informatics and Information Systems, 6(2): (2023), pp. 89-102.

[7] กุลวดี จันทร์วิเชียร, พัทธนันท์ อธิตัง และวาสนา สุวรรณวิจิตร. “การพยากรณ์ยอดขายรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อวางกลยุทธ์ในการเพิ่มยอดขายภายใต้ภาวะการแข่งขันสูง”, วารสารสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณ, 12: 2566, หน้า 1-16.

[8] ภัทราพล กองทรัพย์ และนุจิรา กองทรัพย์. “การพยากรณ์ยอดขายของข้าวฮางงอก: กรณีศึกษากลุ่มวิสาหกิจ ชุมชนบ้านน้อยจอมศรี จังหวัดสกลนคร”, วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(2): 2560, หน้า 92-108.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยวิธีการเพื่อนช่วยเพื่อน ในรายวิชาการเขียนโปรแกรมวิชวลและเชิงวัตถุ

The Development of Learning Achievement by Peer-assisted Learning Associated in the Course of Visual and Object Oriented Programming

ชารินี ไชยชนะ[1*] อนุชาวดี ไชยทองศรี[1] กมล ช่วยรักษา[1] วีระชัย จรบุรมย์[1] และสีตลา วงศ์กาฬสินธ์[1]
[1] สาขาบริหารธุรกิจ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
Charinee Chaichana[*] Anuchavadee Chaithongsri[1] Kamol Chuayraksa[1] Weerachai Jonburom[1] and Seetala Wongkalasin[1]
[1]Department of Business Administration, Faculty of Industry and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan Sakonakhon Campus, Thailand
E-mail: charinee.ch@mail.rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาคนไทยในยุคใหม่จำเป็นต้องเตรียมเยาวชนของชาติเข้าสู่โลกยุคศตวรรษที่ 21 หรือที่เรียกว่าเป็นการจัดการศึกษายุคฐานแห่งเทคโนโลยี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยวิธีการเพื่อนช่วยเพื่อนในรายวิชาการเขียนโปรแกรมวิชวลและเชิงวัตถุ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่เอื้อต่อการเรียนการสอนในรายวิชาการเขียนโปรแกรม 2) เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยวิธีการเรียนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรชั้นสูง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ธุรกิจ สาขาวิชาบริหารธุรกิจ จำนวน 16 คน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน และแบบฝึกหัดที่มอบหมายโดยอาจารย์ผู้สอน สถิติที่ใช้ คือ t-test ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาสูงขึ้นในระดับความสามารถที่ใกล้เคียงกัน และผลการทดสอบความแตกต่างคะแนนระหว่างหลังเรียนและก่อนเรียนด้วยสถิติ t-test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าวิธีการเรียนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน จะสามารถแก้ปัญหาด้านการเรียนสำหรับนักศึกษาที่มีความเข้าใจช้าและเป็นการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างผู้เรียน การรู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และเป็นการพัฒนาความสัมพันธ์กับผู้อื่นในทางที่ดีในการเรียนการสอนของนักศึกษา

คำหลัก ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, เพื่อนช่วยเพื่อน, การเขียนโปรแกรมวิชวลและเชิงวัตถุ

Abstract

The development of Thai people in the new era needs to prepare the nation's youth for the 21st century world, also known as the management of education in the era of technology. Therefore, the development of learning achievement by peer-assisted learning is associated the course of Visual and Object Oriented Programming. The objectives are 1) To develop a teaching and learning management model that is conducive to teaching and learning in programming courses, 2) To measure academic achievement by peer-assisted learning. The sample group was 16 students with a higher diploma in business computer program majoring in Business Administration. The research tools include teaching and learning activities, pre-tests and post-tests, and satisfaction questionnaires. The statistics used are t-test, mean and standard deviation.

The results showed that students' academic achievement was higher at a similar level of ability, and the difference in scores between after school and before school with t-test statistics showed a statistically significant difference of 0.05. It was found that the peer-assisted learning method can solve learning problems for students who are slow to understand and build good relationships between learners. It is to know how to help each other and to develop relationships with others in a positive way in the teaching and learning of students.

Keywords: Learning Achievement, Peer-assisted Learning, Visual and Object Oriented Programming

ความผูกพันต่อองค์กรของพนักงานฝ่ายสนับสนุน กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้า RDC บุรีรัมย์

Employee Organizational Commitment of Support Staff: A Case Study of the RDC Distribution Center in Buriram

รัศมี โชติไธสง[1]*, นิภาภัทร์ แต่เชื้อสาย[2], สุมาลี วานิชยากร[3], ศุตานันท์ คุขุนทด[4] และศิรินิรยา พิละ[5]
[1]สาขาวิชาการจัดการสำนักงาน วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
[2]สาขาวิชาการจัดการสำนักงาน วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
[3]สาขาวิชาการจัดการสำนักงาน วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
[4]สาขาวิชาการจัดการ วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อคูณปริสุทโธ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
[5]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ 5

Ratsamee Chodthaisong[1]* Nipapat Taechersai[2] Sumalee Wannichayakorn[3] Sutanan Kuhunthod[2] and Siriniraya Pila[5]
[1]Office Management Buriram Technical College Institute of Vocational education : Northeastern Region 5
[2]Office Management Buriram Technical College Institute of Vocational education : Northeastern Region 5
[3]Office Management Buriram Technical College Institute of Vocational education : Northeastern Region 5
[4]Management luangphorkhoon Parisutho Technical College Institute of Vocational education : Northeastern Region 5
[5]Logistics and Supply Chain Management Buriram Technical College Institute of Vocational education : Northeastern Region 5
E-mail: ratsamee.chod2510@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความผูกพันต่อองค์กรของพนักงานฝ่ายสนับสนุน กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้า RDC บุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือ พนักงานสายสนับสนุนของศูนย์กระจายสินค้า RDC บุรีรัมย์ จำนวน 30 คน โดยเลือกแบบเจาะจง ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย ทดสอบเครื่องมือโดยใช้การทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า เพศชายมีความผูกพันต่อองค์กรสูงกว่าเพศหญิงเล็กน้อย พนักงานที่มีอายุมากกว่ามักมีความผูกพันต่อองค์กรสูงกว่า ประสบการณ์ทำงานมากขึ้น มีแนวโน้มความผูกพันต่อองค์กรสูงขึ้น และตำแหน่งที่สูงขึ้นมีความผูกพันต่อองค์กรมากขึ้น และพบว่าระดับความผูกพันต่อองค์กรของพนักงานฝ่ายสนับสนุนกรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้า RDC บุรีรัมย์ ซึ่งประกอบไปด้วย ด้านความปรารถนาที่จะอยู่ในองค์กร ด้านความตั้งใจที่จะอยู่ในองค์กร ด้านการมาทำงานสม่ำเสมอ ด้านความพยายามทุ่มเทในการทำงาน และด้านการรักษาความเป็นสมาชิกขององค์กร ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.85 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย อันดับแรกคือ ด้านการรักษาความเป็นสมาชิกขององค์กร ค่าเฉลี่ย 4.91 ลำดับที่สอง คือ ด้านความพยายามทุ่มเทในการทำงาน ค่าเฉลี่ย 4.90 ลำดับที่สาม คือ ด้านการมาทำงานที่สม่ำเสมอ ค่าเฉลี่ย 4.85 ลำดับที่สี่ คือ ด้านความตั้งใจที่จะอยู่ในองค์กร ค่าเฉลี่ย 4.83 และ

ลำดับสุดท้าย คือ ด้านความปรารถนาที่จะอยู่ในองค์กร ค่าเฉลี่ย 4.79

คำหลัก: ความผูกพันต่อองค์กร, พนักงาน, ศูนย์กระจายสินค้า RDC บุรีรัมย์

Abstract

This research aims to study the level of organizational commitment of support staff, using the RDC Buriram Distribution Center as a case study. The sample group consisted of 30 support staff members from the RDC Buriram Distribution Center, selected through purposive sampling. A questionnaire was used as the research instrument, and its validity was tested using the content validity ratio (IOC). The data were analyzed using statistical methods including percentage, mean, standard deviation, and Pearson correlation coefficient. The results showed that male employees had slightly higher organizational commitment than female employees. Older employees tended to have higher organizational commitment. Additionally, employees with more work experience were more likely to show higher organizational commitment, and employees in higher positions had a greater level of organizational commitment. Regarding the overall organizational commitment of the support staff at the RDC Buriram Distribution Center, it was found that the level of commitment was very high, with an average score of 4.85. When considering each aspect, the ranking from highest to lowest was as follows: the aspect of organizational membership retention had the highest average score of 4.91, followed by the aspect of work dedication with an average score of 4.90, the aspect of consistent attendance with an average score of 4.85, the aspect of intention to stay in the organization with an average score of 4.83, and the aspect of desire to stay in the organization with an average score of 4.79.

Keywords: Mudmee silk, Production cost, Return on investment

การพัฒนาชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะในรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ

The Development of Drilling Skill Enhancement Training Modules in the Fundamental Industrial Engineering Training Course

พิเชษฐ์ โค้วตระกูล[1]พัชรนันท์ ยิ่งขยัน [1]มนตรี แก้วอยู่[1] พิพัฒน์ หมื่นเป็ง[1] และไกรลาศ ดอนชัย[1*]

[1] สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Pitchet Kowtakul[1] Patcharanan Yingkayan[1], Montree Kaewyoo[1], Phiphat Muenpeng[1], and Grailard Dornchai [1*]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Department of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

E-mail: Grailard@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะ 2) หาประสิทธิภาพของชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะตามเกณฑ์ 80/80 และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก โดยกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จำนวน 47 คน ได้รับการคัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ชุดฝึกเสริมทักษะ แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน แบบสอบถามความพึงพอใจ และการวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบด้วยสถิติ Cronbach's alpha ซึ่งตามเกณฑ์ข้อกำหนดของแบบทดสอบจะอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ค่า t-test และเกณฑ์ E1/E2 ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดฝึกมีค่า IOC เท่ากับ 0.86 แสดงว่ามีความสอดคล้องในระดับดี 2) ประสิทธิภาพของชุดฝึกเท่ากับ E1=87.23 และ E2=90.21 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 3) ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$=4.44, S.D.=0.68)

คำสำคัญ: ชุดฝึกเสริมทักษะ, งานเจาะ, วิศวกรรมอุตสาหการ, การเรียนรู้เชิงปฏิบัติ, การเรียนรู้ด้วยตนเอง, ความเชื่อมั่นของเครื่องมือ

Abstract

This research aimed to 1) develop drilling skill enhancement training modules, 2) determine the efficiency of the drilling skill enhancement training modules according to the 80/80 criterion, and 3) assess student satisfaction with the training modules. The sample group consisted of 47 undergraduate students from the Department of Industrial Engineering, selected through purposive sampling. The research instruments included the skill enhancement training modules, pre- and post-tests, a satisfaction questionnaire, and reliability

analysis of the tests using Cronbach's alpha statistic, which was at a good level. Data were analyzed using descriptive statistics, t-tests, and the E1/E2 criterion. The research findings revealed that: 1) the training modules had an IOC of 0.86, indicating a good level of content validity; 2) the efficiency of the training modules was E1 = 87.23 and E2 = 90.21, exceeding the set criterion of 80/80; and 3) student satisfaction was at a good level ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.68).

Keywords: Skill enhancement training modules, drilling, industrial engineering, practical learning, self-directed learning, instrument reliability

1. บทนำ

ในยุคของการเรียนรู้ศตวรรษที่ 21 การบูรณาการเทคโนโลยีและสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อส่งเสริมทักษะที่จำเป็นต่อนักศึกษา งานวิศวกรรมอุตสาหการโดยเฉพาะงานด้านเครื่องมือกลและงานเจาะ จำเป็นต้องมีความรู้ควบคู่กับทักษะทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม นักศึกษาจากสายสามัญมักขาดทักษะในด้านนี้ ส่งผลให้เกิดปัญหาในการเรียนและการประกอบอาชีพ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะในรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติและเข้าใจเนื้อหาทางเทคนิคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ อ้างอิงตามทฤษฎีการเรียนรู้ของ Kolb (1984) ที่เน้นวงจรการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ และแนวคิดการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ (Constructivism) ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนมีบทบาทในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1)เพื่อสร้างชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ

2.2)เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะตามเกณฑ์ 80/80

2.3)เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกเสริมทักษะ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยประชากร ของการวิจัยนี้คือนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขา วิศวกรรม อุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ทั้งหมด ในภาคเรียนที่ 2 ปี การศึกษา 2567 ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 47คน คำนวณจากสูตรของ Taro Yamane โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และใช้การสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือประกอบด้วย: 1) ชุดฝึกเสริมทักษะ2)แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน3) แบบสอบถาม ค0วามพึงพอใจของนักศึกษาเครื่องมือผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (ค่า IOC = 0.86) และมีการตรวจสอบความเชื่อมั่นด้วยCronbach's alpha ซึ่งได้ค่า 0.82 ถือว่าอยู่ในระดับดี การเก็บข้อมูลดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบ t-test แบบกลุ่มสัมพันธ์ และการคำนวณค่า E1/E2

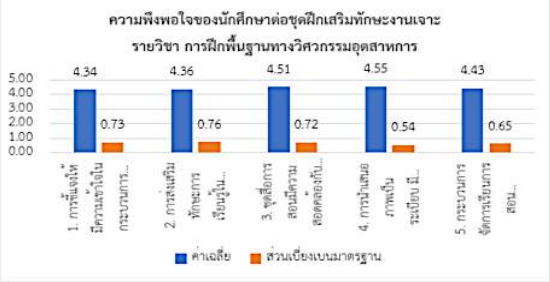
4. ผลการวิจัย

ในการพัฒนาชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะในรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1ชุดฝึกมีความเหมาะสมตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ IOC = 0.86 จากแบบทดสอบก่อน และ

หลังเรียนมีจำนวน 20 ข้อ เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ค่าเฉลี่ยคำนวณจากผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 47 คน โดยใช้คะแนนระดับ Likert 5 ระดับ โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนงานเจาะตามเนื้อ หาในรายวิชางานเครื่องมือกลเบื้องต้น

แผนภูมิที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อหาของชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะรายวิชา การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ

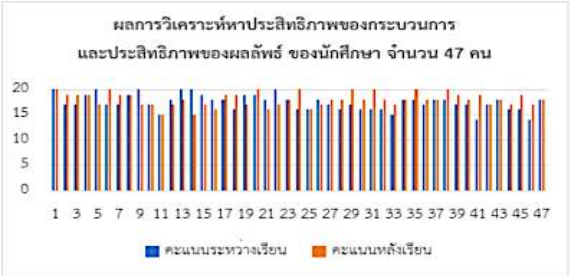


4.2ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=17.15, p<0.05)

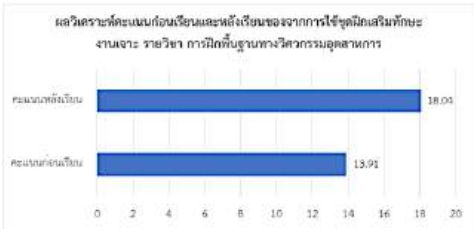
ตารางที่ 4.2 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการใช้ชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะ รายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ ค่าเฉลี่ยคำนวณจากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 47 คน โดยใช้คะแนนระดับ Likert 5 ระดับ

คะแนน	*N*	$\bar{x}$	*S.D.*	ร้อยละ	*ΣD*	*ΣD²*	*t*	*df*
คะแนนก่อนเรียน	47	13.91	1.49	87.23	194	926	17.15	46
คะแนนหลังเรียน	47	18.04	1.35	90.21				

แผนภูมิที่ 4.2 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนเรียนและหลังเรียนจากการใช้ชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะ รายวิชา การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ



4.3 ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ (E1) เท่ากับ 87.23 และผลลัพธ์ (E2) เท่ากับ 90.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80



ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะ รายวิชา การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ

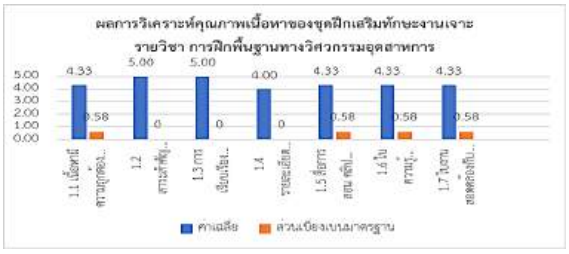
คนที่	คะแนนระหว่างเรียน ($\square_1$)	คะแนนหลังเรียน ($\square_2$)
46	14	17
47	18	18
$\square x$	820	848
$\bar{X}$	17.45	18.04
S.D.	1.56	1.35
ร้อยละ	87.23	90.21

4.4ความพึงพอใจของนักศึกษาโดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$=4.44, S.D.=0.68)

ตารางที่ 4.4 ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้เฉลี่ย โดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.68)

รายการประเมิน	ผลการพิจารณา		
	$\square$	*S.D.*	ระดับคุณภาพ
1. การชี้แจงให้มีความเข้าใจในกระบวนการ ดำเนินงานที่ชัดเจน	4.34	0.73	ดี
2. การส่งเสริมทักษะการเรียนรู้รายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ	4.36	0.76	ดี
3. ชุดสื่อการสอนมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.51	0.72	ดีมาก
4. การนำเสนอภาพเป็นระเบียบ มีลำดับขั้นตอนไม่ซับซ้อน	4.55	0.54	ดีมาก
5. กระบวนการจัดการเรียนการสอนสอดคล้องกับรายวิชาการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ	4.43	0.68	ดี
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	**4.44**	**0.68**	**ดี**

แผนภูมิที่ 4.4 ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะ รายวิชา การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมอุตสาหการ



5. อภิปรายผล

ผลการวิจัยมีผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nguyen & Le (2022) ซึ่งระบุว่าการใช้แบบฝึกที่มีคลิปวิดีโอ และอินโฟกราฟิกได้ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับวรรณกรรมที่พบว่า การใช้สื่อผสมผสานช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้เชิงปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการด้านความเข้าใจและทักษะการใช้งานเครื่องมือกลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ชุดฝึกที่ใช้เทคโนโลยีวิดีโอและอินโฟกราฟิกช่วยส่งเสริมความสนใจและเข้าใจได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับแนวคิดของ Kolb (1984) และการเรียนรู้แบบ Active Learning ซึ่งมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในสายวิชาชีพอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

6.สรุปและข้อเสนอแนะ

ชุดฝึกเสริมทักษะงานเจาะมีประสิทธิภาพและได้รับความพึงพอใจในระดับดี ควรนำไปพัฒนาเพิ่มเติมในรายวิชาอื่น และขยายผลสู่กลุ่มนักศึกษาสายสามัญในสถาบันอื่น ๆ ทั้งนี้ควรมีการศึกษาความคุ้มค่าและประสิทธิผลในระยะยาวเพิ่มเติมควรเสริมด้วยการประเมินผลกระทบในระดับการปฏิบัติงานจริง (workplace readiness) ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ฉลาด อันพรหมา. (2552). การพัฒนาชุดการเรียนรู้แบบฝึกทักษะวิชาช่างกลโรงงาน.

[2] อำนาจ ทองแสน. (2556). การศึกษาประสิทธิภาพชุดฝึกเสริมการเรียนรู้โดยใช้สื่อผสม.

[3] Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman.

[4] Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.

[5] Nguyen, H. T., & Le, T. N. (2022). Developing Vocational Skills through Simulation-Based Training: A Case in Engineering. Journal of Technical Education, 48(3), 55-70.

[6] Somjai, P. & Khamkanya, T. (2021). Interactive Multimedia to Enhance Engineering Students' Learning Motivation. Journal of Educational Innovation, 39(1), 101-115.

[7] Yuenyong, C. (2023). Integrating Active Learning and Problem-based Learning in Thai Engineering Curriculum. ASEAN Journal of Education, 14(2), 89-102.

[8] Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.

[9] Sarawut Thongthee, (2020). Effects of the Active Learning Approach on the English Achievement of Thai EFL Secondary School Students.

[10] Jirawit Yanchinda, Pitipong Yodmongkol, Nopasit Chakpitak,(2015). Measurement of Learning Process by Semantic Annotation Technique on Bloom's Taxonomy Vocabulary.

การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น

The Development of Drilling Skill Enhancement Training Modules in the Fundamental Industrial Engineering Training Course

มนตรี แก้วอยู่[1] ไกรลาศ ดอนชัย [2] พัชรนันท์ ยิ่งขยัน[3] พิพัฒน์ หมื่นเป็ง[4] พิเชษฐ์ โค้วตระกูล[5 *]
[1] สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Montree Kaewyoo[1], Grailard Dornchai [2] Patcharanan Yingkayan[3], Phiphat Muenpeng[4], and Pitchet Kowtakul[5 *]

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Department of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
E-mail: productmm@gmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ 2) หาประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก โดยกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาระดับ ปวช. สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ จำนวน 30 คน ได้รับการคัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้เครื่องมือทางงานวิจัย คือ ชุดฝึกเสริมทักษะ แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน แบบสอบถามความพึงพอใจ เกณฑ์ E1/E2 ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพของชุดฝึกเท่ากับ E1=74.74 และ E2=85.69 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 2) ความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$= 4.50, S.D.=0.51)

คำสำคัญ: ชุดฝึกปฏิบัติ, ผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น ,ชุดฝึกเสริมทักษะ

Bstract

This research aimed to 1) develop a metal product design training set, 2) find the efficiency of a sheet metal product design training set, and 3) evaluate the students' satisfaction with the training set. The sample group consisted of 30 vocational certificate students majoring in metal welding who were selected by purposive sampling. The research instruments used were a skill enhancement training set, a pre-test and post-test, and a satisfaction questionnaire. The E1/E2 criteria were used. The results of the research found that 1) the efficiency of the training set was E1=74.74 and E2=85.69, which was higher than the specified criteria. 2) The students' satisfaction was at a very good level ($\bar{x}$=4.50, S.D.=0.51).validity; 2) the efficiency of the training modules was E1 = 87.23 and E2 = 90.21, exceeding the set criterion of 80/80; and 3) student satisfaction was at a good level ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.68).

Keywords: Training kit, sheet metal products , Skill development kit

1. บทนำ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น (Sheet Metal Fabrication) เป็นกระบวนการสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ เครื่องจักรกล และก่อสร้าง เนื่องจากโลหะแผ่นมีความแข็งแรง ทนทาน และยืดหยุ่นในการออกแบบ สามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงได้ง่าย กระบวนการผลิตหลักประกอบด้วยการตัด การดัด และการเชื่อม ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีความสำคัญต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะการเชื่อมที่เป็นหัวใจของการประกอบผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ซึ่งทางสำนักงานการอาชีวศึกษาเป็นหน่วยงานที่ผลิตกำลังพลเพื่อตอบสนองภาคอุตสาหกรรมที่กล่าวมาโดยเฉพาะกลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมการผลิต สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ ซึ่งต้องพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนให้สอดคล้องสนองต่อภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งต้องเตรียมคนเข้าสู่ระบบภาคอุตสาหกรรม ในรายวิชารายวิชาผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น 1 เป็นรายวิชาที่เกี่ยวข้องซึ่งคณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้จึงคิดพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น ให้ตอบโจทย์ต่อภาคอุตสากรรม และเป็นที่น่าสนใจมีแรงผลักดันในการปฏิบัติงานของผู้เรียนให้ได้เกิดการเรียนรู้ที่เป็นระบบและเข้าใจง่าย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1เพื่อสร้างชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ

2.2เพื่อหาประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ

2.3เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ

3. การทบทวนวรรณกรรม

จากการเรียนการสอนในรายวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น พบว่ายังขาดรูปแบบการสอนที่เป็นแนวทางการสอนในการปฏิบัติงานอย่างเป็นรูปธรรม โดยทางผู้วิจัยได้เน้นแนวทางรูปแบบการสอนทักษะ ปฏิบัติของแฮร์โรว์เป็นรูปแบบที่ให้นักเรียนเน้นทักษะปฏิบัติซึ่งจะ แบ่งออกเป็น 5 ขั้น ดังนี้ 1) ขั้นการเลียนแบบ 2) ขั้นการลงมือทำตามสั่ง 3) ขั้นการกระทำอย่างถูกต้อง สมบูรณ์4) ขั้นการแสดงออก และ 5) ขั้นการกระทำอย่างเป็นธรรมชาติ

4.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กฤษมันต์ วัฒนาณรงค์. ได้ให้ความหมายว่าการหาประสิทธิภาพชุดฝึกคือการประเมินชุดการสอนที่ผลิตขึ้น โดยต้องมีการตรวจสอบว่าชุดการสอนนั้นสามารถช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะเพิ่มขึ้นหรือไม่ ก่อนที่จะนำไปใช้จริงในห้องเรียน การหาประสิทธิภาพประกอบด้วยสองกระบวนการหลัก คือ กระบวนการเชิงพินิจ (Rational Approach) ที่ใช้คณะผู้เชี่ยวชาญในการประเมิน และกระบวนการเชิงประจักษ์ (Empirical Approach) ที่อิงจากข้อมูลจริงจากการทดลองใช้ชุดการสอน และเสนอให้ใช้เกณฑ์ประสิทธิภาพที่ชัดเจน เช่น การใช้สูตร E1/E2 ซึ่งแบ่งเป็น E1 สำหรับประสิทธิภาพของกระบวนการ (Process) และ E2 สำหรับผลลัพธ์ (Product) โดยมีตัวเลขที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของคะแนนที่ผู้เรียนทำได้ในแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ โดยผลลัพธ์จากการหาประสิทธิภาพจะช่วยในการปรับปรุงชุดการสอน หากผลลัพธ์ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้พัฒนาจะต้องทำการปรับแก้ไขเพื่อให้ชุดการสอนมีคุณภาพสูงขึ้น และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการหาประสิทธิภาพชุดฝึกจึงมีเป้าหมาย
เพื่อให้มั่นใจว่าชุดการสอนนั้นมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด และสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. วิธีการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน นักศึกษาระดับ ปวช. สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้เครื่องมือทางสถิติที่มาประกอบการวิจัย เครื่องมือประกอบด้วย: 1) ชุดฝึกเสริมทักษะ 2) แบบทดสอบก่อน และหลังเรียน 3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษา การเก็บข้อมูลดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 รายวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในด้านเนื้อหาของชุดฝึก จากนั้นทำการประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ การคำนวณค่า E1/E2 และวัดค่าค่าความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก
ในการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น ผลได้ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเนื้อหาของชุดฝึกปฏิบัติผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเนื้อหาของชุดฝึกปฏิบัติผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น

ข้อที่	รายการ	ผลการประเมิน		
		$\bar{x}$	SD	ระดับประสิทธิภาพ
	ด้านสื่อ			ดีมาก
1	ความเหมาะสมของรูปแบบสื่อ	4.67	0.58	ดีมาก
2	ความถูกต้องของเนื้อหา	4.67	0.58	ดีมาก
3	การจัดเรียงเนื้อ	4.33	0.58	ดี
4	เนื้อหาถูกต้อง สอดคล้องกับหลักสูตร และเป็นปัจจุบัน	4.67	0.58	ดีมาก
5	การอธิบายเนื้อหาและยกตัวอย่างประกอบถูกต้องเข้าใจง่าย	4.33	0.58	ดี
6	ความชัดเจนและความเข้าใจง่ายเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5.00	0.00	ดีมาก
7	ความน่าสนใจและการนำเสนอ	4.33	0.58	ดี
8	ความสามารถในการนำไปใช้สอนจริง	4.58	0.51	ดีมาก
	เฉลี่ยโดยรวม	4.67	0.58	ดีมาก

ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านสื่อโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.67, SD = 0.58)

5.2 ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ (E1) เท่ากับ 74.74 และผลลัพธ์ (E2) เท่ากับ 85.69 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80

ตารางที่ 5.2 ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้

การประเมิน	N	คะแนนเต็ม	คะแนนรวม	$\bar{x}$	ประสิทธิภาพ
ระหว่างเรียน/เรียน E_1	30	140	3139	104.63	74.74
หลังเรียน E_2	30	140	3599	119.97	85.69

5.3 ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น โดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$=4.50, S.D.=0.51)

ตารางที่ 5.3 ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้เฉลี่ย ชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น โดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.68)

ข้อที่	รายการ	ผลการประเมิน		
		$\bar{x}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
1	ความเหมาะสมของชุดฝึกในการช่วยให้เข้าใจเนื้อหา	4.50	0.51	ดีมาก
2	ความเหมาะสมของเนื้อหาในชุดฝึก	4.43	0.57	ดี
3	การช่วยพัฒนาทักษะปฏิบัติจริงของนักศึกษา	4.40	0.56	ดี
4	คุณภาพของวัสดุและอุปกรณ์ในชุดฝึก	4.50	0.57	ดี
5	ความปลอดภัยในการใช้งานของชุดฝึก	4.67	0.55	ดีมาก
6	ความพึงพอใจโดยรวมต่อชุดฝึก	4.47	0.57	ดี
	เฉลี่ยโดยรวม	4.49	0.56	ดี

แผนภูมิที่ 5.1 ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะแผ่น

ผลการวิจัยสอดคล้องกับการนำชุดฝึกไปทำการฝึกเข้ากับการเสริมสร้างการเรียนรู้เชิงปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปตามหลักการ นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการทักษะการทำงานผลิตภัณฑ์โลหะแผ่นเพิ่มขึ้นอย่างดี ทั้งนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับกรมพัฒนาฝีมือแรงงานที่ทำการฝึกทักษะและทำการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานในสายวิชาชีพอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลให้ผู้ที่ผ่านการฝึกสามารถเข้าทำงานในภาคอุตสาหกรรมและมีความสามารถทางการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในปัจจุบัน

6.สรุปและอภิปรายผล

ชุดฝึกสามารถฝึกให้เกิดทักษะทางกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นที่พึงพอใจต่อผู้เรียน

ควรมีการเพิ่มเนื้อหาเกี่ยวกับเทคนิคขั้นสูง เช่น การใช้ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ ควบคู่กับกระบวนการผลิตโลหะแผ่น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน (2562) คู่มือการฝึกอบรมงานโลหะแผ่น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน.

[2] กรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2561) มาตรฐานผลิตภัณฑ์โลหะ. กรุงเทพฯ: กรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[3] นรินทร์ สุขสวัสดิ์ (2562) 'การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ: แนวทางและวิธีการ', วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิต, 7(1), หน้า 65-80.

[4] นฤมล สุขเกษม (2564) 'การศึกษาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติงานโลหะแผ่นเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้

ของนักศึกษาอาชีวศึกษา', วารสารวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 18(2), หน้า 120-135.

[5] ประภัสสรา วิสุทธิ์ชัย (2563) 'การทดสอบประสิทธิภาพและการประเมินผลชุดฝึกปฏิบัติในการสอนวิศวกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ', วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี, 9(2), หน้า 40-55.

[6] พงษ์สิทธิ์ แสงทอง (2564) 'การออกแบบแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในสาขาวิศวกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ', วารสารการศึกษาเทคโนโลยี, 11(1), หน้า 50-65.

[7] ศูนย์พัฒนาคุณภาพการศึกษา (2563) แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในหลักสูตรฝึกอบรมวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์การศึกษา.

[8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2562) คู่มือการออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มาตรฐาน.

[9] Chen, H., et al. (2018) 'Advanced techniques in sheet metal forming for industrial applications', Journal of Manufacturing Technology, 22(4), pp. 200-218.

[10] Kumar, R. and Gupta, S. (2015) 'Sheet metal forming: Fundamentals and applications', International Journal of Mechanical Engineering, 8(3), pp. 112-127.

[11] Liu, Y. and Zhang, L. (2019) 'Innovations in metal product design: A practical approach', Engineering Design Review, 15(3), pp. 89-105.

[12] Saini, M. and Singh, P. (2020) 'Simulation and optimization of sheet metal forming processes', International Journal of Production Research, 58(12), pp. 3700-3718.

การศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

An Organization's Carbon Footprint Assessment : A Case Study of The Power Plant in Rayong Province

สมบูรณ์ ใจประการ[1] ชัชวาลย์ สุขมั่น[2] และ ภาณุเดช แสงสีดำ[3*]
[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันสารสาสน์เทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Somboon Chaiprakarn[1] Chatchawan Sookman[2] and Panudet Saengseedam[3*]
[1] Faculty of Engineering, Science and Technology, Sarasas Suvarnabhumi Institute of Technology
[2] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
[3] Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: panudech.s@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง โดยเป็นการวิจัยเชิงสำรวจที่มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร รวมถึงเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้การวิเคราะห์ดำเนินการตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) การประเมินดังกล่าวดำเนินการโดยการจำแนกขอบเขตของการดำเนินงาน ซึ่งสะท้อนถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร ออกเป็น 3 ขอบเขตหลัก ทั้งนี้การศึกษาใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเท่ากับ 332,289 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยแบ่งเป็นขอบเขตที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 331,509, 119 และ 332,289 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ ซึ่งขอบเขตที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าขององค์กรมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 99.70 ของทั้งหมด

คำหลัก: การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์, ก๊าซเรือนกระจก, โรงไฟฟ้า

Abstract

This research examines the assessment of an organization's carbon footprint through a case study of a power plant in Rayong Province. This survey-based study aims to analyze the organization's carbon footprint emissions and propose guidelines for reducing greenhouse gas emissions. The analysis follows the guidelines for assessing an organization's carbon footprint, as specified by the Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). The assessment is carried out by classifying the scope of operations. This reflects greenhouse gas emissions from various activities within the organization, categorized into three main areas. The study utilizes data collected between January to December 2024, covering a total period of 12 months.

The study results indicate that the total carbon footprint was 332,289 tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2eq), categorized into Scope 1, Scope 2, and Scope 3, with values of 331,509, 119, and 661 tCO_2eq, respectively. Scope 1 has the highest volume of direct greenhouse gas emissions from the organization's power generation process, accounting for 99.70% of the total emissions.

Keywords: Carbon Footprint Assessment, Greenhouse Gas, Power Plant

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศถือเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรง ครอบคลุมในวงกว้าง และมีผลต่อเนื่องในระยะยาว โดยสามารถแบ่งผลกระทบออกเป็นสองลักษณะหลัก ได้แก่ ผลกระทบทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบทางตรงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณและการกระจายตัวของฝน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระดับความชื้นในบรรยากาศ [1] [2] รวมถึงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อระบบนิเวศและคุณภาพชีวิตของมนุษย์โดยตรง ขณะที่ผลกระทบทางอ้อมเกิดจากนโยบายและมาตรการระดับนานาชาติที่มุ่งเน้นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งอาจนำไปสู่ข้อกำหนดให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซดังกล่าว [2] ด้วยเหตุนี้แนวคิดการจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงมีความสำคัญมากขึ้น โดยมุ่งเน้นไปที่การกำหนดแนวทางและมาตรการที่มีประสิทธิภาพในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับองค์กร เมือง โรงงานอุตสาหกรรม ไปจนถึงระดับประเทศ [4] เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายด้านการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) หรือการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมทั้งหมดขององค์กร โดยผลการประเมินจะแสดงในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) การดำเนินการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมขององค์กร ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดแนวทางและมาตรการที่เหมาะสมในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในระดับสากล [2][4]

ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจในการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยเลือกกรณีศึกษาเป็นโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง การศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมและการใช้พลังงานขององค์กรในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งผลการประเมินดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อให้โรงไฟฟ้า

ตระหนักถึงผลกระทบจากการปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร รวมถึงเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจ โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามแนวทางการประเมินที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [1] ทั้งนี้ การศึกษาได้มุ่งเน้นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร เพื่อนำไปสู่การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ

3.1 การกำหนดขอบเขตขององค์กร

การกำหนดขอบเขตขององค์กรในการศึกษานี้ใช้แนวทางการควบคุม (Control Approach) ซึ่งองค์กรเป็นผู้ดำเนินการประเมินและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2567 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน

3.2 การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

ขอบเขตการดำเนินงานถูกกำหนดเพื่อสะท้อนถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร โดยพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญ ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC_s), ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ทั้งนี้ การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถูกจัดแบ่งออกเป็น 3 ขอบเขตหลัก ดังนี้ [1][4]

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า ความร้อนและไอน้ำ เพื่อใช้เองภายในองค์กร และ/หรือ เพื่อการส่งออกหรือแจกจ่ายให้แก่ผู้ใช้งานนอกขอบเขตองค์กรและการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า ความร้อนและไอน้ำ

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ซึ่งองค์กรสามารถวัดหรือประเมินเพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับ

ทั้งนี้รายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมภายในขอบเขตขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง แสดงรายการดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมภายในขอบเขตขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	หน่วย
ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	การใช้ยานพาหนะขององค์กร	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	บันทึกปริมาณการใช้น้ำมัน	litre
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	ปริมาณการก๊าซธรรมชาติ	ข้อมูลปริมาณก๊าซธรรมชาติจากใบเสร็จ	MMBTU

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	หน่วย
โดยตรง (Direct GHG emissions)	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	บันทึกปริมาณการใช้น้ำมัน	litre
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการใช้สารทำความเย็น สารดับเพลิง และ SF6	บันทึกปริมาณการใช้สารทำความเย็น สารดับเพลิง และ SF6	kg
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	ปริมาณ BOD ที่เข้าระบบ Septic tank	บันทึกปริมาณ BOD ที่เข้าระบบ Septic tank	kgBOD
ขอบเขตที่ 2 (Indirect Emissions)	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณไฟฟ้าที่นำเข้ามาใช้	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า	kWh
ขอบเขตที่ 3 (Other Indirect Emissions)	การใช้วัสดุสำนักงาน	ปริมาณการใช้กระดาษ	เอกสารบันทึกข้อมูล เอกสารรายงานผู้บริหาร เอกสารลงเวลางาน ใบสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ เอกสารสื่อประชาสัมพันธ์	kg
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณการใช้น้ำประปา	ใบแจ้งหนี้ค่าน้ำประปา ข้อมูลบันทึกการใช้น้ำจากการอ่านค่ามิเตอร์น้ำ	m^3
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	ปริมาณของเสียที่ส่งกำจัด	แบบบันทึกปริมาณของเสียที่ส่งกำจัด	tonnes

3.3 การระบุแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกและทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพิจารณาจากแหล่งกำเนิดที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและเลือกใช้ค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Factors) หรือค่าปัจจัยการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (GHG Removal Factors) ตามความเหมาะสม วิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดำเนินการโดยนำข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) มาคูณกับค่าปัจจัยการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก และแสดงผลในรูปของมวล หน่วยตันหรือกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) [3][4] ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$GHG\ emission = Activity\ Data \times Emission\ Factor \quad (1)$$

โดยที่

- GHG emissions คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก
- Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ เป็นต้น
- Emission Factor คือ ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกกรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองสามารถแสดงรายการดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ขอบเขตการดำเนินการ	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ ($kgCO_2$)
ขอบเขตที่ 1	การใช้ยานพาหนะขององค์กร	— ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง — ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของพาหนะที่ใช้ — (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง — ระยะทางที่เดินทาง x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางโดยเครื่องบิน (กรณีเดินทางโดยเครื่องบินขององค์กร)
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	— ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก x ค่าปัจจัยการเกิดออกซิเดชัน
	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต	— ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	— ปริมาณการใช้สารทำความเย็นหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของสารแต่ละชนิดที่รั่วไหล
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	— [สัดส่วนของจำนวนบุคลากรในโรงไฟฟ้า x ความสามารถของเทคโนโลยีหรือระบบที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก] x [ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย – ปริมาณกากตะกอนในน้ำเสีย (กิโลกรัมบีโอดีต่อปี ; kg BOD/year)] x ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่
ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	— ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ขอบเขตที่ 3	การใช้น้ำประปา	— ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำประปา
	การใช้กระดาษ	— ปริมาณกระดาษที่ใช้ x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระดาษ
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	— ปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล
	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้	— ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกปล่อยลงน้ำเสีย x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ x ค่าปรับสำหรับประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย x ค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด x ปัจจัยการใช้

	ออกซิเจน	ประโยชน์ของมีเทน

ตารางที่ 3 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				แหล่งข้อมูลอ้างอิง[3][10]
			CO_2	CH_4	N_2O	Total	
			kg CO_2/Unit	kg CH_4/Unit	kg N_2O /Unit	kg CO_2eq/Unit	
ขอบเขตที่ 1	การใช้ยานพาหนะขององค์กร (น้ำมันดีเซล)	liter	2.6987	0.0001	0.0001	2.7406	TGO-CFO AR5
	การใช้ยานพาหนะขององค์กร (น้ำมันเบนซิน)	liter	2.1816	0.000787	0.00025184	2.2394	TGO-CFO AR5
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	MMBTU	59.188866	0.00105506	0.000105506	59.2485	TGO-CFO AR5
	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (น้ำมันดีเซล)	liter	2.698722	0.00010926	0.000021852	2.7078	TGO-CFO AR5
	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (น้ำมันเบนซิน)	liter	2.181564	0.00009444	0.000018888	2.1894	TGO-CFO AR5
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	kg	-	-	1.0000	23,500.000	IPCC 2013 AR5
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	kgBOD	-	0.3000	-	8.4000	IPCC 2013 AR5
ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	kWh	-	-	-	0.4999	Thai National LCI Database,

ขอบเขตที่ 3	การใช้น้ำประปา	m^3	-	-	-	0.2575	TGO-CFP
	การใช้กระดาษ	kg	-	-	-	2.1639	TGO-CFP
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	tonnes	-	-	-	3.1292	EF CFP TGO AR5
	น้ำเสียจากกระบวนการผลิต	m^3	-	-	-	0.1302	EF CFP TGO AR5

3.4 การจัดทำบัญชีรายการ

การรวบรวมข้อมูลการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขต และสรุปผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.5 การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน

กระบวนการนี้ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากสามารถสะท้อนถึงระดับคุณภาพของข้อมูลการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการเก็บรวบรวม ตลอดจนความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณโดยอาศัยค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ ความไม่แน่นอนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากทั้งตัวข้อมูลกิจกรรมและค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกเลือกใช้ ทั้งนี้สามารถตรวจสอบระดับคุณภาพของข้อมูลได้โดยการกำหนดระดับคะแนน ตามที่แสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 และพิจารณาระดับข้อมูลโดยรวม ดังแสดงตารางที่ 6

3.6 เสนอแนะแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน

รายการ	ระดับคุณภาพของข้อมูล			
ลักษณะการเก็บข้อมูล	X = 6 คะแนน	Y = 3 คะแนน	Z = 1 คะแนน	
	เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ	เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ	เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า	
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	A = 4 คะแนน	B = 3 คะแนน	C = 2 คะแนน	D = 1 คะแนน
	EF จากการวัดที่มีคุณภาพ	EF จากผู้ผลิตหรือ EF ระดับประเทศ	EF ระดับภูมิภาค	EF ระดับสากล

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนและเกณฑ์ที่ใช้ประเมินความไม่แน่นอนและคุณภาพข้อมูล

ระดับ	ระดับคะแนนโดยรวมของข้อมูล	คำอธิบาย
1	1 – 6	มีความไม่แน่นอนสูง คุณภาพของข้อมูลไม่ดี
2	7 – 12	มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพของข้อมูลปานกลาง
3	13 – 18	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดี
4	19 – 24	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม

ตารางที่ 6 ระดับคุณภาพข้อมูลโดยรวม

ขอบเขต	แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	คะแนนการเก็บข้อมูล (A)	คะแนน Emission Factor (B)	A x B	ระดับคุณภาพของข้อมูล
ขอบเขตที่ 1	การใช้ยานพาหนะขององค์กร (การใช้น้ำมันดีเซล และเบนซิน)	6	1	6	1
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	6	1	6	1
	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (การใช้น้ำมันดีเซลและเบนซิน)	6	1	6	1
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	6	1	6	1
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	6	1	6	1
ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	3	3	9	2
ขอบเขตที่ 3	การใช้น้ำประปา	3	1	3	1
	การใช้กระดาษ	3	1	3	1
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	1	1	1	1
	น้ำเสียจากกระบวนการผลิต	1	1	1	1

3. ผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยใช้กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งดำเนินการบันทึกข้อมูลตามแนวทางการจำแนกกิจกรรมออกเป็น 3 ขอบเขต (ตามที่แสดงในตารางที่ 1) ทั้งนี้ ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยปริมาณการใช้ทรัพยากรในหน่วยที่เหมาะสม เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ กิโลกรัม หรือลิตร จากนั้นจึงนำปริมาณที่บันทึกได้มาคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้วิธีการคำนวณที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทกิจกรรม ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ โดยแบ่งเป็นแต่ละขอบเขตงานแต่ละประเภทตามที่ระบุในตารางที่ 7, 8 และ 9

ตารางที่ 7 ตารางคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในองค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ขอบเขตงานที่ 1

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data: AD)		ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [10]		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2eq$)
	ค่า AD	หน่วย	ค่า EF	หน่วย	
การใช้ยานพาหนะขององค์กร (น้ำมันดีเซล)	19,841	litre	2.7406	$kgCO_2e$/litre	54
การใช้ยานพาหนะขององค์กร (น้ำมันเบนซิน)	908	litre	2.2394	$kgCO_2e$/litre	2
การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	5,588,415	MMBTU	59.2485	$kgCO_2e$/MMBTU	331,105
ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (น้ำมันดีเซล)	6,431	litre	2.7078	$kgCO_2e$/litre	17
ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (น้ำมันเบนซิน)	-	litre	2.1894	$kgCO_2e$/litre	-
การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	14	kg	23,500.000	$kgCO_2e$/kg	329
กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	224	kgBOD	8.4000	$kgCO_2e$/ kgBOD	2
รวมทั้งหมด			23,577.5257	-	331,509

ตารางที่ 8 ตารางคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในองค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ขอบเขตงานที่ 2

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data: AD)		ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [10]		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2eq$)
	ค่า AD	หน่วย	ค่า EF	หน่วย	

การใช้พลังงานไฟฟ้า	238,562	kWh	0.4999	$kgCO_2e/kWh$	119
รวมทั้งหมด			0.4999	-	119

ตารางที่ 9 ตารางคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในองค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ขอบเขตงานที่ 3

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data: AD)		ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [10]		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2eq$)
	ค่า AD	หน่วย	ค่า EF	หน่วย	
การใช้น้ำประปา	2,348,913	m^3	0.2575	$kgCO_2e/m^3$	605
การใช้กระดาษ	1	kg	2.1639	$kgCO_2e/kg$	0
ของเสียจากกระบวนการผลิต	13	tonnes	3.1292	$kgCO_2e$/ tonnes	0
น้ำเสียจากกระบวนการผลิต	431,509	m^3	0.1302	$kgCO_2e/m^3$	56
รวมทั้งหมด			5.6808	-	661

4. สรุปผลการศึกษา

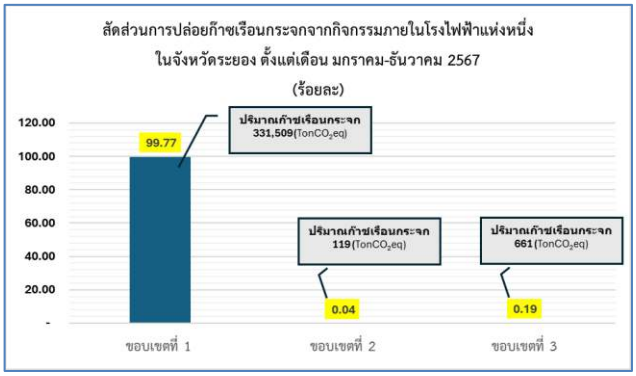
จากการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ที่ 332,289 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($TonCO_2eq$) โดยสามารถจำแนกออกเป็น 3 ขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการใช้ยานพาหนะขององค์กร มีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 331,509 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า มีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 119 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ และการจัดการของเสียมีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 661 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ทั้งนี้ ขอบเขตที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ ขอบเขตที่ 1 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร คิดเป็นร้อยละ 99.77 ของปริมาณทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

5. อภิปรายผล

จากผลการศึกษา พบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเป็นกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงสุดภายในโรงไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ชี้ให้เห็นว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงาน โดยเฉพาะจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบปริมาณน้ำฝน ความรุนแรงของพายุและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล [6][9] ในบริบทของอุตสาหกรรมพลังงาน การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)) หรือ TGO [1] ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการติดตามและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ [12,13] ทั้งนี้ การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนยังคงเป็นแหล่งหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน [14] การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในภาคขนส่งรวมถึงกิจกรรมการผลิตของเครื่องจักรอุตสาหกรรมต่างๆ ก็เป็นแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน ดังนั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงาน ควรมีการวางแผนและบริหารจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบโดยเฉพาะในส่วนของการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตและกิจกรรมสนับสนุนอื่นๆ ภายในองค์กร ทั้งนี้เพื่อควบคุมและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูงได้อย่างมีประสิทธิผล [9]

นอกจากนี้แนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในช่วงปี พ.ศ.2563–2568 มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยสะท้อนจากการขยายตัวของตลาดด้านการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับโลกองค์กรภาคธุรกิจและภาครัฐ ได้รับแรงจูงใจจากนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของรัฐบาล อาทิ มาตรการจัดเก็บภาษีคาร์บอน ระบบการซื้อขายสิทธิ์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ซึ่งมาตรการเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้องค์กรปรับเปลี่ยนไปสู่การใช้พลังงานหมุนเวียนและยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน [14] นอกจากนี้ยังนำไปสู่การกำหนดแนวทางเชิงยุทธศาสตร์ในการลดภาวะโลกร้อนที่สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นรูปธรรมและต่อเนื่อง อันจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ยั่งยืนในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

6. ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

ในการขยายขอบเขตของการศึกษา ควรพิจารณาครอบคลุมถึงองค์กรในภาคส่วนต่าง ๆ ทั้งภาคอุตสาหกรรม พลังงาน คมนาคม และบริการ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่างกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการดำเนินงานที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้จะช่วยให้เข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบที่หลากหลาย และสามารถพัฒนาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของแต่ละองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควรถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในภาคพลังงานควรพิจารณาการปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น การนำระบบ Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) และระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) มาใช้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถแปลงพลังงานเชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้าและพลังงานความร้อนได้พร้อมกัน ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดการสูญเสียที่เกิดจากความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ นอกจากนี้

ควรมีการนำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) มาใช้ในกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบและลดความสูญเสียด้านพลังงานในระยะยาว

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแสดงถึงความไม่แน่นอนสูงและมีความไม่สมบูรณ์ โดยสาเหตุที่ทำให้การประเมินการจัดการความไม่แน่นอนได้ในระดับ 1 เกิดจากการเก็บข้อมูลที่อาศัยแหล่งข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ พร้อมทั้งการใช้ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ระดับประเทศ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินผล ดังนั้น ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นพื้นฐานในการวางแผนการปรับปรุงกระบวนการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้การศึกษาในครั้งถัดไปสามารถใช้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและคุณภาพสูงขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งได้ให้ข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมวิจัยที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยอย่างเต็มที่

8. เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). “แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร”. (2561), พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พีทู ดีไซน์ แอนด์ พริ้นท์ จำกัด.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนา. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามภาคการผลิต” [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 10 มีนาคม 2568]. เข้าถึงได้จาก: https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1

[3] International Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC). (2006). IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas. Retrieved from online: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

[4] สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, “ความรู้เบื้องต้นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร”, 2566, กรุงเทพมหานคร.

[5] เศรษฐวุฒิ ผุยหนองโพธิ์. “การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของวิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล”, รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 20 ประจำปี พ.ศ. 2564, วันที่ 12-13 พฤษภาคม 2564, (2564), หน้า 387-393.

[6] ฐิติกร หมายมั่น, สมบัติ ทีฆทรัพย์, อติกร เสรีพัฒนานนท์ และบัณฑิต รัตนไตร, “การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย”, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(2): (2561), หน้า 109-205.

[7] อลงกต สุตคุณสันติการ และคณะ, การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขบวนการผลิตคอมเพรสเซอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม”, วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน, 9(1): (2566), หน้า 1-9.

[8] พิณทิพ ช้างเผือก และคณะ, “การศึกษาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาศูนย์เวลเนสประเภทสปาเพื่อสุขภาพ”, วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน, 9(4): (2567), หน้า 290-297.

[9] อรุณลักษณ์ จิรธนภิญโญ, “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ บทบาทการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคผลิตไฟฟ้าของไทย”, วารสารสิ่งแวดล้อม, 23(1): (2562), หน้า 1-8.

[10] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). “ค่า Emission Factor”. [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 10 มีนาคม 2568]. เข้าถึงได้จาก: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9

[11] สุพรรณี มีสุข และ สุพรรณิกา วัฒนะ, “การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์”, การประชุมวิชาการเสอนผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 23, ขอนแก่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 25 มีนาคม 2565: (2565), หน้า 213-225.

[12]RATCH Group. (2022). GHG Management. Retrieved from

https://www.ratch.co.th/en/environment/ghg-management

[13] Electricity Generating Public Company Limited. (2023). EGCO Group kicks off commercial operation of EGCO Cogeneration SPP Replacement Power Plant. Retrieved from https://sustainability.egco.com/en/newsroom/news/175/egco-group-kicks-off-commercial-operation-of-egco-cogeneration-spp-replacement-power-plant

[14] Coherent Market Insights. (2025). Carbon Footprint Reduction Market Size & Forecast, 2025-2032. Retrieved from https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/carbon-footprint-reduction-market

การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศศิษย์เก่า

Applying Quality Functional Deployment Technique for the Design of an Alumni Information System

จักรินทร์ กลั่นเงิน[1] อัคค์สัจจา ดวงสุภาสิญจ์[2*] กัญญารัตน์ หนุนดี[1] พิมพ์ชนก วันที[1] และ ณิชาภัทร คุ้มสุข[3]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[3] สำนักงานเลขานุการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jakkarin Klunngien[1] Akksatcha Duangsuphasin[2*] Kunyarat Nundee[1] Pimchanok Wantee[1] and Nichapat Kumsuk[3]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
[2] Industrial Engineering Division, Engineering Faculty, Rajamangala University of Technology Lanna
[3] Secretary Officer, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
E-mail: akksatcha@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

การประกันคุณภาพเครือข่ายมหาวิทยาลัยอาเซียนได้ให้ความสำคัญกับผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังในการออกแบบหลักสูตร ผลลัพธ์การเรียนรู้ต้องสะท้อนถึงความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย โดยผู้มีส่วนได้เสียที่สำคัญ คือ ศิษย์เก่า ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศศิษย์เก่าด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพผ่านเฟสการวางแผนผลิตภัณฑ์และเฟสการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้คือ ความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยสำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศได้ถูกแปลงเป็นเป้าหมายทางด้านเทคนิค เพื่อใช้สำหรับการออกแบบระบบ โดยการออกแบบระบบสารสนเทศศิษย์เก่าถูกพัฒนาผ่านกูเกิลแพลตฟอร์ม ผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ที่ 4.20 คะแนน (เต็ม 5.00 คะแนน)

คำหลัก ระบบสารสนเทศศิษย์เก่า การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ กูเกิลแพลตฟอร์ม

Abstract

The Asean University Network Quality Assurance has emphasized the expected learning outcomes in curriculum design. Learning outcomes must reflect the needs of stakeholders, with the most important stakeholders being alumni. Therefore, this research aimed to design an alumni information system using the quality functional deployment technique through the product planning phase and the design deployment phase. The result is that the relative importance of the subcomponent requirements for information system design is translated into technical goals for use in

information system design. The system design is developed through Google Platform. The results of the user satisfaction assessment of the system are 4.20 points (out of 5.00 points).

Keywords: Alumni Information System, Quality Functional Deployment, Google Platform

การออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุเส้นก๋วยจั๊บกึ่งอัตโนมัติ

Design and Construction of Semi Automatic packing machine for Rolled Rice Noodles

ชนาธิป ศรีวรารักษ์[1] ธนพร สิงหนาท[1] พิยดา ผาภู[1] ปรวิทย์ เจียนดอน[1] และ ภูริพัส แสนพงษ์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น

Chanathip Sriwararak[1] Thanaporn Singhanat[1] Phiyada Phapoo[1] Porawit Jiandon[1]
and Bhuriphat Saenpong[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

E-mail: bhuriphat.sa@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

คณะผู้จัดทำได้เข้าไปศึกษากระบวนการผลิตเส้นก๋วยจั๊บของห้างหุ้นส่วนจำกัดสินทวีร้อยเอ็ดพบว่าในการผลิตเส้นก๋วยจั๊บนั้นมีปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิต คือ รูปแบบการทำงานเดิมจะใช้คนในการบรรจุและใช้คนในการปิดปากถุงด้วยความร้อนให้มีการผลิตที่ล่าช้า ส่งผลให้ผลผลิตไม่มีประสิทธิภาพตามที่โรงงานต้องการและไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุเส้นก๋วยจั๊บกึ่งอัตโนมัติเข้ามาช่วยในกระบวนการบรรจุเส้นก๋วยจั๊บเพื่อให้ผลิตได้เพิ่มขึ้นเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

ผลการดำเนินงานพบว่าคุณภาพของรอยซีลที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น ด้านลักษณะของรอยซีลที่เป็นของดีคิดเป็นร้อยละ 98 ด้านขนาดของรอยซีลที่เป็นของดีคิดเป็นร้อยละ 96 และมีประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น จากเวลามาตรฐานการผลิตแบบเดิมอยู่ที่ 44.44 วินาทีต่อถุง ซึ่งมีอัตราการผลิตโดยรวมอยู่ที่ 650 ถุงต่อวัน เวลามาตรฐานการผลิตของเครื่องจักรที่สร้างขึ้นใหม่อยู่ที่ 31.15 วินาทีต่อถุง สามารถผลิตเส้นก๋วยจั๊บได้อยู่ที่ 880 ถุงต่อวัน ขั้นตอนการทำงานลดลง 5 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 55.56 อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 230 ถุงต่อวัน ดังนั้นเมื่อทำงานร่วมกับกระบวนการเดิมอัตราการผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 35.38

คำหลัก เครื่องบรรจุเส้นก๋วยจั๊บกึ่งอัตโนมัติ , เส้นก๋วยจั๊บ , กระบวนการผลิต

Abstract

The project team conducted a study of the rice noodle production process at Sinthawee Roi Et Limited Partnership and found that there were issues with the current production method. The existing process relied on manual labor for filling and sealing the bags, which caused production delays, resulting in products that lacked the desired quality and efficiency, and were insufficient to meet customer demand. Therefore, the team proposed the design and construction of a semi-automatic noodle packaging machine to assist in the packaging process, aiming to increase production to meet market needs.

The results showed that the evaluation of the seal quality from the developed machine revealed that 98% of the seals were of good quality, and 96% were of proper size. The machine also showed improved performance: while the standard time for the original manual process was 44.44 seconds per bag equivalent to 650 bags per day. the new machine reduced the packaging time to 31.15 seconds per bag, allowing for 880 bags per day. The number of process steps was reduced by five, a reduction of 55.56%. The production rate increased by 230 bags per day. Therefore, compared to the original method, the production rate increased by 35.38%.

Keywords: Semi Automatic packing machine , Rolled Rice Noodles , Production process

การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

Design and Construction of a Semi-Automatic Rice Cracker Dough Cutter

จิตรกัญญา เวสา[1] พิริยะกร ทิพโชติ[1] ศิรินยา ปินะถา[1] ประสาท ภูปรึ้ม[1] และ ภูริพัส แสนพงษ์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: bhuriphat.sa@rmuti.ac.th*

Jitkanya Waesa[1] Piriyakron Thippachot[1] Sirinya Pinatha[1] Prasart Phupreum[1] and Bhuriphat Saenpong[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
E-mail: bhuriphat.sa@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบมันสำปะหลังกึ่งอัตโนมัติ โดยสามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นร้อยละ 30 เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่สูงขึ้น ทั้งนี้จากปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตคือกำลังการผลิตไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของสถานประกอบการได้ เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรไม่เหมาะสมในการหั่นแป้ง โดยเครื่องจักรสามารถหั่นได้ครั้งละ 1 ชิ้น ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตและพนักงานจะต้องประคองชิ้นงานในการหั่นแป้ง ทำให้เกิดความเหนื่อยล้า จึงเป็นสาเหตุทำให้ผลิตสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ ให้สามารถหั่นได้ครั้งละ 5 ชิ้น โดยไม่ต้องดันชิ้นงาน ปรับความหนาในการหั่นได้ โดยเครื่องสามารถหั่นแป้งให้ได้ลักษณะตามที่สถานประกอบการต้องการคือ 1.0 ± 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบชุดมีดหั่น 287 รอบต่อนาที และอัตราป้อนชุดสายพาน 378 มิลลิเมตรต่อนาที โดยจากการหาประสิทธิภาพผลผลิตการทำงานของเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบแบบเดิมสามารถหั่นแป้งข้าวเกรียบได้ 720 กิโลกรัมต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติสามารถหั่นแป้งข้าวเกรียบได้ 1,536 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 53.13 และเวลาที่ใช้ในการหั่นแป้งข้าวเกรียบกระบวนการเดิมใช้เวลา 201.12 วินาทีต่อกิโลกรัม และกระบวนการใหม่ใช้เวลา 93.6 วินาทีต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 53.46

คำสำคัญ: เครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ, แป้งข้าวเกรียบ, เครื่องหั่นสมุนไพร

Abstract

This study aimed to design and develop a semi-automatic tapioca cracker dough slicing machine to increase production by 30% in response to rising market demand. The existing process was limited by machinery that could slice only one piece at a time, causing delays and worker fatigue from manual operation. The newly developed machine can slice five pieces simultaneously without manual feeding, with adjustable thickness set to 1.0 ± 0.5 mm. The blade operates at 287 rpm and the conveyor at 378 mm/min. Performance evaluation showed the traditional method produced 720 kg/month, while the new machine yielded 1,536 kg/month increase of 53.13%. Slicing time per kilogram dropped from 201.12 to 93.6 seconds, improving efficiency by 53.46%.

Keywords: Semi-Automatic Rice Cracker Cutter, Rice Cracker Dough, Herb Slicer

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก [1] ปัจจุบันเกษตรกรพบว่าปัญหาราคามันสำปะหลังลดลง ทำให้เมื่อขายไปจะได้รายรับที่อยู่ทุนหรืออาจจะขาดทุนได้ ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรบ้านหนองแวงสักหลักได้มองเห็นความสำคัญจึงได้นำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นข้าวเกรียบ ทั้งนี้ทางวิสาหกิจได้พบปัญหาคือกำลังการผลิตไม่สามารถตอบสนองต่อความตั้งการของสถานประกอบการ เนื่องจากสาเหตุเกิดในขั้นตอนกระบวนการหั่น ซึ่งมาจากการใช้เครื่องเดิมไม่เหมาะสมในการหั่นแป้ง ทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตขึ้นร้อยละ 30 เพื่อตอบสนองต่อความต่องการของตลาดที่สูงขึ้น

รูปที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษากระบวนการทำข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ [2,3] ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและถ้าต้องการจะพัฒนาการผลิตเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรม ควรนำเครื่องจักรและเครื่องมือเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตซึ่งจะมีส่วน ช่วยทุ่นแรง และควบคุมคุณภาพข้าวเกรียบให้ได้มาตรฐาน [4] การเข้าไปศึกษาผลิตภัณฑ์ ศึกษาวิธีการผลิตแป้งข้าวเกรียบจะทำให้ทราบถึงปัญหาที่พบซึ่งปัจจุบันทางวิสาหกิจชุมชนบ้านแวงสักหลักไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตอบสนองความต้องการของตลาด จึงได้เข้าไปศึกษาขั้นตอนการทำงาน ศึกษาเวลาและผลผลิตจากการหั่นดังตารางที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้

1) การเตรียมแป้ง 2) การต้มน้ำ 3) การผสมแป้ง 4) การปั้นแป้ง 5) การนึ่ง 6) การแช่เย็น 7) การหั่น 8) การตากแห้ง 9) บรรจุใส่ผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 แสดงเวลาและผลผลิตจากการหั่นแป้งข้าวเกรียบ

รูปแบบ	พนักงาน (คน)	ปริมาณการผลิต (ชั่วโมงต่อวัน)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อวัน)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อเดือน)
เดิม	1	2	18.00	36.00	720

หมายเหตุ : ทำงาน 20 วันต่อเดือน

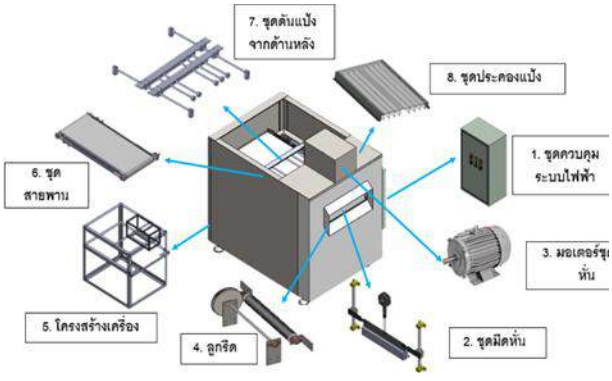
รูปที่ 2 แสดงการทำงานด้วยวิธีการเดิม

จากการเข้าไปศึกษาขั้นตอนการผลิตปัญหาที่พบอยู่ในขั้นตอนการหั่นดังรูปที่ 2 จึงได้นำมาทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผลดังรูปที่ 3 ทำให้ทราบสาเหตุของปัญหา โดยสาเหตุเกิดจากคนไม่มีความชำนาญผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ความเข้าใจในเครื่องจักรและเกิดความเหนื่อยล้าเนื่องจากพนักงานจะต้องประคองชิ้นงานในการหั่นแป้ง ด้านเครื่องจักรใช้เครื่องจักรไม่เหมาะสมกับการทำงานทำให้สามารถหั่นได้ครั้งละ 1 ชิ้น ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการ จึงเป็นสาเหตุทำให้ผลิตสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ

รูปที่ 3 การวิเคราะห์แผนภาพแสดงเหตุและผล

2.2 วิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

กระบวนการหั่นแป้งข้าวเกรียบแบบเดิมได้มีการนำเครื่องหั่นสมุนไพรมาประยุกต์ใช้ในการหั่นแป้ง พนักงานจะต้องทำการนำแป้งเข้าไปหั่นครั้งละ 1 ชิ้นและมีการใช้ไม้ดันชิ้นงานเข้าไป ในการหั่นมีดจะสับลงบนสายพาน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอ เกิดการปนเปื้อนในอาหาร และเกิดความล่าช้าในกระบวนการ ดังนั้นจึงออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติดังรูปที่ 4 ออกแบบโดยไม่หั่นสับลงบนสายพาน แต่ใช้หลักการแบบกรรไกรจะมีช่องวางในการหั่นลงเพื่อให้แป้งขาด สามารถหั่นได้ครั้งละ 5 ชิ้น [5] โดยพนักงานไม่ต้องดันชิ้นงานเข้า ในการออกแบบเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติสามารถลดเวลาในการทำงานได้ เมื่อเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยของคนงานและเครื่องจักรแบบเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน และสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจะเป็นประโยชน์เพื่อที่จะนำไปสู่การรับทราบถึงสภาพปัจจุบันของเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบและการสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

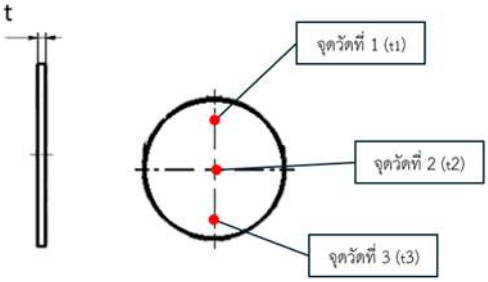
2.3 ทดลองและตรวจสอบเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

โดยการทดลองหลังจากที่ได้สร้างเครื่องจักร จึงได้บันทึกผลการตรวจสอบมอเตอร์เบื้องต้นหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดมีดหั่นแป้งข้าวเกรียบ โดยใช้หลักสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล [6] โดยจะวัดที่ความเร็วรอบ 282 ± 42 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตารางผลการทดสอบความเร็วรอบของชุดมีดหั่นแป้งข้าวเกรียบ

จุดตรวจสอบ	ความเร็วรอบชุดมีดหั่น (รอบ/นาที)	ความเร็วที่ตรวจสอบ (รอบ/นาที)				สถานะ
		1	2	3	เฉลี่ย	
ชุดมีดหั่นแป้งข้าวเกรียบ	282±42	286.6	286.7	286.8	286.7	ใช้ได้

เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการทดลองของเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ โดยทดสอบแป้งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 40 มิลลิเมตร โดยกำหนดความหนาที่ 1.0 ± 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดความหนาที่สถานประกอบการต้องการ จากนั้นทดสอบ ใช้ความเร็วรอบชุดมีดหั่นคงที่ คือ 287 รอบต่อนาที และใช้อัตราป้อนชุดสายพาน 378, 454, 529 มิลลิเมตรต่อนาที ในการทดลองตามลำดับ จากนั้นสุ่มตัวอย่าง 5 ชิ้น ทำการวัดขนาด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จุดตรวจสอบความหนา

ตารางที่ 3 หาค่าตัวแปรที่เหมาะสม

การหาตัวแปรที่เหมาะสม							
ความเร็วรอบชุดมีดหั่น (รอบ/นาที)	อัตราป้อนชุดสายพาน (มิลลิเมตร/นาที)	ความหนา (t = 1±0.5 มิลลิเมตร)					
		ชิ้นที่	t1	t2	t3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
287	378	1	1.18	1.2	1.22	1.21	0.0183
		2	1.16	1.18	1.18	1.18	
		3	1.22	1.20	1.20	1.20	
		4	1.16	1.18	1.18	1.18	
		5	1.20	1.20	1.18	1.19	
	454	1	1.54	1.52	1.52	1.52	
		2	1.52	1.52	1.50	1.51	
		3	1.50	1.50	1.52	1.51	
		4	1.52	1.54	1.56	1.55	
		5	1.48	1.52	1.54	1.53	
	529	1	1.72	1.68	1.68	1.68	
		2	1.66	1.64	1.62	1.63	
		3	1.70	1.70	1.72	1.71	
		4	1.68	1.70	1.72	1.71	
		5	1.70	1.68	1.62	1.65	

จากตารางที่ 3 การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม โดยเครื่องสามารถหั่นแป้งให้ได้ตามขนาดที่ต้องการคือ ใช้ความเร็วรอบชุดมีดหั่น 287 รอบต่อนาที ใช้อัตราป้อนชุดสายพาน 378 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้ลักษณะตามที่สถานประกอบการกำหนด คือ 1.0 ± 0.5 มิลลิเมตร เมื่อได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองซ้ำ โดยจากการออกแบบเครื่องให้หั่นแป้งได้ครั้งละ 5 ช่อง สุ่มตรวจ 20 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดลองซ้ำตามตัวแปรที่เหมาะสม

ความเร็วรอบชุดมีดหั่น 287 รอบ/นาที , อัตราป้อนชุดสายพาน 378 มิลลิเมตร/นาที					
ชิ้นที่	ความหนา (t = 1±0.5 มิลลิเมตร)				
	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
1	1.20	1.12	1.23	1.30	1.16
2	0.95	1.23	1.13	1.24	1.19
3	1.27	1.19	1.19	1.16	1.13
4	1.29	0.99	1.17	1.16	1.19
5	1.17	1.15	1.29	1.02	1.27
6	1.25	0.94	1.11	1.01	1.06
7	0.96	1.15	1.10	1.11	1.11
8	1.17	1.21	0.97	1.25	1.26
9	1.35	1.20	1.22	1.30	0.97
10	1.29	1.01	1.31	1.18	1.18
11	1.03	1.17	1.27	1.21	1.04
12	1.19	0.99	1.24	1.25	0.95
13	1.15	1.29	0.99	1.09	1.22
14	1.29	1.31	1.10	1.23	1.31
15	1.19	1.12	1.17	1.28	1.25
16	1.17	1.06	1.15	0.95	0.99
17	1.03	1.15	1.22	1.13	1.14
18	1.17	1.22	1.29	1.22	1.18
19	1.31	1.29	1.23	1.31	1.10
20	1.01	1.12	1.11	1.19	1.29

เมื่อทำการทดลองซ้ำแล้วผลปรากฏว่าขนาดของแป้งอยู่ในขนาดที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าเครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตการหั่นแป้งข้าวเกรียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รูปแบบ	พนักงาน (คน)	ชั่วโมงในการทำงาน /วัน	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อวัน)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัมต่อเดือน)
เดิม	1	2	18.00	36.00	720
ใหม่	1	2	38.4	76.8	1,536

หมายเหตุ : ทำงาน 20 วันต่อเดือน

จากตารางที่ 5 เวลาและอัตราการผลิตในขั้นตอนการหั่นแป้งข้าวเกรียบหลังการปรับปรุง ซึ่งอัตราการผลิตรูปแบบเดิมมีอัตราการผลิต 720 กิโลกรัมต่อเดือน ส่วนรูปแบบใหม่เครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการผลิตเป็น 1,536 กิโลกรัมต่อเดือน

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

ขนาดเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติที่ทำการผลิต 70x87x100 เซนติเมตร ชุดสายพานลำเลียงที่ใช้ในการส่งกำลัง มีอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยใช้มอเตอร์ขนาด 25 วัตต์ อินเวอร์เตอร์ควบคุมของ Mitsubishi รุ่น FR-S520SE-0.2K ชุดหั่นแป้งมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์เกียร์อัตราทด 1:5 ขนาด 100 วัตต์ ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

3.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ

เมื่อได้ผลผลิตที่ได้จากการทำงานของเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติดังตารางที่ 4 ทดสอบโดยกำหนดปริมาณ 2,000 กรัม ใช้ความเร็วรอบชุดมีดหั่น 287 รอบต่อนาที และอัตราป้อนชุดสายพาน 378 มิลลิเมตรต่อนาที ดัง สามารถนำค่าทดลองมาคำนวณหาผลทางด้านสถิติได้ ดังตารางที่ 6

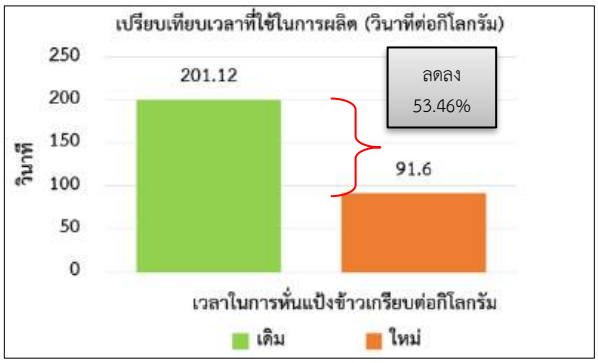
ตารางที่ 6 แสดงการสุ่มชิ้นงานทางด้านขนาด

ขนาด	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความหนา	20	1.16	0.1044

$$C.I. = \bar{x} \pm t_{\alpha/2,n-1}\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)$$
$$C.I. = 1.16 \pm 2.0930\left(\frac{0.1044}{\sqrt{20}}\right) \quad (1)$$
$$C.I. = 1.16 \pm 0.0489$$

จากขนาดความหนาของแป้งข้าวเกรียบ จำนวน 20 ตัวอย่างมีค่าพิกัดขนาด 1.0 ± 0.5 มิลลิเมตร เมื่อนำมาคำนวนในสมการที่ 1 หาช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้ค่าอยู่ในพิกัดควบคุม โดยมีค่า C.I. ที่ได้เท่ากับ 1.16 ± 0.0489 มิลลิเมตร ซึ่งค่าพิกัดดังกล่าวขนาดของแป้งข้าวเกรียบที่วัดขนาดความหนาอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการหั่นแป้งข้าวเกรียบต่อกิโลกรัม

จะเห็นได้ว่าเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติสามารถลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการหั่นแป้งข้าวเกรียบได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งจากกระบวนการทำงานแบบเดิมใช้เวลาในการหั่นแป้งข้าวเกรียบต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 201.12 วินาทีต่อกิโลกรัม หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น ใช้เวลาในกระบวนการหั่นแป้งข้าวเกรียบ 93.60 วินาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถลดเวลาในกระบวนการหั่นได้ 107.52 วินาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 53.46

4.อภิปรายผล

ผลจากการดำเนินโครงการการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ พบว่าเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวเกรียบได้มากกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยการพัฒนาเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อน [5] และทำการทดลองเก็บผลเทียบกับกระบวนการทำงานเดิมสามารถเพิ่มผลผลิต

จากเดิมได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30

5. สรุป

หลังจากการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติ สรุปผลได้ดังนี้ สามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นร้อยละ 30 โดยมีกำลังการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิมจะได้ 720 กิโลกรัมต่อเดือน และกระบวนการใหม่ใหม่จะผลิตได้ 1,536 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 53.13 และเวลาที่ใช้ในการหั่นแป้งข้าวเกรียบกระบวนการเดิมใช้เวลา 201.12 วินาทีต่อกิโลกรัม และกระบวนการใหม่ใช้เวลา 93.6 วินาทีต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 53.46 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเพียงพอต่อความต้องการของตลาด จะเห็นได้เครื่องหั่นแป้งข้าวเกรียบกึ่งอัตโนมัติตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำ และขอกราบขอบพระคุณวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองแวงสักหลักที่สนับสนุนในการดำเนินโครงการจนประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นพพร คล้ายพงษ์พันธ์ และคณะ, ภาควิชาพืชไร่นา, (พิมพ์ครั้งที่ 2), (คณะเกษตรกำแพงแสน มหา
วิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน. พืชเศรษฐกิจ ,กรุงเทพ:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร
ศาสตร์, 2547), หน้า 460

[2] เพลินใจ ตังคณะกุล, วิจารณ์เรื่อง “การทำข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพ” , โดย เพลินใจ ตังคณะกุล, วารสารอาหาร ฉบับที่ 2 (เมษายน 2546): หน้า 90-93.

[3] จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย, “ผลของคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ”, (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550)

[4] อานนท์ วงมณี, คัทลียา ปัญญาอูด , และนครเมืองกระจ่าง, “การพัฒนาเครื่องหั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อน”, ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 7, 2560, หน้า 431-438.

[5] สิทธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย , และ ธัญทิพย์ ศิริพรอัครชัย,วิจารณ์เรื่อง เครื่องสไลด์กล้วยตามแนวยาวและขวาง , วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (กันยายน 2559): 30-42

[6] ปิยะธิดา ปัญญา, สถิติสำหรับงานวิจัย ,พิมพ์ครั้งที่ 4, (กรุงเทพฯ:ศูนย์หนังสือจุฬลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2567), หน้า 19-36

[7] ชาญชัย พรศิริรุ่ง, คู่มือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร, (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ : กรุงเทพฯ 2549), หน้า 30

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล

Design and Construction of Detection Prototype Device for a Surface Damage on A Rail-Track by Magnetic Flux Leakage Method

วีระศักดิ์ ชิณแสน[1] วิทยา กองตระกูลดี[2*] ฤทธิชัย เภาเนียม[3] และ นรินทร์ อินต๊ะวงค์[4]
[1,3,4] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[2*] แผนกช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
E-mail: 668041500012@mail.rmutk.ac.th*

Werasak Chinnasan [1] Wittaya Gongtragooldee [2*], Rittichai Phaoniam [3], Narin Intawong [4]
[1,3,4] Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep
[2*] Metal Welding Division, Ubon Ratchathani Technical College
E-mail: 668041500012@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือชุดตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล (Magnetic Flux Leakage) การทดลองประกอบไปด้วยการออกแบบชุดสร้างสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียมถูกใช้เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กบนผิวชิ้นงาน และชุดอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กรั่วไหลด้วยเซนเซอร์ Unique-MFL รวมทั้งการวิเคราะห์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมด้วยการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (FEMM Simulation) จากนั้นได้สร้างรอยบกพร่องเทียมบนเหล็กรางรถไฟตามมาตรฐาน UIC 860/900A แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ ร่องบากตามขวางตลอดแนวราง ความลึกตั้งแต่ 2-8 mm รูเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความลึกตั้งแต่ 2-8 mm และการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมขนาด 25 $^{กว้าง}$ x 20 ^{ยาว} mm ความลึกตั้งแต่ 4-6 mm โดยเครื่องตรวจสอบต้นแบบได้เคลื่อนที่ผ่านรอยบกพร่องเทียมต่าง ๆ นี้ ด้วยความเร็วคงที่ 160 mm/s จากนั้นได้บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กรั่วไหลผ่านแรงดันไฟฟ้าระดับไมโครโวล์ (μv) ผลการทดลองพบว่าสามารถตรวจจับความแตกต่างของรอยบกพร่องเทียมชนิดร่องบากตามขวางแนวรางได้อย่างชัดเจน ค่าระดับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กรั่วไหลอยู่ที่ 1135.8 – 2583.6 (μv) ขณะที่ชนิดรูเจาะยังมีความไว (Sensitivity) ในการตรวจจับที่ต่ำเนื่องจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้ามากเกินไป และชนิดการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมจะให้ผลความไวการตรวจจับได้ชัดเจน เมื่อความยาวและความลึกของรอยบกพร่องมากขึ้น

คำหลัก ความเสียหายพื้นผิว รางรถไฟ การตรวจสอบ สนามแม่เหล็กรั่วไหล

Abstract

This research aims to design and develop a magnetic flux leakage (MFL) inspection device for detecting surface defects on railway tracks. The experimental setup consists of a magnetic field generation unit, in which neodymium permanent magnets are used to induce magnetic flux on the surface of the test specimen, and a detection unit employing a Unique-MFL sensor to detect the leakage field. Additionally, magnetic flux density analysis was conducted using computer simulation software (FEMM Simulation) to determine the optimal magnetic condition. Artificial defects were created on rail steel according to UIC 860/900A standards in three (3) types: first, transverse notches across the rail head with depths ranging from 2 to 8 mm. Second, circular hole type with a diameter of 6 mm and depths from 2 to 8 mm. Third, type of material loss in the form of rectangular pits measuring 25 mm wide × 20 mm long with depths ranging from 4 to 6 mm. The prototype inspection device was moved across these artificial defects at a constant speed of 160 mm/s, and the variations in magnetic flux leakage were recorded in microvolt (μV) levels. The results indicate that the device can clearly distinguish transverse notch-type defects, with magnetic flux leakage variations ranging from 1135.8 to 2583.6 μV. However, detection sensitivity for the hole-type defects was low due to high levels of electrical noise. In contrast, the pit-type material loss defects showed improved sensitivity as the length and depth of the defects increased.

