

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2565

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- อิทธิพลของปัจจัยต่อสมรรถนะด้านการจัดการหรือในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบทวน
รุ่งวสินต์ ไกรกลาง สุรพจน์ วัชรโรภากุล อภาว เชื้อดี สุรศักดิ์ มะธิตะปะน้า เมท สุชัย สุรัตน์ วรณศรี และวิทยา ดาวดอ
- การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ในการผลิตขดแก้ว
ณัฐชานันท์ อังศุเมธย์ มินตรา อิศรางกูร ณ อยุธยา สุพิชิตรา คำหอม และวิยุทธ วาณิชกมลนันท์
- การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคการศึกษางาน
ชัยวัฒน์ กิตติเดชา และอภิชาติ ชัยกลาง
- การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตงานเมลามีน
จิรัชยา ปาณะศรี สร้อยสุดา ศรีโสดาพล วิศุณี เกาะลอย และนรา สมิตถภาพงค์
- การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-Doped TiO₂ ที่มีต่อพฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก และชั้นสารประกอบ
เชิงโลหะของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบครีမ်
ประจักษ์ จิตกุล ธีรวัฒน์ เชื้อนแก้ว และกรรณชัย กัลยาศิริ
- [RETRACTED ARTICLE] การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไฟประเภทชุดโซฟาโดยการประยุกต์ใช้
สุรสิทธิ์ ธีรวัจนวงศ์ ชชาติ หอมเขียว จุฬาลักษณ์ ไรนานกุล อภิชาล ทองมั่ง กำเนิดว่า และบัญชา จุลกุล
- การจัดการปัญหาเส้นทางการขนส่งกรณีศึกษา โรงงานผลิตขึ้นรูปอลูมิเนียม
ธรรมวิช ประเสริฐ และวรากรณ์ ถนนธรรม
- การพ่นขึ้นรูปตัวโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์โดยเทคโนโลยีผงผสมผงด้วยเลเซอร์
ภาสกรพงศ์ วัชรศรีสำเร็จ เวลิม ขุนเอียด พิชระ ภัฏจนกาญจน์ และสัญญา คำจริง
- การเลือกใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนของการเชื่อมความต้านทานแบบปั๊มสำหรับทึบ M12 กับเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร
ธีรวัฒน์ เชื้อนแก้ว ชูติ หมอรักษา ปันณวิชญ์ พรวัฒนอนันต์ และสถาพร ศิริแพทย์

อิทธิพลของปัจจัยต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว ด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน	1
Influence of Factors on Wear Resistance Property in Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing	
โดย : รุ่งสันทน์ ไกรกลาง สุรพจน์ วัชรโรภากุล ฉกาจ เชื้อดี สุรศักดิ์ มะธิโตปะน้า เมที สุขชี สุรัตน์ วรรณศรี และ วิทยา ดาวดอน	
การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในการผลิตขวดแก้ว	11
An Experiment to Improve the Hot End Coating Process in the Production of Glass Bottles	
โดย : ญัฐชานันท์ อังศุเศรณี มินตรา อิศรางกูร ณ อยุธยา สุพัตตรา คำหอม และ วีรยุทธ วาณิชกมลนันท์	
การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคการศึกษางาน	21
The Productivity Improvement of Bottled Water Manufacturing using Work Study Technique	
โดย : ชัยวัฒน์ กิตติเตชา และ อภิชาติ ชัยกลาง	
การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจานเมลามีน	30
Application of Simulation Program to Increase Efficiency Melamine Dish Production Process	
โดย : จิรศยา ปาณะศรี สร้อยสุตา ศรีโสตาพล วิสุณี เกาะลอย และ นรา สมัตถภาพงศ์	
การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-Doped TiO ₂ ที่มีต่อพฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก และชั้นสารประกอบเชิงโลหะของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบครีม	39
SAC305+0.5In An Investigation on Influence of Mn-doped TiO ₂ Nano-Particles on Melting Behavior, Wettability and Intermetallic Layer of SAC305+0.5In Lead-Free Solder Paste	
โดย : ประจักษ์ จัตกุล ธีรวุฒิ เชื้อนแก้ว และ กรรณชัย กัลยาศิริ	
[RETRACTED ARTICLE] การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ประเภทชุดโซฟาโดยการประยุกต์ใช้ เทคนิคบ้านคุณภาพ	48
[RETRACTED ARTICLE] Design and Development of Bamboo Furniture Sofa Set Product Using House of Quality Technique	
โดย : สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ ชาตรี หอมเขียว จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล อภิชาล ทองมั่ง กำเนิดว่า และ บัญชา จุลกุล	
การจัดการปัญหาเส้นทางการขนส่งกรณีศึกษา โรงงานผลิตขึ้นรูปอลูมิเนียม	62
A Vehicle Routing Problem Solving: The Case Study of Aluminium Extrusion Factory	
โดย : ธรรมวิเศษ ประเสริฐ และ วรากรณ์ ถนอมธรรม	

การพับขึ้นรูปตัววีโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์โดยเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ 70

V-bending of Sheet Metal with a Polymer Die by Selective Laser Sintering Technology

โดย : ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ เฉลิม ขุนเอียด พัทธระ กัญจนกาญจน์ และ สัญญา คำจริง

การเลือกใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนของการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มสำหรับทึนท M12 78

กับเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร

Selection of upper electrode tips for the resistance projection welding of M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet

โดย : ธีรวุฒิ เชื้อนแก้ว ฐิติ หมอรักษา ปิณณวิชญ์ พรพัฒนานันต์ และ สถาพร ศิริแพทย์



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ แสง-ชูโต
รองศาสตราจารย์ธรรมณชาติ วันแต่ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑพร ใจดำรงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสาน ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทสายัน นราพินิจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธุ์เดช นนท์แสงโรจน์

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูแก้ม

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ วังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนชนะ ศรีสระคู
ดร.มนตรี แสงสุริยันต์
ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอนแก่น

เลขานุการ

ดร.กัวหน้า จงวัฒนารักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Journal of Manufacturing and Management Technology

Editorial Team

Editor-in-Chief

Asst. 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. Supaek Pramoonmark

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Boonsong Chongkolnee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Jatuporn Jaidumrong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Asst. Prof. Dr. Nonthachoti Udomsri

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Asst. Prof. Pisit Srinoi

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

Asst. Prof. Puttasayan Narapinij

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Nateechai Passadee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Yingyot Tipsrirach

Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chantaburi Campus

Asst. Prof. Phandet Nornseangroth

Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chantaburi Campus

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 Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

Secretary

Dr. Kaona Jongwuttanaruk

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บทบรรณาธิการ

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน ปีพุทธศักราช 2565 จำนวนบทความตีพิมพ์ 9 บทความ โดยวารสารมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์บทความคุณภาพสูงสำหรับ นักศึกษาด้านเทคโนโลยี 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 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งตั้งแต่ละท่านจะไม่มีมีการเปิดเผยชื่อกันและกันตลอดกระบวนการตรวจสอบบทความ (Double-blind review)

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



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุขฎิ บุญธรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยุทธ์ บุญแข็ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อธิธิผลิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร ชาทะวิถิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นราธิป ภาวะรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒนวงศ์วนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต บุญขาว

ดร.วิเรชา คำจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณา เนื่องมัจฉา

ดร.ชาตินันท์กรบ แสงสว่าง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพล ตัณฑวิรุฬห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูไธดี สนิ

ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติ หมอรักษา

ดร.ประจักษ์ จัตกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัดน์ ณ พัทลุง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แมน ตัญแพร่

ดร.ภูริพัส แสนพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ระยอง

คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สกลนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศรีราชา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ขอนแก่น

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

ดร.ปานรวิ รุ่งสกุลโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Reviewers

Asst.Prof.Dr.Dussadee Buntam	Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University
Asst.Prof.Dr.Kulyuth Boonseng	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.Naratip Pawaree	Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University
Asst.Prof.Dr.Fasai Wiwatwongwana	Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology
Asst.Prof.Dr.Bundit Boonkhao	Faculty of Engineering Nakhon, Phanom University
Dr.Wirekha Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Sakon Nakhon Campus
Asst.Prof.Dr.Woraya Neungmatcha	Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Dr.Chatnugrob Sangsawang	Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University Si Racha
Asst.Prof.Dr.Phacharaphon Tunthawiroon	Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst.Prof.Suhaidee Sani	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Dr.Suppawat Chuvaree	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst.Prof.Thiti Mhoraksa	Integrated Engineering and Technology Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Dr.Prajak Jattakul	Integrated Engineering and Technology Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Asst.Prof.Chirawat Na-Badalung	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Asst.Prof.Dr.Man Tuiprae	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Dr.Puripat Saenpong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst.Prof.Dr.Chanchai Laoha	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst.Prof.Dr.Jittiwat Nithikarnjanatharn	Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Rachasima Campus
Dr.Panrawee Rungskunroch	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.Porakoch Sirisuwan	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Natthasak Pornputsiri	Faculty of Industrial and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

อิทธิพลของปัจจัยต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว ด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน

Influence of Factors on Wear Resistance Property in Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing

รุ่งวสันต์ ไกรกลาง¹ สุรพจน์ วัชรโรภากุล^{1*} ฉกาจ เชื้อดี¹ สุรศักดิ์ มะธิโตปะนะ¹ เมธี สุขชี¹ สุรัตน์ วรรณศรี¹
และวิทยา ดาวดอน¹

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
Rungwasun Kraiklang¹ Suraphot Watcharophakul^{1*} Chakat Chueadee¹ Surasak Matitopnum¹
Matee Sukkee¹ Surat Wannasri¹ and Wittaya Daodon¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan

*Corresponding author Email: suraphot@rmuti.ac.th

(Received: January 28, 2022; Accepted: June 23, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวเกรด 5052 เสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาด 18 ไมโครเมตร ด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน โดยการเปรียบเทียบปัจจัยที่สำคัญในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน ได้แก่ การใช้ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (Speed : S) ที่สูงที่ 1,500 รอบต่อนาที คงที่ แล้วใช้ความเร็วเดินกวน (Feed : F) ต่ำที่ 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ (Round : R) ที่ 2 รอบ (S2F1R1) กับ ความเร็วเดินกวน (Feed : F) สูงที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ (Round : R) ที่ 4 รอบ (S2F2R2) ผลการศึกษา พบว่าการใช้ความเร็วเดินกวนต่ำที่จำนวนการเดินกวนเพียงสองรอบเพียงพอทำให้กลุ่มอนุภาคผงสารเสริมแรงมีการกระจายตัว สม่ำเสมอในวัสดุเนื้อพื้น และมีการแตกหักของอนุภาคผงกระจายทั่วพื้นที่กวน ส่งผลให้มีความต้านทานการ สึกหรอที่สูง โดยให้ค่า อัตราการสึกหรอต่ำสุด เท่ากับ 0.1088 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อวินาที คิดเป็น 3.4 เท่าเมื่อเทียบกับการสึกหรอของวัสดุ อลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 และใช้เวลาต่างกันเล็กน้อยกับการใช้ความเร็วเดินกวนที่สูง และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ แต่ให้ อัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำกว่ามาก

คำสำคัญ: อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว กระบวนการเสียดทานแบบกวน ความต้านทานการสึกหรอ

Abstract

This research aims to study the influence of factors on wear resistance property in aluminum surface composite grade 5052 with 18- micrometer silicon carbide reinforcement by friction stir processing. Comparison of the process parameters, such as the high rotational speed at 1,500 rpm, constant and then using the low traverse speed at 10 mm / min and the number of pass at 2nd pass (S2F1R1) compare with the high traverse

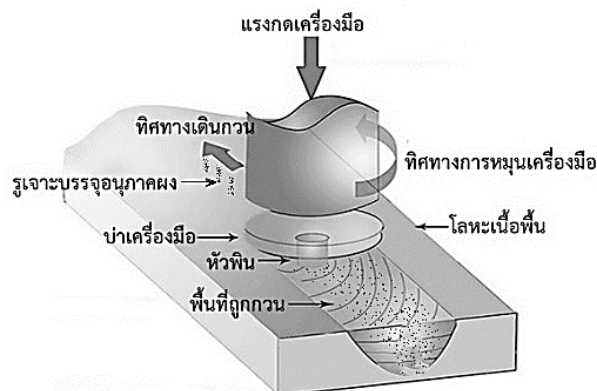
speed at 30 mm / min and the number of pass at 4th pass (S2F2R2). The results showed that the low traverse speed at the two passes of stirring is enough to have the dispersion of the powder particles regularly and the fracture of the powder particles spread throughout the stirring area, resulting in higher wear resistance properties. It offers the lowest wear rate of 0.1088 mm³ / Nm, 3.4 times the wear resistance of aluminum A5052. In addition, the low traverse speed at 10 mm / min and the number of pass at 2nd pass (S2F1R1) takes slightly different production times with the high traverse speed at 30 mm / min and the number of pass at 4th pass (S2F2R2) but offers a much lower rate of wear.

Keywords: Aluminum surface composite, Friction stir processing, Wear Resistance

1. บทนำ

ในสถานการณ์อุตสาหกรรมการผลิตปัจจุบันมีความต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ สำหรับการใช้งานที่หลากหลาย ทำให้วัสดุเดิมที่มีอยู่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการคุณสมบัติทางกลในวงกว้างได้ กระบวนการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Process: FSP) ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวและการสร้างอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว (Aluminum Surface composites; AMC) เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยุคใหม่คือ มีความแข็งแรง และความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติหลักของวัสดุเดิมคือน้ำหนักเบา สมบัติที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเติมอนุภาคผงเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นต้น เข้าไปผสมเพื่อเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นเดิม [1, 2] อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว จึงถูกนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ และอากาศยาน ในชิ้นส่วนที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอที่พื้นผิวสูง แต่มีน้ำหนักเบา เพื่อให้การใช้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยหนึ่งในเกรดอลูมิเนียมที่นิยมนำมาใช้ชิ้นส่วนยานยนต์คือ เกรด 5052 ที่มีสมบัติเด่นคือ มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อน และมีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดี

กระบวนการเสียดทานแบบกวน (FSP) เป็นกระบวนการขึ้นรูปจากสถานะของแข็ง (Solid State Processing) จึงเป็นเทคโนโลยีเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Technology) เนื่องจากใช้ความร้อนน้อยลง และไม่ก่อให้เกิดควันก๊าซ และรังสีที่เป็นอันตรายใด ๆ ในระหว่างการขึ้นรูป [3, 4] โดยมีหลักการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนที่สำคัญคือ จะใช้เครื่องมือกวนที่มีใบและหัวพินที่หมุนด้วยความเร็วสูง หัวพินของเครื่องมือจะกดแทรกลงไปภายในวัสดุที่มีการเจาะรูและเติมอนุภาคผงสารเสริมแรง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของชิ้นงานและใบเครื่องมือทำให้เกิดความร้อนขึ้นในพื้นที่การเสียดรูปพลาสติกของวัสดุเนื่องจากการตกลึกซ้ำ และถูกหมุนกวนเกิดเป็นเนื้อผสมระหว่างอนุภาคผงที่เติมเข้าไปกระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อพื้น [5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการของกระบวนการเสียดทานแบบกวน [6]

จากการทบทวนวรรณกรรมการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน พบว่าการเลือกใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปจำเป็นต้องกำหนดให้เหมาะสมตามขนาดและชนิดของวัสดุเนื้อพื้น เพื่อให้ได้สมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานที่ดี โดยความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (Rotational speed) และความเร็วเดินกวน (Traverse speed) เป็นสองปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลต่อชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ [7] พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนเครื่องมือ และลดความเร็วเดินกวนจะทำให้อุณหภูมิในพื้นที่กวนสูงขึ้น ขนาดเกรนเล็กลง ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้อนุภาคผงสารเสริมแรงแตกเป็นขนาดเล็กลง และกระจายฝังตัวในวัสดุเนื้อพื้นสม่ำเสมอขึ้น [8, 9] ขณะที่การเพิ่มจำนวนรอบในการกวนซ้ำและเปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบจะทำให้้อนุภาคสารเสริมแรงแตกเป็นขนาดเล็กลง และกระจายตัวสม่ำเสมอในวัสดุเนื้อพื้นขึ้น [10] ต่อมา R. Kraiklang et al. [11] ได้ศึกษาอิทธิพลปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและการสึกหรอของเครื่องมือของการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนวัสดุอลูมิเนียมเชิงประกอบเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร เนื่องจากเป็นสารเสริมแรงที่มีค่าความแข็งแรงสูง และเป็นขนาดอนุภาคที่หาได้ทั่วไปตามท้องตลาด จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของความเร็วในการหมุนเครื่องมือและความเร็วเดินกวนกับจำนวนรอบในการกวนซ้ำ ส่งผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือ ขณะที่ V. Mathur et al. [12] ได้ศึกษาการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนวัสดุอลูมิเนียมเชิงประกอบเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูงขึ้นช่วยลดขนาดเกรนและเกิดการกระจายอนุภาคที่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงและค่าความต้านทานแรงสูงขึ้นตาม แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่ปรากฏการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงาน

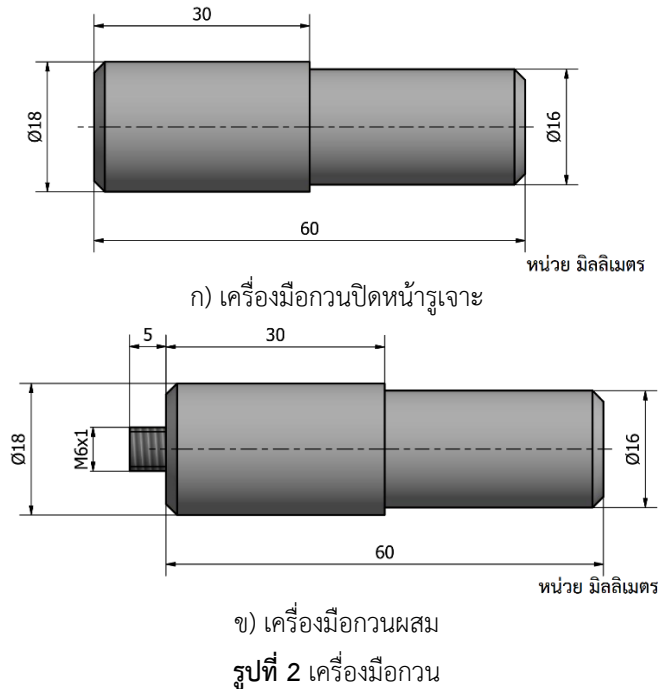
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน สำหรับวัสดุเนื้อพื้นอลูมิเนียมผสมเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 เตรียมวัสดุอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้อลูมิเนียมผสมเกรด 5052 ความหนา 6 มิลลิเมตร เป็นวัสดุเนื้อพื้น เจาะรูบนวัสดุเพื่อเติมอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร เป็นแถวเส้นตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4.5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู

4.19 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้สัดส่วนปริมาตรอนุภาคผงที่เติมในรูเจาะต่อปริมาตรพื้นที่กวนเท่ากับ 10% โดยปริมาตร เครื่องมือกวนใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด DC53 ผ่านการชุบแข็งแล้วมีความแข็งเฉลี่ย 60 - 64 HRC ขึ้นรูป 2 รูปแบบ คือเครื่องมือที่มีเฉพาะบ่าเครื่องมือมีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มิลลิเมตร ใช้สำหรับกวนปิดหน้ารูเจาะเดิมอนุภาคผงก่อนทำการเดินกวนผสม (รูปที่ 2 ก) และเครื่องมือที่ใช้เดินกวนผสม มีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มิลลิเมตร หัว핀ขึ้นรูปเกลียวเมตริกขนาด M6x1 ยาว 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 2ข) เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าหัวพินรูปร่างเกลียวที่อัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อหัวพินเท่ากับ 3 : 1 จะมีประสิทธิภาพการกวนที่ดี [11]



2.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลระหว่างความเร็วเดินกวนกับจำนวนรอบในการกวนซ้ำ กำหนดขึ้นตามสมมติฐานงานวิจัยคือ สมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานอาจแตกต่างกัน เมื่อเวลาการขึ้นรูปโดยรวมในแต่ละวิธีไม่แตกต่างกัน แต่ใช้เงื่อนไขปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้รูปแบบการเดินกวนสองรอบแบบเปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบที่ระดับความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูง ความเร็วเดินกวนที่ต่ำตามการทบทวนวรรณกรรมดังที่กล่าวมา เปรียบเทียบกับจำนวนการเดินกวนซ้ำที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบที่ระดับความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูง ความเร็วเดินกวนที่สูง ซึ่งทั้งสองเงื่อนไขให้เวลาในการขึ้นรูปโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก โดยเลือกกระทำการทดลองตามขอบเขตของการทดลองขึ้นรูปเบื้องต้นต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถขึ้นรูปโดยไม่เกิดตำหนิบนชิ้นงาน [11] แสดงเงื่อนไขการทดลองและระดับปัจจัยในตารางที่ 1 โดยมีตัวแปรตามเป็นอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน

ตารางที่ 1 เงื่อนไขทดลอง และระดับปัจจัยในการทดลอง

เงื่อนไขทดลอง	ระดับปัจจัย		
	ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) (รอบต่อนาที)	ความเร็วเดินกวน (F) (มิลลิเมตรต่อนาที)	จำนวนการเดินกวนซ้ำ (R) (รอบ)
S2F1R1	1500	10	2
S2F2R2	1500	30	4

หมายเหตุ รหัสตัวเลขคือระดับการทดลอง โดยมีเงื่อนไขการทดลอง 2 ระดับ

ปัจจัยคงที่อ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรม ประกอบด้วยปัจจัย มุมเอียงเครื่องมือ ความลึกกัดเสียดทาน เวลากัดเสียดทาน รูปทรงเครื่องมือ และอัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อขนาดของหัวฟัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดปัจจัยคงที่ [11]

ปัจจัย	ค่าระดับ
มุมเอียงเครื่องมือ	3 องศา
ความลึกกัดเสียดทาน	0.3 มิลลิเมตร
เวลากัดเสียดทาน	30 วินาที
รูปทรงเครื่องมือ	ทรงกระบอกเกลียวขวา
อัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อหัวฟัน	3 : 1

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ดำเนินการทดลองทั้งสองเงื่อนไขด้วยการจับยึดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึด (Fixture) และใช้เครื่องกัดตั้งระบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ HAAS รุ่น TM2 ในการเดินหมุนกวนขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 3

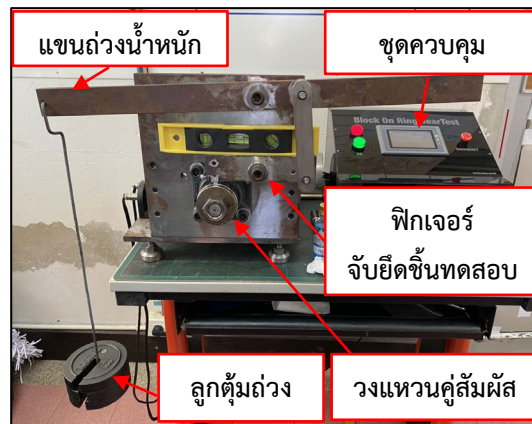


รูปที่ 3 การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

หลังจากขึ้นรูปแต่ละเงื่อนไข นำชิ้นงานไปตัดชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบโครงสร้างจุลภาค และขึ้นทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 อย่างละ 3 ชิ้น

การทดสอบการสึกหรอด้วยวิธี Block on ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยการกำหนดขนาดมิติของชิ้น

ทดสอบเท่ากับ $6 \times 10 \times 4$ มิลลิเมตร วงแหวนที่ใช้ในการทดสอบทำจากเหล็กกล้า Bearing Steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอ มีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยกำหนดน้ำหนักหรือแรงกดทดสอบเท่ากับ 15 กิโลกรัม ความเร็วของการเสียดทาน 0.6 เมตรต่อวินาที และทำการทดสอบด้วยระยะทาง 3,000 เมตร ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงานทดสอบทุก ๆ 500 เมตร ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม จากนั้นคำนวณอัตราการสูญเสียปริมาตรของชิ้นทดสอบเทียบกับแรงกดชิ้นทดสอบ หน่วย ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนิวตันเมตร (mm^3/Nm)

