

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- ผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลักษณะการเชื่อมฟลักซ์คอร์หรือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงต่ออายุการใช้งานเครื่องจักรกลหนัก
ณัฐ แก้วสกุล สุภารัตน์ บุตรไชย อัญญารัตน์ สอนสนาม ภาวินี อ่างบุญตา และ ธวัชชัย คำแดง
- การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตจันทบุรี
สมภารต ศรีประเทือง ชูติ หมอรักษา และ สุรพงษ์ โชทอง
- การขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกกรีไฮเคิลเสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าชาวบ้า
จิรวัดน์ ใจอู่ สิริภพ ราษฎร์ดุขดี และ พลภัทร ทิพย์บุญศรี
- การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไผ่โดยใช้วิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ TOPSIS
ปวีรธรรต นาสวาสดี ยุทธธรรงค์ จงจันทร์ ประเวช เชื้อวงษ์ สมศักดิ์ ทองแก้ว นพดล ศรีพุทธา และ สราวุธ อิศรานูวัฒน์
- การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับงานขึ้นชิ้นเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน
เจตนิพัทธ์ พิมลลักษณ์นากุล อภิสิทธิ์ คำพิมพ์ สมิทธิ์ บัวนาค จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร ประจักษ์ จิตกุล สุภัทรา หมู่ปารัง และ วรณนิกา บุชคุ้ม
- การปรับปรุงและการป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนซิลิโคนของกระจกรถยนต์ กรณีศึกษา:บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก
ประภาพร พลแสง อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย ประเมศวร์ เป้าวรรณ ปัญญา วินทะไชย และ ประวิทย์ ใจยนต์ดอน
- การออกแบบเครื่องพ่นทรายเพื่อลดความสูญเสียค่าในกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์
วราภรณ์ กลิ่นบุญ ธีรธรรมบุญ ยอดแสง นที สุไชยสงค์ และ จิระพล กลิ่นบุญ
- การศึกษาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตขึ้นรูปจากกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบจากอะลูมิเนียมเติมด้วยพลาสติก
วลัญชกร พุ่มขลิบ ชานา ลีบำรุง พลภัทร ทิพย์บุญศรี ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์ และ ชจร สีทาแก
- การออกแบบและพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบกอดประกอบได้
วรรณพร ชิววัฒน์พงศ์ ชัยนุกฤษ พรหมนวล ประวิทย์ หมู่จันทร์ และ จิระศักดิ์ เพ็ญเจริญ

ผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลึกของการเชื่อมฟลักซ์คอร์เหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงต่อฉากสำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก The Effect of Process Parameter on Penetration in FCAW of Fillet Joint High Strength Steel for Heavy Equipment โดย : ณัฐ แก้วสกุล สุภารัตน์ บุตรไชย อัญญารัตน์ สอนสนาม ภาวินี อ่างบุญตา และ ธวัชชัย คำแดง	1
การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตจันทบุรี Production Of RDF-5 Fuel From Waste Within Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus โดย : สมมาตร ศรีประเทือง จูติ หมอรักษา และ สุรพงษ์ โช้ทอง	12
การขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลเสริมแรง ด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาม้า The Forming of Composite Sheets for Indoor Decoration from Recycled Thermoplastic Waste Reinforced by Textile Waste of Loincloth โดย : จิรวรรณ ใจอยู่ สิริภพ ราษฎร์ดุขติ และ พลภัทร ทิพย์บุญศรี	27
การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชน กลุ่มผู้ปลูกไผ่โดยใช้วิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ TOPSIS Selecting Green Supply Chain Management for Community Bamboo Growers Enterprise Using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution โดย : ปวีรบรรต นาสวาสดี ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ประเวช เชื้อวงษ์ สมศักดิ์ ทองแก้ว นพตล ศรีพุทธา และ สราวุธ อิศรานูวัฒน์	43
การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับงานขึ้นส่วน เครื่องฉีดพลาสติกเพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน Design and Develop Jig Fixtures for Parts of Plastic Injection Machine to Reduce Working Time โดย : เจตนิพัทธ์ พิมลลักษณ์กุล อภิลักษณ์ คำพิมพ์ สมิทธิ์ บัวนาค จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร ประจักษ์ จัตกุล สุภัทรา หมู่ปาร์ัง และวรรณนิศา นุชคุ้ม	56
การปรับปรุงและการป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนซีลขอบกระจกลยนต์ กรณีศึกษา: บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก The Improving and Defect Prevention in Production Process of Car Window Trim Seal Parts Case study: Company for Plastic Components โดย : ประภาพร พลแสง อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย ประเมศวร์ เข้าวรรณ ปัญญา วินทะไชย และ ประวิทย์ เจียนดอน	69

การออกแบบเครื่องพ่นทรายเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์	80
Design of Sandblasting Machine to Reduce Waste in the Production of Motorcycle Exhaust Muffler	
โดย : วราภรณ์ กลิ่นบุญ รัฐธรรมบุญ ยอดแสง นที สุไชยสงค์ และ จิระพล กลิ่นบุญ	
การศึกษาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตขึ้นรูปจากกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบจาก อะลูมิเนียมเติมด้วยพลาสติก	90
The Study of Volatile Organic Compounds of the Composites Fabricated from Used-Beverage Cartons Containing Aluminum and Additional Plastics	
โดย : วลัยชรัก พุ่มขลิต ชาณา ลีบำรุง พลภัทร ทิพย์บุญศรี ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์ และ ขจร สีทาแก	
การออกแบบและพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้	99
Design and Development of a Knock-Down Hot Air Drying	
โดย : วรธนพร ชีววุฒิพงศ์ ชัยณัฐ พรมนวล ประวิทย์ หนูจันทร์ และ จิระศักดิ์ เพียรเจริญ	



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ แสง-ชูโต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแดง

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลนิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทสายัน นราพิณิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ฝัสติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ย้งยศ ทิพย์ศรีราช

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูแก้ม

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนธนะ ศรีสระคู

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ดร.มนตรี แสงสุริยันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.สุรเชษฐ์ เลื่อนแก้วสิงห์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอนแก่น

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก้าวน้ำ จงวัฒนารักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Journal of Manufacturing and Management Technology

Editorial Team

Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr.Anin Memon

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Editorial Board

Asst. Prof. Pisit Sang-Xuto

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

Assoc. Prof. Tannachart Wantang

Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University

Asst. Prof. Supaaek Pramoonmark

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Boonsong Chongkolnee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Jatuporn Jaidumrong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Asst. Prof. Dr.Nonthachoti Udomsri

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Asst. Prof. Pisit Srinoi

Faculty of Argo-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

Asst. Prof. Puttasayan Narapinij

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Nateechai Passadee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Yingyos Tipsrirach

Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Tecnology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

Asst. Prof. Dr.Niwat Mookam

Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wang Klai Kang Won Campus

Asst. Prof. Dr.Poontana Sresracoo

Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Dr.Montri Saengsuriyan

Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

Dr.Surached Thuankaewsing

Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

Secretary

Asst. Prof. Dr.Kaona Jongwuttanaruk

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บทบรรณาธิการ

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม ปีพุทธศักราช 2567 จำนวนบทความตีพิมพ์ 9 บทความ โดยวารสารมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์บทความคุณภาพสูงสำหรับนักศึกษาด้านเทคโนโลยี นักวิจัย และผู้ปฏิบัติงาน ให้เข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีพัฒนาการปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น วารสารรับตีพิมพ์บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทัศน์ทั้งที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษซึ่งไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน โดยทางวารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม ซึ่งในฉบับนี้มีเนื้อหาทั้งทางด้านวิศวกรรมการผลิต กระบวนการผลิต การจัดการการผลิต และการดำเนินงาน วัสดุศาสตร์และการประยุกต์ใช้งาน และ โซ่อุปทานและโลจิสติกส์

กระบวนการพิจารณาบทความของวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ บทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ตามประกาศของ ก.พ.อ เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 4) ปีพุทธศักราช 2564 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งตั้งละท่านจะไม่มีเปิดเผยชื่อกันและกันตลอดกระบวนการตรวจสอบบทความ (Double-blind review)

กองบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ผู้เขียน และผู้อ่านทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความฉบับที่สองของทางวารสาร หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ทุก ๆ ท่านจะมีสุขภาพ พลานามัยที่แข็งแรง ปลอดภัยจากการแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 รวมถึงปราศจากการโรคร้ายต่าง ๆ และยังคงติดตามการเผยแพร่ผลงานของวารสารฯ ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุขฎิ บุญธรรม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อิทธิผลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
อาจารย์ศักดิ์ดา คำจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
อาจารย์วีเรขา คำจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ประจักษ์ จิตกุล	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ภูริพัส แสนพงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลลหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนรัญชลา กำไลทอง	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัดณ์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา
อาจารย์ ว่าที่ร้อยเอก สุภัทร ศิลาลอย	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตินันทรบ แสงสว่าง	คณะพาณิชยนาวินานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Reviewers

Asst. Prof. Dr.Dussadee Buntam	Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.Mongkon Ittiphalin	Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong
Mr. Sakda Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Ms. Wirekha Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Asst. Prof. Dr.Natthasak Pornputsiri	Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.Prajak Jattakul	Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr.Puripat Saenpong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Chanchai Laoha	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Naranchala Khumlaithong	Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya Campus
Asst. Prof. Chirawat Na-Badalung	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Assoc. Prof. Dr.Jittiwat Nithikarnjanatharn	Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Rachasima Campus
Mr. Supat Silaloy	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Dr.Chatnugrob Sangsawang	Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University Sriracha Campus

ผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลึกของการเชื่อมฟลักซ์คอร์เหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงต่อฉากสำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก

The Effect of Process Parameter on Penetration in FCAW of Fillet Joint High Strength Steel for Heavy Equipment

ณัฐ แก้วสกุล^{1*} สุภารัตน์ บุตรไชย¹ อัญญารัตน์ สอนสนาม¹ ภาวินี อ่างบุญตา¹ และ ธวัชชัย คำแดง¹

¹สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Nut Kaewsakul^{1*} Suparat Bootchai² Anyarat Sonsanam³ Parvinee Angboonta⁴ and Thawattchai Chomdeng⁵

¹Division of Industrial Education, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Thunyaburi District, Pathum Thani Province

*Corresponding author Email: nut_k@rmutt.ac.th

(Received: December 6, 2024; Revise: December 31, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลึกของการเชื่อม ฟลักซ์คอร์เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงต่อฉากสำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมต่อการหลอมละลายลึกของชิ้นงานเชื่อมต่อฉากที่ได้จากการปรับตั้งตัวแปรการเชื่อมที่แตกต่างกันได้แก่ กระแสไฟเชื่อม แรงดันอาร์ก และชนิดของแก๊สคลุมวิธีการทดลองเตรียมชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ขนาด 100 x 380 x 10 มิลลิเมตร เลือกใช้ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ (E111T1-GC H4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตรต่ออนาที ระยะยื่นลวดเชื่อม 18 มิลลิเมตร โดยกำหนดสภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อมที่ 160 180 และ 200 แอมแปร์ตามลำดับ แรงดันอาร์ก 200 180 และ 22 โวลต์ ชนิดของแก๊สคลุมอาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และอาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้กระแสไฟเชื่อม และแรงดันอาร์กที่เพิ่มขึ้นทำให้การหลอมละลายลึกเพิ่มสูงขึ้นด้วยไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมในตำแหน่งท่าราบ หรือท่าระดับ หรือใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สผสมอาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสภาวะการเชื่อมที่ให้การหลอมละลายลึกมากที่สุดคือ การเชื่อมด้วยกระแสไฟ 200 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตรต่ออนาที แก๊สคลุมอาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ ลักษณะหรือรูปลักษณ์ของแนวเชื่อม (Weld Profile) ที่เหมาะสมได้แก่การหลอมละลายลึก ความสมมาตรของแนวเชื่อมต่อฉาก ความนูนของแนวเชื่อมได้รับจากสภาวะการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ ใช้แก๊สปกคลุมชนิดอาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ ตำแหน่งท่าราบจะสร้างบ่อหลอมของแนวเชื่อมได้อย่างสมมาตร และสร้างขอบขาของแนวเชื่อมหลอมละลายอย่างสมบูรณ์สูงสุด

คำสำคัญ: การเชื่อมฟลักซ์คอร์ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง การหลอมลึก และแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

Abstract

This research study aims to find the weld penetration of Flux Core Arc Welding (FCAW) of Quenched and Tempered High Strength Steel for heavy equipment. To study the effect of welding condition as the welding current, arc volt and gas shielding with flux core arc welding process. By determined the welding current 160, 180 and 200 Amp and arc voltage 20, 22, 24 V respectively. Welding on flat and horizontal position with Argon, Carbon dioxide and Argon mixed Carbon dioxide shielding gas. To compare the welding penetration, relate with the welding current, arc voltage and gas shielding by inspection of weld quality as weld profile, penetration, width of weld and compare the mechanical test with microstructure. The experimental procedure preparation of base metal is quench and tempered high strength steel has the dimension of width 100 mm long 300 mm and thickness 10 mm. Use the solid wire electrode flux core wire E111T1-GC H4 diameter 1.2 mm. Welding speed 15 cm/min, electrode extension 18 mm. The result shows the highest weld penetration occurs from the high welding current of 200 Ampere, 24 Voltage and gas mixed between Ar and CO₂ with flat welding position. In the welding condition produce the weld profile are symmetry the leg of weld is flat with the surface of fillet base metal is show the excellent of penetration of weld metal with base metal. The macrostructure shows the leg penetration are excellent.

Key Word: Weld Penetration, High Strength Steel, Penetration, Welding Microstructure and Gas Shielding

1. บทนำ

เทคโนโลยีการเชื่อมต่อประกอบโลหะในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมต่อประกอบชิ้นงาน (Base Metal) เหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่อประกอบประหยัดเวลา ขึ้นรูปได้ง่าย สิ่งสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งคือการพิจารณาเลือกโลหะชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูง ๆ เพื่อจะลดน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้าง จึงทำให้หลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตอะไหล่ชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมการต่อเรือเดินสมุทร อุตสาหกรรมการเชื่อมต่อประกอบโครงสร้างเหล็กอาคารสูง, สะพาน โรงงาน อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลหนัก ได้แก่ รถเครน รถแทรกเตอร์ รถสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ รวมถึงอุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนหรือภาชนะบรรจุแรงดันสูง (Pressure Part) อุตสาหกรรมการเชื่อมต่อประกอบระบบท่อส่งน้ำมัน ระบบท่อส่งก๊าซ การเชื่อมประกอบโรงแยกก๊าซ การเชื่อมประกอบทุ่นลอยหรือฐานเจาะน้ำมัน (Off Shore Construction) การเชื่อมประกอบถังสำรองเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูง (Pressure Vessel) จากความต้องการที่หลากหลายของอุตสาหกรรมการผลิตประกอบโลหะ จึงทำให้กระบวนการที่นำมาใช้ในการต่อประกอบโลหะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลวิธีการเชื่อมโลหะที่มีอยู่อย่างมากมาย หลากหลายวิธีได้ถูกนำมาทำการการศึกษวิจัยอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับความสามารถในการเชื่อมโลหะประเภทต่าง ๆ ตัวแปรของกระบวนการเชื่อมที่มีผลต่อชิ้นงานเชื่อมทั้งด้านคุณลักษณะทางโลหะวิทยาของงานเชื่อม คุณสมบัติทางกล ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน รวมไปถึงด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตโดยวิธีการเชื่อมด้วยเช่นกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้อง สามารถตอบสนองได้ตรงตามความต้องการภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ขนาดใหญ่เช่น รถแบ็คโค รถเครน รถต่อพ่วง เป็นการนำรายได้เข้าสู่ประเทศอย่างมากมาย ทำให้เกิดการจ้างงาน สร้างรายได้ยกคุณภาพชีวิตของ

กลุ่มคนที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล่านี้ให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ให้สูงขึ้นซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่นการนำเครื่องมือ เครื่องจักรสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต การเพิ่มขีดความสามารถระดับของแรงงานให้ได้มาตรฐาน สามารถคิดในเชิงวิเคราะห์ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบ วางแผนการผลิตและกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในการผลิตได้อย่างถูกต้อง ที่สำคัญอย่างยิ่งคือการวิจัย และพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตในสายการผลิตเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน และสร้างรากฐานองค์ความรู้ ในการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่เป็นการเสริมสร้างอำนาจการแข่งขันในกลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ได้อย่างมั่นคง ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และอะไหล่ชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก ประกอบด้วยกระบวนการผลิตต่าง ๆ มากมายหลายขั้นตอน กระบวนการผลิตโดยการเชื่อมถือว่าเป็นกระบวนการผลิตขั้นต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการต่อประกอบชิ้นส่วนหลัก เช่น โครงสร้างหลัก ตัวถัง ชิ้นส่วนรับแรง โครงสร้างบรรทุกทุกโหลด โครงสร้างระบบส่งกำลัง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ ประกอบไปด้วยตัวแปรมากมายเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยการเชื่อม ตัวแปรแรกที่มีความสำคัญและถือเป็นตัวแปรต้นในงานเชื่อมได้แก่ กระบวนการเชื่อม (Welding Processes) กระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่งในกลุ่มของอุตสาหกรรมการผลิตอะไหล่ และชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ได้แก่กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะด้วยก๊าซคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) หรือกระบวนการเชื่อมมิก (Metal Inert Gas: MIG) และกระบวนการเชื่อมที่มีวิธีการใกล้เคียงกันมาก ๆ ได้แก่ การเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas: MAG) การเชื่อมซีโอทู (CO₂) รวมถึงการเชื่อมฟลักซ์คอร์ (Flux Cored Arc Welding: FCAW)

การเชื่อมฟลักซ์เป็นวิธีการเชื่อมที่นิยมมากในการเชื่อมต่อโลหะแผ่นหนารอยต่อฉาก เช่นรอยต่อตัวที่ รอยต่อเกย เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้อัตราการเติมหลอดสูง สามารถเชื่อมเต็มร่องรอยบากชิ้นงานได้รวดเร็วทำให้ประหยัดเวลาและพลังงานในการเชื่อม อย่างไรก็ตามการเชื่อมฟลักซ์คอร์จำเป็นต้องมีการควบคุมตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อให้กระบวนการเชื่อมสามารถสร้างการหลอมละลายลึกได้อย่างเพียงพอต่อรอยฉากซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของแนวเชื่อม และคุณภาพของรอยเชื่อมที่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเพื่อรับรองคุณภาพของงานเชื่อม ดังนั้นการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหลอมละลายลึกของชิ้นงานเชื่อมฟลักซ์คอร์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง จะเห็นได้จากการรายงานของ E.Karadenniz et al. [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมได้แก่กระแสไฟเชื่อม อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม ที่มีผลต่อการหลอมละลายลึก ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อม และอาร์คโวลต์เตจทำให้การหลอมละลายลึกเพิ่มขึ้น การหลอมละลายลึกมากที่สุดเกิดขึ้นที่ความเร็วในการเชื่อม 60 เซนติเมตรต่อนาที หรือจากการศึกษาของ I.S. Kim et al. [2] ได้รายงานผลการศึกษาของถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมกับการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อมบนแผ่นเหล็ก SS400 หนา 12.5 มิลลิเมตร พบว่ากระแสไฟในการเชื่อม อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม มุมการเชื่อมเป็นตัวแปรที่ทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีคุณภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระแสไฟเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเพิ่มการหลอมละลายลึกของรอยเชื่อม หรือการศึกษาของ D. Katherrasan et al. [3] ได้รายงานผลเกี่ยวกับตัวแปรของกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์โดยกำหนดตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 316L(N) เช่น อัตราการป้อนหลอดเชื่อม อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม มุมหลอดเชื่อมที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของรอยเชื่อมเช่น ขนาดความกว้างแนวเชื่อม ความนูนของส่วนเสริมแรง และการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อม สามารถพยากรณ์ผลการหลอมละลายลึกสูงสุด ขนาดความกว้าง และนูนของแนวเชื่อมน้อยที่สุดได้ และพบว่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อมีเดลต้าเพอร์ไรท์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ S. A. Mohamat et al. [4] ที่ได้รายงานผลการศึกษาการเชื่อมฟลักซ์คอร์เหล็กกล้าคาร์บอน หนา 6 มิลลิเมตร โดยการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม จากสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ กัน พบว่าการเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมมีอิทธิพลทำให้การ

หลอมละลายลึกเพิ่มขึ้น รวมทั้งอาร์คโวลต์เตจ และความเร็วในการเชื่อม จะเห็นได้ว่าการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คโวลต์เตจที่มีผลกระทบต่อคุณภาพงานเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามในการเชื่อมต่อนั้นงานในอุตสาหกรรมการเชื่อมชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดใหญ่ โดยส่วนมากแล้วการออกแบบรอยต่อนิยมใช้แบบการต่อฉาก ต่อเกย M. V. Venkatesan et al. [5] และการศึกษาวิจัยยังขาดเรื่องของกระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คโวลต์เตจขึ้นงานรอยต่อฉากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ที่เป็นเครื่องจักรกลหนัก เนื่องจากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสามารถรับแรงภาระโหลดได้ดีกว่าเหล็กกล้าทั่วไป อีกทั้งมีข้อได้เปรียบในการลดน้ำหนักของเครื่องจักรกลหนักได้

ดังนั้นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลึกของการเชื่อมพลาสมาอาร์คโวลต์เตจเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงต่อฉากสำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญยิ่งต่อการรองรับการพัฒนาของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และเครื่องจักรกลหนัก เนื่องจากขาดการศึกษาวิจัยที่ตรงต่อความต้องการจริงในการใช้งานของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลหนักขนาดใหญ่ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดเลือกใช้วัสดุ การควบคุมคุณภาพการเชื่อมในกระบวนการผลิต และการถ่ายทอดองค์ความรู้ใหม่ให้แก่พนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้เกิดความพร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีการเชื่อม เป็นการเพิ่มศักยภาพ และความสามารถในการแข่งขันให้แก่แรงงานในอุตสาหกรรมของประเทศต่อกลุ่มประชาคมอาเซียน (AEC) ได้เป็นอย่างดี

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 กำหนดสภาวะการเชื่อม

กำหนดช่วงกระแสไฟเชื่อม อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม สำหรับการเชื่อมต่อตัวที่ (Fillet Joint) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงแผ่นหนา 10 มม. ด้วยกระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คโวลต์เตจ เชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลหนัก มีความหนาไม่ต่ำกว่า 10 มม. ประกอบในลักษณะรอยต่อฉาก (Fillet Weld) เชื่อมในตำแหน่งท่าราบ ใช้กระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คโวลต์เตจ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม 1.2 มม. ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สอาร์กอน และแก๊สผสมอาร์กอน-คาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมแนวเชื่อม เปรียบเทียบคุณลักษณะของรอยเชื่อม (Weld Profile) การหลอมละลายลึก (Penetration) ความหนาของส่วนเสริมแรง (Weld Reinforcement) และความยาวของคอปรีสิทิล (Effective Throat) อ้างอิงจากมาตรฐานการเชื่อมโครงสร้างเหล็ก AWS D1.1 โดยการกำหนดสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 ดังนี้

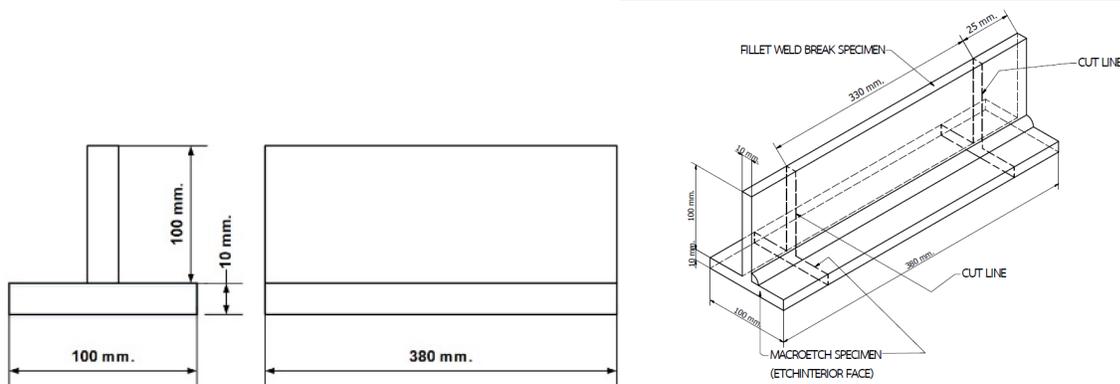
ตารางที่ 1 สภาวะการเชื่อมที่ใช้ในการทดลองงานวิจัย

แก๊สที่ใช้ในการทดลองงานวิจัย	ความเร็วในการเชื่อม	ชิ้นงานเชื่อม		กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)	
		กลุ่มตัวอย่าง	ทำเชื่อม		หมายเลขชิ้นงาน
CO ₂	- ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตร/นาที - ระยะยื่นของลวดเชื่อม 18 มิลลิเมตร	กลุ่มที่ 1	1F	No.1	160
			1F	No.2	180
			1F	No.3	200
			2F	No.4	160
			2F	No.5	180
			2F	No.6	200

แก๊สที่ใช้ในการทดลองงานวิจัย	ความเร็วในการเชื่อม	กลุ่มตัวอย่าง	ชิ้นงานเชื่อม		กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)
			ท่าเชื่อม	หมายเลขชิ้นงาน	
Ar	- ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตร/นาที่ - ระยะยื่นของลวดเชื่อม 18 มิลลิเมตร	กลุ่มที่ 2	1F	No.7	160
			1F	No.8	180
			1F	No.9	200
			2F	No.10	160
			2F	No.11	180
			2F	No.12	200
Ar+CO ₂	- ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตร/นาที่ - ระยะยื่นของลวดเชื่อม 18 มิลลิเมตร	กลุ่มที่ 3	1F	No.13	160
			1F	No.14	180
			1F	No.15	200
			2F	No.16	160
			2F	No.17	180
			2F	No.18	200

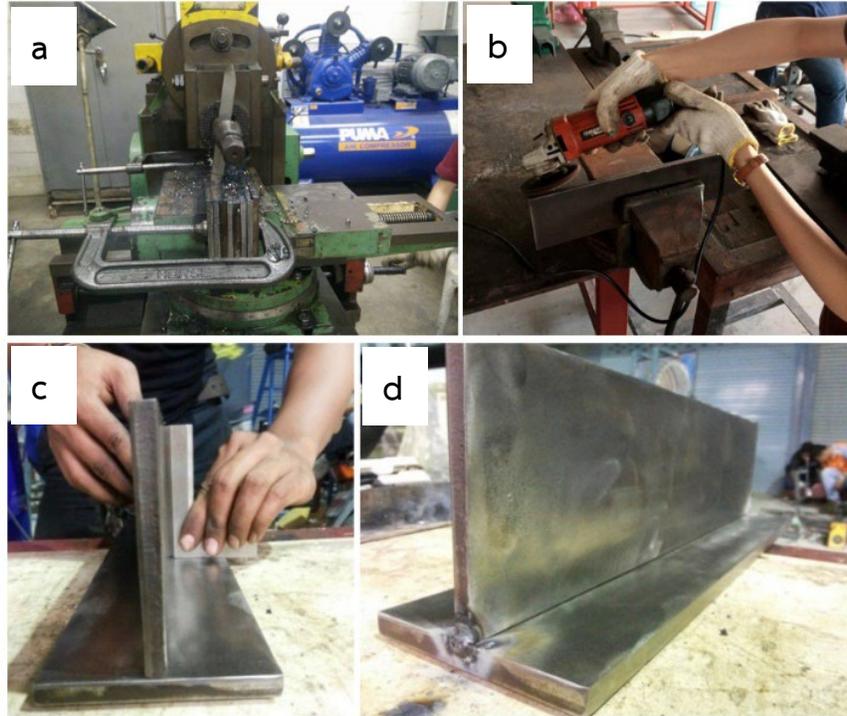
2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ในการทดลองจะมีการออกแบบชิ้นงาน สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบในครั้งนี้ใช้มาตรฐานเกี่ยวกับการเชื่อมของอเมริกาซึ่งเป็นที่ยอมรับ (American Welding Society: AWS D 1.1 – 2020) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมประกอบชิ้นงานทดสอบ

การตัดเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบโดยการใส่ชิ้นรูปให้มีขนาด 100 x 380 มิลลิเมตร เจียรแต่งผิวชิ้นงานขัดคราบสนิม นำชิ้นงานมาวางต่อฉาก (Fillet Joint) เพื่อเตรียมสำหรับการเชื่อมต่อฉากทำراب เมื่อเชื่อมเสร็จจัดปลายชิ้นงานด้านเริ่มต้นเชื่อมและด้านสิ้นสุดการเชื่อมออกด้านละ 1 นิ้วสำหรับการเตรียมทดสอบการแตกหักของงานเชื่อม แสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการประกอบชิ้นงานก่อนการเชื่อม

รูปที่ 2 (a) ไสเตรียมขนาดชิ้นงานทดสอบ (b) การเจียรทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานก่อนการเชื่อม (c) การเตรียมประกอบชิ้นงานในรอยต่อฉาก (Fillet weld) (d) การเชื่อมยึดชิ้นงานต่อฉาก

2.3 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ (High-strength low-alloy steel : HSLA Bis80) หรือเรียกว่า บิสเพลท 80 (Bisplate 80) คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ มีความแข็งแรง ค่าแรงดึงสูงเป็น 3 เท่าของเหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก มีความสามารถในการเชื่อมขึ้นรูปที่ดี มีความหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำมาตัดเป็นชิ้นงานเชื่อมขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร

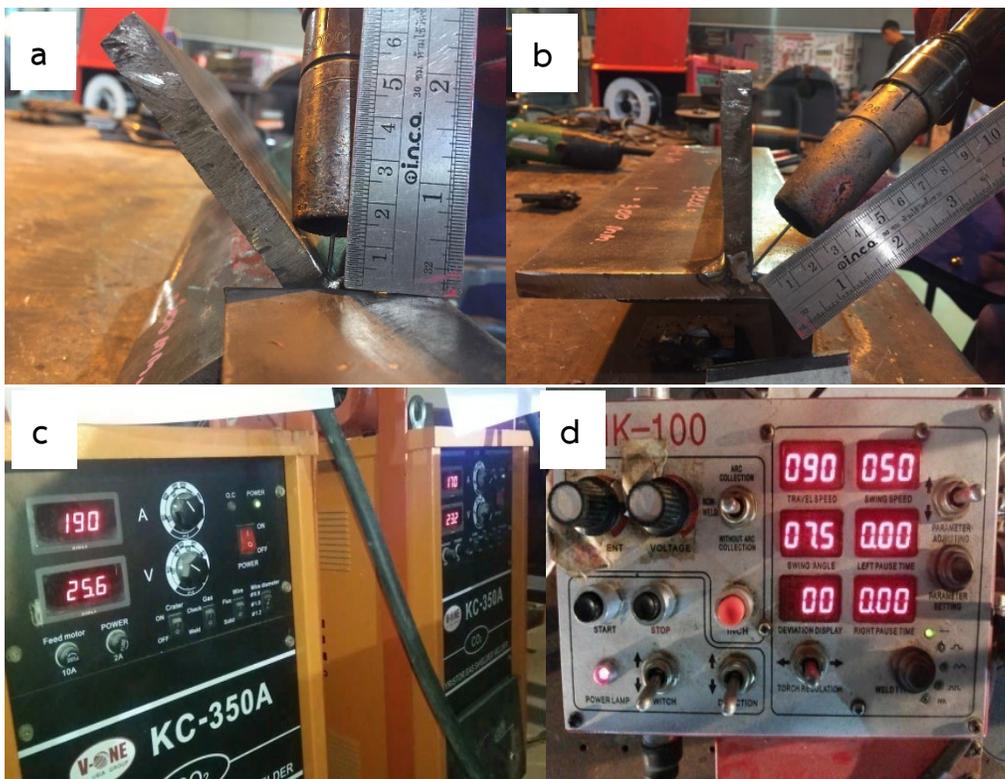
ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกลเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ (HSLA Bis80)

Properties	Specification	Typical
0.2% Proof Stress	690 MPa (Min)	750 Mpa
Tensile Strength	790 – 930 Mpa	830 Mpa
Elongation in 50mm G.L.	18% (Min)	26%
Charpy Impact (Longitudinal) – 20°C (10mm X 10mm)	40J (Min)	160J
Hardness	-	255HB

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ (HSLA Bis80)

Thickness (mm)	C	P	Mn	Si	S	Cr	Mo	B	CE (IIW)	CM
5-<16	0.16	0.010	1.10	0.20	0.003	-	0.20	0.001	0.40	0.25
≥16-80	0.18	0.010	1.40	0.20	0.003	0.20	0.20	0.001	0.50	0.29
>80-100	0.16	0.010	1.15	0.20	0.003	0.90	0.20	0.001	0.58	0.30

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องเชื่อมมิกกี้อั้ววีวันรุ่น KC-350A และเครื่องช่วยเชื่อมมิกกี้อั้ว HUAWEI รุ่น HK-100 Auto welding machine สามารถเชื่อมโดยการป้อนลวดเชื่อมเพื่อให้เกิดการอาร์กกับชิ้นงานอัตโนมัติทำให้เกิดการหลอมละลายอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีแก๊สปกคลุมป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่อง เช่น รูพรุน โพรงอากาศในแนวเชื่อมได้ การเชื่อมจะใช้เครื่องช่วยเชื่อมเพื่อรักษาสถานะการเชื่อมให้คงที่ทั้งกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ระยะห่างระหว่างหัวเชื่อมโดยมีการประกอบติดตั้งดังรูปที่ 3

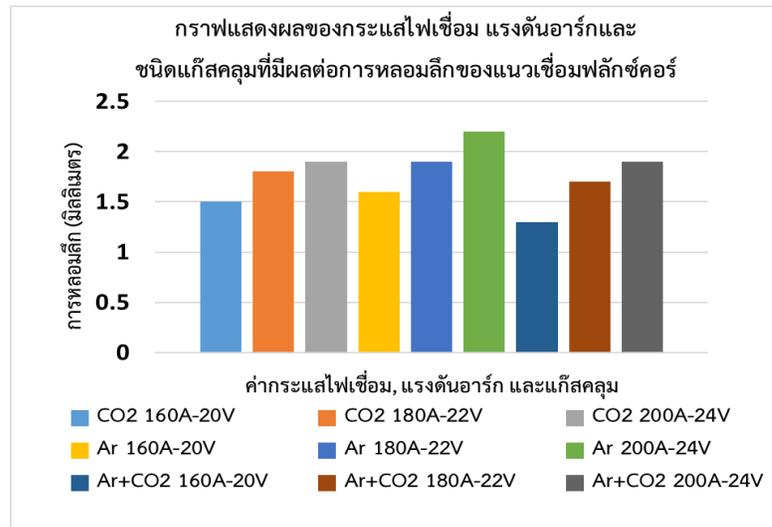


รูปที่ 3 แสดงการเตรียมการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3 (a) แสดงการเตรียมระยะยื่นลวดเชื่อมในตำแหน่งทำราบ (b) แสดงการเตรียมระยะยื่นลวดเชื่อมในตำแหน่งทำระดับ (c) เครื่องเชื่อมสำหรับการเชื่อมฟลักซ์คอร์รี่้อั้ววีวันรุ่น KC-350A (d) เครื่องช่วยเชื่อมมิกกี้อั้ว HUAWEI รุ่น HK-100 Auto welding machine

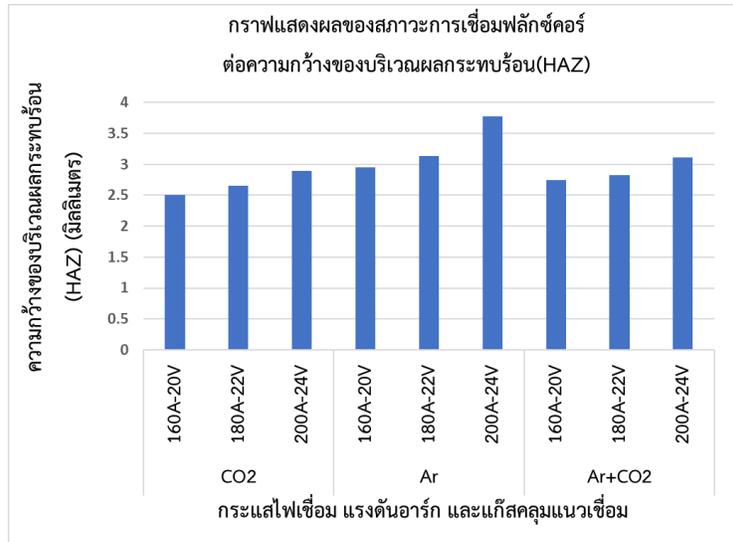
3. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการทดลองการเชื่อมพลาสมาด้วยสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการหลอมละลายของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง สำหรับการเชื่อมต่อประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องจักรกลหนักของรอยเชื่อมแบบต่อฉากพบว่าการเชื่อมด้วยค่ากระแสไฟเชื่อมที่สูงขึ้นในทุก ๆ ชิ้นงาน ทดสอบจะทำให้เกิดการหลอมละลายลึกในเนื้อของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นจากผลการทดลองเมื่อเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่ 200 แอมแปร์ จะให้การหลอมละลายลึกในเนื้อชิ้นงานมากที่สุดคือ 2.2 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับแรงดันอาร์กในการเชื่อมพบว่าที่ค่าแรงดันอาร์กสูงขึ้น 24 โวลต์ จะทำให้การหลอมละลายลึกเพิ่มมากขึ้นตามลำดับแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟเชื่อมสูง แรงดันอาร์กสูงสามารถเพิ่มความลึกในการหลอมละลายได้ให้แก่เนื้อชิ้นงานได้ ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องกับการนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบด้วยวิธีการหักพังทลาย (Fracture Test) ปรากฏว่าชิ้นงานทดสอบสามารถต้านการแตกหักได้ โดยปรากฏการณ์แตกหักพังทลายบริเวณคอของแนวเชื่อม (Throat of weld) ทดสอบนั้นแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของเนื้อแนวเชื่อมที่เกิดการหลอมละลายลึกอย่างสมบูรณ์เข้าด้วยกันบริเวณขาของแนวเชื่อม (Complete Leg Penetration) ในส่วนของแก๊สคลุมแนวเชื่อม พบว่าการใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อมทำให้เกิดการหลอมละลายลึกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับอาร์กอน เนื่องจากแก๊สอาร์กอนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบ่อหลอมละลายได้ยาวนานกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดความร้อนสูงในบ่อหลอมละลายขอบบ่อหลอมสามารถซึมลึกเข้าไปใต้ผิวเนื้อชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นการสร้างแนวขอบเขตการหลอมลึกได้ลึกมากขึ้น