Keywords: Surface Damage, Rail-Track, Detection, Magnetic Flux Leakage

1. บทนำ

ระบบขนส่งทางรางเป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่ง เพื่อการเชื่อมต่อการเดินทางและการขนส่งระหว่างภายในประเทศ รวมทั้งเป็นจุดเชื่อมโยงทางด้านเศษฐกิจและสังคมที่สำคัญในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก โดยดำเนินงานตามแผนและนโยบายภาครัฐ ในการยกระดับคุณภาพบริการขนส่งทางราง เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันกับนานาประเทศ ซึ่งรางรถไฟเป็นชิ้นส่วนสำคัญต่อระบบการขนส่ง โดยทำหน้าที่รับน้ำหนักและถ่ายทอดภาระจากล้อไปยังหมอนรองรางรถไฟ และเป็นตัวประคองการวิ่งของรถไฟ [1], [2] ส่งผลให้เกิดความเสียหาย เช่น การแตกเป็นเส้นที่หัวราง (Head Checking) เนื้อหลุดลอก (Spalling) สันรางเป็นคลื่น (Corrugation) และการกัดกร่อน (Corrosions) เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมความปลอดภัย และความพร้อมใช้งานตลอดเวลา จึงต้องทำการประเมินสมรรถนะ และการซ่อมบำรุงรักษา ตลอดช่วงอายุการใช้งาน [3]

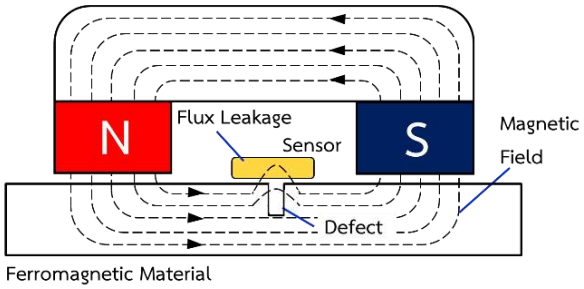
การตรวจสอบรอยความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยเทคโนโลยีการทดสอบแบบไม่ทำลายภาพ สำหรับการบำรุงรักษาทั่วไป เช่น วิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual testing: VT) วิธีการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic testing: UT) วิธีการตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน (Eddy current testing: ECT) และวิธีการตรวจสอบด้วยสนามแม่เหล็กรั่วไหล (Magnetic flux leakage: MFL) [4] ซึ่งมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันในแต่ละวิธี โดยจากรายงานการศึกษาวิจัยพบว่า Changsheng Zhang และคณะ [5] ได้วิเคราะห์เชิงตัวเลขและทดลองการตรวจสอบรอยเชื่อมท่อด้วยวิธี MFL ได้สร้างรอยบกพร่องเทียมด้วยเครื่องมือกล ได้แก่ รอยกัดแหว่ง (Undercut) และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) ที่ขนาดความกว้าง x ความลึกแตกต่างกัน ผลทดลองบ่งชี้ว่า เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมากสุดเมื่อผ่านรอยบกพร่องที่ความกว้างและความลึกเพิ่มขึ้น Jianbo Wu และคณะ [6] ได้ศึกษาวิธี MFL ในการตรวจสอบรูเจาะด้านข้างชิ้นงานที่ขนาดความลึกต่างกัน รวมถึงระยะห่างเซนเซอร์ (life-off) ที่ระดับต่างกัน บ่งชี้ว่า เส้นแรงแม่เหล็กเมื่อไหลผ่านความลึกที่ลดลงและระดับเซนเซอร์ที่ต่ำลงนั้น ส่งผลให้ความไว

(Sensitivity) ในการตรวจสอบรอยความเสียหายได้มากขึ้น Yi Wang และคณะ [7] ได้ใช้เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหล โดยใช้ยานยนต์ตรวจสอบความลึกของร่องบากตามขวางแนวรางรถไฟ ผลการทดลองบ่งชี้ว่า ความแม่นยำในการตรวจสอบลดลงเล็กน้อยเมื่อความลึกของร่องบากเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ A. G. Antipova และ A. A. Markovb [8] ได้ตรวจสอบความลึกรอยแตกตามขวางบนรางรถไฟด้วยวิธี MFL โดยได้ดำเนินการจำลององค์ประกอบทางทฤษฎีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก และทดสอบยืนยันผลทดลองจากความเร็วเคลื่อนที่เซนเซอร์ที่แตกต่างกัน บ่งชี้ว่า ความเร็วเซนเซอร์และรอยแตกตามขวางที่ความลึกเพิ่มขึ้นส่งเสริมให้สัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะความเสียหายจริงที่เกิดขึ้นในงานซ่อมบำรุงรางและปรับแต่งให้เหมาะสมในการทดลอง ทั้งนี้เพื่อเป็นการมุ่งเน้นพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบรอยความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหลภายในประเทศที่ค่อนข้างน้อย และยังมีการนำเข้าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ราคาแพงจากต่างประเทศ

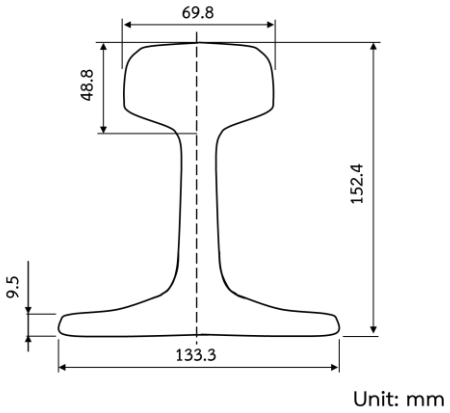
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือชุดตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล และศึกษาปัจจัยรูปร่างรอยความเสียหายที่มีผลต่อสัญญาณการตรวจสอบ เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบความเสียหายภายในประเทศ และพึ่งพาด้วยตนเองในอนาคตต่อไป

2. หลักการตรวจสอบสนามแม่เหล็กรั่วไหล

การตรวจสอบสนามแม่เหล็กรั่วไหลในวัสดุตรวจสอบจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material) เกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กแบบคงที่ (Magnetostatics) ด้วยปริมาณสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) หรือแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) เมื่อสนามแม่เหล็กไหลผ่านบริเวณที่มีรอยความเสียหายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นและทำการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ที่มีความไวต่อการการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กนั้นได้ [9] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการตรวจสอบด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล



รูปที่ 2 รางรถไฟตามมาตรฐาน UIC 860/900A

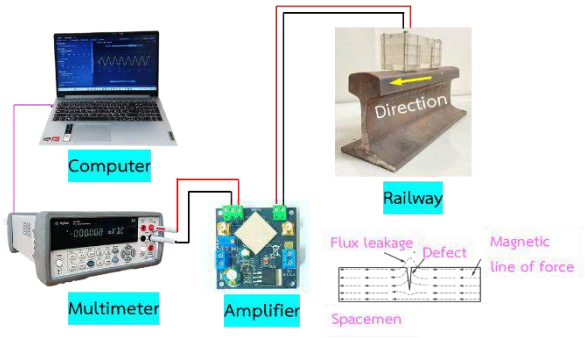
3. วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุทดลอง

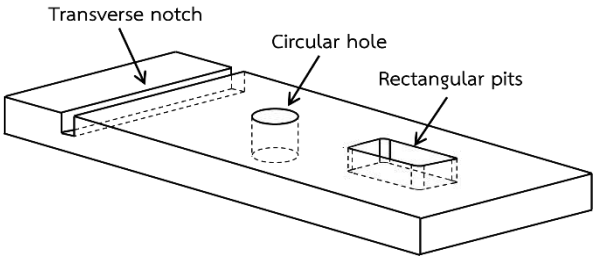
วัสดุทดลอง ได้แก่ เหล็กรางรถไฟตามมาตรฐาน UIC 860/900A ขนาด $133.3^{\text{กว้าง}} \times 152.4^{\text{สูง}}$ mm.และมีรูปร่างลักษณะเฉพาะ เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล ดังรูปที่ 2

3.2 ออกแบบชุดสร้างสนามแม่เหล็กรั่วไหล

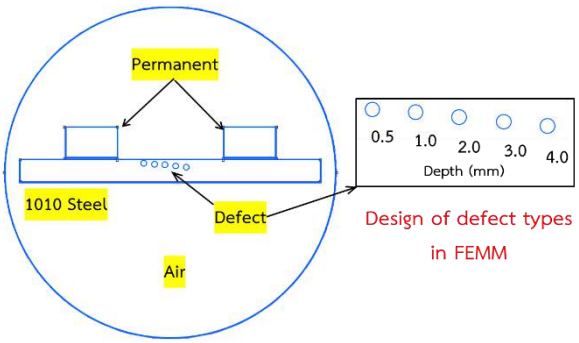
การออกแบบและสร้างเครื่องมือสนามแม่เหล็กรั่วไหลประกอบด้วย แท่งแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม (Neodymium) ขนาด $50^{\text{กว้าง}} \times 50^{\text{ยาว}} \times 30^{\text{สูง}}$ mm ความเข้มสนามแม่เหล็ก 7000 Gauss ทำหน้าที่การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กแบบคงที่ โดยมีโครงสร้างที่ไม่เหนี่ยวนำแม่เหล็กจากแผ่นอะคริลิกเป็นชุดยึดแม่เหล็กถาวรแรงสูงไว้ ในขณะที่ชุดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดขึ้นจากรอยความเสียหายได้แก่ เซนเซอร์ Unique-MFLชุดกรองและขยายสัญญาณ (Filter and Amplifier) เครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้าความละเอียดสูง และคอมพิวเตอร์บันทึกผล ดังรูปที่ 3



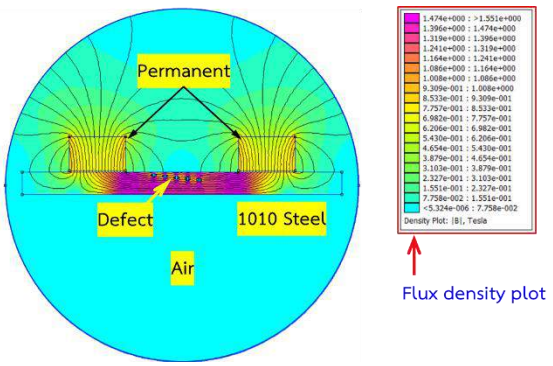
รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหล



รูปที่ 4 รอยบกพร่องเทียม



รูปที่ 5 ออกแบบโครงสร้างการกระจายของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

3.3 สร้างรอยบกพร่องเทียมบนพื้นผิวรางรถไฟ

จากการศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวรางรถไฟ ผู้วิจัยได้เตรียมสร้างรอยบกพร่องเทียม ได้แก่ ร่องบากตามขวาง (Transverse notch) ความลึกตั้งแต่ 2-8mm รูเจาะ (Circular hole) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6mm ความลึกตั้งแต่ 2-8mm และการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุม (Rectangular pits) ขนาด $25^{กว้าง}$x$20^{ยาว}$mm ความลึกตั้งแต่ 4-6mm มีลักษณะดังรูปที่ 4

3.4 วิเคราะห์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม

การจำลองความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์สนามแม่เหล็ก (Finite Element Method Magnetics: FEMM) เพื่อวิเคราะห์การกระจายของสนามแม่เหล็กเพียงพอหรือไม่ สำหรับการนำไปใช้การตรวจสอบรอยความเสียหายด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล โดยผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างจำลองประกอบด้วย แม่เหล็กถาวรทั้งหมด จำนวน 2 แท่ง ระยะห่างระหว่างแท่ง เท่ากับ 100mm ชิ้นงาน AISI เกรด 1010 ความหนา เท่ากับ 20mm รวมถึงจำลองความเสียในชิ้นงานความลึกตั้งแต่ 0.5-4mm ดังรูปที่ 5

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม

การจำลองการกระจายตัวความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเพียงพอหรือไม่ จะเห็นได้ว่าปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุด เท่ากับ 1.55 Tesla และความหนาแน่นสนามแม่เหล็กต่ำสุด เท่ากับ 5.32×10^{-6} Tesla ซึ่งวัสดุเหล็กเหนียวมีค่าจุดอิ่มตัวของสารแม่เหล็ก (saturation flux density) เท่ากับ 1.5 ดังนั้นความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของวัสดุต้องมากกว่าหรือเท่ากับ จึงจะเพียงพอต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 การทดลองสนามแม่เหล็กรั่วไหลภายใต้รอยความเสียหายความลึกตั้งแต่ 0.5-4mm บ่งชี้ว่า รอยความเสียหายความลึก 0.5mm พบว่า ปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีค่ามากสุด เท่ากับ 0.26 Tesla ขณะที่รอยความเสียหายความลึก ตั้งแต่ 1-4mm พบว่า

โดยรวมปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากรูปร่าง ตำแหน่ง ของรอยความเสียหายที่ส่งผลต่อการเกิดสนานแม่เหล็กรั่วไหลบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 7

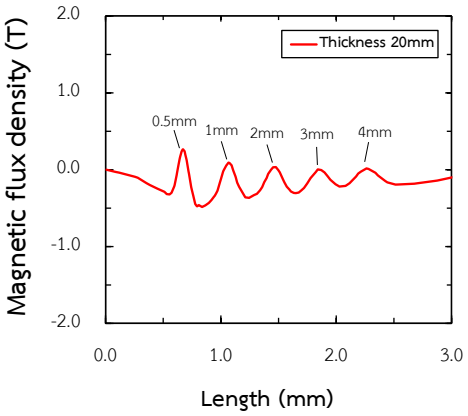
4.2 ผลทดลองการตรวจรอยบกพร่องเทียมบนพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล

1. ผลการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบร่องบากตามขวางตลอดแนวพื้นผิวรางรถไฟด้วยความเร็วเคลื่อนที่เซนเซอร์ 160mm/s บ่งชี้ว่า ลักษณะสัญญาณการตรวจสอบความลึกตั้งแต่ 6-8mm สามารถแยกแยะสัญญาณได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสัญญาณที่ไม่มีรอยบกพร่อง โดยสังเกตจากช่วงสัญญาณจุดสูงสุด-ต่ำสุด (Peak-to-Peak) ขณะที่ความลึก 4mm สามารถแยกแยะสัญญาณได้ค่อนข้างยาก แต่ที่ความลึก 2mm ไม่สามารถแยกแยะสัญญาณได้เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ไม่มีรอยบกพร่อง ซึ่งอาจเกิดมาจากระดับความลึกที่ส่งผลต่อการไหลผ่านเส้นแรงแม่เหล็กน้อยลง ดังรูปที่ 8

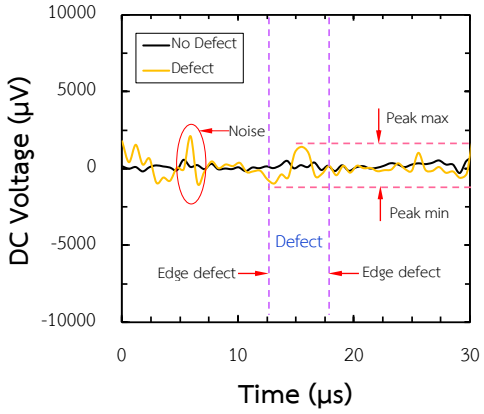
จากรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาจช่วงสัญญาจุดสูงสุด-ต่ำสุดของสนามแม่เหล็กรั่วไหลแล้วบันทึกผลทดลองทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง ดังตารางที่ 1 และทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบร่องบากตามขวางที่ความลึกแตกต่างกัน บ่งชี้ว่า ความลึก 8mm พบช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมากสุด เท่ากับ 2583.6μV ขณะที่ความลึกตั้งแต่ 4-6mm พบช่วงสัญญาณลดลงอย่างต่อเนื่องตามระดับความลึกลดลงจนถึงความลึก 2mm ไม่พบช่วงสัญญาณจุดสูงสุด-ต่ำสุดของสนามเหล็กรั่วไหลในระดับความลึกนี้ ดังรูปที่ 9

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบร่องบากตามขวาง

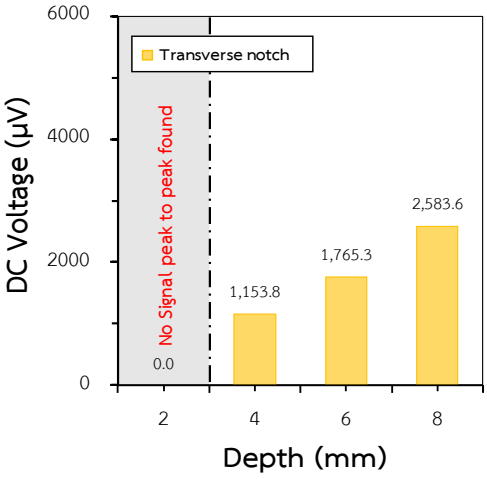
	ครั้งที่	ระดับความลึก (mm)			
		2	4	6	8
สัญญาณสูงสุด-ต่ำสุด (μV)	1	ไม่พบช่วงสัญญาณสูง-ต่ำสุด	1250.1	1697.6	2101.0
	2		1071.5	1829.4	2318.6
	3		1267.7	1654.6	2504.2
	4		1169.9	1957.5	3612.7
	5		1009.4	1687.3	2381.3
	ค่าเฉลี่ย		1153.8	1765.3	2583.6



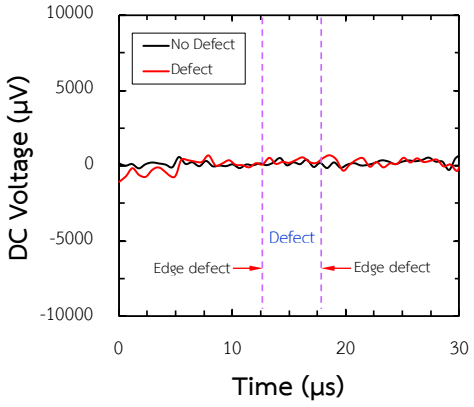
รูปที่ 7 ลักษณะสนามแม่เหล็กรั่วไหลจากการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FEMM



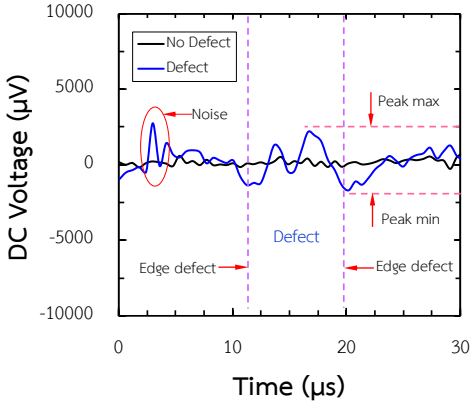
รูปที่ 8 ตัวอย่างสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลในการตรวจสอบร่องบากตามขวางที่ความลึก 8mm



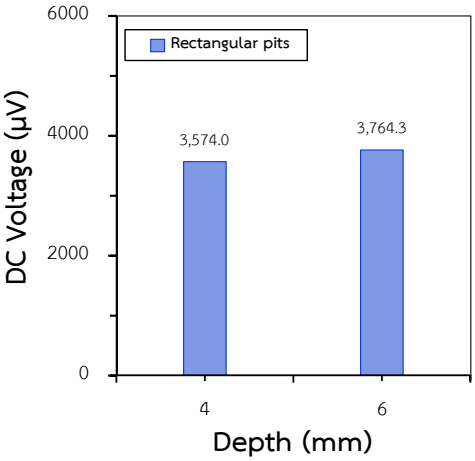
รูปที่ 9 เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบร่องบากตามขวางที่ความลึกแตกต่างกัน



รูปที่ 10 ตัวอย่างสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลในการตรวจสอบรูเจาะที่ความลึก 8mm



รูปที่ 11 ตัวอย่างสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลในการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมที่ความลึก 6mm



รูปที่ 12 เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมที่ความลึกแตกต่างกัน

2. ผลการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบรูเจาะพื้นผิวรางรถไฟด้วยความเร็วเคลื่อนที่เซนเซอร์ 160mm/s บ่งชี้ว่า ลักษณะสัญญาณการตรวจสอบรูเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6mm ความลึกตั้งแต่ 2-8mm ไม่สามารถแยกแยะสัญญาณได้เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ไม่มีรอยบกพร่อง โดยสังเกตจากช่วงสัญญาณจุดสูงสุด-ต่ำสุด อาจเป็นเพราะรูปร่างและมิติขนาดรูเจาะ รวมถึงสัญญาณรบกวนมากเกินไปทำให้ไม่สามารถแยกแยะสัญญาณได้ ดังรูปที่ 10

3. ผลการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมพื้นผิวรางรถไฟด้วยความเร็วเคลื่อนที่เซนเซอร์ 160mm/s บ่งชี้ว่า ลักษณะสัญญาณการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมขนาด $25^{\text{กว้าง}}$x $20^{\text{ยาว}}$ mm ความลึกตั้งแต่ 4-6mm สามารถแยกแยะสัญญาณได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ไม่มีรอยบกพร่อง โดยสังเกตจากช่วงสัญญาณจุดสูงสุด-ต่ำสุด ดังรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 เมื่อพิจารณาช่วงสัญญาณจุดสูงสุด-ต่ำสุดของสนามแม่เหล็กรั่วไหลแล้วบันทึกผลทดลองทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง ดังตารางที่ 2 และทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุมที่ความลึกแตกต่างกัน บ่งชี้ว่าความลึก 6mm พบช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมากสุด เท่ากับ 3764.3μV และความลึก 4mm พบช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลลดลง เท่ากับ 3574.0μV จากขนาดความลึกและความยาวของรอยบกพร่องเทียมมีแนวโน้มเพิ่มความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากขึ้นส่งเสริมให้เกิดสนามแม่เหล็กรั่วไหลเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 12

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุม

	ครั้งที่	ระดับความลึก (mm)	
		4	6
สัญญาณสูงสุด-ต่ำสุด (μV)	1	3673.9	3399.7
	2	3398.6	3843.2
	3	3449.1	3787.0
	4	3361.3	3933.7
	5	3987.1	3857.7
	ค่าเฉลี่ย	3574.0	3764.3

5. สรุปผลทดลอง

การออกแบบและสร้างเครื่องมือชุดตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวรางรถไฟด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหลสามารถสรุปได้ดังนี้

1.การจำลองวิเคราะห์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม FEMM บ่งชี้ถึงค่าการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กเพียงพอ สำหรับการนำไปใช้การตรวจสอบรอยความเสียหายด้วยวิธีสนามแม่เหล็กรั่วไหล นอกจากนี้ยังบ่งชี้ว่า รอยความเสียหายความลึก 0.5mm ตอบสนองต่อการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กมากสุด เนื่องจากปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านรูปร่างและตำแหน่งรอยความเสียหายมากขึ้นนั้นเอง

2. ความสามารถในการตรวจสอบหาร่องบากตามขวางที่ความลึก 8 mm บ่งชี้ว่า ช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมากสุด เท่ากับ 2583.6 μV ในขณะความลึกตั้งแต่ 2-6mm ช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลมีแนวโน้มลดลง ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ [7], [8] เมื่อระดับความลึกของรอยแตกตามขวางบนพื้นผิวรางรถไฟมากขึ้นส่งผลต่อปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กการรั่วไหลมากขึ้น

3.ความสามารถในการตรวจสอบรูเจาะ บ่งชี้ว่า ไม่สามารถตวรจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลได้ อาจมาจากเซนเซอร์มีความไวในการตรวจจับช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กรั่วไหลต่ำ และขนาดรูปร่างมิติขรูเจาะ รวมถึงสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้ามากเกินไป

4. ความสามารถในการตรวจสอบการสูญเสียเนื้อโลหะแบบหลุม บ่งชี้ว่า ขนาดความลึกและความยาวส่งเสริมให้เกิดสนามแม่เหล็กรั่วไหลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยอื่นๆ [5], [7], [8]

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และขอขอบคุณอาจารย์ และนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เอกรัช ศรีอาระยันพงษ์, “รถไฟทางคู่วิ่งไปตามราง สู่เส้นทางอนาคต”, วารสารรถไฟสัมพันธ์, 3: (2022), หน้า 1-5.

[2] กรมการขนส่งทางราง, มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ, ข้อมูลจาก https://www.drt.go.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2567)

[3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, “คู่มือการบำรุงรักษา โครงสร้างทางรถไฟ”, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), กรุงเทพมหานคร: 2561, หน้า 2-1.

[4] อาษา ประทีบเสน, “การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและงานวิจัย”, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2554), หน้า 237 – 268.

[5] Changsheng Zhang, Jinpeng Bi, Yuexia Lv, Mengli Li, Yongying Qi, Kai Zhou, Ming Zhang, and Tingting Du, “Numerical analysis and experimental research on detection of welding defects in pipelines based on magnetic flux leakage”, Petroleum Research, Vol.8, Issue 4, (2023), pp. 550-560.

[6] Jianbo Wu, Wenqiang Wu, Erlong Li and Yihua Kang, “Magnetic Flux Leakage Course of Inner Defects and Its Detectable Depth”, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol.34, No. 8, (2021), pp. 1-11

[7] Yi Wang, Yuhui Wang, Ping Wang, Kailun Ji, Jun Wang, Jie Yang, and Yuan Shu, “Rail Magnetic Flux Leakage Detection and Data Analysis Based on Double-Track Flaw Detection Vehicle”, processes, Vol.11, Issue 1024, (2023), pp. 1-13

[8] A.G. Antipov, and A.A. Markov, “Evaluation of Transverse Cracks Detection Depth in MFL Rail NDT”, Russian Journal of

Nondestructive Testing, Vol.50 , No. 8, (2014), pp. 57–68.

[9] รภัสสิทธิ์ มัดธนู, เชิดพงษ์ จอมเดช, และ บวรโชค ผู้พัฒน์ “การศึกษาและพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบความเสียหายของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวโดยอาศัยการตรวจจับสนามแม่เหล็กรั่วไหล”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, 4-26 พฤษภาคม 2566 จ.ภูเก็ต, (2566), หน้า MAT 03-1 – MAT 03-10.

การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

Conceptual Furniture Product Design of Bed for the Elderly by Using Quality Function Deployment Techniques

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1*] อภิชล ทองมั่ง กำเนิดวั้ำ[1] ธยา ภิรมย์[1] ชินราช สุทธิธรรม[1] และ อนุรักษ์ หมัดชำนาญ[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th*

Surasit Rawangwong[1*] Apichon Thongmung Kamnerdwam[1] Thaya Pirom[1] Chinnarach Sutthitham[1] and Anurak Madchamnan[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายได้ การวิจัยเริ่มจากการสำรวจความต้องการของผู้สูงอายุในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย รูปแบบ วัสดุ ระบบอัจฉริยะ การใช้งาน คุณภาพ และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ ผลการวิจัยพบว่าแบบร่างผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้ โดยมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ย เท่ากับ 4.39 คะแนนเต็ม 5.00 คุณลักษณะที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ความสามารถในการปรับระดับเตียง (4.46) ขนาดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ (4.43) การใช้วัสดุที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง (4.42) การมีอุปกรณ์เสริมเพื่อการใช้งาน (4.41) และวัสดุห่อหุ้มเพื่อป้องกันการกระแทกบริเวณมุมต่าง ๆ ของเตียง (4.41) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของการนำเทคนิค QFD มาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นผู้ใช้งานเป็นศูนย์กลางในกลุ่มประชากรสูงวัย

คำสำคัญ: การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เตียงนอน ผู้สูงอายุ

Abstract

This study aims to design a conceptual furniture product, specifically a bed tailored for the elderly, by applying the Quality Function Deployment (QFD) technique to address the needs of the target user group effectively. The research began with a survey to identify key user requirements from elderly individuals, covering aspects such as design, materials, smart features, usability, and overall quality. The data collected were analyzed using the Product Planning and Design Deployment Matrix. The findings indicate that the developed product successfully meets user expectations, achieving an average satisfaction score of 4.39 out of full score 5. The top five most highly rated features include: adjustable bed height (4.46), appropriate size for elderly users (4.43), use of reinforced structural materials (4.42), additional assistive accessories (4.41), and protective cushioning on bed corners (4.41). These results demonstrate the effectiveness of using QFD in designing user-centered products for the elderly population.

Keywords: Quality Function Deployment, Bed, Elderly

1. บทนำ

การสูงวัยของประชากรเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทั่วโลก ส่งผลให้จำนวนและสัดส่วนของประชากรสูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2565 ทั่วโลกมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป ถึง 1,109 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 14 ของประชากรทั้งหมด ส่วนในประเทศไทย มีประชากรสูงอายุ 13 ล้านคน หรือร้อยละ 19 ของประชากรทั้งหมด คาดว่าในปี พ.ศ. 2585 จำนวนประชากรสูงอายุจะเพิ่มขึ้นเป็น 18.9 ล้านคน หรือร้อยละ 31.44 ของประชากรทั้งหมด [1] ดังนั้นปัจจุบันการให้ความสำคัญกับสิ่งของเครื่องใช้ของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สูงอายุมากขึ้น ซึ่งเฟอร์นิเจอร์นับเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ เนื่องจากกลุ่มผู้สูงอายุเป็นวัยที่ควรนอนพักผ่อนวันละ 7-9 ชั่วโมง จะทำร่างกายมีการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการมีสุขภาพที่ดี [2] ทางผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยสำรวจเสียงเรียกร้องและความพึงพอใจของกลุ่มผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทเตียงนอน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบหลักในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ ซึ่งไม้ยางพาราส่วนใหญ่ถูกนำมาเป็นวัตถุดิบผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์และผลิตภัณฑ์ไม้อื่น ๆ เพื่อใช้ในประเทศและเพื่อการส่งออกและเพื่อให้ตอบโจทย์ความต้องการผู้บริโภค [3]

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาช่วยในการในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อตอบสนองต่อกลุ่มผู้ใช้งานที่ตรงต่อความต้องการ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ จำนวน 2 เมทริกซ์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

2.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

2.1.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้า

เพื่อหาเสียงของลูกค้า (VOC) เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ โดยความต้องการเหล่านี้ทางผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสำรวจแบบสอบถามแบบปลายเปิดในรูปแบบ On-site และ Online จำนวน 250 ชุด ซึ่งใช้การสัมภาษณ์พูดคุย และการทำแบบสอบถาม จากนั้นนำเสียงความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วทำการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพ ได้แก่ แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree diagrams) มาช่วยในการจัดการเพื่อให้เห็นคุณลักษณะที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นสร้างแบบสอบถามที่ 2 เพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

2.1.2 การวิเคราะห์คะแนนความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

เป็นการหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม เนื่องจากข้อมูลแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการเลือกให้ระดับคะแนน (Rating) ผู้วิจัยจึงใช้การหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean)

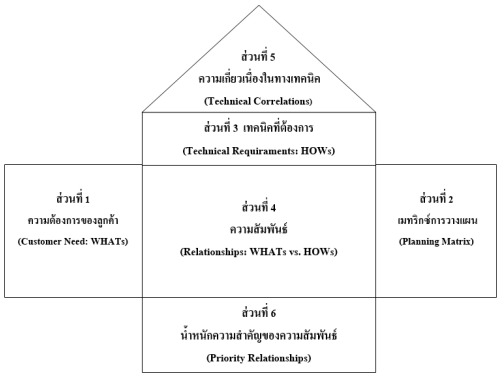
2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

หลังจากที่ได้มีการจัดเตรียมข้อมูลที่จะนำมาใช้ที่ได้มาจากการเก็บแบบสอบถามและและค่าเฉลี่ยเรขาคณิต IMP เพื่อนำเข้าสู่บ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

2.2.1 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

ในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality) ดังรูปที่

1 ซึ่งประกอบด้วย เมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้า มาแปลงหน้าที่เป็นตัววัดผลงาน ซึ่งเป็นตัวแทนคุณลักษณะทางด้านคุณภาพ (SQCs) ที่แสดงออกมาในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement) หลังจากได้ SQCs แล้วต่อไปทำการคำนวณหาค่าเป้าหมาย และอัตราของการปรับปรุงอยู่ที่ตำแหน่งใด จากนั้นจะคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงาน ซึ่งทั้ง SQCs และค่าความสำคัญของตัววัดผลงานจะนำไปใช้ต่อในเมทริกซ์ที่สอง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน

2.2.2 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

เป็นส่วนการกระจายหรือแยกส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เราพิจารณาโดยจะพิจารณาถึงส่วนประกอบย่อยที่สามารถตอบสนองต่อเทคนิคที่นำมาใช้ที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical requirement) ในการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ มาแปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้

2) นำค่า IMP มาใส่ในเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part characteristics) โดยในการกำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยจะได้มาจากการระดมสมองช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้า

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) ซึ่งจะทำการให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบในขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) จะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์โดยประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย คือ 1) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์ (Absolute part characteristics important) และ 2) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรียบเทียบ (Relative part characteristics important)

2.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์เตียงนอน

ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลและสรุปผลในส่วนของ QFD ที่ได้มา ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบส่งต่อให้กับนักออกแบบ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่ช่วยให้นักออกแบบมีข้อมูลสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เตียงนอน

2.4 การประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์

เป็นการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

เป็นการสำรวจความต้องการของลูกค้า ประกอบด้วยผู้ผลิต และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราด้วยการสร้างแบบสอบถาม โดยการหาขนาดกลุ่มตัวอย่างได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 250 คน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ชาย ร้อยละ 50.80 ผู้หญิง ร้อยละ 49.20 และอายุสูงสุดอยู่ในช่วง 55-59 ปี ผลจากการสร้างแบบสอบถาม หลังจากที่ได้ทำการจัดเรียงถ้อยคำความต้องการของลูกค้าแล้วจากนั้นทำการจัดกลุ่มคำความต้องการให้เป็นหมวดหมู่ โดยใช้แผนผังเชื่อมโยง

และสามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ รูปแบบ วัสดุ ระบบอัจฉริยะ การใช้งาน คุณภาพ และอื่น ๆ ได้ความต้องการของลูกค้าทั้งหมด 19 ความต้องการ จากนั้นนำความต้องการของลูกค้าที่ผ่านการวิเคราะห์รวมความต้องการที่คล้ายกันหรือซ้ำซ้อนกันมาจัดทำแบบสอบถาม เพื่อสำรวจระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

3.2 ผลการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

3.2.1 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

1) ความต้องการของลูกค้า (Customer need) การนำความต้องการของลูกค้าจากทั้ง 6 กลุ่มหลัก จำนวน 19 ความต้องการใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 2

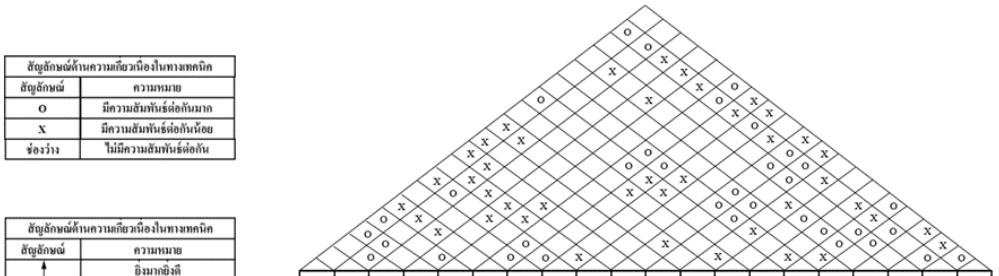
2) การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning matrix) หลังจากที่ได้ความต้องการจากลูกค้าแล้วจะนำค่า IMP ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าของแต่ละความต้องการ ทางด้านซ้ายของบ้านคุณภาพ จะเห็นได้ว่าความต้องการของลูกค้าได้ให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ด้านรูปแบบ เป็นส่วนของเรื่องขนาดเหมาะสม (4.62 คะแนน จาก 5 คะแนน)

3) ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical requirement) เป็นเทคนิคที่ได้จากการระดมสมองของทีมผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญ ตลอดจนฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ช่วยกันวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อหาเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการแต่ละความต้องการของลูกค้าได้ จากนั้นทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิค โดยได้พยายามกำหนดให้เป็นค่าที่สามารถวัดได้ นอกจากนี้จะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุง ซึ่งสามารถกำหนดทางเทคนิคได้ทั้งหมด 20 ข้อกำหนด

4) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ 1 ความต้องการของลูกค้า และส่วนที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิคของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะให้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการให้คะแนนในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่โดยการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญ ดังรูปที่ 2

5) ความเกี่ยวเนื่องทางเทคนิค (Technical correlation) จะระดมสมองของฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 2

6) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) พบว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ มีข้อกำหนดทางเทคนิคซึ่งผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุดเรียงตามลำดับดังนี้ 1) ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย เป็นระบบที่ใช้ AI, IoT ในการตรวจจับหรือวิเคราะห์พฤติกรรมที่เป็นภัยต่อผู้ใช้งาน 2) สมรรถนะของระบบอัจฉริยะ ความสามารถของระบบเทคโนโลยีอัจฉริยะ ที่มีความแม่นยำในการทำงาน 3) ราคา มีราคาเหมาะสมกับวัสดุและระบบต่างของผลิตภัณฑ์ 4) วัสดุคุณภาพ ใช้ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบแห้งและเคลือบน้ำยาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของไม้ยางพารา 5) คุณภาพของงานประกอบ การประกอบแต่ละส่วนของผลิตภัณฑ์ต้องมีความแม่นยำและแข็งแรง 6) คุณภาพการติดตั้งระบบอัจฉริยะ ติดตั้งระบบอัจฉริยะโดยผู้เชียวชาญ เพื่อความแม่นยำของระบบอัจฉริยะ 7) ระบบอัจฉริยะเพื่อความสะดวก เป็นระบบที่ใช้ AI, IoT ที่มีระบบอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน 8) อายุการใช้งาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนานก่อนที่จะเสื่อมสภาพ 9) วัสดุหลักของผลิตภัณฑ์ ใช้ไม้ยางพาราเป็นวัสดุหลักของผลิตภัณฑ์ 10) วัสดุส่งเสริมความปลอดภัย มีวัสดุป้องการกระแทรกตามมุมต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการกระแทรกจากผู้ใช้งาน 11) ความสวยงาม มีการออกแบบที่สวยงามตามรสนิยมของกลุ่มลูกค้า เพื่อเพิ่มความประทับใจในการเลือกใช้งาน 12) อุปกรณ์เสริม มีการติดตั้งหรือเพิ่มอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มการใช้งานผลิตภัณฑ์ และ 13) การรับน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์สามารถรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้ผ่านการจัดเรียงลำดับแล้วมาทำการสร้างเมทริกซ์ที่ 2 คือเมทริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design deployment) ต่อไป



สัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความหมาย
o	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
ช่องว่าง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

สัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความหมาย
↑	ยิ่งมากยิ่งดี
○	เป้าหมายเหมาะสม
↓	ยิ่งน้อยยิ่งดี

ความต้องการของลูกค้า		No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	รวม
		ข้อกำหนดทางเทคนิค			รูปแบบ					วัสดุ				การใช้งาน				คุณภาพ					อื่นๆ		
				No.	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	B-19	B-20	
รูปแบบ	รูปทรงที่หลากหลาย	A-1	4.37	3	9		9	9			1						3			3				
	ขนาดเหมาะสม	A-2	4.62	9	3		3	9							1	3	3					3		
	ความสวยงาม	A-3	4.30		9	9	9	3	9		9				9					3		3		
	ความหลากหลายของโทนสี	A-4	4.28		9	9					3				3									
วัสดุ	การใช้วัสดุที่มีคุณภาพ	A-5	4.50		1				9	3	9	3	9	9			9	9	9	3		9	3	
	วัสดุทนทานต่อการกัดกินของแมลง	A-6	4.38		1				9	9	9	9					3	9					3	
	ใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	A-7	4.10		9				9	3	9													
การใช้งาน	จำนวนผู้ใช้งานเตียงนอน	A-8	4.12	9			9	3						9		1						3		
	ง่ายต่อการบำรุงรักษา	A-9	4.36				1	1							3	9								
	มีอุปกรณ์เสริมช่วยในการอำนวยความสะดวก	A-10	4.41		1		3	3				3		9	9					9		9	3	
ระบบอัจฉริยะ	เตียงนอนอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย	A-11	4.55				3						3	9	1			3	9		9	9	3	
	เตียงนอนอัจฉริยะเพื่อความสะดวก	A-12	4.50	3			1						9	3	1	1			9		9	9	3	
	ประสิทธิภาพของระบบอัจฉริยะ	A-13	4.52									9	9	9				9	9		9	9	3	
คุณภาพ	คุณภาพผลิตภัณฑ์	A-14	4.53					3	9	3	9	9	3	9	3	1	9	9	9	9	9	9	3	
	การรับน้ำหนักของผู้ใช้	A-15	4.43	9				9	3								9	1	3	9				
	อายุการใช้งานที่ยาวนาน	A-16	4.56						9	9	3	3	3	3	3	3	1	9	9	9		3	3	
	ความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	A-17	4.48						9	1		9	9	9	3			3	9	9	9	3	3	
อื่นๆ	ราคาที่เหมาะสม	A-18	4.40	3	9	1	3	3	9	1	9	9	9	9	3	3	9	9	9	9	9	9	3	
	มีการบริการหลังการขาย	A-19	4.34									3	9	9	9				9	9	9	3	9	
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				17	11	20	15	14	4	18	9	10	7	1	12	19	13	8	2	5	6	3	16	
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				158.34	220.20	81.62	177.91	190.42	330.54	128.73	266.78	254.22	281.58	385.83	210.95	93.13	205.41	273.53	376.71	319.86	281.88	361.95	173.55	4773.14
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ				3.32	4.61	1.71	3.73	3.99	6.93	2.70	5.59	5.33	5.90	8.08	4.42	1.95	4.30	5.73	7.89	6.70	5.91	7.58	3.64	100.00
เป้าหมายทางด้านเทคนิค				ออกแบบสำหรับผู้ใช้งาน 1 คน	กลุ่มผู้ลูกค้าให้คลิกถึงผู้ใช้งานความมากกว่า 80% และง่ายสบาย	มีสีให้เลือกมากกว่า 1 สี	มีให้เลือกมากกว่า 1 รูปทรง	เหมาะสมมาตรีการการศึกษา	ใช้ได้นานการที่ผ่านการรองแห้งและคลื่อนย้ายได้มากกว่า 5 ปี	วัสดุสามารถป้องกันแมลงได้นานกว่า 5 ปี	ใช้ได้นานการเป็นวัสดุจักรของผลิตภัณฑ์	ใช้วัสดุสำหรับป้องกันการกระแทก	ระบบอัจฉริยะมีความหลากหลายในการใช้งาน	ระบบอัจฉริยะที่คุณความปลอดภัยของผู้ใช้งาน	มีอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มความสะดวกสบาย	ไม่มีของที่อยู่ที่ทำความสะอาดยาก	สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าน้ำหนักตรงกันไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม	อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี	ระบบมีความแม่นยำ รวดเร็วและมีความเสถียรภาพ	ไม่มีคุณภาพของในงานประกอบ	คิดตั้งและทดสอบโดยผู้ชำนาญที่ผ่านการรับรอง	ราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพและวัสดุที่ใช้	มีการรับประกัน 1 ปีหลังการขาย	

รูปที่ 2 เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

3.2.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

1) การเลือกข้อกำหนดทางเทคนิค และค่า IMP ที่นำมาใช้ ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิค และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนด ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิค และค่า IMP ทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ ดังรูปที่ 3

ความต้องการของลูกค้า	No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
			○	○	○	○	↑	↑	○	○	○	↑	○	↑	↑	↑	↑	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑	
			การตรวจจับวัตถุและบุคคล	ไฟนำทางอัตโนมัติ	การตัดไฟอัตโนมัติเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร	ราคาของชิ้นส่วน	คุณภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง	คุณภาพของชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะ	การติดตั้งและการประกอบแต่ละชิ้นส่วน	การปรับระดับเตียง	การควบคุมด้วยเสียง	อายุการใช้งานของชิ้นส่วน	วัสดุของหลักของโครงสร้าง	วัสดุท่อรับการปิดกันการกระแทกที่มุม	วัสดุหุ้มเบาะ	วัสดุเรียงความสะดวกการใช้งาน	วัสดุเรียงโครงสร้าง	ขนาดของชิ้นส่วน	ความหลากหลายของรูปทรง	ชิ้นส่วนอะไหล่ที่สามารถเปลี่ยนได้	ชิ้นส่วนที่ต้องมีความปลอดภัย	การติดตั้งสายไฟ	การติดตั้งแบบไม่ต้องใช้เครื่องมือในการติดตั้ง	การจัดความสะดวก	ใช้ของชิ้นส่วน	
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	C-19	C-20	C-21	C-22	C-23	
ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย	B-11	8.08	9	9	9	3	1	9	3	1		9						1		3	3	3				
สมรรถนะของระบบอัจฉริยะ	B-16	7.89	9	3	9	3		9	3	9	9	9								3	3	1				
ราคา	B-19	7.58	9	9	9	9	3	9	3	3	9	3	3	3	3	3	3	1	3	9	3	1	3	1	3	
วัสดุคุณภาพ	B-6	6.93	9	9	9	9	9	9	3	3	9	3	9	9	3	3	9	1		3	9	3	3		3	
คุณภาพของงานประกอบ	B-17	6.70	3	9	9	3	9	3	9	3		9	3	9	1	9	3			1	9	9				
คุณภาพการติดตั้งระบบอัจฉริยะ	B-18	5.91	9	9	9	3		1	9	3	9	3										9				
ระบบอัจฉริยะเพื่อความสะดวก	B-10	5.90		9		3		3	1	9	9	1														
อายุการใช้งาน	B-15	5.73	3	9	9		9	9	9	9	3	9	9		1	9	3			3	1	9	3	1	3	
วัสดุหลักของผลิตภัณฑ์	B-8	5.59				3	9						9				9		1				9			
วัสดุส่งเสริมความปลอดภัย	B-9	5.33		3	9	3			9					9		9	3				9					
ความสวยงาม	B-2	4.61				3							3		9				3			3	3		3	
อุปกรณ์เสริม	B-12	4.42	9	9	9	9			3						9	9					1					
การรับน้ำหนัก	B-14	4.30					9		9	9		3	9				9	3								
ออกแบบตามหลักการยศาสตร์	B-5	3.99								9								3	1							
รูปทรง	B-4	3.73								3								1	9							
การบริการหลังการขาย	B-20	3.64	9	9	9						9									9						
จำนวนผู้ใช้	B-1	3.32								3									1							
วัสดุป้องกันแมลง	B-7	2.70					3					3	3								9		9			
การดูแลรักษา	B-13	1.95										3										0		9		
สีสัน	B-3	1.71				3						1	3		3										9	
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			3	2	1	9	10	4	5	6	7	8	12	17	19	14	15	23	21	16	11	13	18	22	20	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			437.34	533.67	559.89	325.53	302.17	369.60	362.33	360.88	357.84	345.47	272.85	193.38	142.36	243.15	227.40	51.19	83.04	193.57	275.74	245.76	187.66	65.64	113.05	5637.40
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ			7.76	9.47	9.93	5.77	5.36	6.56	6.43	6.40	6.35	6.13	4.84	3.43	2.53	4.31	4.03	0.91	1.47	3.43	4.89	4.36	3.33	1.16	2.01	100.00
เป้าหมายทางด้านเทคนิค			ติดตั้งเซนเซอร์ที่โครงสร้างเพื่อตรวจจับการเคลื่อนและการสัมผัสกับวัตถุ	ติดตั้งไฟที่สามารถเปิดเองได้เมื่อผู้ใช้งานลุกจากเตียงในเวลากลางคืน	ติดตั้งระบบตัดไฟที่จะตัดไม่เมื่อมีการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรหรือไฟที่เกินขนาด	ทำการตรวจสอบและเลือกชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ	เลือกใช้วัสดุของการที่ผ่านการทดสอบและมีมาตรฐาน	ใช้ชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน	ใช้การติดตั้งและการประกอบที่มีความแข็งแรงและความมั่นคงของชิ้นส่วนไม่เกินจำเป็น	ระบบสามารถปรับระดับความสูงได้หลายระดับ	สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว	ตรวจสอบการใช้งานไม่น้อยกว่า 10 ปี	วัสดุหลักเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง	ชิ้นส่วนไม่มีขอบคมหรือมุมที่เป็นอันตรายและมีการทดสอบความแข็งแรงก่อนการใช้งาน	มีการใช้วัสดุของหุ้มที่ทนทานและมีการทดสอบความแข็งแรงก่อนการใช้งาน	ออกแบบชิ้นส่วนที่สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบและมีการทดสอบความแข็งแรงก่อนการใช้งาน	ใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีการทดสอบความแข็งแรงก่อนการใช้งาน	มีขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานและมีการทดสอบความแข็งแรงก่อนการใช้งาน	มีการทดสอบความแข็งแรงและความปลอดภัยก่อนการใช้งาน	มีอะไหล่ทดแทนสำหรับชิ้นส่วนที่สึกหรอได้ง่าย	มีการตรวจสอบความแข็งแรงและความปลอดภัยก่อนการใช้งาน	ออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกสบาย	ปรับระดับความสูงได้หลายระดับ	โครงสร้างมีความแข็งแรงและทนทาน	ชิ้นส่วนที่ต้องมีการรับผิดชอบได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด	

รูปที่ 3 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบของผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

2) ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part characteristics) เป็นข้อกำหนดที่ได้จากการ ระดมสมองของทีมงานวิจัยและฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องช่วยกันในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อหาข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่จะสามารถทำให้ตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิคที่ส่งผลไปยังความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถกำหนดข้อกำหนดของ ส่วนประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด 23 ข้อกำหนด

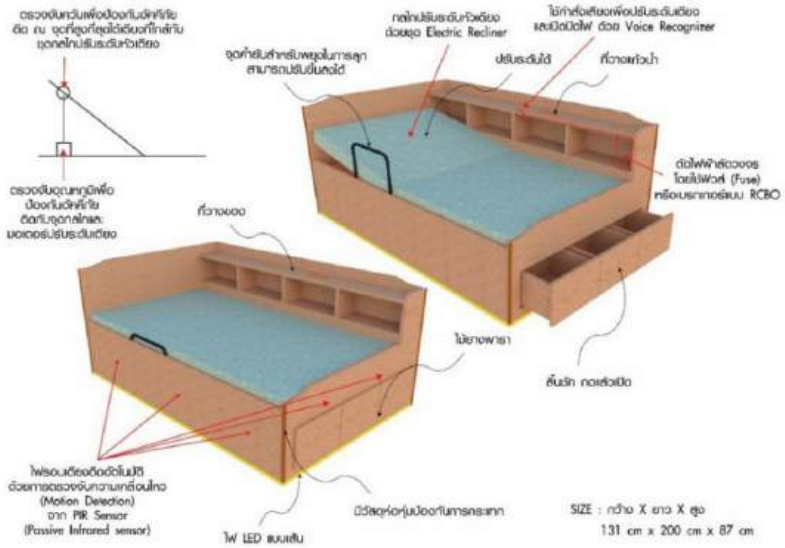
3) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่าง และข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบโดยจะได้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 3 ซึ่งในการให้คะแนนในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่โดยการใช้การระดมสมอง ของผู้ทำวิจัยและฝ่ายทางเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) พบว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยมีข้อกำหนดทางเทคนิคซึ่งผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญ โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุดเรียงตามลำดับดังนี้ 1) การตัดไฟอัตโนมัติเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร มีระบบตัดไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรหรือไฟฟ้าเกินขนาดเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานผลิตภัณฑ์ 2) ไฟนำทางฉุกเฉินอัตโนมัติ มีระบบไฟที่สามารถเปิดเองได้เมื่อผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์ลุกจากเตียงในเวลากลางคืนเพื่อเพิ่มขอบเขตการมองเห็นของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ในเวลากลางคืน 3) การตรวจจับควันและอุณหภูมิ มีระบบเซนเซอร์เพื่อตรวจจับความร้อนและควันเพื่อป้องกันเหตุฉุกเฉินที่ไม่คาดคิด 4) คุณภาพของชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะ ใช้ชิ้นส่วนที่ได้รับมาตรฐานรองรับความปลอดภัยในการใช้งาน 5) การติดตั้งและการประกอบแต่ละชิ้นส่วน ใช้ผู้เชียวชาญในการประกอบ

แต่ละชิ้นเพื่อความแม่นยำ และแข็งของผลิตภัณฑ์ 6) การปรับระดับเตียง เตียงสามารถปรับระดับความและความเอียงได้ตามความเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้งาน 7) การควบคุมผ่านเสียง มีระบบที่สามารถสั่งการการใช้งานต่าง ๆ ได้ด้วยเสียงเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานผลิตภัณฑ์ 8) อายุการใช้งานของชิ้นส่วน แต่ละชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์สามารถคงสภาพการใช้งานได้ยาวนาน 9) ราคาของชิ้นส่วน ราคาแต่ละชิ้นส่วนขึ้นกับวัสดุที่ใช้และขนาดผลิตภัณฑ์ 10) อันดับสิบ คุณภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ใช้ต้องมีมาตรฐานด้านความแข็งแรง 11) ชิ้นส่วนเพื่อเพิ่มความปลอดภัย มีชิ้นส่วนที่เพิ่มความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันผลิตเสื่อมสภาพก่อนหมดอายุการใช้งาน 12) วัสดุของหลักของโครงสร้าง โครงสร้างที่ใช้เป็นไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการอบ และมีวัสดุอื่น ๆ เพื่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง 13) การจัดเก็บสายไฟ ออกแบบเพื่อให้มีพื้นที่ในการจัดเก็บสายไฟที่มิดชิดและปลอดภัยเพื่อป้องกันหนูหรือแมลงมาทำลายสายไฟ และ 14) วัสดุเสริมความสะดวกการใช้งาน มีวัสดุที่สามารถเพิ่มความสะดวกในการใช้งานผลิตภัณฑ์ จากนั้นจะนำข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่ได้ผ่านการจัดเรียงลำดับแล้วมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.3 แบบร่างผลิตภัณฑ์เตียงนอนเชิงแนวคิด

การวิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนของการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับการออกแบบ ส่งต่อให้กับทีมงานนักออกแบบเพื่อสร้างภาพแบบร่างผลิตภัณฑ์เตียงนอน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบร่างผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุ

3.4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์

หลังจากได้การออกแบบผลิตภัณฑ์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุแล้ว จากนั้นนำแบบร่างของผลิตภัณฑ์ไปสำรวจความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามการสำรวจความพึงใจเพื่อให้กลุ่มลูกค้าหรือผู้สูงอายุกลุ่มเป้าหมายประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าประเด็นความต้องการที่ลูกค้าให้ความสำคัญและมีความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ ระบบอัจฉริยะเพื่อความสะดวก เช่น ไฟที่สามารถเปิดเองได้เมื่อผู้สูงอายุลุกจากเตียง สามารถสั่งการฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ ได้ด้วยเสียง (4.50) อันดับสอง มีวัสดุห่อหุ้มสำหรับป้องกันการกระแทกตามมุมต่าง ๆ (4.48) อันดับสาม ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย เช่น ระบบตัดไฟฟ้าอัตโนมัติ ระบบตรวจจับควันและอุณหภูมิ (4.47) อันดับสี่ การประกอบมั่นคง แข็งแรง (4.46) และอันดับห้า ใช้ไม้ยาพาราที่

มีคุณภาพ ผ่านกระบวนการอบแห้งและเคลือบน้ำยา (4.46)

4. อภิปรายผล

การออกแบบเฟอร์นิเจอร์เตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุเชิงแนวคิดโดยประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ผลจากการวิจัยพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของสุรสิทธิ์ และคณะ [4] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค QFD สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระจูดประเภทกระเป๋า พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบมีลักษณะที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD พบว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรสิทธิ์ และคณะ [5] ที่ได้ออกแบบผลิตภัณฑ์โซฟาจากไม้ไผ่โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับวิศวกรรมคันเซโดยผลการออกแบบผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์รูปใหม่ สามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้เช่นเดียวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธยา และคณะ [6] ได้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

5. สรุป

การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดประเภทเตียงนอนสำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD 2 เมทริกซ์ ได้แก่ เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจะนำคุณลักษณะเหล่านั้นมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ และสำรวจความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 4.30 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจที่ดี โดยคุณลักษณะที่ลูกค้ามีความพึงพอใจสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความสามารถในการปรับระดับเตียง (4.46) ขนาดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ (4.43) และการใช้วัสดุที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง (4.42)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2567

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมกิจการผู้สูงอายุ (2566). สถานการณ์ผู้สูงอายุในไทย พ.ศ. 2565 กรุงเทพฯ บริษัท อมรินทร์ คอร์เปอเรชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

[2] นันท์นลิน บรรจโรจน์. (2566). การพัฒนากระบวนการดูแลผู้สูงอายุติดเตียงในยุคโควิด-19 โดยผู้จัดการ ระบบการดูแลผู้สูงอายุและผู้ดูแลผู้สูงอายุร่วมกับชุมชน ตำบลบัวคำ อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดร้อยเอ็ด. *วารสารสุขภาพและสิ่งแวดล้อมศึกษา, 8*(3), 616-625.

[3] ศรายุ แสงสุวรรณ, ยุวัฒน์ วุฒิเมธี, และทรงกลด จารุสมบัติ. (2562). การพัฒนาอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเพื่อการส่งออกของประเทศไทย. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี, 13*(3), 77-84.

[4] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, วรรธนพร ชีววุฒิพงศ์, ธยา ภิรมย์, และอภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ. (2565). การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์กระจูดประเภทกระเป๋า. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 14*(3), 633-649.

[5] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล, ชาตรี หอมเขียว, และอภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ. (2565). การออกแบบผลิตภัณฑ์โซฟาจากไม้ไผ่โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลง หน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับวิศวกรรมคันเซ. *วารสารลาดกระบัง, 39*(3), หน้า 12-28.

[6] ธยา ภิรมย์, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, อภิรัตน์ดา ทองแกมแก้ว, และฉารีฝ๊ะ หัดยี. (2562). การออกแบบและ พัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 15*(3), 76-92.

การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

Conceptual Product Design of Bedside Cabinet for the Elderly by Using Quality Function Deployment

อภิชล ทองมั่ง กำเนิดวั้ำ[1] ธยา ภิรมย์[1] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1*] พิชญ์ชนน จันทนา[1] และ รัชชานนท์ บุญธาราวงศ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th*

Apichon Thongmung Kamnerdwam[1] Thaya Pirom[1] Surasit Rawangwong[1*] Pichanon Jantana[1]
and Ratchanon Buntarawong[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการสำรวจความต้องการของผู้สูงอายุในหลากหลายด้าน ได้แก่ รูปลักษณ์ วัสดุ ฟังก์ชันการใช้งาน ระบบอัจฉริยะ คุณภาพ และราคา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับดี โดยมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 จากคะแนนเต็ม 5.00 โดยคุณลักษณะที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (4.91) อายุการใช้งาน (4.86) ความเหมาะสมของราคา (4.77) ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ (4.73) และระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย (4.68)

คำสำคัญ: การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เฟอร์นิเจอร์ ตู้ข้างเตียง ผู้สูงอายุ

Abstract

This study aims to design a conceptual furniture product, specifically a bedside cabinet for the elderly, by applying the Quality Function Deployment (QFD) technique to develop a product that effectively meets the needs of the target user group. The research process began with a survey to identify user requirements across various dimensions, including appearance, materials, functionality, smart systems, quality, and price. The collected data were analyzed using the Product Planning Matrix and the Design Deployment Matrix. The findings reflect the suitability of employing QFD in the design process of elderly-oriented furniture, yielding an average user satisfaction score of 4.37 out of 5.00. The five most highly rated product attributes were: structural strength (4.91), product lifespan (4.86), price appropriateness (4.77), smart system functionality (4.73), and safety-enhancing smart features (4.68).

Keywords: Quality Function Deployment, Furniture, Bedside Cabinet, Elderly

1. บทนำ

จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2565 ประชากรโลกมีทั้งหมด 8,000 ล้านคน มีผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปเป็นจำนวน 1,109 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 13.90 ของประชากรทั้งหมด ซึ่งสหประชาชาติคาดประมาณว่าอีก 20 ปีข้างหน้า 1 ใน 5 ของประชากรโลกจะเป็นผู้สูงอายุ เรียกได้ว่าเป็น “สังคมสูงวัย” [1] จากแนวโน้มการมีอายุมากขึ้นส่งผลให้ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมถอย ซึ่งทำให้ความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันลดลง อีกทั้งผู้สูงอายุยังมีความบกพร่องทางกาย การเอื้อมหยิบสิ่งของที่อยู่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะทำให้ผู้สูงอายุสูญเสียการทรงตัวได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวการจัดสิ่งของให้อยู่ในระยะหยิบได้โดยไม่โน้มตัวหรือโน้มตัวน้อยที่สุด สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการล้มในผู้สูงอายุได้ การหกล้มเป็นอุบัติเหตุที่สามารถป้องกันหรือหลีกเลี่ยงได้ แนวทางหนึ่งในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากการหกล้ม คือการเพิ่มประสิทธิภาพของเฟอร์นิเจอร์ให้เหมาะสมกับสัดส่วนของใช้งาน [2] ผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยสำรวจเสียงเรียกร้องและความพึงพอใจของกลุ่มผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ งานวิจัยนี้จะเลือกใช้ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบหลักในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากการผลิตยางธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบเฟอร์นิเจอร์ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าในนำใช้ไม้ยางพารามาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาช่วยในการในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยจะประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 2 เมทริกซ์ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

2.1.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้า

เพื่อหาเสียงของลูกค้า (Voice of customer; VOC) เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ โดยความต้องการเหล่านี้ทางผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสำรวจแบบสอบถามแบบปลายเปิดในรูปแบบ On-site และ Online จำนวน 250 ชุด ซึ่งใช้การสัมภาษณ์ พูดคุย และการทำแบบสอบถาม จากนั้นนำเสียงความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วทำการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพ ได้แก่ แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree diagrams) มาช่วยในการจัดการเพื่อให้เห็นคุณลักษณะที่ชัดเจนยิ่งขึ้น หลังจากนั้นทำการสร้างแบบสอบถามขึ้นชุดที่ 2 ทำการประเมินแบบสอบถามในรูปแบบ On-site และ Online จำนวน 250 ชุด เพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

2.1.2 การวิเคราะห์คะแนนความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

การหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม เนื่องจากข้อมูลแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการเลือกให้ระดับคะแนน จากข้อมูลที่ได้รับทางผู้วิจัยจึงใช้การหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

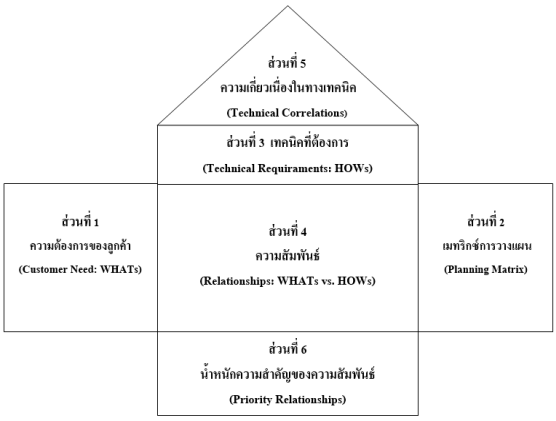
2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

หลังจากที่ได้มีการจัดเตรียมข้อมูลที่จะนำมาใช้ที่ได้มาจากการเก็บแบบสอบถามและและค่าเฉลี่ยเรขาคณิต IMP เพื่อนำเข้าสู่บ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

2.2.1 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

ในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) หรือบ้านคุณภาพ (HOQ) เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้า (VOC) แปลงหน้าที่เป็นตัววัดผลงาน ซึ่งเป็นตัวแทนคุณลักษณะทางด้านคุณภาพ (SQCs) ที่จะแสดงออกมาในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement) หลังจากได้ SQCs แล้วต่อไปทำการคำนวณหาค่าเป้าหมาย และอัตราของการปรับปรุงอยู่ที่ตำแหน่งใด จากนั้นจะคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงาน ซึ่งทั้ง SQCs และค่าความสำคัญของตัววัดผลงานจะนำไปใช้ต่อในเมทริกซ์ที่สอง ดังนั้นขั้นตอนใน

การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) จะเป็นการสร้างบ้านคุณภาพ (HOQ) ซึ่งจะประกอบด้วยเมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน แสดงดังรูปที่ 1 [3]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน

2.2.2 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design deployment) เป็นการกระจายหรือแยกส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เราพิจารณาโดยจะพิจารณาถึงส่วนประกอบย่อยที่สามารถตอบสนองต่อเทคนิคที่นำมาใช้ที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการดำเนินการในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical requirement) ในการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ มาแปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้

2) นำค่า IMP มาใส่ในเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part characteristics) การกำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยจะได้มาจากการระดมสมองช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้า

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) ซึ่งจะทำการให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบ ในขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) จะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์ (Absolute part characteristics important) และ 2) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรียบเทียบ (Relative part characteristics important)

2.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงเชิงแนวคิด

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อกำหนดในการออกแบบส่งต่อให้กับนักออกแบบ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่ช่วยให้นักออกแบบมีข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

2.4 การประเมินความพึงพอใจ

ทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

ในการสำรวจความต้องการของลูกค้าได้ทำการสำรวจจากผู้ผลิต และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งได้ทำการสำรวจโดยการสร้างแบบสอบถาม โดยการหาขนาดกลุ่มตัวอย่างได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน ผลจากการสร้างแบบสอบถามหลังจากที่ได้ทำการจัดเรียงถ้อยคำความต้องการของลูกค้าแล้วจากนั้นทำการจัดกลุ่มคำความต้องการให้เป็นหมวดหมู่โดยใช้แผนผังเชื่อมโยง และสามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ รูปลักษณะผลิตภัณฑ์ วัสดุ ฟังก์ชันการใช้งาน ระบบอัจฉริยะ คุณภาพ และด้านราคา ได้ความต้องการของลูกค้าทั้งหมด 19 ความต้องการ จากนั้นนำความต้องการของลูกค้าที่ผ่านการวิเคราะห์รวมความต้องการที่คล้ายกันหรือ

ซ้ำซ้อนกันมาจัดทำแบบสอบถาม เพื่อสำรวจระดับความสำคัญของปัจจัยที่ มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

3.2 ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

3.2.1 ผลประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ได้มีการจัดเตรียมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในเมทริกซ์การวางแผนแล้วต่อไปจะนำข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บแบบสอบถามและค่าเฉลี่ยเรขาคณิต IMP เพื่อนำเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ

1) ความต้องการของลูกค้า (Customer need) การนำความต้องการของลูกค้าจากทั้ง 6 กลุ่มหลัก จำนวน 19 ความต้องการใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2

2) การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning matrix) หลังจากที่ได้ความต้องการจากลูกค้าแล้วจะนำค่า IMP ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าของแต่ละความต้องการ ทางด้านซ้ายของบ้านคุณภาพ จะเห็นได้ว่าความต้องการของลูกค้าได้ให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ด้านฟังก์ชันการใช้งานเป็นส่วนของเรื่องความปลอดภัยขณะใช้งาน (4.71 คะแนนจาก 5 คะแนน)

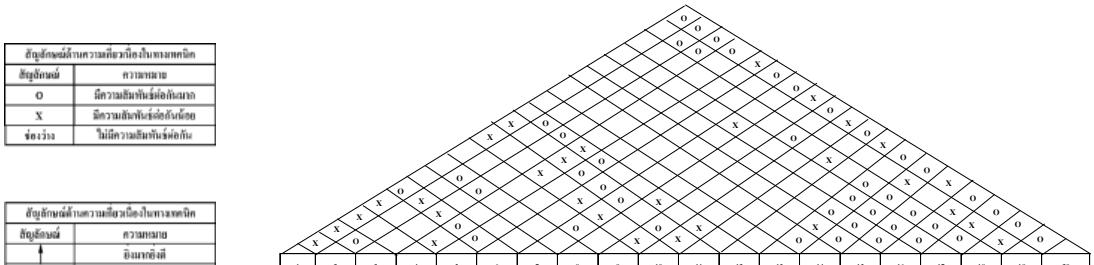
3) ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical requirement) เป็นเทคนิคที่ได้จากการระดมสมองของทีมผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านงานไม้ ตัวแทนผู้สูงอายุ ตลอดจนฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ช่วยกันวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อหาเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการแต่ละความต้องการของลูกค้าได้ จากนั้นทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิค โดยได้พยายามกำหนดให้เป็นค่าที่สามารถวัดได้ นอกจากนี้จะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุง ซึ่งสามารถกำหนดทางเทคนิคได้ทั้งหมด 20 ข้อกำหนด

4) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ 1 ความต้องการของลูกค้า และส่วนที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิคของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะให้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการให้คะแนนในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่โดยการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญ แสดงดังรูปที่ 2

5) ความเกี่ยวเนื่องในเทคนิค (Technical correlation) ในส่วนนี้จะทำการระดมสมองของฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า แสดงดังรูปที่ 2

6) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) พบว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ มีข้อกำหนดทางเทคนิคซึ่งผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุด คือ ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ มีฟังชันที่ระบบอัจฉริยะที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 8.28 อันดับสอง วัสดุมีคุณภาพเลือกใช้วัสดุที่มีมาตรฐานรองรับ เพื่อคุณภาพที่ได้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 8.27 อันดับสาม ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย มีระบบที่สามารถป้องกันอันตรายแก่ผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 8.03 อันดับสี่ ระบบอัจฉริยะที่ทันสมัย มีระบบที่สามารถสั่งการได้หลากหลายรูปแบบ ร้อยละ 7.83 อันดับห้า ความปลอดภัยในการใช้งาน มีวัสดุห่อหุ้มตามขอบเพื่อป้องกันการกระแทกจากการเกิดอุบัติเหตุ ร้อยละ 7.74 อันดับหก ประสิทธิภาพฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ การประมวลผลของระบบอัจฉริยะมีความแม่นยำ ร้อยละ 7.74 อันดับเจ็ด การแจ้งเตือนการหยุดทำงานของระบบ มีระบบการแจ้งเตือนที่สามารถแจ้งเตือนถึงผู้ดูแล ร้อยละ 7.47 อันดับแปด การใช้งานที่หลากหลายรูปแบบ มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถจัดเก็บของใช้ที่หลากหลาย ร้อยละ 6.69 อันดับเก้า ความเหมาะสมของราคา ตั้งราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 6.38 อันดับสิบ ความแข็งแรงออกแบบโครงสร้างที่มีความแข็งแรงและสามารถรองรับน้ำหนักที่เหมาะกับการใช้งาน ร้อยละ 5.36 อันดับสุดท้าย อายุการใช้งาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เสื่อมสภาพได้ยาก ร้อยละ 4.51 จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้ผ่าน

การจัดเรียงลำดับแล้วมาทำการสร้างเมทริกซ์ที่ 2 คือเมท
ริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design deployment) ต่อไป



ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)			ลักษณะของผลิตภัณฑ์						ความทนทานผลิตภัณฑ์			คุณภาพของผลิตภัณฑ์			ฟังก์ชันการใช้งาน								การตลาด
			ลักษณะรูปทรงหรือรูปร่างที่สวยงามทันสมัย	ขนาด	พื้นที่ใช้สอย	โทนสี	ลักษณะผิว	ความสวยงาม	อายุการใช้งาน	การต่อเติมได้	ความแข็งแรง	น้ำหนักที่ใช้ในการต่อเติมไม้	วัสดุอุดมภาพ	การดูแลรักษาทำความสะอาด	ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย	ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะเพื่อความสะดวก	การแจ้งเตือนการหยุดทำงานของระบบ	ระบบอัจฉริยะที่ทันสมัย	ประสิทธิภาพฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ	ความปลอดภัยในการใช้งาน	การใช้งานที่หลากหลายรูปแบบ	ความเหมาะสมของราคา	
		No.	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	B-19	B-20	
ความต้องการของลูกค้า		IMP																					
รูปลักษณ์ผลิตภัณฑ์	ขนาดที่เหมาะสม	A-1	4.43	9	9	9			3		3	1									3	3	
	รูปร่างที่สวยงาม/ทันสมัย	A-2	4.58	9	3	3			9													3	
	สไตล์การออกแบบ	A-3	4.40	9	3	3	9	1	9		3		3								3	3	3
	ลวดลายสวยงาม	A-4	4.50				3	1	9			1											1
	ความหลากหลายของโทนสี	A-5	4.36				9	1	9			1											3
วัสดุ	วัสดุมีความแข็งแรงทนทาน	A6	4.48	1						9		9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	วัสดุทนต่อสภาพแวดล้อม	A-7	4.47						9		9	9	9	3						3		3	
	ความปลอดภัยของวัสดุ	A-8	4.52	1					3	3	9	3	9		9	9	9	9	9	9	9	3	
ฟังก์ชันการใช้งาน	พื้นที่สำหรับการใช้งาน	A-9	4.48	3	9	9								3				1			9	3	
	บำรุงรักษาง่าย	A-10	4.52		3	9		1	9			1		9	9		9						
	เก็บของได้หลากหลาย	A-11	4.38	1	3	9				1	3		3	1	9	9	9	9	9	9	9	3	
	สะดวกสบายในการใช้งาน	A-12	4.62	3	3	3				3			3	1	9	9	9	9	9	9	9		
	ความปลอดภัยขณะใช้งาน	A--13	4.71	1		1			1	1	9	3	9		9	9	9	9	9	9	9	3	
ระบบอัจฉริยะ	ระบบอัจฉริยะที่สะดวกต่อการใช้งาน	A-14	4.54	3									9		3	9	3	9	9	3	1	9	
	ระบบอัจฉริยะส่งเสริมความปลอดภัยและ	A-15	4.44	3									9		9	9	9	3	3	9		3	
	ความทันสมัยของระบบอัจฉริยะ	A-16	4.29										9		3	9	3	9	9	3		9	
ความทนทานผลิตภัณฑ์	อายุการใช้งานที่ยาวนาน	A17	4.51						9		9	1	9	3	9	9	3	9	9	9	9	3	
	อุปกรณ์ควบคุมที่ได้มาตรฐาน	A-18	4.39						9		9		9		9	9	9	9	9	9		9	
ราคา	ราคาที่เหมาะสม	A-19	4.61	9	3	3	1	3	3	9	3	9	1	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				13	15	12	16	20	17.78	14	11	19	10	18	2	17	3	1	7	4	6	5	8	9	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				193.02	147.69	205.80	92.34	173.85	219.60	63.00	261.29	85.81	403.35	90.06	391.62	403.92	364.56	381.76	377.28	377.55	316.33	311.64	4878.25
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ				3.96	3.03	4.22	1.89	3.56	4.50	1.29	5.36	1.76	8.27	1.85	8.03	8.28	7.47	7.83	7.73	7.74	6.48	6.39	100.00
เป้าหมายทางด้านเทคนิค				รูปทรงรูปร่างที่สวยงามทันสมัย มีให้เลือกมากกว่า 1 รูปแบบ	ขนาดมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	มีการแบ่งสัดส่วนผู้ใช้งงอย่าง 3 ชั้น	โทนสีให้เลือกมากกว่า 1 โทนสี	ผิววัสดุเป็นไม้ที่มีเสี้ยนไม้	กลุ่มผู้ใช้งานไม่มากกว่า 80 % ที่นั่งว่างสวยงาม	อายุการใช้งานมากกว่า5 ปี	ติดตั้งอุปกรณ์เสริมที่สะดวกและปลอดภัย	โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้ดีตามมาตรฐานต่อการใช้งาน	ติดตามไม่ต่ำกว่า2 ปี	ใช้วัสดุที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน	ทำความสะอาดได้ง่าย	ระบบตรวจจับป้องกันอุบัติเหตุ จะเตือนทันทีเมื่อมีการเปิดปิด	ระบบอัจฉริยะเพื่อส่งเสริมความสะดวกในการใช้งาน	กรแจ้งเตือนเมื่อระบบมีปัญหาไปยังผู้ดูแลระบบ	สามารถสั่งการทำงานแบบไร้สาย	ระบบมีความแม่นยำและรวดเร็วต่อการสั่งการ	ใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่อผู้ใช้งานมากขึ้น	ออกแบบช่องรองรับการเก็บของที่หลากหลาย	ราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพ	

รูปที่ 2 เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

3.2.2 ผลประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ 1) การเลือกข้อกำหนดทางเทคนิค และค่า IMP ที่นำมาใช้ ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิค และค่าน้ำหนัก

ความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนด ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิค และค่า IMP ทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3

2) ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part characteristics) เป็นข้อกำหนดที่ได้จากการ ระดมสมองของทีมงานวิจัยและฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องช่วยกันในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อหาข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่จะสามารถทำให้ตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิคที่ส่งผลไปยังความต้องการของลูกค้า แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถกำหนดข้อกำหนดของ ส่วนประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด 19 ข้อกำหนด

3) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่าง และข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบโดยจะได้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งในการให้คะแนนในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่โดยการใช้การระดมสมองของผู้วิจัยและฝ่ายทางเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) พบว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดย มีข้อกำหนดทางเทคนิคซึ่งผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญ โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุด คือ ระบบไฟอัตโนมัติ มีระบบไฟส่องสว่างบริเวณช่องเก็บของเมื่อใช้งาน ร้อยละ 11.93 อันดับสอง ระบบควบคุมการทำงานแบบอัจฉริยะ มีระบบอัจฉริยะที่สามารถควบคุมการทำงานของลิ้นชัก เมื่อมีการสั่งใช้งาน ร้อยละ 10.64 อันดับสาม การป้องกันอุบัติเหตุขณะเปิด/ปิดลิ้นชัก มีเซนเซอร์ตรวจจับป้องกันอันตรายจากการโดนลิ้นชักหนีบ ร้อยละ 8.13 อันดับสี่ ราคาของชิ้นส่วน กำหนดราคาของชิ้นให้มีความเหมาะสมกับคุณภาพ ร้อยละ 7.56 อันดับห้า ระบบสั่งการด้วยเสียง มีระบบที่สามารถอำนวยความสะดวกที่สามารถใช้งานผ่านเสียง ร้อยละ 7.14 อันดับหก ชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะที่มีคุณภาพ ใช้ชิ้นส่วนที่มีมาตรฐานที่มีความน่าเชื่อถือ เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบอัจฉริยะ ร้อยละ 6.29 อันดับเจ็ด คุณภาพของชิ้นส่วน ใช้ชิ้นส่วนที่มาตรฐานเพื่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 6.27 อันดับแปด ขนาดของชิ้นส่วน ขนาดชิ้นส่วนมีความเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 5.89 อันดับเก้า การประกอบชิ้นส่วนโครงสร้าง มีผู้เชี่ยวชาญในการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้าง ร้อยละ 5.68 อันดับสิบ ชิ้นส่วนที่ช่วยในการเคลื่อนย้าย มีอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 4.96 อันดับสุดท้าย ชิ้นส่วนที่ทันสมัย มีการออกแบบหรือการใช้ชิ้นส่วนที่ทันสมัย เพื่อเพิ่มความดึงดูดของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 4.78 จากนั้นจะนำข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่ได้ผ่านการจัดเรียงลำดับแล้วมาทำการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.3 แบบร่างผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงเชิงแนวคิดสำหรับผู้สูงอายุ

การวิเคราะห์จากขั้นตอนของการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้นำผลสรุปดังกล่าวส่งต่อให้กับนักออกแบบเพื่อสร้างภาพแบบร่างผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุที่ได้จากการประเมินโดยกลุ่มเป้าหมาย และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 4

3.4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

หลังจากได้ดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำแบบร่างของผลิตภัณฑ์ไปสำรวจความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ ด้วยแบบสอบถามการสำรวจ เพื่อให้กลุ่มลูกค้าหรือผู้สูงอายุประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ และให้คะแนนความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าประเด็นความต้องการที่ลูกค้าให้ความสำคัญโดยมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 จากคะแนนเต็ม 5.00 และมีความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือความแข็งแรง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.91 อันดับสอง อายุการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.86 อันดับสาม ความเหมาะสมของราคา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.77 อันดับสี่ ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73 อันดับห้า ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
			○	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑	↑	○	↑	↑	↑	○	↑	↑	↑	○	
		ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)	ระบบควบคุมการทำงานแบบอัจฉริยะ	ระบบไฟฟ้าในบ้าน	การใช้งานวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	ระบบที่ทำงานที่เสถียร	ชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะมีคุณภาพ	วัสดุรีไซเคิลได้	คุณภาพของชิ้นส่วน	ช่องเก็บของง่ายแค่	ราคาของชิ้นส่วน	การประกอบชิ้นส่วนโครงสร้าง	ชิ้นส่วนที่เปลี่ยนได้	อายุการใช้งานของชิ้นส่วน	การถอดแต่ละชิ้นส่วน	ขนาดของชิ้นส่วน	สีของชิ้นส่วน	การดูแลรักษาความสะอาดชิ้นส่วน	ชิ้นส่วนที่ช่วยในการเคลื่อนย้าย	คุณภาพของน้ำยาขัดเงาไม้	ข้อที่มีการของชิ้นส่วนไม่ก่อรกรา
		No.	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	C-19	
ความต้องการของลูกค้า	No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะเพื่อความสะดวก	B-14	8.28	9	9	1	9	3	1	3		3	1	3	3		9			9			
วัสดุมีคุณภาพ	B-11	8.27	9	9	3	9	9	3	9		3	3	3	3	3		1	1	9	9	1	
ระบบอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัย	B-13	8.03	9	9	9		3		1		3	1		3		3			3			
ระบบอัจฉริยะที่ทันสมัย	B-16	7.83	9	9		9	3		9		9		9	3	1	3		3				
ความปลอดภัยในการใช้งาน	B-18	7.74	3	9	9	3	3	9	9	3	3	9	3	1	3	9			3		1	
ประสิทธิภาพฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ	B-17	7.74	9	9	9	9	9		3		9		3	3		1		1				
การแจ้งเตือนการหยุดทำงานของระบบ	B-15	7.47	9	9	9		3		1		3	1		3								
การใช้งานที่หลากหลายรูปแบบ	B-19	6.49	9	3	9	3				9	3	9		1	1	3		3			1	
ความเหมาะสมของราคา	B-20	6.38	9	9	3	9	9	3	9		9	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	
ความแข็งแรง	B-9	5.36						3	3	1	3	9	3	3		3		3	3		1	
อายุการใช้งาน	B-7	4.51	9	9	9	3	9	3	3	3	9	9		9	1			3	1	3		
พื้นที่ใช้สอย	B-3	4.21	3	3	9	3		1		9	1	3			3	3			3			
ลักษณะรูปทรงหรือรูปร่างที่สวยงาม/ทันสมัย	B-1	3.95	1	9		1				3	9	3	9		3	9		3	1	1		
ความสวยงาม	B-6	3.56		3				3				3	3		9	3	9	3		3		
ขนาด	B-2	3.02		3	3		3			9		3	9		3	9			9			
โทนสี	B-4	1.89		9				1			3		3		3		9			3	1	
การดูแลรักษาทำความสะอาด	B-12	1.85						3	1	3		3			3	1		9		3	3	
น้ำยาที่ใช้ในการเคลือบไม้	B-10	1.76									3			3	1		1	3		9	9	
การเคลื่อนย้าย	B-8	1.29							1			9		1		3		3	9			
ลักษณะผิว	B-5	0.36						9						1	9		1	9		3	9	
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			2	1	3	5	6	14	7	13	4	9	11	12	16	8	18	15	10	17	19	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			624.80	700.63	477.00	419.30	369.21	177.07	368.29	182.99	443.77	333.25	280.86	239.83	155.04	345.95	78.58	159.29	291.36	140.87	73.52	5870.63
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ			10.64	11.93	8.13	7.14	6.29	3.02	6.27	3.12	7.56	5.68	4.78	4.09	2.64	5.89	1.34	2.71	4.96	2.55	1.25	100.00
เป้าหมายทางด้านเทคนิค			เปิดใช้ตั้งชิ้นส่วนได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน	ไฟฟ้าเปิดติดในบริเวณที่เหมาะสม	ส่วนผสมของพลาสติกที่ใช้ควรพิจารณาการผสมระหว่าง	อัตราความสะดวกและสิ่งสนับการใช้งาน	ชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะที่ได้มาตรฐาน	วัสดุรีไซเคิลควรมุ่งสำหรับเรื่องเกี่ยวกับความรวมของและมุม	ชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน	ช่องสำหรับเก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน	กำหนดวางให้ใกล้และรวมกับคุณภาพของชิ้นส่วน	ชิ้นส่วนประกอบส่วนการวางตอบโต้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ	การออกแบบที่ดูน่าสนใจความทันสมัย	ผลสรุปการใช้งานให้นานกว่า 5 ปี	ชิ้นส่วนมีการถอดแต่ละชิ้นง่าย	ขนาดของชิ้นส่วนมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับร่างกายมนุษย์	ชิ้นส่วนผู้ใช้งานต้องมีการจับผู้ใช้ไม่ก่อตกว่าสี	ทำความสะอาดได้ง่าย	ถอดแยกให้ความสะดวกและชิ้นส่วนได้สะดวก	ติดตั้งไม่ก่อตกว่า 2 ปี	วัสดุที่มีการออกแบบสีสวยงามเรียบ	

รูปที่ 3 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบของผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

รูปที่ 4 แบบร่างผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ

4. อภิปรายผล

การออกแบบเฟอร์นิเจอร์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุเชิงแนวคิดโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ผลจากการวิจัยพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรสิทธิ์ และคณะ [3] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคQFD สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระจูดประเภทกระเป๋า พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบและพัฒนามีลักษณะที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า อีกทั้งจากการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD พบว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรสิทธิ์ และคณะ [4] ที่ได้ออกแบบผลิตภัณฑ์โซฟาจากไม้ไผ่โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับวิศวกรรมคันเซโดย ผลการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธยา และคณะ [5] ได้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้ประยุกต์เทคนิค QFD

5. สรุป

ในการศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ตู้ข้างเตียงสำหรับผู้สูงอายุ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพแบบ 2 เมทริกซ์ ได้แก่ เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ เพื่อนำไปสู่การกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ต่อมาจะนำคุณลักษณะเหล่านั้นมาทำการออกแบบผลิตผลิตภัณฑ์ จนได้แบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทตู้ข้าวเตียงสำหรับผู้สูงอายุ จากนั้นสำรวจความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 4.37 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจที่ดี และทั้งนี้ความพึงพอใจ 3 อันดับแรก ประกอบด้วย ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (4.91) อายุการใช้งาน (4.86) ความเหมาะสมของราคา (4.77) ซึ่งลัพธ์จากการออกแบบผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ จะเป็นแนวทางในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2567

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2565). สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: บริบัท อมรินทร์ คอร์เปอเรชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

[2] วรรณนิศา นุชตุ้ม. (2560). การสร้างแบบจำลองสัดส่วนร่างกายและขอบเขตการเอื้อมถึงของผู้สูงอายุ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[3] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, วรรธนพร ชีววุฒิพงศ์, ธยา ภิรมย์, และอภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ. (2565). การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์กระจูดประเภทกระเป๋า. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 14*(3), 633-649.