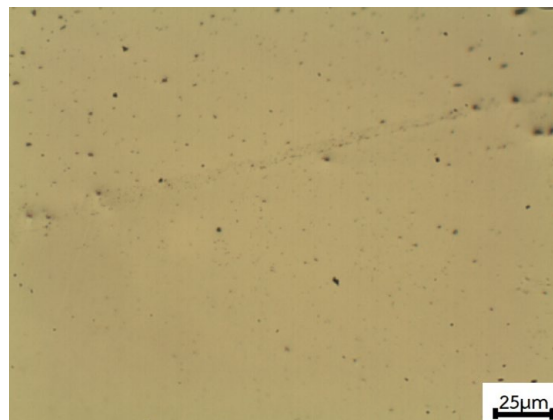


รูปที่ 4 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ

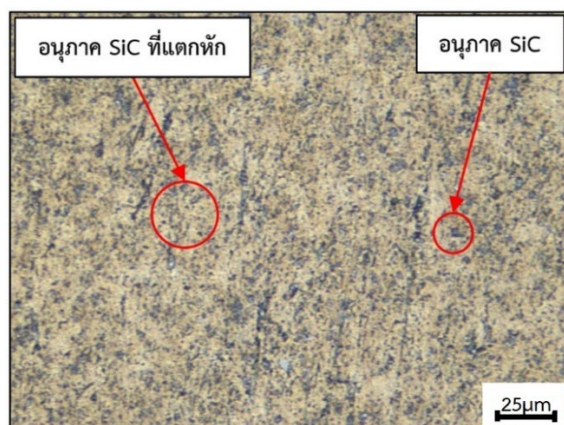
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

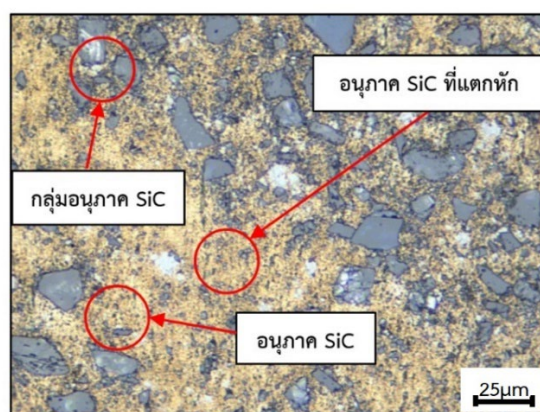
จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ที่ผิวด้านบนตรงกึ่งกลางแนวแกนทั้งสองเงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 5



ก) อลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052



ข) เจือไน S2F1R1



ค) เจือไน S2F2R2

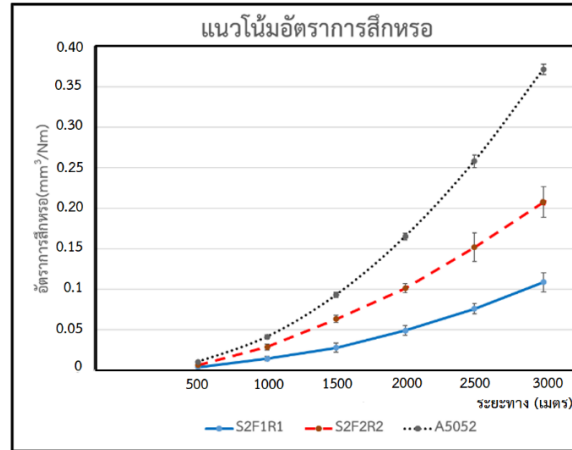
รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนในแต่ละเจือไน

จากรูปที่ 5 สามารถสรุปประเด็นหลักๆได้ว่า โครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของเจือไนความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์มีการแตกหักที่ดี และเกิดการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ รวมถึงมีเศษอนุภาคสารเสริมแรงที่แตกหักขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอแทรกในพื้นที่กวน

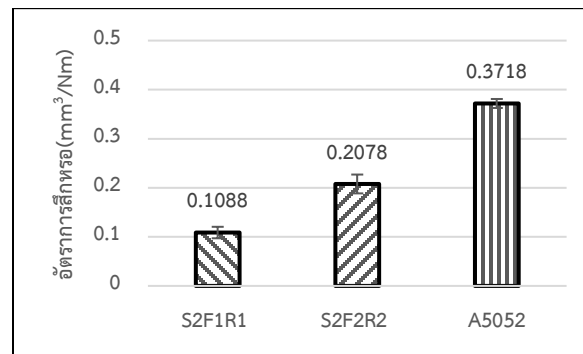
ส่วนโครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของเจือไนความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 30 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2) พบว่าถึงจะมีการแตกหักของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์อยู่บ้าง แต่ก็ยังมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคสารเสริมแรงกระจายเป็นกลุ่ม ๆ และมีระยะห่างระหว่างกลุ่มที่มากขึ้น ไม่เกิดการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงบริเวณผิวหน้าของชิ้นทดสอบอย่างสม่ำเสมอเท่าที่ควร

3.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการสึกหรอ

งานวิจัยนี้ใช้ผลการทดสอบอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน ด้วยวิธี Block on ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยทำการทดสอบทั้งสองเจือไนเปรียบเทียบกับชิ้นงานวัสดุอลูมิเนียม A5052 เนื้อพื้น โดยทำซ้ำเจือไนละ 3 ชิ้น แสดงกราฟแนวโน้มอัตราการสึกหรอต่อระยะทาง ดังรูปที่ 6 และกราฟแท่งเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอที่ระยะทาง 3,000 เมตร ของแต่ละเจือไนดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 แนวโน้มอัตราการสึกหรอตามระยะทางแต่ละเงื่อนไข



รูปที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการสึกหรอแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 6 พบว่าที่เงื่อนไขความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินงาน 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินงานซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) มีแนวโน้มอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำที่สุด และรูปแบบแนวโน้มการสึกหรอที่เหมือนกันทุกเงื่อนไข คือ เริ่มต้นจะเกิดการสึกหรอน้อยแล้วการสึกหรอจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 7 พบว่าที่เงื่อนไข S2F1R1 และ S2F2R2 มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำกว่าวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 คิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 และ 44.11 ตามลำดับเมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 โดยเงื่อนไข S2F1R1 มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.1088 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนิวตันเมตร คิดเป็น 3.4 เท่าเมื่อเทียบกับการสึกหรอของวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

3.3 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาพบว่า ผลของอัตราการสึกหรอของชิ้นงานสอดคล้องกับผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค คือ ที่ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) ที่สูง และความเร็วเดินงาน (F) ที่ต่ำ ถึงแม้จะเดินงานซ้ำเพียงสองรอบก็ตาม แต่ก็เพียงพอทำให้อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์เกิดการแตกหักที่ดีและมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอฝังในบริเวณผิวหน้าวัสดุเนื้อพื้นของชิ้นงานได้ดีส่งผลให้เกิดอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ W. S. AbuShanab and E. B. Moustafa [13] ขณะที่การใช้ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) ที่สูง และความเร็วเดินงาน (F) ที่สูงเกินไป ถึงแม้จะเดินงานซ้ำเพิ่มถึงสี่รอบแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ยังคงเกาะกลุ่มกันและไม่ฝังลึกในเนื้อพื้น เมื่อ

เสียดสีกับวัสดุคู่สัมผัสจึงทำให้อนุภาคสารเสริมแรงหลุดออกจากชิ้นงานได้ง่าย ส่งผลให้อัตราการสึกหรอสูง ดังนั้นการเพิ่มจำนวนรอบในการกววนขัดทดแทนการเพิ่มความเร็วในการเดินกววนเพื่อลดเวลาในการทำงาน ไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงสมบัติความต้านทานการสึกหรอที่เหมาะสมได้ ควรใช้การขึ้นรูปที่ความเร็วเดินกววน (F) ที่ต่ำ แต่ลดจำนวนรอบในการกววนขัดทดแทน

4. สรุปผล

4.1 ปัจจัยในการใช้ความเร็วเดินกววนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) ส่งผลต่อสมบัติต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกววนมากกว่าปัจจัยการใช้ความเร็วเดินกววนที่สูง และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2)

4.2 เงื่อนไขในการใช้ความเร็วเดินกววนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) จะส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาคผงสม่ำเสมอในพื้นที่กววน ทำให้อัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำตามด้วย

4.3 เงื่อนไขในการใช้ความเร็วเดินกววนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) และการใช้ความเร็วเดินกววนที่สูง และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2) มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำกว่าวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 คิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 และ 44.11 ตามลำดับเมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

4.4 การเลือกใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปควรใช้ความเร็วเดินกววนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 2 รอบ ซึ่งเพียงพอต่อการเพิ่มสมบัติความต้านทานการสึกหรอที่ต้องการ เมื่อเทียบกับการใช้ความเร็วเดินกววนที่สูง และจำนวนการเดินกววนซ้ำ 4 รอบ และคิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 เมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุการทดลองจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M.K. Gupta, "Friction stir process: a green fabrication technique for surface composites—a review paper", *SN Applied Sciences*, Vol. 2, No. 532, 2020.
- [2] E.B. Moustafa, A. Melaibari and M. Basha, "Wear and microhardness behaviors of AA7075/SiC-BN hybrid nanocomposite surfaces fabricated by friction stir processing", *Ceramics International*, Vol. 46, No. 10, 2020, pp. 16938-16943.
- [3] H.H. Eskandari and R. Taheri, "A Novel Technique for Development of Aluminum Alloy Matrix/TiB₂/Al₂O₃ Hybrid Surface Nanocomposite by Friction Stir Processing", *Procedia Materials Science*, Vol. 11, 2015, pp. 503–508.
- [4] D.P.L. Florence, P.H.V.S.T. Sai, S. Devaraj and K.S. Narayanaswamy, "A review on effect of processing parameters on mechanical properties of MMCs by friction stir process", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2317, No. 020040, 2021.

- [5] S. Divya, D. Elavarasan, M. Kishor, K. Manisekar and R. Manikandan, “A Review On Friction Stir Processing of Aluminium Alloy Surface Composite”, *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, Vol. 3, No. 4, 2020, pp. 103-108.
- [6] R. Kraiklang, S. Watcharophakul, S. Matitopanum, M. Sukkee and W. Daodon, “Influence of Factors on Mechanical Property in Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing”, in *Proceeding of 4th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019 (RMTC2019)*, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand, 2019, pp. 185–191. (in Thai)
- [7] M. Salehi, M. Saadatmand and J. Aghazadeh Mohandes, “Optimization of process parameters for producing AA6061/SiC nanocomposites by friction stir processing”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 22, No. 5, 2012, pp. 1055-1063.
- [8] M. Azizieh, A. H. Kokabi and P. Abachi, “Effect of rotational speed and probe profile on microstructure and hardness of AZ31/Al₂O₃ nanocomposites fabricated by friction stir processing”, *Materials & Design*, Vol. 32, No. 4, 2011, pp. 2034–2041.
- [9] Q. Zhang, B.L. Xiao, Q.Z. Wang and Z.Y. Ma, “Effects of processing parameters on the microstructures and mechanical properties of in situ (Al₃Ti + Al₂O₃)/Al composites fabricated by hot pressing and subsequent friction-stir processing”, *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 45, 2014, pp. 2776–2791.
- [10] A. Dolatkhah, P. Golbabaie, M. B. Givi and F. Molaiekiya, “Investigating effects of process parameters on microstructural and mechanical properties of Al5052/SiC metal matrix composite fabricated via friction stir processing”, *Materials and Design*, vol. 37, 2012, pp. 458–464.
- [11] R. Kraiklang, J. Onwong and C. Santhaweesuk, “Multi-Performance Characteristics of AA5052 + 10% SiC Surface Composite by Friction Stir Processing”, *Journal of Composites Science*, vol. 4, no. 36, 2020.
- [12] V. Mathur, S.R.P. B, M.P.G. C and A.K. Shettigar, “Reinforcement of titanium dioxide nanoparticles in aluminium alloy AA 5052 through friction stir process”, *Advances in Materials and Processing Technologies*, vol. 5, no. 2, 2019, pp. 329–337.
- [13] W.S. AbuShanab and E.B. Moustafa, “Effects of friction stir processing parameters on the wear resistance and mechanical properties of fabricated metal matrix nanocomposites (MMNCs) surface”, *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 4, 2020, pp. 7460-7471.

การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในการผลิตขวดแก้ว

An Experiment to Improve the Hot End Coating Process

in the Production of Glass Bottles

ณัฐชานันท์ อังสุเรณีย์¹ *มินตรา อิศรางกูร ณ อยุธยา¹ สุพัตตรา คำหอม¹ และวีรยุทธ วาณิชกมลนันท์²¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² บริษัท สยามกลาส อินดัสตรี จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000Natchanun Angsuseranee^{1*}, Mintra Isaragkun Na Ayuttaya¹ Supattra Khamhom¹ andWeerayut Warnitkomonnan²¹ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

² Siam Glass Industry Company Limited, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 13000

*Corresponding author Email: natchanun.a@rmutsb.ac.th *

(Received: January 30, 2022; Accepted: June 1, 2022)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ปริมาณการพ่นน้ำยาและอัตราการพ่นน้ำยาเคลือบขวดแก้ว ขวดแก้วที่ผ่านการทดลองการปรับตั้งค่าตัวแปรตามที่กำหนดจะถูกตรวจสอบและทดสอบด้วยการวัดค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง การทดสอบการลื่นไถล การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบการรับแรงในแนวตั้ง และการทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์ โดยผลการทดสอบที่ได้จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัท จากการทดลองพบว่าปริมาณการพ่นน้ำยา ปริมาณ 3 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 15 strokes per minute (spm) ทำให้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.48 เป็น 1.64 และการปรับตั้งค่าดังกล่าวยังช่วยลดปริมาณการใช้น้ำยาเคลือบจากกระบวนการเดิมลงได้ร้อยละ 10

คำสำคัญ: การปรับปรุง ฮอท เอนด์ โคทติ้ง การผลิต ขวดแก้ว

Abstract

The objective of this article is to improve the hot end coating process in the production of glass bottles for the case study company. The variables studied were the spraying volume and the spraying rate of the glass bottle coating solution. The glass bottles that were experimented upon had variables adjusted to the specified values and were then examined and tested by measuring the hot end coating value, slip testing, impact testing, vertical load testing, and internal pressure testing. The test results obtained must be under the company's quality control standards. The experiment found that by spraying 3 cc/stroke with a spraying rate of 15 strokes

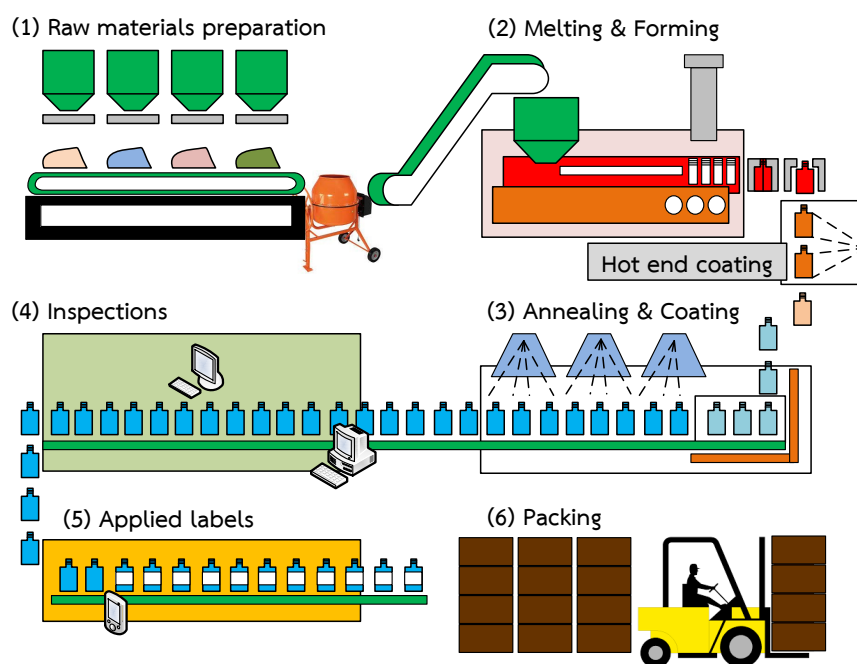
per minute (spm), the process capability ratio C_{pk} increased from 0.48 to 1.64. Making such adjustments can also help reduce the consumption of coating solutions used in the previous process by 10 percent.

Keywords: improvement, hot end coating, production, glass bottle

1. บทนำ

ขวดแก้วเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมใช้มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับบรรจุของเหลว ปัจจุบันการผลิตขวดแก้วใช้วัตถุดิบหลักซึ่งประกอบด้วยเศษแก้ว (Cullet) ที่ได้จากการนำแก้วกลับมาใช้อีก (Recycle) ผสมกับส่วนผสมที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือทรายแก้ว แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือหินปูน และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือโซดาแอช โดยโซดาแอชจะช่วยให้ทรายแก้วสามารถละลายในจุดหลอมเหลวต่ำได้ดี ส่วนหินปูนจะทำให้ขวดแก้วเกิดความทนทานและเพิ่มความสวยงาม ซึ่งวัตถุดิบหลักจะถูกหลอมรวมกับวัตถุดิบรอง เช่น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อไล่ฟองอากาศ ที่อุณหภูมิ 1,550 องศาเซลเซียส [1-4] แล้วทำการขึ้นรูปร้อน (Hot forming) ด้วยแม่พิมพ์ (Mold) โดยการเป่า (Blowing)

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยเริ่มจากขั้นตอน (1) การเตรียมวัตถุดิบ (Raw materials preparation) ด้วยการผสมวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรองที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของบริษัทเพื่อนำเข้าสู่ขั้นตอน (2)



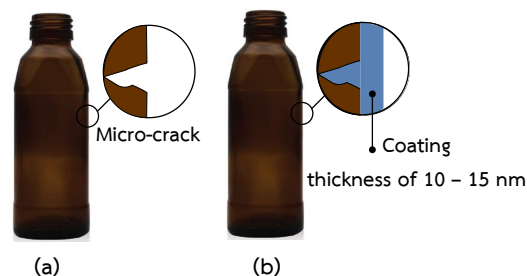
รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา [4]

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้วเริ่มที่ขั้นตอน (2) ด้วยการหลอมและขึ้นรูป (Melting & Forming) จากการนำน้ำแก้วที่ถูกหลอมมาทำการขึ้นรูปเป็นก้อนแก้ว (Gob) ให้มีขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เพื่อให้มีปากขวดที่สมบูรณ์โดยมี

ขนาดรวมถึงรูปทรงที่เหมาะสม ซึ่งเรียกชิ้นงานที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า “พาริสัน (Parison)” แล้วนำชิ้นงานดังกล่าวขึ้นรูปด้วยการเป่า โดยการใช้ลมแรงสูงเป่าอัดน้ำแก้วให้เป็นรูปทรงที่กำหนด แล้วทำการเป่าอีกครั้งในแม่พิมพ์เพื่อให้ได้รูปทรงสุดท้ายของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ

หลังจากกระบวนการขึ้นรูปพร้อมขวดแก้วด้วยแม่พิมพ์เสร็จสิ้น ชิ้นงานที่ได้จะถูกกล่าเลียงโดยสายพานลำเลียง ระหว่างนี้ อุณหภูมิของขวดแก้วจากการขึ้นรูปจะลดต่ำลง ทำให้มีการเสียดตัวของเนื้อแก้วส่งผลให้เนื้อแก้วเกิดความเครียด (Strain) และมีความเครียดคงค้างอยู่ภายในเนื้อแก้ว ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการปรับปรุงสมบัติของเนื้อแก้วด้วยกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) ในขั้นตอน (3) แอนนิลลิ่งและการเคลือบ (Annealing & Coating) เพื่อลดความเครียดคงค้างที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปพร้อมโดยการให้ความร้อนกับแก้วที่อุณหภูมิเหมาะสมในเวลาที่เหมาะสม และมีการควบคุมอัตราการลดของอุณหภูมิแก่เนื้อแก้ว เมื่ออุณหภูมิของขวดแก้วลดต่ำเหลือ 60 องศาเซลเซียส ขวดแก้วจะถูกพ่นเคลือบด้วยน้ำยาเคมีซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “โคลด์ เอนด์ โคทติ้ง (Cold end coating)” เพื่อให้ผิวด้านนอกของขวดแก้วมีความลื่น มันวาว เพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการติดฉลาก (Applied labels) และไม่เป็นรอยเมื่อเสียดสีกันระหว่างการผลิตและขนส่ง [3,4] ภายหลังจากการพ่นน้ำยาเคมี ขวดแก้วจะถูกตรวจสอบ (Inspections) ในขั้นตอน (4) ด้วยเครื่องมือเฉพาะ เพื่อหาความบกพร่อง (Defects) ต่าง ๆ สำหรับขวดแก้วที่มีความบกพร่องจะถูกแยกออกเพื่อนำไปทำลาย ในขณะที่ขวดแก้วที่ได้มาตรฐานจะถูกส่งไปติดฉลากในขั้นตอน (5) และบรรจุภัณฑ์ในขั้นตอน (6) เพื่อนำส่งไปยังแผนกอื่นต่อไป

อย่างไรก็ดี ก่อนที่ขวดแก้วจะเข้าสู่กระบวนการแอนนิลลิ่งในขั้นตอนที่ (3) ขวดแก้วที่ยังมีความร้อนสะสมจะเข้าสู่กระบวนการเคลือบน้ำยาที่ประกอบด้วยสารดีบุกเตตระคลอไรด์ (SnCl_4) ไททาเนียมเตตระคลอไรด์ (TiCl_4) และสารประกอบดีบุกอินทรีย์ หรือที่เรียกรวมกันว่า “Monobutyltintrichloride (MBTCl_3)” เนื่องจากกระบวนการนี้จะยังทำขณะขวดแก้วร้อน จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า “ฮอต เอนด์ โคทติ้ง (Hot end coating)” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบผิวขวดแก้วให้เกิดชั้นฟิล์ม (ความหนาประมาณ 10 ถึง 15 nm) อุดรอยแตกขนาดเล็ก (Micro-crack) ดังรูปที่ 2 (b) ทำให้ช่วยเพิ่มความทนทานและลดปัญหาขวดแก้วเกิดการแตกระหว่างกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป รวมถึงในขั้นตอนการขนส่งและเมื่อนำไปใช้งาน [3-5]



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบขวดแก้ว (a) กรณีไม่ทำ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง และ (b) กรณีทำ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง [4]

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้สารเคลือบเป็นน้ำยาของบริษัท BOHIME CHEMICALS ประเทศอิตาลี ในการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง และมีความต้องการลดปริมาณการใช้น้ำยาที่ต้องใช้ในกระบวนการดังกล่าว ภายใต้งบประมาณและมาตรฐานของขวดแก้วที่ผลิตได้ยังอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัทกำหนด โดยบริษัทกรณีศึกษาเลือกปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดแก้วโมเดล M ซึ่งมีขนาดบรรจุเครื่องดื่ม 150 ml เนื่องจากเป็นโมเดลที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าหนึ่งพันล้านขวดต่อปี

ผู้วิจัยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการประยุกต์ร่วมกับการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาปริมาณน้ำยาและจำนวนครั้งที่เหมาะสมของการพ่น (Spraying) น้ำยาเคลือบขวดแก้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำยาและปรับปรุงมาตรฐานการทำงานตามความต้องการของบริษัท การตัดสินใจเพื่อกำหนดค่าใหม่ให้กับตัวแปรทั้งสอง ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) พิจารณาว่ากระบวนการผลิตที่ปรับปรุงสามารถผลิตขวดแก้วได้ตรงตามข้อกำหนด (Specification limit) ด้านคุณภาพหรือไม่ โดยงานวิจัยที่ผ่านมา [6-8] ใช้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ (Process capability ratio; C_{pk}) วัดความสามารถที่แท้จริง (Actual capability) ของกระบวนการหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่า C_{pk} ของกระบวนการที่ใช้อยู่เดิม แต่ที่ผ่านมาจากบริษัทกรณีศึกษาไม่เคยวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง นักวิจัยจึงได้ร่วมกับบริษัทกรณีศึกษาตั้งเป้าหมายให้ค่าดังกล่าวสูงกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเกณฑ์ทั่วไปที่นิยมใช้ควบคุมความสามารถของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและสะท้อนให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตอยู่ในระดับดี [9,10] ทั้งนี้กระบวนการที่ปรับปรุงต้องลดปริมาณการใช้น้ำยาในการเคลือบผิวขวดแก้วด้วยกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ลงได้น้อยกว่าร้อยละ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตปัจจุบันของบริษัท

2. วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการศึกษา

กระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ของบริษัทกรณีศึกษาใช้น้ำยาเคลือบ BOHEMI STATIN S ซึ่งมีสมบัติในการสร้างชั้นฟิล์ม SnO_2 (Stannic Oxide) เคลือบผิวนอกของขวดแก้ว เพื่อให้ขวดแก้วมีความคงทนเพิ่มขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษางาน (Work study) ของกระบวนการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยเฉพาะในขั้นตอนการทำ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ด้วยวิธีการพ่นน้ำยา BOHEMI STATIN S แก่ขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อนภายในตู้พ่นน้ำยา ซึ่งปัจจุบันบริษัทใช้ปริมาณน้ำยา 5 cc ต่อการพ่นหนึ่งครั้ง (stroke) และทำการพ่น 10 stroke ในระยะเวลา 1 นาที คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำยา 50 cc/min โดยผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง

Experiment No.	Consumption [cc/stroke]	Spraying Rate [stroke per min, spm]
1	3	5
2	3	10
3	3	15
4	5	5
5*	5	10
6	5	15
7	7	5
8	7	10
9	7	15

* ค่าปัจจุบันที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ผลิต

ตารางที่ 2 การตรวจสอบและทดสอบตามมาตรฐานกำหนด

Measurement & Testing	Standard	Method/Instrument
Hot End Coating*	> 15 CTUs	AGR Hot End Coating Measurement
Slip	< 15 degree	AGR Tilt Table
Impact	> 2.5 kgf-cm	AGR Impact Tester
Vertical Load	> 8 kg/cm ²	AGR Vertical Load Tester
Internal Pressure	> 5 kg/cm ²	AGR Ramp Pressure Tester 2x

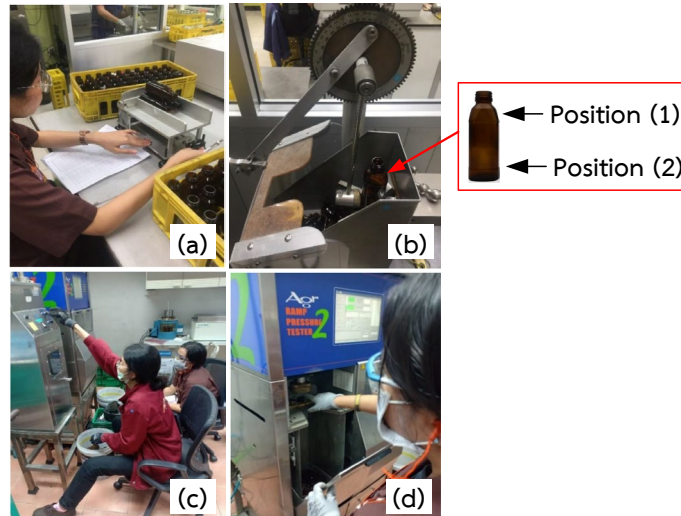
* สมบัติของขวดแก้วที่นำไปใช้ประเมินค่า C_{pk}

การทดลองดำเนินการโดยการปรับค่าของเครื่อง ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามตารางที่ 1 ด้วยระยะเวลาปรับตั้งค่าดังกล่าว 60 นาที/การทดลอง แล้วใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างขวดแก้วที่ไหลออกจากตู้พ่นน้ำยา ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ทุก ๆ 2 นาที จนครบจำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อนำไปประเมินสมบัติของขวดแก้วโดยใช้วิธีการตรวจสอบและทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดตามตารางที่ 2



รูปที่ 4 การตรวจสอบค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง

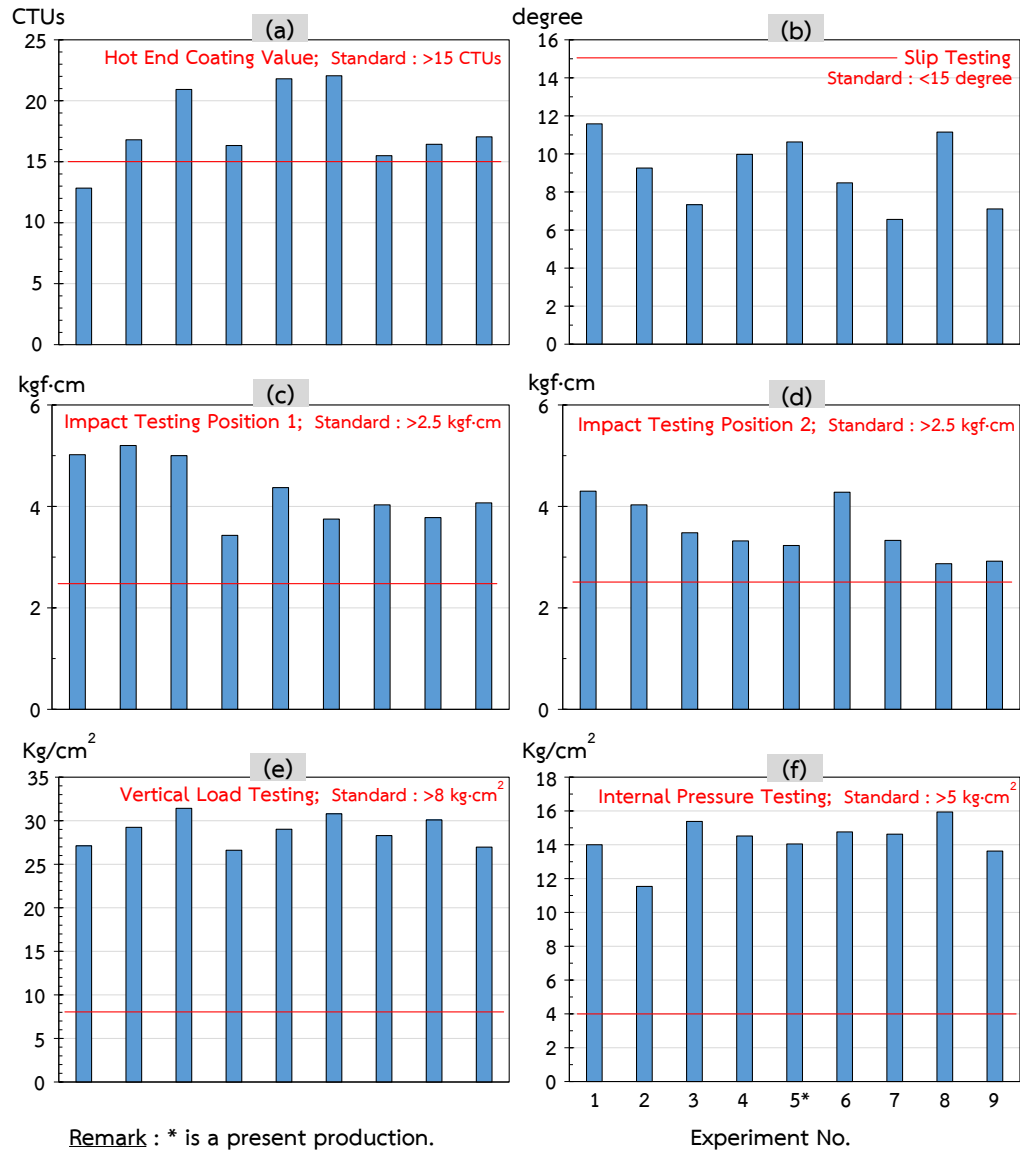
ข้อกำหนดสำคัญของการควบคุมคุณภาพในการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ได้แก่ ขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการนี้ต้องมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง มากกว่า 15 CTUs (Coating thickness units) โดยการตรวจสอบใช้เครื่องมือวัดเฉพาะที่มีชื่อว่า “Hot End Coating Measurement System” ของบริษัท AGR ดังแสดงในรูปที่ 4 และเนื่องจากเป็นค่าควบคุมคุณภาพที่สำคัญของกระบวนการนี้ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าที่ได้จากการตรวจสอบตัวอย่างขวดแก้วที่ผ่านการทดลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 1 ไปใช้วัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ โดยกำหนดค่ามาตรฐานการยอมรับเมื่อค่า $C_{pk} > 1.33$ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สะท้อนความสามารถของกระบวนการผลิตว่าอยู่ในระดับดีและเป็นไปตามเป้าหมายของบริษัทกรณีศึกษา



รูปที่ 5 เครื่องมือและลักษณะการทดสอบ (a) การทดสอบการลื่นไถล (b) การทดสอบแรงกระแทก (c) การทดสอบความสามารถในการรับแรงในแนวตั้ง และ (d) การทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์

นอกจากการตรวจสอบค่า ฮอท เอนด์ โคตติง แล้ว ตัวอย่างขวดแก้วจำนวน 30 ตัวอย่าง ที่ได้จากการทดลองพ่นเคลือบนำยาตามการปรับค่าตัวแปรที่ศึกษา จะถูกทดสอบด้วยวิธีการอื่นตามมาตรฐานของบริษัทดังรูปที่ 5 เพื่อให้ขวดแก้วมีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดและง่ายต่อการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งประกอบด้วย รูปที่ 5 (a) การทดสอบการลื่นไถล (Slip testing) ใช้เครื่องมือทดสอบในลักษณะโต๊ะงานที่สามารถปรับระนาบให้เอียงได้ (Tilt table) รูปที่ 5 (b) การทดสอบแรงกระแทก (Impact testing) จะทดสอบตีกระแทกขวดแก้วสองตำแหน่งคือ (1) บริเวณบ่าขวด (Shoulder) และ (2) บริเวณก้นขวด (Bottom) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความสามารถในการรับแรงในแนวตั้ง (Vertical load testing) ดังรูปที่ 5 (c) และการทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์ (Internal pressure testing) ดังรูปที่ 5 (d) ซึ่งใช้แรงดันน้ำในการทดสอบ ทั้งนี้ผลการทดสอบแต่ละวิธีการข้างต้นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2) ของบริษัทกรณีศึกษากำหนด

การหาค่าทางสถิติในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางสถิติช่วยในการคำนวณ โดยการทดลองและตัดสินใจจะดำเนินการร่วมกับวิศวกรที่ได้รับมอบหมายของบริษัทกรณีศึกษา



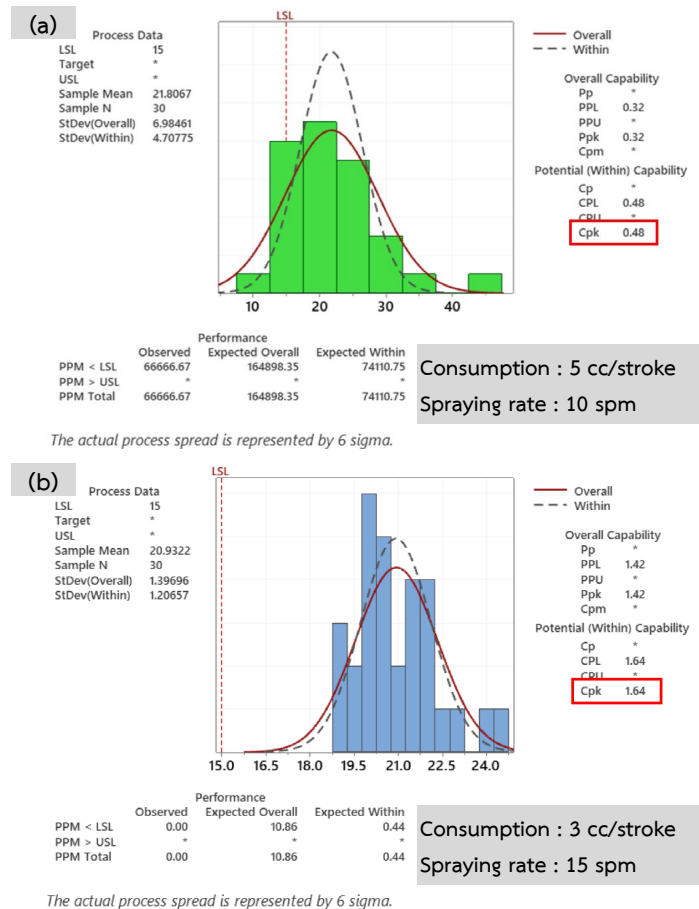
รูปที่ 6 ผลการตรวจสอบและทดสอบขวดแก้ว

3. ผลและการวิเคราะห์

จากการดำเนินการทดลองปรับตั้งค่าเครื่องพ่นน้ำยา BOHEMI STARTIN S แก้วขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อนภายในตู้พ่นน้ำยาตามเงื่อนไขการทดลองดังตารางที่ 1 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างขวดแก้วจำนวนเงื่อนไขการทดลองละ 30 ตัวอย่าง ไปตรวจสอบและทดสอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 โดยพบว่า ส่วนใหญ่ขวดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามเงื่อนไขที่กำหนดมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง เฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัท (> 15 CTUs) ยกเว้นกรณีกระบวนการผลิตที่ใช้ปริมาณสารเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 5 spm ที่มีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ต่ำกว่ามาตรฐาน คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.84 CTUs ดังรูปที่ 6 (a) โดยการใช้ปริมาณสารเคลือบ 5 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 15 spm ทำให้ขวดแก้วมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง เฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.05 CTUs อย่างไรก็ตามผลการทดสอบสมบัติของขวดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบอื่นให้ผลการทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุม

คุณภาพของบริษัทกำหนดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6 (b) – 6 (f)

เพื่อคัดเลือกว่าตัวแปรของกระบวนการที่จะเสนอบริษัทกรณีศึกษาในการใช้ปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Hot end coating measurement system ของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จำนวนการทดลองละ 30 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่า C_{pk}



รูปที่ 7 ผลการคำนวณค่า C_{pk} (a) กระบวนการผลิตปัจจุบัน (b) กระบวนการที่มีค่า C_{pk} สูงสุด

จากการคำนวณพบว่า การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm มีค่า C_{pk} สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบและอัตราเคลือบด้วยเงื่อนไขการทดลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 1.64 ซึ่งสูงกว่าค่า 1.33 ตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบันกับกระบวนการผลิตกรณีที่มีการปรับตั้งค่าตัวแปรแล้วส่งผลให้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} มีค่าสูงที่สุดจากการทดลองทั้งหมด แม้ว่าค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ของกระบวนการผลิตปัจจุบันจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากระบวนการผลิตโดยการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm อยู่ร้อยละ 4.01 แต่เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตพบว่า ลักษณะกราฟฮิสโตแกรมตามรูปที่ 7 (a) แสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลบางชุดที่ขีดแก้วซึ่งผ่านกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง มีสมบัติไม่เป็นตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

จึงส่งผลให้ค่า C_{pk} ของกระบวนการผลิตปัจจุบันมีค่าเพียง 0.48 ซึ่งแปลความหมายได้ว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถการผลิตอยู่ในระดับไม่ดี [10]

จากผลการทดลองข้างต้น หากบริษัทกรณีศึกษาปรับตั้งค่าตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ โดยการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke และใช้อัตราการพ่น 15 spm แทนการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 5 cc/stroke และใช้อัตราการพ่น 10 spm จะทำให้บริษัทสามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาจากเดิมลงได้ร้อยละ 10 ซึ่งสูงกว่าค่าความต้องการของบริษัท และวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายน้ำยา BOHEMI STARTIN S ลดลง แต่ต้องปรับเพิ่มจำนวนครั้งในการพ่นน้ำยาต่อหน้าที่และอาจทำให้มีต้นทุนการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งในจุดนี้ผู้วิจัยจะได้ศึกษาเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} ในการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ผู้วิจัยนำเสนอเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ทำการผลิตอยู่นั้น การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm ให้ผลการทดสอบสมบัติของขวดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามเงื่อนไขต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัทกำหนดทั้งหมด และมีค่า C_{pk} อยู่ในระดับดี ดังรูปที่ 7 (b) ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาควรใช้ค่าดังกล่าวในการปรับตั้งค่าตัวแปรให้แก่เครื่องพ่นน้ำยา ฮอท เอนด์ โคทติ้ง โดยผู้วิจัยจะได้ติดตามผลจากการปรับปรุงเพิ่มเติม เช่น ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หากบริษัทกรณีศึกษาได้ปรับเปลี่ยนการตั้งค่าตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ

4. สรุป

จากการทดลองปรับตั้งค่าปริมาณการพ่นน้ำยาและอัตราการพ่นน้ำยาเคลือบขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว โมเดล M ขนาดบรรจุเครื่องดื่ม 150 ml สามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ตัวแปรที่เหมาะสมในการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ด้วยน้ำยา BOHEMI STARTIN S สำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ การใช้ปริมาณน้ำยาพ่น 3 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 15 spm
- (2) จากการทดลองปรับปรุงกระบวนการ ทำให้ความสามารถของกระบวนการผลิตขวดแก้วในขั้นตอนการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับดี โดยมีค่าอัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} เท่ากับ 1.64
- (3) การปรับตั้งตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ สามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาลงได้ร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากข้อเสนอโครงการ Pre-Talent Mobility 2564 โครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการนำเสนอผลงานชิ้นนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Henderson, “The raw materials of early glass production”, Oxford Journal of Archeology, Vol. 4, 1985, pp. 267–291.
- [2] A. Berenjian and G. Whittleston, “History and manufacturing of glass”, American Journal of Materials Science, Vol. 7, 2017, pp. 18–24.
- [3] M. Kovačec, A. Pilipović and N. Štefanić, “Improving the quality of glass containers production with plunger process control”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 3, 2010, pp. 304–310.
- [4] Central Engineering, “Operation Guide for Glass Bottle Production”, Siam Glass Industry Company Limited, 2013. (In Thai)
- [5] G.L. Smay, “Effect of coatings on adhesion of labels to glass containers”, Glass Worldwide, Vol. 69, 2017, pp. 68–70.
- [6] P. Homsri and J. Khongthana, “Lean Production Efficiency Increasing: A Case Study of Water Pump Manufacturing Factory”, Kasem Bundit Engineering Journal, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 40–62. (In Thai)
- [7] N. Lenathum, W. Sutsomboon, C. Kaewdee and A. Krainara, “Reducing of the Wasting Time in the Dirt Testing Process of Rubber by Lean Six Sigma Approach: A Case Study in a Rubber Factory”, Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Vol. 38, No. 2, 2019, pp. 104–119. (In Thai)
- [8] P. Tantiphanwadi, A. Siripanya, P. Panyakunanont, P. Thanachotankul, N. Wongpatiwate, S. Phwngmalay and S. Waiyanit, “Production Improvement Steps: Lean, Six Sigma and Lean Automation”, Naresuan University Engineering Journal, Vol. 15, No. 2, 2020, pp. 47–64. (In Thai)
- [9] J. Pearce, P. Bhandhubanyong, “Improving capability in small Thai manufacturing companies”, International Scientific Journal of Engineering and Technology, Vol. 1, 2017, pp.6–13.
- [10] D.C. Montgomery, “Introduction to statistical quality control”, 6th ed., New York: John Wiley & Sons, 2009, pp. 344–395.

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ด้วยเทคนิคการศึกษางาน

The Productivity Improvement of Bottled Water Manufacturing using Work Study Technique

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา^{1*} และอภิชาติ ชัยกลาง²

^{1,2} สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Chaiwat Kittidecha^{1*} Aphichat Chaiklang²

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Lanna

*Corresponding author Email: chaiwatkit@rmutl.ac.th *

(Received: February 16, 2022; Accepted: June 14, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดโดยใช้เทคนิคการศึกษางาน ณ โรงงานน้ำดื่มแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ โดยต้องการลดระยะทางและลดเวลาในการขนย้าย จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ แผนภาพการไหล และแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ 2 มือ พบว่าควรย้ายสถานีงานการติดฉลากขวดบรรจุน้ำ จากห้องบรรจุน้ำดื่มไปที่ห้องเก็บวัสดุ ทำให้ลดระยะทางการขนย้ายลง 8 เมตร จากเดิม 14 เมตร หรือลดเป็นเวลาในการขนย้าย 10 วินาที นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการใส่ขวดเข้าเครื่องจักรซึ่งทำให้ลดการว่างงานลง

คำสำคัญ: การศึกษางาน น้ำดื่มบรรจุขวด ประสิทธิภาพการผลิต

Abstract

This research has the objectives to study and improve the productivity of bottled water manufacturing using work study technique at water factory in Chiang Mai province. We focused to reduce the transportation distance and time of operations. After process identification with operation process chart, flow process chart, flow diagram, and two hand chart, we should move the work station of sticking label process from the contain water room to the raw material storage room so that reduce the transportation distance 8 meters from 16 meters in total or 10 seconds. In addition, the operation of bottle loading process was introduced for reduce the idle time.

Keywords: Work study, Bottled Water, Productivity

1. บทนำ

ปัจจุบันร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำถึงร้อยละ 70 โดยทุกเซลล์จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ น้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญมากต่อมนุษย์เราซึ่งกระทรวงสาธารณสุขยังระบุว่าโรคภัยไข้เจ็บในปัจจุบันเริ่มต้นมาจากสาเหตุง่ายๆคือมนุษย์ดื่มน้ำน้อยจนเกินไป ที่สำคัญน้ำดื่มที่เราดื่มนั้นจะต้องสะอาดปราศจากเชื้อโรค พยาธิ และสารเคมีที่มีพิษต่างๆ ซึ่งเป็นอันตรายหรืออาจเป็นอันตรายต่อการบริโภคอุปโภค สุขภาพอนามัยและการดำรงชีวิตของมนุษย์และในปัจจุบันน้ำดื่มสะอาดที่ได้รับการรับรองมีอยู่มากในท้องตลาด [1]

โรงงานน้ำดื่มแห่งหนึ่งตั้งอยู่ในเขต อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ เป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายน้ำดื่มตามมาตรฐาน Good Manufacturing Practice (GMP) มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 350 - 1,500 มิลลิลิตร รวมทั้งรับทำน้ำดื่ม Original Equipment Manufacturer (OEM) ทั้งนี้มีปรัชญาการบริหารคือ “เรามั่นใจว่า น้ำทุกหยดที่บรรจุลงขวดและส่งต่อไปยังผู้บริโภคจะใส สะอาด ปลอดภัยได้มาตรฐาน ความตั้งใจที่แท้จริงของเราคือการทำให้ผู้บริโภคได้ดื่มน้ำที่ดี”

จากการศึกษาสภาพการทำงานเบื้องต้นและสัมภาษณ์ผู้บริหาร พบว่ายังพบปัญหาในกระบวนการผลิตคือ การไหลของวัสดุยังมีเส้นทางการขนถ่ายวัสดุที่วกวน ย้อนไปย้อนมาโดยเฉพาะขั้นตอนการติดฉลากขวดบรรจุน้ำซึ่งใช้ระยะทางไปและกลับรวม 8 เมตร ใช้เวลาในการขนถ่าย 10 วินาที และยังพบการว่างงานของผู้ปฏิบัติงานอยู่ งานวิจัยนี้ต้องการจะศึกษากระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการศึกษางาน เพื่อออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และหากไม่ทำจะมีผลกระทบในกระบวนการผลิตน้ำดื่มเช่นจะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคนิคการศึกษางานมาเป็นแนวทางในการปรับปรุง ได้แก่

การปรับปรุงวิธีการทำงานสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไรซ์แครกเกอร์ด้วยแนวคิดไคเซ็น จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้นพบว่า มีกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในขั้นตอนการบรรจุและขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก ผลจากการปรับปรุงพบว่า ความสูญเสียต่างๆ ที่กล่าวมานั้นลดลง รอบเวลาในการทำงานของขั้นตอนการบรรจุและขั้นตอนการชั่งน้ำหนักจากเดิม 30.23 นาทีต่อตะกร้า ลดลงเหลือ 23.27 นาทีต่อตะกร้า คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 23.02 และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 400 กล่องต่อวัน เป็น 450 กล่องต่อวัน [2]

การเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบผลิตภัณฑ์ของเล่นไม้ยางพาราด้วยเทคนิคการศึกษากการเคลื่อนไหวและเวลา สามารถลดขั้นตอนในการประกอบจากเดิม 8 ขั้นตอน ลดเหลือ 7 ขั้นตอน เวลามาตรฐานในการประกอบแบบเดิม 3.254 นาที/ชิ้น เหลือ 2.508 นาที/ชิ้น ซึ่งสามารถลดเวลามาตรฐานในการประกอบลง 0.746 นาที/ชิ้น เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการประกอบได้ร้อยละ 25.96 [3]

การศึกษาสายการบรรจุผลิตภัณฑ์แบ่งโดยประยุกต์ใช้การศึกษากการเคลื่อนไหวและเวลา การวิเคราะห์กระบวนการปฏิบัติงานด้วยแผนภูมิคน - เครื่องจักร แผนภูมิมือซ้าย - ขวา ร่วมกับหลักการ ECRS รวมทั้งการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการปฏิบัติงาน ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าสายการบรรจุผลิตภัณฑ์แบ่งหลังการปรับปรุงมีรอบเวลาดำเนินการลดลงจาก 33.61 วินาที เหลือ 25.88 วินาที หรือลดลงร้อยละ 23.00 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุได้ต่อวันเพิ่มขึ้นจาก 214 กล่อง เป็น 278 กล่อง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.91 และสามารถลดพนักงานได้ 3 คน อีกทั้งประสิทธิภาพสายการบรรจุผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 44.57 หรือคิดเป็นร้อยละ 83.85 [4]

การศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีกรณีศึกษา โดยใช้หลักการ ECRS ออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (systematic layout planning) โดยเก็บข้อมูลของแต่ละสถานีงาน เช่น รอบเวลาการผลิต (cycle time) และรอบเวลาความต้องการ (takt time) เพื่อจัดสมดุลสายการผลิต (line balancing) ผลจากการปรับปรุงผังโรงงานพบว่าระยะทางการขนย้ายวัตถุดิบลดลง 622 เมตรหรือร้อยละ 40.17 และรอบเวลาในการขนย้ายวัตถุดิบลดลง 620 วินาทีหรือร้อยละ 49.60 สามารถเพิ่มอัตราการผลิตเฉลี่ย 717 ชุด/เดือน จาก 1,683 ชุด/เดือน เป็น 2,433 ชุด/เดือน กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2,400 ชิ้น/เดือน จาก 1,600 ชิ้น/เดือน [5]

