

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมตอบสนองในการซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ผ่านตลาดดิจิทัล
เพิ่มศักดิ์ พันธะแดง ธนกิจ ธารามิ และดุขุฎิ บุญธรรม
- การทดสอบหาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุขึ้นส่วนประกอบเครื่องบินด้วยวิธีการหล่อวน
ฤทธิชัย เทาเนียม สมชาย วนไทยสงค์ และจักรพันธ์ ชาระ
- การออกแบบและพัฒนานาอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบพาเลทไม้ : กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดลัทธิสัทธาการคำ
สมควร แววดิ พันธุ์พงษ์ คงพันธ์ ปรกช สิริสุวัณณ์ เฉลิมศักดิ์ กาวธวัธ และชวลิต อินปัญญา
- การออกแบบระบบถังใส่ขยะอันตรายเพื่อกำจัดแบคทีเรียด้วยรังสียูวีซี
วสุรัตน์ บุญเพ็ง จงกล สังข์อ่วม ศิริลักษณ์ กลิ่นสุคนธ์ ปิยะกรรณ์ ธกจันทร์ จารุพัฒน์ โพธิ์สาพัฒน์ ขาดิชาย สีลาสิริวิไล และสรายุณี สิริเกษมสุข
- การศึกษาพฤติกรรมการศึกษาหรือระหว่างหน้าสัมผัสลึกลับบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77
ศุภักษร ศิลาออย ปริญญญา ศรีสัตยกุล ภาณุเดช แสงสีดา สุธรรม ศิวาวุธ โอริส มณีสาย และปานธิธิ เรืองศรี
- อิทธิพลของปัจจัยสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมผสม AA5083 กับ AA6061 โดยมีวัสดุเสริมแรงในแนวเชื่อม
รุ่งวสินต์ ไกรกลาง อากา เชื้อดี สุรพจน์ วัชรภาณุกุล สุรัตน์ วรรณศรี ภูมิสิทธิ์ สันติ และธนศักดิ์ รัตนพุกพรพูนุส
- การปรับปรุงประสิทธิภาพโกลจิติกส์ในโรงงานผลิตกล่องกระดาษ
หฤทัยรัตน์ จันทะกาด กำพล ห่วงลิ้มกุล สมควร สงวนแพง สุจิตตา หงษ์ทอง และพีรวัตร ลือสีก
- ผลกระทบของการใช้เพื่อช่วยพวยผู้ป่วยอัมพาตต่อความเมื่อยล้าของผู้ดูแล
ธยา ภิมรัมย์ โสภิตา จรเด่น และวรรณพร ชีววุฒิพงษ์
- ผลของความเร็วในการเชื่อม CMT ที่มีต่อสมบัติทางกลและความสามารถในการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมผสม AA5052
ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ นิวัฒน์ บุญแก้ว และพิสิทธิ์ เมืองน้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมการตอบสนองในการซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ ผ่านตลาดดิจิทัล	1
The Relationship between Marketing Factors and Response Behavior in Purchasing OTOP Products from Phrae Province through Digital Markets โดย : เพิ่มศักดิ์ พันธะแสง ธนกิจ ภาพิน และ ดุษฎี บุญธรรม	
การทดสอบหาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินด้วยวิธีกระแสไหลวน	12
Electrical Property Testing of Aircraft components by Eddy-Current Testing โดย : ฤทธิชัย เกาเนียม สมชาย วนไทยสงค์ และ จักรพันธ์ ชาระ	
การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบพาเลทไม้ : กรณีศึกษาทางหุ่นส่วนจำกัดสิทธิ์การค้า	21
Design and Development of Jigs for Assembly of Wooden Pallets : Case Study of Latthasit Part., Ltd. โดย : สมควร แววดี พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์ พรกษ สิริสุวัฒน์ เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร และ ขวลิศ อินปัญญา	
การออกแบบระบบถังใส่ขยะอันตรายเพื่อกำจัดแบคทีเรียด้วยรังสียูวีซี	30
Designing a Hazardous Waste Bin System to Eliminate Bacteria with UVC โดย : วสุรัตน์ บุญเพ็ง จงกล สังข์อ่วม ศิริลักษณ์ กลิ่นสุคนธ์ ปิยภรณ์ รถจันทร์ จารุพัฒน์ โพธิสาพัฒน์ ชาติชาย สีสาสีวิไล และ สราวุฒิ สิริเกษมสุข	
การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างหน้าสัมผัสบล็อกบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77	41
Wear Behavior of between Block on Ring by ASTM G77 Standard โดย : ศุภพร ศิลาลอย ปริญญญา ศรีสัตยกุล ภาณุเดช แสงสีดา สุธรรม ศิวาภูธ โอริส มณีสาย และ ปาณิธิ เรืองศรี	
อิทธิพลของปัจจัยสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมผสม AA5083 กับ AA6061	50
โดยมีวัสดุเสริมแรงในแนวเชื่อม Influence Of Factors for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys AA5083 and AA6061 With Reinforcing Material in The Weld Line โดย : รุ่งวสันต์ ไกรกลาง ฉากาจ เชื้อดี สุรพจน์ วัชรโรภากุล สุรัตน์ วรรณศรี ภูมิสิทธิ์ สันติ และ ธนศักดิ์ รัตนพุทธพิบูล	

โดย : ฤทัยรัตน์ จันทะคาด กำพล หว่างลีสกุล สมควร สงวนแพง สุจิตตา หงษ์ทอง และ พีรวัตร ลือสัก

ผลกระทบของการใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพาตต่อความเมื่อยล้าของผู้ดูแล

72

The Effect of Using Supportive Vests for Paralyzed Patients on Caregivers' Fatigue

โดย : ธยา ภิรมย์ โสภิตา จรเด่น และ วรธนพร ชีวภูมิพงศ์

ผลของความเร็วในการเชื่อม CMT ที่มีต่อสมบัติทางกลและความสามารถในการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมผสม AA5052

84

Effect of CMT Welding Speed on Mechanical Property and Formability of Aluminium Alloy AA5052MT

โดย : ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ นิวัฒน์ มูแก้ม และ พิสิทธิ์ เมืองน้อย



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ แสง-ชูโต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

ราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทสายัน นราพินิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูแก้ม

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รัตนโกสินทร์ วังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนณะ ศรีสระคู

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ดร.มนตรี แสงสุริยันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอนแก่น

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กั้วหน้า 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
Suvannabhumi

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 2 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม ปีพุทธศักราช 2566 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 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งตั้งแต่ละท่านจะไม่มีการเปิดเผยชื่อกันและกันตลอดกระบวนการตรวจสอบบทความ (Double-blind review)

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



รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุขฎิ บุญธรรม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อธิณิลิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พชร ชาคะวธิ	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูไฮดี สนิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติ หมอรักษา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยีวิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ประจักษ์ จิตกุล	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยีวิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ภูริพัส แสนพงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เนรัญชลา กำไลทอง	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัดณ์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พชรพล ตันทวีรุฬห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณ เนืองมัจฉา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แมน ดุ้ยแพร่	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา วัฒนภา

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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
Asst. Prof. Dr.Pachara Chatavithee	Faculty of Economics, Khon Kaen University
Asst. Prof. Suhaidee Sani	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Asst. Prof. Thiti Mhoraksa	Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
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. 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
Asst. Prof. Dr.Phacharaphon Tunthawiroon	Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.Woraya Neungmatcha	Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Asst. Prof. Dr.Man Tuiprae	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Reviewers

Mr. Suttipong Jumroonrut	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Anucha Watanapa	Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Suppawat Chuvaree	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst. Prof. Dr. Porakoch Sirisuwan	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมการตอบสนองในการซื้อ สินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ผ่านตลาดดิจิทัล

The Relationship between Marketing Factors and Response Behavior in Purchasing OTOP Products from Phrae Province through Digital Markets

เพิ่มศักดิ์ พันธะแดง¹ ธนกิจ ถาหมี^{2*} และ ดุษฎี บุญธรรม³

¹คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมืองอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

²ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ แพร่ อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ 54110

³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมืองอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

Paumsak Pantang¹ Tanakij Thamee^{2*} and Dussadee Buntam³

¹Faculty of Management Sciences, Uttaradit Rajabhat University Muang district, Uttaradit 53000

²Queen Sirikit Sericulture Center (Phrae) Denchai district, Phrae 54110

³Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University Muang district, Uttaradit 53000

Corresponding author E-mail: tanakij.t@qsds.go.th*

(Received: February 17, 2023; Revise: November 19, 2023; Accepted: November 27, 2023)

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์การระบาดของโรค Covid-19 ทำให้พฤติกรรมของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีการใช้วิถีชีวิตต่าง ๆ ผ่านระบบออนไลน์ทำให้เกิดการค้าในระบบตลาดสินค้าแบบออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์มต่าง ๆ อย่างมากมาย จึงทำให้เกิดการศึกษาเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมการตอบสนองในการซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ผ่านตลาดดิจิทัล โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคจากช่องทางการสื่อสารการตลาดดิจิทัลในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ และเพื่อศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมการตอบสนองในการซื้อสินค้าทางสื่อออนไลน์ของผู้บริโภคกับสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มที่เคยซื้อสินค้าโอท็อป และเป็นผู้ที่เคยซื้อสินค้าออนไลน์ โดยใช้แบบสอบถามผ่านระบบออนไลน์ จำนวน 420 คำตอบ จากนั้นนำข้อมูลวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติต่าง ๆ การหาค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์มัน และพหุถดถอยเชิงเส้น ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการตอบสนองของผู้บริโภคโดยใช้ AIDA model ผู้บริโภคมีผลการตอบสนองโดยรวมในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านความตั้งใจอยู่ในระดับมาก ระดับความสนใจอยู่ในระดับมาก ระดับความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด และระดับความการตัดสินใจซื้ออยู่ในระดับมากที่สุด และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด

คำสำคัญ: โอท็อป จังหวัดแพร่ การตอบสนองของผู้บริโภค การตัดสินใจซื้อ ส่วนผสมทางการตลาด

Abstract

The covid-19 pandemic outbreak situation, the consumers have changed behavior from normal lifestyle. They have increasingly adopted online lifestyles. As a result, online trade has expanded across various platforms. Therefore, resulting in the study of the relationship between marketing factors and response behavior in buying OTOP' Phrae products through digital market. The objective of this research is study consumer behavior from digital marketing communication channels in making decision to buy OTOP products in Phrae Province and study the relationship between marketing factors and response behavior in online shopping of consumers with OTOP products, Phrae Province. This research is a quantitative research. The samples have collected information from groups who used to buy OTOP products and who used to buy products online. An online questionnaire was used with 420 answers. Then the data were analyzed using various statistics, frequency, percentage, mean, standard deviation, Pearson correlation coefficient and linear multiple regression. The study found that the consumer response process, evaluated using the AIDA model, indicated that consumers had an overall high level of response when making decisions to purchase OTOP products. As for the Attention and Interest stages, they were at a high level. The Desire and Action stages for purchase decisions were at the highest level. Regarding the results of the hypothesis test, it was found that consumers of different ages, education levels, occupations, and incomes have different response processes at a statistically significant level of 0.05. All aspects of marketing mix factors have a positive correlation with the response process of consumers' decisions to purchase OTOP products at a statistically significant level of 0.05. The product factor, the price factor, and the promotion factor affects the response process factors for the consumer purchases.

Keywords: OTOP, Phrae Province, Consumer Response Process, Purchase Decision, Marketing Mix

1. ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส Covid-19 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 ส่งผลกระทบต่อทุกภาคส่วน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้ใช้มาตรการล็อกดาวน์ มาตรการให้เว้นระยะห่างทางสังคม (Social Distancing) งดกิจกรรมทางสังคม และเน้นการอยู่ที่พักอาศัยของตนให้มากที่สุด การทำงานที่บ้าน เพื่อเป็นการยับยั้งและป้องกันการแพร่ระบาด ด้วยเหตุนี้ผู้คนไม่สามารถดำเนินชีวิตได้ตามปกติ เกิดการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมของผู้คน หลายคนจำเป็นต้องหันมาเรียนรู้พึ่งพาช่องทางออนไลน์ในการใช้ชีวิต สิ่งต่าง ๆ ล้วนเป็นประสบการณ์ใหม่ที่ไม่เคยเกิดขึ้นมา [1-2] ที่ผลักดันให้รูปแบบการใช้ชีวิตของผู้คนเปลี่ยนไป และการเข้าถึงของอินเทอร์เน็ตที่มีมากขึ้น ทำให้รูปแบบการซื้อขายสินค้าหันมาใช้ E – Commerce สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ผลสำรวจมูลค่าอีคอมเมิร์ซในประเทศไทย ปี 2563 เท่ากับ 3.78 ล้านล้านบาท ซึ่งลดลงจาก ปี 2562 ที่มีมูลค่า 4.05 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 6.68 เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 ทำให้มีมาตรการจำกัดการเดินทางระหว่างประเทศและภายในประเทศ รวมถึงมาตรการ Work from Home ซึ่งสร้างผลกระทบทางลบต่ออุตสาหกรรมบริการให้ข้อมูลที่พัสดุอุตสาหกรรมขนส่ง และอุตสาหกรรมการผลิตเป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมการค้าปลีกและการค้าส่งยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของคนไทยที่นิยมซื้อสินค้าและบริการออนไลน์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ มูลค่าอีคอมเมิร์ซในปี 2564 คาดการณ์ว่าจะมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่องภายหลังจากการฟื้นตัวจากสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 เป็น 4.01

ล้านล้านบาท หรือเติบโตร้อยละ 6.11 จากปี 2563 โดยคาดการณ์อัตราการเติบโตเฉลี่ยสะสมปี 2560 ถึง 2564 อยู่ที่ร้อยละ 9.79 [3]

รายได้เฉลี่ยต่อหัวต่อปีของประชากรจังหวัดแพร่ เท่ากับ 64,883 บาท จัดเป็นอันดับที่ 65 ของประเทศ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และจากยุทธศาสตร์ที่สำคัญของจังหวัดแพร่ ที่มีการส่งเสริมและพัฒนาให้เกิดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและการแก้ไขปัญหาความยากจนและกระจายรายได้ ประกอบด้วย ยุทธศาสตร์การพัฒนามลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ หรือ OTOP วิสาหกิจชุมชน SMEs อนุรักษ์ส่งเสริมวัฒนธรรมและพัฒนากาท่องเที่ยวฯ และพัฒนาส่งเสริมการเกษตรปลอดภัยและอุตสาหกรรมเกษตร การพัฒนาที่ยั่งยืน แนวทางการพัฒนาจังหวัดที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน นำมาประยุกต์ผสมผสานกับเทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทของเศรษฐกิจและสังคมโลกสมัยใหม่ ผู้วิจัย ได้ศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน จังหวัดแพร่ พบว่า กลุ่มวิสาหกิจชุมชน มีปัญหาอุปสรรคในการจัดการธุรกิจตลอดห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ จากปัญหาดังกล่าว ได้นำศาสตร์ด้านบริหารธุรกิจมาเป็นแกนหลักในการแก้ปัญหาและพัฒนาการจัดการธุรกิจให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชนตลอดห่วงโซ่อุปทาน โดยบูรณาการร่วมกับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อลดต้นทุนและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น ปัญหาที่มักพบของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน คือ การรวมตัวกัน ของกลุ่มชาวบ้านที่ยังขาดความรู้ ในด้านการตลาด ทั้งทางด้านการสื่อสารการตลาด การขายและความรู้ทางเทคโนโลยี ซึ่งในปัจจุบันการขายสินค้า การโฆษณาประชาสัมพันธ์ต่าง ๆ มักปรับเปลี่ยนรูปแบบไปใช้สื่อทางอินเทอร์เน็ตมากขึ้น จากการสำรวจพบว่าวิสาหกิจชุมชนมีการจำหน่ายสินค้าดิจิทัลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหากทราบถึงปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่สามารถสนับสนุนและกระตุ้นให้เกิดการซื้อขายสินค้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ผู้ประกอบการโอท็อปสามารถจำหน่ายสินค้าผ่านตลาดดิจิทัลเพิ่มขึ้นได้

ส่วนประสมทางการตลาดมีบทบาทสำคัญในกลยุทธ์การตลาด โดยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลในการสร้างความตระหนักรู้และความนิยมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หรือบริการที่นำเสนอในตลาด ส่วนประสมทางการตลาดประกอบด้วย 1) ด้านผลิตภัณฑ์ (Product) หมายถึงเป็นสิ่งที่สนองความจำเป็นและความต้องการของมนุษย์ 2) ราคา (Price) หมายถึงคุณค่าผลิตภัณฑ์ในรูปตัวเงินลูกค้าจะเปรียบเทียบระหว่างคุณค่า (Value) ของสินค้ากับราคา (Price) ของสินค้านั้น ๆ ถ้าคุณค่าสูงกว่าราคาลูกค้าจะตัดสินใจซื้อ การกำหนดราคาที่เหมาะสมเพื่อสร้างความคุ้มค่าและพอใจให้กับผู้บริโภค 3) ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) หมายถึง กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบรรยากาศสิ่งแวดล้อมในการนำเสนอสินค้าให้แก่ลูกค้า ซึ่งมีผลต่อการรับรู้ของลูกค้าในคุณค่าและคุณประโยชน์ของบริการที่นำเสนอ ซึ่งจะต้องพิจารณาในด้านทำเลที่ตั้ง (Location) และช่องทางในการนำเสนอบริการ (Channels) 4) การส่งเสริมการขาย (Promotions) เป็นเครื่องมือหนึ่งในการสื่อสารผ่านสื่อต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูล และชักจูงผู้บริโภคให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านความคิด ความรู้สึก และพฤติกรรม ไปจนทำให้ผู้บริโภคเกิดความตั้งใจในการซื้อ [4-5] โดยส่วนประสมทางการตลาดมีบทบาทที่สำคัญที่จะทำให้สินค้าโอท็อปเป็นที่ต้องการและสามารถตอบสนองความต้องการผู้บริโภคได้

พฤติกรรมตอบสนองในการซื้อของผู้บริโภค หรือแบบจำลองไอด้า (AIDA model) เป็นพฤติกรรมการแสดงลำดับขั้นตอนในการตัดสินใจซื้อสินค้าของลูกค้า โดยแนวคิดที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้ในการสร้างแรงดึงดูดและความสนใจจากลูกค้า เพื่อกระตุ้นและสร้างความต้องการสินค้า จนนำไปสู่การตัดสินใจซื้อสินค้า แบบจำลองไอด้านี้ สามารถปรับใช้ได้กับการตลาดดิจิทัล เช่น การทำการตลาดผ่านสื่อสังคมออนไลน์ [6] แบบจำลองไอด้าประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ 1) กระตุ้นความสนใจ (Attention) เป็นการดึงดูดความสนใจของลูกค้าต่อสินค้าหรือบริการ มีความสำคัญที่จะทำให้ผู้บริโภคมีการตอบสนองต่อข้อมูลและการโฆษณา 2) ความสนใจ (Interest) การทำให้ลูกค้ามีความสนใจและเข้าใจถึงข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสินค้าหรือบริการ การสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะและประโยชน์ของสินค้า 3) ความปรารถนา (Desire) การสร้างความปรารถนาให้กับลูกค้าที่

จะมีความตั้งใจที่จะเสนอและซื้อสินค้าหรือบริการ. การเน้นประโยชน์ที่สำคัญและคุณค่าที่สินค้านั้น ๆ นำเสนอ 4) การตัดสินใจ (Action) ขั้นตอนสุดท้ายที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าหรือบริการ การเป็นการแปลงความคิดเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ การวัดพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของลูกค้าโดยใช้ AIDA model ช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์และปรับกลยุทธ์การตลาดได้ตรงจุด และนำมาใช้วัดผลและประเมินการตัดสินใจซื้อของลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ [7]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยทางการตลาดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจในการซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ผ่านตลาดดิจิทัลหรือช่องทางออนไลน์ เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้นาทรัพยากรภูมิปัญญาในท้องถิ่นมาพัฒนาต่อยอดในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณภาพที่มีจุดเด่นและมูลค่าเพิ่มเป็นที่ต้องการของตลาด สอดคล้องกับวัฒนธรรมและวิถีของท้องถิ่น รวมไปถึงเพื่อใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจในการประกอบธุรกิจและดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการสินค้าโอท็อปในจังหวัดแพร่ให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายได้อย่างเหมาะสมต่อไป ทำให้ธุรกิจชุมชนสามารถเติบโตและแข่งขันได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และใช้รูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) โดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการวิจัยที่มีขอบเขตและรายละเอียด ในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ คือ ผู้ที่เคยซื้อสินค้าโอท็อปของจังหวัดแพร่ และเป็นผู้ที่เคยซื้อสินค้าออนไลน์ แต่เนื่องจากไม่ทราบจำนวนผู้ที่เคยซื้อสินค้าออนไลน์ที่แน่นอน จึงคำนวณใช้สูตร กำหนดขนาดตัวอย่างของ [8] จากการคำนวณขนาดตัวอย่างเท่ากับ 384.16 แต่เพื่อความแม่นยำของข้อมูลในการเก็บตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงเก็บตัวอย่างจำนวน 420 ตัวอย่าง ด้วยวิธีไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามเรื่อง การสื่อสารการตลาดดิจิทัลที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ในยุค Covid-19 ของสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม คำถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยมีลักษณะคำถามแบบให้เลือกตอบ (Check List)

ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ และการรับรู้สื่อโฆษณาในเครือข่ายสังคมออนไลน์ โดยมีลักษณะคำถามแบบให้เลือกตอบ (Check List) และใช้มาตรวัดความคิดเห็น (Likert Scale)

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ประกอบด้วย ความตั้งใจ (Attention) ความสนใจ (Interest) ความต้องการ (Desire) การตัดสินใจซื้อ (Action) ใช้มาตรวัดความคิดเห็น (Likert Scale)

ส่วนที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปของผู้บริโภคในรูปแบบออนไลน์ ใช้มาตรวัดความคิดเห็น (Likert Scale)

3. การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

ก่อนผู้เขียนจะเก็บแบบสอบถามได้มีการทดสอบความเที่ยงตรง (validity) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบสอบถามในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้แบบสอบถามมีประสิทธิภาพมากที่สุด จากการทดสอบหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) โดยการวัดความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) จาก

ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พร้อมแก้ไขปรับปรุงตามที่ได้รับคำแนะนำ และนำข้อมูลมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยคัดเลือกข้อความที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป [9] ซึ่งแบบสอบถามทั้งหมดที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.82-1.00 จากนั้นให้นำแบบสอบถามนี้ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 ชุด จากนั้นนำมาคำนวณหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถาม หากค่าที่ได้มีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป ถือว่าสามารถเชื่อถือได้ และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อนำ แบบสอบถามนี้ไปใช้ได้จริง ผลการทดสอบความเชื่อมั่นจากแบบสอบถาม ได้ดังนี้

ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ และการซื้อสินค้าออนไลน์ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.883

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการตอบสนองของผู้บริโภคในการโฆษณาผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ ประกอบด้วย ความตั้งใจ (Attention) ความสนใจ (Interest) ความต้องการ (Desire) การตัดสินใจซื้อ (Action) ซึ่งแบบสอบถาม มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.703

ส่วนที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปของผู้บริโภคในรูปแบบออนไลน์ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.712

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลต่าง ๆ รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นการค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งเอกสารที่อ้างอิงได้จาก บทความ เอกสาร วิชาการ วารสาร หนังสือ วิทยานิพนธ์ รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ที่มีข้อมูลเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย

3.4.2 แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างด้วยตนเอง โดยนำข้อมูลจากผู้ตอบแบบสอบถามมาวัดการรับรู้สื่อโฆษณาในเครือข่ายสังคมออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปของผู้บริโภค จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน

3.4.3 นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยรวบรวมแบบสอบถามทั้งหมด โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผู้เขียนได้นำข้อมูลจากแบบสอบถามที่รวบรวมได้มาดำเนินการตรวจสอบข้อมูล การลงรหัส การประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS) ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถามโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยใช้ในการวิเคราะห์ ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.5.2 การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ผู้วิจัยเลือกใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product-Moment Correlation Coefficient) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรที่เป็นอิสระจากกัน โดยกำหนดเกณฑ์สำหรับการแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ดังนี้ ถ้าค่า r มีค่ามากกว่า .91 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ถ้าค่า r มีค่ามากกว่า .71-.90 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง ถ้าค่า r มีค่ามากกว่า .31-.70 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง ถ้าค่า r มีค่ามากกว่า .01-.30 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ถ้าค่า r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน และการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อหาอิทธิพลระหว่างตัวแปร

3. ผลการวิจัย

ด้านข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 33.38 ปี มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี ทำงานในส่วนของภาครัฐเป็นข้าราชการหรือพนักงานของรัฐ มีรายได้เฉลี่ยส่วนใหญ่ 10,001 – 20,000 บาท ในด้านพฤติกรรมการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์และการซื้อสินค้าโอท็อป พบว่าส่วนใหญ่ใช้เฟซบุ๊ก เป็นเครือข่ายสังคมออนไลน์หลัก รองลงมาเป็นไลน์ เวลาที่ใช้งานส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 18.00 – 21.00 น. ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เวลาในเครือข่ายสังคมออนไลน์ประมาณ 2-3 ชั่วโมง และมีการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ทุกวัน เหตุผลในการซื้อสินค้าออนไลน์เพราะประหยัดเวลาในการไปซื้อหน้าร้าน ความถี่ในการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ประมาณ 1-2 ครั้งต่อเดือน และซื้อครั้งละประมาณ 2 ชิ้น มีรายจ่ายในการซื้อสินค้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 151 – 200 บาทต่อครั้ง

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อหา รูปแบบและการรับรู้สื่อโฆษณาในเครือข่ายสังคมออนไลน์ พบว่าลักษณะของสื่อที่ชื่นชอบและมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปคือ มีลักษณะข้อความเน้นรายละเอียดและจุดเด่นของสินค้าเป็นหลัก โดยรูปแบบการสื่อสารหลักเป็นสื่ออินเทอร์เน็ต และลักษณะเนื้อหาของวิดีโอที่สนใจมีเนื้อหาที่น่าสนใจต้องมีความกระชับ ชัดเจน เข้าใจง่าย มีเนื้อหาเกี่ยวกับการแนะนำเกี่ยวกับตัวผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ คุณสมบัติ การให้คำแนะนำการใช้

โดยปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดออนไลน์ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด มีผลต่อการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression Analysis) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) การทดสอบสมมติฐานในการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัย หรือตัวแปรต่างๆ ที่ได้ทำการจัดกลุ่มใหม่ เพื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีผลการวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดออนไลน์ที่มีผลต่อการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ทำการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis) แบบขั้นตอน (Stepwise Method) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระหลายตัว ว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด (เชิงบวกหรือเชิงลบ) กับตัวแปรตามและมีระดับความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากน้อยเพียงใด การวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ตัวแปรอิสระทั้งหมด 4 ตัวแปร ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และปัจจัยการส่งเสริมการตลาด ส่วนตัวแปรตามคือ ระดับการตอบสนองของผู้บริโภคในการซื้อสินค้าโอท็อป ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นเกี่ยวกับตัวแปรอิสระได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปร	$\bar{X}$	S.D.
1. การตอบสนองของผู้บริโภค AIDA	4.10	0.61
2. ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์	4.39	0.60
3. ปัจจัยด้านราคา	4.33	0.65
4. ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย	4.46	0.63
5. ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด	4.22	0.67

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้งหมดกับตัวแปรตาม

ตัวแปร	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Y	1	.752*	.780**	.686*	.635*
X ₁		1	.781**	.672*	.621*
X ₂			1	.641	.590*
X ₃				1	.760**
X ₄					1

เมื่อ ตัวแปรตาม	Y	=	ระดับการตอบสนองของผู้บริโภคในการซื้อสินค้าโอท็อป
	a	=	ค่าคงที่
	b _{1...4}	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม
ตัวแปรต้น	X ₁	=	ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์
	X ₂	=	ปัจจัยด้านราคา
	X ₃	=	ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย
	X ₄	=	ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละคู่พบว่าไม่มีตัวแปรอิสระคู่ใดที่มีความสัมพันธ์กันสูงกว่า 0.80 ที่จะก่อให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเอง (Multicollinearity) อันเป็นการละเมิดข้อสมมุติฐานที่กำกับเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุ [10] รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 2 และแสดงผลการ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนของปัจจัยทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ของผู้บริโภคในรูปแบบออนไลน์

ตัวพยากรณ์	b	t	sig
1. ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์	.259	4.653	.000
2. ปัจจัยด้านราคา	.196	4.653	.000
3. ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย	.42	.639	.489
4. ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด	.363	4.653	.000
ค่าคงที่	.582	4.316	.000

$$R = .800 \quad R^2 = .640 \quad SEE = .3713 \quad F = 246.94 \quad \text{sig of } F = .000$$

เขียนสมการถดถอยได้ดังนี้

$$Y = a - b_1x_1 + b_2x_2 + b_4x_4$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับการตอบสนองของผู้บริโภค} &= (0.582) + 0.259 (\text{ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์}) \\ &+ 0.196 (\text{ปัจจัยด้านราคา}) \\ &+ 0.363 (\text{ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด}) \end{aligned}$$

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนปัจจัยทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ของผู้บริโภคในรูปแบบออนไลน์ ทำให้ได้สมการระดับการตอบสนองของผู้บริโภคโดยสามารถสรุปได้ว่า หากต้องการให้มีระดับการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ต้องมีปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ราคา และการส่งเสริมการตลาด โดยที่สามารถอธิบายการผันแปรได้ร้อยละ 64.0 (พิจารณาจากค่า R^2)

4. สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ ผู้วิจัยใช้การวิจัยสืบค้น รวมไปถึงการวิจัยเชิงพรรณนาโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยคัดเลือกเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่เคยซื้อสินค้าโอท็อปของจังหวัดแพร่ และเป็นผู้ที่เคยซื้อสินค้าออนไลน์ จำนวน 420 ตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาประกอบด้วย การหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และสถิติเชิงอนุมานสำหรับการทดสอบสมมติฐาน ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และอิทธิพลระหว่างการปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดกับกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค เพื่อนำมาพิจารณาความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัยของกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคพบว่า ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด มีความสัมพันธ์ต่อการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป ที่พบว่าปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดทุกปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อปในจังหวัดแพร่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [11] ที่ทำการศึกษปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อเครื่องสุสานของผู้บริโภคที่อาศัยในเขตจังหวัดปทุมธานี ที่พบว่าปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดทุกปัจจัยและปัจจัยด้านการให้บริการการออกแบบภายในห้องน้ำมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมในการซื้อสินค้าเครื่องสุสาน

ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดออนไลน์ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด มีผลต่อการตอบสนองของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป มีงานวิจัยที่ได้ดำเนินการศึกษาปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ เช่นงานวิจัยของ [12] ที่ทำการศึกษปัจจัยส่วนทางการตลาดออนไลน์ในการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊ก ที่พบว่ามีปัจจัยด้านราคา และการรักษาความเป็นส่วนตัว มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าแฟชั่นออนไลน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 และในงานวิจัยของปัญญา [13] ที่ทำการศึกษปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด ปัจจัยด้านความคิดเห็นต่อการซื้อสินค้าออนไลน์ ปัจจัยความคิดเห็นต่อแนวความคิดการบริโภคอย่างยั่งยืน ที่มีผลต่อการเลือกซื้อสินค้าออนไลน์ โดยผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดด้านการส่งเสริมการตลาด และด้านผลิตภัณฑ์ มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้า

ออนไลน์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของพรพิมล [14] พบว่าลักษณะส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์กับการให้ความสำคัญกับส่วนประสมทางการตลาด โดยผู้บริโภคที่มีปริมาณการซื้อสินค้าแตกต่างกันจะให้ความสำคัญกับส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์และการส่งเสริมการตลาดที่ต่างกัน

ทั้งนี้ในการตัดสินใจซื้อสินค้าโอท็อป จังหวัดแพร่ ที่มีปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ราคา และการส่งเสริมการตลาดมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ เนื่องจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ควรประกอบด้วยผลประโยชน์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในเรื่องของ คุณภาพต่อราคา บรรจุภัณฑ์ ตราสินค้ามาตรฐานรับรองรูปแบบลักษณะจากการใช้ผลิตภัณฑ์ และลักษณะทางนวัตกรรม ในคุณสมบัติต่าง ๆ รวมไปถึงการส่งเสริมการตลาดที่มีการจัดโปรโมชั่นลด แลก แจก แถม ทำให้ผู้บริโภคได้รับผลประโยชน์จากการซื้อสินค้า สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ผู้บริโภคจะสามารถตัดสินใจซื้อสินค้าได้ง่ายขึ้น และยินดีที่จะเสียค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นในการซื้อสินค้าออนไลน์ในแต่ละครั้ง [15]

5. ข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการตลาดและพฤติกรรมตอบสนองในการซื้อสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่ ผ่านตลาดดิจิทัลเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการสินค้าโอท็อป สามารถใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ ในการประกอบธุรกิจและดำเนินธุรกิจให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายได้อย่าง เหมาะสมในอนาคตต้องการของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มช่วงอายุ โดยควรให้ความสำคัญต่อการรับรู้สื่อโฆษณาในรูปแบบ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาสินค้าประเภทอื่นที่มีผลต่อการรับรู้ในเครือข่ายสังคมออนไลน์ และส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้า
2. การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงและก้าวหน้า อาจจะส่งผลให้กระแสนิยมและความรู้สึกของบุคคลเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
3. ควรมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆ เช่น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้สื่อ เนื่องจากประสิทธิภาพของช่องทางสื่อออนไลน์ที่เติบโตขึ้นและมีศักยภาพสูง แต่จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่าผู้บริโภคยังมีระดับการรับรู้ที่น้อย ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการตอบสนองของผู้บริโภคที่มีต่อสินค้าและบริการจึงเป็นไปได้ไม่มากนัก
4. ควรทำการศึกษาทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภคต่อสื่อโฆษณาในเครือข่ายสังคมออนไลน์อย่างแท้จริง เพราะในปัจจุบันการทำโฆษณาบางชนิดหรือการละเมิดสิทธิส่วนบุคคลทางสื่อออนไลน์ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกรำคาญและต่อต้านต่อสื่อโฆษณาดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาปรับปรุงกลยุทธ์ทางการตลาดให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคอย่างแท้จริง มีประสิทธิภาพสูงสุดสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่องนี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง “การสื่อสารการตลาดดิจิทัลที่ส่งผลต่อพฤติกรรมตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ในยุค Covid-19 ของสินค้าโอท็อปจังหวัดแพร่” ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ปีงบประมาณ 2564 และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ช่วยประเมินพร้อมทั้งให้คำแนะนำ รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้ประกอบการโอท็อปจังหวัดแพร่ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และที่ขาดไม่ได้ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและผู้ร่วมวิจัยที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Suksap, K. Suksap, and Y. Suksap, “Behaviors and Deciding Factors for Choosing Order Food Online Service of Consumer in Krung Thep Maha Nakhon,” *Journal of Multidisciplinary in Humanities and Social Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 489–502, 2022. (in Thai)
- [2] K. Jitwaropasakul, E. Sirirat, C. Charoenwiriyaikul and S. Siri Wattana, “The Impact of The Corona Virus Epidemic 2019 On Restaurant Business in Thonburi District, Bangkok”, *Journal of MCU social development*. Vol. 7(2), 2022, pp. 212–225. (in Thai)
- [3] “ETDA reveals the value of Thai e-commerce in 2020,” Electronic Transactions Development Agency, <https://www.etda.or.th/th/pr-news/ETDA-Reveals-the-Value-of-e-Commerce-in-2021.aspx> (accessed Feb. 1, 2023). (in Thai)
- [4] P. Kotler, K. L. Keller, *Marketing Management*, (15th ed.). Kendallville: Pearson, 2016.
- [5] P. Kotler, G. Armstrong, *Principles of Marketing*. (17th ed.). England: Pearson, 2018.
- [6] M. Prathapan, S. Sajin, and K.A. Zakkariya, “Effectiveness of digital marketing: Tourism websites comparative analytics based on AIDA model”, *International Journal of Innovative Research & Studies*, 8(4), 2018, pp. 262-273.
- [7] F.U. Rehman, T. Nawaz, M. Ilyas, and S. Hyder, “A comparative analysis of mobile and email marketing using AIDA model”, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 4(6), 2014, pp 38-49.
- [8] W. G. Cochran, *Sampling Techniques*. New York: Wiley, 1977.
- [9] S. Tirakanan. (2007). *Creating tools to measure variables in social science research: guidelines for practice*, Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- [10] S. Prasithrathsin, *Applications of Statistical Methods in Research*, 1st ed. Bangkok: Fueng Fah Printing, 2002. (in Thai)
- [11] T. Thapchai. “Marketing Mix Factors That Affect Buying Sanitary Wares’s Behavior of Consumers in Pathum Thani,” *Pathumthani University Academic Journal*, 10(1), 2018, pp. 40–45. (in Thai)
- [12] A. Panya. “Online Marketing Mix Factors Affecting the decisions to Buy Fashion Clothes Though Online (Facebook) of Students Amphoe Muang, Chiang Mai Province,” *Master of Business Administration Thesis, Chiang Mai Rajabhat University*, 2019, 104 p. (in Thai)
- [13] P. Techasirichet. “Factors Affecting Online Shopping Based on The Sustainable Consumption Concept of Working Age People in Bangkok,” *Independent Study, Master of Management, Mahidol University*, 2020. 128 p.
- [14] P. Sampatpong, “Consumer Behavior of Decision Making on Marketing Mix on Five Tarsone Tambon One Product IN Nonthaburi Province”, *Journal of Graduate Studies Valaya Alongkron Rajabhat University*, 7(1), 2013, pp 59-65.

- [15] P. Kotler, *Marketing management: Analysis planning implementation and control*, 8th ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1994.

การทดสอบหาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินด้วยวิธีกระแสไหลวน Electrical Property Testing of Aircraft components by Eddy-Current Testing

ฤทธิชัย เภาเนียม¹ สมชาย วนไทยสงค์^{1*} และ จักรพันธ์ ชาระ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถ.นางลิ้นจี่ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

Rittichai Phaoniam¹ Somchai Wonthaisong^{1*} and Jakkrapan Chara¹

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

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

Corresponding author Email: Somchai.wo@mail.rmutk.ac.th^{*}

(Received: July 10, 2023; Revise: December 11, 2023; Accepted: December 12, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุสำหรับใช้สอบเทียบมาตรฐาน (Reference standard) ในงานตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนสำหรับชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน ซึ่งสามารถบ่งบอกและแยกแยะกลุ่มของวัสดุได้อย่างชัดเจนจากลักษณะสัญญาณอิมพีแดนซ์ที่ปรากฏ โดยทำการศึกษาจากวัสดุสอบเทียบมาตรฐานแต่ละประเภทและวัสดุตัวอย่างของชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน และดำเนินการตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-Current Testing) เพื่อศึกษาลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance signal) ผลการทดลองพบว่าสัญญาณอิมพีแดนซ์ของวัสดุตัวอย่างชนิดต่างๆ สามารถระบุประเภทของวัสดุได้ 2 กลุ่ม คือ Ferromagnetic และ Non-Ferromagnetic จากสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลที่ถูกกำหนดอย่างชัดเจน สำหรับวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินมีลักษณะเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงเส้นสัญญาณของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน และผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard) และชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน (Aircraft components) จากการแปลงสัญญาณอิมพีแดนซ์พบว่าวัสดุประเภทอลูมิเนียมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่าง 2.3-35.2 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. และค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 4.90 - 53.90 IACS% วัสดุไทเทเนียมมีค่าระหว่าง 112.8-177 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. และการนำไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.97-1.53 IACS% ซึ่งสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทั้ง 2 ประเภท มีความสอดคล้องตามสมบัตินิยามของวัสดุที่ทำการศึกษา

คำสำคัญ: สอบเทียบมาตรฐาน การตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน สัญญาณอิมพีแดนซ์ ความต้านทานไฟฟ้า การนำไฟฟ้า

Abstract

The purpose of this research is to study the mechanical properties of materials used as the reference standard in eddy-current testing for aircraft components. They can indicate and identify the material type from the impedance signal, which obviously occurred, and the transformation of the rotating eddy current testing signal changed. The results found that the impedance signal of each material could be classified into two groups; ferromagnetic and non-ferromagnetic, based on the signal characteristics shown on the display screen

where the zones were clearly defined. For aircraft components, the uniform impedance signal was compared with the reference standard. The electrical properties of the reference-standard materials and aircraft components received from the impedance signal gave a resistivity of 2.3–35.2 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. and a conductivity of 4.90–53.90 IACS% for aluminum. The titanium had a resistivity between 112.8 and 177 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. and a conductivity between 0.97 and 1.53 IACS%. The electrical properties of both types of materials were consistent with the specific properties of the studied materials.

Keywords: Reference Standard, Eddy-Current Testing, Impedance Signal, Resistivity, Conductivity

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันบุคลากรด้านการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance) เป็นหนึ่งในสาขาวิชาชีพที่ต้องการทักษะและความชำนาญในการปฏิบัติงานสูงมาก เพื่อรองรับและสร้างความเชื่อมั่นสำหรับการแข่งขันในอุตสาหกรรมการบินที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในการพัฒนา ผลิต และประยุกต์ใช้เกี่ยวกับชิ้นส่วนเครื่องบิน การบำรุงรักษาโครงสร้างเครื่องบินมีความสำคัญและสัมพันธ์กับการใช้งานมากที่สุด ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงในหลาย ๆ ด้านอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน เพราะทุกการวิเคราะห์ ประเมินผลเพื่อตัดสินใจเกี่ยวพันถึงชีวิตของลูกเรือและผู้โดยสาร [1–2] การพัฒนากระบวนการเพื่อรับรองบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-destructive Testing; NDT) ในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน จะช่วยให้บุคลากรที่ผ่านการฝึกฝนและอบรมมีทักษะในการตรวจหารอยความไม่ต่อเนื่องมาตรฐาน ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ สามารถประเมินผู้ปฏิบัติการทดสอบโดยไม่ทำลายในงานซ่อมบำรุงอากาศยานได้อย่างเป็นระบบ ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องที่ผิวและใต้ผิว โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น งานตรวจสอบวิธีกระแสไหลวน (Eddy-Current Testing; ECT) จะใช้ตรวจหารอยแตกร้าวขนาดเล็กด้วยความไวสูง (Sensitivity) [3–4] อีกทั้งยังต้องทราบและสามารถแยกชนิดวัสดุจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของการทดสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) ควบคู่กับลักษณะของสัญญาณที่ปรากฏได้เป็นอย่างดีสำหรับวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard) [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบวัสดุชนิดต่าง ๆ สำหรับชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถทำการตรวจสอบวัสดุประเภทอลูมิเนียมและไทเทเนียมซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนชิ้นส่วน Aircraft Tube Component, ชิ้นส่วนโครงสร้างตัวเครื่องบินอลูมิเนียม และชิ้นส่วนแผ่นผนังลำตัว (Fuselage) เป็นต้น และสามารถตรวจสอบรอยบกพร่องหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจากลักษณะของสัญญาณอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างกัน [6–8] อย่างไรก็ตามการตรวจสอบมีความจำเป็นต้องใช้ชิ้นงานรอยบกพร่องต้นแบบสำหรับวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินเป็นจำนวนมาก ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวมีราคาค่อนข้างแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้สำหรับฝึกทักษะช่างทดสอบโดยไม่ทำลายทักษะสูงในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน [9–10] ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสอบเทียบมาตรฐานด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) สำหรับใช้แยกแยะสัญญาณอิมพีแดนซ์ที่ปรากฏของประเภทวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนอากาศยานก่อนนำไปสร้างชิ้นงานต้นแบบสำหรับงานตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) เพื่อใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวขนาดเล็กต่อไป

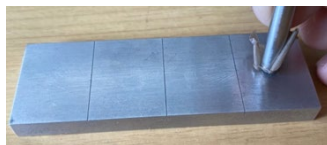
2. วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

1) วัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard) ใช้สำหรับศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุต่อสัญญาณของกระแสไหลวนเพื่อจำแนกหรือบ่งชี้ชนิดวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน ได้แก่ อลูมิเนียม เกรด 6063, แมกนีเซียม (Mg 99.90%), ไทเทเนียม (Ti) เกรด 6AL-4V, เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Hyper-eutectoid) เกรด AISI1095, เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Hypo-eutectoid) AISI1020, เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304, ทองเหลือง (Brass) เกรด JIS SH3250C3604, ทองแดง (Cu) เกรด JIS H3250C1100 และ ตะกั่ว (Pb 99.99%) ขนาดวัสดุเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ความหนา 10 มม. แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard)

2) ชิ้นส่วนประกอบของเครื่องบินที่ทำการศึกษา ได้แก่ แท่งอลูมิเนียมมาตรฐาน AL 7075, แท่งไทเทเนียมมาตรฐาน 6AL-4V Ti, Tube, Welded flange, Flange, Al Tube, Turbine pipe และ Turbine Blade เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2



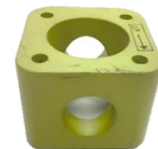
AL 7075
(แท่งอลูมิเนียมมาตรฐาน)



ชิ้นส่วน 1 (Tube)



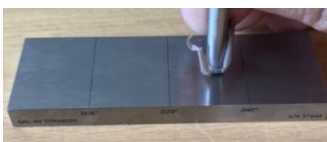
ชิ้นส่วน 2 (Welded flange)



ชิ้นส่วน 3 (Flange)



ชิ้นส่วน 4 (Al Tube)



6AL-4V Titanium
(แท่งไทเทเนียมมาตรฐาน)



ชิ้นส่วน 5 (Turbine pipe)



ชิ้นส่วน 6 (Turbine Blade)

รูปที่ 2 วัสดุชิ้นส่วนประกอบของเครื่องบิน

3) เครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-Current Testing) สำหรับใช้ตรวจสอบเพื่อระบุและจำแนกชนิดวัสดุอากาศยานที่สำรวจจาก สถานประกอบการ สถาบันฝึกอบรมด้านการตรวจสอบโดยไม่ทำลายต่างๆ ในประเทศ โดยใช้เครื่องตรวจสอบวิธีกระแสไหลวน รุ่น Mentor EM Eddy Current ดังแสดงในรูปที่ 3



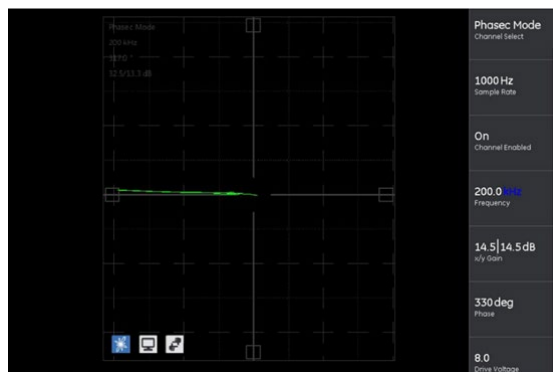
รูปที่ 3 เครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาลักษณะสัญญาณของกระแสไหลวนของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard) โดยการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน หัวโพรบแบบพื้นผิว (Surface Probe) ซึ่งมีลักษณะแบบแบนชนิดขดลวดชุดเดียวหรือ Absolute Coil การปรับตั้งค่าตามมาตรฐาน ASME Section V, Article 8 [11] ในการปรับตั้งค่าของเครื่องหลักๆ จะปรับตั้งความถี่ กำลังขยาย และมุมเฟส โดยการตรวจสอบนี้ปรับให้เส้นยกออก (Lift-off) ขนานตามแนวแกน X แล้วตั้งความถี่ที่ 200 kHz. กำลังขยายแกน X แกน Y เท่ากับ 14.5, 14.5 ตามลำดับ และปรับมุมเฟส 330 องศา การปรับตั้งพารามิเตอร์ในเครื่องตรวจสอบสำหรับการทดลอง ดังตารางที่ 1 และตัวอย่างในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 การตั้งค่าและเงื่อนไขเครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-Current Testing) [11]

หัวตรวจสอบ (Probe)	
ชนิดหัวตรวจสอบ (Probe Type)	Surface Probe
ลักษณะขดลวด (Coil Type)	Absolute
ขนาดหัวตรวจสอบ (Probe Dia.), mm	3.2
สายเชื่อมต่อ (Cable Type)	Microdot to BNC
ช่วงความถี่ใช้งาน (Frequency Range), kHz	20-200
การปรับตั้งเครื่องตรวจสอบ (ECT Set up)	
โหมดทำงาน (Mode)	Phase Mode
ความถี่ใช้งาน (Operating Frequency), kHz	200
กำลังขยาย (X/Y dB Gain)	14.5/14.5
ปรับตั้งมุมเฟส (Phase, deg.)	330
อัตราสุ่มสัญญาณ (Sample Rate), kHz	1000



รูปที่ 4 ตัวอย่างค่าการปรับตั้งในเครื่องตรวจสอบ

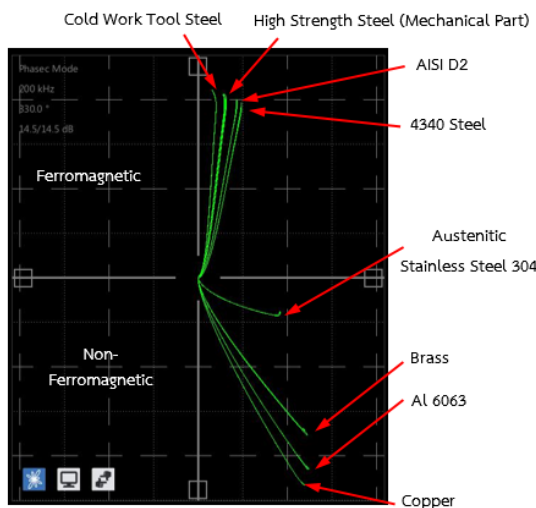
2) ศึกษาผลกระทบของวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินต่อสัญญาณของกระแสไหลวน (Conductivity % IACS) เพื่อจำแนกชนิดวัสดุซึ่งส่งผลต่อสัญญาณของกระแสไหลวน โดยใช้หลักการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistivity) ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของขดลวดในหัวตรวจสอบ การทดลองนี้เหมาะสมในการจำแนกวัสดุได้ทั้งที่เป็นแบบนำแม่เหล็ก (Ferromagnetic) และไม่เป็นแม่เหล็ก (Non-Ferromagnetic) แสดงการปรับตั้งพารามิเตอร์ในเครื่องตรวจสอบสำหรับการทดลองตามตารางที่ 1

3) เปรียบเทียบตัวอย่างของสัญญาณการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ (Impedance) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistivity) ระหว่างวัสดุสอบเทียบมาตรฐานและวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน

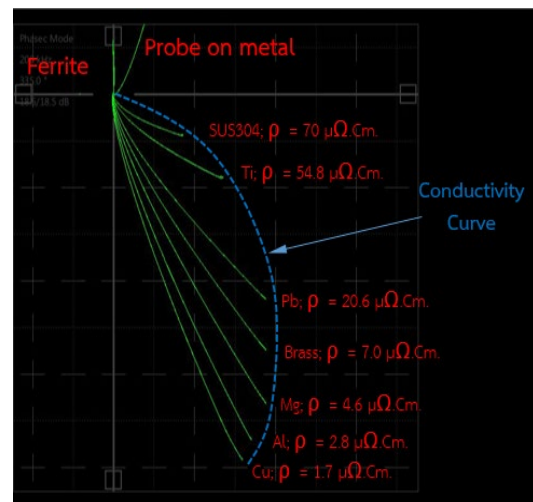
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาลักษณะสัญญาณของกระแสไหลวนของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard)

จากการสำรวจและรวบรวมวัสดุตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน (Aircraft components) และชิ้นส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาลักษณะและการเปลี่ยนแปลงเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) จากการตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน โดยใช้วิธีการทดสอบ Lift off ได้แก่ ชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค เกรด 304, ชิ้นส่วน Mechanical Parts เหล็กกล้า เกรด 4043, เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold Work Tool Steel), ชิ้นส่วนโครงสร้างตัวเครื่องบินอลูมิเนียม เกรด 6063, วัสดุประเภททองเหลือง (Brass) และทองแดง (Cu) เป็นต้น ผลการศึกษาลักษณะสัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) พบว่าผลกระทบของวัสดุชนิดต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์และมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถแบ่งได้หลักๆ เป็น 2 กลุ่ม คือ วัสดุกลุ่ม Ferromagnetic หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก และ วัสดุกลุ่ม Non-Ferromagnetic หรือวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก ซึ่งสามารถบ่งชี้และแยกแยะชนิดวัสดุได้จากการเปรียบเทียบกับเส้นการปรับตั้งมุมเฟส (Phase, deg.) เดียวกัน แสดงลักษณะของสัญญาณที่ปรากฏดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวัสดุตัวอย่างชนิดต่างๆ



รูปที่ 6 สัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard)

ผลการศึกษาลักษณะของสัญญาณอิมพีแดนซ์ของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน (Reference Standard) เพื่อจำแนกชนิดวัสดุซึ่งส่งผลต่อสัญญาณของกระแสไหลวน โดยใช้หลักการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistivity) ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอิมพีแดนซ์ (Impedance) แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าลักษณะของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์ของวัสดุกลุ่ม Non-Ferromagnetic ให้มุมเฟสล่าช้าและความยาวของเส้นสัญญาณมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งพบว่าวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 (SUS304) มีความยาวของเส้นสัญญาณและมุมเฟสล่าช้าที่สุด (อ้างอิงแกน +x และ -y) สำหรับวัสดุทองแดง (Cu) มีความยาวของเส้นสัญญาณและมุมเฟสล่าช้ามากที่สุด สืบเนื่องจากเส้นส่วนโค้งค่าการนำ

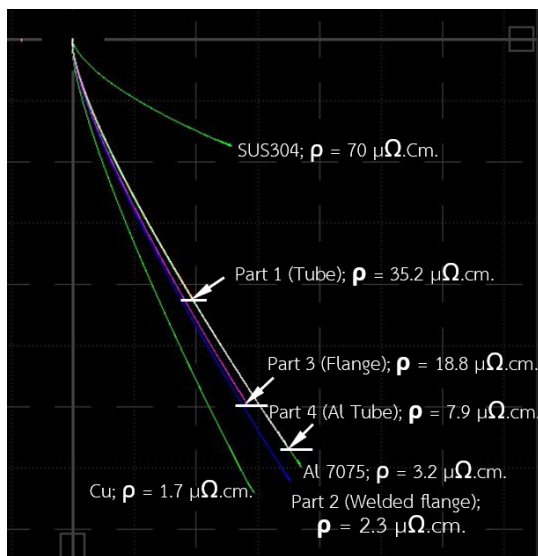
ไฟฟ้า (Conductivity curve) ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นสัญญาณเป็นไปตามสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) และการนำไฟฟ้า (Conductivity) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน

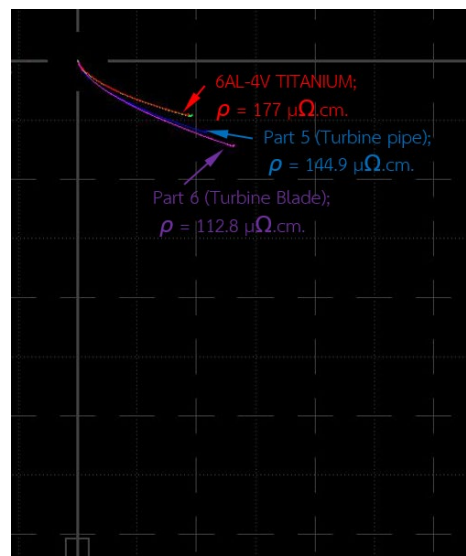
วัสดุ	ความต้านทานไฟฟ้า; Resistivity ($\mu\Omega\cdot\text{cm.}$)	การนำไฟฟ้า; Conductivity (IACS%)
อลูมิเนียม เกรด 6063 (Al 6063)	2.8	61.58
แมกนีเซียม (Mg)	4.6	37.48
ไทเทเนียม (Ti)	54.8	3.15
เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 (SUS304)	70.0	2.46
ทองเหลือง (Brass)	7.0	24.63
ทองแดง (Cu)	1.7	100
ตะกั่ว (Pb)	20.6	8.37

4.2 ผลการศึกษาลักษณะสัญญาณของกระแสไหลวนของวัสดุชิ้นส่วนประกอบของเครื่องบิน

รูปที่ 7 แสดงลักษณะสัญญาณอิมพีแดนซ์ของวัสดุชิ้นส่วนเครื่องบินประเภทอลูมิเนียม (Al) ได้แก่ Part 1 (Tube), Part 2 (Welded flange), Part 3 (Flange) และ Part 4 (Al Tube) มีลักษณะของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์อยู่ในแนวเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นสัญญาณของวัสดุ Al 7075 และมุมเฟสล่าช้ามากกว่าเส้นสัญญาณของวัสดุ SUS304 เมื่ออ้างอิงกับแนวแกน +X (ขอบเขตระหว่างวัสดุกลุ่ม Ferromagnetic และ Non-Ferromagnetic) ซึ่งมีความแตกต่างกับเส้นสัญญาณของวัสดุไทเทเนียม เกรด 6Al-4V อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 เส้นสัญญาณการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วนประเภทอลูมิเนียม (Al)



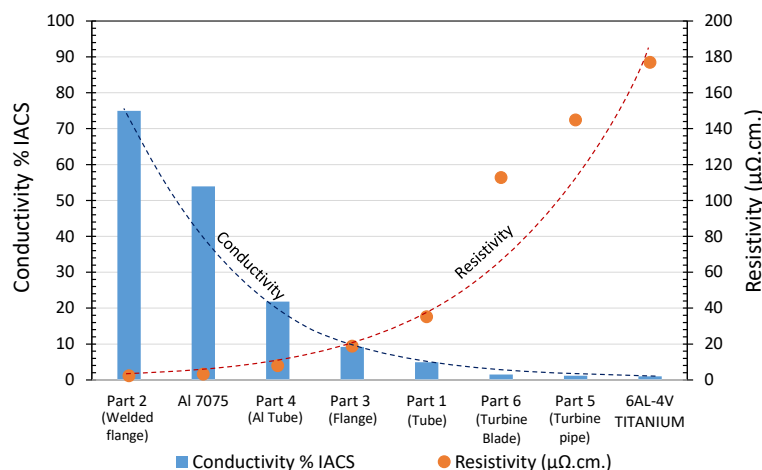
รูปที่ 8 เส้นสัญญาณการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วนประเภทไทเทเนียม (Ti)

สำหรับชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน Part 5 (Turbine pipe) และ Part 6 (Turbine Blade) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทไทเทเนียม มีมุมเฟสหลังของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์เข้าใกล้วัสดุไทเทเนียมเกรด 6AL-4V แต่มีความยาวแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากสารเคลือบผิวชิ้นงานบนชิ้นงานซึ่งส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของเส้นสัญญาณที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอแสดงผลของเครื่องทดสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน

วัสดุ	ความต้านทานไฟฟ้า; Resistivity ($\mu\Omega\cdot\text{cm.}$)	การนำไฟฟ้า; Conductivity (IACS%)
แท่งอลูมิเนียมมาตรฐาน (Al 7075)	3.2	53.90
แท่งไทเทเนียมมาตรฐาน (6AL-4V Ti)	177	0.97
ชิ้นส่วน 1 (Tube)	35.2	4.90
ชิ้นส่วน 2 (Welded flange)	2.3	74.96
ชิ้นส่วน 3 (Flange)	18.8	9.17
ชิ้นส่วน 4 (Al Tube)	7.9	21.82
ชิ้นส่วน 5 (Turbine pipe)	144.9	1.19
ชิ้นส่วน 6 (Turbine Blade)	112.8	1.53

ตารางที่ 3 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของแท่งมาตรฐานอลูมิเนียม, ไทเทเนียม และชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินที่ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นส่วนที่ถูกเคลือบผิวด้วยสารเคลือบของชิ้นส่วนแต่ละชนิดและแนวโน้มของค่าดังกล่าวสำหรับวัสดุทั้ง 2 ประเภท คือ อลูมิเนียม เกรด 7075 และไทเทเนียม เกรด 6AL-4V ผลการตรวจสอบความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุไทเทเนียมมีค่าระหว่าง 112.8 – 177 $\mu\Omega\cdot\text{cm.}$ และการนำไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.97 - 1.53 IACS% สำหรับวัสดุประเภทอลูมิเนียมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่าง 2.3 - 35.2 $\mu\Omega\cdot\text{cm.}$ และค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 4.90 - 53.90 IACS% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนสามารถทำนายวัสดุตัวอย่างที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นแม่เหล็กและเป็นแม่เหล็กจากการวัดการนำไฟฟ้าของโลหะโดยอิงจากการทดสอบกระแสไหลวนได้จากสัญญาณเฟสของการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์เป็นเส้นตรงกับค่าการนำไฟฟ้า [12,13] เป็นต้น



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resistivity และ Conductivity ของชิ้นส่วนประกอบเครื่องบิน

จากผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแท่งมาตรฐานอลูมิเนียม โทเทเนียม และชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินดังรูปที่ 9 พบว่าชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินประเภทอลูมิเนียมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดและมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทโทเทเนียมซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง แต่ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มแปรผกผันกับค่าความต้านทานไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่แตกต่างกันของวัสดุทั้ง 2 ประเภท อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถระบุชนิดย่อยหรือแบ่งเกรดของวัสดุได้อย่างชัดเจน จึงต้องทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี และตรวจสอบลักษณะของสัญญาณอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละชนิดย่อยของวัสดุ เพื่อยืนยันการแบ่งเกรดของวัสดุสำหรับการจำแนกชนิดย่อยของวัสดุเดียวกันที่ต้องการศึกษาต่อไป

4. สรุป

- 1) สัญญาณอิมพีแดนซ์ของวัสดุตัวอย่างชนิดต่างๆ สามารถระบุประเภทของวัสดุได้ 2 กลุ่ม คือ Ferromagnetic และ Non-Ferromagnetic จากมุมเฟสล่าง ทิศทาง และลักษณะของเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์ สำหรับวัสดุชิ้นส่วนประกอบเครื่องบินมีลักษณะเส้นสัญญาณอิมพีแดนซ์สอดคล้องกับเส้นสัญญาณของวัสดุสอบเทียบมาตรฐาน
- 2) สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุชิ้นส่วนประกอบของเครื่องบินจากการแปลงสัญญาณอิมพีแดนซ์สามารถให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและการนำไฟฟ้าเป็นไปตามคุณสมบัติของวัสดุประเภทอลูมิเนียมและโทเทเนียม พบว่าวัสดุอลูมิเนียมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าวัสดุโทเทเนียมแต่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าโทเทเนียม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] *New S-Curve and Manpower Development Policy Direction of Country 2020–2024*. Bangkok: Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, 2020. (in Thai)
- [2] A. Prateepasen, *Non-Destructive Testing in Welds and Researches*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 2011. (in Thai)
- [3] Y. Kong, C. J. Bennett, and C. J. Hyde, “A Review of Non-Destructive Testing Techniques for The In-Situ Investigation of Fretting Fatigue Cracks,” *Materials & Design*, vol. 196, p. 109093, 2020. doi:10.1016/j.matdes.2020.109093
- [4] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, D. Srikanth, H. Surendran, and M. M. Nickolas, “Non-Destructive Testing (NDT) Techniques for Low Carbon Steel Welded Joints: A Review and Experimental Study,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 3732–3737, 2021. doi:10.1016/j.matpr.2020.11.578
- [5] R. Phaoniam and M. Noipitak, “Manufacturing A Standard Defect Prototype in Eddy Current Testing for Training Highly Skilled NDT Inspector on Aircraft Maintenance,” *National research Council of Thailand; Report*, pp. 112–126, 2022. (in Thai)
- [6] B. Weekes, D. P. Almond, P. Cawley, and T. Barden, “Eddy-Current Induced Thermography Probability Of Detection Study Of Small Fatigue Cracks In Steel, Titanium And Nickel-Based Superalloy,” *NDT & E International*, vol. 49, pp. 47–56, 2012. doi:10.1016/j.ndteint.2012.03.009

- [7] R. Lin, B. Liu, J. Zhang, and S. Zhang, “Microstructure Evolution and Properties Of 7075 Aluminum Alloy Recycled from Scrap Aircraft Aluminum Alloys,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 19, pp. 354–367, 2022. doi:10.1016/j.jmrt.2022.05.011
- [8] M. Janovec, M. Smetana, and M. Bugaj, “Eddy Current Array Inspection of Zlin 142 Fuselage Riveted Joints,” *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 279–286, 2019. doi:10.1016/j.trpro.2019.07.042
- [9] R. Phaoniam et al., “Studying Weld Solidification Cracking on Al 6063 for Eddy Current Testing in Aircraft Component Maintenance,” in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*. Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, pp. 219–220, 2022. (in Thai)
- [10] R. Phaoniam et al., “Study of Cracking Behavior of a Drilled Hole Edge Crack on ECT Sensitivity for Machinery Component Maintenance,” in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*. Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, pp. 221–222, 2022. (in Thai)
- [11] *2021 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2021.
- [12] X. Meng, M. Lu, W. Yin, A. Bennecer, and K. J. Kirk, “Inversion of Lift-Off Distance and Thickness for Nonmagnetic Metal Using Eddy Current Testing,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1109/tim.2020.3038289.
- [13] C. Wang, M. Fan, B. Cao, B. Ye, and W. Li, “Novel Noncontact Eddy Current Measurement of Electrical Conductivity,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 22, pp. 9352–9359, Nov. 2018, doi: 10.1109/jsen.2018.2870676.

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบพาเลทไม้

: กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดลัทธสิทธิ์การค้า

Design and Development of Jigs for Assembly of Wooden Pallets

: Case Study of Latthasit Part., Ltd.

สมควร แววดี¹ พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์¹ พรกช สิริสุวัฒน์¹ เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร¹ และ ขวลิท อินปัญญา^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Somkuan Vaodee¹ Phanphong Kongphan¹ Porakoch Sirisuwan¹

Chalerm Sak Thavornwat¹ and Chawalit Inpunyo^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Corresponding author E-mail: chawalit.i@en.rmutt.ac.th*

(Received: August 24, 2023; Revise: December 18, 2023; Accepted: December 19, 2023)

บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์จับยึดพาเลทไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดมุมเอียงของอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบและลดจำนวนพนักงานในการประกอบพาเลทไม้ อุปกรณ์จับยึดในการประกอบพาเลทไม้ขนาดความกว้าง 1,200 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร สามารถปรับระยะตำแหน่งและมุมในการจับยึดให้เหมาะกับการผลิตพาเลทไม้ได้ 2 แบบ คือ พาเลทไม้แบบคานและพาเลทไม้แบบเต้า ในการทดลองการประกอบพาเลทไม้แบบคานและพาเลทไม้แบบเต้าใช้พนักงาน 1 คน ปรับตำแหน่งตำแหน่งตามแบบ และปรับอุปกรณ์จับยึดเอียงมุม 50 ถึง 60 องศา เก็บผลการทดลองผลการทดลองพบว่ามุมเอียงของอุปกรณ์จับยึดและชนิดของพาเลทไม้มีผลต่อเวลาในกระบวนการประกอบพาเลทไม้ การประกอบพาเลทไม้แบบคานลดพนักงานเหลือ 1 คน ใช้เวลาประกอบน้อยสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.26 นาทีต่อชิ้น โดยปรับมุมเอียง 55 องศา ใช้เวลาประกอบมากกว่าการประกอบโดยไม่ใช้อุปกรณ์แบบเดิม 0.31 นาทีต่อชิ้น แต่สามารถลดต้นทุนเพิ่มผลกำไรได้มากขึ้น 30,277 บาทต่อเดือน ส่วนการประกอบพาเลทไม้แบบเต้าลดพนักงานเหลือ 1 คน ใช้เวลาประกอบน้อยสุดเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 นาทีต่อชิ้น โดยปรับมุมเอียง 55 องศา ใช้เวลาประกอบน้อยกว่าการประกอบโดยไม่ใช้อุปกรณ์แบบเดิม 0.58 นาทีต่อชิ้น แต่สามารถลดต้นทุนเพิ่มผลกำไรได้มากขึ้น 35,133 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: อุปกรณ์จับยึด พาเลทไม้แบบคาน พาเลทไม้แบบเต้า

Abstract

Design and development of jigs for the assembly of wooden pallets. The objective is to determine the inclination angle of jigs for assembly and reduce the number of employees assembling wooden pallets. Jigs for the assembly of wooden pallets. Width 1,200 mm., length 1,200 mm., height 200 mm. The position and angle of the clamp can be adjusted to suit the production of 2 types of wooden pallets: beamed wooden pallets

and block-type wood pallets. In assembling wooden pallets with beams and wooden pallets with block-type wood pallets, one worker was used to adjust the position according to the drawings. Adjust the jig tilt angle from 50 to 60 degrees and collect the experimental results. The results showed that the angle of inclination of the gripping device and the type of wooden pallets affect the time in the wooden pallet assembly process. As follows, the assembly of wooden pallet beams reduces the number of staff to 1 person. The average minimum assembly time is 2.26 minutes per piece by adjusting the inclination angle of 55 degrees. It takes 0.31 minutes more than assembly time without traditional equipment but can reduce costs. Increase profits by 30,277 baht per month. As for the assembly of wooden pallets, the block type is reduced to 1 worker. The average minimum assembly time is 5.52 minutes per piece by adjusting the inclination angle of 55 degrees. It takes less time to assemble than without assembly. Traditional equipment is 0.58 minutes per piece but can reduce costs and increase profits by 35,133 baht per month.

Keywords: Jigs for Assembly of Wooden Pallets, Beamed Wooden Pallets, Block-Type Wood Pallet

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาทางหุ่นส่วนจำกัดลัทธิสิทธิการค้าเป็นผู้ผลิตพาเลทไม้สำหรับการขนส่งหรือการจัดเก็บสินค้าในอุตสาหกรรมขนส่งและการคลังสินค้า แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ พาเลทไม้แบบคานและพาเลทไม้แบบเต้า พบปัญหาในการประกอบพาเลทไม้แบบคานและแบบเต้า เช่นพาเลทไม้ไม่ตรงตามแบบ หัวไม้แตกขณะยิง ยิงตะปูเบี้ยว วางไม้หลุดตำแหน่ง และชิ้นงานตรวจสอบพบของเสียจำนวนมาก เนื่องจากการประกอบพาเลทไม้ใช้พนักงานประกอบเป็นหลักยังขาดเทคโนโลยีและอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน จากปัญหาข้างต้นสถานประกอบการจึงมีความต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบเพื่อปรับปรุงวิธีการประกอบชิ้นส่วน การยิงพาเลทไม้ และการสร้างโครงสร้างให้แข็งแรงและถูกต้องตามมาตรฐานการสุขอนามัยพืชฉบับที่ 15 หรือตามมาตรฐาน ISPM15 (International Standard for Phytosanitary Measure No.15) IPPC/ISPM15 [1]

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ S. Watthanasoei และคณะ ได้ศึกษาการผลิตพบว่ามีความเสียหายจำนวนมากในกระบวนการประกอบดังนี้ การประกอบข้ามขั้นตอน หัวไม้แตกขณะประกอบ ตะปูไม่ตรงตำแหน่ง และวางชิ้นส่วนไม่ตรงตามแบบ จากวิธีการทำงานที่ไม่ได้ประสิทธิภาพและการปฏิบัติงานที่ไม่มีขั้นตอนที่ชัดเจน การศึกษาและปรับปรุงการทำงานด้วยเครื่องมือคุณภาพและการศึกษางาน โดยการรวบรวมข้อมูลของเสียด้วยใบตรวจสอบและวิเคราะห์ของเสียด้วยกราฟแท่งและผังก้างปลา รวมทั้งศึกษาวิธีการทำงานและจำนวนของเสียรูปแบบเดิมประยุกต์ใช้อุปกรณ์จับยึดและวิธีการทำงานรูปแบบใหม่[2-3] การใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์จับยึด(Jig and Fixture) [4-7] ประยุกต์ใช้ในการประกอบพาเลทไม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพชิ้นงานตรงตามมาตรฐานกำหนด ดังนั้นจากปัญหาและแนวทางข้างต้นเพื่อเป็นแนวทาง ผู้วิจัยจึงออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบพาเลทไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดมุมเอียงของอุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมสำหรับการประกอบและลดจำนวนพนักงานในการประกอบพาเลทไม้

2. วิธีการดำเนินงาน

พาเลทไม้แบบคานและพาเลทไม้แบบลูกเต้า ขนาดความกว้างมาก 1,200x1,200 x 200 มิลลิเมตร ประกอบด้วย ไม้คานขนาด 135x1,200x25 มิลลิเมตร ไม้ลูกเต้าขนาด 100x100x100 มิลลิเมตร และแผ่นไม้ประกอบบนล่างขนาด 100x1,200x15

มิลลิเมตร ขั้นตอนการประกอบแบบเดิมพนักงานต้องทำการวัดระยะ วางไม้ตามตำแหน่งและยิงตะปูด้วยเครื่องยิงตะปูลมตามแบบ จากที่ประกอบพาเลทเสร็จ 1 ชิ้นแล้วจะนำไปทำแม่แบบสำหรับประกอบชิ้นต่อไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ชนิดพาเลทไม้



(ก) วางไม้ประกอบลูกเต๋า



(ข) วางไม้คานประกอบล่าง

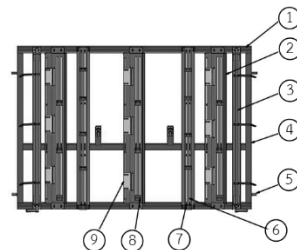
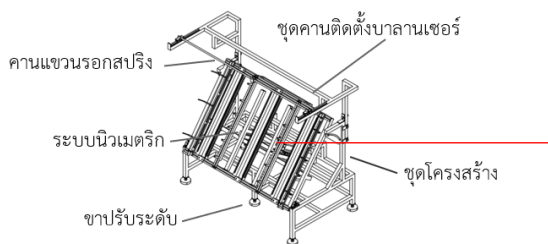


(ค) วางไม้คานประกอบบน

รูปที่ 2 ขั้นตอนการประกอบพาเลทไม้แบบเดิม

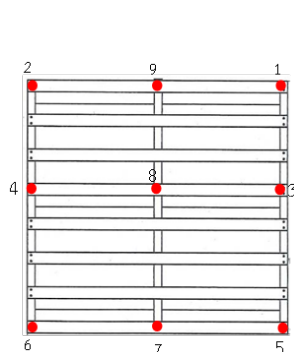
2.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึดในการประกอบพาเลทไม้

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึด ในการประกอบพาเลทไม้ ออกแบบชุดอุปกรณ์ให้มีความแข็งแรง ความทนทานมี หลักการทำงานของกลไกอย่างง่าย สะดวกรวดเร็วต่อการประกอบพาเลท มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด แบ่งส่วนประกอบออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ 1) การออกแบบโครงสร้างฐานของชุดอุปกรณ์จับยึด ในการประกอบพาเลทไม้ 2) การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานของชุดอุปกรณ์จับยึด ในการประกอบพาเลทไม้ 3) การออกแบบกลไกยกพาเลทของชุด อุปกรณ์จับยึด 4) ชุดคานแขวนเครื่องยิงตะปูลม ดังรูปที่ 3 หลักในการทำงานของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในการประกอบพาเลท สามารถกำหนดตำแหน่งในการวางแผ่นไม้และปรับมุมเอียงของอุปกรณ์จับยึดตามระยะช่วงแขนของผู้ปฏิบัติ เพื่อความสะดวกและ ง่ายต่อการวางแผ่นไม้แต่ละตำแหน่งตามแบบดังรูปที่ 4

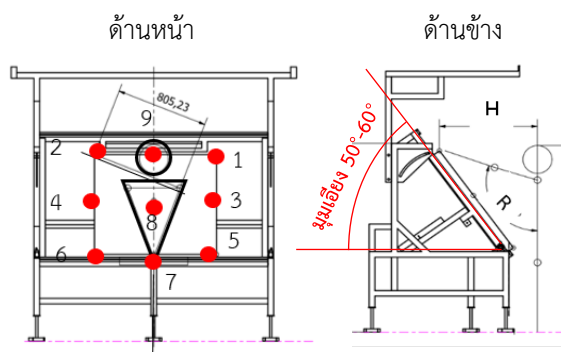


- หมายเลข 1 รางเลื่อนสำหรับปรับระยะของคานแนวดิ่ง
 หมายเลข 2 แผ่นวางตำแหน่งไม้แกนกลางวางพาเลท
 หมายเลข 3 ชุดกำหนดตำแหน่งแนวดิ่งไม้คานบน
 หมายเลข 4 โครงสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
 หมายเลข 5 เพลายึดชุดอุปกรณ์จับยึดคานแนวนอน
 หมายเลข 6 ชุดกำหนดตำแหน่งแนวดิ่งไม้คานล่าง
 หมายเลข 7 สลักกับตำแหน่งแนวดิ่งไม้
 หมายเลข 8 สลักยึดตำแหน่งแนวดิ่งไม้คู่ค้ำ
 หมายเลข 9 อุปกรณ์ยกพาเลทเพื่อกลับด้าน