[4] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล, ชาตรี หอมเขียว, และอภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ. (2565). การออกแบบผลิตภัณฑ์โซฟาจากไม้ไผ่โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับวิศวกรรมคันเซ. *วิศวกรรมสารลาดกระบัง, 39*(3), หน้า 12–28.

[5] ธยา ภิรมย์, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, อภิรัตน์ดา ทองแกมแก้ว และฉารีฝ๊ะ หัดยี. (2562). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, *15*(3), 76-92.

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานทรงกระบอกระบบกึ่งอัตโนมัติ

The Design and Development of a Semi-Automatic Measuring Instrument for Dimensions and Geometric Shapes of Cylindrical Workpieces

เฉลิมชัย กุลเลียบ[1] บุญกิจ อุ่นพิกุล[1] ชินพล สุนเลี้ยง[1] ธนดล วะเศษสร้อย[1]
อัครเดช พลประจักร[1] ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: paramet.ba@rmuti.ac.th*

Chalermchai Kullieb[1] Boonkit Ulpikul[1] Chitphon Sunliang[1] Thanadol Wasedsoi[1]
Aukkardech Polprajak[1] Paramet Baowan[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
E-mail: paramet.ba@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอก และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกที่สร้างขึ้น จากการศึกษาเครื่องมือวัดและวิธีการตรวจสอบการควบคุมขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นงานทรงกระบอกในการตรวจสอบความตรง, ความกลม, ความเป็นทรงกระบอก, ความร่วมศูนย์ร่วมแกน, และรันเอาท์ การตรวจสอบชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาดำเนินการ 2 วิธี คือ 1. การวัดโดยใช้เครื่องมือพื้นฐานและใช้คนในการวัด 2. การใช้เครื่องมือวัด 3 มิติ จึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกระบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาความผิดพลาดในการตรวจชิ้นงานทรงกระบอกและลดความผิดพลาดที่เกิดจากคน แล้วทำการประเมินโดยการวัดชิ้นงานทรงกระบอกจากเครื่องวัดระบบกึ่งอัตโนมัติแล้วนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัด 3 มิติพบว่ามีค่าความผิดพลาดและค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±0.0050 mm มาตารฐาน ISO-8636-1

คำสำคัญ: การวัด, GD&T, มาตรวิทยา

Abstract

This research aims to design and develop a measuring device for the dimensions and geometric shapes of cylindrical workpieces, and to evaluate the performance of the constructed measuring device. By studying measurement tools and methods for inspecting and controlling the dimensions and geometric shapes of cylindrical workpieces including straightness, roundness, cylindricity, concentricity, and runout the inspection in the case study factory was conducted using two methods: (1) measurement using basic tools and manual human operation, and (2) measurement using a 3D measuring instrument. This led to the concept of designing and developing a semi-automatic measuring device for the dimensions and geometric shapes of cylindrical workpieces to help address errors in manual inspections and reduce human-induced mistakes. The evaluation was conducted by measuring cylindrical workpieces using the semi-automatic measuring device and comparing the measured values with those from the 3D measuring instrument. The results showed an error and deviation within ±0.0050 mm, meeting ISO-8636-1 standards.

Keywords: Measurement, GD&T, Metrology

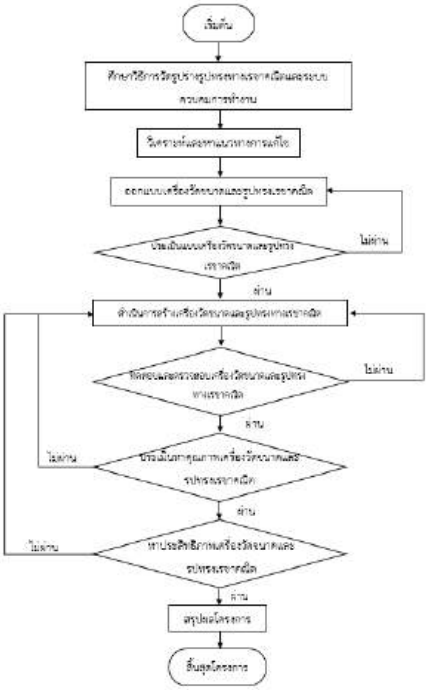
1. บทนำ

การผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ได้ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการต่าง ๆ จะต้องมีการตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน จึงจะสามารถนำไปใช้งานหรือนำไปประกอบเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลนั้นได้ การวัดและการตรวจสอบชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาโดย การใช้เครื่องมือวัดที่อ่านค่าและบอกขนาดได้โดยตรงจากเครื่องมือวัด เช่น เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ไมโครมิเตอร์ ฯลฯ แต่เครื่องมือวัดเหล่านี้ไม่สามารถตรวจสอบค่าพิกัดรูปร่างรูปทรงของชิ้นงานที่ทำการวัดได้ และทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถทราบได้ว่าค่าพิกัดรูปร่างรูปทรงของชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมานั้นถูกต้องตามแบบของชิ้นงานหรือไม่ และถ้าหากนำชิ้นงานดังกล่าวไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องจักร ก็จะส่งผลให้เครื่องจักรเกิดความไม่เที่ยงตรงหรือเกิดการเยื้องศูนย์ของชิ้นส่วนที่ได้นำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังนั้นการวัดและการตรวจสอบจึงสำคัญมากต่อกระบวนการผลิต หากชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมาไม่เที่ยงตรงตามแบบของชิ้นงานก็จะเกิดเป็นของเสีย จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถบอกค่าพิกัดรูปร่างรูปทรงของชิ้นงานได้ เช่น เครื่องมือวัดเปรียบเทียบและตรวจสอบ, เครื่องมือวัด 3 มิติ การใช้เครื่องมือวัดเปรียบเทียบและตรวจสอบนั้น จะใช้นาฬิกาวัดเป็นตัวบอกค่าที่เบี่ยงเบนไปแต่ยังใช้คนในการตรวจสอบซึ่งอาจทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากคนได้ ในการใช้เครื่องมือวัด 3 มิติ สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้เที่ยงตรงและมีความแม่นยำ แต่ก็ยังมีข้อเสียในเรื่องราคาที่สูงจึงทำให้ไม่คุ้มค่ากับสถานประกอบการขนาดกลางถึงขนาดเล็ก

จากความสำคัญและที่มาของปัญหาดังกล่าวนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิด ออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกขึ้นมาและทำการคำนวณหาค่าพิกัดต่าง ๆ เช่น ความตรง, ความกลม, ความเป็นทรงกระบอก, ความร่วมศูนย์ร่วมแกน และค่าการเบี่ยงเบนเมื่อหมุนในแต่ละระนาบ และการสร้างเครื่องจะใช้มาตรฐาน Indian Standard : 5980-1978 เป็นมาตรฐานกำหนดการสร้าง และใช้มาตรฐาน ISO TC 39 ตรวจสอบความเที่ยงตรง เพื่อให้เครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกที่สร้างขึ้น มีความเที่ยงตรงและมีความน่าเชื่อถือ

2. วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอก คณะผู้จัดทำได้มีวิธีในการดำเนินบทความวิจัยซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาวิธีการวัดรูปร่างรูปทรงทางเรขาคณิต

คณะผู้จัดทำได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับ GD&T เพื่อให้ทราบความหมายและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ใน GD&T และนำข้อมูลที่ศึกษามาประยุกต์ใช้กับโครงการและได้นำข้อมูลที่ศึกษามาใช้ในการตรวจสอบเพลามาตรฐานร่วมกับเครื่องมือวัดเปรียบเทียบและตรวจสอบขนาดเล็ก(Bench Center) โดยการใช้เครื่องวัด 3 มิติ ในการตรวจสอบ ผู้จัดทำโครงการได้ทำการตรวจสอบ ค่าความตรง, ความกลม, ความเป็นทรงกระบอก, ความร่วมศูนย์ร่วมแกน และค่ารันเอาท์ และจะนำผลการวัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับเมื่อสร้างเครื่องวัดงานทรงกระบอกเสร็จสิ้น

2.1.1 สัญลักษณ์ GD&T

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปทรงเรขาคณิตจะระบุไว้ด้วยสัญลักษณ์บนแบบร่าง ในปัจจุบัน เรามีสัญลักษณ์สำหรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปทรงเรขาคณิตทั้งหมด 16 แบบ ซึ่งได้มีการจัดประเภทตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่สัญลักษณ์ระบุรายการต่อไปนี้คือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปทรงเรขาคณิตดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ GD&T

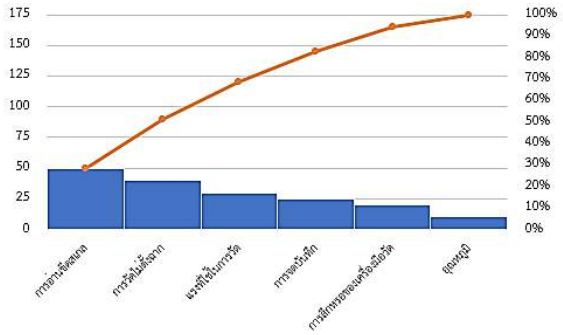
ระดับของ Feature	ชนิดของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	คุณลักษณะทางเรขาคณิต	สัญลักษณ์
Feature เดี่ยว	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง (การเบี่ยงเบนของรูปร่าง)	ความตรง	—
		ความเรียบ	▱
		ความกลม	○
		ความเป็นทรงกระบอก	⌭
		ความคลาดโปรไฟล์ของเส้น	⌒
		ความคลาดโปรไฟล์ของระนาบ	⌓
Feature ที่เกี่ยวข้อง (ต้องใช้ Feature ของ Datum)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง (การเบี่ยงเบนของรูปร่าง)	ความขนาน	//
		ความตั้งฉาก	⊥
		ความเป็นมุม	∠
	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (การเบี่ยงเบนของตำแหน่ง)	ตำแหน่ง	⌖
		ความร่วมแกน	◎
		ความร่วมศูนย์	
		ความสมมาตร	⌯
		ความคลาดเคลื่อนที่โปรไฟล์ของเส้น	⌒

2.2 วิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางแก้ไข

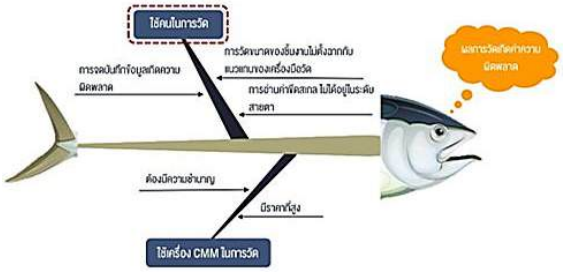
ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกจะใช้แผนภูมิก้างปลาและแผนภูมิพาเรโต้ในการวิเคราะห์ปัญหาดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิพาเรโต้

การวิเคราะห์ปัญหา ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองวัดชิ้นงาน พบว่าในกระบวนการวัดชิ้นงาน จะมีค่าความผิดพลาดข้อมูลการวัดเกิดขึ้น ซึ่งค่าความผิดพลาดสามารถเกิดขึ้นได้โดยมีปัจจัยอยู่ 6 หัวข้อ ดังนี้ ความผิดผลาดที่เกิดจากการอ่านขีดสเกลของเครื่องมือวัด, ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดชิ้นงานไม่ได้ตั้งฉากกับแนวแกนของเครื่องมือวัด, ความผิดพลาดที่เกิดจากการสึกหรอของเครื่องมือวัด, แรงที่ใช้ในการวัด, อุณหภูมิ, ฯลฯ ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต้จะแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto Chart)



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงเหตุและผล

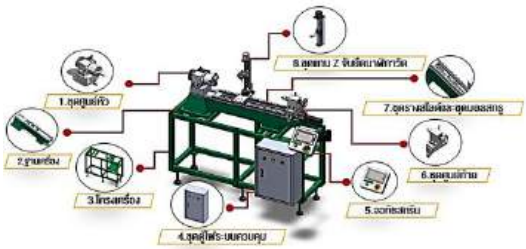
ตารางที่ 2 แสดงปัญหา สาเหตุและแนวทางการแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1. การจดบันทึกผลการวัด	ในการจดบันทึกผลการวัดในบางครั้งผู้ที่ปฏิบัติงานอาจบันทึกข้อมูลผิดพลาดจากเครื่องมือวัดทำให้ข้อมูลผลการวัดไม่ถูกต้อง	เลือกใช้ USB Input Tool ของ Mitutoyo ส่งข้อมูลการวัดเข้าไปในระบบ PC
2. การวัดชิ้นงานไม่ตั้งฉากกับแนวแกนของเครื่องมือวัด	ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด	ออกแบบตัวจับยึดเครื่องมือวัดให้ตั้งฉากกับชิ้นงาน
3. ผู้ปฏิบัติงานอ่านค่าขีดสเกลของเครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง	เนื่องจากนาฬิกาวัดเป็นแบบอนาล็อก (Analog) จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานอ่านขีดสเกลของเครื่องมือวัดไม่ได้อยู่ในระดับสายตา	เลือกใช้นาฬิกาวัดให้เป็นแบบดิจิตอล (Digital)
4. การใช้เครื่องมือวัด 3 มิติ ในการตรวจสอบชิ้นงาน มีราคาที่สูงเกินไป	เป็นเครื่องมือวัด สำหรับวัดชิ้นงานที่ซับซ้อนโดยมีความแม่นยำสูง	ออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตให้ไม่มีความซับซ้อนและมีราคาที่ถูก

จากตารางที่ 2 จะพบปัญหาข้างต้นทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตขึ้นมา เพื่อลดปัญหาในการจดบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดที่ผิดพลาด และลดปัญหาในการอ่านขีดสเกลของเครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง โดยจะใช้ตัวส่งข้อมูลการวัด USB Input Tool ของ Mitutoyo เป็นตัวส่งข้อมูลการวัดจากเครื่องมือวัดเข้าไปยังระบบ PC เพื่อลดการจดบันทึกข้อมูลการวัดที่ผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติงาน

คณะผู้จัดทำจึงดำเนินการสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอก โดยมีการแบ่ง

ส่วนประกอบของเครื่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อการสร้าง ตามที่ออกแบบไว้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ แบ่งไว้ดังรูปที่ 4 ซึ่งจากการสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกจากที่ได้ออกแบบไว้จะได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องวัดขนาด

รูปที่ 5 แสดงเครื่องวัดขนาดที่สร้างขึ้น

2.3 ทดสอบเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตตามมาตรฐาน IS : 5980-1978 และ ISO TC39

ขั้นตอนการทดลองการทำงานของเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอก สามารถใช้งานได้ตามที่กำหนดในขอบเขต และสามารถทำงานตามหลักการของเครื่องที่ได้ออกแบบไว้ ตามมาตรฐาน IS : 5980-1978 และ ISO TC39 ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 สรุปผลการตรวจสอบมาตรฐาน IS : 5980-1978

ที่	จุดตรวจสอบ	เครื่องมือ	ค่าที่วัดได้ (mm)		ค่าที่กำหนด (mm)	ความคลาดเคลื่อน
1.	ตรวจสอบความขนานของแกน	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	A	0.0065	0.01/300	-
			B	0.0065		
2.	ความร่วมศูนย์	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	A	0.0070	0.01/300 0.015/500 0.02/>500	-
			B	0.0073		

ตารางที่ 4 สรุปผลการตรวจสอบมาตรฐาน ISO TC39

ที่	จุดตรวจสอบ	เครื่องมือ	ค่าที่วัดได้ (mm)	ค่าที่กำหนด (mm)	ความคลาดเคลื่อน
1.	ตรวจสอบระดับความเอียงของรางเลื่อน	1. เกจวัดระดับน้ำ	a 0.004 b 0.004 c 0.006	0.02/1000	-
2.	ตรวจสอบแกนหมุนงานร่วมศูนย์กับศูนย์เครื่อง	1. ไดอัลเกจ 2. ยันศูนย์ตาย	0.007	0.01	-
3.	การวัดความร่วมศูนย์ของเรียวหมุนเพลางาน	1. ไดอัลเกจ 2. ยันศูนย์ตาย	0.003	0.01	-
4.	ตรวจสอบความเป็นเรียวของแกนหมุน	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	a 0.004 b 0.005	0.01-0.03	-
5.	ตรวจสอบความขนานของแกนหมุน	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	a 0.007 b 0.005	0.02/300	-
6.	ตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสไลด์ด้านบนขนานกับแกนหมุนในระนาบแนวตั้ง	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	0.007/300	0.03/300	-
7.	ตรวจสอบความขนานของศูนย์ท้ายแฟน	1. ไดอัลเกจ	a 0.005 b 0.004	a.0.02/100 b.0.01/100	-
8.	ตรวจสอบความร่วมศูนย์หัวและท้าย	1. ไดอัลเกจ 2. แท่งทดสอบ	0.005	0.02	-

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 สรุปผลของทั้งสองมาตราฐานจะเห็นว่าค่าที่วัดได้จากการวัดทดสอบเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตอยู่ในช่วงยอมรับตามมาตรฐาน IS : 5980-1978 และ ISO TC39 จากนั้นทำการประเมินคุณภาพของเครื่อง

2.4 ประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพ

การหาคุณภาพของเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต ที่สร้างขึ้นโดยพิจารณาจากแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตที่สร้างขึ้น ในกระบวนการประเมินหาคุณภาพ แบ่งออกได้เป็น 5 ด้าน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 5 ผลการประเมินโดยรวมทุกด้าน

ที่	หัวข้อประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)			
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	ประเมินคุณภาพด้านหน้าที่ (Function)	5	4.66	5	4.88
2	ประเมินคุณภาพด้านการออกแบบ (Design)	4.33	4.66	4.16	4.38
3	ประเมินคุณภาพด้านการใช้งานและประโยชน์ใช้สอย (Usability)	4	4.75	4	4.25
4	ประเมินคุณภาพด้านความปลอดภัย (Safety)	4	4.75	3.5	4.08
5	ประเมินคุณภาพด้านวิศวกรรม (Engineering)	4	4.75	4	4.25
คะแนนรวม		21.33	23.57	20.66	21.84
คะแนนเฉลี่ยรวม		4.26	4.71	4.13	4.36

3.ผลการดำเนินงาน

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกได้มีการวางแผนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้างกับการออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกได้รวบรวมข้อมูลจากการศึกษาสัญลักษณ์ GD&T และวิธีการวัดชิ้นงานแบบต่างๆ โดยหาสาเหตุของปัญหาจาก กระบวนการที่เกิดจาก

การใช้คนในการวัดชิ้นงานจากแผนภูมิเหตุและผล หลังจากวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตชิ้นงานทรงกระบอกและสร้างขึ้นมาแล้วนำไปทดสอบก่อนใช้งานเครื่องและทดลองหาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ของเครื่องเมื่อเทียบเครื่องที่สร้างกับเครื่องวัด 3 มิติ ได้ทำการออกแบบการทดลอง คือ การทำชิ้นงานขึ้นมา 1 ชิ้นเพื่อทำการวัดค่าพิกัดรูปทรงทั้ง 5 รูปทรงได้แก่ ค่าความตรง,ค่าความกลม,ค่าความเป็นทรงกระบอก,ค่าความร่วมศูนย์ร่วมแกน,ค่ารันเอาท์ ซึ่งค่าที่วัดได้ของทั้งสองเครื่องมาเปรียบเทียบกันตามมาตรฐาน ISO 8636-1 และค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 เครื่องอยู่ในช่วงการยอมรับตามมาตรฐาน ISO 8636-1 ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้ดำเนินโครงการตามที่วางแผนการดำเนินงานตามรูปที่ 1 และได้ผลการดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

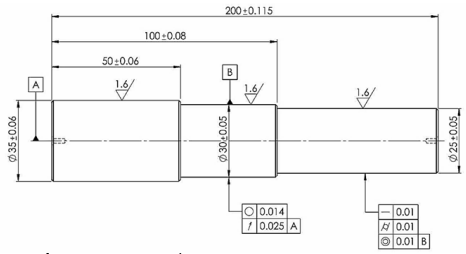
3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิต

3.1.1 เครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิต ในการเขียนแบบเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเราคณิตได้ใช้โปรแกรม Solid Work ในการออกแบบ ซึ่งได้มีการเขียนเป็นพาสแยกชิ้นและนำชิ้นส่วนมาประกอบกัน

รูปที่ 6 แสดงเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตที่ออกแบบ

3.2 การหาประสิทธิภาพ

3.2.1 ตรวจสอบความถูกต้องของเพลาที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวัด 3 มิติ เมื่อทำการสร้างชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว คณะผู้จัดทำได้นำชิ้นงานมาทำการตรวจสอบขนาดตามแบบที่กำหนดว่าค่าของชิ้นงานที่สร้างขึ้นมาถูกต้องตามแบบที่กำหนดหรือไม่ โดยใช้เครื่องวัด 3 มิติในการตรวจสอบขนาด ซึ่งการวัดตรวจสอบขนาด



รูปที่ 8 แสดงจุดที่จะทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องของเพลาที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องของเพลาที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวัด 3 มิติ

ค่างาน (mm)	พิกัดความเผื่อ (mm)	ค่าที่วัดได้ (mm)	ผลการตรวจสอบ
200	±0.115	199.98	ผ่าน
100	±0.087	99.97	ผ่าน
50	±0.062	49.98	ผ่าน
Ø 35	±0.062	34.97	ผ่าน
Ø 30	±0.052	29.98	ผ่าน
Ø 25	±0.052	24.97	ผ่าน
Ra 1.6	1.6 max	0.985	ผ่าน
Ra 1.6	1.6max	0.985	ผ่าน

สรุปผลการตรวจสอบของเพลาที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวัด 3 มิติ ผลการวัดค่าอยู่ในพิกัดความเผื่อที่กำหนดไว้ในแบบทุกตำแหน่ง

ตารางที่ 7 แสดงตารางบันทึกผลการวัดพิกัดรูปทรงด้วยเครื่องวัด 3 มิติ

ค่าพิกัดรูปทรง	ค่างานครั้งที่ (mm)					$\bar{x}$ (mm)	S.D (mm)
	1	2	3	4	5		
ค่าความตรง	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0002	0.0004
ค่าความกลม	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.0008	0.0008
ค่าความเป็นทรงกระบอก	0.015	0.015	0.016	0.017	0.015	0.0156	0.0008
ค่าความร่วมศูนย์ร่วมแกน	0.018	0.018	0.016	0.018	0.017	0.0174	0.0009
ค่ารันเอาท์	0.019	0.019	0.016	0.017	0.018	0.0178	0.0013

ตารางที่ 8 แสดงตารางบันทึกผลการวัดพิกัดรูปทรงด้วยเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต

ค่าพิกัดรูปทรง	ค่างานครั้งที่ (mm)					$\bar{x}$ (mm)	S.D (mm)
	1	2	3	4	5		
ค่าความตรง	0.002	0.004	0.003	0.005	0.002	0.0032	0.0013
ค่าความกลม	0.002	0.005	0.003	0.004	0.003	0.0034	0.0011
ค่าความเป็นทรงกระบอก	0.019	0.021	0.020	0.018	0.020	0.0196	0.0011
ค่าความร่วมศูนย์	0.021	0.020	0.021	0.022	0.019	0.0206	0.0011
ค่ารันเอาท์	0.021	0.020	0.019	0.022	0.018	0.0200	0.0015

จากตารางที่ 7 และ 8 ได้ทำการวัดค่าพิกัดรูปทรง GD&T ที่สองเครื่องเพื่อวัดความตรงวัดค่าความกลมวัดค่าความเป็นทรงกระบอกวัดค่าความร่วมศูนย์ร่วมแกนวัดและค่ารันเอาท์ ทั้งหมด 4 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน

3.2.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวัด

คณะผู้จัดทำได้นำผลการวัดจากเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต และเครื่องวัด 3 มิติ มาเปรียบเทียบ โดยได้นำค่าเฉลี่ยพิกัดรูปทรง GD&Tของแต่ละเครื่องมาทำการเปรียบเทียบและหาผลต่างดังตารางที่ 9

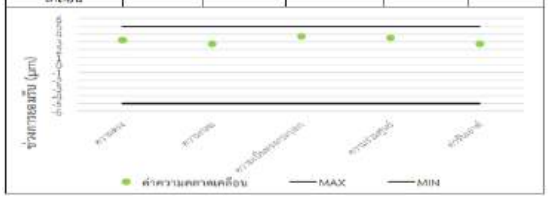
ตารางที่ 9 แสดงผลต่างการวัดระหว่างเครื่องมือวัด 3 มิติ และเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต

พารามิเตอร์	ผลการวัดจากเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต (mm)	ผลการวัดจากเครื่องวัด 3 มิติ (mm)	ผลต่างของผลการวัด (mm)
1. ค่าความตรง	0.0035	0.0003	0.0032
2. ค่าความกลม	0.0035	0.0008	0.0027
2. ค่าความเป็นทรงกระบอก	0.0195	0.0158	0.0037
3. ค่าความร่วมศูนย์ร่วมแกน	0.0210	0.0175	0.0035
4. ค่ารันเอาท์	0.0205	0.0178	0.0027

เปรียบเทียบผลของการวัดระหว่างเครื่องมือวัด 3 มิติ และเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิตพบว่าผลต่างของทั้ง2เครื่องมีค่าไม่เกิน ± 0.005 mm นำค่าที่ได้มามาเปรียบเทียบหาช่วงการยอมรับตาม ISO 8636-1

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างการวัดเทียบกับมาตรฐาน ISO 8636-1

ลักษณะการวัด	ความตรง	ความกลม	ความเป็นทรงกระบอก	ความร่วมศูนย์	ค่ารันเอาท์
เครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต	0.0035	0.0035	0.0195	0.0210	0.0205
เครื่องมือวัด 3 มิติ	0.0003	0.0008	0.0158	0.0175	0.0178
ค่าความคลาดเคลื่อน	0.0032	0.0027	0.0037	0.0035	0.0027



คณะผู้จัดทำได้นำผลต่างผลการวัดระหว่างเครื่องมือวัด 3 มิติ กับเครื่องที่ได้ทำการสร้างขึ้น มาเปรียบเทียบหาช่วงการยอมรับตามมาตรฐาน ISO 8636-1 โดยมีค่าที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ ± 0.005 mm จากที่คณะผู้จัดทำได้นำผลต่างผลการวัด ผลต่างผลการวัดพิกัดรูปทรงมา 5 ลักษณะ คือ ความตรง, ความกลม, ความเป็นทรงกระบอก, ความร่วมศูนย์ร่วมแกน, และค่ารันเอาท์ พบว่าจากกราฟค่าพิกัดรูปร่างรูปทรงทั้ง 5 ลักษณะ อยู่ในช่วงการยอมรับตามมาตรฐาน ISO 8636-1 ได้กำหนดไว้อยู่ที่ ± 0.005 mm

3.2.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล

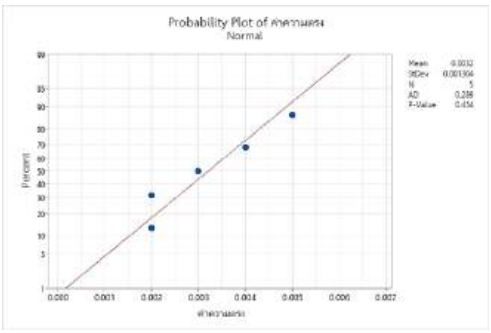
หลังจากที่ผู้จัดทำได้ทำการวัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนด้วยเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต และเปรียบเทียบผลการวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว คณะผู้จัดทำได้ทำการสุ่มตัวอย่างค่าพิกัดมา 5 ลักษณะ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 11 สรุปผลการทดลองค่าพิกัดทั้ง 5 ลักษณะ

ค่าพิกัดรูปทรง	ค่างานครั้งที่ (mm)					$\bar{x}$ (mm)	S.D (mm)
	1	2	3	4	5		
ค่าความตรง	0.002	0.004	0.003	0.005	0.002	0.0032	0.0013
ค่าความกลม	0.002	0.005	0.003	0.004	0.003	0.0034	0.0011
ค่าความเป็นทรงกระบอก	0.019	0.021	0.020	0.018	0.020	0.0196	0.0011
ค่าความร่วมศูนย์	0.021	0.020	0.021	0.022	0.019	0.0206	0.0011
ค่ารันเอาท์	0.021	0.020	0.019	0.022	0.018	0.0200	0.0015

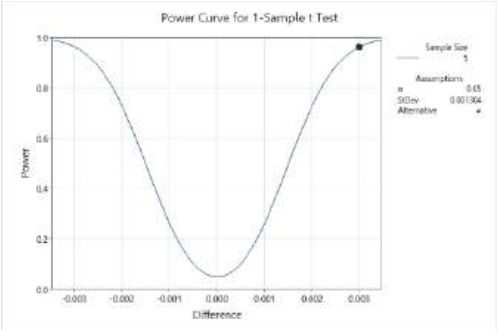
จากตารางที่ 11 จากการเก็บตัวอย่างของค่าพิกัดทั้ง 5 ลักษณะแล้วนำค่าไปคำนวณเพื่อทดสอบการกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่างและคำนวณหาตัวอย่างที่เหมาะสมแล้วนำไปทดสอบความแปรปรวน(F-test) และการทดสอบค่าเฉลี่ย (t-test) เพื่อประเมินว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทอลองการแจกแจงแบบปกติ Probability Plot คณะผู้จัดทำได้ทำการลอง เพื่อดูการกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าความตรงที่ได้เก็บข้อมูลมา 5 ตัวอย่าง ไม่มีความผิดปกติแต่อย่างใด ดังรูปที่ 13



รูปที่ 9 แสดงการแจกแจงของค่าความตรง

ผลการทดลองในการหาค่าตัวแปรด้วยขนาดตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง คณะผู้จัดทำได้ทำการหาขนาดตัวอย่างของค่าความตรง โดยผลการวัดทั้ง 5 ครั้ง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0032 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.001304 ดังรูปที่ 14



รูปที่ 10 แสดงกราฟความเชื่อมั่นที่ 95 % ของค่าความตรง

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบของค่าความตรง

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.003	5	0.95	0.963376

จากตารางที่ 12 จะพบว่าการทดลองหาขนาดตัวอย่างที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % ในการทดลองพบว่า ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคำนวณได้เท่ากับ ตัวอย่าง ดังนั้นทดลองกับ 5 ตัวอย่างจึงเหมาะสมแล้ว ไม่ต้องทำการทดสอบเพิ่ม

หลังจากได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมแล้วทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่มคือ ค่าความตรงที่วัดจากเครื่องวัด 3 มิติ และค่าความตรงที่วัดได้จากเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิต โดยใช้การทดสอบความแปรปรวน (F-test) และการทดสอบค่าเฉลี่ย (Two-sample t-test) เพื่อประเมินว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 13 แสดงผลจากโปรแกรม Minitab (F-test)

Method	Test Statistic	DF1	DF2	P-Value
F	0.12	4	4	0.062

จากตารางที่ 13 การวิเคราะห์ผลพบว่าค่า P-Value = 0.062 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (α = 0.05) ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 สรุปว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน

ตารางที่ 14 แสดงผลจากโปรแกรม Minitab (Two-sample t-test)

T-Value	DF	P-Value
-4.87	8	0.001

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดที่ 0.05 (α = 0.05) ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0) และยอมรับสมมติฐานทางเลือก (H1) แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความตรงของเครื่องวัด 3 มิติ น้อยกว่าค่าความตรงของเครื่องที่สร้างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\mu1 < \mu2$)

4.สรุปผล

4.1 ใช้มาตรฐาน IS:5980-1978 กำหนดการสร้างเครื่องวัดขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต และใช้มาตรฐาน ISO TC 39 ในการตรวจสอบเครื่อง จากการศึกษาในรูปแบบการใช้งานเครื่องวัดเปรียบเทียบและตรวจสอบ โดยปกติทั่วไปจะใช้อุปกรณ์ช่วยในการวัดค่าความเบี่ยงเบนเมื่อหมุนในระนาบ และความร่วมศูนย์ร่วมแกน โดยใช้นาฬิกาวัดเป็นตัวบอกค่าที่เบี่ยงเบนไป และต่อมาได้มีการออกแบบและสร้างโดยมี(PLC)มาเป็นตัวควบคุม เพื่อเปลี่ยนการตรวจสอบชิ้นงานให้เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ และให้การตรวจสอบชิ้นงานสะดวกมากยิ่งขึ้น แต่ยังคงยึดขนาดมาตรฐานตามระบบ IS:5980-1978 จึงทำให้สามารถวัดงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด และมีความน่าเชื่อถือ

4.2 เครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิตมีค่าการวัดไม่เกินมาตรฐาน ISO 8636-1 ซึ่งได้นำผลจากเครื่องวัดขนาดและรูปทรงเรขาคณิต 5 ลักษณะสามารถยอมรับได้ตามมาตรฐาน ISO 8636-1

5.กิตติกรรมประกาศ

บทความงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากอาจารย์บุญกิจ อุ่นพิกุล อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เฉลิมชัย กุลเลียบและกรรมการสอบทุกท่าน ซึ่งกรุณาถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำในการจัดทำโครงการจนประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีและขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวใน ณ ที่นี้

6.เอกสารอ้างอิง

[1] จุฑามาศ จิวะสังข์, การออกแบบงาน 3 มิติ ด้านวิศวกรรมและงานช่าง Solid Work 2012ฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพมหานคร : รีไวร่า จำกัด ,(2555).

[2] มนูญ เทพกิจอารีกุล, วิศวกรรมเครื่องจักรกลอัตโนมัติเบื้องต้น,เอกสารประกอบการเรียบ, (2548).

[3] ไชยศักดิ์ ศรีสุขเดช, การวัดละเอียด.กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, (2546).

[4] เพียร โตท่ารง, (2554). เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการมาตรวิทยาด้านมิติแก่ระดับครูระดับอาชีวศึกษาทั่วประเทศ.ขอนแก่น : สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 6

[5] ไพบูลย์ ชูพึ่งอาตม์,ทฤษฎีงานวัดละเอียด(กรรมวิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล). กรุงเทพมหานคร : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล และโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม,(2530).

[6] ภานุฤทธิ์ ยุกตะทัต, การออกแบบเครื่องจักรกลกรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, (2547).

[7] มานพ ตันตระบัณฑิตย์, วัสดุวิศวกรรม.กรุงเทพมหานคร : โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),(2536).

[8] สุรพลราษฎร์นุ่ย,วิศวกรรมการบรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็นยูเคชั่น จำกัด มหาชน, (2545).

[9] อุบลกาญจน์ปราบภัย,(2549).เขียนแบบวิศวกรรม. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยเทคโนราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น,

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN OXYGEN SUPPLY CONTROL SYSTEM FOR NILE TILAPIA FARMING

เจษฎา เนาวเพ็ชร์[1] อภิสิทธิ์ สีดามา[1] และออมสิน ลาญวนวงษ์[1]
อรรถสิทธิ์ เครือคำ[1*] จิระยุทธ เนื่องรินทร์[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Jetsada Naowaphet[1] Apisit Seedama[1] Aomsin Layuanwong[1]
Attasit Kruekham[1*] Jirayut Nengrin[1*]
[1]Department of Industrial Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Isan
Khon Kaen Campus
E-mail: jetsada.na@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

จากการออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล มีการสร้างระบบควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มาควบคุมชุดวงจรไฟฟ้าโดยมีเมกเนติกเป็นตัวรับค่าและสั่งเปิด – ปิดชุดให้ออกซิเจน โดยระบบควบคุมสามารถควบคุมชุดให้ออกซิเจนได้ 3 แบบคือ ควบคุมผ่านแผงคอนโทรลหน้าตู้ ควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน และควบคุมผ่านเซนเซอร์ พร้อมจัดทำแผนและคู่มือการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ผลการดำเนินงานพบว่า ระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพของการทำงาน โดยการเก็บผลการทดลอง 1 รอบการผลิต หรือ 30 วัน ได้ผลการทดลอง เวลาเปิดชุดให้ออกซิเจนจากเดิมอยู่ที่ 16 ชั่วโมงต่อวัน จากการนำเอาระบบมาใช้ในการควบคุมทำให้เหลือเวลาการใช้งานชุดให้ออกซิเจนเฉลี่ยเพียงแค่ 1.68 ชั่วโมงต่อวันหรือคิดเป็น 1 ชั่วโมง 40 นาที หรือคิดเป็นการลดค่าใช้จ่ายได้อยู่ที่ร้อยละ 89.5 และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 89.5 ซึ่งสรุปได้ว่าผ่าน

Abstract

From the design and construction of a control system, oxygen supply units for tilapia farming A control system has been created using the ESP32 microcontroller to control the electrical circuit with the magnetics as the receiver and the command to turn the oxygen supply unit on and off. Control via the cabinet front control panel. Control through applications and control through sensors, along with preparing preventive care plans and manuals.

The results of the operation found that the oxygen supply system for raising tilapia can be used efficiently by collecting the results of the experiment for 1 production cycle or 30 days. The experimental results showed that the time the oxygen supply was opened from the original 16 hours per day. From using the system for control, the average time for using the oxygen supply was only

1.68 hours per day or 1 hour and 40 minutes, or a cost reduction of 89.5 percent and an efficiency of 89.5 percent, which can be concluded as passing.

1. บทนำ

ในปัจจุบันปลานิล เป็นสัตว์น้ำจืดที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของคนในชุมชนทางภาคอีสาน เนื่องจากปลานิลนั้น เป็นสัตว์น้ำจืดที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และมีโปรตีนสูง สามารถนำไปทำอาหารได้หลากหลาย เหมาะกับทุกเพศทุกวัย ดังนั้นปลานิลจึงมีความต้องการของตลาดมากในแต่ละพื้นที่ของภาคอีสาน และปลานิลแปลงเพศ ถือว่าเป็นปลานิลที่ได้รับความนิยมในการเลี้ยงมากที่สุด เนื่องจากว่าปลานิลทุกตัวที่แปลงเพศแล้ว จะไม่สามารถขยายพันธ์ในแหล่งน้ำใดๆได้ สามารถควบคุมการแพร่พันธุ์ในแหล่งน้ำ และยังเป็นการควบคุมการให้อาหารของปลานิลเพื่อที่ปลาจะสามารถโตได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลส่วนใหญ่ จึงนิยมที่จะนำเอาปลานิลแปลงเพศ จากแหล่งเพาะพันธุ์ปลานิลแปลงเพศต่าง ๆ ไปเลี้ยง เพื่อส่งขายในตลาดต่าง ๆ ต่อไป

จากการไปสำรวจข้อมูลที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดขอนแก่น ได้มีการไปศึกษาการเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศ ตั้งแต่กระบวนการ ฟักไข่ กระบวนการเลี้ยงตัวอ่อนจากไข่ รวมไปถึงการอนุบาลตัวอ่อนในบ่อดิน จนถึงนำมาพักในบ่อปูนเพื่อรอตักขาย การเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน จำนวน 4 บ่อ บ่อละ 22 กระชัง 1 กระชังมีลูกปลานิลแปลงเพศจำนวน 10,000 ตัว รวมทั้งสิ้นประมาณ 880,000 ตัวในบ่อดิน รวมเวลาในกระบวนการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในบ่อดินประมาณ 21 - 30 วัน โดยมีค่าใช้จ่ายต่อการเลี้ยง 1 ครั้งอยู่ที่ 43,960 บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนโดยตรง ทางคณะผู้จัดทำจึงทำการศึกษาต้นทุนโดยตรงว่ามีต้นทุนส่วนไหนที่สามารถลดลงได้ จึงไปพบว่าต้นทุนที่สามารถลดได้คือต้นค่าไฟฟ้าจากการเปิดชุดให้ออกซิเจน เนื่องจากว่าก่อนมีการเปิดออกซิเจนเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน แต่จุดที่ออกซิเจนวิกฤตที่ทำให้ปลาตายมีเวลาแค่ 4 – 5 ชั่วโมง จึงเป็นการใช้ไฟฟ้าสูญเปล่าถึง 11 – 12 ชั่วโมงต่อวัน

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้มีการหาทางออกของปัญหานี้โดยการสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลขึ้น โดยระบบจะเปิดและปิดชุดให้ออกซิเจนตามความต้องการจริง ๆ ของปลา และยังมีการสร้างระบบเติมอากาศแบบถังผสม เพื่อให้ออกซิเจนนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในการเปิดชุดให้ออกซิเจนนั้นน้อยลงตามไปด้วย ทำให้ค่าฟ้าที่ใช้ในการเปิดชุดให้ออกซิเจนของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดขอนแก่นนั้นลดลงได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษากระบวนการเพาะเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงการเพาะเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน ได้ดังนี้

3.1.1 การเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน เลี้ยงตั้งแต่ฟักไข่ออกมา 0.5 เซนติเมตร และตักขายที่ขนาดตัว 2 - 3 เซนติเมตร

3.1.2 ใช้เวลาในการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน 21 - 30 วัน

3.1.3 การเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน มีบ่อดินจำนวน 4 บ่อ บ่อละ 22 กระชัง รวม 2 บ่อ เป็นจำนวน 44 กระชัง 1 กระชังเลี้ยงปลานิลแปลงเพศทั้งหมด 10,000 ตัว รวมทั้ง 88 กระชัง จะเลี้ยงปลานิลแปลงเพศทั้งหมด 880,000 ตัว

3.1.4 การให้อาหาร ถือเป็นวิธีการที่สำคัญ นอกจากจะเป็นการให้อาหารแล้ว ยังเป็นจะทำให้ปลานิลนั้นแปลงเพศด้วย เนื่องจากจะให้อาหารปลานิลแปลงเพศในเวลา 09.00 น. ของทุกวัน

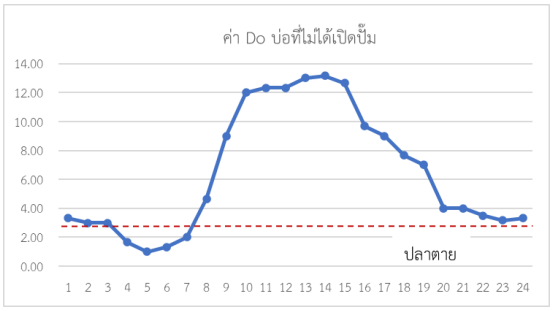
3.1.5 การเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้แก่ปลานิลแปลงเพศ ถือว่าเป็นวิธีการที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลานิลแปลงเพศ เพราะการอยู่รอดของปลานิลแปลง

เพศก็ต้องอาศัยการหายใจเอาออกซิเจนเช่นเดียวกันกับคน และค่าออกซิเจนในน้ำ (Do) ที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อยู่ที่ 3 mg/L ขึ้นไป และปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มหรือลดลงของค่าออกซิเจน (Do) คือแสงแดดการเพิ่มออกซิเจนในน้ำของกรมประมงจังหวัดขอนแก่น ทำโดยการเปิดปั๊มน้ำดูดน้ำขึ้นมาส่งผ่านท่อ และลงไปยังแต่ละกระชัง ในเวลา 16.00 – 08.00 น. เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงจากชุดให้ออกซิเจน

3.1.6 ค่าใช้จ่ายรวมในการเพาะเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศในบ่อดิน

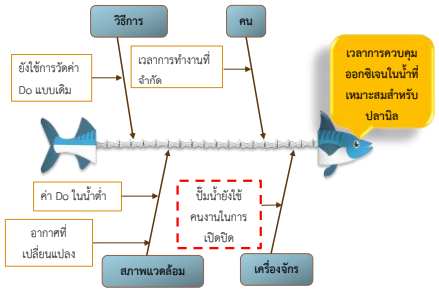
ค่าใช้จ่ายที่ใช้ต่อการเลี้ยงลูกปลานิลแปลงเพศต่อครั้ง รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 43,960 บาท จะเห็นได้ว่า ค่าไฟฟ้า 5,760 บาท คิดเป็นร้อยละ 13.10 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าไฟฟ้าเป็นต้นทุนที่สามารถควบคุมได้

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลและแนวทางการแก้ไขปัญหาการควบคุมออกซิเจนในน้ำ



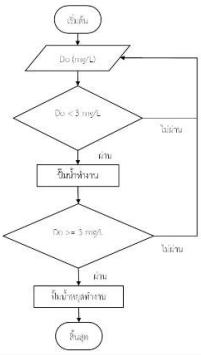
รูปที่ 1 กราฟแสดงค่า Do 1 วัน ของบ่อที่ไม่ได้เปิดปั๊มน้ำ

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเวลาการเปิด-ปิดชุดให้ออกซิเจนคือ 16 ชั่วโมงต่อวัน แต่จากรูปจะเห็นได้ว่า ในช่วงที่ออกซิเจนต่ำจริงๆอยู่ในช่วง 3 - 4 ชั่วโมงเท่านั้น จากปัญหานี้จึงได้มีการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิเหตุและผล (ก้างปลา)



รูปที่ 2 แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา

จากรูปที่ 2 จึงสามารถสรุปได้ว่าสาเหตุของเวลาการควบคุมชุดให้ออกซิเจนที่ไม่เหมาะสมคือ ชุดให้ออกซิเจนยังใช้คนงานในการเปิด – ปิด



รูปที่ 3 Flow Chart หลักการทำงานของระบบ

3.3 ออกแบบระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

3.3.1 วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.2 วงจรกำลังไฟฟ้า

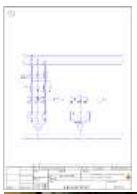
3.3.3 ระบบเติมอากาศโดยใช้หลักการเวนทูรี

3.4 ประเมินผลการออกแบบระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน

3.5 ดำเนินการสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

3.5.1 ดำเนินการสร้างวงจรไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการควบคุม

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการประกอบติดตั้งวงจรกำลังไฟฟ้า

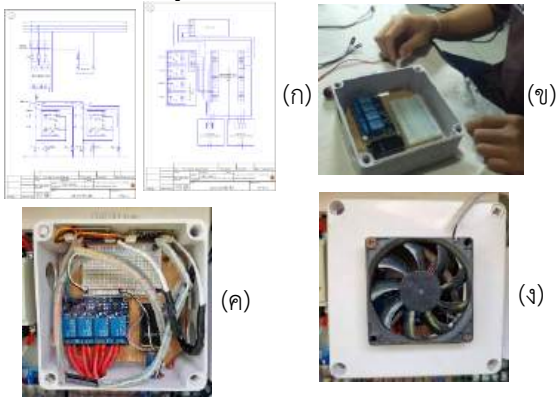
ขั้นตอนการประกอบติดตั้งวงจรกำลังไฟฟ้า	
รูปประกอบการดำเนินการ	
 (ก)	(ข)
(ค)	(ง)

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. แบบสั่งงานระบบไฟฟ้ากำลัง ดังแสดงในรูป ก
2. ติดตั้งอุปกรณ์ภายในให้ครบ ดังแสดงในรูป ข
3. ต่อสายไฟฟ้าขนาด 3 มิลลิเมตร เข้ากับวงจรควบคุมกำลัง ดังแสดงในรูป ค
4. ต่อชุดควบคุมหน้าตู้เข้ากับชุดไฟฟ้ากำลังภายในตู้ แสดงในรูป ง

3.5.2 สร้างวงจรควบคุม

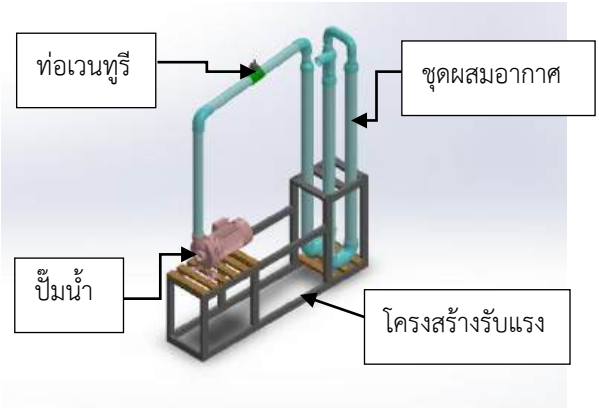
ตารางที่ 2 ขั้นตอนการประกอบติดตั้งวงจรควบคุม

ขั้นตอนการประกอบติดตั้งวงจรควบคุม
รูปประกอบการดำเนินการ
 (ก) (ข) (ค) (ง)
ขั้นตอนการดำเนินการ 1. แบบสั่งงานไฟฟ้าระบบควบคุม ดังแสดงในรูป ก 2. ติดตั้ง โพโต้บอร์ด , ESP 32 , คอนโทรลดีเลย์ เข้ากับกล่องควบคุม ดังแสดงในรูป ข 3. ต่อเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนในน้ำ ดังแสดงในรูป ค 4. ติดตั้งหน้าจอแสดงผล และพัดลมระบายอากาศ ดังแสดงในรูป ง

3.5.3 สร้างวงจรควบคุมโดยการควบคุมผ่านแอพพลิเคชั่น (Blynk)

รูปที่ 4 แอพพลิเคชัน Blynk

3.5.4 สร้างชุดเพิ่มออกซิเจนโดยใช้หลักการเวนทูรี



รูปที่ 5 การออกแบบระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

รูปที่ 6 ชุดเพิ่มออกซินเจนแบบท่อผสมออกซิเจน (เวนทูรี)

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

4.1.1 ประเมินผลการออกแบบระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีผลประเมินเฉลี่ย 4.00 สรุปประเมินผลการออกแบบมาอยู่ในระดับดี

4.1.2 ผลการสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

4.1.2.1 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลจำนวน 1 เครื่อง

4.1.2.2 ระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล สามารถควบคุมการจ่ายไฟฟ้าไปยัง

ชุดให้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มออกซิเจนแก่ปลานิลแปลงเพศในบ่อ ได้ทั้งหมด 3 วิธี

1) ระบบสามารถควบคุมชุดให้ออกซิเจนได้ด้วยการเปิด – ปิดด้วยสวิตช์

2) ระบบสามารถควบคุมชุดให้ออกซิเจนได้ด้วยการเปิด – ปิดด้วยแอพพลิเคชัน Blynk

3) ระบบสามารถควบคุมชุดให้ออกซิเจนได้ด้วยการเปิด – ปิดด้วยเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนในน้ำ

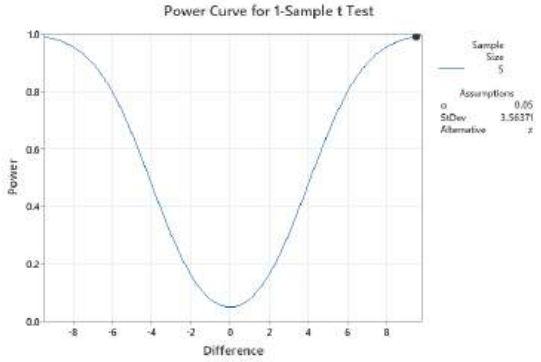
4.1.2.3 ระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล สามารถแสดงค่าออกซิเจนในน้ำได้ตามค่าในเซนเซอร์ จากแอพพลิเคชั่น Blynk และ หน้าจอแสดงผล

4.2 ผลการหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

4.2.1 ผลการทดลองระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณหาขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานของชุดให้ออกซิเจน

ลำดับ	ข้อมูล	ตัวแปร	จำนวนข้อมูล
1	97.0	Max	102.5
2	100.0	Min	93.0
3	99.0	Difference	9.5
4	102.5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STDEV)	3.56371
5	93.0		



รูปที่ 7 แสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Minitap ของการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานของชุดให้ออกซิเจน

4.2.3 การหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{เวลาก่อนปรับปรุง} - \text{เวลาหลังปรับปรุง}}{\text{เวลาก่อนปรับปรุง}} \times 100\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{16 \text{ ชั่วโมง} - 1.68 \text{ ชั่วโมง}}{16 \text{ ชั่วโมง}} \times 100\%$$

ประสิทธิภาพ = 89.50 %

ดังนั้นระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 89.50 ของโครงการ

4.2.4 การเปรียบเทียบผลก่อน-หลังการสร้างระบบควบคุม

4.2.4.1 ผลการทำงานชุดให้ออกซิเจนก่อนการนำระบบควบคุมไปใช้ การใช้งานชุดให้ออกซิเจนแบบเดิมจะมีเวลาอยู่ที่ 16 ชั่วโมงต่อวัน

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = \frac{1{,}500 \text{ วัตต์ x } 16 \text{ ชั่วโมง x } 30 \text{ วัน x } 4}{1{,}000 \text{ ต่อหน่วย}}$$

ดังนั้นจะได้ค่าใช้จ่ายแต่ละเดือนอยู่ที่ 2,880.00 บาท

4.2.4.2 ผลการทำงานชุดให้ออกซิเจนก่อนการนำระบบควบคุมไปใช้ การใช้งานชุดให้ออกซิเจนแบบใหม่จะมีเวลาอยู่ที่ 1.68 ชั่วโมงต่อวัน

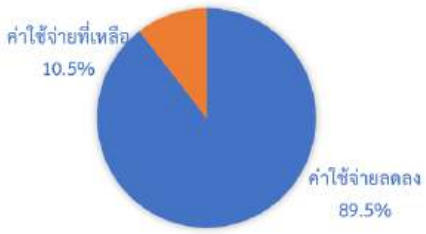
การคิดคำนวณ

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = \frac{1{,}500 \text{ วัตต์ x } 1.68 \quad \text{มง x } 30 \text{ วัน x } 4}{1{,}000}$$

ดังนั้นจะได้ค่าใช้จ่ายแต่ละเดือนอยู่ที่ 302.40 บาท

4.2.4.3 การเปรียบเทียบผลเมื่อคิดเป็นจำนวนเงินที่ต้องใช้เกี่ยวกับการให้ออกซิเจนสำหรับปลานิลแปลงเพศ โดยจะอาศัยรูปที่ 8 แผนภูมิการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

รูปที่ 8 แผนภูมิการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย



รูปที่ 9 แผนภูมิการเปรียบเทียบการลดค่าใช้จ่าย

จากรูปที่ 9 แผนภูมิการเปรียบเทียบการลดค่าใช้จ่าย เพื่อให้เป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่า ระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล ที่สร้างขึ้น สามารถลดค่าไฟฟ้า สำหรับการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศได้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

5. สรุปผล

โครงการการออกแบบและสร้างระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิล เป็นโครงการที่สร้างมาเพื่อวัตถุประสงค์และสมมติฐานสองอย่างคือ ระบบควบคุมฯ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิ์ภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และระบบควบคุมฯ ที่สร้างขึ้นสามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 จากการออกแบบและสร้างระบบขึ้นมาสามารถมีประสิทธิภาพมากถึงร้อยละ 89.50 เนื่องจากการวัดจากเซนเซอร์การวัดค่าออกซิเจนในน้ำนั้นเทียบกับมาตรฐานจากชุดทดสอบออกซิเจนในน้ำ และระบบควบคุมชุดให้ออกซิเจนสำหรับการเลี้ยงปลานิลที่สร้างขึ้นสามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 90 เนื่องจากการทำงานของระบบนั้นจะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากเดิม 16 ชั่วโมงต่อวัน ให้เหลือแค่ 3.35 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อคิดเป็นต่อชุดให้ออกซิเจนจะมีเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1.68 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น ทั้งนี้ระบบสเปรย์น้ำที่ใช้ฝักบัวกระจายน้ำนั้นยังช่วยให้อัตราการรอดชีวิตของปลานิลแปลงเพศในบ่อดินนั้นเพิ่มสูงขึ้นได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงอาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องจักรและยืมอุปกรณ์ในการทำโครงการ และอุปกรณ์ในการการตรวจสอบมาตรฐานของระบบควบคุมตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ผศ.ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง, ผศ.ชาญณรงค์ ศรีทรงเมืองม อาจารย์สุมนา บุษบก ,นางสาวชุติกานต์ หอมทรัพย์ นายศุภกาญจน์ คงสมแสวง (2565). การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง.คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาระบบสารสนเทศ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา

[2] จุฬาพร พันธ์กำเหนิด, ประไพศรีเหล่าทองมีสกุลง (2563). การพัฒนาระบบบริหารจัดการฟาร์มอัจฉริยะ กรณีศึกษาแปลงสละพันธุ์สุมาลี ศูนย์สมาร์ทฟาร์มมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. ศูนย์เทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช, 80160

[3] ผศ.สุวิพล มหศักดิสกุล (2563). เครื่องผลิตน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นโดยกระบวนการหล่อเย็นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[4] สุภาวดี อัตถาผล (2559). ปัจจัยที่มีผลต่อวัฏจักรไนโตรเจนในสภาวะจำลองของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] พงศกร พิมพะนิคย์ (2553). เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในระบบดิจิตอลเพื่องานสิ่งแวดล้อม. สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

การประยุกต์ใช้งานโรบอทวิชั่นสำหรับการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานอุตสาหกรรม

Application of Robot Visions for Quality Inspection of Industrial Parts

ทัศพันธุ์ สุวรรณทัต บุญฤทธิ์ ปินตาสี และกิตติพงษ์ พรมดี
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Tassaphan Suwannatat Bunyalith Pintasee and Kittiphong Phromdi
Department of Mechatronics and Robotics Engineering, School of Engineering and Innovation
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: tassaphan_su@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบที่สามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ระบบการมองเห็นเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาหุ่นยนต์อัจฉริยะ งานวิจัยนี้นี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบโรบอทวิชั่นที่ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องฉีดพลาสติก งานวิจัยนี้ใช้การพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่สามารถจำแนกและตรวจจับวัตถุต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ระบบโรบอทวิชั่นถูกฝึกให้สามารถระบุวัตถุในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนได้ โดยใช้ข้อมูลภาพจากกล้องที่ติดตั้งบนหุ่นยนต์และเซ็นเซอร์ เพื่อเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับและจำแนกวัตถุได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว มีส่วนเบี่ยงเบนของร้อยละงานดีและเสียค่อนข้างน้อย ส่วนพนักงานมีการสวิงการตรวจสอบคุณภาพมากกว่า และมีความสามารถตรวจจำนวนชิ้นงานได้มากกว่าแรงงาน และมีแนวโน้มความผิดพลาดน้อยลงในระยะยาว
คำหลัก หุ่นยนต์อุตสาหกรรม, ระบบโรบอทวิชั่น, การประมวลผลภาพ, การตรวจจับวัตถุ

Abstract

The development of a system that can perceive and respond to the environment using a vision system is an important tool in developing intelligent robots. This research focuses on the development of a robot vision system that uses vision technology to inspect the quality of workpieces from a plastic injection machine. This research uses the development of a deep learning model that can classify and detect various objects accurately. The robot vision system is trained to identify objects in a complex environment using image data from cameras mounted on the robot and sensors to collect spatial data. The results show that the developed robot system can detect and classify objects accurately and quickly, with relatively little deviation in the percentage of good and reject work. In addition, workers have more swings in quality inspections and robot vision are able to inspect a larger number of workpieces than laborers, and tend to have fewer errors in the long run.
Keywords: Industrial Robotics, Robot Vision, Image Processing, Object Detection

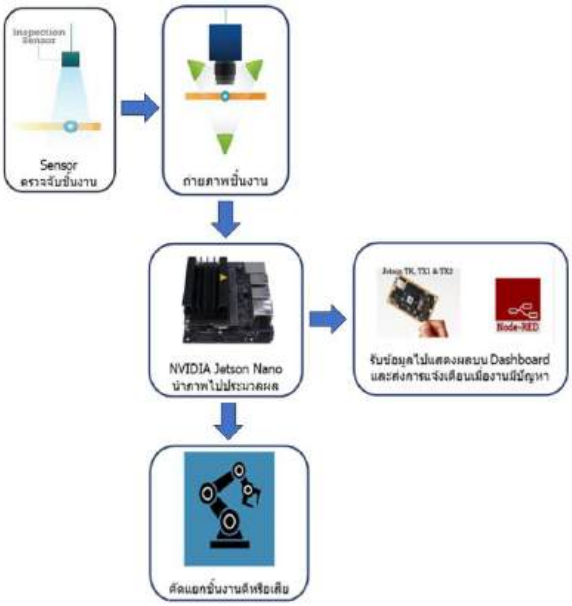
1. บทนำ

ปัจจุบันสภาวะการแข่งขันในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนมีการแข่งขันสูงอย่างมาก เนื่องจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของชิ้นงานพลาสติกที่ผลิตขึ้นเพื่อส่งต่อให้โรงงานประกอบผลิตภัณฑ์ จะต้องต้องสามารถผลิตให้ตรงตามแบบและลักษณะเฉพาะที่กำหนด การพัฒนาหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการใช้ระบบการมองเห็นเพื่อการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพชิ้นงานในสายการผลิต [1],[2],[3] จึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้นี้ผู้วิจัยได้เสนอระบบตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบโรบอทวิชัน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการผลิตชิ้นงานจากเครื่องฉีดพลาสติก ระบบนี้จะถ่ายรูปและประมวลผลภาพชิ้นงานพลาสติกเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ บันทึกประวัติการตรวจสอบทั้งหมดไว้ในทำให้เข้าถึงข้อมูลที่เก็บไว้ได้อย่างรวดเร็ว ระบบนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้แม่นยำและเที่ยงตรงกว่าใช้คนในการตรวจสอบ ทำงานได้สม่ำเสมอและไม่มีความเหนื่อยล้าเหมือนกับมนุษย์ซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ของความผิดพลาด และงานวิจัยนี้เสนอแนวทางการตรวจจับและจำแนกประเภทเพื่อระบุคุณภาพของชิ้นงานพลาสติก โดยใช้ YOLO (You Only Look Once) v8 [4] ซึ่งเป็นวิธีจำแนกชิ้นงานด้วยระบบวิชั่นด้วยการจดจำและแยกแยะวัตถุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับจำแนกประเภทของชิ้นงานพลาสติกคุณภาพดีและเสีย

2. การศึกษาและการออกแบบ

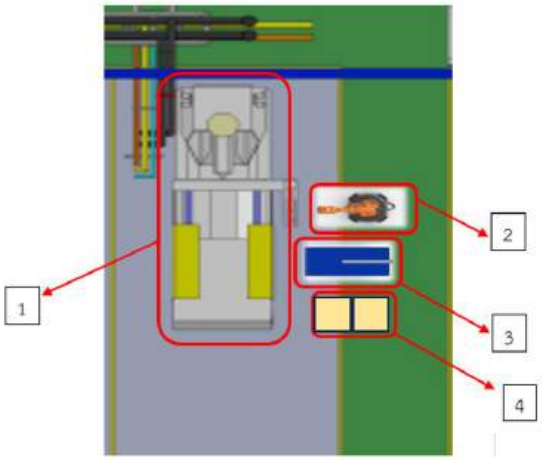
2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ได้ออกแบบไว้ 3 ส่วนคือ ส่วนด้านอินพุต ส่วนด้านการประมวลผล และส่วนด้านเอาต์พุต โดยที่ส่วนด้านอินพุตเซนเซอร์จะทำหน้าที่ตรวจจับชิ้นงานเพื่อส่งสัญญาณให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งหยิบชิ้นงาน และเมื่อหุ่นยนต์หยิบชิ้นงานมาวางไว้จุดที่ทำการติดตั้งกล้องถ่ายภาพเพื่อส่งคำสั่งไปยังชุดคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ I/O เป็นช่องทางในการส่งสัญญาณ เพื่อส่งคำสั่งให้กล้องถ่ายภาพชิ้นงานและประมวลผลคัดแยกชิ้นงานดีชิ้นงานเสีย จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณไปที่หุ่นยนต์มาหยิบชิ้นงานไปวางไว้ที่จุดที่เรากำหนดไว้และจะส่งผลลัพธ์ไปที่ dashboard เพื่อแสดงจำนวนชิ้นงานที่ทำการตรวจจับได้และสามารถดูได้แบบเรียลไทม์ รายละเอียดของฮาร์ดแวร์แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

2.2 การออกแบบแปลนการติดตั้ง



รูปที่ 2 แปลนการติดตั้ง

แปลนพื้นที่ในการติดตั้งแสดงในรูปที่ 2 โดยในรูปจะแสดงตัวเลขเพื่อบอกจุดติดตั้งต่างๆ ได้แก่

หมายเลข 1 เครื่องฉีดพลาสติก

หมายเลข 2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ชนิด 6 แกน

หมายเลข 3 โต๊ะติดตั้งกล้องตรวจสอบชิ้นงาน

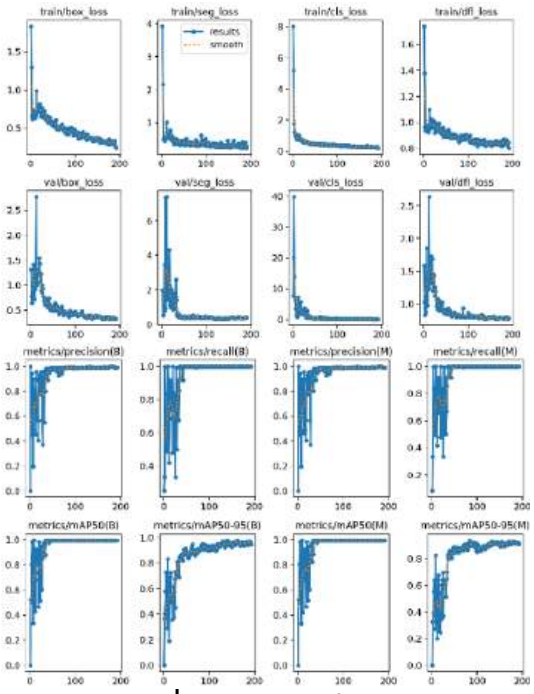
หมายเลข 4 กล่องรับชิ้นงาน

2.3 การเตรียมข้อมูลภาพ

รูปที่ 3 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลภาพ

ข้อมูลภาพที่รวบรวมได้แบ่งเป็นข้อมูล Training Set จำนวน 100 ภาพ ข้อมูล Test Set จำนวน 13 ภาพ และชุดข้อมูล Validation Set จำนวน 25 ภาพ จากนั้นดำเนินการปรับขนาดภาพทั้งหมดให้มีขนาดเท่ากันที่ 800x800 พิกเซล เพื่อให้เหมาะสมกับการประมวลผลโดยใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกของ YOLOv8 [4]

2.4 การเทรนโมเดลเรียนรู้เชิงลึก



รูปที่ 4 ผลการเทรนโมเดล

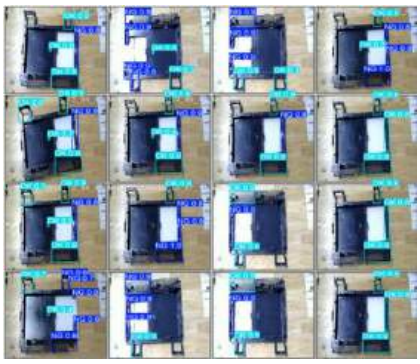
การเทรนโมเดล YOLOv8 จะใช้วิธีการเดียวกับ [4] สำหรับงาน Instance Segmentation บนชุดข้อมูลแบบกำหนดเอง โดยใช้งานบนแพลตฟอร์ม Google Colab ซึ่งเป็นบริการคลาวด์สำหรับการประมวลผลโดยใช้ GPU โดยมีรายละเอียดการเทรนดังนี้

1.กำหนดให้ใช้โมเดล YOLOv8 ในการเทรน

2.กำหนดจำนวน Epoch ในการเทรน ที่ 200 รอบ

3.กำหนด Imgsz ที่ 800

โดยผลการทดสอบโมเดลได้ค่า mAP ของโมเดลบนชุดข้อมูลทดสอบเพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.6 ใน Epoch แรก เป็นเกือบ 1.0 ใน Epoch ที่ 200 ในขณะที่ค่า loss ลดลงจากประมาณ 8.0 เป็น 0.5 โมเดลแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเรียนรู้และปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุได้ดีดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



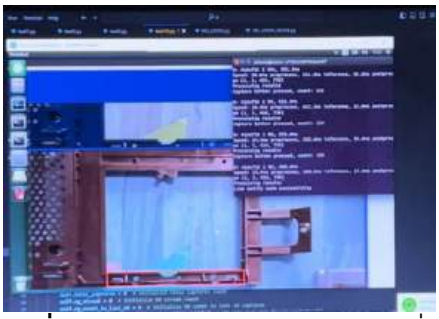
รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพผลการตรวจจับวัตถุ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการติดตั้งฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์

รูปที่ 6 ผลการติดตั้งฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ในโรงงาน

งานวิจัยนี้ได้ติดตั้งกล้องและเซ็นเซอร์ต่าง ๆบนหุ่นยนต์ตามที่ออกแบบไว้ในไลน์การผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในโรงงานอุตสาหกรรมดังแสดงในรูปที่ 6 และได้ทดสอบการทำงานของระบบในสภาพแวดล้อมจริง โดยระบบสามารถตรวจจับและจำแนกวัตถุ ดังแสดงในภาพตัวอย่างผลการทดสอบในรูปที่ 7

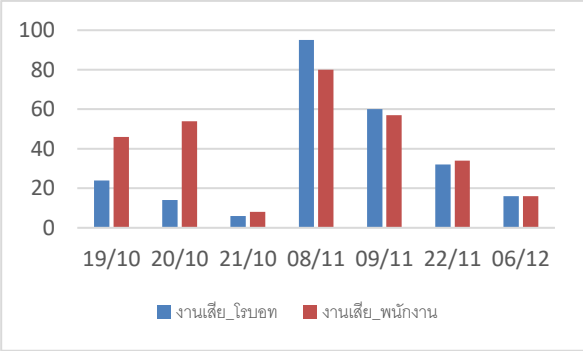


รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพหน้าจอของระบบวิชั่น

3.3 ผลการทดสอบคุณภาพในการตรวจชิ้นงาน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบด้วยโรบอทวิชั่นและพนักงาน

วันที่	โรบอทวิชั่น		พนักงาน	
	งานดี	งานเสีย	งานดี	งานเสีย
19/10/2567	1464	24	1418	46
20/10/2567	1170	14	1170	54
21/10/2567	1552	6	1552	8
08/11/2567	1225	95	1240	80
09/11/2567	1275	60	1278	57
22/11/2567	1332	32	1330	34
06/12/2567	1412	16	1412	16



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบระบบโรบอทวิชั่นและพนักงาน

ผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าระบบโรบอทวิชั่นมีความสม่ำเสมอและประสิทธิภาพสูงกว่ามนุษย์ในหลายกรณี เช่น วันที่ 19/10/2567 ระบบโรบอทวิชั่นสามารถตรวจจับได้มากกว่าแรงงานคนอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ยังมีบางกรณีที่พนักงานตรวจจับได้ดีกว่า เช่น วันที่ 08/11/2567 ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยเฉพาะ เช่น สภาพแสง การจัดวางชิ้นงาน หรือข้อจำกัดของเซนเซอร์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบจากรูปที่ 8 พบว่าระบบโรบอทวิชั่นมีแนวโน้มความผิดพลาดน้อยลงในระยะยาว ซึ่งช่วยลดภาระงานที่ต้องตรวจสอบซ้ำโดยมนุษย์ โรบอทวิชั่นมีแนวโน้มเสถียรกว่าพนักงาน เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนของร้อยละงานดีค่อนข้างน้อย ส่วนพนักงานมีการสวิงของการตรวจสอบคุณภาพมากกว่าทั้งขึ้นและลง

5. สรุป

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของระบบโรบอทวิชั่น พบว่ามีความสามารถในการตรวจจับชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่แตกหัก มีรอยตำหนิ หรือความคลาดเคลื่อนในลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นได้ด้วยสายตา โมเดลที่ใช้สามารถแจกแจงความผิดปกติของชิ้นงานได้ตรงจุดมากกว่าการใช้แรงงานมนุษย์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากมนุษย์อาจเกิดความล้าหรือความไม่สม่ำเสมอในการประเมินคุณภาพสินค้าเมื่อเวลาผ่านไป แต่ระบบโรบอทวิชั่นสามารถรักษามาตรฐานการวัดได้สม่ำเสมอ ให้ความแม่นยำที่สูงกว่าในภาพรวม ไม่เพียงแต่ลดข้อผิดพลาดแต่ยังประหยัดเวลาและแรงงานในการตรวจสอบซ้ำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอัตโนมัติและลดต้นทุนในระยะยาว

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สุนทร แก้วมณี และจาตุรงค์ แก้วก่า, “เครื่องตรวจสอบช้อนภายในกระป๋องด้วยกล้องประมวลผลภาพ”, ปริญญานิพนธ์สถาบันการศึกษาอาชีวะภาคตะวันออก, (2563)

[2] พันศักดิ์ เนระแก. “การออกแบบหุ่นยนต์แบบหยิบและวางที่ใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร”, ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2558)

[3] จิตติมา วระกุล. “การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์”, ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2553)

[4] Somantri, A. Sujjada, Y.S. Bayan, V.R. Ulum, F. A. Ilhami and G.P. Insany, "Enhanced Plastic Detection and Classification: Advancing Recognition of Plastic Varieties Using YOLOv8," 2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023, pp. 1-6.

การประยุกต์ใช้แดชบอร์ดแสดงผลทันทีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรกรณีศึกษา : บริษัทชิ้นส่วนรถยนต์

Application of real-time dashboard to enhance machine efficiency A case study: Automotive part manufacturing

สมควร แววดี[1] เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์[1] วรญา วัฒนจิตสิริ[1] ฤทธิชัย สังฆทิพย์[2] และ ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุดสาหการ การผลิต และกระบวนการเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

Somkuan Vaodee[1] Chalermsak Thavornwat[1] Voraya Wattanajitsiry[1] Rittichai Sangkatip[2] and Kaona Jonguwuttanaruk[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Industrial Engineening, Production and Chemical and Environmental, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology
E-mail: kaona.j@en.rmutt.ac.th *

บทคัดย่อ

การดำเนินธุรกิจในปัจจุบันต้องมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตและบริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพ การใช้การนำเสนอข้อมูลในเชิงภาพ (Data Visualization) เช่น แดชบอร์ด ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความเข้าใจง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดความสูญเปล่าจากการรอคอยของเครื่องจักร ด้วยเทคนิคหลักการลดความสูญเปล่า และเพิ่มค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) และลดค่าระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR) และศึกษาและพัฒนาแดชบอร์ดในการรวบรวมและแสดงข้อมูลสำคัญในรูปแบบที่เข้าใจง่ายเพื่อช่วยในการติดตาม วิเคราะห์และตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นออกแบบแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรมแอปชีต เชื่อมโยงฐานข้อมูล Google Sheet ระบบสามารถบันทึกค่าเวลาซ่อมเครื่องจักร และการสร้างแจ้งเตือนผ่านโปรแกรมไลน์ ไปยังผู้ที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอข้อมูลในเชิงภาพ (Data Visualization) ด้วยโปรแกรม Looker Studio ผลการทดสอบพบว่ามีการปรับปรุงจาก 9 ขั้นตอน ใช้เวลา 29.34 นาที เหลือเพียง 4 ขั้นตอน ใช้เวลา 17.47 นาที คิดเป็นร้อยละ 40.47 นอกจากนี้พบว่าค่า MTBF หลังการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ชั่วโมง 17 นาที เพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 123.84 ค่า MTTR หลังการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ชั่วโมง 40 นาที มีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 90.25 จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS และสามารถแสดงแดชบอร์ดของค่า MTBF และ ค่า MTTR แบบ Real Time

คำหลัก แดชบอร์ด โปรแกรมแอปชีต ความสูญเปล่า

Abstract

This study focuses on improving production processes and services for maximum efficiency to reduce costs and enhance quality. Data visualization tools like dashboards help make data analysis more straightforward and effective. This research aims to study the reduction of machine waiting waste using waste reduction techniques, and to increase the Mean Time Between Failures (MTBF) while reducing the Mean Time to Repair (MTTR). Additionally, the study involves developing a dashboard to collect and display key information in an easily understandable format to support effective monitoring, analysis, and decision-making. An application was designed using AppSheet and connected to a Google Sheets database. The system allows users to record machine repair times and sends alerts via the LINE application to relevant personnel, with data visualization presented through Looker Studio. The test results showed an improvement from 9 steps taking 29.34 minutes to just four steps taking 17.47 minutes, a reduction of 40.47%. Furthermore, the average MTBF after the improvement increased to 45 hours and 17 minutes, representing a 123.84% improvement. The average MTTR after the improvement decreased to 5 hours and 40 minutes, a reduction of 90.25%. This research demonstrates that waste can be reduced using the ECRS principles and that MTBF and MTTR values can be displayed in real-time dashboards.