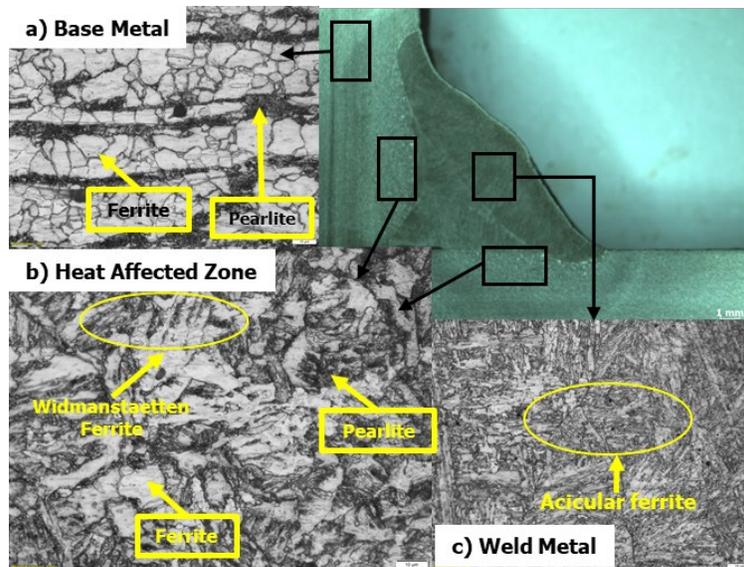
รูปที่ 4 แสดงผลของการเชื่อมพลาสมาในสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการหลอมละลายลึกของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมในสภาวะการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟเชื่อมสูง 200 แอมแปร์ แรงดันอาร์กสูง 24 โวลต์ และใช้แก๊สคลุมอาร์กอนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้เกิดการสะสมของความร้อนในเนื้อชิ้นงานมากขึ้นส่งผลกระทบต่อทางโลหะวิทยาในชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มบริเวณผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ในการเชื่อมให้กว้างขึ้น จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมพบว่าพื้นที่ของบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมมีลักษณะเกรนหยาบขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเกรนเดิมของชิ้นงาน และพื้นที่ของบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมมีพื้นที่กว้างขึ้นเมื่อเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ และใช้แก๊สคลุมอาร์กอน ดังรูปที่



รูปที่ 5 แสดงผลของสภาวะการเชื่อมที่มีผลต่อบริเวณผลกระทบบร้อน

เมื่อนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบค่าความแข็งปรากฏว่าความแข็งสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณเนื้อแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อมต่ำ แรงดันอาร์กต่ำ และใช้แก๊สคลุมคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวปกป้องแนวเชื่อมทำให้การเย็นตัวของเนื้อแนวเชื่อมเร็วกว่าการใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนเนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าการนำความร้อนเร็วกว่าแก๊สอาร์กอนทำให้บริเวณเนื้อแนวเชื่อมมีความแข็งสูงสุด และค่าความแข็งจะลดต่ำที่สุดบริเวณผลกระทบบร้อนจากการเชื่อม ส่วนบริเวณเนื้อชิ้นงานเดิมมีค่าความแข็งปานกลางเนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ จากความร้อนยังคงสภาพเกรนเฟอร์ไรท์ที่ละเอียดกว่าบริเวณผลกระทบบร้อน



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

จากรูปที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคจะเห็นได้ชัดถึงความร้อนจากการเชื่อมส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของเนื้อชิ้นงานเดิมเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณผลกระทบบร้อนจากความร้อนในการเชื่อมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิมจากเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลท์ที่มีขนาดเกรนละเอียดเห็นขอบเกรนชัดเจนจับตัวเรียกกันเป็นกลุ่มเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลท์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนยาวตามทิศทางของการรีด เมื่อได้รับความร้อนจากการเชื่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณผลกระทบบร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างวิดแมนสแตเทน (Widmanstatten) [6] หรือโครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปเข็มที่มีเกรนหยาบทำให้บริเวณดังกล่าวมีความแข็งลดลง ในขณะที่โครงสร้างของแนวเชื่อมที่เกิดจากการหลอมละลายจากการ

เชื่อมและมีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วต่อเนื่องทำให้เกิดเกรนมีลักษณะเป็นเกรนแท่งยาวรูปเข็ม (Acicular Ferrite) [7] แต่มีความละเอียดกว่าเกรนวิตแมนสแตนเดนในบริเวณผลกระทบร้อนจึงทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูงที่สุดในชิ้นงานเชื่อม



เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการหักพังหลาย (Fracture Test) พบว่าการแตกหักพังหลายของชิ้นงานเชื่อมจะเกิดขึ้นบริเวณคอของแนวเชื่อมเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์รูปเข็ม (Acicular Ferrite) [8] ที่มีลักษณะเกรนค่อนข้างละเอียดมีความแข็งแรงสูงแต่เปราะแตกหักได้ง่าย เมื่อได้รับแรงทดสอบกดอัดทำให้บริเวณเนื้อแนวเชื่อมไม่สามารถยึดตัวได้สังเกตเห็นได้จากผิวของรอยแตกไม่มีการเปลี่ยนรูป [9] หรือยึดตัวให้เห็น ลักษณะการแตกหักจะเป็นแบบเปราะผ่ากลางตลอดคอของแนวเชื่อม

จากการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมที่ใช้พลังงานสูงโดยมีสภาวะการด้วยกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ แรงดันอาร์ก 24 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 15 เซนติเมตรต่อนาที ระยะยื่นปลายลวดเชื่อม 18 มิลลิเมตร ชิ้นงานหนา 10 มิลลิเมตร ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอน 99.95 % ของรอยเชื่อมต่อฉาก (Fillet Weld) ทำราบ เป็นสภาวะการเชื่อมที่ให้การหลอมละลายลึก (Penetration) ในเนื้อชิ้นงานเชื่อมได้มากที่สุดที่ 2.2 มิลลิเมตร การหลอมละลายลึกสมบูรณ์ทำให้ชิ้นงานเชื่อมสามารถต้านทานการแตกหักได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีการเสียรูปแตกหักบริเวณขาของแนวเชื่อมทั้งสองด้าน และให้การหลอมลึกที่รากแนวเชื่อมสมบูรณ์ ด้านสมบัติทางกลความแข็งแรงของแนวเชื่อมสูงสุดเมื่อเชื่อมในสภาวะที่ใช้แก๊สคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งแรงเปราะแตกหักได้ง่าย ในขณะที่การใช้แก๊สคลุมอาร์กอนทำให้เกิดการขยายพื้นที่ของบริเวณผลกระทบร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อสภาวะการเชื่อมที่ใช้พลังงานมากขึ้นและทำให้บริเวณผลกระทบจากความร้อนมีความแข็งแรงลดลงต่ำที่สุดแต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นสามารถยึดตัวได้ดี

4. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการหลอมละลายลึกของการเชื่อม ฟลักซ์คอร์เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงต่อฉากสำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากการสนับสนุนของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและนักศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมนายทรงพล ประดิษฐ์ และนายสิทธิศักดิ์ สังข์วรรณ นักศึกษาปริญญาตรีหลักสูตร 5 ปี ภาคปกติ ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ ทดสอบชิ้นงาน รวบรวมผลการทดสอบ และ บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญ คณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัย จนทำให้ผลงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Karadeniz, U. Ozsarac, and C. Yildiz, "The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes," *Materials & Design*, vol. 28, no. 2, pp. 649–656, Jan. 2007. doi:10.1016/j.matdes.2005.07.014

- [2] I. S. Kim, J. S. Son, I. G. Kim, J. Y. Kim, and O. S. Kim, "A Study on Relationship Between Process Variables and Bead Penetration for Robotic Co₂ Arc Welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 136, no. 1–3, pp. 139–145, May 2003. doi:10.1016/s0924-0136(02)01126-3
- [3] D. Katherasan, J. V. Elias, P. Sathiya, and A. N. Haq, "Flux Cored Arc Welding Parameter Optimization Using Particle Swarm Optimization Algorithm," *Procedia Engineering*, vol. 38, pp. 3913–3926, 2012. doi:10.1016/j.proeng.2012.06.449
- [4] S. A. Mohamat, I. A. Ibrahim, A. Amir, and A. Ghalib, "The Effect of Flux Core Arc Welding (FCAW) Processes on Different Parameters," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1497–1501, 2012. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.341
- [5] M. V. Venkatesan, N. Murugan, B. M. Prasad, and A. Manickavasagam, "Influence of FCA Welding Process Parameters on Distortion of 409m Stainless Steel for Rail Coach Building," *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 20, no. 1, pp. 71–78, Jan. 2013. doi:10.1016/s1006-706x(13)60047-3
- [6] I. A. Bataev, A. A. Bataev, V. G. Burov, Ya. S. Lizunkova, and E. E. Zakharevich, "Structure of Widmanstatten Crystals of Ferrite and Cementite," *Steel in Translation*, vol. 38, no. 8, pp. 684–687, Aug. 2008. doi:10.3103/s0967091208080251
- [7] L. Cho, A. Tselikova, K. Holtgrewe, E. De Moor, R. Schmidt, and K. Findley, "Critical Assessment 42: Acicular Ferrite Formation and Its Influence on Weld Metal and Heat-Affected Zone Properties of Steels," *Materials Science and Technology*, vol. 38, no. 17, pp. 1425–1433, Nov. 2022. doi:10.1080/02670836.2022.2088163
- [8] R. C. Cochrane, "Phase Transformations in Microalloyed High Strength Low Alloy (HSLA) Steels," *Phase Transformations in Steels*, pp. 153–212, 2012. doi:10.1533/9780857096111.2.153
- [9] W. L. Costin, O. Lavigne, and A. Kotousov, "A Study on The Relationship Between Microstructure and Mechanical Properties of Acicular Ferrite and Upper Bainite," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 663, pp. 193–203, Apr. 2016. doi:10.1016/j.msea.2016.03.103

การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Production Of RDF-5 Fuel From Waste Within Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus

สมมารถ ศรีประเทือง^{1*} ฐิติ หมอรักษา¹ และ สุรพงษ์ โช้ทอง²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตจันทบุรี

Sommart Sripratuang^{1*} Thiti Mhoraksa¹ and Surapong Sotong²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

²Department of Mechanical Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok Chanthaburi Campus

*Corresponding author Email: sommart_sr@mutto.ac.th

(Received: November 21, 2024; Revise: December 30, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขยะและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรมและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งขยะที่นำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ประกอบด้วย กระจก พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยใช้แ่งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน โดยในการผลิต มี 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) รวบรวมวัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 2) การลดขนาด 3) การผสม 4) การอัดแท่ง โดยทำการทดสอบค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 240, ค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D 3173, ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D 3174, ค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM E 75 และเวลาจุดติดไฟ ตามลำดับ ในการหาส่วนผสมที่เหมาะสม จะทำการศึกษาจาก 4 ส่วนผสม คือ 50:50:50 (กรัม), 75:50:50 (กรัม), 50:75:50 (กรัม) และ 50:50:75 (กรัม) จากผลการวิจัยนี้ พบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมของเชื้อเพลิง RDF-5 คือ ส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 มากที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนเท่ากับ 5,842.09 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.62, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8, ค่าความหนาแน่น 968.18 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 27.57 นาที (ค่าความร้อนไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน 5,000 Cal/g, ค่าความชื้นไม่เกินมาตรฐานร้อยละ 10, ปริมาณเถ้าไม่เกินมาตรฐาน ร้อยละ 20 และค่าความหนาแน่นไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน 600 Kg/m³ ตามลำดับ) 1) ผลการลดขยะพบว่า มีปริมาณขยะเกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จำนวน 261.43 กิโลกรัมต่อวัน การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุดมีน้ำหนักอยู่ที่ 175 กรัม แบ่งเป็นกระจก 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถลดปริมาณขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ได้ร้อยละ 0.38 ต่อวัน 2) ผลการนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินพบว่าสามารถนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินเพื่อช่วย

ให้มีค่าความร้อนและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงได้ 3) ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางด้านความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟดีที่สุด มีต้นทุนการผลิต 7.85 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอย เชื้อเพลิง RDF-5

Abstract

This research is a study and processed waste into fuel. RDF-5 aims to reduce waste and use as fuel with coal in the industry and analysis of manufacturing costs. Waste used in production including paper, plastic, twigs and leaves waste as the raw material for RDF-5 fuel production, with tapioca starch 2 percent by weight as binder. The research identifies four production steps, including gathering materials, reducing waste size, mixing waste materials with tapioca starch, and compressing with hydraulic press. The research tested the RDF-5 fuel with ASTM standards, including ASTM D 240, ASTM D 3173, ASTM D 3174, ASTM E 75, and timer in the burning of RDF-5 fuel. In finding the right mix Will study from 4 ingredients, namely 50:50:50 (grams), 75:50:50 (grams), 50:75:50 (grams) and 50:50:75 (grams). The study conducted four experiments to determine the optimal mixture, which resulted in 50:50:75 (grams) paper, plastic, twigs and leaves. The research found that the heat value of RDF-5 fuel is 5,842.09 Cal/g, moisture content is 6.62 percent, ash content is 8 percent, and density is 968.18 Kg/m³. The burning time is 27.57 minutes. (The calorific value is not lower than the standard of 5,000 calories per grams, The moisture value does not exceed the standard 10 percent, The ash content does not exceed the standard 20 percent and The density is not lower than the standard 600 kg/m³ respectively). 1) The waste reduction results showed that there was a large amount of waste generated in Rajamangala University of Technology Tawan Tawan-ok. Chanthaburi Campus, 261.43 kg per day Production of RDF-5 fuel in the best blend It weighs 175 grams Divided into 50 grams of paper, 50 grams of plastic, and 50 grams of twigs and leaves When used to produce RDF-5 fuel in the amount of 1 kg per day will be able to reduce the amount of waste in Rajamangala University of Technology Tawan Tawan-ok Chanthaburi Campus 0.38 percent per day. 2) The research also found that RDF-5 fuel can be used with coal to increase heat and efficiency while reducing coal consumption. 3) The cost of production of RDF-5 fuel was found to be 7.85 baht per kilogram.

Keywords: Solid Waste, RDF-5 Fuel

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี เป็นมหาวิทยาลัยที่มีขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ตั้งอยู่ในเขตตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี มีพื้นที่ 1,576 ไร่ 1 งาน 73 ตารางวา ประกอบด้วยพื้นที่สำหรับการศึกษา ที่พักอาศัย ฟาร์ม สวนผลไม้ ป่า และสระน้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภค วิทยาเขตจันทบุรีเป็นมหาวิทยาลัยที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรเป็นอันมาก ซึ่งทางพื้นที่ที่เป็น

ฟาร์ม สวนผลไม้ และวัชพืชที่ขึ้นในพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้ขึ้น วัชพืชส่วนมากเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับการเกษตรของคนได้เป็นอย่างดี ประกอบกับจังหวัดจันทบุรีเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี ทำให้วัชพืชของกรมการกำจัดจึงเป็นไปได้ด้วยความลำบาก ภายในมีหอพักนักศึกษาและบ้านพักบุคลากรอยู่ในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัย จึงมีปริมาณขยะเกิดขึ้นค่อนข้างมาก ซึ่งขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีปริมาณ 261.43 กิโลกรัม หากสามารถนำขยะที่เหลือทิ้งเหล่านี้มาแปรรูปเป็นพลังงานจะสามารถลดปัญหาการสะสมของปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย ทั้งในทางทฤษฎีปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทั้งในรูปของพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย เช่น การนำความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้ขยะมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี โดยหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม มุ่งเน้นที่การลดปริมาณขยะด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สร้างมูลค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะเปลี่ยนขยะ เช่น กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดปริมาณขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและวิธีการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

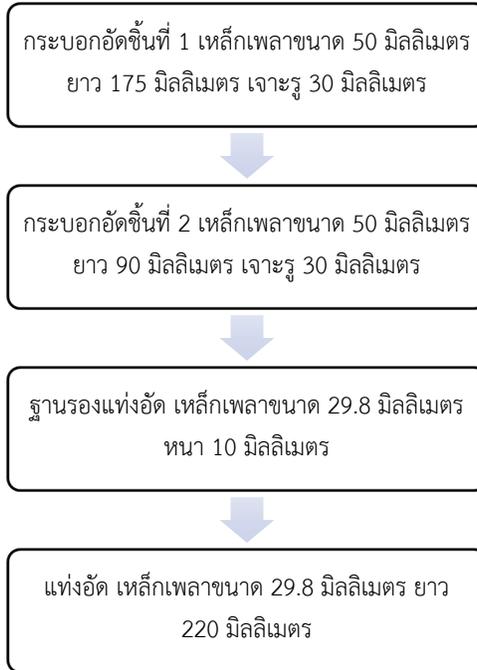
- 1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้
- 2) ตัวประสาน คือ แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนัก
- 3) ออกแบบการทดลอง

ตัวอย่าง	กระดาษ (กรัม)	พลาสติก (กรัม)	กิ่งไม้และใบไม้ (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)
A	50	50	50	2%
B	75	50	50	2%
C	50	75	50	2%
D	50	50	75	2%

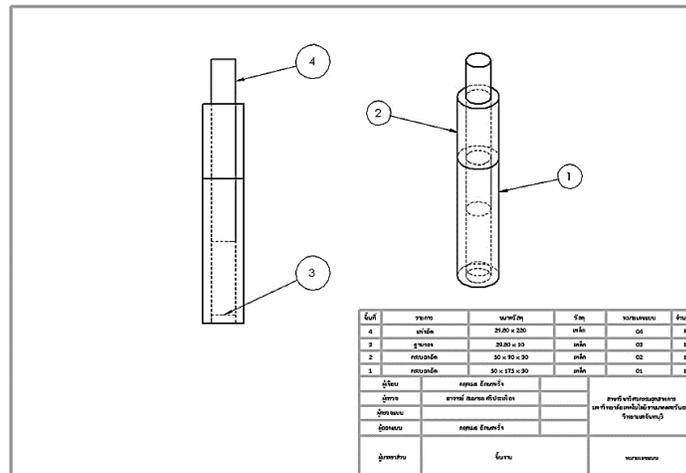
4) ทดสอบ/เก็บผล ค่าความร้อน (ASTM D 240), ค่าความชื้น (ASTM D 3173), ปริมาณเถ้า (ASTM D 3174), ค่าความหนาแน่น (ASTM E 75), เวลาจุดติดไฟ

2.2 ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบกระบอบอกอัดแท่งเชื้อเพลิง แท่งอัดเชื้อเพลิง และฐานรองแท่งอัดเชื้อเพลิง ประกอบด้วย กระบอบอกอัดชิ้นที่ 1 กระบอบอกอัดชิ้นที่ 2 ฐานรองแท่งอัดและแท่งอัด รูปที่ 1 การออกแบบกระบอบอกอัดแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 รูปที่ 2 แบบกระบอบอกอัดแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 1) กระบอบอกอัดชิ้นที่ 1 เหล็กเพลลาขนาด 50 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร เจาะรู 30 มิลลิเมตร 2) กระบอบอกอัดชิ้นที่ 2 เหล็กเพลลาขนาด 50 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร เจาะรู 30 มิลลิเมตร 3) ฐานรองแท่งอัด เหล็กเพลลาขนาด 29.8 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร 4) แท่งอัด เหล็กเพลลาขนาด 29.8 มิลลิเมตร ยาว 220 มิลลิเมตร วัสดุทำจากเหล็กเพลลาขาว



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบกระบอกอัดแห้งเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 2 แบบกระบอกอัดแห้งเชื้อเพลิง RDF-5

2.3 การเตรียมวัสดุ

เตรียมกระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ภายในมหาวิทยาลัย นำกระดาษ กิ่งไม้และใบไม้มาปั่น และตัดถุงพลาสติกนำวัสดุแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนักตามส่วนผสมแต่ละตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักส่วนผสมในแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำวัสดุแต่ละชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน

- 1) วัสดุที่ต้องเตรียมคือ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ รูปที่ 3 วัสดุผสมRDF-5 กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้



รูปที่ 3 วัสดุผสม RDF-5 กระจาดพลาสติก กิ่งไม้และใบไม้

- 2) นำกระจาด กิ่งไม้และใบไม้ มาป่นให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปอัดแท่งตาม รูปที่ 4 และ รูปที่ 5
- 3) ตัดถุงพลาสติกให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปอัดแท่ง รูปที่ 6



รูปที่ 4 กระจาด



รูปที่ 5 กิ่งไม้และใบไม้ป่น



รูปที่ 6 ถุงพลาสติกที่ผ่านการตัดลดขนาด

4) ชั่งอัตราส่วนผสมของตัวอย่างแสดง รูปที่ 7



ก.กระดาษ



ข.พลาสติก



ค.กิ่งไม้และใบไม้

รูปที่ 7 ชั่งอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง

5) ชั่งน้ำหนักตัวประสานแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนัก รูปที่ 8



รูปที่ 8 ชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2



รูปที่ 9 ผสมวัสดุที่เตรียมไว้

6) นำวัสดุที่เตรียมไว้มาผสมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นผสมวัสดุเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 9 ผสมวัสดุที่เตรียมไว้

2.4 การอัดขึ้นรูป

นำวัสดุที่เตรียมไว้กรอกใส่กระบอกรีด แล้วนำไปอัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงในการอัด 6 ตัน จากนั้นตรวจสอบขนาดและชั่งน้ำหนักแท่งเชื้อเพลิง นำวัสดุใส่กระบอกรีดที่เตรียมไว้ ก่อนนำไปอัด รูปที่ 10 อัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงในการอัด 6 ตัน รูปที่ 11 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหลักจากการอัด รูปที่ 12



รูปที่ 10 นาวีสลึงใส่กระบอกอัด



รูปที่ 11 อัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก



รูปที่ 12 เชื้อเพลิง RDF-5 ที่ได้หลังจากการอัด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่าง	กระดาษ (กรัม)	พลาสติก (กรัม)	กิ่งไม้และใบไม้ (กรัม)	ตัวประสาน (แบริ่งมันสำปะหลัง)
A	50	50	50	2%
B	75	50	50	2%
C	50	75	50	2%
D	50	50	75	2%

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5 จากการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเชื้อเพลิง RDF-5 ต่อค่าพลังงานความร้อน จาก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยใช้แบริ่งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสานไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงต่างๆ โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ได้จากการอัดไปวิเคราะห์โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน (ASTM)

1) ค่าความหนาแน่น (ASTM E 75)

หลังจากการอัดแท่ง นำเชื้อเพลิง RDF-5 มาชั่งน้ำหนัก รูปที่13 วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปที่14 จากนั้นนำไปคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร (ทำการทดลองซ้ำ ส่วนผสมละ 3 ครั้ง)

หาปริมาณความหนาแน่น

$$\rho = m/V$$

สมการที่ 1

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น (หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวล (หน่วยเป็น กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตร (หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 13 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 14 วัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง

2) ค่าความร้อน (ASTM D 240)

นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก 0.5 กรัม รูปที่ 15 นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ชั่งน้ำหนักไปแขวนไว้กับฝากระบอกล แคลปซูล จากนั้นนำเส้นด้ายมาพันกับลวด รูปที่ 16 นำปลายเส้นด้ายแต่ละกับตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 แล้วนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 เข้ากระบอกลแคลปซูล รูปที่ 17 จากนั้นทำการปิดฝาให้แน่นแล้วนำมาอัดออกซิเจน รูปที่ 18 นำกระบอกลแคลปซูลใส่ไปในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รูปที่ 19 เก็บผลการทดสอบ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)



รูปที่ 15 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 0.5 กรัม



รูปที่ 16 นำปลายเส้นด้ายแต่ละกับตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 17 นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ใส่กระบอกลแคลปซูลแล้วปิดให้แน่น



รูปที่ 18 นำมาอัดออกซิเจน

3) ค่าความชื้น (ASTM D 3173)

นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ชั่งน้ำหนัก 1 กรัม บนเครื่องทดสอบความชื้น รูปที่ 19 ปิดฝาครอบเครื่องทดสอบความชื้น หลังจากปิดฝาครอบ รูปที่ 20 เครื่องจะทำงานอัตโนมัติ ผลของการทดสอบความชื้นจะแสดงบนจอ LED ของเครื่องทดสอบความชื้น (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)



รูปที่ 19 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 1 กรัม



รูปที่ 20 ปิดฝาครอบเครื่องทดสอบความชื้น

4) เวลาจุดติดไฟ

นำเชื้อเพลิง RDF-5 มาชั่งน้ำหนัก รูปที่ 21 จากนั้นทำการจุดไฟ รูปที่ 22 นำไปไว้ในถังกะสิไนท์โล่งแจ้ง รูปที่ 23 (เพื่อให้เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์) เริ่มจับเวลาตอนไฟเริ่มจุดติดแล้ว รูปที่ 24 รอไฟดับจนเหลือแต่เถ้าทำการตรวจสอบเวลาจุดติดไฟ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) โดยแต่ละแห่งน้ำหนัก 50 กรัม เท่านั้น



รูปที่ 21 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 22 จุดไฟแทงเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 23 นำไปไว้ในสังกะสี



รูปที่ 24 ตรวจสอบเวลาจุดติดไฟ

5) ปริมาณเถ้า (ASTM D 3174)

ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5 ก่อนนำมาเผา รูปที่ 25 หลังจากเชื้อเพลิง RDF-5 เผาไหม้หมดแล้ว นำเถ้าที่ได้มาชั่งน้ำหนัก รูปที่ 26 คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตรคำนวณ (ทำการทดลองซ้ำ ส่วนผสมละ 3 ครั้ง) โดยแต่ละก้อน 50 กรัม เท่านั้น

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = (A/B) \times 100 \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่

A = น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)



รูปที่ 25 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5 แล้วนำมาเผา



รูปที่ 26 น้ำหนักเถ้าที่ได้

3. ผลการทดลอง

ผลการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิง RDF-5 กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ที่ส่วนผสมต่างกัน โดยใช้แบริ่งสำหรับปะหลัง 2% ของน้ำหนัก เป็นตัวประสานมี 4 ตัวอย่าง ได้แก่ กระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 27, กระดาษ 75 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 28, กระดาษ 50 กรัม พลาสติก 75 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 29 และกระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม รูปที่ 30 ตามลำดับ



รูปที่ 27 ตัวอย่าง A ส่วนผสม 50:50:50 (กรัม)



รูปที่ 28 ตัวอย่าง B ส่วนผสม 75:50:50 (กรัม)



รูปที่ 29 ตัวอย่าง C ส่วนผสม 50:75:50 (กรัม)



รูปที่ 30 ตัวอย่าง D ส่วนผสม 50:50:75 (กรัม)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Kg/m^3) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(Kg/m^3)			เฉลี่ย(\bar{x}) (Kg/m^3)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	966.27	987.92	1,010.50	988.23
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	1,010.50	1,025.15	1,040.22	1,025.29
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	1,040.22	1,032.63	1,037.17	1,036.67
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	982.43	955.88	966.33	968.18

จากตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่น ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง C มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ $1,036.67 \text{ Kg/m}^3$ และตัวอย่าง D มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ 968.18 Kg/m^3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความร้อน (Cal/g) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(Cal/m^3)			เฉลี่ย(\bar{x}) (Cal/m^3)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	5,243.06	5,129.01	5,312.14	5,228.07
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	5,517.24	5,334.27	5,423.56	5,425.02
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	5,702.05	5,841.95	5,792.05	5,778.68
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	5,833.01	5,990.13	5,703.13	5,842.09

จากตารางที่ 3 แสดงค่าความร้อน ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง D มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ $5,842.09 \text{ Cal/g}$ และตัวอย่าง A มีค่าความร้อนน้อยที่สุดคือ $5,228.07 \text{ Cal/g}$

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความชื้น (ร้อยละ) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(ร้อยละ)			เฉลี่ย(\bar{x}) (ร้อยละ)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	5.36	5.71	5.98	5.68
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	7.05	6.45	6.93	6.81
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	4.76	4.92	5.03	4.90
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	4.77	8.79	6.31	6.62

ตารางที่ 4 แสดงค่าความชื้น (%) ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง C มีค่าความชื้นน้อยที่สุดคือ 4.9 และ ตัวอย่าง B มีค่าความชื้นมากที่สุดคือ 6.81

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเวลาจุดติดไฟ (นาท) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(นาท)			เฉลี่ย(\bar{x}) (นาท)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	22.28	23.17	21.50	22.32
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	22.03	20.29	21.56	21.29
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	18.58	17.42	18.08	18.03
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	28.19	27.43	27.08	27.57

จากตารางที่ 5 แสดงเวลาจุดติดไฟ ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง D จุดติดไฟนานที่สุดคือ 27.57 นาท และตัวอย่าง C จุดติดไฟน้อยที่สุดคือ 19 นาท

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณเถ้า (ร้อยละ) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(ร้อยละ)			เฉลี่ย(\bar{x}) (ร้อยละ)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	8	6	6	6.7
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	10	8	8	8.7
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	10	10	8	9.3
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	8	6	10	8

จากตารางที่ 6 แสดงปริมาณเถ้า (%) ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง A มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุดคือ 6.7 และตัวอย่าง C มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ 9.3

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบเชื้อเพลิง RDF-5 จาก กระจาดข : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ ที่ส่วนผสมต่างกัน โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนัก เป็นตัวประสาน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ 50:50:50 (กรัม) , 75:50:50 (กรัม), 50:75:50 (กรัม) และ 50:50:75 (กรัม) เปรียบเทียบกับมาตรฐานASTM

ลำดับ	มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ			
		A	B	C	D
1	ความหนาแน่น มากกว่า 600 Kg/m ³	988.23	1,025.29	1,036.67	968.18
2	ปริมาณความร้อน ไม่น้อยกว่า 5000 (Ca/g)	5,228.07	5,425.02	5,778.68	5,842.09
3	ปริมาณความชื้น ไม่เกินร้อยละ 10	5.68	4.90	4.90	6.62
4	ปริมาณเถ้า ไม่เกินร้อยละ 20	6.7	9.3	9.3	8
5	เวลาจุดติดไฟ	22.32	18.03	18.03	27.57

4. ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาพบว่า สามารถผลิตและทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยนำ กระจาดข พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ที่เหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ผลการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

1) การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จาก กระจาดข พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนประกอบด้วย การคัดแยกขยะ การลดขนาด การผสม และการอัดแท่ง โดยขนาดของแท่งเชื้อเพลิงแข็งจาก กระจาดข พลาสติก กิ่งไม้และใบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

2) ขั้นตอนการผสม เป็นการผสมกระจาดข พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ กับตัวประสาน เพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงคงสภาพเป็นแท่งไม่แตกหักง่าย ใช้แ่งมันร้อยละ 2 ของน้ำหนัก กระจาดข พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้

4.2 จากการวิเคราะห์หาส่วนผสมและตัวประสานที่เหมาะสมสรุปว่า

1) ส่วนผสม กระจาดข : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:50:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5228.07 Ca/g, ค่าความชื้นร้อยละ 5.68, ปริมาณเถ้าร้อยละ 6.7, ค่าความหนาแน่น 988.23 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 22.32 นาที

2) ส่วนผสม กระจาดข : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 75:50:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5425.02 Ca/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.81, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8.7, ค่าความหนาแน่น 1025.29 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 21.29 นาที

3) ส่วนผสม กระจาดข : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:75:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5778.68 Ca/g, ค่าความชื้นร้อยละ 4.90, ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.3, ค่าความหนาแน่น 1036.67 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 18.03 นาที

4) ส่วนผสม กระจาดข : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:50:75 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5842.09 Ca/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.62, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8, ค่าความหนาแน่น 968.18 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 27.57 นาที

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM พบว่า ค่าความร้อนทั้ง 4 ส่วนผสมสูงกว่า ค่ามาตรฐาน คือ 5000 Ca/g, ค่า

ความชื้นทั้ง 4 ส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ 10, ปริมาณเถ้าทั้ง 4 ส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ 20, ค่าความหนาแน่นทั้ง 4 ส่วนผสมสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ 600 Kg/m^3 และเวลาจุดติดไฟ 22.32 นาที

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง RDF-5 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 240 เพื่อหาค่าความร้อน โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ASTM D 3173 หาค่าความชื้น ASTM D 3174 หาปริมาณเถ้า ASTM E 75 หาค่าความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ พบว่า ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงจาก กระจาด พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแอมโมเนียมสำหรับร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน คือ ส่วนผสม 50:50:75 (กรัม) เนื่องจากมีค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับ ส่วนผสม 50:50:50 (กรัม), 75:50:50 (กรัม) และ 50:75:50 (กรัม)

4.4 ผลการลดขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าปริมาณขยะเกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จำนวน 261.43 กิโลกรัมต่อวัน การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุด มีน้ำหนักอยู่ที่ 175 กรัม แบ่งเป็น กระจาด 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถลดปริมาณขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ได้ร้อยละ 0.38 ต่อวัน

4.5 ผลการนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรม

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าถ่านหินที่นิยมใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ คือ ถ่านหินลิกไนต์ ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ คือมีค่าความร้อนต่ำ ความชื้นสูง ปริมาณเถ้าสูง นอกจากนั้นยังมีถ่านหินคุณภาพสูง คือ ถ่านหินซับบิทูมินัส และถ่านหินแอนทราไซต์อยู่เพียงเล็กน้อยซึ่งค่าความร้อนของถ่านหินลิกไนต์และซับบิทูมินัส มีค่าความร้อนระหว่าง 2,800-5,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้น เชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าความร้อนที่ 5,842.09 แคลอรีต่อกรัม สามารถนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรมเพื่อช่วยให้มีค่าความร้อนและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงได้

4.6 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

จากการศึกษา พบว่า ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางด้านความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ ดีที่สุด มีต้นทุนการผลิต 7.85 บาทต่อกิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสรีจรรยาบรรณ โดยได้รับการสนับสนุนจากงบอุดหนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Wirunphan, T. Saipleand, and P. Jaichompoo, "Production of Compressed Charcoal Fuel from the Waste Materials Collected after Processing Khao-Larm," *RMUTL Engineering Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 1–15, 2017. doi: <https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2017.1> (in Thai)

- [2] W. Punina, S. Maneewan, and S. Prachakiew, “Life Cycle Assessment of Refuse Derived Fuel 5 Composed of the Mechanical Biological Waste Treatment and Crude Oil Sludge,” *Naresuan University Journal: Science and Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 138–148, 2014. (in Thai)
- [3] W. Pinate, and D. Dangphonthong, “Production of RDF-5 Fuel from Lampang Community Waste,” *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 14–28, 2024. (in Thai)
- [4] W. Chiaramat, “Study on Social Returns from Investment in Electricity Generation from RDF Waste Fuel Power Plants.,” Bangkok: National Institute of Development Administration, <https://repository.nida.ac.th/handle/662723737/4998>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [5] S. Sothonsak, Production of Compressed Fuel from Waste Materials from The Production Process of Grass Jelly. This Research Studies the Transformation of Grass Jelly Waste. Maha Sarakham: Maha Sarakham University., <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/193/1/58010351003.pdf>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [6] S. Sangsuwan, Guidelines for Developing Community Power Plants from Waste for Sustainable Energy Security., <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jssr/article/download/243230/166702/861909>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [7] Quality and Environmental Development Association, Solid Waste., https://maehongson.labour.go.th/attachments/article/196/48635_001.pdf. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [8] S. Ketwan, R. Jinduang, and S. Ketphan, Production of Charcoal Briquettes from Sago Bark, Songkhla., https://riss.rmutsv.ac.th/upload/doc/201910/zSfdLlejD8vpkqX8MHE/zSfdLlejD8vpk_qX8MHE.pdf. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)

การขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิล เสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า

The Forming of Composite Sheets for Indoor Decoration from Recycled Thermoplastic Waste Reinforced by Textile Waste of Loincloth

จิรวัดน์ ใจอยู่¹ สิริภพ ราชภูร์ดุขต² และ พลภัทร ทิพย์บุญศรี^{2*}

¹สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110

Jirawat Jai-u¹ Siraphop Raddussadee² and Ponlapath Tipboonsri^{2*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Pathum Thani, 12110

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Pathum Thani, 12110

*Corresponding author Email: ponlapath.t@en.rmutt.ac.th

(Received: December 10, 2024; Revise: December 28, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลเสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า เป็นการนำแผ่นฟิล์มพลาสติกทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ HDPE (High density polyethylene) LDPE (Low density polyethylene) PP (Polypropylene) และ PLA (Polylactic acid) ที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มาทดลองอัดขึ้นรูปโดยมีแผ่นผ้าขาวม้าทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรง ในการทดลองจะใช้ผ้าขาวม้าจำนวน 3, 5, 7 และ 9 ชั้น โดยทำการจัดเรียงกับแผ่นฟิล์มพลาสติก นอกจากนี้ผ้าขาวม้ากับเทอร์โมพลาสติกถูกอัดขึ้นรูปในอัตราส่วน 50:50, 30:70 และ 40:60 ขึ้นรูปที่ความดัน 10.34 Bar ที่อุณหภูมิ 200°C ใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปร้อนเป็นเวลา 10 minutes แผ่นคอมโพสิตมีขนาด 300 x 300 mm จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำการอัดขึ้นรูปร้อนแล้วมาทำการทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile test) และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากผลการทดลองพบว่า จำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงดึงเพิ่มขึ้นตาม และปริมาณของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง ดังนั้นการใช้จำนวนชั้นของผ้าขาวม้าสูงสุดที่ 9 ชั้น และอัตราส่วนของผ้าขาวม้ากับเทอร์โมพลาสติกในอัตราส่วน 50:50 มีสมบัติแรงดึงสูงสุดในส่วนของชนิดพลาสติกทั้ง 4 ชนิด แผ่นฟิล์มพลาสติก PP มีค่าแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) คือ 62.96 MPa และมีค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) คือ 1367.4 MPa นอกจากนี้ภาพทางสัณฐานวิทยายังช่วยยืนยันเหตุผลถึงการเพิ่มขึ้นและลดลงของสมบัติทางกล อย่างไรก็ตามแม้ว่า PP จะมีสมบัติทางกลที่ดี แต่ยังไม่ตอบสนองต่อแนวคิดความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากคุณสมบัติการย่อยสลายได้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ PLA ยังมีค่า Tensile Strength ต่ำกว่า PP เพียง 13% แต่มีค่า Tensile Modulus สูงกว่า 11.5% ทำให้ PLA เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับงานตกแต่งภายในอาคาร โดยตอบโจทย์ด้านความยั่งยืนในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: แผ่นคอมโพสิต เศษผ้าขาวม้า ขยะเทอร์โมพลาสติก

Abstract

Composite sheets for indoor decoration from recycled thermoplastic waste reinforced by textile wastes of loincloth are made using 4 kinds of packaging plastic, including HDPE, LDPE, PP, and PLA, which are compressed by compression molding, which loincloth is reinforced. In the experiment, loincloth layers were used with 3, 5, 7, and 9 layers. Thermoplastic layers and loincloth layers were stacked together, and they are compressed with a ratio of thermoplastic layers and loincloth layers at 50:50, 40:60, and 30:70 wt%. The compression conditions were set up at a pressure of 10.34 Bar, a forming temperature of 200 °C, and a forming time of 10 minutes. A composite sheet size was 300 x 300 mm. After that, a composite sheet was prepared to investigate with a tensile test and microstructure. The results showed that tensile strength increased with the increase of the loincloth layer. Meanwhile, tensile strength decreased with the increase of thermoplastic layers. The highest mechanical properties were using the loincloth of 9 layers and a ratio of thermoplastic layers and loincloth layers at 50:50. All 4 kinds of thermoplastics, PP had the highest mechanical properties with a tensile strength of 62.96 MPa and a tensile modulus of 1367.4 MPa. In addition, the microstructures were confirmed to be the reason for the decrease and increase of mechanical properties. However, although PP has good mechanical properties, it does not align with the concept of environmental sustainability. Therefore, PLA is considered for its environmentally friendly degradability. In addition, PLA has a tensile strength value that is only 13% lower than that of PP, but its tensile modulus is 11.5% higher. This makes PLA a suitable material for producing composite panels for interior decoration, better aligning with future sustainability requirements.