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดสำหรับการประกอบพาเลทไม้



ก) ลำดับตำแหน่งการยิงตะปู



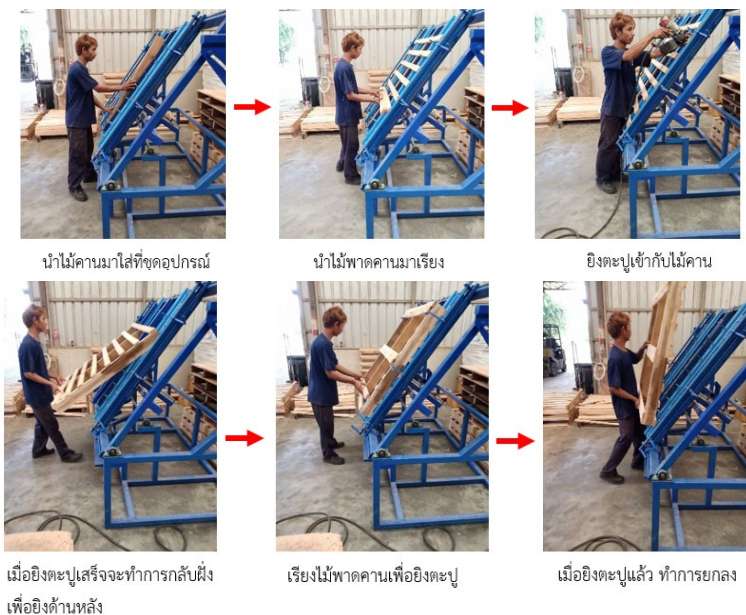
ข) ลักษณะการวางไม้พาเลท

รูปที่ 4 ตำแหน่งที่ยิงตะปูไม้พาเลท

2.2 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ

1) การประกอบพาเลทไม้

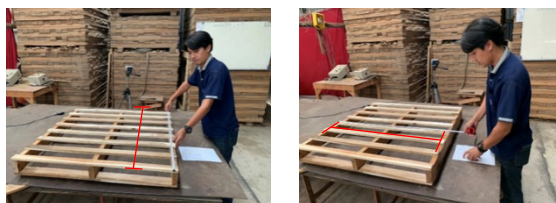
การทดลองประกอบพาเลทไม้แบบคานขนาดความกว้าง 1,000 มิลลิเมตร ความยาว 1,200 มิลลิเมตร และความสูง 135 มิลลิเมตร และแบบเต้าขนาดความกว้าง 1,000 มิลลิเมตร ความยาว 1,200 มิลลิเมตร และความสูง 135 มิลลิเมตร โดยใช้ไม้เต้า 9 อัน ไม้คาน 3 แผ่น ไม้แผ่น 18 แผ่น โดยปรับมุมเอียงอุปกรณ์จับยึดพาเลทไม้เท่ากับ 50, 55 และ 60 องศา ทำการทดลองด้วยพนักงานประกอบ 1 คน นำไม้คานมาใส่ที่ชุดอุปกรณ์จับยึดจากนั้นนำไม้พาเลทคานมาเรียงตามแบบสั่งงานเมื่อเรียงเสร็จ ให้อยู่ตะปูเข้าไม้คานกับพาเลทคาน ทำการกลับฝั่งไม้โดยการเหยียบแท่นเพื่อให้ตัวยกกลับฝั่งดันพาเลทออก ฝั่งด้านหลังของพาเลทนำไม้พาเลทคานมาเรียงและยิงตะปูพร้อมกับยกออกจากอุปกรณ์จับยึด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการทำงานประกอบพาเลทไม้

2) ตรวจสอบคุณภาพพาเลทไม้

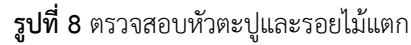
การตรวจสอบคุณภาพของพาเลทไม้ประกอบไปด้วยการตรวจสอบขนาดความกว้างความยาว ระยะห่าง ความสูง ตามแบบดังรูปที่ 6-7 หัวตะปูและรอยไม้แตกดังรูปที่ 8 ด้วยการสุ่มตรวจตัวอย่างโดยกำหนดตัวอย่างจำนวน 50 พาเลท ต่อ 1 กลุ่มตัวอย่าง มีข้อกำหนดและเงื่อนไขที่มีการตรวจสอบ ตามมาตรฐานยอมรับข้อผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อ 1 กลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 6 ตรวจสอบความกว้างและความยาวของพาเลทไม้



รูปที่ 7 ตรวจสอบระยะห่างตามแบบและความสูง



26

แผนภูมิวิเคราะห์กระบวนการทำงาน คน ☒ วัสดุ ☐ เครื่องจักร ☐					
แผนภูมิวิเคราะห์หมายเลข : 01					
ชื่อหน่วยงาน : พก.สโตนลิทธี การค้า		สรุปผล			
		สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
กรรมวิธี : พาเลทไม้แบบคาน		การปฏิบัติงาน	○	100	-
		การเคลื่อนย้าย	⇒	47	-
		การรอคอย	D	-	-
		การตรวจสอบ	□	-	-
		การเก็บรักษา	▽	-	-
ตำแหน่งที่ตั้ง : เลขที่ 132 หมู่ 4 ต.ชะแมบ อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170					
ผู้บันทึก : นายเสกสรรค์ รักคุณ วันที่ 25/05/62		ระยะทาง(เมตร)	4.5	-	-
ผู้อนุมัติ : นายวษพงษ์ คงเอียด วันที่ 25/05/62		เวลา(วินาที)	147	-	-
รายการ	จำนวน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์	
				○	⇒
1.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	3	0.5	12	○	⇒
2.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	4	0.5	12	○	⇒
3.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	4	0.5	12	○	⇒
4.อิงตะปู	24	-	34	○	⇒
5.พลิกพาเลท	1	-	20	○	⇒
6.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	6	0.5	20	○	⇒
7.อิงตะปู	24	0.5	32	○	⇒
8.จัดเก็บพาเลท	1	0.5	5	○	⇒

แผนภูมิวิเคราะห์กระบวนการทำงาน คน ☒ วัสดุ ☐ เครื่องจักร ☒					
แผนภูมิวิเคราะห์หมายเลข : 02					
ชื่อหน่วยงาน : พก.สโตนลิทธี การค้า		สรุปผล			
		สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
กรรมวิธี : พาเลทไม้แบบคาน		การปฏิบัติงาน	○	100	130
		การเคลื่อนย้าย	⇒	47	47
		การรอคอย	D	-	-
		การตรวจสอบ	□	-	-
		การเก็บรักษา	▽	-	-
ตำแหน่งที่ตั้ง : เลขที่ 132 หมู่ 4 ต.ชะแมบ อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170					
ผู้บันทึก : นายเสกสรรค์ รักคุณ วันที่ 25/05/62		ระยะทาง(เมตร)	4.5	4.5	0
ผู้อนุมัติ : นายวษพงษ์ คงเอียด วันที่ 25/05/62		เวลา(วินาที)	147	177	-30
รายการ	จำนวน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์	
				○	⇒
1.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	3	0.5	12	○	⇒
2.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	4	0.5	12	○	⇒
3.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	4	0.5	12	○	⇒
4.อิงตะปู	24	0.5	54	○	⇒
5.พลิกพาเลท	1	-	20	○	⇒
6.เดินไปหยิบไม้คานมาวาง	6	0.5	20	○	⇒
7.อิงตะปู	24	0.5	42	○	⇒
8.จัดเก็บพาเลท	1	0.5	5	○	⇒

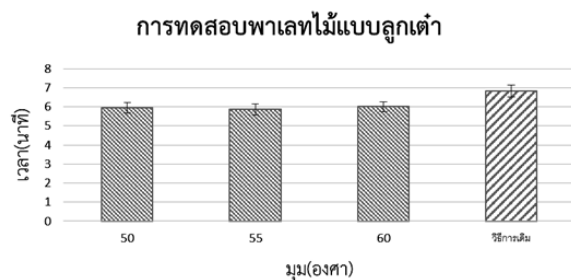
ก) กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบคานก่อนการปรับปรุง

ข) กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบคานหลังการปรับปรุง

รูปที่ 10 กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบคาน

3.2 การประกอบพาเลทไม้แบบเต่า

ผลการทดลองในการประกอบพาเลทไม้แบบคานด้วยใช้พนักงานประกอบ 1 คน พบว่ามุมเอียงอุปกรณ์จับยึดพาเลทไม้ 55 องศา จะมีเวลาเฉลี่ยในการทำงานน้อยที่สุดเท่ากับ 5.58 วินาที รองลงมามุมเอียงอุปกรณ์จับยึดพาเลทไม้ 60 องศา ใช้เวลาเฉลี่ย 5.58 วินาที และมุมเอียงอุปกรณ์จับยึดพาเลทไม้ 50 องศา ใช้เวลาเฉลี่ย 5.59 วินาที ซึ่งการประกอบพาเลทไม้โดยตั้งค่าอุปกรณ์จับยึดขึ้นงานที่มุม 55 องศา ก็จะมีเหมาะสมในการทำงานมากที่สุด ส่วนการทดลองแบบเดิมใช้พนักงานประกอบ 2 คน ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 วินาที ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลเวลาการประกอบพาเลทไม้แบบคาน

กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบเต่า สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการประกอบและใช้เวลา 125 วินาที การปฏิบัติงานหลังปรับปรุงใช้เวลา 177 วินาที ดังรูปที่ 14 ดังนั้นเวลาจะเพิ่มขึ้น 52 วินาที สรุปได้ว่าเวลารวมหลังปรับปรุงที่เพิ่มขึ้น

นั้นเนื่องจากขั้นตอนการยิงตะปูใช้คน 1 คนช้ากว่าใช้คน 2 คนในการยิงตะปู แต่กระบวนการผลิตก็สามารถลดคนได้จำนวน 1 คนเช่นกัน ดังรูปที่ 12

แผนภูมิวิเคราะห์กระบวนการทำงาน คน ☒ วิสดู ☐ เครื่องจักร ☐				สรุปผล					
แผนภูมิวิเคราะห์หมายเลข : 04									
ชื่อย่อหน่วยงาน : หจก.ลือสิทธิ์ การค้า				สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง		
กรรมวิธี : พาเลทไม้แบบลูกเต๋า				การปฏิบัติงาน	○	125	177	-52	
				การเคลื่อนย้าย	⇒	285	171	114	
☐ วิสดูปัจจุบัน ☒ วิธีกาแลง				การรอคอย	D	-	-	-	
				การตรวจสอบ	□	-	-	-	
				การเก็บรักษา	▽	-	-	-	
ตำแหน่งที่ตั้ง : เลขที่ 132 หมู่ 4 ต.ชะแมบ อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170									
ผู้บันทึก : นายเสกสรรค์ รักคุณ วันที่ 28/05/62				ระยะทาง(เมตร)	6	5	1		
ผู้อนุมัติ : นายระพีพร คงเอียด วันที่ 28/05/62				เวลา(วินาที)	410	348	62		
รายการ	จำนวน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
				○	⇒	D	□	▽	
1.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	3	0.5	10						
2.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	3	0.5	10						
3.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	3	0.5	10						
4.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	3	0.5	27						
5.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	3	0.5	27						
6.ยิงตะปู	27	-	47						
7.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	6	0.5	25						
8.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	5	0.5	25						
10.ยิงตะปู	66	-	56						
11.พลิกพาเลท	1	-	9						
12.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	1	0.5	9						
13.ยิงตะปู	9	-	18						
14.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว	4	0.5	23						
15.ยิงตะปู	27	-	47						
16.จัดเก็บพาเลท	1	0.5	5						

ก) กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบเต๋าก่อนการปรับปรุง

แผนภูมิวิเคราะห์กระบวนการทำงาน คน ☒ วิสดู ☐ เครื่องจักร ☒									
แผนภูมิวิเคราะห์หน่วยเลข : 02									
ชื่อหน่วยงาน : พก.ลือสิทธิ์ การค้า		สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง				
กรรมวิธี : พาเลทไม้แบบคาน		การปฏิบัติงาน	○	100	130	-30			
		การเคลื่อนย้าย	⇒	47	47	0			
☐ วิสปัจจุบัน ☒ วิธีกาเสนอ		การรอคอย	D	-	-	-			
		การตรวจสอบ	□	-	-	-			
ตำแหน่งที่ตั้ง : เลขที่ 132 หมู่ 4 ต.ชะแมบ อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170		การเก็บรักษา	▽	-	-	-			
ผู้บันทึก : นายเสกสรรค์ รักคุณ วันที่ 25/05/62		ระยะทาง(เมตร)	4.5	4.5	0				
ผู้อนุมัติ : นายระพีพร คงเอียด วันที่ 25/05/62		เวลา(วินาที)	147	177	-30				
รายการ	จำนวน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์		หมายเหตุ			
				○	⇒		D	□	▽
1.เดินไปหยิบไม้คานยาว หรือตามตำแหน่ง	3	0.5	12						
2.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว หรือตามตำแหน่ง	4	0.5	12						
3.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว หรือตามตำแหน่ง	4	0.5	12						
4.ยิงตะปู	24	0.5	54						
5.พลิกพาเลท	1	-	20						
6.เดินไปหยิบไม้แผ่นยาว หรือตามตำแหน่ง	6	0.5	20						
7.ยิงตะปู	24	0.5	42						
8.จัดเก็บพาเลท	1	0.5	5						

ข) กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบเต๋าล้างการปรับปรุง

รูปที่ 12 กระบวนการประกอบพาเลทไม้แบบเต๋า

4. สรุปผลการดำเนินการวิจัย

การประกอบพาเลทไม้แบบคานโดยใช้อุปกรณ์ใช้เวลาเฉลี่ย 2.57 นาทีต่อชิ้น ส่วนการประกอบพาเลทไม้แบบคานโดยไม่ใช้อุปกรณ์ใช้เวลาเฉลี่ย 2.26 นาทีต่อชิ้น ซึ่งมีเวลาต่างกัน 0.31 นาทีต่อชิ้น การผลิตแบบเดิมมีผลกำไร 338,180 บาทต่อเดือน และการผลิตแบบใหม่มีผลกำไร 307,903 บาทต่อเดือน และมีผลกำไรที่แตกต่างกันที่ 30,277 บาทต่อเดือนและการประกอบพาเลทไม้แบบลูกเต๋าโดยใช้อุปกรณ์ใช้เวลาเฉลี่ย 5.52 นาทีต่อชิ้น ส่วนการประกอบพาเลทไม้แบบลูกเต๋าโดยไม่ใช้อุปกรณ์ใช้เวลาเฉลี่ย 6.50 นาทีต่อชิ้น ซึ่งมีเวลาต่างกัน 0.98 นาทีต่อชิ้น การผลิตแบบเดิมมีผลกำไร 101,580 บาทต่อเดือน และการผลิตแบบใหม่มีผลกำไร 136,713 บาทต่อเดือน และมีผลกำไรที่แตกต่างกันที่ 35,133 บาทต่อเดือน การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการลงทุน ผลกำไร จุดคุ้มทุนพาเลทไม้แบบคานและพาเลทไม้แบบเต๋า กระบวนการผลิตแบบเดิมมีผลกำไร 219,880 บาทต่อเดือน กระบวนการผลิตแบบใหม่มีผลกำไร 220,433 บาทต่อเดือน ซึ่งมีความแตกต่างกัน 553 บาทต่อเดือน และถ้าจะคืนทุนทั้งหมดจากการลงทุนสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดในการประกอบพาเลทไม้จะต้องทำการผลิตสินค้าจำนวน 886 ชิ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทางหุ้นส่วนลือสิทธิ์การค้า อำเภอน้อย จังหวัดและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] *International Standard for Phytosanitary Measure No.15 (ISPM No.15)*. International Plant Protection Conventions, 2007.
- [2] S. Watthanasoei, P. Kaennarong, and S. Pongpatanasuegsa, “The Productivity Improvement by Defective Reduction of Wood Pallet Manufacturing,” in *Proceeding of RSU Research Conference 2019*, Rangsit University, Thailand, pp. 278–285, 2019. (in Thai)
- [3] K. Puasakul, S. Swangnop, K. Khunprom, and A. Vilasdaechanont, “Process Improvement in Wooden Pallet Factory”, *Thai Industrial Engineering Network Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 90–99, 2021. (in Thai)
- [4] W. Methong, *Jig and Fixtures Design*. Technology Promotion Association (Thailand-Japan). 1997
- [5] P. H. Joshi, *Jigs and Fixtures*. New York: McGraw Hill Education (India) Private Limited, 2010.
- [6] A. Patil, K. S. Rambhad, and D. R. Bele, “Concept of jigs and fixture design–A Review,” *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis (IJAEFEA)*, vol. 4, no. 4, pp. 73–77, 2018. doi:10.26706/ijaeffa.4.4.20171004
- [7] S. S. Pachbhai and L. P. Raut, “A Review on Design of Fixtures,” *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 2, no. 2, pp. 126–146, 2014.
- [8] M. Kurniawati, “The Application of VDI 2222 Method in The Process of Designing Tools for Assembling the Four-Way Entry Pallet,” *Journal of Science and Application Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 33–44, 2018. doi:10.35472/281433
- [9] C. C. Okpala and E. Okechukwu, “The Design and Need for Jigs and Fixtures in Manufacturing,” *Science Research*, vol. 3, no. 4, pp. 213–219, 2015. doi:10.11648/j.sr.20150304.19
- [10] K. Pipatpanyanugul, *Work Study*. Bangkok: Chulalongkorn University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 1994. (in Thai)
- [11] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.

การออกแบบระบบถังใส่ขยะอันตรายเพื่อกำจัดแบคทีเรียด้วยรังสียูวีซี

Designing a Hazardous Waste Bin System to Eliminate Bacteria with UVC

วสุรัตน์ บุญเพ็ง¹ จงกล สังข์อ่วม¹ ศิริลักษณ์ กลิ่นสุคนธ์¹ ปิยภรณ์ รอดจันทร์¹ จารุพัฒน์ โพธิสาพัฒน์¹ชาติชาย ลีลาสิริวิไล² และ สราวุธ สิทธิเกษมสุข^{2*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ 10540

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ต.หันตรา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

Wasurat Bunpheng¹ Chongkol Sungoum¹ Sirilak Klinasukon¹ Piyaporn Rotjan¹ Jarupat Potisapat¹Chatchai Leelasiriwilai² and Sarawut Sirikasemsuk^{2*}¹Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology,

Suvarnabhumi Institute of Technology, Bangphliyai, Samut Prakan 10540.

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Tambon Hantra, Phranakhon Si Ayutthaya 13000.

Corresponding author Email: sarawut.sr@rmutsb.ac.th*

(Received: August 18, 2023; Revise: December 12, 2023; Accepted: December 12, 2023)

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์การระบาดของโคโรนาไวรัสในปัจจุบัน ทำให้เกิดการปรับตัวของผู้คนในวิถีใหม่ โดยสิ่งหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากวิถีชีวิตแบบใหม่อย่างเช่น หน้ากากอนามัย กระดาษชำระหรือทิชชูเปียก รวมถึงของใช้ที่ต้องสัมผัสกับสารคัดหลั่งอย่างชุดตรวจ ATK หลอดดูดน้ำ เป็นต้นซึ่งจากข้อมูลกรมอนามัยพบว่าในช่วง 2-3 ปี ที่ผ่านมาได้มีการทำลายขยะติดเชื้อมากกว่าสิบล้านครั้ง สาเหตุเพราะไม่สามารถกำจัดแบบทั่วไปได้ อีกทั้งไม่สามารถเก็บไว้นานเนื่องจากแบคทีเรียที่จะก่อตัวขึ้นจากสารคัดหลั่งได้ตลอดเวลา โดยจะพบแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวสามารถกำจัดได้ในรังสียูวีซี โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบถังเก็บขยะอันตรายที่มีโอกาสติดเชื้อ และกำจัดหรือลดปริมาณเชื้อลงด้วยรังสียูวีซีแบบอัตโนมัติเมื่อทิ้งขยะลงในถังและระบบรังสียูวีซีทำงานเป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่ระยะเวลามากขึ้นปริมาณของแบคทีเรียลดลง โดยที่เวลาการทำงานของรังสียูวีซี 20 นาที ทำให้แบคทีเรียลดลงได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยของขยะอันตรายก่อนส่งไปกำจัดได้

คำสำคัญ: ขยะติดเชื้อ แบคทีเรีย รังสียูวีซี

Abstract

Currently, Coronavirus is unstoppable causing people to alter their lifestyle and adapt to a new normal. An example is the retention of infectious waste such as masks, tissues, drinking straws, antigen test kits (ATK), etc. since these tend to have secretions. Data from the Department of Health from 2-3 years ago shows that

more than ten million infectious wastes have been destroyed as it occurs of bacteria gram positive and bacteria gram negative. However, ultraviolet type C (UV-C) can destroy these bacteria. In this research a UVC system has been designed in the trash bin and initiates once the infectious waste has been inserted and the cover is closed. Lighting of the UVC system was performed at intervals of 10, 15, and 20 minutes with a timer relay. The results show that utilizing the UVC system for the longer time of 20 minutes reduced bacteria more than 90 percent which increases the safety of the hazardous waste before it can be disposed of.

Keywords: Infectious Waste, Bacteria, UV-C

1. บทนำ

ด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID -19) ที่มีการกระจายเป็นวงกว้าง ทำให้ผู้คนต่างต้องป้องกันตนเอง และควบคุมความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทุกที่ทุกเวลาโดยการสวมใส่หน้ากากอนามัย และการพกสเปรย์แอลกอฮอล์ โดยกรมควบคุมมลพิษได้สรุปยอดขยะมูลฝอยติดเชื้อของประเทศไทยในปี 2563 ว่ามีขยะมูลฝอย 47,962 ตัน [1] โดยพบมากตามโรงพยาบาล คลินิก ห้องปฏิบัติการเชื้ออันตราย รวมไปถึงโรงพยาบาลสนาม ซึ่งขยะที่พบเจอได้บ่อยจะเป็นของที่ใช้งานโดยทั่วไปเช่น หน้ากากอนามัย ซึ่งเป็นขยะอันตรายที่อาจจะได้รับสารคัดหลั่งจากผู้ไข้ หรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศที่ได้ผ่านไปในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรียในอากาศนั้นสามารถถูกกำจัดได้ด้วยแสงรังสียูวีซี [2-4] นอกจากนั้นแสงยูวีซียังสามารถใช้กำจัดเชื้อราได้ [5] และการใช้แสงรังสียูวีซีกับอุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงหน้ากากอนามัยที่ใช้แล้ว เพื่อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [6-7] ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในช่วงที่หน้ากากอนามัยขาดแคลน แต่ทางกรมอนามัยไม่แนะนำวิธีนี้ ซึ่งในการใช้งานแสงรังสียูวีซีเพื่อลดการสะสมของแบคทีเรีย หรือการกำจัดแบคทีเรียรวมถึงไวรัสซึ่งมีขนาดเล็กมาก การตรวจสอบจะทำได้ยาก ซึ่งต้องอาศัยห้องปฏิบัติการเฉพาะทางเพื่อทำการเพาะเชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียเกิดการแบ่งตัวจนเป็นโคโลนี ซึ่งมีลักษณะเป็นจุด ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน การฉายแสงรังสียูวีซีจะสามารถทำลายและโคโลนีจะหายไป ซึ่งสามารถใช้หลักการการลดลงของโคโลนีช่วยในการวิเคราะห์ผลว่าแบคทีเรียลดน้อยลง ซึ่งการอธิบายเป็นเปอร์เซ็นต์จะช่วยให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยแสงรังสียูวีซีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับใช้โฟโตแคตตาไลติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียได้ [8] จากประโยชน์ของยูวีซีในการกำจัดเชื้อโรค เชื้อรา และแบคทีเรีย กับประเด็นของขยะติดเชื้อที่เพิ่มสูงขึ้นจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโคโรนาไวรัส จึงเป็นที่มาของการออกแบบถังขยะที่มีระบบกำจัดเชื้อโรค เชื้อรา และแบคทีเรียที่มาจากขยะอันตราย โดยเฉพาะขยะที่มีสารคัดหลั่งจากการใช้งานในชีวิตประจำวัน เพื่อให้เชื้อโรค เชื้อรา และแบคทีเรียมีปริมาณน้อยที่สุดก่อนที่จะมีการรวบรวมขยะดังกล่าวทิ้งหรือกำจัดขยะในลำดับต่อไป และเพื่อเป็นการลดการแพร่ระบาด รวมถึงการขยายตัวของเชื้อโรค เชื้อรา และแบคทีเรียได้อีกทางหนึ่ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รังสียูวีซี เป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซึ่งได้มีการถูกนำมาใช้ในการกำจัดเชื้อโคโรนาไวรัส โดยมีนักวิจัยทำการทดลองระยะห่างระหว่างผิววัตถุกับแหล่งกำเนิดรังสียูวีซีที่ระยะ 3 เซนติเมตร ผลที่ได้สามารถกำจัดเชื้อโคโรนาไวรัสหมดได้ภายใน 15 นาที แต่หากอยู่ระยะ 80 เซนติเมตร จะใช้ระยะเวลานานถึง 60 นาที เชื้อจึงจะถูกกำจัดหมด [9] อีกทั้งยังได้มีการนำรังสียูวีซีมาใช้ในการทดลองด้านอาหารเพื่อลดจำนวนแบคทีเรียอย่างเช่นในเส้นขนมจีน [10] หรืออย่างในอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำผลไม้ [11] นอกจากนั้นยูวีซี ยังสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียในอุปกรณ์เครื่องใช้ส่วนตัวได้อีกด้วย [12] โดยวิเคราะห์จากปริมาณโคโลนีซึ่งทดลองในห้องเพาะเชื้อ ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลของแบคทีเรียสามารถหาค่าเฉลี่ยของแบคทีเรีย ในการทดลองกลุ่ม

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

โดยที่ $\sum x$ คือ ผลรวมของโคโลนีทั้งหมด
 n คือ จำนวนของการตรวจโคโลนี

และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และความแปรปรวนของข้อมูล (S.D.²) หาได้จาก

$$S.D. = \sqrt{\frac{(\sum (x - \bar{x})^2)}{n-1}} \quad (2)$$

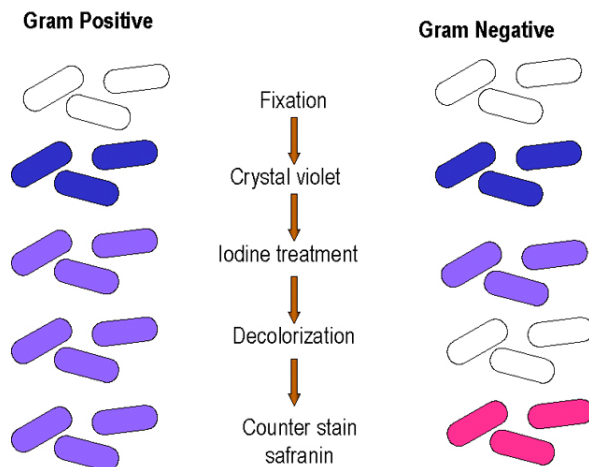
$$S.D.^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{N} - (\bar{x})^2 \quad (3)$$

และหาเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของจำนวนโคโลนี เพื่อวิเคราะห์ถึงความสามารถของรังสียูวีซีในการกำจัดแบคทีเรียได้จาก
 สมการ

ผลต่างของโคโลนี = จำนวนโคโลนีตั้งต้น - จำนวนโคโลนีที่เหลืออยู่

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของโคโลนี} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีตั้งต้น} - \text{จำนวนโคโลนีที่เหลืออยู่}}{\text{จำนวนโคโลนีตั้งต้น}} \times 100$$

โดยในการวิเคราะห์ขนาดของโคโลนีจะเลือกขนาดที่ใกล้เคียงกันเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำ และทำการย้อมแกรมเพื่อ
 ตรวจสอบว่าแบคทีเรียเป็นชนิดไหน โดยแกรมบวกจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่พบในระบบอากาศ ในการย้อมสีแกรมนั้นกลุ่มแบคทีเรีย
 แกรมบวกจะมีสีม่วง ส่วนแกรมลบจะได้สีหลังย้อมเป็นสีแดง ซึ่งกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบนี้มักจะพบในของเหลว โดยสีแกรมของ
 แบคทีเรียสรุปได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สีของแกรมที่ผ่านการย้อมสี [13]

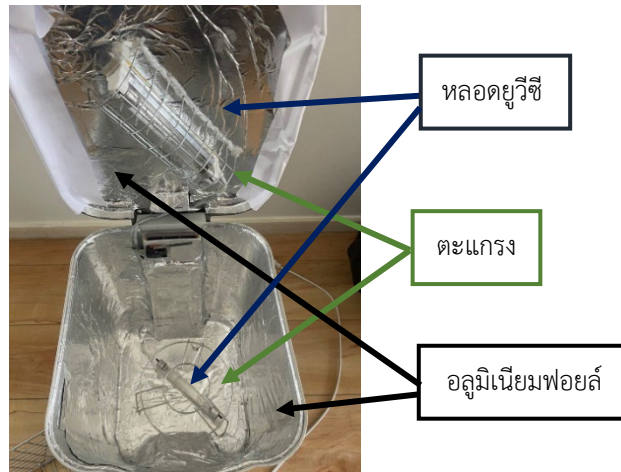
จากรูปที่ 1 ในการเพาะเชื้อเพื่อตรวจสอบปริมาณโคโลนี และตรวจสอบชนิดแกรมของแบคทีเรีย เริ่มจากการเตรียมแบคทีเรียโดยการสเมียร์ลงบนสไลด์ และทำการตรึงเชื้อแบคทีเรียบนสไลด์ จากนั้นหยด Crystal violet ให้ท่วม สเมียร์เป็นเวลา 1 นาที แล้วล้างออกจากนั้นหยด Gram's iodine ให้ท่วมสเมียร์นาน 1 นาที แล้วล้างออก ถัดมาเอียง สไลด์ประมาณ 45 องศา แล้วจึงหยด decolorizer ลงบน สเมียร์เพื่อล้างสี crystal violet ออกจนสีม่วงจางลง แล้วล้างออกด้วยน้ำ แล้วหยด safranin ให้ท่วมสเมียร์เพื่อย้อมสีเป็นเวลา 30 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำ จึงนำสไลด์มาซับให้แห้งและนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

3. การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองเพื่อตรวจสอบการลดจำนวนแบคทีเรียโดยรังสียูวีซี ได้ทดสอบกับขยะอันตรายคือ หน้ากากอนามัย กระดาษชำระ หลอด

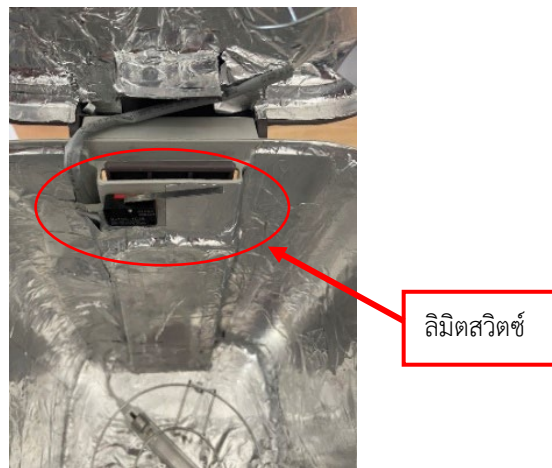
3.1 การออกแบบระบบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียภายในถังใส่ขยะอันตราย

โดยการประยุกต์ถังใส่ขยะที่มีขายโดยทั่วไป มาประยุกต์ใส่อุปกรณ์ตั้งเวลาเพื่อควบคุมเวลาที่หลอดยูวีซีทำงาน โดยภายในถังจะทำการติดตั้งตะแกรงเหล็กเพื่อป้องกันการกระแทกของชิ้นงานที่ใส่ลงในถัง



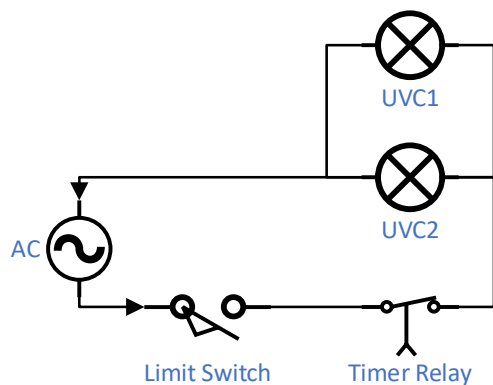
รูปที่ 2 ถังใส่ขยะที่ติดตั้งหลอดยูวีซี

จากรูปที่ 2 ได้ทำการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้บริเวณขอบทางด้านหลัง ดังรูปที่ 3



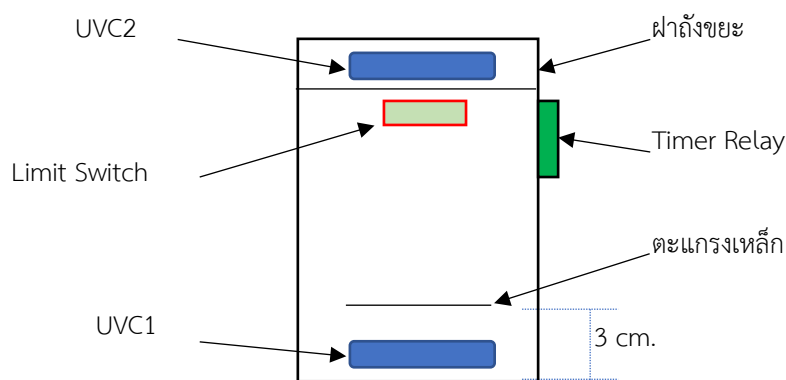
รูปที่ 3 ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์

เพื่อสร้างกลไกการทำงานให้หลอดไฟยูวีซีทำงานโดยจะทำการติดตั้งตัวหน่วยเวลา Timer เพื่อปรับเงื่อนไขเวลาการทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ 10, 15 และ 20 นาที โดยมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรการทำงานของหลอดไฟรังสียูวีซี

ซึ่งภายในถังด้านล่างจะทำการติดตั้งตะแกรงป้องกันการกระแทกหลอดไฟยูวีซีด้านล่าง ซึ่งทำให้ขยะอันตรายที่ทิ้งลงในถัง อยู่ห่างจากหลอดไฟรังสียูวีซีเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5

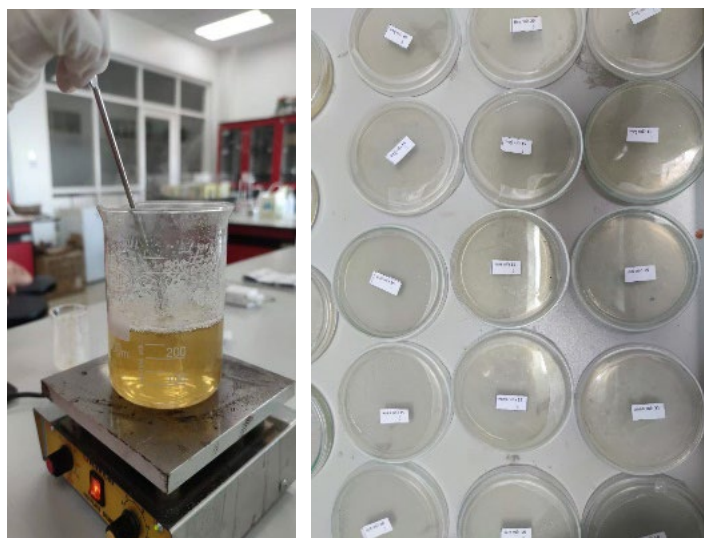


รูปที่ 5 โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 5 เมื่อได้ถังใส่ขยะติดเชื้อ จากนั้นเป็นการทดสอบการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ด้วยกระบวนการทางด้านอาชีวอนามัย

3.2 การทดสอบทางด้านอาชีวอนามัย

ในการทดสอบด้านอาชีวอนามัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเพื่อตรวจสอบปริมาณโคลิฟอร์ม โดยเมื่อได้ขนาดและปริมาณของโคลิฟอร์มแล้วจะทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นจะทำการฉายแสงรังสียูวีซีตามระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที เพื่อหาปริมาณหลังการฉายรังสียูวีซี ว่าปริมาณโคลิฟอร์มลดลงเท่าไร โดยการทดลอง 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 6



(a)

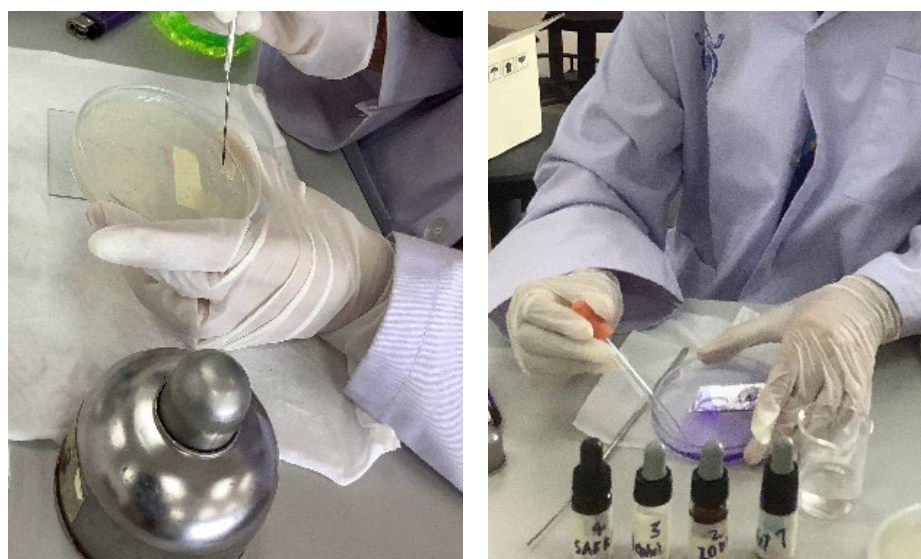
(b)

รูปที่ 6 การเตรียมเพาะเชื้อแบคทีเรียในห้องปฏิบัติการ

(a) การเตรียมสารละลายเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

(b) การแยกกลุ่มตัวอย่างในจากเพาะเชื้อ

จากรูปที่ 6 จะนำเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมาทำการสเมียร์เพื่อเข้ากระบวนการย้อมสีแกรม เพื่อตรวจสอบชนิดแกรมของแบคทีเรียดังรูปที่ 7



(a)

(b)