.

Keywords: Dashboards, AppSheet, Waste

1. บทนำ

แนวทางการดำเนินธุรกิจในยุคปัจจุบัน จำเป็นต้องมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตและบริการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อยกระดับคุณภาพ ลดต้นทุน ส่งมอบสินค้าหรือบริการได้ตรงเวลา พร้อมสร้างความสามารถในการแข่งขันและดำเนินธุรกิจได้อย่างยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุนเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยลดความสูญเสียในกระบวนการทำงานทุกรูปแบบ หากไม่ใส่ใจในการสังเกต วิเคราะห์ และปรับปรุงวิธีการทำงานอย่างต่อเนื่อง องค์กรอาจประสบปัญหาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่จำเป็น

การดำเนินธุรกิจในปัจจุบันต้องพิจารณาถึงแหล่งวัตถุดิบที่มีความหลากหลายและคุ้มค่าในการลงทุนหรือสร้างความร่วมมือ รวมถึงการปรับตัวให้เข้ากับความยืดหยุ่นของกระบวนการผลิตและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไป ภายใต้ข้อตกลงทางการค้า ธุรกิจจำเป็นต้องดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านการส่งมอบสินค้าหรือบริการที่รวดเร็ว มีคุณภาพสูง ราคาย่อมเยา และสามารถนำเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่ทันสมัยมาใช้เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน กระนั้นกระบวนการผลิตมักพบว่ามีความสูญเสียที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง เช่น การใช้เวลานานในการผลิต สินค้าที่ไม่ได้คุณภาพ หรือค่าใช้จ่ายที่สูงเกินไป ดังนั้น การมองหาแนวทางลดความสูญเสียเหล่านี้จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัจจุบัน การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในโรงงานได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับองค์กรที่มุ่งสู่อุตสาหกรรม 4.0 การใช้การนำเสนอข้อมูลในเชิงภาพ (Data Visualization) ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความเข้าใจง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ แผนภูมิ ภาพประกอบ กราฟิก (Infographics) หรือ แดชบอร์ด (Dashboard) ไม่เพียงแค่ช่วยในการประมวลผลข้อมูล[1-2] แต่ยังช่วยให้เข้าใจประสิทธิภาพของเครื่องจักรและกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น

ข้อมูลที่ได้รับสามารถชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่ซ่อนอยู่ในกระบวนการผลิตและนำไปสู่การแก้ไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะช่วยให้องค์กรเข้าใจถึงสาเหตุของปัญหาและสามารถพัฒนาวิธีการแก้ไขที่มีประสิทธิผลได้ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพิ่มค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) และลดค่าระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR)

2. เพื่อศึกษาแดชบอร์ดในการวบรวมและแสดงข้อมูลสำคัญในรูปแบบที่เข้าใจง่ายเพื่อช่วยในการติดตาม วิเคราะห์และตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการปรับปรุงกระบวนการและผลการดำเนินงาน

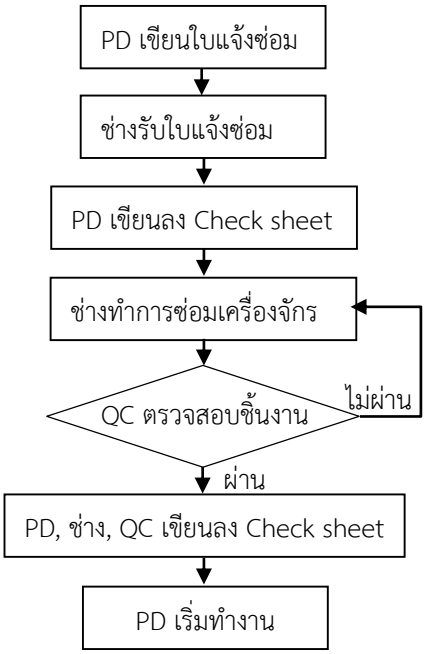
2. การดำเนินงานวิจัย

จากการเก็บข้อมูลแสดงค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) และระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR) ก่อนการปรับปรุงโดยเก็บข้อมูล [3] คำนวณค่าเวลาหยุดของเครื่องจักรในระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2567 ถึง วันที่ 30 กันยายน 2567 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) และระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR) ก่อนการปรับปรุง

ตัวชี้วัด	ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง(นาที)		
	กรกฎาคม 67	สิงหาคม 67	กันยายน 67
MTBF	1,210	1,106	1,374
MTTR	2,940	3,726	3,350

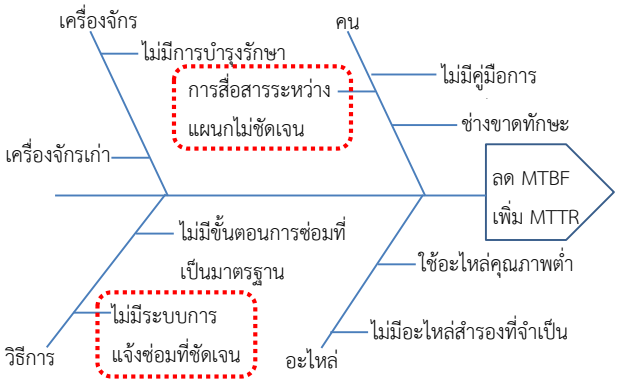
โดยรูปที่ 1 คือกระบวนการนี้แสดงขั้นตอนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในฝ่ายผลิต (PD) โดยเริ่มจากการที่ PD เขียนใบแจ้งซ่อมและส่งให้ช่าง จากนั้น PD จะกรอกรายละเอียดของเครื่องจักรและ Terminal ลงใน Check Sheet ก่อนที่ช่างจะดำเนินการซ่อม เมื่อซ่อมเสร็จ เจ้าหน้าที่ QC จะตรวจสอบงาน หากเครื่องจักรยังไม่สามารถใช้งานได้ จะส่งกลับให้ช่างซ่อมอีกครั้ง แต่หากใช้งานได้ PD และ QC จะร่วมกันบันทึกข้อมูลลงใน Check Sheet แล้ว PD จึงเริ่มใช้งานเครื่องจักรได้ กระบวนการจึงเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้มีเป้าหมายเพื่อให้การซ่อมบำรุงมีความถูกต้อง ตรวจสอบได้ และลดเวลาสูญเปล่าในการรอซ่อมเครื่องจักร.



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงาน (ก่อนปรับปรุง)

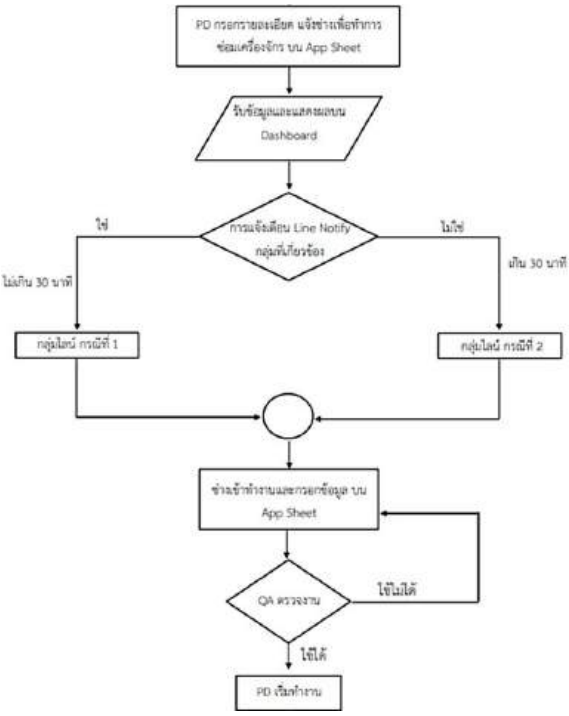
จากนั้นใช้แผนผังก้างปลา หรือ Ishikawa Diagram เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งปัจจัยหลักที่อาจเป็นต้นเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มๆ แล้ววิเคราะห์ย่อยลงไปในแต่ละกลุ่ม[4-5] เพื่อให้เห็นภาพรวมของสาเหตุและหาแนวทางปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และระบุสาเหตุหลักของการสูญเสียเวลาในการซ่อมเครื่องจักร (Machine Repair Downtime) ที่อาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุน

ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของปัญหาคือ การสื่อสารระหว่างแผนกไม่ชัดเจน และไม่มีระบบการแจ้งซ่อมที่ชัดเจน



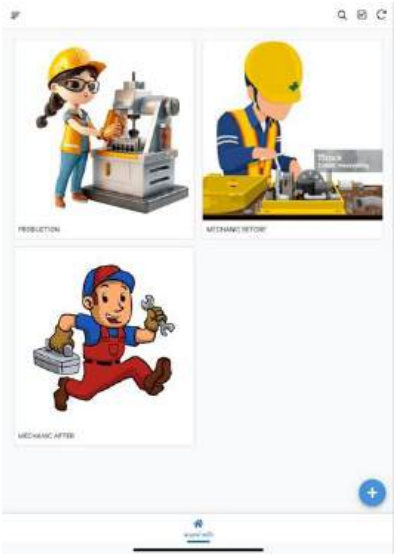
รูปที่ 2 แผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากรูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการแจ้งซ่อมเครื่องจักรนี้แสดงกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นเมื่อฝ่ายผลิต (PD) พบปัญหาและกรอกข้อมูลขอซ่อมผ่านระบบ App Sheet จากนั้นข้อมูลจะถูกบันทึกและแสดงผลบน Dashboard เพื่อติดตามสถานะ โดยระบบจะตรวจสอบว่ากลุ่มซ่อมได้รับการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ภายใน 30 นาทีหรือไม่ หากได้รับภายในเวลาก็เข้ากลุ่มกรณีที่ 1 หากเกินเวลาจะเป็นกรณีที่ 2 ทั้งสองกรณีจะเข้าสู่ขั้นตอนเดียวกันคือการซ่อมและบันทึกผลโดยช่างในระบบ App Sheet ต่อมา QA จะทำการตรวจสอบผลการซ่อม หากไม่ผ่าน PD ต้องกลับไปดำเนินการใหม่ แต่หากผ่านแล้วจะถือว่ากระบวนการซ่อมเสร็จสมบูรณ์.



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการแจ้งซ่อมเครื่องจักรผ่านระบบ App Sheet

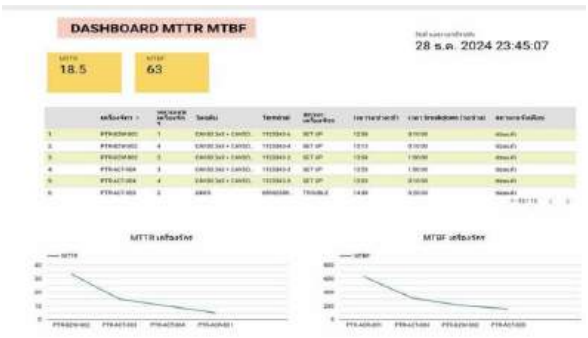
การใช้ Application App Sheet ตามรูปที่ 4 ในการจัดการระบบการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นแนวทางที่ช่วยให้การบริหารจัดการงานซ่อมมีประสิทธิภาพและสามารถติดตามผลได้แบบเรียลไทม์[6] โดยผู้ใช้งาน เช่น ฝ่ายผลิตหรือฝ่ายซ่อมบำรุง สามารถกรอกข้อมูลแจ้งซ่อมผ่านแบบฟอร์มใน App Sheet ได้ทันทีผ่านโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต ระบบจะบันทึกข้อมูลและแสดงผลในรูปแบบ Dashboard เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถติดตามสถานะการซ่อมได้ตลอดเวลา ลดปัญหาการสื่อสารที่ล่าช้า พร้อมทั้งสามารถเชื่อมต่อการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify เพื่อให้ช่างซ่อมทราบปัญหาอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถบันทึกผลการซ่อม ตรวจสอบความถูกต้องโดย QA และสรุปรายงานย้อนหลังได้อย่างเป็นระบบ ช่วยยกระดับกระบวนการซ่อมบำรุงให้มีความแม่นยำ โปร่งใส และตรวจสอบได้ง่ายในทุกขั้นตอน.



รูปที่ 4 แสดงข้อมูลเมนูหน้าหลักบนโปรแกรมแอปชีต

การใช้ Looker Studio (เดิมชื่อ Google Data Studio) ในการจัดการระบบการซ่อมบำรุงตามรูปที่ 5 เป็นวิธีการสร้างระบบแสดงผลข้อมูล (Dashboard) ที่ช่วยให้ผู้บริหารและทีมงานสามารถติดตาม วิเคราะห์ และปรับปรุงงานซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย Looker Studio สามารถเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น Google Sheets, AppSheet, หรือฐานข้อมูลอื่น ๆ ที่ใช้เก็บข้อมูลการแจ้งซ่อม การดำเนินการซ่อม และผลการตรวจสอบจาก QA

เมื่อมีการกรอกหรืออัปเดตข้อมูลจาก AppSheet หรือฟอร์มที่กำหนดไว้ ข้อมูลจะไหลเข้าสู่ Looker Studio โดยอัตโนมัติ ทำให้สามารถสร้าง รายงานแบบเรียลไทม์ ที่แสดงข้อมูลสำคัญ เช่น จำนวนงานซ่อมที่เกิดขึ้น, ระยะเวลาในการซ่อม, แยกตามแผนกหรือเครื่องจักร, งานที่ยังไม่เสร็จ, หรือเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่างซ่อมในแต่ละช่วงเวลา ระบบนี้ช่วยให้ผู้บริหารสามารถวิเคราะห์แนวโน้มและหาจุดอ่อนในกระบวนการซ่อมบำรุงได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจและการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ได้อย่างแม่นยำและทันเวลา.



รูปที่ 5 แสดงการออกแบบแผงควบคุมด้วยโปรแกรม Looker Studio

3. ผลการวิจัย

สำหรับการติดตามและประเมินผลหลังการปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานการซ่อมเครื่องจักรของกรณีศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 2 การปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการปฏิบัติงานการซ่อมเครื่องจักรโดยการใช้เทคนิคหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS)

หลักการลดความสูญเปล่า (ECRS)	วิธีการ
การกำจัดงานที่ไม่จำเป็น (E Eliminate)	การกำจัดขั้นตอนการบันทึก Check Sheet ซ้ำอีกครั้งเพื่อเป็นการเก็บข้อมูลการทำงานการติดตามผลหรือการทำการนำเสนอ (Report)
การรวมงานเข้าด้วยกัน (C Combine)	การรวมขั้นตอนการแจ้งซ่อมไว้รวมกันด้วยโปรแกรมแอปชีต
การเรียงลำดับใหม่ (R Rearrange)	การจัดระบบการทำงานใหม่ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้อง
การทำให้ง่ายขึ้น (S Simplify)	ลดการทำงานซ้ำซ้อนในการเขียนใบแจ้งซ่อมและการสร้างแจ้งเตือนผ่านแอปไลน์เพื่อลดความผิดพลาด

ด้วยเทคนิคหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) สามารถลดขั้นตอนการทำงานเดิมจาก 9 ขั้นตอน หลังการปรับปรุงสามารถลดขั้นตอนการทำงานเหลือ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พนักงานแผนก Production กรอกรายละเอียดแจ้งช่างเพื่อทำการซ่อมเครื่องจักร

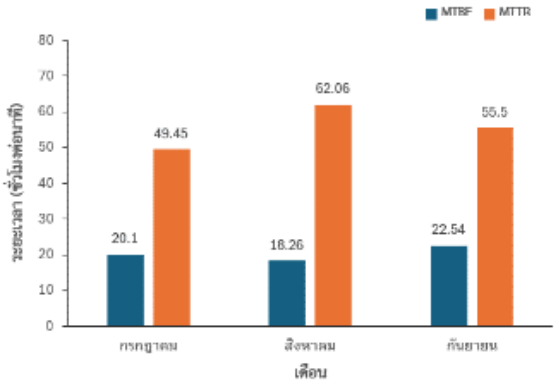
ขั้นตอนที่ 2 ผู้เกี่ยวข้องหรือช่างรับการแจ้งเตือนเพื่อทำการเข้าซ่อมเครื่องจักร

ขั้นตอนที่ 3 ช่างเข้าซ่อมเครื่องจักรและกรอกรายละเอียดตอนเข้าซ่อมเครื่องจักร

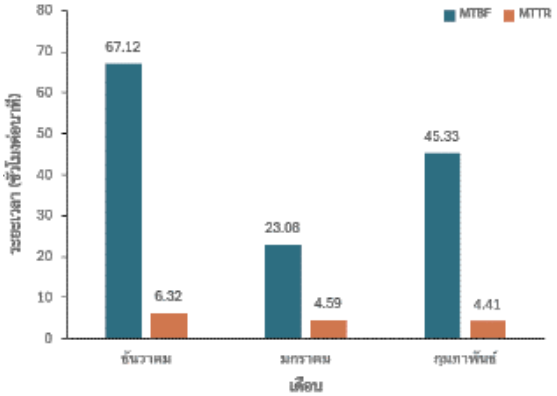
ขั้นตอนที่ 4 ช่างออกจากเครื่องจักรและกรอกรายละเอียดตอนออกจากเครื่องจักร

รวบรวมข้อมูลและศึกษาขั้นตอนการซ่อมเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้การลดความสูญเปล่าจากการรอคอยของเครื่องจักรในการซ่อมเครื่องจักร ด้วยเทคนิคหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) โดยลดขั้นตอนการทำงานลงเหลือขั้นตอนการทำงาน 4 ขั้นตอน จากขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 9 ขั้นตอน ลดลง 4 ขั้นตอน ส่งผลให้สามารถลดเวลาการรอคอยซ่อมเครื่องจักร จากเดิมใช้เวลา 29.34 นาทีเหลือ 17.47 นาที คิดเป็นร้อยละ 40.47 ของเวลาที่ลดลง ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถลดความสูญเปล่าจากการรอคอยตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) และค่าระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR) ก่อนและหลังจากการปรับปรุงการทำงานการแจ้งซ่อมเครื่องจักร ก่อนการปรับปรุงผลการวิเคราะห์แนวโน้มของแผนภูมิ MTBF ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนตามรูปที่ 6 พบว่ามีความถี่ในการเสียหายสูง โดยมีค่า MTBF เฉลี่ยอยู่ที่ 20 ชั่วโมง 18 นาที แสดงถึงการเสียหายบ่อยครั้ง เครื่องจักรมีความเสถียรที่ต่ำ และผลการวิเคราะห์แนวโน้มของแผนภูมิ MTTR เฉลี่ยอยู่ที่ 55 ชั่วโมง 40 นาที แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการซ่อมเครื่องจักรที่ใช้เวลานาน และหลังการปรับปรุงผลการวิเคราะห์แผนภูมิ MTBF ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ตามรูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ชั่วโมง 17 นาที มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 123.84 สะท้อนถึงการลดลงของความถี่ในการเสียหายซ่อมแซมเครื่องจักร ขณะที่ค่า MTTR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ชั่วโมง 40 นาที มีค่าที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 90.25 แสดงถึงความสามารถในการซ่อมแซมที่รวดเร็วขึ้นมีประสิทธิภาพของระบบที่ดี เวลาในซ่อมเครื่องจักรลดลงซึ่งช่วยให้เครื่องจักรกลับมาใช้งานได้เร็วขึ้นและยังลดเวลาหยุดการผลิต สรุปได้ว่า MTBF ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรเสียหายน้อยลง MTTR ที่ลดลงส่งผลให้เวลาในการซ่อมและการรอคอยการแจ้งปัญหาแจ้งซ่อมสามารถแก้ไขปัญหาได้เร็วขึ้น การปรับปรุงโดยการใช้แอปพลิเคชันแอปชีตทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดการหยุดการชะงักและลดต้นทุนจากความเสียหายของเครื่องจักร



รูปที่ 6 ช่วงเวลาระหว่างเสียและเวลาซ่อมแซมก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 7 ช่วงเวลาระหว่างเสียและเวลาซ่อมแซมหลังการปรับปรุง

4. สรุป

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการแจ้งซ่อมเครื่องจักรโดยใช้แอปพลิเคชันแอปชีต พบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานจากเดิม 9 ขั้นตอนเหลือเพียง 4 ขั้นตอน ทำให้ลดระยะเวลารอคอยซ่อมเครื่องจักรจาก 29.34 นาที เหลือ 17.47 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 40.47 ซึ่งช่วยลดความสูญเปล่าจากการรอคอยและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงได้

ก่อนการปรับปรุงผลการวิเคราะห์ค่า MTBF ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนพบว่ามีความถี่ในการเสียหายสูง โดยมีค่า MTBF เฉลี่ยอยู่ที่ 20 ชั่วโมง 18 นาที และหลังการปรับปรุงผลการวิเคราะห์ค่า MTBF ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ชั่วโมง 17 นาที มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 123.84 และก่อนการปรับปรุงผลการวิเคราะห์ค่า MTTR ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนค่า MTTR เฉลี่ยอยู่ที่ 55 ชั่วโมง 40 นาที และหลังการปรับปรุงในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ค่า MTTR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ชั่วโมง 40 นาที มีค่าที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 90.25 ซึ่งหมายความว่าสามารถซ่อมเครื่องจักรได้เร็วขึ้น ลดเวลาหยุดผลิต และลดต้นทุนที่เกิดจากการหยุดชะงัก

โดยผลสรุปการใช้แอปพลิเคชัน AppSheet ในการแจ้งซ่อมเครื่องจักรช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น เพิ่มความรวดเร็วในการซ่อมบำรุง และลดความสูญเสียที่เกิดจากการหยุดเครื่องจักร ระบบแจ้งเตือนและแดชบอร์ดที่แสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ช่วยให้สามารถติดตาม วิเคราะห์ และตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่องและสามารถลดต้นทุนด้านการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Junlabuddee, S., & Konkid, A. (2025). การ ประยุกต์ ใช้ แด ช บอร์ด สำหรับ การ วางแผน อัตรา กา ลัง: การ พัฒนา และ การ ยอมรับ เทคโนโลยี. TLA Research Journal, 18(1), 120-134.

[2] สุภา วิ ตา คล้าย สอน, สุ เพชร จิร ขจร กุล, อาจารย์ ที่ ปรึกษา หลัก, ดุสิต อธิ นุ วั ฒ น์, & อาจารย์ ที่ ปรึกษา ร่วม. (2022). การ ประยุกต์ ใช้ เทคโนโลยี แด ช บอร์ด เพื่ อ พัฒนา เว็บไซต์ แหล่ ง ความ รู้ เทคโนโลยี การเกษตร 4.0 ของ เกษตรกร รุ่น ใหม่ ภาค กลาง (No. 306096). มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์.

[3] Pornprasert, P., Karawek, S., Kittisuntaropas, K., & Boonrom, P. (2017). การ ใช้ หลักการ บำรุง รักษา เชิง ป้องกัน เพื่อ ลด ระยะ เวลา การ หยุด ฉุกเฉิน ของ เครื่องจักร ใน กระบวนการ ผลิต กระเป๋า ถือ กรณี ศึกษา บริษัท อุตสาหกรรม ไหม ไทย จำกัด. Thai Industrial Engineering Network Journal, 3(2), 15-21.

[4].วรรณ ร ดา แซ่ เล้า, นา ณา ราวี, ศศิ กานต์ ดี สุข, & น วรรณ สืบสาย ลา. (2023). การ ลด ความ สูญ เปล่า ขั้น ตอน การ ขน ถ่าย สินค้า ออก จาก คลังสินค้า ด้วย หลักการ ECRS กรณี ศึกษา: แผนก ตัวแทน ดูแล พิธีการ ศุลกากร ขา เข้า บริษัท เอ บี ซี จำกัด. วารสาร สถาบันวิจัย และ พัฒนา มหาวิทยาลัย ราชภัฏ บ้าน สมเด็จเจ้าพระยา ISSN 2774-1176 (Online), 8(1), 160-170.

[5] ณั ฐ กานต์ ชู วงษ์ วัฒนะ, น ภั ส ส วงศ์ โอสถ ศิลป์, & ประเสริฐ อัคร ประถม พงศ์. (2019). การ ลด ข้อ บกพร่อง จาก การ ใช้ บรรจุ ภัณฑ์ ลด น้ำหนัก ใน กระบวนการ บรรจุ น้ำยา บ้วนปาก. Thai Journal of Science and Technology, 8(6), 669-678.

[6] กิตติ ยา ปัญญา เยาว์, & ปั ช ณา ตรี มงคล. (2024). การ พัฒนา โมบาย แอ ป พลิ เค ชัน เพื่อ การ จำหน่าย สินค้า กรณี ศึกษา ร้าน พร ชัย ค้า ไม้: บทความ วิจัย. วารสาร วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัย เซา ธ์ อีส ท์ บางกอก, 1-14.

การออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

Designing and Building a Machine to Separate Stones and Sand from Fresh Concrete

จันทชัย ทองทิพย์[1*] ธีระพงษ์ พินาจภัย[1] พีระพัฒน์ ปะทา[1] ปริมประภา จุลลาบุดดี[1] ปริญ นาชัยสิทธิ์[1]
และ เจริญชัย ฤทธิรุจ[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Jantachai Thongthip[1*] Thiraphong Phinatphai[1] Peerapat Patha[1] Primprapa Junlabuddee[1] Prin Nachaisit[1]
and Charoenchai Ridtirud[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: Jantachai.th@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องดังกล่าว จากการสำรวจบริษัท บรบือคอนกรีต จำกัด พบว่ามีปัญหาในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะเที่ยวการเทคอนกรีตสุดท้ายซึ่งมักจะมีคอนกรีตเหลือใช้ และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรและเพิ่มต้นทุนการผลิต ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด เพื่อให้สามารถนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองพบว่า เครื่องที่สร้างขึ้นสามารถแยกหินออกจากคอนกรีตสดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่สามารถแยกทรายได้ เนื่องจากขนาดของทรายมีความละเอียดสูง ทำให้ติดค้างอยู่ในรูตะแกรงที่ใช้ในการแยก ในการทดสอบประสิทธิภาพของชุดแยกหิน ใช้คอนกรีตสดจำนวน 50 กิโลกรัมต่อครั้ง ซึ่งมีหินผสมอยู่ 23.5 กิโลกรัม ผลการแยกหินพบว่า สามารถแยกหินกลับมาใช้ได้เฉลี่ย 23.09 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 98.25 ของหินทั้งหมด ขณะที่ปริมาณของเสียมีค่าเฉลี่ย 0.41 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.75

คำหลัก : เครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด, ประสิทธิภาพ, คอนกรีตสด

Abstract

This research aims to design and construct a machine that separates stones and sand from fresh concrete, as well as to evaluate the machine's performance. Based on a survey of Borabu Concrete Co., Ltd., it was found that problems occur during the production process, particularly in the final batch of concrete pouring, which often results in leftover concrete that cannot be reused. This leads to a waste of resources and increased production costs. The researcher, therefore, proposed

the development of a machine to separate stones and sand from fresh concrete so that reusable materials can be efficiently recovered. Experimental results showed that the constructed machine could effectively separate stones from fresh concrete. However, it failed to separate sand due to its fine particle size, which caused clogging in the screen mesh. For performance testing, 50 kilograms of fresh concrete per trial was used, containing 23.5 kilograms of stones. The average amount of stone successfully recovered was 23.09 kilograms, equivalent to 98.25% of the total stone content, while the average waste was 0.41 kilograms, accounting for 1.75%.

Keywords: machine that separates stones and sand from fresh concrete, efficiency, fresh concrete

1. บทนำ

จากการศึกษาข้อมูล สำรวจข้อมูล ณ สถานประกอบการของ บริษัท บรบือคอนกรีต จำกัด ตั้งอยู่ที่ 168 หมู่ที่ 9 ตำบลหนองจิก อำเภอ บรบือ จังหวัดมหาสารคาม 44130 มีพนักงานทั้งหมด 30 คน ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ผนังสำเร็จรูป แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง ผนังกันดิน เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง เสารั้วลวดหนามอัดแรง โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผสมคอนกรีต เนื่องจากในการผสมคอนกรีต มักจะเหลือกากคอนกรีตในการเทเที่ยวสุดท้าย และกากที่เหลือในการทำผลิตภัณฑ์ภายในบริษัท ซึ่งคอนกรีตที่เหลือนั้น จะไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรเป็นอย่างมาก และยังทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงขึ้นตามไปด้วย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 เพื่อสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

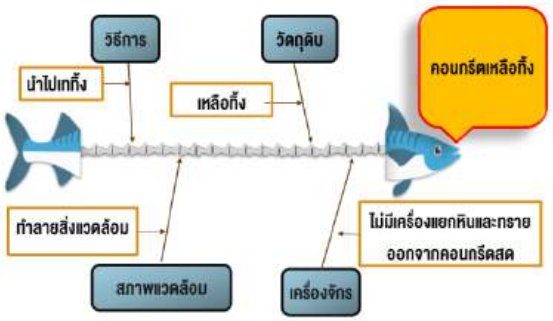
3. วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินโครงการเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวางแผนการดำเนินโครงการ ในการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทราย

3.1 ศึกษาข้อมูลของบริษัท บรบือคอนกรีต จำกัด ตั้งอยู่ที่ 168 หมู่ที่ 9 ตำบลหนองจิก อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม 44130 ได้เริ่มจดทะเบียนในวันที่ 19 มกราคม 2565 และได้รับอนุญาตขึ้นทะเบียนเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด โดย นายพีรศักดิ์ วงศ์ชารี ได้ดำเนินการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างค้าวัสดุก่อสร้างคอนกรีต เช่น คอนกรีตสด เป็นต้น ทำการจำหน่ายและผลิตภายในประเทศ ทำการผลิตวันจันทร์ – วันอาทิตย์เวลา 08:00 – 17:00

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตคอนกรีต ทำให้ทางผู้วิจัยพบว่า การนำคอนกรีตไปเทตามไซต์งานก่อสร้างจะเหลือคอนกรีตจากการเท ซึ่งจะต้องเหลือคอนกรีตจากการไปเทจึงทำให้สิ้นเปลือง จึงจะใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแผนภูมิก้างปลาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยจะระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด



รูปที่ 1 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา

3.3 จากการศึกษากระบวนการผลิตคอนกรีตสดและวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา ทำให้ทราบว่ามีคอนกรีตสดเหลือจากการไปเทที่หน้างานก่อสร้าง จึงทำการเสนอแนวทางแก้ไขการแยกคอนกรีตสด ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์สาเหตุและหา

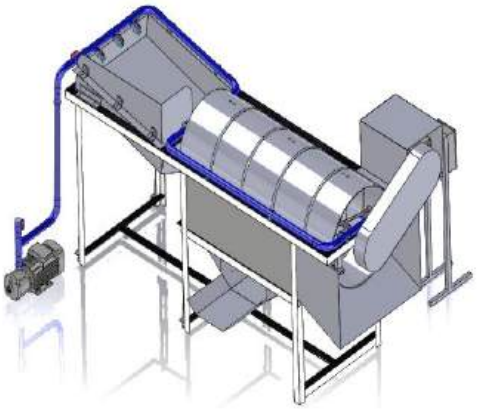
แนวทางแก้ไขปัญหา โดยได้ข้อสรุปว่า วิธีการกำจัดคอนกรีตสดที่เหลือจากการไปเท ผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด เพื่อนำหินและทรายจากการแยกกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 1 แสดงทดลองแนวทางแก้ไขเบื้องต้น

เครื่องร่อนทองที่ศึกษา	หินที่ได้จากเครื่องร่อนทอง

จากการศึกษาหาแนวทางแก้ไขจากคลิปวิดีโอเครื่องร่อนทอง เครื่องสามารถแยกดินออกจากหินได้ดีซึ่งได้นำหลักการเครื่องร่อนทองมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทราย

3.4 ออกแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด จากการศึกษารูปแบบและเสนอแนวทางแก้ไขพร้อมทั้งทดลองจึงได้นำแนวทางมาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการออกแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

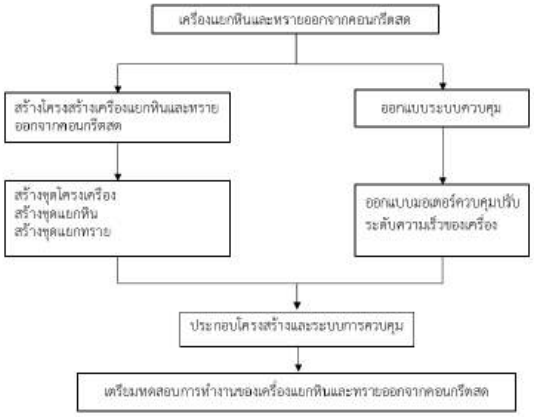


รูปที่ 2 เครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดที่ทำการออกแบบ

3.5 ประเมินผลการออกแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด หลังจากการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด ขั้นตอนต่อไปคือการประเมินผลการออกแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ จากทั้งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ร่วมประชุมกับทางผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ร่วมทำการประชุมเพื่อประเมินผลของการออกแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด จากผลประเมินการออกแบบของเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน สรุปประเมินผลการออกแบบมาอยู่ในระดับดี

3.6 ดำเนินการสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

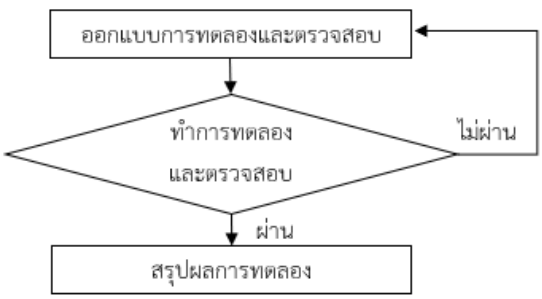
ในการดำเนินการสร้างเครื่องมีการดำเนินการ ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการสร้างเครื่อง

3.7 ทดลองและตรวจสอบการทำงานเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

การทดลองและตรวจสอบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการทดลองและตรวจสอบ

การทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของความเร็วรอบมอเตอร์ในชุดแยกหินของเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด โดยจะเริ่มการทดสอบความเร็วรอบการคัดแยกหินและทรายตามที่เครื่องสามารถปรับใช้งานได้

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดแยกหิน

ชุดแยกหิน	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วรอบที่ตรวจสอบ (รอบ/นาที)				สถานะ
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	
	40 (รอบ/นาที)	40.2	40.5	40.7	40.5	✓

บันทึกผลการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ของชุดแยกหิน ที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที มีความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 40.5 รอบ/นาที ซึ่งค่าความเร็วนี้สามารถเป็นค่าความเร็วที่ทดลองแล้วสามารถคัดแยกหินออกจากคอนกรีตสดได้โดยไม่ทำให้เครื่องสั่น และตรงกับขอบเขตที่ตั้งไว้

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำเมื่อเปิดวาล์วที่ 30,60 และ 90 องศา

ครั้งที่	อัตราการไหลเมื่อเปิดวาล์วน้ำ 30 องศา (ลิตร/นาที)	อัตราการไหลเมื่อเปิดวาล์วน้ำ 60 องศา (ลิตร/นาที)	อัตราการไหลเมื่อเปิดวาล์วน้ำ 90 องศา (ลิตร/นาที)	สถานะ
1	33	126	186	✓
2	27	126	174	✓
3	27	129	180	✓
4	30	127	186	✓
5	29	130	186	✓
เฉลี่ย	30	130	180	✓

การบันทึกผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำเมื่อเปิดวาล์วที่ระดับ 1,2 และ 3 แล้วปัดค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนเต็มเพื่อง่ายต่อการคำนวณ

ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบหาปริมาณของดีและของเสียจากการทดสอบ 10 ครั้ง ครั้งละ 50 กิโลกรัม การคัดแยกหินออกจากคอนกรีตสด จากเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดที่สร้างขึ้น พบว่าสามารถแยกหินได้ร้อยละ 100

$$\text{แยกหินได้} = \frac{\text{หลังปรับปรุง} - \text{ก่อนปรับปรุง}}{\text{ปริมาณหินทั้งหมด}} \text{x100}$$

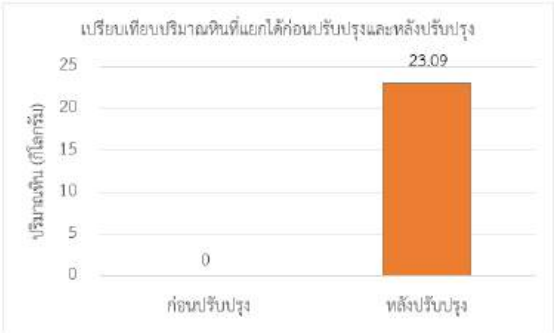
$$\text{แยกหินได้} = \frac{23.09 - 0}{23.5} x100$$

$$\text{แยกหินได้} = 98.25\%$$

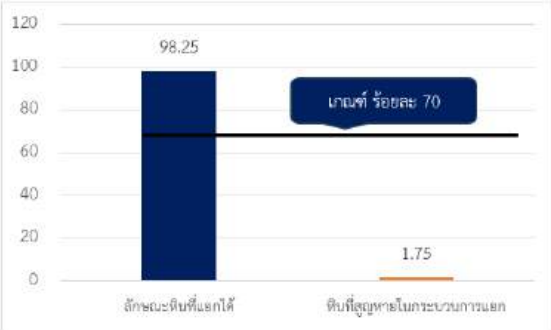
$$\text{แยกทรายได้} = \frac{\text{หลังปรับปรุง} - \text{ก่อนปรับปรุง}}{\text{ปริมาณทรายทั้งหมด}} \text{x100}$$

$$\text{แยกทรายได้} = \frac{0 - 0}{17} x100$$

$$\text{แยกทรายได้} = 0\%$$



รูปที่ 5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบปริมาณหินที่แยกได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 6 แสดงกราฟการเปรียบเทียบหินที่ได้จากการแยก

จากการทดลองระบบการคัดแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดสามารถแยกหินได้ ร้อยละ 98.25 ระบบแยกทรายที่สร้างขึ้นไม่สามารถแยกทรายออกจากคอนกรีต

สดได้เนื่องจากเม็ดทรายเข้าไปติดในรูตะแกรงมากจนทำให้ปูนไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงได้

4. ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด ได้นำปัญหาในกระบวนการจัดการคอนกรีตของบริษัท บรบือคอนกรีต จำกัด ซึ่งการทำงานแบบเดิมเป็นการนำคอนกรีตที่เหลือจากการขายนำกลับมาทิ้งที่บริษัท ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ขั้นต้น จะพบว่าคอนกรีตสดที่เหลือนั้นสามารถคัดแยกหินกลับมาใช้ใหม่ได้ ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินโครงการตามที่วางแผนการดำเนินงานในบทที่ 3 และได้ผลการดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

รูปที่ 7 แสดงการเขียนแบบเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด

4.2.1 ผลการประเมินหาประสิทธิภาพของเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดโดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 3 ท่าน รวมทุกๆด้าน

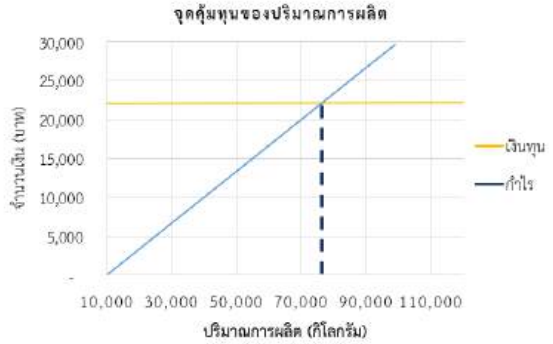
ตารางที่ 4 ประเมินหาประสิทธิภาพโดยภาพรวม

ที่	หัวข้อประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)			ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)
		1	2	3	
1	ประเมินประสิทธิภาพด้านหน้าที่ (Function)	4	4.67	5	4.56
2	ประเมินประสิทธิภาพด้านการออกแบบ (Design)	4	4	5	4.33
3	ประเมินประสิทธิภาพด้านใช้งานและประโยชน์ใช้สอย (Usability)	4	4.25	4.5	4.55
4	ประเมินประสิทธิภาพด้านความปลอดภัย (Safety)	4	4.6	4.4	4.33
5	ประเมินประสิทธิภาพด้านวิศวกรรม (Engineering)	4	4.75	4.75	4.5
คะแนนรวม		20	22.27	23.65	22.27
คะแนนเฉลี่ยรวม ($\bar{X}$)		4	4.45	4.73	4.45

จากนั้นได้นำใบประเมินผลที่จัดทำขึ้นนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินหาประสิทธิภาพเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดโดยมีผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านเป็นผู้ประเมิน ซึ่งในการประเมินผลคุณภาพเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด ต้องได้รับคะแนนเฉลี่ยมากกว่าระดับ 3.51 คะแนน หรือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน จึงจะผ่านเงื่อนไขตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด โดยทำการตรวจสอบของดีและของเสียจากเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดทางคณะผู้จัดทำได้ทำการตรวจสอบหาปริมาณของดีของเสีย จากการตรวจสอบ 10 ครั้ง ครั้งละ 50 กิโลกรัม การคัดแยกหินออกจากคอนกรีตสด จากเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดที่สร้างขึ้น พบว่าปริมาณของดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.09 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 98.25 ของเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 คิดเป็นร้อยละ 1.75

4.4 ผลการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดบนจุดตัดของกราฟที่สามารถคืนทุนในการสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด คือต้องแยกหินได้ 73,410 กิโลกรัม ซึ่งของเสียจากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง1ปี คิดเป็นหิน 190.42 คิว/ปี หรือ 285,630 กิโลกรัม/ปี เมื่อนำหินมาคิดเป็นของเสียต่อวันเท่ากับ 782.55 กิโลกรัม/วัน ซึ่งจะใช้เวลาคืนทุนได้คือ 73,410 กิโลกรัม / 782.55 กิโลกรัม/วัน = 93.81 วัน หรือ 94 วัน



รูปที่ 8 แสดงกราฟจุดคุ้มทุน

5. สรุปผล

จากการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสดซึ่งชุดแยกหินสามารถแยกหินได้ตามวัตถุประสงค์โครงการ แต่ชุดแยกทรายไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการเนื่องจากชุดแยกทรายที่สร้างขึ้นไม่สามารถแยกทรายออกจากคอนกรีตสดได้เนื่องจากทรายเข้าไปติดรูตะแกรงมากจนทำให้ทรายที่ไหลมาทีหลังไม่สามารถลอดผ่านรูตะแกรงได้ แต่ชุดแยกหินสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนอุปกรณ์ของเครื่องได้มีการออกแบบและสร้างขึ้น ให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตามปกติ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545. **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] กิตติ อินทรานนท์. 2529. **ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุคส์.

[3] จำรูญ ตันติพิศาลกุล, 2550, **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักกล1** พิมพ์ครั้งที่ 4 (ปรับปรุงใหม่) ภาควิชาเครื่องจักกล คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2521. **มอเตอร์ไฟฟ้า.** สำนักบริหารวิชาการและวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ:

[5] บรรเลง ศรนิล, รศ.สมนึก วัฒนศรียกุล, 2561, **ตารางคู่มือโลหะ** พิมพ์ครั้งที่ 13 :มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[6] ภานุมาศ สุวรรณ์, จิรวัฒน์ ถิระภัทรา, 2558, **Solidworks 2014** ครบสูตรงานออกแบบวิศวกรรม, สำนักพิมพ์, วิตตี้กรุ๊ป: กรุงเทพฯ

[7] มนฑน ฉายอรุณ, (ม.ป.ป.). **วัสดุวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ

[8] ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2548, **Solidworks ขั้นพื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[9] ศักดิ์นรา สุวรรณบำรุง. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น

การพัฒนาแผ่นวัสดุผสมชีวภาพที่มีมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุรีไซเคิล เพื่อการประยุกต์ใช้งานอย่างยั่งยืน

Development of Value-added Bio-composite Sheets from Waste and Recycled Materials for Sustainable Applications

ณัฐพล ที่รัก[1] ฐิติ หมอรักษา[2*] ประจักร จัตกุล[2] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[3] และ ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[4]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ [2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
[3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Nutthaphon Trirak[1] Thiti Mhoraksa[2*] Prajak Jattakul[2] Jittiwat Nithikarnjanatharn[3] and Teerawut Khuenkaew[4]
[1] Department of Integrated Engineering, [2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
[3] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan
[4] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: thiti_mh@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาแผ่นวัสดุผสมชีวภาพที่มีมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุรีไซเคิลเพื่อการประยุกต์ใช้งานอย่างยั่งยืน มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง ต่อยอดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งเสริมแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน วิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัย และสามารถทำขยะให้มีมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ คือ การนำวิธีการทางวิศวกรรมมาทำให้วัสดุเหลือทิ้งและวัสดุรีไซเคิลเกิดมูลค่าเพิ่มเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยมีขั้นตอน คือ เตรียมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ เปลือกทุเรียน และเปลือกหมากเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมาย่อยให้เหลือขนาด 4 และ 20 มิลลิเมตร โดยใช้กากกาแฟ และเม็ดพลาสติกเป็นตัวเสริมแรง น้ำหนักกาวไอโซไซยาเนต 6 , 9 และ 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัตถุดิบ นำเข้าเครื่องผสมพร้อมกับผสมกาวโดยการฉีดกาวเข้าไปยังเครื่อง เมื่อเสร็จเรียบร้อยนำวัตถุดิบที่ผสมกาวแล้วมาชั่ง นำใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 400×600 มิลลิเมตร แล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันไฮดรอลิกส์ 30 MPa อุณหภูมิประมาณ 160 °C เป็นเวลา 10 นาที นำออกจากเครื่องอัดร้อน จะได้แผ่นวัสดุผสมชีวภาพตามสูตรที่ผสม ผลการศึกษาพบว่าแผ่นวัสดุผสมชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ขนาด 20 มิลลิเมตร ที่มีน้ำหนักกาวไอโซไซยาเนต 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัตถุดิบ เสริมแรงด้วยเม็ดพลาสติกรีไซเคิล มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 780.02 kg/m^3 มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย 4.36 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการพองตัวเฉลี่ย 8.24 เปอร์เซ็นต์ และค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 6.93 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876 - 2547 พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำหลัก วัสดุผสมชีวภาพ มูลค่าเพิ่ม อย่างยั่งยืน ทุเรียน พอลิโพรพีลีน

Abstract

The Development of Value-added Bio-composite Sheets from Agricultural Waste and Recycled Materials for Sustainable Applications. This research aims to develop value-added bio-composite sheets utilizing agricultural waste and recycled materials, with the objectives of enhancing the value of waste resources, promoting efficient resource utilization, and supporting sustainable development practices. The methodology employed focuses on applying engineering techniques to transform waste and recycled materials into new, commercially valuable products. The production process begins with the preparation of agricultural waste materials, specifically durian rinds and betel nut husks, as the primary raw materials. These materials are mechanically processed into particle sizes of 4 mm and 20 mm. Coffee grounds and recycled polypropylene (PP) pellets are incorporated as reinforcing agents to improve the mechanical properties of the composites. Isocyanate adhesive is applied at varying proportions of 6%, 9%, and 12% by weight of the raw materials. The adhesive is sprayed into a mechanical mixer containing the waste materials to ensure uniform distribution. After thorough mixing, the adhesive-impregnated materials are weighed and placed into a mold measuring 400 × 600 mm. The molding process is carried out using a hydraulic hot press, applying a pressure of 30 MPa at a temperature of approximately 160 °C for a duration of 10 minutes. Upon completion, the formed bio-composite sheets are removed from the press for further evaluation. The study revealed that the bio-composite sheets produced from 20 mm durian rind particles reinforced with recycled polypropylene pellets and bonded with 12% isocyanate adhesive demonstrated superior properties. These sheets exhibited an average density of 780.02 kg/m³, an average moisture content of 4.36%, an average thickness swelling of 8.24%, and an average internal bond strength perpendicular to the surface of 6.93 MPa. When compared with the Thai Industrial Standard (TIS 876-2547), the physical and mechanical properties of the developed bio-composite sheets were found to meet the required specifications, confirming their potential for sustainable and commercial applications.

Keywords: Bio-composite, Value-added, Sustainable, Durian, Polypropylene

อุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลอง

The Collecting and Transmitting Trajectory Data of Missile Model

นที เผ่าผาง
สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สมชาติ จิริวิภากร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Natee Paopang
Defense Engineering, School of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
E-mail: 61601096@kmitl.ac.th
Somchat Jiriwibhakorn
Electrical Engineering , School of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
E-mail: somchat.ji@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลอง เพื่อแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับยุทธโธปกรณ์ทางทหาร ด้วยต้นทุนที่ต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีทางทหารที่ทันสมัยกว่า โดยข้อมูลที่ทำการเก็บและส่งนี้คือ ค่าพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้ใช้โมดูล Sim 7000G ติดตั้งกับจรวดขวดน้ำพร้อมทั้งเขียนโปรแกรมการทำงานในการเก็บและส่งค่าพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ให้สามารถดูข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยหลักการทำงานคือ อุปกรณ์จะรับสัญญาณ GPS จากดาวเทียมเก็บและส่งค่าพิกัดตำแหน่งผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรโตคอลแบบ MQTT ในการสื่อสาร จากการวิจัยพบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเก็บและส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งเพื่อไปแสดงผลยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้จริง โดยมีค่าความถูกต้องของข้อมูลเมื่อเทียบกับ IPhone 15 Pro แล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่โล่งเฉลี่ย 1.21 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่ที่มีต้นไม้เฉลี่ย 3.04 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณที่มีอาคารเฉลี่ย 3.25 เมตรและมีค่าความหน่วงของข้อมูลอยู่ที่ 118 ms ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับยุทโธปกรณ์ทางทหารในระดับเบื้องต้น

คำหลัก ระบุตำแหน่ง, วิถีกระสุน, โปรโตคอล MQTT

Abstract

This article presents the design and construction of a data acquisition and transmission device for tracking the movement of a model missile. The aim is to demonstrate the feasibility of applying

such a device to military equipment at a lower cost compared to more advanced military technologies. The data collected and transmitted consists of the device's positional coordinates. Researchers utilized a Sim 7000G module installed on a model missile and developed a program for collecting and transmitting these coordinates for real-time viewing via a web server. The operational principle involves the device receiving GPS signals from satellites, then collecting and transmitting the positional coordinates via a cellular network to a server using the MQTT protocol for communication. Research findings indicate that the device can successfully collect and transmit positional coordinate data for display on a web server. When compared with an iPhone 15 Pro, the data accuracy showed an average deviation of 1.21 meters in open areas, an average deviation of 3.04 meters in areas with trees, and an average deviation of 3.25 meters in areas with buildings. The data latency was 118 ms, which is considered sufficient for application in basic-level military equipment..

Keywords: position tracking, trajectory, mqtt protocol

1. บทนำ

ในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าสถานการณ์โลกได้เปลี่ยนแปลงไป สงครามในอดีตที่ใช้กำลังพลและยุทโธปกรณ์ทางทหารอย่างมหาศาลเพื่อให้ได้ชัยชนะได้ยุติลง เปลี่ยนเป็นการทำสงครามการค้า เพื่อดำรงผลประโยชน์ประเทศแทน แต่ปัจจุบันจากสถานการณ์การสู้รบระหว่างประเทศยูเครนและรัฐเซีย ทำให้เห็นว่าจริงๆแล้ว แม้ว่าประเทศต่างๆ ไม่ประสงค์ที่จะทำสงคราม แต่สิ่งที่จำเป็นและเป็นอำนาจในการต่อรองคือเทคโนโลยีทางด้านการทหารที่ตนครอบครองอยู่ ไม่ว่าจะเป็นขีปนาวุธนิวเคลียร์ ระบบต่อต้านอาวุธรูปแบบต่าง ๆ

สำหรับประเทศไทย สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นหน่วยงานที่ดำเนินงานเกี่ยวกับความมั่นคงของประเทศไทยด้านเทคโนโลยีทางการทหาร โดยทำการวิจัยและพัฒนาอาวุธประเภทต่างๆ เช่น จรวดหลายลำกล้อง รถหุ้มเกาะติดตั้งปืนใหญ่ขนาด 155 มม. ฯลฯ อีกทั้งยังสนับสนุนให้นักศึกษาวิศวกรรมป้องกันประเทศได้ดำเนินการวิจัยเพื่อต่อยอดองค์ความรู้ให้นำไปปรับใช้กับหน่วยงานหรือเป็นข้อมูลให้ผู้ที่สนใจในด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศของไทยได้นำไปพัฒนาต่อ

ในส่วนงานวิจัยนี้จะเป็นการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เก็บและส่งค่าพิกัดตำแหน่งของขีปนาวุธจำลอง ซึ่งผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาในการระบุตำแหน่งของขีปนาวุธที่ทำการยิงออกไปจากศูนย์ยิง โดยปกติแล้วจะมีผู้ตรวจการหน้าทำหน้าที่ในการระบุตำแหน่งของเป้าหมายก่อนส่งข้อมูลมายังศูนย์อำนวยการยิงเพื่อคำนวณและสั่งปรับตั้งค่าการยิงให้กับศูนย์ยิง ซึ่งในสถานการณ์ดังกล่าวหากกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งผิดพลาดอาจนำไปสู่การแพ้สงครามหรือเกิดความเสียหายอย่างมหาศาลได้ หากมีอุปกรณ์ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุพิกัดตำแหน่งของเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ อาจจะทำให้เพิ่มโอกาสในการชนะมากยิ่งขึ้น

อีกทั้งในบางสถานการณ์อาจไม่จำเป็นต้องพึงพาเทคโนโลยีที่ทันสมัยหรือซ้ำซ้อนมาก ยกตัวอย่างเช่น การยิงทดสอบอาวุธทางทหาร เพื่อนำข้อมูลพิกัดตำแหน่งมาวิเคราะห์ต่อ หรือต้องการหาพิกัดตำแหน่งของของยุทโธปกรณ์ทางทหารอื่นๆ อาจประยุกต์ใช้หลักการการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อช่วยในการลดต้นทุนในการทดสอบ อีกทั้งยังมีความสะดวกในการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และปรับตั้งค่าในการทดสอบได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งยังมีฐานข้อมูลที่สามารถสืบค้นหรือสอบทวนการทดลองได้

องค์ประกอบสำคัญของอุปกรณ์เก็บและส่งค่าพิกัดตำแหน่งของมิสไซส์จำลองได้แก่ 1.อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียม 2.เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เก็บและแสดงค่าค่าตำแหน่งของมิสไซส์จำลอง 3.รูปแบบการสื่อสารเพื่อส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เก็บและส่งค่าพิกัดตำแหน่งกับเซิร์ฟเวอร์ และ 4.มิสไซส์จำลองที่ทำหน้าที่จำลองการเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย การศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การออกแบบการทำงานของอุปกรณ์

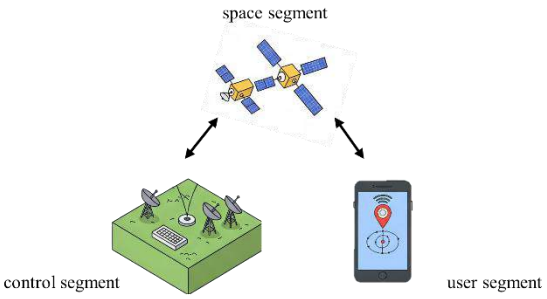
การเลือกอุปกรณ์ การทดลองการทำงานของอุปกรณ์ในสถานการณ์ที่แตกต่าง สรุปและวิเคราห์ผลการทดลอง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีทางการทหารในอนาคต

2. ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม

เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS (Global Positioning System) มีจุดเริ่มต้นมาจากประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงประมาณปี 1970s โดยกระทรวงกลาโหมนำมาใช้งานทางด้านการทหารเป็นหลัก ต่อมามีการเปิดให้ใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคของความมั่นคงทางทหารและเชิงพาณิชย์ องค์ประกอบสำคัญของเทคโนโลยีนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนดาวเทียมมีหน้าที่ส่งสัญญาณที่จำเป็นมายังอุปกรณ์ ส่วนควบคุมภาคพื้นมีหน้าที่มอนิเตอร์และควบคุมการทำงานของดาวเทียม และส่วนที่ 3 คือผู้ใช้งานโดยมีหน่วยประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมให้เป็นข้อมูลตำแหน่ง[1]

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่มีหลักการเดียวกันนี้มีให้บริการหลายระบบได้แก่ GLONASS (จากรัสเซีย), Galileo (จากสหภาพยุโรป), BeiDou (จากจีน), QZSS (จากญี่ปุ่น), NavIC (จากอินเดีย) ซึ่งแต่ละระบบจะมีดาวเทียมในการให้บริการเป็นของตัวเอง เพื่อลดการพึงพาและและเพิ่มความมั่นคงให้กับของระบบตนเอง



รูปที่ 1 องค์ประกอบ 3 ส่วนระบบ GPS

โดยหลักการทำงานของ GPS จะอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อนำมาคำนวณระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ต้องการระบุตำแหน่งของตนเองจะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมจำนวนอย่างน้อย 3-4 ดวง เพื่อนำค่าสัญญาณที่ได้ไปคำนวณโดยอาศัยหลักการ Trilateration เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งที่แน่นอนในรูปแบบของ ละติจูด (Latitude), ลองจิจูด (Longitude)

กรณีดาวเทียม 1 ดวง : ถ้าเครื่องรับรู้ระยะทางจากดาวเทียมเพียงดวงเดียว จะรู้แค่ว่าตัวเองอยู่บนพื้นผิวของทรงกลมสมมติที่มีดาวเทียมเป็นจุดศูนย์กลาง และมีรัศมีเท่ากับระยะทางที่คำนวณได้

กรณีดาวเทียม 2 ดวง : เมื่อมีข้อมูลระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สอง เครื่องรับจะรู้ว่าตัวเองอยู่บนจุดตัดของทรงกลมสมมติสองลูก ซึ่งจุดตัดนี้จะเป็นรูปวงกลม

กรณีดาวเทียม 3 ดวง: เมื่อมีข้อมูลระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สาม ทรงกลมสมมติสามลูกจะตัดกันที่ "สองจุด" โดยทั่วไปแล้ว เครื่องรับ GPS จะสามารถตัดจุดที่เป็นไปไม่ได้ออกไปได้ (เช่น จุดที่อยู่นอกโลก หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่สมเหตุสมผล) ทำให้เหลือเพียงจุดเดียวที่เป็นตำแหน่งของเราบนพื้นโลก

กรณีดาวเทียม 4 ดวง (หรือมากกว่า): ในความเป็นจริง เครื่องรับ GPS จำเป็นต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แม่นยำ ดาวเทียมดวงที่สี่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการช่วย "แก้ไขความคลาดเคลื่อนของเวลา" ในนาฬิกาของเครื่องรับ GPS ซึ่งมักจะไม่แม่นยำเท่านาฬิกาอะตอมบนดาวเทียม การมีดาวเทียมดวงที่สี่จะช่วยให้การคำนวณพิกัดและเวลาที่แม่นยำยิ่งขึ้น

2.1.1 สูตรเบื้องต้นในการหาระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมแต่ละดวงคือ

$$R_i = c \cdot \left(t_r - t_{si} \right) \qquad (1)$$

โดยที่ R_i คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมดวงที่ i (เมตร)

c คือ ความเร็วแสง

t_r คือ เวลาที่สัญญาณมาถึงเครื่องรับ

t_{si} คือ เวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณ

สำหรับการค่าความถูกต้องของการระบุพิกัดตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมที่ส่งมายังตัวรับ โดยความถี่หลักที่ใช้คือ 1575.42 MHz (L1 band) และ

1227.60 MHz (L2 band)

การใช้เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมในทางการทหารยังเป็นส่วนสำคัญในการวางแผนและปฏิบัติการรบ ตัวอย่างเช่นระบบ Military Global Positioning System Augmentation System (MGAS) ที่เป็นระบบที่เพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ และการป้องกันการโจมตีข้อมูลที่มากขึ้น โดยอาศัยหลักการใช้ตำส่งสัญญาณที่มีกำลังสูงกว่าปกติ ผนวกกับส่วนควบคุมภาคพื้นดินที่เคลื่อนที่ได้เพื่อป้องกันการก่อกวนสัญญาณ (jamming) และการปลอมแปลงสัญญาณ(spoofing) [2]

อีกทั้งในปัจจุบันมีการพัฒนาสัญญาณ GPS สำหรับทางการทหารโดยเฉพาะ (M -Code) โดยอาศัยหลักการปรับรูปคลื่นสัญญาณ (beamforming) เพื่อป้องกันการก่อกวนสัญญาณและสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ยากลำบากได้[3] และการพัฒนากระสุนนำวิถีตระกูล TOLUN ที่พัฒนาโดยบริษัท ASELSAN ใช้หลักการทำงานร่วมกันระหว่างระบบนำร่องเฉื่อย (Inertial Navigation System) และระบบ GPS เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับกระสุนนำวิถีดังกล่าว[4]

แม้ว่าเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจะเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นมานานแล้ว แต่ยังคงเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานสำคัญ ที่ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งเชิงบุคคล เชิงพาณิชย์ และด้านความมั่นคงทางการทหารอยู่ในปัจจุบัน

2.2 การสื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT

ในยุคที่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มีการเชื่อมต่อการทำงานถึงกันผ่านระบบอินเทอร์เน็ตหรือเรียกได้ว่า Internet of Things (IoT) การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ถือสิ่งสำคัญอย่างมาก ซึ่งการสื่อสารนั้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น HTTP /HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับ World Wide Web เป็นโปรโตคอลที่ใช้กันทั่วไป มีเครื่องมือและไลบรารีจำนวนมาก CoAP (Constrained Application Protocol) เป็นโปรโตลอลที่ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัด คล้ายกับ HTTP แต่มีน้ำหนักเบากว่า

โปรโตคอล MQTT เป็นอีกโปรโตคอลหนึ่งที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อดีคือใช้งานง่าย แบนด์วิธต่ำ ใช้พลังงานต่ำ มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ส่งหากันระหว่างอุปกรณ์เนื่องจากมีระดับการตรวจเช็คข้อความที่ส่งกับที่รับว่าตรงกันหรือไม่ อีกทั้งยังสามารถรองรับอุปกรณ์ได้จำนวนมาก [5]

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะและข้อดีข้อเสียของโปรโตคอล

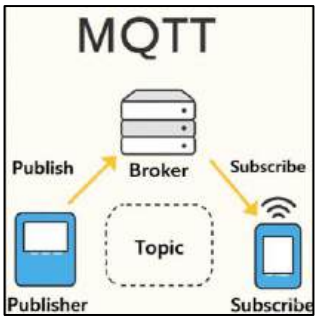
โปรโตคอล	คุณลักษณะ	ข้อดี	ข้อเสีย
MQTT	Pub/Sub, เบามาก, ใช้ TCP, มี Broker	ประหยัดทรัพยากร, ยืดหยุ่น ใช้งานแพร่หลายใน IoT	ต้องมี Broker, ไม่ปลอดภัยในตัว, ไม่ใช่ Req/Res
CoAP	Req/Res (REST), น้ำหนักเบา, ใช้ UDP/TCP	น้ำหนักเบา, เหมาะอุปกรณ์จำกัด, คุ้นเคย (REST)	แพร่หลายน้อยกว่า MQTT, Req/Res ไม่เหมาะ Pub/Sub
HTTP	Req/Res, ใช้ TCP, มาตรฐานเว็บ	เป็นที่นิยม, เชื่อมต่อเว็บง่าย, ปลอดภัย (HTTPS)	ใช้ทรัพยากร/พลังงานสูง, ไม่เหมาะอุปกรณ์/เครือข่ายจำกัด

หลักการทำงานแบบ Publish-Subscribe ของโปรโตคอล MQTT ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

2.2.1 ผู้ส่ง (Publisher): คืออุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันที่ต้องการ "ประกาศ" ข้อมูลบางอย่าง เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิต้องการประกาศว่าตอนนี้อุณหภูมิเท่าไหร่

2.2.2 ผู้รับ (Subscriber): คืออุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันที่ "สนใจ" อยากรู้ข้อมูลบางอย่าง เช่น แอปมือถือที่อยากแสดงค่าอุณหภูมิ หรือระบบบันทึกข้อมูลที่อยากเก็บค่าอุณหภูมินี้ไว้

2.2.3 สถานีกลาง (Broker): เป็นหัวใจสำคัญ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยรับข้อมูลจากผู้ส่ง และส่งต่อข้อมูลไปยังผู้รับที่สนใจโดยไม่ต้องให้ผู้ส่งกับผู้รับรู้จักกันโดยตรง



รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของโปรโตคอล MQTT [5]

โดยการที่จะได้รับข้อมูลนั้นจะต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วน โดยมี หัวข้อ (Topic) ที่ตรงกันเพื่อต้องการทราบข้อมูลและส่งข้อมูล สำหรับความปลอดภัยของข้อมูลที่สื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT นั้นแบ่งเป็น 3 ขั้น

1. ไม่มีการเข้ารหัสข้อมูล (No Encryption): ข้อความจะไม่มีการเข้ารหัส ซึ่งหมายความว่าหากมีใครสามารถดักจับการสื่อสารได้ เขาก็จะอ่านเนื้อหาของข้อความได้ทันที

2. การยืนยันตัวตนพื้นฐาน (Basic Authentication): มีกลไกการส่งชื่อผู้ใช้ (Username) และรหัสผ่าน (Password) ในแพ็กเก็ต CONNECT เพื่อให้ Client ยืนยันตัวตนกับ Broker ได้

3. ไม่มีการอนุญาตสิทธิ์ในตัว (Authorization Handled by Broker): ตัวโปรโตคอลไม่ได้กำหนดว่า Client นี้มีสิทธิ์ Publish หรือ Subscribe Topic ไหนบ้าง การตรวจสอบสิทธิ์ เป็นหน้าที่ที่ Broker ต้องเป็นผู้จัดการเอง โดยอิงจากข้อมูลการยืนยันตัวตน

สำหรับการนำโปรโตคอล MQTT มาใช้งานในด้านทางการทหารนั้นมีโปรโตคอลดังกล่าวระหว่างระบบบัญชาการและควบคุม (Command and Control - C2) และโครงสร้างพื้นฐาน Internet of Things (IoT) โดยใช้โบรกเกอร์ MQTT v.5 ที่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างประเทศได้ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลสำเร็จถึง 99% มีค่าความหน่วงของการส่งข้อมูล 127 ms ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานทางยุทธวิธี[6]

3. วิธีการวิจัย

3.1 ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

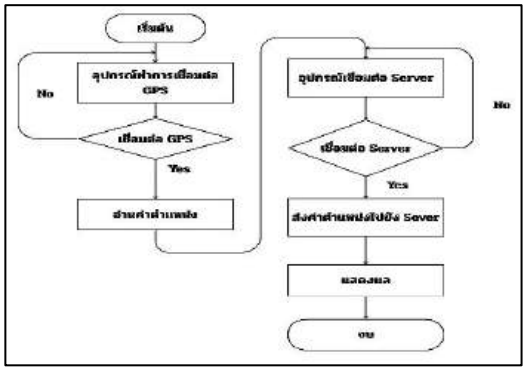
3.1.1 อุปกรณ์ต้องรับค่าพิกัดตำแหน่ง จากสัญญาณดาวเทียมมายังอุปกรณ์และเก็บค่าพิกัดตำแหน่งนั้นในรูปแบบตัวเลข ละติจูด (Latitude), ลองจิจูด (Longitude)

3.1.2 เมื่อได้ค่าพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์มาเรียบร้อยแล้วทำการส่งค่าดังกล่าวไปยังเซิร์ฟเวอร์

- โดยใช้เครือข่ายสัญญาณเซลลูลาร์
- โดยใช้โปรโตคอล MQTT

3.1.3 แสดงผลผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถเข้าดูได้ทุกที่มีอินเทอร์เน็ต

- โดยมีการแสดงค่าตำแหน่งที่เป็นปัจจุบัน
- เก็บค่าพิกัดที่ส่งมาไว้ฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3 Flow Chart การทำงานของอุปกรณ์

3.2 ทำการเลือกอุปกรณ์และการสร้างชิ้นงานสำหรับวิจัย

3.2.1 โมดูล sim7000G เป็นโมดูลที่มีความสามารถในการรับค่าพิกัดตำแหน่ง GPS จากดาวเทียมได้หลากหลายรูปแบบ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้จากการติดตั้งซิมการ์ด

3.2.2 ใช้จรวดขวดน้ำเพื่อเป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมิสไซต์เนื่องจากมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทน์คล้ายกัน

3.2.3 ซิมการ์ดที่ทำการติดทั้งกับโมดูล sim7000G คือ ซิม Dtac ที่ให้บริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

3.2.4 โปรแกรมที่ใช้งาน

- Arduino ide สำหรับเขียนโค้ดให้กับโมดูล เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้งานอย่างแพร่หลายและเป็นโปรแกรม Opensource

โดยการทำการดึงชุดคำสั่ง AT command จากโมดูล เกี่ยวกับการเชื่อมต่อสัญญาณจากดาวเทียมโดยเลือกใช้การรับสัญญาณ แบบ NMEA 0183 และใช้การรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 แบบ คือ GPS, GLONASS และ BeiDou เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งที่ถูกต้องมากที่สุด รวมถึงการส่งค่าตำแหน่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่านโปรโตคอล MQTT โดยอาศัยสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ซึ่งมีชุดคำสั่งและ Library ที่เกี่ยวข้องสนับสนุน

- Adafruite.io สำหรับเว็บ เซิร์ฟเวอร์ เนื่องจากรองรับการสื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT

โดยการสร้างหัวข้อ (Topic) คือ พิกัดตำแหน่งซึ่งหัวข้อนี้ จะใช้สำหรับบรรจุข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์และใช้สำหรับผู้ใช้งานสำหรับเข้าดูข้อมูลพิกัดตำแหน่ง และสร้างหน้า Dashboards เพื่อให้สามารถแสดงผลข้อมูลจากหัวข้ออื่นๆ หรือปรับแต่งการแสดงผลเพิ่มเติมได้

รูปที่ 4 โมดูล Sim7000G และจรวดขวดน้ำ

รูปที่ 5 Dashboard ของ เว็บเซิร์ฟเวอร์ Adafruit.io

4. การทดลอง

หลังจากที่ได้การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองดังนี้

4.1 การทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องในการอ่านค่าพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์

โดยกำหนดค่าที่ใช้สำหรับการทดลอง แรงดันลม 40 psi, ปริมาณน้ำ 30%, ขวดขนาด 0.5 ลิตร มุมยิง 45 องศา ทำการทดลองยิงจำนวน 6 ครั้ง ใช้ความถี่สัญญาณแบบ multi band (GPS GLONASS Beidou) ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพิกัดที่อุปกรณ์อ่านค่าได้ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์กับค่าพิกัดที่อ่านได้จาก Application Google Map ผ่านโทรศัพท์มือถือ IPhone 15 Pro

ตารางที่ 2 การทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์

ครั้งที่	สภาพแวดล้อม	พิกัดตกที่อ่านได้จากอุปกรณ์	พิกัดตกที่อ่านจากโทรศัพท์	ค่าความคลาดเคลื่อน (ม.)
1	พื้นที่โล่ง	Lat: 14.811081 Lon: 100.712241	Lat: 14.811068 Lon: 100.712248	1.568
2	พื้นที่โล่ง	Lat: 14.811074 Lon: 100.711993	Lat: 14.811080 Lon: 100.711999	0.850
3	พื้นที่มีต้นไม้	Lat: 14.811323 Lon: 100.712561	Lat: 14.811343 Lon: 100.712573	2.459
4	พื้นที่มีต้นไม้	Lat: 14.811241 Lon: 100.712425	Lat: 14.811210 Lon: 100.712438	3.624
5	พื้นที่อาคาร	Lat: 14.811541 Lon: 100.711312	Lat: 14.811524 Lon: 100.711340	3.111
6	พื้นที่อาคาร	Lat: 14.811685 Lon: 100.710266	Lat: 14.811661 Lon: 100.710290	3.396

จากการทดลองเมื่อนำค่าพิกัดที่อุปกรณ์อ่านได้ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์เทียบกับพิกัดที่อ่านได้จาก Application Google Map ผ่านโทรศัพท์มือถือ แล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่โล่งเฉลี่ย 1.21 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่ที่มีต้นไม้เฉลี่ย 3.04 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณที่มีอาคารเฉลี่ย 3.25 เมตร **หมายเหตุ** ตัวรับสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือเปิดการใช้งานสัญญาณคลื่นแบบ Dual-Frequency ซึ่งรองรับ สัญญาณดาวเทียมที่มากกว่าจึงมีความน่าเชื่อถือมากกว่า

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบความเร็วในการรับและส่งข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์

โดยการเขียนโปรแกรมกำหนดค่าระยะเวลาในการรับสัญญาณจากดาวเทียมและกำหนดค่าระยะเวลาในการส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งไปยังเซิร์ฟเวอร์และสังเกตข้อมูลที่แสดงผลที่หน้าแดชบอร์ด ของ Adafruit.io ว่าแสดงค่าได้สัมพันธ์กับค่าที่ส่งไปหรือไม่และมีค่าความหน่วงของข้อมูลเท่าไหร่

ตารางที่ 3 การทดลองเพื่อดูค่าความเร็วในการรับและส่งข้อมูล

ครั้งที่	ระยะเวลาในการรับทุกๆ (sec)	การอ่านค่าได้หรือไม่	ระยะเวลาในการส่งทุกๆ (sec)	การแสดงผลได้หรือไม่	ความหน่วง
1	5	อ่านได้	5	แสดงผลได้	130 ms
2	3	อ่านได้	2	แสดงผลได้	101 ms
3	2	อ่านไม่ได้	1	แสดงผลได้	123 ms
4	1	อ่านไม่ได้	0.5	แสดงผลได้ไม่ได้	-
5	0.5	อ่านไม่ได้	0.1	แสดงผลได้ไม่ได้	-

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์มีอัตราการรับสัญญาณจากดาวเทียมน้อยที่สุดอยู่ที่ 3 sec/ครั้ง หากตั้งเวลาการรับสัญญาณให้น้อยกว่า อุปกรณ์จะไม่สามารถอ่านค่าพิกัดตำแหน่งได้ สำหรับการส่งค่าข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์นั้นมีอัตราการแสดงผลอยู่ที่ 1 ครั้ง/sec หรือน้อยกว่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ โดยความหน่วงในการส่งข้อมูลนั้นเฉลี่ยอยู่ที่ 118 ms

5. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลอง อุปกรณ์สามารถรับค่าพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียมและสามารถส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงผลได้จริง โดยมีค่าความถูกต้องของข้อมูลเมื่อเทียบกับ IPhone 15 Pro แล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่โล่งเฉลี่ย 1.21 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นที่ที่มีต้นไม้เฉลี่ย 3.04 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณที่มีอาคารเฉลี่ย 3.25 เมตร และมีค่าความหน่วงของข้อมูลอยู่ที่ 118 ms ซึ่งสำหรับการนำอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้ทางด้านการทหารนั้น อุปกรณ์มีขีดความสามารถด้านการเก็บและส่งค่าเพียงพอต่อการใช้งานทางด้านการทหารในระดับเบื้องต้น เช่น นำไปใช้สำหรับสาธิตการใช้งานและเรียนรู้การเคลื่อนที่ของ ลย./ค. ขนาดต่างๆ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ทำการวิจัยมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่าและจริงในอุตสากรรมทางทหาร แต่ทั้งนี้ยังคงมีท้าทายในการติดตั้งอุปกรณ์กับยุทธโธปกรณ์ทางทหารจริง เนื่องจากยุทธโธปกรณ์ทางทหารนั้นขนาดและโครงสร้างจะถูกกำหนดเป็นมาตรฐานไว้แล้ว แต่ผู้วิจัยคาดหวังว่าแนวคิดและการออกแบบอุปกรณ์เก็บและส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของมิสไซส์จำลองนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดด้านเทคโนโลยีทางทหารของไทยในอนาคตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่สนับสนุนงานวิจัยนี้โดยการมอบทุนการศึกษาและทุนในการทำงานวิจัยนี้ตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและมอบโอกาสในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จ และขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] H. A. Abdallah Dafallah, "Design and implementation of an accurate real time GPS tracking system," The Third International Conference on e-Technologies and Networks for Development (ICeND2014), Beirut, Lebanon, 2014, pp. 183-188, doi: 10.1109/ICeND.2014.6991376..

[2] Mr. Paul A. Regeon, "Military Global Positioning System (GPS) Augmentation System (MGAS)," 2002 Defense Technical Information Center (DTIC), ADA630533

[3] Li, X., Chen, L., Lu, Z., Wang, F., Liu, W., Xiao, W., & Liu, P. (2023). Overview of Jamming Technology for Satellite Navigation. Machines, 11(7), 768.

[4] Defense Arabia. 2025 “Redefining Precision of Strike: ASELSAN's Cutting-Edge Guidance Technologies”. Defense Arabia.

[5] W. Wang, Y. Zhao, Y. Liu, G. Liu, F. Zheng and C. Sun, "MQTT Protocol and Implementation of Equipment Management System for Industrial Internet of Things," 2024 43rd Chinese Control Conference (CCC), Kunming, China, 2024, pp. 6139-6144, doi: 10.23919/ CCC63176. 2024. 10662474.

[6] Manso, M., Johnsen, F. T : 28th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS) 2023

ผลของอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพบางประการของเงาะ

Effect of Post-harvesting storage life to Some Physical Properties of Rambutan

มนตรี ขาวสุข[1]* ดนุวัศ ทางดี[1] สวนิต อิชยาวณิชย์[1] และ ศิระษา ทางดี[1]
[1*]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม,คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

Montri Kawsuk[1]*, Danuwat Thangdee[1], Sawanit Aichayawanich[1], and Sirasa Thangdee[1]
[1*]Department of Agricultural Engineering for Industry, Faculty of Technology and Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus.
E-mail: montri.k@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของผลเงาะที่มีอายุการเก็บรักษาต่างกัน สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปเงาะ โดยทำการศึกษาเงาะ โดยใช้เงาะการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว 3 ระยะ คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ขั้นตอนในการศึกษาประกอบด้วย 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่าง ขนาด และ น้ำหนัก ของผลเงาะ 2) ศึกษามุมเสียดทานของผลเงาะ และ 3) ศึกษาความหนาแน่นมวลรวมของเงาะ ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักของเงาะที่ทำการศึกษามีขนาดที่ 2 โดยน้ำหนักเฉลี่ย 26.8 กรัม ผลเงาะมีค่าความกลมมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 เงาะที่ไม่ปลอกเปลือกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีบนพื้นผิวยาง มีค่าอยู่ระหว่าง 15-20 องศา ความหนาแน่นของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลจากการศึกษาสมบัติดังกลาวนี้จะถูกใชในการออกแบบเครื่องควานเมล็ดและปอกเปลือกเงาะ

คำสำคัญ : สมบัติทางกายภาพ เงาะ ระยะการเก็บเกี่ยว

Abstract

The objective of this research was to study some physical properties of rambutan fruit with different shelf lives. For use as information in designing rambutan processing machinery and equipment. By studying rambutan Using 3 periods of post-harvest storage of Rambutans: 3 days, 5 days, and 7 days. The steps in the study include 1) studying the relationship between shape, size, and weight of rambutan fruit, 2) studying the friction angle of rambutan fruit, and 3) studying the bulk density of rambutan fruit. The results of the study found that the weight of the studied rambutans was of size 2, with an average weight of 26.8 grams. Rambutan fruit has an average sphericity value of 0.8. Rambutan before peeling can move well on the rubber surface with a value between 15-20 degrees. There was no significant difference in the density of rambutan at three different post-harvest ages. This study result can be applied to design of automatic rambutan seed removing and peeling

machine in the next research process.