Keywords: Composite sheet, Loincloth, Thermoplastic waste

1. บทนำ

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลกได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกจึงเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิคพื้นฐาน เช่น การฉีด การอัดรีด นอกจากนี้สมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่นำมาหลอมใหม่และขึ้นรูปซ้ำได้ทำให้เกิดประโยชน์จากการใช้เศษวัสดุหรือของเสียจากการผลิต ในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,0000 ตันต่อวัน แบ่งเป็นถุงพลาสติก 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี ที่สำคัญหากใช้วิธีฝังกลบจะใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่า [1] หรือหากนำไปเผาทำลายจะทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมากรวมทั้งมีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากถุงพลาสติกทำจากเม็ดปิโตรเลียมทำให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างในดินและน้ำส่งผลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จากปัญหาขยะพลาสติกทำให้เกิดความสนใจในการนำขยะพลาสติกกลุ่มถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดใสมารีไซเคิล โดยจะนำมาขึ้นรูปร่วมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ให้มีรูปแบบการใช้งานใหม่ในลักษณะของการรีไซเคิล ถุงพลาสติกที่มีการใช้ทั่วไปได้แก่ โพลีเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene ; LDPE), โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene ; HDPE) และโพลีพรอพิลีน (Polypropylene ; PP) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการใช้งานของพลาสติกย่อยสลาย

ได้พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic-acid ; PLA) เพื่อตอบสนองความยั่งยืนในอนาคต [2] ซึ่ง PLA เป็นเทอร์โมพลาสติกที่โดดเด่นด้วยความสามารถในการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียน เช่น แป้งข้าวโพด อ้อย หรือมันสำปะหลัง มีคุณสมบัติเด่นในด้านความแข็งแรงสูง แต่มีข้อจำกัดเรื่องความเปราะและความทนทาน อย่างไรก็ตาม ด้วยอุณหภูมิกว้างขึ้นรูปที่ต่ำและความทนต่อสารเคมี PLA กลายเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในด้านความยั่งยืน [3, 4] แม้จะมีต้นทุนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไป แต่ข้อได้เปรียบด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ PLA เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการประเมินร่วมกับการรีไซเคิลพลาสติก

ผ้าเป็นปัจจัย 4 [5] ของมนุษย์โดยส่วนใหญ่ทำมาจากเส้นใยที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ พืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ประโยชน์ของผ้า คือ การนำมาตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มเครื่องใช้ประเภทผ้าต่าง ๆ ในประเทศไทยก็ได้มีการทอผ้าขึ้นมาเพื่อใช้ในการนุ่งห่มปกปิดร่างกายที่มีมาแต่โบราณ เช่น ผ้าทอ ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะในแต่ละภูมิภาค ซึ่งจะมีผ้าประเภทหนึ่งที่ไม่อาจเจาะจงได้ว่าเป็นผ้าของภาคใดเป็นพิเศษเพราะมีการทอเพื่อใช้สอยอยู่ในทุกภาคของประเทศไทย คือ ผ้าขาวม้า ที่มีลักษณะเป็นผ้าลายตาหมากรุก ปัจจุบัน ผ้าขาวม้า เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายและมีโรงงานผลิตเกิดขึ้นมากมาย โดยในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะใช้เครื่องจักรในการทอผ้าขาวม้า ซึ่งส่งผลให้เกิดของเสียจากการผลิตในปริมาณที่ไม่น้อย นอกจากนี้ ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในกระบวนการทอ เช่น รอยเส้นหรือรอยย่น ที่ปรากฏเด่นชัดบนผืนผ้า ซึ่งไม่ใช่ลวดลายตามแบบการทอ ทำให้ผ้าในบริเวณที่มีตำหนิดังกล่าวกลายเป็นของเสีย ไม่สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงเทียบเท่าผ้าที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผ้าขาวม้าผลิตจาก เส้นใยฝ้ายที่แข็งแรงและมีการทนต่อการสึกหรอได้ดี [6] ความหนาแน่นต่ำ นำความร้อนได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง ยืดหยุ่นได้ดี และเป็นวัสดุหมุนเวียนได้ [7-9] จึงมีศักยภาพในการนำของเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การนำมาเป็นวัสดุเสริมแรง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งนอกจากจะลดปริมาณของเสียแล้ว ยังสนับสนุนแนวคิด ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะใช้เศษผ้าขาวม้าที่ได้จากโรงงานนำมาทดลองขึ้นรูปเป็นแผ่นคอมโพสิตจากเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลจากถุงพลาสติกกรีไซเคิลชนิด LDPE, HDPE และ PP เปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้จาก PLA เสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า โดยจะทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปรวมทั้งศึกษาสมบัติทางกล เพื่อหาสัดส่วนของพลาสติกกรีไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูป และสามารถใช้เป็นแผ่นคอมโพสิตสำหรับตกแต่งภายในอาคาร อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุจากเศษผ้าเหลือใช้กับพลาสติกที่สามารถนำมาใช้ได้จริง ซึ่งจากงานวิจัยมีการใช้เศษผ้าเสริมแรงใน PP [10, 11] การใช้เศษผ้าเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในคอนกรีต [12] การใช้เส้นใยฝ้ายในการเสริมแรงใน LDPE [13] การใช้เส้นใยฝ้ายเสริมแรงใน PLA [8] มีการใช้ผงฝ้ายและเส้นใยฝ้ายเสริมแรงในอีพ็อกซี [14, 15] จากข้อมูลดังกล่าว ยังไม่มีการศึกษาการใช้เศษผืนผ้าขาวม้าเป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกกรีไซเคิลชนิด LDPE, HDPE และ PP รวมถึงแผ่นฟิล์มพลาสติก PLA การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ โดยเปลี่ยนให้กลายเป็นทรัพยากรหมุนเวียน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดความยั่งยืนและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในอนาคต

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1. วัสดุ

ในการทดลองผ้าขาวม้าที่ทำมาจากฝ้ายถูกใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในแผ่นวัสดุคอมโพสิต และถุงพลาสติกใช้แล้ว 4 ชนิดถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเนื้อพื้นได้แก่ ถุงพลาสติก HDPE (High density polyethylene) ที่ความหนาแน่น 0.95 g/cm³ ถุงพลาสติก LDPE (Low density polyethylene) ที่ความหนาแน่น 0.92 g/cm³ ถุงพลาสติก PP (Polypropylene) ที่ความหนาแน่น 0.92

g/cm³ และ ฤงพลาสติก PLA (Polylactic acid) ที่ความหนาแน่น 1.23 g/cm³

2.2. วิธีกรทดลอง

ในการทดลองผ้าขาวม้าถูกตัดให้มีขนาด 300 x 300 mm และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการไล่ความชื้นของเส้นใยจากธรรมชาติ [16] หลังจากนั้นนำไปรีดด้วยเดาริตให้เรียบที่อุณหภูมิ 80 °C ในส่วนของฤงพลาสติกทั้ง 4 ชนิด ถูกนำมาตัดให้มีขนาด 300 x 300 mm ก่อนนำไปขึ้นรูป แผ่นวัสดุคอมโพสิตถูกออกแบบโครงสร้างตามชั้นของแผ่นผ้าขาวม้าที่แตกต่างกันได้แก่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น (ซึ่งใช้ไค์ดว่า 3L, 5L, 7L และ 9L ตามลำดับ) ในกรณีของการใช้วัสดุเนื้อพื้นที่เป็น PLA ไม่สามารถขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเกิน 7 ชั้นได้ เนื่องจากแม่พิมพ์ถูกกำหนดความหนาที่ 3 mm เมื่อนำ PLA มาขึ้นรูป PLA มีลักษณะความแข็งแรงกว่าวัสดุเนื้อพื้นตัวอื่นจึงทำให้หลังขึ้นรูปเสร็จชิ้นงานเกิดการแตกหักเมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ และนอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างชั้นของผ้าขาวม้าและฤงพลาสติกที่เป็นวัสดุเนื้อพื้นถูกทดลองขึ้นรูปที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันได้แก่ 50:50, 40:60 และ 30:70 wt% อัตราส่วนของผ้าขาวม้าถูกออกแบบตามงานวิจัยที่แนะนำช่วงการเสริมแรงแบบผืนผ้าไว้ที่ 30-60 % [17] แต่ละชั้นของผ้าขาวม้าและพลาสติกจะถูกวางสลับกันดังตัวอย่างในรูปที่ 1 ในการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตจะขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ใช้แรงดันอัดที่ 10.34 bar (1 MPa) ที่ออกแบบตามงานวิจัยก่อนหน้า [18] เป็นเวลา 10 นาที แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปมีขนาด 300 x 300 x 3 mm ซึ่งชิ้นงานจะถูกควบคุมความหนาด้วย Spacer หลังจากขึ้นรูปเสร็จแผ่นคอมโพสิตถูกนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบ ในรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตผ้าขาวม้า

ในการวิจัยการทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile test) ASTM D3039 [19] ชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดกว้างยาวหนา 25 x 250 x 3 mm ถูกทดสอบเป็นจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละอัตราส่วน ในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบ Universal testing machine ใช้ความเร็วดึง 5 mm/min นอกจากนี้โครงสร้างระดับจุลภาคถูกตรวจสอบเพื่อตรวจดูการแทรกซึมของพลาสติกในผ้าขาวม้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ก่าลียงขยาย 10 เท่า ชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคถูกเตรียมโดยนำชิ้นงานที่ถูกดึงจนขาดนำมาหล่อด้วยเรซินพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อ้อมตัวและทำการขัดโครงสร้าง


วัสดุคอมโพสิตเสริมแรง
ด้วยผ้าขาวม้า 3, 5, 7 และ 9 ชั้น



 ผ้าขาวม้า

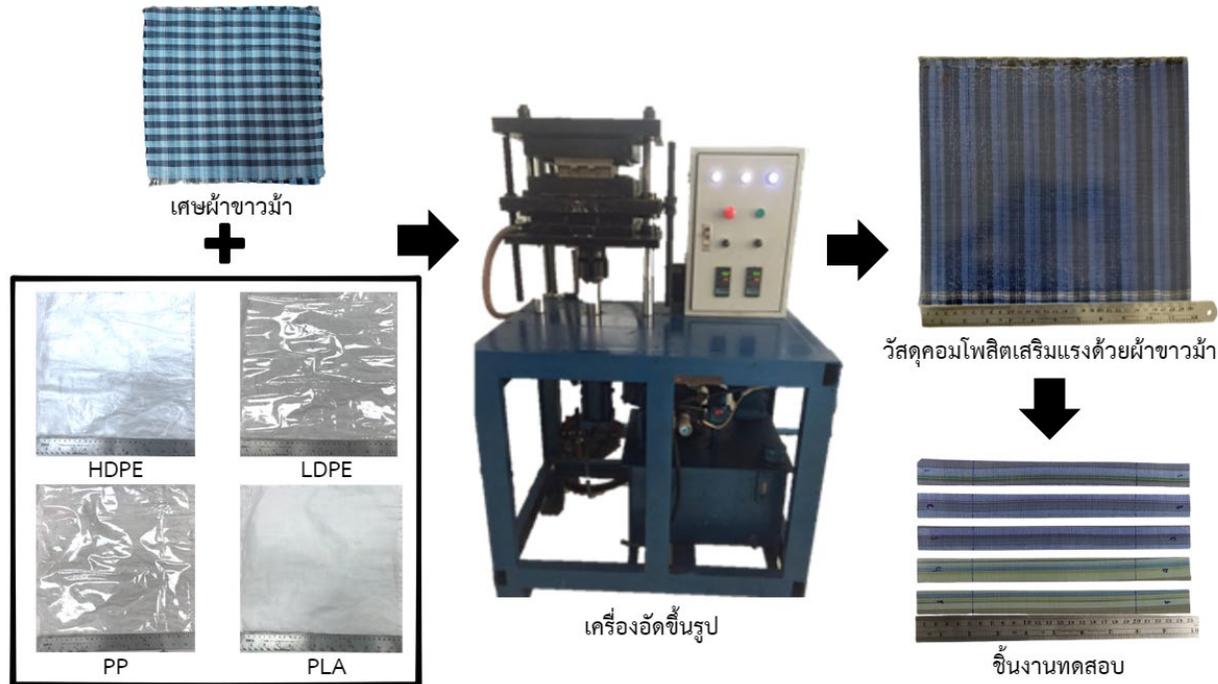
 แผ่นพลาสติก



ชั้นทดสอบ	จำนวนชั้นเส้นใย (ชั้น)	จำนวนแผ่นพลาสติก (แผ่น)
3L/PLASTIC-50:50	3	6
3L/PLASTIC-40:60	3	10
3L/PLASTIC-30:70	3	15
5L/PLASTIC-50:50	5	11
5L/PLASTIC-40:60	5	16
5L/PLASTIC-30:70	5	26
7L/PLASTIC-50:50	7	15
7L/PLASTIC-40:60	7	22
7L/PLASTIC-30:70	7	36
9L/PLASTIC-50:50	9	20
9L/PLASTIC-40:60	9	30
9L/PLASTIC-30:70	9	46

หมายเหตุ L = จำนวนชั้นของผ้าขาวม้า PLASTIC = HDPE, PP, LDPE, PLA

รูปที่ 1 ตำแหน่งการจัดวางวัสดุ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตผ้าขาม้า

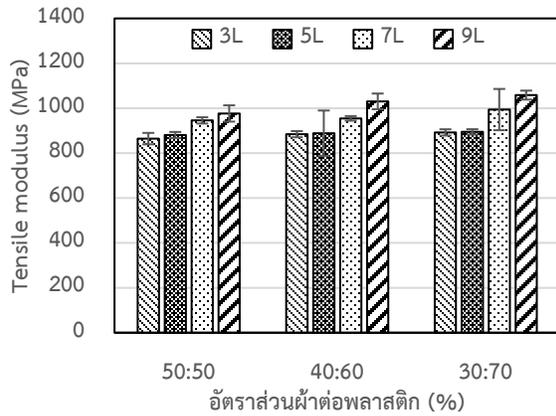
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

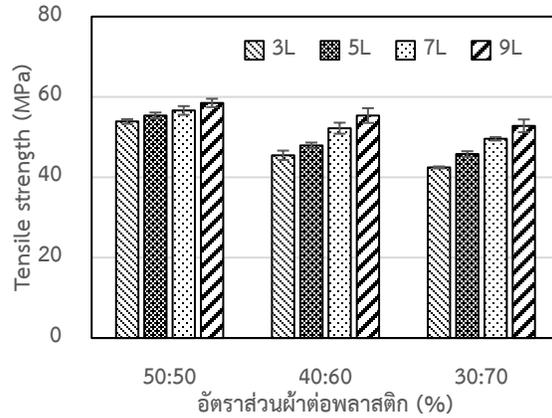
ในการทดลองจะแบ่งวัสดุเนื้อพื้นเป็น 4 ชนิดได้แก่ HDPE, LDPE, PP และ PLA หลังจากที่เราทราบถึงจำนวนชั้นของผ้าขาม้า อัตราส่วนของผ้าขาม้าและเทอร์โมพลาสติก ที่มีสมบัติทางกลที่ดีที่สุดจะถูกนำไปเปรียบเทียบในส่วนของพลาสติกที่แตกต่างชนิดกัน

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต HDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 3 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า HDPE 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1058.40 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงแข บุตรกุล [6] ได้กล่าวไว้ว่าค่ามอดูลัสจะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเกินร้อยละ 45 และจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ

ค่า Tensile strengthของแผ่นคอมโพสิต HDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 3 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า HDPE 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 58.52 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N.I.S. Anuar [20] และ P. Sneha Latha [21] เมื่อเส้นใยเสริมแรงเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้น



ก) ผลค่า Tensile modulus

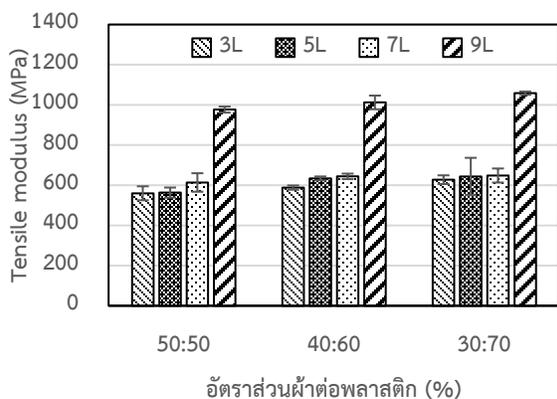


ข) ผลค่า Tensile strength

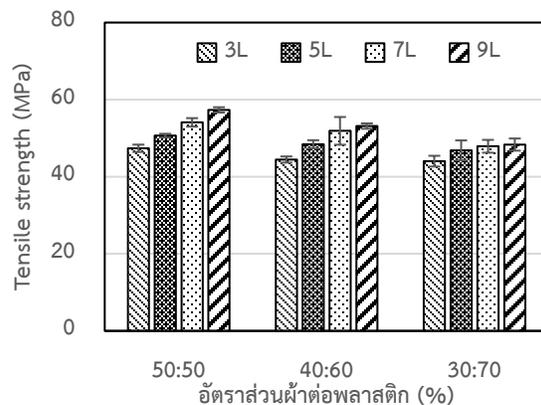
รูปที่ 3 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาม้าเสริมแรงใน HDPE

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต LDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 4 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า LDPE 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 720.20 MPa ซึ่งมีลักษณะเดียวกับกับพลาสติกชนิด HDPE แต่ LDPE จะมีค่า Tensile modulus ที่ต่ำกว่าหมายความว่า LDPE จะความยืดหยุ่นที่สูงกว่าตามสมบัติพื้นฐานของ LDPE [22]

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต LDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 4 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า LDPE 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 57.34 MPa ซึ่งมีค่าสมบัติ Tensile strength ไปในทิศทางเดียวกับพลาสติกชนิด HDPE



ก) ผลค่า Tensile modulus

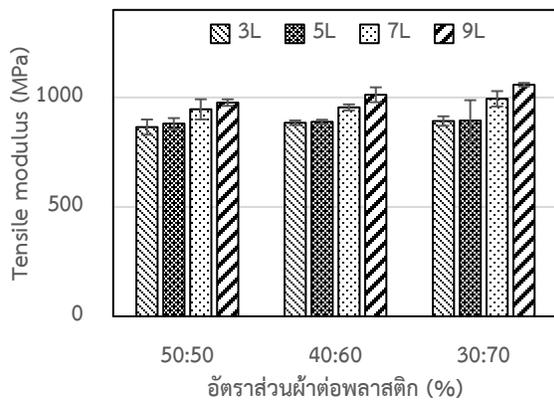


ข) ผลค่า Tensile strength

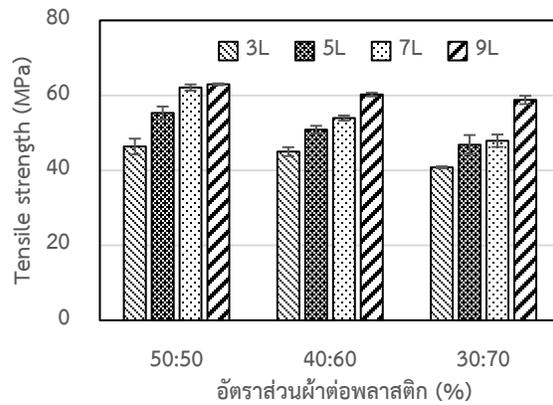
รูปที่ 4 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาม้าเสริมแรงใน LDPE

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต PP เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 5 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า PP 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1367.4 MPa มีค่า Tensile modulus เป็นลักษณะเดียวกับพลาสติก HDPE และ LDPE แต่ PP มีค่า Tensile modulus ที่มากกว่า HDPE และ LDPE หมายความว่า PP มีความยืดหยุ่นน้อยหรือแข็งกว่า [23]

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต PP เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 5 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า PP 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 62.96 MPa มีค่า Tensile strength เป็นลักษณะเดียวกับพลาสติก HDPE และ LDPE



ก) ผลค่า Tensile modulus

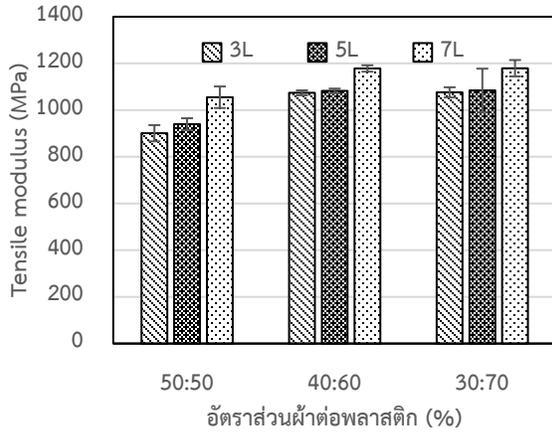


ข) ผลค่า Tensile strength

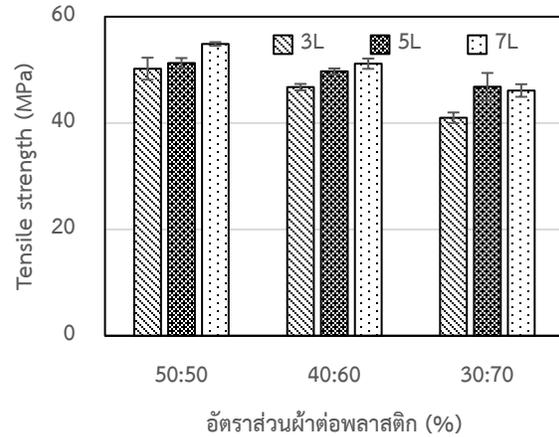
รูปที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาม้าเสริมแรงใน PP

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต PLA เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 6 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 7 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า PLA 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1179.40 MPa มีค่า Tensile modulus เป็นลักษณะเดียวกับพลาสติก HDPE PP และ LDPE

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต PLA เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 6 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาม้า 7 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาม้า PLA 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 54.87 MPa มีค่า Tensile strength เป็นลักษณะเดียวกับพลาสติก HDPE PP และ LDPE



ก) ผลค่า Tensile modulus

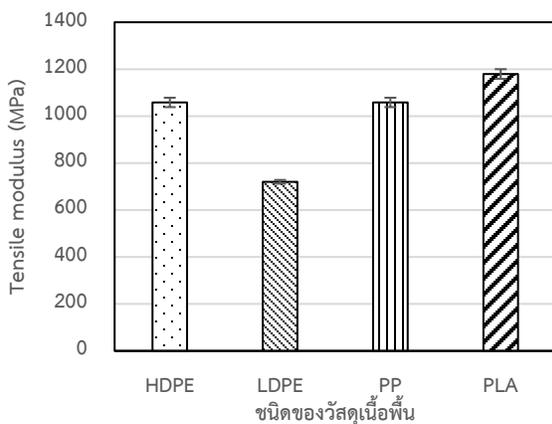


ข) ผลค่า Tensile strength

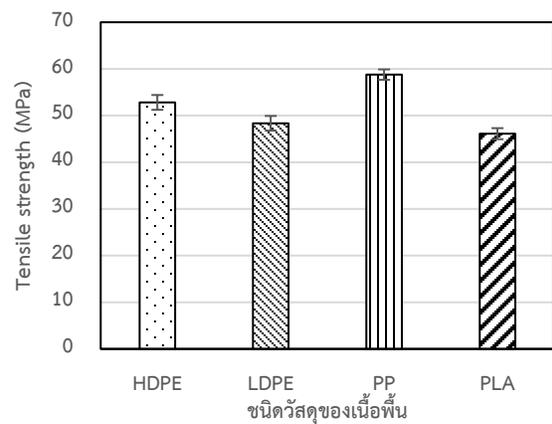
รูปที่ 6 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาม้าเสริมแรงใน PLA

ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุเนื้อพื้น HDPE LDPE และ PP ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้า 9 และวัสดุเนื้อพื้น PLA ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้า 7 และมีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50 ของพลาสติกแต่ละชนิดถูกนำมาเปรียบดั่งแสดงในรูปที่ 7 ก) พบว่า พลาสติก PP มีค่า Tensile strength สูงสุดที่ 62.96 MPa และในรูปที่ 7 ข) แสดงค่า Tensile modulus ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้า 9 ชั้น และมีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50 ของพลาสติก พบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่า Tensile modulus สูงสุดที่ 1367.4 MPa ซึ่งค่า Tensile modulus มีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับค่า Tensile strength ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสมบัติพื้นฐานของวัสดุเนื้อพื้นที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าที่แตกต่างกัน

วัสดุคอมโพสิต PP จึงมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้ทำเป็นแผ่นตกแต่งภายในอาคารเนื่องจากมีสมบัติทางกลที่สูงที่สุด แต่ในทางกลับกัน PP ยังเป็นวัสดุที่ยังไม่ตอบสนองต่อความต้องการด้านการยั่งยืน (Sustainability) มากนัก ถ้าเทียบกับ PLA แล้ว PLA มีความตอบสนองต่อความต้องการแบบยั่งยืนมากกว่า PP ถึงแม้สมบัติในค่า Tensile strength จะต่ำกว่า PP ประมาณ 13 % แต่ค่า Tensile strength สูงกว่า 11.5 % ดังนั้นถ้าพิจารณาจากการตอบสนองต่อความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากสมบัติการเสื่อมสลายของตัวเอง



ก) ผลค่า Tensile modulus



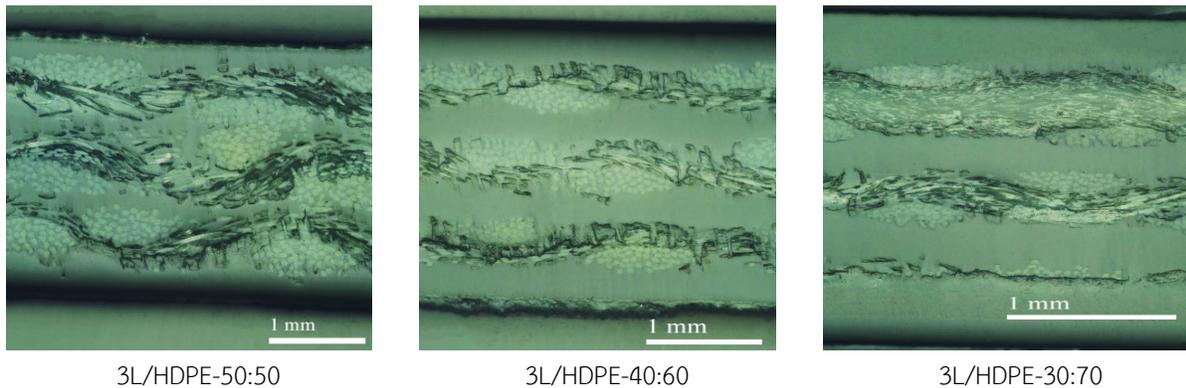
ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 7 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาม้าเสริมแรงในพลาสติกทั้ง 4 ชนิด

3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค

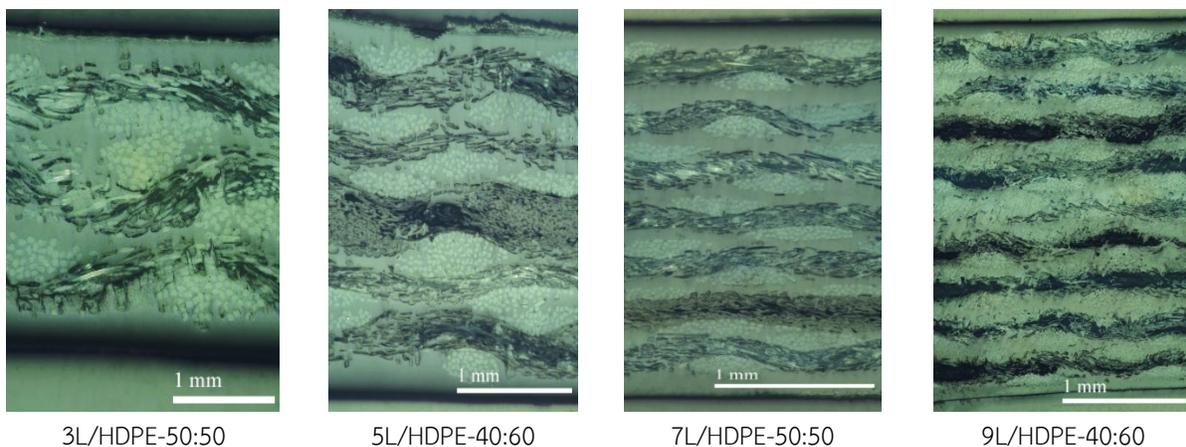
ในการทดลองเลือกวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าขาม้าที่มีอัตราส่วนผ้าต่อพลาสติก 50:50 ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้าที่แตกต่างกัน มาตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค เนื่องจากอัตราส่วนนี้ให้สมบัติ Tensile strength สูงที่สุด

รูปที่ 8 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จะเห็นได้ว่าจุดสีขาวเล็กๆ คือส่วนที่เป็นเส้นใยจากผ้าขาม้า ส่วนพื้นที่สีขาวคือพื้นที่ของเรซิน HDPE จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ HDPE ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้นดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม นี่จึงเป็นการยืนยันการลดลงของสมบัติทางกลเพียงเล็กน้อย จากภาพโครงสร้างระดับจุลภาคมีความสอดคล้องกับงานวิจัย W. J. B. Grouve and R. Akkerman [24] ซึ่งยืนยันว่าพื้นที่สีขาวนั้นคือพื้นที่ของเรซิน



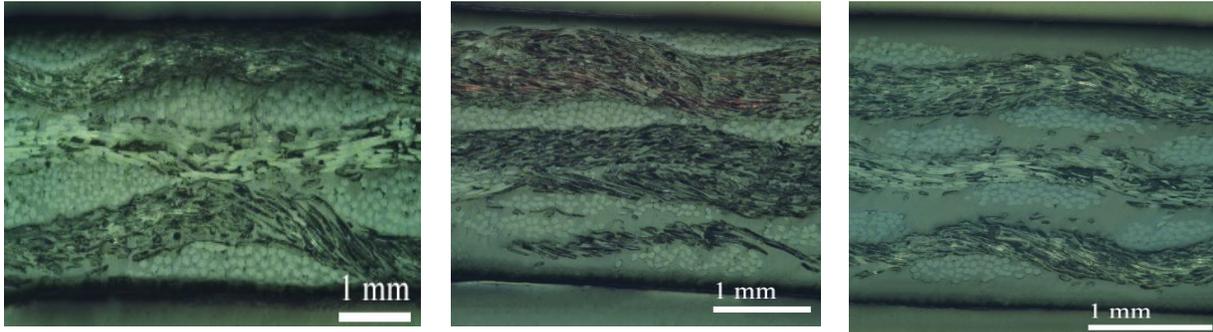
รูปที่ 8 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน

รูปที่ 9 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาม้าที่กำหนด นี่จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้าขาม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากถูกบังคับความหนาที่ 3 mm.



รูปที่ 9 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาม้าที่แตกต่างกัน

รูปที่ 10 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ LDPE ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE พื้นที่สีดำกับจุดวงกลมสีขาวเป็นลักษณะของเส้นใยผ้าขาวม้าเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากผ้าขาวม้ามีหลายสีจึงเกิดภาพเป็นสีอื่น



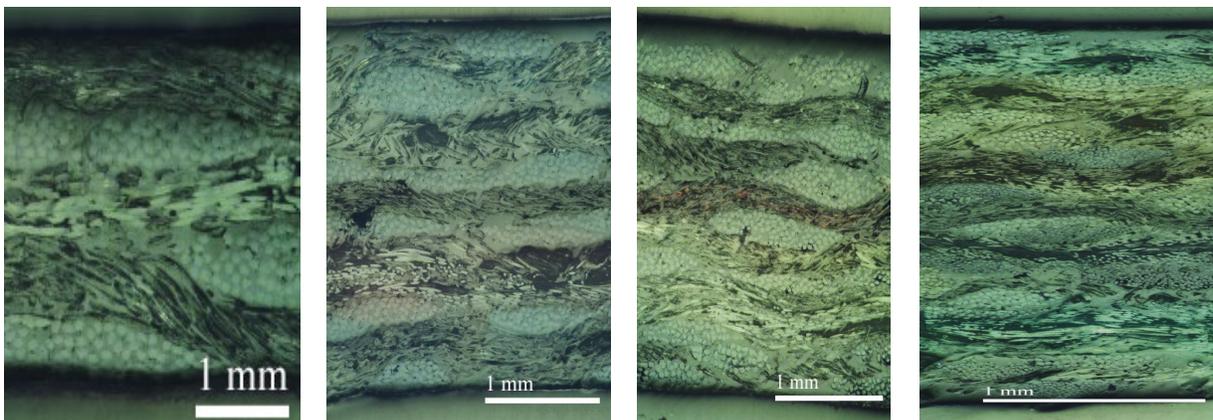
3L/LDPE-50:50

3L/LDPE-40:60

3L/LDPE-30:70

รูปที่ 10 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน

รูปที่ 11 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี่จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม่ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE แต่จะมีชั้นของเรซินที่ไม่เป็นระเบียบเท่าอาจเกิดจากความหนืดของวัสดุ



3L/LDPE-50:50

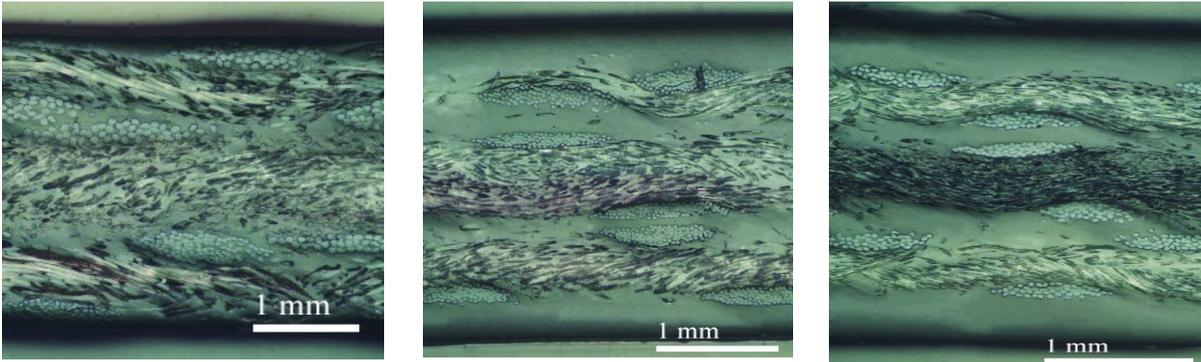
5L/LDPE-50:50

7L/LDPE-50:50

9L/LDPE-50:50

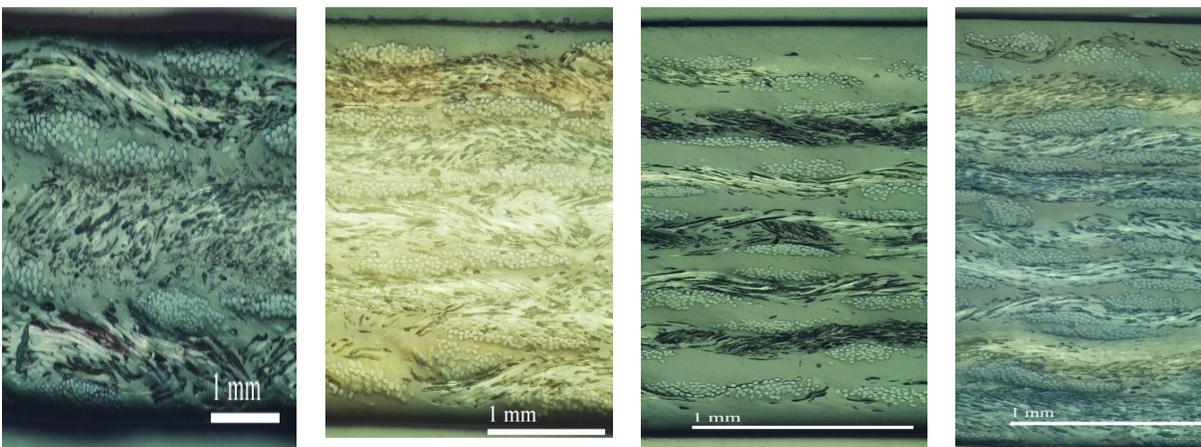
รูปที่ 11 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่แตกต่างกัน

รูปที่ 12 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ PP ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่เท่าเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE และ LDPE



รูปที่ 12 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่ต่างกัน

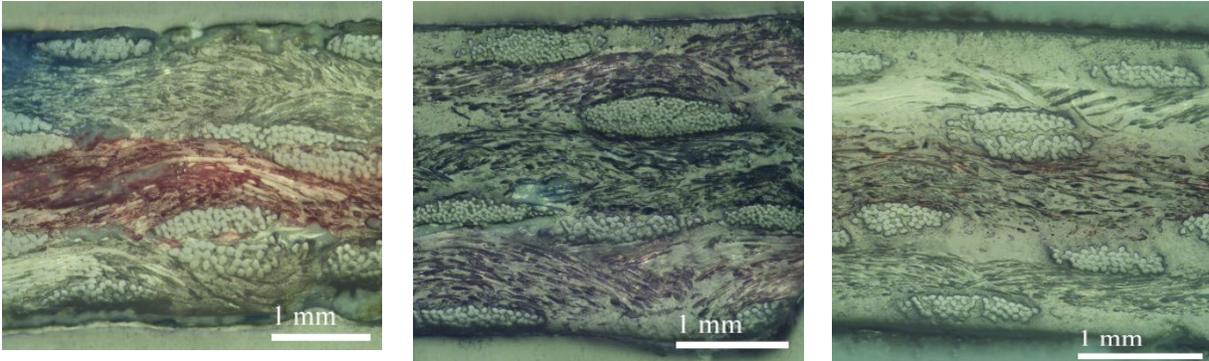
รูปที่ 13 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี่จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE และ LDPE



รูปที่ 13 ภาพสัณฐานวิทยาของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50

รูปที่ 14 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ PLA ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้นดังนั้นเรซินได้

เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE, LDPE และ PP

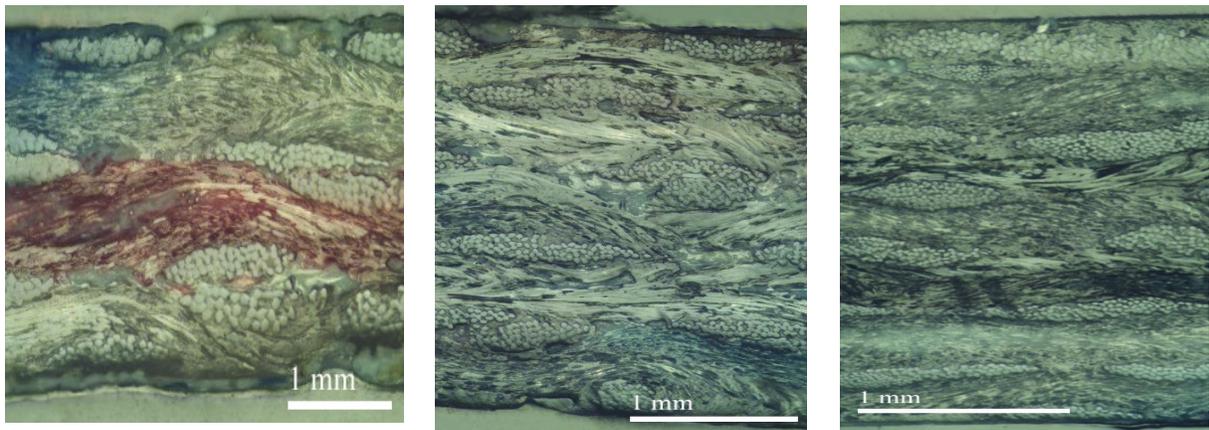


3L/PLA-50:50

3L/PLA-40:60

3L/PLA-30:70

รูปที่ 14 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน



3L/PLA-50:50

5L/PLA-50:50

7L/PLA-50:50

รูปที่ 15 ภาพสัณฐานวิทยาของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50

รูปที่ 15 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี่จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม่ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE, LDPE และ PP

โครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะคล้ายกันแต่ไม่สามารถใช้อธิบายความแตกต่างของค่าความแข็งแรงในแต่ละชนิดได้เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของวัสดุเนื้อพื้น HDPE LDPE PP และ PLA แตกต่างกันอย่างใดก็ตามสามารถอธิบายความแตกต่างของความแข็งแรงได้โดยโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีที่ต่างกันของพลาสติกชนิด HDPE LDPE PP และ PLA [25]

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของ PP และ PLA ถูกเลือกนำมาตรวจสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA) เพื่อตรวจสอบว่าจำนวนชั้นของการเสริมแรงด้วยเส้นผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตจริงหรือไม่ ตารางที่ 1-2 แสดงผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus และ Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่เสริมแรงด้วยเส้นผ้าขาวม้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level) ที่ 5 % หรือ 0.05 ซึ่งกำหนด Hypothesis test $H_0 =$ จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้ามีผลการทดสอบแรงดึงไม่แตกต่างกัน, $H_1 =$ จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าค่า P-value ทั้งการตรวจสอบค่า Tensile modulus และ Tensile strength มีค่าใกล้เคียงกับ 0 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 เนื่องจากมีค่า P-value ต่ำกว่าค่า Significant level หมายความว่า จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน หมายความว่า จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP (Tensile modulus และ Tensile strength) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตารางที่ 3-4 แสดงผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus และ Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA พบว่าค่า P-value ทั้งการตรวจสอบค่า Tensile modulus และ Tensile strength มีค่าใกล้เคียงกับ 0 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 เนื่องจากมีค่า P-value ต่ำกว่าค่า Significant level หมายความว่า จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน หมายความว่า จำนวนชั้นของเส้นผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA (Tensile modulus และ Tensile strength) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	3	42261	14087.1	23.97	0.000
Error	16	9402	587.7		
Total	19	51664			

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	3	887.19	295.731	145.36	0.000
Error	16	32.55	2.035		
Total	19	919.75			

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	2	64283	32141.4	32.25	0.000
Error	12	11959	996.6		
Total	14	76242			

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	2	59.22	29.611	16.88	0.000
Error	12	21.05	1.754		
Total	14	80.27			

4. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองทดลองอัดแผ่นคอมโพสิตจากพลาสติก 4 ชนิดโดยมีผ้าขาวม้าเป็นวัสดุเสริมแรง พบว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตที่ได้ทำการออกแบบสามารถอัดขึ้นรูปได้ทุกโครงสร้าง แผ่นคอมโพสิตที่ได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติแรงดึงและตรวจสอบโครงสร้าง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงดึงเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณของเทอร์โมพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง เนื่องจากมีปริมาณของเรซินหรือเทอร์โมพลาสติกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการตรวจสอบโครงสร้างวัสดุเป็นการยืนยันถึงพื้นที่สีขาวหรือพื้นที่เรซินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง ในส่วนของเทอร์โมพลาสติกที่แตกต่างกันพบว่า PP มีสมบัติแรงดึงที่สูงที่สุด เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของตัวมันเอง ดังนั้นโครงสร้างวัสดุที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น และมีอัตราส่วนผ้าขาวม้าและเทอร์โมพลาสติก 50:50 wt% มีสมบัติทางกลที่ดีที่สุด แต่เนื่องด้วยวัสดุเนื้อพื้น PP ยังไม่ตอบสนองต่อความยั่งยืน PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องด้วยสมบัติการย่อยสลายได้ที่ตอบสนองต่อความยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อม และมีค่า Tensile strength ต่ำกว่า PP เพียงแค่ 13 % แต่มีค่า Tensile modulus ที่สูงกว่า 11.5 % ดังนั้น PLA จึงถูกนำมาพิจารณาในการทำแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารเพื่อตอบสนองความยั่งยืนในอนาคต ในทางกลับกัน PP ถูกนำมาพิจารณาในการทำแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารเพื่อตอบสนองทางด้านราคาต้นทุนต่ำ

4. กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และเจ้าหน้าที่ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือขึ้นรูป เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Marine and Coastal Resources, “Plastic Waste, A National Problem” <https://www.thaipost.net/main/detail/17790>. (accessed 12/10, 2024). (in Thai)
- [2] A. K. Trivedi, M. K. Gupta, and H. Singh, “PLA based biocomposites for sustainable products: A review,” *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 6, no. 4, pp. 382-395, 2023/10/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.02.002>.
- [3] N. Shekhar and A. Mondal, “Synthesis, properties, environmental degradation, processing, and applications of Polylactic Acid (PLA): an overview,” *Polymer Bulletin*, vol. 81, no. 13, pp. 11421-11457, 2024/08/01 2024, doi: 10.1007/s00289-024-05252-7.
- [4] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 107, pp. 367-392, 2016/12/15/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>.