รูปที่ 7 การปฏิบัติการย้อมสีแกรมของแบคทีเรีย

(a) การย้อมสีแกรมของแบคทีเรีย

(b) สีที่ได้จากการย้อมสีแกรมของแบคทีเรีย

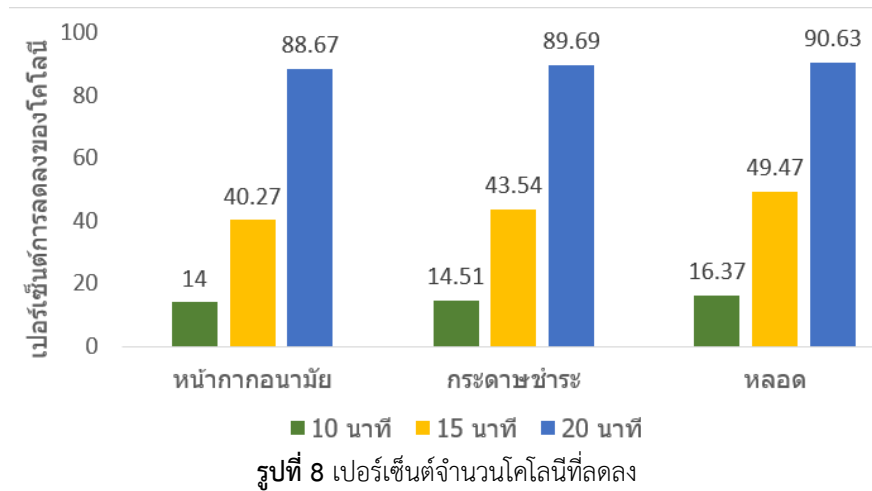
จากรูปที่ 7 เมื่อทำการย้ายสีแกรมจะสามารถแบ่งกลุ่มชนิดของแบคทีเรียได้ โดยกลุ่มที่แบ่งจะแบ่งเป็นแกรมบวกสีม่วง และแกรมลบมีสีแดง

4. ผลการทดลอง

ในการทดลองการออกแบบระบบถังใส่ขยะอันตรายเพื่อกำจัดแบคทีเรียด้วยรังสียูวีซี โดยภายในถังติดตั้งหลอดรังสียูวีซี จำนวน 2 หลอด ติดตั้งไว้ที่พื้นด้านในของถัง และบริเวณฝาถังด้านใน โดยมีตะแกรงไว้นกกระแทก และระบบจะทำงานทันที หลังจากปิดฝาถังสนิท โดยทดลองที่ระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที และนำผลการทดลองของโคโลนีมาวิเคราะห์ถึงความสามารถในการกำจัดแบคทีเรีย

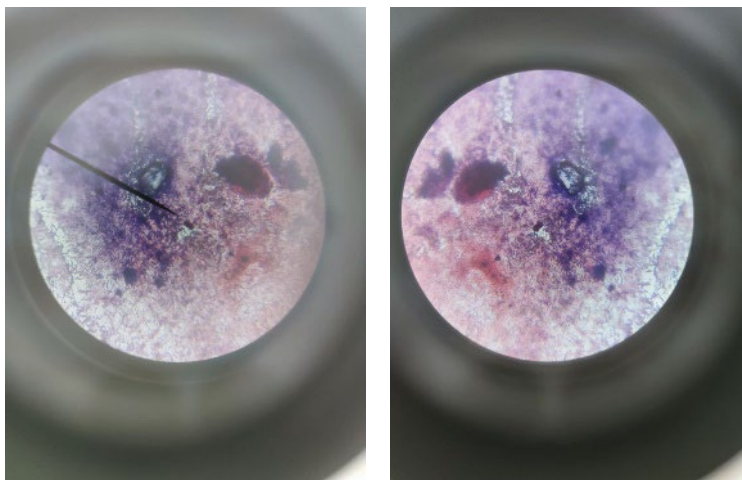
4.1 ผลการตรวจสอบจำนวนโคโลนี

จากการทดลองการฉายแสงยูวีซีในถังใส่ขยะติดเชื่อเป็นระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที โดยภายในถังมีหน้ากากอนามัย กระดาษชำระ และหลอด ที่ถูกใช้แล้ว มาทำการเพื่อเพาะเชื้อแบคทีเรียในห้องทดลองได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 8



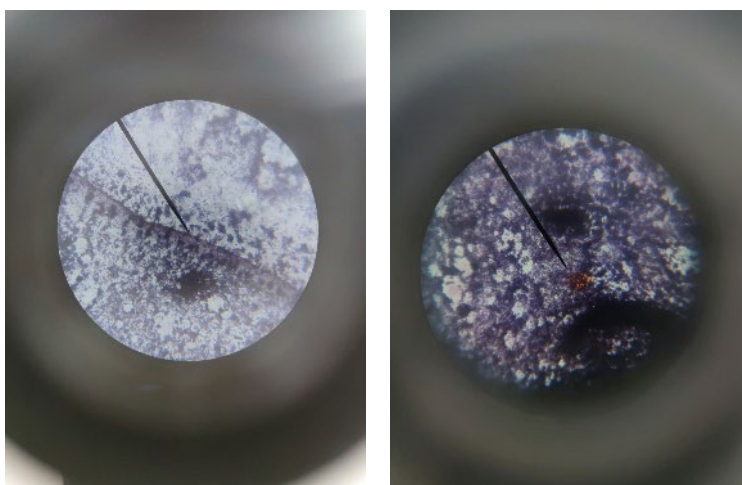
4.2 การตรวจสอบแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

ทางทีมวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นผิวของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด มาทำการทดสอบหาแกรมของแบคทีเรียพบว่า ในหน้ากากอนามัยมีแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (สีแกรมเป็นสีม่วง) และแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (สีแกรมเป็นสีแดง) ดังรูปที่ 9



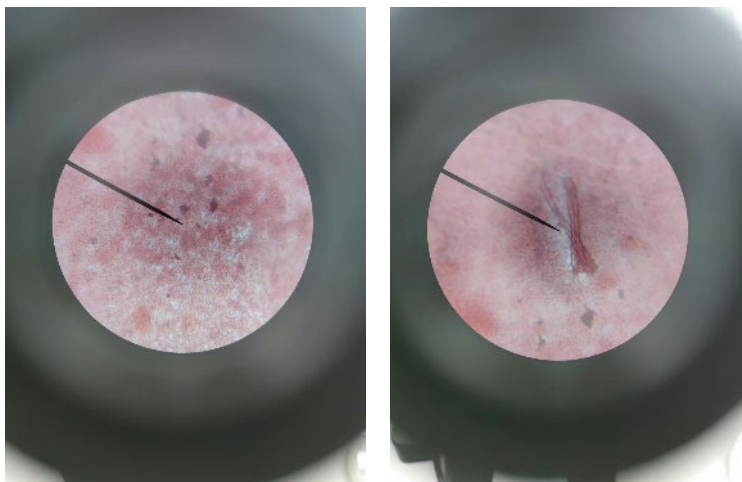
รูปที่ 9 แกรมของแบคทีเรียเป็นสีแดงและสีม่วงในหน้ากากอนามัยที่ใช้แล้ว

ในกระดาดชำระที่ใช้แล้ว พบแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (สีแกรมเป็นสีม่วง) รูปที่ 10



รูปที่ 10 แกรมของแบคทีเรียเป็นสีม่วงในกระดาดชำระ

ในหลอดที่ใช้งานแล้วพบแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (สีของแกรมเป็นสีแดง) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แกรมของแบคทีเรียเป็นสีแดงในหลอด

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการฉายรังสียูวีซี เพื่อลดจำนวน และกำจัดแบคทีเรียสามารถสรุปผลที่ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยการการลดลงของแบคทีเรียโดยพิจารณาจากปริมาณการลดลงของโคโลนีพบว่าระยะเวลาที่ยาวนานจะยิ่งส่งผลต่อการลดลงของโคโลนี โดยที่การเปิดแสงจากหลอดยูวีซีที่เวลา 20 นาที ส่งผลให้แบคทีเรียลดลงไปประมาณร้อยละ 90 ซึ่งปริมาณที่น้อยลงจะช่วยชะลอการเติบโตของแบคทีเรียที่เหลือก่อนการถูกกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไปได้ โดยแบคทีเรียที่พบในกระดาษชำระจะพบแบคทีเรียแกรมบวก หลอดจะพบแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนหน้ากากอนามัยนั้นจะพบทั้งกลุ่มของแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนั้นได้ทดสอบโดยใช้หลอดยูวีซีจำนวน 2 หลอด ซึ่งจัดวางในตำแหน่งบนล่างเนื่องจากพื้นที่ภายในที่จำกัด ซึ่งปริมาณความเข้มแสงยูวีซี มีผลต่อการกำจัดแบคทีเรีย หากมีการปรับตำแหน่ง และเพิ่มลดความเข้มแสงจากหลอดยูวีซีจะช่วยให้ได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุม หรือจัดการแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในขยะอันตรายได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ห้องปฏิบัติการการเพาะเชื้อ สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล-วิศวกรรมระบบราง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการทำงานวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Environmental Quality Situation in Thailand in 2020,” Pollution Control Department, http://www.pcd.go.th/pcd_news/11873/ (accessed May 19, 2022). (in Thai)
- [2] M. Buonanno, D. Welch, I. Shuryak, and D. J. Brenner, “Far-UVC Light (222 Nm) Efficiently and Safely Inactivates Airborne Human Coronaviruses,” *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, 2021. doi:10.1038/s41598-021-97508-9

- [3] P. Rattanakhemakorn, “UVC light and skin”, Dailynews, <https://d.dailynews.co.th/article /775802/> (accessed April 20, 2023). (in Thai)
- [4] W. Noonun, M. Simae, and A. Dechana, “Innovative Development of a Mobile UV Sterilizer by Community Participation at Safe and Low-Cost,” in *Proceeding of The 20th National Community Social Development (20th# CSD): “University Engagement,”* vol. 20, 2021. (in Thai)
- [5] M. Patipoh, F. Chehneh, and K. Sali, “Fungal Contamination Of Second Hand Clothing Sold In Flea Market In Yala And Pattani Province,” in *Proceeding of The National Science and Technology Conference 2018*, vol. 3, pp. 491–496, 2018. (in Thai)
- [6] Kasamaphon Phasuk, “Innovative Products Measure the Effectiveness of UV Germicidal Lamps,” Chulalongkorn University, <https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=b2043886> (accessed April 20, 2023). (in Thai)
- [7] J. Prasarn, A. Jongkaewwatana, and P. Santinirun, “Disinfection of N95 Masks and Surgical Masks with HEAT and UV-C,” *Thailand National Metal and Materials Technology Center*, pp. 1–59, 2021. (in Thai)
- [8] C. Nuanchan, K. Suwanhong, and S. Sumitsawak, “Treatment of Microorganisms on Surfaces Using Photocatalytic Oxidation Process,” *Thai Environmental Engineering Journal*, vol. 32, no. 2, pp. 17–23, 2018. (in Thai)
- [9] P. Wanphaisan, “UVC Sterilization (UVC),” Faculty of Pharmacy, Mahidol University, <https://pharmacy.mahidol.ac.th/knowledge/files/0488.pdf> (accessed May 19, 2022). (in Thai)
- [10] T. Potaros and H. Nimitkeatkai, “Effect of UV-C Irradiation on Physical Properties and Microbial Growth of Fermented Rice Noodles (Khanom-Jeen),” *Burapha Science Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 955–968, 2021. (in Thai)
- [11] K. Assatarakul, “Ultraviolet Radiation: An Emerging Technology for Juice Industry”, *Journal of Food Technology, Siam University*, vol. 10, no. 1, pp. 51–62, Aug. 2015. (in Thai)
- [12] W. Bunpheng, C. Sungoum, C. Leelasiriwilai, and S. Sirikasemsuk, “Designing A System to Eliminate Bacteria Inside Employee Lockers Using UVC Rays,,” in *Proceeding of 8th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2023 (RMTC2023)*, Rajamangala University of Technology Krungthep, vol. 8, pp. 1177–1183, 2023. (in Thai)
- [13] P. Pornchalermpong and N. Rattanapanont, “Gram Positive Bacteria,” Food Network Solution, <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1134/gram-positive-bacteria> (accessed May 19, 2022). (in Thai)

การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างหน้าสัมผัสบล็อกบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77

Wear Behavior of between Block on Ring by ASTM G77 Standard

ศุภภัทร ศิลาลอย¹ ปริญา ศรีสัตยกุล² ภาณุเดช แสงสีด้า² สุธรรม ศิวาวุธ² โอริส มณีสาย² และ ปานิธี เรืองศรี²

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บางพระ ศรีราชา ชลบุรี 20110

²สังกัดสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

Supat Silaloy¹ Parinya Srisattayakul² Panudet Saengseedam² Sutham Siwawut² Oris Maneesai² and Panithee Rungsri²

¹Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok,

Bang Phra, Sriracha, Chonburi, 20110

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

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

(Received: August 11, 2023; Revise: December 6, 2023; Accepted: December 7, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างหน้าสัมผัสบล็อกบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77 ในการทดสอบการสึกหรอ กำหนดความเร็วรอบของการทดสอบ 530 rpm. เวลาที่ใช้ทดสอบ 20 นาที และน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ 600 กรัม โดยมีผลตอบสนองในการศึกษาเป็นน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่สูญเสียไป ชิ้นงานทดสอบเป็นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาด 16 x 40 x 4 มม. และแหวนขัดชิ้นงานเป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C เคลือบสาร 2 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียมไนไตรและไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร ขนาด OD26 x ID16 x 20 มม. ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานทดสอบเมื่อขัดกับแหวนที่เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรเกิดการสึกหรอมากที่สุด ดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของทั้งชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.03655, 0.10598 กรัม ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C มีการสึกหรอน้อยรองลงมา ดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของทั้งชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.0070, 0.02208 กรัม ตามลำดับ และชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดที่เคลือบสารไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรมีการสึกหรอน้อยที่สุด เนื่องจากทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.01804, 0.0016 กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการทดสอบนี้สารเคลือบไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรจะทนต่อการสึกหรอมากที่สุด

คำสำคัญ: พฤติกรรมการสึกหรอ เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าคาร์บอน S45C บล็อกบนแหวน

Abstract

This research study investigated the behavior of wear during block-on-ring sliding contact according to ASTM G77 standard test. The testing was performed at a rotational speed of 530 rpm, for a duration of 20 minutes, and with a testing load of 600 grams. The response variable studied was the weight loss of the test specimen. The test specimen was a non-corrosive stainless steel 316 of size 16 x 40 x 4 mm, and the ring was made of S45C grad Medium-carbon steel coated with two types of materials: Titanium Nitride (TiN) and Titanium Carbonitride (TiCN). The size of the ring was OD26 x ID16 x 20 mm. The study found that the test specimen had the highest wear when sliding against the ring coated with Titanium Nitride, as evidenced by the weight loss values of both the test specimen and the ring (0.03655 and 0.10598 grams, respectively). On the other hand, the test specimen that slid against the ring made of carbon steel S45C had a lower wear rate, as shown by the weight loss values (0.0070 and 0.02208 grams, respectively). Lastly, the test specimen that slid against the ring coated with Titanium Carbonitride had the least wear due to its resistance to wear, as seen from the weight loss values (0.01804 and 0.0016 grams, respectively). This test demonstrated that Titanium Carbonitride coating had the highest wear resistance.

Keywords: Wear behavior, Stainless steel, Medium-carbon steel, Block on ring

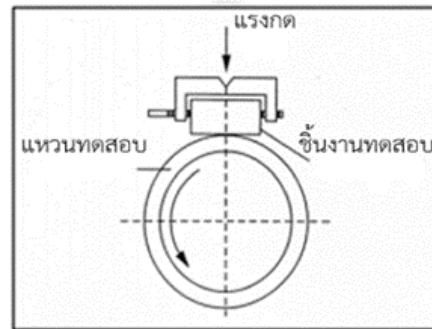
1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในภาคอุตสาหกรรมยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งในการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรส่วนใหญ่มักจะเป็นการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ในจุดที่เกิดการเสียหาย มากกว่าการซ่อมแซมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง จึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทางตรง กล่าวคือ การสั่งซื้อชิ้นส่วนใหม่นั้นๆ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจัดซื้อจัดจ้าง และในทางอ้อมคือ การเสียโอกาสในการผลิตสินค้าหรือบริการ เนื่องจากเกิดการรอคอยในการขนส่งสินค้า เพราะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลบางอย่างจำเป็นที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

งานวิศวกรรมพื้นผิวและการออกแบบวัสดุได้มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการช่วยยืดอายุการใช้งาน หรือปรับสภาพชิ้นงานให้เหมาะสม เพื่อการใช้ประโยชน์ในชิ้นส่วนนั้นๆ ให้ได้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น ซึ่งถือเป็นการลดต้นทุนในระยะยาว โดยการออกแบบพื้นผิวที่เหมาะสมสามารถที่จะลดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักร ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุจะต้องเหมาะสมกับกลไกการเกิดการสึกหรอในแต่ละสภาวะ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยมีปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อการสึกหรอ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความเร็ว ขนาดของอนุภาคของผิววัสดุ และความแข็งของวัสดุ เป็นต้น [1] การออกแบบเลือกใช้วัสดุเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ความซับซ้อนที่เกิดขึ้น ทำให้การเลือกใช้วัสดุเป็นเรื่องยาก เพราะฉะนั้น การทดสอบวัสดุจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ที่จะสามารถทำให้ทราบว่าวัสดุนั้นๆ เหมาะสมในสภาวะดังกล่าวหรือไม่ การทดสอบการสึกหรอจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่จะทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระทำต่อผิววัสดุแต่ละประเภท เป็นการทดสอบการสึกหรอในลักษณะของการขัดถูระหว่างวัสดุ 2 ชนิด ที่เคลื่อนที่สัมผัสกันด้วยความเร็ว และแรงกระทำต่อกันระหว่างบริเวณพื้นผิวสัมผัสของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างพื้นสัมผัสค้อนบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77 (American Society for Testing and Materials) ถือว่าเป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) รูปแบบหนึ่งตามมาตรฐาน ASTM G77 ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ [1-

2] นอกจากนี้แล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้หลักการทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอในการต้านทานการสึกหรอของวัสดุใหม่ที่มีการเคลือบด้วยเทคโนโลยีเคลือบผิวเชิงวิศวกรรมรูปแบบต่างๆ [3] จากเหตุผลดังกล่าว ในข้างต้น งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างหน้าสัมผัสล้อคบนแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77 ดังรูปที่ 1 เพื่อสร้างแนวทางในการเลือกใช้วัสดุ ให้เหมาะสมมากที่สุดเกี่ยวกับการสึกหรอขณะใช้งาน



รูปที่ 1 การทดสอบแบบล้อกับค้อน

2. วิธีการและระเบียบวิธีวิจัย

ดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบ [4] การสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการขัดสีระหว่างผิวสัมผัสกับชิ้นงานทดสอบ ในการทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบแหวนขัดชิ้นงานวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และเคลือบสารไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรด์ (TiCN) แสดงดังรูปที่ 3 และวัสดุเหล็กกล้า S45C ไม่ผ่านการชุบผิวแข็ง ทดสอบร่วมกับชิ้นงานทดสอบ (Specimen) วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เกรด 316 ขนาด 16 x 40 x 4 mm. ซึ่งทดสอบ การสึกหรอแบบขัดสีตามมาตรฐาน ASTM G77 ภายใต้สภาวะการทดสอบ คือ กำหนดความเร็วรอบของการทดสอบ 530 rpm. เวลาที่ใช้ทดสอบ 20 นาที และน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ 600 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการสึกหรอมาตรฐาน ASTM G77



รูปที่ 3 แหวนขัดชิ้นงาน

ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบสูญหายไป (Weight Loss) ภายหลังจากทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G77 ระหว่างชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมและแหวนขัดเหล็กกล้า S45C แสดงดังตารางที่ 1 ระหว่างชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมและแหวนขัดเหล็กกล้า S45C เคลือบด้วยไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร (TiCN) แสดงดังตารางที่ 2 และระหว่างชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม และแหวนขัดเหล็กกล้า S45C เคลือบด้วยไทเทเนียมไนไตร (TiN) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่สูญเสียนองผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม และแหวนขัดเหล็ก S45C

ชิ้นงาน	แหวนขัด (เหล็ก S45C)			ชิ้นงาน (เหล็กกล้าไร้สนิม)		
	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)
1	48.5264	48.5044	0.0220	14.0441	14.0368	0.0073
2	48.5263	48.5045	0.0218	14.0437	14.0368	0.0069
3	48.5269	48.5043	0.0226	14.0439	14.0370	0.0069
4	48.5261	48.5041	0.0220	14.0440	14.0368	0.0072
5	48.5265	48.5045	0.0220	14.0436	14.0369	0.0067

ตารางที่ 2 น้ำหนักที่สูญเสียนองผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม และแหวนขัดเหล็ก S45C เคลือบด้วยไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร (TiCN)

ชิ้นงาน	แหวนขัดเคลือบ (TiCN)			ชิ้นงาน (เหล็กกล้าไร้สนิม)		
	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)
1	51.4330	51.4312	0.0018	13.9437	13.9264	0.0173
2	51.4329	51.4311	0.0018	13.9435	13.9261	0.0174
3	51.4330	51.4313	0.0017	13.9439	13.9266	0.0173
4	51.4332	51.4315	0.0017	13.9483	13.9268	0.0215
5	51.4326	51.4316	0.0010	13.9434	13.9267	0.0167

ตารางที่ 3 น้ำหนักที่สูญเสียของผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม และแหวนขัดเหล็ก S45C เคลือบด้วยไทเทเนียมไนไตร (TiN)

ชิ้นงาน	แหวนขัดเคลือบ (TiN)			ชิ้นงาน (เหล็กกล้าไร้สนิม)		
	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)
1	50.7892	50.6833	0.1059	14.2385	14.2016	0.0369
2	50.7892	50.6834	0.1058	14.2382	14.2017	0.0365
3	50.7891	50.6829	0.1062	14.2382	14.2021	0.0361
4	50.7892	50.6830	0.1062	14.2383	14.2014	0.0369
5	50.7891	50.6833	0.1058	14.2382	14.2019	0.0363

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

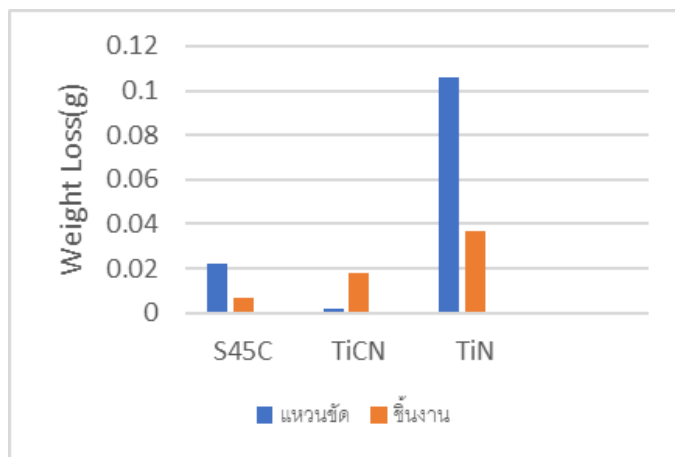
หลังจากการทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 เสร็จสิ้นจึงนำข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของแหวนขัดชิ้นงานที่ได้มา ใช้เปรียบเทียบดูความสึกหรอของวัสดุแต่ละชนิดดังตารางที่ 4 เห็นว่าแหวนขัดชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร (TiCN) สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 0.00160 g แหวนขัดชิ้นงาน (S45C) 0.02208 g และแหวนขัดชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) สูญเสียน้ำหนักมากที่สุด 0.10598 g และนำข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดแต่ละชนิดเปรียบเทียบดูความสึกหรอของชิ้นงานทดสอบดังตารางที่ 5 เห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดชิ้นงาน (S45C) สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (0.00700 g.) ชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร (TiCN) 0.01804 g และชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) สูญเสียน้ำหนักมากที่สุด 0.03655 g

ตารางที่ 4 ข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของแหวนขัดชิ้นงาน

แหวนขัดชิ้นงาน	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)
S45C	48.52644	48.50436	0.02208
เคลือบ (TiCN)	51.43294	51.43134	0.00160
เคลือบ (TiN)	50.78160	50.68318	0.10598

ตารางที่ 5 ข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ

แหวนขัดชิ้นงาน	ก่อนขัด (g)	หลังขัด (g)	ผลต่าง (g)
S45C	14.04386	14.03686	0.00700
เคลือบ (TiCN)	13.94369	13.92652	0.01804
เคลือบ (TiN)	14.24228	14.20174	0.03655

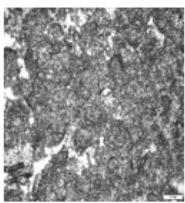
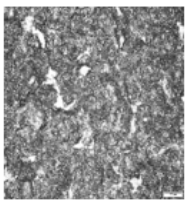
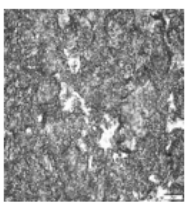
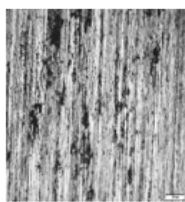


รูปที่ 4 กราฟแสดงน้ำหนักที่สูญเสียของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

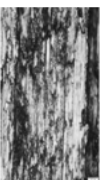
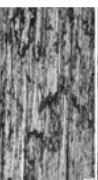
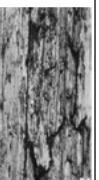
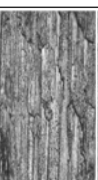
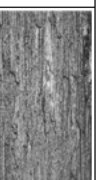
3.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิววัสดุ

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ ใช้เวลาทดสอบ 20 นาที ความเร็วรอบ 530 rpm. และน้ำหนัก 600 กรัม แสดงดังรูปที่ 5 พบว่าพื้นผิวชิ้นงานทดสอบหลังการทดสอบขัดกับแหวนขัดเหล็กกล้า S45C มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วน เนื่องจากผิวชิ้นงานทดสอบมีการเคลื่อนที่เสียดสีกับแหวนขัด ลักษณะการสึกหรอนี้ เรียกว่าการสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive Wear) ซึ่งพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดเหล็กกล้า S45C มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเล็กน้อย ชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนเคลือบ TiCN มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเพิ่มขึ้น และชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนเคลือบ TiN มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเพิ่มขึ้นไปอีก

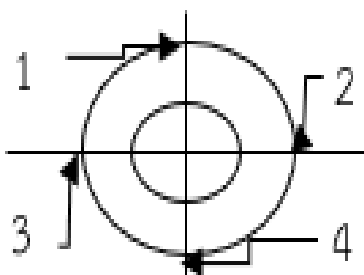
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวแหวนขัดใช้เวลาทดสอบ 20 นาที ความเร็วรอบ 530 rpm. และน้ำหนัก 600 กรัม แสดงดังรูปที่ 6 ในการตรวจสอบดูโครงสร้างพื้นผิวแหวนขัดจะแบ่งเป็น 4 ส่วน แสดงในรูปที่ 7 พบว่าพื้นผิวแหวนหลังการทดสอบขัดกับชิ้นงานทดสอบ มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วน เนื่องจากแหวนขัดมีการเคลื่อนที่เสียดสีกับชิ้นงานทดสอบ ลักษณะการสึกหรอนี้ เรียกว่าการสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive Wear) ซึ่งพบว่าแหวนขัดเคลือบ TiCN ที่ขัดกับชิ้นงานทดสอบ มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเล็กน้อย แหวนขัดเหล็กกล้า S45C ที่ขัดกับชิ้นงานทดสอบ มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเพิ่มขึ้น และแหวนขัดเคลือบ TiN ที่ขัดกับชิ้นงานทดสอบ มีลักษณะการสึกหรอเป็นแบบร่องลึกหรือรอยขีดข่วนเพิ่มขึ้นไปอีก

ชิ้นงาน ขัดกับ แหวน	ลักษณะพื้นผิวก่อน ทดสอบ	ลักษณะพื้นผิวหลัง ทดสอบ
S45C		
TiCN		
TiN		

รูปที่ 5 โครงสร้างพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ

แหวน ขัด	ลักษณะพื้นผิวของแหวน			
	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3	ส่วนที่ 4
S45C				
TiCN				
TiN				

รูปที่ 6 โครงสร้างพื้นผิวของแหวนขัด



รูปที่ 7 ตำแหน่งการตรวจสอบพื้นผิวของโครงสร้างแหวนขัด

4. สรุปผล

แหวนขัดชิ้นงานเมื่อมีการเคลือบสารจะทำให้เกิดการสึกหรอของชิ้นงานต่างกัน คือชิ้นงานทดสอบเมื่อขัดกับแหวนที่เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรด์แล้วจะเกิดการสึกหรอมาก ดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของทั้งชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.03655, 0.10598 g ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดเหล็กกล้า S45C เกิดการสึกหรอรองลงมา ดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของทั้งชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.0070, 0.02208 g ตามลำดับ และชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดที่เคลือบสารไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรด์ จะเกิดการสึกหรอน้อยเนื่องจากทนต่อการสึกหรอแบบขัดสี ดูได้จากค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงานและแหวนขัดเท่ากับ 0.01804, 0.0016 g ตามลำดับ ดังตารางที่ 6 แสดงได้ว่าการทดสอบรูปแบบนี้สารเคลือบไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรด์จะทนต่อการสึกหรอมากที่สุด

ตารางที่ 6 ข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียของชิ้นงานทดสอบและแหวนขัดชิ้นงาน

แหวนขัดชิ้นงาน	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ย (g)	น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ (g)
S45C	0.02208	0.00700
TiCN	0.00160	0.01804
TiN	0.10598	0.03655

5. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีระหว่างหน้าสัมผัสล้อคบนแหวนกับชิ้นงานทดสอบ โดยศึกษากระบวนการทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 จะเห็นได้ว่าวัสดุและสารเคลือบ (Type of Coating : TOC) คือ เหล็กกล้า S45C ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรด์ (TiCN) ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 20 นาที ความเร็วรอบ 530 rpm. และน้ำหนักกดที่ 600 กรัม มีผลต่อกระทบต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงานทดสอบขัดกับแหวนขัด มีอิทธิพลต่อน้ำหนักของชิ้นงานและแหวนขัดที่หายไป

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิววัสดุ (Surface Material Analysis) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงด้วยกำลังขยาย 20x พบว่าชิ้นงานทดสอบเมื่อขัดกับแหวนที่เคลือบสารไทเทเนียมไนไตรด์เกิดการสึกหรอมากที่สุด ส่วนชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดเหล็กกล้า S45C มีการสึกหรอน้อยลง และชิ้นงานทดสอบที่ขัดกับแหวนขัดเคลือบสารไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรด์มีการสึกหรอน้อย

ที่สุด เนื่องจากทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีดู แสดงให้เห็นว่าการทดสอบนี้สารเคลือบไทเทเนียมคาร์บอนไนไตรจะทนต่อการสึกหรอมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Fang et al., “Computer Simulation of Two-Body Abrasion Processes,” *Wear*, vol. 251, no. 1–12, pp. 1356–1360, 2001. doi:10.1016/s0043-1648(01)00769-4
- [2] J. M. Karandikar, A. E. Abbas, and T. L. Schmitz, “Tool Life Prediction Using Bayesian Updating. Part 2: Turning Tool Life Using a Markov Chain Monte Carlo Approach,” *Precision Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 18–27, 2014. doi:10.1016/j.precisioneng.2013.06.007
- [3] P. Srisattayakul, C. Saikaew, and A. Wisitsorat, “Effect of Hard Chrome and MoN-coated Stainless steel on Wear Behavior and Tool Life Model under Two-body Abrasion Wear Testing,” *Metallurgy*, vol. 56, no. 3–4, pp. 317–313, 2017.
- [4] C. Thanadngarn and V. Ungphakorn, *Machine Design 1*. Bangkok: SE-ED Publisher, pp. 3–4, 2013. (in Thai)
- [5] P. Srisattayakul, S. Silaloy, M. Timata and T. Haanchumpol, “Wear Behavior of Crawler-wheels by ASTM G65 Standard” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, 2020, pp. 625–630. (in Thai)

อิทธิพลของปัจจัยสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมผสม AA5083 กับ AA6061 โดยมีวัสดุเสริมแรงในแนวเชื่อม

Influence Of Factors for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys AA5083 and AA6061 With Reinforcing Material in The Weld Line

รุ่งวันต์ ไกรกลาง¹ ฌกจ เชื้อดี¹ สุรพจน์ วัชรโรภากุล¹ สุรัตน์ วรรณศรี¹ ภูมิสิทธิ์ สันดี¹ และ ธนศักดิ์ รัตนพทุธิพิบูล^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rungwasun Kraiklang¹ Chakat Chueadee¹ Suraphot Watcharophakul¹ Surat Wannasri¹

Poomsit Sandee¹ and Thanasak Rattanapootapiboon^{1*}

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

Rajamangala University of Technology Isan

Corresponding author Email: Thanasak.ra@rmuti.ac.th*

(Received: August 22, 2023; Revise: December 16, 2023; Accepted: December 18, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสำหรับการเติมอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ในแนวเชื่อมของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด AA5083 กับอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม-ซิลิคอนเกรด AA6061 เพื่อเป็นแนวทางเพิ่มสมบัติความต้านทานแรงดึงในแนวเชื่อม กำหนดปัจจัยแปรผันคือความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 800, 1,000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15, 30 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม และปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึง อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยที่ปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานสูงที่สุด รองลงมาคือปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม โดยเมื่อเพิ่มปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมสูงขึ้นจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงขึ้นตาม ขณะที่เมื่อลดปัจจัยความเร็วเดินเชื่อมลงจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงขึ้น ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานดีที่สุดของการทดลองนี้ คือความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดคือ 211.63 MPa

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน อนุภาคสารเสริมแรง ค่าความต้านทานแรงดึง

Abstract

This research intended to explore the influence of parameters for filling of silicon carbide reinforced particles in the weld line for friction stir welding of aluminum alloy AA5083 and AA6061 as a guideline for enhancing the tensile strength in the weld line. Determining the variables were the tool rotation speed of 800, 1,000 rpm and the welding speed of 15, 30 mm/min. Statistical analysis showed that the tool rotation speed and welding speed significantly influenced the tensile strength at 0.05 level. The tool rotation speed had the

highest influence on the tensile strength of the workpiece followed by the welding speed. Increasing the tool rotation speed will result in higher tensile strength of the workpiece, while decreasing the welding speed will result in higher tensile strength of the workpiece. The best factor affecting the tensile strength of the workpiece in this experiment was the tool rotation speed of 1,000 rpm and the welding speed of 15 mm/min., the highest tensile strength is 211.63 MPa.