Keywords: physical properties, rambutan, harvesting period

1. บทนำ

เงาะมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Nephelium lappaccum* Linn. ชื่อสามัญ Rambutan โดยทั่วไปเงาะเป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เงาะ ในประเทศไทย จึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ พันธุ์ที่นิยมปลูก เช่น พันธุ์สีทอง พันธุ์น้ำตาลกรวด พันธุ์สีชมพู พันธุ์โรงเรียน และพันธุ์เจ๊ะมง เป็นต้น แต่พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเพื่อการค้า มีแค่ 3 พันธุ์คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู [1] ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกเงาะ 202,606 ไร่ [2] มีผลผลิต 215,390 ตัน พื้นที่ปลูกเงาะที่สำคัญของไทยคือภาคกลางและตะวันออก คิดเป็นร้อยละ 54.1 ในปี พ.ศ.2566 มีผลผลิต 225,133 ตัน ส่งออกในรูปผลสด 9,012 ตัน คิดเป็นมูลค่า 380 ล้านบาท ส่งออกในรูปกระป๋อง 3,906 ตัน คิดเป็นมูลค่า 244 ล้านบาท [3] เงาะเป็นผลไม้ที่นิยมนำมาแปรรูปได้อย่างหลากหลาย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์เงาะในภาชนะบรรจุไว้ 2 ขนาด [4-5] คือชนิดคัดและชนิดคละ โดยขนาดของผลต้องมีขนาดสม่ำเสมอพอสมควร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มม. สำหรับเงาะชนิดคัด และ ไม่น้อยกว่า 20 มม. สำหรับเงาะชนิดคละ[6-7] การแปรรูปเงาะจึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในช่วงที่มีผลผลิตล้นตลาด ซึ่งในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อการแปรรูปนั้นเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆดังนี้ ได้แก่ การคัดขนาด การปอกเปลือก การคว้านเมล็ด โดยในปัจจุบันยังใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญในการปฏิบัติงานขั้นตอนต่างๆก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในช่วงที่มีผลผลิตออกเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงานเป็นเวลานานมักทำให้คนงานเกิดความเมื่อยล้าส่งผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

ในการออกแบบเครื่องที่ใช้สำหรับกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเงาะ[8] จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพของเงาะเป็นตัวแปรในการออกแบบและการคำนวณ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลเงาะ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปเงาะ โดยมีหัวข้อการศึกษาประกอบด้วย น้ำหนักและขนาด มุมเสียดทาน และความหนาแน่น ซึ่งจะทำการศึกษาผลเงาะสดหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน จำนวน 200 ผล ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลเงาะ นำผลการศึกษาขนาดของเงาะมาวิเคราะห์หาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมุมเสียดทานของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน

2.1 การศึกษาน้ำหนักของผลเงาะ

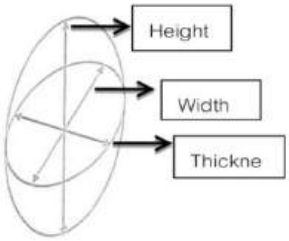
การศึกษาน้ำหนักของผลเงาะมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องคว้านเม็ดเงาะ[9] โดยจะทำการศึกษาน้ำหนักของเงาะทั้งผล นำผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล TANITA รุ่น KD-321 ขนาดพิกัด 3 กิโลกรัม ความละเอียด 0.1 กรัม ทีละผลดังแสดงรูปที่ 1 อ่านค่าน้ำหนัก และทำการบันทึกผลจนครบจำนวน

รูปที่ 1 การชั่งน้ำหนักของผลเงาะ

2.2 การศึกษาขนาดของผลเงาะ

การศึกษาขนาดของผลเงาะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบเครื่องคว้านเม็ดเงาะ[9] โดย

จะทำการวัดขนาดผลเงาะ ตามแนวแกนหลัก 3 แกนคือ แกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งเป็นค่าความยาว ความกว้าง และความหนา แสดงดังรูปที่ 2 ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล PRECISION MEASURING Digital Caliper ขนาด 150 mm/6” ความละเอียด 0.01 mm/0.0005 คำนวณค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Geometric diameter) ดังสมการที่ (1) พื้นที่ผิว (Surface area) ดังสมการที่ (2) และความกลม (Sphericity) ดังสมการที่ (3) [9]



รูปที่ 2 การวัดขนาดผลเงาะ [10]

$$Geometric\ mean\ Diameter(Dg) = (XYZ)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

โดยที่ X คือความยาวแกน X (mm) Y คือความยาวแกน Y (mm) Z คือ ความยาวแกน Z (mm)

$$Surface\ Area\ = \pi Dg^2 \quad (2)$$

โดยที่ Dg คือ ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

$$Sphericity = \frac{Geometric\ mean\ Diameter}{Major diameter} \quad (3)$$

2.3 การศึกษามุมเสียดทานของเงาะ

การศึกษามุมเสียดทานของผลเงาะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลการออกแบบระบบลำเลียงในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวโดยทำการศึกษามุมเสียดทานสถิต และมุมเสียดทานจลน์ในการศึกษามุมเสียดทานของเงาะทั้งผลใช้พื้นผิว 3 ชนิด คือสแตนเลส อลูมิเนียม และยาง วิเคราะห์ค่ามุมเสียดทานเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 เพื่อใช้กำหนดมุมในการออกแบบเครื่องจักร

2.4 การศึกษาความหนาแน่นของผลเงาะ

การศึกษาความหนาแน่นของผลเงาะมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกระบวนการคัดแยกผลเน่า แตก และช้ำ โดยทำการ ศึกษาเงาะทั้งผล จำนวน 200 ผลด้วยวิธีแทนที่น้ำ นำผลที่ได้จากการศึกษามาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน จากสมการ (4)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

โดยที่ p คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
M คือ มวล (กรัม) V คือ ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3. ผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเงาะ เพื่อเป็นข้อมูลในสมบัติดังกล่าวนี้จะถูกใช้ในการออกแบบเครื่องคว้านเม็ดเงาะและปลอกเงาะแบบอัตโนมัติต่อไป[10] โดยมีหัวข้อการศึกษาประกอบด้วยน้ำหนัก ขนาด มุมเสียดทานและความหนาแน่น ซึ่งจะทำการศึกษาผลเงาะสดหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน

3.1 ผลการศึกษาน้ำหนักของผลเงาะ

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาน้ำหนักของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าน้ำหนักผลเงาะอยู่ระหว่าง 10.8–41.7 กรัม มีค่าเฉลี่ยเป็น 25.8 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 6.0 กรัม น้ำหนักของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 5 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าน้ำหนักอยู่ระหว่าง 12.0–39.8 กรัม มีค่าเฉลี่ยเป็น 26.7 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 6.0 กรัม น้ำหนักของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 7 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าน้ำหนักอยู่ระหว่าง 11.1–42.3 กรัม มีค่าเฉลี่ยเป็น 28.1 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 6.6 กรัม

ตารางที่ 1 น้ำหนักของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว

อายุหลังการเก็บเกี่ยว	รายการ	น้ำหนักผล (กรัม)
3 วัน	ค่ามากที่สุด	41.7
	ค่าน้อยที่สุด	10.8
	ค่าเฉลี่ย	25.8 ± 6.0^{ab}
5 วัน	ค่ามากที่สุด	39.8
	ค่าน้อยที่สุด	12.0
	ค่าเฉลี่ย	26.7 ± 6.0^{ab}
7 วัน	ค่ามากที่สุด	42.3
	ค่าน้อยที่สุด	11.1
	ค่าเฉลี่ย	28.1 ± 6.6^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากข้อมูลพบว่าน้ำหนักของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียนจำนวน 4 ขนาด สอดคล้องกับมาตรฐานสินค้า เกษตรและอาหารแห่งชาติมกอช. 12 - 2549 (เงาะ) [11] เงาะที่ทำการศึกษามีขนาดที่ 2 โดยน้ำหนักเฉลี่ย 26.8 กรัม

3.2 ผลการศึกษาขนาดของผลเงาะ

การศึกษาขนาด ความยาว (แกน X), ความกว้าง (แกน Y) และความหนา (แกน Z) ของผลเงาะ ที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ทำการศึกษาจำนวน 200 ผลในแต่ละระยะ เมื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง ค่าความกลมและพื้นที่ผิว

จากการศึกษาขนาดของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน พบว่าผลเงาะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง มีค่าเฉลี่ยเป็น 35.8 มม. และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.4 มม. ความกลมมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.1 พื้นที่ผิว มีค่าเฉลี่ยเป็น 769.7 ตารางเซนติเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 150.1 ตารางเซนติเมตร ผลการศึกษาขนาดของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 5 วัน พบว่าผลเงาะมีเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเฉลี่ยเป็น 36.4 มม. และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.5 มม. ความกลมมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.1 พื้นที่ผิว มีค่าเฉลี่ยเป็น 787.9 ตารางเซนติเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็น 151.9 ตารางเซนติเมตร ผลการศึกษาขนาดของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 7 วัน พบว่าผลเงาะมีเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเฉลี่ยเป็น 38.9 มม. และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.3 มม. ความกลม มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.1 พื้นที่ผิว มีค่าเฉลี่ยเป็น 872.2 ตารางเซนติเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 144.2 ตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดความยาว ความกว้าง ความหนาของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน

อายุหลังการเก็บเกี่ยว	รายการ	ขนาด (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ค่าความกลม	พื้นที่ผิว (ตารางมิลลิเมตร)
		ความยาว (แกน X)	ความกว้าง (แกน Y)	ความหนา (แกน Z)			
3 วัน	ค่ามากที่สุด	52.5	42.7	47.6	45.1	0.9	1202.5
	ค่าน้อยที่สุด	28.1	25.9	23.9	27.4	0.7	437.3
	ค่าเฉลี่ย	41.9 ± 4.4	34.3 ± 3.4	32.0 ± 3.7	35.8 ± 3.4	0.8 ± 0.1	769.7 ± 150.1
5 วัน	ค่ามากที่สุด	57.3	45.3	39.7	43.5	0.9	1195.2
	ค่าน้อยที่สุด	31.2	24.6	24.4	28.0	0.7	397.4
	ค่าเฉลี่ย	43.5 ± 5.0	34.7 ± 3.5	32.2 ± 3.2	36.4 ± 3.5	0.8 ± 0.1	787.9 ± 151.9
7 วัน	ค่ามากที่สุด	64.0	42.8	40.0	47.2	0.9	1180.7
	ค่าน้อยที่สุด	30.3	28.5	25.7	30.3	0.6	531.4
	ค่าเฉลี่ย	47.4 ± 5.6	36.6 ± 3.1	34.0 ± 3.0	38.9 ± 3.3	0.8 ± 0.1	872.2 ± 144.2

ผลของการศึกษาของเงาะ พบว่า ขนาดของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ผลเงาะมีค่าความกลมมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 เงาะที่ทำการศึกษามีขนาดที่ 3 โดยขนาดนี้เหมาะนำไปทำเงาะกระป๋อง [9]

3.3 ผลการศึกษามุมเสียดทานของเงาะ

การศึกษามุมเสียดทานสถิตและมุมเสียดทานจลน์ของผลเงาะ ซึ่งทดสอบบนพื้นผิวยาง พื้นผิวสแตนเลส และพื้นผิวอลูมิเนียม

ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน พบว่าผลเงาะมีค่า มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวยางมีค่าเฉลี่ยเป็น 25.8 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 4.1 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวยางที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 32 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวสแตนเลสมีค่าเฉลี่ยเป็น 25.4 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 4.2 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวสแตนเลสที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95

คือ 32 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวอลูมิเนียมมีค่าเฉลี่ยเป็น 24.2 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.6 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวอลูมิเนียมที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 32 องศา

ผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 5 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวยางที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95คือ 33 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวสแตนเลสมีค่าเฉลี่ยเป็น 27.7 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.7 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวสแตนเลสที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 32 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวอลูมิเนียมมีค่าเฉลี่ยเป็น 26.2 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.9 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวอลูมิเนียมที่ คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 30 องศา

ผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 7 วัน พบว่าผลเงาะมีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวยางมีค่าเฉลี่ยเป็น 28.0 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.3 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวยางที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95คือ 33 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวสแตนเลสมีค่าเฉลี่ยเป็น 27.6 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.9 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวสแตนเลสที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 32 องศา มีค่ามุมเสียดทานพื้นผิวอลูมิเนียมมีค่าเฉลี่ยเป็น 26.7 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.4 องศา และจากผลการศึกษามุมเสียดทานจลน์ของพื้นผิวเหล็กที่คลอบคลุมปริมาณผลผลิตได้ร้อยละ 95 คือ 32 องศา

ผลการศึกษาพบว่าเงาะที่ไม่ปลอกเปลือก บนพื้นผิวยาง พื้นผิวสแตนเลส และพื้นผิวอลูมิเนียม อายุหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะเพิ่มขึ้นมุมเสียดทานจลน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เงาะที่ไม่ปลอกเปลือกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีบนพื้นผิวยางซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภศิษฎ์ สุนทรกิจพาณิชย์และคณะ[9]

ตารางที่ 3 แสดงผลมุมเสียดทานจลน์ของผลเงาะ

อายุหลังการเก็บเกี่ยว	รายการ	มุมเสียดทานจลน์ (องศา)		
		ยาง	สแตนเลส	อลูมิเนียม
3 วัน	ค่าสูงที่สุด	34	34	31
	ค่าต่ำที่สุด	15	16	14
	ค่าเฉลี่ย	25.8 ± 4.1	25.4 ± 4.2	24.2 ± 3.6
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	31	32	30
5 วัน	ค่าสูงที่สุด	34	33	32
	ค่าต่ำที่สุด	20	20	20
	ค่าเฉลี่ย	28.0 ± 2.9	27.7 ± 2.7	26.2 ± 2.9
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	33	32	30
7 วัน	ค่าสูงที่สุด	34	33	33
	ค่าต่ำที่สุด	17	20	20
	ค่าเฉลี่ย	28.0 ± 3.3	27.6 ± 2.9	26.7 ± 3.4
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	33	32	32

3.4 ผลการศึกษาความหนาแน่นของผลเงาะ

ตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษาค่าความหนาแน่นมวลของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าความหนาแน่นเนื้ออยู่ระหว่าง 840 – 1120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเป็น 960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นเนื้อของผลเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 5 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าความหนาแน่นมวลอยู่ระหว่าง 860 – 990 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเป็น 940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นเนื้อของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 7 วัน พบว่าผลเงาะมีค่าความหนาแน่นมวลอยู่ระหว่าง 880 – 990 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเป็น 950 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากข้อมูลพบว่าความหนาแน่นของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาความหนาแน่นของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุหลังการเก็บเกี่ยว	รายการ	ความหนาแน่นผลเงาะ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
3 วัน	ค่าสูงที่สุด	1120
	ค่าต่ำที่สุด	840
	ค่าเฉลี่ย	960 ± 20*
5 วัน	ค่าสูงที่สุด	990
	ค่าต่ำที่สุด	860
	ค่าเฉลี่ย	940 ± 20*
7 วัน	ค่าสูงที่สุด	990
	ค่าต่ำที่สุด	880
	ค่าเฉลี่ย	950 ± 20*

4. สรุป

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูรูเงาะ โดยมีหัวข้อการศึกษาประกอบด้วย น้ำหนักและขนาด มุมเสียดทาน และความหนาแน่น ซึ่งจะทำการศึกษาผลเงาะสดหลังการเก็บเกี่ยว 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน จำนวน 200 ผล ผลของการศึกษา พบว่า น้ำหนักของ เงาะที่ทำการศึกษามีขนาดที่ 2 โดยน้ำหนักเฉลี่ย 26.8 กรัม ผลเงาะมีค่าความกลมมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.8 เงาะที่ไม่ปลอกเปลือกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีบนพื้นผิวยาง ความหนาแน่นของเงาะที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก วรรณภา หวังทวีวงศ์และ กนิษฐา วังยายฉิม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

[1]ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, “เงาะ” ข้อมูลจาก http://www.doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=5 6 &Itemid=67 (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กุมภาพันธ์ 2559)

[2]ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. “สถิติผลผลิตเงาะในประเทศไทย [Online].” ข้อมูลจาก http://aginfo.oae.go.th/ewtnews/rambutan.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2559)

[3]สมโชค เฉตระการ. “รูปภาพการปลูกเงาะ [Online].” ข้อมูลจาก http://oknation.nationtv.tv/blog/home/album_data/911/27911/album/43500/images/390695.jpg. (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กุมภาพันธ์ 2559).

[4]ศูนย์สารสนเทศการเกษตร.“สถิติผลผลิตเงาะใน ประเทศไทย [Online].”ข้อมูลจาก http://aginfo.oae.go.th/ewtnews/rambutan.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2559).

[5]สวนสาวสุดใจ จ.จันทบุรี. “รูปภาพการเก็บเกี่ยวเงาะ E:\Bloggang[Online].”ข้อมูลจาก http://www.bloggang.com/data/w/wipcreamlemon/picture/1305258710.jpg (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 กุมภาพันธ์ 2559)

[6]Songkhla Court. “การปลูกเงาะโรงเรียน [Online].” Available: ข้อมูลจาก http://journalspc.blogspot.com/2011/02/blog-post_490.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 February 2016).

[7]เกษตร อินเตอร์เชียงใหม่. “รูปภาพผลเงาะพันธ์โรงเรียน [Online].” ข้อมูลจาก http://www.boardkonthai.com/wp-content/uploads/2016/01/p18nsdnblsamhr28kkp1m99 1fh5.jpg. (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กุมภาพันธ์ 2559).

[8]ห้องเย็น (2024) อธิบายละเอียด - ห้องเย็น ห้องเย็น สำเร็จรูปข้อมูลจาก www.bing.com/search?pglt=43&q (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2568).

[9]ศุภศิษฎ์ สุนทรกิจพาณิชย์ สุดสายสิน แก้วเรือง และ ศุภกิตต์ สายสุนทร, “สมบัติทางกายภาพบางประการของเงาะที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องคว้านเม็ดเงาะ”, Agricultural Sci. J. 46: 3/1(Suppl.): (2015), หน้า 501-504.

[10]อนุสรา ติดตารัมย์ กระวี ตรีอำนรรค เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล “การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของผลเงาะ”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(4) (พิเศษ): (2561),หน้า 291-

294.

[11]สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “เงาะ”, ข้อมูลจาก https://acfsbackend.acfs.go.th/storage/ProductStandards/Files//20190604233512_489484.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2568).

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรด

Design and Development of Solar and Infrared Dryer

ธณัฏฐ์ยศ สมใจ[1]* กฤษฎากร บุดดาจันทร์[2] อัครวัฒน์ ใบกว้าง[3] สุพร หนูคง[1] ภราดร หนูทอง[4] และ มนตรี ขาวสุข[2]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม [2]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
[3]แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
[4]สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Thanutyot Somjai[1]* Khridsadakhon Booddachan[2]Arkharawat Baikwang[3]
Suporn Nukong[1] and Montri Kawsuk[2]
[1]Department of Industrial Management [2] Department of Agricultural Engineering for Industry,
Faculty of Technology and Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus.
[3] Department of Industrial Mechanics, Lampang Technical College
[4] Department of Applied Physics, Faculty of Science and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: Thanutyut.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบหมุนเวียนอากาศและอินฟราเรด ประกอบด้วยแผงโซล่าเซลล์พร้อมชุดแบตเตอรี่เพื่อเก็บและจ่ายพลังงานให้กับพัดลมระบายอากาศ ทำการติดตั้งอินฟราเรดและโคมกระจายรังสีอินฟราเรดทำมุม 60 องศาเพื่อการอบแห้ง ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยการอบพริกจินดาแดง การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบหมุนเวียนอากาศและฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 650 และ 1150 W การอบแห้งพริกความชื้นเริ่มต้น 320.08-285.47 %db. ถึงความชื้นสุดท้าย 19.99-14.41 %db. พบว่า การอบแห้งพริกจินดาแดงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเปิดพัดลมระบายช่วยลดความชื้นในห้องอบแห้งได้ เมื่ออบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรด เมื่ออบแห้งพริกจินดาแดงด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรด 650 W และ 1150 W เมื่อกำลังอินฟราเรดเพิ่มขึ้น เวลาการอบแห้งลดลง ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง

คำหลัก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด อบแห้งพริก

Abstract

The development of the solar and infrared dryer with ventilation comprised installing a solar module and battery for electricity storage and supply. There were assemblages of infrared lamps and reflectors, a 60-degree tilt, to the dryer for supporting low solar radiation. The experiment was Chinda chili drying by the ventilated solar dryer with the infrared heaters 650 and 1,150 W. The initial moisture contents of chili peppers were 320.08-285.47 %db., and final moisture contents were 19.99-14.41 %db. Assessing dryer performance and energy consumption, dried Chinda chili from the solar dryer with the ventilation fan could decrease the moisture in the drying chamber. The drying time by solar was longer than by infrared. As a result of drying with infrared heaters 650 and 1,150 W, the higher infrared power showed decreased drying time, increased thermal efficiency, and lowered specific energy consumption.

Keywords: Solar dryer, Infrared dryer, Chili drying

เว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC

Web application for trading business cards with NFC system

ปิยะพงษ์ ค้ำคูณ[1] วาสนา ด้วงเหมือน[2] ภควัฒน์ หร่มนิสัย[2]และ สุรเทพ แป้นเกิด[2*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[2] ภาควิชาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Piyapong Kumkoon[1] Wassana Duangmeun[2] Pakavat Romnisai[2] and Suratep Pangerd[2*]

[1] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

[2] Department of Information Technology and Digital Business, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Krungthep

E-mail: suratep.p@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อประเมินคุณภาพของเว็บแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญและศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตรด้วยระบบ NFC โดยผู้ใช้งาน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้าน การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันจำนวน 3 คน และกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานสำหรับประเมินความพึงพอใจได้แก่ ผู้ที่ใช้นามบัตรดิจิทัลจำนวน 30 คน โดยมีสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการประเมินคุณภาพเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC ประกอบด้วย การจัดการข้อมูลพนักงาน การจัดการข้อมูลสมาชิก การสั่งซื้อนามบัตร การชำระเงิน การจัดส่ง การจัดการนามบัตร รวมถึงการแจ้งเตือนภายในเว็บแอปพลิเคชัน โดยมีผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.66, SD = 0.33) และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่าอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.09, SD = 0.66)

คำหลัก เว็บแอปพลิเคชัน นามบัตรดิจิทัล นามบัตร

Abstract

The objective of this study is to develop a web application for digital business card trading using NFC technology, assess its quality through expert evaluation, and investigate user satisfaction with the application. The expert group consisted of three specialists in web application development. The user satisfaction survey was conducted with a sample of 30 individuals who use digital business cards. The statistical methods used for data analysis included the mean and standard deviation.

The results of the quality evaluation of the web application for business card trading with NFC technology included various functions such as employee information management, member data management, card ordering, payment, delivery, card management, and in-app notifications. The quality assessment by experts was rated at the highest level ($\bar{x}$ = 4.66, SD = 0.33). The user satisfaction evaluation indicated a high level of satisfaction ($\bar{x}$ = 4.09, SD = 0.66).

Keywords: Web Application, Digital Business Card, Business Card

1. บทนำ

นามบัตร ความหมายตามพจานุกรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน อธิบายไว้ว่า นามบัตรมีมาตั้งแต่กาลดึกดำบรรพ์ในประเทศจีน ส่วนในยุโรปมีการใช้ในประเทศเยอรมนีมาตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 21 และแพร่หลายในประเทศฝรั่งเศสในพุทธศตวรรษที่ 22 สมัยพระเจ้าหลุยส์ที่ 14 นามบัตรตามความนิยมสากลนั้น จะต้องพิมพ์ชื่อไว้กลางนามบัตร ในวงราชการจะมีชื่อและตำแหน่งบนนามบัตรอย่างเดียว หากมียศถาบรรดาศักดิ์ให้พิมพ์ไว้หน้าชื่อ ส่วนในวงธุรกิจมี 2 ลักษณะคือ 1) นามบัตรที่มีชื่อและตำแหน่งอย่างเดียว และ 2) นามบัตรที่มีชื่อและตำแหน่ง กับมีชื่อบริษัท ห้างร้าน สถานที่ประกอบกิจและหมายเลขโทรศัพท์ที่มุมล่างด้านซ้ายหรือขวา หากจะแจ้งที่พักอาศัยและโทรศัพท์ส่วนตัวก็ให้ไว้ที่มุมล่างอีกด้านหนึ่ง สำหรับนามบัตรส่วนตัวจะมี 3 ลักษณะคือ 1) นามบัตรที่พิมพ์ชื่ออย่างเดียว 2) นามบัตรคู่สามีและภริยา และ 3) นามบัตรสองลักษณะดังกล่าวแต่แจ้งที่อยู่อาศัยและหมายเลขโทรศัพท์ไว้ด้วย ประโยชน์ของนามบัตรนอกจากจะใช้เพื่อแนะนำซึ่งกันและกันแล้ว ยังช่วยให้อีกฝ่ายจดจำชื่อและตัวสะกดที่ถูกต้องด้วย แม้ว่าโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย เนื่องจากในโลกธุรกิจหรือแม้แต่การพบปะกันส่วนตัวมักจะมีโอกาสได้พบเจอและทำความรู้จักกับบุคคลใหม่ ๆ อยู่เสมอ ดังนั้นนามบัตรจึงเป็นสิ่งที่จะมาช่วยในการสร้างความสัมพันธ์ที่ดี และจะเห็นได้ว่าการมีนามบัตรสามารถที่จะสร้างความเป็นมืออาชีพ สร้างภาพลักษณ์ของผู้ใช้นามบัตรให้ดียิ่งขึ้น รูปแบบนามบัตรในปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 ประเภท แบบกระดาษ และ แบบอิดิจิทัล ซึ่งเป็นการนำเอาเทคโนโลยี NFC (ตัวเต็ม) มาใช้ โดยนามบัตรแบบกระดาษนั้นมีข้อเสียคือ การแก้ไขข้อมูล และการปรับเปลี่ยนรูปแบบนามบัตรทำได้ยาก และมีค่าใช้จ่ายในการจัดทำขึ้นมาใหม่สูง และในขณะที่นามบัตรอิดิจิทัลแบบ NFC ในปัจจุบันช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ดี แต่พบว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องแอปพลิเคชันที่ใช้ในสนับสนุนนามบัตรอิดิจิทัลแบบ NFC มีจำนวนค่อนข้างน้อย และการใช้งานจะต้องติดตั้ง softwere สำหรับแสดงข้อมูลนามบัตร ลงบนโทรศัพท์มือถือ การเปลี่ยนโทรศัพท์มือถือส่งผลให้ข้อมูลหายไปด้วย

จากปัญหาของนามบัตรดิจิทัลแบบ NFC ซึ่งยังมีแอปพลิเคชันสนับสนุนการทำงานค่อนข้างน้อย จึงได้เกิดแนวคิดการออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนามบัตรดิจิทัล ที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ การใช้งานนามบัตรดิจิทัลผ่านเว็บแอปพลิเคชันทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ข้อมูลไม่สูญหายแม้จะเปลี่ยนโทรศัพท์เครื่องใหม่ การปรับเปลี่ยนเวอร์ชั่นของแอปพลิเคชันไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ เนื่องจากผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม บนโทรศัพท์มือถือของตนเองใหม่ มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Near Field Communication : NFC) หมายถึง การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ (Short-Range Wireless Technology) โดยสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ในระยะไม่เกิน 4 เซนติเมตรเท่านั้น มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 424 กิโลบิตต่อวินาที และมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำกว่า 0.1 วินาที นอกจากนี้ NFC ใช้ยังพลังงานที่น้อยมาก เหมาะกับการนำมาใช้งานสำหรับส่งข้อมูลในปริมาณน้อย ๆ เพื่อการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิดิจิทัลในระยะใกล้

เทคโนโลยี NFC ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลาย เพื่อเพิ่มความสะดวก รวดเร็วให้กับผู้ใช้งาน โดยส่วนใหญ่ NFC ถูกนำไปใช้งาน ดังนี้

2.1 ใช้จ่ายเงินแบบไร้สัมผัส หรือ Contactless Payment ซึ่งการจ่ายแบบนี้ เพียงแค่นำโทรศัพท์มือถือ หรือบัตรเดบิตไปแตะกับเครื่องจ่ายเงิน ก็สามารถจ่ายเงินได้ในทันที ไม่ต้องเข้าแอปพลิเคชัน หรือใส่รหัสให้ยุ่งยาก เช่น การจ่ายค่าโดยสารรถไฟฟ้า, ร้านอาหาร, ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ช่วยให้สะดวก รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.2 ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ ทำให้การจับคู่อุปกรณ์เป็นเรื่องที่ง่ายขึ้น ซึ่งอดีตการจับคู่อุปกรณ์ผ่านบลูทูธ (Bluetooth) เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยาก แต่ถ้าหากอุปกรณ์ของคุณมีเทนโนโลยี NFC เพียงแค่นำโทรศัพท์แตะกับโทรศัพท์ หรือนำโทรศัพท์แตะกับลำโพง ก็ทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์เป็นเรื่องที่ง่ายขึ้นมาก ๆ

2.3 ใช้ส่งข้อมูล ถ้าหากคุณต้องการส่งข้อมูลหน้าเว็บไซต์ในโทรศัพทไปยังอีกเครื่อง คุณก็สามารถใช้โทรศัพท์แต่กันได้เลย และเทคโนโลยี NFC ยังถูกนำไปใช้งานใน SMART LABEL หรือฉลากอัจฉริยะ โดยคุณเพียงแค่นำโทรศัพท์ของคุณไปแตะกับ SMART LABEL ก็จะทำให้คุณได้รับข้อมูลจากฉลากนั้นในทันที หรือนำเทคโนโลยี NFC มาประยุกต์ใช้กับนามบัตร (Business Cards) ก็จะช่วยทำให้พาร์ทเนอร์ หรือลูกค้า ทราบข้อมูลของบริษัทคุณได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.4 ใช้เพื่อรักษาความปลอดภัย บริษัทหลาย ๆ ที่นำเทคโนโลยี NFC ไปใช้เพื่อรักษาความปลอดภัย เช่น การนำเทคโนโลยี NFC ไปประยุกต์ใช้กับบัตรคีย์การ์ด (Secure Keycards) ในการเข้า-ออกสถานที่ต่าง ๆ

3. วัตถุประสงค์

3.1 เพื่อพัฒนาระบบเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตรด้วยระบบ NFC

3.2 เพื่อประเมินคุณภาพด้านการออกแบบและพัฒนาระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

3.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตรด้วยระบบ NFC การดำเนินโครงการผู้พัฒนาได้ดำเนินการพัฒนาระบบตามแบบวงจรพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle หรือ SDLC) [1] ซึ่งเป็นวงจรที่แสดงกิจกรรมต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นทั้ง 6 ขั้นตอน ได้แก่

4.1.1 กำหนดปัญหาของระบบ (Problem Definition) ในการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตรด้วยระบบ NFC โดยทำการศึกษาและสอบถามปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานนามบัตรแบบกระดาษทั่วไป จึงได้นำความต้องการของผู้ใช้งานเป็นเกณฑ์หลักในการวิเคราะห์และพัฒนาออกแบบระบบ โดยใช้เครื่องมือ Fishbone Diagram แสดงปัญหาที่พบ

4.1.2 วิเคราะห์ระบบ (Analysis) หลังจากการรวบรวมและสรุปปัญหาที่ได้จากการสอบถามผู้จัดทำโครงการจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ระบบโดยใช้เครื่องมือ ดังนี้

1) ยูสเคส ไดอะแกรม (Use Case Diagram)

2) แอคทิวิตี้ ไดอะแกรม (Activity Diagram)

3) ซีเควนซ์ ไดอะแกรม (Sequence Diagram)

4.1.3 การออกแบบระบบ (Design) เมื่อผู้จัดทำได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระบบ ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้มีการนำข้อมูลดังกล่าว มาออกแบบระบบงานในส่วนต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือ ดังนี้

1) พจนานุกรมข้อมูล

2) แผนผังความสัมพันธ์

4.1.4 การพัฒนา (Development) การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFCโดยใช้ PHP Framework ฐานข้อมูลใช้ Mysql

4.1.5 การทดสอบระบบ (Testing) การนำเว็บแอปพลิเคชันแอปพลิเคชัน นามบัตรดิจิทัล ไปทดสอบการทำงานบนเบราว์เซอร์ เพื่อหาข้อผิดพลาดและตรวจสอบจุดพกพร่องภายในระบบงานเพื่อแก้ไข

4.1.6 การติดตั้งระบบ (Implementation) ทำการติดตั้งระบบบนเครื่องแม่ข่ายเพื่อใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์

4.2 เครื่องมือที่รวบรวมข้อมูล

4.2.1 แบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบประมาณค่า 5 ระดับแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 การประเมินคุณภาพด้านการออกแบบและพัฒนาระบบและตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญต่อการพัฒนาโปรแกรม

4.2.2 แบบประเมินความพึงพอใจด้านการใช้งานที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชันนามบัตร ดิจิทัล โดยผู้ใช้งาน โดยแบ่ง

ออกเป็น 3 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ใช้งาน ตอนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจต่อเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC และตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 เกณฑ์การให้คะแนนความพึงพอใจและการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ (ฤทธิไกร ไชยงาม, 2562) มีดังนี้ 5 คะแนนแทนระดับพึงพอใจ มากที่สุด 4 คะแนนแทนระดับพึงพอใจ มาก 3 คะแนนแทนระดับพึงพอใจ ปานกลาง 2 คะแนนแทนระดับพึงพอใจ น้อย และ 1 คะแนนแทนระดับพึงพอใจ น้อยที่สุด

4.3.2 เกณฑ์การแปรผลค่าเฉลี่ยของคะแนนคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน มีดังนี้ 4.50 – 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด 3.50 – 4.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก 2.50 – 3.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง 1.50 – 2.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อย และ 1.00 – 1.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อยที่สุด

4.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.4.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ใช้สูตรดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

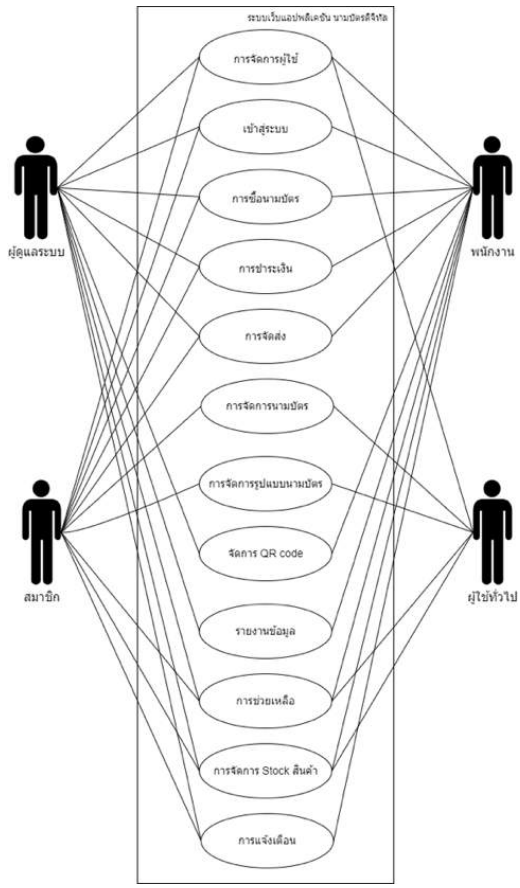
4.4.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากสูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

5. ผลการวิจัย

5.1 การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นนามบัตร ด้วยระบบ NFC

5.1.1 ผลของการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) ระบบเว็บแอพพลิเคชั่นนามบัตร ด้วยระบบ NFC ประกอบด้วย 12 ฟังก์ชันหลัก ดังนี้ จัดการผู้ใช้, เข้าสู่ระบบ การซื้อนามบัตร การชำระเงิน การจัดส่ง การจัดการนามบัตร การจัดการรูปแบบนามบัตร สร้าง QR code อัตโนมัติ รายงานข้อมูล ช่องทางช่วยเหลือ การจัดการ Stock สินค้า และการแจ้งเตือน โดยมีกลุ่มผู้ใช้งานแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ พนักงาน สมาชิกและ ผู้ใช้ทั่วไป โดยแสดงยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) ดังภาพที่ 4.1และหน้าจอแสดงผลเว็บไซต์ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram)

ภาพที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลเว็บไซต์

5.1.2 ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพด้านการออกแบบหน้าจอผู้ใช้โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินผล	$(\bar{x})$	**S.D.**	**ระดับความพึงพอใจ**
การจัดหมวดหมู่ให้ง่ายต่อการใช้งาน	4.00	0.00	มาก
ความน่าใช้งานของหน้าเว็บ	3.66	0.57	มาก
ขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.33	0.57	มาก
การจัดวางรูปภาพมีความเหมาะสม	3.33	0.57	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.83	0.42	มาก

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านการออกแบบหน้าจอผู้ใช้โดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยทุกด้านอยู่ที่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.83, S.D. = 0.42) โดยเรียงลำดับจากระดับคุณภาพมากที่สุดถึงน้อยที่สุดพบว่าอันดับที่ 1 ขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.57) อันดับที่ 2 การจัดหมวดหมู่ให้ง่ายต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00, S.D. = 0.00) อันดับที่ 3 ความน่าใช้งานของหน้าเว็บ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.66, S.D. =0.57) และรายการที่มีผลการประเมินต่ำสุด คือ การจัดวางรูปภาพมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับปานกลาง ($\bar{x}$ = 3.33, S.D. = 0.57)

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินคุณภาพด้านการทำงานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินผล	$(\bar{x})$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ความง่ายต่อการเข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของระบบ	3.66	0.57	มาก
ขั้นตอนการสั่งซื้อมีความง่าย	5.00	0.00	มากที่สุด
ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.66	0.57	มากที่สุด
ความถูกต้องของการประมวลผล	4.33	0.57	มาก
ความต่อเนื่องของการใช้งานระบบ	3.66	0.57	มาก
การทำงานตรงตามฟังก์ชัน	4.33	0.57	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.27**	**0.47**	**มาก**

จากตารางที่ 4.2 ผลการประเมินคุณภาพด้านการทำงานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยทุกด้านอยู่ที่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.27, S.D. = 0.47) โดยเรียงลำดับจากระดับคุณภาพมากที่สุดถึงน้อยที่สุดพบว่าอันดับที่ 1 ขั้นตอนการสั่งซื้อมีความง่าย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 5.00, S.D. = 0.00) อันดับที่ 2 ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.66, S.D. = 0.57) อันดับที่ 3 ได้แก่ความถูกต้องของการประมวลผลและการทำงานตรงตามฟังก์ชัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.57) และรายการที่มีผลการประเมินต่ำสุด คือ ความง่ายต่อการเข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของระบบ และความต่อเนื่องของการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.66, S.D. = 0.57) เท่ากัน

5.3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบหน้าจอโดยผู้ใช้งาน

รายการประเมินผล	$(\bar{x})$	(S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
การจัดหมวดหมู่ให้ง่ายต่อการใช้งาน	3.83	0.59	มาก

ความน่าใช้งานของหน้าเว็บ	4.16	0.59	มาก
ขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม	3.86	0.68	มาก
การจัดวางรูปภาพมีความเหมาะสม	4.16	0.64	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.00**	**0.62**	**มาก**

จากตารางที่ 4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบหน้าจอผู้ใช้โดยผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยทุกด้านอยู่ที่ระดับมาก ($\bar{x}$ = **4.00**, S.D. = **0.62**) โดยเรียงลำดับจากระดับความพึงพอใจมากที่สุดถึงน้อยที่สุดพบว่า อันดับที่ 1 คือ ความน่าใช้งานของหน้าเว็บ มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.16, S.D. = 0.59) อันดับ 2 คือการจัดวางรูปภาพมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.16, S.D. = 0.64) อันดับ 3 คือ ขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.86, S.D. = 0.68) และรายการที่มีผลการประเมินต่ำสุด คือ การจัดหมวดหมู่ให้ง่ายต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.83, S.D. = 0.59)

5.4 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานของระบบโดยผู้ใช้งาน

รายการประเมินผล	$(\bar{x})$	(S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
ความง่ายต่อการเข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของระบบ	4.00	0.74	มาก
ขั้นตอนการสั่งซื้อมีความง่าย	4.40	0.49	มาก
ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.06	0.69	มาก
ความถูกต้องของการประมวลผล	4.06	0.69	มาก
ความต่อเนื่องของการใช้งานระบบ	4.03	0.71	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.11**	**0.66**	มาก

จากตารางที่ 4.4 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานของระบบโดยผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยทุกด้านอยู่ที่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.11, S.D. = 0.66) โดยเรียงลำดับจากระดับความพึงพอใจมากที่สุดถึงน้อยที่สุดพบว่าอันดับที่ 1 ขั้นตอนการสั่งซื้อมีความง่าย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, S.D. = 0.49) อันดับที่ 2 ได้แก่ ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบและความถูกต้องของการประมวลผล มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.06, S.D. = 0.69) อันดับที่ 3 ความต่อเนื่องของการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.03, S.D. = 0.71) และรายการที่มีผลการประเมินต่ำสุด คือ ความง่ายต่อการเข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.00, S.D. = 0.74)

6. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตรด้วยระบบ NFC พบว่าการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับด้านระบบเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.25, S.D. = 0.40) และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.09, S.D. = 0.66) เนื่องจากการดำเนินโครงการได้มีการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และรวบรวมความต้องการใช้งานนามบัตรดิจิทัลจากผู้ใช้นามบัตรดิจิทัล จึงทำให้ระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้ โดยพบว่า ช่วยลดความไม่สะดวกในการพกพานามบัตร และทำให้ผู้ใช้เปลี่ยนข้อมูลในนามบัตรรวมถึงเปลี่ยนรูปแบบนามบัตรได้สะดวกขึ้น และโครงการนี้ยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรีวรรณ จันตะมะ, ภานุวัตร สุขเทพ, และพิมพ์ชยา ชัยรัตน์ [2] เรื่อง ระบบสะสมแต้มอุปกรณ์คอมพิวเตอร์บนอินเทอร์เน็ต คือ มีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ พนักงาน และสมาชิก โดยในส่วนของฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกันได้แก่ การสั่งซื้อ และฟังก์ชันการตัดสต๊อกสินค้าอัตโนมัติ นอกจากนี้เว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC ยังมีความสอดคล้องกับงานของ ยุพา เพ็งโอ และอมราวดี เนียมศรี [3] ที่ได้พัฒนาระบบเว็บไซต์สั่งซื้อเบเกอรี่ออนไลน์ กรณีศึกษา: ร้านน้ำฝนเบเกอรี่ โดยในส่วนของ

ฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกันได้แก่ การสั่งซื้อ และการแจ้งเตือนในเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบนี้ช่วยลดการทำงานของพนักงานเพื่อป้องกันความผิดพลาดของข้อมูล รวมถึงสอดคล้องกับ คมสันติ มหาสุข และสุภาภรณ์ เขียวงาม [4] ที่พัฒนาเว็บไซต์เพื่อจำหน่ายอาหารสัตว์เลี้ยง : กรณีศึกษาร้าน Petshop คือ มีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้เป็น 4 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ พนักงาน สมาชิก และผู้ใช้ทั่วไป โดยในส่วนของฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกันได้แก่ ฟังก์ชันการสั่งซื้อ การตัดสต๊อกสินค้า และการช่วยเหลือ ซึ่งการทำงานของระบบดังกล่าว สามารถช่วยจัดเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการป้องกันข้อมูลสูญหายและยังไปสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบคลังสินค้าอีกมากมาย [5][6][7][8]

จะเห็นได้ว่าเว็บแอพพลิเคชั่นซื้อขายนามบัตร ด้วยระบบ NFC นี้ มีฟังก์ชันพื้นฐานสอดคล้องตามการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการซื้อขายออนไลน์ และส่วนที่แตกต่างจากแอปพลิเคชัน ขายสินค้าทั่วไปคือ เป็นสินค้าประเภทนามบัตรดิจิทัล ซึ่งข้อมูลติดต่อจะสามารถแสดงบนเว็บไซต์และการดูข้อมูลจะสามารถดูผ่านเว็บแอปพลิเคชันจากอุปกรณ์ต่างๆที่มีการเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตได้โดยวิธีการแตะบัตรกับโทรศัพท์มือถือที่รองรับ เทคโนโลยี NFC หรือ แสกนผ่าน QR code ที่อยู่บนบัตร โดยข้อดีของนามบัตรดิจิทัล นี้คือ ความสะดวกในการแก้ไขข้อมูล และรูปแบบนามบัตรสามารถแก้ไขได้ตลอดเวลาโดยเจ้าของบัตร

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Waratchaya WongMessiah,(2554),วงจรการพัฒนาระบบ SDLC, สืบค้น24 ธันวาคม 2567, จาก http://wongmessiah.blogspot.com/2011/11/sdlc.html

[2] สุรีวรรณ จันตะมะ, ภานุวัตร สุข เทพและ พิมพ์ชยา ชัยรัตน์, "การ ออกแบบ และ พัฒนา ระบบ ขาย และ สะสมแต้ม อุปกรณ์ บน อินเทอร์เน็ต ด้วย วิธี เชิง โครงสร้าง: บทความวิจัย," วารสาร วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชาธ์อีสท์ บางกอก,(2022), หน้า 40-52.

[3] ยุพา เพ็งโอ และอมราวดี เนียนศรี,"ระบบ เว็บไซต์ สั่งซื้อเบเกอรี่ ออนไลน์ กรณี ศึกษา: ร้านน้ำฝนเบเกอรี่", วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.(2022),หน้า 32-46.

[4] คมสันติ มหาสุข, สุภาภรณ์ เขียวงาม และ จินดา คำจริง, "การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อจำหน่ายอาหารสัตว์เลี้ยง: กรณีศึกษา ร้าน Petshop", วารสาร วิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัย ราชภัฏ พิบูล สงคราม, (2022) หน้า 18-31.

[5] ณัฐปภัสร์ จารุจิตร และพชร กิจจาเจริญชัย, "การประยุกต์ ใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา บริษัทผลิตชั้นวางสินค้า,Sripatum Chonburi Academic Journal, (2022) หน้า 130-141.

[6] ภัทรพล เสมอภาค, "การพัฒนาเว็บไซต์ การจัดการฐานข้อมูลระบบคลังจัดเก็บวัสดุและอุปกรณ์ กรณีศึกษา บริษัท ฟิวชั่น ดีไซน์ เดคคอเรท จำกัด," Vocational Education Central Region Journal , (2020) หน้า 28-36.

[7] วิจิตรา ผาผึ้ง, ปริชาติ โอชาโร และ ศิรินภา สุนประสบ, "การพัฒนาระบบการบริหารจัดการสต๊อกสินค้า ออนไลน์ ร้าน พีเอสไอที สกลนคร", วารสาร เทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร. พระนคร, (2019) หน้า 38-49.

[8] สุรีวรรณ จันตะมะ, ภานุวัตร สุขเทพและ พิมพ์ชยา ชัยรัตน์,"การออกแบบและพัฒนาระบบขายและสะสม แต้มอุปกรณ์บนอินเทอร์เน็ต ด้วยวิธีเชิงโครงสร้าง: บทความวิจัย," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชาธ์อีสท์ บางกอก,(2022) หน้า 40-52.

นวัตกรรมของมาตรวัดการเอียงตัวด้วยการใช้มาตรวัดความเครียด แบบโรเซท

INNOVATION OF INCLINOMETER USING ROSETTE STRAIN GAUGE

เสกสรร ชิมรัมย์[1] และ ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์[2*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: chardphoom.v@ubu.ac.th

Seksun Chimram[1] and Chartrabhumi Viratjandr[2*]
[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
E-mail: chardphoom.v@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในแนวราบ โดยเฉพาะบริเวณลาดสโลปและโครงสร้างใต้ดิน เช่น ปล่องระบายอากาศอุโมงค์ หรือแนวผนังกันดิน มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินความมั่นคงปลอดภัยของพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์อินคลิโนมิเตอร์รูปแบบใหม่ที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวในแนวราบได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ โดยใช้หลักการของมาตรวัดความเครียดแบบโรเซ็ท (Rosette Strain Gauge) ซึ่งสามารถตรวจวัดความเครียดในหลายทิศทางบนระนาบเดียวกันได้ โครงสร้างต้นแบบประกอบด้วยท่อไฟเบอร์กลาสที่ติดตั้ง Rosette Strain Gauge เป็นระยะตลอดแนวท่อ โดยมีการเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถแปลงสัญญาณและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบคลาวด์ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบวงจรกรองสัญญาณเพื่อเพิ่มความเสถียรและลดความคลาดเคลื่อนของการวัด พร้อมพัฒนาอินเทอร์เฟซเพื่อการตรวจสอบและแจ้งเตือนแบบออนไลน์ ระบบต้นแบบถูกนำไปทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยเปรียบเทียบกับวิธีการวัดมาตรฐานด้วย Inclinometer แบบ Probe Rod และ Fiber Optic พบว่าระบบที่พัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.24%–1.04% ของการวัดจริง นอกจากนี้ระบบยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าระบบ Fiber Optic มากกว่า 3 เท่า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดความปลอดภัยของโครงสร้างในงานภูมิวิศวกรรม วิศวกรรมฐานราก และการเตือนภัยล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Keywords :อินคลิโนมิเตอร์, โรเซ็ทสเตรนเกจ, ความเครียด, การเคลื่อนตัว,ระบบตรวจวัดแบบเรียลไทม์

Abstract

Monitoring horizontal displacements in geotechnical structures such as slopes, retaining walls, and underground infrastructures is crucial for assessing structural stability and ensuring safety. This research aims to develop a novel inclinometer device that integrates Rosette Strain Gauges to detect lateral movements continuously and accurately. The system consists of a fiberglass pipe instrumented with Rosette Strain Gauges at defined intervals. Each sensor is connected to a microcontroller that processes strain signals and

transmits real-time data to a cloud-based platform. A signal conditioning circuit is also incorporated to enhance measurement stability and reduce noise. In addition, a user interface was developed for visualization and early warning alerts. The prototype system was tested in both laboratory and field conditions and benchmarked against conventional probe-rod inclinometers and fiber optic sensors. Results show that the proposed system achieved a measurement error within 0.24% to 1.04%, with significant cost savings—being over three times cheaper than fiber optic solutions. This innovation is well-suited for applications in geotechnical engineering, foundation monitoring, and real-time structural health surveillance in areas prone to ground movement.

Keywords : Inclinometer, Rosette strain Gauge, Strain, Displacement, Real-time Sensing System

1.บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของโครงสร้างใต้ดินและลาดสโลปถือเป็นกระบวนการสำคัญในการประเมินเสถียรภาพของโครงสร้าง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการวิบัติของดินหรือโครงสร้าง ในปัจจุบันมาตรวัดการเอียงตัว (Inclinometer) แบบหย่อนตรวจวัดเป็นช่วงเวลายังคงถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับพฤติกรรมของชั้นดินและโครงสร้าง แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความต่อเนื่องของข้อมูล การอ่านค่าทำได้เฉพาะในขณะทำการตรวจวัดเท่านั้น

จากงานวิจัยของ Minardo et al. (2018 A) [1] ได้มีการพัฒนาอินคลิโนมิเตอร์แบบไฟเบอร์ออปติกที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความเครียดอย่างต่อเนื่องตลอดแนวโครงสร้าง โดยใช้เทคนิค Brillouin Optical Time Domain Analysis (BOTDA) ซึ่งให้ความแม่นยำสูงและสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้แบบกระจาย (distributed sensing) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวมีต้นทุนสูง โดยเฉพาะโมดูลรับส่งข้อมูลและยังต้องการการพัฒนาด้านความสะดวกในการใช้งานภาคสนาม

[2] Minardo et al. (2018 B) ก็ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำเทคโนโลยีเดียวกันมาใช้กับการตรวจวัดพฤติกรรมของอุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่ม ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มการนำเอาระบบ Distributed Optical Fiber มาใช้ในวิศวกรรมธรณีอย่างแพร่หลายแม้ว่างานวิจัยเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของต้นทุนและความซับซ้อนของระบบ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอทางเลือกที่เป็นนวัตกรรมใหม่ โดยใช้ Rosette Strain Gauge ซึ่งเป็นมาตรวัดความเครียดที่สามารถวัดค่าได้ในหลายทิศทาง ติดตั้งในท่ออินคลิโนมิเตอร์เพื่อใช้ตรวจสอบการเอียงตัวของโครงสร้างแบบต่อเนื่อง พร้อมระบบคลาวด์ สำหรับส่งข้อมูลและตั้งค่าการแจ้งเตือนแบบเป็นปัจจุบัน

จากข้อจำกัดของอินคลิโนมิเตอร์แบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถให้ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินหรือโครงสร้างในแบบเรียลไทม์ (Real-time) และต้องอาศัยการตรวจวัดแบบเป็นช่วงเวลาโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ในหลายกรณีไม่สามารถเฝ้าระวังภัยพิบัติหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้ เครื่องมือดังกล่าวยังมีต้นทุนสูงและมีข้อจำกัดในการใช้งานในพื้นที่ทุรกันดารหรือพื้นที่เสี่ยงภัยต่อชีวิตผู้ปฏิบัติงาน

เพื่อให้การเฝ้าระวังและประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดิน ลาดสโลป หรือเขื่อนป้องกันตลิ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีการวัดการเคลื่อนตัวของดินที่สามารถทำงานได้ตลอดเวลา มีความแม่นยำสูง และสามารถแจ้งเตือนได้แบบอัตโนมัติ งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางใหม่ในการประยุกต์ใช้ มาตรวัดความเครียดแบบโรเซท (Rosette Strain Gauge) ร่วมกับระบบคลาวด์ และระบบแจ้งเตือนแบบปัจจุบันเพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดและติดตามการเอียงตัวของโครงสร้างโดยตรง

การพัฒนาดังกล่าวจะช่วยลดต้นทุน เพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับสาธารณภัย รวมถึงการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

2.วัตถุประสงค์

2.1 ประดิษฐ์มาตรวัดการเอียงตัวอินคลิโนมิเตอร์ด้วยการใช้มาตรวัดความเครียดแบบโรสเซ็ท

2.2 ประดิษฐ์โมดูลเพื่อรัลส่งข้อมูล

3.ขอบเขตงานวิจัย

3.1 ท่ออินคลิโนมิเตอร์ จะเป็นท่ออินคลิโนมิเตอร์แบบดั้งเดิมแต่นำมาประยุกต์ติดตั้ง Rosette Strain Gauge ตลอดความยาวท่อ

3.2 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ และทดสอบการเสียรูปของท่อในสภาพใกล้เคียงสภาพใช้งาน

4.ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดการเอียงตัว (Inclinometer) แบบใหม่ โดยอาศัยการประยุกต์ใช้มาตรวัดความเครียดแบบโรเซท (Rosette Strain Gauge) ติดตั้งตลอดแนวท่ออินคลิโนมิเตอร์ เพื่อให้สามารถตรวจวัดการเสียรูป (deformation) ของท่อได้อย่างต่อเนื่อง และส่งข้อมูลแบบเป็นปัจจุบันผ่านระบบคลาวด์โดยระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้:

4.1 การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์

1.ดำเนินการออกแบบระบบการวัดโดยเลือกใช้ท่อ Inclinometer ที่มีความแข็งแรงและเหมาะสมกับการฝังในดิน

2.เลือกตำแหน่งการติดตั้ง Rosette Strain Gauge ให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงในแนวราบ

3.ออกแบบวงจรแปลงสัญญาณจาก Strain Gauge เป็นข้อมูลดิจิทัล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล

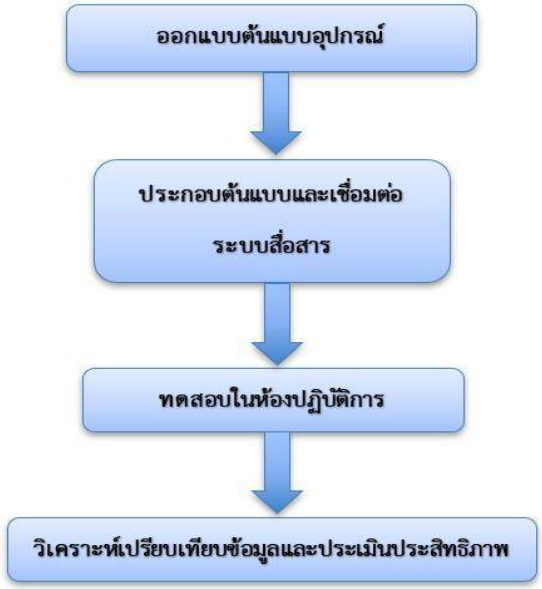
4.2 การประกอบต้นแบบ

1.ติดตั้ง Rosette Strain Gauge บนท่อในตำแหน่งที่กำหนด

2.ต่อวงจรสื่อสารเพื่อเชื่อมโยงสัญญาณเข้าสู่ระบบ Cloud ผ่าน Wi-Fi หรือ NB-IoT

3.ออกแบบโปรแกรมเพื่ออ่านค่า strain และส่งเข้าสู่ฐานข้อมูล

แผนภาพ Flowchart กระบวนการวิจัยและพัฒนาท่ออินคลิโนมิเตอร์ร่วมกับ Rosette Strain Gauge



4.3 การสอบเทียบและทดสอบการทำงาน

1.ทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการ โดยทำการจำลองแรงกระทำต่อท่อในแนวราบหลายระดับ

2.เปรียบเทียบค่าที่ได้จาก Rosette Strain Gauge กับค่าที่เกิดจากการคำนวณ เพื่อสอบเทียบความแม่นยำ

3.ปรับค่าความไวของอุปกรณ์และระบบแจ้งเตือนให้มีความแม่นยำสูงสุด

ตารางสรุปวัสดุและตารางเปรียบเทียบ

ตารางที่ 1 สรุปวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับ	รายการ	รายละเอียด/คุณสมบัติ
1	ท่อ Inclino meter	PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 3 เมตร
2	Rosette Strain Gauge	แบบ 3 แกน (120 องศา) สำหรับวัดความเครียดหลายทิศทาง

3	Microcontroller	ESP32 หรือเทียบเท่า เชื่อมต่อ Wi-Fi / NB-IoT
4	Power Supply	แบตเตอรี่ลิเธียมหรือแหล่งจ่ายไฟภายนอก
5	ระบบคลาวด์	สำหรับบันทึกและแสดงผลข้อมูล Real-time

4.4 การทดลองภาคสนาม

1.นำอุปกรณ์ไปติดตั้งจริงในพื้นที่เสี่ยงภัย เช่น ลาดตลิ่งริมแม่น้ำ

2.เก็บข้อมูลจากระบบ Cloud และติดตามการเคลื่อนตัวของดินในช่วงเวลาจริง

3.ประเมินประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง และการแจ้งเตือนภัย

4.5 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

$$\sigma = M*C/I$$

σ คือความเค้นในวัสดุ

M คือโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อหน้าตัดที่เรียกรับโมเมนต์ดัด

C คือระยะจากแกนกลางของหน้าตัดที่เรียกรับโมเมนต์ดัดไปยังจุดที่ ต้องการหาแรงเครียด

I คือโมเมนต์ของพื้นที่ของหน้าตัดคาน

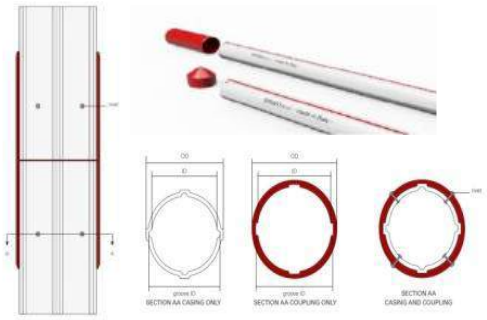
5.วิธีการทดสอบ

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การทดลองในห้องปฏิบัติการ (Lab-scale Test) และการทดลองภาคสนาม(Field Test) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจากการติดตัง Rosette Strain Gauge บนท่อ Inclinometer

5.1 รายละเอียดท่ออินคลิโนมิเตอร์

ท่อ Inclinometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดการเคลื่อนตัวหรือการเอียงของโครงสร้างในแนวราบ ซึ่งมักจะใช้ในงานวิจัยด้านวิศวกรรมโยธาและการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างต่าง ๆ เช่น ลาดสโลปและโครงสร้างใต้ดิน ท่ออินคลิโนมิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณสมบัติและลักษณะดังนี้:

5.2 วัสดุและขนาดของท่อ



รูปที่ 1 ลักษณะท่ออินคลิโนมิเตอร์ (บริษัทวิศวกรรมธรณีและฐานราก จำกัด, 2558) [3]

ท่อ Inclinometer ที่ใช้ในการทดสอบนี้ทำจาก PVC (Polyvinyl Chloride) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความทนทานและไม่เป็นสนิม เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะที่อาจมีความชื้นหรือดินที่เปียกอยู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออยู่ที่ 2 นิ้ว (50.8 มม.) และมีความยาว 3 เมตร (300 ซม.) ซึ่งสามารถฝังลงไปในดินหรือโครงสร้างที่ต้องการตรวจวัดได้

5.3 รายละเอียดเกี่ยวกับมาตรวัดความเครียด Rosette Strain Gauge

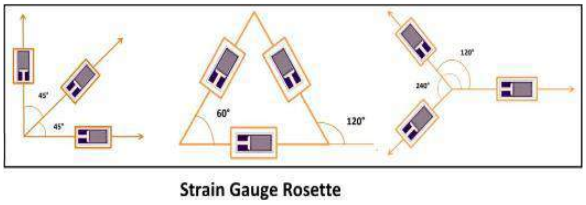
Rosette Strain Gauge เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเครียดในทิศทางต่าง ๆ โดยประกอบด้วย เซ็นเซอร์ 3 ตัว ที่จัดเรียงในรูปแบบรังผึ้ง (rosette) หรือมุม 120 องศาต่อกัน เพื่อวัดความเครียดในหลายทิศทางที่เกิดขึ้นในจุดเดียวกัน

5.4 หลักการทำงานของ Rosette Strain Gauge

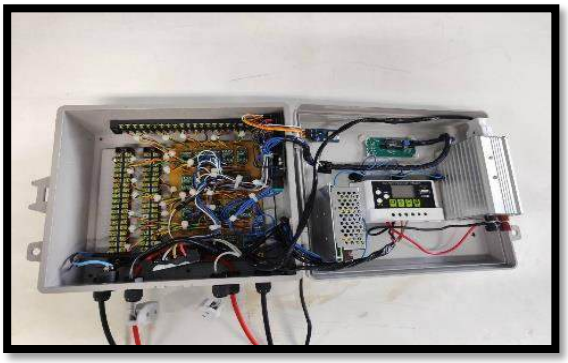
เมื่อแรงหรือการเคลื่อนที่กระทำต่อวัสดุ เช่น ท่อ อินคลิโนมิเตอร์ เซ็นเซอร์ใน Rosette Strain Gauge จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงและส่งข้อมูลความเครียดในแต่ละทิศทางที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ โดยที่การอ่านค่าจากแต่ละเซ็นเซอร์จะช่วยให้สามารถคำนวณการเคลื่อนตัวและมุมเอียงได้อย่างแม่นยำ

5.5 การติดตั้ง Rosette train Guage กับท่ออินคลิโนมิเตอร์

ในงานวิจัยนี้, Rosette Strain Gauge จะถูกติดตั้งที่ด้านในของท่ออินคลิโนมิเตอร์ทั้งสองด้านในระดับเดียวกัน. ตลอดความยาวของท่อ เพื่อวัดการเคลื่อนตัวของท่อในแต่ละจุดอย่างละเอียด โดยเซ็นเซอร์แต่ละตัวจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบการเก็บข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกส่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 3 ที่เชื่อมต่อกับระบบการเก็บข้อมูลแบบ ไร้สาย ข้อมูลจะถูกบันทึกและส่งขึ้น ระบบคลาด์เพื่อให้สามารถติดตามและวิเคราะห์ได้แบบเป็นปัจจุบัน ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่า Alarms เพื่อเตือนภัยหากมีการเปลี่ยนแปลงที่มีความสำคัญในข้อมูลที่ได้รับ



รูปที่ 2 แสดงทิศทางต่างๆของสเตรนเกจ(ที่มา https://theinstrumentguru.com/strain-gauge-rosette/) [4]

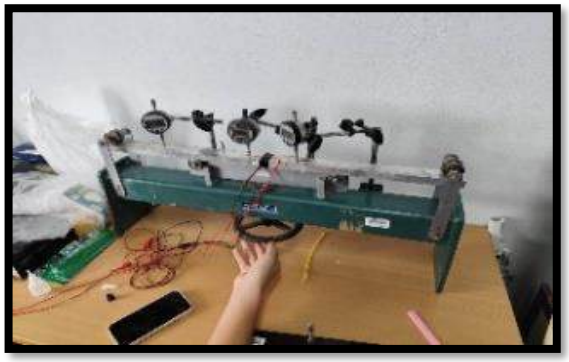


รูปที่ 3 การบันทึกข้อมูลจาก Rosette Strain Gauge ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบคลาวด์

5.6 ขั้นตอนการทดสอบ

5.6.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ (Lab-scale Test) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก

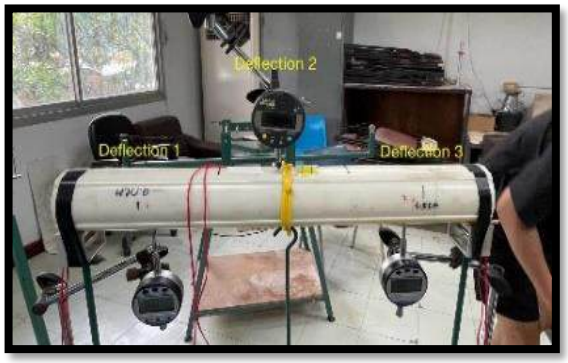
5.6.1 ก การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการแอ่นตัวของคาน (electric strain) ซึ่งเป็นเครื่องใช้สำหรับสอบเทียบสเตรนเกจ



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการแอ่นตัวของคาน

การทดสอบในส่วนนี้เพื่อสอบเทียบสเตรนเกจ เป็นการอ่านค่าการโก่งตัวของคานอลูมิเนียมที่วัดโดยตรง เทียบกับค่าการโก่งตัวของคานอลูมิเนียมที่คำนวณจากค่าความเครียดด้วย Rosette Strain Gauge

5.6.1 ข การแอ่นตัวของท่ออินคลิโนมิเตอร์



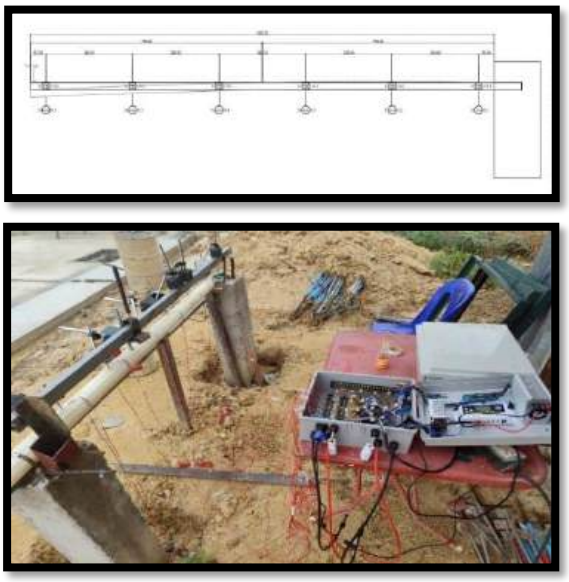
รูปที่ 5 การทดสอบด้วยโครงเฟรมและให้น้ำหนักกระทำต่อท่ออินคลิโนมิเตอร์ [5]

การทดสอบในส่วนนี้ท่ออินคลิโนมิเตอร์ที่ติดตั้ง Rosette Strain Gauge แล้ว ถูกติดตั้งเป็นคานในลักษณะคานแบบสองจุดรองรับเหมือนในการทดลอง 5.6.1 ก แต่เปลี่ยนจากคานอลูมิเนียมเป็นท่ออินคลิโนมิเตอร์ตามรูปที่ 5

5.6.2 การทดลองภาคสนาม (Field Test)

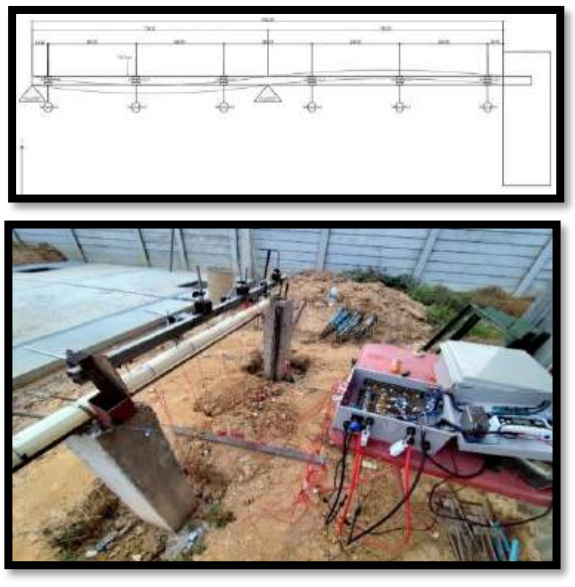
โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีที่มีแรงมากระทำ ดังนี้

กรณีที่ 1 น้ำหนักบรรทุกกรทำที่ปลายอิสระของคานแบบคานยื่น (cantilever beam)



รูปที่ 6 กรณที่ 1 คานยื่น

กรณีที่ 2 คาน 3 `จุดรองรับ FIXED-HINGE-HINGE



รูปที่ 7 กรณีที่ 2 คาน 3 จุดรองรับ FIXED-HINGE-HINGE

6.ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ร้อยละความคลาดเคลื่อนสูงสุด Electric Strain VS Beam Deflection

กรณีทดสอบ	รายละเอียดคาน	ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่าง Electric Strain VS Beam Deflection
กรณีตามหัวข้อ 5.6.1 ก	-Aluminum Beam with Simple-Beam Support	0.24%
กรณีตามหัวข้อ 5.6.1 ข	Modified Inclinometer Beam with Simple-Beam Support	0.52%
กรณีตามหัวข้อ 5.6.2 (1)	Long Span Modified Inclinometer Beam with Cantilever eam	0.73%
กรณีตามหัวข้อ 5.6.2 (2)	Long Span Modified Inclinometer Beam With Continuous Beam (Fixed-Hinge-Hinge)	1.04%

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่าง Strain VS Beam Deflection ทั้ง 4 กรณีของการทดลอง

ตารางที่ 3

เปรียบเทียบระหว่างระบบอินคลิโนมิเตอร์แบบเดิมกับนวัตกรรมที่พัฒนา

หัวข้อเปรียบเทียบ	อินคลิโนมิเตอร์แบบดั้งเดิม	ระบบที่พัฒนาในงานวิจัยนี้
การตรวจวัด	ตรวจวัดเป็นช่วงเวลา	ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง Real-time

ความแม่นยำ	พอใช้ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติ	ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ (0.24%–1.04%)
ต้นทุน	ค่อนข้างสูง	ต่ำกว่าระบบไฟเบอร์ออปติก
ระบบแจ้งเตือน	ไม่มี	สามารถตั้งค่า Alarm ได้
ความเหมาะสมในพื้นที่เสี่ยง	ไม่เหมาะกับพื้นที่ห่างไกล	เหมาะสมติดตั้งและเฝ้าระวังระยะไกลได้

7.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองด้วยคานอลูมิเนียมในห้อง ปฏิบัติการคำนวณค่าการโก่งตัวของคานสองจุดรองรับแบบง่าย (simple beam) และมีแรงกระทำสองจุดในช่วงกลางคานซึ่งเป็นรูปแบบการการรับน้ำหนักบันทุกในรูปแบบการทดสอบคานเพื่อหา Flexural Strength of Concrete ASTM C78/C78 M [5] การจัดน้ำหนักบรรทุกในลักษณะดังกล่าวจะทำให้แรงเฉือนเป็นศูนย์ในช่วง 1/3 ของคานโดยเป็นในช่วงกลางคานทำให้ในช่วงดังกล่าวค่าโมเมนต์ดัดของคานจะคงที่ซึ่งส่งผลให้ค่าความเครียดมีค่าคงที่ในช่วงกลางคาน ผลทดสอบตามหัวข้อ 5.6.1 ก ได้ค่าการโก่งตัวของคานทางอ้อม (วัดค่าความเครียดจากนั้นคำนวณค่าการโก่งตัวของคาน) เทียบกับการวัดการโก่งตัวของคานโดยตรงจะมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.24% ในขณะที่ผลการทดสอบตามหัวข้อ 5.6.1 ข การทดสอบในห้องปฏิบัติการการแอ่นตัวของท่ออินคลิโนมิเตอร์ที่ได้ติดตั้ง Rosette Strain Gauge ได้ผลการทดลองที่ค่าคลาดเคลื่อนของการโก่งตัวของท่ออินคลิโนมิเตอร์ไม่เกิน 0.52% ผลการทดลองในภาคสนามของคานเสมือนจริง กรณีที่ 1คานยื่นยาว 1.5 เมตรวัดการโก่งตัว 6 จุด ค่าความคลาดเคลื่อนของการโก่งตัวทางอ้อมที่คำนวณโดยใช้ค่าความเครียดเมื่อเทียบกับการวัดค่าโก่งตัวของท่ออินคลิโนมิเตอร์โดยตรงมีค่าไม่เกิน 0.73% ส่วนกรณีที่ 2 คาน 3 จุดรองรับแบบ Fixed-Hinge-Hinge ซึ่งการทดสอบนี้ทำให้ท่ออินคลิโนมิเตอร์สามารถดัดกลับได้ในลักษณะ sine curve มีค่าคลาดเคลื่อนของการโก่งตัวไม่เกิน 1.04%

คานแต่ละกรณีมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง การแอ่นตัวของคานทางอ้อมกับการแอ่นตัวของคานจากการวัดโดยตรงแตกต่างกัน เนื่องจากกรณีการทดสอบคานอลูมิเนียมในห้องปฏิบัติการมีความแน่นอนของขนาดคานอลูมิเนียมชุดเฟรมทดสอบมีความแข็งแรง เมื่อเทียบกับกรณีท่ออินคลิโนมิเตอร์แบบยาวในสภาพหน้างานมีระบบเฟรมที่ไม่แน่นหนาเท่า เหตุผลหลักที่สำคัญอีกประการคือ Degree of Freedom ของคานที่น้อยกว่าจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการโก่งตัวที่ออเดอร์ต่ำกว่า การทำนายความสัมพันธ์การแอ่นตัวของคานทางอ้อม (จากความเครียด, strain) กับการแอ่นตัวของคานจากการวัดโดยตรงจึงมีความแม่นยำสูงกว่า

ผลการทดลองพบว่าการใช้ Rosette Strain Gauge ติดตั้งกับท่ออินคลิโนมิเตอร์สามารถคำนวณค่าการแอ่นตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นเดียวกับ [2], [6], [7] ซึ่งใช้ Fiber Optics และมีต้นทุนที่สูง โดยต้นทุนการผลิตชุดตรวจวัดสำหรับใช้ในหน้างานจริงของนวัตกรรมที่ได้จากงานวิจัยนี้มี

ต้นทุนต่ำกว่าระบบที่มีใช้ทั่วไปและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนระบบดั้งเดิมเป็นการอ่านเป็นช่วงเวลาและต้องใช้คนในการอ่านและบันทึกค่าจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้กับโครงสร้างหรือลาดสโลปที่มีความวิกฤติที่ควรอ่านค่าการเคลื่อนตัวเป็นปัจจุบัน (Realtime) ดังนั้นท่ออินคลิโนที่ปรับปรุงด้วย Rosette Strain Gauge จึงเป็นนวัตกรรมที่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในงานก่อสร้างใต้ดิน กำแพงกันดิน เสถียรภาพลาดสโลป ทั้งในมุมมองของทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม

8.อภิปรายและข้อเสนอแนะ

แม้ว่านวัตกรรมที่พัฒนาจะสามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความไวของสเตรนเกจอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ และต้องมีการสอบเทียบเป็นระยะรวมถึงการพัฒนาโมดูลส่ง

ข้อมูลอาจต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสม่ำเสมอจึงต้องออกแบบระบบจัดการพลังงานเพิ่มเติมในอนาคต

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้การสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ และทรัพยากรต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการตรวจวัดการเอียงตัวด้วย Rosette Strain Gauge จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

10.เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัทวิศวกรรมธรณีและฐานราก จำกัด, “ข้อมูลผลิตภัณฑ์: สินค้าทางธรณีวิศวกรรม,” 2558. [Online]. Available: https://www.gfe.co.th/th/.

[2] A. Minardo, E. Catalano, A. Coscetta, and L. Zeni, “Dual wavelength BOTDA for strain/temperature discrimination,” in *Sensors and Microsystems: Proceedings of the 19th AISEM 2017 National Conference*, pp. 25–28, Springer, 2018.

[3] A. Minardo, E. Catalano, A. Coscetta, G. Zeni, L. Zhang, and C. Di Maio, “Distributed fiber optic sensors for the monitoring of a tunnel crossing a landslide,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 8, p. 1291, 2018.

[4] ASTM C78/C78M-21, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.

[5] H. Mohamad, A. A. A. Beddelee, M. F. Ghazali, H. E. Lee, K. Chaiyasarn, and M. Y. M. Nasir, “Distributed fibre optic inclinometer with cloud-based monitoring system,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 41, p. 101406, 2023.

[6] X. Zhang, H. Zhu, X. Jiang, and W. Broere, “Distributed fiber optic sensors for tunnel monitoring: A state-of-the-art review,” *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2024.

[7] The Instrument Guru, “Strain Gauge Rosette,” [Online]. Available: https://theinstrumentguru.com/strain-gauge-rosette/.

Design and Implementation of a Climate Simulator for Environmental Durability Testing

Somkaun Vaodee[1] Prach Asavanarakul[2*] Aran Asavanarakul[2] and Tanawat Boonnoon[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: prach.d@en.rmutt.ac.th*

Abstract

This article outlines the design and implementation of a climate simulator. The goal of this project is to create a machine that can test products for SMEs, thereby reducing costs associated with importing machinery from abroad. The design process consists of two main parts: hardware framework design and control design. The hardware framework is developed and constructed by the Industrial team. It is made of stainless steel, which is bent and formed according to specific plans. Meanwhile, the Electronics team designs and tests the control part. This control system is developed using Python programming and implemented on a Raspberry Pi module. Both components underwent functional testing with satisfactory results. Finally, they were integrated for the last phase of testing. The results of the test of the use of the machine were found to be able to work according to the purpose of construction. The machine can simulate sunlight with a UV index of approximately 10. It can simulate rain with a water spray head that can control the amount. It is able to measure and display UV light index, temperature, and humidity measurement results while testing workpieces or products in real-time. The test results achieved the purpose of creating the machine.

Keywords: climate simulator, Raspberry-pi, ASTM G154, ISO 4892, SMEs

1. Introduction

Environmental durability testing is essential for industrial products exposed to harsh climates, such as automotive components, solar panels, and aerospace materials. Traditional field testing suffers from low repeatability and high costs [1], while commercial environmental chambers often lack multi-stress customization [2]. For instance, studies show that 60% of material failures in tropical climates stem from combined UV-rain-thermal stresses [3], yet most lab simulators address these factors separately.

Recent advances focus on modular designs (e.g., [4]'s UV-thermal chamber) and adaptive control systems (e.g., [5]'s fuzzy-PID hybrid). However, gaps persist in cost-effective, integrated

solutions for SMEs, particularly in achieving:

- ASTM G154/ISO 4892 compliance for accelerated UV testing [3],

- Sub-1℃ temperature stability during rapid cycles [4],

- Real-time corrosion monitoring under salt spray [1].

This research presents a low-cost, multi-stress climate simulator with:

1. A hardware framework enabling configurable stressor combinations,

2. A control system for stable environmental conditions

This climate simulator machine is designed for small and medium-sized enterprises (SMEs) and research and development labs that need high reproducibility at a lower cost. The rest of the paper details the hardware design (Section 2), control design (Section 3), experimental results (Section 4), and conclusions (Section 5).

2. Hardware Framework Design

The climate simulator is illustrated in Figures 1 and 2. It includes a test chamber, a UV lamp, a water spray nozzle, a ventilation fan, a control panel, a display panel, and a base with a cabinet for storing the equipment.

Under normal conditions, natural sunlight during broad daylight typically has a UV index value ranging from approximately 6 to 12. This value can vary based on factors such as time, location, and cloud cover. In terms of UV radiation intensity, UVA levels are generally around 30 to 50 W/m², while UVB levels range from about 0.5 to 4 W/m². UVC radiation is extremely rare in nature and is hardly ever found.

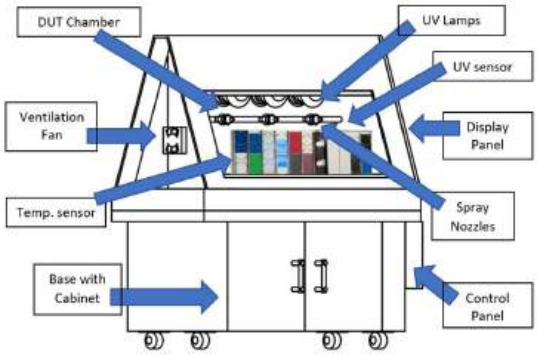


Figure 1 Climate simulator

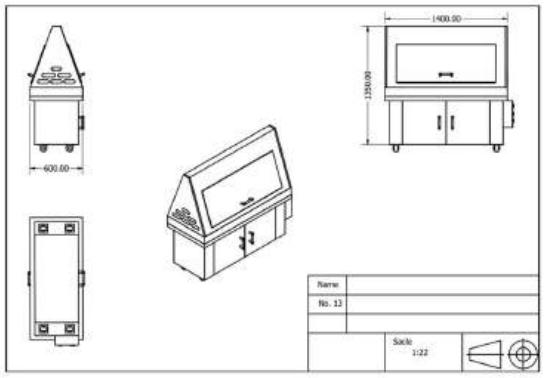


Figure 2 Climate simulator layout

In general, the UV index can be calculated from the following equation

$$UV\ Index = UV\ intensity\ (W/m^2) \times 40 \quad (1)$$

The UV index indicates the potential dangers associated with prolonged exposure to sunlight. In this research, a UV index value of 10 was selected to guide the design and specifications of the UVA lamps to be installed. This study does not address UVB because the intensity of UVB is significantly lower than that of UVA. However, if further research specifically examines the effects of UVB, UVB lamps may be added to the chamber unit.

The UV index is measured using a digital UV sensor. The calculation equation for this measurement is provided below.

$$UV\ index = \frac{measured\ voltage\ (V)}{sensor\ sentivity\ (V/UV\ index)} \quad (2)$$

The intensity of UV lamps is determined using equation (1). To achieve a UV index of 10, the intensity of the UV lamps needs to be 0.25 W/m², or 250 mW/m². In this study, we installed a UVA-340 lamp with a power rating of 40 watts. This lamp provides an approximate UV intensity of 1.55 W/m² at a frequency of 340 nanometers. Its power can be adjusted using a dimmer to reach the desired UV index. Additionally, the DUT chamber is equipped with water spray nozzles to simulate rainy conditions.

3. Control System Design

The schematic diagram of the control system, as illustrated in Figure 3, consists of the following components:

1. Raspberry Pi module
2. Display and input device (e.g., touch screen displays panel)
3. Relays and magnetic contractors
4. UV lamps
5. Mini water pump
6. Ventilation fan
7. UV sensor
8. Temperature and humidity sensors

The Raspberry Pi module serves as the central control system for the built-in climate simulator. It offers fast processing speeds and comprehensive input/output capabilities for reading sensors. Additionally, it can control several relays and magnetic contractors. It includes a graphics display. Most importantly, it is compact and affordable.