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการติดไดในการผลิตวงจรรวม จากการศึกษาพบว่ากระบวนการติดไดเป็นกระบวนการที่มีปัญหามากที่สุดงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขประสิทธิภาพการผลิตให้ดีขึ้นโดยใช้เทคนิคการจัดตารางการผลิตและ Single Minute Exchange of Die (SMED) ผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดจำนวนรุ่นที่ส่งไม่ทันเวลาจากเดิมร้อยละ 49.48 เป็นร้อยละ 20.8 (ลดลงร้อยละ 58.54) อีกทั้งสามารถปรับปรุงการใช้ประโยชน์เครื่องจักร (Machine utilization) เพิ่มจากร้อยละ 70.92 เป็นร้อยละ 78.44 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.6) [6]

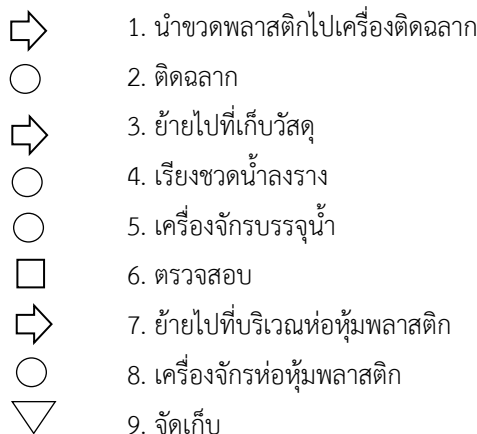
3. วิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกงานที่จะศึกษา ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ขนาด 500 มล.
2. การบันทึกวิธีการทำงาน ใช้เทคนิคการบันทึกงานต่าง ๆ ได้แก่ แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) แผนภาพการไหล (Flow Diagram) และแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ 2 มือ (Two Hand Chart)
3. การวิเคราะห์วิธีการทำงาน ใช้ “5W 1H” เป็นเทคนิคการตั้งคำถามเพื่อช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน
4. การปรับปรุงวิธีการทำงาน ใช้หลักการปรับปรุงงาน 4 ข้อหรือหลักการ ECRS ได้แก่ E การจัดงานที่ไม่จำเป็น C การรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน R การเปลี่ยนลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน และ S การทำให้ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่จำเป็นง่ายขึ้น [7]

4. ผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์ขั้นตอนของการเคลื่อนไหวในการปฏิบัติงาน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แผนภูมิกระบวนการผลิต



รูปที่ 2 เครื่องจักรบรรจุน้ำ



รูปที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพ

จากรูปที่ 1 กระบวนการผลิตจะเริ่มจากการนำขวดพลาสติกไปยังเครื่องติดฉลากผลิตภัณฑ์ ทำการติดฉลากผลิตภัณฑ์ นำไปยังที่เก็บวัสดุ ฝ่ายเรียงขวดน้ำนำมาจุดเรียงขวดลงราง เครื่องจักรทำการบรรจุน้ำ (รูปที่ 2) ฝ่ายตรวจสอบคุณภาพทำการตรวจสอบ (รูปที่ 3)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเวลามาตรฐานและระยะทางในการขนย้ายวัสดุ จัดทำแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในรูปแบบแบบฟอร์มได้ดังรูปที่ 4 จัดทำผังการไหลดังรูปที่ 5 และแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือในขั้นตอนการใส่ขวดเข้าเครื่องจักรดังรูปที่ 6

แผนผังการไหลของงาน (Flow Process Chart)

หน่วยการผลิต : แผนการผลิต

กรรมวิธี : การผลิตน้ำ

☒ วิธีปัจจุบัน

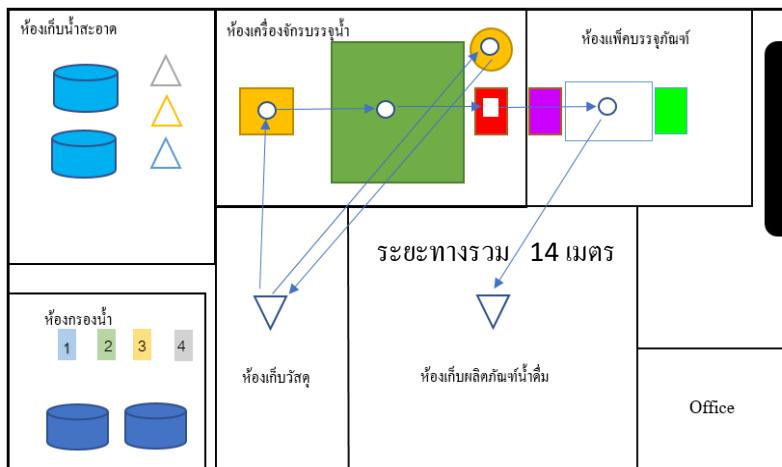
☐ วิธีที่ปรับปรุง

สัญลักษณ์	Flow Process Chart		
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
○	3		
□	1		
➡	4		
D	1	-	-
▽	2	-	-
รวม	11	-	-

ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					รายละเอียดกิจกรรม
		○	□	➡	D	▽	
4	5						1.นำขวดพลาสติกไปติดฉลากผลิตภัณฑ์***
-	2						2.พนักงานติดฉลากผลิตภัณฑ์
4	5						3.นำขวดพลาสติกที่ติดฉลากผลิตภัณฑ์แล้วไปเก็บห้องเก็บวัสดุ ***
							4.จัดเก็บขวดที่ห้องเก็บวัสดุ
2	7						5.นำขวดพลาสติกไปเรียงที่เครื่องจักร
-	10						6.เครื่องจักรทำการบรรจุน้ำดื่ม***
-	5						7.ตรวจสอบน้ำดื่ม
-	6						8.เรียงเพื่อแท่นน้ำดื่ม
-	3.5						9.รอเครื่องจักรทำงานห่อหุ้มพลาสติก
4	10						10.นำขวดน้ำดื่มที่ห่อหุ้มแล้วนำไปยังห้องเก็บผลิตภัณฑ์
							11.จัดเก็บผลิตภัณฑ์

*** ขั้นตอนที่จะปรับปรุง

รูปที่ 4 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในรูปแบบแบบฟอร์ม



รูปที่ 5 แผนผังการไหลในปัจจุบัน

แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ 2 มือ (Two Hand Chart)

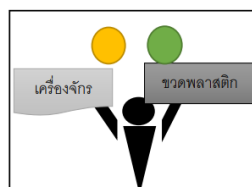
หน่วยการผลิต : แผนกผลิตน้ำ

แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือ

กรรมวิธี : การใส่ขวดเข้าเครื่องจักร

☒ วิธีปัจจุบัน

☐ วิธีที่ปรับปรุง



สัญลักษณ์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ผลต่าง	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
○	-	2	-	-	-	-
➡	-	2	-	-	-	-
□	-	-	-	-	-	-
▽	4	-	-	-	-	-

ระบุ : ฟังการทำงาน

- เครื่องจักร

- ขวดพลาสติก

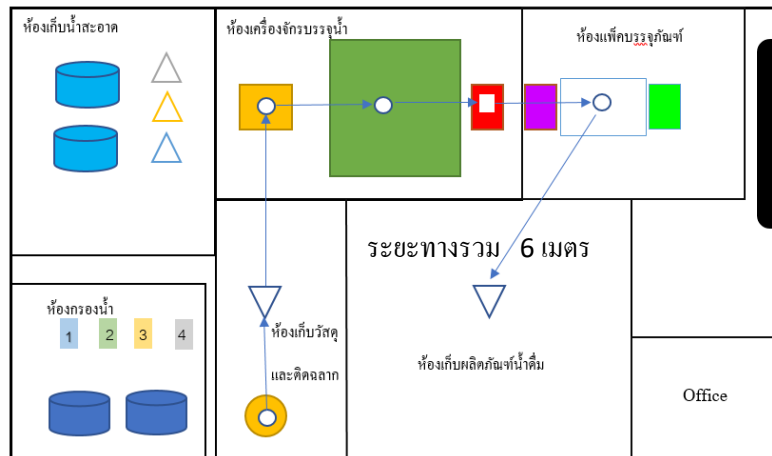
○	➡	□	▽	มือซ้าย	มือขวา	○	➡	□	▽
			●	ถือถุงใส่ขวดพลาสติก	หยิบขวดจากถุง	●			
			●	ถือถุงใส่ขวดพลาสติก	ย้ายขวดไปที่เครื่องจักร	●			
			●	ถือถุงใส่ขวดพลาสติก	ใส่ขวดเข้าเครื่อง	●			
			●	ถือถุงใส่ขวดพลาสติก	ย้ายมาหยิบขวด	●			

รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือก่อนปรับปรุง

ด้วยการตั้งคำถาม 5W1H ในขั้นตอนการติดฉลาก ตัวอย่างที่สำคัญเช่น ชั้นแรก Where บริเวณใดที่ติดฉลาก คำตอบคือ บริเวณห้องบรรจุ Why ทำไมต้องทำที่นั่น คำตอบคือเครื่องติดฉลากติดตั้งที่นั่น ชั้นที่สอง Where มีบริเวณอื่นที่ติดฉลากได้มั้ย คำตอบคือ มี ที่บริเวณห้องเก็บขวด Why ทำไมต้องทำที่นั่น คำตอบคือสามารถลดระยะทางการขนย้ายได้ ส่วนการใช้ ECRS ตัวอย่างที่สำคัญเช่น S การทำให้ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่จำเป็นง่ายขึ้นในขั้นตอนการในการหยิบขวดเข้าเครื่องบรรจุ จากเดิมไม่มีอุปกรณ์ในการจับถุงที่ใส่ขวดพลาสติก เปลี่ยนเป็นมีอุปกรณ์ในการจับถุงที่ใส่ขวดพลาสติก ทำให้ทำงานได้ง่ายขึ้น

จากรูปที่ 4 และรูปที่ 5 พบว่ามีการขนย้ายวัสดุเข้าห้องโดยเฉพาะขั้นตอนการติดฉลากขวดบรรจุน้ำซึ่งใช้ระยะทางไปและกลับรวม 8 เมตร ใช้เวลาในการขนย้าย 10 วินาที และจากรูปที่ 6 พบว่าผู้ปฏิบัติงานใช้มือเพียงข้างเดียว (มือขวา) ในการหยิบขวดเข้าเครื่องจักร ในขณะที่อีกมือ (มือซ้าย) ทำเพียงแค่อีกฝั่งที่ใส่ขวด

ทางผู้วิจัยได้วิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการจัดผังโรงงานในกรณีที่โรงงานจะมีแผนการปรับปรุงในอนาคต ซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถปรับปรุงใหม่ได้เนื่องจากจะต้องมีการลงทุนย้ายและติดตั้งเครื่องจักร - อุปกรณ์ โดยจะย้ายตำแหน่งเครื่องจักรติดฉลากผลิตภัณฑ์จากห้องเครื่องจักรบรรจุน้ำ ไปที่ห้องเก็บวัสดุเพื่อลดระยะทางไปและกลับรวม 8 เมตร จากเดิม 14 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังการไหลตามข้อเสนอแนะ

แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือ

กรรมวิธี : การใส่ขวดเข้าเครื่องจักร

☐ วิธีปัจจุบัน

☒ วิธีที่ปรับปรุง

สัญลักษณ์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ผลต่าง	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
○	-	2	2	2	+2	0
➡	-	2	2	2	+2	0
□	-	-	-	-	-	-
▽	4	-	-	-	-4	0

ระบุ : ผังการทำงาน

- เครื่องจักร

- ขวดพลาสติก

○ ➡ □ ▽	มือซ้าย	มือขวา	○ ➡ □ ▽
●	หยิบขวดจากถุง	หยิบขวดจากถุง	●
●	ย้ายขวดไปที่เครื่องจักร	ย้ายขวดไปที่เครื่องจักร	●
●	ใส่ขวดเข้าเครื่อง	ใส่ขวดเข้าเครื่อง	●
●	ย้ายมาหยิบขวด	ย้ายมาหยิบขวด	●

รูปที่ 8 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือหลังปรับปรุง

แผนผังการไหลของงาน (Flow Process Chart)

หน่วยการผลิต : แผนกการผลิต

กรรมวิธี : การผลิตน้ำ

☐ วิธีปัจจุบัน

☒ วิธีที่ปรับปรุง

สัญลักษณ์	Flow Process Chart		
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
○	3	3	0
□	1	1	0
⇒	4	2	-2
D	1	1	0
▽	2	2	0
รวม	11	9	2

ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					รายละเอียดกิจกรรม
		○	□	⇒	D	▽	
-	2	●					1.พนักงานติดฉลากผลิตภัณฑ์
						●	2.จัดเก็บขวด
2	7			●			3.นำขวดพลาสติกไปเรียงที่เครื่องจักร***
-	10	●					4.เครื่องจักรทำการบรรจุน้ำดื่ม***
-	5		●				5.ตรวจสอบน้ำดื่ม
-	6	●					6.เรียงขวดน้ำดื่ม
-	3.5				●		7.รอเครื่องจักรทำงานห่อหุ้มพลาสติก
4	10					●	8.นำขวดน้ำดื่มที่ห่อหุ้มแล้วนำไปยังห้องเก็บผลิตภัณฑ์
						●	9.จัดเก็บผลิตภัณฑ์

*** ขั้นตอนที่ปรับปรุง

รูปที่ 9 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องหลังปรับปรุง

ในส่วนการปรับปรุงขั้นตอนการใส่ขวดเข้าเครื่องจักร จากรูปที่ 8 ทางผู้วิจัยได้เสนอแนะโดยให้ผู้ปฏิบัติงานนำถุงซึ่งบรรจุขวดสำหรับเข้าเครื่องจักร นำมาใส่ในกล่องพลาสติกก่อนแล้วทำการหยิบขวดเข้าเครื่องจักรทั้งสองมือพร้อมกัน ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานจะเพิ่มขึ้นเท่าตัว และในภาพรวมสามารถลดขั้นตอนการขนย้ายวัสดุลงจำนวน 2 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 9 และแสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการเปรียบเทียบ
1.ระยะทางการขนย้าย	14 เมตร	6 เมตร	ลดลง 8 เมตร
2. การหยิบขวดเข้าเครื่องจักร	มีการว่างงาน	ไม่มีการว่างงาน	ดีกว่าเดิม

5. สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตดื่มบรรจุขวดและเสนอวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการศึกษาการงาน ประกอบด้วยการใช้แผนผังการไหลในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวกับการลดระยะทางการขนย้ายพบว่าการย้ายสถานีงานการติดฉลากขวดบรรจุน้ำ จากห้องบรรจุน้ำดื่มไปที่ห้องเก็บวัสดุ ผลการลดระยะทางการขนย้ายได้ 8 เมตร จากเดิม 14 เมตร หรือลดเวลาในการขนย้าย 10 วินาที นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการใส่ขวดเข้าเครื่องจักรซึ่งทำให้ลดการว่างงานลง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากโรงงานน้ำดื่ม อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thairath. (2021, January 19). Water balance in the body. [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/lifestyle/woman/43989> (In Thai)
- [2] A. Pinchaimoon and S. Lueachai, “Kaizen concept for improvement work method in rice cracker process”, Thai Industrial Engineering Network Journal, Vol. 6, 2020, pp. 1-7. (In Thai)
- [3] S. Rawangwong, C. Homkhiew, S. Sani, J. Rodjananugoon and M. Tehyo, “Efficiency improvement in assembly rubber wooden toys using motion and time study and principles of ergonomics: A case study of a sample factory”, Princess of Naradhiwas University Journal, Vol. 12, 2020, pp. 97-112. (In Thai)
- [4] T. Sunarak, “Production line efficiency improvement: The case study of powder product packing line”, Thai Industrial Engineering Network Journal, Vol. 2, 2016, pp. 51-60. (In Thai)
- [5] C. Pornsing and S. Amphutsa, “Process and plant layout improvement using industrial engineering techniques: A case study sample LED light factory”, Thai Science and Technology Journal, Vol. 27, 2013, pp. 1132 – 1146. (In Thai)
- [6] T. Somboon and J. Rukijkanpanich, “Efficiency improvement of die bond process in intergraded circuits manufacturing”, Research and Development Journal, Vol. 22, 2011, pp. 53-60. (In Thai)
- [7] I. Teerawatsakul, Motion and time study, Chiang Mai, Chiang Mai University, 2005. (In Thai)

การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจานเมลามีน

Application of Simulation Program to Increase Efficiency

Melamine Dish Production Process

จิรัสยา ปาณะศรี¹ สร้อยสุตา ศรีโสดาพล² วิสุณี เกาะลอย³ และนรา สมัตถภาพงศ์⁴^{1,2,3,4} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีJiratsaya Panasri¹ Soisuda Sresodapol² Wisunee koiloy³ Nara Samattapapong⁴^{1,2,3,4} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology*Corresponding author Email: jiratsaya.panasri@hotmail.com¹ nara@sut.ac.th⁴

(Received: February 3, 2022; Accepted: June 17, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการทำงานในกระบวนการผลิตจานเมลามีน เพื่อหาทางเลือกที่นำมาสู่การเพิ่มผลผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลด้วยการจับเวลาของแต่ละกระบวนการแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัญหาและทางเลือกในการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการจัดสมดุลสายการผลิต และการจำลองสถานการณ์การผลิตด้วยโปรแกรม Flexsim ได้แก่ ทางเลือกที่ 1 การเลือกฟอยล์ที่มีคุณสมบัติที่ดีเพื่อลดเวลาในการเคลือบฟอยล์ ทางเลือกที่ 2 คือการเพิ่มเตาอบเพื่อลดเวลาการรอคอยของกระบวนการอบผงเมลามีน และทางเลือกที่ 3 คือการเพิ่มเครื่องจักรที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปและเตาอบผงเมลามีน จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของทางเลือกในการแก้ไขปัญหา และสามารถสรุปได้ว่าทางเลือกที่ 1 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,637 ชิ้นต่อวัน เป็น 1,660 ชิ้นต่อวัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.41

คำหลัก: การจัดสมดุลสายการผลิต เวลารอคอย การจำลองสถานการณ์

Abstract

This research is a study about the working process in the process of melamine dish production process for finding the ways to improve the product and increase the performance of working by studying and collecting the data with record time in each process. And then, the data was analyzed to find the problem and solution by line balancing and making a simulation model for each scenario by Flexsim simulation program. The first scenario is selecting a foil that has good properties. The second is adding an oven to increase yield. The third is to add machines for extrusion. The three scenarios were made and collecting the result consider the possibility of the solution in the Flexsim program. We can conclude that the first choice is the most suitable choice because it gives more products by providing the original equipment and machinery from 1,637 pieces per day to 1,660 pieces per day, which is 1.41 percent.

Keywords: Production line balancing, Waiting time, Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์งานเมลามีนได้รับความนิยมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและมีลวดลายที่สวยงาม อีกทั้งงานเมลามีนมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ ซึ่งเปลี่ยนไปตามยุคสมัยจึงเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งราคาก็มีความเหมาะสมกับคุณภาพและกลุ่มลูกค้าสามารถเข้าถึงได้ง่าย โรงงานผลิตงานเมลามีนจึงมีความต้องการเพิ่มอัตราการผลิตให้ได้จำนวนที่มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงให้ความสนใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีการศึกษาการทำงาน (Work Study) ซึ่งจะประกอบไปด้วยเทคนิคการปรับปรุงงาน และเทคนิคการวัดผลงานโดยการศึกษาเวลา (Time Study) พบว่ากระบวนการผลิตงานเมลามีนเกิดความไม่ต่อเนื่องจากการเกิดคอขวดของขั้นตอนการอบผงเมลามีน ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยในการอบนานถึง 2.85 นาที จึงทำให้พนักงานเกิดการรอคอยชุดงานในขั้นตอนการอบผงเมลามีนเพื่อนำชุดงานไปยังขั้นตอนอัดขึ้นรูป จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาทางเลือกในการปรับปรุงด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต และการจำลองสถานการณ์การผลิตด้วยโปรแกรม Flexsim เพื่อวิเคราะห์การเพิ่มกำลังการผลิตและวิเคราะห์กระบวนการผลิตให้มีความทำงานที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตให้มากขึ้น เนื่องจากโปรแกรม Flexsim เป็นซอฟต์แวร์ที่เลียนแบบสถานการณ์การปฏิบัติงานของระบบการทำงานต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการทำงานเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เมื่อทราบแนวทางแก้ไขแล้วก็สามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาการปฏิบัติงานได้ทันทีลงในตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้น โดยที่ไม่ต้องปฏิบัติจริงเพื่อลดต้นทุน ระยะเวลา และเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ [1] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานเมลามีน โดยการจัดสมดุลสายการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ประกอบด้วยการศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study) การจัดสมดุลการผลิต (Production Line Balancing) การลดความสูญเสียด้วย ECRS และการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) การประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมโดยการศึกษาการทำงานและการนำหลักการ ECERS มาใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวทางในการแก้ไขปัญหา

Sokolova and Zamyatina [2] ได้ทำการสร้างแบบจำลองและพัฒนาแบบจำลองคลัสเตอร์ เพื่อวิเคราะห์การกระจายของงานที่เข้ามาระหว่างคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์จำนวน 5 เครื่อง ในการสร้างแบบจำลองของคลัสเตอร์ได้กำหนดปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้ เวลาประมวลผลงาน การโหลดของคอมพิวเตอร์ (Loading Computer) และจำนวนของงานเฉลี่ยในคิว ผลจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์พบว่าช่วยให้สามารถทดสอบตัวเลือกต่าง ๆ สำหรับคลัสเตอร์ และช่วยให้สามารถหาการกระจายของทรัพยากรที่เหมาะสมระหว่างงาน อีกทั้งยังสามารถเห็นความแตกต่างของการเริ่มต้นใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นทำการพัฒนารูปแบบของคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์ตามลำดับความต่าง ๆ จากผลลัพธ์ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการรัน คลัสเตอร์บนคอมพิวเตอร์

Selman et al. [3] ทำการศึกษาโรงงานผลิตรองเท้าโดยการจำลองกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตประจำวัน วิเคราะห์การผลิตสูงสุดที่จะทำได้เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต และวิเคราะห์เวลาประมวลผลงาน จากการศึกษาพบว่าจำนวน

เฉลี่ยในการซ่อมแซมรองเท้าและความเสียหายจากการผลิตมีมาก อีกทั้งยังพบว่ามี การเกิดคอขวดในกระบวนการผลิต งานวิจัยจึงได้ทำการแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนทรัพยากรให้กับกระบวนการที่เกิดคอขวด เพื่อลดเวลาในการรอคอย อีกทั้งยังทำการจัดลำดับการผลิตและแบ่งลำดับการทำงานใหม่ เพื่อลดความเสียหายจากการผลิตรองเท้าและเพิ่มอัตราการผลิตให้มากขึ้น ผลจากการดำเนินงานพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการผลิต และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นลงไปได้อีกด้วย

Jamil and Razali [4] ได้ทำการจำลองการจัดสมดุลสายการผลิตแบบประกอบขึ้นส่วนยานยนต์เพื่อใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิต พบว่าบริษัทรถยนต์มีสถานการณ์บางอย่างที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการตามความต้องการของลูกค้าได้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตที่เป็นจุดมุ่งหมายหลักของการผลิตขึ้นส่วนยานยนต์ แต่ถ้ามีการเพิ่มการจำลองสายการผลิตแบบประกอบขึ้นส่วนยานยนต์ จะส่งผลให้สมดุลสายการผลิตให้ผลกระทบในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการผลิตที่เป็นจุดมุ่งหมายหลักของบริษัทรถยนต์ประเทศมาเลเซีย

Ting Yang et al. [5] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวางแผนโรงงานและสายการผลิตที่ใช้การจำลองเทคโนโลยีดิจิทัลสิ่งแวดล้อมของโรงงาน เพื่อที่จะวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระบวนการแพลตฟอร์ม การทดสอบจำลองเทคโนโลยีดิจิทัลพบว่าสามารถปรับปรุงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิตและวางแผนภายในโรงงานได้ ดังนั้นเทคโนโลยีดิจิทัลสามารถส่งเสริมผลผลิตของโรงงานให้สามารถผลิตได้มากขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการจำลองการผลิตของโรงงาน

Hafezalkotob, Ketabian and Rahimi [6] ได้ทำการพิจารณาปัญหาความไม่สมดุลในสายการผลิตในภาคอุตสาหกรรมการผลิตท่อ โดยใช้การสุ่มตัวอย่างจากเทคนิคทางสถิติและการจำลองสถานการณ์ เพื่อแก้ไขปัญหาคอขวดในช่วงของการผลิตและปรับเปลี่ยนตำแหน่งในสถานงาน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วงของการผลิตที่เกิดปัญหาคอขวดลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าการจำลองขึ้นอยู่กับเทคนิคทางสถิติ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับสายการผลิตที่มีความซับซ้อนในอุตสาหกรรมจริง

3. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตงานเมลามีนจากสถานประกอบการจริง แล้วทำการรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิต โดยศึกษาเวลาและค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์การทำงานในปัจจุบันและระบุปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการปัจจุบันโดยใช้โปรแกรม Flexsim แล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองสถานการณ์สามารถทำงานได้ตามสภาพแวดล้อมการทำงานจริง โดยไม่มีการแจ้งเตือนความผิดพลาด และให้ผลการดำเนินงานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จากนั้นจะทำการวิเคราะห์และหาแนวทางการแก้ไขเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim ในแต่ละทางเลือก เพื่อผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และสรุปผลการดำเนินงาน

3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะสายการผลิตงานเมลามีนชนิดมีลวดลายเคลือบเงา ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งได้ชิ้นงานที่พร้อมไปกระบวนการตกแต่ง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. กระบวนการซังผงเมลามีน
2. กระบวนการอบผงเมลามีน
3. กระบวนการอัดขึ้นรูปจาน
4. กระบวนการเคลือบแผ่นฟอยล์
5. กระบวนการเคลือบเงาจาน

6. กระบวนการชุดของงานและตรวจสอบ

หมายเหตุ : กระบวนการที่ 3, 4 และ 5 ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน

3.2 สมมติฐานของแบบจำลอง

เพื่อศึกษากระบวนการผลิตของโรงงาน และเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิต โดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ Flexsim

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า

การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการซิงเมลามีนจนถึงกระบวนการที่ขึ้นงานพร้อมตกแต่งพบว่าใช้เวลาในขั้นตอนต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เวลาครั้งที่ 1-5 ของขั้นตอนการทำงาน

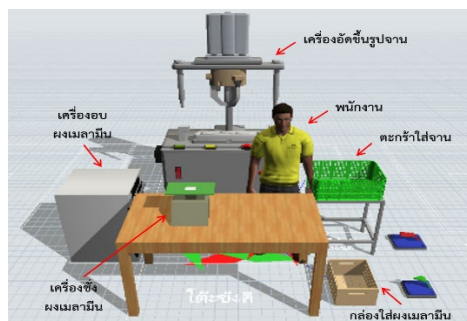
ขั้นตอน การทำงาน	เวลา (นาที)				
	1	2	3	4	5
1. ซิงเมลามีน	0.81	0.28	0.29	0.23	0.25
2. อบผงเมลามีน	3.18	2.53	2.32	3.61	3.25
3. อัดขึ้นรูปงาน	1.15	1.19	1.20	1.27	1.21
4. เคลือบแผ่นพอยล์	0.55	0.54	0.58	0.59	0.59
5. เคลือบเงางาน	1.12	1.12	1.15	1.21	1.20
6. ชุดขอบงานและตรวจสอบ	0.85	0.64	0.87	0.74	0.80

ตารางที่ 2 เวลาครั้งที่ 6-10 ของขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอน การทำงาน	เวลา (นาที)				
	6	7	8	9	10
1. ซิงเมลามีน	0.30	0.26	0.19	0.24	0.19
2. อบผงเมลามีน	3.18	2.72	2.57	2.71	2.46
3. อัดขึ้นรูปงาน	1.17	1.15	1.14	1.20	1.19
4. เคลือบแผ่นพอยล์	0.55	1.02	1.03	1.00	0.54
5. เคลือบเงางาน	1.18	1.17	1.11	1.17	1.15
6. ชุดขอบงานและตรวจสอบ	0.84	0.76	0.91	0.76	0.85

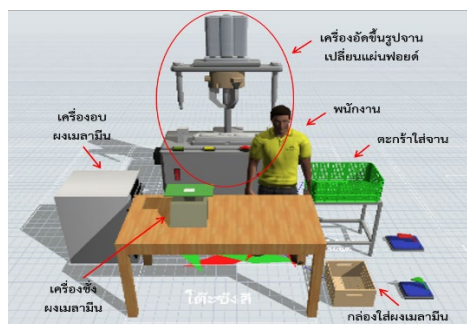
3.4 การทดสอบแบบจำลอง

การสร้างและทดสอบแบบจำลอง (Model) ที่เสมือนจริงของโรงงาน แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าแบบจำลองให้การทำงานที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมการทำงานจริงและไม่มีการแจ้งเตือนข้อผิดพลาด [7] และสร้างทางเลือกที่ได้จากการระดมความคิดไว้ทั้งหมด 3 ทางเลือกเพื่อทดแทนระบบการทำงานเสมือนจริง แสดงดังรูปที่ 2-4



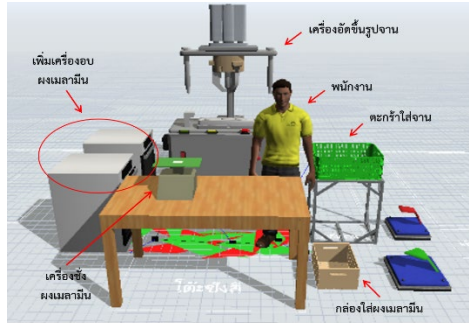
รูปที่ 1 แบบจำลองก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 1 แบบจำลองสถานการณ์ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตงานเมลามีนที่สถานงานจะประกอบไปด้วย พนักงาน 1 คน เครื่องซึงผงเมลามีน ตะกร้าใส่จานที่ผลิตเสร็จ กล่องใส่ผงเมลามีน เครื่องจักรสำหรับใช้อบผงเมลามีน และ เครื่องจักรที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปงานเมลามีน



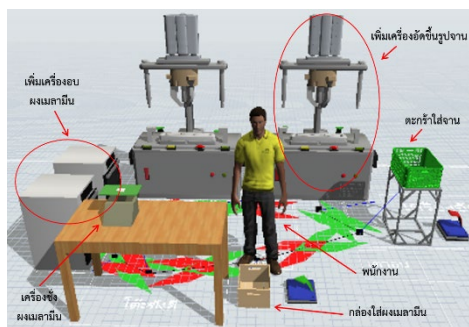
รูปที่ 2 แบบจำลองทางเลือกที่ 1

จากรูปที่ 2 แบบจำลองสถานการณ์ของทางเลือกที่ 1 ได้ทำการเปลี่ยนแผ่นฟอยล์ โดยใช้แผ่นฟอยล์ที่มีคุณภาพดีกว่า แผ่นฟอยล์แบบเดิม เนื่องจากแผ่นฟอยล์แบบเดิมต้องใช้เวลาในการผลิตมาก จากการจำลองสถานการณ์ของทางเลือกที่ 1 พบว่า สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้และส่งผลให้เวลาในกระบวนการเคลือบลดลงเป็น 30-35 วินาที จากเดิมใช้เวลามากถึง 50-60 วินาที ส่งผลให้ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปงาน เคลือบแผ่นฟอยล์ และเคลือบเงางานที่ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันใช้เวลาในการผลิตรวมลดลง และสามารถลดคอขวดที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องจักรเพียง 1 เครื่องลงได้



รูปที่ 3 แบบจำลองทางเลือกที่ 2

จากรูปที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์ของทางเลือกที่ 2 การเพิ่มเตาอบผงเมลามีนจำนวน 1 เครื่อง เพื่อให้สามารถอบผงเมลามีนจากเดิมได้เพียง 1 ชุดงานเพิ่มเป็น 2 ชุดงาน ซึ่งส่งผลให้สามารถลดคอขวดที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการอบผงเมลามีนกับการอัดขึ้นรูปงานได้จากการลดเวลาในการรอคอยของงานจากการใช้เตาอบผงเมลามีนเพียง 1 เครื่อง และสามารถลดระยะเวลาในการว่างงานของพนักงานลงได้



รูปที่ 4 แบบจำลองทางเลือกที่ 3

จากรูปที่ 4 แบบจำลองสถานการณ์ของทางเลือกที่ 3 การเพิ่มเครื่องจักรจำนวน 1 เครื่อง ในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปงาน และเพิ่มเตาอบผงเมลามีนจำนวน 1 เครื่อง เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตงานเมลามีนและลดคอขวดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบผงเมลามีนกับการอัดขึ้นรูปงาน เพื่อให้กระบวนการผลิตเกิดความสมดุลมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดเวลารอคอยในขั้นตอนการผลิตงานเมลามีนและลดเวลาว่างงานของคนพนักงานลงได้

4. วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ขึ้นทั้งหมด 4 แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Flexsim ประกอบไปด้วยแบบจำลองก่อนการปรับปรุง แบบจำลองของทางเลือกที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งทำการเก็บข้อมูลจำนวนกำลังการผลิตของแบบจำลอง โดยการรันโปรแกรมทั้งหมด 30 รอบ ในทุกแบบจำลอง และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย Expert Fit ได้ผลดังรูปที่ 5

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 4 - Weibull(E)						
Number of intervals	6					
Expected (model) count	5					
Test statistic	6					
Warning: The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.						
Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
5	0.306	6.626	8.115	9.236	11.070	15.086
	Reject?	No				

รูปที่ 5 ผลจากการวิเคราะห์ด้วย Expert Fit

ในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปใช้งานจริง เพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความถูกต้องและได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด [8] โดยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Expert Fit ในการคำนวณค่า Chi – Square ซึ่งผลที่ได้พบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้มีความสมเหตุสมผลและสามารถทดแทนระบบงานจริงได้

ตารางที่ 3 จำนวนกำลังการผลิตของแบบจำลอง

ครั้งที่	กำลังการผลิต (ชิ้น)			
	ก่อนการปรับปรุง	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
1	163	167	165	322
2	163	166	165	319
3	164	166	165	318
4	163	167	164	320
5	164	164	163	321
6	162	166	162	321
7	165	167	165	322
8	164	166	161	324
9	165	165	163	320
10	164	166	163	323
รวม	1,637	1,660	1,636	3,210

จากตารางที่ 3 แสดงจำนวนกำลังการผลิตของแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองก่อนทำการปรับปรุงมีกำลังการผลิตรวมเท่ากับ 1,637 ชิ้น แบบจำลองทางเลือกที่ 1, 2 และ 3 มีกำลังการผลิตเท่ากับ 1,660 ชิ้น, 1,636 ชิ้น และ 3,210 ชิ้น ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองก่อนการปรับปรุงกับทางเลือกจะเห็นได้ว่าทางเลือกที่ 1 มีกำลังการผลิตสูงกว่ากำลังการผลิตก่อนการปรับปรุงอยู่ 23 ชิ้น ทางเลือกที่ 2 มีกำลังการผลิตต่ำกว่ากำลังการผลิตก่อนการปรับปรุง 1 ชิ้น และทางเลือกที่ 3 มีกำลังการผลิตสูงกว่ากำลังการผลิตก่อนการปรับปรุง 1,573 ชิ้น และยังสูงกว่าทางเลือกที่ 1 และ 2 มากถึง 2 เท่า แต่เนื่องจากทางเลือกที่ 3 เป็นการเพิ่มเครื่องจักรและเตาอบขึ้นอย่างละ 1 เครื่อง ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้นอีกมาก ดังนั้นจึงทำให้ทางเลือกที่ 1 คือทางเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นทางเลือกที่ใช้ต้นทุนน้อยที่สุดในการเปลี่ยนพอยล์ที่มี

คุณภาพดีมากขึ้น ทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการเคลือบพอยล์ลงได้ และเมื่อเคลือบพอยล์เสร็จเร็วขึ้นก็สามารถนำผงเมลามีนที่อบเสร็จแล้วมาเข้ากระบวนการต่อไปได้เร็วขึ้นเช่นเดียวกัน

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Flexsim ในการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานเมลามีน พบว่ากระบวนการผลิตงานเมลามีนเกิดความไม่ต่อเนื่องจากการเกิดคอขวดของขั้นตอนการอบผงเมลามีน ซึ่งใช้เวลาในการอบนานจึงทำให้พนักงานเกิดการรอคอยชุดงานในขั้นตอนการอบผงเมลามีน เพื่อนำชุดงานไปยังขั้นตอนอัดขึ้นรูปต่อไป กลุ่มผู้วิจัยจึงได้นำหลักการจัดสมดุลสายการผลิตและโปรแกรม Flexsim มาเป็นเครื่องมือในการจำลองระบบการทำงานเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตงานเมลามีน โดยออกแบบวิธีการปรับปรุงสายการผลิตทั้งหมด 3 ทางเลือก ผลจากการจำลองสถานการณ์ทั้ง 3 ทางเลือก พบว่าทางเลือกที่ 1 เป็นทางเลือกที่ได้ผลผลิตมากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 1,660 ชิ้นต่อวัน หรือผลผลิตเพิ่มขึ้น 1.41% และใช้ต้นทุนในการเปลี่ยนแผ่นพอยด์ที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกที่ 2 ที่ต้องใช้ต้นทุนในการซื้อเครื่องจักรเพิ่มจำนวน 1 เครื่อง และทางเลือกที่ 3 ที่ต้องใช้ต้นทุนในการซื้อเครื่องจักรเพิ่มจำนวน 2 เครื่อง จึงสามารถสรุปได้ว่าทางเลือกที่ 1 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด สามารถนำไปใช้ได้จริงและเป็นตัวแทนของระบบได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนผลผลิตได้และยังสามารถนำไปสู่การดำเนินการในทางเลือกที่ 2 และ 3 ต่อไป ซึ่งจะทำให้เพิ่มจำนวนผลผลิตได้มากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษากระบวนการผลิตงานเมลามีนในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณโรงงานศรีไทยซูเปอร์แวร์ที่ให้เข้าไปศึกษากระบวนการผลิตงานเมลามีนภายในโรงงาน อีกทั้งยังให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ ในโรงงานเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Jaroenrum, “Makespan optimization of parallel machine production scheduling through simulation technique”, Ph.D. dissertation, Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, 2017. (In Thai)
- [2] V.V. Sokolova and O.M. Zamyatina, “The simulation model of the computer cluster”, *International Conference on Information Technologies in Business and Industry*, 21-26 September, 2016, Tomsk, Russian Federation, 2017, pp. 1742-6596.
- [3] E.M. Selman, K.A. Osman, G. Haris and F. Fehim, “Analysis of shoe manufacturing factory by simulation of production processes”, *Southeast Europe Journal of Soft Computing*, Vol. 1, No. 1, 2012, pp. 2233-1859.
- [4] M. Jamil and N.M. Razali, “Simulation of Assembly Line Balancing in Automotive Component Manufacturing”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 114, 2016, pp. 1757-8991.

- [5] T. Yang, D. Zhang, B. Chen and S. Li, “Research on plant layout and production line running simulation in digital factory environment”, *Computational Intelligence and Industrial Application*, Vol. 2, 2008, pp. 588-593.
- [6] A. Hafezalkotob, H. Ketabian and H. Rahimi, “Balancing the production line by the simulation and statistics techniques: A case study”, *Engineering and Technology* 2014, Vol. 7, No. 4, 2014, pp. 754-763.
- [7] C.A. Chung, “Simualtion modeling handbook a practical approach”, Boca Raton, London, New York, Washington: United States, 2004.
- [8] P. Thongman and N. Samattapaong, “Production sequence using simulation techniques: case study of mineral production plants for dairy cow”, *11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Singapore: IEOM Society International, 2021, pp. 650-659.

**การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-Doped TiO₂ ที่มีต่อ
พฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก และชั้นสารประกอบเชิงโลหะของ
โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบครีม SAC305+0.5In
An Investigation on Influence of Mn-doped TiO₂ Nano-Particles on Melting
Behavior, Wettability and Intermetallic Layer of
SAC305+0.5In Lead-Free Solder Paste**

ประจักษ์ จัตกุล¹ ธีรวิทย์ เชื้อแก้ว¹ และกรรณชัย กัลยาศิริ^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Prajak Jattakul¹ Teerawut Khuenkaew¹ Kannachai Kanlayasiri^{2*}

¹ Department of Industrial Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and
Technology, Chanthaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

² Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang

*Corresponding author Email: kannachai.ka@kmitl.ac.th *

(Received: January 29, 2022; Accepted: June 23, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ที่มีต่อคุณสมบัติในการบัดกรีของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบครีม SAC305+0.5In โดยใช้อนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 wt% ตามลำดับ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนเหล่านี้ที่มีต่อพฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียกบนแผ่นรองทองแดง และชั้นสารประกอบเชิงโลหะของรอยบัดกรี ซึ่งได้ทำขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z3198-3:2003 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 260°C เป็นเวลา 30 วินาที จากผลการทดลองการเติมอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ในโลหะบัดกรีมีผลทำให้ช่วงการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ไม่เกิน 0.5 wt% ทำให้ความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะลดลง ในทางตรงกันข้ามปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ มีปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะมีค่ามากขึ้น

คำสำคัญ: โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว อนุภาคนาโน พฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก สารประกอบเชิงโลหะ

Abstract

This research was performed to study the influence of Mn-doped TiO_2 nanoparticles on the properties of SAC305+0.5In lead-free solder. The nanoparticles were used at 0.05, 0.1, 0.5 and 1.0 wt%. Effects of these factors on alloy melting behavior, wettability of solder on the copper plate and intermetallic layer of the solder joint were studied. The specimens were made according to JIS Z3198-3: 2003 standard and heated at temperature of 260°C for 30 seconds. The nanoparticles increased the melting range and the wettability of the solder. Finally, the nanoparticles decreased the intermetallic layer thickness at the composition below 0.5 wt% but increased the intermetallic layer thickness at the composition above 0.5 wt%.

Keywords: Lead-free solder, Nanoparticles, Melting behavior, Wettability, Intermetallic compound

1. บทนำ

ประเทศไทยผลิตและส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก โดยในแต่ละปีมีมูลค่าการส่งออกมากกว่า 1 ล้านล้านบาท [1] แต่เนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในสุขภาพของมนุษย์ ทำให้หลายๆประเทศได้ออกข้อบังคับออกมาเพื่อควบคุมการใช้สารมีพิษบางชนิดในสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ตะกั่ว พรอท แคดเมียม Hexavalent Chromium, Polybrominated Biphenyls และ Polybrominated Diphenyl Ether [2] ซึ่งการออกข้อบังคับเหล่านี้ทำให้ผู้ส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถส่งสินค้าที่ใช้โลหะบัดกรีที่มีตะกั่วเป็นส่วนผสมเข้าไปจำหน่ายในประเทศเหล่านั้นได้ ส่งผลให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องปรับตัวโดยนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมาใช้งานแทนโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิมที่เป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่ว

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วขึ้นมาหลายกลุ่มเพื่อทดแทนโลหะบัดกรีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ซึ่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน คือ โลหะบัดกรีกกลุ่ม Sn-Ag-Cu (SAC) เพราะมีคุณสมบัติต่างๆเหมาะสมกับงานอิเล็กทรอนิกส์ที่บัดกรีด้วยวิธี Reflow soldering และ Wave soldering โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะบัดกรี Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) เนื่องจากเป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดีและมีความแข็งแรงของรอยบัดกรีสูง แต่ SAC305 มีคุณสมบัติด้อยกว่าโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิม (Sn-Pb Eutectic solder) ในเรื่องความสามารถในการต้านทานความล้า และการคืบ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [3], [4], [5]

วิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีเพื่อให้สามารถต่อต้านความล้าและการคืบได้ดีขึ้น คือ การทำให้โลหะบัดกรีนั้นกลายเป็นวัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) โดยการเติมอนุภาคขนาดเล็กเข้าไปในเนื้อของโลหะบัดกรีเพื่อใช้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน (Dislocations) และการเลื่อนของขอบเกรน [5], [6] และด้วยความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยี ทำให้มีการนำอนุภาคนาโน (Nano-particles) ชนิดต่างๆมาใช้เป็นเฟสกระจาย (Dispersed phase) ในการทำให้โลหะบัดกรีเปลี่ยนเป็นโลหะบัดกรีเชิงประกอบนาโน (Nano-composite solders) [7] ซึ่งจะทำให้โลหะบัดกรีเชิงประกอบที่ได้มีคุณสมบัติต่างๆในการบัดกรีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยพบว่า การเติมอนุภาคนาโนลงไป ส่งผลเสียต่อโลหะบัดกรีเชิงประกอบนาโนที่ได้ คือ ทำให้มีจุดหลอมเหลวที่เพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการเปียกที่ลดลง แต่มีผลดี คือ ทำให้เกิดชั้นสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic compound: IMC) ในรอยบัดกรีน้อยลง [8], [9]

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 ที่มีต่อคุณสมบัติในการบัดกรีของโลหะบัดกรี SAC305 ที่ผ่านการเติมอินเดียม (In) ปริมาณ 0.5 wt% (SAC305+0.5In) เนื่องจากการเติม In จะช่วยลดจุดหลอมเหลวของโลหะ

บัดกรี และเพิ่มความสามารถในการเปียกของโลหะบัดกรีกับแผ่นรองทองแดงได้ [10], [11] โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนที่มีต่อพฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก และชั้นสารประกอบเชิงโลหะของรอยบัดกรี สำหรับอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ เป็นอนุภาคนาโนชนิดใหม่ที่สามารถใช้เป็นเฟสกระจายในโลหะบัดกรีได้ดี เพราะอนุภาคนาโน TiO₂ เป็นอนุภาคนาโนชนิดหนึ่งที่เหมาะใช้ในการเติมลงไปโลหะบัดกรี เนื่องจากมีความเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะบัดกรีพื้นฐาน (SAC) ต่างๆ เช่น Sn, Ag และ Cu รวมทั้งสามารถยึดเกาะกับเนื้อโลหะบัดกรีได้ดี [9] โดยผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พัฒนาโลหะบัดกรีชนิดใหม่ และสร้างองค์ความรู้พื้นฐานทางด้านโลหะวิทยาของโลหะบัดกรีไว้สารตะกั่วได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ในการทดลองจะมีการเตรียมสารเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบโดยการผสมโลหะบัดกรี SAC305 กับอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ที่อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันคือ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50 และ 1.00 wt% โดยที่อัตราส่วนผสม 0.05, 0.10, 0.50 และ 1.00 wt% นั้น มีการเติมอินเดียม (In) เข้าไปในโลหะบัดกรีที่อัตราส่วนผสม 0.50 wt%

โดยทำการผสมอนุภาคนาโนและ In ให้กระจายตัวเข้ากับโลหะบัดกรี SAC305 อย่างสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาผสมประมาณ 30 นาที ในส่วนโลหะพื้นจะใช้ทองแดงบริสุทธิ์ ขนาด 30x30x0.35 mm ล้างทำความสะอาดด้วยอะซิโตน

2.2 การบัดกรีและพฤติกรรมการหลอมเหลว

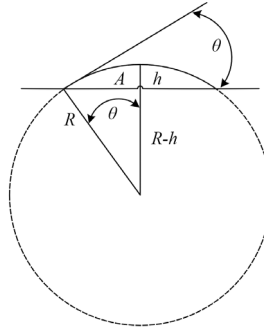
นำโลหะบัดกรีที่ผสมแล้วมาอัดลงในบล็อกที่เตรียมไว้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 mm สูง 1.24 mm (ปริมาตร 0.041 cm³) วางลงบนแผ่นรองทองแดง ให้ความร้อนโดยใช้ Hot plate ที่อุณหภูมิ 260°C เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นปล่อยให้เย็น ทดสอบเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง และทำการถ่ายภาพโลหะบัดกรีทั้งก่อนและหลังการหลอม ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับการคำนวณ

ในการศึกษาเรื่องพฤติกรรมการหลอมเหลว ทำโดยการนำสารที่เตรียมไว้ในแต่ละส่วนผสมไปทดสอบโดยใช้ Different Scanning Calorimeter (DSC) โดยเครื่องที่ใช้ทดสอบเป็น NETZSCH DSC 204 ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศ N₂ โดยอัตราให้ความร้อนอยู่ที่ 10°C/min

2.3 ความสามารถในการเปียก

ในการศึกษาเรื่องความสามารถในการเปียกจะใช้ค่ามุมสัมผัส, ค่าตัวประกอบการกระจายตัว และค่าอัตราส่วนการกระจายตัว ในการอธิบายถึงความสามารถในการเปียกของสารแต่ละส่วนผสม ค่ามุมสัมผัสจะบอกถึงความสามารถในการเปียก หากมีค่ามุมสัมผัสน้อยแสดงว่าความสามารถในการเปียกดี ในทางตรงกันข้ามหากค่ามุมสัมผัสมากแสดงว่าความสามารถในการเปียกนั้นไม่ดี ในการหาค่ามุมสัมผัสจะทำการถ่ายรูปจากด้านข้างของโลหะบัดกรี เพื่อหาค่ามุมสัมผัสตั้งสมการที่ 1 และรูปที่ 1 [12], [13]

$$\sin \theta = \frac{2}{((A/h)+(h/A))} \quad (1)$$



รูปที่ 1 การวัดค่ามุมสัมผัส

เมื่อ θ คือ มุมสัมผัส (องศา) A คือ รัศมีของโลหะบัดกรี (mm) และ h คือ ความสูงของโลหะบัดกรี (mm)