- [5] “Natural Fiber Fabrics and Synthetic Polyester Fiber Fabrics, Which Fabric Should I Choose?” <https://www.jongstit.com/th/blog/> (accessed 12/10, 2024). (in Thai)
- [6] “5 - Cotton reinforced polymer composites,” in *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*, N. Chand and M. Fahim Eds.: Woodhead Publishing, 2008, pp. 129-161.
- [7] Z. Zupin and K. Dimitrovski, “Mechanical Properties of Fabrics Made from Cotton and Biodegradable Yarns Bamboo, SPF, PLA in Weft,” 2010.
- [8] B. Wankhede, H. Bisaria, S. Ojha, and V. S. Dakre, “A review on cotton fibre-reinforced polymer composites and their applications,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 237, no. 6, pp. 1347-1362, 2023, doi: 10.1177/14644207221143876.
- [9] A. Kushwaha, K. Chaudhary, and C. Prakash, “A study on the mechanical properties of pineapple, bamboo, and cotton woven fabrics,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, no. 14, pp. 16307-16318, 2024/07/01 2024, doi: 10.1007/s13399-023-03841-6.
- [10] P. Kiss, W. Stadlbauer, C. Burgstaller, and V.-M. Archodoulaki, “Development of high-performance glass fibre-polypropylene composite laminates: Effect of fibre sizing type and coupling agent concentration on mechanical properties,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 138, p. 106056, 2020/11/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106056>.
- [11] E. Ferede, G. Gebru, T. Worku, T. Jambo, D. Atalie, and W. Zerefa, “Production and Characterization of Recycled Polypropylene Composite Reinforced with Cotton Fabric Waste,” *Journal of Engineering*, vol. 2024, pp. 1-13, 05/18 2024, doi: <https://10.1155/2024/9247702>.
- [12] P. Sadrolodabae, J. Claramunt, M. Ardanuy, and A. d. l. Fuente, “Characterization of a textile waste nonwoven fabric reinforced cement composite for non-structural building components,” *Construction and Building Materials*, vol. 276, p. 122179, 2021/03/22/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122179>.
- [13] S. Radoor, J. Karayil, J. M. Shivanna, A. Jayakumar, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin, “Chapter 17 - Cotton fibers, their composites and applications,” in *Plant Fibers, their Composites, and Applications*, S. Mavinkere Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, T. Ozbakkaloglu, and H. Wang Eds.: Woodhead Publishing, 2022, pp. 379-390.
- [14] S. Ramprasad, M. Venkata Ramana, and M. Manzoor Hussain, “Investigation on cotton dust-reinforced epoxy composites,” *Materials Today: Proceedings*, 2023/03/04/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.230>.
- [15] B. Wankhede, V. Dakre, D. Bodhankar, and A. Kamble, “Evaluation of Performance of Cotton Fiber Reinforced Epoxy Composites,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2763, p. 012008, 05/01 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2763/1/012008.

- [16] J. F. d. B. Diniz *et al.*, “Drying of sisal fibers in oven with forced air circulation: An experimental study,” *Research, Society and Development*, vol. 9, no. 10, p. e8639109342, 10/23 2020, doi: 10.33448/rsd-v9i10.9342.
- [17] P. K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition*. CRC Press, 2007.
- [18] S. Wanida, “Study of Mechanical Properties of Polypropylene Composite Materials Reinforced with Duck Feathers, Chicken Feathers and Dog Feathers,” *Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Faculty of Engineering. Department of Materials Engineering*, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2017.
- [19] A. International, “ASTM D3039/D3039M-00 (2000) Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials,” 2000.
- [20] N. I. S. Anuar, S. Zakaria, S. Gan, C.-h. Chia, C. Wang, and J. Harun, “Comparison of the morphological and mechanical properties of oil Palm EFB fibres and kenaf fibres in nonwoven reinforced composites,” *Industrial Crops and Products*, vol. 127, pp. 55-65, 01/01 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.09.056.
- [21] P. S. Latha, M. V. Rao, V. K. Kumar, G. Raghavendra, S. Ojha, and R. inala, “Evaluation of mechanical and tribological properties of bamboo-glass hybrid fiber reinforced polymer composite,” *Journal of Industrial Textiles*, vol. 46, no. 1, pp. 3-18, 2016, doi: <https://10.1177/1528083715569376>.
- [22] J. L. Jordan, D. T. Casem, J. M. Bradley, A. K. Dwivedi, E. N. Brown, and C. W. Jordan, “Mechanical Properties of Low Density Polyethylene,” *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, vol. 2, no. 4, pp. 411-420, 2016/12/01 2016, doi: 10.1007/s40870-016-0076-0.
- [23] S. Salih, A. a. Hamood, and A. Abd Alsalam, “Comparison of the characteristics of LDPE: PP and HDPE: PP polymer blends,” *Modern Applied Science*, vol. 7, pp. 33-42, 02/22 2013, doi: 10.5539/mas.v7n3p33.
- [24] W. Groupe and R. Akkerman, “Consolidation process model for film stacking glass/PPS laminates,” *Plastics, Rubber and Composites*, vol. 39, 06/01 2010, doi: <https://10.1179/174328910X12647080902457>.
- [25] S. Krause, “Polymer Chemistry: An Introduction, 3rd Edition (Stevens, Malcolm P.),” *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 1, p. 35, 2000/01/01 2000, doi: 10.1021/ed077p35.

การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชน

กลุ่มผู้ปลูกไม้โดยใช้วิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ TOPSIS

Selecting Green Supply Chain Management for Community Bamboo Growers

Enterprise Using the Technique for Order Preference

by Similarity to Ideal Solution

ปริวรรต นาสวาสดี¹ ยูทธรรงค์ จงจันทร² ประเวช เชื้อวงษ์³ สมศักดิ์ ทองแก้ว^{4*} นพดล ศรีพุทธา⁵ และ สราวุธ อิศรานูวัฒน์⁶

^{1,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครินทร์

จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000

⁴สาขาวิชาทัศนศิลป์และมัลติมีเดียอาร์ต คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติแบบสลับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10250

⁶สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครินทร์

จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000

Pariwat Nasawat¹ Yuthanarong Jongjug² Prawach Chourwong³ Somsak Thongkaew^{4*}

Noppadol Sriputtha⁵ and Sarawut Itsaranuwa^{6*}

^{1, 2, 3}Department of Logistics and Process Engineering Faculty of Industrial Technology,

Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, Thailand 24000

⁴Department of Visual and Media Arts, Faculty of Humanities and Social Sciences,

Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, Thailand 24000

⁵Department of Robotics and Lean Automation Engineering, Faculty of Engineering,

Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10250

^{6*}Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology,

Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, Thailand 24000

*Corresponding author Email: sakthongkaew06@gmail.com

(Received: October 18, 2024; Revise: December 16, 2024; Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดสินใจในการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยากต่อการตัดสินใจเพราะว่ามีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาไปพร้อม ๆ กัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคเดลฟาย และเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ ในการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เริ่มจากการการประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟายสำหรับเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 21 ปัจจัย ผลการเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายถูกคัดเลือกเหลือ 13 ปัจจัย ขั้นตอนที่สอง

วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเรียงลำดับตามอุดมคติ เริ่มจากการปรับสเกลของตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ จากนั้นทำการวิเคราะห์ ตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนัก โดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยจากการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวิธีการเทคนิคเดลฟาย แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอุดมคติเชิงบวก (Positive Ideal Solution :PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (Negative Ideal Solution : NIS) เพื่อคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) สำหรับแต่ละปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ โดยพบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือ A4 (IEM7) มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม A7 (CC1) ความร่วมมือกับลูกค้าในการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม A1 (IEM1) ความมุ่งมั่นของ GSCM จากผู้จัดการอาวุโส และ A3 (IEM4) การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ไม้ เทคนิคเดลฟาย เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ

Abstract

Decision-making process for selecting green supply chain management for community bamboo growers' enterprises. Choosing green supply chain management for community bamboo growers' enterprises is a complex problem that requires careful consideration of multiple factors. Therefore, this research presents Delphi technique and TOPSIS to assess and priorities the selection of green supply chain management. that reduces the impact on the environment. First, Delphi technique was applied to select green supply chain management of 21 factors. The results of Delphi technique priority selection were selected for 13 factors. The second step was analyses by TOPSIS technique. Scaling decision-making matrices Then, weighted scaled decision-making metrics were analyses using the data of factor weights from the Delphi-reduced green supply chain management. The results were then used to calculate the positive ideal solution (PIS) and negative ideal solution (NIS) values to calculate the positive ideal exclusion measure (S^*) and the exclusion measure value in the negative ideal (S') as well as the relative closeness (C^*) for each green supply chain management, respectively. It was discovered that the best option was A4 (IEM7) Environmental Management Systems exist. A7 (CC1) Cooperation with customers for eco design, A1 (IEM1) Commitment of GSCM from senior managers, and A3 (IEM4) Total quality environmental management, respectively.

Keywords: Supply Chain Management, Bamboo, Delphi technique, TOPSIS

1. บทนำ

การจัดลำดับความสำคัญในการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาการตัดสินใจหลายเกณฑ์ ซึ่งได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัยที่ขัดแย้งกันซึ่งเป็นงานที่ท้าทายสำหรับองค์กรหรือบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีความเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมิติด้านการบริหารจัดการที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถือเป็นแนวทางการพัฒนาธุรกิจที่ได้รับการสนใจทั้งในระดับองค์กรหรือระดับอุตสาหกรรมรวมถึงระดับชาติ ซึ่งภาครัฐได้มีบทบาทเข้ามาส่งเสริมร่วมรณรงค์มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการดำเนินงานของ

ธุรกิจต่างๆ มีหลายส่วนที่มีความเกี่ยวข้องหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดแนวคิดของการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียว หรือการจัดการกรีนโลจิสติกส์ (Green Logistics) ซึ่งเป็นแนวคิดของการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อมุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงานในกิจกรรมโลจิสติกส์ที่มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย [1] ดังนั้นปัญหาในการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความซับซ้อนเนื่องจากความไม่แน่นอน โดยมีเกณฑ์หลัก 5 ประการ ได้แก่ การจัดการสภาพแวดล้อมภายใน การซื้อแบบกรีน การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ความร่วมมือกับลูกค้าและการลงทุนในการนำกลับคืน และแบ่งออกเป็น 21 ปัจจัย ซึ่งมีจำนวนมากจึงให้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) เข้ามาช่วยเลือกปัจจัยที่สำคัญเหลือ 13 ปัจจัย ซึ่งมีผลกับการเลือกปัจจัยโดยจะใช้เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution : TOPSIS) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนภายใต้ข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องและข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน นอกจากนี้ข้อดีของ TOPSIS สามารถสรุปได้ดังนี้ 1) ตระยะในการประเมินจะคล้ายวิธีคิดของมนุษย์ 2) วิธีการนี้จะคำนึงถึงค่าของปัจจัยทั้งด้านดีและด้านลบไปพร้อมๆ กัน 3) วิธีการคำนวณเข้าใจง่าย และ 4) การประเมินทางเลือกมีความเป็นอุดมคติชัดเจน นอกจากนี้ TOPSIS ยังคงเป็นเทคนิคที่เข้าใจง่าย และสามารถจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกโดยขั้นตอนการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนทำให้เหมาะกับการใช้งานในทางปฏิบัติ [2-7]

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Decision Analysis : MCDA) โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไผ่ จากนั้นทำการวิเคราะห์การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไผ่ด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ตามลำดับ

2.1 การวิเคราะห์ห่วงโซ่มูลค่าของไผ่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไผ่อำเภอท่าตะเียบ

ประเทศไทยได้ประกาศให้มีการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) ซึ่งให้ความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ การใช้ทรัพยากรชีวภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการหมุนเวียนในระบบการผลิตและการใช้งานให้มากที่สุด ไผ่เป็นพืชที่มีความสามารถกระจายพันธุ์ได้อย่างกว้างขวาง สามารถหมุนเวียนและทดแทนต้นที่ถูกตัดได้เร็ว จึงถือเป็นทรัพยากรที่มีศักยภาพในการทดแทนสูง ชนิดพันธุ์ไผ่ที่สำรวจพบในประเทศไทยเป็นไผ่พื้นเมืองกว่า 50 ชนิด พบกระจายในภาคเหนือมากที่สุด ไผ่ที่พบมาก ได้แก่ ไผ่รวก ไผ่ชางนวล ไผ่ไร่ ด้วยลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศของประเทศไทยเอื้อต่อการเจริญเติบโตของไผ่หลายชนิดจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนาให้เป็นแหล่งไผ่เศรษฐกิจ โดยมีพื้นที่ปลูกไผ่เพื่อการค้าทั้งหมดประมาณ 9.2 หมื่นไร่ ปลูกมากที่สุดอยู่ในภาคตะวันออก ประมาณ 4 หมื่นไร่ โดยจังหวัดปราจีนบุรีและจังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกไผ่เพื่อการค้ามากที่สุด พื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราอยู่ในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษตะวันออก (EEC) มีเกษตรกรผู้ปลูกไผ่ 335 ราย พื้นที่ปลูกไผ่ จำนวน 1,518 ไร่ โดยเฉพาะกลุ่มแปลงใหญ่ไผ่อำเภอท่าตะเียบ มีเกษตรกรผู้ปลูกไผ่ 108 ราย พื้นที่เพาะปลูก จำนวน 602 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 1 [8]



รูปที่ 1 แปลงปลูกไม้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ปลูกไม้อำเภอท่าตะเียบ

ร่วมกันผลิตเพื่อลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต พร้อมพัฒนาคุณภาพที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาดบริหารจัดการแปลงอย่างมีส่วนร่วม และมีการพัฒนาแบบเชื่อมโยงตลอดห่วงโซ่การผลิตจนสามารถสร้างอำนาจต่อรองด้านราคาของผลผลิตกับพ่อค้าคนกลางได้

อย่างไรก็ตาม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้ อำเภอท่าตะเียบ ต้องการนำการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มาประยุกต์ใช้ในกลุ่มเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืน

2.2 การจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Green Supply Chain Management: GSCM)

ปัจจุบันสังคมโลกให้ความสนใจต่อปัญหาสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสังคมและสิ่งแวดล้อมโลกได้มีการเปลี่ยนแปลง ประกอบกับความตื่นตัวที่มีต่อแนวคิดในการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่ทุกฝ่ายได้ตระหนักถึงความขัดแย้งจากการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จึงได้นำการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เข้ามาประยุกต์ใช้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้อำเภอท่าตะเียบ เป็นการตระหนักถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทานที่มีผลต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน 5 ประการ ดังนี้ [9-10] การจัดการสภาพแวดล้อมภายใน (Internal Environment Management) คือ เป็นการจัดการสภาพแวดล้อมภายในกิจการสำหรับการดำเนินการโซ่อุปทานแบบกรีน โดยมีการดำเนินการของผู้จัดการอาวุโส ผู้บริหารระดับกลาง 2) การซื้อแบบกรีน (Green Purchasing) คือ ความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมกับคู่ค้า การตรวจสอบเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมการจัดการภายในของคู่ค้า พิจารณาคู่ค้าที่ได้รับการรับรอง ISO14000 3) การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (E-co Design) คือ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ลดการใช้วัสดุและพลังงาน การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก คัดแยกวัสดุหรือชิ้นส่วนแล้วนำกลับคืนมาใช้ หลีกเลียงหรือลดการใช้ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่เป็นอันตราย 4) ความร่วมมือกับลูกค้า (Cooperation with Customers) คือ การร่วมมือกับลูกค้าในการออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การผลิตที่สะอาดรวมไปถึงการใช้บรรจุภัณฑ์ที่สะอาด 5) การลงทุนในการนำกลับคืน (Investment Recovery) คือ การลงทุนในการนำกลับคืนสินค้าหรือวัตถุดิบที่มีเกินความต้องการ การขายเศษวัตถุดิบที่ใช้แล้ว และการขายอุปกรณ์เครื่องจักรที่มีเกินความต้องการ

2.3 การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multiple Attribute Decision Making: MADM)

การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้จะต้องพิจารณาคุณสมบัติหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยปัญหาที่กล่าวนี้เป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายทางเลือก (Multi-Attribute Decision Making problem : MADM) มีหลากหลายวิธีซึ่งเป็นศาสตร์ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีการแพร่หลายอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหา MADM หลาย

เทคนิค เช่น ELECTRE, SAW, PROMETHEE และ TOPSIS โดยงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) ในการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้ ซึ่งเทคนิคเดลฟายใช้เพื่อระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการพยากรณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอนาคต เทคนิคเดลฟายถูกออกแบบมาเป็นกลุ่มกระบวนการสื่อสารที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อดำเนินการโดยละเอียด การตรวจสอบและการอภิปรายปัญหาเฉพาะสำหรับวัตถุประสงค์ของการกำหนดเป้าหมาย การตรวจสอบนโยบายหรือการคาดการณ์การเกิดเหตุการณ์ในอนาคต [11] เทคนิคเดลฟายถูกนำไปใช้ในหลายๆ สาขา เช่น การวางแผนโปรแกรมการประเมินความต้องการนโยบาย การกำหนดและการใช้ทรัพยากร ทฤษฎี MADM เป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision making theory) TOPSIS เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวรรณกรรม [12-14] ข้อดีของวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ มีความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพ ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบ MADM โดยสามารถเพิ่มปัจจัยและทางเลือกที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการตัดสินใจที่ซับซ้อนอื่นๆ ได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดประเด็นปัญหาของการวิจัย

การเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) เหมาะสำหรับหัวข้อที่ต้องการความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญหลายคนเพราะสามารถรวบรวมข้อมูลที่รอบด้าน ลดอคติในการตัดสินใจ และสร้างฉันทามติในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิจัย การประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟายสำหรับเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้อำเภอท่าตะเียบ การจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 21 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 1 และใช้ผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย ด้านนโยบายและกฎหมาย 5 คน ด้านวิชาการ 5 คน ด้านอุตสาหกรรม 5 คน และด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม 2 คน รวมทั้งหมด 17 คน โดยใช้มาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 5 ระดับ แสดงในตารางที่ 2

3.3 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

รอบที่ 1 : แบบสอบถามแบบปลายเปิด

รอบที่ 2 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า

รอบที่ 3 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า

รอบที่ 4 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า

ตารางที่ 1 ปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [15-20]

ลำดับ	การจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
1	ความมุ่งมั่นของ GSCM จากผู้จัดการอาวุโส คือ (IEM1)
2	การสนับสนุน GSCM จากผู้จัดการระดับกลาง คือ (IEM2)
3	ความร่วมมือข้ามสายงานเพื่อการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม คือ (IEM3)
4	การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม คือ (IEM4)
5	โปรแกรมการปฏิบัติตามและการตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม คือ (IEM5)
6	การรับรองมาตรฐาน ISO 14001 คือ(IEM6)
7	มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม คือ(IEM7)
8	การติดตามผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม คือ(GP1)
9	ความร่วมมือกับซัพพลายเออร์เพื่อวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม คือ(GP2)
10	การตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการจัดการภายในของซัพพลายเออร์ คือ (GP3)
11	ใบรับรอง ISO14000 ของซัพพลายเออร์ คือ (GP4)
12	การประเมินผลการปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของซัพพลายเออร์ระดับที่สอง คือ (GP5)
13	ความร่วมมือกับลูกค้าในการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม คือ (CC1)
14	ความร่วมมือกับลูกค้าในการผลิตที่สะอาดขึ้น คือ (CC2)
15	ความร่วมมือกับลูกค้าเพื่อบรรจุภัณฑ์สีเขียว คือ (CC3)
16	การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดการใช้วัสดุ/พลังงาน คือ (ECO1)
17	การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ซ้ำ รีไซเคิล การนำวัสดุ ชิ้นส่วน ชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ คือ (ECO2)
18	การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดการใช้ผลิตภัณฑ์อันตรายและ/หรือกระบวนการผลิต คือ (ECO3)
19	การคืนเงินลงทุน (ขาย) สินค้าคงเหลือ/วัสดุส่วนเกิน คือ (IR1)
20	การขายเศษและวัสดุใช้แล้ว คือ (IR2)
21	การขายอุปกรณ์ส่วนเกิน คือ(IR3)

ขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลน้ำหนักของปัจจัย w_j ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูล และข้อมูลการทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชัน r_{ij} ให้สร้างตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วโดยหาค่า v_{ij} แสดงในสมการที่ 3

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 4 จากข้อมูลเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วข้างต้น v_{ij} คำนวณคำตอบในอุดมคติทางบวกซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแทนด้วย A^* และคำนวณคำตอบในอุดมคติทางลบเป็นคำตอบที่แย่ที่สุดแทนด้วย A' แสดงในสมการที่ 4-5 ตามลำดับ โดยที่ J คือ เซตของปัจจัยยิ่งมามากยิ่งดี ส่วน J' คือ เซตของปัจจัยยิ่งน้อยยิ่งดี

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}; \text{ where } v_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}) \text{ if } j \in J \\ \min(v_{ij}) \text{ if } j \in J' \end{cases} \quad (4)$$

$$A' = \{v_1', \dots, v_n'\}; \text{ where } v_j' = \begin{cases} \min(v_{ij}) \text{ if } j \in J \\ \max(v_{ij}) \text{ if } j \in J' \end{cases} \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาตัววัดการแยก (Separation Measure) สำหรับแต่ละทางเลือก i โดยสามารถคำนวณวัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก s_i^* และคำนวณการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ s_i' แสดงในสมการที่ 6-7 ตามลำดับ

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i=1, \dots, m \quad (6)$$

$$s_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2} \quad \forall i=1, \dots, m \quad (7)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (Relative closeness) ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด สำหรับทางเลือก i เรียกว่า c_i^* แสดงในสมการที่ 8 โดยค่า c_i^* ที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ความหมายของค่า c_i^* ที่ได้คือ 0 คือทางเลือกที่แย่ที่สุด และ 1 คือทางเลือกที่ดีที่สุด แสดงในสมการที่ 9

$$c_i^* = \frac{s_i'}{s_i^* + s_i'} \quad (8)$$

$$c_i^* = \begin{cases} 1 & \text{if } A_i = A^* \\ 0 & \text{if } A_i = A' \end{cases} \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 7 จากความใกล้ชิดสัมพัทธ์ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด c_i^* สำหรับแต่ละทางเลือกให้จัดอันดับแต่ละทางเลือกที่มีค่า c_i^* เข้าใกล้ 1 ที่สุดคือคำตอบที่ดีที่สุด [21-22]

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique)

การเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายเป็นการตัดสินใจจากปัจจัยที่มีความสำคัญโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 17 คน ซึ่งจากปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากทั้งหมด 21 ปัจจัย ผลการเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายถูกคัดเลือกปัจจัยที่ไม่สำคัญออกเหลือ 13 ปัจจัย แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การลำดับความสำคัญด้วย Delphi Technique

No	Gscm	Mean	Ir	F/A	Rank
A1	IEM1	4.824	0.393	Accept	3
A2	IEM2	3.941	0.243	Accept	13
A3	IEM4	4.765	0.437	Accept	4
A4	IEM7	4.941	0.243	Accept	1
A5	GP1	4.647	0.493	Accept	6
A6	GP2	4.529	0.514	Accept	8
A7	CC1	4.882	0.332	Accept	2
A8	CC2	4.588	0.507	Accept	7
A9	CC3	4.706	0.470	Accept	5
A10	ECO1	4.471	0.514	Accept	9
A11	ECO2	4.000	0.500	Accept	12
A12	ECO3	4.412	0.507	Accept	10
A13	IR2	4.353	0.606	Accept	11

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้วยเทคนิคเดลฟาย แสดงให้เห็นว่าจากปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากทั้งหมด 21 ปัจจัย ผลการเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายถูกคัดเลือกเหลือ 13 ปัจจัย ตามลำดับ

4.2 ผลการเรียงลำดับโดยใช้เทคนิค TOPSIS

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ TOPSIS เริ่มจากการปรับสเกลของตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ แสดงในตารางที่ 3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยจากการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวิธีการเทคนิคเดลฟาย แสดงในตารางที่ 4 แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอุดมคติเชิงบวก (PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (NIS) เพื่อคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการ

แยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) แสดงในตารางที่ 5 สำหรับแต่ละปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 นอร์มอลไลซ์ข้อมูลในเมตริกซ์การตัดสินใจ

No	Mean	IR	Mean (Max)	IR (Min)
A1	4.824	0.393	0.294	0.239
A2	3.941	0.243	0.240	0.148
A3	4.765	0.437	0.290	0.266
A4	4.941	0.243	0.301	0.148
A5	4.647	0.493	0.283	0.300
A6	4.529	0.514	0.276	0.313
A7	4.882	0.332	0.297	0.202
A8	4.588	0.507	0.280	0.309
A9	4.706	0.470	0.287	0.286
A10	4.471	0.514	0.272	0.313
A11	4.000	0.500	0.244	0.304
A12	4.412	0.507	0.269	0.309
A13	4.353	0.606	0.265	0.369

ตารางที่ 5 เมตริกซ์การตัดสินใจถ่วงน้ำหนัก

NO	Mean (Max)	IR (Min)
A1	0.235	0.048
A2	0.192	0.030
A3	0.232	0.053
A4	0.241	0.030
A5	0.226	0.060
A6	0.221	0.063
A7	0.238	0.040
A8	0.224	0.062
A9	0.229	0.057
A10	0.218	0.063
A11	0.195	0.061
A12	0.215	0.062
A13	0.212	0.074

นำข้อมูลจากตารางที่ 5 มาทำการคำนวณระยะห่างจากค่ายPIS และ NIS ของแต่ละทางเลือกโดยใช้สมการที่ (6) ถึง (7) สุดท้ายคำนวณหาสัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุดของแต่ละทางเลือกโดยใช้สมการที่ (8) ถึง (9) ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุด

NO	S_i^*	S_i'	C_i^*	RANK
A1	0.027	0.071	0.724	3
A2	0.069	0.063	0.476	8
A3	0.036	0.064	0.641	4
A4	0.000	0.093	1.000	1
A5	0.048	0.052	0.524	6
A6	0.055	0.044	0.443	9
A7	0.016	0.080	0.834	2
A8	0.052	0.048	0.480	7
A9	0.042	0.058	0.577	5
A10	0.057	0.040	0.411	10
A11	0.079	0.019	0.193	13
A12	0.058	0.037	0.386	11
A13	0.075	0.028	0.276	12

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี TOPSIS โดยพบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือ A4 (IEM7) มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม A7 (CC1) ความร่วมมือกับลูกค้าในการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม A1 (IEM1) ความมุ่งมั่นของ GSCM จากผู้จัดการอาวุโส และ A3 (IEM4) การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม ตามลำดับ นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถเพิ่มทางเลือกและปัจจัยได้ นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มจำนวนวิธีที่นำมาผสมผสานได้ ทำให้เทคนิคการผสมผสานนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายทางเลือกและเป็นแนวทางหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในศาสตร์ด้านนี้เพิ่มขึ้นในอนาคต

5. สรุป

การศึกษาการเลือกการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้ ขึ้นตอนแรกเริ่มจากการเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายโดยปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากทั้งหมด 21 ปัจจัย ผลการเลือกลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคเดลฟายถูกคัดเลือกเหลือ 13 ปัจจัย ขั้นตอนที่สองวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ TOPSIS เริ่มจากการปรับสเกลของตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยจากการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากวิธีการเทคนิคเดลฟาย แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอุดมคติเชิงบวก (PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (NIS) เพื่อคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้ขีดสัมพัทธ์ (C_i^*) สำหรับแต่ละปัจจัยการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ โดยพบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือ A4 (IEM7) มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม A7 (CC1) ความร่วมมือกับลูกค้าในการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม A1 (IEM1) ความมุ่งมั่นของ GSCM จากผู้จัดการอาวุโส และ A3 (IEM4) การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม ตามลำดับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการคัดเลือก และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้ให้มีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคเดลฟายเพื่อลดปัจจัย และใช้ TOPSIS ในการจัดอันดับทางเลือกเพื่อ

หาปัจจัยที่สำคัญที่สุด ช่วยให้กลุ่มผู้ปลูกไม้สามารถพัฒนาห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสม และยังเป็นเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถประเมินประสิทธิภาพและจัดลำดับความสำคัญของการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างสอดคล้องกัน ดังนั้นเครื่องมือที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประเมินและจัดลำดับความสำคัญของการเลือกการจัดการอื่น ๆ ได้ ซึ่งวิธีที่นำเสนอเหล่านี้มีความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากสามารถเพิ่มทางเลือกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการความร่วมมือจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไม้อำเภอท่าตะเียบ ตำบลท่าตะเียบ อำเภوتاตะเียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ และการสนับสนุนงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) จัดสรรงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Laosirihongthong, D. Adebajo, and K. Choon Tan, “Green Supply Chain Management Practices and Performance,” *Industrial Management & Data Systems*, vol. 113, no. 8, pp. 1088–1109, 2013.
- [2] A. Jayant, M. G. Agarwal, and R. Ramasamy, “Green Supply Chain Management: Conceptual Framework and Models,” *Sustainability*, vol. 13, no. 15, pp. 8127, 2021.
- [3] S. Seuring and M. Müller, “Green Supply Chain Research: Past, Present, and Future,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 15, pp. 1699–1710, 2008.
- [4] R. Awasthi, S. Jain, and P. Singhal, “A Systematic Review of Modeling Approaches in Green Supply Chain Management,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 9, pp. 23045–23064, 2023.
- [5] M. A. Khan, T. Dong, and J. Yu, “Sustainable Supply Chain Management and Green Technologies: A Comprehensive Review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 6, pp. 7152–7174, 2023.
- [6] S.Y. Lee, “Drivers for The Participation of Small and Medium–Sized Suppliers in Green Supply Chain Initiatives,” *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 185–198, 2008.
- [7] P. Murphy, and R. Poist, “Green perspectives and practices: a ‘comparative logistics’ study,” *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 122–131, 2003.
- [8] R. Wongrot, “Extension Needs for Sweet Bamboo Production in Thatakiap District Chachoengsao Province” *M.S. thesis, School of Agriculture and Cooperative, Sukhothai Thammathirat Open University*, 2019. (in Thai)
- [9] Thailand Environment Institute. “*Analysis of the Bamboo Value Chain in Thailand*,” 2021, pp. 1–6. (in Thai)
- [10] Department of Agricultural Extension, “*Agricultural Promotion Project Manual for Fiscal Year 2020*,” Project on Promoting the Efficiency of Bamboo and Rattan Production for Sustainability, 2020.

- [11] N. Wichapa, A. Choopool, and T. Sudsuansee. "Using the Hybrid DEA–TOPSIS Technique for Selecting the Suitable Biomass Materials for Processing into Fuel Briquettes," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 67–83, 2019. (in Thai)
- [12] M. Ma, W. Gao, and X. Zhao, "Improving Agricultural Green Supply Chain Management by a Novel Hybrid Model," *Agriculture*, vol. 12, no. 10, pp. 1512, 2022.
- [13] M. K. Shankar, and S. Ghosh, "Green Supplier Selection Using Fuzzy Delphi Method for Developing Environmental Performance Measures," *Decision Science Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 231–244, 2020.
- [14] S. K. Verma, and V. R. Kumar, "A Delphi Study on Green Supply Chain Management in Indian Industries: Evidence for a Research," *Journal of Cleaner Production*, vol. 29, no. 5, pp. 317–326, 2021.
- [15] K. Saenchaiyathon, "Logistics and Supply Chain Management," (2nd ed.). Khon Kaen: Khon Kaen University, 2015. (in Thai)
- [16] R. Smith, J. Brown, and A. Johnson, "An Integrated AHP–TOPSIS Approach for Selecting a Bamboo Product Champion for Rural Communities," *Journal of Rural Development*, vol. 32, no. 4, pp. 451–462, 2023.
- [17] H. S. Shih, H. J. Shyur, and E. S. Lee, "An extension of TOPSIS for group decision making," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 45, no. 7, pp. 801–813, 2007.
- [18] A. Beskese, "Landfill Site Selection Using Fuzzy AHP And Fuzzy TOPSIS: A Case Study for Istanbul," *Environmental Earth Sciences*, vol. 73, no. 7, pp. 3513–3521, 2015.
- [19] Q. Zhu, J. Sarkis, and K. Lai, "Confirmation of A Measurement Model for Green Supply Chain Management Practices Implementation," *International Journal of Production Economics*, vol. 111, no. 2, pp. 261–273, 2008.
- [20] K. Rangsikarnpum, "Decision analysis for engineering," *Chulalongkorn University Press, Bangkok*, pp. 219–248, 2022. (in Thai)
- [21] P. Nasawat, S. Talangkun, S. Arunyanart, and N. Wichapa, "Selection of suitable rice weevil disinfestation method using hybrid FAHP–FTOPSIS," *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, vol. 10, no. 29, pp. 65–80, 2020.

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับงานขึ้นส่วน เครื่องฉีดพลาสติกเพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน

Design and Develop Jig Fixtures for Parts of Plastic Injection Machine to Reduce Working Time

เจตนิพัทธ์ พิมลลักขณากุล¹ อภิลักษณ์ คำพิมพ์¹ สมิทธิ์ บัวนาค¹ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร¹ ประจักษ์ จັตกุล²
สุภัทรา หมูป่ารัง³ และวรรณนิศา นุชคุ้ม^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานจังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 22210

³สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

Jetnipat Pimollukanakul¹ Apirak Compim¹ Smith Buanak¹ Jittiwat Nitthikarnjanathn¹

Prajak Jattakui² Supattra Muparang³ and Wannisa Nutkhum^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala

University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi 22210

³Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala

University of Technology Tawan-ok 20110

*Corresponding author Email: wannisa.nu@rmuti.ac.th

(Received: November 23, 2024; Revise: December 19, 2024; Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับงานขึ้นส่วนเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อลดระยะเวลาในการทำงานจากเดิมใช้ระยะเวลา 54.22 นาที ซึ่งใช้เวลานานในการจับยึดเพื่อผลิตชิ้นงาน ทำให้ต้องลดระยะเวลาให้น้อยกว่า 30 นาที โดยผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในกระบวนการผลิตชิ้นงานและขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน เริ่มจากขั้นตอนการระบุปัญหา ศึกษาปัญหา และหาสาเหตุของปัญหา เพื่อลดโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุทั้งหมด 7 สาเหตุ ซึ่งพบว่าสามารถลดระดับความเสี่ยงในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานลงได้ โดยก่อนการปรับปรุงมีคะแนนค่าความเสี่ยง 624 คะแนน ลดลงเหลือ 305 คะแนน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดลงได้ร้อยละ 51.12 จากข้อบกพร่องของขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน และหลังการพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน พบว่าระยะเวลาในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18 นาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.936 นาที สามารถลดระยะเวลาได้ 36 นาที คิดเป็นร้อยละ 66.40 และสามารถลดต้นทุนได้ 4,345 บาท คิดเป็นร้อยละ 9.07

คำสำคัญ: ลดระยะเวลาในการทำงาน การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

Abstract

This research aims to design and develop jigs for parts of plastic injection machine to reduce working time from 54.22 minutes to less than 20 minutes. The researcher used analytical techniques: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) in the process and clamping of workpieces process. The process of identifying the problem, studying the problem, and finding the cause of the problem. To reduce the chance of defects from 7 causes of problems, it was found that the risk level in the workpiece clamping process can be reduced. Before the improvement, there was a risk score (RPN) of 624 points, reduced to 305 points. which represents a percentage that can be reduced by 51.12 % from the defects of the workpiece clamping process. And after develop jigs was found that the average working time of workpiece clamping process was 18 minutes, with a standard deviation was 1.936 minutes, which was able to reduce the time by 36 minutes, representing 66.66 %, and reducing costs by 4,345 baht, representing 9.07 percent.