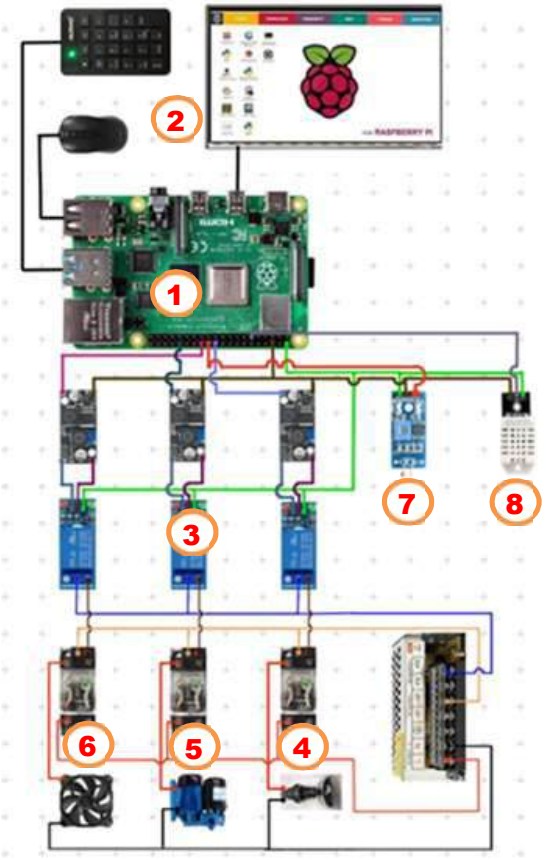


Figure 3 Schematic diagram of control system

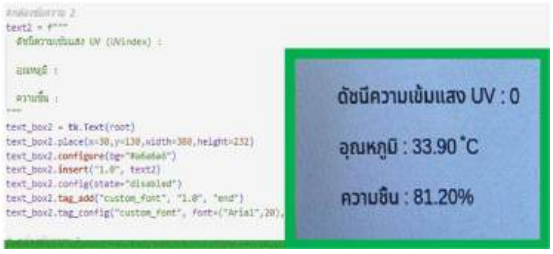


Figure 4 Example code for controlling a UV lamp and displaying the measurements

The climate simulator control program is developed in Python. An example program demonstrates how to turn on/off a UV lamp and

shows the UV index, temperature, and humidity measurements, as illustrated in Figure 4. Another example program for controlling a water pump is shown in Figure 5.

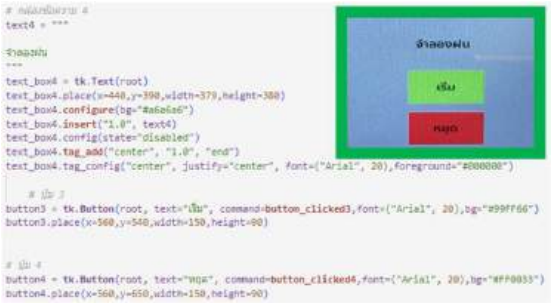


Figure 5 Example code for controlling a water pump

4. Experiment results

The completed prototype of the climate simulator is shown in Figure 6. The commissioning process for the simulator is illustrated in Figures 7 and 8. The experimental testing of the sunlight-only simulation is presented in Figure 7. In this mode, the control system activates the UV lamp and adjusts the dimmer to achieve a UV index of 10. Figure 8 shows the rain and sunlight test. In this mode, the control system is instructed to activate the pump to spray water instead of simulating raindrops, while also turning on the UV light.

It's important to note that, under natural conditions, the intensity of UV light during rain typically decreases. However, when testing the workpiece or product, the tester can adjust the intensity according to the specified testing standards. This machine allows for setting test times in each mode and includes a pause and emergency stop button if the operator wishes to modify or cancel the test.

Figure 6 Climate simulator prototype

Figure 7 Inside of the climate simulator prototype (Turn ON UV lamps)

Figure 8 Inside of the climate simulator prototype (Turn ON UV lamps and spray nozzles)

Table 1 Measured results

Time (m)	UV index	Sunny day		Rainy day	
		Temp.	Hum.	Temp.	Hum.
1	9.6	27.9	89.5%	27.0	88.4%
2	9.7	28.5	89.4%	27.6	88.3%
3	9.9	31.5	89.1%	29.4	87.5%
4	9.9	34.3	88.6%	30.1	85.9%
5	10.0	36.5	87.0%	31.2	84.9%
6	10.0	39.6	73.2%	31.0	82.6%
7	10.0	41.2	70.8%	32.7	80.2%
8	10.0	44.7	69.0%	33.1	89.7%
9	10.0	47.4	69.6%	33.0	82.4%
10	10.0	50.0	70.4%	32.8	88.0%

Table 1 provides an example of the UV index, temperature, and humidity measurements displayed on the screen of display panel, which is illustrated in Figure 6 (Right). For sunny day mode, the UV index is recorded when the control system activates the UV lamp, allowing it to operate for a specified duration. The target measurement for the UV index is designed to approach a value of 10. Meanwhile, as the temperature inside the chamber room increases due to the heat emitted by the UV light bulbs, the humidity in the room decreases, and vice versa.

In rainy day mode, the control system activates the water pump to spray water into the chamber room, resulting in a decrease in temperature. Conversely, this action helps stabilize the humidity levels. Additionally, turning on the ventilation fan contributes to the temperature and humidity changes in the chamber room.

5. Conclusions

This article proposed the design and implementation of a climate simulator. The goal of this project is to create a machine that can test products from for SMEs, thereby reducing costs associated with importing machinery from abroad. The hardware framework is made of stainless steel, which is bent and formed according to specific plans. This control system is developed using Python programming and implemented on a Raspberry Pi module. The experimental testing of prototype machine found to be able to work according to the purpose of construction. The machine can simulate sunlight with a UV index of approximately 10. It can simulate rain with a water spray head that can control the amount. It is able to measure and display UV light index, temperature, and humidity measurement results while testing workpieces or products in real-time.

6. Acknowledgments

The authors thank the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and All Instrument Solution Co.,Ltd., Thailand, for

equipment support and research funding. The authors also thank the anonymous reviewers for their valuable comments, which helped this research article successfully accomplished.

7. References

[1] M. Hoffmann et al., "Corrosion prediction in automotive coatings using accelerated weathering chambers," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, pp. 1–12, 2022.

[2] K. Tanaka and S. Rajoo, "Challenges in multi-axial environmental testing for aerospace materials," *Mater. Today Commun.*, vol. 31, p. 103451, 2022.

[3] ASTM G154-23, Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM Int., 2023.

[4] L. Wei et al., "A dual-zone solar simulator for PV panel degradation studies," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 12, no. 1, pp. 290–298, 2022.

[5] A. Fernandez and P. Kumar, "Hybrid PID-fuzzy control for environmental chambers," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 45672–45684, 2022.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนในการสร้างต้นแบบแผนผังโรงงานเพื่อสนับสนุนการขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง. 4) : กรณีศึกษา บริษัท สินธ์สุวรรณ น้ำดื่มไทย จำกัด

Application of Virtual Reality Technology for Factory Layout Prototyping to Support the Ror.Ngor. 4 Licensing Process: A Case Study of Sinsuwan Thai Drinking Water Co., Ltd.

สถิตเทพ สังข์ทอง[1*] สัณห์ รัฐวิบูลย์[2] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[3] และ ณัฐมน พิไลวงศ์[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Sathitthep Sangthong[1*] San Rathviboon[2] Chirawat naBadalung[3] and Nattamon Pilaiwong[1]

[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

[3] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: sathitthep.san@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการออกแบบผังโรงงานระหว่างวิธีการแบบดั้งเดิมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) เพื่อสนับสนุนการขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง. 4) ตามข้อกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยใช้กรณีศึกษาจากบริษัทสินธ์สุวรรณ น้ำดื่มไทย จำกัด กระบวนการดำเนินงานประกอบด้วยการเก็บข้อมูลพื้นที่จริงและกระบวนการผลิต การออกแบบผังโรงงานด้วย Microsoft Visio และ AutoCAD (วิธีดั้งเดิม) และการสร้างต้นแบบผังโรงงานแบบเสมือนจริงด้วยระบบ VR จากนั้นเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านเวลา ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ผลการวิจัยพบว่าเทคโนโลยี VR ช่วยเพิ่มความเร็ว ความถูกต้อง และความเข้าใจของผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อยื่นขอใบอนุญาต ร.ง. 4 ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกอบรมบุคลากรในภาคอุตสาหกรรมต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน, ผังโรงงาน, การวางผังโรงงานอุตสาหกรรม, ร.ง. 4, น้ำดื่ม

Abstract

This study aims to compare the effectiveness of traditional factory layout design methods with the application of Virtual Reality (VR) technology to support the application for a Factory Operation License (Ror.Ngor. 4) as regulated by the Department of Industrial Works, Ministry of Industry. A case study was conducted at Sinsuwan Thai Drinking Water Co., Ltd. The research involved collecting physical and production data, designing layouts using Microsoft Visio and AutoCAD (traditional methods), and developing a VR-based factory layout prototype. The outcomes were then compared based on speed, spatial accuracy, and communication effectiveness with stakeholders. The findings revealed that VR technology significantly improves design efficiency in terms of speed, accuracy, and user understanding—especially in the preparatory phase for licensing. Additionally, the VR prototype and research results offer practical applications as tools for knowledge transfer and workforce training in the industrial sector.

Keywords: Virtual Reality, Factory Layout, Plant Layout, Ror.Ngor. 4 License, Drinking Water

1. บทนำ

การออกแบบผังโรงงาน (Factory Layout Design) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิต ต้นทุนการดำเนินงาน ความปลอดภัยของพนักงาน รวมถึงความสามารถในการขยายหรือปรับเปลี่ยนสายการผลิตในอนาคต[1], [2] โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และการจัดวางเครื่องจักร เช่น อุตสาหกรรมน้ำดื่ม ซึ่งต้องควบคุมคุณภาพ สะอาด ปลอดภัย และมีการจัดวางพื้นที่ที่เหมาะสมกับการไหลของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีการออกแบบผังโรงงานแบบดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น การเขียนแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD หรือการร่างด้วยโปรแกรม Visio ยังมีข้อจำกัดในด้านการมองเห็นภาพรวม 3 มิติ การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการ และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งานจริงในการให้ข้อเสนอแนะ อันอาจนำไปสู่การวางผังที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ต้องปรับปรุงใหม่ภายหลัง ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนแฝงทั้งในด้านเวลา ค่าแรง และโอกาสทางธุรกิจในปัจจุบัน เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) ได้ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการวางแผน ออกแบบ และทดสอบระบบก่อนการใช้งานจริง[3], [4] ด้วยข้อดีที่สามารถสร้างภาพจำลองแบบสามมิติ (3D Visualization) และให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถเข้าไปโต้ตอบกับพื้นที่จำลองได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถปรับปรุงแบบแผนได้ก่อนการลงมือจริง ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาด เพิ่มความแม่นยำ[5], [6] และย่นระยะเวลาในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในกระบวนการทำงานเพื่อขอใบอนุญาติ รง.4 เลย จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการออกแบบผังโรงงานระหว่างวิธีการแบบดั้งเดิม กับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน โดยเลือกใช้โรงงานผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของบริษัท สินธ์สุวรรณ น้ำดื่มไทย จำกัด เป็นกรณีศึกษา เพื่อวิเคราะห์และประเมินศักยภาพของเทคโนโลยี VR ในการออกแบบผังโรงงานที่สอดคล้องกับบริบทการใช้งานจริง โดยเฉพาะในแง่ของความเร็ว ความแม่นยำ และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งานในกระบวนการออกแบบ ซึ่งอาจนำไปสู่แนวทางใหม่ในการวางแผนปรับปรุงโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้อิงอยู่บนพื้นฐานขององค์ความรู้และแนวคิดทางวิศวกรรมอุตสาหการ และเทคโนโลยีดิจิทัลที่

เกี่ยวข้องกับการออกแบบผังโรงงาน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ดังนี้

2.1 การออกแบบผังโรงงาน (Factory Layout Design)

การออกแบบผังโรงงานหมายถึง การจัดวางเครื่องมือเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์ วัตถุดิบ รวมถึงพื้นที่การทำงานต่าง ๆ ภายในโรงงาน ให้สอดคล้องกับลำดับกระบวนการผลิต โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพ ความสะดวก ความปลอดภัย และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่ที่มีอยู่ เพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูงสุด ประเภทของการวางผังโรงงาน [1], [7]

1) ผังตามกระบวนการผลิต (Process Layout) การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกันไว้ด้วยกัน เหมาะกับการผลิตแบบยืดหยุ่น เช่น การผลิตตามใบสั่งที่มีจำนวนไม่แน่นอน

2) ผังตามลักษณะผลิตภัณฑ์ (Product Layout) การจัดเครื่องจักรตามลำดับขั้นตอนการผลิตสินค้าแบบเดียวต่อเนื่อง เหมาะกับการผลิตจำนวนมาก เช่น เครื่องสำอาง ชิ้นส่วนรถยนต์

3) ผังแบบอยู่กับที่ (Fixed-Position Layout) เหมาะกับการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น เรือ เครื่องบิน รถถัง โดยนำอุปกรณ์ไปยังสถานที่ทำงานแทน

4) ผังแบบผสม (Combination Layout) การผสมผสานข้อดีของผังแต่ละแบบเข้าด้วยกัน เช่น การจัดแบบเซลล์การผลิต หรือกลุ่มงานที่ผลิตชิ้นส่วนเฉพาะบางประเภท ลักษณะของผังโรงงานที่ดีใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พื้นที่โดยเปล่าประโยชน์ และใช้ทุกพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1) มีความยืดหยุ่น (Flexibility) สามารถปรับเปลี่ยนหรือขยายได้ในอนาคตโดยไม่กระทบกระบวนการหลัก

2) เข้าถึงง่าย (Accessibility) สามารถเคลื่อนย้ายซ่อมบำรุง และปฏิบัติงานได้สะดวกและปลอดภัย

3) ประหยัดในการเคลื่อนย้าย (Material Handling) ลดระยะทางการขนย้ายวัสดุ แรงงาน และเครื่องจักร เพื่อประหยัดเวลาและต้นทุน ลดการเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น ผังที่ดีควรจัดให้กระบวนการต่อเนื่องและไม่วกวน ลดเวลาและแรงงาน เอื้อต่อสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดี มีแสงสว่าง การระบายอากาศ และลดมลภาวะที่ส่งผลต่อสุขภาพพนักงานมีมาตรการป้องกันความชื้น ไฟ และการเสื่อมสภาพ

4) สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐาน ต้องเป็นไปตาม พ.ร.บ.โรงงาน มาตรฐานความปลอดภัย และสุขอนามัยแรงงาน

2.2 เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR)

เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่มีบทบาทในการยกระดับประสิทธิภาพของภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในด้านการออกแบบโรงงาน การฝึกอบรมบุคลากร [8], [9]และการจำลองกระบวนการผลิต VR ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบกับสภาพแวดล้อมจำลองแบบเรียลไทม์ เข้าถึงข้อมูลเชิงพื้นที่และเข้าใจภาพรวมของระบบงานได้อย่างสมจริง ส่งผลให้สามารถลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในโลกความเป็นจริง เพิ่มความเข้าใจร่วมกันของทีมงาน และลดต้นทุนในการดำเนินงาน โลกกำลังก้าวเข้าสู่จักรวาลนฤมิต หรือภาษาอังกฤษคือ Metaverse ซึ่งคือคือพื้นที่เสมือนจริงที่เกิดจากการผสานเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อสร้างประสบการณ์ใหม่ที่เชื่อมโยงระหว่างโลกดิจิทัลและโลกจริง ซึ่งในอนาคตเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงมีอิทธิพลต่อภาคธุรกิจอย่างหลากหลาย ทั้งธุรกิจสื่อ ความบันเทิง การทำงาน การศึกษา การค้า การลงทุน และอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว การทำความรู้จัก Metaverse ในหลากมิติหลายมุมมอง ถึงความสำคัญ ความเป็นไปได้ และโอกาสที่มาพร้อมกับโลกเสมือนจริงครั้งนี้ ที่มาของคำว่า “Metaverse” เป็นการนำคำว่า Meta รวมกับ Verse ได้ความหมายว่าเป็น “จักรวาลนฤมิต”เทคโนโลยีนี้จึงเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญที่ช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมก้าวสู่การทำงานในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งในตัวอย่างการประยุกต์ใช้ที่เห็นได้ชัด คือ การนำ VR มาใช้ในการสร้างต้นแบบแผนผังโรงงาน ซึ่งสามารถจำลองการจัดวางเครื่องจักร ระบบสาธารณูปโภค และทางเดินวัสดุได้ในรูปแบบสามมิติ ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเห็นภาพรวมได้ชัดเจนก่อนการก่อสร้างจริง รวมถึงสามารถสื่อสารและปรับแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการเตรียมเอกสารเพื่อยื่นขอ

ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง. 4) VR ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดระยะเวลา และส่งเสริมการดำเนินงานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของภาครัฐ อีกทั้งยังสามารถต่อยอดไปสู่การฝึกอบรมและพัฒนาศักยภาพของบุคลากรในอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

รูปที่ 1 แว่นตา VR (Oculus quest 2)

รูปที่ 2 อุปกรณ์ถ่ายภาพ 360 องศา (Matterport)

2.3 ทฤษฎีด้านการวัดและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ (Performance Measurement)

งานวิจัยนี้อ้างอิงแนวคิดในการวัดประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธี โดยพิจารณาเกณฑ์หลัก ได้แก่: เวลาในการออกแบบ (Design Time) ความแม่นยำในการจัดวางพื้นที่ (Layout Accuracy) ความเข้าใจและการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง (Stakeholder Communication) ความสามารถในการใช้งานจริง (Usability in Implementation)

3. ผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) ในการสร้างต้นแบบแผนผังโรงงาน เพื่อสนับสนุนการจัดเตรียมเอกสารในการยื่นขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง. 4)[10] โดยใช้กรณีศึกษาจากโรงงานผลิตน้ำดื่ม การเก็บข้อมูลภาคสนามเริ่มจากการถ่ายภาพพื้นที่จริงภายในโรงงานด้วยกล้อง Matterport ซึ่งสามารถบันทึกภาพในมุมมอง 360 องศา พร้อมทั้งแปลงภาพเป็นแบบจำลอง 3 มิติได้อย่างแม่นยำ วิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการสำรวจและเก็บรายละเอียดด้วยวิธีดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และยังเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบแผนผังโรงงานดิจิทัลได้ดียิ่งขึ้น ข้อมูลภาพ 3 มิตินี้สามารถนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ VR เพื่อใช้จำลองการจัดวางพื้นที่ เครื่องจักร ระบบสาธารณูปโภค และทางเดินวัสดุ ซึ่งส่งผลให้งานวิจัยมีแนวโน้มในการพัฒนาต่อยอดไปสู่การวางแผนและการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมที่แม่นยำและทันสมัยมากยิ่งขึ้น [11]

การศึกษานี้ออกแบบการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (VR Implementation: VI) และกลุ่มที่ใช้วิธีการออกแบบแบบดั้งเดิม (Traditional Implementation: TI) ซึ่งนักศึกษาทั้งสองกลุ่มเป็นนักศึกษาที่ได้เรียนวิชาการออกแบบโรงงานอุตสาหกรรมเป็นที่เรียบร้อย และมีพื้นฐานเพียงพอในการดำเนินงาน โดยผลลัพธ์จากการทำวิจัยจะนำไปเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการจัดทำต้นแบบแผนผังโรงงานผลิตน้ำดื่มสำหรับการยื่นขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4) โดยมีลำดับการดำเนินงานดังนี้:

1.ศึกษาข้อกำหนดทางกฎหมาย เริ่มต้นด้วยการศึกษาระเบียบและข้อกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการยื่นขอใบอนุญาต ร.ง.4 โดยเน้นรายละเอียดของแผนผังโรงงานที่ต้องจัดเตรียม

2.สำรวจพื้นที่ แบ่งกลุ่มทดลอง ลงพื้นที่โรงงานเพื่อเก็บข้อมูลกายภาพ และแบ่งนักศึกษาที่จะออกแบบผังโรงงานออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม TI แบบดั้งเดิมที่ใช้ Visio และ AutoCAD กับกลุ่ม VI แบบใหม่ที่ใช้เทคโนโลยี VR และกล้อง Matterport

3.เก็บข้อมูลด้วยกล้อง 360 องศา และเตรียมความพร้อมเชิงเทคนิค กลุ่ม VI ใช้กล้อง Matterport เพื่อถ่ายภาพพื้นที่จริง พร้อมศึกษาเครื่องมือและซอฟต์แวร์ VR

4.สร้างแบบจำลองผังโรงงานเบื้องต้น กลุ่ม TI ออกแบบผังโรงงานด้วยซอฟต์แวร์แบบเดิมโดยอิงจากข้อมูลที่เก็บด้วยตนเอง ดังแสดงในรูปที่ 4 ขณะที่กลุ่ม VI ใช้ภาพจาก Matterport แปลงเป็นโมเดล 3 มิติสำหรับการจำลองพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

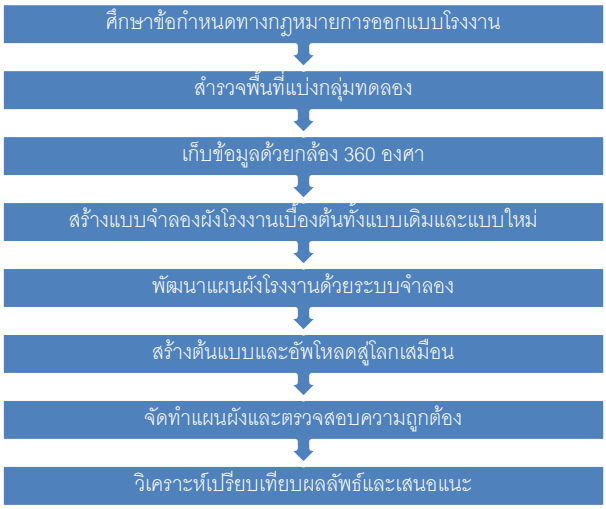
5.พัฒนาแผนผังโรงงานด้วยระบบจำลอง กลุ่ม VI นำโมเดลเข้าสู่ซอฟต์แวร์ VR เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ขณะที่กลุ่ม TI ปรับแบบแปลนตามข้อมูลและความเห็นจากกลุ่มปฏิบัติงาน

6.สร้างต้นแบบและอัพโหลดสู่ Metaverse กลุ่ม VI พัฒนาต้นแบบโรงงานใน VR และนำเสนอผ่านแพลตฟอร์ม Metaverse โดยมีการประเมินเบื้องต้นร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อปรับปรุงผังตามความเหมาะสม

7.จัดทำแผนผังและตรวจสอบความถูกต้อง ทั้งสองกลุ่มจัดทำผังโรงงานขั้นสุดท้ายในรูปแบบที่สอดคล้องกับข้อกำหนด ร.ง.4 พร้อมการตรวจสอบmetaverseโดยทีมวิจัยเพื่อประเมินความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูล

8.วิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์และเสนอแนะ

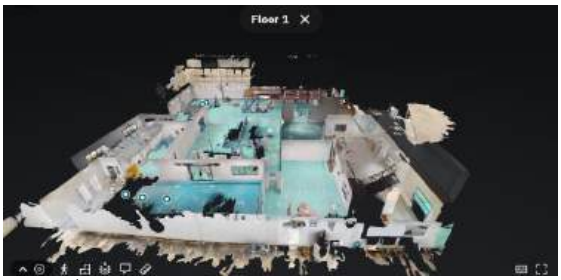
ลำดับขั้นการทำวิจัยทั้ง 8 ข้อดังแสดงในรูปที่ 3



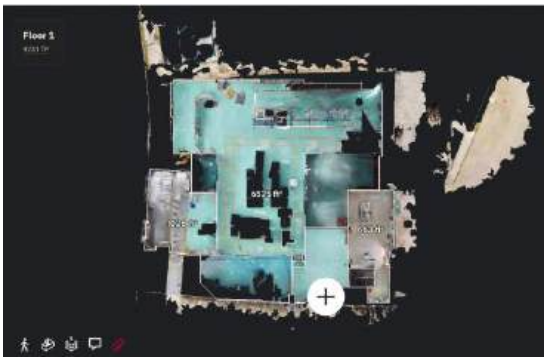
รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำวิจัย

แนวทางพัฒนาวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองกลุ่มในมิติของความแม่นยำ เวลาในการดำเนินงาน การสื่อสารเชิงพื้นที่ และความพร้อมใช้งาน พร้อมสังเคราะห์ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ VR เพื่อพัฒนาหลักสูตรและถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ภาคอุตสาหกรรม

รูปที่ 4 ผังแผนผังโรงงาน จากกลุ่ม TI (Microsoft Visio)



รูปที่ 5 ผังแผนผังโรงงาน จากกลุ่ม VI (Mattaport)



รูปที่ 6 ผังแผนผังโรงงานมุมมอง Top View

จากการทดลองภาคสนามของงานวิจัย ได้ซึ่งแบ่งผู้เข้าร่วมออกเป็น 2 กลุ่ม—กลุ่ม TI และ VI ให้ทำภารกิจเดียวกัน คือ สำรวจพื้นที่ ทำแบบเบื้องต้น และปรับปรุงแก้ไข พร้อมบันทึกเวลาที่ใช้ ความถูกต้องของข้อมูลพื้นที่ และจำนวนบุคลากรที่ต้องใช้ ซึ่งผลลัพธ์ของทั้งสองกลุ่มจึงถูกรวบรวมและสรุปไว้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 1

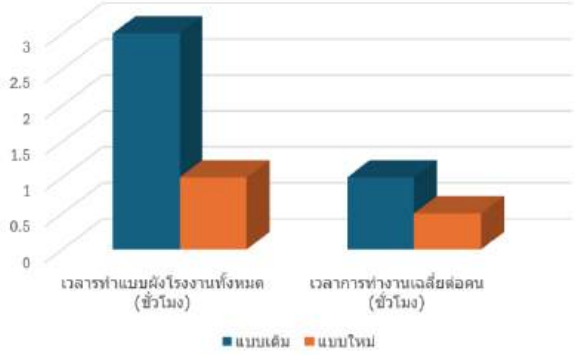
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของ 2 กลุ่มวิจัย“การสร้างผังพื้นที่ เพื่อเตรียมการออกแบบผังโรงงาน”

หัวข้อ	TI	VI
สำรวจพื้นที่โรงงาน	16 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
ทำแบบโรงงานเบื้องต้น	4 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
การปรับแก้ไข	ทำได้	ทำไม่ได้
ความถูกต้อง (พื้นที่)	90 %	99 %
จำนวนทีมงาน	3	2

รูปที่ 6 แสดงการใช้งานผังโรงงานผ่าน VR

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของ 2 กลุ่มวิจัย“การการออกแบบผังโรงงาน”

หัวข้อ	TI	VI
การทำแบบผังโรงงาน	3 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง
การปรับแก้แบบเรียลไทม์	ทำไม่ได้	ทำได้
ความถูกต้อง (พื้นที่)	90 %	99 %
ความสะดวกในการแก้ไข	5/10	9/10
ต้นทุน	50,000	50,000
การเชื่อมกับ Metaverse	ทำไม่ได้	ทำได้
จำนวนทีมงาน	3	2



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการดำเนินทำผังโรงงานทั้งหมด และเวลาเฉลี่ยต่อคนในการทำงาน

จากข้อมูลข้างต้น แสดงว่า กลุ่ม VI แสดงดำเนินงานในการออกแบบผังโรงงานได้เร็วกว่า แม่นยำกว่า และแก้ไขได้สะดวกกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่เพิ่มต้นทุน เมื่อเทียบกับกลุ่ม TI ทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม Metaverse ได้สำเร็จ ซึ่งสนับสนุนการนำเทคโนโลยีเสมือนมาใช้ในขั้นตอนออกแบบผังโรงงานอย่างมีประสิทธิผล

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้วิธีการออกแบบผังโรงงานแบบดั้งเดิม (Traditional Implementation: TI) และกลุ่มที่ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality Implementation: VI) พบว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี VR ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านเวลา ความแม่นยำ และการสื่อสารเชิงพื้นที่ กลุ่ม VI ซึ่งใช้กล้อง Matterport สำหรับการถ่ายภาพ 360 องศา ร่วมกับซอฟต์แวร์ VR สามารถแปลงภาพเป็นแบบจำลองสามมิติที่โต้ตอบได้ และนำเข้าสู่ระบบจำลองเพื่อวิเคราะห์พื้นที่จัดวางเครื่องจักร ระบบสาธารณูปโภค และทางเดินวัสดุได้อย่างครบถ้วน โดยใช้เวลาน้อยกว่าวิธีดั้งเดิมอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที 8 และ รูปที่ 9

รูปที่ 8 แสดงการตรวจสอบใช้งานผังโรงงานผ่าน VR

รูปที่ 9 แสดงการตรวจสอบผังโรงงานผ่าน VR

นอกจากนี้ กลุ่ม VI ยังสามารถพัฒนาต้นแบบโรงงานในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและเผยแพร่ผ่านแพลตฟอร์ม Metaverse ทำให้สามารถประเมินความเหมาะสมและรับ

ความคิดเห็นจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้ก่อนการนำไปใช้จริง ซึ่งเป็นการลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการวางแผนที่ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของใบอนุญาต ร.ง.4 ในขณะที่กลุ่ม TI ที่ใช้ซอฟต์แวร์ Visio และ AutoCAD ต้องใช้เวลาในการวัดพื้นที่จริงและปรับแก้แบบมากกว่า และมีข้อจำกัดในการสื่อสารเชิงภาพกับผู้ที่ไม่ได้มีพื้นฐานด้านการออกแบบ การอภิปรายผลนี้ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยี VR ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเทคนิคเท่านั้น แต่ยังสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเครื่องมือการเรียนการสอน การนำเสนอแบบ Interactive ผ่านแพลตฟอร์มได้หลากหลาย การฝึกอบรม และการถ่ายทอดองค์ความรู้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีศักยภาพในอนาคต

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนในการสร้างต้นแบบแผนผังโรงงานมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

5.1 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับภาคอุตสาหกรรม ควรส่งเสริมการนำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (VR) และการบูรณาการกับฐานข้อมูลทางวิศวกรรม เช่น BIM และ CAD/CAM มาใช้ร่วมกับการจัดเตรียมเอกสารด้านวิศวกรรมเพื่อการยื่นขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4) อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในโรงงานที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างหรือมีแผนปรับปรุงผังการผลิต เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดเวลา และรองรับการตรวจสอบจากหน่วยงานภาครัฐได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับภาคการศึกษา ควรส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี VR และกล้อง Matterport ในการเรียนการสอนด้านการออกแบบผังโรงงาน เพื่อยกระดับทักษะของนักศึกษาและบุคลากรให้สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมยุค 4.0 พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งานเทคโนโลยี VR ที่เหมาะสมและเข้าถึงได้สำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่นพื้นที่ในการเก็บข้อมูลแบบระบบ Could และบุคลากรทางเทคนิค

5.2 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการออกแบบผังโรงงานระหว่างวิธีการแบบดั้งเดิมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) โดยมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนกระบวนการยื่นขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4) ตามข้อกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผ่านกรณีศึกษาบริษัท สินธ์สุวรรณ น้ำดื่มไทย จำกัด การดำเนินงานแบ่งกลุ่มนักศึกษาที่ผ่านการเรียนด้านการออกแบบโรงงานออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม Traditional Implementation (TI) และกลุ่ม VR Implementation (VI) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบแผนผังโรงงานในมิติของเวลา ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการสื่อสาร

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่ม VI ที่ใช้กล้อง Matterport ในการเก็บภาพพื้นที่โรงงานแบบ 360 องศา และนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ VR สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่แม่นยำ มีความเร็วในการดำเนินงานสูงกว่า และสามารถสื่อสารแผนผังให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้าใจได้ชัดเจนกว่ากลุ่ม TI อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ กลุ่ม VI ยังสามารถอัปโหลดต้นแบบโรงงานสู่แพลตฟอร์ม Metaverse เพื่อใช้ในการนำเสนอและปรับปรุงแบบได้แบบโต้ตอบ ซึ่งช่วยย่นระยะเวลาและลดข้อผิดพลาดในการจัดเตรียมเอกสารที่จำเป็นสำหรับการขอใบอนุญาต ร.ง.4

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ ได้แก่ นางสาวปัทมา เขียนประชา นางสาวมินลดา ยอดศรีทอง และ นายจิรภัทร์ สัมภวะผล ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ดำเนินการทดลอง และจัดทำโครงงานปริญญานิพนธ์อย่างมีความมุ่งมั่น รับผิดชอบ ความตั้งใจและความทุ่มเทของนักศึกษาทั้งสามมีส่วนสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จของโครงการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, and J. M. A. Tanchoco, *Facilities Planning*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2010.

[2] A. Drira, H. Pierreval, and S. Hajri-Gabouj, "Facility layout problems: A survey," *Annu Rev Control*, vol. 31, no. 2, pp. 255–267, 2007.

[3] L. Gong, J. Berglund, Å. Fast-Berglund, B. Johansson, Z. Wang, and T. Börjesson, "Development of virtual reality support to factory layout planning," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 13, no. 3, pp. 935–945, Sep. 2019

[4] H. P. Balzerkiewitz and C. Stechert, "THE EVOLUTION of VIRTUAL REALITY towards the USAGE in EARLY DESIGN PHASES," in *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, Cambridge University Press, 2020, pp. 91–100.

[5] H. S. Chandu, "Machine Learning Approaches to Optimising Factory Layouts for Enhanced Operational Efficiency," in *2024 2nd International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology, ICAICCIT 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 542–547.

[6] M. Lorenz, M. Spranger, T. Riedel, F. Pürzel, V. Wittstock, and P. Klimant, "CAD to VR – A Methodology for the Automated Conversion of Kinematic CAD Models to Virtual Reality," *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 358–363, Jan. 2016.

[7] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management*, 13th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2020.

[8] Q. Li *et al.*, "Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework," *Comput Ind*, vol. 101, pp. 91–106, Oct. 2018.

[9] R. H. Stelzer, "Virtual reality based engineering collaboration as part of the product lifecycle management," in *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2010, pp. 1327–1334.

[10] "แบบฟอร์มการอนุญาตโรงงาน – กรมโรงงานอุตสาหกรรม | Department of Industrial Works." https://www.diw.go.th/webdiw/form-allow-fac/

[11] S. Sangthong, P. Woraphu, and K. Arayikanon, "Improve inspection process in tire manufacturing by usingcomputer simulation," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Aug. 2018.

การศึกษาและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

A Study and Development of Agricultural Waste Shredder Using Two Blade Machining Techniques

ศราวุธ จันทร์กลาง[1*] ประจักร จัตกุล[1] ชินกฤต แปรชน[1] ฐตวัฒน์ มาศงูเหลือม[1] และ เมธาสิทธิ์ เนินริมหนอง[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Sarawut Junklang[1*] Prajak Jattakul[1] Chinnakrit Paenchon[1] Tatawat Masngoluerm[1]
and Methasit Noenrimnong[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus
E-mail: Sarawut.Junklang@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด ได้รับการออกแบบให้มีขนาดกว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และสูง 121 เซนติเมตร ใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาด 7.5 แรงม้าเป็นต้นกำลังส่งผ่านกำลังด้วยสายพาน B 68 และพู่เลย์ (ตัวขับ 4 นิ้ว ตัวตาม 6 นิ้ว) เพื่อขับเคลื่อนแกนเพลาของชุดใบมีด โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ 3 ระดับ ได้แก่ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ชุดใบมีดประกอบด้วยใบมีดไม่อิสระ ซึ่งติดตั้งถาวรกับเพลา และใบมีดอิสระที่สามารถถอดออกได้ และ มีตะแกรงคัดขนาดเศษวัสดุ 3 ขนาด ได้แก่ 10 12 และ 14 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักของเครื่องใช้เหล็กฉากและเหล็กแผ่นเป็นฐานรองเครื่อง การทดสอบประสิทธิภาพดำเนินการโดยใช้กิ่งไม้ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ทุเรียน ไม้มังคุด และไม้เงาะ ทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที รวม 162 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มความเร็วรอบส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ของไม้ทุเรียน ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ ร้อยละ 54.19 และใบมีดไม่อิสระรวมกับอิสระมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ ร้อยละ 83.83 ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ของไม้เงาะ ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 54.71 และใบมีดไม่อิสระ รวมกับอิสระมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 74.76 ในขณะที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ของไม้มังคุด ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 66.60 และใบมีดไม่อิสระ รวมกับอิสระมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 95.39 ดังนั้น เครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด ที่ใช้ใบมีดไม่อิสระรวมกับอิสระที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ให้ประสิทธิภาพการย่อยสูงสุดในการทดสอบครั้งนี้

คำหลัก: เครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด / ไม้ทุเรียน, ไม้เงาะ, ไม้มังคุด / ประสิทธิภาพ

Abstract

A study and development of agricultural waste shredder using two blade machining techniques. was designed with dimensions of 45 cm in width, 70 cm in length, and 121 cm in height. Powered by a 7.5-horsepower gasoline engine, it transmits power through a B 68 belt and pulleys (4-inch drive pulley and 6-inch driven pulley) to rotate the blade shaft. The machine operates at three adjustable speeds: 1,400, 1,600, and 1,800 revolutions per minute (RPM). The blade system consists of fixed blades, which are permanently attached to the shaft, and detachable free blades, installed at a 45-degree angle. Both types of blades are made from S50C steel. The machine operates with a clockwise rotation mechanism and includes sieves for material classification in three sizes: 10 12 and 14 millimeters. The results showed that increasing the RPM improved the shredding efficiency. At 1,800 RPM, for durian wood, the fixed blade achieved a maximum efficiency of 54.19%, and the fixed blade combined with the free blade reached 83.83%. At 1,800 RPM, for rambutan wood, the maximum efficiencies were 54.71% and 74.76%. At 1,800 RPM, for mangosteen wood, the maximum efficiencies were 66.60% and 95.39%. Therefore, the dual-blade agricultural waste shredder, operating at 1,800 RPM with the fixed and free blades, provided the highest shredding efficiency in this study.

Keywords: Development of agricultural waste shredder using two blade machining techniques / rambutan wood, durian wood, mangosteen wood / Efficiency.

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำเกษตรกรรมสวนผลไม้ตามฤดูกาลในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่อุดมสมบูรณ์ ส่งผลให้ต้องมีการดูแลรักษาต้นไม้ เช่น การตัดแต่งกิ่ง ซึ่งทำให้เกิดเศษวัสดุและกิ่งไม้ขนาดเล็กที่มักไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ วิธีการจัดการที่ใช้กันทั่วไปคือการเผาทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศ หรือหากปล่อยให้ย่อยสลายเองก็อาจใช้เวลานานและก่อให้เกิดอันตรายต่อการทำงานในสวน ดังนั้น การนำกิ่งไม้เข้าสู่กระบวนการย่อยโดยใช้เครื่องย่อยกิ่งไม้จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดปริมาณของเสียและนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น ทำปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงดิน ใช้คลุมหน้าดินเพื่อรักษาความชื้น และนำไปเพาะปลูกพืชอื่น ๆ ต่อไปได้ [1]

จังหวัดจันทบุรีเป็นเกษตรกรรมเกี่ยวกับสวนผลไม้ตามฤดูกาลในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งการผลิตผลไม้จะต้องมีการดูแลรักษาตัดแต่งกิ่งและเศษวัสดุธรรมชาติ และ กิ่งไม้ที่ตัดมาแล้วมักมีขนาดเล็กไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนำกิ่งไม้มาเผาอาจก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ หรือถ้าปล่อยให้กิ่งไม้ย่อยสลายเองจะใช้เวลานานพอสมควรและอาจทำให้ขีดกวางการทำงานก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นการนำกิ่งไม้มาเข้ากระบวนการย่อยสลายโดยใช้เครื่องย่อยกิ่งไม้ กิ่งไม้เหล่านี้ก็สามารถนำมาทำประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น ทำปุ๋ยเพื่อการเกษตร หรือนำไปคลุมเคล้าหน้าดินให้ต้นไม้หรือไว้เพาะปลูกอื่น ๆต่อไปได้ ดังนั้นคณะผู้จัดทำวิจัยจึงเล็งความสำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการศึกษาจากงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องย่อยชนิดต่าง ๆ [3-6] ที่มีแล้วนำมาออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด และเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด ได้แก่ กิ่งไม้ทุเรียน[2] กิ่งไม้มังคุด[7] และกิ่งไม้เงาะ[8] กิ่งไม้ที่นำมาทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 40 มิลลิเมตร ความยาว 60 ถึง 100 เซนติเมตร

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษากำหนดขั้นตอนการดำเนินการและปฏิบัติตามขั้นตอนเพื่อสร้างเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1) การดำเนินวิจัยผู้วิจัยได้กำหนดเครื่องมือในการวิจัยดังนี้

การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุดการออกแบบเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 การหาประสิทธิภาพเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพในเรื่องของ ความเร็วในการทดสอบของใบมีด ประสิทธิภาพในการทำงาน โดยเการใช้ใบมีดย่อยกิ่งไม้ 2 ลักษณะ กับไม้ 3 ชนิด และตะแกรง 3 ขนาด เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

2.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

1) ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการสร้างเครื่องย่อยพร้อมสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2) ศึกษาข้อมูลข้อมูลแบบโครงสร้างเครื่องย่อยเขียนแบบเพื่อดำเนินงานวิจัยและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องย่อย

3) สร้างชุดกลไกลใบมีดเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด และ สร้างกลไกใบมีด ดังรูปที่ 1(A)

4) สร้างตัวถังฝาครอบของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

5) สร้างชุดโครงเข็นของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด ดังรูปที่ 1(B)

6) เก็บตกแต่งเก็บรายละเอียดของตัวโครงให้เรียบร้อยก่อนพ่นสี

7) สร้างแผ่นตะแกรง กรองเศษไม้ของเครื่องย่อยเศษวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุดดังรูปที่ 1(C)

8) สร้างการ์ดป้องกันของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

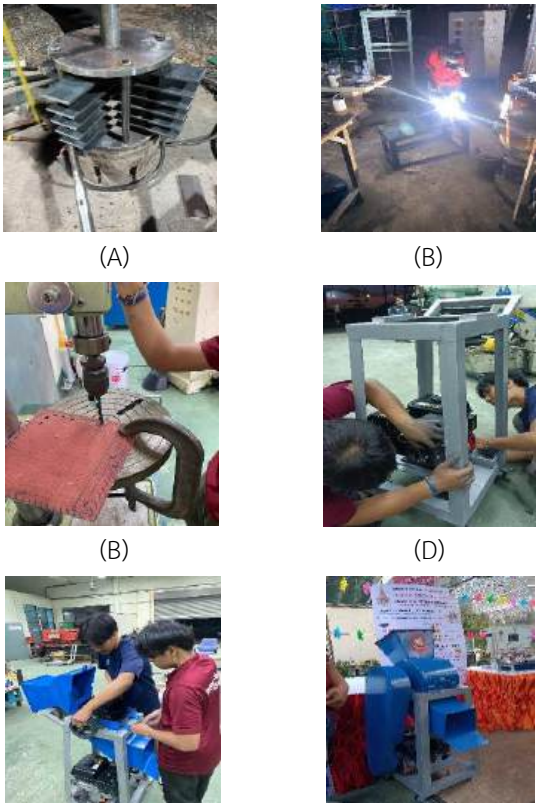
9) ทำการพ่นสี ชุดใบมีด โครงเข็น ตัวถัง ของเครื่องย่อยเศษวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

10) ต่อชุดกลไกลใบมีดของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2ชุด แบบ Fix และ อิสระเข้าด้วยกัน

11) ทำการประกอบเครื่องยนต์เข้ากับโครงเครื่องของเครื่องย่อยเศษวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุดดังรูปที่ 1(D)

12) ทำการประกอบฝาครอบและชุดกลไกลเข้ากับโครงเครื่องของเครื่องย่อยเศษวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด ดังรูปที่ 1(E)

13) ได้เครื่องย่อยเศษวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2ชุดที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 1(F)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) เลือกกิ่งไม้ที่จะใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 2(A)

2) วัดขนาดความยาวของกิ่งไม้เพื่อเตรียมในการทดลอง ดังรูปที่ 2(B)

3) แยกกิ่งไม้แต่ละชนิดให้เรียบร้อยก่อนทำการทดลอง

4) ใส่ตะแกรงตามขนาดที่กำหนดเพื่อเตรียมทำการทดลอง ดังรูปที่ 2(C)

5) เก็บผลการทดลองย่อยเศษกิ่งไม้ ดังรูปที่ 2(D)

6) จับเวลาขณะทำการย่อยเศษกิ่งไม้เพื่อหาประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2(E)

7) จดบันทึกเวลาในการย่อย ดังรูปที่ 2(F)

(A) (B) (C) (D) (E) (F)

รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

3. ผลการวิจัย

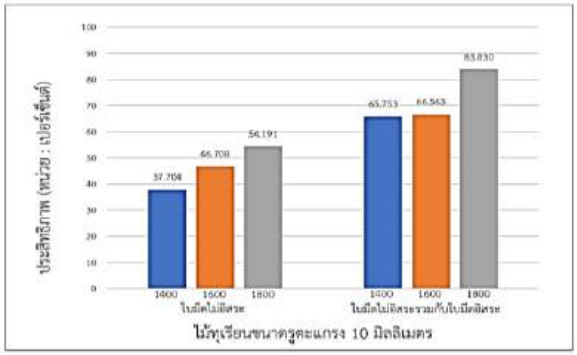
การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองศึกษาวิจัย การศึกษาและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรแบบใบมีด 2 ชุด เพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของการทำงาน คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบหาปัจจัยที่ดีที่สุด โดยการกำหนดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างกัน ชนิดของไม้ 3 ชนิด และใบมีด 2 ลักษณะ ในการทำงานและทำการทดลองทั้งหมด 3 ความเร็วรอบ แต่ละความเร็วรอบในการย่อยทดลอง 3 ครั้ง โดยการทดลอง 1 ครั้ง ใช้รูตะแกรง 3 ขนาด ได้แก่ 10 12 และ 14 มิลลิเมตร ใช้เครื่องย่อยโดยกำหนดความเร็วรอบ 3 แบบ ได้แก่ 1,400 1,600 และ 1,800 RPM

โดยการทดสอบครั้งนี้ได้มีการทดลองย่อยทั้งหมด 3 ความเร็วใช้รูตะแกรง 3 ขนาด ในการย่อยซึ่งได้ผลทดสอบดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้ทุเรียน ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ทุเรียน					
ขนาดรูตะแกรง	10 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.213	0.238	0.263	0.368	0.276	0.271
2	0.209	0.231	0.257	0.360	0.269	0.276
3	0.210	0.235	0.259	0.361	0.270	0.273
Std.	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002
เฉลี่ย	0.210	0.234	0.259	0.363	0.270	0.273
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.093	0.082	0.071	0.079	0.061	0.024
2	0.098	0.087	0.075	0.074	0.057	0.027
3	0.096	0.088	0.081	0.072	0.052	0.022
Std.	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004	0.002
เฉลี่ย	0.095	0.085	0.075	0.075	0.056	0.024
ประสิทธิภาพ (%)	37.704	46.708	54.191	65.753	66.563	83.83

ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 37.704 ร้อยละ 46.708 และร้อยละ 54.191 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 65.753 ร้อยละ 66.563และ ร้อยละ 83.830 ดังรูปที่ 3

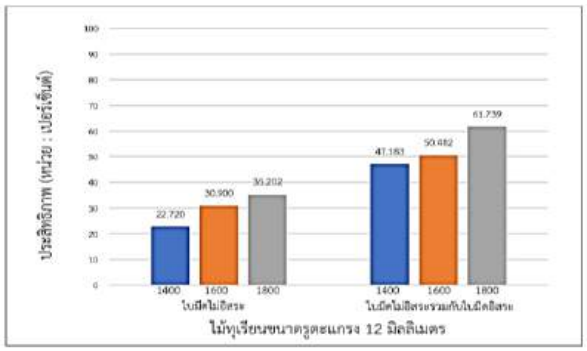


รูปที่ 3 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้ทุเรียน ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 12 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ทุเรียน					
ขนาดรูตะแกรง	12 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที / ครั้งที่	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.166	0.178	0.224	0.205	0.229	0.273
2	0.161	0.172	0.213	0.210	0.233	0.279
3	0.159	0.185	0.216	0.214	0.240	0.285
Std.	0.003	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005
เฉลี่ย	0.162	0.176	0.218	0.210	0.234	0.279
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.103	0.095	0.101	0.075	0.075	0.061
2	0.097	0.089	0.107	0.071	0.080	0.067
3	0.106	0.097	0.104	0.080	0.077	0.071
Std.	0.004	0.003	0.002	0.004	0.002	0.004
เฉลี่ย	0.102	0.094	0.104	0.075	0.077	0.066
ประสิทธิภาพ (%)	22.72	30.90	35.202	47.183	50.482	61.739

ผลการทดสอบได้ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 22.72 ร้อยละ 30.90 และร้อยละ 35.202 และผลการทดสอบได้ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 47.183 ร้อยละ 50.482 และ ร้อยละ 61.739 ดังรูปที่ 4

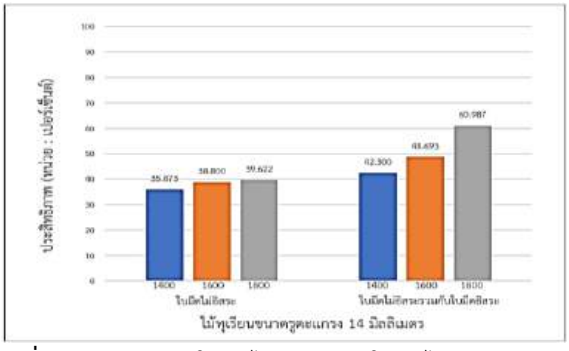


รูปที่ 4 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้ทุเรียน ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 14 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ทุเรียน					
ขนาดรูตะแกรง	14 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที / ครั้งที่	ใบมีดอิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.218	0.225	0.257	0.380	0.308	0.321
2	0.211	0.222	0.260	0.385	0.313	0.325
3	0.213	0.230	0.261	0.378	0.320	0.332
Std.	0.003	0.003	0.002	0.003	0.005	0.005
เฉลี่ย	0.214	0.226	0.259	0.381	0.314	0.326
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.097	0.095	0.110	0.161	0.111	0.079
2	0.101	0.097	0.116	0.155	0.108	0.075
3	0.107	0.105	0.112	0.158	0.105	0.084
Std.	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.004
เฉลี่ย	0.102	0.099	0.113	0.158	0.108	0.079
ประสิทธิภาพ (%)	35.873	38.80	39.622	42.300	48.693	60.987

ผลการทดสอบได้ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 35.873 ร้อยละ 38.80 และร้อยละ 39.622 และผลการทดสอบใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 42.300 ร้อยละ 48.639 และร้อยละ 60.987 ดังรูปที่ 5

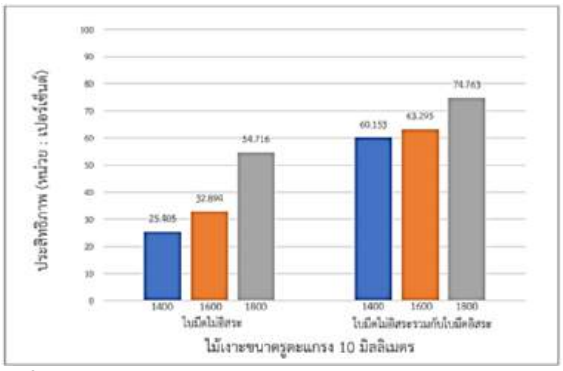


รูปที่ 5 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้เงาะ ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ไม้เงาะ					
ขนาดรูตะแกรง	10 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.113	0.208	0.251	0.207	0.218	0.273
2	0.119	0.201	0.245	0.210	0.214	0.280
3	0.117	0.199	0.242	0.211	0.224	0.278
Std.	0.002	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003
เฉลี่ย	0.116	0.203	0.246	0.209	0.219	0.277
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.062	0.099	0.073	0.049	0.046	0.044
2	0.072	0.098	0.075	0.056	0.052	0.042
3	0.075	0.110	0.069	0.052	0.050	0.047
Std.	0.006	0.005	0.002	0.003	0.002	0.002
เฉลี่ย	0.070	0.102	0.072	0.052	0.049	0.044
ประสิทธิภาพ (%)	25.405	32.894	54.716	60.153	63.295	74.763

ผลการทดสอบได้ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 25.405 ร้อยละ 32.894 และ 54.716 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 60.153 ร้อยละ 63.295 และร้อยละ 74.763 ดังรูปที่ 6

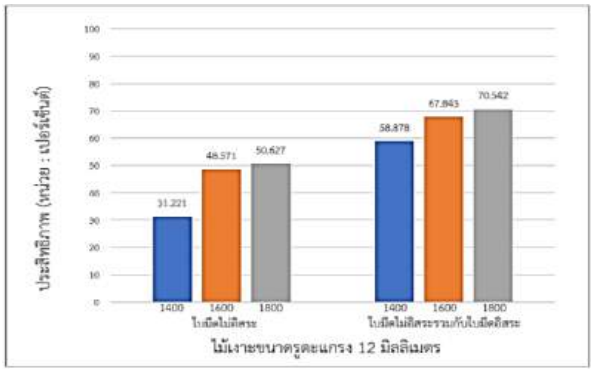


รูปที่ 6 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้เงาะ ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 12 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ไม้เงาะ					
ขนาดรูตะแกรง	12 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.148	0.212	0.177	0.173	0.205	0.227
2	0.142	0.208	0.179	0.172	0.215	0.230
3	0.147	0.205	0.185	0.179	0.222	0.232
Std.	0.003	0.003	0.003	0.003	0.007	0.002
เฉลี่ย	0.146	0.208	0.180	0.175	0.214	0.230
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.071	0.072	0.056	0.049	0.041	0.037
2	0.076	0.069	0.062	0.045	0.039	0.035
3	0.082	0.075	0.059	0.038	0.043	0.042
Std.	0.004	0.002	0.002	0.005	0.002	0.003
เฉลี่ย	0.076	0.072	0.059	0.044	0.041	0.038
ประสิทธิภาพ (%)	31.221	48.571	50.627	58.878	67.843	70.542

ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 31.221 ร้อยละ 48.571 และร้อยละ 50.627 และผลการทดสอบใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับ ร้อยละ 58.878 ร้อยละ 67.843 และ 70.542 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

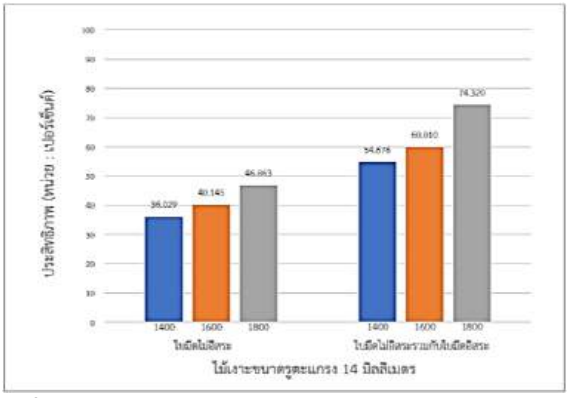
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้เงาะ ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 14 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ไม้เงาะ					
ขนาดรูตะแกรง	14 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.187	0.195	0.197	0.213	0.224	0.354
2	0.183	0.192	0.199	0.215	0.226	0.352
3	0.186	0.190	0.203	0.217	0.223	0.353
Std.	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
เฉลี่ย	0.185	0.192	0.200	0.215	0.224	0.353
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.091	0.082	0.070	0.061	0.059	0.052
2	0.089	0.086	0.072	0.064	0.053	0.056
3	0.081	0.079	0.075	0.066	0.057	0.049
Std.	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003
เฉลี่ย	0.087	0.082	0.072	0.064	0.056	0.052
ประสิทธิภาพ (%)	36.029	40.145	46.863	54.676	60.01	74.320

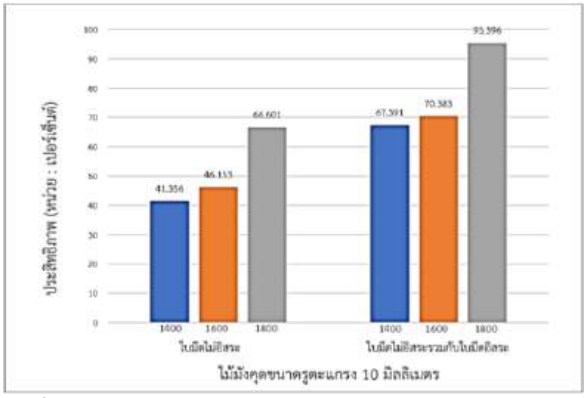
ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 36.029 ร้อยละ 40.145 ร้อยละ 46.863 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 54.676 ร้อยละ 60.01 และร้อยละ 74.320 ดังรูปที่ 8

ชนิดไม้	ไม้มังคุด					
ขนาดรูตะแกรง	10 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.320	0.267	0.422	0.387	0.485	0.502
2	0.323	0.266	0.424	0.385	0.456	0.497
3	0.326	0.267	0.426	0.383	0.459	0.489
Std.	0.002	0.000	0.002	0.002	0.013	0.005
เฉลี่ย	0.323	0.267	0.424	0.385	0.467	0.496
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.135	0.096	0.088	0.071	0.079	0.116
2	0.130	0.102	0.086	0.075	0.083	0.123
3	0.139	0.098	0.082	0.079	0.081	0.132
Std.	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.007
เฉลี่ย	0.135	0.099	0.085	0.075	0.081	0.124
ประสิทธิภาพ (%)	41.356	46.153	66.601	67.391	70.383	95.396

ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 41.356 ร้อยละ 46.153 และร้อยละ 66.601 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 67.391 ร้อยละ 70.383 และ 95.396 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800



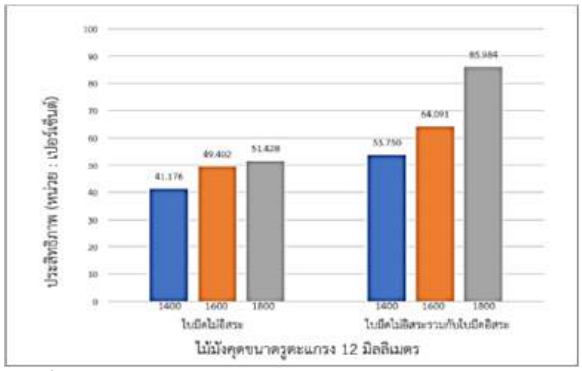
รูปที่ 9 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระทีความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้มังคุด ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้มังคุด ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 12 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ไม้มังคุด					
ขนาดรูตะแกรง	12 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.277	0.373	0.426	0.368	0.393	0.489
2	0.272	0.375	0.421	0.369	0.392	0.491
3	0.279	0.379	0.427	0.372	0.395	0.493
Std.	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002
เฉลี่ย	0.276	0.376	0.425	0.370	0.393	0.491
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.116	0.127	0.137	0.111	0.090	0.040
2	0.112	0.125	0.135	0.113	0.088	0.036
3	0.118	0.129	0.138	0.111	0.082	0.035
Std.	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002
เฉลี่ย	0.115	0.127	0.137	0.112	0.087	0.037
ประสิทธิภาพ (%)	41.176	49.402	51.428	53.750	64.091	85.984

ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 41.176 ร้อยละ 49.402 และร้อยละ 51.428 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 53.750 ร้อยละ 64.091 และร้อยละ 85.984 ดังรูปที่ 10

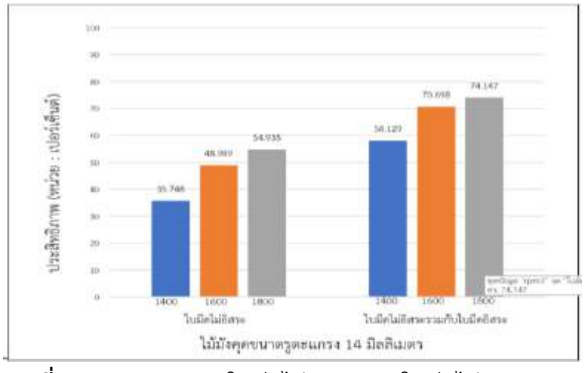


รูปที่ 10 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระที่ความเร็วรอบ 1,400, 1,600 และ 1,800

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบ โดยใช้กิ่งไม้มังคุด ที่ขนาดรูตะแกรง ขนาด 14 มิลลิเมตร ที่ ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที ทดสอบโดยใช้ใบมีด 2 ลักษณะ ใบมีดไม่อิสระ และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ

ชนิดไม้	ไม้มังคุด					
ขนาดรูตะแกรง	14 มิลลิเมตร					
รอบความเร็ว/นาที	ใบมีดไม่อิสระ			ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบอิสระ		
ครั้งที่	1,400	1,600	1,800	1,400	1,600	1,800
1	0.281	0.294	0.361	0.353	0.494	0.599
2	0.283	0.295	0.360	0.355	0.500	0.612
3	0.281	0.297	0.363	0.359	0.510	0.617
Std.	0.001	0.001	0.001	0.002	0.007	0.008
เฉลี่ย	0.282	0.295	0.361	0.356	0.501	0.609
	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของกิ่งไม้ที่ย่อยใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร					
1	0.130	0.104	0.102	0.095	0.085	0.091
2	0.133	0.101	0.105	0.087	0.081	0.089
3	0.136	0.098	0.108	0.102	0.092	0.082
Std.	0.002	0.002	0.002	0.006	0.005	0.004
เฉลี่ย	0.133	0.101	0.105	0.095	0.086	0.087
ประสิทธิภาพ (%)	35.748	48.989	54.935	58.129	70.698	74.147

ผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 35.748 ร้อยละ 48.989 และร้อยละ 54.935 และผลการทดสอบ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระ ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800 เท่ากับร้อยละ 58.129 ร้อยละ 70.698 และร้อยละ 74.147 ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพใบมีดไม่อิสระและใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระที่ความเร็วรอบ 1,400 1,600 และ 1,800

4. สรุป

ผลจากการทดสอบทั้งหมดจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด โดยมีการทดสอบกิ่งไม้ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ทุเรียน,ไม้มังคุดและไม้เงาะ โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3 ระดับ ได้แก่ 1,400 1,600 และ 1,800 RPM ทำการทดสอบย่อย 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 162 ครั้ง ผู้วิจัยได้นำผลการทดสอบของความเร็วในการย่อย ความสามารถในการทำงาน ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนี้

1) การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบ 1,400 RPM ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึงร้อยละ 41.35 (รูตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร : ไม้มังคุด) และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระมีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึงร้อยละ 67.39 (รูตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร : ไม้มังคุด)

2) การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุดจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบ 1,600 RPM ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึงร้อยละ 49.40 (รูตะแกรงขนาด 12 มิลลิเมตร: ไม้มังคุด) และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระมีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึง ร้อยละ 70.69 (รูตะแกรงขนาด 14 มิลลิเมตร: ไม้มังคุด)

3) การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร แบบใบมีด 2 ชุด จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบ 1,800 RPM ใบมีดไม่อิสระ มีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึง ร้อยละ 66.60 (รูตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร: ไม้มังคุด) และ ใบมีดไม่อิสระรวมกับใบมีดอิสระมีประสิทธิภาพมากที่สุดของถึงร้อยละ 95.39 (รูตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร: ไม้มังคุด)

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนuh

6. เอกสารอ้างอิง

[1] อดิเทพ บำรุงบ้าน, บุญรอด บุญประเสริฐ, ทินวัฒน์ ทบลม. (2563). เครื่องย่อยไม้แบบสองทาง. จันทบุรี: สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

[2] มนู โป้สมบูรณ์. (2566). [ออนไลน์]. ต้นทุเรียน. [สืบค้นวันที่23 มิถุนายน 2566]. เข้าถึงได้จาก https://kasetgo.com/t/2-2/993309.

[3] พรชัย แย้มบาน, จรัญ ทวยจันทร์, ทรงศักดิ์ ลือจันดา. (2560) . การพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้ ใบไม้ บทความวิจัยและนวัฒกรรมอาชีวศึกษา. หนองคาย : วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย.

[4] ชลดา ยอดยิ่ง, สมสุข ไตรศุภกิตติ, ลุตฟี สือนิ, กันตพงษ์ แข้โส. (2566). การออกแบบพัฒนาชุด ต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่. มหาสารคาม : คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[5] อรุชา ดอนโคตร, วิษณุ ฐานะทรัพย์ปัญญา, ณัฏฐ์วุฒิ อริยะจิณโณ. (2564). [ออนไลน์]. การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว. เลย : มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

[6] โกศล มูลโกภาศ. (2556). การพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าวแห้งเพื่อใช้ในการเพาะชำต้นกล้า. นราธิวาส : วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.

[7] Converse677. (2565). [ออนไลน์]. ต้นมังคุด. [สืบค้นวันที่ 26 พฤศิกายน 2556]. เข้าถึงได้จาก https://www.istockphoto.com/th/

[8] Wiki Pedia. (2564). [ออนไลน์]. ต้นเงาะ. [สืบค้นวันที่ 26 กรกฎาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก https://www.natdesigntak.com/

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเค็มของดินบริเวณพื้นที่ใกล้นากุ้งจังหวัดจันทบุรี

Mathematical model of soil salinity near marine shrimp farm, Chanthaburi Province.

กมลภัสสร์ มั่นศิลป์[1*] ณัฐวุฒิ ผ่องหนู[2] สมพร ศรีวัฒนพล[3] ฐาปนา นามประดิษฐ์[4] พงศ์ภรณ์ ชาติสุทธิ[5] และ ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช[6]

[1*]สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[2]สาขาวิชาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ
มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตอุดรธานี

[3]สาขาวิชาสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

[4]สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[5]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[6]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Kamonpad Munsilp[1*] Nattawut Pongnu [2] Somporn Sriwatthanaphon[3] Thapana Nampradit[4] Pongporn Chatsutti[5] and Yingyot Tipsirach[6]

[1]Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi campus

[2]Department of Sport and Exercise Science, Faculty of Sports Science and Health, Thailand National Sports University, Udon Thani Campus, Thailand

[3]Department of Electronics and Telecommunications, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi Center, Thailand

[4]Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi campus

[5]Department of Electrical Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus

[6]Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus

E-mail: kamonpad_ma@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาข้อมูลความเค็มของดินแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ข้อมูลภาคสนามและข้อมูลจากตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลเฉลยเชิงตัวเลขเพื่อใช้ในการทำนายค่าความเค็มในดินบริเวณพื้นที่นากุ้ง สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามนั้น เนื่องจากการสำรวจในพื้นที่ขนาดใหญ่อาจมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดระดับความเค็มของดินแบบอัตโนมัติผ่านระบบ IoT เพื่อเพิ่มความเหมาะสมกับลักษณะพื้นที่และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ ยังได้พัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเค็มของดิน โดยอาศัยกระบวนการแพร่และการพา (advection-diffusion model) ในการประมาณค่าและหาผลเฉลยเชิงตัวเลข ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงความเค็มของดินในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่า ความเค็มของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงความลึกระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 เมตร โดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ห่างจากขอบบ่อเลี้ยงกุ้งไม่เกิน 5 เมตร ซึ่งเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ: ความเค็มของดิน, ข้อมูลภาคสนาม, ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

Abstract

In this research project, the researcher examined soil salinity data by dividing it into two main components: field data and data obtained from a mathematical model. The objective was to analyze these data sets using numerical methods in order to predict soil salinity levels in shrimp farming areas. Due to the complexity and time-consuming nature of surveying large areas, the researcher designed and developed an automated soil salinity measurement device based on Internet of Things (IoT) technology. This innovation was tailored to suit the characteristics of the study area and aimed to improve the accuracy of data collection. Additionally, a mathematical model was developed to estimate soil salinity levels, utilizing the advection-diffusion process to compute numerical solutions. This model supports the prediction and long-term monitoring of changes in soil salinity with high efficiency. Field data indicated a statistically significant increase in soil salinity at depths between 2.0 and 3.0 meters, especially within a 5-meter radius of the shrimp pond boundaries, where salt concentrations were noticeably higher than in other areas. These findings align with the simulation results generated by the mathematical model, further confirming its accuracy and applicability for assessing salinity accumulation in soils adjacent to shrimp ponds.

Keywords: Soil salinity, Field data, Mathematical model

1. บทนำ

จังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ติดทะเล จึงทำให้เกษตรกรทำอาชีพเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งพื้นที่ส่วนมากจะเป็นบ่อเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากในอดีตการส่งออกกุ้งมีรายได้ดี เกษตรกรจึงนิยมทำการเลี้ยงกุ้งเป็นจำนวนมาก การเลี้ยงกุ้งซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสิ่งตกค้างจากน้ำทะเลหรือเกลือ จะทำให้ดินมีความเค็มหรือเกลือและโซเดียมปริมาณสูงขึ้น ยิ่งมีการเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลานานความเค็มและโซเดียมยิ่งสะสมในดินสูงจนในที่สุดทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของดินจนยากที่จะแก้ไข นอกจากนี้ปัญหาการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อการเกษตรกรรมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพาะปลูก การขุดบ่อเลี้ยงกุ้งจะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ในการเกษตร เพราะมีผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินเค็ม น้ำใต้ดินยกตัวสูงขึ้นและโครงสร้างของดินถูกทำลาย การเลี้ยงกุ้งทำให้เกิดปัญหาน้ำใต้ดินเค็ม เนื่องจาก น้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งซึมลงไปผสมกับน้ำใต้ดิน และเกษตรบางรายได้นำเกลือมาผสมลงไปในบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาระดับความเค็มให้ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเลี้ยง จึงทำให้ความเค็มแพร่กระจายลงไปผสมกับน้ำใต้ดินมากยิ่งขึ้น การเลี้ยงกุ้งจะทำให้น้ำใต้ดินขึ้นมาอยู่ใกล้ผิว ดินมากขึ้นเนื่องจากน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะค่อยๆ ซึมลงไปผสมกับน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดปัญหากับการปลูกพืชเศรษฐกิจ เนื่องจากทำให้รากพืชเน่าและเกลือที่ผสมอยู่ก็ก่อให้เกิดพิษกับพืชนั้นด้วย ในปัจจุบันมีเกษตรกรบางรายได้เปลี่ยนพื้นที่การเลี้ยงกุ้งเป็นการปลูกสวนผลไม้โดยเฉพาะทุเรียนในพื้นที่ใกล้เคียงกับนากุ้งเดิม เพราะปัจจุบันราคาผลผลิตทุเรียนสูง เนื่องจากการส่งเสริมการส่งออกจากภาครัฐ จึงทำให้เกษตรกรลงทุนในพื้นที่เพื่อทำการเพาะปลูกขยายวงกว้างมากขึ้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการหนึ่งในการคำนวณปรากฏการณ์ธรรมชาติ กลายเป็นที่นิยมมากขึ้น เกิดจากความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์ตลอดจนการศึกษาเชิงลึกของแต่ละกระบวนการที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ จากงานวิจัยเหล่านี้ นักวิทยาศาสตร์ สามารถสร้างสมการเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ แก้สมการได้โดยใช้วิธีเชิงตัวเลขซึ่งได้รับการพัฒนาควบคู่ไปกับความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์เพื่อสามารถประยุกต์และหาคำตอบได้[1-6] นอกจากนี้ในโลกปัจจุบันระบบIoTมีความสำคัญต่อมนุษยชาติอย่างมากเพราะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูลและแก้ปัญหาต่างๆได้อย่างมากมาย เมื่อเราสามารถออกแบบเครื่องมือที่สามารถใช้งานควบคู่กับระบบIoTได้ ก็ยิ่งจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้หลากหลายมากขึ้น

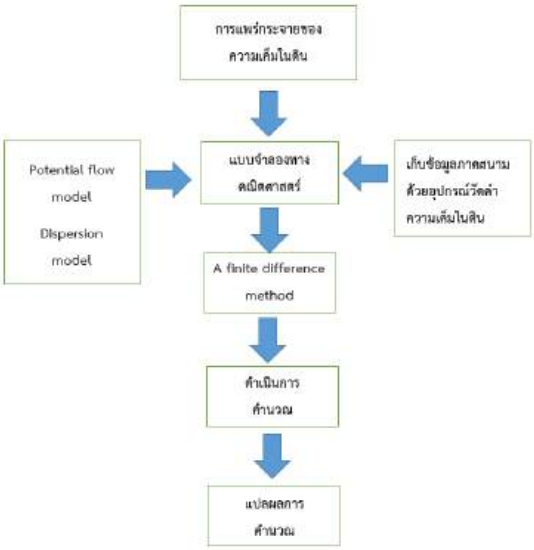
2. วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลความเค็มของดินภาคสนาม

1. ศึกษาทางพื้นที่บริเวณใกล้เคียงนากุ้งที่ทำการเพาะปลูกพืช

2. ขุดหลุมฝังโพลและติดตั้งเครื่องวัดระดับความเค็มของดินแบบอัตโนมัติผ่านระบบIoTเพื่อเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ข้อมูล

3. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 1 กรอบการวิจัย

3. ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลค่าความเค็มของดินแบบระบบอัตโนมัติผ่านระบบ IoT ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม-31 มีนาคม 2567โดยเก็บข้อมูลทุกวัน วันละ 3 ครั้งให้เกิดความเที่ยงตรงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยแต่ละหลุมโดยได้ออกแบบการเก็บตัวอย่างของดินโดยการขุดหลุมลึก 3 เมตรโดยเก็บตัวอย่างดินในความลึกทุก 0.50 เมตร และเก็บตัวอย่าง 6 หลุม ห่างกันหลุมห่างกันหลุมละ 5 เมตรโดยนำตัวอย่างดินมาวัดในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง แสดงค่าความเค็มของ หลุมที่1 ถึง 6 ทุกความลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 เมตร

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความเค็มของ หลุมที่1 ถึง 6 ทุกความลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 เมตร ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม-31 มีนาคม 2567

ความลึก (m)	ระยะทาง(m)					
	5	10	15	20	25	30
	ค่าความเค็มเฉลี่ย(ppm)					
0.5	499	458	415	400	214	167
1.0	763	576	548	513	286	229
1.5	1660	1460	1090	891	756	553
2.0	1880	1630	1462	1310	1220	936
2.5	2100	2090	1900	1870	1634	1311
3	2280	2200	1999	1900	1710	1650

จากตารางที่ 1 จะพบว่าค่าความเค็มจะมีค่าลดลงในระยะทางที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 5 เมตรและจะลดลงในระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 0.5 เมตร

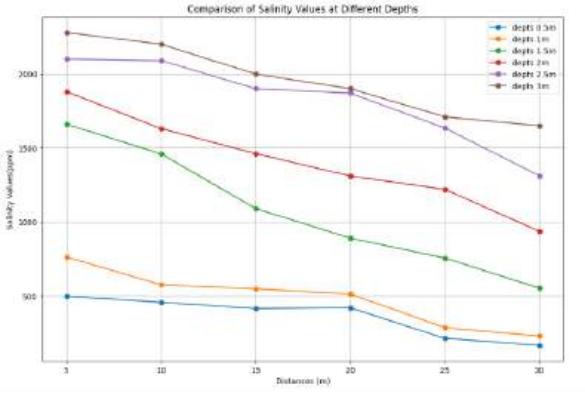
ความสัมพันธ์ระหว่าง ppm กับ EC

- ค่าความเค็มที่วัดจาก EC สามารถแปลงเป็น ppm ได้โดยประมาณตามสูตร:
- ppm ≈ EC (dS/m) × 640 ถึง 700

ตารางที่ 2 เกณฑ์ค่าความเค็มของน้ำ (TDS/ppm)

ค่า TDS (ppm)	ความหมาย	การใช้งาน
0 – 500	น้ำจืด	เหมาะกับการบริโภค
500 – 1,000	น้ำใช้ทั่วไป	เกษตร
1,000 – 2,000	น้ำกร่อย	อาจกระทบพืชบางชนิด

เมื่อนำค่าจากตารางมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าเงื่อนไขเริ่มต้นจะพบว่าค่าความเค็มมีการลดลงในแนวราบและเพิ่มขึ้นในแนวดิ่งแสดงผลของข้อมูลด้วยกราฟในรูปที่ 1



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าความเค็มในระยะห่างกันทุกๆ 5 เมตร และทุกระดับความลึกทุกๆ 0.5 เมตร

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่า ความเค็มของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงความลึกระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 เมตร โดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ห่างจากขอบบ่อเลี้ยงกุ้งไม่เกิน 5 เมตร ซึ่งเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่และการสะสมของไอออนเกลือในชั้นดินลึก อันเป็นผลจากการรั่วซึมหรือการระบายน้ำเค็มจากกิจกรรมการเลี้ยงกุ้งซ้ำๆ ในพื้นที่เดิม

ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลภาคสนามกับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งยังตอกย้ำถึงความจำเป็นในการควบคุมการสะสมของเกลือในชั้นดินเพื่อป้องกันการเสื่อมโทรมของคุณภาพดินและผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่ในระยะยาว

4. อภิปรายผล

จากรูปที่ 1 และตารางที่ 1 พบว่าค่าความเค็มของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระดับความลึกทุกๆ 0.5 เมตร จนถึงระดับความลึก 3 เมตร โดยเฉพาะบริเวณใกล้บ่อกุ้ง นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความเค็มของดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างจากบ่อกุ้งเพิ่มขึ้นทุก ๆ 5 เมตร ภายในระยะ 30 เมตรจากบ่อกุ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของเกลือในดินมีความสัมพันธ์ทางลบกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิด (บ่อกุ้ง) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับความลึกของดิน ลักษณะการกระจายตัวของความเค็มดังกล่าวอาจเป็นผลจากการรั่วซึมหรือการสะสมของเกลือจากน้ำเค็มที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งซึมลงสู่ชั้นใต้ดินและแพร่กระจายไปยังบริเวณโดยรอบ โดยเฉพาะบริเวณใกล้บ่อที่มีการใช้ซ้ำอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ การวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวโน้มที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนเกลือในดิน และช่วยยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองในการประเมินความเสี่ยงต่อความเค็มในพื้นที่เพาะปลูกใกล้นากุ้ง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มการแพร่กระจายของความเค็มในดิน ทั้งในเชิงลึกและในแนวระนาบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเพาะปลูกพืชเกษตร รวมถึงการอนุรักษ์ดินและน้ำในระยะยาว

5. สรุป

การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาความเค็มของดินในบริเวณนากุ้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะช่วยลดเวลา ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล โดยจะเก็บข้อมูลในพื้นที่จริงเพื่อช่วยในการตัดสินใจและยังสามารถทำนายค่าความเค็มบริเวณใกล้เคียงกับนากุ้งได้ เพื่อเป็นประโยชน์กับเกษตรกรเพื่อช่วยในการตัดสินใจและวางแผนการเพาะปลูกพืชบริเวณนากุ้งในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ งบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) จัดสรรงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปี2567ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นแรงสนับสนุนที่สำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมทางเทคโนโลยี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริลักษณ์ โกศลเสริม, และ คมสันต์ วิจิตรธรรม. (2564). *ระบบตรวจวัดค่าความเค็มในดินอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT).* วารสารวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศ, 17(2), 45-53.

[2] สมชาย อินทร์สุข. (2562). *การพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความเค็มในดินเพื่อใช้ในการเกษตร.* รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] Kaur, R., & Mahajan, R. (2020). *Smart Soil Salinity Monitoring System using IoT*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 9(6), 900–905.

[4] Li, H., Chen, J., & Zhang, Y. (2019). *Design of IoT-based soil salinity monitoring system for precision agriculture*. Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Smart Agriculture.

[5] Sutar, R. S., & Patil, P. D. (2021). *IoT-based Smart Soil Monitoring System for Agricultural Applications*. In 2021 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), pp. 0123–0128

[6] **กรมพัฒนาที่ดิน.** (2562). *แนวทางการวิเคราะห์ดินและน้ำเพื่อการเกษตร*. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร.

[7] **จินตนา มโนรมย์.** (2559). *การจัดการดินเค็มเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[8] *ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร.* (2563). *คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์ความเค็ม*. กรมวิชาการเกษตร.คู่มือภาคปฏิบัติสำหรับเจ้าหน้าที่และเกษตรกร

[9] **Rhoades, J.D.** (1996). *Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids*. In *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America.