ในการหาค่าตัวประกอบการกระจายตัว (Spread factor) จะนำโลหะบัดกรีหลังการหลอมมาวัดค่าความสูง โดยใช้ไมโครมิเตอร์ จากนั้นแทนค่าตามสมการที่ 2 [12], [13]

$$S_f = \frac{D-h}{D} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ h คือ ความสูงของโลหะบัดกรีที่แผ่กระจาย (mm) D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโลหะบัดกรีที่ถูกทดสอบ (mm)

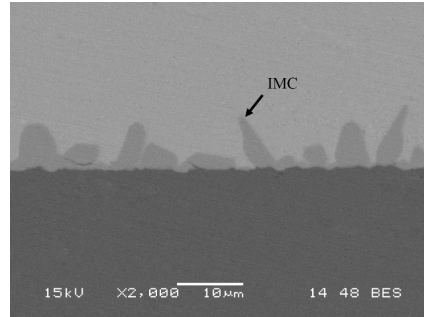
ในการหาค่าอัตราส่วนการกระจายตัว สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Image-Pro Express) ในการวัดเพื่อคำนวณหาพื้นที่ของโลหะบัดกรี โดยทำการหาพื้นที่ของโลหะบัดกรีก่อนการหลอม โดยค่า D ได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดบล็อกที่ใช้ในการเติมโลหะบัดกรีก่อนทำการหลอม ซึ่งมีค่า $D = 6.5$ mm จากนั้นหาค่าอัตราส่วนการกระจายตัวโดยแทนในสมการที่ 3 [12], [13]

$$S_f = \frac{A_1}{A_0} \quad (3)$$

เมื่อ A_0 คือ พื้นที่ของโลหะบัดกรีก่อนการหลอม และ A_1 คือ พื้นที่ของโลหะบัดกรีหลังการหลอม ดังนั้นสามารถหาพื้นที่ก่อนการหลอมโลหะบัดกรีได้โดยหาค่า D จากเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดบล็อกที่ใช้ในการเติมโลหะบัดกรีก่อนทำการหลอมซึ่งมีค่า $D = 6.5$ mm

2.4 ชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

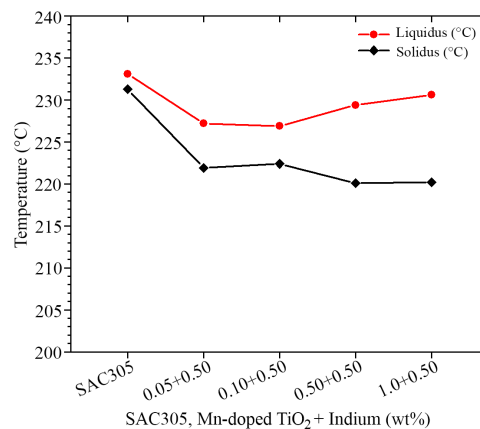
ในการศึกษาชั้นสารประกอบเชิงโลหะ จะทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนผสมของโลหะบัดกรี โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยตัวอย่างของ IMC แสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 IMC ของ SAC305+0.5In+1.0wt% Mn-doped TiO₂

3. ผลและการอภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์อุณหภูมิหลอมเหลวด้วย DSC ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว SAC305 และโลหะบัดกรีผสมจากรูปที่ 3 พบว่าอุณหภูมิโซลิดัส (Solidus) ของ SAC305 มีค่า 231.3 °C เมื่อทำการเติมอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ปริมาณเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.5, และ 1.0 wt% ตามลำดับ และ In 0.5 wt% ส่งผลให้อุณหภูมิโซลิดัสของโลหะบัดกรีเป็น 221.9 °C, 222.4 °C, 220.1 °C และ 220.2 °C ตามลำดับ ดังนั้นการเติมอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ และ In ส่งผลให้อุณหภูมิโซลิดัสมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะบัดกรี SAC305

จากรูปที่ 3 จะพบว่าอุณหภูมิควิดัส (Liquidus) ของ SAC305 มีค่า 233.1 °C เมื่อทำการเติมอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ตามส่วนผสม และ In 0.5 wt% พบว่าอุณหภูมิควิดัสมีค่าเป็น 227.2 °C, 226.9 °C, 229.4 °C และ 230.6 °C ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าการเติม In และอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ มีผลทำให้อุณหภูมิควิดัสลดลง เมื่อเทียบกับโลหะบัดกรี SAC ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงของการหลอมเหลวจะกว้างขึ้นเมื่อมีอนุภาคนาโนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 Solidus และ Liquidus ของโลหะบัดกรี

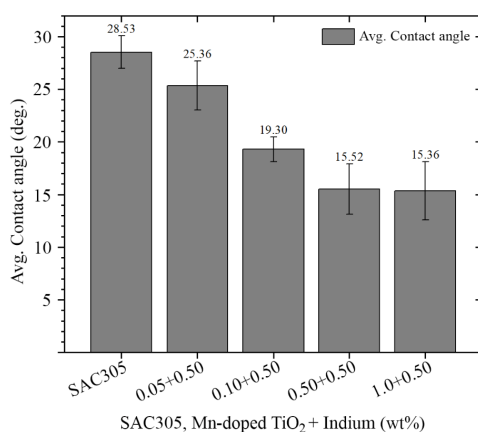
3.1 ความสามารถในการเปียก

ความสามารถในการเปียกของโลหะบัดกรีจะถูกพิจารณาในรูปของค่ามุมสัมผัส (θ) ค่าตัวประกอบการกระจาย และอัตราส่วนของการกระจาย การที่จะอธิบายความสามารถในการเปียกนั้น ได้ทำการหาค่ามุมสัมผัสของโลหะบัดกรีในแต่ละส่วนผสม

หลังทำการหลอม โดยหาค่ามุมสัมผัสของทั้งด้านซ้ายและขวาเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด โดยค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบเฉลี่ยแสดงดังรูป 4

3.1.1 ค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

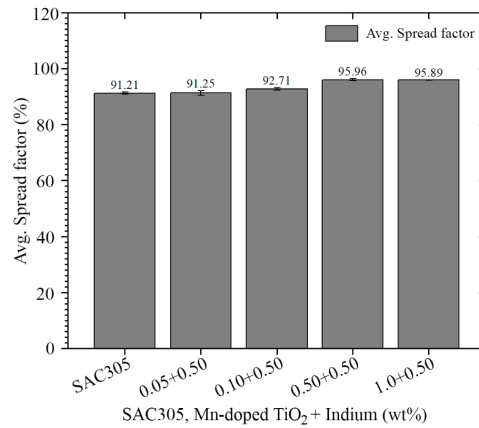
จากรูปที่ 4 พบว่าค่ามุมสัมผัส (θ) จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยมุมสัมผัสของโลหะบัดกรีจะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วถึงปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 เท่ากับ 0.5 wt% จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามุมสัมผัสจะลดลง เมื่อปริมาณของอนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsao และคณะ [14] โดยโลหะบัดกรี SAC ที่ใช้เป็น Sn3.5Ag0.5Cu ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 250°C พบว่ามุมสัมผัสของโลหะบัดกรี SAC มีค่า 28.5 องศา ซึ่งจากผลของการศึกษานี้พบว่ามุมสัมผัสของโลหะบัดกรี SAC305 นั้นมีค่า 28.53 องศา และมุมสัมผัสจะมีค่าลดลง เมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 ในโลหะบัดกรี SAC มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4 ค่ามุมสัมผัสของโลหะบัดกรีที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน

3.1.2 ค่าตัวประกอบการกระจายตัว (Spread factor: S_f)

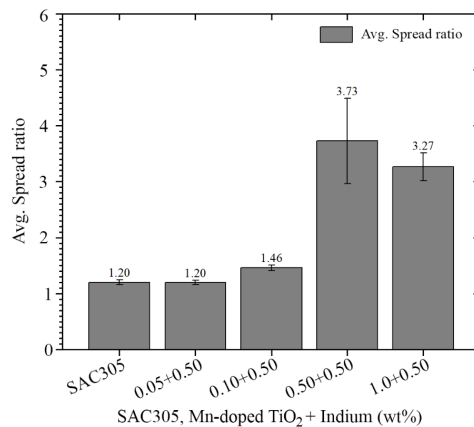
จากรูปที่ 5 จะพบว่าค่าตัวประกอบการกระจายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 ที่มีการเติม In 0.5 wt% มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนถึง 0.5 wt% และลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 เพิ่มขึ้นเป็น 1.0 wt% แต่ยังคงมีค่าตัวประกอบการกระจายตัวมากกว่าโลหะบัดกรี SAC305



รูปที่ 5 ค่าตัวประกอบการกระจายตัวของโลหะบัดกรี

3.1.3 ค่าอัตราส่วนการกระจายตัว (Spread ratio: S_r)

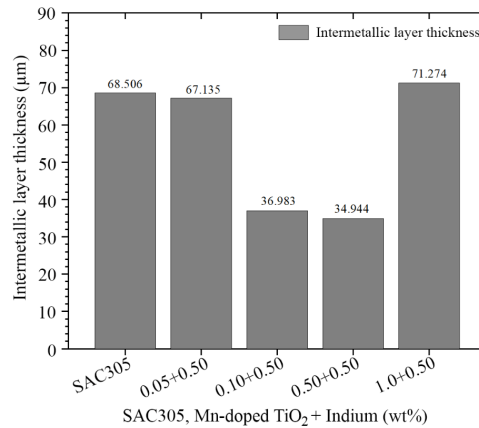
จากรูปที่ 6 พบว่าค่าอัตราส่วนการกระจายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 ไม่เกิน 0.5 wt% เมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 เกิน 0.5 wt% อัตราส่วนการกระจายตัวมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 6 ค่าอัตราส่วนการกระจายตัวของโลหะบัดกรี

3.2 ชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

จากการวิเคราะห์ชั้น IMC ในแต่ละส่วนผสมทั้ง SAC305 และการเติม Mn-doped TiO_2 และ In โดยตัวอย่างของโครงสร้างจุลภาคของ IMC ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งการศึกษาความหนาของ IMC นั้นจะใช้โปรแกรม *Image-Pro Express* ในการวัดความหนาของ IMC โดยความหนาของ IMC แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความหนาของ IMC จะลดลง เมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 ไม่เกิน 0.5 wt% และมีแนวโน้มของความหนาของ IMC เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO_2 เกิน 0.5 wt% ดังนั้นการเติมอนุภาคนาโนจะส่งผลต่อชั้นของรอยต่อบัดกรีและระงับการเติบโตของ IMC อย่างไรก็ดีตามเมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนในปริมาณมากในโลหะบัดกรีส่งผลให้ความสามารถในการระงับการเจริญเติบโตของ IMC ลดลง ทำให้ความหนาของ IMC มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 IMC ของโลหะบัดกรีที่มีส่วนผสมที่ต่างกัน

4. สรุป

จากผลการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ที่มีพฤติกรรมการหลอมเหลว ความสามารถในการเปียก และชั้นสารประกอบเชิงโลหะในโลหะบัดกรี SAC305+0.5In กับแผ่นรองทองแดงสามารถสรุปผลได้ดังนี้

การเติมอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ในโลหะบัดกรีมีผลทำให้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโลหะบัดกรี SAC305+0.5In และเพิ่มความสามารถในการเปียกของโลหะบัดกรี SAC305+0.5In สำหรับการเติมปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ ไม่เกิน 0.5 wt% มีผลทำให้ความหนาของ IMC ลดลง แต่เมื่อปริมาณอนุภาคนาโน Mn-doped TiO₂ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาของ IMC มีค่ามากขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fact sheet electronic products. 2020. [Online]. Available: https://www.ditp.go.th/contents_attach/749352/749352.pdf (In Thai)
- [2] RoHS/ELV. 2019. [Online]. Available: <https://thairohs.org/index.php/th> (In Thai)
- [3] S. Cheng, C.M. Huang and M. Pecht, "A review of lead-free solders for electronics applications", *Microelectronics Reliability*, Vol. 75. Elsevier Ltd, pp. 77–95, 2017. doi: 10.1016/j.microrel.2017.06.016
- [4] O.R. Adetunji, R.A. Ashimolowo, P.O. Aiyedun, O.M. Adesusi, H.O. Adeyemi and O.R. Oloyede, "Tensile, hardness and microstructural properties of Sn-Pb solder alloys", in *Materials Today: Proceedings*, Vol. 44, 2021, pp. 321–325. doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.656
- [5] H. Mavoori and S. Jin, "New, creep-resistant, low melting point solders with ultrafine oxide dispersions", *Journal of Electronic Materials*, Vol. 27, No. 11, 1998, pp. 1216–1222. doi: 10.1007/s11664-998-0072-9
- [6] A. El-Daly, A. Fawzy, S.F. Mansour and M.J. Younis, "Thermal analysis and mechanical properties of Sn-1.0Ag-0.5Cu solder alloy after modification with SiC nano-sized particles", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 24, 2013, pp. 2976–2988. doi: 10.1007/s10854-013-1200-8

- [7] F. Khodabakhshi, M. Zareghomsheh and G. Khatibi, “Nanoindentation creep properties of lead-free nanocomposite solders reinforced by modified carbon nanotubes”, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 797, 2020. doi: 10.1016/j.msea.2020.140203
- [8] S.Y. Chang, C.C. Jain, T.H. Chuang, L.P. Feng and L.C. Tsao, “Effect of addition of TiO₂ nanoparticles on the microstructure, microhardness and interfacial reactions of Sn3.5AgxCu solder”, *Materials and Design*, Vol. 32, No. 10, 2011, pp. 4720–4727. doi: 10.1016/j.matdes.2011.06.044
- [9] Y. Tang, G.Y. Li, and Y.C. Pan, “Influence of TiO₂ nanoparticles on IMC growth in Sn-3.0Ag-0.5Cu-xTiO₂ solder joints in reflow process”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 554, 2012, pp. 195–203. doi: 10.1016/j.jallcom.2012.12.019
- [10] K. Kanlayasiri, M. Mongkolwongrojn, and T. Ariga, “Influence of indium addition on characteristics of Sn-0.3Ag-0.7Cu solder alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 485, 2009, pp. 225–230. doi: 10.1016/j.jallcom.2009.06.020
- [11] K. Kanlayasiri and K. Sukpimai, “Effects of indium on the intermetallic layer between low-Ag SAC0307-xIn lead-free solders and Cu substrate”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 668, 2016, pp. 169–175. doi: 10.1016/j.jallcom.2016.01.231
- [12] K. Kanlayasiri and N. Meesathien, “Effects of zinc oxide nanoparticles on properties of SAC0307 lead-free solder paste”, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2018, Article ID 3750742, 2018. doi: 10.1155/2018/3750742
- [13] X. Wang, L. Zhang, M. Li, X. Wang, and M. Zhao, “Enhancement of structure and properties of Sn58Bi solder by AlN ceramic particles”, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 19, 2022, pp. 2584–2595. doi: 10.1016/j.jmrt.2022.06.001
- [14] L.C. Tsao, B.C. Wang, C.W. Chang, and M.W. Wu, “Effect of nano-TiO₂ addition on wettability and interfacial reactions of Sn0.7Cu composite solder/Cu solder joints”, in *2010 11th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, 2010, pp. 250–253. doi: 10.1109/ICEPT.2010.5582427

การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาโดยการประยุกต์ใช้

เทคนิคบ้านคุณภาพ

Design and Development of Bamboo Furniture Sofa Set Product Using
House of Quality Techniqueสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2*} ชาทรี หอมเขียว^{1,2} จุลาลักษณ์ โรจนานุกุล¹ อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว่า¹ และบัญชา จุลกุล³¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ³สาขาวิชาการออกแบบ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาSurasit Rawangwong^{1,2*} Chatree Homkhiew^{1,2} Julaluk Rodjananugoon¹Apichon Thongmung Kamnerdwam¹ Bancha Julukul³¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Srivijaya

²Materials Processing Technology Research Unit³Program in Design, Faculty of Fine Arts, Songkhla Rajabhat University

*Corresponding author Email: Surasit.r@rmutsv.ac.th

(Received: March 14, 2022; Accepted: June 9, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิด และเปรียบเทียบความพึงพอใจของลูกค้าของผลิตภัณฑ์แบบเดิมและแบบใหม่ อีกทั้งเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer; VOC) ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา โดยใช้แบบสอบถามสำหรับสำรวจความต้องการของลูกค้าเพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ จากนั้นใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดการข้อมูลความต้องการของลูกค้า หลังจากนั้นสำรวจระดับความสำคัญความต้องการของลูกค้าปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจ และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ในบ้านคุณภาพหรือเมทริกซ์การวางแผน ผลการวิเคราะห์พบว่า ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะตามความต้องการของลูกค้าในด้านรูปแบบ วัสดุ ความสะดวก คุณภาพ และด้านอื่น ๆ หลังจากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของลูกค้า โดยผลการประเมินพบว่าผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิด มีความพึงพอใจเชิงเทคนิคด้านวัสดุที่มีคุณภาพมากที่สุด เป็นอันดับแรกโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 รองลงมาเป็นความพึงพอใจเชิงเทคนิคด้านมีความทนทานแข็งแรง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 จากการวิจัยนี้พบว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีค่าความพึงพอใจเพิ่มขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมในทุกคุณลักษณะ โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่เท่ากับ 4.39 คะแนน และค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมมีค่าเท่ากับ 3.36 คะแนน คิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ได้เท่ากับ 30.65 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: บ้านคุณภาพ การออกแบบผลิตภัณฑ์ เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ โซฟา

Abstract

This research was the application of the house of quality which is a product planning matrix for the conceptual design of bamboo furniture products in the type of sofa sets. To compare the satisfaction of customers with original and new products and also to meet the needs of customers. The research started from collecting data on the needs of customers (Voice of Customer; VOC) towards bamboo furniture products such as sofa sets. By using a questionnaire to survey the needs of the customer to determine product characteristics. Then, use the Affinity Diagram and Tree Diagram to help manage customer needs information. After that, explore the level of importance of customer needs in factors influencing satisfaction and the data were analyzed into the house of quality or planning matrix. The results of the analysis revealed that the new design of bamboo furniture product in the type of sofa set was changed the characteristics according to customer requirements in terms of style, material, convenience, quality, and other aspects. Then, product satisfaction was evaluated. The evaluation results found that the bamboo furniture product concept of sofa set was the technical satisfaction in terms of the material quality is the highest, at the first with an average of 4.42. The second was technical satisfaction in terms of durability, with an average of 4.37. From this research, it was found that the new product had a higher satisfaction value than the original product in all characteristics. The average overall satisfaction of the new product was 4.39 points and the average overall satisfaction of the original product was 3.36 points. The percentage change in the product was 30.65 percent.

Keywords: House of Quality, Product design, Bamboo furniture, Sofa

1. บทนำ

ไม้เป็นพืชตระกูลหญ้าที่อยู่คู่วิถีชีวิตของคนไทย และชาวเอเชียมาช้านาน เนื่องด้วยประเทศไทยมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมกับการกระจายพันธุ์และการเจริญเติบโตของไม้ [1] สำหรับประเทศไทยสามารถพบไม้ได้ทั่วประเทศ โดยพบมากในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ตามลำดับ [2] ไม้ไผ่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศด้านการก่อสร้างและหัตถกรรม ด้านอุตสาหกรรมการส่งออก อีกทั้งใช้ประดับตกแต่งอาคารสถานที่ เนื่องจากลวดลายของเนื้อไม้ที่สวยงามแตกต่างไปจากไม้ชนิดอื่น [3] ไม้ไผ่เป็นหนึ่งในวัสดุทั่วไป ผู้คนเริ่มใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุในการผลิตต่าง ๆ ด้วยการพัฒนาของเทคโนโลยีไม้ไผ่มีความสำคัญมากขึ้นในการออกแบบที่ทันสมัย [4] ปัจจุบันมีการนำไม้มาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างหลากหลาย เช่น อาหาร ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เครื่องมือใช้สอย ที่อยู่อาศัย หรือนั่งร้าน [5] นอกจากนี้ไม้ไผ่ยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม้บวมหรือหดตัวมากเหมือนไม้เนื้อแข็งทั่วไป จึงเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์

ปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการแข่งขันทางการตลาดสูงมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีผู้ผลิตมากมายทำให้ลูกค้ามีโอกาสดูแลการตัดสินใจเลือกซื้อและเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตได้มากขึ้น การดำเนินธุรกิจทั้งการผลิตสินค้าหรือการให้บริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดและเพื่อให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการดำเนินธุรกิจ โดยในปัจจุบันสถานะของการตลาดนั้นมีการแข่งขันกันสูงมาก เนื่องจากคุณภาพของงานสามารถนำมาใช้วัดผลด้านความพึงพอใจ

ของลูกค้าได้ ซึ่งการให้ความสนใจทั้งทางด้านการออกแบบ การผลิต รวมไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างจริงจัง จึงเป็นความจำเป็นของการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันอย่างมาก ดังนั้นในการดำเนินธุรกิจต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้ามากยิ่งขึ้น

จากการที่คณะวิจัยได้ลงสำรวจพื้นที่กลุ่มผู้ผลิตไม้ไผ่ บ้านท่านางหอม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ปัญหาเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์รูปแบบใหม่ ไม่มีจุดเด่นที่ชัดเจน ผลิตภัณฑ์ยังไม่ตอบสนองความต้องการของลูกค้า ส่วนใหญ่จะผลิตเฉพาะผลิตภัณฑ์เดิม ๆ ซึ่งขาดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ ๆ จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพเพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิด เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าสำหรับลูกค้ากลุ่มเป้าหมายใหม่ และเป็นการเพิ่มมูลค่าไม้ไผ่กับกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในส่วนของบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เป็นเทคนิคที่นำมาช่วยในการวางแผนสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถตอบโจทย์ความต้องการและสร้างความพึงพอใจของลูกค้าได้ [6] เป็นกระบวนการเชิงระบบที่สามารถค้นหาความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า [7] โดยทำการแปลงความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและมีระบบซึ่งอาศัยหลักการและเทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงาน และจากนั้นจะทำการเจาะลึกไปยังส่วนประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของบ้านคุณภาพนั้นมีหลักการมีการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า เป็นวิธีการพัฒนาคุณภาพการออกแบบที่มุ่งสร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค จากนั้นจึงแปลความต้องการของผู้บริโภคเป็นเป้าหมายการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้ามากที่สุด [8], [9], [10] สำหรับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในประเทศไทยซึ่งเน้นการผลิตเชิงปริมาณมากกว่าการเน้นการผลิตเชิงคุณภาพ จึงทำอย่างไรก็ได้ให้ต้นทุนลดลงมากที่สุด ทำให้ตลาดผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงราคาสูงไม่เป็นที่นิยม ทั้งที่มีลูกค้าจำนวนหนึ่งพร้อมที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ในระดับนี้ จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของบ้านคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ อีกทั้งเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการลูกค้ามากยิ่งขึ้น

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและสภาพปัจจุบันของการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่

โดยศึกษาบริบทของกลุ่มผู้ผลิตในประเด็นต่าง ๆ กระบวนการออกแบบ วิเคราะห์ และกำหนดความต้องการของลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับตัวผลิตภัณฑ์ โดยใช้คุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ เพื่อวางแผนแนวทางในการสำรวจความต้องการของลูกค้า

2.2 การเตรียมข้อมูลก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านคุณภาพ

2.2.1 สำรวจความต้องการของลูกค้า ใช้วิธีการสำรวจด้วยการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามที่ 1 ซึ่งเป็นแบบสอบถามแบบปลายเปิด โดยการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการสำรวจความต้องการของลูกค้า ซึ่งได้เลือกใช้ระดับความเชื่อมั่น 90% $P = 0.30$, $Z = 1.65$, $d = 0.1$ และได้เลือกใช้สมการกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรของ W.G.cochran แสดงดังสมการที่ 1

$$n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2} \quad (1)$$

โดยที่ n คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ P คือสัดส่วนของประชากรที่ต้องการ Z คือระดับความมั่นใจที่กำหนดหรือระดับนัยสำคัญทางสถิติ d คือสัดส่วนความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น

ดังนั้นในขั้นตอนของการสำรวจความต้องการของลูกค้า ได้จำนวนขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณได้ 58 ตัวอย่าง แต่ในการเก็บข้อมูลจริงได้เพิ่มจำนวนการเก็บข้อมูลเป็น 105 ตัวอย่าง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลจะประกอบด้วย ลูกค้ากลุ่มโรงแรม รีสอร์ท และลูกค้าที่เป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไฟ จังหวัดสงขลา และจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งทำการสำรวจในช่วงเดือน เมษายน ถึง กรกฎาคม 2563