Keywords: Reduce Working Time, Failure Mode and Effect Analysis, Jigs

1. บทนำ

ปัจจุบันการเติบโตของการผลิตภาคอุตสาหกรรมรถยนต์ของไทยในปี 2567-2569 มีแนวโน้มเติบโตร้อยละ 3.1 [1] จากการศึกษาพบว่าภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ศึกษาปัจจัยและความต้องการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่องของบุคลากรภายในองค์กร ซึ่งอาศัยความรวดเร็ว การปรับตัวต่อความเปลี่ยนแปลงในองค์กรแบบฉับพลัน [2] การก้าวสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 (ยุคดิจิทัลเทคโนโลยี) เป็นยุคที่มีการขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีมีการเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม เช่น การใช้ระบบ การวางแผนการทำงาน และเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นต้น ซึ่งช่วยให้สามารถรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เพิ่มความสะดวกสบาย และลดเวลาในการดำเนินงาน [3,4] แต่ในทางกลับกันในส่วนของกระบวนการผลิต อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีความสำคัญที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานในอุตสาหกรรม ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานให้ชิ้นงานมีขนาดมาตรฐานตรงกันทุกชิ้น อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานถูกออกแบบ และสร้างขึ้นมาเพื่อการยึดจับรองรับ กำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกชิ้นและช่วยลดระยะเวลาการทำงาน หรือยกเลิกการทำงานในกระบวนการผลิต เช่น การวัดตำแหน่ง การระบุตำแหน่ง เมื่อชิ้นงานมีจำนวนมาก การทำงานซ้ำซึ่งจะมีขั้นตอนและกระบวนการทำงานมากขึ้น ดังนั้นการใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน สามารถกำหนดตำแหน่งการทำงาน เพื่อให้มีมาตรฐานตรงกันทุกชิ้น [5]

จากการศึกษาบริษัท เอ็มอาร์ที เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและการแปรรูปโลหะภัณฑ์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยมีเครื่องจักรที่หลากหลายสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้อย่างครอบคลุม ตั้งแต่งานเชื่อมประกอบ งานเชื่อมพอกผิว งานพันทราย ทำสี งานกลึง กัด ไส เจียรนัย เจาะ คิวานรู และงานติดตั้งเครื่องจักร เพื่อทดสอบระบบการทำงานเสมือนหน้างานจริง ปัจจุบันลูกค้ามีความต้องการชิ้นงานรูปแบบใหม่ ซึ่งยังไม่มีเครื่องจักรจับยึดที่สามารถจับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมเบื้องต้นได้ใช้วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ บล็อก และสต็อปเปอร์ สำหรับการจับยึดชิ้นงาน ส่งผลให้

เกิดความล่าช้าเนื่องจากการหาอุปกรณ์ในการจับยึดชิ้นงาน ในการจับยึดชิ้นงานใช้ระยะเวลา 50 นาที และส่งผลให้การผลิตชิ้นงานไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า โดยลักษณะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดที่ใช้แสดงดังรูปที่ 1



ลักษณะชิ้นงาน



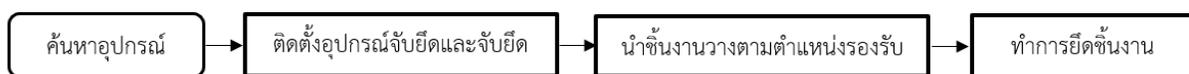
อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเดิม

รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดที่ใช้

จากการศึกษางานวิจัย อำนาจ มีแสง [6] ศึกษาการออกแบบเครื่องมือจับยึดชิ้นงานเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการ ECRS และการจับยึดชิ้นงานสามารถลดต้นทุนจาก 221,870 บาทต่อเดือน เหลือ 221,870 บาทต่อเดือน ปิยะพงษ์ คำคุณ [7] ศึกษาการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัดแบบหลายชั้นตอนบนเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า เพื่อตัดในส่วนที่เป็นปลอกจับดอกสว่าน โดยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียม และดำเนินการแปรรูปเพื่อให้มีขนาดตามแบบงาน โดยใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าและเครื่องกัดเป็นหลัก จากการทดลองพบว่าสมรรถนะของกระบวนการจับยึดมีค่าสูงกว่า 1.330 และส่วนที่เป็นปลอกจับมีค่าสมรรถนะของกระบวนการจับยึดมีค่า 1.852 และ 2.924 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรารุณี ปานแย้ม [8] ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชุดตายเซท เป็นตัวประกอบอุปกรณ์จับยึดชุดตายเซท และมีแคมป์สำหรับล็อกแม่พิมพ์ และมีหมุดล็อกตำแหน่งแม่พิมพ์ เพื่อให้แม่พิมพ์อยู่ในตำแหน่งที่พอดีไม่เอียงไปมา ช่วยให้ลดเวลาการติดตั้งแม่พิมพ์ จากผลการทดลองพบว่าใช้เวลาการติดตั้งเฉลี่ย 4.37 นาที และการติดตั้งแม่พิมพ์โดยใช้อุปกรณ์จับยึดชุดตายเซท ใช้เวลาการติดตั้งโดยเฉลี่ย 2.09 นาที สามารถลดระยะเวลาการติดตั้งแม่พิมพ์ 2.28 นาที โดยวัตถุประสงค์จากการศึกษาวิจัยเหล่านี้เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานจากเดิมที่ใช้เวลา 54 นาที

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1. ศึกษาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน เป็นขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานสำหรับงานชิ้นส่วนเครื่องฉีดพลาสติกสามารถแสดงแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 2 มีดังนี้



รูปที่ 2 การไหลของวิธีจับยึดชิ้นงาน

จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายในแต่ละกระบวนการจับยึดชิ้นงานได้ดังนี้

2.1.1 ค้นหาอุปกรณ์คือ ทำการค้นหาอุปกรณ์และหยิบอุปกรณ์ บล็อกและสตั๊ปเปอร์ เพื่อที่จะนำมาทำการจับยึดตัวชิ้นงานที่จะทำการผลิต ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การค้นหาอุปกรณ์และหยิบอุปกรณ์

2.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดและจับยึด เป็นการค้นหาอุปกรณ์ที่จะทำการจับยึดชิ้นงานครบตามจำนวน ทำการตั้งอุปกรณ์ตามตำแหน่งที่จะรองรับชิ้นงานในการผลิต ดังรูปที่ 4



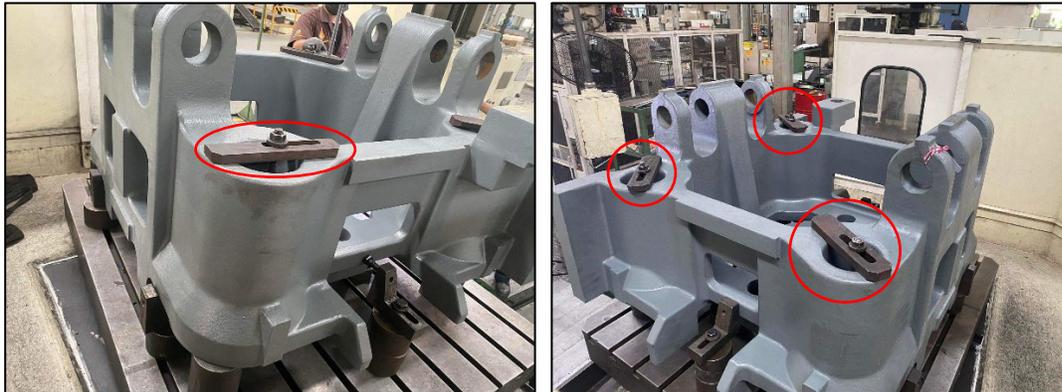
รูปที่ 4 การตั้งอุปกรณ์ตามตำแหน่ง

2.1.3 นำชิ้นงานวางตามตำแหน่งรองรับ การตั้งอุปกรณ์บล็อกแล้วนำชิ้นงานที่จะทำการผลิตยกขึ้นบนเครื่องจักรแล้ววางให้ตรงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่รองรับชิ้นงาน จากนั้นนำสตั๊ปเปอร์วางตามจุดของชิ้นงานด้านล่างเพื่อจะทำการจับยึดชิ้นงานไม่ให้เคลื่อน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การตั้งชิ้นงานบนอุปกรณ์ที่รองรับชิ้นงาน

2.1.4 ทำการยึดชิ้นงาน เป็นการวางอุปกรณ์บล็อก และสตั๊ปเปอร์ครบตามจุดต่าง ๆ แล้วขันล็อกด้านล่างชิ้นงานเพื่อยึดตัวชิ้นงาน จากนั้นนำสตั๊ปมาสอดตรงตำแหน่งรูของชิ้นงานทั้ง 4 ด้าน ทำการขันล็อกชิ้นงานให้แน่นเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนเวลาทำการผลิตชิ้นงาน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 จับยึดชิ้นงาน

2.2. ลักษณะการเก็บข้อมูล เป็นการศึกษาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานเพื่อให้ได้คุณภาพในการทำงานตามขอบเขตเวลาที่กำหนดทุก ๆ ครั้ง ได้ทำการชักตัวอย่างแบบโดยตรงในงานวิจัยครั้งนี้ให้ข้อมูลที่ได้นี้มีค่าระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5 โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณกลุ่มตัวอย่างสามารถคำนวณจำนวนครั้งที่ต้องการจับเวลาดังสมการที่ 1 [9] เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นในการชักตัวอย่างที่เหมาะสม โดยชักตัวอย่างจำนวน 10 ค่าจากขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 1

$$N = \left(\frac{40\sqrt{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2}}{\sum xi} \right)^2 \quad (1)$$

- เมื่อ n = จำนวนครั้งการจับเวลาเบื้องต้น
- N = จำนวนครั้งการจับเวลาการทำงาน
- Σ = ผลรวมของเวลางานย่อยแต่ละงาน
- X = ค่าเวลาที่วัดได้

ตารางที่ 1 การชักตัวอย่างเวลาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน

	จำนวนครั้งการจับเวลาเบื้องต้น (n)										ผลรวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
X	57	55	53	62	51	48	54	53	55	62	550
X ²	3249	3025	2809	3844	2601	2304	2916	2809	3025	3844	30426

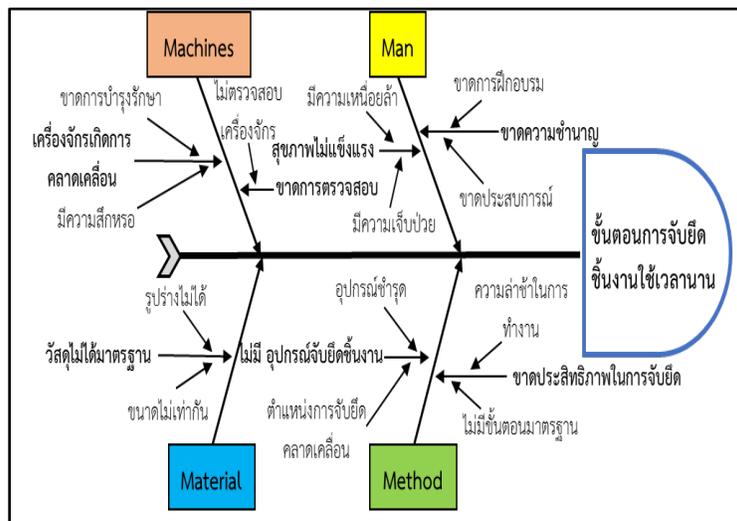
จากตารางที่ 1 การชักตัวอย่างข้อมูลขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานนำมาแทนค่าในสมการที่ 1 เพื่อคำนวณจำนวนครั้งในการจับเวลาที่เหมาะสม (N) ได้ดังนี้

$$N = \left(\frac{40\sqrt{10(30426)-(550)^2}}{550} \right)^2 \quad (2)$$

$$N = 9.309 \approx 9 \text{ ครั้ง}$$

2.3. ข้อมูลการจับเวลาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน เป็นการทดสอบขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ย 54.22 นาที และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.893 นาที ซึ่งใช้เวลาการทำงานมากเกินไป ทำให้ผลิตชิ้นงานไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า

2.4. การวิเคราะห์ปัญหาจากระยะเวลาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานที่เกินข้อกำหนด นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง โดยใช้ผังแสดงเหตุและผล สำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 7



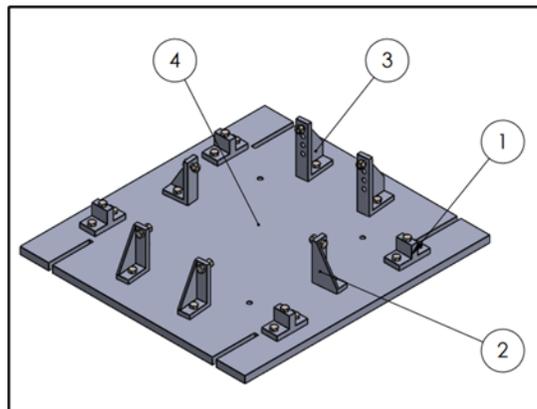
รูปที่ 7 แผนภูมิมิผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุและปัญหา

สามารถสรุปสาเหตุของปัญหาจากแผนภูมิมิผังก้างปลาได้ดังนี้

- 1) ด้านกระบวนการ จากการวิเคราะห์ พบว่าไม่มีอุปกรณ์จับยึด, ขาดประสิทธิภาพการจับยึดชิ้นงาน
- 2) ด้านเครื่องจักร จากการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องจักรเกิดการคลาดเคลื่อน ขาดการตรวจสอบ

- 3) ด้านวัสดุ จากการวิเคราะห์ พบว่าวัสดุไม่ได้มาตรฐาน
- 4) ด้านคน จากการวิเคราะห์ พบว่าขาดความชำนาญ, สุขภาพไม่แข็งแรง

จากการวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหการจับยึดชิ้นงานที่ใช้เวลาการทำงานนาน ร่วมกับวิศวกรที่รับผิดชอบและผู้ที่เกี่ยวข้องภายในแผนก พบว่าต้องลดเวลาการจับยึดชิ้นงานให้น้อยกว่า 20 นาที จึงจะสามารถผลิตชิ้นงานได้ทันตามความต้องการของลูกค้า โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการออกแบบงาน 3 มิติ โดยอาศัยหลักในการทำงานที่เข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว เพื่อการสร้างงานและส่งมอบแบบงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 5 หมายเลข 1 คือ Stopper รองรับชิ้นงาน หมายเลข 2 คือ Stopper จับยึดชิ้นงานหมายเลข 3 คือ Stopper จับยึดชิ้นงาน และหมายเลข 4 คือ แผ่นฐานชิ้นงาน จากนั้นดำเนินการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ดังรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

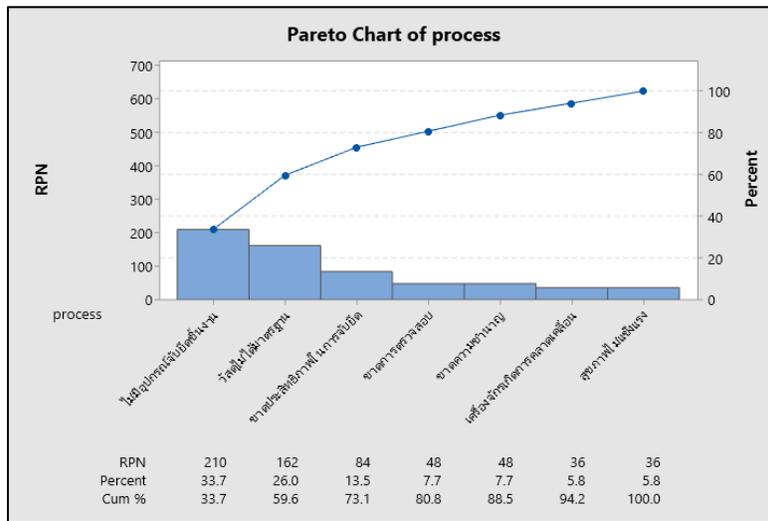


รูปที่ 9 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากปัญหาทั้ง 4 ด้านของการจับยึดชิ้นงานที่ใช้ระยะเวลานาน ได้นำเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เข้ามาวิเคราะห์คะแนนความรุนแรงของปัญหา [9] และมุ่งเน้นหาแนวทางการแก้ไข โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทั้ง 3 ประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ(O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D) ดังนั้น ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) = $S \times O \times D$ ให้คะแนนก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีคะแนนค่าความเสี่ยงเท่ากับ 624 คะแนนโดยซัพพารเตอ ดังรูปที่ 10 และ 11

Process Name	Potential Failure Mode	Potential Causes / mechanisms of Failure	Current Process		DFMEA			RPN
			Control Prevention	Control Detection	SEV.	OC	DET.	
ชื่อกระบวนการ	รูปแบบของความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การป้องกันความล้มเหลว	การตรวจจับความล้มเหลว				
คน	ขาดความชำนาญ	ไม่มีประสบการณ์และการฝึกอบรม	มีการฝึกอบรมแก่พนักงานเพิ่ม	ให้สายตาตรวจจับ	3	4	4	48
	สุขภาพไม่แข็งแรง	ทำงานหนักหรือพักผ่อนไม่เพียงพอ	ให้พนักงานทำโอทีตามเวลาที่กำหนด	ให้สายตาตรวจจับ	3	4	3	36
กระบวนการ	ไม่มีอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	ชิ้นส่วนในการจับยึดชิ้นงานไม่มีคุณภาพ	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ให้สายตาตรวจจับ	7	10	3	210
	ขาดประสิทธิภาพในการจับยึด	ตำแหน่งการจับยึดชิ้นงานคลาดเคลื่อน	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ให้สายตาตรวจจับ	4	7	3	84
เครื่องจักร	เครื่องจักรเกิดการคลาดเคลื่อน	ขาดการบำรุงรักษา	ตรวจสอบทุกครั้งหลังปฏิบัติงาน	ให้สายตาตรวจจับ	3	3	4	36
	ขาดการตรวจสอบ	พนักงานไม่ตรวจเช็คหลังปฏิบัติงาน	ตรวจสอบทุกครั้งหลังปฏิบัติงาน	ให้สายตาตรวจจับ	3	4	4	48
วัสดุ	วัสดุไม่ได้มาตรฐาน	อุปกรณ์จับยึดไม่มีคุณภาพ	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ให้สายตาตรวจจับ	6	9	3	162

รูปที่ 10 DFMEA ของขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน



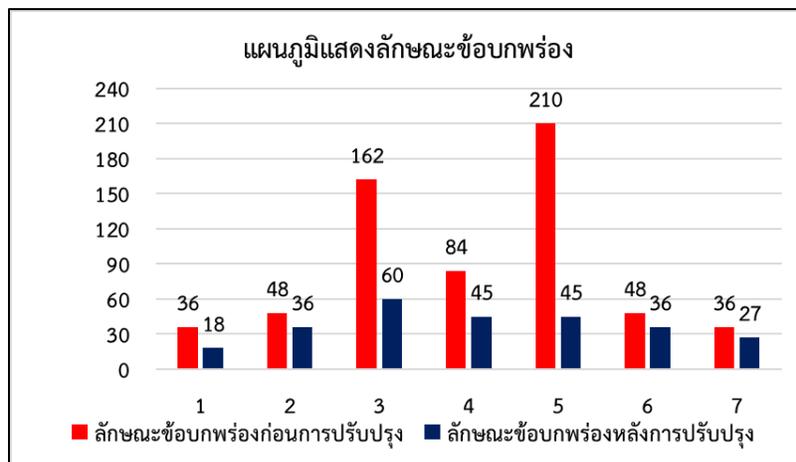
รูปที่ 11 ค่าคะแนน RPN ของขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน

3. แนวทางการเพิ่มความสามารถกระบวนการ

3.1. ผลการปรับปรุงและวิธีการแก้ไขโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) จากข้อบกพร่องทั้งหมด 7 สาเหตุ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน โดยการประเมินความเสี่ยงได้จากการประเมินองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ คือ ความรุนแรงของผลกระทบ (S) โอกาสการเกิดขึ้น (O) และการตรวจจับ (D) ดังนั้นค่า RPN ที่ได้มาจาก $RPN = S \times O \times D$ โดยผลการจัดทำ FMEA เข้ามาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบจากทั้งหมด 7 สาเหตุ ซึ่งสามารถลดระดับความเสี่ยงในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานที่มีคะแนนค่าความเสี่ยง RPN เท่ากับ 624 ลดลงเหลือคะแนนค่าความเสี่ยงเท่ากับ 305 คะแนน ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 51.12 ดังรูปที่ 12 และ 13

Process Name	Potential Failure Mode	Potential Causes / mechanisms of Failure	Current Process		DFMEA			R.P.N.	ผลการแก้ไข	PFMEA			
			Control Prevention	Control Detection	S.E.V.	O.C.C.	D.E.T.			Action taken	S.E.V.	O.C.C.	D.E.T.
ชื่อกระบวนการ	รูปแบบของความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การป้องกันความล้มเหลว	การตรวจจับความล้มเหลว					วิธีการแก้ไข				
คน	ขาดความชำนาญ	ไม่มีประสบการณ์และการฝึกอบรม	มีการฝึกอบรมพนักงานเพิ่ม	ใส่สายตาตรวจจับ	3	4	4	48		3	4	3	36
	สุขภาพไม่แข็งแรง	ทำงานหนักหรือพักผ่อนไม่เพียงพอ	ให้พนักงานทำโอทีตามเวลาที่กำหนด	ใส่สายตาตรวจจับ	3	4	3	36		3	3	3	27
กระบวนการ	ไม่มีอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	ชิ้นส่วนในการจับยึดชิ้นงานไม่มีคุณภาพ	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ใส่สายตาตรวจจับ	7	10	3	210	ออกแบบการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นใหม่	3	5	3	45
	ขาดประสิทธิภาพในการจับยึด	ตำแหน่งการจับยึดชิ้นงานคลาดเคลื่อน	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ใส่สายตาตรวจจับ	4	7	3	84	ออกแบบการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นใหม่	3	5	3	45
เครื่องจักร	เครื่องจักรเกิดการคลาดเคลื่อน	ขาดการบำรุงรักษา	ตรวจสอบทุกครั้งหลังปฏิบัติงาน	ใส่สายตาตรวจจับ	3	3	4	36		3	2	3	18
	ขาดการตรวจสอบ	พนักงานไม่ตรวจเช็คหลังปฏิบัติงาน	ตรวจสอบทุกครั้งหลังปฏิบัติงาน	ใส่สายตาตรวจจับ	3	4	4	48		3	3	4	36
วัสดุ	วัสดุไม่ได้มาตรฐาน	อุปกรณ์จับยึดไม่มีคุณภาพ	สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานรูปแบบใหม่	ใส่สายตาตรวจจับ	6	9	3	162	ออกแบบการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นใหม่	4	5	3	60

รูปที่ 12 PFMEA ของขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 13 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเสี่ยง (RPN)

3.2. ผลการจับเวลาการจับยึดชิ้นงานหลังการปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ พบว่าค่าเวลาการจับยึดชิ้นงานเฉลี่ยเท่ากับ 18 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.936 นาที ซึ่งเวลาการทำงานขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานใช้ระยะเวลาสั้นกว่า 20 นาที จากนั้นนำชุดข้อมูลเวลาก่อนและหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมาทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล พบว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นนำชุดข้อมูลไปเปรียบเทียบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยผลการเปรียบเทียบสมมติฐานทางสถิติ โดยนำข้อมูลระยะเวลาก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มาทดสอบค่าเฉลี่ยโดยทดสอบแบบ One-Sample t โดยตั้งสมมติฐาน และสมการ ได้ดังนี้

$$H_0 : \mu \geq 20 \quad (3)$$

$$H_1 : \mu < 20 \quad (4)$$

H_0 = การจับยึดชิ้นงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้ระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 20 นาที

H_1 = การจับยึดชิ้นงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 20 นาที

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยเวลาในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ทดสอบแบบ One-Sample t แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางสถิติแบบ One-Sample t

N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound for μ	T-Value	P-Value
9	18	1.936	0.645	19.200	-3.10	0.007

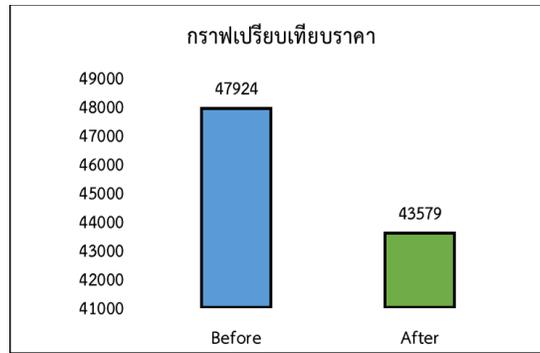
จากผลการทดสอบทางสถิติเห็นได้ว่าเวลาการจับยึดชิ้นงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีค่า P-value เท่ากับ 0.007 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) สรุปได้ว่า ขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

3.3. ผลการเปรียบเทียบต้นทุนจากการคำนวณต้นทุนการผลิตชิ้นงานก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ราคารายการอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

รายการที่	รายการอุปกรณ์	บาท
1	Machine 500 บาท/ชั่วโมง × 8	4,000
2	เหล็ก SS400 กว้าง 1,600 cm. ยาว 1,470 cm. สูง 325 cm.	1,550
3	ชิ้นส่วนเหล็ก SS400 ทำตัว Stopper	1,215
4	ค่าตัดเหล็ก	780
5	น็อตตัวผู้ น็อตตัวเมีย M24 cm.	480
6	สตัด M24 cm.	420
7	Washer	450
	รวม	8,895

โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 9 ตัว เห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีต้นทุนการผลิตชิ้นงานรวม 47,924 บาท และต้นทุนการผลิตหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีต้นทุนการผลิตชิ้นงานรวม 43,579 บาท พบว่าสามารถลดต้นทุนการผลิต โดยประมาณ 4,345 บาท คิดเป็นร้อยละ 9.07 คิดเป็นตัวละ 481 บาท ต้องจับยึดชิ้นงานมากกว่า 19 ชิ้น จึงจะคุ้มทุนที่ผลิตในส่วนนี้ไม่ได้คิดถึงกำไรเมื่อขายชิ้นงานแต่คิดในส่วนของต้นทุนที่ลดลง ทั้งหมดต้องผลิตตั้งรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

4. อภิปรายผล

การเปรียบเทียบเวลาก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน พบว่าการจับยึดชิ้นงานก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.22 นาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.893 นาทีจากนั้นดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เวลาการทำงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 18 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.936 นาที สามารถลดเวลาการทำงานลงได้ 36 นาที คิดเป็น 66.40 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยนัทสกร พันธรัักษ์ [10] สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเรือนปั้มน้ำแบบจุ่มในกระบวนการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC) เพื่อลดเวลาของการผลิตชิ้นงาน จากเดิมใช้เวลา 7.01 นาทีต่อชิ้น เหลือเวลาเพียง 2.45 นาทีต่อชิ้น แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็น พร้อมทั้งการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายขณะใช้งานจริง โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อปรับปรุงมาตรการและวิธีการแก้ไขโดยการเพิ่มการตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นการลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่องจากข้อบกพร่องทั้งหมด 7 สาเหตุ โดยสามารถลดความเสี่ยงที่มีคะแนน (RPN) เท่ากับ 624 เหลือ 305 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 51.12 สอดคล้องกับ งานวิจัยของพงค์ณัฐ สำเร็จเพื่องู [11] การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ FMEA ในการปรับปรุงการควบคุมการผลิตและการส่งมอบ จากผลการศึกษาค่าความเสี่ยง (RPN) ลดลงร้อยละ 59.09 แต่การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ FMEA นั้นไม่มีหลักการตายตัว อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและไม่แน่นอนขึ้นได้ นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ วุฒิพงษ์ นิลปะนันท์ [12] ทดสอบค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูลมีค่าเท่ากันหรือไม่ และเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยผลการทดสอบของงานวิจัยนี้มีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) สรุปได้ว่า การจับยึดชิ้นงานหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้เวลาน้อยกว่า 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

5. สรุปผล

จากการศึกษาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อลดเวลาขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) สามารถลดเวลาในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานได้ 36 นาที โดยก่อนปรับปรุงเวลาการทำงานเฉลี่ย 54.22 นาที หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 18 นาที คิดเป็นร้อยละ 66.66

2) การนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาใช้วิเคราะห์ข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงและแก้ไขปัญหาจากทั้งหมด 7 สาเหตุ สามารถลดระดับความเสี่ยงที่มีค่าคะแนน (RPN) 624 เหลือ 305 คะแนน ลดลงคิดเป็นร้อยละ 51.12

3) สามารถลดต้นทุนกระบวนการผลิตชิ้นงานได้ 4,345 บาท คิดเป็นร้อยละ 9.07 โดยก่อนการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 47,924 บาท และหลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 43,579 บาท

4) ต้นทุนลดลงชิ้นละ 481 บาท ต้องจับยึดชิ้นงานมากกว่า 19 ครั้ง ถึงจะคุ้มทุนเมื่อนำต้นทุนที่ลดลงมาคิด เนื่องจากทางบริษัทไม่ได้บอกราคาขายชิ้นงานเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจึงไม่สามารถนำมาคิดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และบริษัท เอ็มอาร์พี เอ็นจิเนียริง จำกัด จังหวัดชลบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Industry Team, Trends in Thai business and industry 2024-2026., <https://www.krungsri.com/th/research/industry/summary-outlook/industry-outlook-2024-2026> (accessed 9/9, 2022)
- [2] T. Sakunnum, and P. Banchuen, “The Factors Affecting Continuous Self-Improvement of The Employees Working at Factory in The Automotive Industry in Rayong Province,” *Journal of Roi Kaensarn Academi*, vol. 9, no. 10, pp. 982–994, 2024.
- [3] M. Rohlaeba, “Using Information Technology to Develop Organizations Building Excellence in The Digital Age,” *Inthanin administration Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 97-112, 2024.
- [4] P. Yoopraphat, and T. Tantakool, “Development of Technology Innovation to Promote Competitiveness of Industry Entrepreneurs Automation Parts Manufacturing in Thailand,” *Journal of Suvarnabhumi Institute of Technology*. vol. 6, no. 1, pp. 480–494, 2007.
- [5] J. Bartenschlager et al., “Jif and Fixture” in *Metal engineering textbook, Vollmer gmbh & co. kg, Ed. haan-gruiten: Germany*, pp.212-218, 2016.
- [6] A. Meesaeng, “Jig and Fixture Design for Waste Reduction in Air Hose Cutting Process: A Case Study of an Automotive Part Factory,” *M. dissertation, Dept. Industial Eng., Rajamangala University of Technology Thanyaburi*, 2011.
- [7] 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, 2021.
- [8] S. Panyam, T. Boonpan, and K. Kramsri, “Design and Construction of Die Set Clamping Equipment,” *B. dissertation, Dept. Mold and Die Tech., Burapha Univ.*, 2017.
- [9] M. Rithinyo, “Direct Time Study,” in *Industrial work study, Rajamangala University of Technology Isan, 5 th ed., Nakhon Ratchasima, Thailand*, pp. 222–263.

- [10] P. ChanSa, N. Panturak, and A. Patanaphak, “Improving the Jig For The Submersible Water Pump Housing in The Machining Process Using An Automatic Lathe (CNC),” *The Organizing Committee of the 15th National and 5th International Conference SPUCON2020 (SPUCON2020), SPU Sripatum University, Thailand*, pp. 1663–1673, 2020,. (in Thai)
- [11] P. Sumrejfeungfoo, “Application of FMEA for Risk Evaluation and Production Improvement of Supplier,” *M. dissertation, Dept. Industial Eng., Phitsanulok Technical College.*, 2010.
- [12] W. Wutthipong, “Vacum Pumping Process Capability Analysis of Telescopic Glass by Statistical Process Control Case Study of The Synchrotron Light Research Institute,” *B. Thesis, Dept. Product. Eng., Rajamangala Univ. of Tec. Isan*, 2021.

การปรับปรุงและการป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์

กรณีศึกษา: บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

The Improving and Defect Prevention in Production Process of Car Window Trim Seal Parts Case study: Company for Plastic Components

ประภาพร พลแสง¹ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย¹ ปรมศวรรย์ เข้าวรรณ¹ ปัญญา วินทะไชย¹ และ พรวิทย์ เจียนดอน^{1*}
¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง
จังหวัดขอนแก่น 40000

Praphaporn Phonsaeng¹ Apisak Harnpicharnchai¹ Paramet Baowan¹ Panya Wintachai¹ and Porawit Jiandon^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, 40000

*Corresponding author Email: porawit.ji@rmuti.ac.th

(Received: December 10, 2024; Revise: December 24, 2024; Accepted: December 28, 2024)

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเชี่ยวชาญด้านการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบขนาดเล็กและขนาดกลาง รวมไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประกอบ จากการศึกษาปัญหาพบว่าผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์มีจำนวนของเสียเกิดขึ้นมากที่สุด โดยมีลักษณะข้อบกพร่องที่พบมากที่สุด คือ รอยบนผิวชิ้นงานที่เรียกว่า “รอยทางฉีด” พบจำนวน 2,089 ชิ้น ส่งผลทำให้สัดส่วนของเสียเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงขอบเขตที่ตั้งไว้ จากการศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาดังกล่าวด้วยเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) ร่วมกับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยการถามซ้ำ (Why-Why Analysis) พบว่าสาเหตุเกิดจากระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์เกิดการอุดตัน จึงได้ดำเนินการแก้ไขโดยจัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์ ซึ่งกำหนดให้ทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนการผลิตและต้องล้างทำความสะอาดระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์ (Air Vent) พร้อมด้วยตรวจเช็คระยะห่างของร่องระบายอากาศแม่พิมพ์ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการดำเนินงานพบว่าสามารถลดของเสียได้ 1,171 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 56.06

คำสำคัญ: เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาด้วยการถามซ้ำ คู่มือปฏิบัติงาน การป้องกันของเสีย การบำรุงรักษา

Abstract

The case study company is a manufacturer of plastic parts in the automotive and electrical industries. From the study, it was found that the product with the IG43-0 number, which is the car window trim seal, had the highest number of defects. The most common type of defect found was the "injection marks" on the surface of the workpiece, with a total of 2,089 pieces. This caused the proportion of defects to increase to

almost reach the threshold values. From studying the production process and analyzing the cause of the problem using the 7 Quality Control Tools and the Why-Why Analysis, it was found that the cause of the problem was a blockage in the air vent system of the injection mold. Therefore, corrective actions were taken by making a work instruction manual for preparing the injection mold, which specifies that it must be cleaned before using in production and the air vent system must be washed and checked the distance between the air vent grooves to ensure compliance with the specified standard. The results showed a reduction in defects by 1,171 pieces or 56.06% of the defects were reduced.