Keywords: Friction Stir Welding, Reinforcement Particles, Tensile Strength

1. บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญของงานวิจัย

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ด้านทานต่อการกัดกร่อนและมีการนำความร้อนที่ดี รวมถึงมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงกว่าเหล็กกล้า สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีราคาถูก หาได้ง่ายตามท้องตลาด จึงนิยมนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการพาณิชย์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมรถยนต์ อะลูมิเนียมอัลลอยจะถูกนำมาใช้ทดแทนเหล็กกล้าเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ยในอัตราร้อยละ 11-12 ต่อปี จากการที่ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก อะลูมิเนียมอัลลอย โดยเฉพาะกลุ่ม 5xxx และ 6xxx ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในยานยนต์อย่างกว้างขวาง เช่น ตัวโครงรถ ฝากระโปรงรถ และประตูรถ การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้ ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Weld) ซึ่งมีข้อจำกัดและเกิดปัญหาหลังการเชื่อม โดยเฉพาะการเชื่อมอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิด ที่มีความยุ่งยากของการเลือกวัสดุเชื่อม เกิดการบิดงอแตกร้าว ความเค้นตกค้างสูง เกิดจุดบกพร่องหรือตำหนิในแนวเชื่อม โครงสร้างจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากอุณหภูมิของบ่อหลอมที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมสูงมาก เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนภายในโครงสร้าง จากปัญหาดังกล่าวส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมลดลง โดยเฉพาะความต้านทานแรงดึง จึงไม่สามารถที่จะเชื่อมเข้าด้วยกันได้ด้วยวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลาย ด้วยกระบวนการทางความร้อน ได้

วิธีการเชื่อมโลหะในสภาวะของแข็งด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding ; FSW) โดย Wayne Thomas ในปี ค.ศ 1991 จากสถาบันการเชื่อมของอังกฤษ ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ จากการเชื่อมแบบหลอมละลาย โครงสร้างของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนจะมีลักษณะเกรนที่เล็กละเอียด สามารถรับแรงได้สูง ซึ่งการเชื่อมแบบหลอมละลายทั่วไปไม่สามารถทำได้ [1] วิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนจะไม่ก่อให้เกิดสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และสามารถเชื่อมอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิดกันได้ดี จากข้อดีข้างต้นจึงทำให้การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นที่ยอมรับกันในงานอุตสาหกรรมของต่างประเทศ เช่น ในอดีตมีการเชื่อมต่อชนระหว่าง AA5083 และ AA6061 พบว่าตัวแปรแนวเชื่อมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 200 MPa คือความเร็วรอบ 600 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 10 มิลลิเมตร/นาที [2] อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิดกันยังประสบปัญหาของความแข็งแรงของแนวเชื่อมหลังการเชื่อมที่ได้ยังต่ำกว่าวัสดุฐาน อาจเป็นผลจากพารามิเตอร์การเชื่อมไม่สัมพันธ์กัน ส่งผลต่อความร้อนจากการเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม ทำให้การเสียรูปแบบพลาสติกและการผสมผสานของเนื้อวัสดุไม่เพียงพอหรือมากเกินไปภายในโครงสร้างแนวเชื่อม และถึงได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วความแข็งแรงแนวเชื่อมก็ยังไม่แข็งแรงเท่ากับวัสดุฐานอยู่ดี และจากรายงานในอดีตที่ผ่านมาอันยังไม่มีการศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงแนวเชื่อมด้วยอนุภาคผงเสริมแรง มีเพียงการเพิ่มความแข็งแรงให้กับแนวเชื่อมด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยความร้อนเท่านั้น ดังการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิดเกรด 5083 และเกรด 6061 แนวเชื่อมมีความแข็งแรงลดลงเฉลี่ยถึง 29% ของอะลูมิเนียมอัลลอยเกรด 6061 จากการที่โครงสร้าง

แนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่อง รวมถึงยังพบไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันบางส่วนภายในโครงสร้าง ถึงแม้ว่าจะมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนหลังการเชื่อมเสียตามแบบกวนแล้วก็ตาม [3, 4] ประกอบกับเคยมีการศึกษาวิธีการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุอะลูมิเนียมด้วยวิธีการเสริมแรงด้วยอนุภาคผงเสริมแรงภายในเนื้อวัสดุให้เป็นวัสดุอะลูมิเนียมเชิงประกอบพบว่าการเสริมแรงด้วยอนุภาคผงเสริมแรงสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เพิ่มสูงขึ้นได้ [5] โดยอนุภาคผงที่นิยมใช้กลุ่มคาร์ไบด์และออกไซด์ เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide : SiC), อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide : Al_2O_3) เป็นต้น ดังนั้นวิธีการที่สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแนวเชื่อมให้ใกล้เคียงกับโลหะพื้นในกระบวนการเชื่อมเสียตามแบบกวนด้วยการใช้อนุภาคผงเสริมแรงให้กับแนวเชื่อม เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่เพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานแรงดึงได้

ด้วยเหตุนี้จึงได้สนใจนำประเด็นนี้มาเป็นปัญหาในการศึกษาวิจัยการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม AA5083 กับ AA6061 ด้วยเทคนิคการเชื่อมเสียตามแบบกวน ลักษณะแบบการต่อชน (Butt-Joint) พร้อมกับเจาะรูเติมอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมครอน เข้าไปผสมเพื่อเกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบในแนวการเชื่อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในแนวเชื่อม ซึ่งอะลูมิเนียมผสมเนื้อพื้นที่ใช้เป็นเกรดที่มีความนิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม และเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการเชื่อมต่ออะลูมิเนียม ประกอบกับในประเทศไทยยังมีข้อมูลอ้างอิงในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมด้วยเทคนิคนี้น้อยมาก จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

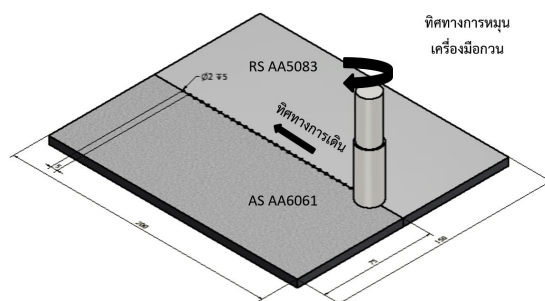
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength, UTS) ของชิ้นงานในการเชื่อมเสียตามแบบกวนวัสดุอะลูมิเนียมผสม AA5083 และ AA6061 ที่เสริมความแข็งแรงด้วยการเจาะรูเติมอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 เตรียมวัสดุอุปกรณ์

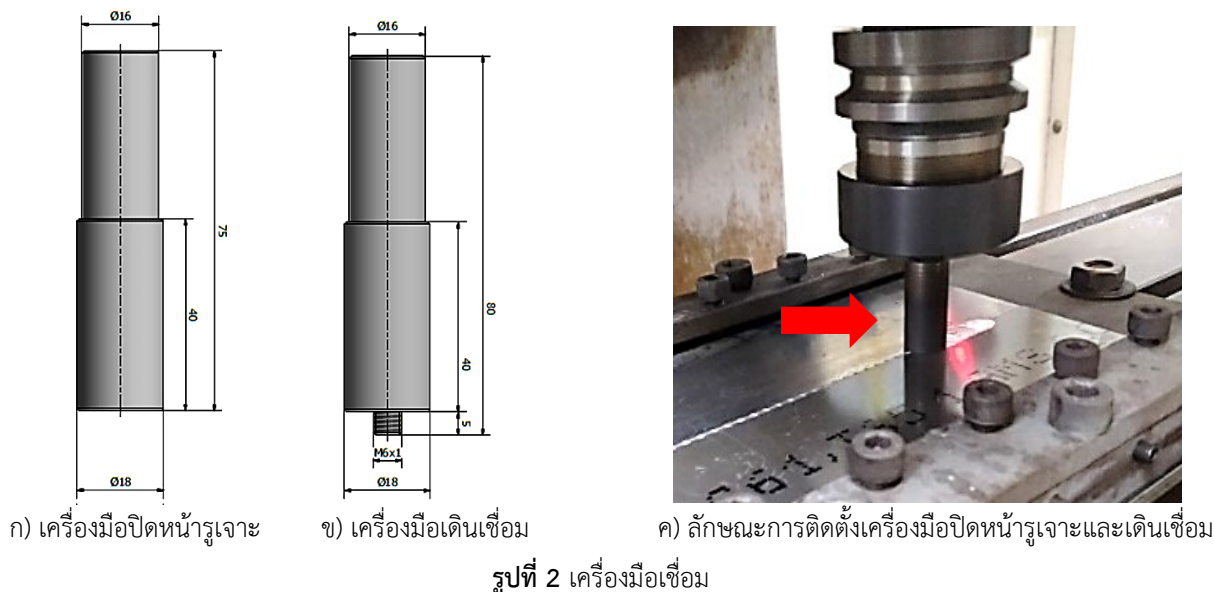
1) วัสดุทดลองคืออะลูมิเนียมผสมเกรด AA5083 และ AA6061 ตัดให้ได้ขนาดตามแบบคือ ขนาดความกว้าง $75 \times 200 \times 6$ มิลลิเมตร แล้วประกบกันเพื่อเจาะรูเป็นแถวเส้นตรงตามแนวประกบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู 5 มิลลิเมตร จำนวน 29 รูต่อแถว เพื่อให้ได้ปริมาตรสัดส่วนอนุภาคผงเสริมแรง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม AA5083 และ AA6061

2) อนุภาคผงสารเสริมแรงที่ใช้เป็นซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide : SiC) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมครอน

3) เครื่องมือที่ใช้เดินกวน เป็นวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด DC53 ผ่านการชุบแข็งแล้วมีความแข็งเฉลี่ย 60 - 62 HRC ขึ้นรูป 2 รูปแบบ คือ เครื่องมือที่ใช้กวนปิดรูที่มีเฉพาะปากเครื่องมือมีขนาดความโตปากเครื่องมือ 18 มิลลิเมตร ใช้สำหรับกวนปิดหน้ารูเจาะเติมอนุภาคผงก่อนทำการเดินเชื่อม (รูปที่ 2ก) และเครื่องมือที่ใช้เดินเชื่อมจะเพิ่มหัวสำหรับกวนแนวเชื่อมตรงปลายปากเครื่องมือโดยขึ้นรูปเป็นเกลียวเมตริกขนาด M6x1 ยาว 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 2ข) โดยติดตั้งเครื่องมือที่หัวจับงานเครื่องกัด (รูปที่ 2ค)



2.2 การออกแบบการทดลอง

เบื้องต้นคณะผู้จัดทำได้ทดลองหาค่าพารามิเตอร์แปรผันด้านความเร็วรอบเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อมจากการทดลองเบื้องต้น พบว่าค่าระดับพารามิเตอร์ที่สามารถเชื่อมติดกันได้ดี มีความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมอยู่ในช่วง 800-1000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อมอยู่ในช่วง 15-30 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำค่าระดับพารามิเตอร์ทั้งสองมาใช้ออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมอัลลอยเกรด AA5083 กับ AA6061 ที่เสริมแรงแนวเชื่อมด้วยอนุภาคผงเสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ การกำหนดปัจจัยคงที่อ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ประกอบด้วยปัจจัยมุมเอียงเครื่องมือ ความลึกกดเสียดทาน เวลากดเสียดทาน รูปทรงเครื่องมือ และอัตราส่วนของขนาดปากเครื่องมือต่อขนาดของหัวพิน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดปัจจัยคงที่

ปัจจัย	ค่าระดับ	อ้างอิง
มุมเอียงเครื่องมือ	0°	[6]
ความลึกกดเสียดทาน	0.5 มม.	[7, 8]
เวลากดเสียดทาน	30 วินาที	[9]
รูปทรงเครื่องมือ	เกลียวทรงกระบอก	[10, 11]
อัตราส่วนของขนาดปากเครื่องมือต่อหัวพิน	3 : 1	[9,12]

ส่วนแสดงเงื่อนไขการทดลองและระดับปัจจัยแปรผันในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขทดลอง และระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัยการทดลอง	หน่วย	ระดับปัจจัย	
		ต่ำ (-1)	สูง (+1)
ความเร็วรอบเครื่องมือกลผสมแนวเชื่อม (S)	รอบ/นาที	800	1000
ความเร็วเดินเชื่อม (F)	มม./นาที	15	30

ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เต็มรูปแบบชนิด 2^k (Full factorial 2^k) โดยกำหนดให้มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยตัวแปรตามหรือผลตอบสนองที่ต้องการทราบเป็นค่าความต้านทานแรงดึง

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

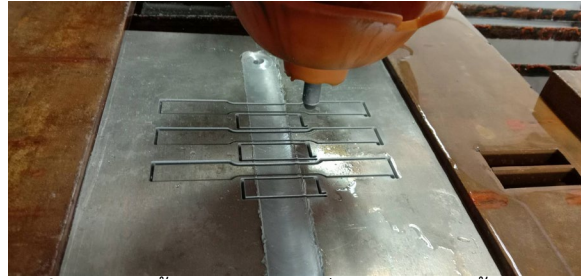
ดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขในตารางการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบชนิด 2^k ด้วยการจับยึดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึด (Fixture) และใช้เครื่องกัดตั้งระบบอัตโนมัติ และใช้เครื่องกัดตั้งระบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ HAAS รุ่น TM2 ในการเดินเชื่อมเสียดทานแบบกวน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ทดลองเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

2.4 การเตรียมชิ้นงานและการทดสอบสมบัติ

หลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ตามแผนการทดลองครบทุกเงื่อนไขแล้ว จะนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ไปตัดชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบโครงสร้างจุลภาค และชิ้นส่วนทดสอบแรงดึง ตามขนาดมาตรฐาน ASTM E8M แสดงรูปร่างการตัดชิ้นทดสอบดังรูปที่ 4 ด้วยเครื่องตัดด้วยน้ำแรงดันสูงยี่ห้อ MAXIEM Waterjet รุ่น 1530 ซึ่งเป็นการตัดด้วยเครื่องดังกล่าวมีจุดเด่นคือ สามารถตัดงานที่มีขนาดเที่ยงตรง ไม่เกิดความร้อนขณะตัดเฉือน



รูปที่ 4 การตัดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องตัดวัสดุด้วยน้ำแรงดันสูง

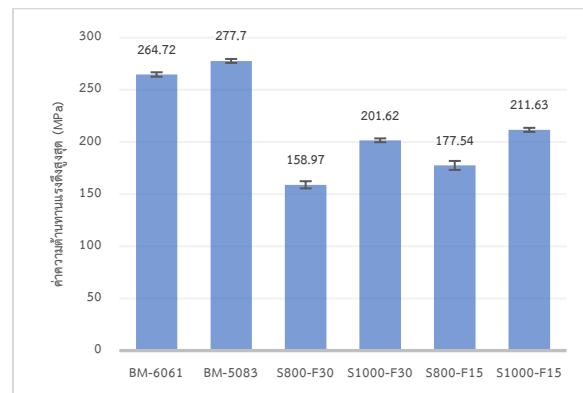
นำชิ้นทดสอบแรงดึงไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ LLOYD รุ่น LS100 Plus ขนาด 100 กิโลนิวตัน และทำการดึงด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องจนชิ้นงานขาด ทำการบันทึกค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength)

ชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค จะนำชิ้นงานมาขัดผิวภาคตัดขวางด้านแนวเชื่อม เตรียมพื้นผิวสำหรับส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงยี่ห้อ Olympus รุ่น BX 60 เพื่อตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมที่ได้จากการขึ้นรูป และดูลักษณะการกระจายของอนุภาคสารเสริมแรง

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลค่าความต้านทานแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึงจากการทดลองตามแผนการทดลองจำนวน 4 เงื่อนไข ทำซ้ำเงื่อนไขละ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำมาเปรียบเทียบกับค่าวัสดุฐาน (Base Material) ได้ผลดังกราฟในรูปที่ 5

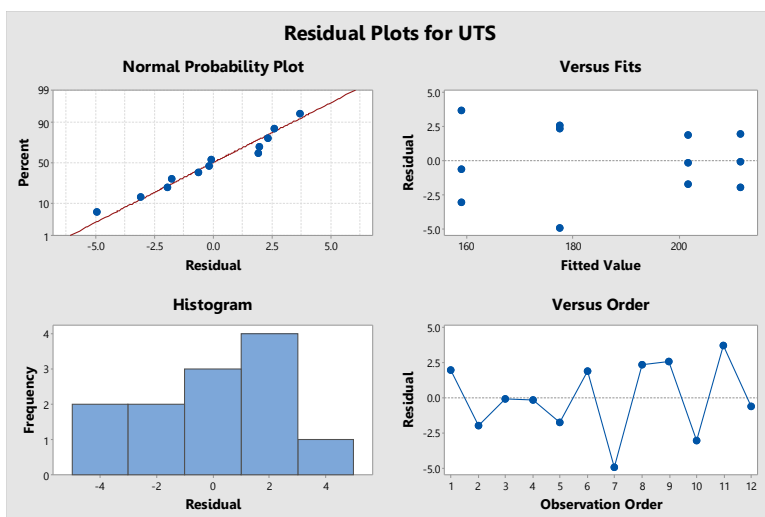


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงแต่ละเงื่อนไข

พบว่าชิ้นงานในเงื่อนไข S1000-F15 คือความเร็วรอบเครื่องมือกลวงผสมแนวเชื่อม 1000 รอบต่อนาที กับความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที จะมีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด เฉลี่ยที่ 211.63 MPa และชิ้นงานในเงื่อนไข S800-F30 คือความเร็วรอบเครื่องมือกลวงผสมแนวเชื่อม 800 รอบต่อนาที ความเร็วรอบกลวง 30 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดเฉลี่ยที่ 158.97 MPa

3.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความต้านทานแรงดึง

ก่อนทำการทดสอบสมมติฐานถึงอิทธิพลปัจจัยต่อความต้านทานแรงดึง ต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่สมมติฐานว่าค่าเศษเหลือ (Residual) ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ คือ ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ การวิเคราะห์รูปแบบของค่าเศษเหลือของค่าความต้านทานแรงดึงในภาพรวมแสดงดังรูปที่ 6



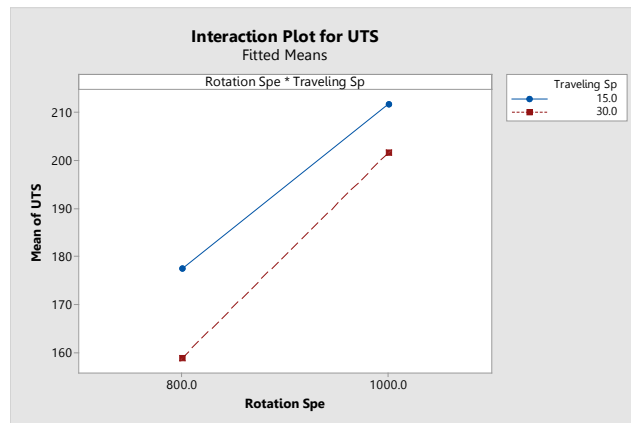
รูปที่ 6 การวิเคราะห์รูปแบบของค่าเศษเหลือ

จากรูปที่ 6 ความน่าจะเป็นปกติ (Normal probably plot) พบว่ากราฟว่ามีลักษณะของข้อมูลเป็นเส้นตรง แสดงว่าค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ และเส้นตรงไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น และกราฟบนขวา แสดงการกระจายตัวของค่าเศษเหลือกระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน แสดงว่าค่าเศษเหลือมีความแปรปรวนพอ ๆ กัน สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ต่อได้ดังนี้

Factorial Regression: UTS versus Rotation Speed, Traveling Speed					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	FValue	P-Value
Model	3	5084.99	1695.00	181.01	0.000
Linear	2	5029.91	2514.95	268.58	0.000
Rotation Speed	1	4417.15	4417.15	471.72	0.000
Traveling Speed	1	612.76	612.76	65.44	0.000
2-Way Interactions	1	55.08	55.08	5.88	0.041
Rotation Speed*Traveling Speed	1	55.08	55.08	5.88	0.041
Error	8	74.91	9.36		
Total	11	5159.90			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
3.06004	98.55%	98.00%	96.73%		

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความต้านทานแรงดึงพบว่า ปัจจัยหลักทั้งสองปัจจัย คือปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกลึงผสมแนวเชื่อม และปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึง และปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกลึงผสมแนวเชื่อมกับปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความต้านทานแรงดึงด้วย เนื่องจากปัจจัยรวมทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึง จึงพิจารณากราฟ Interaction Plot ดังรูป

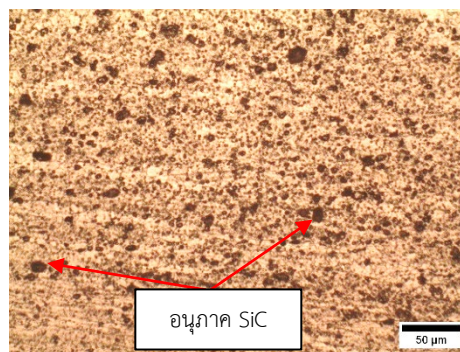


รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ Interaction Plot

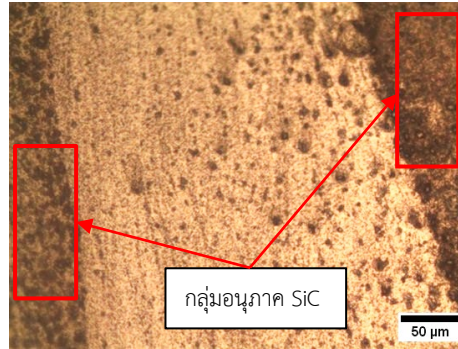
จากกราฟดังรูปที่ 8 พบว่าเมื่อเพิ่มปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกลึงผสมแนวเชื่อมสูงขึ้นจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงขึ้นตาม ขณะที่เมื่อลดปัจจัยความเร็วเดินเชื่อมลง จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงขึ้น โดยระดับปัจจัยที่ส่งผลค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงที่สุดของการทดลองนี้คือ คือ ความเร็วรอบเครื่องมือกลึงผสมแนวเชื่อม 1000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 15 มิลลิเมตรต่อนาที ส่วนระดับปัจจัยที่ส่งผลค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ต่ำที่สุดของการทดลองนี้คือ คือ ความเร็วรอบเครื่องมือกลึงผสมแนวเชื่อม 800 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที

3.3 วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเงื่อนไขที่ให้ผลทดสอบสมบัติทางกลที่สูงที่สุดมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต่ำที่สุดคือ S1000-F15 กับ S800-F30 เพื่อวิจารณ์ผลของโครงสร้างจุลภาคกับสมบัติทางกล ผ่านการถ่ายภาพบริเวณกึ่งกลางพื้นที่กวนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์ บริเวณของพื้นที่กวนของแนวเชื่อม ดังนี้



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบเงื่อนไข S1000-F15



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของชั้นทาสอบเงื่อนไข S800-F30

จากรูปที่ 9 และ 10 พบว่า โครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของแนวเชื่อมที่เงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 15 มิลลิเมตรต่อนาที (S1000-F15) มีการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ที่สม่ำเสมอบริเวณของพื้นที่กวนของแนวเชื่อม ส่วนโครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของแนวเชื่อมที่เงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 800 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 30 มิลลิเมตรต่อนาที (S800-F30) มีการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ไม่สม่ำเสมอบริเวณผิวหน้าของพื้นที่กวน เกิดการรวมตัวอยู่ทีเดียว ไม่กระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ของแนวเชื่อม

3.4 วิจัยผลการดำเนินงาน

จากการทดลองเพิ่มความแข็งแรงของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยวิธีกวนปิดรูเจาะอะลูมิเนียมอัลลอยด์ต่างชนิดเกรด AA5083 และ AA6061 เสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ พบว่าการเลือกใช้พารามิเตอร์มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยที่เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมสูงขึ้น และความเร็วเดินเชื่อมต่ำลง จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนบริเวณแนวเชื่อมที่เพียงพอให้น้ำวัสดุเชื่อมอ่อนตัว ง่ายต่อการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรง และมีเวลาและความเร็วเพียงพอจะหมุนเหวี่ยงให้อนุภาคสารเสริมแรงเกิดการกระจายตัวไปทั่วพื้นที่กวน ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ที่สม่ำเสมอในบริเวณพื้นที่กวนของแนวเชื่อม ขณะที่เงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมต่ำ ความเร็วเดินเชื่อมสูง จะทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ เนื่องจากความร้อนบริเวณแนวเชื่อมไม่เพียงพอให้น้ำวัสดุเชื่อมอ่อนตัว อีกทั้งยังมีเวลาและความเร็วไม่เพียงพอที่จะหมุนเหวี่ยงให้อนุภาคสารเสริมแรงเกิดการกระจายตัวไปทั่วพื้นที่กวน ส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาค ไม่กระจายตัวทั่วพื้นที่ของแนวเชื่อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gopalakrishnan and Murugan [13] ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนวัสดุเชิงประกอบ AA6061/TiCp ซึ่งพบว่า การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบเครื่องมือและความเร็วเดินเชื่อมมีผลโดยตรงต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม คือเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบเครื่องมือจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นด้วย ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราความเร็วเชื่อมจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ในความสัมพันธ์ลักษณะเชิงเส้นตรงแบบผกผัน

ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานดีที่สุดของการทดลองนี้ คือ ความเร็วยรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 15 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดคือ 211.63 MPa แนวเชื่อมมีความแข็งแรงลดลงเฉลี่ย 20% ของอะลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 6061 และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Jannet, Mathews and Raja [2] ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ต่างชนิดเกรด AA5083 และ AA6061 แบบไม่เติมอนุภาคผงสารเสริมแรง ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 200 MPa ซึ่งมีค่าต่ำกว่างานวิจัยนี้ ถือว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยวิธีกวนปิด

รูเจาะอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิดเกรด AA5083 และ AA6061 เสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์นี้สามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงได้

4. สรุปผล

4.1 การศึกษาการเพิ่มความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยวิธีกวนปิดรูเจาะอะลูมิเนียมอัลลอยต่างชนิดเกรด AA5083 และ AA6061 เสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ พบว่าปัจจัยการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 15 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดคือ 211.63 MPa แนวเชื่อมมีความแข็งแรงลดลงเฉลี่ย 20% ของอะลูมิเนียมอัลลอยเกรด 6061 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าการเชื่อมอะลูมิเนียมอัลลอยวัสดุฐานเกรด AA5083 และ AA6061

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อม และปัจจัยความเร็วเดินเชื่อมมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึง อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยที่ปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด รองลงมาคือปัจจัยความเร็วเดินเชื่อม โดยเมื่อเพิ่มปัจจัยความเร็วรอบเครื่องมือกวนผสมแนวเชื่อมสูงขึ้นจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นตาม ขณะที่เมื่อลดปัจจัยความเร็วเดินกวนลง จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุการทดลองจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Venu, I. BhavyaSwathi, L. S. Raju, and G. Santhanam, "A Review on Friction Stir Welding of Various Metals and Its Variables," *Materials Today*, vol. 18, no. 1, pp. 298–302, 2019. doi:10.1016/j.matpr.2019.06.304
- [2] S. Jannet, P. K. Mathews, and R. Raja, "Comparative Investigation of Friction Stir Welding and Fusion Welding Of 6061 T6 – 5083 O Aluminum Alloy Based on Mechanical Properties and Microstructure," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 62, no. 4, pp. 791–795, 2014. doi:10.2478/bpasts-2014-0086
- [3] M. Ghaffarpour, S. Kolahgar, B. M. Dariani, and K. Dehghani, "Evaluation of Dissimilar Welds of 5083-H12 and 6061-T6 Produced by Friction Stir Welding," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 44, no. 8, pp. 3697–3707, 2013. doi:10.1007/s11661-013-1739-2
- [4] I. Shigematsu, Y. Kwon, K. Suzuki, T. Imai, and N. Saito, "Joining of 5083 and 6061 Aluminum Alloys by Friction Stir Welding," *Journal of Materials Science Letters*, vol. 22, no. 5, pp. 353–356, 2003. doi:10.1023/A:1022688908885
- [5] N. Kumar, G. Gautam, R. K. Gautam, A. Mohan, and S. Mohan, "Synthesis and Characterization of TiB2

- Reinforced Aluminium Matrix Composites: A Review,” *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, vol. 97, no. 2, pp. 233–253, 2015. doi:10.1007/s40033-015-0091-7
- [6] D. Jiang, I. N. Kolupaev, H. Wang, and X. Ge, “Analysis of mechanical properties of 6010-T6 aluminum alloy without tool tilt angle friction stir welding,” *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 37, no. 13, pp. 2010–2024, 2022. doi:10.1080/01694243.2022.2109254
- [7] D. G. Mohan, S. Gopi, J. Tomków, and S. Memon, “Assessment of Corrosive Behaviour and Microstructure Characterization of Hybrid Friction Stir Welded Martensitic Stainless Steel,” *Advances in Materials Science*, vol. 21, no. 4, pp. 67–78, 2021. doi:10.2478/adms-2021-0025
- [8] R. G. Narayanan. “Effect of tool plunge depth on joint formation and mechanical performance of friction stir forming joints made between AA 5052-H32 and AA 6061-T6 sheet metals.” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 28, no. 4, pp. 613-628, 2018. doi:10.1016/S1003-6326(18)64694-1
- [9] P. Vijayavel, V. Balasubramanian, and S. Sundaram, “Effect of Shoulder Diameter to Pin Diameter (D/d) Ratio on Tensile Strength and Ductility of Friction Stir Processed LM25AA-5% Sicp Metal Matrix Composites,” *Materials & Design*, vol. 57, pp. 1–9, 2014. doi:10.1016/j.matdes.2013.12.008
- [10] M. Zohoor, M. K. Besharati Givi, and P. Salami, “Effect of Processing Parameters on Fabrication of Al–Mg/Cu Composites via Friction Stir Processing,” *Materials & Design*, vol. 39, pp. 358–365, 2012. doi:10.1016/j.matdes.2012.02.042
- [11] R. Dhayalan, K. Kalaiselvan, and R. Sathiskumar, “Characterization of AA6063/Sic-GR Surface Composites Produced by FSP Technique,” *Procedia Engineering*, vol. 97, pp. 625–631, 2014. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.291
- [12] V. Saravanan, S. Rajakumar, N. Banerjee, and R. Amuthakkannan. “Effect of shoulder diameter to pin diameter ratio on microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded AA2024-T6 and AA7075-T6 aluminum alloy joints,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 87, pp. 3637-3645, 2016. doi:10.1007/s00170-016-8695-0
- [13] S. Gopalakrishnan and N. Murugan, “Prediction of Tensile Strength of Friction Stir Welded Aluminium Matrix TICP Particulate Reinforced Composite,” *Materials & Design*, vol. 32, no. 1, pp. 462–467, 2011. doi:10.1016/j.matdes.2010.05.055

การปรับปรุงประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในโรงงานผลิตกล่องกระดาษ

Logistics Efficiency Improvement in Dispenser Box Process

หฤทัยรัตน์ จันทะคาด¹ กำพล หวังลิ้มกุล^{1*} สมควร สงวนแพง¹ สุจิตตา หงษ์ทอง² และ พีรวัตร ลือสัก¹

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

²สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

Haruthairat Jantakard¹ Kumphol Wanglisakul^{1*} Somkuan Sanguanpang¹ Sujitta Hongthong²
and Peerawat Luesak¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai

²Department of Logistics Management, Faculty of Business Administration and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai

Corresponding author Email: kapo.jinta@gmail.com *

(Received: August 18, 2023; Revise: December 26, 2023; Accepted: December 17, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของโรงงานผลิตกล่องกระดาษในมิติด้านต้นทุนและระยะเวลาการผลิต โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอนประกอบไปด้วย 1) การประเมินประสิทธิภาพด้านต้นทุนและระยะเวลาการผลิต 2) การวิเคราะห์ปัญหา 3) การดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพ ผลจากกระบวนการทั้ง 3 ด้านพบว่า ก่อนการปรับปรุงต้นทุนโลจิสติกส์ของโรงงานผลิตกล่องกระดาษอยู่ที่ 1,320,000 บาทต่อปี และระยะเวลาการผลิต 414 วินาที จากทั้งหมด 21 ขั้นตอน หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ทำให้ต้นทุนลดลงเหลือเพียง 968,755 บาทและลดขั้นตอนการผลิตเหลือเพียง 344 วินาที เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ที่ใช้ได้แก่ เครื่องมือประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ (ILPI) เครื่องมือประเมินศักยภาพโลจิสติกส์ (LSC) แผนภูมิกระบวนการไหล อีซีอาร์เอส และการวางแผนโรงงาน จากกระบวนการทั้งหมดสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของโรงงานกล่องกระดาษให้ดีขึ้นทั้งในมิติของเวลาและต้นทุนตามลำดับ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพโลจิสติกส์ กล่องกระดาษ ต้นทุนโลจิสติกส์ แผนภูมิกระบวนการไหล การวางแผนโรงงาน

Abstract

The purpose of this research was to improve logistics efficiency and improvement of the Dispenser Box Process in process time and cost perspective. The method is divided into three steps. First, we are assessing the efficiency cost and production time. Then, problem analysis. And finally, increase efficiency. The results of the three processes found that, before the improvement, the logistics cost of the Dispenser Box was 1,320,000 baht per year and the production time was 414 seconds from a total of 21 steps. After improvements and using industrial engineering and logistics tools. The cost can be reduced to 968 could755 baht and the production

time reduced to 344 seconds. The industrial engineering and logistics tools used were: Industrial Logistics Performance Index (ILPI), Logistics Scorecard (LSC), Flow Process Chart, ECRS and Plant Layout Design. For the whole process, the logistical efficiency of the dispenser box can be improved. Both in terms of time and cost respectively.

Keywords: Logistics Efficiency, Dispenser Box, Logistics Cost, Flow Process Chart, Plant Layout

1. บทนำ

กล่องกระดาษเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญที่ใช้สนับสนุนในกิจกรรมการขนถ่ายและการบรรจุหีบห่อซึ่งเป็น 1 ใน 9 กิจกรรมโลจิสติกส์ ทำให้กิจกรรมโลจิสติกส์ในห่วงโซ่อุปทานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันการใช้งานกล่องกระดาษมีอัตราการขยายตัวที่สูงขึ้นตามสถานการณ์โควิดที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกการสั่งซื้อสินค้าทางออนไลน์ โดยกล่องกระดาษในรูปบรรจุภัณฑ์มีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 5% ในปี 2564 [1] และเมื่อดูจากข้อมูลย้อนหลังในช่วงตั้งแต่ปี 2560 – 2562 พบว่าปริมาณการจำหน่ายก็มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งปริมาณการจำหน่ายและมูลค่าการจำหน่ายโดยในปี 2561 มีปริมาณการจำหน่ายอยู่ที่ 1,135,899 ตันเพิ่มขึ้น 1.51% เมื่อเทียบกับปี 2561 โดยส่วนใหญ่เป็นการจำหน่ายภายในประเทศถึง 99.90% ส่วนมูลค่าการจำหน่ายอยู่ที่ 32,320 ล้านบาทในปี 2562 เมื่อมองการเติบโตของธุรกิจพบว่า การจัดตั้งธุรกิจกล่องกระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษในปี 2563 พบว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้น 40 รายคิดเป็น 14.29% มูลค่าทุนจดทะเบียนรวม 805 ล้านบาท ทำให้ในปี 2563 มีจำนวนธุรกิจที่ดำเนินการอยู่ทั้งสิ้น 1,190 ราย มูลค่าทุน 35,046.52 ล้านบาท [2]

จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าจำนวนผู้ประกอบการในกลุ่มธุรกิจดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการแข่งขันกันของธุรกิจที่สูงขึ้นตามลำดับส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือประสิทธิภาพในการดำเนินการลดลง เพื่อให้ธุรกิจกล่องกระดาษยังคงสามารถดำเนินธุรกิจไปได้ในสภาวะการแข่งขันกัน จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดกลยุทธ์ขององค์กรเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและหนึ่งในเครื่องมือที่องค์กรต่าง ๆ ใช้เพิ่มการสร้างรายได้เปรียบคือการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน [3] (คู่มือการประเมินประสิทธิภาพ)

บริษัท เอปซี บรรจุภัณฑ์ (ขอสงวนนามบริษัทจริง) เป็นโรงงานผลิตกล่องกระดาษที่ได้นำกระบวนการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานมาช่วยให้องค์กรมีความสามารถในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันโดยมองจากกิจกรรมโลจิสติกส์ทั้ง 9 กิจกรรมให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพที่กล่าวถึงจะประกอบไปด้วยประสิทธิภาพทางด้านต้นทุน ด้านเวลา และด้านความน่าเชื่อถือ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโลจิสติกส์ของบริษัท เอปซี บรรจุภัณฑ์ทั้งสามมิติโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือทางด้านโลจิสติกส์ที่ประกอบไปด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ ตัวชี้วัดศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ส่วนเครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมประกอบด้วยเครื่องมือคุณภาพได้แก่ แผนภูมิกระบวนการไหล อีซีอาร์เอส การวางแผนโรงงาน และเส้นโลจิสติกส์ ที่เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ทั้งในการปฏิบัติงานจริงและในงานวิจัย จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเครื่องมือคุณภาพเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยหลากหลายเรื่องเช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตไรซ์แครกเกอร์ด้วยแนวคิดไคเซ็น ก็ได้ใช้หลักการของ อีซีอาร์เอส มาปรับปรุงการทำงานทำให้สามารถลดเวลาการรอคอยและขนย้ายซึ่งเป็นความสูญเสียเปล่าที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าได้ 23.27 ต่อตะกร้าจากเดิม 30.23 นาทีต่อตะกร้าคิดเป็นร้อยละ 23.02 [4] นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต การบรรจุผลิตภัณฑ์แป้ง ทำให้กระบวนการบรรจุแป้งมีรอบเวลาที่ลดลงเหลือ 25.88 วินาที จากเดิม 33.61 วินาทีคิดเป็นร้อยละ 23.00 ทำให้สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นต่อวันจากเดิม 214 กล่อง เป็น 278 กล่องคิดเป็นร้อยละ 29.91 [5] จะ

เห็นได้ว่าเครื่องมือคุณภาพทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมถูกนำไปใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ และช่วยให้ดำเนินงานนั้นมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เครื่องมือเหล่านี้มาช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวและให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ โดยรายละเอียดวิธีการจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ILPI1R อัตราความแม่นยำของการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า (Forecast Accuracy Rate)	ตัวแปร	หน่วยนับ
จำนวนสินค้าที่ได้จากการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า (Forecast)	(1R.1)	หน่วยนับ/ปี
จำนวนสินค้าที่ได้รับการสั่งซื้อจริงจากลูกค้า (Actual)	(1R.2)	หน่วยนับ/ปี
สูตรการคำนวณ $ILPI1R (\%) = \left[1 - \frac{\text{absolute} (1R.2) - (1R.1) }{(1R.2)} \right] \times 100$		

รูปที่ 1 สูตรการคำนวณตัวชี้วัดด้านการพยากรณ์

2. วิธีในการดำเนินงาน

การเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของโรงงานผลิตกล่องกระดาษผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานไว้ทั้งหมด 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ประกอบด้วย การประเมินประสิทธิภาพด้านต้นทุนและระยะเวลาการผลิตปัจจุบัน การวิเคราะห์ปัญหา และการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยแต่ละขั้นตอนดำเนินการได้ดังนี้

2.1 การประเมินประสิทธิภาพด้านต้นทุนและระยะเวลาการผลิตปัจจุบัน

การประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์มีจุดมุ่งหมายเพื่อวินิจฉัยสถานการณ์ในปัจจุบันของโรงงานโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ภาคอุตสาหกรรม (Industrial Logistics Performance Index: ILPI) และตัวชี้วัดศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics Scorecard) ของกองโลจิสติกส์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยจะมีการประเมินสองครั้งคือก่อนการดำเนินการปรับปรุงและหลังการดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ ตัวชี้วัด ILPI จะประเมินประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ทั้ง 9 กิจกรรมใน 3 มิติได้แก่ 1) มิติด้านต้นทุน (Cost) 2) มิติด้านเวลา (Time) 3) มิติด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability) ประกอบด้วยตัวชี้วัดทั้งหมด 27 ตัว สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ตัวชี้วัดหลัก 10 ตัวเท่านั้นได้แก่ 1) อัตราความแม่นยำของการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า 2) ระยะเวลาเฉลี่ยของการตอบสนองคำสั่งซื้อจากลูกค้า 3) อัตราความสามารถของการส่งมอบสินค้า 4) อัตราความสามารถของการจัดส่งสินค้าของซัพพลายเออร์ 5) ระยะเวลาเฉลี่ยของการเก็บสินค้าคงคลังอย่างเพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า 6) อัตราความแม่นยำของสินค้าคงคลัง 7) สัดส่วนต้นทุนการบริหารคลังสินค้าต่อยอดขาย 8) สัดส่วนต้นทุนการถือครองสินค้าต่อยอดขาย 9) สัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อยอดขาย และ 10) สัดส่วนมูลค่าสินค้าที่ถูกตีกลับต่อยอดขาย สูตรการคำนวณจะยกตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียวคือ อัตราความแม่นยำของการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเท่านั้น ส่วนตัวชี้วัดอื่นสามารถเข้าไปดูในเว็บของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม โดยสูตรที่ใช้คำนวณแสดงดังรูปที่ 1 และผลการประเมินตัวชี้วัดหลักทั้ง 10 ตัวแสดงดังตารางที่ 1 สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ภาคอุตสาหกรรมหรือ ILPI ถูกนำไปใช้ในองค์กรต่าง ๆ ที่ยังไม่มีตัวชี้วัดขององค์กรเองทำให้องค์กรมีเครื่องมือในการประเมินการดำเนินงานในส่วน of โลจิสติกส์ได้