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ: กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงสัตว์บ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

Analysis of Worthiness in Investment on Feed production System for Goat : A Case Study of Ban Nong Hoi Herdsman Pran Buri, Prachuapkhirikhan community enterprise

ทวี หมัดสะ[1] สมใจ ศรีเนตร[2] การาโฉม จันโสะ[3] ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล[4] ศุภวัฒน์ ชูวารี[5] นิวัฒน์ มูเก็ม[1] พเยาว์ สายทองสุข[6*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
[2]สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
[3]1148/17 ตำบลวังพง์ อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77120
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
[5]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120
[6*]สาขาวิชาการโรงแรม คณะอุตสาหกรรมการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
E-mail: payao.say@rmutr.ac.th*

Tavee Madsa[1] Somjai Srinet[2] Karachorm Junsoh[3] Thaweesak Rungsakthaweekul[4] Suppawat Chuvaree[5]
Niwat Mookam[1] Payao Saytongsuk[6*]
[1]Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Hua Hin, Prachuapkhirikhan 77110
[2]Department of Management Innovation, Faculty of Business Administration Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Hua Hin, Prachuapkhirikhan 77120
[3]1148/17 Wang-Pong, Pran Buri, Prachuapkhirikhan 77120
[4]Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120
[5]Department of Hotel, Faculty of Hospitality and Tourism Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Hua Hin, Prachuapkhirikhan 77110
E-mail: payao.say@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองหอย ปราณบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ประเมินและทดสอบเทคโนโลยีพร้อมใช้สำหรับบริหารการจัดการฟาร์มผลพบว่า การย่อยกระถินเพื่อผลิตอาหารแพะ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน โดยเกษตรกรใช้เครื่องย่อยแบบละเอียดทดแทนเครื่องดั้งเดิมลดต้นทุนได้ 45,296.4 บาทต่อปี เครื่องย่อยกระถินยังคงมีความจำเป็นสำหรับการเลี้ยงแม้มีแพะจำนวนน้อย ดังนั้นการเลือกเครื่องย่อยที่เหมาะสมจะช่วยลดต้นทุนได้ การศึกษาฟาร์มขนาดกลางกับแพะจำนวน 100-300 ตัว ลงทุนระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ 162,950 บาท จากการวิเคราะห์ทางการเงินพบว่า อัตราผลตอบแทนโครงการเท่ากับร้อยละ 45.14 โดยมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 2 ปี 3 เดือน

คำหลัก ความคุ้มค่า การลงทุน ระบบผลิตอาหาร วิสาหกิจชุมชน

Abstract

This study analyzes the worthiness of investing in a feed production system for goat. A case study of Ban Nong Hoi Pran Buri, Prachuapkhirikhan community enterprise. Evaluation and testing of appropriate technology for farm management found that the digestion of Leucaena to produce 1,000 kg/day of goat feed by farmers using a fine-digesting machine instead of the traditional machine reduces costs by 45,296.4 baht/year. A Leucaena shredder is still required to raise a small number of goats, so choosing the right shredder can reduce costs. Medium-sized farms with 100-300 goats were studied. The feed production system for goat when investing 162,950 baht. It was found from financial analysis that the internal rate of return of 45.14 %, with a payback period of 2 years and 3 months.

Keywords: Worthiness, Investment, Feed production system, Community enterprise

1. บทนำ

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะจำนวน 1,165 ครัวเรือน (จำนวน 45,578 ตัว) และปี พ.ศ. 2565 เกษตรกรบางรายได้รับผลกระทบจากสถานการณ์โรคระบาดและต้นทุนการเลี้ยงแพะที่สูงขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถดำเนินการเลี้ยงแพะต่อไปได้ ส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะลดลงเหลือเพียง 1,145 ครัวเรือน (จำนวน 46,058 ตัว) [1] เป็นอันดับที่ 11 ของประเทศ สร้างรายได้เมื่อปี พ.ศ. 2564 กว่า 187,016,287 ล้านบาท [1, 2] ผู้ผลิตแพะเนื้อในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีต้นทุนที่สำคัญนั่นก็คือต้นทุนการผลิตแพะเนื้อเฉลี่ย 3,321.55 บาทต่อตัว แยกเป็นต้นทุนเงินสด 2,360.49 บาทต่อตัว และต้นทุนไม่เป็นเงินสด 1,103.93 บาทต่อตัว ส่วนใหญ่ร้อยละ 98.17 ของต้นทุนทั้งหมดจะเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ย 3,403.59 บาทต่อตัว ซึ่งเป็นการลงทุนเกี่ยวกับ ค่าแรงงาน ค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าอาหาร ยารักษา และอื่น ๆ (ค่าดูแลสุขภาพของเกษตรกร) ส่วนที่เหลือคือ ต้นทุนคงที่คิดเป็นร้อยละ 1.83 หรือประมาณ 60.83 บาทต่อตัว โดยเกษตรกรจำหน่ายแพะได้เฉลี่ย 4,543.10 บาทต่อตัว ทำให้มีผลตอบแทนสุทธิ 1,078.74 บาทต่อตัว หรือเกษตรกรมีกำไรกิโลกรัมละ 34.16 บาท โดยใช้ระยะเวลาเลี้ยงเพียง 3-4 เดือนต่อรุ่น ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่มาจากค่าอาหาร ถึงร้อยละ 68.55 [10] ซึ่งเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนอื่นในการเลี้ยงแพะเนื้อ โดยเฉพาะอาหารหยาบจำพวกวัชพืช หรือพืชท้องถิ่นที่จะนำมาหมักหรือมาบดจะต้องออกไปหามาจากที่ห่างไกล โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งวัชพืชหรือพืชท้องถิ่นจะหาได้ยากและขาดแคลน ต้องใช้เวลานานกว่าจะนำมาเตรียมสับย่อยให้แพะกินได้และกระทบกับต้นทุนการเลี้ยงเพะของเกษตรกร

ดังนั้นระบบการผลิตอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเกษตรกร แต่ต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับขนาดของฟาร์มและจำนวนแพะและรูปแบบการผลิตอาหาร การวิเคราะห์

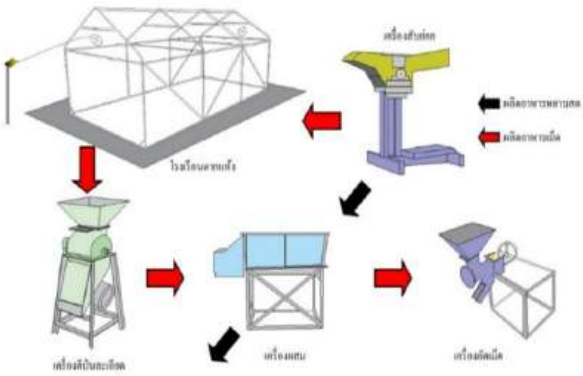
ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองหอย ปราณบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ทดลองกับการเลี้ยงแพะเนื้อสายพันธ์บอร์ จำนวนแพะ 100 ตัว จึงเป็นแนวทางสำหรับการลงทุนและเลือกใช้เทคโนโลยีพร้อมใช้สำหรับฟาร์มอื่นๆในพื้นที่ดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์การิวจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบผลิตอาหารแพะเนื้อสำหรับฟาร์มขนาดกลางที่มีปริมาณแพะไม่เกิน 300 ตัว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพร้อมใช้ในการผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงแพะเนื้อ ประกอบ ด้วย โรงตากแห้ง เครื่องสับย่อย เครื่องตีป่น เครื่องผสม และเครื่องอัดเม็ด โดยใช้พื้นที่ของวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงสัตว์บ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นพื้นที่ในการดำเนินโครงการวิจัย โดยแสดงการทำงานของระบบผลิตอาหารไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการผลิตอาหาร

การทดลองใช้เทคโนโลยีพร้อมใช้กับสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของพืชท้องถิ่น ได้แก่ กากมะพร้าวจากการคั้นกะทิ ผิวมะพร้าว กระถินสับ หญ้าแพงโกล่า เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2 จากการประเมินและทดสอบเทคโนโลยีพร้อมใช้ ประกอบด้วย โรงตากแห้ง เครื่องสับย่อย เครื่องตีป่น เครื่องผสม และเครื่องอัดเม็ด โดยช่วงเวลาการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนตุลาคม 2566- มีนาคม 2567 ระยะเวลาในการทดลอง 6 เดือน โดยมีการทดลองระบบการผลิตอาหารทั้งหมด 2 สูตร และทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง

รูปที่ 2 เทคโนโลยีพร้อมใช้ในการผลิตอาหาร

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลประเมินและทดสอบเทคโนโลยีพร้อมใช้

โรงเรือนตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 21 ตารางเมตร (3.5 x 6 เมตร) เกษตรกรนำวัตถุดิบที่หาได้และเหลือใช้มาทดลองตาก เช่น กากมะพร้าวจากการคั้นกะทิ ผิวมะพร้าว กระถินสับ หญ้าแพงโกล่า เป็นต้น การตากแห้งผิวมะพร้าว กระถินสับ และหญ้าแพงโกล่า ใช้เวลาแค่ 2 วัน (การตากไม่เต็มวันใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองตากช่วง สิงหาคม-กันยายน 2566) ผลที่ได้วัตถุดิบแห้งกรอบสามารถนำไปเข้าเครื่องตีป่นละเอียดได้ ยกเว้นกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิ ซึ่งต้องใช้เวลาถึง 3 วัน เป็นอย่างน้อย เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูง อย่าไรก็ตามประสิทธิภาพการตากกรณีช่วงเดือน มีนาคม-เมษายน จะมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิทั่วไปสูงลดเวลาการตากแห้งได้ถึงเท่าตัว

4.2 ผลการประเมินต้นทุนและความสามารถในการผลิต

จากตารางที่ 1 พบว่า เครื่องสับย่อยเกษตรกรทุกรายใช้อยู่จึงควรเลือกให้เหมาะสม ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรใช้เครื่องสับโดยมากแล้วเลือกจาก ราคาถูกและสับย่อยได้ (ไม่ได้พิจาณาณาคุณภาพการสับ) ราคาประมาณ 9,500-15,000 บาท จากการให้ข้อมูลของเกษตรกรพบว่ามีราคาถูก

กำลังการผลิตต่ำจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก (1-2 HP) และคุณภาพการสับย่อยที่ได้ยังไม่เหมาะสม ใบสับย่อยไม่เหมาะสม (จำนวนใบสับและความแข็งแรง) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบที่มีราคารวม 28,750 บาท หากพิจารณาระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) โดยอ้างอิงต้นทุนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่ใช้อยู่ในการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตร 5-10 ปี ดังนั้นมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 0.63 ปี เมื่อพิจาณาค่าใช้จ่ายที่ลดได้จากการใช้เครื่องที่มีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าใช้ระยะเวลาไม่เกิน 7 เดือน คืนทุนกรณีใช้สับย่อยกระถินสดอย่างเดียว จึงเป็นเครื่องแนะนำให้เกษตรกรสามารถใช้ได้ตั้งแต่เลี้ยงแพะขุนตั้งแต่ 15 ตัวขึ้นไปที่มีการใช้เครื่องสับย่อยอยู่แล้วจนถึงฟาร์มขนาดใหญ่ แต่ผลการคืนทุนอาจจะแตกต่างกัน และเมื่อมีการนำเครื่องจักร ประกอบด้วย เครื่องสับย่อย เครื่องตีป่น เครื่องผสม และเครื่องอัดเม็ด ทำงานร่วมกันเพื่อผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อ จึงสามารถวิเคราะห์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหารได้ดังนี้

จากการบริโภคอาหารของแพะสามารถกินได้ต่อวัน 3-5% ของน้ำหนักตัว แพะขนาด 20 กิโลกรัม จึงบริโภคอาหาร 1 กิโลกรัม/วัน/ตัว (จาก 5%) ปัจจุบันอาหารสำเร็จรูป อาหารแพะขุน 1 กระสอบ 30 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 510 บาท (17 บาท/กิโลกรัม) กรณีขุนแพะ 100 ตัว ดังนั้นปริมาณอาหารที่ใช้กับแพะ 100 ตัว x 1 กิโลกรัม/วัน/ตัว x 30 วัน เท่ากับ 3,000 กิโลกรัม/เดือน หรือ 51,000 บาท/เดือน (3,000 กิโลกรัม x 17 บาท/กิโลกรัม) เกษตรกรจึงไม่สามารถแบกรับภาระค่าอาหารจากการขุนแพะได้สำหรับการใช้อาหารสำเร็จรูปได้ทั้งหมดในการขุนโดยปกติควบคุมต้นทุนด้านอาหาร เช่น ควบคุมค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาหารแพะขุน 8 บาท/วัน/ตัว จากการซื้อพืชผลเหลือทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปมาร่วมกับอาหารสำเร็จรูปดังนั้น ค่าอาหาร 3,000 กิโลกรัม x 8 บาท/กิโลกรัม = 24,000 บาท/เดือน ดังนั้นการที่เกษตรกรสามารถผลิตอาหารแพะขุนได้เองสามารถลดต้นทุนได้ ความสามารถในการอัดเม็ดอาหารสัตว์เฉลี่ยอย่างน้อยที่ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับอาหารอัดเม็ดเป็นการปฏิบัติโดยประมาณแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเครื่องสับย่อยเดิมและแบบใหม่

ประเด็นพิจารณา	เครื่องสับย่อยแบบดั้งเดิม	เครื่องสับย่อยของโครงการ
ความละเอียดและขนาดกระถินหลังสับย่อย		
เวลาความเร็วในการเตรียม (การสับย่อย) กระถินสด 1,000 กิโลกรัม	ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ในการการสับย่อย	ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที ในการการสับย่อย
ปริมาณกระถินสับย่อย	40 กระสอบ, 22-25 กิโลกรัมต่อกระสอบ	30-33 กระสอบ, 30-35 กิโลกรัมต่อกระสอบ
การสับย่อยทางปาล์มน้ำมัน	ไม่สามารถสับย่อยได้ หรือได้เฉพาะปลายทางขนาดเล็ก	สามารถย่อยได้
เศษเหลือจากการกินของแพะนำไปสู่ปัญหาต่อการจัดการและการเผาทำลาย	เกิดเศษเหลือจากการกินมาก 4-6 กิโลกรัมต่อกระสอบ	เกิดเศษเหลือจากการกินน้อย 3-3.5 กิโลกรัมต่อกระสอบ
สรุป การสับย่อยกระถิน 1,000 กิโลกรัม/วัน ของฟาร์ม โดยเครื่องต่อปีลดต้นทุนได้ 45,296.4 บาทต่อปี ลดเวลา 40 นาที/ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงประมาณ 35 บาท/วัน หรือ 1,050 บาทต่อเดือน ไฟฟ้า (มอเตอร์ 3HP 220V ปริมาณใช้ไฟ 18.6 A) หรือ 4,092 W (4 K x4.6 บาท/ชม+FT+ VAT) คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 224.7 บาทต่อเดือน ลดพื้นที่จัดเก็บและลดปริมาณประสอบบรรจุ 10 กระสอบ (5x10 =50 บาท) = 1,500 บาท ลดเศษเหลือทิ้งและการเผาได้ 240-105 = 135 กิโลกรัมต่อวัน ฟาร์มจ้างขนทิ้งหรือทำลายของฟาร์ม = 1,000 บาท/ครั้ง/เดือน (อย่างน้อย 100 กิโลกรัมต่อวัน ลดการเผาทำลายได้)		

กรณีที่ 1 กลุ่มเกษตรกรบ้านหนองหอยใช้เวลาว่างที่เหลือจากการดูแลจัดการฟาร์ม 5 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับผลิตอาหารสัตว์ กรณีที่ 2 กลุ่มเกษตรกรบ้านหนองหอยบริหารจัดการให้สมาชิกใช้เครื่องจักร 8 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับผลิตอาหารสัตว์

ขณะที่ เวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน มีกำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/วัน เพียงพอต่อการขุนแพะ 100 ตัวต่อวัน และเวลา 1 วัน (8 ชั่วโมง) มีกำลังการผลิต เท่ากับ 160 กิโลกรัม/วัน มีอาหารเหลือสำรองและจำหน่ายได้ จาก Utilization = Actual output / Design capacity ดังนั้นในการทำงาน 5 ชั่วโมงต่อวัน [(100/160)*100% = 62.5%] อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่อง 62.5% และสามารถบริหารจัดการให้มีอัตราการใช้ประโยชน์สูงสุดได้ กรณีกลุ่มผู้เลี้ยงสัตว์บ้านหนองหอยบริหารจัดการให้สมาชิกใช้เครื่องจักร 8 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับผลิตอาหารสัตว์ เช่น มีการกำหนดตาราง หรือเวรการทำอาหารภายในกลุ่มกันเอง เป็นต้น อย่างไรก็ตามในกรณีเกษตรกรผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นมาจากการนำอาหารหยาบ และอาหารข้นมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม หรือเรียกว่า TMR (Total mixed ration) หรือ Complete Ration (CR) สามารถผลิตอาหารได้มากขึ้น เนื่องจากในระบบมีเครื่องผสมที่สามารถผสมได้ครั้งละ 100 กิโลกรัม ไม่ต้องอัดเม็ดลดเวลา 5 ชั่วโมง ในการอัดเม็ดอาหาร 100 กิโลกรัม

ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนและการใช้ระบบการผลิตอาหารทั้งระบบ (โรงเรือนตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องสับย่อย เครื่องตีป่น เครื่องผสมอาหาร และเครื่องอัดเม็ด) กรณีฟาร์มขนาดกลางที่สามารถรองรับแพะเนื้อได้ 100-300 ตัว ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันที่ใช้สมการที่ (1) และ (2) และข้อมูลจากตารางที่ 2

$$A_c = \left(\frac{F_c}{A}\right) + \left(\frac{1}{C_t}\right)(RM + O + F + L) \qquad (1)$$

$$\mathrm{D} = (P - S)/N \qquad (2)$$

เมื่อ A_c คือ ต้นทุนการใช้เครื่อง (บาท/กิโลกรัม) F_C คือ ต้นทุนคงที่ (บาท/ปี) D คือ ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี) P คือ ราคาระบบการผลิตอาหาร (บาท) S คือ มูลค่าซากเมื่อหมดอายุ (บาท) N คือ อายุการใช้งานของระบบ (ปี) A คือ ปริมาณการผลิตอาหารอัดเม็ด (กิโลกรัม/ปี) C_t คือ ความสามารถในการทำงานของระบบผลิต (กิโลกรัม/ชั่วโมง) RM คือ ค่าซ่อมบำรุง (บาท/ชั่วโมง) O คือ ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ F คือ ค่าไฟฟ้า (บาท/ชั่วโมง) และ L คือ ค่าแรงผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2 ข้อมูลและผลการคำนวณ

ข้อมูล	ผลการคำนวณ
ราคาระบบผลิต (P)	162,950 บาท
อายุการใช้งาน (N)	10 ปี
มูลค่าซาก (5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาระบบ) (S)	8,147.50 บาท
ค่าเสื่อมราคา (D)	15,480.25 บาทต่อปี
ผลิตอาหารเม็ด 160 กิโลกรัม/8 ชั่วโมง (C_t)	20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณการผลิตต่อปี (A) จากจำนวนวันทำงาน 300 วัน	6,000 กิโลกรัมต่อปี
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (RM) 2 %ของราคาซื้อ/100 ชั่วโมงการทำงาน	260.72 บาทต่อวัน
ค่าบำรุงรักษาอื่นๆ (O) จาก 0.2 % ของราคาซื้อ/100 ชั่วโมงการทำงาน	25.6 บาทต่อวัน
ค่าไฟฟ้า (F)	ใช้ทั้งระบบ 50 บาทต่อชั่วโมง
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน (L) จาก 2 คน x 8 x 50 บาทต่อชั่วโมง (คนปฏิบัติงาน 2 คน ค่าแรงงานคนละ 400 บาทต่อวัน ทำได้ 160 กิโลกรัม/วัน)	800 บาทต่อวัน หรือ 5 บาทต่อกิโลกรัม
ต้นทุนแปรผัน ($1/C_t$) (RM+O+F+L)	5.71 บาทต่อกิโลกรัม
ต้นทุนคงที่ (F_c/A)	2.58 บาทต่อกิโลกรัม
ต้นทุนการใช้เครื่อง (A_c)	8.29 บาทต่อกิโลกรัม 1,326.4 บาทต่อวัน 15,480.25 บาทต่อปี

ดังนั้นผลิตอาหารเม็ด 6,000 กิโลกรัม ละ 17 บาท ได้เท่ากับ 102,000 บาทต่อปี กรณีวันละ 160 กิโลกรัม จะได้ 2,720 บาทต่อวัน จากต้นทุน 4 บาทต่อกิโลกรัม (160 x 4 640 บาทต่อวัน) มูลค่าเพิ่มจากการผลิต เท่ากับ 4.71 บาทต่อกิโลกรัม มีมูลค่าเพิ่มจากเวลาที่เหลือของการใช้งานระบบ คือ 28,260 บาทต่อปี

มูลค่าเพิ่มจากการสับย่อยกระถิน 1,000 กิโลกรัม/วัน ของฟาร์มด้วยเครื่องสับย่อยแบบใหม่ของระบบคิดเป็นมูลค่าเพิ่ม 45,296.4 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุนจากมูลค่าเพิ่ม = ราคาระบบ / มูลค่าเพิ่ม
= 162,950 /73556.4
= 2.22 ปี

อัตราผลตอบแทนเงินลงทุน = (มูลค่าเพิ่ม/ราคาระบบ)x100 %
= (73556.4/162,950) x 100 %
= 45.14 %

สำหรับบริบทก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงจากการปรับใช้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้

บริบทก่อนการเปลี่ยนแปลง	ผลลัพธ์หลังการเปลี่ยนแปลง
1. ตัดกระถินจากแหล่งธรรมชาติ) หญ้าจากแปลงปลูกเสริม สำหรับเป็นอาหารหยาบ เกิดปัญหากระถินไม่เพียงพอการตัดเผื่อที่มากเกินเหลือทิ้งเปล่าประโยชน์ 2. ตัดสดใหม่ทุกวัน วันละครั้ง (ฤดูกระถินหายากโตช้า ใบน้อย) 3. อาหารหยาบจากการตัดสับบดด้วยเครื่องสับเทให้แพะพร้อมโรยผิวถั่วอาหารข้น (เพิ่มคุณค่าทางอาหาร)	-ลดปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบ - มีอาหารสำรองเพียงพอ -ควบคุมต้นทุนอาหารและการเลี้ยงได้ -มีรายได้เสริมจากการขายอาหารในรูปแบบต่างๆ -ไม่สูญเสียโอกาส เสียลูกค้าจากการขุนแพะขายจากการลด/เลิกขุนแพะ มีการบริหารจัดการให้มีแพะขุนที่สามารถขายออกได้ตลอดและต่อเนื่อง -ประหยัดเวลาการทำงานจากการตัดกระถิน (ไม่
3. อาหารสำเร็จรูปจากการซื้อ กรณีหน้าฝนตัดกระถินไม่ได้หรือขาดกระถิน 4. เกษตรกรการขายแพะออกเพื่อลดจำนวนแพะในช่วงฤดูร้อนจากปัญหาขาดอาหารจากแหล่งธรรมชาติ หรือเลิกเลี้ยงแพะขุนเนื่องจากภาระค่าอาหาร 5. เวลาตัดกระถินจากแหล่งธรรมชาติทุกวัน 3-4 ชั่วโมงต่อวัน 6. ซื้ออาหารสำเร็จรูปขุนแพะ 100 ตัว 51,000 บาทต่อเดือน (เฉพาะบางครั้ง) กรณีพืชผลเหลือทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปมาร่วมกับอาหารสำเร็จรูป 120,00-24,000 บาทต่อเดือน	จำเป็นต้องตัดทุกวัน) -รายจ่ายค่าอาหารสำหรับขุนแพะ 100 ตัว 12,000 บาทต่อเดือน จากการใช้โรงเรือนตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และระบบการผลิตและมีหญ้าแห้งเสริมให้แพะในฟาร์ม - เวลาว่างผลิตอาหารอัดเม็ดได้ 6,000 กิโลกรัมต่อปี (102,000 บาทต่อปี) -ขายวัตถุดิบตากแห้งที่ได้จากโรงตากนอกเหนือจากผลิตอาหาร เช่น หญ้าแพงโกล่า ข้าวโพด สำหรับผู้เลี้ยงกระต่ายเนื้อ หนูและนก เป็นต้น หลังหักต้นทุนเท่ากับ 3,000 บาทต่อเดือน - สามารถผลิตอาหารผสมแบบผงไม่ผ่านการอัดเม็ดได้ 6,000 กิโลกรัมต่อปี (72,000 บาทต่อปี)

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.1 การอภิปรายผลการวิจัย จากการทดลองฟาร์มตัวอย่างในการใช้ระบบการผลิตอาหารแพะเนื้อสามารถรายได้เสริมจากโรงตากนอกเหนือจากผลิตอาหาร สำหรับขายให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจรายอื่น เช่น กระต่ายเนื้อ หนูและนก เป็นต้น สามารถผลิตอาหารอัดเม็ดได้ 6,000 กิโลกรัมต่อปี (102,000 บาทต่อปี) การใช้ประโยชน์เป็นเปอร์เซ็นต์เวลาที่เครื่องจักรหรือคนงานสามารถทำงานได้จริงโดยปกติขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร ในแผนงานเครื่องมือตัวอย่างระบบการผลิตอาหารประกอบด้วยการแห้ง เครื่องสับย่อย ตีป่น เครื่องผสมและเครื่องอัดเม็ด เป็นเครื่องมือเครื่องจักรของระบบที่สำคัญ โดยส่วนใหญ่ใน

การผลิตอาหารขั้นตอนการตีป่นและอัดเม็ดอาหาร เป็นขั้นตอนที่ทำให้เสียเวลาในการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องจักร ตัวอย่างจากการรายงานความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดที่ 1,110, 1,430 และ 1,750 รอบต่อนาที ความสามารถการอัดเม็ดอาหารเพิ่มขึ้นตามจำนวณรอบหรือกำลังมอเตอร์ที่ใช้ นอกจากนั้นสูตรของอาหารที่ใช้ก็จะมีผลเช่นกัน และกำลังมอเตอร์ที่ 1,750 รอบต่อนาที สามารถอัดเม็ดอาหารสัตว์เฉลี่ย เท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [3] สำหรับปริมาณอาหารสำหรับการเลี้ยงแพะโดยปกติแพะต้องการอาหารหยาบ เช่น กระถิน หญ้าสดต่าง ๆ วันละประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวแพะ ต้องการอาหารข้นวันละประมาณ 0.5-1.0 กิโลกรัม ปริมาณน้ำประมาณวันละ 5-9 ลิตร (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและตัวแพะ เป็นต้น) การใช้กระถินเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเนื่องจากในกระถินมีสารแทนนิน (Tannins) ที่ช่วยให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [4] นอกจากนั้นแร่ธาตุเสริมที่ต้องให้ประจำ [5] เมื่อไม่นานมานี้ Einar และคณะ [6] ได้เสนอแนะและยังยืนยันการใช้กระถินพื้นเมืองเป็นแหล่งโปรตีนในท้องถิ่นเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อน จากการการปรับปรุงเสริมโภชนาการให้แพะโดยทำให้เกิดภูมิคุ้มกัน จึงแสดงให้เห็นผลของไมโมซีนจะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียในกระเพาะรูเมนสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างต่อเนื่อง ผ่านการแทรกแซงด้านอาหารก่อนคลอดหรือหลังคลอดช่วยเพิ่มการปรับตัว สำหรับก่อนคลอดเสริมกระถินในอาหารและหลังคลอดเสริมยีสต์ นอกจากนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้องแรกเกิดได้รับอิมมูโนโกลบูลินและภูมิคุ้มกันผ่านการถ่ายโอนจากนมน้ำเหลืองเช่นกัน ผลแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย องค์ประกอบของแบคทีเรียในกระเพาะหมัก และยิ่งชัดเจนขึ้นประสิทธิภาพการทำงานของสัตว์และความสามารถในการย่อยได้หลังวัยหย่านมของแพะดียิ่งขึ้น จากการแนะนำการให้อาหารแพะเนื้อของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระถินสดทั้งกิ่งนำกิ่งที่มีขนาดไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร นำมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1-2 เซนติเมตร ด้วยเครื่องสับย่อยแล้วให้แพะกินสด [7] แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะให้กระถินเป็นอาหารเสริมสำหรับแพะ เกษตรกรยังมีความจำเป็นจะต้องใช้เครื่องสับย่อยเพื่อให้กระถินมีขนาดเล็กเหมาะสมกับการกินของแพะเนื้อ เนื่องจากในปัจจุบันอาหารสัตว์มีราคาสูง ทำให้วัตถุดิบต่างๆ นั้น มีราคาสูงตามเช่นกัน ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ด้านอาหารจึงเป็นปัจจัยหลักสำหรับเกษตรกร ดังนั้นการลดต้นทุนและเลือกใช้วัตถุดิบอื่นทดแทนจึงจำเป็นมาก สำหรับการเลี้ยงแพะแหล่งอาหารหยาบและพืชถิ่น เช่น กระถินจึงเป็นวัตถุดิบที่ได้รับความนิยม เนื่องด้วยเป็นพืชถิ่นที่หาได้ตามธรรมชาติลดต้นทุนได้ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงแพะบ้านหนองหอย อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ได้สะท้อนให้เห็นปัญหาที่สำคัญเกี่ยวข้องกับต้นทุนอาหารแพะในฟาร์มและกลุ่มสมาชิก โดยรวมเกี่ยวข้องกับต้นทุนอาหารซึ่งปัจจุบันแก้ปัญหาโดยการตัดกระถินสดวันละครั้งสำหรับเลี้ยงแพะมื้อเย็นและมื้อเช้าของวันถัดไป กระถิน (Leucaena leucocephala) เป็นพืชอาหารสัตว์เขตร้อนมีคุณค่าทางอาหารสูงเทียบเท่าถั่วอาหารสัตว์เขตหนาว สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนสำหรับสัตว์เป็นพืชในท้องถิ่นที่หาได้ง่าย ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบได้ เนื่องจากกระถินมีโปรตีนรวมเป็นองค์ประกอบประมาณ 17-24.4% การเลี้ยงแพะให้กระถินสดเป็นแหล่งอาหารหยาบส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต และการย่อยได้ของโปรตีนโดยไม่มีผลต่อการกินอาหารของแพะและยังทำให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจสูงสุดในการเลี้ยงแพะ โดยแพะที่ให้กินกระถินร่วมกับได้รับอาหารข้น 2% ของน้ำหนักตัว มีการเจริญเติบโตของแพะถึง 66.67 กรัมต่อตัวต่อวัน และดีกว่าการให้กระถินร่วมกับหญ้า 50% ร่วมกับอาหารข้นที่เท่ากัน [8] เนื่องจากกระถินมีโปรตีนรวมอยู่สูง สำหรับการทำใบกระถินแห้งมีโปรตีน 14 – 30 % ขึ้นกับการมีก้านหรือกิ่งปะปนมา ถึงแม้การใช้หญ้าจะให้ผลการเจริญเติบโตสำหรับแพะน้อยกว่ากระถิน แต่การทำแปลงหญ้าไว้รอบรับช่วงขาดแคลนกระถินเป็นวิธีที่นิยม สามารถควบคุมและกำหนดการเก็บเกี่ยวได้ เช่น หญ้าเนเปียร์ หญ้าแพงโกล่า ขณะที่หญ้าเนเปียร์เก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังอายุ 60-70 วัน และต่อไปตัดได้ทุกๆ 30-45 วัน และช่วงหน้าฝนหญ้าเจริญเติบโตได้ดีมีโปรตีน 10-12% นำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้ง สด หมัก และแบบแห้งเช่นกัน หญ้าแห้งเป็นพืชอาหารสัตว์ที่นำมาทำให้แห้งได้

อย่างรวดเร็ว โดยการอบหรือตากให้มีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 15% [9] การทำหญ้าแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยถนอมพืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่มากในช่วงฤดูฝนเพื่อสำรองไว้ใช้ช่วง ขาดแคลนโดยที่ยังคงคุณค่าใกล้เคียงกับหญ้าสดและเก็บไว้ได้นาน ดังนั้นระบบการผลิตอาหารจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะเนื้อ สำหรับการลดต้นทุนค่าอาหารให้ลดน้อยลงกว่าเดิม

จากการวิเคราะห์ต้นทุนและการใช้ระบบการผลิตอาหาร กรณีกลุ่มผู้เลี้ยงแพะบ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ กรณีผลิตอาหารเม็ด 6,000 กิโลกรัม สร้างมูลค่าเพิ่มจากการผลิตอาหารได้ 28,260 บาทต่อปี กรณีใช้เวลาว่างผลิตอาหาร การลงทุนระบบการผลิตมีระยะเวลาคืนทุนที่ 2.22 ปี และมีอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนร้อยละ 45.14

5.2 ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.2.1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตอาหารต้นทุนต่ำมาใช้สำหรับการผลิตอาหารให้กับแพะเนื้อที่มีการเลี้ยงไม่เกิน 300 ตัว และเป็นการแปรรูปอาหาร เช่น (ตากแห้ง) ให้กับแพะในฤดูแล้งที่เกษตรกรหาวัตถุดิบได้ยาก นอกจากนี้ระบบการผลิตอาหารต้นทุนต่ำเกษตรกรยังสามารถนำไปผลิตอาหารแพะเพื่อจำหน่ายเป็นการต่อยอดสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร สามารถประยุกต์ใช้ระบบผลิตอาหารต้นทุนต่ำกับการผลิตอาหารสัตว์ชนิดอื่นต่อไปได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษากับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงสัตว์บ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่มีฟาร์มขนาดกลาง (จำนวนแพะไม่เกิน 300 ตัว) เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อขยายผลไปยังกลุ่มผู้เลี้ยงแพะที่มีฟาร์มขนาดเล็ก และฟาร์มขนาดใหญ่ต่อไป

6. สรุป

ด้านระบบโรงเรือนตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และระบบการผลิตอาหาร โรงตากแห้งตอบสนองความต้องการของเกษตรกร ไม่เกิดการสูญเปล่าจากกระถิน หญ้า ที่มีการตัดเผื่อ มีอาหารสำรองเพียงพอ ควบคุมต้นทุนอาหารและการเลี้ยงได้ มีรายได้เสริมจากโรงตากนอกเหนือจากผลิตอาหาร เช่น หญ้าแพงโกล่า ข้าวโพด สำหรับผู้เลี้ยงกระต่ายเนื้อ หนูและนก สามารถผลิตอาหารอัดเม็ดได้ 6,000 กิโลกรัมต่อปี (102,000 บาทต่อปี) จากการวิเคราะห์ต้นทุนและการใช้ระบบการผลิตอาหาร กรณีกลุ่มผู้เลี้ยงแพะบ้านหนองหอย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ การใช้เครื่องสับย่อยแบบละเอียดของระบบผลิตอาหาร สับย่อยกระถิน 1,000 กิโลกรัมต่อวัน ของฟาร์ม ต่อปีลดต้นทุนได้ 45,296.4 บาทต่อปี และที่สำคัญลดปริมาณการเกิดเศษไม้กระถินเหลือทิ้งและการเผาทำลายทิ้งได้ การเลือกเครื่องสับย่อยอาหารจึงสำคัญกับผู้เลี้ยงรายย่อย (จำนวนแพะน้อย) เช่นกัน กรณีระบบผลิตอาหารสำหรับระบบฟาร์มที่มีแพะ 100 ตัว ในการศึกษาระบบผลิตอาหารสำหรับแพะเนื้อใช้เงินลงทุนเท่ากับ 162,950 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับร้อยละ 45.14 และมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี 3 เดือน กรณีผลิตอาหารเม็ด 6,000 กิโลกรัม สร้างมูลค่าเพิ่มจากการผลิตอาหารได้ 28,260 บาทต่อปี ซึ่งเป็นกรณีเกษตรใช้เวลาว่างจากงานฟาร์มและเกษตรมาผลิตอาหาร

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตามสัญญาให้ทุนเพื่อดำเนินโครงการ เรื่อง การยกระดับมูลค่าเศรษฐกิจฐานรากด้วยการเพิ่มความเข้มแข็งเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะเนื้อในพื้นที่ตอนบน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และข้อเสนอโครงการย่อยการพัฒนาเทคโนโลยีพร้อมใช้สำหรับการจัดการฟาร์มที่เหมาะสมกับเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะเนื้อในพื้นที่ตอนบน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2567). ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ รายจังหวัด 2565. เข้าถึงได้จาก https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-

ict/report/3 9 6 -report-thailand-livestock/reportservey 2565/1711-province-2565. ค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2567.

[2] สำนักงานจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. (2564). ข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาการเกษตรรายสินค้าของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประจำปีงบประมาณ 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.opsmoac.go.th/prachuapkhirikhan-dwl-files-412791791842 ค้นเมื่อ 2 ธันวาคม 2564.

[3] เอกพันธ์ สุขมูลศิริ, รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2564). การพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตวแบบเม็ด.วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 16(3).

[4] สมเกียรติ ประสานพานิช,จำเริญ เที่ยงธรรม, สิทธิชัย แก้วสุวรรณ์ และ นครไชย อันชื่น. (2566). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วยกระถิน.เข้าถึงได้จาก http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/50/animal/08_animal/animal08.htm. ค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2566.

[5] ปิ่น จันจุฬา, พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และ สุธา วัฒนสิทธิ์. (2566). ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะกระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2555. เข้าถึงได้จาก http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/11127 ค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2566.

[6] Artiles-Ortega, Einar, et al.(2022) Performance, Rumen Microbial Community and Immune Status of Goat Kids Fed Leucaena leucocephala Post-weaning as Affected by Prenatal and Early Life Nutritional Interventions. Frontiers in Microbiology 12 (2022): 4376.

[7] โสภณ ชินเวโรจน์. (2567). คู่มือคำแนะนำการให้อาหารแพะเนื้อ. เข้าถึงได้จาก https://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/pdf/and/goat-feed.pdf. ค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2567.

[8] ซารีนา สือแม และ เทียนทิพย์ ไกรพรม. ผลของการทดแทนกระถินเป็นแหล่งอาหารหยาบต่อสมรรถภาพการผลิตแพะและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ.

[9] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2545). หญ้าเนเปียร์. เอกสารคำแนะนำกรมปศุสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: นนทบุรี.

[10] พเยาว์ สายทองสุข. (2567). การยกระดับมูลค่าเศรษฐกิจฐานรากด้วยการเพิ่มความเข้มแข็งเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะเนื้อ ในพื้นที่ตอนบน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SEMI-AUTOMATIC INCENSE PRESS

เฉลิมชัย กุลเลียบ[1] รพไทย ถวิลวงษ์[1] ธนวุฒิ พวงศรี[1]
นิพนธ์ บุญจรัญ[1] ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: paramet.ba@rmuti.ac.th*
Chalermchai Kullieb[1] Ropthai Tawinwong [1] Thanawut Puangsri [1]
Nipon Boojarun[1] and Paramet Baowan[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Isan Khon Kaen Campus
E-mail: paramet.ba@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

จากการศึกษากระบวนการผลิตธูปของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน หมู่บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรจัตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นอีกหนึ่งกลุ่มที่มีการก่อตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในด้านการผลิตธูป ซึ่งสามารถนำไปประกอบในพิธีทางศาสนาและประเพณีต่างๆ จากการศึกษาพบว่า กระบวนการผลิตธูปของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนยังมีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพ โดยบางขั้นตอนต้องอาศัยแรงงานคน ส่งผลให้เกิดความล่าช้า ขณะเดียวกันเครื่องอัดธูปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีปัญหาความร้อนสะสมขณะทำงาน ทำให้ต้องหยุดการทำงานเป็นระยะเพื่อให้เครื่องเย็นตัวก่อนเริ่มการผลิตต่อ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เสียโอกาสทางธุรกิจและไม่สามารถเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนได้อย่างเต็มที่ โดยเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น ทำงานโดยใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ผสมผสานกับกลไกทางกล ซึ่งช่วยลดการใช้แรงงานคน ควบคุมความสม่ำเสมอของขนาดธูป และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ดียิ่งขึ้น

จากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นได้คะแนนร้อยละ 82.00 อยู่ในระดับดี และจากการตรวจสอบคุณภาพของธูปที่ผลิตได้พบว่า ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2345-5220)

Abstract

From the study of the incense production process by the community enterprise group in Ban Pa Sang, Pa Sang Subdistrict, Chaturaphak Phiman District, Roi Et Province, it was found that this group is one of the community enterprises engaged in incense production. The incense is used in various religious and traditional ceremonies. However, the study revealed that the group still faces efficiency limitations in the production process. Some steps rely on manual labor, causing delays. Additionally, the current incense pressing machines tend to overheat during operation, requiring frequent pauses to allow the machine to cool down before continuing production. This is one of the factors that causes the group to miss business opportunities and prevents them from increasing their community income effectively. The semi-automatic incense pressing machine developed in this study operates using a motor-driven system combined with mechanical components. This system helps reduce the need for manual labor, maintains consistency in incense size, and improves overall production efficiency.

According to expert evaluations, the developed semi-automatic incense pressing machine received a score of 82.00%, which is considered good. Furthermore, quality inspections of the produced incense found that the deviation tolerance did not exceed 5%, which complies with the Thai Industrial Standard (TIS 2345-5220).

1. บทนำ

ธูปเป็นสิ่งที่ใช้ในการสักการบูชาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ เพื่อบูชาเจ้าหรือทำให้เทพเจ้าพอใจด้วยของหอม ในอดีตธูปทำมาจากไม้เนื้อหอมหลายชนิด เช่น ไม้จันทร์ขาว จันทน์เทศ กำยาน ไม้กฤษณา หรือกันเกรา โดยการนำไม้เหล่านี้มาบดเป็นผงละเอียดและใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตธูป ธูปไทยในอดีตมีลักษณะคล้ายธูปจีนที่ทำจากไม้หอม ซึ่งมีควันธูปละเอียดไม่ระคายเคืองจมูกและตา ในปัจจุบันเนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไป วัตถุดิบไม้หอมที่ใช้ผลิตธูปมีราคาสูงขึ้น ทำให้ผู้ผลิตหันมาใช้ไม้ยางพาราที่ราคาถูกกว่า และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไม้จันทร์ขาว เช่น มีสีขาวนวลและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ในประเทศไทยที่มีศาสนาพุทธเป็นศาสนาประจำชาติ การกราบไหว้บูชาหรือการประกอบพิธีกรรมทางศาสนา จำเป็นต้องใช้ธูปเป็นวัสดุสำคัญ ซึ่งส่งผลให้ความต้องการใช้ธูปยังคงมีอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลและพิธีสำคัญต่าง ๆ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน หมู่บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรจัตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นกลุ่มที่มุ่งเน้นการผลิตธูปเพื่อนำไปใช้ในพิธีทางศาสนาและประเพณีต่างๆ พบว่าเครื่องอัดธูปที่ใช้ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความร้อนสะสมทำให้ต้องหยุดพักเครื่องบ่อยครั้งและบางกระบวนการผลิตยังต้องใช้แรงงานคน ส่งผลให้เกิดความล่าช้าและไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการ

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติ ควบคุมขนาดของธูปให้สม่ำเสมอและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโดยไม่ต้องหยุดเครื่องบ่อยครั้ง เครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติที่ออกแบบนี้สามารถตอบสนองความต้องการในการเพิ่มกำลังการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

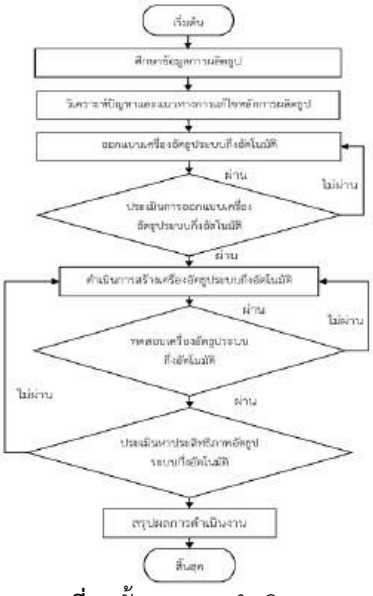
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.1.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติ

1.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติ

2. วิธีการดำเนินงาน

คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้มีการกำหนดขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน ออกแบบและสร้าง เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ ในรูปแบบ Flow Chart เพื่อวางแผนการดำเนินงานให้ชัดเจนและตาม แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของสถานประกอบ

คณะผู้ดำเนินงานได้ศึกษาเก็บข้อมูลวิสาหกิจชุมชน บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอ จตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ในสถานประกอบการ โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านป่าสังข์ ผู้ผลิตธูปก้านแดง มีการจัดจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เช่น สปป.ลาว

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ของสถานประกอบการ

2.2 ศึกษาข้อมูลและกระบวนการผลิตธูป

จากการศึกษาข้อมูลและกระบวนการผลิตธูป มีดังต่อไปนี้

รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน โดยขั้นตอนที่ 1 คือการเตรียมวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการผสมผงธูปโดยมีส่วนประกอบคือ ผงก่อ ผงจั่น และน้ำผสมให้เข้ากัน ขั้นตอนที่ 2 คือการนำการก้านธูปไปชุปสีก้านธูปโดยมีส่วนประกอบคือ ผงสีเหลือง ผงสีเขียว และน้ำอุ่น ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำก้านธูปมาชุปสีและนำไปตากแดด ขั้นตอนที่ 3 พนักงานผู้ควบคุมเครื่องทำการเซ็ตอัพเครื่องอัดธูปและนำวัตถุดิบทั้งสองที่เตรียมไว้ นำมาเข้าเครื่องอัดธูปเพื่อทำการผลิต ขั้นตอนที่ 4 พนักงานนำธูปที่ผลิตแล้วไปตากแดด 2-3 ชั่วโมง จากศึกษาการผลิตธูปทำให้ทราบว่ากระบวนการผสมผงธูปใช้เวลา 44 นาที/ครั้ง ใช้พนักงาน 2 คน และต้องมีความเชี่ยวชาญในการผสมผงธูป และเครื่องจักรใช้เวลาในการพัก 60 นาที/การทำงาน 2 ชั่วโมง ใช้พนักงาน 1 คนและต้องมีความชำนาญในการผสมผงธูปและควบคุมเครื่องเป็นอย่างมาก การวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการเดิมนั้น พบว่าขั้นตอนการผสมผงธูป ใช้เวลามากในการผสมผงธูป 1 ครั้ง และเครื่องจักรเกิดการความร้อนและจำเป็นต้องหยุดเครื่องจักร จึงทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ

2.3 วิเคราะห์สาเหตุและแนวทางการแก้ไข

ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ โดยคณะผู้จัดทำได้ใช้แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาได้ดังนี้

รูปที่ 4 แสดงแผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข

การจำแนกปัญหา			
หัวข้อปัญหา	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไขปัญหา
1. เครื่องจักร	- ขาดการซ่อมบำรุง - เครื่องจักรหยุดพักบ่อย - เครื่องจักรเสื่อมสภาพ	-ไม่มีการตรวจเช็ค -ใช้งานมาเป็นเวลานาน	- ออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ
2. วัตถุดิบ	- ใช้เวลามากในการผสมผงธูป	-ปริมาณในการผสม -ไม่มีเครื่องจักรในการทำงาน	- ออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าทางสถานประกอบการกลุ่มวิสาหกิจบ้านป่าสังข์ ยังขาดเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ ในกระบวนการผลิตธูป จึงทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของสถานประกอบการ คณะผู้จัดทำได้ระดมความคิดจากสมาชิกในกลุ่ม ตลอดจนขอคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

คณะผู้จัดทำจึงได้ดำเนินการสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีการแบ่งส่วนประกอบของเครื่องออกเป็นส่วนๆ โดยได้แบ่งแต่ละส่วนไว้ดังรูปที่ 5 ซึ่งจากการสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติตามที่ออกแบบไว้จะได้ดังรูปที่ 6 โดยเครื่องที่สร้างขึ้นจะสามารถผลิตธูปได้ ดังรูปที่ 7

รูปที่ 5 ส่วนประกอบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

จากรูปที่ 5 ส่วนประกอบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบไปด้วย 1. ชุดฐานเครื่องผู้จัดทำได้ศึกษาชนิดของวัสดุต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับคาร์บอนเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ทนต่อแรงที่มากระแทกเพื่อให้มีความเหมาะสม และทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย 2. ชุดอัดธูปมีความแม่นยำในการอัดขึ้นรูป มีความเร็วในการอัดขึ้นรูปธูป และ มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน 3. ชุดป้อนก้านธูปมีความเร็วในการป้อนก้านธูปให้มีความเร็วในการป้อน มีความสารถในการป้อนอย่างสม่ำเสมอ และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ในการออกแบบชุดเครื่องป้อนก้านธูปมีขนาด 300x160x130 เพื่อให้ได้ตามขนาด 4. ชุดถังผสมให้มีความเร็วในการผสมผงธูปที่มีความเร็วในการผสมที่คงที่ ไม่เกิดมลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่นจากการผสม มีความสามารถในการรับภาระจากการผสมผงธูป และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

รูปที่ 6 แสดงเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

รูปที่ 7 ธูปที่ได้จากเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

2.4 ทดสอบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

เมื่อทำการทดสอบระบบการทำงานเบื้องต้นอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอน ต่อไปคือการทดลองการทำงานของเครื่อง ว่าสามารถใช้งานได้ตามกำหนดในขอบเขตและสามารถ ทำงานตามหลักการของเครื่องที่ออกแบบไว้หรือไม่ และเพื่อหาค่าตัวแปรของการอัดธูป โดยให้ ผลลัพธ์เหมาะสม สามารถทำงานได้ และตรงกับขอบเขตที่ต้องการ และสามารถแก้ไขปัญหาของสถาน ประกอบการได้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลองความเร็วขุดป้อนก้านธูป

ชุดตรวจ	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วรอบที่ตรวจสอบ(รอบ/นาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ชุดป้อนก้านธูป	40 (รอบ/นาที)	40.10	40.05	40.01	40.05
	60 (รอบ/นาที)	60.01	60.03	60.01	60.02
	80 (รอบ/นาที)	80.05	80.00	80.01	80.02

จากตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลองหาค่าตัวแปรของความเร็วรอบชุดป้อนก้านธูปที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 40.05 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 60.02 รอบ/นาที และความเร็วรอบที่ 80 รอบ/นาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 80.02 รอบ/นาที ความเร็วที่เหมาะสมคือ 60 รอบ/นาที เนื่องจากสามารถป้อนก้านธูปได้โดยไม่มีการติดขัดของก้านธูป

ตาราที่ 3 บันทึกผลการทดลองความเร็วของชุดถังผสมผงธูป

ชุดตรวจ	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วรอบที่ตรวจสอบ(รอบ/นาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ถังผสมผงธูป	80 (รอบ/นาที)	79	82	84	81.67
	180 (รอบ/นาที)	183	179	182	181.32
	280 (รอบ/นาที)	278	280	284	280.67

จากตารางที่ 3 การทดสอบความเร็วรอบของชุดถังผสมความเร็วรอบ 80 รอบ/นาที มี ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 81.67 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 180 รอบ/นาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 181.33 รอบ/นาที และความเร็วรอบที่ 280 รอบ/นาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 280.67 รอบ/นาที

2.5 ประเมินหาคุณภาพและประสิทธิภาพ

การหาคุณภาพเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นโดยการพิจารณาจากแบบประเมินคุณภาพเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น ในกระบวนการประเมินคุณภาพ แบ่งออกได้เป็น 5 ด้าน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินโดยรวมทุกด้าน

ที่	หัวข้อประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)			ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	($\bar{x}$)
1	คุณภาพด้านหน้าที่ (Function)	4.33	4.00	4.00	4.11
2	คุณภาพด้านการออกแบบ (Design)	3.63	4.00	4.25	3.96
3	($\bar{x}$)	3.75	4.00	3.75	3.83
4	คุณภาพด้านความปลอดภัย (Safety)	3.80	4.40	3.80	4.00
5	คุณภาพด้านวิศวกรรม (Engineering)	4.25	4.50	5.00	4.58
คะแนนรวม		19.76	20.90	20.80	20.49
ค่าคะแนนเฉลี่ยรวม ($\bar{x}$)		3.95	4.18	4.16	4.10

3. ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ ได้มีการดำเนินตาม แผนซึ่งได้ประเมินคุณภาพของเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ ดังนี้ ประเมินคุณภาพเครื่องทั้ง 5 ด้านจะเป็นการสรุปคะแนนที่ ประเมินคุณภาพของเครื่อง โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้องโดยคะแนนคุณภาพด้านหน้าที่ (Function) มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.10 คุณภาพด้านการออกแบบ (Design) มีคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 3.96 คุณภาพด้านประโยชน์ใช้สอย (Usability) มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.83 คุณภาพด้านความปลอดภัย (Safety) มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.00 คุณภาพด้านวิศวกรรม (Engineering) มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.58 และคะแนนเฉลี่ยรวมของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านเท่ากับ 4.10 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน คิดเป็นร้อย ละ 82 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้น เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น อยู่ในเกณฑ์ ดี เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้

ไม่ น้อยกว่ารอยละ 40 เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมจะเห็นได้ว่าก่อนปรับปรุงมีอัตราการผลิต เฉลี่ยอยู่ที่ 270.39 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงมีอัตราการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 402.83 กิโลกรัมต่อ วัน หรือคิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 48.98 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ

3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

3.1.1 เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติในการเขียนแบบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติได้ใช้ SolidWorks ในการออกแบบ ซึ่งได้มีการแบ่งออกเป็นส่วนๆและนำมาประกอบกัน

รูปที่ 8 แสดงเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติ

จากการออกแบบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการสร้างเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติตามที่ออกแบบไว้เพื่อหาประสิทธิภาพ

3.1.2 ชุดฐานเครื่อง มีขนาด 1,100×550×500 มิลลิเมตร 2) เหล็กแผ่น (Steel Plates) หนา 2 มิลลิเมตร 3) เหล็กฉาก (Angle Bar Steel) ขนาด 25x25x2 มิลลิเมตร

3.1.3 ชุดอัดธูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านธูปที่สามารถอัดได้ 3.5±0.2 มิลลิเมตรสามารถอัดธูปที ่มีขนาดความยาวของก้านธูป 260 300 และ 330

3.1.4 ชุดป้อนก้านธูปชุดป้อนก้านธูประบบกึ่งอัตโนมัติมีขนาด 450×600×500 มิลลิเมตรความเร็วในการป้อนก้านธูปสูงสุด 80 เมตร/นาที ใช้มอเตอร์เกียร์ DC 24V ความเร็วสูงสามารถป้อนก้านธูปได้ครั้งละ 1 ก้าน

3.1.5 ชุดผสมผงธูปขนาดของถังผสม 480x750x320 มิลลิเมตรสามารถปรับความเร็วรอบได้

3.1.6 ชุดควบคุมผสมผงธูปควบคุมชุดมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ AC 220V 1 HP 0.75 KWควบคุมชุดป้อนด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะ 4 มิลลิเมตร DC 5-30V SN04 ควบคุมมอเตอร์เกียร์ถังผสมด้วย อินเวอร์เตอร์ AC 220V 1HP 0.75KW

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการผลิตธูปขนาด 260 มิลลิเมตร

	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน)
กระบวนการเดิม	33.80	270.39
กระบวนการใหม่	50.35	402.83
ผลต่าง	+ 16.56 ⇧	+ 132.44 ⇧
ร้อยละ %	+ 48.98 ⇧	+ 48.98 ⇧

จากตารางที่ 5 เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ไม่ น้อยกว่ารอยละ 40 เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม จะเห็นได้ว่าก่อนปรับปรุงมีอัตราการผลิต เฉลี่ยอยู่ที่ 270.39 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงมีอัตราการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 402.83 กิโลกรัมต่อ วัน ผลต่างผลิตได้เพิ่มขึ้น 132.44 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 48.98

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการผลิตธูปขนาด 300 มิลลิเมตร

	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน)
กระบวนการเดิม	40.04	320.34
กระบวนการใหม่	53.35	426.79
ผลต่าง	+ 13.31 ⇧	+ 106.45 ⇧
ร้อยละ %	+ 33.23 ⇧	+ 33.23 ⇧

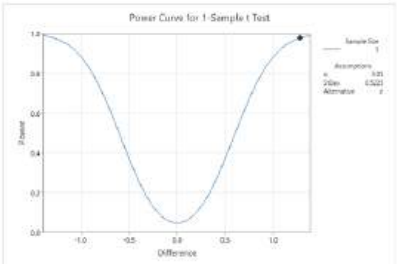
จากตารางที่ 6 เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ไม่ น้อยกว่ารอยละ 40 เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม จะเห็นได้ว่าก่อนปรับปรุงมีอัตราการผลิต เฉลี่ยอยู่ที่ 320.34 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงมีอัตราการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 426.79 กิโลกรัมต่อวัน ผลต่างผลิตได้เพิ่มขึ้น 106.45 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 33.23 ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการเดิม เนื่องจากพนักใช้ความเร็วรอบต่ำกว่าที่ทดสอบจึงทำให้อัตราการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการผลิตธูปขนาด 330 มิลลิเมตร

	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน)
กระบวนการเดิม	47.54	380.33
กระบวนการใหม่	64.75	518.01
ผลต่าง	+ 17.21 ⇧	+ 137.67 ⇧
ร้อยละ %	+ 36.20 ⇧	+ 36.20 ⇧

จากตารางที่ 7 เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ไม่น้อยกว่ารอยละ 40 เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม จะเห็นได้ว่าก่อนปรับปรุงมีอัตราการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 380.33 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงมีอัตราการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 518.01 กิโลกรัมต่อวัน ผลต่างผลิตได้เพิ่มขึ้น 137.67 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 36.20 ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการเดิม เนื่องจากพนักใช้ความเร็วรอบต่ำกว่าที่ทดสอบจึงทำให้อัตราการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

ทำการคำนวณหาขนาดในการเก็บข้อมูลขึ้นอยู่กับระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูล (โดย ทั่วนิยมใช้ร้อยละ 95) และการยอมรับให้มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากน้อยเพียง โดย อาศัยหลักสถิติเข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 12 แสดงขนาดตัวอย่างในการทดลองที่ความเชื่อมั่น 95% ของการผลิตธูป

ตารางที่ 8 แสดงค่าที่แสดงผลจากโปรแกรม MINITAB

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
1.28	5	0.95	0.9780

จากตารางที่ 8 แสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Minitab ผลการวิเคราะห์ในการหาจำนวนรอบในการเก็บข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดยทำการเก็บข้อ มูลจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งผลตามขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้ Sample Size เท่ากับ 5 ตัวอย่าง จึงไม่ต้องทำ การเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมโดยค่าความเชื่อมันที่ร้อยละ 97.80 ซึ่งมากกว่าค่าความเชื่อมันที่กำหนดไว้

3.2.2 การวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการใช้เครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นผลิตสามารถวิเคราะห์เพื่อต้องการ ทราบจุดคุ้มทุนในการผลิตธูประยะเวลาคืนทุนของธูปขนาด 260 มิลลิเมตรจากการลงทุนในการออกแบบและสร้าง เครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติใช้เงินลงทุนจำนวน 47,063.5 บาท ระยะเวลาที่สามารถคืนทุนได้คือ

$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขาย}}$$

$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{47{,}063.5 \text{ บาท}}{21.21 \text{ บาท/กิโลกรัม}}$$

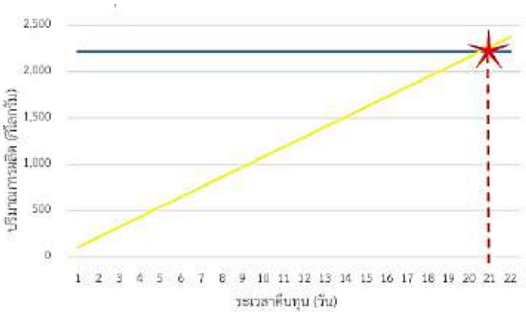
$$= 2{,}218.92 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 2{,}219 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{เมื่อนำมาระยะเวลาเป็นวัน} = \frac{2{,}219 \text{ กิโลกรัม}}{108 \text{ กิโลกรัม}}$$

$$= 21.13 \text{ วัน}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 21 วัน



รูปที่ 13 แสดงแผนภูมิระยะคืนทุนของธูปขนาด 260 มิลลิเมตร

ระยะเวลาคืนทุนของธูปขนาด 300 มิลลิเมตร จากการลงทุนในการออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติใช้เงินลงทุนจำนวน 47,063.5 บาท ระยะเวลาที่สามารถคืนทุนได้ คือ

$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขาย}}$$

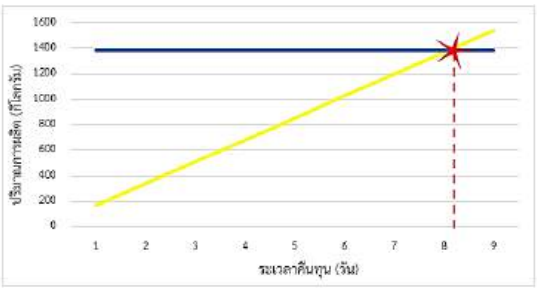
$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{47{,}063.5 \text{ บาท}}{34 \text{ บาท/กิโลกรัม}}$$

$$= 1{,}384.22 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{เมื่อนำมาระยะเวลาเป็นวัน} = \frac{1{,}384.22 \text{ กิโลกรัม}}{170.72 \text{ กิโลกรัม}}$$

$$= 8.10 \text{ วัน}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 8 วัน



รูปที่ 13 แสดงแผนภูมิระยะคืนทุนของธูปขนาด 300 มิลลิเมตร

ระยะเวลาคืนทุนของธูปขนาด 330 มิลลิเมตรจากการลงทุนในการออกแบบและสร้างเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติใช้เงินลงทุนจำนวน 47,063.5 บาท ระยะเวลาที่สามารถคืนทุนได้คือ

$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขาย}}$$

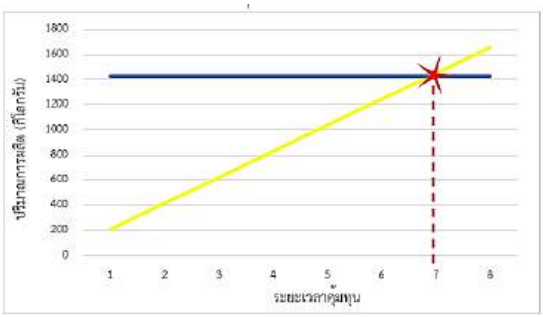
$$\text{ระยะคุ้มทุน} = \frac{47{,}063.5 \text{ บาท}}{33 \text{ บาท/กิโลกรัม}}$$

$$= 1{,}426.17 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{เมื่อนำมาระยะเวลาเป็นวัน} = \frac{1{,}426.17 \text{ กิโลกรัม}}{207.20 \text{ กิโลกรัม}}$$

$$= 6.88 \text{ วัน}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 7 วัน



รูปที่ 13 แสดงแผนภูมิระยะคืนทุนของธูปขนาด 330 มิลลิเมตร

4. สรุปผล

4.1 แบบประเมินการออกแบบของเครื่องอัดธูปกึ่งอัตโนมัติ สรุปผลการ ประเมินการออกแบบเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติจากผู้เชียวชาญ 3 ท่าน มีผลการประเมินเท่ากับ 4.10 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเครื่องอัดธูประบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น อยู่ในเกณฑ์ ดี

4.2 การหาประสิทธิโดยพิจารณาจากการตรวจสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมธูปมอก.(2345-2550) ขนาด 260 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางธูป 3.5 ± 0.2 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 3.58 มิลลิเมตร ขนาดความยาวเนื้อธูป 140 ± 6.5 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 137.72 มิลลิเมตร ธูปขนาด 300 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางธูป 3.5 ± 0.2 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 3.53 มิลลิเมตร ขนาดความยาวเนื้อธูป 180 ± 6.5 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 182.68 มิลลิเมตร ธูปขนาด 330 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางธูป 3.5 ± 0.2 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 3.52 มิลลิเมตร ขนาดความยาวเนื้อธูป 200 ± 6.5 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยรวมที่วัดได้คือ 204.85 มิลลิเมตร จากนั้นตรวจสอบคุณลักษณะที่ต้องการ ประกอบไปด้วย ลักษณะทั่วไปของธูป ตรวจสอบแบบพินิจจากผู้ใช้งานจริง การใช้ตรวจสอบโดยการจุดธูป ธูปขนาด 260 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 31.60 นาที ธูปที่ได้มาตรฐานมอก. 2345-2550 ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 34.71 นาที ธูปขนาด 300 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 41.87 นาที ธูปที่ได้มาตรฐานมอก. 2345-2550 ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 45.86 นาที ธูปขนาด 330 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 51.81 นาที ธูปที่ได้มาตรฐานมอก. 2345-2550 ใช้เวลาในการเผาไหม้เนื้อธูปเฉลี่ยรวมที่ 54.81 นาที ตรวจสอบหาความชื้นและสารที่ระเหยได้ คือเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยของความชื้น 0.096 %

6. เอกสารอ้างอิง

การอ้างอิงในบทความ อาจใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขหรือแบบนาม – ปี ตามมาตรฐานสากล เอกสารอ้างอิงท้ายบทความ เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความรายละเอียดของเอกสารอ้างอิงประกอบด้วยชื่อสกุลผู้เขียน.(ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือหรือชื่อของบทความหรือชื่อของเอกสารที่พิมพ์. สำนักหรือสถานที่พิมพ์ ให้เรียงลำดับตามที่ปรากฏในเนื้อเรื่อง และให้เคร่งครัดกับแบบฟอร์มดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้

[1] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย,สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2559 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุตสาหกรรมธูป

[2] (สมชาย, 2550; Coelli et al., 1997) ทฤษฎีเกี่ยวกับการหาประสิทธิภาพในการทำงาน

[3] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน , 2537. ทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุม.

[4] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน , 2537). ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบ.

[5] สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2558. 7 Quality Control Tools

[6] รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ , 2553. ทฤษฎีระบบไฟฟ้าอุณหภูมิสายไฟและฉนวกไฟฟ้า.

[7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมธูป มอก.2545

การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำทุเรียนผสมมังคุด

The Development of Beverage from Durian mixed Mangosteen

วิทิต เลิศนิมิตมงคล[1*], นฤมล มงคลธนวัฒน์[2], สุรีย์พร บุญนา[3], สรัลรัตน์ พ่วงบริสุทธิ์[4] และนิภาพร คังคะวิสุทธิ์[5]
[1,2,3,4,5] สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและธุรกิจ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Witit Lertnimitmongkol[1*], Naruemon Mongkontanawat [2], Sureeporn Boonna[3], Saranrat Phuangborisut[4] and Nipaporn Kangkawisut
[1,2,3,4,5]Department of Food Innovation and Business, Faculty of Agro-Industry Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus.
E-mail: witit_le@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรและวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำทุเรียนผสมมังคุด โดยศึกษาอัตราส่วนร้อยละของทุเรียนต่อมังคุดที่เหมาะสม ด้วยการวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ได้สิ่งทอดลอง 6 ตัวอย่าง ได้แก่ 30:0, 27:3, 24:6, 21:9, 18:12 และ15:15 ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ 5 อัตราส่วนทุเรียนร้อยละ 18 ต่อมังคุดร้อยละ 12 มีคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส สูงสุด และเป็นที่ยอมรับมากที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.06, 6.86, 7.14, 6.98 และ7.02 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 52.33 ค่าสีแดง (a*) -0.80 และค่าสีน้ำเงิน (b*) 1.02 วัดค่าความข้นหนืด 27.00 cP การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ค่าของแข็งที่ละลายได้ (TSS) 10 ^{o}brix, ค่าปริมาณความชื้นอิสระ (aw) 0.872, ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) 5.03 เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ในสัปดาห์แรก ผลที่ได้คือ ไม่พบ ยีสต์ รา และจุลินทรีย์ทั้งหมด และจากการวัดค่าการต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50}DPPH 3.97 µg/ml และ Inhibition (DPPH) 96.71 % ซึ่งปริมาณมังคุดมีผลทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ : เครื่องดื่ม, ทุเรียน, มังคุด

Abstract

The objective of this research was developed a formula and analyze the quality of Beverage from Durian mixed Mangosteen. The experiment was designed using a Randomized Complete Block Design (RCBD) study the amount percent of Durian per Mangosteen to all 6 sample are 30:0, 27:3, 24:6, 21:9, 18:12 and 15:15. The result revealed that formulation number 5 contained 18% of Durian and 12% of Mangosteen that received the highest sensory scores of color, aroma, taste, texture and most acceptable with the scores of 7.06, 6.86, 7.14, 6.98 and 7.02 respectively. Result of the lightness (L*) 52.33, the redness (a*) -0.80, yellowness (b*) 1.02, viscosity 27.00 cP, total soluble solids (TSS) 10 ^{o}brix, aw 0.872 and pH 5.03. Result of the microbiological quality, in the first week, no yeast, mold, and microorganisms were not found. The best formula was tested for antioxidant and microbiology

properties found that IC_{50}DPPH 3.97 µg/ml, Inhibition (DPPH) 96.71%. The amount of mangosteen also increases the antioxidant value.

Keywords: Beverage, Durian, Mangosteen

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

Design and Development of A Laptop Storage Prototype System for Department of Mechatronics Engineering

สิงห์แก้ว ป๊อกเทิ่ง[1*] สุกัญญา เชิดชูงาม[2] รุ่งโรจน์ สุพงษ์วิบูลพันธ์[3] และ ยงยุทธ์ เกาสังข์[3]
[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Singkaew Pokterng[1*] Sukanya Cherdchoongam[2] Rungrot Suphongwibunphan[3] and Yongyut Kaosang[4]
[1] Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail: singkaew.p@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา ให้สามารถบริหารจัดการและอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์พกพาผ่านหน้าตู้จัดเก็บได้อย่างชัดเจน ระบบจัดเก็บที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยช่องสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาจำนวน 20 ช่อง พร้อมระบบแสดงผลสถานะผ่านไฟ LED สีเขียว ซึ่งจะติดเมื่อไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาภายในช่อง โดยตรวจสอบสถานะภายในตู้โดยใช้ Load Cell ที่สามารถตรวจจับน้ำหนักในช่วง 3 - 4.5 กิโลกรัม พร้อมติดตั้งกลอนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถรองรับน้ำหนักได้สูงสุด 60 กิโลกรัม เพื่อเสริมความปลอดภัยในการจัดเก็บอุปกรณ์ โดยระบบควบคุมการทำงานใช้ไฟฟ้า 12 โวลต์ ขณะที่ระบบจัดเก็บโดยรวมใช้แหล่งจ่ายไฟหลัก 220 โวลต์ ตลอดระยะเวลาการทำงานเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและเสถียร
คำหลัก คอมพิวเตอร์พกพา ระบบจัดเก็บ ตรวจสอบสถานะ โหลดเซลล์

Abstract

This research aims to design and develop a laptop storage system that enables efficient management and clear status monitoring directly from the front of the storage cabinet. The developed system consists of 20 individual compartments for storing laptops, each equipped with a green LED indicator that illuminates when the compartment is empty. The presence of a laptop is detected using load cells capable of measuring weights between 3 and 4.5 kilograms. For enhanced security, each compartment is secured with an electromagnetic lock that can withstand up to 60 kilograms. The control system operates on a 12-volt power supply, while the entire storage unit is powered by a 220-volt main supply to ensure continuous and stable operation.
Keywords: Laptop, Storage, Monitoring, Load cell

1. บทนำ

ระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาของสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในปัจจุบันใช้ตู้เก็บของเก็บคอมพิวเตอร์พกพารวมกันในหนึ่งตู้ โดยการเรียนการสอนของสาขาวิชามีการใช้งานคอมพิวเตอร์พกพาในทุกวัน ผู้สอนจะเป็นผู้เปิดประตูตู้เก็บของ เพื่อให้นักศึกษานำคอมพิวเตอร์ไปใช้งาน การดำเนินการดังกล่าวทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าคอมพิวเตอร์พกพาแต่ละเครื่องถูกใช้โดยนักศึกษาคนใด กรณีที่นักศึกษาใช้งานคอมพิวเตอร์พกพาหลังจากเลิกเรียนอาจารย์ในสาขาวิชาจะไม่สามารถติดตามหรือทราบได้ว่าคอมพิวเตอร์พกพาอยู่กับนักศึกษาคนใดมีความเสี่ยงต่อการสูญหายหรือถูกลักขโมยได้

จากปัญหาดังกล่าวนี้จึงได้มีแนวคิดในการจัดทำตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาแบบแสดงสถานะของการใช้งานได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์ในด้านการรักษาความปลอดภัยและการจัดการทรัพย์สินที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตู้จัดเก็บนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถตรวจสอบและแสดงสถานะของคอมพิวเตอร์พกพาในแต่ละช่องจัดเก็บได้อย่างชัดเจนผ่านการใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์และการสื่อสารข้อมูล การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา ตู้จัดเก็บนี้มีช่องสำหรับเก็บคอมพิวเตอร์พกพาจำนวน 1 ตู้เป็นตู้ละ 20 ช่องจัดเก็บ ซึ่งในแต่ละช่องจะติดตั้งโหลดเซลล์ (Load Cell) ที่มีหน้าที่ตรวจจับคอมพิวเตอร์พกพาภายในช่องนั้นๆ เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลไปยัง ESP32 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ หากตรวจพบว่ามีคอมพิวเตอร์อยู่ในช่องหลอดไฟหน้าช่องจัดเก็บจะดับเพื่อบ่งบอกว่าคอมพิวเตอร์มีอยู่ภายในช่องจัดเก็บ แต่ถ้าไม่มีคอมพิวเตอร์อยู่ หลอดไฟหน้าช่องจัดเก็บจะติดเพื่อแจ้งเตือนแสดงสถานะที่บ่งบอกว่าไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาในจัดเก็บ โดยคาดการณ์ว่าระบบที่จัดทำขึ้นจะสามารถช่วยให้ผู้ดูแลและผู้ใช้งานทราบถึงสถานะของคอมพิวเตอร์พกพาแต่ละเครื่องได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว

2. วัตถุประสงค์

2.1 ออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์พกพาโดยแสดงผลหน้าตู้จัดเก็บ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ณัฐพัชญ์ และ ภาณุพงศ์ [1] ได้พัฒนาระบบชั้นวางของอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะช่วยส่งเสริมศักยภาพการจัดการสินค้าให้กับร้านค้า โดยการนำเทคโนโลยีของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาช่วยตรวจสอบสินค้าบนชั้นวางสินค้าแทนที่มนุษย์ ทำให้ระบบสามารถตรวจสอบจำนวนสินค้าที่มีอยู่บนชั้นวางได้โดยอัตโนมัติ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องมือและการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยทำการทดสอบการตรวจจับระยะห่างด้วยเซนเซอร์ อัลตร้าโซนิคกับสินค้าแต่ละชิ้นบนชั้นวาง ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเริ่มต้นของระบบผ่านทางแอปพลิเคชัน ได้แก่ ขนาดของชั้นวาง ขนาดของสินค้าแต่ละชนิด ระบบจะทำการคำนวณจำนวนสินค้าที่สามารถวางบนชั้นวางและจำนวนสินค้าคงเหลือบนชั้นวางจะถูกตรวจสอบตามค่าระยะทางที่คำนวณได้จากค่าระยะที่เซนเซอร์ตรวจพบ ดังนั้นผู้ใช้สามารถตรวจสอบสินค้าคงเหลือบนชั้นวางด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนา และในกรณีที่สินค้าหมดระบบจะสามารถทำการแจ้งข้อความไปยังผู้ใช้งาน

วรินทร [2] ได้พัฒนาระบบยืมคืนครุภัณฑ์งานเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ปรับเปลี่ยนกระบวนการดำเนินให้คล่องตัวขึ้นและเป็นการจัดทำฐานข้อมูลครุภัณฑ์งานเทคโนโลยีสารสนเทศในรูปแบบข้อมูลสารสนเทศเพื่อเพื่อการแจ้งซ่อมและติดตามงานอาคารสถานที่ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศเชิงวัตถุ (OOP: Object Oriented Programming) และระเบียบวิธีพัฒนาซอฟต์แวร์แบบเอจาย (Agile Methodology) ใช้ภาษาโปรแกรม PHP (Personal Home Page) ในรูปแบบกรอบการดำเนินงาน Laravel Framework จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบระบบฐานข้อมูล

(Database System) เป็นเครื่องมือในการดำเนินงานเป็นเครื่องมือในการจัดการระบบฐานข้อมูลของการพัฒนาระบบ

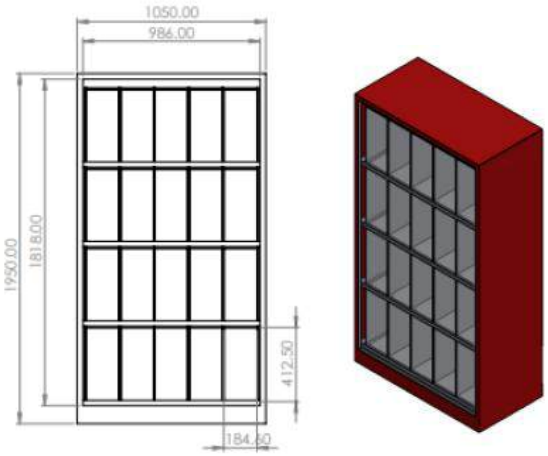
รณชัย และคณะ [3] ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ เพื่อช่วยในการนับและระบุจำนวนของวัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและมีความหลากหลายในหน่วยงาน การออกแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง โหลดเซลล์เพื่อรับน้ำหนักของวัตถุและอุปกรณ์ ส่วนที่สอง ส่วนควบคุมระบบซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำการประมวลผลและควบคุมการแสดงผล และส่วนที่สาม ส่วนแสดงผลจากการชั่งและการนับจำนวนอุปกรณ์ ผลการพบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติมีความผิดพลาดสูงสุดเพียง 0.2% และสามารถทำการแจ้งเตือนได้อย่างแม่นยำ

ธันยรัศมิ์ และ บังอร [4] ได้พัฒนาระบบการยืม-คืนวัสดุครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อ 1) พัฒนาระบบการยืม-คืนวัสดุครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบ และ 3) ประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบ โดยกระบวนการพัฒนาระบบแบบ System Development Life Cycle (SDLC) โดยใช้ภาษา PHP และเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ดังนี้

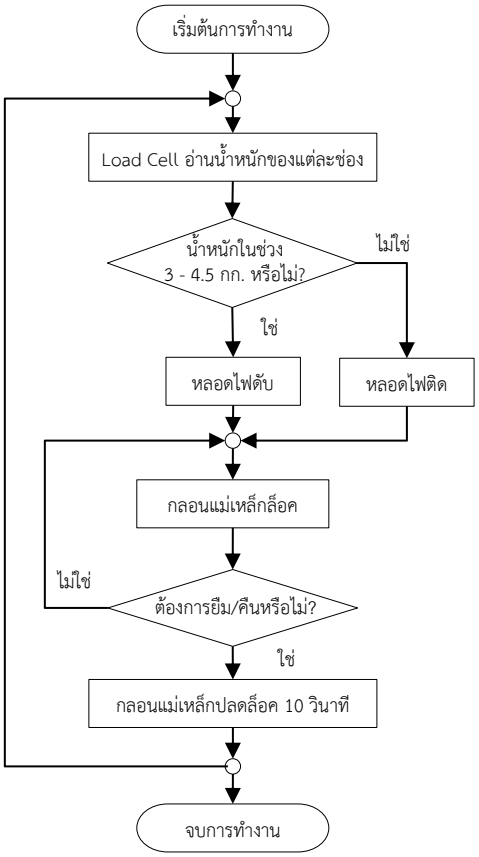
3.1 ออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบ

การออกแบบตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อให้สามารถจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาได้อย่างเป็นระเบียบ ตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาถูกออกแบบและผลิตจากเหล็ก มีขนาด กว้าง 1,050 มิลลิเมตร, ยาว 535 มิลลิเมตร, และ สูง 1,950 มิลลิเมตร ภายในตู้มีช่องจัดเก็บทั้งหมด 20 ช่อง (ขนาดช่อง กว้าง 412.5 มิลลิเมตร, ยาว 965 มิลลิเมตร, และ สูง 470 มิลลิเมตร) จำนวน 4 ชั้น ชั้นละ 5 ช่องจัดเก็บ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา

เมื่อทำการออกแบบตู้จัดเก็บดังรูปที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความต้องการใช้งานจากอาจารย์ในสาขาวิชาและนักศึกษาผู้ใช้งานมาออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาโดยใช้ Load cell ช่วยในการตรวจเชคช่องจัดเก็บว่ามีคอมพิวเตอร์พกพาอยู่หรือไม่ โดยจะทำการเชคที่น้ำหนัก 3 - 4.5 กิโลกรัม หาก Load cell ตรวจพบน้ำหนักต่ำกว่า 3 กิโลกรัม แสดงว่าไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ จากนั้นไฟแสดงสถานะหน้าช่องจัดเก็บจะติดเพื่อแจ้งเตือนว่าไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ หาก Load cell ตรวจพบน้ำหนักมากกว่า 3 กิโลกรัม แสดงว่ามีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ ไฟแสดงสถานะหน้าช่องจัดเก็บจะดับเป็นการแสดงสถานะว่ามีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องดังกล่าว

นอกจากหลอดไฟแสดงสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา แล้วแต่ละช่องจัดเก็บจะมีประตูพร้อมกลอนแม่เหล็กล็อคในแต่ละช่องเพื่อป้องกันการสูญหายหรือถูกลักขโมย โดยกรณีที่นักศึกษาต้องการยืม-คืน เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ จะต้องส่งข้อมูลเพื่อขอยืม-คืน เมื่อส่งข้อมูลเสร็จตู้จัดเก็บในช่องนั้นจะทำการตัดไฟเพื่อปลดล็อคแม่เหล็ก เป็นเวลา 10 วินาที หลังจาก 10 วินาที ระบบจะจ่ายไฟเพื่อให้กลอนแม่เหล็กล็อคช่องเก็บคอมพิวเตอร์พกพา

3.2 การคำนวณกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมด

จากขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 2 ผู้วิจัยได้จัดเตรียมอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานทั้งหมด และได้รวบรวมค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของระบบทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้

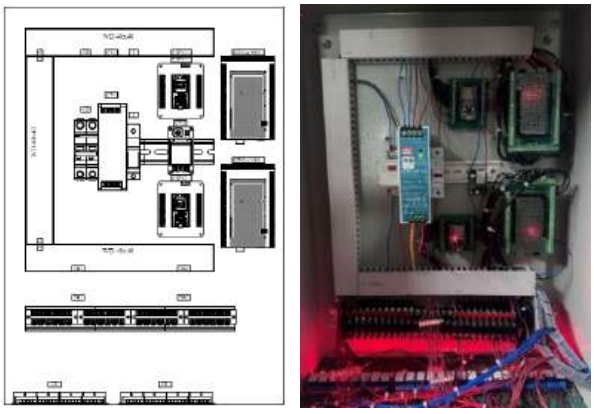
รายการอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	กระแสไฟฟ้า (mA)	รวมกระแสไฟฟ้า (mA)
รีเลย์	40	15	600
ESP32	2	300	600
Arduino Mega 2560	2	40	80
โหลดเซลล์ 5 กิโลกรัม	20	1.5	30
กลอนแม่เหล็กไฟฟ้า	20	200	4,000
หลอดไฟสัญญาณ	20	20	400
		รวม	5,710

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็น รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ทำงานของระบบจัดเก็บ พบว่าระบบต้องให้กระแสไฟฟ้ารวมไม่น้อยกว่า 5,710 มิลลิแอมป์ โดยถ้ากำหนดค่าความปลอดภัยในการทำงานที่ร้อยละ 20 ของกระแสไฟฟ้ารวม ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า 6,852 มิลลิแอมป์

การคำนวณขนาด Switching Power Supply ที่ใช้พิจารณาจากแรงดังไฟฟ้า 12 VDC ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ มีค่าเท่ากับแรงดังไฟฟ้าคูณด้วยกระแสไฟฟ้าที่ใช้ นั้นคือ (12 V) x (6.852 A) มีค่าเท่ากับ 82.224 Watt ถ้ากำหนดให้เผื่อความปลอดภัยร้อยละ 30 ของแรงดันไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นขนาด Switching Power Supply ที่ควรใช้จะต้องไม่น้อยกว่า 107 Watt

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ Switching Power Supply แรงดังไฟฟ้า 12 VDC กระแสไฟฟ้า 10 A กำลังไฟ 120 Watt

หลังจากเลือกอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมครบแล้ว ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ในตู้ควบคุม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3



(ก) (ข)

รูปที่ 3 ออกแบบตู้ควบคุม (ก) และการติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม (ข)

4. การทดสอบระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา

4.1 การทดสอบการทำงานของโหลดเซลล์

การทดสอบการทำงานของโหลดเซลล์ในระบบตรวจจับอุปกรณ์ โดยเมื่อมีคอมพิวเตอร์พกพาอยู่ภายในช่องจัดเก็บ โหลดเซลล์จะทำการวัดค่าน้ำหนักของอุปกรณ์ หากน้ำหนักที่

ตรวจวัดได้อยู่ในช่วงค่าที่กำหนด คือ 3 - 4.5 กิโลกรัม ระบบจะพิจารณาว่ามีอุปกรณ์อยู่ภายในช่องจัดเก็บ ส่งผลให้ไฟแสดงสถานะด้านหน้าช่องจัดเก็บดับลง แสดงดังรูปที่ 4

(ก) (ข)

รูปที่ 4 การตรวจจับสถานการณ์มีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา (ก) ไฟติด (ข) ไฟดับ

จากรูปที่ 4 แสดงผลการตรวจจับสถานการณ์มีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา โดยรูปที่ 4 (ก) แสดงไฟหน้าช่องจัดเก็บติดแสดงว่าระบบตรวจพบน้ำหนักน้อยกว่า 3 กิโลกรัม นั้นคือไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ รูปที่ 4 (ข) แสดงไฟหน้าช่องจัดเก็บดับแสดงว่าระบบตรวจพบน้ำหนักมากกว่า 3 กิโลกรัม นั้นคือมีคอมพิวเตอร์พกพาในช่องจัดเก็บ

รูปที่ 5 การทดสอบการทำงานของกลอนแม่เหล็กไฟฟ้าระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา

4.2 การทดสอบการทำงานของกลอนแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดสอบการทำงานของกลอนแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบยืม/คืน ระบบจะสั่งให้กลอนแม่เหล็กไฟฟ้าปลดล็อคเพื่อให้สามารถเปิดช่องจัดเก็บและนำอุปกรณ์เข้า-ออกได้ขณะเดียวกัน เมื่อผ่านไป 10 วินาที กลอนแม่เหล็กไฟฟ้าจะกลับมาล็อคโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่จัดเก็บอยู่ภายในช่อง

จากรูปที่ 5 แสดงการทดสอบการทำงานของกลอนแม่เหล็กไฟฟ้าระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาทั้ง 20 ช่อง จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบโดยนักศึกษาจำนวน 20 คน พบว่า มีโดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจต่อตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา ในระดับดีมาก (4.75) โดยพึงพอใจมากสุดในเรื่อง ประสิทธิภาพของไฟแสดงสถานะ (ไฟติดถูกต้องตามสถานะหรือไม่) ในระดับมากที่สุด (4.85) และความพึงพอใจน้อยที่สุดในเรื่อง ประสิทธิภาพของระบบล็อคแม่เหล็ก (เปิด-ปิด ได้ตามต้องการหรือไม่) ในระดับมากที่สุด (4.55) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งาน

หัวข้อรายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ระดับ
1. ความสะดวกในการใช้งานของตู้จัดเก็บ	4.80	มากที่สุด
2. ความแข็งแรงและความทนทานของโครงสร้างตู้จัดเก็บ	4.70	มากที่สุด
3. ประสิทธิภาพของระบบล็อคแม่เหล็ก (เปิด-ปิด ได้ตามต้องการหรือไม่)	4.55	มากที่สุด
4. ความถูกต้องของระบบชั่งน้ำหนัก (ตรวจวัดน้ำหนักคอมพิวเตอร์พกพาได้)	4.80	มากที่สุด
5. ประสิทธิภาพของไฟแสดงสถานะ (ไฟติดถูกต้องตามสถานะหรือไม่)	4.85	มากที่สุด
6. การใส่รหัสประจำตัวนักศึกษาเพื่อเปิดตู้	4.70	มากที่สุด
7. ความรวดเร็วของระบบในการตอบสนอง (เวลาเปิดตู้ , เวลาอัปเดตสถานะ)	4.65	มากที่สุด
8. โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจต่อตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาระดับใด	4.75	มากที่สุด

5. สรุป

การออกแบบและพัฒนาระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อให้การบริหารจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ โดยระบบสามารถแสดงผลสถานะผ่านหน้าตู้จัดเก็บได้อย่างชัดเจน ระบบจัดเก็บที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยช่องสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาจำนวน 20 ช่อง พร้อมทั้งระบบแสดงผลสถานะผ่านไฟ LED สีเขียว ซึ่งจะติดเมื่อไม่มีคอมพิวเตอร์พกพาภายในช่อง เพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบสถานะการจัดเก็บได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการตรวจสอบอุปกรณ์ภายในตู้โดยใช้ Load Cell ที่สามารถตรวจจับน้ำหนักในช่วง 3 กิโลกรัม - 4.5 กิโลกรัม สำหรับระบบควบคุมการทำงาน ใช้ไฟฟ้า 12 โวลต์ พร้อมติดตั้งกลอนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถรองรับน้ำหนักได้สูงสุด 60 กิโลกรัม เพื่อเสริมความปลอดภัยในการจัดเก็บอุปกรณ์ ขณะที่ระบบจัดเก็บโดยรวมใช้แหล่งจ่ายไฟหลัก 220 โวลต์ ตลอดระยะเวลาการทำงาน เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและเสถียร โครงการนี้ได้นำระบบไปทดสอบร่วมกับกระบวนการยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพา พร้อมทั้งประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 20 คน ซึ่งผลการประเมินพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ทั้งในด้านความสะดวก ความถูกต้องในการตรวจสอบสถานะ และความปลอดภัยของอุปกรณ์ในการจัดเก็บ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและทดลองใช้ระบบ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดมา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐพัชญ์ ศรีราจันทร์ และ ภาณุพงศ์ แสงสว่าง, “การพัฒนาระบบชั้นวางของอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง”, วารสารวิทยสารสนเทศและเทคโนโลยี, 2(1): (2021), หน้า 41–52.