2.2.2 จัดเรียงถ้อยคำความต้องการของลูกค้าใหม่ โดยนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วทำการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ โดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูล

2.2.3 สร้างแบบสอบถามที่ 2 เพื่อหาระดับความสำคัญปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ

2.2.4 เมื่อสำรวจกลุ่มตัวอย่างแล้ว หลังจากนั้นผลที่ได้จากการสำรวจคือ คะแนนระดับความพึงพอใจและระดับความสำคัญซึ่งมีค่า 1 (น้อย) ถึง 5 (มาก) ถูกนำไปหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากแบบสอบถามที่ 2 เพื่อนำไปใช้เป็นค่าความสำคัญ (Important; IMP) ในบ้านคุณภาพหรือเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

2.3 ประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

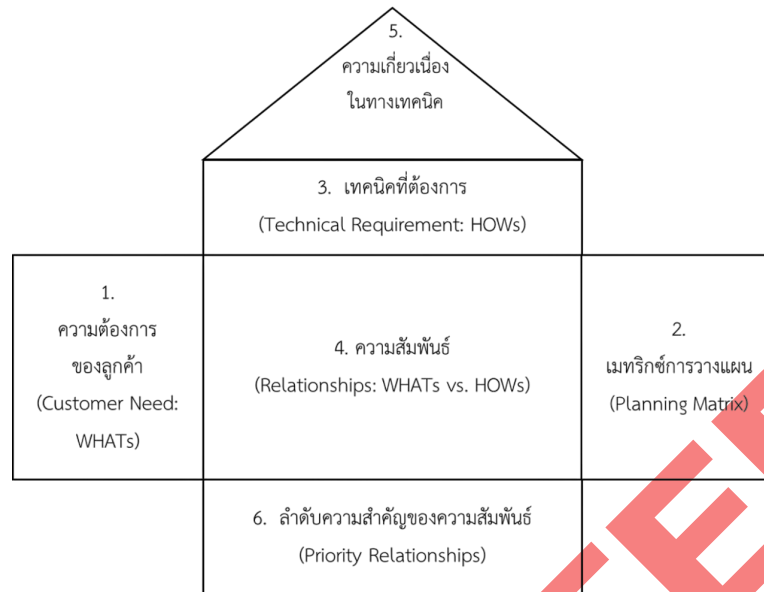
เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้ามาแปลงหน้าที่เป็นตัววัดผลงาน ซึ่งเป็นตัวแทนลักษณะทางด้านคุณภาพ (Substitute Quality Characteristics; SQCs) ที่แสดงออกมาในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ข้อกำหนดทางเทคนิคแล้วจะทำการคำนวณค่าเป้าหมายและอัตราของการปรับปรุง หลังจากนั้นคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงานซึ่งตัวแทนลักษณะทางด้านคุณภาพ และค่าความสำคัญของตัววัดผลงานจะนำไปใช้เป็นข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

ดังนั้นขั้นตอนในการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) จะเป็นการสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยเมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน และมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ [11], [12], [13], [14], [15]

2.3.1 ความต้องการของลูกค้า (Customer Need) นำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากการเตรียมข้อมูลมาใส่ในด้านซ้ายมือของบ้านคุณภาพ (ส่วนที่ 1) แสดงดังรูปที่ 1

2.3.2 การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) เป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไฟประเภทชุดโซฟา รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่ เพื่อกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์โดยลักษณะของเมทริกซ์การวางแผนแสดงดังรูปที่ 1

2.3.3 ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) โดยในการหาเทคนิคที่นำมาใช้นี้จะได้มาจากการระดมสมอง ประกอบด้วย ทีมวิจัย ทีมออกแบบ ผู้ผลิต และตัวแทนด้านตลาด จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในส่วนที่ 3 ของบ้านคุณภาพ และทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิคโดยข้อกำหนดที่สามารถวัดได้ และนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในส่วนที่ 6 ของบ้านคุณภาพ หลังจากนั้นจะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุงสัญลักษณ์ที่ใช้มีดังนี้ คือ ยิ่งมากยิ่งดี คือ เหมาะสม และ คือ ยิ่งน้อยยิ่งดี



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน [7]

2.3.4 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า (ส่วนที่ 1) และความต้องการทางเทคนิค (ส่วนที่ 3) โดยขั้นตอนนี้จำเป็นต้องเข้าใจถึงความสามารถของแต่ละความต้องการทางด้านเทคนิคต่อระดับความพึงพอใจของลูกค้าทั้งหมด เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววัดทางเทคนิคนั้นจะสามารถช่วยตอบสนองแต่ละความคาดหวังของลูกค้าได้อย่างไร ซึ่งในการให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้าและเทคนิคที่ต้องการส่วนใหญ่จะนิยมใช้ตัวเลข 0, 1, 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ คือ ไม่มีความสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์น้อย มีความสัมพันธ์ปานกลาง และมีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการให้ระดับคะแนนความสัมพันธ์

2.3.5 หาความเกี่ยวเนื่องในเทคนิค (Technical Correlations) เป็นส่วนของหลังคาของบ้านคุณภาพ หรือส่วนที่ 5 ซึ่งแสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคที่นำมาใช้ในตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ โดยเป็นการระบุความต้องการทางเทคนิคใดที่เกี่ยวข้องกันและความเกี่ยวข้องกันมากน้อยเพียงใด สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์เป็นตัวแทนลักษณะเฉพาะมีดังนี้ O คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก X คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย และช่องว่าง คือ ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันเลย

2.3.6 ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) บ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พัฒนาทราบว่าความต้องการใดที่ต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างสูง โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ

2.4 ออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา

เป็นการสรุปข้อกำหนดเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา โดยแนวคิดที่นำไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์จะนำมาจากความต้องการของลูกค้า และข้อกำหนดทางด้านเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูง จากนั้นส่งข้อมูลให้ทีมออกแบบผลิตภัณฑ์

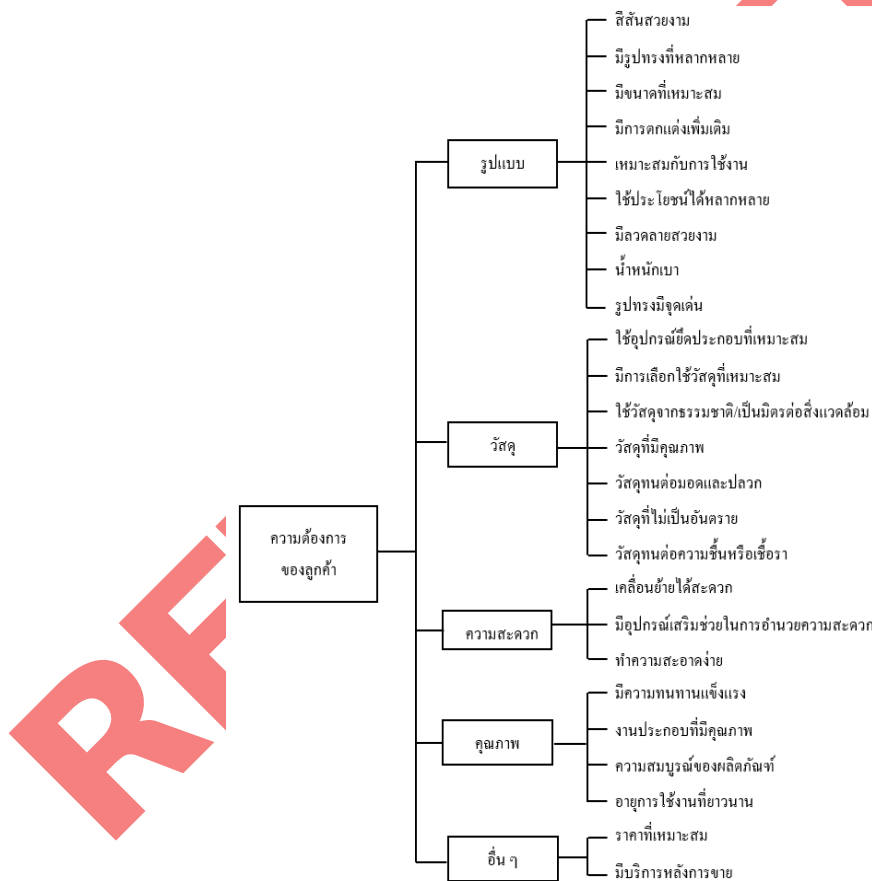
2.5 ประเมินความพอใจในผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่

หลังจากได้ดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่แล้ว จากนั้นได้สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ พร้อมทั้งนำแบบสอบถามไปสำรวจความพึงพอใจของการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ลูกค้าประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่

3. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

3.1 ผลการเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในส่วนของบ้านคุณภาพ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ รวมทั้งทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา จากการสำรวจความต้องการของลูกค้าด้วยแบบสอบถามที่ 1 จำนวน 105 ท่าน จากนั้นนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่สามารถจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ด้านรูปแบบ ด้านวัสดุ ด้านความสะดวก ด้านคุณภาพ และด้านอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังต้นไม้คุณลักษณะของเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา

จากรูปที่ 2 ได้นำความต้องการที่ผ่านการวิเคราะห์มาทำการรวบรวมความต้องการที่คล้ายคลึงกันไปพัฒนาเป็นแบบสอบถามที่ 2 เพื่อประเมินระดับความสำคัญของแต่ละประเด็นที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา โดยการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าจากกลุ่มตัวอย่าง 105 ตัวอย่าง ซึ่งพบว่าประเด็นที่ลูกค้าให้ความสำคัญมากที่สุด คือ รูปทรงที่หลากหลาย โดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเท่ากับ 3.87

3.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ เป็นการนำผลข้อมูลความต้องการของลูกค้าประเด็นต่าง ๆ ที่ได้มาข้างต้นเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ (HOQ) โดยสามารถอธิบายผลแต่ละส่วนได้ดังนี้

3.2.1 ความต้องการของลูกค้า (Customer Need) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการทั้ง 5 กลุ่ม มาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์พร้อมกำหนดหมายเลขของแต่ละปัจจัย แสดงดังรูปที่ 3

3.2.2 การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) เป็นการนำค่า Important (IMP) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามที่ 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว ว่าความต้องการของลูกค้าได้ให้ความสำคัญกับด้านรูปแบบคือ มีรูปทรงที่หลากหลาย เป็นอันดับที่หนึ่ง (3.87คะแนน จาก 5 คะแนน) รองลงมาด้านวัสดุ คือ ใช้วัสดุจากธรรมชาติ/เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (3.76 คะแนน จาก 5 คะแนน) แสดงดังรูปที่ 3

3.2.3 กำหนดความต้องการทางเทคนิค (Technical Requirement) ส่วนนี้เป็นการระดมสมองของทีมวิจัยผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิต และด้านการออกแบบ เพื่อหาเทคนิคที่สามารถตอบสนองแต่ละความต้องการของลูกค้าได้ และกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิคให้เป็นค่าที่สามารถวัดได้ อีกทั้งกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางการปรับปรุง พบว่าสามารถกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคได้ทั้งหมด 18 ข้อกำหนด แสดงดังรูปที่ 3

3.2.4 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการเปรียบเทียบและให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ 1 (ความต้องการของลูกค้า) และส่วนที่ 3 (ข้อกำหนดทางเทคนิค) เป็นคู่ ๆ ซึ่งพบว่าผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ไม่เิน แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งในการให้คะแนนจะทำการเปรียบเทียบเป็นคู่โดยการระดมสมองกับฝ่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ทีมพัฒนา ทีมออกแบบ ทีมผู้ผลิต และฝ่ายการตลาด

3.2.5 ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Correlation) ทำการระดมสมองของฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งผลการกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3

3.2.6 ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) ส่วนนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย ๆ คือ น้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ คะแนนมากที่สุด คือ ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านวัสดุในการผลิต (13.59%) รองลงมาคือ ความทนทานของวัสดุโครงสร้าง (9.23%) อันดับสาม คือ อายุการใช้งาน (7.32%) อันดับสี่ คือ ราคาผลิตภัณฑ์ (6.87%) อันดับห้า คือ สีสนั (6.64%) และอันดับสุดท้ายคือ น้ำหนัก (6.11%) จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้ผ่านการจัดเรียงลำดับแล้วสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.3 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ประเภทชุดโซฟา ได้ดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ประเภทชุดโซฟา โดยแนวคิดที่นำไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์นำมาจากความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางด้านเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูง อีกทั้งนำแรงบันดาลใจมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 รูปแบบ โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ในแต่ละรูปแบบประกอบไปด้วยข้อกำหนดทางเทคนิคเป้าหมายในการออกแบบด้วยกัน 6 ข้อกำหนด โดยมีผลการตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิค ดังนี้

1) วัสดุในการผลิต ผลิตภัณฑ์มีการออกแบบโดยใช้วัสดุโครงสร้าง เป็นไม้เิน แก่จัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เมตรต่อท่อน ผ่านการอาบน้ำยาป้องกันแมลง การฝังให้แห้ง และใช้วัสดุตกแต่ง เป็นเบาะพองน้ำหุ้มด้วยผ้ามัตย้อมท้องถิ่น อีกทั้งใช้ไม้เินผ่าหรือกระจก เป็นวัสดุพื้นโต๊ะ

- 2) ความทนทานของวัสดุโครงสร้าง ผลิตภัณฑ์มีการออกแบบโดยใช้เทคนิคการเชื่อมไม้ไผ่แบบขัดกลอน เพื่อสร้างความแข็งแรงทนทานของโครงสร้าง
- 3) อายุการใช้งาน ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานควรมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ด้วยการแช่น้ำยากันมอดและผิให้แห้ง
- 4) ราคาของผลิตภัณฑ์ ราคาของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในช่วงราคา 5,000–10,000 บาทต่อชุด ทั้งนี้อาจจะขึ้นอยู่กับการตกแต่ง
- 5) สีสนของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีการออกแบบโดยใช้สีเนื้อไม้ไผ่ตามธรรมชาติ และตกแต่งด้วยเบาะผ้า หรือเบาะหนัง
- 6) น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ได้ทำการปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ รวมไปถึงผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ พบว่ามีน้ำหนักไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อชุด

สัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความหมาย
O	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
ช่องว่าง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

สัญลักษณ์ค่าการเคลื่อนไหวของเป้าหมาย	
สัญลักษณ์	ความหมาย
↑	ยิ่งมากยิ่งดี
○	เป้าหมายเหมาะสม
↓	ยิ่งน้อยยิ่งดี

สัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในงานเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความหมาย
○	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
ช่องว่าง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

สัญลักษณ์ค่าการเคลื่อนไหวของเป้าหมาย	
สัญลักษณ์	ความหมาย
↑	ยิ่งมากยิ่งดี
○	เป้าหมายเหมาะสม
↓	ยิ่งน้อยยิ่งดี

ข้อกำหนดทางเทคนิค		รูปแบบ																		วัสดุ		ความสะดวก		คุณภาพ		อื่น ๆ	
No.	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18									
↑	↑	↓	↑	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	○									

รูปแบบ	ความต้องการของผู้บริโภค	No.																				
	มีรูปทรงที่หลากหลาย	A-1	3.87	9	1	3	9					3							9			
	ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย	A-2	3.67	3	9		3				9	3				9	3		3			
	น้ำหนักเบา	A-3	3.63				9	9				1	9	3			9	9				
	รูปทรงมีจุดเด่น	A-4	3.61	3					9	9	9	3	3						3			
	เหมาะสมกับการใช้งาน	A-5	3.46	1	3	3	3				3	9	3			3						
	มีขนาดที่เหมาะสม	A-6	3.45				9	9				3			3	9			3			
	มีสีสันสวยงาม	A-7	3.44						9	3	3		1			3			3	1		
	มีเวลาขายตรงตาม	A-8	3.41						3	9	3		1			3			3			
วัสดุ	มีการตกแต่งเพิ่มเติม	A-9	3.35	3					9	3	9	3							9			
	ใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	A-10	3.76			9		3			1	9	3		3				3	3		
	วัสดุที่ไม่เป็นอันตราย	A-11	3.63									9		3		3		1				
	มีการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม	A-12	3.60					3		3		9	9	1			3	9				
	วัสดุที่มีคุณภาพ	A-13	3.38					3		3		9	9	1			3	9	3	3		
	ใช้อุปกรณ์ยึดประกอบที่เหมาะสม	A-14	3.26			1						1	3	9			3	9	9	1		
	วัสดุทนต่อความชื้นหรือเชื้อรา	A-15	3.00						9			9	9		9				3	1		
	วัสดุทนต่อการขีดข่วนและปลวก	A-16	2.96									9	9				1		3	1		
	ความสะดวก	เคลื่อนย้ายได้สะดวก	A-17	3.72	3		9	9				1	3	3	3		3	9				
มีอุปกรณ์เสริมช่วยในการอำนวยความสะดวก		A-18	3.52	3			3					9	3			9			3			
ทำความสะอาดง่าย		A-19	3.40	3		1	3	3	3	1	3	3			9		1					
คุณภาพ	งานประกอบที่มีคุณภาพ	A-20	3.50										9	3				9	9	3	3	
	อายุการใช้งานที่ยาวนาน	A-21	3.50		3				3				9	9	9			3	9		3	
	มีความทนทานแข็งแรง	A-22	3.48		3								9	9	9			9	9		3	
	ความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์	A-23	3.43		1			1	1		1	1		1		1		3	1	3		
อื่น ๆ	ราคาที่เหมาะสม	A-24	3.46	3			3	3	3	9	3	9	1	1				9	9	9	3	
	มีการบริการหลังการขาย	A-25	3.42						3			1		3	3			1	3	3	9	รวม
คำนวณค่าเฉลี่ยของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			112	71.7	191	174	208	108	118	138	426	289	149	101	178	159	172	229	215	92.1	3130.89	
คำนวณค่าเฉลี่ยของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ			3.59	2.29	6.11	5.56	6.64	3.44	3.76	4.40	13.59	9.23	4.75	3.23	5.70	5.08	5.50	7.32	6.87	2.94	100	

เป้าหมายทางด้านเทคนิค	
มีรูปทรงให้เลือกอย่างน้อย 2 รูปทรง	
สามารถรองรับการใส่ผ้าได้อากหลาย	
น้ำหนักไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อชุด	
สีที่ใช้ทำจากสีสังกะสีไม่เกิน 3 ครั้งตามสเปค	
สีและสีเคลือบไม่หลุดลอกภายใน 2 ปี	
มีเวลาขายให้ได้อย่างน้อย 2 ปี	
มีการตกแต่งที่สอดคล้องตามสเปค	
มีการเสริมอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็นในการใช้งาน	
ใช้ผ้าที่เป็นวัสดุโครงสร้างเสริมถัก	
ชุดของวัสดุโครงสร้างเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
สามารถทำความสะอาดได้ง่าย	
สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องทำความสะอาด	
ไม่มีความรู้สึกถึงความสกปรก	
สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงหรือการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย	
ไม่มีความรู้สึกถึงความสกปรก	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็นสีขาว	
ชุดของอุปกรณ์เสริมเป็น	

รูปที่ 3 เมริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ड़ेประเภทชุดโซฟา

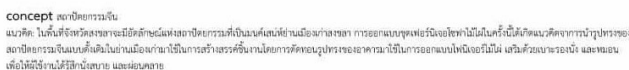
ตารางที่ 1 การเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์

No.	ข้อกำหนดทางเทคนิค	Absolute Technical Requirement	% Relative Technical Requirement
B-9*	วัสดุในการผลิต	425.51	13.59
B-10*	ความทนทานของวัสดุโครงสร้าง	289.00	9.23
B-16*	อายุการใช้งาน	229.33	7.32
B-17*	ราคาของผลิตภัณฑ์	215.15	6.87
B-5*	สีส้น	207.82	6.64
B-3*	น้ำหนัก	191.19	6.11
B-13	ความสะดวกในการใช้งาน	178.42	5.70
B-4	ขนาด	174.00	5.56
B-15	คุณภาพของงานประกอบ	172.08	5.50
B-14	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	159.18	5.08
B-11	ความทนทานของอุปกรณ์จับยึด	148.84	4.75
B-8	อุปกรณ์เสริม	137.77	4.40
B-7	การตกแต่ง	117.73	3.76
B-1	รูปแบบมีความหลากหลาย	112.48	3.59
B-6	ลวดลาย	107.56	3.44
B-12	การทำความสะอาด	101.04	3.23
B-18	การบริการหลังการขาย	92.14	2.94
B-2	การใช้ประโยชน์	71.65	2.29

หมายเหตุ ข้อกำหนดทางเทคนิคเป้าหมายในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ประเภทชุดโซฟา

ดังนั้นจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดทางเทคนิคเป้าหมายในการออกแบบเบื้องต้น และได้ดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ประเภทชุดโซฟาจำนวน 3 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6 โดยมีแนวคิดและแรงบันดาลใจในการออกแบบผลิตภัณฑ์ในแต่ละรูปแบบ ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ชุดโซฟาไม้แบบที่ 1 แนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโซฟาไม้แบบที่ 1 ได้แนวคิดมาจากการนำรูปทรงของสถาปัตยกรรมจีนแบบดั้งเดิมในย่านเมืองเก่าที่สื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ของชุดโซฟาทำให้จดจำได้ง่ายและแตกต่างจากงานทั่วไปมาใช้ในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยรูปแบบของรูปทรงจะใช้การตัดทอนของอาคารมาใช้ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ไม้เสริมด้วยเบาะนั่งและหมอน เพื่อให้ผู้ใช้งานรู้สึกนั่งสบายและผ่อนคลาย แสดงดังรูปที่ 4



58

เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ได้มีการตัดทอนรูปทรงของไซดักปลาที่เป็นซี่ ๆ มาใช้ในการออกแบบเก้าอี้ไม้ไผ่ที่มีการสร้างสรรค์ให้มีความแตกต่างจากเก้าอี้ทั่วไป แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์ชุดโซฟาไม้ไผ่พร้อมโต๊ะ แบบที่ 3

3.4 ประเมินความพอใจในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาแบบใหม่

หลังจากได้ดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาแล้ว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปสำรวจความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ด้วยแบบสอบถามที่ 3 โดยการสำรวจจะใช้ลูกค้ากลุ่มเดิม คือ กลุ่มผู้ผลิตและร้านค้าตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ และกลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จำนวนทั้งสิ้น 105 ท่าน เพื่อให้ลูกค้าประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่รูปแบบใหม่ โดยผลการประเมินพบว่า ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิด มีความพึงพอใจเชิงเทคนิคด้านวัสดุที่มีคุณภาพมากที่สุด เป็นอันดับแรก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 รองลงมาเป็นความพึงพอใจเชิงเทคนิคด้านมีความทนทานแข็งแรง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 จากการวิจัยนี้พบว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีความพึงพอใจเพิ่มขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมในทุกคุณลักษณะ โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่เท่ากับ 4.39 คะแนน และค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมมีค่าเท่ากับ 3.36 คะแนน คิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ได้เท่ากับ 30.65 เปอร์เซ็นต์

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิดจำนวน 3 รูปแบบ เพื่อเพิ่มความหลากหลายสำหรับการเลือกซื้อของผู้บริโภค และเพื่อสร้างความพึงพอใจของลูกค้าและการตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผลของบ้านคุณภาพ เริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้า โดยนำข้อมูลความต้องการเหล่านั้นมาทำการจัดถ้อยคำใหม่ จากนั้นใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) เพื่อช่วยจัดกลุ่มที่มีความหมายคล้ายคลึงหรือซ้ำซ้อนเข้าด้วยกัน จากนั้นสำรวจหาระดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ เป็นคะแนนความสำคัญที่ได้จากผลประเมินความสำคัญของความต้องการ และนำความต้องการเหล่านั้นเข้าสู่

เมทริกซ์เฟสแรกๆที่เรียกว่าบ้านคุณภาพ เพื่อกำหนดความต้องการเชิงเทคนิค และนำความต้องการเหล่านั้นมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิด

หลังจากนั้นนำแบบของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทชุดโซฟาเชิงแนวคิดจำนวน 3 รูปแบบ ไปสำรวจความพึงพอใจของลูกค้ากลุ่มผู้บริโภคและผู้ผลิตที่มีต่อผลิตภัณฑ์แบบใหม่ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีความพึงพอใจเชิงเทคนิคในด้านวัสดุที่มีคุณภาพมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 รองลงมาเป็นความพึงพอใจเชิงเทคนิคในด้านมีความทนทานแข็งแรง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ซึ่งเป็นระดับความพึงพอใจระดับดี และผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ระดับดี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปี 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Kaewluan, P. Sriromreun, S. Jansri, P. Asadamongkon and S. Chuichulcherm, “Charcoal and Wood Vinegar Products from Hedge Bamboo by Using 200 Liters Community Charcoal Kiln Working with Gasified Biomass Burner”, Rajabhat Chiang Mai Research Journal, Vol. 22, 2021, pp. 229-245. (In Thai)
- [2] T. Ounjaijom and N.U.M. Inchai, “Effect of Bending Load on the Creep Deformation Behavior”, SWU Engineering Journal, Vol. 13. 2018, pp. 80-86. (In Thai)
- [3] T. Phuangchik, B. Harakotr and K. Buachum, “Selection of Bamboo (Dendrocalamus sericeus Cl. Sang Mon) for Biomass Production”, Thai Journal of Science and Technology. Vol. 9(4), 2020, pp. 512-520. (In Thai)
- [4] L. Qiong, Z. Ziyun and Z. Zhongfeng, “Study on the Modeling Innovative Design of Bamboo Products. International Journal of Trend in Research and Development”, Vol. 3, 2016, pp. 191-193.
- [5] T. Phuangchik, P. Ruensuka and Y. Jirakiattikul, “Study on Growth of Four Bamboo Varieties”, Thai Journal of Science and Technology, Vol. 4, 2018, pp. 302-309. (In Thai)
- [6] S. Rawangwong, C. Homkhiew, W. Boonchouytan, J. Chattong and M. Tehyo, “Application of Quality Function Deployment in Development of Products Pottery: A Case Study of Pottery Community Enterprise in Nakhon Si Thammarat Province”, Princess of Naradhiwas University Journal. Vol. 12, 2020, pp. 106-119.
- [7] American Supplier Institute, Quality Function Deployment: A Collection of Presentation and QFD Case Studies, Dearborn, MI: American Supplier Institute, 1987.
- [8] S. Rawangwong, C. Homkhiew, S. Sani, W. Boonchouytan, T. Kamnerdwam and M. Tehyo, “Design and Development of Furniture Products Made from Oil Palm Trunk Using Quality Function Deployment Technique: A Case Study of Oil Palm Wooden Furniture Manufacturer, Satun Province”, Princess of Naradhiwas University Journal, Vol. 2, 2020, pp. 199-220. (In Thai)

- [9] P. Sivasankaran, “Quality concepts in Industrial systems using QFD (Quality Function Deployment) – Survey”, SSRG International Journal of Industrial Engineering”, Vol. 1, 2021, pp. 7-13.
- [10] R. Sinthavalai and S. Ruengrong, “An Application of House of Quality (HOQ) for Designing Rice Product as a Souvenir”, Naresuan University Journal: Science and Technology, Vol. 3, 2018, pp. 36-51. (In Thai)
- [11] L. Marakanon, “The Application of Quality Function Deployment and Analytic Hierarchy Process Techniques for Quality Improvement of Agricultural Machinery Parts Logistics”, Journal of Industrial Education, Vol. 16, 2017, pp. 21-28. (In Thai)
- [12] T. Pirom, S. Rawangwong, A. Thongkamkaew and C. Hutye, “Design and Developed Product the Kindergarten Classroom Furniture with Rubber Wood Using Quality Function Development”, The Journal of Industrial Technology, Vol. 15, 2019, pp. 76-92. (In Thai)
- [13] R. Sinthavalai, P. Boonchu and S. Polmai, “An Application of House of Quality (HOQ) in Improving a Package of Medical Equipment”, The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Vol. 26, 2016, pp. 437-450. (In Thai)
- [14] C. Sritong and O. Sritong, “Product Development Using Quality Function Deployment (QFD) in Furniture Industry: A case Study of Office Chair Design”, Valaya Alongkorn Review (Humanities and Social Science), Vol. 2, 2016, pp. 111-124. (In Thai)
- [15] C. Yang, J. Cheng and X. Wang, “Hybrid Quality Function Deployment Method for Innovative New Product Design Based on the Theory of Inventive Problem Solving and Kansei Evaluation”, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11, 2019, pp. 1-17.