Keywords: 7 QC Tools, Why-Why Analysis, Work Instruction, Defect Prevention, Maintenance

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้า ปัจจุบันประสบปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น อีกทั้งของเสียที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต ซึ่งมีหน่วยในการวัด คือ หนึ่งส่วนในล้านส่วน (Piece Per Million: PPM) โดยเป็นสัดส่วนระหว่างของเสียที่เกิดขึ้นเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตหนึ่งล้านชิ้น โดยค่าสัดส่วนของเสียมีความสำคัญต่อการเติบโตของธุรกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการควบคุมของเสียในกระบวนการผลิตของบริษัท หากค่าสัดส่วนของเสียเกินขอบเขตที่ตั้งไว้ (ไม่เกิน 115 PPM) จะส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าและมีโอกาสที่ของเสียจะหลุดรอดไปยังลูกค้า ซึ่งจะต้องมีการเคลมสินค้าหรือมีการชดเชยค่าเสียหายที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตระหว่างเดือนมกราคม-ตุลาคม 2565 พบว่าค่าสัดส่วนของเสียมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในเดือนตุลาคมมีค่าสัดส่วนของเสียสูงถึง 94 PPM โดยพบว่าผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระถนยนต์ดังกล่าวเกิดของเสียในกระบวนการผลิตมากที่สุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสาเหตุและแนวทางในการป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนซีลขอบกระถนยนต์



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระถนยนต์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แม่พิมพ์พลาสติก

แม่พิมพ์พลาสติก หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยจะมีการออกแบบและสร้างให้สอดคล้องกับรูปร่างและลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดพลาสติก และความเสถียรในการผลิต โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภท

แม่พิมพ์พลาสติก ได้แก่ แม่พิมพ์ฉีด แม่พิมพ์อัดและอัดฉีด แม่พิมพ์เป่า แม่พิมพ์งานรีด และแม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง [1] กระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ พลาสติกจะถูกหลอมเหลวและถูกฉีดด้วยแรงดันสูงเพื่อเข้าไปเต็มเต็มโพรงแบบภายในแม่พิมพ์ การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้ชิ้นงานได้คุณภาพและไม่เกิดรอยตำหนิ ประกอบด้วย การไหลของพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ และการไหลออกของอากาศภายในโพรงแบบของแม่พิมพ์ โดยทั่วไปการออกแบบระบบระบายอากาศภายในแม่พิมพ์พลาสติกจะกำหนดระยะห่างของแม่พิมพ์ตามชนิดของพลาสติก รวมทั้งพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพลาสติกที่ฉีด ความดันในการฉีด อุณหภูมิบริเวณรูระบายอากาศ และความดันที่เข้าแม่พิมพ์ (Cavity) [2]

โดยทั่วไปแม่พิมพ์จะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวฉีดและส่วนต้นปลด บริเวณระหว่างสองส่วนนี้เรียกว่า เส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting Line) ซึ่งสามารถใช้ระบายอากาศภายในโพรงแม่พิมพ์ออกไปยังภายนอกได้ โดยเส้นแบ่งแม่พิมพ์สามารถสังเกตได้จากเส้นรอยต่อรอบ ๆ ชิ้นงาน [3] ในการบำรุงรักษาแม่พิมพ์จะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ประกอบด้วย วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ชนิดของพลาสติก ความซับซ้อนของแม่พิมพ์ และลักษณะการใช้งานแม่พิมพ์ [4]

2.2 ชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์

ชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์ที่นำมาศึกษานั้น เป็นชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ปิดส่วนปลายของซีลขอบกระจกรถยนต์หรือคิ้วยางรีดน้ำขอบกระจกรถยนต์ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปภายใน



รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในการดำเนินงาน ด้วยการรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในการดำเนินงาน ประกอบด้วย ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) กราฟ (Graph) แผ่นตรวจสอบ (Check sheet) แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) ผังพาเรโต (Pareto Diagram) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) [5]

2.4 คู่มือมาตรฐานการทำงาน

คู่มือมาตรฐานการทำงาน หรือคู่มือปฏิบัติงาน หรือเอกสารที่แสดงขั้นตอนการทำงาน (Work Instructions: WI) เป็นเอกสารที่ระบุรายละเอียดการทำงานแบบเป็นขั้นเป็นตอน รวมทั้งมีการระบุรายละเอียดต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ สถานที่ เวลา และผู้รับผิดชอบ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้อง มีความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [6]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น การลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง [7] พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ ถุงมือยางฉีกขาด ขอบม้วนไม่สมบูรณ์ และบวมเสียรูป ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ คือ อุปกรณ์เสื่อมสภาพ ได้แก่ ตัวปรับความแรงลมของเครื่องถอดถุงมือ คอยล์ร้อนของตู้อบ และคอยล์ร้อนของตู้อบวัลคาไนซ์ ลูกกลิ้งม้วนขอบขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา และไม่มีกำหนดระยะเวลาการบ่มน้ำยาง โดยได้ปรับปรุงโดยเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบและเอกสารในการตรวจสอบเครื่องถอดถุงมือ เครื่องม้วนขอบ และตู้อบ จัดทำมาตรฐานการบ่มน้ำยาง ผลการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียจากกระบวนการผลิตถุงมือมีค่าลดลงจากร้อยละ 1.698 เหลือร้อยละ 1.463

จากการศึกษาการลดของเสียประเภทจุดดำในกระบวนการผลิตไม้แขวนพลาสติก [8] พบว่า ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านคน เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม และวัตถุดิบ หลังการปรับปรุงสามารถลดของเสียประเภทจุดดำได้ จากเดิม 6,675 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.52 ลดลงเหลือ 2,266 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.85 สามารถลดการสูญเสียมูลค่าทางการตลาดเท่ากับ 4.75 บาทต่อชิ้น หรือคิดเป็น 83,771 บาท/ปี

การเสนอแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้หลักการ ECRS ในการแก้ไขปัญหา พัฒนาคู่มือการใช้งาน และเสนอการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยตนเอง ในการศึกษาการลดของเสียของสายการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร [9] โดยพบข้อบกพร่องต่าง ๆ ได้แก่ การลบคมของรูที่สึกและตื้นเกินไป โดยมีสัดส่วนของเสียคิดเป็นร้อยละ 3.75 และ 2.1 ตามลำดับ ความยาวของชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน โดยพบของเสียที่มีความยาวมากเกินไปคิดเป็นร้อยละ 3.14 และสั้นเกินไปคิดเป็นร้อยละ 1.74 ได้นำเสนอแนวทางปรับปรุง ได้แก่ การหาปริมาณการตัดชิ้นงานเพื่อให้เครื่องจักรหยุดทำงานอย่างเหมาะสม กำหนดอัตราป้อนที่สัมพันธ์กับความเร็วในการหมุน หลังปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียมีค่าลดลง

ประยุกต์ใช้ใบตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต และแผนภาพสาเหตุและผล เพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา ข้อมูลจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง จากการศึกษาค่าจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษา [10] พบปัญหาชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเกินไป และชิ้นงานไม่ร่วมศูนย์ มีจำนวนของเสียคิดเป็นร้อยละ 45.10 และ 45.10 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการด้านการควบคุมคุณภาพการผลิตและการจัดลำดับความสำคัญแบบ 2 ปัจจัย พบว่ามีทั้งหมด 7 สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย ส่วนมากเกิดจากวิธีการทำงาน จึงจัดทำคู่มือมาตรฐานในการปรับค่าชดเชยในการตัดเฉือน (Offset Tool) และสร้างจิ๊กในการตรวจสอบค่าร่วมศูนย์ของงาน หลังการปรับปรุงพบว่า จำนวนของเสียของชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเกินไปมีจำนวนลดลงจากเดิมร้อยละ 34.78 และชิ้นงานไม่ร่วมศูนย์มีจำนวนของเสียลดลงจากเดิมร้อยละ 52.17

การประยุกต์ใช้พาเรโตไดอะแกรม แผนภูมิเหตุและผลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ และแก้ไขโดยกำหนดให้มีการบำรุงรักษาแม่พิมพ์และเครื่องฉีด วิเคราะห์วิธีการทำงานและการสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานใหม่ตามหลักการ QCC จากการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดขึ้นรูปฉีดพลาสติก [11] เพื่อลดของเสียประเภทชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shot) ผลการวิจัยพบว่าก่อนปรับปรุงมีของเสียร้อยละ 4.77 หลังจากการปรับปรุงของเสียลดลงเป็นร้อยละ 1.85 อัตราของเสียลดลงร้อยละ 61.22 และสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการลดของเสียคิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 402,565.80 บาท

ในส่วนของการวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหามาตรฐานการผลิตโดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ลักษณะบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) [12] โดยพบปัญหาในการฉีดพลาสติก ได้แก่ มีครีบ ฉีดขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ จุดดำ และสีไม่ได้ตามมาตรฐาน จากการวิเคราะห์พบสาเหตุของปัญหา ได้แก่ แรงดันของปั๊มลม เครื่องจักรขัดข้อง อายุของเครื่องจักร แรงดันในการฉีดไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการอบเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม ขาดความชำนาญในการปฏิบัติงานและการใช้งานเครื่องจักร ขาดความรับผิดชอบ เม็ดพลาสติกมีความชื้นสะสม เม็ดพลาสติกมีการปนเปื้อน

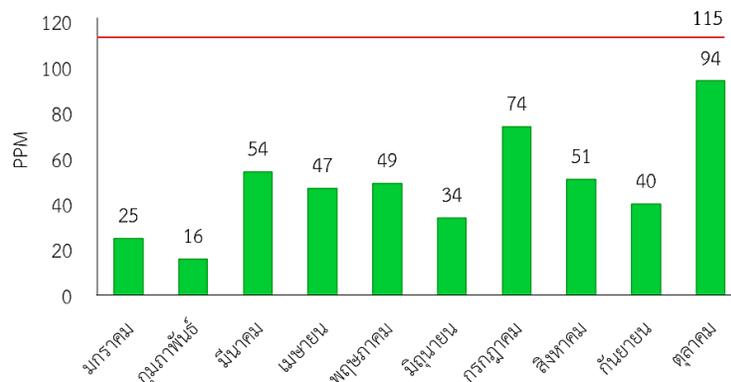
และสีเม็ดพลาสติกไม่ได้มาตรฐาน จากการพิจารณาได้เลือกสาเหตุของข้อบกพร่องจำนวน 3 เรื่องมาแก้ไข ประกอบด้วย หลอดพลาสติกสีไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ระยะในการฉีดพลาสติกไม่เสถียรในการฉีด และแรงดันของลมไม่สม่ำเสมอ จึงได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา ได้แก่ การใช้อัตราส่วนอุณหภูมิ 140–185 องศา และควบคุมการใช้แรงดัน 33–36 บาร์ในการฉีดหลอดพลาสติกและการจ่ายแรงดันลม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในการผลิตชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด และการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาด้วยการถามซ้ำ เพื่อเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ปัญหาตามลำดับ สามารถทำให้ระบบปัญหาหลักที่มีผลกระทบในการผลิตของเสียและสามารถช่วยในการทำให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่สามารถลดการผลิตของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงาน

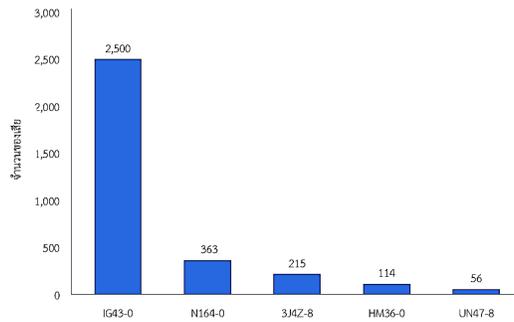
3.1 สภาพการดำเนินงานปัจจุบันของสถานประกอบการ

กระบวนการผลิตชิ้นงานเริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมแม่พิมพ์ การตั้งค่าเครื่องจักรและทดสอบฉีดชิ้นงาน การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนการผลิต การฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน การตรวจสอบคุณภาพ การตกแต่งผิว และการบรรจุ จากรูปที่ 3 แสดงค่าสัดส่วนของเสียระหว่างเดือนมกราคม–ตุลาคม 2565 โดยบริษัทกรณีศึกษากำหนดให้มีค่าสัดส่วนของเสียไม่เกิน 115 PPM แม้ว่าค่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจะไม่เกินขอบเขตที่กำหนดไว้ แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าของเสียในกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงให้ค่าดังกล่าวลดลง



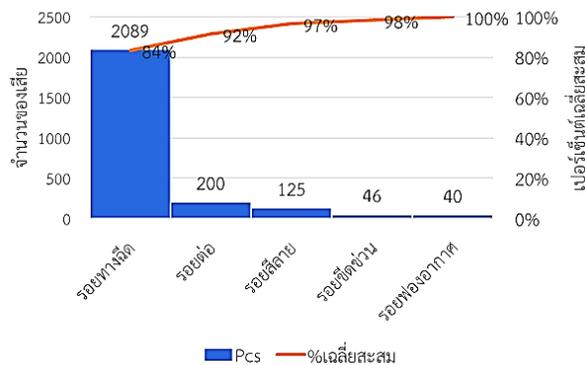
รูปที่ 3 ค่าสัดส่วนของเสียระหว่าง ม.ค.–ต.ค. 65

จากข้อมูลในเดือนตุลาคมซึ่งมีค่าสัดส่วนของเสียสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 94 PPM เมื่อนำข้อมูลของเสีย 5 อันดับแรกมาพิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์เกิดของเสียในกระบวนการผลิตมากที่สุดจำนวน 2,500 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 65.79 ของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเดือนตุลาคม ชิ้นส่วนดังกล่าวจึงถูกนำมาแก้ไขเป็นลำดับแรก



รูปที่ 4 ข้อมูลของเสีย 5 อันดับแรกในเดือน ต.ค. 65

จากการศึกษาลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์พบว่ามทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ ชิ้นงานเป็นรอยทางฉืด รอยต่อ รอยสีลาย รอยขีดข่วน และรอยฟองอากาศ เมื่อนำมาสร้างแผนภูมิพาเรโตดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดที่ต้องแก้ไข โดยเกิดขึ้นจำนวน 2,089 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 84 ของลักษณะข้อบกพร่องที่พบทั้งหมด โดยรูปที่ 6 แสดงลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืด



รูปที่ 5 แผนภูมิพาเรโตของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์

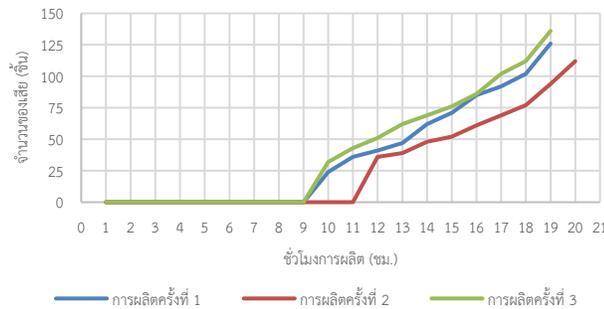


รูปที่ 6 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืด

เมื่อนำข้อมูลการเกิดของเสียมาพิจารณาเพิ่มเติม พบว่าจากการผลิตทั้งหมดสามครั้งในเดือนตุลาคมจะเกิดของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืดในทุกครั้งที่ผลิตคิดเป็นร้อยละ 5.53 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ดังตารางที่ 1 โดยเริ่มเกิดของเสียประเภทนี้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 9 ของการผลิตเป็นต้นไป ดังรูปที่ 7

ตารางที่ 1 ปริมาณของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืดในเดือน ตุลาคม 2565

ครั้งที่ผลิต	จำนวนผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย-รอยทางฉืด (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
1	12,500	686	5.49
2	12,300	588	4.78
3	13,000	815	6.27
รวม	37,800	2,089	5.53

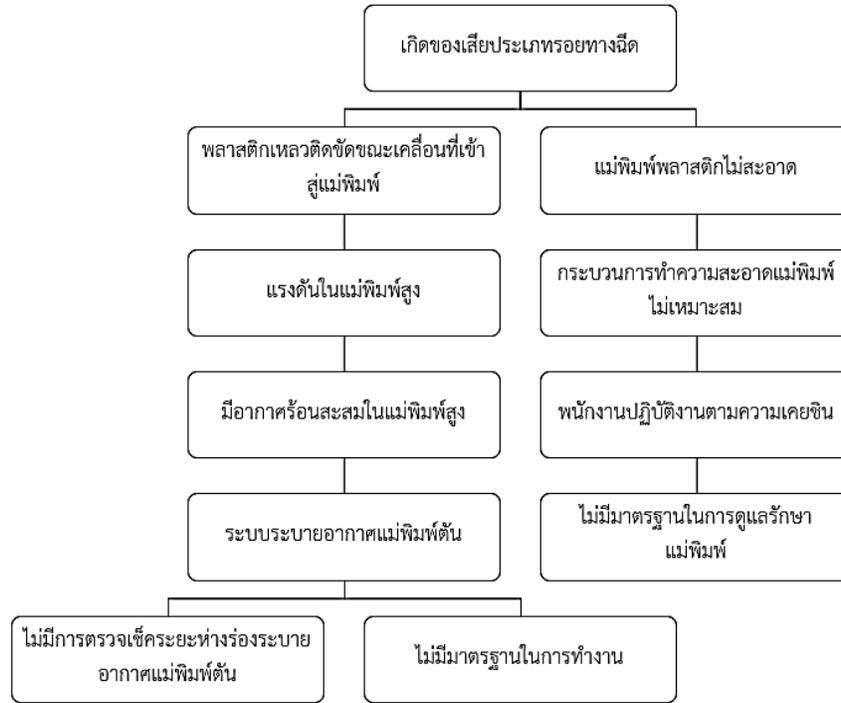


รูปที่ 7 ปริมาณของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืดเทียบกับช่วงเวลาของการผลิตในเดือน ต.ค. 65

3.2 วิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไข

การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาด้วยการถามซ้ำถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหา โดยมุ่งเป้าไปที่วิธีการ เครื่องจักร และอุปกรณ์ ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าสาเหตุเกิดจากการอุดตันภายในระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์ จึงประยุกต์ใช้หลักการในการบำรุงรักษาเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขในขั้นตอนการเตรียมแม่พิมพ์ ดังนี้

- 1) เน้นย้ำการล้างทำความสะอาดในส่วนของระบบระบายอากาศแม่พิมพ์
- 2) ตรวจสอบเช็คระยะห่างของร่องระบายอากาศแม่พิมพ์ให้ได้ตามมาตรฐานซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 0.01-0.02 mm จากนั้น จัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์ โดยมีตัวอย่างของคู่มือปฏิบัติงานแสดงไว้ในรูปที่ 9



รูปที่ 8 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาด้วยการถามซ้ำ

4. ผลการดำเนินงาน

หลังการดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 9 ที่ได้ออกแบบขั้นตอนการตรวจสอบและการล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ เมื่อปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าวช่วยให้แม่พิมพ์สะอาดขึ้น เศษพลาสติกตกค้างและอุดตันของแม่พิมพ์ลดลง ซึ่งส่งผลต่อแรงดันที่ลดลงจากการไหลตที่ตีของของพลาสติกเหลว และการระบายความร้อนที่ดีขึ้น เมื่อนำข้อมูลหลังจากการปฏิบัติตามแนวทางคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์จำนวนของการผลิตสามครั้งในเดือนมกราคม 2566 มาพิจารณา พบว่ายังเกิดของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทนี้ แต่มีปริมาณลดลงเหลือ 918 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.31 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ดังตารางที่ 2 โดยเริ่มเกิดของเสียประเภทนี้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 14 ของการผลิตเป็นต้นไป ดังรูปที่ 10

ตารางที่ 2 ปริมาณของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉืดในเดือน มกราคม 2566

ครั้งที่ผลิต	จำนวนผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย-รอยทางฉืด (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
1	12,500	299	2.39
2	13,200	289	2.19
3	14,100	330	2.34
รวม	39,800	918	2.31

UNC		การเตรียมแม่พิมพ์			REV : 00
		ผู้จัดทำ (Issued)	ผู้ตรวจสอบ (Checked)	ผู้อนุมัติ (Approved)	DATE : 30/01/2023
		นางสาวประภาพร พลแสง			PAGE : 1/4
ขั้นตอนที่	วิธีการตรวจสอบและการล้างทำความสะอาด	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	กลุ่ม A แม่พิมพ์ (Mold) ป้ายแดง		
			แม่พิมพ์ (Mold) ที่มีตัวเลื่อนด้านข้าง (Slider)		แม่พิมพ์ (Mold) ที่ไม่มีตัวเลื่อนด้านข้าง (Slider)
			<ol style="list-style-type: none"> ผลิตกันซ์กลุ่ม A แม่พิมพ์ที่มีผิวเกรน (Grain) แม่พิมพ์ที่มีผิวระจก แม่พิมพ์ที่ผลิตด้วย ปอม (Material pom) แม่พิมพ์ที่มีผิวเกรน (Grain) ผลิตด้วย Material GF, TD 15 % ขึ้นไป 	<ol style="list-style-type: none"> ผลิตกันซ์กลุ่ม A แม่พิมพ์ที่มีผิวเกรน (Grain) แม่พิมพ์ที่มีผิวระจก แม่พิมพ์ที่ผลิตด้วย ปอม (Material pom) แม่พิมพ์ที่มีผิวเกรน (Grain) ผลิตด้วย Material GF, TD 15 % ขึ้นไป 	
1	ยกแม่พิมพ์ (Mold) มาวางบนโต๊ะ	1. เกรน			
2	ถอดแม่พิมพ์ โดยถอดแยกชิ้นส่วนด้านคอร์ (Core) และด้านเบ้า (Cavity) ของแม่พิมพ์ ออกจากกัน	1. ประแจหกเหลี่ยม 2. เกรน			
3	ถอดชิ้นตัวเลื่อน (Slider), ซัพพอร์ตสไลด์ (Support Side), แคลมป์ ยึด (Mold Clamp), โฮลเดอร์ (Holders) และแยกชิ้นส่วนออก เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการประกอบกลับ	1. ประแจหกเหลี่ยม	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ด้านคอร์ (Core) และด้านเบ้า (Cavity)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">แยกชิ้นส่วน ออกจากกัน</div> </div>		
4	ตรวจเช็คคราบน้ำมัน, คราบแก๊ส, จารบี, และสิ่งสกปรกอื่นๆ	1. สายตา			
5	การล้างทำความสะอาดด้านเบ้า (Insert Cavity)	1. กาทันสี 2. เศษผ้า 3. น้ำยาล้างคราบ C200	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ใช้ C200 พ่นล้าง ก่อน ตามผิวหน้า และตามซอกลึก</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ผ้าชุบ C200 เช็ดทำความสะอาด</div>	
6	การล้างทำความสะอาดด้านคอร์ (Insert Core)	1. กาทันสี 2. เศษผ้า 3. น้ำยาล้างคราบ C200	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ใช้ C200 พ่นล้าง ก่อน ตามผิวหน้า และตามซอกลึก</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ผ้าชุบ C200 เช็ดทำความสะอาด</div>	
7	ใช้เครื่องทรายไอซ์ (Dry Ice) เป่าเพื่อขจัดคราบสกปรกที่ฝังลึกภายในแม่พิมพ์	1. เครื่องทรายไอซ์ (Dry Ice)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ใช้เครื่องทรายไอซ์ (Dry Ice) เป่าเพื่อขจัดคราบสกปรกที่ฝังลึก</div>		
8	การล้างทำความสะอาดระบบระบายอากาศแม่พิมพ์ (Air Vent)	1. เครื่องทรายไอซ์ (Dry Ice) 2. น้ำยาล้างคราบ C200	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ใช้น้ำยา C200 เช็ดทำความสะอาด และใช้เครื่องทรายไอซ์ (Dry Ice) เป่าขจัดคราบแก๊ส</div>		

รูปที่ 9 ตัวอย่างคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์



รูปที่ 10 ปริมาณของเสียที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉีกเทียบกับช่วงเวลาของการผลิตในเดือน ม.ค. 66

5. สรุป

จากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์ที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉีก ก่อนการปรับปรุงพบปริมาณของเสียจำนวน 2,089 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 5.53 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และจะเริ่มพบของเสียประเภทนี้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 9 ของการผลิตเป็นต้นไป เมื่อดำเนินการแก้ไขโดยจัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับการเตรียมแม่พิมพ์ ซึ่งให้ความสำคัญกับการทำความสะอาดของระบบระบายอากาศแม่พิมพ์และตรวจเช็คระยะห่างของร่องระบายอากาศให้ได้ตามมาตรฐาน พบว่าหลังการปรับปรุงยังพบของเสียอยู่ แต่มีจำนวนลดลงเหลือ 918 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.31 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด หรือสามารถลดของเสียลงได้ 1,171 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 56.06 นอกจากนี้ช่วงเวลาที่เริ่มเกิดของเสียประเภทนี้ถูกยึดออกไปเป็นชั่วโมงที่ 14 ของการผลิต

จากการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตในผลิตภัณฑ์หมายเลข IG43-0 หรือชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์ที่มีลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยทางฉีก พบว่ายังคงมีของเสียเกิดขึ้น แต่มีปริมาณลดลงและสามารถช่วยยืดช่วงเวลาที่ไม่มีเกิดของเสียได้นานขึ้น แสดงว่าแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการประยุกต์ใช้หลักการในการบำรุงรักษา พร้อมด้วย การจัดทำคู่มือปฏิบัติงาน สามารถช่วยป้องกันการเกิดของเสียได้ในระดับหนึ่งและทำให้ค่าสัดส่วนของเสียลดลง โดยการดำเนินการแก้ไขปัญหานี้ไม่ได้มีการลงทุนเพิ่มเติมแต่อย่างใด เป็นเพียงการปรับปรุงการปฏิบัติงานได้ให้มาตรฐาน

สำหรับของเสียที่ยังคงมีอยู่ควรมีการปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนขนาดของการผลิต-ชั่วโมงการผลิตให้เหมาะสม หรือปรับเปลี่ยนวัสดุใหม่ หรือออกแบบแม่พิมพ์ใหม่เพื่อปรับปรุงระบบระบายอากาศ หรือหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบคุณ และบริษัท ยูเนี่ยน นิฟโก้ จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Demark Industry Co., Ltd., Types of plastic molds., <https://www.demarkthailand.com/ประเภทของแม่พิมพ์พลาสติก/>, (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [2] Exper Technia (Thailand) Co., Ltd., Making ventilation holes in plastic molds., <https://www.แม่พิมพ์-พลาสติก.com/รูระบายอากาศในแม่พิมพ์พลาสติก/>, (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [3] Plexpert (Thailand) Co., Ltd., Parting line., <https://www.plexpert.ca/th/glossary/เส้นแบ่งแม่พิมพ์-parting-line/>, (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [4] Thai Mold Industry Association., Maintenance of plastic injection molds., <https://www.tdia.or.th/wp-content/uploads/2019/10/03-การบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.pdf>, (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [5] Thailand Productivity Institute (FTPI), 7 Quality Control Tools, <https://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/7-qc/>, (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [6] Studdist (Thailand) Co., Ltd., What is WI? How to get employees to use it., <https://teachmebiz.com/blog/wi-workinstructions/> (accessed 1/4, 2023) (in Thai)
- [7] A. Nuphrim, “Reduction of waste in the production process: A case study in a sample rubber glove factory,” *Master of Engineering Thesis, Industrial Management Program, Prince of Songkla University*, 2020. (in Thai)
- [8] T. Meechanan, “Reduction of black spot waste in the production process of plastic hangers. Case study: Plastic World Company Limited,” *Environmental Management Program, Faculty of Environmental Development Management, National Institute of Development Administration*, 2020. (in Thai)
- [9] T. Saensingchai, and P. Mata, “Reduction of waste in the production line of machine spare parts,” *Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University*, 2019. (in Thai)
- [10] A. Amornrak, “Reduction of waste in the production process of machine parts: A case study of Supreme Precision Manufacturing Co., Ltd.,” *Thai Industrial Engineering Network Journal*, vol. 5, no. 1, 36–48, 2019. (in Thai)
- [11] C. Chueruen, R. Saengdao, A. Panyadi, W. Thawiwongsuriya, and P. Surin, “Waste reduction in plastic injection molding process in plastic injection molding process,” *2nd Academic Conference on Innovation in Engineering and Technology for Economy and Society*, 120–125, Bangkok, 2018. (in Thai)
- [12] M. Boonmak, P. Emchan, and N. Yaemyong, “Analysis of problem solving in plastic tube injection process using the theory of defect characteristics analysis and quality impact FMEA” *Department of Industrial Technology-Industrial Management, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University*, 2017. (in Thai)

การออกแบบเครื่องพ่นทรายเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสีย รถจักรยานยนต์

Design of Sandblasting Machine to Reduce Waste in the Production of Motorcycle Exhaust Muffler

วารารณ กลินบุญ^{1*} รัฐธรรมณู ยอดแสง² นที สุไชยสงค์² และ จิระพล กลินบุญ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่ง
มหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ เลขที่ 85/1 หมู่ 2
ถนนแจ้งวัฒนะ ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จังหวัด นนทบุรี 11120

Waraporn Klinbun^{1*} Rattatummanoon Yadseang² Nathi Suchaisong² and Jirapol Klinbun¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Krungthep No. 2 Nang Linchi Road, Thung Mahamek, Sathorn, Bangkok 10120

²Department of Automotive Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat
Institute of Management No. 85/1 Moo 2, Chaengwattana Rd., Bang Talat, Pakkred, Nonthaburi, 11120

*Corresponding author Email: waraporn.k@mail.rmutk.ac.th

(Received: October 16, 2024; Revise: December 9, 2024; Accepted: December 12, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องพ่นทรายสำหรับหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์ เนื่องจากการศึกษาขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ ในโรงงานกรณีศึกษา พบการสูญเสียจาก 1) พนักงานใช้เวลาคลุมหม้อพักด้วยถุงพลาสติกจำนวนร้อยละ 13 ของเวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสีย 2) ค่าใช้จ่ายของถุงพลาสติกในการคลุมหม้อพักจำนวน 3.29 บาท/ชิ้น และ 3) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น คณะผู้วิจัยจึงวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Why-Why Analysis และเลือกใช้หลักการ ECRS ปรับปรุงการทำงาน โดยทำการออกแบบเครื่องพ่นทรายด้วยโปรแกรม SolidWorks 2021 พร้อมแจกแจงรายการส่วนประกอบของตัวเครื่อง ผลจากการศึกษาวิจัยทำให้ได้แบบของต้นแบบเครื่องพ่นทรายสำหรับหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์ ที่มีส่วนสำคัญคือระบบการกันทรายและระบบการหมุนแบบเชิงกล โดยเครื่องพ่นทรายนี้สามารถลดจำนวนเวลาลงที่ 70 วินาทีลดจำนวนพนักงาน 2 คน และลดต้นทุน ลงจำนวน 7,890 บาท/เดือน

คำสำคัญ: การออกแบบ เครื่องพ่นทราย ความสูญเสีย หม้อพักไอเสีย หลักการ ECRS

Abstract

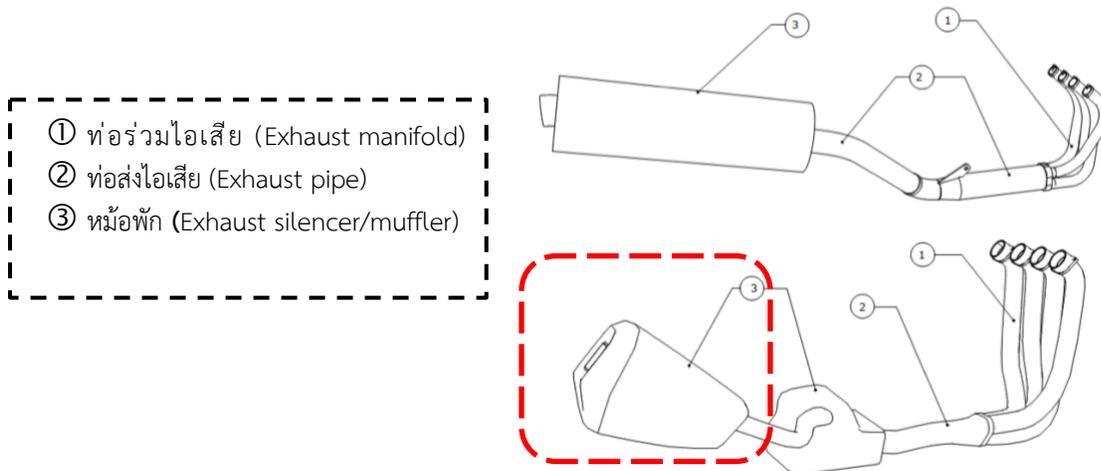
The objective of this research was to design a sandblasting machine for motorcycle exhaust mufflers because of studying the working process in the motorcycle exhaust production process in the factory case study. The waste was found from 1) the employees spent time covering the exhaust muffler for 13 percent of

the total time. 2) The cost of the plastic bags used to cover the exhaust muffler was 3.29 baht per piece, and 3) the unnecessary motion was identified. The researcher analyzed the cause with a Why-Why analysis and improved the production process by using ECRS principle. The researcher then used the SolidWorks program 2021 to design the sandblasting machine and enumerated the components of the machine. From the result of the research, a prototype sandblasting machine for motorcycle exhaust mufflers was obtained that solved the problems. The sandblasting system and the mechanical rotation system were key components of the sandblasting design. This prototype can reduce the amount of time to 70 s, reduce the number of employees to 2 people, and reduce costs by 7,890 baht/month.

Keywords: Design, Sandblasting machine, The wastes, Motorcycle exhaust muffler, ECRS principle

1. บทนำ

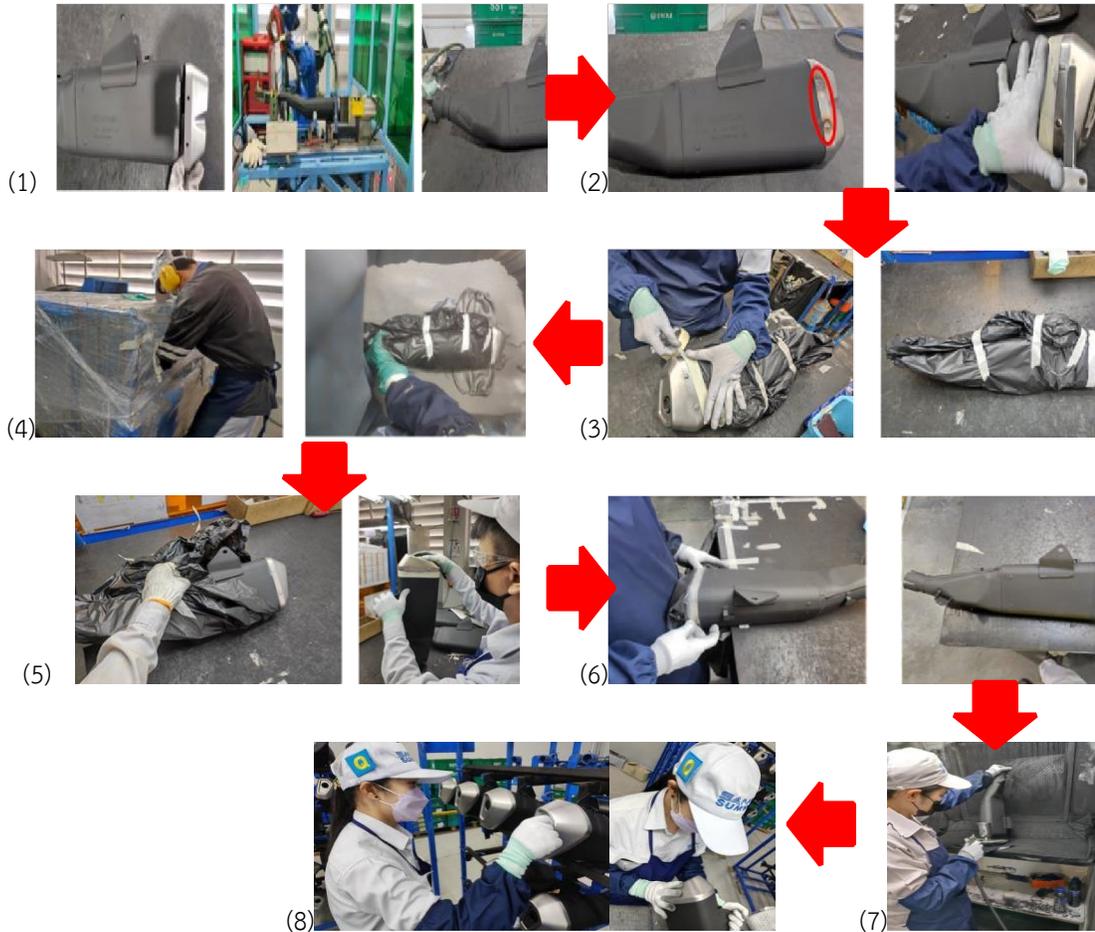
ท่อไอเสีย คืออุปกรณ์ที่ใช้ระบายไอเสีย ลดระดับ ความดันเสียง และควบคุมปริมาณสารมลพิษไอเสีย ซึ่งเกิดจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์สู่บรรยากาศ อย่างน้อยประกอบด้วย ท่อส่งไอเสีย และ/หรือ ท่อร่วมไอเสีย หม้อพัก [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบท่อไอเสีย

ท่อไอเสียถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องยนต์และต้องมีมาตรฐานในการผลิตเป็นไปตามพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งโรงงานกรณีศึกษานี้ก็เป็นรายใหญ่ที่ผลิตท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ใช้ภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ คณะผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตหม้อพักไอเสีย (บริเวณกรอบสีแดงในรูปที่ 1 จึงรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ พบว่ามีลำดับดังนี้ 1) การเชื่อมติด ตัวหม้อพัก (Muffler) กับฝาปลายท่อไอเสีย (Cap end) ด้วยหุ่นยนต์ 2) การขัดรอยเขม่าเชื่อม รอยขีดข่วนที่เกิดบนฝาปลายท่อไอเสียและปรับสภาพผิวของชิ้นงาน 3) การคลุมตัวหม้อพัก ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายจากการพ่นทราย เป็นการปรับสภาพผิวของฝาปลายท่อไอเสียจากการขัด 4) การพ่นทรายไปที่ฝาปลายท่อไอเสีย เพื่อปรับสภาพผิวให้มี ความสม่ำเสมอ 5) การตรวจสอบคุณภาพของฝาปลายท่อไอเสียที่ผ่านการพ่นทราย 6) การคลุมตัวฝาปลายท่อไอเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้

เลอะสีจากการพ่นสีเก็บรอยหม้อพัก 7) การพ่นสีเก็บรอยหม้อพัก เพื่อกลบรอยต่าง ลอยดอกต่าง ๆ และ 8) การตรวจสอบความเรียบร้อยตัวชิ้นงานท่อไอเสียและฝาปลายท่อ ก่อนนำส่งให้สายการผลิตอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตหม้อพักไอเสีย

จากการสำรวจและศึกษาทำให้คณะผู้วิจัยได้เห็นถึง ปัญหาการสูญเสียเปล่าด้านเวลาในการผลิตในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็นหรือไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน ได้แก่ ขั้นตอนการคลุมตัวชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่ต้องทำเพื่อป้องกันตัวชิ้นงานด้วยถุงพลาสติก ก่อนจะนำไปทำการพ่นทรายเพื่อกลบรอยที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมจุดยึด ระหว่างฝาครอบปลายท่อกับหม้อพัก ซึ่งใช้เวลามากกว่าเมื่อมีการหมุนเวียนพนักงานจากสายการผลิตอื่น และยังมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์คลุมชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของความสูญเสีย ด้วย Why-Why Analysis และได้นำหลักการ ECRS มาใช้ปรับปรุงแก้ไข โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้หลักการ E (Eliminate) กำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นในกระบวนการและใช้ S (Simplify) วิเคราะห์ปรับปรุง หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้ง่ายขึ้น คือการออกแบบเครื่องพ่นทรายสำหรับกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสีย โดยมีส่วนสำคัญคือการป้องกันหม้อพักไอเสียขณะทำการพ่นทราย สามารถตัดขั้นตอนการปฏิบัติงานที่สูญเสียเวลาเปล่าลดเวลาในกระบวนการผลิตและลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัสดุสิ้นเปลืองได้เป็นจำนวนมาก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำมาใช้ในการดำเนินงาน โดยสรุปออกมาเป็นหัวข้อต่างดังนี้

2.1 หลักการ Eliminate Combine Rearrange Simplify (ECRS)

ECRS คือ แนวคิดในการลดความสูญเปล่า (Waste) ในการกระบวนการผลิต (Processing) ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยไม่มีผลตอบแทนหรือสร้างประโยชน์ใด ๆ เพิ่มเติมให้กับองค์กรและในบางกรณีอาจทำให้การผลิตงานช้าลงจากที่ควรจะเป็นส่งผลให้มีต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยชื่อของทฤษฎี ECRS ย่อมาจาก Eliminate (การกำจัด) Combine (การรวม) Rearrange (การจัดเรียงใหม่) และ Simplify (การทำให้ง่ายขึ้น) [2] ที่ผ่านมามีงานวิจัยมากมาย [3-10] ที่ได้นำหลักการนี้มาใช้ในการแก้ไขปัญหาความสูญเปล่าและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น เช่น ชลธิชา เอ็มเสม และคณะ [3] ทำการศึกษาการลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงานธานีจังหวัดสมุทรสงคราม ด้วยหลักการ ECRS หลังการปรับปรุงกระบวนการเวลาผลิตเฉลี่ยเหลือ 98,803.15 วินาทีลดลง 18.65 วินาที มงคล กิตติญาณขจร และคณะ [8] นำเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die: SMED) และการกำจัด การรวมกัน การจัดเรียงใหม่และการทำให้ง่ายขึ้น (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify: ECRS) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดเวลาจากความสูญเปล่าในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์หัวเชื้อเครื่องดื่มชนิดผง สามารถทำให้เวลาสูญเปล่าในขั้นตอนการเปลี่ยนม้วนกระดาษ อลูมิเนียมพอยล์ลดลง 565 วินาทีต่อครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 67 จากเวลาเดิมก่อนการปรับปรุงโดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 16,143 ของต่อวัน เป็นต้น

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์

มาตรฐาน [1] นี้ครอบคลุมชิ้นส่วนท่อไอเสียได้แก่ ท่อส่งไอเสีย ท่อร่วมไอเสีย และหม้อพักโดยท่อส่งไอเสีย (Exhaust pipe) กรณีไม่มีท่อร่วมไอเสีย หมายถึงท่อลำเสียง ซึ่งต่อโดยตรงจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ท่อร่วมไอเสีย (Exhaust manifold) หมายถึงท่อที่รวบรวมไอเสียและต่อโดยตรงจากเครื่องยนต์ และหม้อพัก (Muffler or Silencer) หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถลดระดับความดันเสียงของไอเสียให้น้อยลง ซึ่งคุณลักษณะหลักที่ต้องการ ได้แก่ (1) ความเรียบร้อยของชิ้นส่วนท่อไอเสียต้องเรียบร้อย ไม่มีสนิม ไม่ โกงงอจนเสียรูป และไม่มีข้อบกพร่องอื่น ๆ (2) ระดับความ ดันเสียงต้องไม่เกิน 95 dB และ (3) การรั่วของชิ้นส่วนไอเสีย เมื่ออัดอากาศที่ความดัน 30 kPa ต้องมีการรั่วของอากาศไม่ เกิน 900 cm³/s

2.3 เครื่องพ่นทราย

เครื่องพ่นทราย [11-13] เป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ทำความสะอาดผิววัสดุโดยพ่นทรายด้วยอากาศความเร็วสูงกระทบผิววัสดุที่ต้องการทำความสะอาดโดยตรง ซึ่งการทำงานของเครื่องพ่นทรายใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องพ่นสี คือใช้อากาศความดันสูงพ่นผ่านห้องลมแบบหัวฉีด โดยท่อชุดสามารถดูดทรายได้อย่างต่อเนื่อง เช่น P. Jantippeng และคณะ [11] ศึกษาหาคุณภาพเครื่องพ่นทรายไร้ฝุ่นในการหาประสิทธิภาพเครื่องพ่นทรายไร้ฝุ่นโดยประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน สามารถสรุปได้ว่าการใช้เครื่องพ่นทราย สามารถลดระยะเวลาและมีความเที่ยงตรงแม่นยำหากทำการสับหรือทดลองซ้ำ ๆ เทียบกับการขัดด้วยแรงงานคนทำให้เกิดความเมื่อยล้าและการขัดสีที่ไม่สม่ำเสมอ รวมไปถึงระยะเวลาในการขัดจะใช้เวลามากกว่าเครื่องพ่นทราย นอกจากนี้ งานวิจัยต่าง ๆ [14 - 16] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการยึดเกาะของทรายต่อพื้นผิว เช่น V. Meana และคณะ [14] แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ทรงกลมที่มีความแม่นยำต้นทุนต่ำ (Low-cost precision stainless steel) เป็นสิ่งประดิษฐ์อ้างอิงในขั้นตอนการสอบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์มาตรฐานวิทยาแบบไม่สัมผัส T. Yabutsuka และคณะ [15] มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA) ขึ้นรูปกับเหล็กกล้าไร้สนิมชีวภาพ (SUS316L) ผลจากการศึกษา