[2] วรินทร ซอกหอม, “ระบบยืมคืนครุภัณฑ์งานเทคโนโลยีสารสนเทศคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา”, งานวิจัยเพื่อการพัฒนางานประจำรุ่นที่ 8 มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564.

[3] รณชัย มรกตศรีวรรณ, วชิรปัญญา ปัญญาว่อง และ สาคร แถวโนนงิ้ว, “เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัต”, Journal of Industrial Technology and Innovation, 2(2) : (2023), Accepted: 28-08-2023 Available online: 29-08-2023.

[4] ธันยรัศมิ์ ผุริจันทร์ และ บังอร ละเอียดออง, “การพัฒนาระบบการยืม-คืนวัสดุครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น”, วารสารวิชาการ "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ", 10(2) : (2567), หน้า 46–61.

ออกแบบและพัฒนาระบบยืม-คืนสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาของสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

Design and Development of An E-borrow System for Laptops of Department of Mechatronics Engineering

สุกัญญา เชิดชูงาม[1*] สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง[2] ธนวัฒน์ ชุญหชัชวาลกุล และ นรากร ยาคำ[3]
[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Sukanya Cherdchoongam[1*] Singkaew Pokterng[2] Thanawat Chunhachatchawankul[3] and Narakorn Yakarm[4]
[1] Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail: sukanya.che@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบแสดงสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาและสร้างฐานข้อมูลระบบยืมคืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์ เนื่องจากสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ใช้คอมพิวเตอร์พกพาในการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติทำให้มีความยุ่งยากและเสียเวลาในการติดตามสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา จึงได้นำระบบฐานข้อมูลของ Firebase มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างระบบโดยได้จัดทำฐานข้อมูล 5 ส่วนได้แก่ 1) อาจารย์ผู้อนุมัติ 2) ประวัติการยืม-คืน 3) สถานะของช่องเก็บคอมพิวเตอร์พกพา 4) รายชื่อผู้ใช้ 5) ตั้งค่าระบบ โดยใช้ฐานข้อมูลนี้เชื่อมโยงกับเว็บไซต์ด้วยโปรโตคอล HTTP เพื่อนำเสนอข้อมูลผ่านหน้าเว็บไซต์และเป็นตัวกลางการในสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 20 คน ผลการประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.39 จาก 5 นั่นคือมีความพอใจอยู่ในระดับมาก

คำหลัก คอมพิวเตอร์พกพา ระบบยืม-คืน ฐานข้อมูล

Abstract

This research aims to design and develop a system to display the availability status of laptops and to create a web-based database system for e-borrow system for laptops. In the Mechatronics Engineering, laptops are extensively used in practical sessions, making it time-consuming and complicated to track their availability. To address this issue, the Firebase database system was utilized to design and implement the system. The database was structured into five components: (1) instructor approval information, (2) borrowing and return history, (3) status of laptop storage slots, (4) user information, and (5) system settings. This database is integrated with a website using the HTTP protocol to present data on a web interface and to facilitate communication between users and the hardware. A user satisfaction survey was conducted with 20 participants, and the average satisfaction score was 4.39 out of 5, indicating a high level of user satisfaction.

Keywords: Laptops, E-borrow system, Database

1. บทนำ

การทราบข้อมูลของการหยิบยืมอุปกรณ์ของสถานศึกษาเป็นสิ่งสำคัญ หากนักศึกษาหรืออาจารย์ไม่ได้อยู่บริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ก็จะไม่สามารถทราบได้ว่ามีอุปกรณ์พร้อมให้ใช้งานหรือไม่ และไม่สามารถทราบช่วงเวลาที่มีคนหยิบไปใช้ได้ เมื่อเกิดเหตุลักทรัพย์จะไม่สามารถทราบถึงการสูญหายได้ทันท่วงที จึงเป็นเหตุสำคัญที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยอาศัยระบบการสื่อสารที่ได้รับในการพัฒนาแล้วปัจจุบัน เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบอินเทอร์เน็ต เป็นต้น โดยใช้การติดตามสถานะของคอมพิวเตอร์พกพาด้วยLoad cell และส่งข้อมูลไปยังอินเตอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยี IoT (Internet of Thing) ในการติดตามสถานะการ,การมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา ในสถานศึกษา โดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับระบบอินเทอร์เน็ต จะช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์ใดถูกใช้งานอยู่และพร้อมใช้งานหรือไม่ โดยนำระบบแสดงสถานะการมีอยู่มาใช้ควบคู่กับระบบยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยมีความสามารถในการแสดงข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์หากมีการโจรกรรมเกิดขึ้นสามารถตัดสินใจเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาได้ทันการณ์โดยสืบตามประวัติการยืม-คืนผ่านเว็บไซต์ ซึ่งการเก็บข้อมูลประวัติการยืมคืนอุปกรณ์ผ่านเว็บไซต์จะช่วยให้ผู้ดูแลสามารถติดตามข้อมูลย้อนหลังได้ เช่น วันที่และเวลาการยืม และมีการคืนหรือไม่

จากความสำคัญของระบบรักษาความปลอดภัยดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการสร้างระบบยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาด้วยเว็บไซต์โดยใช้หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และการตรวจจับของเซ็นเซอร์ในการส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์การสื่อสารผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยควบคุมผ่านระบบเครือข่ายจากข้อดีดังกล่าวทำให้เราได้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย โดยเว็บไซส์สามารถลงชื่อผู้ใช้เพื่อขอยืมใช้คอมพิวเตอร์ของสาขาและผู้ใช้ยังสามารถตรวจสอบประวัติวันเวลาการยืมคืน ผ่านทางเว็บไซต์ สรุปได้ว่าโครงงานนี้ไม่เพียงแต่ตอบสนองความต้องการในการรักษาความปลอดภัยและการจัดการทรัพย์สินในสถานศึกษาเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบแสดงสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์

2.2 เพื่อสร้างฐานข้อมูลและระบบยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

วรรณนภา และคณะ [1] ได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลการยืม – คืน อุปกรณ์ทางการศึกษาบนเทคโนโลยีเว็บ ด้วย การใช้ระบบฐานข้อมูลการยืม-คืนอุปกรณ์ทางการศึกษาบนเทคโนโลยีเว็บ การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่า ระบบฐานข้อมูลการยืม – คืน อุปกรณ์ทางการศึกษาบนเทคโนโลยีเว็บ สามารถตรวจสอบสิทธิ์การเข้าใช้งาน แสดงรายการอุปกรณ์ที่สามารถยืมได้ ยืม-คืนอุปกรณ์ทางการศึกษา ตรวจสอบข้อมูลสมาชิก เพิ่ม/แก้ไข/ลบ ข้อมูลอุปกรณ์ ตรวจสอบอุปกรณ์และรายงานการใช้อุปกรณ์ได้อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

ทวีรัตน์ และคณะ [2] ได้ออกแบบและพัฒนาระบบยืมคืนและส่งซ่อมอุปกรณ์ไอที บริษัทไทยยูเนี่ยน ซีฟู้ดจำกัด ใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการพัฒนา ได้แก่ Visual studio code ภาษาและไลบรารี่ที่ใช้ได้แก่ PHP, JavaScript, Vue.js, CSS, และ Bootstrap มีผู้ใช้ 3 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ เจ้าหน้าที่ให้บริการยืม-คืน และพนักงาน โดยผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลพนักงาน อุปกรณ์ตรวจสอบประวัติการยืมคืน การส่งซ่อมอุปกรณ์ เรียกดูรายงานค่าใช้จ่ายได้เจ้าหน้าที่ให้บริการเข้าสู่ระบบจะบันทึกและยกเลิกข้อมูลการยืม-คืน ส่งซ่อมและรับคืนอุปกรณ์ตรวจสอบข้อมูลการยืมคืน ค้นหาและเรียกดูอุปกรณ์ได้และพนักงานสามารถตรวจสอบประวัติการยืม-คืนอุปกรณ์ ค้นหาและเรียกดูรายละเอียดอุปกรณ์ที่ต้องการได้

อธิบ [3] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศยืม-คืน วัสดุและครุภัณฑ์ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โปรแกรมที่ใช้ Sublime Text3 โดยใช้ภาษา CodeIgniter Web Framework PHP ในการพัฒนาระบบ และใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ในการจัดเก็บข้อมูล ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถจัดการข้อมูลการยืม-คืน วัสดุและครุภัณฑ์และตรวจสอบผลการยืม-คืนได้นอกจากนั้นระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานระบบการยืม-คืนวัสดุและครุภัณฑ์ และสามารถออกรายงาน ได้แก่ รายงานการยืม-คืนวัสดุและครุภัณฑ์ แยกแบบต่างๆ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และแยกตามบุคลากร รวมถึงรายงานแสดงยอดคงเหลือของวัสดุและครุภัณฑ์ได้

ขนิษฐกุล [4] ได้พัฒนาระบบยืม-คืน เครื่องมือวิทยาศาสตร์แบบออนไลน์ โดยใช้แอปชีต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือ (Smart Phone) ทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และไอโอเอส (iOS) ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ส่วนข้อมูลการขอยืม ส่วนข้อมูลการรับคืน และส่วนข้อมูลบุคลากร

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองดังนี้

3.1 การออกแบบขั้นตอนการยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์

การออกแบบขั้นตอนการยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์ ทำงานร่วมกับระบบจัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพาจำนวน 20 ช่อง ซึ่งควบคุมการทำงานด้วย Arduino mega 2560 ตรวจสอบข้อมูลสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาภายในช่องแต่ละช่องและประมวลผลผ่าน ESP32 เพื่อรับส่งข้อมูล ด้วย HTTP REST API ไปยังฐานข้อมูลของ Firebase ทำการบันทึกข้อมูลวันที่และเวลาของการยืม-คืน และข้อมูลการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาแบบ Realtime จากนั้นจึงนำข้อมูลที่รับเข้าฐานข้อมูลแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์ https://mce-loan-rmutp.web.app/ แสดงขั้นตอนการสื่อสารระหว่างระบบจัดเก็บและการส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การสื่อสารระหว่างระบบจัดเก็บและการส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์

รูปที่ 2 แผนผังระบบลงชื่อผู้ยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพา

จากรูปที่ 2 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบลงชื่อผู้ยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องสแกน QR-code หน้าตู้จัดเก็บ เพื่อลงทะเบียนแจ้งข้อมูลผู้ยืม-คืน และแจ้งหมายเลขของเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่ต้องการจะยืม-คืน เพื่อกรอกข้อมูลสำเร็จ ESP32 จะประมวลผลและสั่งการปลดล็อคประตูช่องจัดกับคอมพิวเตอร์พกพา และทำการอัพเดตข้อมูลที่ฐานข้อมูลของ Firebase

3.2 การพัฒนา database

การพัฒนา database โดยใช้ฐานข้อมูลของ firebase ที่เรียกว่า Firebase Realtime Database ซึ่งเป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL Database ที่ใช้โครงสร้างแบบ JSON Tree และแต่ละระดับของโครงสร้าง JSON เรียกว่า “Node” โดยมีตารางฐานข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดฐานข้อมูลของ Firebase

หมวดหมู่	โหนดย่อย	ชนิด	รายละเอียด
Locker	Slot1		ช่องล็อคเกอร์แต่ละช่อง
	lockStatus	Boolean	สถานะล็อค เปิด/ปิด (ส่งค่าไปยัง ESP32)
	laptopDetect	Boolean	ตรวจจับแล็ปท็อปหรือไม่ (รับค่ามาจาก ESP32)
Laptop	Laptop_no	String	หมายเลขแล็ปท็อป
	Slot_status	String	สถานะช่องเก็บ
	Member_id	String	รหัสสมาชิกที่ยืม
	borrow_DateTime	String	วันที่ยืม
	return_DateTime	String	วันที่คืน
Member	member_id	String	รหัสสมาชิก
	member_name	String	ชื่อสมาชิก
	member_phone	String	เบอร์โทร
History	timestamp	String	เวลาบันทึกประวัติ รับค่าจากหน้าเว็บ
	Laptop_No	String	หมายเลขแล็ปท็อป
	status	String	สถานะยืม/คืน
Authorized Users	id	String	รหัสผู้อนุมัติ
	name	String	ชื่อผู้อนุมัติ
	phone	String	เบอร์โทร
System Setting	borrowDoor Delay	String	เวลาหน่วงการเปิดประตู
	hideDoorStatus	boolean	ซ่อนข้อมูลการยืมหรือไม่
	hideLocker Status	boolean	ซ่อนสถานะล็อค
	hideLoanInfo	boolean	ซ่อนข้อมูลการยืมหรือไม่
	hidBorrowerInfo	boolean	ซื่อสถานะของล็อคเกอร์หรือไม่
	hideAuthori zeedInfo	boolean	ซ่อนข้อมูลการยืมหรือไม่
	QuotaReset	boolean	รีเซ็ตโควตาหรือไม่
	maxLaptops PerMember	String	จำนวนแล็ปท็อปสูงสุดที่ยืมได้
	returnDoorDelay	String	หน่วงเวลาประตูก่อนเปิดให้คืน
	carouselImage	array	รายการภาพสไลด์โชว์

3.3 การออกแบบส่วนประสานงานกับผู้ใช้ (GUI)

ในการออกแบบกราฟิกส่วนประสานงานกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) เพื่อให้ผู้ใช้งานใช้ในการบันทึกข้อมูลการยืม-คืน โดยออกแบบให้หน้าหลักของเว็บไซต์ประกอบด้วย 1. หน้าหลัก 2. หน้ายืม-คืน 3. หน้าประวัติการยืม-คืน 4. หน้าข้อมูลของผู้ใช้ และ 5. หน้าเข้าสู่ระบบผู้ดูแล (ตั้งค่าระบบ) แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 หน้าหลักของเว็บไซต์ระบบลงชื่อผู้ยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพา

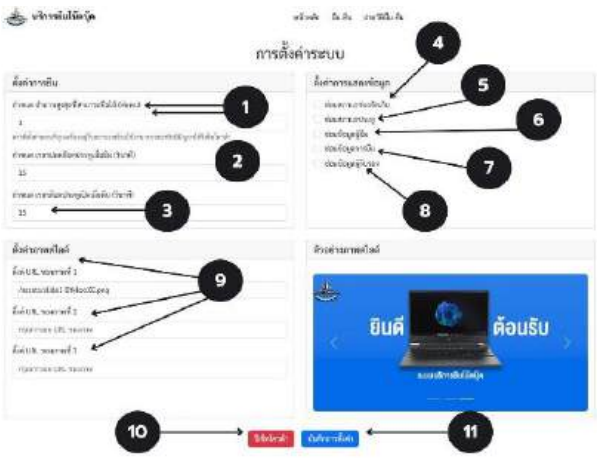
รูปที่ 4 หน้ายืม-คืนของเว็บไซต์

จากรูปที่ 4 แสดง GUI ของหน้ายืม-คืน ที่แสดงข้อมูลดังต่อไปนี้

1. หมายเลขเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาตั้งแต่ 1-20 เครื่อง
2. สถานะของเครื่อง ประกอบด้วยสถานะ ถูกยืม พร้อมใช้งาน (สามารถยืมได้) และไม่พร้อมใช้งาน (เครื่องเสีย)

3. สถานะช่องจัดเก็บ ประกอบด้วยสถานะ ไม่พบอุปกรณ์ (เมื่อถูกยืม) เพื่อความสะดวกในการสังเกตจึงกำหนดให้มีกรอบสีเหลือง และสถาะพบอุปกรณ์ (สามารถยืมได้) เพื่อความสะดวกในการสังเกตจึงกำหนดให้มีกรอบสีเขียว
4. ชื่อผู้ยืม/วันที่ยืม/และอาจารย์ผู้รับรอง
5. ปุ่มยืม/คืน เมื่อกดจะมี หน้าต่าง การยืม-คืนขึ้นมาเพื่อดำเนินการต่อไป

รูปที่ 5 หน้าประวัติการยืม-คืนของเว็บไซต์



รูปที่ 6 หน้าตั้งค่าระบบ

จากรูปที่ 5 แสดง GUI ของหน้าประวัติการยืม-คืนของเว็บไซต์ ที่แสดงข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ลำดับ เรียงลำดับประวัติการยืม-คืน
2. วัน/เวลา วันเวลาที่บันทึกการยืม-คืนของผู้ใช้
3. ชื่อ-นามสกุล
4. รหัสนักศึกษา
5. ผู้รับรอง
6. สถานะ ใช้ระบุว่าผู้ใช้ทำการยืมหรือคืน
7. หมายเลขเครื่อง
8. ตัวกรองในการค้นหาประวัติการยืม-คืนด้วยการคืนและการยืม
9. ตัวกรองในการค้นหาประวัติการยืม-คืนด้วยหมายเลขเครื่อง
10. ตัวกรองในการค้นหาประวัติการยืม-คืนด้วยชื่อหรือรหัสนักศึกษา

จากรูปที่ 6 แสดง GUI ของหน้าตั้งค่าระบบของเว็บไซต์ ซึ่งเข้าถึงได้เฉพาะผู้ดูแลที่กำหนดเท่านั้น โดยเข้าถึงผ่านหน้าเข้าสู่ระบบผู้ดูแล ซึ่งหน้าตั้งค่าระบบจะแสดงข้อมูลดังต่อไปนี้

1. กำหนดจำนวนคอมพิวเตอร์ที่สามารถยืมได้สูงสุด(ต่อคน)
2. กำหนด เวลาปลดล็อคประตูเมื่อยืม เมื่อทำการยืมเสร็จกลอนจะปลดล็อคเป็นระยะเวลาสั้นๆระยะเวลาการปลดล็อคนั้นสามารถตั้งค่าได้ในส่วนนี้
3. กำหนด เวลาปลดล็อคประตูเมื่อคืน เมื่อทำการคืนเสร็จกลอนจะปลดล็อคเป็นระยะเวลาสั้นๆระยะเวลาการปลดล็อคนั้นสามารถตั้งค่าได้ในส่วนนี้
4. ซ่อนสถานะช่องจัดเก็บ เมื่อเปิดการใช้งานผู้ใช้จะไม่สามารถเห็นสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์ในหน้ายืม-คืน
5. ซ่อนสถานะประตู เมื่อเปิดการใช้งานผู้ใช้จะไม่สามารถเห็นสถานะของกลอนว่าล็อคอยู่หรือไม่ในหน้ายืม-คืน
6. ซ่อนข้อมูลผู้ยืม เมื่อเปิดการใช้งานผู้ใช้จะไม่สามารถเห็นข้อมูลผู้ยืมในหน้ายืม-คืน
7. ซ่อนข้อมูลการยืม เมื่อเปิดการใช้งานผู้ใช้จะไม่สามารถเห็นข้อมูลการยืมในหน้ายืม-คืนเช่นเวลาการยืม
8. ซ่อนข้อมูลผู้รับรอง เมื่อเปิดการใช้งานผู้ใช้จะไม่สามารถเห็นชื่ออาจารย์ผู้รับรองในหน้ายืม-คืนเช่น
9. ตั้งค่าภาพสไลด์ เพื่อปรับเปลี่ยนการโชว์รูปหน้าเว็บไซต์
10. รีเซ็ตโควตา คือรีเซ็ตจำนวนคอมพิวเตอร์พกพามากสุดที่ผู้ใช้สามารถยืมได้
11. บันทึกการตั้งค่าทั้งหมด

4. การทดสอบระบบ

4.1 การทดสอบการทำงาน

การทดสอบด้านความสมบูรณ์ของระบบด้วยการทำสอบการใช้งานในหัวข้อต่อไปนี้

1. สามารถแสดงสถานการณ์มีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาได้
2. สามารถลงชื่อเพื่อขอใช้คอมพิวเตอร์พกพาได้
3. สามารถเก็บประวัติเวลาและวันที่การยืมคืน
4. สามารถลงชื่อเป็นผู้ดูแลระบบเพื่อเพิ่มผู้ใช้และปลดล็อกกลอนไฟฟ้าได้ทั้งหมด

จากการทดสอบทั้ง 4 หัวข้อระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

หลังจากการทดสอบการใช้งานทั้ง 4 หัวข้อข้างต้นแล้วจึงได้ทดลองใช้งานกับผู้ใช้งานเพื่อวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 20 คน สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปความคิดเห็นความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

หัวข้อความคิดเห็น	ค่าเฉลี่ย	ความพึงพอใจ
1. ความง่ายในการเข้าใช้งานเว็บไซต์	4.70	มากที่สุด
2. ความสะดวกในการล็อกอินและยืนยันตัวตน	4.45	มาก
3. ความชัดเจนของข้อมูลการยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพา	4.50	มากที่สุด
4. ความถูกต้องของข้อมูลการยืม-คืน	4.40	มาก
5. ความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บ	4.50	มากที่สุด
6. การออกแบบเว็บไซต์ (ความสวยงามใช้งานง่าย)	4.50	มากที่สุด
7. ความสะดวกในการตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์พกพา (มี / ไม่มี)	4.70	มากที่สุด
8. โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจต่อระบบยืม-คืนระดับใด	4.40	มาก

5. สรุป

การออกแบบและพัฒนาระบบแสดงสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพาและสร้างฐานข้อมูลระบบยืม-คืนคอมพิวเตอร์พกพาผ่านเว็บไซต์ เนื่องจากสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ใช้คอมพิวเตอร์พกพาในการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติทำให้มีความยุ่งยากและเสียเวลาในการติดตามสถานะการมีอยู่ของคอมพิวเตอร์พกพา หลังจากได้นำระบบฐานข้อมูลของ Firebase มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างระบบโดยได้จัดทำฐานข้อมูล 5 ส่วนได้แก่ 1) อาจารย์ผู้อนุมัติ 2) ประวัติการยืม-คืน 3) สถานะของช่องเก็บคอมพิวเตอร์พกพา 4) รายชื่อผู้ใช้ 5) ตั้งค่าระบบ โดยใช้ฐานข้อมูลนี้เชื่อมโยงกับเว็บไซต์ด้วยโปรโตคอล HTTP เพื่อนำเสนอข้อมูลผ่านหน้าเว็บไซต์และเป็นตัวกลางการในสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 20 คน พบว่าโดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจต่อระบบยืม-คืนระดับมาก (4.40) โดยมีเรื่องความง่ายในการเข้าใช้งานเว็บไซต์ และความสะดวกในการตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์พกพา ที่ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด (4.70) และมีความพึงพอใจน้อยที่สุดในเรื่อง ความสะดวกในการล็อกอินและยืนยันตัวตน อยู่ในระดับมาก (4.45)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและทดลองใช้ระบบ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดมา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วรรณนภา โพธิ์ผล, สมิทธิ์ เจือจินดา และณรงค์พล เอื้อไพจิตรกุล, “การพัฒนาระบบฐานข้อมูลการยืม – คืนอุปกรณ์ทางการศึกษาบนเทคโนโลยีเว็บ กรณีศึกษาคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี”, รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 2561.

[2] ทวีรัตน์ นวลช่วย และคณะ, “การออกแบบและพัฒนาระบบยืมคืนและส่งซ่อมอุปกรณ์ไอที บริษัทไทยยูเนี่ยนซีฟู้ดจำกัด”, งานประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 7 (NSCIC2022), วันที่ 10 -11 มีนาคม 2565, สุราษฎร์ธานี, หน้า 1329-1336.

[3] อธิบ โพทอง, “การพัฒนาระบบสารสนเทศยืม-คืน วัสดุและครุภัณฑ์”, วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา, 8(2) : (2567), หน้า 76-88.

[4] ขนิษฐกุล คูณเมือง, “การพัฒนาระบบยืม-คืน เครื่องมือวิทยาศาสตร์แบบออนไลน์ โดยใช้แอปชีต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น”, วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 18(1) : (2568), หน้า 33-41.

การศึกษาและควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าด้วย PLC ผ่านโปรโตคอลมอดบัส RTU

Study and Control of Electrical Actuator Using PLC with Modbus RTU

วัชร ส่งเสริม[1*] สุกัญญา เชิดชูงาม[2] นำโชค ชมกระโทก[3] และ สิทธิชัย สารารัตน์[4]
[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Watchara Songserm[1*] Sukanya Cherdchoongam[2] Namchok Chomkratok[3] and Sitthichai Sararat[4]
[1] Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail: watchara.s@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยศึกษาการควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนไฟฟ้าด้วย PLC ผ่านโปรโตคอลมอดบัส RTU โดยได้ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนหลักประกอบด้วย แกนขับเคลื่อนไฟฟ้า 2 แกน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y โดย แกนที่ 1 สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X ได้ในระยะ 600 มิลลิเมตรด้วยความเร็วสูงสุด 500 มิลลิเมตรต่อวินาที รับน้ำหนักได้สูงสุด 46 กิโลกรัม แกนที่ 2 เคลื่อนที่ในแนวแกน Y ได้ในระยะ 150 มิลลิเมตร และมีความเร็วสูงสุดถึง 1,130 มิลลิเมตรต่อวินาที รับน้ำหนักได้สูงสุด 7 กิโลกรัม มีแกน Z เป็นกระบอกสูบเคลื่อนที่ด้วยระบบลมสำหรับการหยิบจับและวางชิ้นงาน หลังจากทดสอบการทำงานโดยการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจำนวน 9 ชิ้นจากถาดที่ 1 ไปยังถาดที่ 2 โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่แกนไฟฟ้าตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 100 ของความเร็วสูงสุด พบว่าในทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (พีแอลซี) ตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โปรโตคอลมอดบัส RTU

Abstract

This research investigates the control of an electric drive system using a PLC via the Modbus RTU protocol. The primary drive system was designed with two electric drive axes responsible for controlling movement along the X and Y axes. Axis 1 moves along the X-axis over a distance of 600 millimeters with a maximum speed of 500 millimeters per second and can carry a maximum load of 46 kilograms. Axis 2 moves along the Y-axis over a distance of 150 millimeters with a maximum speed of 1,130 millimeters per second and can support a maximum load of 7 kilograms. The Z-axis consists of a pneumatic cylinder for pick-and-place operations. System functionality was tested by transferring nine workpieces from Tray 1 to Tray 2 while varying the speed of the electric drive axes from 10% to 100% of the maximum speed. The results showed that the system operated efficiently across all tested speed levels.

Keywords: Programmable Logic Controller (PLC), Electrical Actuator, Modbus RTU

1. บทนำ

ตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (Electrical Actuator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนไหวในระบบอุตสาหกรรม โดยเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงและการเคลื่อนไหวที่มีความละเอียด โดยเฉพาะในงานที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวซับซ้อนในภาคอุตสาหกรรมการผลิตอัตโนมัติ ตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเชิงเส้นจำเป็นต้องเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแกนบอลสกรู ซึ่งต้องมีการออกแบบและเลือกใช้งานเอง แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแบบแกนสำเร็จรูปโดยไม่จำเป็นต้องประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เอง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ตัวขับเคลื่อนไฟฟ้าสำเร็จรูปมีการนำมาใช้ร่วมกับหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian Robots) ซึ่งเป็นระบบหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ในสามมิติ ได้แก่ แกน X, Y, Z และ C ระบบดังกล่าวมักถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำในการเคลื่อนไหว เช่น เครื่องพิมพ์ 3D ที่ต้องการการเคลื่อนไหวที่ละเอียดในการสร้างวัตถุ ในการควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมจะใช้ระบบควบคุมที่เรียกว่า PLC (Programmable Logic Controller) ซึ่งสามารถสั่งงานและควบคุมการทำงานผ่านการเชื่อมต่อ I/O ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ โดยการเชื่อมต่อแบบ I/O นั้นมีข้อเสีย เช่น การใช้สายไฟปริมาณมาก ที่สำคัญคือการใช้งานร่วมกับ PLC จำเป็นจะต้องใช้ I/O จำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนในการพัฒนาระบบ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและจัดทำสถานีงานในการเรียนรู้การควบคุมการขับเคลื่อนแกนไฟฟ้าสำเร็จรูปที่ทำงานร่วมกันแบบ 2 แกน โดยควบคุมผ่าน PLC และใช้การสื่อสารแบบมอดบัส RTU ที่จะใช้โปรโตคอลการสื่อสารแบบอนุกรม มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูง สามารถรับส่งได้ระยะทางสูงสุดถึง 1.2 กิโลเมตร (ที่ความเร็ว 57.6 kbps) ซึ่ง Modbus RTU ยังคงเป็นโปรโตคอลพื้นฐาน ที่ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนไฟฟ้าด้วย PLC ผ่านโปรโตคอลมอดบัส RTU

2.2 ออกแบบและจัดทำสถานีงานทดสอบการทำงานร่วมกันของตัวขับเคลื่อนไฟฟ้า 2 แกน ด้วยการสื่อสารแบบมอดบัส RTU

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ จอมภพ และ ประจักร (2560) [1] ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนแนวแกน X, Y, Z และการเคลื่อนที่พร้อมกัน 2 แนวแกน X, Y ระยะ 225 มิลลิเมตร ใช้โครงสร้างรองรับชุดเคลื่อนที่แบบแขนคู่ด้านข้าง มีต้นกำลังจากสเต็ปปิ้งมอเตอร์ พบว่ามีความผิดพลาดร้อยละ 0.44 ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากการวางตำแหน่งมีความผิดพลาดไป 1 มิลลิเมตร จากระยะ 255 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นความผิดพลาดสูงสุดของทุกแนวแกนเฉลี่ยร้อยละ 0.44 ในหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน

ปิยะวัฒน์ (2561) [2] ได้ออกแบบและสร้างแขนกลจับชิ้นงานจากเครื่องคัดแยกวัสดุอัตโนมัติตามสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนด้วยระบบนิวเมติกส์ และควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิ้ลโลจิกคอนโทรลเลอร์ (พีแอลซี) พบว่าสามารถคัดแยกวัตถุได้อย่างถูกต้อง ในส่วนหุ่นยนต์แขนกลสามารถหยิบชิ้นงานที่มีน้ำหนักไม่เกิน 1,800 กรัม โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานตั้งแต่ 45 ม.ม. ขึ้นไป และเวลาที่ใช้ทดสอบในการทำงานเฉลี่ยต่อชิ้นงานคือ 19.30 วินาที

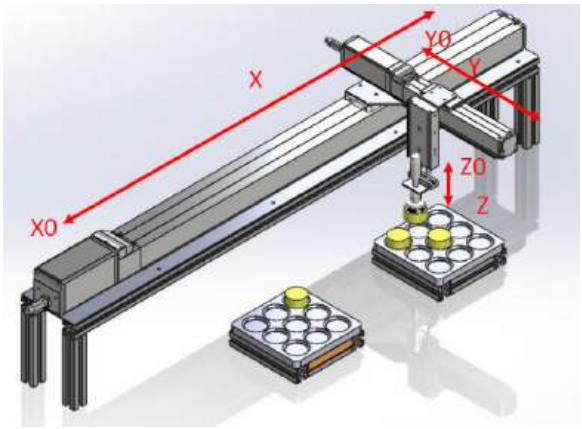
ณัฐศชา (2564) [3] ได้ศึกษาและออกแบบระบบการควบคุมหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตู้ควบคุมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้โปรแกรมสั่งการทำงานให้ชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับแขนหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน ให้เคลื่อนที่ไปตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ทำการโปรแกรมการทำงานไว้ เพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังความดัน จากการทดสอบการวัดระยะการเคลื่อนที่มีพบว่า ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.06 ในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X โดยเปรียบเทียบผลการ

วัดขนาดจริงกับการวัดด้วยหุ่นยนต์มีผลการคาดเคลื่อนในการวัดระยะต่างกันเฉลี่ยไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองดังนี้

3.1 สถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อนหลักประกอบด้วย แกนขับเคลื่อนไฟฟ้า 2 แกน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y โดย แกนที่ 1 สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X ได้ในระยะ 600 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วสูงสุด 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วน แกนที่ 2 เคลื่อนที่ในแนวแกน Y ได้ในระยะ 150 มิลลิเมตร และมีความเร็วสูงสุดถึง 1,130 มิลลิเมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 แสดงแบบจำลองสถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าโดยแนวแกน Z ใช้กระบอกสูบลมในการเคลื่อนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร ขับเคลื่อนด้วยลม ทดลองย้ายชิ้นงานระหว่างถาดวางชิ้นงาน 2 ถาด แต่ละถาดสามารถรองรับชิ้นงานได้ 9 ตำแหน่ง สามารถสรุปรายการอุปกรณ์หลักสำหรับสถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์หลักสำหรับสถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	จำนวน
แกนขับเคลื่อนไฟฟ้าที่ 1 (แกน x)	IAI	RCP6-SA7C-WA-56P-16-600-P3-S	1
แกนขับเคลื่อนไฟฟ้าที่ 2 (แกน y)	IAI	RCP4-SA5C-I-42P-12-150-P3-R03	1
กระบอกสูบ (แกน z)	SMC	MXS12-50AS	1
PLC	MITSUBISHI	FX5U-32MT/ES	1
HMI	MITSUBISHI	GT2507-WTBD	1
IAI Drive	IAI	PCON-CB-56PWAI-NP-2-0	3
IAI Drive	IAI	PCON-CB-28PI-NP-2-0	1

จากรายการอุปกรณ์หลักสำหรับสถานีทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า สามารถสรุปการรับน้ำหนักและความเร็วของสถานีได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปการรับน้ำหนักและความเร็วของสถานี

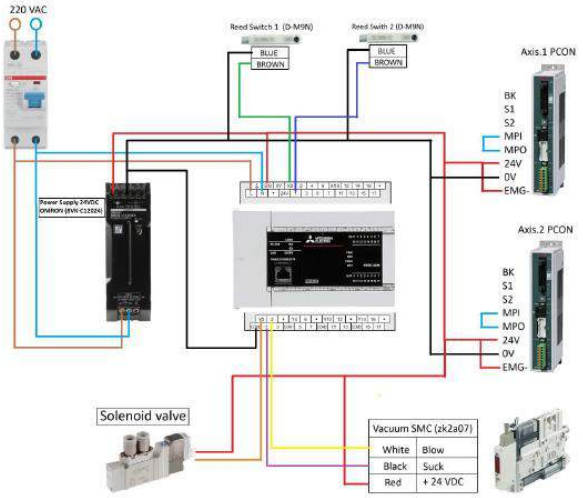
รายการ	ความเร็วในการเคลื่อนที่ (มิลลิเมตรต่อวินาที)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)	
	Min.	Max.	Min.	Max.
แกนขับเคลื่อนไฟฟ้าที่ 1 (แกน x)	0	500	0	46
แกนขับเคลื่อนไฟฟ้าที่ 2 (แกน y)	0	1,130	0	7
กระบอกสูบ (แกน z)	50	500	0	2

3.2 ระบบไฟฟ้าควรคุมระหว่างสถานีทดลองและ PLC

การออกแบบแผนผังการต่อสายไฟสำหรับการจ่ายไฟระบบไฟฟ้า 220V AC ถูกจ่ายผ่าน เบรกเกอร์ขนาด 6 แอมป์ แบบ 2 ขั้ว เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน จ่ายไฟไปยังอุปกรณ์สำคัญ 2 ตัว ได้แก่ PLC ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบอัตโนมัติ และ Switching Power Supply ทำหน้าที่แปลงไฟจาก 220V AC เป็น 24V DC ขนาด 10A เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อื่นๆ ภายในระบบจำนวน 5 ตัว ได้แก่

1. Axis.1 PCON
2. Axis.2 PCON
3. Vacuum SMC
4. Solenoid Valve
5. PLC Mitsubishi FX5U-32MR/ES

แสดงแผนผังการต่อสายไฟสำหรับการจ่ายไฟ 24 VDC และ 220 VAC กับอุปกรณ์ภายในระบบ ดังรูปที่ 2

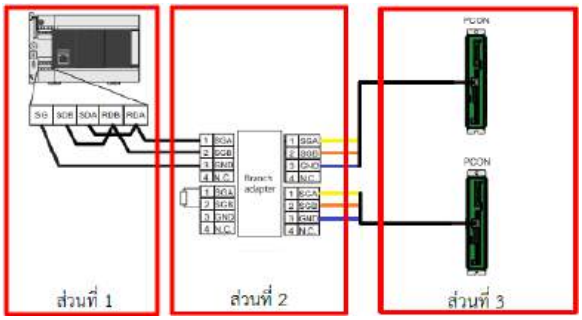


รูปที่ 2 แผนผังการต่อสายไฟสำหรับการจ่ายไฟ 24 VDC และ 220 VAC

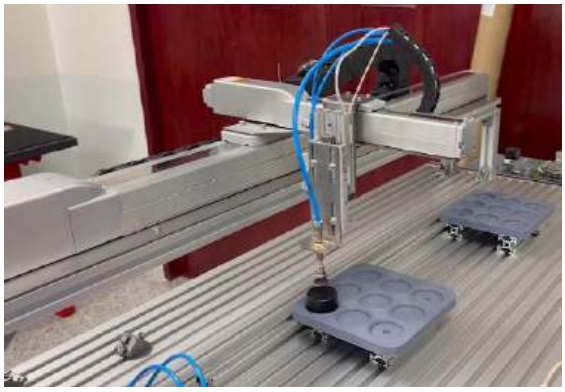
3.3 การเชื่อมต่อ MODBUS RTU FX5 และ IAI PCON

วงจรการเชื่อมต่อระบบสื่อสารแบบอนุกรม RS485 ระหว่าง PLC และ IAI PCON โดยใช้ Branch Adapter เป็นตัวกลางในการกระจายสัญญาณไปยัง PCON หลายตัว PLC ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของภาพ มีพอร์ตสื่อสาร RS485 ที่ใช้ขั้วต่อ SG, SDB, SDA, RDB และ RDA ซึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลควบคุมไปยังตัวขับเซอร์โวผ่านเครือข่ายอนุกรม สัญญาณจาก PLC ถูกส่งผ่านสายสื่อสารไปยัง Branch Adapter ซึ่งเป็นตัวช่วยในการแยกและกระจายสัญญาณไปยังอุปกรณ์ปลายทางหลายตัว Branch Adapter ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของภาพ ทำหน้าที่เป็นตัวแยกสัญญาณ โดยรับสัญญาณจาก PLC ผ่านขั้วต่อ SGA SGB GND และกระจายออกไปยังอุปกรณ์ ซึ่งในที่นี้คือ IAI PCON Controllers

ตัวต้านทานใช้เพื่อป้องกันการสะท้อนของสัญญาณที่ปลายสาย การใส่ตัวต้านทาน 110 โอห์มช่วยให้การส่งสัญญาณมีความเสถียรและลดการสะท้อนทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพ การต่อสายไฟจาก PLC ไปยัง Branch Adapter จำเป็นจะต้องทำงานตีเกลียวสายไฟเพราะเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภาคไฟที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการต่อสายไฟสำหรับการเชื่อมต่อ MODBUS RTU



รูปที่ 4 สถานีงานทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 แสดงสถานีงานทดลองควบคุมตัวขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ติดตั้งสำเร็จพร้อมสำหรับการทดสอบการทำงาน

4. การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสถานีกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน

สถานีระบบขับเคลื่อนหลักประกอบด้วยแกนขับเคลื่อนไฟฟ้าจำนวน 2 แกน ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแนวแกน Y โดยแกนที่ 1 สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X ได้ในระยะทางสูงสุด 600 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วสูงสุด 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ขณะที่แกนที่ 2 สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ได้ในระยะทางสูงสุด 150 มิลลิเมตร และมีความเร็วสูงสุด 1,130 มิลลิเมตรต่อวินาที

ตำแหน่งสำหรับวางชิ้นงานได้รับการออกแบบให้อยู่ที่ฐานของสถานี โดยประกอบด้วยถาดวางชิ้นงานจำนวน 2 ถาด แต่ละถาดสามารถรองรับชิ้นงานได้สูงสุด 9 ชิ้น ภารกิจ

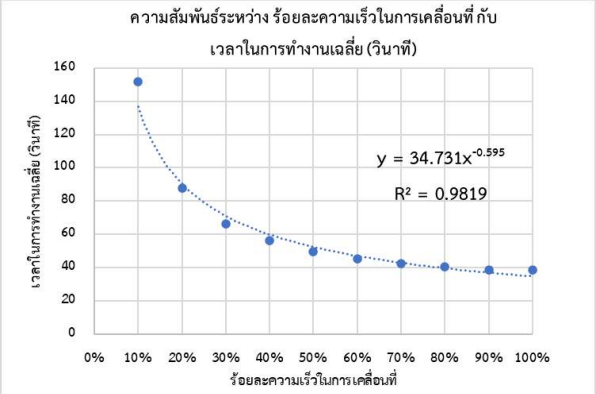
หลักของสถานีคือการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจำนวน 9 ชิ้นจากถาดที่ 1 ไปยังถาดที่ 2 โดยมีการจับระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนกระทั่งสถานีกลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น (HOME) นับเป็น 1 รอบการทำงาน

เมื่อดำเนินการครบ 5 รอบ จะมีการปรับเปลี่ยนความเร็วของแกนขับเคลื่อนไฟฟ้าทั้งสองแกน โดยเริ่มต้นจาก 10% ไปจนถึง 100% ของความเร็วสูงสุด (ความเร็วสูงสุดจากตารางที่ 2) ทำการบันทึกระยะเวลาการทำงานลงในตาราง และ จับเวลาผ่านโปรแกรม PLC เพื่อความแม่นยำ ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสถานีกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน

แกน	ความเร็ว (มิลลิเมตร/วินาที)		เวลาที่ได้จากการทดสอบ (วินาที)					เวลาเฉลี่ย
			รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	
X	10%	50	151.9	152.7	151.9	151.9	151.7	152.02
Y		113						
X	20%	100	87.0	88.0	88.6	87.4	88.1	87.82
Y		226						
X	30%	150	66.8	66.0	66.2	66.8	66.5	66.46
Y		339						
X	40%	200	56.2	56.2	56.3	55.9	56.2	56.16
Y		452						
X	50%	250	49.6	49.6	49.6	49.7	49.6	49.62
Y		565						
X	60%	300	45.5	45.4	45.3	45.4	45.5	45.42
Y		678						
X	70%	350	42.5	42.6	42.5	42.6	42.6	42.56
Y		791						
X	80%	400	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4
Y		904						
X	90%	450	38.5	38.5	38.5	38.4	38.5	38.48
Y		1017						
X	100%	500	38.4	38.4	38.5	38.4	38.4	38.42
Y		1130						

จากตารางที่ 3 พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกช่วงความเร็วที่กำหนดในการทดสอบ โดยระยะเวลาที่สถานีใช้ในการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของแกนขับเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแกนเคลื่อนที่ของสถานีกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน พบว่า แนวโน้มของระยะเวลาการทำงานของสถานีลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละความเร็วในการเคลื่อนที่ กับ เวลาเฉลี่ยในการทำงาน (วินาที)

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X และ Y กับ เวลาในการทำงานเฉลี่ย (วินาที) พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเส้นแนวโน้มกำลัง (Power Trendline) ดังสมการที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการเร่งเวลาที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานให้กับแกนไฟฟ้าทั้ง 2 แกน

$$y = 34.731x^{-0.595} \quad (1)$$

เมื่อ y แทน เวลาเฉลี่ยในการทำงาน (วินาที)

x แทน ร้อยละความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนไฟฟ้า

5. สรุป

จากการศึกษาการควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนไฟฟ้าด้วย PLC ผ่านโปรโตคอลมอดบัส RTU โดยได้ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนหลักประกอบด้วย แกนขับเคลื่อนไฟฟ้า 2 แกน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y โดย แกนที่ 1 สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X ได้ในระยะ 600 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วสูงสุด 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วน แกนที่ 2 เคลื่อนที่ในแนวแกน Y ได้ในระยะ 150 มิลลิเมตร และมีความเร็วสูงสุดถึง 1,130 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าระบบสามารถทำงานพร้อมกัน 2 แกนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการสื่อสารแบบ MODBUS RTU

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] จอมภพ ละออ และ ประจักร ลำจวน, “การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน”, วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 7(1): (2560), หน้า 174-191.

[2] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, “แขนกลจับชิ้นงานจากเครื่องคัดแยกวัสดุอัตโนมัติตามสายพาน”, วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ, 4(1): (2561), หน้า 19-27.

[3] ณัฐศชา อินทร์ชูรัญ. (2564). “หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ”, วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2564.

.

.

การจำแนกมังคุดด้วยการประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว

Mangosteen Classification Using Image Processing Combined with K-Nearest Neighbor Algorithm

จักรินทร์ กลั่นเงิน ประภาพรรณ เกษราพงศ์* เบญจรัตน์ หมื่นพินิจ และ วิภาวรรณ สิงหเขตต์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jakkarin Klunngien Prapapan Ketsarapong* Bencharat Muenphinit and Wipawan Singhaket
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
E-mail: prapapan@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจำแนกมังคุด งานวิจัยนี้พิจารณาการจำแนกมังคุดจาก 2 ปัจจัย คือ ขนาดผล และความสุก ทั้งนี้ การจำแนกขนาดของมังคุดถูกพิจารณาด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากขนาดจริงที่ได้จากการวัด คือ 0-0.09 เซนติเมตร สำหรับการจำแนกความสุกถูกพิจารณาด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว กำหนดตัวแปรต้น คือ ค่าสี RGB และตัวแปรตาม คือ ความสุกของมังคุด โดยค่า K ที่เหมาะสมกับตัวแบบ คือ K=3 สุดท้าย การประเมินความสามารถของตัวแบบด้วยการวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) คือ 0.96 และ 0.96 ตามลำดับ

คำหลัก การจำแนก การประมวลผลภาพ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว

Abstract

This research proposes an image processing technique combined with the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm to improve the efficiency of mangosteen classification. This research focuses on classifying mangosteens based on two factors: fruit size and ripeness. For size classification, an image processing technique is employed, deviation from the actual measurement size is 0-0.09 centimeters. For ripeness classification, the KNN algorithm is used, with independent variables being RGB color values and the dependent variable being mangosteen ripeness. The optimal value of K for the model was determined to be K=3. Finally, the model's performance is evaluated using overall accuracy and recall metrics, both achieving a score of 0.96.

Keywords: Classification, Image Processing, K-Nearest Neighbor Algorithm

1. บทนำ

มังคุด (Garcinia Mangostana L.) หรือที่เรียกกันว่า “ราชินีแห่งผลไม้” เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ Guttiferae มีแหล่งเพาะพันธุ์อย่างแพร่หลายในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย อินเดีย เมียนมาร์ ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา และไทย องค์ประกอบของผลมังคุดประกอบด้วยเปลือกร้อยละ 70-75 เนื้อร้อยละ 10-15 และเมล็ดร้อยละ 15-20 [1] มังคุดเป็นผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่งด้วยมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นกว่า 3,000 ล้านบาทตั้งแต่ พ.ศ. 2555 โดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 443,000 ไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 351,760 ตันต่อปี ซึ่งถือได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่ปลูกมังคุดรายใหญ่ที่สุด [2] ด้วยรสชาติที่หวานและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ มังคุดจึงเป็นที่ต้องการทั้งตลาดในประเทศและตลาดนอกประเทศ ความสำเร็จของการตลาดมังคุดขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค ข้อบกพร่องที่สำคัญของมังคุดที่ลดคุณภาพสำหรับการส่งออก ได้แก่ เนื้อที่โปร่งแสง ขนาดผลเล็ก และระดับความสุก [3] การคัดขนาดของผลมังคุดเป็นกิจกรรมที่จำเป็นในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยขนาดของผลมังคุดเป็นเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกประการหนึ่ง [4] อีกประการหนึ่งคือระดับความสุกของผล ซึ่งสังเกตได้จากสีที่เปลือก ซึ่งโดยทั่วไปการคัดแยกมังคุดต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของบุคคลเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการคัดแยกคุณภาพของมังคุดได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจำแนกมังคุดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ร่วมกับอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbor Algorithm: KNN) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคัดแยกมังคุดให้มีความถูกต้อง อีกทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดจากผู้คัดแยกได้อีกด้วย โดยการจำแนกมังคุดสำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ขนาดผล และระดับความสุกของมังคุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ

ในปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ด้วยอัลกอริทึมการประมวลผลภาพ (Image Processing Algorithm) ถูกนำไปใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า (Face Detection) และการจดจำใบหน้า (Face Recognition) เป็นส่วนมาก อย่างไรก็ตาม เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ คือ ด้านการรักษาความปลอดภัยหรือการใช้ประโยชน์ในงานทางอุตสาหกรรม เช่น ด้านการผลิต การตรวจสอบคุณภาพอาหาร [5] ด้านการจราจร [6] ด้านเกษตรกรรม การตรวจสอบรอยตำหนิของผลไม้ [7] ฯลฯ

2.2 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการประมวลผลภาพ (Image Processing) ร่วมกับตัวแบบเครื่องจักรเรียนรู้ (Machine Learning) สำหรับจำแนกคุณภาพผลไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [5] สำหรับตัวแบบเครื่องจักรเรียนรู้ที่ถูกประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำแนกด้วยภาพนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) วิธีการเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor: KNN) การสุ่มป่าไม้ (Random Forest: RF) ฯลฯ [8] อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว (KNN) เป็นอัลกอริทึมหนึ่งของแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องโดยมีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ที่มีความสามารถในการจำแนกประเภทข้อมูลนำเข้า (Input Data) เป็นคลาส (Class) ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าด้วยความแม่นยำ [7], [9], [10], [11], [12] โดยพิจารณาจากประเภทส่วนใหญ่ของเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัวในข้อมูลการฝึกอบรม (Training Set) โดยคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลการฝึกอบรมทั้งหมด ด้วยการหาผลรวมของผลต่างกำลังสองของทุกตัวอย่าง หรือเรียกว่าระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) ตามสมการที่ 1 [13] จากนั้นเลือก K ตัวที่ใกล้ที่สุดและตัดสินว่าข้อมูลใหม่ควรอยู่กลุ่มใดตามกลุ่มส่วนใหญ่ของ K

$$d(p,q) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - q_i)^2} \qquad (1)$$

โดย d(p,q) คือ ระยะห่างระหว่าง 2 ตัวอย่าง p คือ ค่าของตัวอย่างเฉพาะที่ต้องการจำแนก และ q คือ ค่าของชุดตัวอย่าง

2.3 เมทริกซ์ความสับสน

เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) คือ ตารางสำคัญในการวัดความสามารถของการเรียนรู้เครื่องจักร ในการจำแนกประเภทร่วมกับชุดข้อมูลทดสอบที่ทราบค่าหรือผลลัพธ์ที่แท้จริง โดยการประเมินค่าจริง (Actual Value) เทียบกับค่าที่คาดการณ์ไว้ (Predicted Value) จากนั้น การวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) ถูกใช้สำหรับประเมินความสามารถของตัวแบบ ดังสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ [14]

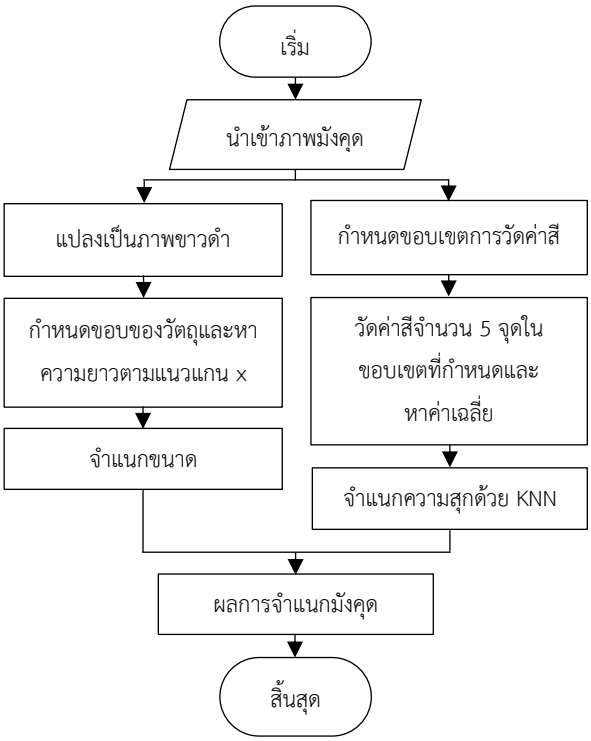
$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

โดย TP คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าจริงและผลลัพธ์เป็นจริง TN คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าไม่จริงและผลลัพธ์เป็นไม่จริง FP คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าจริงแต่ผลลัพธ์เป็นไม่จริง และ FN คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าไม่จริงแต่ผลลัพธ์เป็นจริง

3. การดำเนินงานวิจัย

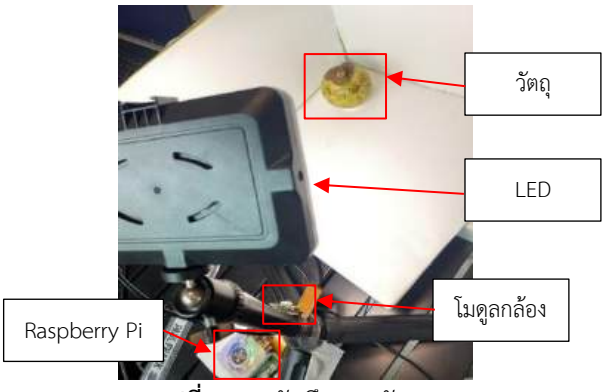
การจำแนกมังคุดตามขนาดและระดับความสุกสำหรับงานวิจัยนี้ มีกรอบแนวคิดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการจำแนกมังคุด

3.1 การรวบรวมชุดข้อมูล (Dataset)

งานวิจัยนี้ ได้กำหนดจำนวนชุดข้อมูล คือ 300 ชุด โดยแต่ละชุดข้อมูลจะถูกบันทึกภาพด้วยโมดูลกล้อง Raspberry Pi เชื่อมต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ผ่านพอร์ต CSI (Camera Serial Interface) ระยะห่างระหว่างโมดูลกล้องไปยังวัตถุมีระยะ คือ 30 เซนติเมตร ควบคุมสภาพแวดล้อมในการบันทึกภาพด้วยฉากหลังและพื้นด้วยฉากสีขาวภายใต้แสงจาก LED (ดังรูปที่ 2) จากนั้น บันทึกข้อมูลความยาวตามแนวแกน X และค่าสีที่เปลือกผลมังคุดบนบอร์ด Raspberry Pi ตามที่อธิบายไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 2 การบันทึกภาพมังคุด

ข้อมูลความยาวตามแนวแกน X ของภาพถ่ายถูกใช้ในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมังคุด และถูกใช้สำหรับการจำแนกขนาดของมังคุดตามเกณฑ์ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดขนาดของมังคุด [15]

รหัสขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
1	>62
2	59-62
3	53-58
4	46-52
5	38-45

สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยของสีที่เปลือกมังคุด จะถูกบันทึกข้อมูลในรูปแบบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) และกำหนดเป็นตัวแปรต้น (Independent Variables) สำหรับตัวแปรตาม (Dependent Variables) คือ ความสุกของ

มังคุด ซึ่งพิจารณาตามสีที่เปลือก แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ตามรูปที่ 3 [15] โดย รูปที่ 3(ก) ระยะที่ 1 คือ ไม่สามารถรับประทานได้ รูปที่ 3(ข) ระยะที่ 2 คือ ความสุกที่เริ่มรับประทานได้ และ รูปที่ 3(ค) ระยะที่ 3 คือ ความสุกที่รับประทานได้ ทั้งนี้ การคัดแยกสำหรับการจำแนกเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลนั้นดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3 สีที่เปลือกมังคุด

3.2 การทดสอบการจำแนกขนาดมังคุด

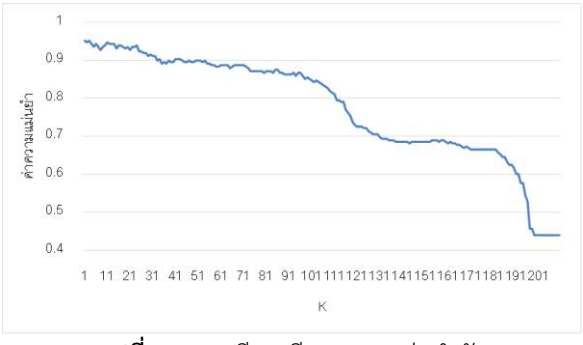
การจำแนกขนาดของมังคุดเริ่มต้นจากการถ่ายภาพมังคุด เก็บข้อมูลรูปภาพ จากนั้นระบบจะทำการประมวลผลภาพโดยการตรวจจับขอบมังคุด (Contour Detection) และเลือก Contour ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเพื่อนำมาคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมังคุด ทั้งนี้ การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากภาพและขนาดจริงดำเนินการด้วยการวัดผลมังคุดทุกชุดข้อมูล ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 การวัดขนาดมังคุด

3.3 การกำหนดตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว

ชุดข้อมูล (Dataset) ค่าเฉลี่ยของสี RGB กับความสุกของมังคุด ทั้ง 300 ชุด ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูลย่อย ดังนี้ (1) ชุดฝึกฝน (Training Set) คือ ข้อมูลร้อยละ 70 ของชุดข้อมูลทั้งหมด เป็นจำนวน 210 ข้อมูล (2) ชุดตรวจสอบ (Validation Set) คือ ข้อมูลร้อยละ 15 จากชุดข้อมูลที่เหลือ เป็นจำนวน 45 ข้อมูล (3) ชุดทดสอบ (Test Set) คือ ชุดข้อมูลที่เหลือ เป็นจำนวน 45 ข้อมูล

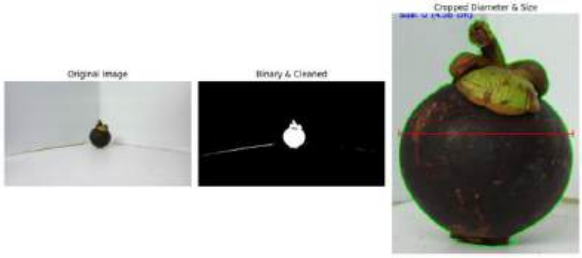
จากนั้น ข้อมูลชุดฝึกฝนจำนวน 210 ข้อมูล ถูกใช้ในการทำนายความสุกของข้อมูลชุดตรวจสอบทั้ง 45 ข้อมูล โดยเปลี่ยนจำนวนเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียง (K) ตั้งแต่ 1 – 45 เพื่อหา K ที่ทำให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า K=3 หรือ 3NN เนื่องจากให้ค่าความแม่นยำสูงสุด คือ 0.95 ดังรูปที่ 5



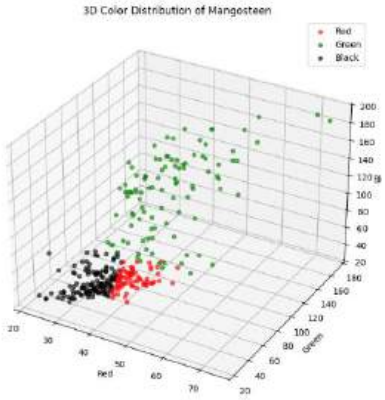
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความแม่นยำกับจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากกรอบแนวคิดตามรูปที่ 1 และขั้นตอนการบันทึกภาพมังคุดตามรูปที่ 2 ผลการจากถ่ายภาพจะถูกประมวลผลใน 2 ปัจจัย คือ (1) ระยะตามแนวแกน X (รูปที่ 6) และ (2) ข้อมูลค่าสี RGB (รูปที่ 7) โดยคลาสสีเขียว คือ ความสุกระยะที่ 1 คลาสสีแดง คือ ความสุกระยะที่ 2 และคลาสสีดำ คือ ความสุกระยะที่ 3



รูปที่ 6 การประมวลภาพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมังคุด



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยสี RGB ของมังคุดแต่ละคลาส

การทดสอบความถูกต้องการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลมังคุดด้วยการประมวลผลภาพเทียบกับการวัดขนาดจริง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0-0.09 เซนติเมตร

การทดสอบความแม่นยำของตัวแบบ 3NN ในการจำแนกความสุกของมังคุดด้วยข้อมูลชุดตรวจสอบ (45 ข้อมูล) เมทริกซ์ความสับสนถูกใช้สำหรับการประเมินความสามารถของตัวแบบ ดังตารางที่ 2 โดยการวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) ของการจำแนกความสุกมังคุด คือ 0.96 (Accuracy = 43/45 = 0.96) ในขณะที่การวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) คือ 0.96 (Recall = ((11/11) + (15/17) + (17/17)) / 3 = 0.96)

ตารางที่ 2 เมทริกซ์ความสับสนการจำแนกความสุกมังคุด

ค่าจริง / ทำนาย	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3
ระยะที่ 1	11	0	0
ระยะที่ 2	1	15	1
ระยะที่ 3	0	0	17

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำแนกมังคุดตามขนาดผลและความสุกด้วยการประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว โดยขนาดผลและความสุกของมังคุดเป็นไปตามที่สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกำหนด [15] ทั้งนี้ (1) การจำแนกขนาดของมังคุดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) มีค่าคลาดเคลื่อนจากขนาดจริงที่ได้จากการวัด คือ 0-0.09 เซนติเมตร ในขณะที่ (2) การจำแนกความสุกของมังคุดด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัว กำหนดตัวแปรต้น คือ ค่าสี RGB และตัวแปรตาม คือ ความสุกของมังคุด โดยค่า K ที่เหมาะสมกับตัวแบบ คือ K=3 จากนั้น ประเมินความสามารถของตัวแบบด้วยการวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) คือ 0.96 และ 0.96 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังอยู่ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ การบันทึกภาพดำเนินการได้คราวละ 1 ลูก และมีการควบคุมสภาพแวดล้อมในการศึกษาที่คงที่ การนำไปใช้ในทางปฏิบัติยังคงต้องพิจารณาถึงความสามารถในการนำเข้าวัตถุและความแตกต่างของสภาพแวดล้อมสำหรับการบันทึกภาพ นอกจากนี้ ชุดข้อมูล (Dataset) ที่ใช้ในงานวิจัยได้มาจากพื้นที่ปลูกในภาคตะวันออกเพียงเขตเดียว และมีจำนวนตัวอย่างที่ค่อนข้างจำกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนั้น เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในวงกว้าง งานวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ปลูกอื่นเพิ่มเติม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สัญญาเลขที่ KUSRCBR68-5002

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Rizaldy, D., Ramadhita, N.K., Nadhifa, T. and Fidrianny, I., “Mangosteen (Garcinia mangostana L.): Evaluation of In Vitro Antioxidant Activities”, Pharmacognosy Journal, 14:3(2022), pp. 633–640.

[2] Jaroensutasinee, K., Jaroensutasinee, M. and Boonsanong, P., “Climatic Factor Differences and Mangosteen Fruit Quality Between On-and Off-Season Productions”, Emerging Science Journal, 7:2(2023), pp. 578–588.

[3] Jaroensutasinee, K., Jaroensutasinee, M., Boonsanong, P. and Sparrow, E., “Mangosteen Yield and Fruit Quality under Regulated Irrigation with Sensors and IoT”, Journal of Human, Earth, and Future, 5:2(2024), pp. 205-215.

[4] บัณฑิต จริโมภาส, สุทธิพร เนียมหอม และ ธีรยุทธ สุวรรณประทีป, “การปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุด”, วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 19 (2544), หน้า

121–131.

[5] Hemamalini, V., et al., “Food Quality Inspection and Grading Using Efficient Image Segmentation and Machine Learning-Based System”, Journal of Food Quality, 2022:(2022), pp. 1-6.

[6] Hou, Y., et al., “The State-of-the-Art Review on Applications of Intrusive Sensing, Image Processing Techniques, and Machine Learning Methods in Pavement Monitoring and Analysis”, Engineering, 7:(2021), pp, 845-856.

[7] Trieu, N.M. and Thinh, N.T., “A Study of Combining KNN and ANN for Classifying Dragon Fruits Automatically”, Journal of Image and Graphics (United Kingdom), 10:1(2022), pp. 28–35.

[8] Applalanaidu, M.V. and Kumaravelan, G., “A Review of Machine Learning Approaches in Plant Leaf Disease Detection and Classification”, Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, ICICV 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2021:(2021), pp. 716–724.

[9] Ali, A., Alrubei, M., Hassan, L.F.M., Al-Ja’afari, M. and Abdulwahed, S., “Diabetes Classification Based on KNN”, IIUM Engineering Journal, 21:1(2020), pp. 175–181.

[10] Singh, H., Sharma, V. and Singh, D., “Comparative Analysis of Proficiencies of Various Textures and Geometric Features in Breast Mass Classification Using K-Nearest Neighbor”, Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art, 5:1(2022), pp. 1-19.

[11] Suyal, M. and Goyal, P., “A Review on Analysis of K-Nearest Neighbor Classification Machine Learning Algorithms Based on Supervised Learning”, International Journal of Engineering Trends and Technology, 70:7(2022), pp. 43-48.

[12] Zhang, S., “Challenges in KNN Classification,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 34:10(2022), pp. 4663–4675.

[13] Tang, Y., Chang, Y. and Li, K., “Applications of K-Nearest Neighbor Algorithm in Intelligent Diagnosis of Wind Turbine Blades Damage”, Renew Energy, 212:(2023), pp. 855–864.

[14] Peco Chacón, A.M., Segovia Ramírez, I. and García Márquez, F.P., “K-Nearest Neighbour and K-Fold Cross-Validation Used in Wind Turbines for False Alarm Detection”, Sustainable Futures, 6:(2023), pp. 1-6.

[15] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, “มังคุด”, กรุงเทพฯ, 2556.

ติดต่อสอบถาม

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

(Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology: RNMT)

Email : rnmt@en.rmutt.ac.th

Website : https://rnmt.rmutt.ac.th/, https://rmtc-rnmt.org/2025/

Facebook : www.facebook.com/RMTC.RNMT

AUTO DIDACTIC CO.,LTD.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

TCEB
THAILAND CONVENTION
& EXHIBITION BUREAU

พื้นที่สำหรับโฆษณา

GENERAL INSTRUMENT CO., LTD.
บริษัท เยนเนอรัลอินสทรูเม้นท์ จำกัด

พื้นที่สำหรับโฆษณา

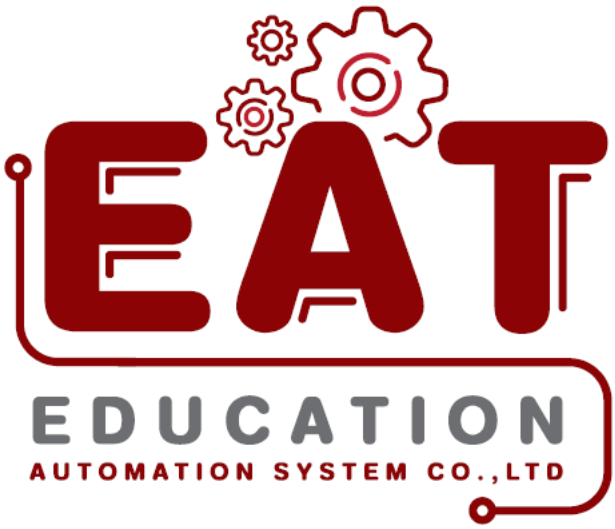
THAI TOHKEN THERMO

พื้นที่สำหรับโฆษณา

SIAM TOOL™
ENGINEERING

พื้นที่สำหรับโฆษณา

พื้นที่สำหรับโฆษณา



พื้นที่สำหรับโฆษณา

พื้นที่สำหรับโฆษณา

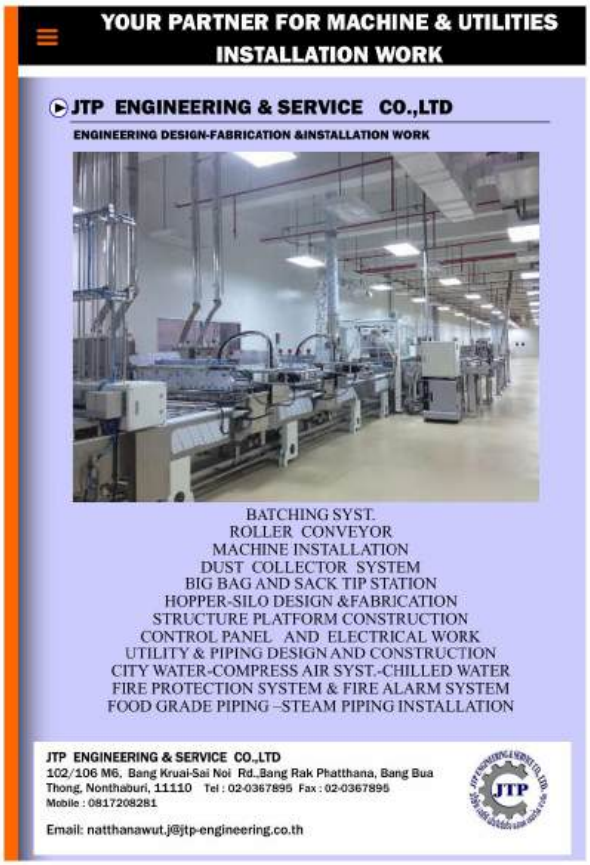
SCTECH (THAILAND) CO.,LTD.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

พื้นที่สำหรับโฆษณา

KASETPHAND

พื้นที่สำหรับโฆษณา



TORQUE IT

ABOUT US

- มีทีมวิศวกรและเจ้าหน้าที่บริการที่ผ่านการรับรองจาก Vender ชั้นนำ
- มีประสบการณ์ดูแลระบบให้กับองค์กรขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ทั้งในภาครัฐ โรงงาน และโรงพยาบาล
- มีระบบ ITSM (IT Service Management) ที่สามารถตรวจสอบงานบริการได้แบบเรียลไทม์
- ให้บริการแบบ SLA (Service Level Agreement) ที่สามารถกำหนด KPI และเวลาตอบสนองได้ตามสัญญา

"Unleash Your Potential with TORQUE IT"
"ปลดล็อกทุกขีดจำกัดในธุรกิจของคุณ ด้วยเทคโนโลยีที่ล้ำสมัย"

19/244, Chuan Chuen Modus Centro Village, Soi Chaengwattana41 แจ้งวัฒนะ อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120
02-002-0965

sales@torqueit.co.th
www.torqueit.co.th

COMPANY PROFILE

TORQUE IT

บริษัท ทอร์ค ไอที จำกัด

ABOUT TORQUEIT

เป็นผู้ให้บริการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศครบวงจร ที่มุ่งขับเคลื่อนองค์กรสู่ยุคดิจิทัลอย่างมั่นคง ปลอดภัย และตอบโจทย์ความต้องการขององค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน โดยให้บริการครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบโครงสร้างระบบไอที การวางระบบโครงข่ายและศูนย์ข้อมูล การบริหารจัดการระบบคลาวด์ การให้คำปรึกษาและบริการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ไปจนถึงบริการ Managed Services ภายใต้ทีมงานผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์และได้รับรองระดับสากล

VISION (วิสัยทัศน์)

เป็นผู้นำในการให้บริการโซลูชันด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ช่วยเสริมศักยภาพให้องค์กรไทยสามารถแข่งขันได้ในยุคดิจิทัล

CORE VALUES (ค่านิยมองค์กร)

- T – Trust (ความน่าเชื่อถือ)
- O – Ownership (ความรับผิดชอบ)
- R – Result-Oriented (มุ่งผลลัพธ์)
- Q – Quality (คุณภาพ)
- U – Unity (ความสามัคคี)
- E – Evolution (การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง)

TORQUE IT

OUR SERVICES

บริการของเรา

Cybersecurity Solutions
- Security Assessment & Penetration Testing
- Security Operation Center (SOC) as a Service
- Next-Gen Firewall & Network Security
- Endpoint & Cloud Security
- Incident Response & Threat Hunting

Cloud & IT Infrastructure Solutions
- Cloud Transformation & Migration Services
- Data Center & Virtualization Solutions
- Backup & Disaster Recovery (DR) Planning
- Infrastructure Monitoring & Managed Service

Network Infrastructure
- Enterprise Networking Solutions ออกแบบระบบเครือข่ายองค์กรทั้ง WAN/LAN/Wi-Fi ให้พร้อมใช้งานและมีเสถียรภาพสูงสุด
- วางระบบ SD-WAN สำหรับสำนักงานหลายสาขา
- ติดตั้งและบริหารอุปกรณ์ Firewall / NGFW / UTM
- วางระบบ VPN และ Secure Remote Access
- ให้บริการ Network Monitoring & Optimization แบบ 24/7
- ให้คำปรึกษาและออกแบบระบบ Zero Trust และ NAC (Network Access Control)

PRONPHAT ENTERPRISE
พรภัทร เอ็นเตอร์ไพร์ส

พื้นที่สำหรับโฆษณา

PAKEI
GROUP
PAKEI GROUP CO., LTD.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

Mitutoyo

พื้นที่สำหรับโฆษณา

REVOLUTION IDACTIC

พื้นที่สำหรับโฆษณา

พื้นที่สำหรับโฆษณา

SEC.
ENGINEERING & EQUIPMENT CO.,LTD.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

STP ADVANCE PRODUCTS CO., LTD.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

AppliCAD Public Company Limited

พื้นที่สำหรับโฆษณา

ISO MASTER

ISO MASTER CO., LTD.

บริษัท ไอเอสโอ มาสเตอร์ จำกัด

พื้นที่สำหรับโฆษณา

AVI TECH SYSTEM

Utilize lean solution and technology for your industrial system.

พื้นที่สำหรับโฆษณา

พื้นที่สำหรับโฆษณา

TATASU

FACTORY T.SAENGTHONG CO.,LTD

WW.TATASU.CO.TH

ผู้ผลิตและจำหน่าย รับซ่อม เครื่องอาร์ค (SPOT WELDING) เครื่องชุบโลหะไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า กล่องคอนโทรล ทุกชนิด ทุกขนาด จากประสบการณ์ในการทำงานที่ผ่านมา ทำให้บริษัทฯ มีความสามารถในการทำงาน และให้บริการแก่ลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมืออาชีพ โดยได้จดทะเบียนเครื่องหมายการค้า ชื่อตราสินค้า "TATASU"

OUR PRODUCTS

- หม้อแปลงไฟฟ้า
- เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
- เครื่องอาร์ค
- ชุดคอนโทรล

OUR SERVICES

- ตรวจเช็คและซ่อมบำรุงนอกสถานที่
- ซ่อมบำรุงเครื่องอาร์ค
- ซ่อมบำรุงเครื่องชุบโลหะ
- ซ่อมบำรุงคอนโทรลควบคุม
- ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานเชื่อม Spot, งานชุบโลหะ, หม้อแปลงไฟฟ้าอุตสาหกรรม

E-Mail : Info@tatasu.co.th
Line ID : @tatasu
Call : 02-840-0202-3, 094-7700999

20 YEARS OF EXPERIENCE