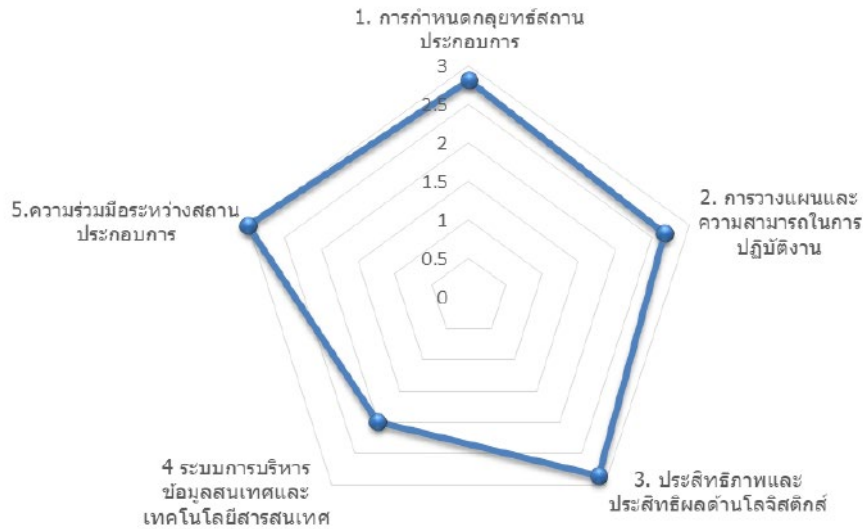
นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้เป็นเครื่องมือในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ด้วยเช่น ศิริวัฒน์ สาทรนอก และคณะ ได้นำไปวัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ให้กับบริษัทแอมเมทเอ็นจิเนียริง จำกัด ทำให้พบว่าปัญหาของบริษัทคือทำเลที่ตั้งของโรงงานยังอยู่ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมส่งผลต่อ อัตราการผลิตสินค้า อัตราการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและความสามารถในการแข่งขันกับธุรกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน [6] ส่วนเครื่องมือประเมินศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Scorecard: LSC) แบ่งเกณฑ์การประเมินเป็น 5 หมวดได้แก่ หมวดที่ 1 การกำหนดกลยุทธ์การบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน หมวดที่ 2 การวางแผนและการดำเนินการพัฒนาตามแผนกลยุทธ์การบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน หมวดที่ 3 การวัดประสิทธิภาพของการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน หมวดที่ 4 การบริหารจัดการข้อมูลสารสนเทศและเทคโนโลยีโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน หมวดที่ 5 ความร่วมมือด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานกับองค์กรภายนอกที่ไม่ใช่ซัพพลายเออร์และลูกค้า ผลการประเมินศักยภาพทั้ง 5 หมวดแสดงดังรูปที่ 2 เมื่อได้ผลการประเมินทั้งสองแบบลำดับต่อไปผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขและให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการวิเคราะห์จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1 ผลการประเมินตัวชี้วัดหลัก

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ (ILPI) 10 ตัวชี้วัดหลัก	หน่วย	ปัจจุบัน
1R อัตราความแม่นยำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า (ผลิตภัณฑ์หลักเท่านั้น)	↑ 100%	75%
2T ระยะเวลาเฉลี่ยการตอบสนองคำสั่งซื้อจากลูกค้า (First lot only)	วัน ↓	10
4R อัตราความสามารถในการจัดส่งวัตถุดิบของซัพพลายเออร์	↑ 100%	50%
6C สัดส่วนต้นทุนการบริหารคลังสินค้าต่อยอดขาย (Finished product only)	0% ↓	26.05%
6R อัตราความแม่นยำของสินค้าคงคลัง	↑ 100%	90%
7C สัดส่วนต้นทุนการถือครองสินค้าต่อยอดขาย	0% ↓	3.53%
7T ระยะเวลาเฉลี่ยการเก็บสินค้าคงคลังอย่างเพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า	วัน ↓	183
8C สัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อยอดขาย	0% ↓	4.2%
8R อัตราความสามารถในการจัดส่งสินค้าของแผนกขนส่ง	↑ 100%	87.11%
9R อัตราการถูกตีกลับของสินค้า	0% ↓	0.33%

2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากที่ได้ผลการประเมินตามหัวข้อก่อนหน้านี้ลำดับต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาโดยเริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตในปัจจุบันก่อนโดยกระบวนการผลิตกล่องกระดาษมีกระบวนการทั้งหมด 21 ขั้นตอนใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 414 วินาทีต่อล็อต โดย 1 ล็อตจะมีจำนวนกล่องทั้งหมด 80 ชิ้น ทางผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลนี้ในการหารือกับผู้ประกอบการโดยแยกปัญหาออกเป็นประเด็นย่อยพร้อมหารือถึงความสำคัญของประเด็นปัญหาต่าง ๆ ว่าปัญหาใดควรแก้ไข และสามารถดำเนินการได้ โดยปัญหาที่ผู้วิจัยกับผู้ประกอบการตกลงร่วมกันได้แก่ 1) การปรับปรุงขั้นตอนในการการผลิตกล่องกระดาษเพื่อดูว่าขั้นตอนใดสามารถลดหรือรวมโดยไม่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต [5] 2) การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร เนื่องจากทุกครั้งที่แผนการผลิตเปลี่ยนต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรทุกครั้งแต่ละครั้งจะเสียเวลาในการปรับตั้งอย่างน้อย 30 นาทีต่อเครื่องจักรหนึ่งตัว 3) การวางแผนโรงงาน ซึ่งการวางแผนนี้จะใช้แบบจำลองแทนการดำเนินการจริงเนื่องจากเครื่องจักรแต่ละตัวมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากไม่สามารถเคลื่อนย้ายด้วยมือ



รูปที่ 2 ผลการประเมินศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์

2.3 การดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 ระหว่างผู้วิจัยและผู้ประกอบการว่าจะดำเนินการเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ 3 ด้านได้แก่ 1) การปรับขั้นตอนในกระบวนการผลิต 2) การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร และ 3) การวางแผนโรงงานใหม่ รายละเอียดการดำเนินการมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การปรับขั้นตอนในกระบวนการผลิต

การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า การแก้ปัญหาระยะยาวหรือแม้กระทั่งการปรับปรุงประสิทธิภาพในสายการผลิตผู้ดำเนินการหรือนักวิจัยมักจะเริ่มต้นจาก การวิเคราะห์กระบวนการทำงานเพื่อทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเช่น แผนภูมิกระบวนการไหล นำไปสู่เทคนิคอื่นๆตามประเภทของปัญหา [7] สำหรับในการผลิตกล่องกระดาษนั้นพบว่าขั้นตอนการผลิตมีทั้งหมด 21 ขั้นตอนใช้เวลาในการผลิต 414 วินาทีต่อล็อตโดยที่หนึ่งล็อตมีจำนวน 80 ชิ้นซึ่งถูกบันทึกในแบบฟอร์มแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ดังตารางที่ 2 เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ECRS [8-9], 5W1H ร่วมกับ Why-Why Analysis พบว่ามีขั้นตอนบางขั้นตอนที่สามารถตัดทิ้งหรือยุบรวมกันได้ ทำให้สามารถลดขั้นตอนให้คงเหลือเพียง 15 ขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 3 จากขั้นตอนที่หายไป 6 ขั้นตอนช่วยให้ลดเวลาลงเหลือ 344 วินาทีคิดเป็นร้อยละ 16.91 ทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 8,370 กล่องต่อวันจากเดิม 6,955 กล่องหรือคิดเป็นร้อยละ 20

2.3.2 การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร

โดยปกติทั่วไปการปรับตั้งเครื่องจักรไม่ควรใช้เวลาที่นานเกินไปทำให้หลายองค์กรได้ให้ความสำคัญในการลดเวลาการปรับตั้งโดยใช้เทคนิคที่เป็นที่ยอมรับ ยกตัวอย่างเช่น การใช้เทคนิค SMED (Single minute exchange of die) ที่มีเป้าหมายในการลดความสูญเสียและลดเวลาการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรไม่เกิน 10 นาที [10] แต่จากการเก็บข้อมูลพบว่าเครื่องจักรในโรงงานมีทั้งหมด 11 รายการประกอบด้วย เครื่องตัด1 เครื่องตัด2 เครื่องพิมพ์เก่า เครื่องพิมพ์ใหม่ เครื่องสล็อต เครื่องโรตารี เครื่องทากาวใหม่ เครื่องทากาวเก่า เครื่องสับรอง เครื่องไครคัท และเครื่องเย็บ มีระยะเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรที่เยอะเกินไป

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตกล่องกระดาษก่อนการปรับปรุง

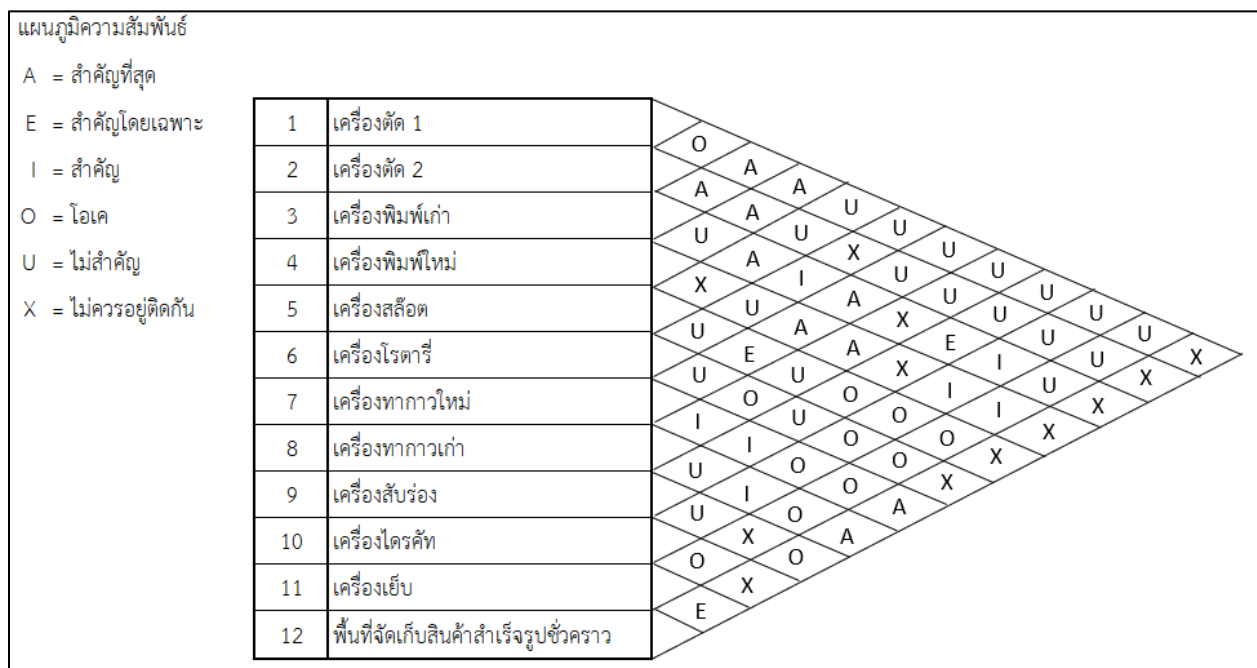
ขั้นตอน	การดำเนินงาน	การขนส่ง	การตรวจสอบ	ความล่าช้า	การเก็บรักษา	กระบวนการ	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบกระดาษก่อนพิมพ์	8	
2	●	→	□	D	▽	ยกกระดาษใส่รถเข็น	15	
3	○	→	□	D	▽	นำกระดาษมายังเครื่องพิมพ์	25	28.00
4	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบกระดาษก่อนเข้าเครื่องพิมพ์	5	
5	●	→	□	D	▽	พิมพ์กระดาษตามแบบ	40	
6	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบการพิมพ์	5	
7	○	→	□	D	▽	นำกระดาษไปยังเครื่องตัด	5	8.00
8	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบกระดาษก่อนเข้าเครื่องตัด	5	
9	●	→	□	D	▽	ตัดกระดาษตามแบบ	50	
10	○	→	□	D	▽	นำกระดาษไปยังแผนกตัดลิ้นกระดาษและเจาะรู	5	8.00
11	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบกระดาษก่อนตัดลิ้นกระดาษและเจาะรู	5	
12	●	→	□	D	▽	ตัดลิ้นกระดาษและเจาะรู	50	
13	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกพับ	8	10.00
14	●	→	□	D	▽	พับกระดาษตามแบบ	45	
15	●	→	□	D	▽	ตาก	40	
16	●	→	□	D	▽	ติดกระดาษตามรอยต่อ	40	
17	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบคุณภาพรอยต่อ	30	
18	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกบรรจุภัณฑ์ (มัดเชือก)	5	7.00
19	●	→	□	D	▽	บรรจุภัณฑ์ (มัดเชือก)	5	
20	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกจัดเก็บ	8	10.00
21	○	→	□	D	▽	ตรวจสอบคุณภาพทั้งหมดพร้อมจัดเก็บ	15	
รวม							414	71.00

โดยเครื่องจักรบางตัวเป็นเครื่องจักรหลักที่ต้องผ่านทุกงานการผลิตทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแผนการผลิตต้องเสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นประจำตัวอย่างเช่นเครื่องพิมพ์ใหม่ จากการสอบถามพบว่าในบางวันอาจมีการเปลี่ยนรายการการผลิตมากถึง 4 ครั้งต่อวัน กระบวนการปรับตั้งเครื่องจักรใช้คนจำนวน 2 คน ระยะเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้ง 47 นาทีต่อครั้ง ถ้ามีการปรับตั้ง 4 ครั้งจะสูญเสียเวลาไปทั้งหมด 188 นาทีหรือคิดเป็น 3 ชั่วโมงการทำงาน และจากการสังเกตพบว่า กระบวนการปรับตั้งเครื่องจักรไม่มีมาตรฐานใช้คนที่ควบคุมเครื่องจักรเป็นคนรับผิดชอบดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงเสนอให้สร้างเทมเพลตตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทำให้

สามารถลดเวลาจาก 47 นาทีเหลือเพียง 30 นาทีและไม่ต้องยึดติดกับตัวบุคคลหมดปัญหาเมื่อพนักงานมีการลางานก็ยังสามารถปรับตั้งเครื่องจักรได้ สำหรับรายละเอียดของกระบวนการวิเคราะห์ สร้าง ทดสอบ และวัดผลเกี่ยวกับการลดเวลาโดยการสร้างเทมเพลตนั้นผู้วิจัยขอสงวนสิทธิ์ไว้ในบทความต่อไปของผู้วิจัยเอง ดังนั้นในส่วนนี้จึงแสดงเพียงผลการดำเนินการเท่านั้น

2.3.3 การวางแผนโรงงาน

การออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบนั้นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแผนกแต่ละแผนกเทียบกับระยะทางและปริมาณงานทั้งหมดในการขนย้ายวัสดุเพื่อลดต้นทุนและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ แต่บางครั้งในทางปฏิบัติการออกแบบผังโรงงานไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายให้แผนกที่มีความสัมพันธ์กันมาอยู่ใกล้ชิดกันได้เนื่องจากข้อจำกัดของโครงสร้างของอาคาร [11] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ กระบวนการวางแผนผังโรงงานเป็นเพียงการนำเสนอหลักการหรือแบบจำลองให้กับผู้ประกอบการเนื่องจากกระบวนการย้ายต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่มาทำการย้ายตำแหน่งและการจัดเรียงจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานปกติ โดยผังโรงงานที่ออกแบบมาใหม่ผู้วิจัยเริ่มจากการหาพื้นที่ของโรงงาน การวางตำแหน่งของเครื่องจักร ขนาดและพื้นที่ทำงานของเครื่องจักร ระยะทางระหว่างเครื่องจักร และกระบวนการไหลของงาน หลังจากนั้นคำนวณหาระยะทางผ่านแบบบันทึกระยะทางระหว่างแผนกซึ่งวัดได้ 32.10 เมตรต่อหนึ่งรอบของกระบวนการ ลำดับต่อจากนั้นผู้วิจัยใช้แบบบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างแผนกเพื่อเป็นข้อมูลในการจัดวางผังใหม่ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการจัดวางผังโรงงานสามารถระยะทางในหนึ่งรอบการผลิตเหลือเพียง 14.29 เมตร ผังโรงงานแบบใหม่แสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นผังโรงงานที่แนะนำให้กับผู้ประกอบการเพื่อการตัดสินใจในอนาคตต่อไป



รูปที่ 3 แบบบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างแผนก

3. ผลการวิจัย

ผลจากการแก้ปัญหาทั้ง 3 ด้านทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโลจิสติกส์ในมิติของ ต้นทุน ระยะเวลาดังนี้ 1) การปรับปรุงกระบวนการผลิตจากเดิมมีขั้นตอนทั้งหมด 21 ขั้นตอนเหลือ 15 ขั้นตอน ทำให้เวลาลดลงเหลือ 344 วินาทีจากเดิมใช้เวลา 414 วินาทีผลจากการลดเวลานี้ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณงานขึ้นร้อยละ 20 จากเดิม 6,955 กล่องต่อวันเป็น 8,370

กล่องต่อวัน 2) การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรโดยสร้างเทมเพลตจากเดิมใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร 45 นาทีเหลือเพียง 30 นาทีหลังการปรับปรุงและ 3) การวางแผนโรงงานใหม่จากเดิมมีระยะทางระหว่างแผนกที่ 32.10 เมตร เหลือเพียง 14.29 เมตร หลังการปรับปรุงผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลตามตัวชี้วัดเพื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินการก่อนและหลังโดยมิติด้านเวลาเวลาแสดงดังตารางที่ 4 มิติด้านต้นทุนแสดงดังตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แผนภูมิกระบวนการผลิตกล่องกระดาษหลังการปรับปรุง

ขั้นตอน	การดำเนินงาน	การขนส่ง	การตรวจสอบ	ความล่าช้า	การเก็บรักษา	กระบวนการ	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	○	→	■	D	▽	ตรวจสอบกระดาษก่อนพิมพ์	8	
2	●	→	□	D	▽	ยกกระดาษใส่รถเข็น	15	
3	○	→	□	D	▽	นำกระดาษมายังเครื่องพิมพ์	25	28.00
4	●	→	□	D	▽	ตรวจสอบกระดาษพิมพ์กระดาษตามแบบ	40	
5	○	→	□	D	▽	นำกระดาษไปยังเครื่องตัด	5	8.00
6	●	→	□	D	▽	ตรวจสอบกระดาษและตัดกระดาษตามแบบ	50	
7	○	→	□	D	▽	นำกระดาษไปยังแผนกตัดลิ้นกระดาษและเจาะรู	5	8.00
8	●	→	□	D	▽	ตัดลิ้นกระดาษและเจาะรู	50	
9	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกพับ	8	10.00
10	●	→	□	D	▽	พับกระดาษตามแบบพร้อมทากาว	65	
11	●	→	□	D	▽	ติดกระดาษตามรอยต่อ	40	
12	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกบรรจุภัณฑ์ (มัดเชือก)	5	7.00
13	●	→	□	D	▽	บรรจุภัณฑ์ (มัดเชือก)	5	
14	○	→	□	D	▽	นำไปแผนกจัดเก็บ	8	10.00
15	○	→	□	D	▽	ตรวจสอบคุณภาพทั้งหมดและจัดเก็บ	15	
รวม							344	71.00

4. อภิปรายผลการวิจัย

เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์เช่น แผนภูมิกระบวนการไหล การวิเคราะห์ปัญหาด้วย 5H1H ร่วมกับ Why-Why analysis การวางแผนโรงงาน สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการดำเนินการทางโลจิสติกส์ของโรงงานสูงขึ้นโดยใช้ร่วมกับ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ (LPI) และตัวชี้วัดศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (LSC) โดย LPI และ LSC เปรียบเสมือนตัวชี้วัดผลของการดำเนินการที่ใช้เครื่องมือทางอุตสาหกรรม ดังนั้นในโรงงานภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวได้

ตารางที่ 4 ระยะเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง

เรื่องที่ต้องปรับปรุง	ตัวชี้วัด (ILPI)	ผลการปรับปรุง		
		มูลค่าก่อนปรับปรุง	มูลค่าหลังปรับปรุง	ผลต่าง
1. ลดระยะเวลาการผลิต	ILPI2T ระยะเวลาเฉลี่ยการ ตอบสนองคำสั่งซื้อจากลูกค้า	21 ขั้นตอน 414 วินาที	15 ขั้นตอน 344 วินาที	6 ขั้นตอน 70 วินาที
2. ลดมูลค่าสินค้าระหว่าง ผลิต	ILPI7C สัดส่วนต้นทุนการ ถือครองสินค้าต่อยอดขาย	240,000 บาท	180,000 บาท	60,000 บาท



รูปที่ 4 แผนผังโรงงานใหม่ที่แนะนำ

ตารางที่ 5 ต้นทุนก่อนและหลังการปรับปรุง

ต้นทุนโลจิสติกส์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	ต้นทุน (บาท)	สัดส่วนต่อยอดขาย	ต้นทุน (บาท)	สัดส่วนต่อยอดขาย
1. ต้นทุนการขนส่งสินค้า (Transportation Cost)	450,000	15%	370,000	21.60%
2. ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง (Inventory Holding Cost)	390,000	13%	240,000	66.70%
2.1 ต้นทุนการถือครองสินค้า (Inventory Carrying Cost)	240,000	8%	180,000	33.33%
2.2 ต้นทุนการบริหารสินค้าคงคลัง (Warehousing Cost)	150,000	5%	102,225	46.69%
3. ต้นทุนการบริหารจัดการโลจิสติกส์ (Administration Cost)	90,000	3%	76,500	17.65%
4. ยอดขาย	3,000,000		3,900,000	
ต้นทุนโลจิสติกส์รวม (Total Cost)	1,320,000		968,755	

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงประสิทธิภาพโลจิสติกส์ด้านระยะเวลาและต้นทุนของโรงงานผลิตกล่องกระดาษโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ช่วยลดเวลาการผลิตจากเดิม 414 วินาทีเหลือ 344 วินาทีซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงกระบวนการนำไปสู่การลดขั้นตอนการผลิตโดยใช้หลักการของ ECRS ทำให้ระยะเวลาเฉลี่ยการตอบสนองคำสั่งซื้อจากลูกค้าดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดสัดส่วนต้นทุนการถือครองลงได้ 60,000 บาทจากเดิม 240,000 บาท เหลือ 180,000 บาทเนื่องจากสามารถลดสินค้าระหว่างผลิตได้ ในส่วนของต้นทุนโลจิสติกส์ เช่น ต้นทุนการขนส่งสินค้า ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต้นทุนการถือครองสินค้า เป็นต้นสามารถลดลงเหลือ 968,755 บาทจากเดิม 1,320,000 บาทต่อปี ในส่วนของการออกแบบผังโรงงานดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.3 ว่าในทางปฏิบัติจริงการเข้าไปโยกย้ายเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องจักรนั้นค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากการย้ายเครื่องจักรมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและกระทบกับการดำเนินการปกติส่งผลให้สายงานการผลิตหยุดชะงักลงได้ ดังนั้นกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้แบบจำลองสถานการณ์มาช่วยออกแบบและนำเสนอต่อผู้มีส่วนได้เสีย เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและความคุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำเสนอผลการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เนื่องจากติดปัญหาในด้านลิขสิทธิ์แต่อนาคตนักวิจัยสามารถนำเสนอบทความวิจัยในรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพโรงงานผลิตกล่องกระดาษหรือโรงงานอื่น ๆ ในรูปแบบของแบบจำลองสถานการณ์ที่มีในปัจจุบันเช่น Flexsim หรือ Arena เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 2 ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย การเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในโรงงานผลิตกล่องกระดาษ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย ที่สนับสนุนสถานที่และเวลาการดำเนินการเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Packaging manufacturers pointed to a 30% price increase in costs,” Prachachat Business, <https://www.prachachat.net/economy/news-884735> (accessed Apr. 21, 2022). (in Thai)
- [2] “Paper Box and Paper Packaging Business,” in *Business Information Processing and Analysis Division*, Division of Business Information Department of Business Development, pp. 1–3, 2020. (in Thai)
- [3] A. Dol, “Industrial Logistics Performance Index,” Department of Industrial Promotion, <https://dol.dip.go.th/th/category/2021-02-16-15-04-24/2021-02-16-15-13-47>. (in Thai)
- [4] A. Pinchaimoon and S. Luechai, “Kaizen Concept for Improvement Work Method in Rice Cracker Process,” *Thai Industrial Engineering Network Journal*, vol. 6, pp. 1–7, 2020. (in Thai)
- [5] T. Sunarak, “Production Line Efficiency Improvement: The Case Study of Powder Product Packing Line,” *Thai Industrial Engineering Network Journal*, vol. 2, pp. 51–60, 2016. (in Thai)
- [6] S. Sartnok, C. Sukawattano, S. Keawphoklang, and P. Srimungkul, “Logistics Performance Measurement: A Case Study of AMET Engineering Company,” in *The First National and International Conference of Kalasin University 2019*, July 15 – 16, Kalsin, 2019. (in Thai)
- [7] T. Somboon and J. Rukikanpanich, “Efficiency Improvement of Die Bond Process in Intergraded Circuits Manufacturing,” *Research and Development Journal*, vol. 22, No. 3, pp. 53 – 60, 2011. (in Thai)
- [8] T. Rattanakool, K. Pochana, T. Ratanawilai, and K. Sukkajang, “Setup Time Reducing of Off-Set Printing Machine in Dispenser Box Plant,” in *The 30th Conference of Industrial Engineering Network 2012*, October 17–19, Phetchaburi, vol. 30, pp. 440–445, 2012. (in Thai)
- [9] K. Chokpaiboon and T. Kiatcharoenpol, “Reduction of Machine Set-Up Time of Printing Process by Using Lean Technique,” in *The 30th Conference of Industrial Engineering Network 2012*, October 17–19, Phetchaburi, vol. 30, pp. 261–265, 2012. (in Thai)
- [10] P. boonma, S. Theerathamkorn and S. Chianrabutra, “Setup Time Reduction of Four Corner Folding Paperboard Box Process by Quick Changeover Technique,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, pp. 56 – 68, 2023. (in Thai)
- [11] P. Homsri, “A Plant Layout Improvement to Increasing Productivity: A Case Study Downlight Manufacturer,” *Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)*, vol. 9, No. 2, pp. 26 – 36, 2021. (in Thai)

ผลกระทบของการใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ต่อความเมื่อยล้าของผู้ดูแล

The Effect of Using Supportive Vests
for Paralyzed Patients on Caregivers' Fatigueธยา ภิรมย์^{1*} โสภิตา จรเด่น¹ และ วรธนพร ชีววุฒิพงศ์¹¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหย่าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

Thaya Pirom^{1*} Sopida Jornden¹ and Watthanaphon Chewawuttipong¹¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

2/4 Ratchadamnoennok Rd. Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla, 90000

Corresponding author Email: thaya.p@rmuts.ac.th^{*}

(Received: August 20, 2023; Revise: November 30, 2023; Accepted: December 1, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำความรู้ทางด้านหลักการยศาสตร์มาประยุกต์ออกแบบในเชิงวิศวกรรมในส่วนของอุปกรณ์เพื่อช่วยพยุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก และลดความเมื่อยล้าของผู้ดูแล โดยออกแบบเสื้อพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ และวัดระดับความพึงพอใจต่อการใช้เสื้อพยุงผู้ป่วย การออกแบบจะแยกเป็น 2 ชิ้น คือ ขึ้นหน้าและขึ้นหลัง ใช้วัสดุเป็นผ้าไทเร เทปยางยืดเย็บกันรอบตัวเสื้อ ขึ้นหลังมีช่องสอดแผ่นยางพาราเพื่อลดแรงกดทับ ผลการทดสอบพบว่า ผู้ป่วยมีความพึงพอใจด้านการลดความบาดเจ็บของผู้ป่วยจากการพยุงตัวและเคลื่อนย้ายโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.97$, S.D. = 0.08) รองลงมาคือ พึงพอใจในด้านการออกแบบโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.45) สำหรับผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ พบว่ามีระดับความรุนแรงที่เกิดความเจ็บปวดหรือเกิดเมื่อยล้าจากการดูแลลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงที่ลดลงมากที่สุด คือ บริเวณแขนส่วนบนขวา ลดลงร้อยละ 58.73 รองลงมาคือ บริเวณหลังส่วนล่างขวาลดลงร้อยละ 53.78 และหลังส่วนบนขวาลดลงร้อยละ 50.19 ตามลำดับ ผลการประเมินเกี่ยวกับภาวะความไม่สบายที่เกิดขึ้นจากการดูแลผู้ป่วย พบว่า หลังการทดลองใช้เสื้อพยุงผู้ป่วย มีค่าคะแนนระดับความรุนแรงลดลง และผลความพึงพอใจจากแบบสอบถามทั้งผู้ป่วยอัมพฤกษ์และผู้ดูแลในการทดลองใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วย มีระดับความพึงพอใจมากขึ้นในทุกข้อคำถาม

คำสำคัญ: อัมพฤกษ์ครึ่งซีก การยศาสตร์ วิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม

Abstract

This research aimed to apply knowledge of ergonomics to engineering design, focusing on supporting paralysis patients and reducing fatigue for caregivers through the development of a patient support shirt. The shirt, composed of two pieces (front and back), utilized Toray fabric, elastic tape, and rubber pads to provide supportive attachment pressure. The result revealed that the most satisfaction was reducing pain patient using support shirt and movement ($\bar{x} = 4.97$, S.D. = 0.08), the second was satisfaction with design on average at the highest level ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.45). For caregivers, take care the patient showed that the violent level caused

take care the patient was the highest reduced; the violent at right upper arm 58.73%, the right lower back 53.78% and the back side 50.19%, respectively. In addition, the result of evaluation of the illness caregiver taking care of a patient found that after using the patient support shirt had an effect on reducing the violence pain. In addition, the satisfaction level results from questionnaires for both paralysis patients, and the caregiver using the patient support shirt revealed the greatest level of satisfaction on all questions.

Keywords: Hemiparesis, Ergonomics, Garment Engineering

1. บทนำ

โรคหลอดเลือดสมองหรือโรคอัมพฤกษ์เป็นปัญหาที่พบได้บ่อย และเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเพศทุกวัย โดยเป็นสาเหตุการตายอันดับต้นๆ ของประชากรทั้งหญิงและชาย อีกทั้งยังเป็นสาเหตุของความพิการและทุพพลภาพที่สำคัญอีกด้วย “ปัจจุบันมีผู้ป่วยโรคนี้ประมาณ 500,000 คน” [1] โรคหลอดเลือดสมองหรืออัมพฤกษ์ อัมพาตเป็นอาการของแขน หรือใบหน้าซีกใดซีกหนึ่งชา อ่อนแรง เคลื่อนไหวลำบาก หรือเคลื่อนไหวไม่ได้อย่างทันทีทันใด เกิดขึ้นเนื่องจากหลอดเลือดแดงไปเลี้ยงสมองตีบ ตัน หรือแตก ทำให้เนื้อสมองขาดอาหารและออกซิเจน เกิดภาวะเนื้อสมองเสียหาย แต่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันทำได้โดยการให้ยาหรือการผ่าตัด แต่สิ่งที่สำคัญคือ ผู้ป่วยจะต้องรีบไปพบแพทย์โดยด่วนที่สุดหลังจากเกิดอาการ ทางด้านการพยาบาลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง จะต้องเริ่มให้ทำกายภาพบำบัดโดยเร็วที่สุดภายใน 48 ชั่วโมงหลังเกิดอาการ เนื่องจากผู้ป่วยอาจเกิดความพิการแทรกซ้อน โดยช่วยการช่วยการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (Passive Range of Motion) ในแขนขาข้างที่เป็นอัมพาต และการกระตุ้นให้มีการออกกำลังกายด้วยตนเอง (Active Exercise) ในแขนขาข้างที่ดี [2] และการฟื้นฟูสภาพร่างกายของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ผู้ดูแลควรดูแลในระยะแรกของการเจ็บป่วยและเน้นดูแลจิตใจเพื่อให้มีการฟื้นฟูสภาพร่างกายได้เร็วและมีประสิทธิภาพดีที่สุด [3] แต่โดยทั่วไปญาติไม่มีอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยอัมพฤกษ์เพื่อทำการรักษา ตรวจเช็คร่างกาย การกายภาพบำบัด การฝึกเดิน หรือการออกกำลังกาย เพราะส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ เช่น เชือก ผ้าเคียนเอว (ผ้าขาวม้า) ช่วยพยุง ส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดการอึดอัด เกิดการบาดเจ็บได้ อีกทั้งเกิดปัญหาที่สำคัญคือ ญาติที่ดูแลผู้ป่วยเกิดอาการเมื่อยล้า ซึ่งปัญหานี้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว และมีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้สูง

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะจัดทำเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก โดยใช้หลักการยศาสตร์ (Ergonomics) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ความสามารถและข้อจำกัดของมนุษย์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการออกแบบร่วมกับศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับมนุษย์ทั้งทางร่างกายและจิตใจ ทำให้ความสามารถในดูแลได้ดีขึ้นรวดเร็วขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบเสื้อพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ 2) วัดระดับความพึงพอใจต่อการใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ และ 3) ลดความเมื่อยล้าในการพยุงตัวผู้ป่วยฯ ต่อญาติผู้ดูแล และเพิ่มความสะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบ

การออกแบบมีปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่

1) หน้าที่ใช้สอย (Function) สามารถตอบสนองประโยชน์ที่ใช้สอยตามที่ผู้บริโภคต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลิตภัณฑ์นั้น

อาจมีหน้าที่ใช้สอยอย่างเดียวหรือหลายหน้าที่ก็ได้ แต่หน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่จะต้องใช้งานไประยะหนึ่งถึงจะทราบข้อบกพร่อง 2) ความสวยงามน่าใช้ (Aesthetics or Sales Appeal) ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้นจะต้องมีรูปทรง ขนาด สี สีสันสวยงาม น่าใช้ ตรงตามรสนิยมของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย 3) ความสะดวกสบายในการใช้งาน (Ergonomics) การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้น ต้องเข้าใจกายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับขนาด สัดส่วน ความสามารถและขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะต่าง ๆ ของผู้ใช้ ทั้งทางด้านจิตวิทยา (Psychology) และสรีรวิทยา (Physiology) 4) ความปลอดภัย (Safety) ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของผู้บริโภคเป็นสำคัญ ไม่เลือกใช้วัสดุสี กรรมวิธีการผลิต ฯลฯ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้หรือทำลายสิ่งแวดล้อม 5) ความแข็งแรง (Construction) จะต้องมีความแข็งแรงในตัว ทนทานต่อการใช้งานตามหน้าที่และวัตถุประสงค์ที่กำหนดโครงสร้างมีความเหมาะสมตามคุณสมบัติของวัสดุ ขนาด แรงกระทำในรูปแบบต่าง ๆ จากการใช้งาน 6) ราคา (Cost) การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมนั้น ส่วนหนึ่งอยู่ที่การเลือกใช้ชนิด หรือเกรดของวัสดุ และวิธีการผลิตที่เหมาะสม 7) วัสดุ (Materials) การออกแบบควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงความง่ายในการดูแลรักษา ความสะดวกรวดเร็วในการผลิต การสั่งซื้อและคงคลัง รวมถึงจิตสำนึกในการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อม 8) กรรมวิธีการผลิต (Production) ควรออกแบบให้สามารถผลิตได้ง่าย รวดเร็ว ประหยัดวัสดุ ค่าแรงและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ 9) การบำรุงรักษาและซ่อมแซม (Maintenance) ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถบำรุงรักษา และแก้ไขซ่อมแซมได้ง่าย ไม่ยุ่งยากเมื่อมีการชำรุดเสียหาย 10) การขนส่ง (Transportation) ควรคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง ความสะดวกในการขนส่ง ระยะทาง เส้นทางขนส่ง การกินเนื้อที่ในการขนส่ง ส่วนการบรรจุหีบห่อต้องสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย [4]

2.2 หลักการออกแบบทางกายศาสตร์

การออกแบบทางกายศาสตร์เป็นเรื่องการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน มีการออกแบบหรือปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับปฏิบัติงานเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจมีผลกระทบต่อความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยในการทำงาน กายศาสตร์เป็นศาสตร์ที่ประยุกต์จากศาสตร์ต่าง ๆ หลายแขนง ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ 1) กลศาสตร์ชีวภาพ (กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)) กล่าวถึงขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ อิริยาบถหรือท่าทางการทำงานของคน 2) สรีรวิทยา (Physiology) กล่าวถึงสรีรวิทยาการทำงาน (Work Physiology) และสรีรวิทยาสิ่งแวดล้อม และ 3) จิตวิทยาวิศวกรรม (Engineering Psychology)/จิตวิทยาความชำนาญ (Skill Psychology) [5] ซึ่งการประยุกต์ใช้โปรแกรมทางกายศาสตร์จะช่วยลดปัจจัยเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อการเกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อ อันเกิดจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆ จากสภาพและสิ่งแวดล้อมการทำงานที่มากเกินไปจนภาวะปกติ [6]

2.3 วิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม

วิศวกรรมเครื่องนุ่งห่มเป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ทฤษฎีทางวิศวกรรมในการจัดการงานอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เช่น การศึกษาการทำงาน เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สถิติวิศวกรรม การวางแผนและควบคุมการผลิต การจัดการทางวิศวกรรม ระบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ เป็นต้น ผนวกกับความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสิ่งทอ: กระบวนการผลิตเส้นใย เส้นด้าย ผืนผ้า การฟอกย้อมพิมพ์สิ่งทอ สมรรถนะผ้า: สมบัติและลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้า เส้นด้าย รวมทั้งความรู้พื้นฐานทางด้านอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ตะเข็บและฝีเข็ม วัสดุอุปกรณ์และเครื่องจักร การประกอบชิ้นส่วนของเครื่องนุ่งห่ม และค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีของวิศวกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มโดยนำเอาความรู้จากวิชาชีพมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา [7]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตรลดา [8] ได้ศึกษาผลจากการถ่ายทอดความรู้ด้านการดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์อัมพาตทางการแพทย์แผนไทยแก่ผู้ดูแลผู้ป่วย พบว่า ความรู้ของผู้เข้าร่วมโครงการก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการมีคะแนนเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 17.1 และผล Paired Samples T มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีระดับความพึงพอใจต่อโครงการเฉลี่ย 4.27 คะแนนอยู่ในระดับมากที่สุด การถ่ายทอดความรู้ด้านการดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์อัมพาต ทำให้ผู้ดูแลผู้ป่วยมีความรู้ในการดูแลผู้ป่วยมากขึ้น ในขณะที่โพโรจน์ และคณะ [9] ได้ศึกษาการยศาสตร์กับแรงงานผู้สูงอายุในไทยเพื่อสร้างการจ้างงานที่เป็นธรรมต่อทั้งสถานประกอบการและแรงงานผู้สูงอายุ โดยประเมินความสามารถและข้อจำกัดของผู้สูงอายุ และการออกแบบหรือปรับปรุงสถานที่ทำงานให้เหมาะกับผู้สูงอายุ พบว่ามีการเก็บข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกาย การวัดกำลังสถิติ การวัดระยะการเอื้อมถึง ระยะก้าวเดิน และการออกแบบที่พักอาศัยซึ่งอาจไม่ครอบคลุมการทำงาน รวมถึงเกษม และคณะ [10] ได้ออกแบบและประดิษฐ์รองเท้ากันลื่นตามหลักกายศาสตร์เพื่อผู้สูงอายุ พบว่ารองเท้ากันลื่นที่ประดิษฐ์ขึ้นตามหลักกายศาสตร์เพื่อผู้สูงอายุมีความเหมาะสมต่อการใช้งานของผู้สูงอายุ โดยพื้นรองเท้ากันลื่นได้ มีความเหมาะสมต่อการสวมใส่เดินในชีวิตประจำวัน และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้สวมใส่สูง อีกทั้งบุตรี [11] ได้ออกแบบเชิงการยศาสตร์สำหรับเก้าอี้นั่งเรียน โดยประยุกต์ใช้หลักการยศาสตร์ในการออกแบบเก้าอี้นั่งเรียน โดยออกแบบเก้าอี้นั่งเรียนแบบปรับปรุงจากการวัดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง ประเมินความเหมาะสมของเก้าอี้นั่งเรียนแบบปรับปรุง และวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อคอบริเวณ Trapezius ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 คน พบว่าคะแนนของกลุ่มตัวอย่างทุกรายการสอบถามมีค่ามากขึ้น ค่าเฉลี่ยของคะแนน RULA ของร่างกายด้านซ้ายและด้านขวา และผลการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อคอบริเวณ Trapezius มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ณรงศ์ศักดิ์ [12] ได้ออกแบบอุปกรณ์พยุงแขนเพื่อลดความเมื่อยล้าในพนักงานโพงผ้า โดยใช้หลักการเคลื่อนไหว ประเมินความเมื่อยล้าโดยใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าและวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ผลการประเมินความเมื่อยล้าโดยใช้แบบสอบถามขณะโพงผ้าโดยใช้อุปกรณ์พยุงแขน ความรู้สึกเมื่อยล้าทั่วไปของร่างกาย ความรู้สึกเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อไหล่ และความรู้สึกเมื่อยล้ากล้ามเนื้อต้นแขนน้อยลง นอกจากนี้สวาลักษณ์ และบรรยงค์ [13] ได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยพยุงแขนสำหรับกายภาพบำบัดแขนส่วนบนในผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีกจากโรคหลอดเลือดสมอง โดยนำค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ออกแรงสูงสุดแบบไอโซเมตริก (MVIC) ที่บันทึกค่าสูงสุดไว้นำมาเปรียบเทียบกับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ทำท่ากิจกรรมบำบัดโดยใช้อุปกรณ์และไม่ใช้อุปกรณ์ต้นแบบพบว่า สามารถช่วยพยุงแขนในการทำกิจกรรมบำบัดแขนส่วนบนได้จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบได้ รวมถึงอุจน์ และคณะ [14] ได้ปรับปรุงสถานีนงานตามหลักการยศาสตร์เพื่อลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อของแรงงานในกระบวนการผลิตปลาทุ่น ด้วยแบบประเมินท่าทางการทำงานด้วย RULA และเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) และอิเล็กทรอนิกส์แบบพื้นผิว สรุปได้ว่าการปรับปรุงสภาพการปฏิบัติงานแบบงานนั่งด้วยการสร้างเก้าอี้และชั้นวางถาด สามารถลดความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อของแรงงานอีกทั้งเพิ่มผลผลิตด้วย