ชี้ให้เห็นว่าสภาพการปนทรายเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงผลการประสานที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของความขรุขระของพื้นผิวและพื้นที่ผิว

3. ผลการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลการผลิต

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตปลายท่อไอเสีย พบว่ามีพนักงานจำนวน 10 คน ใช้เวลารวม 512 วินาทีและมีค่าใช้จ่ายวัสดุสิ้นเปลืองจำนวน 3.29 บาทต่อชิ้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการและราคาที่ใช้ในขั้นตอนการคลุมหม้อพัก

รายการ	ราคา/จำนวน	ราคาเฉลี่ยที่ใช้ต่อ งาน 1 ชิ้น
1. ลูกขยัค้าแบบ หนา 24*28 นิ้ว / 25 ใบ	39 บาท/แพ็ค	1.56 บาท
2. กระดาษกาวย่น ยูนิเทป 1"x 25 หลา	19 บาท/ม้วน	1.73 บาท
รวมทั้งหมด		3.29 บาท

3.2 วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าพร้อมแนวทางแก้ไข

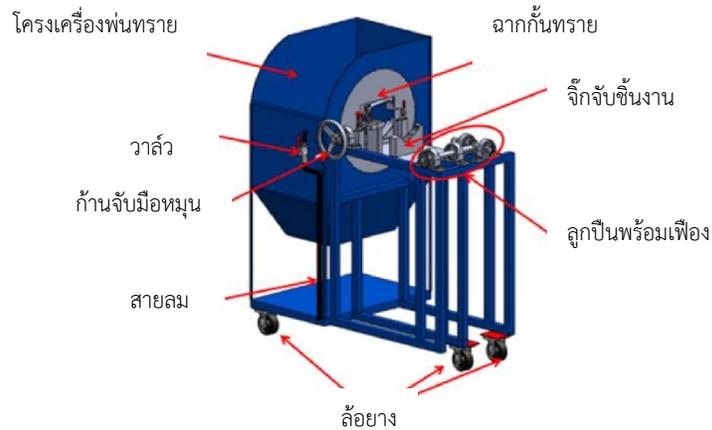
คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นจึงใช้เทคนิค Why-Why Analysis วิเคราะห์หาสาเหตุแท้จริงของปัญหาโดยการตั้งคำถามว่า "ทำไม" ซ้ำ ๆ กันอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อขุดลึกลงไปถึงรากเหง้าของปัญหาที่ซ่อนอยู่ จากการวิเคราะห์พบว่าการคลุมตัวชิ้นงานใช้ เวลานาน พนักงานมีการปฏิบัติงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน อีกทั้งยังมีการเคลื่อนไหวโดยไม่จำเป็นในระหว่างการขนส่งตัว ชิ้นงานภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน คณะผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการทฤษฎีการลดความสูญเสียเปล่าด้วย หลักการ ECRS โดยเลือกใช้ E = (Eliminate) : การตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นในกระบวนการออกไป และ เลือกใช้ S = (Simplify) : ปรับปรุงวิธีการทำงานหรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ ทำงานง่ายขึ้น โดยคณะผู้วิจัยได้เสนอแบบ Sandblasting machine เพื่อเป็นตัวช่วยในการปฏิบัติงานในขั้นตอนการ พ่นทราย สามารถปฏิบัติงานได้ง่ายมากขึ้น และยัง สามารถกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นอย่างการคลุมตัวชิ้นงานก่อนเข้าขั้นตอนการพ่นทรายออกไปได้

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ

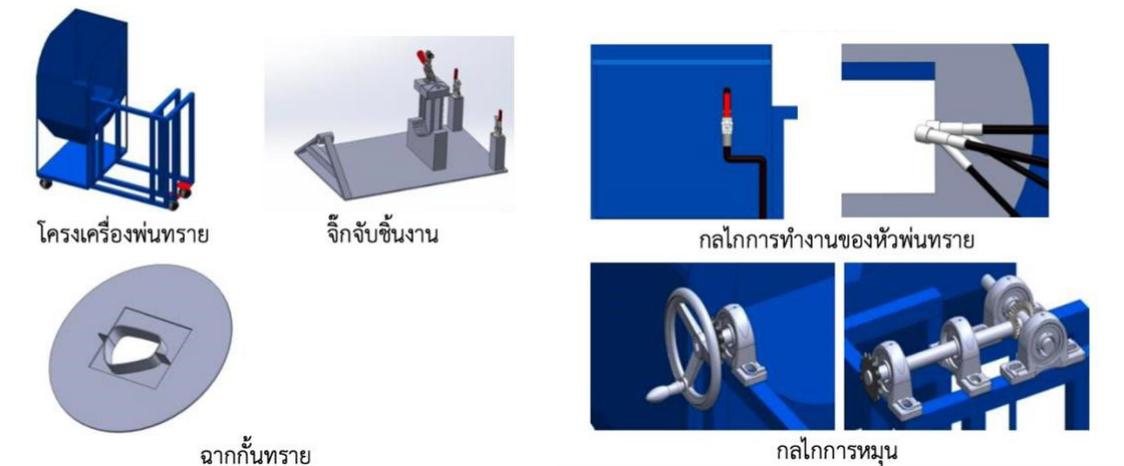
ความสูญเสียเปล่า 7	อยู่ที่ไหน	อย่างไร
1. overproduction	-	-
2. Inventory	-	-
3. Transportation	ขั้นตอนการคลุม หม้อพัก	จุดที่นำชิ้นงานไป ไปส่งขั้นตอน
4. Motion	ขั้นตอนการคลุม หม้อพัก	ต่อไป มีระยะทาง ที่มากเกินไป
5. Processing	ขั้นตอนการพ่น ทราย	ขั้นตอนการคลุม
6. Delay	ขั้นตอนการคลุม หม้อพัก	หม้อพักเป็น
7. Defect	-	ขั้นตอนที่ไม่ช่วย

3.3 การออกแบบเครื่องพ่นทรายหม้อพักไอเสีย

คณะผู้วิจัยทำการออกแบบเครื่องพ่นทรายนี้ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2021 เนื่องจากโปรแกรมมีฟังก์ชันการทำงานที่ครอบคลุมและใช้งานง่าย ทำให้สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่แม่นยำและซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งการทดสอบในรูปแบบจำลองช่วยลดต้นทุนในการสร้างต้นแบบ ในการออกแบบนี้มีเงื่อนไขที่ต้องสามารถ Set up ตัวชิ้นงาน (Muffler) ได้อย่างมั่นคง และจะต้องสามารถพ่นทรายได้ทั่วชิ้นงาน Cap tail (Cover ปลายท่อ) เพราะหากตัวชิ้นงานหลุดออกจากตัว Machine จะทำให้เกิดรอยหรือทำให้เกิดงานเสียได้ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 จากนั้นทำการแยกส่วนประกอบของเครื่องพ่นทราย เพื่อทำการสร้างและประมาณค่าใช้จ่าย ดังแสดงรายละเอียดใน ตารางที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องพ่นทรายที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2021



รูปที่ 4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องพ่นทราย

ตารางที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องพ่นทราย

รายการวัสดุที่ใช้	จำนวน	ราคาต่อหน่วย
1. เหล็กกล่อง 600 cm. หนา 1.5”	1 เส้น	265 บาท
2. เหล็กแผ่น 160x240 หนา 1.5”	2 แผ่น	1,300 บาท
3. ก้านหมุนชนิดก้านมือจับ	1 อัน	186 บาท
4. ลูกปืนตุ้กตา	5 ตัว	79 บาท
5. เหล็กตันกลม	1 เส้น	365 บาท
6. ฟันเฟืองดอกจอก	2 อัน	257บาท
7. ฟันเฟืองจักรยานพร้อมโซ่	1 ชุด	324 บาท
8. ล้อยางแบบแบนหมุนได้ ไม่มี เบรกขนาด 3 นิ้ว	2 ล้อ	95 บาท
9. ล้อยางแบบแบนหมุนได้ มี เบรก ขนาด 3 นิ้ว	2 ล้อ	118 บาท
10. วาล์ว 1/4”	1 อัน	315 บาท
11. ลูกล้อยางขนาด 2 นิ้ว	4 ล้อ	265 บาท
รวมทั้งสิ้น		5,417 บาท

4. ผลการทดลอง

การสร้างเครื่องพ่นทรายนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในหลายอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้มีประโยชน์ในการเตรียมพื้นผิวของวัสดุต่าง ๆ ก่อนการเคลือบผิวหรือการใช้งานอื่น ๆ โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตดังนี้

4.1 จำนวนพนักงานและเวลาการปฏิบัติของแต่ละขั้นตอน

การพ่นทรายเป็นกระบวนการที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทำให้ลดเวลาในการเตรียมพื้นผิวและเพิ่มผลผลิต จากข้อมูลในตารางที่ 4 ที่ใช้ผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น ระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ก่อนทำการปรับปรุงใช้เวลา 512 วินาทีหรือ 8.53 นาทีหลังจากทำการปรับปรุงใช้ เวลา 442 วินาทีหรือ 7.36 นาทีสามารถลดเวลาได้ 1.17 นาที คิดเป็นร้อยละ 16 ของระยะเวลาการปฏิบัติงานที่ลดลง

ตารางที่ 4 จำนวนพนักงานและเวลาปฏิบัติงานของแต่ละขั้นตอน

ลำดับ	ขั้นตอน	พนักงาน (คน)		เวลา (วินาที)	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	การเชื่อมติด	1	1	66	66
2	การขัดเก็บงาน	1	1	36	36
3	การคลุมท่อไอเสีย	2	0	70	0
4	การพ่นทราย	3	3	180	180
5	การตรวจสอบหลังพ่นทราย	1	1	35	35
6	การคลุมฝาครอบปลายท่อ	1	1	22	22
7	การพ่นเก็บสี	1	1	53	53
8	การตรวจสอบคุณภาพ	1	1	50	50
	รวมทั้งหมด	10	8	512	442

4.2 ค่าประสิทธิผล

การใช้เครื่องพ่นทรายสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ในระยะยาว เนื่องจากช่วยลดการใช้แรงงานและวัสดุสิ้นเปลือง จากการบันทึกเวลาในการผลิตชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้นงาน จากการปรับปรุงตัวเครื่อง ทำให้สามารถตัดกระบวนการก่อนหน้าออกไปได้ทำให้เวลาในการผลิตชิ้นงาน ต่อ 1 ชิ้นงานลดลงจากเดิม ใช้เวลา 8.53 นาทีผลิตงานได้ต่อวันจะอยู่ที่ 50 ชิ้นงาน หลังจากทำการปรับปรุง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ต่อชิ้นงานอยู่ที่ 7.36 นาทีที่สามารถเพิ่มผลผลิตชิ้นงานได้ 7 ชิ้นงาน จากเดิมผลผลิต 1 วันจะได้ชิ้นงานทั้งหมด 100 ชิ้นงาน ซึ่งมีเป้าอยู่ที่ 110 ชิ้นงาน หลังจากการปรับปรุงทำให้เพิ่มผลผลิตเป็น 107 ชิ้นงานต่อวัน และสามารถดูวิธีการคำนวณประสิทธิผล (Effectiveness) ได้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิผล

	การคำนวณ	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผล
ก่อน	$100 \times (100/110)$	90.9%
หลัง	$107 \times (100/110)$	97.2%
	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น	6.3%

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการออกแบบเครื่องพ่นทรายสำหรับการหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์ที่ช่วยลดขั้นตอนในกระบวนการประกอบตัวท่อไอเสีย ช่วยลดค่าใช้จ่าย และทางโรงงานสามารถนำแบบไปสร้างเครื่องพ่นทรายให้ใช้งานได้ในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง จากผลการดำเนินงานเดิมใช้เวลาในการผลิต ทั้งหมดที่ 512 วินาทีพนักงาน 10 คน หลังจากที่ทำกรออกแบบเครื่องพ่นทรายพบว่า สามารถตัดกระบวนการคลุมหม้อพักไอเสียซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นออกไปได้ใช้เวลาในการผลิตทั้งหมดที่ 442 วินาที พนักงาน 8 คน ซึ่ง สามารถลดเวลาลงที่ 70 วินาทีลดจำนวนพนักงาน 2 คน และสามารถลดต้นทุนจากขั้นตอนการคลุมหม้อพักไอเสีย จำนวน 3.29 บาท/ชิ้น คิดเป็นลดต้นทุนรวมต่อ 1 วัน (ประมาณ 100 ชิ้น) ประมาณ 329 บาท/วัน และลดต้นทุนรวมต่อ 1 เดือน (ประมาณ 24 วัน) ประมาณ 7,890 บาท/เดือน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องพ่นทรายเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของกระบวนการผลิตในหลายอุตสาหกรรม การลงทุนในการสร้างเครื่องพ่นทรายจึงเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและสามารถสร้างผลตอบแทนในระยะยาวได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากสาขาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ (แจ้งวัฒนะ)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai Industrial Standards Institute., Industrial product standards for exhaust pipe parts for motorcycles, TIS 3226-25xx. https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf/2_a3226_25XX.pdf (accessed 9/4, 2024) (in Thai)

- [2] P. Burawat, “Productivity improvement of carton manufacturing industry by implementation of lean six sigma, ECRS, work study, and 5S: A case study of ABC co., ltd.,” *Journal of Environmental Treatment Techniques*. vol. 7, no. 4, pp. 785–793, 2019.
- [3] C. Aimsean, P. Kaewsomnueng, and R. Niyomrat, “Waste reduction of the white coconut production process of Thani factory, Samut Songkhram Province by ECRS principles,” in *Proceeding National & International Conference 2022*, vol. 2, vol. 15, p. 51, 2022. (in Thai)
- [4] C. Mongkhoncha, C. Rabobi, and P. Vanakul, “Waste reduction in cosmetic inventory management by using ECRS principles,” *UMT Poly Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 39–47, 2021.
- [5] S. Niwiwattanasak, and P. Ruangchoengchum, “Waste reduction in finished goods flow process using ABC inventory classification with ECRS: A case study of the building materials store business,” *Journal of Humanities and Social Sciences Nakhon Phanom University*, vol. 11, no. 3, pp. 100–114, 2021.
- [6] N. Kanoksirirujisaya, S. Srininpan, and S. Ratchabut, “Reducing waste reduction in parts manufacturing processes hard disk drives (HDDs) by ECRS techniques,” *Journal of Industrial Technology and Innovation*, vol. 1, no. 1, p. 246564, 2022.
- [7] C. Pakdeewanich, and S. Veeradech, “Increasing the operation rate of punching machine by using ECRS,” *PBRU Science Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 86–97, 2021.
- [8] M. Kittayankajon, M. Wongharjuk, and M. Susomboon, “Application of single minute exchange of die and ECRS techniques to reduce machine set up time: a case study of powdered drink mix process.” *Engineering journal Chiang Mai University*, vol. 1, no. 27, pp. 1–11, 2019.
- [9] P. Songpatkaew, and S. Amornsawatwatta, “Work process optimization lan tay palm khai hwan in principle ECRS,” in *proceeding of the 15th RSU National Graduate Research Conference 2020*, vol. 15, pp. 1298–1307, 2020.
- [10] W. Sirirak, N. Jaikhom, A. Pinchaimoon, T. Klongdee, and S. Sirisean, “ECRS Technique Using for Honey Filling Process Improvement,” *Journal of Manufacturing & Management Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 11–20, 2022.
- [11] P. Jantippeng, R. Pakhontod, and I. Chaimongkhon, “Dust-free sandblasting machine,” in *Proceeding of T-VET 2nd student E-Conference*, vol. 10, no. 1, 2020. (in Thai)
- [12] C. Chinnehunha, P. Udomwannapa and W. Samakkit, “Sand blast machine,” 2013.
- [13] J. Tongdechsamart, C. Kunlawong, and K. Wannasri, “Suitable parameters of workpiece cleaning by automatic small sandblasting machine,” *Journal of Vongchavalitkul university*, vol. 34, no. 2, pp. 87–97, 2021.
- [14] V. Meana, E. Cuesta, and B. J. Álvarez, “Testing the sandblasting process in the manufacturing of reference spheres for non-contact metrology applications,” *Materials*, vol. 14, no. 18, pp. 5187, 2021.

- [15] T. Yabutsuka, R. Karashima, S. Takai, and T. Yao, “Effect of doubled sandblasting process and basic simulated body fluid treatment on fabrication of bioactive stainless steels,” *Materials*, vol. 11, no. 8, pp. 1334, 2018.
- [16] A. Rudawska, I. Danczak, M. Müller, and P. Valasek, “The effect of sandblasting on surface properties for adhesion,” *Int J Adhes Adhes*, vol. 70, pp. 176–190, 2016.

การศึกษาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตขึ้นรูปจากกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มี ส่วนประกอบจากอะลูมิเนียมเติมด้วยพลาสติก

The Study of Volatile Organic Compounds of the Composites Fabricated from Used-Beverage Cartons Containing Aluminum and Additional Plastics

วลัยุชร์ก พุ่มชลิต¹ ชานา ลีบารุง¹ พลภัทร ทิพย์บุญศรี² ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์² และ ขจร สีทาแก^{1*}
¹คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
Walanrak Poomckalit¹ Chana Leebamroong¹ Ponlaphat Tipboonsri² Thammasak Rojviroon²
and Khajorn Seetakae^{1*}

¹Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

*Corresponding author Email: khajorn_s@rmutt.ac.th

(Received: December 12, 2024; Revise: December 30, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิต โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสารระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพจากวัสดุรีไซเคิลสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุผนัง โดยมีสมมติฐานว่าวัสดุจะมีการปลดปล่อยสารระเหยที่เป็นอันตรายหลังจากการขึ้นรูปซ้ำ กระบวนการผลิตขึ้นทดสอบได้จากการนำกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วและพลาสติกเหลือใช้มาบด และผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 16000 ผลการตรวจสอบปรากฏว่าไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยภายหลังจากกระบวนการรีไซเคิล สามารถนำวัสดุต้นแบบไปพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้งานในอาคารได้

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร สารประกอบอินทรีย์ระเหย รีไซเคิล แผ่นผนัง

Abstract

This article presents study results of Volatile Organic Compounds (VOCs) of composites fabricated by hot compression molding process. The research aimed to analyze volatile substances from recycled materials that were hazardous to health when developed as panel materials. The hypothesis assumed these composite materials emit harmful gases when recycling. Sampling sheets were derived from ground-used beverage cartons and recycled plastics mixed at 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50 wt% and then analyzed for VOCs regarding ISO 16000. The results showed that no VOCs were detected after recycling. The samples can be processed for indoor-used products further.

Keywords: IAQ, VOCs, Recycle, Wall panel

1. บทนำ

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นที่องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ให้ความสำคัญ นำไปสู่การกำหนดเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development) การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้รับความใส่ใจจากประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ที่ให้ความสำคัญกับการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ประเทศไทยในฐานะประเทศสมาชิก ได้ร่วมประกาศเจตนารมณ์ในประเด็นดังกล่าว ในการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติ ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The UN Climate Change Conference in Glasgow: COP26) ที่จัดขึ้นเมื่อปี 2564 (2021) ณ เมืองกลาสโกว์ ประเทศอังกฤษ มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี 2593 (2050) และตั้งเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ภายในปี 2608 (2065) [1] ซึ่งได้รับการตอบรับจากทุกภาคส่วนเพื่อนำไปปฏิบัติให้เกิดผลเป็นรูปธรรม รวมถึงอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ที่มีการตื่นตัวตอบรับประเด็นความเป็นกลางทางคาร์บอนและการพัฒนาอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น อาคารที่สร้างขึ้นในปัจจุบันได้รับการเอาใจใส่ให้มีการคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการใช้งานของมนุษย์ มีกระบวนการก่อสร้าง การใช้ทรัพยากร และการใช้งานอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการพัฒนาวัสดุอาคารฉาบเพื่อที่ได้รับการรับรองอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามเกณฑ์ Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability (TREES) ที่สำคัญคือ TREES – NC หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากร (Materials and Resources) การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล และวัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ [2] ซึ่งสถาบันอาคารเขียวได้ประยุกต์หลักเกณฑ์การพิจารณาจากเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ประกาศใช้โดย U.S. Green Building Council (USGBC) [3] ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับสากล

ปัจจุบันมีการรับรองฉาบเขียวสำหรับสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาจากรายชื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองฉาบเขียวประเภทวัสดุก่อสร้าง พบว่า วัสดุผนังฉาบเขียวที่มีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด มีเพียงซีเมนต์บอร์ด 3 ผลิตภัณฑ์ และวัสดุก่อผนัง 5 ผลิตภัณฑ์เท่านั้น [4] ซึ่งถือว่ายังมีการพัฒนาและมีการผลิตจำหน่ายอยู่ในวงจำกัด นอกจากนี้การพัฒนาวัสดุผนังคอมโพสิต ก็ยังมีขอบเขตจำกัดอยู่เพียงวัสดุไม้ที่ประเภท ได้แก่ ผนังอะลูมิเนียมคอมโพสิตประเภทแซนด์วิชคอมโพสิต (Sandwich Composite) ที่มีแกนกลาง (Core) เป็นโพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) ปิดทับด้วยแผ่นอะลูมิเนียมทั้ง 2 ด้าน [5,6,7] และ แผ่นผนังไม้เทียม Wood-plastic composite (WPC) พิจารณาเพิ่มเติมในส่วน of วัสดุผนังพลาสติก การผลิตและจำหน่ายมีเพียงผนังโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้เป็นผนังกันห้องน้ำ และ ผนัง PS พิมพ์ลายวัสดุธรรมชาติ ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อใช้ในงานตกแต่งอาคาร [8,9] ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าผนังชนิดอื่นๆ ในด้านคุณสมบัติการป้องกันน้ำและความชื้น ส่วนวัสดุรีไซเคิลที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและตกแต่งอาคาร ยังไม่มีความชัดเจนสำหรับการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาดสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ โดยในปี 2565 มีขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 9.31 ล้านตัน (ร้อยละ 17.06) จากปริมาณขยะมูลฝอยรวมมากกว่า 54 ล้านตันในปีเดียวกัน ซึ่งสามารถกำจัดได้เพียง 17.64 ล้านตัน (ร้อยละ 32.33) จึงทำให้คงเหลือปริมาณขยะตกค้างสะสมมากถึง 27.62 ล้านตัน (ร้อยละ 50.61) ทั้งที่ไม่ได้จัดเก็บและที่ตกค้างในหลุมฝังกลบขยะ (Landfill) [10]

วัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปต้นแบบวัสดุผนังคอมโพสิตรีไซเคิลในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย กล่องบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้ว (Used beverage cartons: UBC) เติมด้วยพลาสติกกรีไซเคิล ซึ่งกล่องบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วนั้น ถูกผลิตขึ้น

เพื่อใช้ในการรักษาคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะของเหลว เพื่อป้องกันอุณหภูมิ ความชื้น และสิ่งปนเปื้อน เมื่อกลายเป็นขยะจะถูกจำแนกเป็นขยะกำพวด เนื่องจากมีองค์ประกอบของกระดาษประมาณ 75% พลาสติก 20% และอะลูมิเนียม 5% อัดแน่นเป็นเนื้อเดียวไม่สามารถแยกออกจากกันได้ [11] ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่แสดงถึงการปั่นแยกเยื่อกระดาษออกจากวัสดุผสมพลาสติกและอะลูมิเนียม (PolyAL) แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์คอมโพสิต [12] แต่ก็ต้องมีการใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการและขั้นตอนการปั่นเพื่อแยกกระดาษ ซึ่งหากสามารถลดขั้นตอนและกระบวนการนี้ได้ จะสามารถลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในการผลิต ส่วนขยะพลาสติก ซึ่งเป็นขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่และรีไซเคิลได้ นำมาใช้เป็นสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อลดข้อดีของกระดาษในด้านการป้องกันน้ำและความชื้น การผลิตผนังคอมโพสิตจาก ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วผสมพลาสติกนี้ ใช้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยผสมก่อก่อ่งบรรจุภัณฑ์เข้ากับพลาสติก และวิเคราะห์สมบัติการผสมกับขยะพลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) [13] โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polypropylene: HDPE) โพลีสไตรีน ทั้ง Polystyrene: PS และ Oriented Polystyrene: OPS เพื่อใช้เป็นตัวเพิ่มประสานในกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Hot compression molding) อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายฉบับที่ยืนยันว่า ในกระบวนการกำจัดพลาสติกด้วยความร้อน พลาสติกจะมีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่สูงมาก [14,15] ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) และโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate) มีการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยสูงกว่าพลาสติกย่อยสลายได้ เช่น โพลีแลคติก (Polylactic Acid: PLA) ถึง 100 เท่า [16,17]

งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับ การวิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยความร้อนที่แตกต่างกันตามประเภทของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอาคาร โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) เปรียบเทียบผลตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 [18] และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021 [19] เพื่อการออกแบบและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปผนังคอมโพสิตวัสดุรีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นผนังอาคารที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้งานภายในอาคาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการลงทุนต่ำโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปและเครื่องจักรราคาถูก ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการผลิต โดยผลผลิตจากงานวิจัยในส่วนนี้ จะนำไปสู่การสร้างวิธีการที่เหมาะสมในเพิ่มมูลค่าให้แก่ขยะกำพวดด้วยผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถใช้งานภายในอาคารได้อย่างปลอดภัย มีคุณสมบัติเหมาะสมในการขยายผลไปสู่การพัฒนาเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มสัดส่วนการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะขยะกำพวดที่กำจัดไม่ได้ และลดปริมาณขยะตกค้างสะสมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single Use Products) ในระบบการจัดการโดยรวม สอดคล้องกับการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนและเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศ จากการใช้ทรัพยากรและกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

คุณภาพอากาศภายในอาคาร สามารถนำไปสู่อาการของผู้ใช้อาคารหรืออยู่อาศัยในอาคารที่เรียกว่า โรคมืดกพิข (Sick building Syndrome) โดยองค์การอนามัยโลกได้ระบุถึง สารประกอบอินทรีย์ระเหยไว้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Semi-volatile organic compounds (SVOCs) ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 50–100 °C และ Very-volatile organic compounds (VOCs) [20] ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 240–260 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิเดียวกับที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ใช้กับต้นแบบวัสดุคอมโพสิตรีไซเคิล ในบทความนี้ ดังนั้นการตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหย จึงมีการตั้งสมมติฐานงานวิจัยไว้ว่า **ความร้อนที่ใช้การขึ้นรูปใหม่ (รีไซเคิล) อาจทำให้มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเกิดขึ้นในวัสดุคอมโพสิตรีไซเคิลต้นแบบ** เมื่อพลาสติกตัวเดิมที่นำมาผสมในการขึ้นรูปแผ่นผนังจากก่อก่อ่งบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วมีอุณหภูมิระหว่าง 160±10 °C ถึง 220±10 °C

เพื่อเป็นการยืนยันสมมติฐาน จึงดำเนินการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหย ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021 โดยกำหนดองค์ประกอบและเงื่อนไขการทดสอบ ดังนี้

2.1 วัสดุแผ่นคอมโพสิตได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ต่อพลาสติกตัวเติม 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 อุณหภูมิขึ้นรูปแตกต่างกันตามชนิดของพลาสติก ได้แก่ ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ผสม PP ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180±10 °C [13] ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ผสม HDPE ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 220±10 °C เนื่องจากการทำงานวิจัยที่ผ่านมา การเติม HDPE ไม่สามารถหลอมละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 180 °C และ 200 °C ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ผสม PS ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160±10 °C และ ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ผสม OPS ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160±10 °C เนื่องจากอุณหภูมิการไหลแบบเหน็ดของ PS อยู่ระหว่าง 150 – 240 °C

2.2 การเตรียมวัสดุ แผ่นคอมโพสิตจากก่อก่งบรรจุภัณฑ์ผสมพลาสติกที่ขึ้นรูปตามข้อ 2.1 จะถูกนำมาบดให้มีขนาดเล็กที่สุด โดยในขั้นนี้ ใช้การบดผ่านตะแกรงขนาด 5 มม. โดยคำนึงถึงขนาดหลังการบดที่ยังคงทำให้แผ่นฟิล์มคอมโพสิตอะลูมิเนียมและพลาสติก ยังคงติดอยู่กับกระดาษก่อก่งนมเป็นสำคัญ

2.3 วิธีการวิเคราะห์ การวิจัยนี้วิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) จากผลิตภัณฑ์โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ คือ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) รุ่น Agilent 6890N Network Gas Chromatograph (GC-MS 6890N) โดยมีการเตรียมตัวอย่างในสถานะไอระเหยด้วยอุปกรณ์ Agilent G1888 Network Headspace Sampler โดยดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง ทั้งนี้เงื่อนไขการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการวิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากผลิตภัณฑ์

GC Conditions	Values
Gas Flow	1.5 mL/min
Split flow	30.0 mL/min
Pressure: Inlet	3.3 psi
Oven Temperature	85 °C
Headspace Conditions	
Front Inlet	250 °C
Vial Pressurization Time	120 °C
Transfer Line Temperature	120 °C
Vial Equilibration Time	15 min

2.4 มาตรฐานการทดสอบ ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021

3. การอภิปรายผลการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากวัสดุก่อสร้างอาคาร [21] เป็นสิ่งที่องค์การอนามัยโลกให้ความสำคัญ เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นสารอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังสามารถก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ และโรคอื่นๆ สารประกอบอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic to Humans) ดังนั้นในการตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตต้นแบบที่รีไซเคิลจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว ผสมกับพลาสติก PP HDPE PS และ OPS ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดด้วยความร้อน จึงได้กำหนดการตรวจสอบสารระเหย 17 ชนิด ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6: 2021

ในงานวิจัยนี้ เป็นที่น่าสนใจว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นแบบแผ่นผนังคอมโพสิตรีไซเคิลจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วเติมด้วยพลาสติก PP, HDPE, PS และ OPS ทั้ง 16 สูตร ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) โดยทำซ้ำสุตรละ 3 ตัวอย่าง “ไม่พบ” สารระเหยอินทรีย์ระเหยที่เป็นอันตรายจากวัสดุคอมโพสิตต้นแบบ ที่อัดขึ้นรูปด้วยความร้อนด้วยอุณหภูมิระหว่าง 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุต้นแบบ UBC+PP และ UBC+HDPE

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PP20	PP30	PP40	PP50	HDPE20	HDPE30	HDPE40	HDPE50
Vinyl Chloride	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1-Dichloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Acetone	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Styrene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloromethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinyl Acetate	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Butanal	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
cis-1,2-Dichloroethene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ: ND = Not Detect (ตรวจสอบไม่พบ)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุต้นแบบ UBC+PS และ UBC+OPS

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PS20	PS30	PS40	PS50	OPS20	OPS30	OPS40	OPS50
Vinyl Chloride	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1-Dichloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PS20	PS30	PS40	PS50	OPS20	OPS30	OPS40	OPS50
Acetone	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Styrene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloromethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinyl Acetate	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Butanal	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
cis-1,2-Dichloroethene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ: ND = Not Detect (ตรวจสอบไม่พบ)

พิจารณาจากอุณหภูมิการขึ้นรูประหว่าง 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ซึ่ง Semi-volatile organic compounds (SVOCs) จะกลายเป็นไอไปหมดแล้ว ส่วน Very-volatile organic compounds (VOCs) ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 240–260 °C ซึ่งอาจยังคงเหลือในวัสดุก็ไม่ได้มีการตรวจพบแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร (Food grade packaging) ในการรีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นวัสดุผนังคอมโพสิต ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยปกติต้องมีความปลอดภัยสูง ไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษ หรือเป็นอันตรายต่อร่างกาย

ดังนั้นวัสดุที่พัฒนาขึ้นจึงมีความได้เปรียบกว่าวัสดุผนังประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะวัสดุผนังที่ประกอบขึ้นจากไม้ (Wood based panel) ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย พบว่า วัสดุผนังอาคารส่วนใหญ่ โดยเฉพาะวัสดุผนังที่ประกอบขึ้นจากไม้ มักตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภทเทอร์พีน แผ่นไม้อัด OSB (Oriented Strand Board) มักตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์ (aldehydes) ประเภท เพนทานอล (pentanal) and เฮกซานอล (hexanal) ส่วนแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiber Board: MDF) ตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยแตกต่างกันตามประเภทของกาวที่ใช้อัดแผ่น หรือสารเคมีเคลือบผิว (Coating) เช่น เรซิน (Resin) และสารเคมีอื่นที่เป็นองค์ประกอบ [22] วัสดุประเภทฮาร์ดบอร์ด (Hardboard) ไม้อัด (Plywood) และยิปซัมบอร์ด (Gypsum board) มีการตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภท เพนทานอล เฮกซานอล โทลูอิน (toluene) ไซลีน (xylene) เบนซาลดีไฮด์ (benzaldehyde) และ สารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่นๆ อีกหลายชนิด รวมถึงสารประกอบอะโรมาติกอื่นๆ (Aromatic) [23] ซึ่งกลุ่มสาร Aromatic Hydrocarbons มักก่อให้เกิดโรคและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ สารพิษกลุ่ม Chlorinated VOCs มักเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน [23]

4. สรุป

วัสดุคอมโพสิตต้นแบบจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว ผสมพลาสติกรีไซเคิล PP, HDPE, PS และ OPS ที่มีอัตราส่วนผสม โดยน้ำหนักกล่องบรรจุภัณฑ์ต่อพลาสติก 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ตรวจไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากวัสดุ ไม่เป็นไปตามสมมติฐานงานวิจัย อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ซึ่งไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยนี้ ทำให้วัสดุมีค่าการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย ต่ำกว่าเกณฑ์ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 ทำให้วัสดุนี้เป็นวัสดุที่มีความปลอดภัยในการพัฒนาเป็นวัสดุแผ่นผนังเพื่อใช้ในงานก่อสร้างและตกแต่งภายในอาคาร เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุรีไซเคิลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ตามเกณฑ์ TREES หมวดที่ 5

อย่างไรก็ดี การนำวัสดุนี้ไปพัฒนาและออกแบบเป็นวัสดุผนังภายในอาคารในขั้นตอนถัดไป คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่สามารถเทียบเคียงได้กับวัสดุที่มีการใช้งานอยู่ในท้องตลาดเป็นสิ่งที่ต้องมีการพิจารณาและให้ความสำคัญ โดยเฉพาะคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ การป้องกันความร้อน ความแข็งแรง ความต้านทานแรงดัด และคุณสมบัติในการต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ

5. กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 (รหัสโครงการวิจัย FRB67E1003)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Innovation Roadmap for Industrial Decarbonization., <https://www.nxpo.or.th/th/wp-content/uploads/2023/02/รายงาน-Innovation-Roadmap-for-Industrial-Decarbonization.pdf> (accessed 1/11, 2024).
- [2] Subcommittee on the Development of Green Building Assessment Criteria, Green Building Institute. (nd). Thai Energy and Environmental Sustainability Assessment Criteria for New Construction and Renovation Projects (TREES – NC / CS Version 2.0). Green Building Institute., <https://tgbi.or.th/wp-content/uploads/2024/12/TREES-NC-v2-2023-NCCS-Check5A.pdf>, (accessed 4/12, 2024). (in Thai)
- [3] LEED v4.1 | U.S. Green Building Council. (n.d.), <https://www.usgbc.org/leed/v41>, (accessed 6/12, 2024).
- [4] List of Green Label certified products—Construction equipment. (nd). greenlabel., <https://greenlabel.tei.or.th/list-of-products-certified-with-construction-materials/>, (accessed 6/12, 2024). (in Thai)
- [5] Aluminium Composite (nd). Aluminium Composite. | Siaminter Composite., https://siam-alucom.com/aluminium_composite.html (accessed 24/12, 2024). (in Thai)
- [6] Aluminium Composite – Bitec Enterprise. <https://bitecenterprise.com/th/อลูมิเนียมคอมโพสิต-คือ-/> (accessed 24/12, 2024). (in Thai)

- [7] ALUMINIUM COMPOSITE PANEL – FAMELINE: Architectural Building Materials. (n.d.). <https://fameline.com/composite/aluminium-composite-panel/>, (accessed 24/12, 2024). (in Thai)
- [8] PVC wall panels – Thai Watsadu. (nd.), <https://www.thaiwatsadu.com/th/category/แผ่นผนัง-PVC-550402>, (accessed 25/12, 2024). (in Thai)
- [9] Semi Circular Wood Plastic Composite Wall Board FULL-WBI6 0 7 . (n.d.). PROMA. <https://www.proma.co.th/product/ไม้ผนังสังเคราะห์-wall-board-full-wbi607/>, (accessed 25/12, 2024). (in Thai)
- [10] Solid Waste Management of Local Administrative Organizations in Thailand., <https://ej.eric.chula.ac.th/article/view/331>, (accessed 13/12, 2024). (in Thai)
- [11] M. Ebadi, M. Farsi, P. Narchin, and M. Madhoushi, “The effect of beverage storage packets (Tetra Pak) waste on mechanical properties of wood–plastic composites,” *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 29, 2015.
- [12] A. Memon, B. Chongkolnee, A. Watanapa, K. Thongsri, W. Cheewawuttipong, K. Santowongsakorn, P. Thipboonsri, K. Wongwattanachai, and N. Somsuk, “Towards Sustainable Production: Rotational Molding for Small–Part Manufacturing Using Recycled Materials from Used Beverage Cartons,” *2023 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, pp. 155–160, 2023.
- [13] K. Sritakae, C. Leebamrung, A. Memon, and W. Poomchalit, “Forming Optimization of Recycling Used Multilayer Film Cartons without the Separation Process for a Sustainable Architectural Material,” in *Proceeding of 16th Eco–Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2025), Kyoto University, Japan, 2025*, (in Press)
- [14] M. Barabad L. M. Jung, W. Versoza, M. E., Y. Lee, K. Choi, and D, Park. “Characteristics of Particulate Matter and Volatile Organic Compound Emissions from the Combustion of Waste Vinyl,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 7, p. 1390, 2018.
- [15] Jang, M., Yang, H., Park, S.–A., Sung, H. K., Koo, J. M., Hwang, S. Y., Jeon, H., Oh, D. X., and Park, J, “Analysis of volatile organic compounds produced during incineration of non–degradable and biodegradable plastics,” *Chemosphere*, vol. 303, p. 134946, 2022.
- [16] Harčárová, K., Vilcekova, S., & Balintova, M. “Building Materials as Potential Emission Sources of VOC in the Indoor Environment of Buildings,” *Key Engineering Materials*, vol. 838, pp. 74–80, 2020. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.838.74>
- [17] Que, Z.–L., Wang, F.–B., Li, J.–Z., & Furuno, T. “Assessment on emission of volatile organic compounds and formaldehyde from building materials,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 49, pp. 36–42, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.01.008>

- [18] Announcement of the Department of Health on the monitoring value of indoor air quality in public buildings, B.E. 2565. (n.d.), <https://laws.anamai.moph.go.th/th/practices/211864>, (accessed 6/12, 2024). (in Thai)
- [19] ISO 16000-6:2021. (n.d.). ISO., <https://www.iso.org/standard/73522.html> (accessed 6/12, 2024).
- [20] World Health Organization . *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. WHO Regional Office for Europe; Copenhagen, Denmark: 1989.
- [21] E. David, and V. Niculescu, “Volatile Organic Compounds (VOCs) as Environmental Pollutants: Occurrence and Mitigation Using Nanomaterials,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, p. 13147, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413147>
- [22] Adamová, T., Hradecký, J., & Pánek, M., “Volatile Organic Compounds (VOCs) from Wood and Wood-Based Panels: Methods for Evaluation, Potential Health Risks, and Mitigation,” *Polymers*, vol. 12, no. 10, p. 2289, 2020.

การออกแบบและพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้

Design and Development of a Knock-Down Hot Air Drying

วรรณพร ชีววุฒิพงศ์^{1*} ชัยณัฐช พรหมนวล¹ ประวิทย์ หนูจันทร์¹ และ จีระศักดิ์ เพียรเจริญ¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Wattanaphon Cheewawuttipong^{1*} Chainutat Phromnuan¹ Prawit Nuchan¹ and Jeerasak Peanjaroen¹

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang, Songkhla 90000

*Corresponding author Email: wattanaphon.c@rmutsv.ac.th

(Received: December 12, 2024; Revise: December 27, 2024; Accepted: December 27, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อออกแบบและสร้างเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ที่เหมาะสำหรับการอบผัก ผลไม้ และผลิตผลทางการเกษตร โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานและการเคลื่อนย้าย โดยระบบการทำงานของเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ แหล่งพลังงานใช้เครื่องทำความร้อนที่ติดตั้งระบบควบคุมเพื่อปรับอุณหภูมิภายในเตาอบและเซ็นเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการหมุนของพัดลมเพื่อช่วยกระจายความร้อนให้กับวัตถุดิบ ซึ่งช่วยลดระดับความชื้นได้ โดยเตาอบลมร้อนนิยมใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กเกี่ยวกับการผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องใช้ต่าง ๆ ในท้องตลาดจะมีน้ำหนักมาก ราคาแพง ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยทำการการพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้เพื่อตอบสนองต่อข้อจำกัดเหล่านี้ โดยเตาอบลมร้อนนี้มีน้ำหนักเบาและเคลื่อนย้ายได้ง่าย และสามารถทำงานทำงานต่อเนื่องได้ไม่น้อยกว่า 4 – 8 ชั่วโมง ตั้งค่าอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 120 องศาเซลเซียส หลักการทำงานของลมร้อนคือพัดลมจะดูดความร้อนที่เกิดจากฮีตเตอร์ที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์ขึ้นไปด้านบน เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ เวลาการอบแห้งขึ้นอยู่กับรูปร่างและชนิดของวัตถุดิบ โดยเฉลี่ยใช้เวลาในการอบประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง การพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบนี้สามารถปรับระดับระยะห่างระหว่างถาดอบได้ตามความต้องการ จากการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งพบว่า ความร้อนภายในเตาอบมีความสม่ำเสมอโดยภายในเตามีระบบควบคุมอุณหภูมิตามที่ผู้ใช้งานต้องการ การใช้งานง่ายตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของภาคเกษตรกรรม

คำสำคัญ: เตาอบลมร้อน ถอดประกอบได้ การอบแห้ง

Abstract

This research aims to design and create a detachable hot air oven suitable for drying vegetables, fruits, and agricultural products, considering ease of use and mobility. The operational system of the detachable hot air oven uses a heating device with a control system to adjust the internal temperature of the oven and sensors to measure the temperature. Additionally, it controls the rotation of the fan to help distribute heat to the materials, which helps reduce moisture levels. The hot air oven is widely used in community enterprises or small-scale industries that are involved in the production of food products and various household items. In the

market, these ovens are heavy and expensive. Therefore, the researchers developed a detachable hot air oven to address these limitations, which is lightweight, simple to move, and can operate continuously for no less than 4–8 hours, with a maximum temperature setting of up to 120 degrees Celsius. The principle of hot air operation is that the fan draws heat generated by the heater at the bottom of the device upwards to evenly distribute heat throughout the material. The drying time depends on the shape and type of the raw materials, averaging about 2–3 hours. The development of this detachable hot air oven allows for adjustable distances between the drying trays as needed. Testing the drying efficiency found that the heat inside the oven is consistent, with a temperature control system according to user requirements. It is easy to use and meets the diverse needs of the agricultural sector.

Keywords: Hot air drying, Detachable, Drying

1. บทนำ

เทคโนโลยีการอบแห้งที่หลากหลาย ประกอบด้วย การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot Air Drying) ใช้การถ่ายเทความร้อนผ่านลมร้อนเข้าสู่ห้องอบ การออกแบบที่ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของความร้อน ลดระยะเวลาในการอบ และลดการใช้พลังงาน การอบแห้งด้วยพลังงานแบบผสม การใช้พลังงานผสม เช่น ชีวมวลและไฟฟ้า หรือพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดต้นทุนและการเพิ่มประสิทธิภาพในระยะยาว แนวโน้มการพัฒนาในระดับสากล การพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งในระดับสากลให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การออกแบบระบบเผาไหม้ภายนอกที่สามารถถ่ายโอนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน และการพัฒนาเตาอบลมร้อนแบบหมุนเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอในการกระจายความร้อน เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ การออกแบบและพัฒนาเตาอบลมร้อนจึงเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ [1-2] โดยมีทฤษฎีและพัฒนาเตาอบลมร้อนในหลากหลายรูปแบบเพื่อตอบสนองความต้องการในเชิงพาณิชย์ จากค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเตาอบลมร้อนที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลสทั้งภายในและภายนอก ช่วยให้อุณหภูมิคงที่ มาตรฐาน Good Manufacturing Practice โดยระบบที่มีการไหลเวียนของลมร้อนและการระบายความชื้น รวมถึงถาดหมุนแบบลอยตัวที่ควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้สูงกว่าตู้อบแบบถาดทั่วไปถึง 25.6% และลดการใช้พลังงานลงกว่า 10.57% [3-4] นอกจากนี้ มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานชีวมวลร่วมกับขดลวดไฟฟ้า โดยใช้เตาชีวมวลเป็นแหล่งผลิตความร้อน อากาศร้อนที่ได้จะถูกลำเลียงไปยังห้องอบแห้งผ่านพัดลม ระบบนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์อบแห้งได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ขึ้นกับสภาพอากาศ และยังสามารถใช้พลังงานเสริมจากขดลวดไฟฟ้าในกรณีที่ความร้อนจากชีวมวลไม่เพียงพอ [5]

หลักการของการอบแห้ง คือ 1) การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ในการอบแห้ง ความร้อนจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ผลิตภัณฑ์เพื่อทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา โดยอาจใช้แหล่งพลังงานจากลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ หรือพลังงานอื่น ๆ 2) การถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) หลังจากน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา ไอน้ำจะถูกลำเลียงออกไปจากพื้นผิวผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์แห้งอย่างต่อเนื่อง และ 3) สมดุลความชื้น (Moisture Equilibrium) การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสมดุลกับสภาพแวดล้อม หรือปริมาณความชื้นต่ำพอที่จะหยุดกระบวนการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง พิจารณาจาก 1) อุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นช่วยเร่งกระบวนการอบแห้ง แต่ต้องไม่สูงเกินไปจนทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 2) ความชื้นในอากาศส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทน้ำจากผลิตภัณฑ์ 3) การไหลเวียนของ

อากาศ การหมุนเวียนอากาศช่วยกระจายความร้อนและลำเลียงไอน้ำออกไปจากผลิตภัณฑ์ และ 4) คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ รูปทรง ขนาด และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อเวลาและประสิทธิภาพในการอบแห้ง [6]

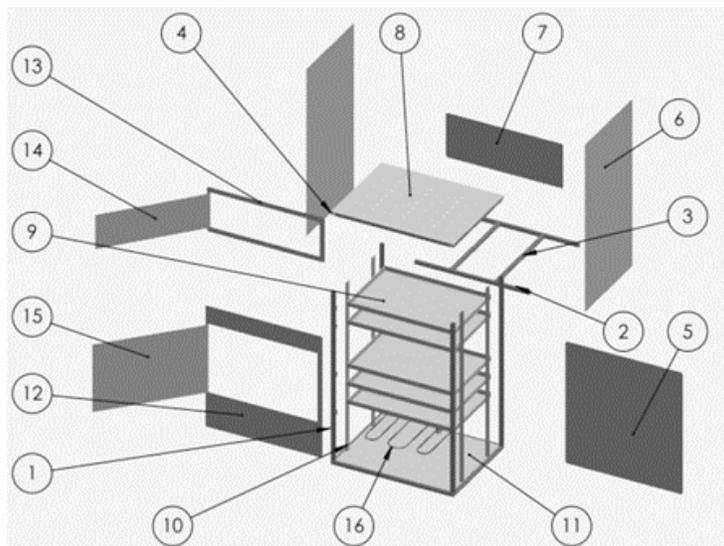
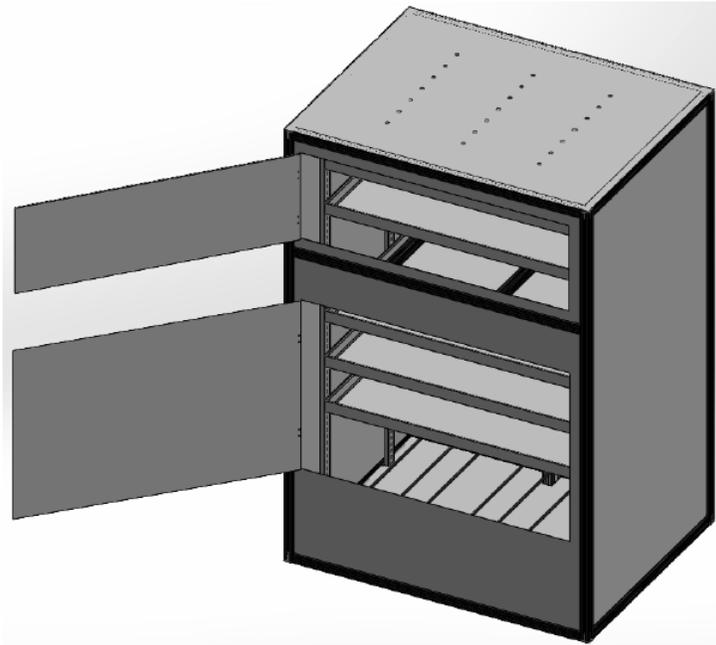
งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการเพิ่มองค์ความรู้ด้านการออกแบบและพัฒนาเตาอบลมร้อน จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารและการเกษตร โดยเน้นที่การตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม รวมถึงการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร ผ่านการใช้งานที่มีประสิทธิภาพ ต้นทุนที่คุ้มค่า และความยืดหยุ่นในการใช้งานสามารถถอดประกอบและขนย้ายได้ง่าย นอกจากนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุโลหะอะลูมิเนียมเนื่องจากมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีช่วยให้อุณหภูมิภายในเตาอบคงที่และกระจายความร้อนได้สม่ำเสมอ น้ำหนักเบาทำให้เตาอบเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย และสามารถใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบของเตาอบอาหารได้ โดยเฉพาะในส่วนโครงสร้างภายนอกหรือถาดอบที่เคลือบผิวเพื่อความปลอดภัย และเลือกถาดอะลูมิเนียมใช้งานกับอาหารมาทดแทนการวัสดุเหล็กกล้าโรสนิมที่มีราคาแพง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของวัตถุดิบและผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการถนอมอาหารด้วยวิธีการต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบเตาอบลมร้อนแบบน็อคดาวน์เพื่อใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบและผลิตผลทางการเกษตร โดยเตาอบดังกล่าวสามารถถอดประกอบและสะดวกในการเคลื่อนย้ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 โครงสร้างจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ เตาอบที่สามารถถอดประกอบและปรับระยะ/เพิ่มจำนวนของถาดอบได้ ระบบนำพาความร้อนและชุดควบคุม สามารถควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 30 – 200 องศาเซลเซียส แหล่งให้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์และมีพัดลมระบายความร้อนทำหน้าที่การนำพาความร้อนโดยต่อผ่านชุดควบคุมทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและแรงลมในการหมุนของพัดลม และใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และส่งค่าไปยังชุดควบคุม เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในเตาอบลมร้อนให้สม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 และทดสอบประสิทธิภาพโดยการวัดค่าความร้อนภายในห้องอบ โดยใช้กล้อง FLIR Thermal Imaging ยี่ห้อ Ulefone Power Armor และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 289 ดังแสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 และการทดสอบโดยการอบแห้งผักทองและกล้วยน้ำว้า โดยการกำหนดอุณหภูมิห้องอบ 90 องศาเซลเซียส และทำการบันทึกข้อมูลเป็นระยะเวลา 150 นาที



รูปที่ 1 เตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้

หมายเลข 1-3	อะลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)
หมายเลข 4	แบล็คเก็ตชนิดขนิดต่อเข้ามุม 3 ทาง
หมายเลข 5-8	แผ่นผนังอะลูมิเนียม
หมายเลข 9	ถาดสำหรับใส่วัตถุดิบ
หมายเลข 10	เทอร์มินอลแบบใส่ราง (Terminal Rail)
หมายเลข 11	ฐานเตาอบลมร้อน
หมายเลข 12 -15	โครงสร้างและบานประตู
หมายเลข 16	ชุดควบคุม (Control Unit)



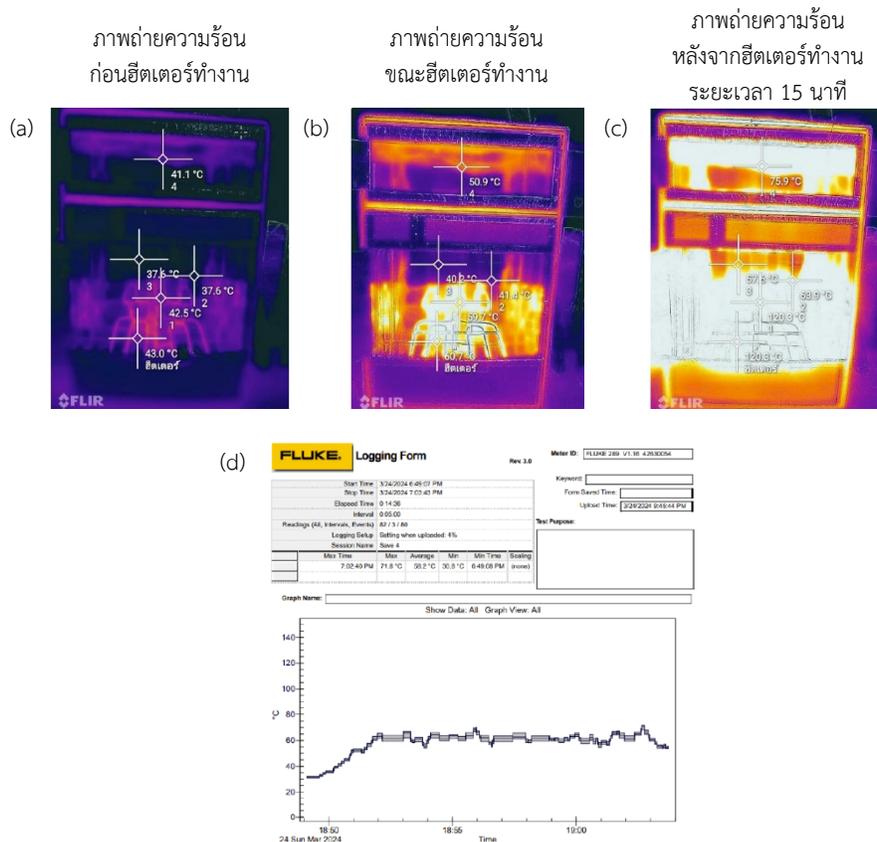
รูปที่ 2 การติดตั้งเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้



รูปที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้

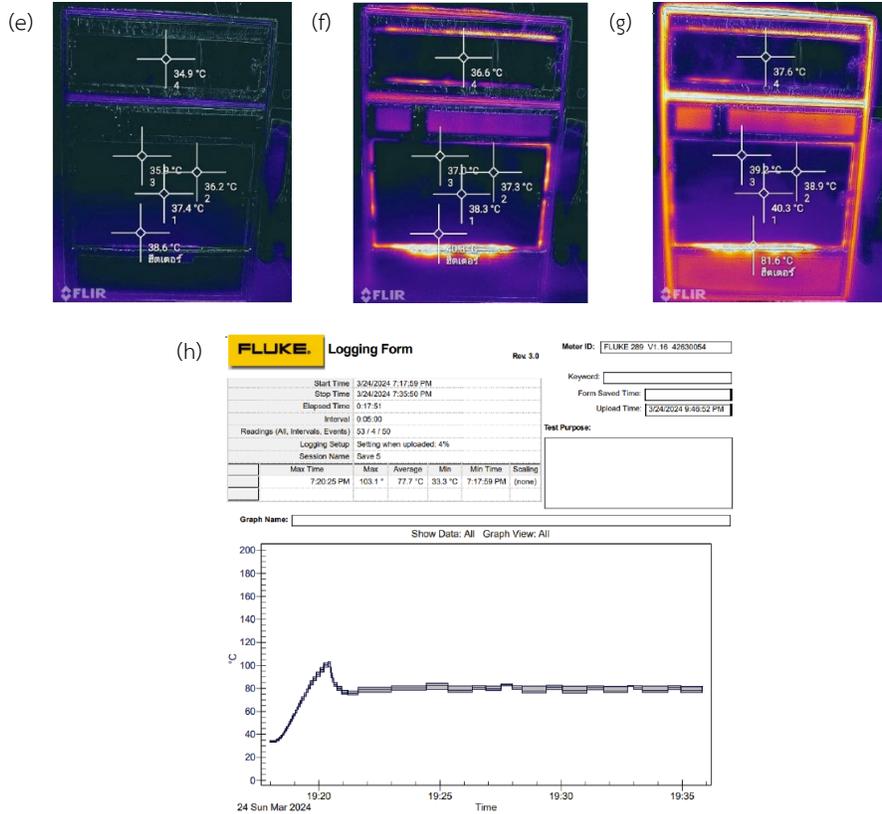
3. ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้



รูปที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการกระจายความร้อนภายในเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ขณะเปิดประตูเตา

- (a) ภาพถ่ายความร้อนก่อนฮีตเตอร์ทำงาน
- (b) ภาพถ่ายความร้อนขณะฮีตเตอร์ทำงาน
- (c) ภาพถ่ายความร้อนหลังจากฮีตเตอร์ทำงาน
- (d) ขณะเปิดประตูเตาอบอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตา



รูปที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพการกระจายความร้อนภายในเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ขณะเปิดประตูเตา

(a) ภาพถ่ายความร้อนก่อนฮีตเตอร์ทำงาน (b) ภาพถ่ายความร้อนขณะฮีตเตอร์ทำงาน

(c) ภาพถ่ายความร้อนหลังจากฮีตเตอร์ทำงาน (d) ขณะเปิดประตูเตาอบอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตา

จากการออกแบบและสร้างเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ ที่มีน้ำหนักเบา สามารถขนย้ายและติดตั้งได้ง่าย แหล่งพลังงานความร้อนฮีตเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุดต่ออนุกรมกับชุดพัดลมทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลเวียน ความร้อนภายในห้องอบ การทดสอบประสิทธิภาพกำหนดให้ควบคุมอุณหภูมิห้องผสมที่ 80 องศาเซลเซียส และพัดลมทำงาน เมื่ออุณหภูมิห้องผสมที่ 75 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ขณะเปิดประตูเตาอบ และ 2) ขณะปิดประตูเตาอบ ภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องความร้อน ทำการวัดอุณหภูมิความร้อน 5 ตำแหน่ง คือ (1) ด้านบน 1 ตำแหน่ง (2) ส่วนกลาง 3 ตำแหน่ง และ (3) ฮีตเตอร์ 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 4 จากผลการทดลองพบว่า 1) ขณะเปิดประตูเตาอบ เมื่อฮีตเตอร์ ทำงานสีแสดงความร้อนที่วัดโดยแสดงสีน้ำเงิน-สีแดง (อุณหภูมิต่ำ-อุณหภูมิสูง) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 15 นาที พบว่าภายใน เตาอบลมร้อนแสดงสีม่วงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และจากภาพแสดงให้เห็นว่าความร้อนเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากฮีตเตอร์แพร่กระจายโดยมีอุณหภูมิภายในห้องผสมใกล้เคียงกันในเตาอบลมร้อน แต่ที่บริเวณฮีตเตอร์พบว่าแสดง สีแดง วัดอุณหภูมิได้ 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้บริเวณห้องผสมส่วนบนมีอุณหภูมิเป็นอันดับรองลงมาเป็นอันดับที่สอง เนื่อง ด้วยบริเวณด้านบนของเตาอบลมร้อนที่มีการบุด้วยฉนวนกันความร้อน (M-PE) ทำให้เกิดความร้อนสะสมบริเวณด้านบนของเตา จากผลการวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องอบไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีอากาศไหลผ่านจากเปิด-ปิดประตู จากรูปที่ 4 (d) แสดงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาอบลมร้อน อยู่ระหว่าง 60 – 79 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการทดสอบประสิทธิภาพ รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพของเตาอบลมร้อนขณะปิดเตาพบว่าบริเวณบานประตูเตาอบลมร้อน สามารถป้องกันการถ่ายโอน

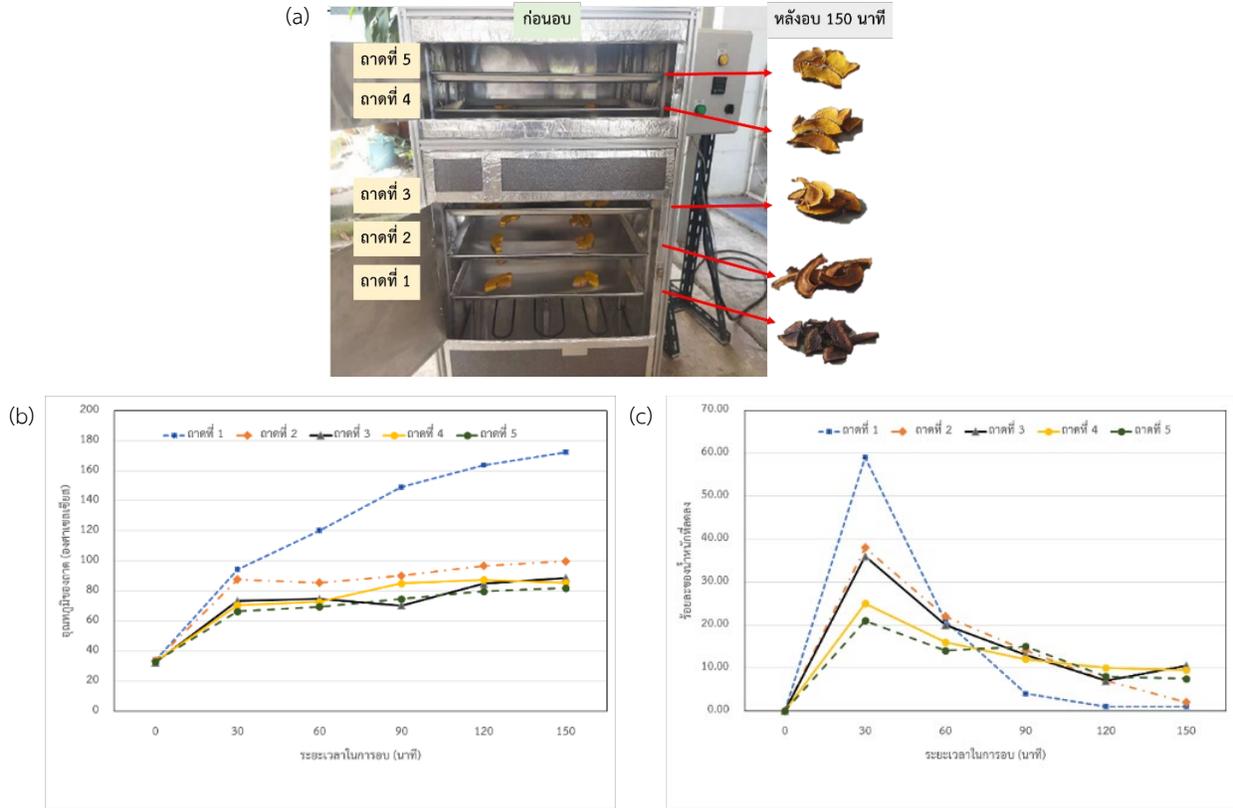
ความร้อนจากภายในเตาอบสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก พบว่าบริเวณพื้นผิวของบานประตู แสดงอุณหภูมิระหว่าง 37 – 40 องศาเซลเซียส และจากข้อมูลในรูปที่ 5 (d) แสดงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาอบลมร้อน 100 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 10 นาที และเมื่อถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ชุดควบคุมสั่งงานให้พัดลมหมุนส่งผลให้ความร้อน สามารถกระจายอย่างสม่ำเสมอในเตาอบลมร้อน แสดงข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาอบมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ที่อุณหภูมิ 80 ± 3 องศาเซลเซียส

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ในการอบวัตถุดิบ

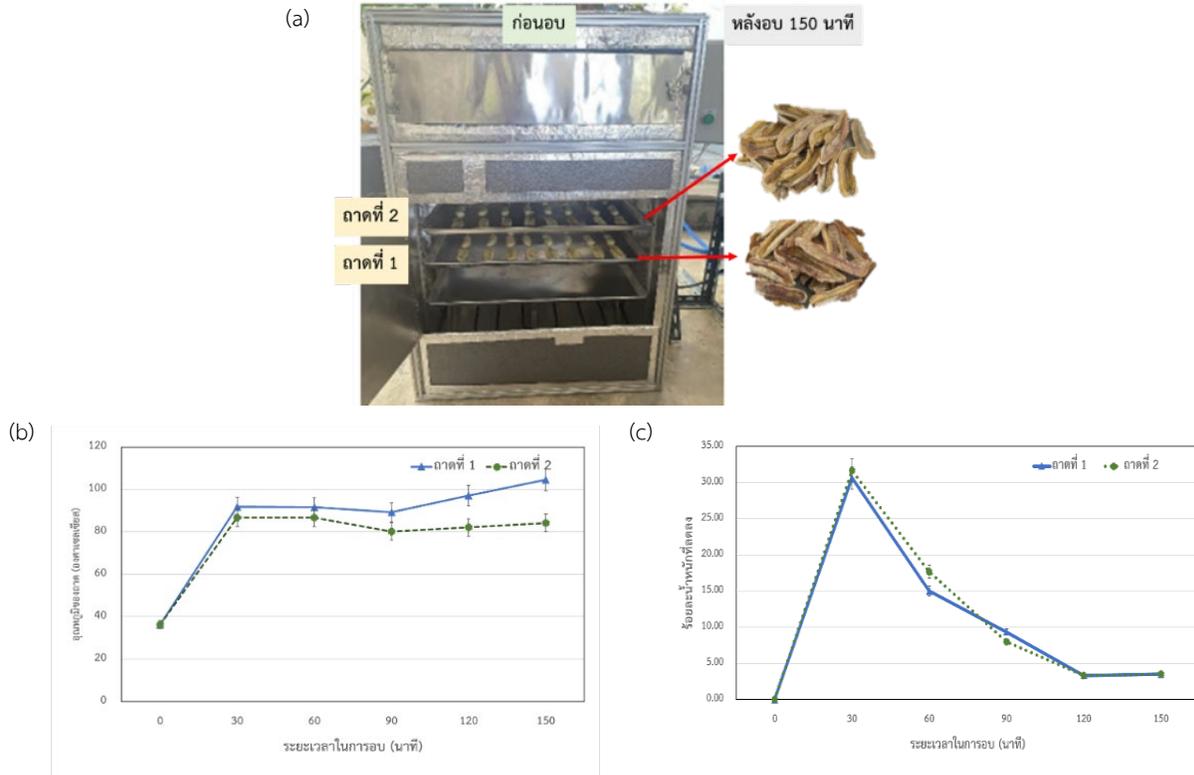
การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ โดยศึกษาการอบวัตถุดิบจากฟักทองและกล้วยน้ำว้า โดยกำหนดอุณหภูมิการอบ 90 องศาเซลเซียส และพัดลมเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องผสมเป็น 85 องศาเซลเซียส โดยทำการวัดความร้อนและชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ ทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 150 นาที สามารถปรับตำแหน่งของการแขวนถาดได้ ในการทดลองนี้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างถาดแต่ละชั้นเท่ากับ 15 เซนติเมตร โดยห้องผสมส่วนกลาง จำนวน 3 ถาด พัดลมสำหรับพาความร้อน และห้องผสมส่วนบน จำนวน 2 ถาด

การทดลองที่ 1 นำฟักทองหั่นเป็นแผ่นบาง ความหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงในถาดดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อฮีตเตอร์ทำงานส่งผลให้อุณหภูมิของภายในเตาอบเพิ่มสูงขึ้น จากการวัดความร้อนบนพื้นผิวของถาด พบว่าถาดที่ 1 มีอุณหภูมิสูงที่สุดและอุณหภูมิสะสมสูงกว่าถาดอื่น ๆ (ตำแหน่งวางเหนือฮีตเตอร์ 15 เซนติเมตร) อุณหภูมิของถาดจะลดลงตามระยะห่างของถาดกับฮีตเตอร์ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักฟักทองทุก 30 นาที พบว่าร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของฟักทองในแต่ละถาด ถาดที่ 1 แสดงอัตราการย่อยของน้ำหนักลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นถาดที่ 2 และถาดที่ 5 ตามลำดับ และเมื่อทำการอบต่อไปพบว่าร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปลดลงและมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงกล่าวคือความชื้นของฟักทองลดลงและมีความชื้นคงที่ เมื่อพิจารณาภาพถ่ายของฟักทองหลังจากอบลมร้อนเป็นระยะเวลา 150 นาที สีของฟักทองแตกต่างกัน โดยถาดที่ 1 พบว่าฟักทองมีเป็นสีน้ำตาลไหม้ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความร้อนสูงสุดเนื่องจากใกล้แหล่งพลังงานความร้อน ถาดที่ 2 ฟักทองเป็นสีน้ำตาล และสีของฟักทองเป็นสีเหลืองในถาดที่ 3 ถาดที่ 4 และ ถาดที่ 5

การทดลองที่ 2 ทดสอบการอบลมร้อนกล้วยน้ำว้าหั่นเป็นแผ่น ความหนาประมาณ 3 – 5 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงในถาดดังแสดงในรูปที่ 7 คือ จากการศึกษาในการทดลองที่ 1 พบว่าตำแหน่งการวางถาดควรจะมีระยะห่างจากฮีตเตอร์ 15 เซนติเมตร จึงเป็นที่มาของการกำหนดตำแหน่งของถาดที่ 1 ห่างจากฮีตเตอร์ 30 เซนติเมตร และถาดที่ 2 ห่างจากฮีตเตอร์ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิของถาดในห้องอบพบว่าถาดที่ 1 และถาดที่ 2 มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการอบและความร้อนระหว่างสองถาดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิของถาดลดลงตามระยะห่างระหว่างถาดกับฮีตเตอร์ นอกจากนี้การชั่งน้ำหนักของกล้วยน้ำว้า พบว่า กล้วยน้ำว้ามีร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ระยะเวลา 30 นาทีแรก อัตราร้อยละของน้ำหนักลดลงของฟักทองถาดที่ 1 มากที่สุด และถาดที่ 2 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปลดลงและกราฟแสดงเป็นเส้นตรง ทั้งนี้จากอบกล้วยน้ำว้าพบว่าสีของกล้วยในถาดที่ 1 และถาดที่ 2 มีสีใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 ทดสอบการอบฟักทอง (a) ภายในเตาอบลมร้อน (b) อุณหภูมิของถาด (c) ร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง



รูปที่ 7 ทดสอบการอบกล้วยน้ำว้า (a) ภายในเตาอบลมร้อน (b) อุณหภูมิของถาด (c) ร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง

4. สรุป

การออกแบบและทดสอบเตาอบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ (Knock-down Hot Air Oven) ที่มีคุณสมบัติน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายและติดตั้งได้สะดวก โดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ร่วมกับพัดลมเกรดอุตสาหกรรมเพื่อควบคุมการไหลเวียนของ ความร้อน ผลการทดลองแบ่งออกเป็นการทดสอบขณะเปิดและปิดประตูเตาอบ พบว่าในขณะที่เปิดประตู อุณหภูมิในห้องอบ เปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอ โดยฮีตเตอร์มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 120 องศาเซลเซียส ส่วนในขณะที่ปิดประตู อุณหภูมิในห้องอบสามารถ เพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส ภายใน 10 นาที และรักษาอุณหภูมิที่ 80 ± 3 องศาเซลเซียส ได้อย่างสม่ำเสมอ ประตูเตาอบช่วยลด การถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก โดยอุณหภูมิมิบริเวณประตูอยู่ระหว่าง 37 – 40 องศาเซลเซียส การทดลองอบวัตถุดิบพบว่า ฟักทองในถาดใกล้ฮีตเตอร์มีอุณหภูมิสูงสุดและแห้งเร็วที่สุด โดยสีของฟักทองแตกต่างกันตามระยะห่างจากฮีตเตอร์ นอกจากนี้ผล จากการอบกล้วยน้ำว้าพบว่า น้ำหนักของกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และสีของกล้วยในถาดใกล้ ฮีตเตอร์มีความใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าตำแหน่งของถาดและการควบคุมอุณหภูมิส่งผลต่อประสิทธิภาพการอบ โดยเตาอบที่ ออกแบบสามารถรักษาอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลาง โดยต้นทุนการผลิตเตา อบลมร้อนแบบถอดประกอบได้ ประมาณ 6,500 บาทกับที่ongตลาด

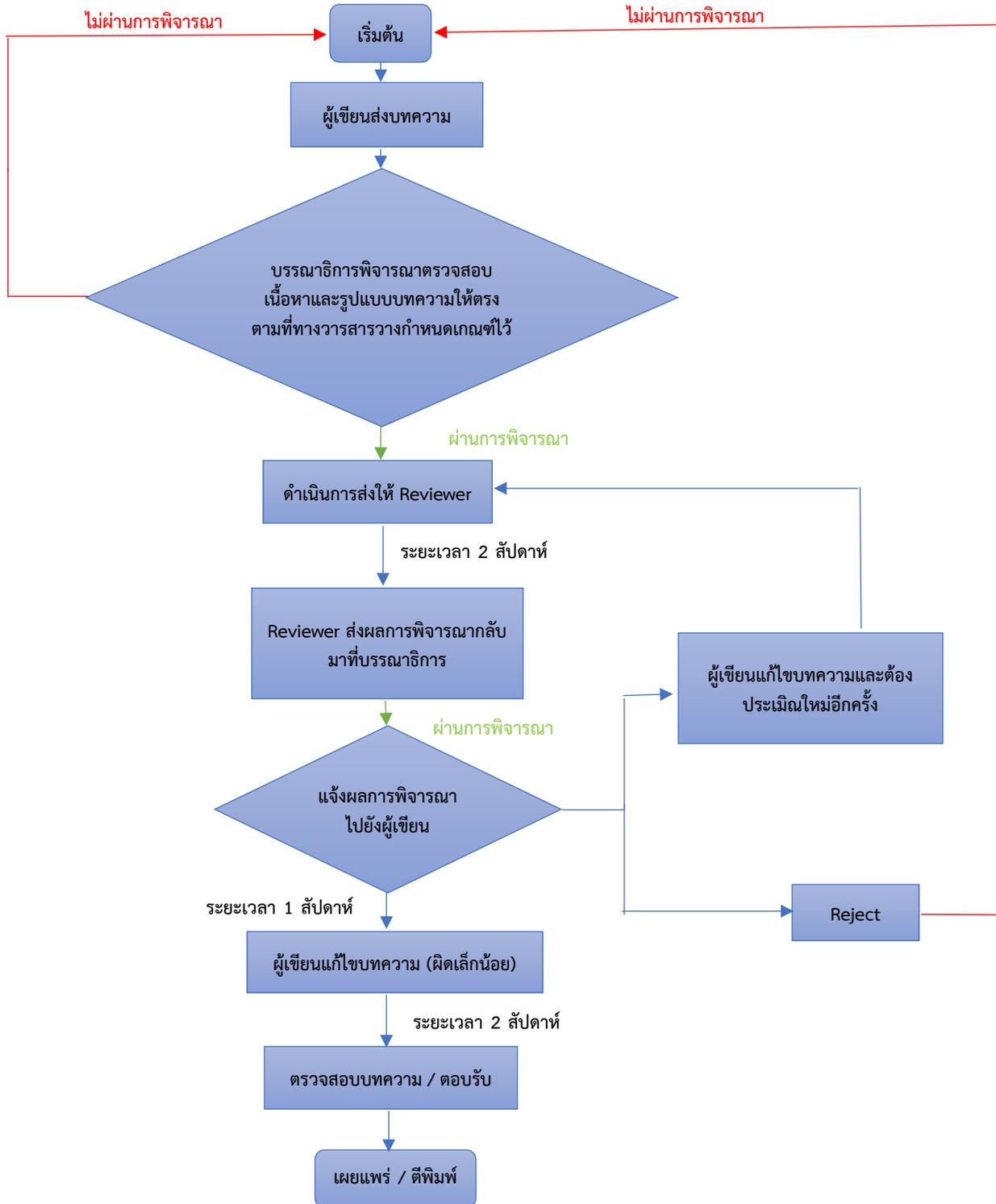
5. กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Science Publishing Group, “Design and construction of hybrid gas-electric drying ovens,” *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 95–103, 2023.
- [2] K. Sukramul, C. Chaiyanam, S. Phatthorn, S. Boonchuwit, U. Phosuwan, and N. Sukpaiboon, “Development of Biomass Energy Dryer with Electric Coil,” *Journal of Science Technology and Innovation*, Suan Sunandha Rajabhat University, vol. 12, no. 1, pp. 79–92, 2024.
- [3] W. Monatrakul, “Design and construction of a rotating tray hot air oven for commercial use”, *Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 91–100, 2019.
- [4] W. Monatrakul, S. Passago, P. Wengsungnern, and P. Siripiyasingh, “Design and Development of a Rotary Tray Hot Air Dryer for Commercial Dry Food Production,” *Journal of Farm Engineering and Automatic Control Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 49–59, 2018.
- [5] T. Khunkaew, and S. Chanchay, “Development of a small-scale solar dryer for household use: a preliminary study of performance and simulation,” *Master's thesis, Department of Physics, Silpakorn University*, 2018.
- [6] N. Krajang, “Drying of turmeric using a hot air dryer with infrared radiation”, *Master's thesis, Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University*, 2017.
- [7] C. Phromnuen, and P. Noojun, “Knockdown Hot Air Oven,” *Thesis, Bachelor of Engineering Program, Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering*, 2023.
- [8] S. Jaidee, “Development of portable solar dryer for household use,” *Research and Development Journal*, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, vol. 8, no. 2, pp. 45–55, 2021.
- [9] P. Saetang, and S. Krachotnok, “Performance study of wind tunnel solar dryer using volcanic rock as heat collector,” in *Proceedings of the 5th Academic Conference*, Naresuan University, pp. 514–519.

ขั้นตอนการตีพิมพ์ลง วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ



แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ข้าพเจ้า นาย นาง นางสาว อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

อาจารย์ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

โทรศัพท์ที่ทำงาน..... โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร..... อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ ทำการลงทะเบียนและส่งวารสารในเว็บไซต์ <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/jMMT/index>
เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM

FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF MANUFACTURING AND MANAGEMENT TECHNOLOGY

Title Mr. Ms. Others (Please specify).....

Name-Surnames

Academic Positions (Please specify) Professor Associate Professor Assistant Professor Lecturer Others

(Please specify).....

Address (for Contact).....

.....

Office Phone Number.....Mobile Phone Number.....

Fax Number.....E-mail.....

Name of Article:.....

.....

Submission Checklist Already register and submit on <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/jmmt/index>

The days of Online Submission.....

I promise this article belongs to me and co-authors as the name indicated in the article. In addition, this article has not been previously published on another journal. Furthermore, I will not submit this article on another journal within 60 days from the day of my submission on the JOURNAL OF MANUFACTURING AND MANAGEMENT TECHNOLOGY.

Sign

(.....)

...../...../.....



สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดย

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ ๖/๒๕๖๕ ที่ตั้ง : อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail : rnmt@en.rmutt.ac.th