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากแบบสอบถามเพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ จำนวน 10 คน และญาติผู้ดูแลจำนวน 10 คน โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงาน ได้ดังนี้

3.1 ผลที่ได้จากการออกแบบเสื้อตัวอย่าง

ดำเนินการออกแบบเสื้อพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ โดยให้ความสำคัญส่วนของร่างกายที่มีผลกระทบต่อการเจ็บป่วย เมื่อยล้า คือ มือและข้อมือ บริเวณแขนและไหล่ บริเวณคอและหลัง ออกแบบให้เสื้อมีช่องสอดแขนที่ช่วยพยุงผู้ป่วยฯ 2 จุด คือ บริเวณหลังส่วนบนและเอว เสื้อด้านหน้ามีสายที่สามารถช่วยพยุงในการลุก/เดิน ตัวเสื้อใช้ผ้าโพลีเอสเตอร์กันชื้นหน้าและชื้นหลังทำให้สามารถ

สวมใส่ได้ง่าย สำหรับผ้าก๊วนได้ใช้เป็นยางยืดพิเศษที่มีผิวสัมผัสนุ่ม มีความยืดหยุ่นสูง เทปเวลโกขนาดใหญ่เพื่อความแข็งแรงในการยึดติด แถบยางยึดคาดทับด้านบนเพื่อการสวมใส่ที่กระชับ และแผ่นรองด้านหลังได้ใช้แผ่นรองยางพาราหนา 1.5 นิ้ว เพื่อช่วยลดการกดทับในบริเวณหลังและเอวของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ (ดังรูปที่ 1) และทดสอบความคงทนต่อแรงดึง (Tension Test) ของผ้าและเทปเวลโกได้ตามมาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials) พบว่า การดึงแนวขวางมีค่าความคงทนต่อแรงดึงเฉลี่ย 78.661 นิวตัน หรือ 8 กิโลกรัมต่อนิ้ว การดึงแนวตั้งมีค่าความคงทนต่อแรงดึงเฉลี่ย 13.901 นิวตัน หรือ 1.417 กิโลกรัมต่อนิ้ว



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการออกแบบและต้นแบบเสื้อพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์

3.2 ผลการประเมินจากแบบสอบถามผู้ป่วยอัมพฤกษ์

จากการออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ และนำเสื้อตัวอย่างที่ได้ไปทดลองใช้กับผู้ป่วยอัมพฤกษ์จำนวน 10 คน จากนั้นออกแบบและทดสอบแบบสอบถามเพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจ ตรวจสอบความตรงของเนื้อหา (Validity) ด้วยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) ได้เท่ากับ 0.984 มีผลดังนี้

ผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีกที่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 70 เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 30 โดยผู้ป่วยที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 70 ระยะเวลาในการป่วยตั้งแต่ 2 ปีขึ้นไปมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 70 ซึ่งผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีกสามารถลุกนั่งเองได้แต่ต้องช่วยประคองคิดเป็นร้อยละ 80 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการพยุงตัวเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ร้อยละ 90 จะใช้ผ้าขาวม้าในการพยุงตัว และจะใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงเฉพาะตอนหัดเดินคิดเป็นร้อยละ 70 ใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงทุกครั้งที่มีการเคลื่อนย้ายและออกกำลังกายคิดเป็นร้อยละ 30 และผู้ป่วยร้อยละ 70 มีโรคประจำตัว เช่น โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความถี่ และร้อยละของข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยอัมพฤกษ์

ข้อมูลทั่วไป	ร้อยละ	ข้อมูลทั่วไป	ร้อยละ	ข้อมูลทั่วไป	ร้อยละ
1. เพศ		1 ปี ถึง 2 ปี	30	ผ้าขาวม้า	90
ชาย	30	2 ปี ขึ้นไป	70	เข็มขัดพยุงหลัง	0
หญิง	70	4. ลักษณะการช่วยเหลือตัวเอง		อื่น ๆ	0
2. อายุ		ของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก		6. การใช้อุปกรณ์ช่วยพยุง	
น้อยกว่า 35 ปี	0	สามารถลุกนั่งได้ด้วยตนเอง	20	ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนย้าย	30
อายุ 35 ถึง 50 ปี	10	สามารถลุกนั่งเองได้แต่	80	หรือออกกําลังกาย	
อายุ 51 ถึง 60 ปี	20	ต้องช่วยประคอง		เฉพาะตอนหัดเดิน	70
อายุ 60 ปีขึ้นไป	70	ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้	0	7. การมีโรคประจำตัวอื่น ๆ	
3. ระยะเวลาในการป่วยของ		อื่น ๆ	0	ไม่มี	30
ผู้ป่วยอัมพฤกษ์		5. ที่ใช้ในการพยุงตัวเพื่อ		มี	70
น้อยกว่า 6 เดือน	0	เพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วย		- โรคความดันโลหิตสูง	71
6 เดือน ถึง 1 ปี	0	เชือก	10		

ความพึงพอใจต่อการใช้เสื้อช่วยพยุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์ (ดังตารางที่ 2) พบว่า ผู้ป่วยมีความพึงพอใจในภาพรวมโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.91$, S.D. = 0.21) ซึ่งมีความพึงพอใจในด้านการออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์โดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.23) โดยทุกประเด็นที่มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด เรียงตามลำดับคือ ความแข็งแรง ความคงทนต่อการนำไปใช้งาน การบำรุงรักษาและซ่อมแซม สามารถซักง่าย แห้งเร็ว เย็บซ่อมแซมง่าย และความปลอดภัยต่อตัวผู้ป่วย ลดการบาดเจ็บจากการพยุงตัวและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ($\bar{x} = 5.00$, S.D. = 0.00) รองลงมาคือ หน้าที่ในการใช้งานที่สามารถตอบสนองประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัสดุที่นำมาผลิต เช่น ผ้าและวัสดุที่ใช้ ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.30)

ด้านความพึงพอใจในด้านการลดความบาดเจ็บของผู้ป่วยจากการพยุงตัว/เคลื่อนย้าย มีพึงพอใจโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.93$, S.D. = 0.20) โดยทุกประเด็นที่มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด เรียงตามลำดับคือ สามารถลดการบาดเจ็บจากการหกล้มขณะทำการออกกําลังกาย ($\bar{x} = 5.00$, S.D. = 0.00) สามารถลดการบาดเจ็บข้อต่อบริเวณไหล่และบ่าของผู้ป่วย (ไหล่หลุด/เคลื่อน) และสามารถลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อแขนจากการกดจับในการพยุงตัว ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.30)

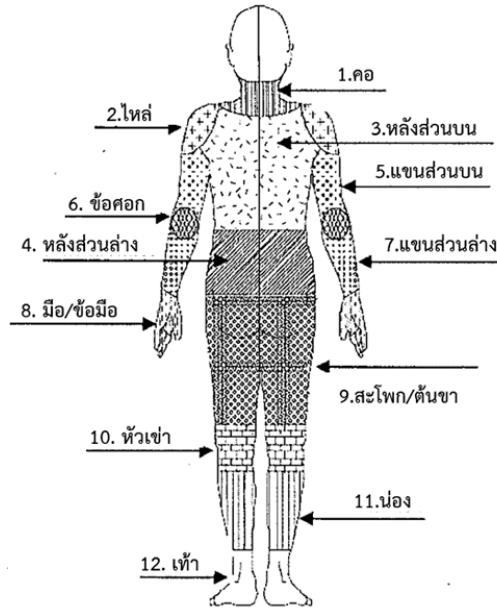
นอกจากนี้ผู้ป่วยอัมพฤกษ์มีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาปรับปรุงเสื้อตัวอย่าง เช่น ควรเปลี่ยนเนื้อผ้าให้มีสีอื่นที่ซีก ทำความสะอาดง่าย ให้มีขนาดกะทัดรัด

ตารางที่ 2 ความถี่และร้อยละของข้อมูลความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงของผู้ป่วยอัมพฤกษ์

ความพึงพอใจการใช้ เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์	ระดับความพึงพอใจ										$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด				
	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)								
	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ			
ด้านการออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์											4.90	0.23	มากที่สุด
1. หน้าที่ในการใช้งานที่สามารถตอบสนองประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด
2. ความสะดวกในการใช้งาน เหมาะสมกับสรีระของผู้ป่วย สามารถปรับขนาดได้ตามที่ต้องการ สวมใส่ได้ง่าย และสบายในการสวมใส่	8	80	2	20	-	-	-	-	-	-	4.80	0.40	มากที่สุด
3. ความสวยงาม เช่น สี สัน รูปทรงของเสื้อ	8	80	1	10	1	10	-	-	-	-	4.70	0.64	มากที่สุด
4. ความแข็งแรง ความคงทนต่อการนำไปใช้งาน	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด
5. วัสดุที่นำมาผลิต เช่น ผ้าและวัสดุที่ใช้	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด
6. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม สามารถซักง่าย แห้งเร็ว เย็บซ่อมแซมง่าย	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด
7. ความปลอดภัยต่อตัวผู้ป่วย ลดการบาดเจ็บจากการพุงและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด
ด้านการลดความบาดเจ็บของผู้ป่วยจากการพุงตัว/เคลื่อนย้าย											4.93	0.20	มากที่สุด
8. สามารถลดการบาดเจ็บข้อต่อบริเวณไหล่และข้อของผู้ป่วย (ไหล่หลุด/เคลื่อน)	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด
9. สามารถลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อแขนจากการกดทับในการพุงตัว	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด
10. สามารถลดการบาดเจ็บจากการหกล้มขณะ ทำการออกกำลังกาย	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด
ภาพรวม											4.91	0.22	มากที่สุด

3.3 ผลการประเมินจากแบบสอบถามผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์

สำหรับการประเมินผู้ดูแลผู้ป่วย จำนวน 10 คน ซึ่งแบบสอบถามสำหรับผู้ดูแลผู้ป่วย มีค่า IOC เท่ากับ 0.988 โดยให้ระบุคะแนนของระดับความรุนแรงส่วนของร่างกายทั้งด้านหน้าและด้านหลังที่เกิดความเจ็บปวด หรือเกิดความรู้สึกเมื่อยล้าจากการดูแลผู้ป่วย (ดังรูปที่ 2) พบว่า ก่อนการใช้อุปกรณ์ช่วยพยุง ทุกคนมีอาการปวดในบริเวณต่างคิดเป็นร้อยละ 100 โดยระดับความรุนแรงเฉลี่ยในระดับมากที่สุด พบที่บริเวณแขนส่วนบนขวา และหลังส่วนล่างขวา ระดับความรุนแรงเฉลี่ยในระดับมาก พบที่บริเวณแขนส่วนบนซ้าย หลังส่วนล่างซ้าย หลังส่วนบนซ้าย-ขวา ไหล่ขวา-ซ้าย และแขนส่วนล่างซ้าย-ขวา



รูปที่ 2 ส่วนของร่างกายด้านหน้าและด้านหลังที่เกิดความเจ็บปวดหรือเกิดความรู้สึกเมื่อยล้า

หลังการใช้เสื้อช่วยพยุงฯ พบว่า แขนส่วนบนขวา ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับเล็กน้อย ($\bar{x} = 1.44$, S.D. = 0.50) คิดเป็นร้อยละ 58.73 บริเวณหลังส่วนล่างขวา ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับเล็กน้อย ($\bar{x} = 1.57$, S.D. = 0.49) คิดเป็นร้อยละ 53.78 หลังส่วนบนขวา ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 1.44$, S.D. = 0.50) คิดเป็นร้อยละ 50.19 บริเวณไหล่ขวา ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับเล็กน้อย ($\bar{x} = 1.50$, S.D. = 0.50) คิดเป็นร้อยละ 50.00 หลังส่วนบนซ้าย ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 1.67$, S.D. = 0.47) คิดเป็นร้อยละ 40.48 ไหล่ซ้าย ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 1.88$, S.D. = 0.33) คิดเป็นร้อยละ 35.34 หลังส่วนล่างซ้าย ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 1.75$, S.D. = 0.43) คิดเป็นร้อยละ 35.19 แขนส่วนล่างซ้าย ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับเล็กน้อย ($\bar{x} = 1.60$, S.D. = 0.66) คิดเป็นร้อยละ 27.27 และแขนส่วนบนซ้าย ระดับความรุนแรงโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 1.88$, S.D. = 0.60) คิดเป็นร้อยละ 25.00

สำหรับความพึงพอใจของผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก พบว่า มีความพึงพอใจในภาพรวมโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.87$, S.D. = 0.25) โดยด้านการออกแบบหลังการทดลองใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ระดับความพึงพอใจโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.45) ซึ่งประเด็นที่มีระดับความพึงพอใจโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด คือ ความปลอดภัยต่อตัวผู้ป่วยลดการบาดเจ็บจากการพยุงตัวและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ($\bar{x} = 5.00$, S.D. = 0.00) หน้าที่ในการใช้งานที่สามารถตอบสนองประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.30) วัสดุที่นำมาผลิต เช่น ผ้าและวัสดุที่ใช้ ($\bar{x} = 4.80$, S.D. = 0.40) ตามลำดับ

ด้านการลดความเมื่อยล้าของผู้ดูแลในการพยุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.97$, S.D. = 0.08) โดยทุกประเด็นมีระดับความพึงพอใจโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด คือ สามารถลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อแขน การปวดเมื่อยบริเวณไหล่และบ่า บริเวณหลัง ($\bar{x} = 5.00$, S.D. = 0.00) สามารถลดการบาดเจ็บข้อต่อบริเวณข้อศอก กล้ามเนื้อมือ ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.30) (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความถี่และร้อยละของข้อมูลความพึงพอใจต่อการใช้เสื้อช่วยพยุงฯ ของผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์

ความพึงพอใจการใช้ เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์	ระดับความพึงพอใจ										$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ	
	มากที่สุด		มาก		ปานกลาง		น้อย		น้อยที่สุด					
	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)									
	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ				
ด้านการออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์												4.74	0.45	มากที่สุด
1. หน้าที่ในการใช้งานที่สามารถตอบ สนอง ประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด	
2. ความสะดวกในการใช้งาน เหมาะสมกับสรีระของผู้ป่วย สามารถปรับขนาดได้ตามที่ต้องการสวมใส่ได้ง่าย และสบายในการสวมใส่	7	70	2	20	1	10	-	-	-	-	4.60	0.66	มากที่สุด	
3. ความสวยงาม เช่น สี สัน รูปทรงของเสื้อ	7	70	2	20	1	10	-	-	-	-	4.60	0.66	มากที่สุด	
4. ความแข็งแรง ความคงทนต่อการนำไปใช้งาน	7	70	2	20	1	10	-	-	-	-	4.60	0.66	มากที่สุด	
5. วัสดุที่นำมาผลิต เช่น ผ้าและวัสดุที่ใช้	8	80	2	20	-	-	-	-	-	-	4.80	0.40	มากที่สุด	
6. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม สามารถซักง่าย แห้งเร็ว เย็บซ่อมแซมง่าย	7	70	2	20	1	10	-	-	-	-	4.60	0.66	มากที่สุด	
7. ความปลอดภัยต่อตัวผู้ป่วย ลดการบาดเจ็บจากการพุง/เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
ด้านการลดความเมื่อยล้าของผู้ดูแลในการพุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์												4.97	0.08	มากที่สุด
8. สามารถลดการบาดเจ็บของข้อมือ	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด	
9. สามารถลดการบาดเจ็บข้อต่อบริเวณข้อศอก	9	90	1	10	-	-	-	-	-	-	4.90	0.30	มากที่สุด	
10. สามารถลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อมือ	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
11. สามารถลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อแขน	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
12. สามารถลดการปวดเมื่อยบริเวณไหล่และบ่า	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
13. สามารถลดการปวดเมื่อยบริเวณหลัง	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
14. สามารถลดการปวดเมื่อยบริเวณเอวและ สะโพก	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	0.00	มากที่สุด	
ภาพรวม											4.87	0.25	มากที่สุด	

3.4 อภิปรายผล

ผลที่ได้จากการออกแบบเสื้อพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ คือ ตัวเสื้อที่มีความยืดหยุ่น ผิวสัมผัสที่นุ่ม มีสีอ่อนดูสบายตา ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ที่ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ด้านการใช้งานผู้ดูแลสามารถสวมเสื้อพยุงฯ ให้ผู้ป่วยอัมพฤกษ์ในขณะที่นอนได้อย่างสะดวก เพราะตัวเสื้อมีขึ้นหน้าและขึ้นหลังแยกจากกัน กรณีต้องการพุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ให้ลุกจากเตียง ผู้ดูแลสามารถจับเสื้อพยุงฯ บริเวณไหล่ทั้ง 2 ด้านของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ได้อย่างง่ายแทนการจับดิ่งที่แขนของผู้ป่วย ทำลดการบาดเจ็บหรือไหล่หลุดของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ สำหรับการเดินออกกกำลังกายหรือการทำกายภาพ ผู้ดูแลสามารถประคองผู้ป่วยอัมพฤกษ์โดยสอดแขนที่ช่องบริเวณหลังส่วนบนหรือเอว ทำให้ผู้ดูแลจะลดการออกแรงในการพุงหรือประคองผู้ป่วยอัมพฤกษ์ได้เป็นอย่างดี

ผลการทดลองใช้กับผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ พบว่ามีระดับความรุนแรงความเจ็บปวดหรือเกิดเมื่อยล้าจากการดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงที่ลดลงมากที่สุด คือ บริเวณแขนส่วนบนขวาซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 58.73 รองลง

คือ บริเวณหลังส่วนล่างขาลดลงคิดเป็นร้อยละ 53.78 บริเวณหลังส่วนบนขาลดลงคิดเป็นร้อยละ 50.19 และบริเวณไหล่ขาลดลงคิดเป็นร้อยละ 50.00

ผลการประเมินภาวะความไม่สบายที่เกิดขึ้นจากการดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์ของผู้ดูแลผู้ป่วยฯ พบว่า หลังการทดลองผู้ดูแลผู้ป่วยฯ มีค่าคะแนนระดับความรุนแรงของภาวะความไม่สบายที่ลดลง และผลระดับความพึงพอใจจากแบบสอบถามทั้งผู้ป่วยอัมพฤกษ์และผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์หลังการทดลองใช้เสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์ผลที่ได้มีระดับความพึงพอใจมากขึ้นในทุกข้อคำถาม

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของผู้วิจัยของบุตรี กาเด็น [11] การออกแบบเชิงการยศาสตร์สำหรับเก้าอี้นั่งเรียน โดยใช้แบบสอบถามภาวะความไม่สบายในการนั่ง (Discomfort Level) โดยศึกษาระดับความพึงพอใจของการใช้เก้าอี้นั่งเรียน และระดับความรุนแรงเฉลี่ยของการเกิดอาการเจ็บปวดหรือความรู้สึกไม่สบายของการนั่งเก้าอี้ พบว่าคะแนนของทุกรายการสอบถามมีระดับความพึงพอใจสูงขึ้น และกลุ่มตัวอย่างรู้สึกว่าการเก้าอี้นั่งเรียนแบบปรับปรุงมีผลต่อความเจ็บปวดหรือความรู้สึกไม่สบายน้อยกว่าเก้าอี้นั่งเรียนแบบปัจจุบันที่ไม่ได้ออกแบบทางการยศาสตร์

5. สรุป

ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์เพื่อวัดระดับความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์และเพื่อลดความเมื่อยล้าในการพยุงตัวผู้ป่วยฯ ต่อญาติผู้ดูแล สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การออกแบบเสื้อช่วยพยุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์โดยใช้หลักการยศาสตร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งการออกแบบเสื้อช่วยพยุงผู้ป่วยอัมพฤกษ์เครื่องนี้จะเน้นส่วนของร่างกายที่มีความสำคัญ คือ มือและข้อมือ บริเวณแขนและไหล่ บริเวณคอและหลัง การกำหนดขนาดของเสื้อให้เป็นไซส์กลาง จำนวน 2 ไซส์ คือ ขนาดไซส์มาตรฐานทั่วไป ครอบคลุมผู้ป่วยที่ใส่ไซส์ S-M และไซส์พิเศษ ที่ครอบคลุมผู้ป่วยที่ใส่ขนาดไซส์ L- XL

2) ระดับความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ในภาพรวมโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.91$, S.D. = 0.22) โดยผู้ป่วยมีความพึงพอใจในด้านการลดความบาดเจ็บของผู้ป่วยจากการพยุงตัว/เคลื่อนย้ายโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.93$, S.D. = 0.20) ด้านการออกแบบโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.90$, S.D. = 0.23) สำหรับความพึงพอใจของผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์เครื่องนี้ พบว่า มีความพึงพอใจในภาพรวมโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.87$, S.D. = 0.25) โดยผู้ดูแลมีความพึงพอใจในด้านการลดความเมื่อยล้าของผู้ดูแลในการพยุงตัวผู้ป่วยอัมพฤกษ์โดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.97$, S.D. = 0.08) ด้านการออกแบบโดยเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.45)

3) ลดความเมื่อยล้าในการพยุงตัวผู้ป่วยฯ ต่อญาติผู้ดูแล และช่วยเพิ่มความสะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ โดยผู้ดูแลผู้ป่วยอัมพฤกษ์มีระดับความรุนแรงที่เกิดความเจ็บปวดหรือเกิดเมื่อยล้าลดลงเมื่อใช้เสื้อช่วยพยุงฯ ค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงที่ลดลงมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ บริเวณแขนส่วนบนขวา ลดลงร้อยละ 58.73 รองลงมา คือ บริเวณหลังส่วนล่างขวา ลดลงร้อยละ 53.78 และบริเวณหลังส่วนบนขวา ลดลงร้อยละ 50.19

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2561 ขอขอบคุณกลุ่มผู้ป่วยอัมพฤกษ์/ผู้ดูแลทุกท่านที่สละเวลาและแรงกายร่วมดำเนินการวิจัย และขอบคุณเจ้าของตำรา บทความ และผลงานทางวิชาการต่าง ๆ ที่คณะผู้วิจัยได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Wannuchagul, “Stroke: Cerebrovascular Accident (CVA) or Apoplexy”, Sukumvit Hospital, <https://www.sukumvithospital.com/healthcontent.php> (accessed Feb. 25, 2023). (in Thai)
- [2] N. Kesarinhomhuan and A. Rattannithet, “Nursing Care for Stroke Patients”, *Journal of Medical journal of Ubon Hospital*, Vol. 32, No. 1–3, 2011, pp. 63–73. (in Thai)
- [3] M. Phanram, A. Singasasang, R. Nguanjairak, “Factor Associated with Duration time Rehabilitation of Stroke Patient in Community Buriram Province”, *Journal of the Royal Thai Army Nurses*, Vol. 23, No. 3, 2023, pp. 296–304. (in Thai)
- [4] R. Poencharoen, “Principles of Design”, Tasknjoy, <https://tasknjoy.wordpress.com> (accessed Jan. 23, 2016). (in Thai)
- [5] S. Sriboorapa, *Ergonomics: Human Factors*, 2nd ed. Bangkok: S. Sermmitt Press Co., Ltd., 2006. (in Thai)
- [6] N. Phusanthanasarn, “Reducing Lumbar Muscle Pain by Applying an Ergonomics Program”, *Ramkhamhaeng Research Journal*, Vol. 23, No. 2, 2006, pp. 103–105. (in Thai)
- [7] T. Pirom, “Garment Engineering”, *Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thailand*. (in Thai)
- [8] J. Kongka, “Effects of Practical Training in Traditional Thai Medicine on Caregivers of Stroke Patients”, *Research Report, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Siriraj Hospital*. (in Thai)
- [9] P. Ladavichitkul, N. Puttyangkura and S. Leepaitoon, “Ergonomics and Thai Elderly Labor”, in *Proceeding of the Conference of Industrial Engineering Network (IE NETWORK 2022)*, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, 2022, pp. 300–305. (in Thai)
- [10] K. Pipatpanyanugoon, K. Kittarana, S. Suksongkram and S. Khamsuk, “Making the Ergonomic Non-Slip Shoes for the Elderly”, in *Proceeding of the Conference of Industrial Engineering Network (IE NETWORK 2018)*, Ubon Ratchathani University, Thailand, 2018, pp. 1120–1124. (in Thai)
- [11] B. Kaden, “Design of a Study Chair Using Anthropometric Principles”, *Research Report, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand*. (in Thai)
- [12] N. Seripanitkan, “The Design of Arm Support for Dial Linking Machine Operators for Reducing Muscular Fatigue”, Master’s thesis, *Faculty of Industrial Hygiene and Safety, Mahidol University, Thailand*. (in Thai)
- [13] S. Manakitpaiboon and B. Rungroungdouyboon, “Design and Development of a Passive Arm Orthosis for Upper Limb Rehabilitation with Hemiparetic from Stroke”, in *Proceeding of The 37th conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 2023 ME-NETT2023*, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thailand, 2023, pp. 457–465. (in Thai)

- [14] A. Sungkhaong, K. Pochana and W. Auesujaridwong, “Workstation Improvement for Risk Reduction of Muscular Fatigue Among Production Workers in Tuna Manufacturing Process: A Case Study of a Seafood Processing Factory”, *The Journal of KMUTNB.*, Vol. 23, No. 3. 2013, pp. 654–663. (in Thai)

ผลของความเร็วในการเชื่อม CMT ที่มีต่อสมบัติทางกลและความสามารถในการขึ้นรูปของ อะลูมิเนียมผสม AA5052

Effect of CMT Welding Speed on Mechanical Property and Formability of Aluminium Alloy AA5052MT

ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ^{1*} นิวัฒน์ มูแกม¹ และ พิสิต เมืองน้อย¹

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

Natthasak Pornputsiri^{1*} Niwat Mookam¹ and Phisith Muangnoy¹

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

Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wang Klai Kang Won Campus,

Hua-Hin, Prachubkhirikhan, 77110

Corresponding author Email: natthasak.por@rmutr.ac.th*

(Received: August 24, 2023; Revise: December 4, 2023; Accepted: December 12, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและประเมินผลกระทบของความเร็วในการเชื่อม CMT) Cold Metal Transfer Welding) ที่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA5052 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากมีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา การเชื่อมที่เหมาะสมดำเนินการประเมินและวิเคราะห์ผลจากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีอริคสัน ผลการทดลองพบว่า ความเสียหายที่เกิดกับตัวอย่างที่ผ่านการเชื่อมด้วยความเร็วแตกต่างกันไม่ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกลของแผ่นโลหะ อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมโดยใช้ความเร็วต่ำจะมีความต้านทานแรงดึงที่ดีกว่าความเร็วสูง นอกจากนี้ผลการขึ้นรูปด้วยวิธีอริคสันพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมต่อโดยใช้ความเร็วต่ำมีความสามารถในการขึ้นรูปสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสามารถขึ้นรูปด้วยความลึกที่สูงกว่าก่อนเกิดการแตกหัก เงื่อนไขการเชื่อมโดยใช้ความเร็วต่ำการแตกหักเสียหายเริ่มเกิดขึ้นกับแผ่นพื้นด้านข้างของแนวเชื่อมและแตกแบบขวางแนวเชื่อมร่วมกัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อเชื่อมด้วยความเร็วสูงการแตกหักเสียหายของชิ้นงานเกิดขึ้นกับตำแหน่งกึ่งกลางแนวเชื่อมและรอยแตกมีทิศทางขนานไปกับแนวเชื่อม

คำสำคัญ: โลหะแผ่น ความสามารถในการขึ้นรูป อะลูมิเนียมผสม การเชื่อม CMT การทดสอบการขึ้นรูปด้วยวิธีอริคสัน

Abstract

This research aimed to investigate and evaluate the effect of CMT welding speed on the tensile strength and formability of AA5052 aluminum alloy. Aluminum is a widely used material in the automotive industry due to its strength and lightweight. Optimum welds were evaluated and analyzed based on the tensile strength and formability results. The formability was examined by the Erichsen Cupping test method. The experimental

results showed that the damage to samples welded at different speeds is independent of the mechanical properties of the substrate. However, welded samples with low welding speeds have better tensile strength than high welding speeds. In addition, the results of the Eriksson method showed that the low-speed welded samples had significantly higher formability. Because of the deeper forming of the cup before failure. In low-speed conditions, fractures begin to occur in the substrate near the weld seam together with fractures across the weld seam. Inversely, the higher welding speeds the fracture occurs at the center of the weld seam, and the fracture direction is parallel to the weld seam.

Keywords: Sheet Metal, Formability, Aluminium Alloy, CMT Welding, Erichsen Cupping Test

1. บทนำ

การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) ของโลหะแผ่นเพื่อการผลิตชิ้นส่วนมีความสำคัญกับอุตสาหกรรม การขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ ที่ผ่านมานักวิจัยจำนวนมากได้มีการศึกษาไว้หลากหลาย ประเด็น ซึ่งการทดสอบค่าความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุเป็นประเด็นที่น่าสนใจและเป็นวิธีการทดสอบขั้นพื้นฐาน ซึ่งการขึ้นรูปชิ้นส่วนจากโลหะแผ่นเป็นลักษณะของการให้แรงกระทำจนกระทั่งวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation) เพื่อให้ได้รูปร่างตามต้องการ [1-3] ทั้งนี้ความสามารถในการขึ้นรูปจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสำเร็จในการสร้างผลิตภัณฑ์และ ประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นส่วน เพื่อให้ได้ชิ้นงานถูกต้องเที่ยงตรงตามข้อกำหนดโดยไม่เกิดความเสียหายกับชิ้นงานสำเร็จ [4] ใน ส่วนของการขึ้นรูปวัสดุที่ผ่านการเชื่อมต่อจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง เช่นสมบัติทางกลของโลหะแผ่น ข้อกำหนดและกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งปัญหาสำคัญในการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่ผ่านการเชื่อมต่อคือ การเกิดออกไซด์ฟิล์มและชั้นของสิ่ง ปลอมปนบริเวณรอยเชื่อมต่อ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการแตกหักหรือเกิดความเสียหายได้ง่ายเมื่อถูกขึ้นรูปโดยใช้แรงกดอัดสูง ดังนั้น การเชื่อมที่ดีและให้สมบัติทางกลที่เหมาะสม จะส่งผลดีต่อกระบวนการขึ้นรูปของโลหะแผ่นทั้งชนิดที่เป็นโลหะและอโลหะ อย่างไรก็ตามการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) โดยทั่วไปการควบคุมผลกระทบของความร้อนในกระบวนการเชื่อมจะทำให้ได้ ยาก โดยเฉพาะการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมแผ่นบาง ดังนั้นการเชื่อมแบบ CMT (Cold Metal Transfer Welding) ซึ่งเป็นวิธีที่ สามารถควบคุมความร้อนในกระบวนการเชื่อมได้ดี จึงได้รับความนิยมและนำมาใช้เพื่อการเชื่อมต่อชิ้นส่วนโดยเฉพาะโลหะแผ่น บาง เนื่องการเชื่อมต่อทางกลของโลหะแผ่นจะเป็นลักษณะของพับขอบและซ้อนทับกันซึ่งเป็นข้อจำกัดต่อกระบวนการขึ้นรูปและ ความแข็งแรงของชิ้นส่วนหลังการขึ้นรูป ดังนั้นการเชื่อมต่อโลหะแผ่นด้วยกระบวนการเชื่อมแบบ CMT จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญใน การเตรียมโลหะแผ่นเพื่อนำไปขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไป

การประยุกต์ใช้เทคนิคการเชื่อมต่อก่อนเพื่อการขึ้นรูปถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างหลากหลาย ได้แก่ การผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์ อากาศยาน อุปกรณ์ทางการแพทย์ หลังคาอาคาร อุปกรณ์เด็กเล่น และชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เป็นต้น จาก งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการทดสอบการขึ้นรูปถ้วยของอิริคสัน (Erichsen cupping test) เป็นวิธีการที่สามารถ นำไปใช้เพื่อประเมินความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ซึ่งอิริคสันได้เป็นผู้คิดค้นไว้ เมื่อหลายปีก่อน [5-6] การทดสอบจะดำเนินการโดยติดตั้งแผ่นโลหะในตำแหน่งระหว่างพันซ์และด้าย ซึ่งสามารถกำหนดขนาดแรง กดแผ่นชิ้นงานให้คงที่ตลอดกระบวนการจนกระทั่งแผ่นชิ้นงานเกิดการฉีกขาด [7-8] โดยจะประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของ โลหะแผ่นจากค่าความลึก (Penetration) ในการขึ้นรูป และแรงสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูป (Drawing force)

ในการเลือกใช้วัสดุเพื่อการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ จำเป็นต้องทราบถึงสมบัติทางกลและความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุหรือโลหะแผ่น เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบแม่พิมพ์และข้อกำหนดในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพและไม่เกิดความเสียหายในระหว่างการขึ้นรูป [9] งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางกลของรอยเชื่อมโลหะแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งพบว่าความแข็งแรงของการเชื่อมต่อด้วยเลเซอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซปกคลุม [10] ในการตรวจสอบความสามารถในการขึ้นรูปของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมได้แสดงให้เห็นว่าความสูงของรอยเชื่อมที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการขึ้นรูปลดลง [11-12] กรณีการศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปของโลหะแผ่นที่ได้จากกระบวนการเชื่อมต่อโลหะแผ่นต่างชนิดกัน ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิด TWIP หรือ Twinning induced plasticity steels ด้วยวิธีการทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของอิริคสัน พบว่ารอยแตกที่ที่เกิดขึ้นภายในรอยเชื่อมจะส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางกลและความสามารถในการขึ้นรูปของโลหะแผ่น [13-14] ทั้งนี้โดยทั่วไปรอยเชื่อมต่อของโลหะแผ่นที่มีความแข็งแรงสูงมีทั้งข้อดีและข้อเสีย งานวิจัยซึ่งทำการศึกษเกี่ยวกับการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมแผ่นบางได้แสดงให้เห็นว่า แผนภาพขีดจำกัดในการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram ; FLD) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการทำนายและวิเคราะห์ความสามารถในการขึ้นรูปของรอยเชื่อม [15] ปัจจุบันวิธีการทดสอบการขึ้นรูปด้วยของอิริคสันถูกประยุกต์ใช้เพื่อการประมวลผลร่วมกับภาพดิจิทัลในการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมมากขึ้น [16] ในอนาคตวิธีการดังกล่าวมีแนวโน้มถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางเพื่อการทำนายพฤติกรรมในการขึ้นรูปของโลหะแผ่นและการกำหนดเงื่อนไขการขึ้นรูปที่เหมาะสม

อย่างไรก็ตาม จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของรอยเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมแบบ CMT โดยใช้เทคนิคหรือวิธีการทดสอบของอิริคสันแต่อย่างใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการขึ้นรูปของโลหะแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการเชื่อมต่อด้วยวิธี CMT โดยการกำหนดค่าความเร็วในการเดินเชื่อมที่แตกต่างกัน เพื่อการประเมินผลกระทบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของรอยเชื่อมและความสามารถในการขึ้นรูปของโลหะแผ่นที่ผ่านการเชื่อม โดยใช้วิธีการทดสอบของอิริคสัน ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับตั้งการเชื่อม CMT ให้เหมาะสมก่อนนำมาขึ้นรูป เพื่อการผลิตชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด หลีกเลี่ยงความเสียหายหรือข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุการทดลอง งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับโลหะแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด AA 5052 ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร เบื้องต้นจะนำโลหะแผ่นไปทำการตรวจสอบความต้านทานแรงดึงในทิศทางการรีดต่างๆ คือ ตามแนวการรีด (0°) เฉียงแนวการรีด (45°) และขวางแนวการรีด (90°) โดยผลการทดสอบแรงดึงแสดงดังตารางที่ 1

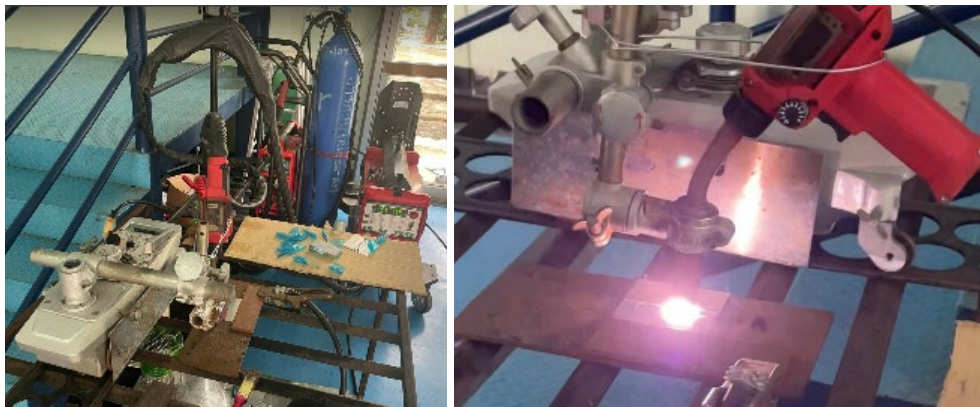
ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด AA5052

Rolling direction	Yield Stength) MPa(	Ultimate Tensile Strength (MPa(	Total Elongation(%)
0°	193.53	228.23	12.60
45°	187.67	219.29	14.21
90°	198.73	238.18	12.86

2.2 การเชื่อม CMT ขั้นตอนการเชื่อม CMT ใช้เครื่องเชื่อมยี่ห้อ Fronius รุ่น TransPuls Synregic 2700 ควบคุมความเร็วในการเดินเชื่อมด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 1 และใช้รูปแบบ Pulse synergic ในการเชื่อม ซึ่งเป็นโหมดการเชื่อม

มาตรฐานของผู้ผลิตเครื่องเชื่อม โดยมีลักษณะการทำงานที่เกิดจากการควบคุมการเปิด-ปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดและกระแสสูงสุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลตัวของเส้นลวดซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสพัลส์ที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จะกำหนดรอยต่อแบบต่อชน กระแสไฟฟ้าคงที่ 25 A และกำหนดความเร็วในการเดินเชื่อม (Welding speed; WS) 4 ระดับ คือ 200, 300, 400 และ 500 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งเป็นระดับความเร็วที่เครื่องเชื่อมสามารถรักษาการถ่ายโอนการพัลส์ของกระแสเชื่อมระดับสูงสุดที่ 60 Cycle/Sec ทั้งนี้จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะได้ 1 หยดและถ่ายโอนการอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่ที่สม่ำเสมอและต่อเนื่องกัน

2.3 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง เป็นลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid wire) สำหรับเชื่อมวัสดุประเภทอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร และใช้ชุดป้อนเชื่อมแบบเดินราง ยี่ห้อ Gazcut รุ่น Straightline cutting machine Kc-12 Max 3



รูปที่ 1 อุปกรณ์และการเชื่อม CMT

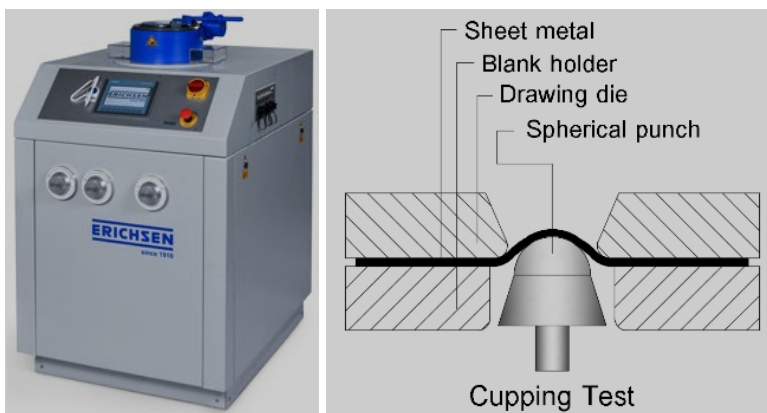
2.4 การตรวจสอบหลังการเชื่อม หลังการเชื่อมเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ดังนี้

2.4.1 ทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นทดสอบเพื่อหาค่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของรอยเชื่อม โดยการตัดเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8M และทำการทดสอบแรงดึงบนเครื่องทดสอบเนกประสงค์ขนาด 50 kN รุ่น AGS-X ยี่ห้อ SHIMADZU

2.4.2 ทำการวัดขนาดความสูงและความกว้างของรอยเชื่อม โดยการถ่ายภาพและวัดขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereozoom microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T

2.4.3 วัดขนาดการซึมลึกและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX53M

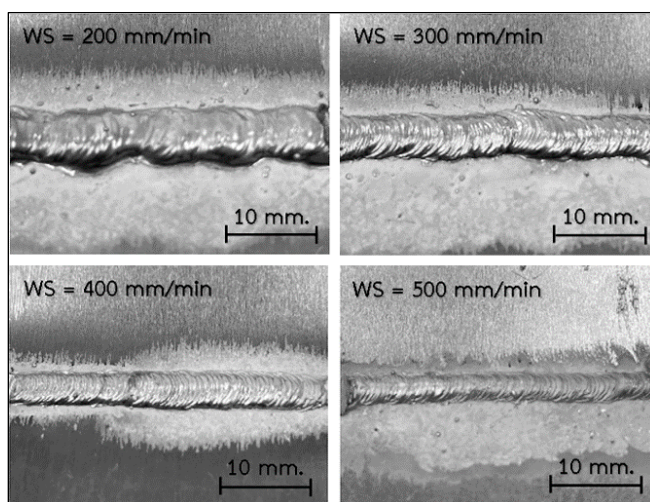
2.4.4 ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีการทดสอบการขึ้นรูปถ้วยของอิริกสัน โดยใช้เครื่องทดสอบยี่ห้อ SIEMENS รุ่น SAMATIC HMI Modell 134 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 โดยกำหนดค่าความเร็วในการขึ้นรูปที่ 25 มิลลิเมตร/นาที และใช้แรงในการกดแผ่นชิ้นงานที่ 2 kN.



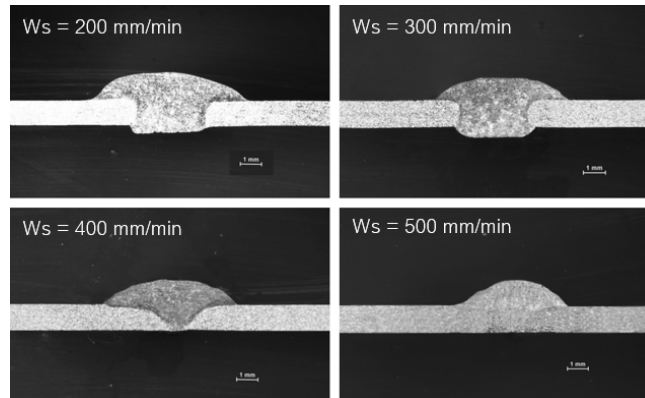
รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการขึ้นรูปถ้วยของอิริคสัน

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

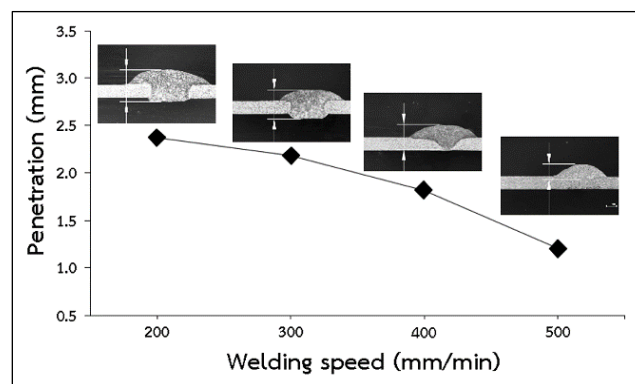
3.1 พื้นผิวและภาคตัดขวางของรอยเชื่อม พื้นผิวรอยเชื่อมจากการควบคุมความเร็วในการเดินเชื่อมแตกต่างกันดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นรอยเชื่อมมีลักษณะกว้างและเกิดความไม่สม่ำเสมอของรอยเชื่อมด้านข้างจากการใช้ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 200 และ 300 มิลลิเมตร/นาที อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมส่งผลให้ความกว้างของรอยเชื่อมลดลง รอยเชื่อมมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอมากขึ้น เม็ดโลหะขนาดเล็กที่เกิดจากการกระเด็นของโลหะเหลวที่เกาะอยู่บนพื้นผิวชิ้นงานเกิดขึ้นได้น้อย จากการใช้ความเร็วในการเดินเชื่อม 400 และ 500 มิลลิเมตร/นาที นอกจากนั้นชิ้นงานทดลองทั้งหมดไม่เกิดการบิดงอในระหว่างการเชื่อม สำหรับภาคตัดขวางของรอยเชื่อมและบริเวณหลอมละลาย (Fusion zone: FZ) ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4 วัสดุแผ่นรองหลอมละลายเข้ากับโลหะเดิมได้ดีเป็นบริเวณกว้าง และเกิดการหลอมเฉพาะพื้นผิวสำหรับการใช้ความเร็วสูงและมีการซึมลึก (Penetration) เกิดขึ้นน้อย



รูปที่ 3 รอยเชื่อมที่ความเร็วในการเดินเชื่อมแตกต่างกัน

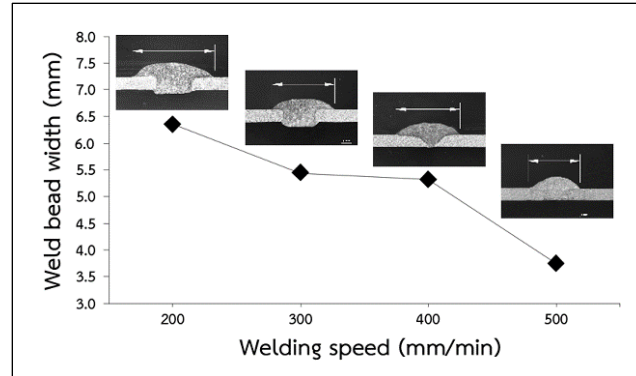


รูปที่ 4 ภาคตัดขวางของรอยเชื่อม



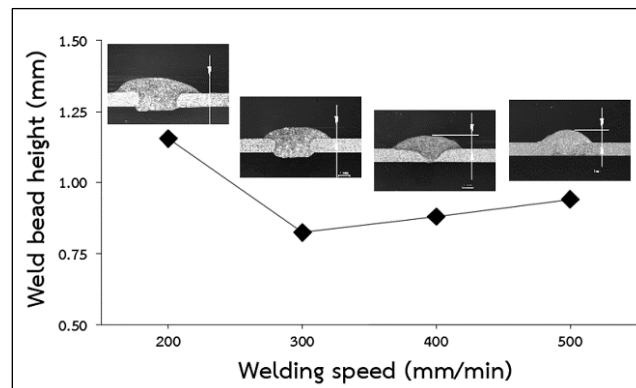
รูปที่ 5 การซึมลึกของแนวเชื่อม

3.2 ขนาดและรูปร่างของรอยเชื่อม จากรูปที่ 5 พบว่าการกำหนดความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 200 และ 300 มิลลิเมตร/นาที่ มีการซึมลึกของรอยเชื่อมที่ดี และพบการทะลุผ่านรอยต่อแบบสมบูรณ์ (Complete joint penetration) แต่เกิดรอยนูนด้านล่างของแผ่นรอง ประเด็นนี้สำหรับงานที่เตรียมไปใช้ในการขึ้นรูปจึงไม่เหมาะสม เนื่องจากการเกิดรอยนูนที่ผิวด้านล่างแผ่นชิ้นงานซึ่งต้องสัมผัสกับผิวแม่พิมพ์จะทำให้พื้นผิวสัมผัสหรือแรงในการจับยึดไม่สม่ำเสมอหรืออาจก่อให้เกิดรอยครูดที่ผิวแม่พิมพ์ได้ และจากผลการทดลองจะพบว่าการซึมลึกของรอยเชื่อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วในการเดินเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากพลังงานความร้อนระหว่างการเชื่อม ค่าพลังงานความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบการซึมลึกจากรูปแบบ V (V-shape) เป็นการซึมลึกที่ราบเรียบกว่าแบบ U (U-shape) เนื่องจากความเร็วในการเดินเชื่อมลดการสะสมความร้อน ซึ่งปกติสามารถควบคุมได้ด้วยค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในการเชื่อม โดยพบค่ากระแสไฟฟ้าสูงเกิดรูปแบบการซึมลึกในแบบ V และแบบ U มากกว่าการณีกำหนดค่ากระแสในการเชื่อมต่ำ [17]



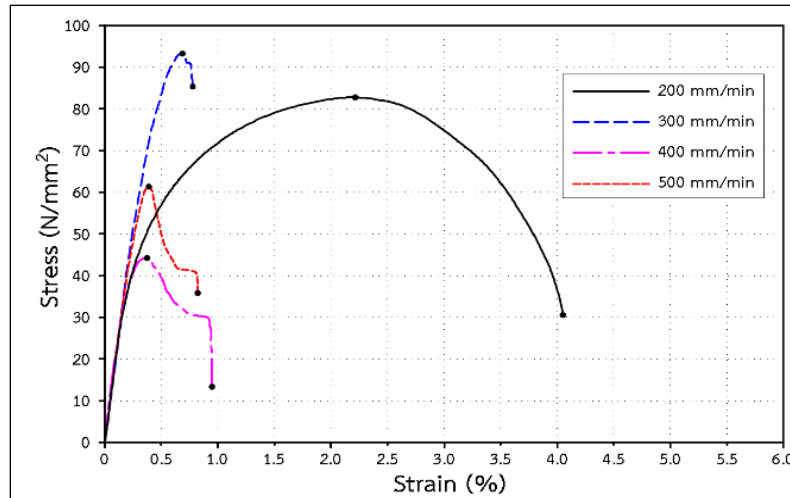
รูปที่ 6 ความกว้างของรอยเชื่อม

จากผลการทดลองรูปที่ 6 พบขนาดความกว้างของรอยเชื่อม (Weld bead width) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อม เนื่องจากการเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมทำให้รอยเชื่อมได้รับความร้อนลดลงและส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อมบนพื้นผิวแผ่นพื้นแคบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [18] โดยรายละเอียดผลการทดลองพบว่าการเดินเชื่อมด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที่ มีขนาดความกว้างของรอยเชื่อมโดยเฉลี่ย 6.355 มิลลิเมตร และเมื่อความเร็วในการเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 500 มิลลิเมตร/นาที่ รอยเชื่อมจะมีขนาดความกว้างโดยเฉลี่ย 3.735 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการเชื่อมในแง่ของความสูงรอยเชื่อม (Weld bead height) ในงานนี้ใช้เกณฑ์ยอมรับตาม AWS D1.2/D1.2M:2003 สำหรับการเชื่อมอาร์กโลหะก๊าซคลุม (Gas metal arc welding) ในการเชื่อมต่อชนควรมีความสูงของรอยเชื่อมไม่เกิน 2 มิลลิเมตร จากพื้นผิวด้านบนของวัสดุ [19] เมื่อตรวจสอบผลการทดลองรูปที่ 7 พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ยอมรับทุกเงื่อนไขการทดลองโดยการเดินเชื่อมด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที่ มีขนาดความสูงของรอยเชื่อมโดยเฉลี่ย 1.155 มิลลิเมตร และที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 500 มิลลิเมตร/นาที่ รอยเชื่อมจะมีขนาดความสูงเฉลี่ย 0.94 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 ความสูงของรอยเชื่อม

3.3 สมบัติทางกล ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขึ้นทดสอบงานเชื่อมดังรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดของแนวเชื่อมที่ความเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าความเร็วในการเดินเชื่อมส่งผลต่อสมบัติทางกลของขึ้นทดสอบอย่างเห็นได้ชัดผลแสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

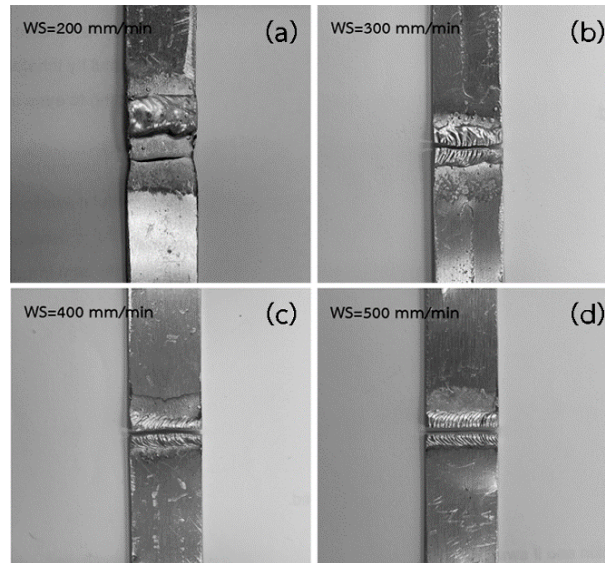


รูปที่ 8 ความแข็งแรงดึงแนวเชื่อมที่ความเร็วต่าง ๆ

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบที่ได้จากการเชื่อมด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน

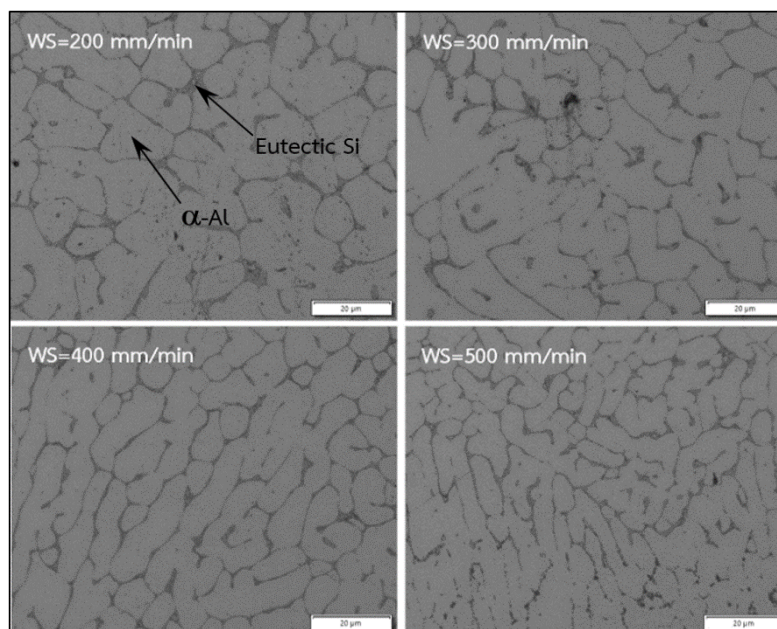
Welding speed (mm/min)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Total Elongation (%)
200	54.96	82.62	4.1
300	83.15	93.06	0.78
400	40.28	43.86	0.95
500	58.53	61.12	0.82

จากความเร็วในการเดินเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที มีอัตราการยืดตัว (TE) สูงอย่างเห็นได้ชัดที่ 4.1% และมีความต้านทานแรงดึง (UTS) เฉลี่ยที่ 82.62 N/mm² โดยการฉีกขาดจะเกิดที่ตำแหน่งของแผ่นอะลูมิเนียมใกล้กับแนวเชื่อมดังรูปที่ 9(a) และเมื่อเพิ่มความเร็วการเดินแนวเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที ส่งผลให้การยืดตัวของชิ้นงานทดสอบลดลง เนื่องจากเมื่อความเร็วในการเดินเชื่อมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้มีเวลาในการซึมลึกของลวดเชื่อมไปยังโลหะพื้น “ซึ่งมีความเหนียวสูง” ลดลง ดังนั้นเมื่อนำไปทำการทดสอบแรงดึงการฉีกขาดเสียหายจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับแนวเชื่อมซึ่งมีความแข็งแรงและเปราะ ดังผลการทดลองที่พบว่ารอยเชื่อมที่ความเร็วนี้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 93.06 N/mm² และมีอัตราการยืดตัวน้อยสุดที่ 0.78% โดยการฉีกขาดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแนวเชื่อมและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งงอเล็กน้อยดังรูปที่ 9(b) เมื่อความเร็วการเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นที่ 400 มิลลิเมตร/นาที ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่ 43.86 N/mm² และมีอัตราการยืดตัวที่ 0.95% การฉีกขาดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแนวเชื่อมและมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 9(c) ส่วนชิ้นทดสอบจากการเชื่อมด้วยความเร็วสูงสุดที่ 500 มิลลิเมตร/นาที จะมีค่าความแข็งแรงดึงที่ 61.12 N/mm² และมีอัตราการยืดตัวที่ 0.82% การฉีกขาดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแนวเชื่อมและมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 9(d) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า กรณีใช้ความเร็วในการเดินเชื่อมต่ำรอยเชื่อมจะมีความแข็งแรงมากกว่าโลหะแผ่น ในทางกลับกันเมื่อความเร็วในการเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำกว่าโลหะแผ่น เนื่องจากความเร็วในการเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสะสมความร้อน และการซึมลึกของรอยเชื่อมลดลง [17]



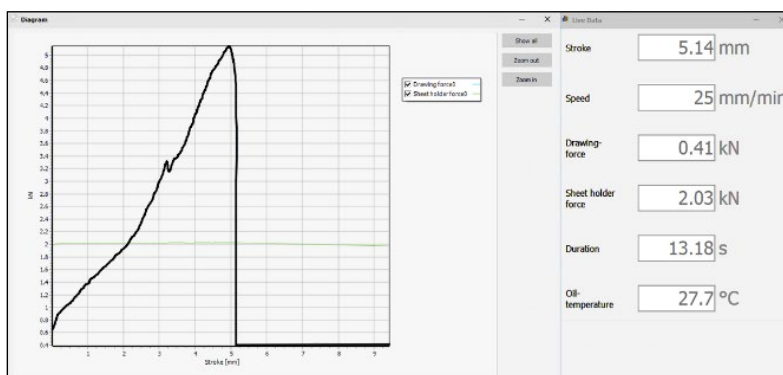
รูปที่ 9 ความเสียหายของชิ้นทดสอบงานเชื่อมจากการทดสอบแรงดึง

3.4 โครงสร้างจุลภาครูปที่ 10 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณหลอมละลายของรอยเชื่อมซึ่งประกอบด้วยสารละลายของแข็งยูเทคติก (Eutectic) Al-Si ที่ขอบเกรนของเฟสที่มีความเข้มข้นของอะลูมิเนียม เนื่องจากโลหะเติมที่ใช้ในการทดลองมีส่วนผสมของซิลิคอนถึง 5 wt.% ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh และคณะ [20] จากการใช้โลหะเติมชนิดเดียวกัน นอกจากนั้นการเชื่อมด้วยความเร็วต่ำ เฟสที่มีความเข้มข้นของอะลูมิเนียมมีขนาดใหญ่และมีรูปร่างกลม แตกต่างจากการเดินเชื่อมด้วยความเร็วสูงซึ่งจะส่งผลให้เกิดเฟสในรูปแบบเป็นลักษณะแท่งยาว เนื่องจากอิทธิพลของการสะสมความร้อนในกระบวนการเชื่อม



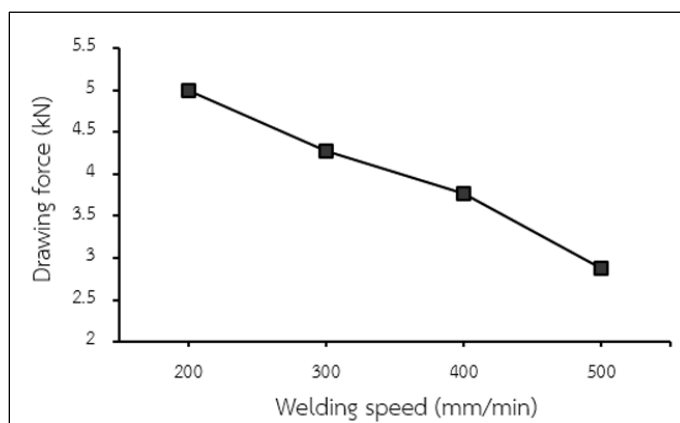
รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่ได้จากการเดินแนวเชื่อมด้วยความเร็วแตกต่างกัน

3.5 ความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) วิธีการทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปถ้วยของอิริคสันเป็นลักษณะการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นให้เกิดเป็นรูปทรงกลมจนทั้งฉีกขาด โดยในการทดลองนี้จะกำหนดค่าความเร็วในการขึ้นรูปที่ 25 มิลลิเมตร/นาที่ และใช้แรงในการกดแผ่นขึ้นงานที่ 2 kN โดยผลการทดลองจะแสดงในรูปของระยะความลึก ณ จุดแตกหัก (Stroke) และแรงในการขึ้นรูป (Drawing force) ดังรูปที่ 11



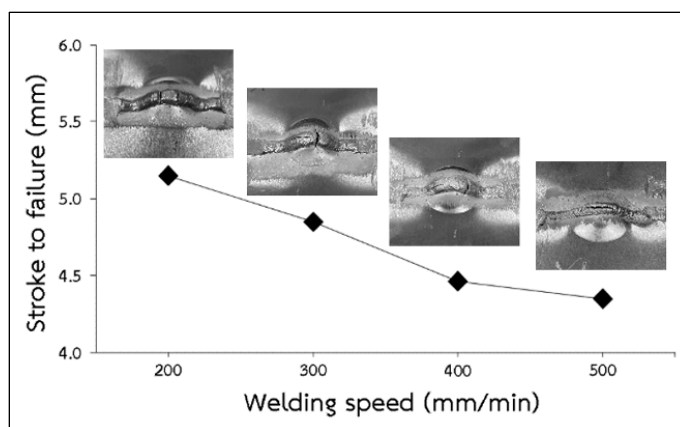
รูปที่ 11 ผลการทดสอบความสามารถในการขึ้นรูป

จากผลการทดสอบการขึ้นรูปถ้วยของอิริคสันแสดงให้เห็นว่าค่าความเร็วของการเดินแนวเชื่อมส่งผลต่อแรงในการขึ้นรูปและความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นทดสอบอย่างชัดเจน ดังรายละเอียดผลการทดลองรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ



รูปที่ 12 แรงในการขึ้นรูปด้วยวิธีการทดสอบของอิริคสัน

3.5.1 แรงในการขึ้นรูปถ้วยด้วยวิธีของอิริคสัน จากผลการทดลองรูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่าแรงในการขึ้นรูปจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น โดยชิ้นทดสอบจากการเดินแนวเชื่อมด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที่ จะใช้แรงในการขึ้นรูปสูงสุดที่ 5.08 kN. และชิ้นทดสอบจากการเดินแนวเชื่อมด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที่ จะใช้แรงในการขึ้นรูปต่ำสุดที่ 2.88 kN. ซึ่งขนาดของแรงในการขึ้นรูปมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงของชิ้นสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 13 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีการทดสอบของอิริคสัน

3.5.2 ระยะเวลาของการแตกหัก ผลการทดลองรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสามารถในการขึ้นรูปหรือระยะความลึกของการแตกหักของวัสดุลดลง โดยขึ้นทดสอบจากการเดินแนวเชื่อม ด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที มีระยะความลึกของการแตกหักสูงสุดที่ 5.38 มิลลิเมตร และขึ้นทดสอบจากการเดินแนวเชื่อม ด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที จะมีระยะความลึกของการแตกหักต่ำสุดที่ 4.40 มิลลิเมตร ซึ่งให้เห็นว่าระยะความลึกของการแตกหักจากการขึ้นรูปมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการยืดตัวของชิ้นสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึง อีกทั้งจากลักษณะรอยแตกบนชิ้นทดสอบของอิริคสันยังมีความสัมพันธ์กับการแตกหักในชิ้นทดสอบแรงดึง ซึ่งพบว่าการดึงขึ้นรูปขึ้นทดสอบจากการเดินแนวเชื่อมด้วยความเร็วต่ำ (200 มิลลิเมตร/นาที) รอยแตกจะเกิดขึ้นที่แผ่นอะลูมิเนียมด้านข้างของแนวเชื่อมและแตกแบบขวางแนวเชื่อมผสมกัน เมื่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการแตกในตำแหน่งกึ่งกลางแนวเชื่อมซึ่งมีทิศทางขนานไปกับแนวเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับผลการทดสอบแรงดึงและระยะการซึมลึกของแนวเชื่อม

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการขึ้นรูปหลังการเชื่อมต่อกันด้วย CMT ที่ความเร็วในการเดินเชื่อมแตกต่างกันของโลหะอะลูมิเนียมผสมแผ่นบาง ด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงและการทดสอบการขึ้นรูปด้วยของอิริคสัน โดยวิเคราะห์ผลจากลักษณะรอยเชื่อม สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และความสามารถในการขึ้นรูปของรอยเชื่อม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ความกว้างและความสูงของรอยเชื่อมลดลงเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ความเร็วในการเดินเชื่อมที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความร้อนสะสมบนแนวเชื่อมลดลง การหลอมละลายของโลหะเดิมและโลหะพื้นจึงเกิดขึ้นน้อยกว่าทำให้การขยายในแนวความกว้างของแนวเชื่อมเกิดน้อยลง

4.2 การซึมลึกเปลี่ยนรูปแบบจากรูปร่าง V เป็นรูปร่าง U ที่มีการซึมลึกที่ราบเรียบ จากผลของความเร็วในการเดินเชื่อมที่ลดการสะสมความร้อนและส่งผลให้ความเค้นของรอยเชื่อมลดลงเช่นกัน

4.3 โครงสร้างจุลภาคบริเวณหลอมละลายของรอยเชื่อมเกิดเฟสยูเทคติกซิลิกอน (Eutectic silicon phase) ที่ขอบเกรน และการเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมส่งผลให้เกิดเฟสในรูปแบบแท่งยาวและมีขนาดเล็ก

4.4 ความสามารถในการขึ้นรูปลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อม เนื่องจากผลการซึมลึกและความกว้างของรอย

เชื่อมที่ลดลง ด้วยความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อความร้อนสะสมของแนวเชื่อมซึ่งจะทำให้โลหะเดิมและโลหะพื้นเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลง

5. กิตติกรรมประกาศ

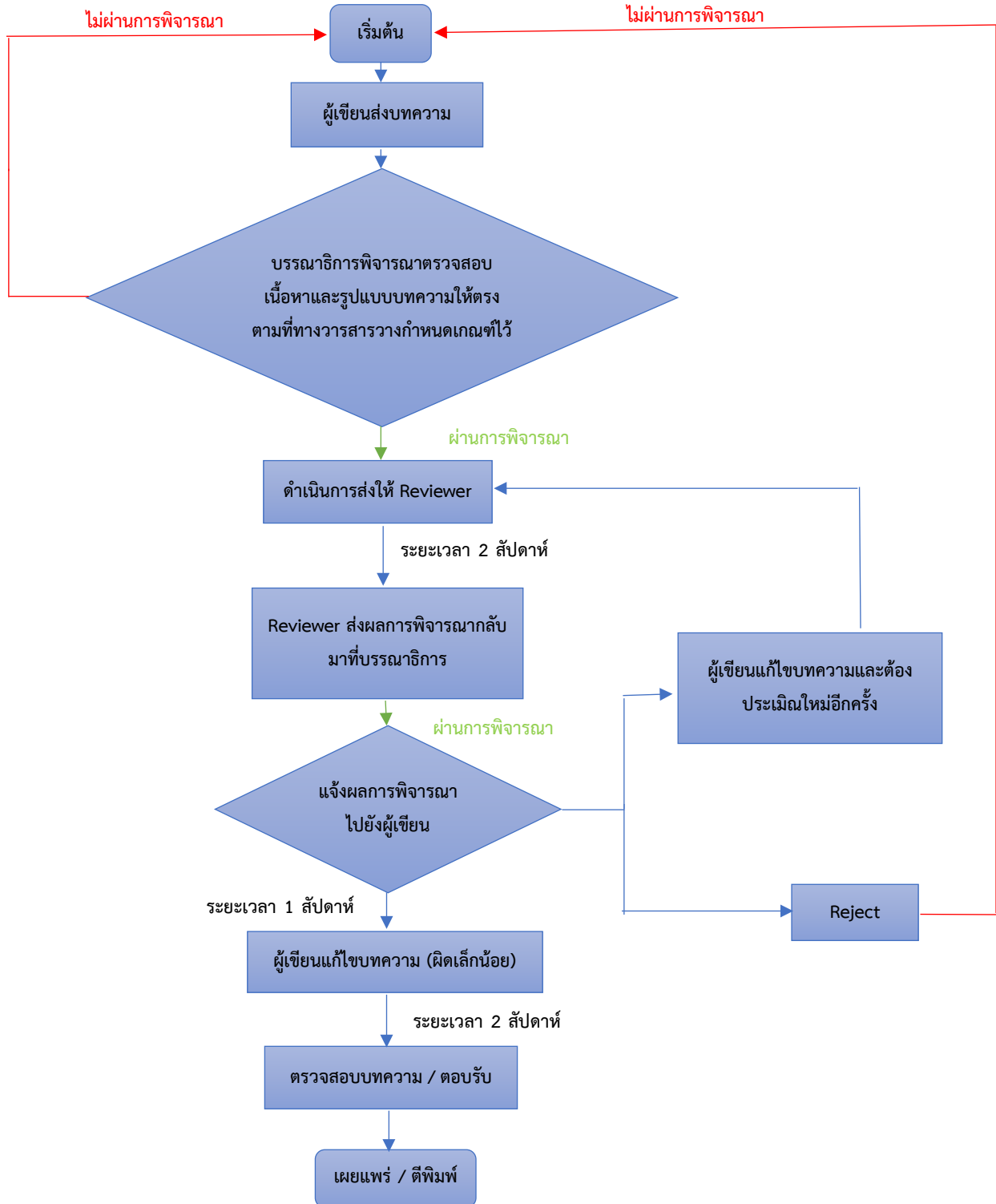
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ขอบคุณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา ของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Modanloo, A. Gorji, and M. Bakhshi-Jooybari, “Effects of Forming Media on Hydrodynamic Deep Drawing”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 30, No. 5, pp.2237–2242, 2016.
- [2] A. Nishino, and T. Oya, “Multiscale Analysis of The Formability of CFRP Sheets Subjected to Warm Forming with A Temperature-Dependent Epoxy Model”, *International Journal of Material Forming*, Vol. 12, No. 5, pp.793–800, 2018.
- [3] Y. Uriya, and J. Yanagimoto, “Erichsen Cupping Test on Thermosetting CFRP Sheets”, *International Journal of Material Forming*, Vol. 10, No. 4, pp.527–534, 2017.
- [4] M.R. Bhatt, and S. Buch, “Prediction of Formability for Sheet Metal Component Using Artificial Intelligent Technique”, in *2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN-2015*, pp.388–393, 2015.
- [5] M. Singh, A.K. Choubey, and C. Sasikumar, “Formability Analysis of Aluminium Alloy by Erichsen Cupping Test Method”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 2, pp.805–810, 2017.
- [6] M. Torkar, F. Tehovnik, and B. Podgornik, “Failure Analysis at Deep Drawing of Low Carbon Steels”, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 40, pp.1–7, 2014. DOI: 10.1016/j.engfailanal. 2014.02.003
- [7] A.K. Choubey, G. Agnihotri, and C. Sasikumar, “Experimental and Mathematical Analysis of Simulation Results for Sheet Metal Parts in Deep Drawing”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 31, No. 9, pp.4215–4220, 2017.
- [8] A. Kocanda, and C. Jasinski, “Extended Evaluation of Erichsen Cupping Test Results by Means of Laser Speckle”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp.211–216, 2016.
- [9] V. Mugendiran, and A. Gnanavelbabu, “Analysis of Hole Flanging on AA5052 Alloy by Single Point Incremental Forming Process”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp.8596–8603, 2018.
- [10] B. Chung, S. Rhee, and C. Lee, “The Effect of Shielding Gas Types on CO2 Laser Tailored Blank Weldability of Low Carbon Automotive Galvanized Steel”, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 272, No. 2, pp.357–362, 1999.

- [11] E. Bayraktar, J. Moiron, and D. Kaplan, “Effect of Welding Conditions on The Formability Characteristics of Thin Sheet Steels: Mechanical and Metallurgical Effects”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 175, Nos. 1–3, pp.20–26, 2006.
- [12] R.P. Madeira, and P.J. Modenesi, “Using Erichsen Testing to Evaluate the Performance of Welded Joints”, *Welding International*, Vol. 26, No. 1, pp.71–78, 2012.
- [13] A.S. Hamada, A. Kisko, A. Khosravifard, M.A. Hassan, L.P. Karjalainen and D. Porter, “Corrigendum to Ductility and Formability of Three High-Mn TWIP Steels in Quasi-Static and High-Speed Tensile and Erichsen Tests” (Mater. Sci. Eng. (2018) (A 712) (255–265)’, *Materials Science and Engineering A*, October, Vol. 717, pp.154, 2018. S092150931731571X, DOI: 10.1016/j.msea.2017.11.111
- [14] A.B. Naik, and A.C. Reddy, “Optimization of Tensile Strength in TIG Welding Using the Taguchi Method and Analysis of Variance (ANOVA)”, *Thermal Science and Engineering Progress*, August, Vol. 8, pp.327–339, 2018. DOI: 10.1016/j.tsep.2018.08.005
- [15] M. Parente, R. Safdarian, A.D. Santos, A. Loureiro, P. Vilaca, and R.M.N. Jorge, “A Study on The Formability of Aluminum Tailor Welded Blanks Produced by Friction Stir Welding”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 83, Nos. 9–12, pp.2129–2141, 2016.
- [16] M. Aydin, X. Wu, K. Cetinkaya, M. Yasar, and I. Kadi, “Application of Digital Image Correlation Technique to Erichsen Cupping Test”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 21, No. 4, pp.760–768, 2018.
- [17] M. Harooni, F Kong, B. Carlson, and R. Kovacevic, “Studying the Effect of Laser Welding Parameters on The Quality of ZEK100 Magnesium Alloy Sheets in Lap Joint Configuration”, in *Conference: 31st International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, ICALEO At: Anaheim, California, The United States of America*, 2012. DOI: 10.2351/1.5062505
- [18] *Structural Welding Code–Aluminum: AWS D1.2/D1.2m:2003*, 4th Ed. Estados Unidos: American Welding Society, 2003.
- [19] B.C. Evik, and M. Ko. “The Effects of Welding Speed on The Microstructure Andmechanical Properties of Marine-Grade Aluminium (AA5754) Alloyjoined Using MIG Welding”, *Kovove Mater*, Vol. 57, pp. 307–316, 2019.
- [20] J. Singh, K.S., Arora, and D.K. Shukla, “Lap Weld-Brazing of Aluminium to Steel Using Novel Cold Metal Transfer Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 283, p. 116728, 2020.

ขั้นตอนการตีพิมพ์ 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

(.....)

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



สมาคมเครือข่ายราชมณฑลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดย

สมาคมเครือข่ายราชมณฑลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ 6/2565 ที่ตั้ง : อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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