การจัดการปัญหาเส้นทางการขนส่งกรณีศึกษา โรงงานผลิตขึ้นรูปอลูมิเนียม

A Vehicle Routing Problem Solving:

The Case Study of Aluminium Extrusion Factory

ธรรมวิทย์ ประเสริฐ ^{1*} และวารกรณ์ ถนอมธรรม ²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Thammawit Prasert ^{1*} and Varagorn Tanomtarn ²

Department of Industrial Engineering and Management,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

*Corresponding author Email: prasert_t@silpakorn.edu *

(Received: February 27, 2022; Accepted: June 8, 2022)

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาโรงงานผลิตและขึ้นรูปอลูมิเนียม พบว่ายังไม่มีการจัดรถบรรทุกขนส่งสินค้าในลักษณะใช้เส้นทางร่วมกันในแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า และการบรรทุกสินค้าที่ไม่เต็มคัน ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมในการขนส่งสูง เพื่อลดต้นทุนในส่วนนี้ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และโปรแกรม LOGWARE ในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าเพื่อให้มีต้นทุนต่ำลง โดยการนำข้อมูลการขนส่งของลูกค้าจำนวน 89 ราย มาใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ปัญหาด้านต้นทุนรวมในการขนส่ง ผลการศึกษาพบว่าจากการจัดรถบรรทุกด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ให้ค่าต้นทุนค่าแรงพนักงานประจำรถบรรทุกต่ำที่สุดและวิธีการจัดลำดับรถบรรทุกแต่ละคันให้มีเส้นทางร่วมกันในแต่ละลูกค้าโดยใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ทำให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งรวมได้ถึง 16.38 % คิดเป็นมูลค่า 181,392.36 บาท/เดือน

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางการขนส่ง โปรแกรม LOGWARE 5.0 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

Abstract

According to the case study of a manufacturing and aluminium extrusion factory, there has been no shared route used by the delivery trucks in sending customer orders. Additionally, products are also not filled completely within the trucks which adds to the cost of delivery. To reduce transportation cost, researchers using objective function and the LOGWARE program for solving vehicle routing problem. The information of 89 customers was used as a prototype in analyzing. The study found that the objective function could reduce manpower cost as well as ordering each truck to share the route for different customers by using travelling salesman problem. The distribution cost could be cut by 16.38 percent, resulting in a monthly savings of 181,392.36 baht.

Keywords: Vehicle routing problem, LOGWARE 5.0, Objective function, Travelling Salesman Problem

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาได้ดำเนินกิจการผลิตและขึ้นรูปอลูมิเนียม โดยมีผลิตภัณฑ์มากกว่า 50,000 รายการ ในส่วนของกระบวนการขนส่งสินค้านั้น จะทำการวางแผนส่งสินค้า 1 วันก่อนส่ง โดยอาศัยประสบการณ์ของหัวหน้างาน ซึ่งยังไม่มีการจัดรถบรรทุกขนส่งสินค้าในลักษณะใช้เส้นทางร่วมกันในแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า และการบรรทุกสินค้าที่ไม่เต็มคัน ทำให้มีต้นทุนในการขนส่งที่สูง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเสนอแนวทางการวางแผนขนส่งสินค้าโดยการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และโปรแกรม LOGWARE 5.0 ให้สามารถวางแผนการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ ลดระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ลดต้นทุนค่าจ้างรถบรรทุกขนส่งสินค้า ค่าบำรุงรักษารถบรรทุกและค่าแรงพนักงาน โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะช่วยให้การจัดจำนวนและประเภทของรถบรรทุกให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้าในแต่ละวันและโปรแกรม LOGWARE จะช่วยวิเคราะห์หาลำดับเส้นทางการส่งสินค้าของรถบรรทุกแต่ละคัน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการขนส่งสินค้าในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 การพิจารณาระยะทางที่ใช้ในการเดินทางแต่ละสถานที่โดยใช้ Google Map และรถขนส่งสินค้าต้องออกเดินทางจากบริษัท และต้องย้อนกลับมายังบริษัทเมื่อส่งสินค้าแล้ว

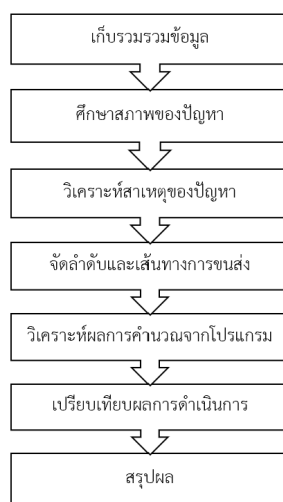
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ณัฐติ เียนคงคาและคณะ [1] ได้ทำการศึกษาวิธีการขนส่งสินค้าในการกระจายสินค้าประเภทเครื่องดื่มและวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการขนส่งให้มีระยะทางและค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุด โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม LOGWARE ในการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางและกำหนดเวลาการขนส่งของศูนย์กระจายสินค้าแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยมีจำนวนลูกค้าทั้งหมด 23 ร้าน ในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จากวิธีการทำงานเดิมกับวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถช่วยลดจำนวนเส้นทาง ระยะทางและเวลาในการเดินทาง รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยสามารถลดจำนวนเส้นทางจากวิธีการทำงานเดิมที่ร้านค้าย่อยสั่งเมื่อไรก็จัดส่งได้เลย นั่นคือมีจำนวนเส้นทาง 23 เส้นทาง ลดลงเป็น 3 เส้นทาง ลดระยะทางรวม 511 กิโลเมตร เป็น 126 กิโลเมตร เวลาในการขนส่งรวม 47 ชั่วโมง เป็น 40.6 ชั่วโมง ในการใช้รถกระบะทั้ง 3 คันต่อความต้องการขนส่งสินค้าใน 1 วัน โดยมีต้นทุนในการขนส่งลดลงจาก 2,238,098 บาท/ปี เป็น 1,638,000 บาท/ปี (ที่ราคาเช่ารถ 70 บาท/ชั่วโมง) นั่นคือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งรายปีได้ถึง 600,098 บาท กาญจนา ลีวัฒนากุล [2] ได้ศึกษาเส้นทางการขนส่งสินค้าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล เข้ากับการใช้พื้นที่รถบรรทุก 4 ล้อ ให้เหมาะสม โดยประยุกต์การใช้เมตาฮิวริสติกได้แก่การค้นหาแบบทาบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Excel solver และ Function evaluation มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาใช้ในองค์กร สามารถลดความเสี่ยงของการสูญเสียรายได้และโอกาสทางการค้าในกรณีเจ้าหน้าที่ประจำไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ยังส่งผลให้พนักงานรายอื่นสามารถหาระยะทางรวมต่ำที่สุดและมีการจัดการขนส่งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นำมาซึ่งการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง จากการทดลองผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีที่สินค้าเต็มคัน และส่งสินค้าให้กับลูกค้าไม่เกิน 2 รายให้ค่าที่เหมือนกัน กรณีที่มีลูกค้ามากกว่า 3 ราย ขึ้นไปวิธีการเมตาฮิวริสติกจะให้ผลในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดได้ดีกว่าและประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้มากกว่าวิธีการในปัจจุบันโดยเราสามารถลดค่าใช้จ่ายจากวิธีปัจจุบันคือ 62,766 บาท เป็นค่าใช้จ่าย 56,729.20 บาท จากวิธีการเมตาฮิวริสติก ค่าใช้จ่ายลดลงคิดเป็นร้อยละ 9.62 จากวิธีปัจจุบัน ศิวพร สุกสี และคณะ [3] ในการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้าไปยังตัวแทนจำหน่าย 20 แห่งที่อยู่ทั่วประเทศในรอบ 1 เดือนสำหรับบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ประดับยนต์ กรณีศึกษา จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนการขนส่งและใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเส้นทางและปริมาณการขนส่งสินค้าที่แน่นอนในแต่ละเส้นทาง โดยเปรียบเทียบผลจากวิธีการจัดเส้นทาง 2 วิธี คือ วิธีการเดินทางจากเมืองที่ใกล้ที่สุด และวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยักร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบโดย

ใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบทวิภาคด้วยตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ผลที่ได้พบว่า ทั้ง 2 วิธี ได้จำนวนเส้นทางทั้งหมด 6 เส้นทาง แต่วิธีการที่ให้ต้นทุนการขนส่งรวมต่ำที่สุดคือ วิธีการเดินทางจากเมืองที่ใกล้ที่สุด มีระยะทาง 8,034 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนการขนส่งรวม 20,647.38 บาท ในขณะที่วิธีอัลกอริทึมแบบประหยักร่วมกับตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีระยะทางรวม 8,192 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนการขนส่งรวม 21,053.44 บาท จะเห็นว่า บริษัทกรณีศึกษา ควรใช้การจัดเส้นทางเดินทางด้วยวิธีการเดินทางจากเมืองที่ใกล้ที่สุด ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมแบบประหยักร่วมกับตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย อัครพล ชุณหเกียรติ์สกุล [4] ได้ใช้ทฤษฎีที่เรียกว่าอัลกอริทึมแบบประหยักร่วมกับการแก้ปัญหาการขนส่งโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณประกอบกับ Microsoft Visual Basic for Application ในการพัฒนาโปรแกรมจากการทดลองใช้โปรแกรมค้นหาเส้นทางที่พัฒนาขึ้นมากับตัวอย่างการขนส่งจริงในปี พ.ศ. 2559 พบว่าหากใช้โปรแกรมนี้ช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางและพาหนะ จะสามารถลดระยะทางการขนส่งได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่ง ผลจากนำโปรแกรมเข้าไปช่วยในการตัดสินใจสำหรับการกระจายสินค้ารถบรรทุกทุกเข้า 1 คัน สามารถลดต้นทุนแปรผันในการขนส่งได้ 23.08 % ซึ่งหากนำไปใช้กับเที่ยวรถในอนาคต ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดเพชรบุรีซึ่งมีรถบรรทุกทุกเข้าไม่ต่ำกว่า 50 คันต่อเดือน จะสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้มากมาย ทำให้องค์กรมีข้อได้เปรียบในการแข่งขันระยะยาว นอกจากเรื่องต้นทุนแล้ว การใช้โปรแกรมนี้ ยังสามารถช่วยจัดสรรทรัพยากรด้านอื่น ๆ ได้ดีขึ้นอีกด้วย เช่น มีการใช้เวลาที่คุ้มค่ามากขึ้น ภาระหน้าที่ของพนักงานลดลง เป็นต้น Duan, C.J, Hu., J. and Garrott [5] ได้ทำการศึกษาการส่งดอกไม้ของ Braydon Farm LLC โดยในการศึกษานี้ได้ใช้ Excel solver เพื่อกำหนดการกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพไปยังร้านค้าทั้ง 14 แห่ง ในต้นทุนที่ต่ำที่สุด แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มจะถูกใช้ในการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกระจายสินค้าให้แก่ลูกค้า โดยผลการศึกษาการจัดลำดับและเส้นทางขนส่งข้างต้นสามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้

3. ขั้นตอนการศึกษา

จากการศึกษาปัญหาในการจัดส่งสินค้า ในการกระจายสินค้าแต่ละวันมีปริมาณสินค้าที่จัดส่งไม่แน่นอน จึงต้องมีการศึกษาและวิจัยการจัดการรถบรรทุกและการจัดเส้นทางขนส่งให้มีประสิทธิภาพเพื่อกระจายสินค้า ได้กำหนดการดำเนินงานตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และนำโปรแกรม LOGWARE มาประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาวิธีการวางแผนการส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 สร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์: เพื่อหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับปริมาณสินค้า ในต้นทุนที่ต่ำที่สุด
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min}Z = 1,290.32X + 645.16Y \quad (1)$$

ข้อจำกัดหรือเงื่อนไข

$$6,000X + 2,000Y \geq D \quad (2)$$

$$X \geq 0 \quad (3)$$

$$Y \geq 0 \quad (4)$$

โดย D คือ ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ต้องจัดส่งของแต่ละวัน (กิโลกรัม)

X คือ จำนวนรถ 6 ล้อที่ใช้ในการขนส่งสินค้า (คัน)

Y คือ จำนวนรถ 4 ล้อที่ใช้ในการขนส่งสินค้า (คัน)

	รถบรรทุก ประเภท 6 ล้อ	รถบรรทุก ประเภท 4 ล้อ
ความจุรถบรรทุก (กก./คัน)	6,000.00	2,000.00
ต้นทุนรถบรรทุก (บาท/คัน)	1,290.32	645.16
D = ปริมาณสินค้าที่ต้องส่ง(กก.)	77,563.15	
จำนวนรถบรรทุก(คัน)	13	0
ต้นทุนการขนส่ง (บาท)	16,774.16	-
ต้นทุนการขนส่งรวม (บาท)	16,774.16	

รูปที่ 2 การหาผลลัพธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

4.2 จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทำให้ทราบชนิดรถ และจำนวนรถที่เหมาะสมในการขนส่งดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการจัดสินค้าขึ้นรถบรรทุกแต่ละคันด้วยโปรแกรม LOGWARE [6] โดยการคำนวณแบบ Linear programming (TRANLP) ซึ่งจะนำปริมาณสินค้าที่จัดส่งกับความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถแต่ละประเภทมาคำนวณเพื่อจัดสินค้าขึ้นรถบรรทุกแต่ละคันได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3

TRANLP - D:\LOGWARE\TRAN01.DAT

Problem label: 1/10/2020

No. of rows: 14 No. of columns: 16

From\To	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
TRUCK-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRUCK-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demand	5429.9	1351.5	2034.6	17022.2	6166.3	1767.8	3920.7	2020.4	2009.9	5330.4

รูปที่ 3 การจัดสินค้าขึ้นรถบรรทุกแต่ละคันด้วย โปรแกรม LOGWARE

4.3 ทำการจัดลำดับการส่งสินค้าของรถบรรทุกแต่ละคันด้วยโปรแกรม LOGWARE โดยเลือกการคำนวณแบบ ROUTESEQ สำหรับการแก้ปัญหา Traveling salesman โดยจุดส่งสินค้าและรับสินค้าจะถูกระบุเป็นพิกัดเชิงเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากจุดพิกัดเหล่านี้ ซึ่งจะได้ลำดับการส่งสินค้าที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 4

ROUTESEQ - D:\LOGWARE\RSEQ01.DAT

Problem label: 1/10/2020 ROUTE No.2

Circuitry factor: 1.42 Map scaling factor: 1

Depot coordinates: X = 100.3494 Y = 14.316616

STOP DATA

Point no.	Point label	X coordinate	Y coordinate
1	Mechill	100.7437038	14.2300599
2	Global	100.9625071	13.1246763
3	Sunparadise	101.1710962	13.6002693

example files in the directory C:\LogWare

Exit

รูปที่ 4 การระบุพิกัดเพื่อหาลำดับการส่งสินค้าของรถบรรทุกแต่ละคัน

ตารางที่ 1 ผลการดำเนินงานหลังการนำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการขนส่งสินค้า

วันที่	น้ำหนักสินค้า (กิโลกรัม)	จำนวนรถ 6 ล้อ (คัน)	จำนวนรถ 4 ล้อ (คัน)	จำนวน ขนส่ง (เที่ยว)	น้ำหนักบรรทุก สูงสุด (กิโลกรัม)	ประสิทธิภาพ การใช้รถ (%)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1/10/2020	77,563.15	13	0	13	78,000	99.44	7,570.50
3/10/2020	28,634.05	5	0	5	30,000	95.45	1,338.00
5/10/2020	61,762.84	10	1	11	62,000	99.62	3,144.00
6/10/2020	49,601.22	8	1	9	50,000	99.20	3,303.00
7/10/2020	51,893.35	9	0	9	54,000	96.10	2,378.20
8/10/2020	52,027.54	9	0	9	54,000	96.35	3,532.00
9/10/2020	57,576.20	10	0	10	60,000	95.96	6,145.00
10/10/2020	60,001.50	10	0	10	60,000	100.00	4,353.50
12/10/2020	43,724.50	7	1	8	44,000	99.37	1,888.00
14/10/2020	44,897.87	8	0	8	48,000	93.54	2,247.00
15/10/2020	53,422.18	9	0	9	54,000	98.93	2,583.00
16/10/2020	61,032.15	10	1	11	62,000	98.44	3,933.00
17/10/2020	46,770.21	8	0	8	48,000	97.44	2,136.10
19/10/2020	74,414.55	13	0	13	78,000	95.40	3,628.00
20/10/2020	58,438.84	10	0	10	60,000	97.40	2,714.00
21/10/2020	66,604.30	11	1	12	68,000	97.95	4,485.00
22/10/2020	53,344.41	9	0	9	54,000	98.79	2,822.00
24/10/2020	43,596.70	7	1	8	44,000	99.08	2,762.00
26/10/2020	60,055.64	10	1	11	62,000	96.86	3,079.00
27/10/2020	45,629.66	8	0	8	48,000	95.06	3,022.00
28/10/2020	74,355.82	13	0	13	78,000	95.33	3,901.00
29/10/2020	56,658.30	10	0	10	60,000	94.43	2,680.00
30/10/2020	73,302.30	12	1	13	74,000	99.06	3,839.00
31/10/2020	56,928.70	10	0	10	60,000	94.88	2,956.00
รวม	1,352,235.98	229	8	237	1,390,000	97.28	80,439.30

จากการวางแผนแบบใหม่ในตารางที่ 1 ทำให้ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 มีการใช้รถ 6 ล้อ ในการส่งสินค้าจำนวน 229 เที่ยว และมีการใช้รถ 4 ล้อ ในการส่งสินค้าจำนวน 8 เที่ยว มีระยะทางที่ทำการส่งสินค้าทั้งหมดเป็นระยะทาง 80,439.30 กิโลเมตร

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษากการพัฒนาการจัดการรถบรรทุกสินค้าและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยวางแผนและเก็บข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตเพื่อนำมาวิเคราะห์และจัดทำการจัดการรถบรรทุกและลำดับเส้นทางการขนส่งให้เกิดประสิทธิภาพโดยการนำโปรแกรม Excel solver และ LOGWARE มาใช้ในการวิเคราะห์การจัดการรถบรรทุกและการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้าและเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งซึ่งผลที่ได้จากการนำโปรแกรมมาช่วยจัดการการขนส่งพบว่า หลังจากการ

พัฒนาการขนส่งของเดือนตุลาคม พ.ศ.2563 จะมีการใช้รถ 6 ล้อ เพิ่มขึ้นทำให้จำนวนเที่ยวการขนส่งของรถ 6 ล้อ เพิ่มขึ้นด้วยเป็น 18 เที่ยว คิดเป็น 8.53 % ซึ่งการใช้รถ 6 ล้อเพิ่มขึ้นทำให้ลดการใช้รถ 4 ล้อ ได้ถึง 189 เที่ยว คิดเป็น 95.94 % และระยะทางการขนส่งรวมลดลง 17,350.70 กิโลเมตรคิดเป็น 17.74 % รวมถึงการใช้พนักงานยกสินค้าลดลง 13 คนคิดเป็น 24.53 % และการบรรทุกสินค้าเฉลี่ยต่อคันเพิ่มขึ้นเป็น 97.25 % ของความจุรถบรรทุก จึงส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งเดือนตุลาคม พ.ศ.2563 ลดลง 16.38 % หรือคิดเป็นมูลค่า 181,392.36 บาท ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการพัฒนา

รายการ	ก่อนพัฒนา	หลังพัฒนา	ความแตกต่าง	การเปลี่ยนแปลง (%)
จำนวนเที่ยวส่งสินค้ารถ 6 ล้อ (เที่ยว/เดือน)	211	229	(18)	เพิ่มขึ้น 8.53 %
จำนวนเที่ยวส่งสินค้ารถ 4 ล้อ (เที่ยว/เดือน)	197	8	189	ลดลง 95.94 %
ระยะทางขนส่ง	97,790.00	80,439.30	17,350.70	ลดลง 17.74 %
จำนวนพนักงานยกสินค้า (คน/วัน)	53	40	13	ลดลง 24.53 %
ประสิทธิภาพการบรรทุก (%) (คัน)	81.10	97.25	(16.15)	เพิ่มขึ้น 19.91 %
ต้นทุนการขนส่ง (บาท/เดือน)	1,107,506.49	926,114.12	181,392.36	ลดลง 16.38 %

6. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบข้อดีในการนำความรู้ในการจัดการวางแผนการขนส่งมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุน แต่ยังมีปัญหาปริมาณการบรรทุกสินค้าเฉลี่ยต่อคัน เนื่องจากสินค้ามีลักษณะรูปร่าง น้ำหนักที่หลากหลาย ทำให้การวางแผนนำสินค้าขึ้นรถบรรทุกต้องมีการปรับให้เหมาะสมกับสภาพชิ้นงานในบางครั้ง และในส่วนของ การนำโปรแกรมไปปรับใช้งาน ยังต้องมีการพัฒนารูปแบบการใช้งาน รวมถึงจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของพนักงานต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Yenkhongkha and N. Kuttanan, "Vehicle Routing and Scheduling of a Liquor, Beer and Beverage Distributor", Undergraduate, Dhurakij Pundit University, 2017. (In Thai)
- [2] K. Limwatthanakun, "Routing and Loading for 4 Wheels Lubricants Cargo", Graduate, Mahanakorn University of Technology, 2015. (In Thai)
- [3] S. Suksee and T. Meecharoen, "Minimization of Transportation Cost by Applying the Vehicle Routing Problem: Case Study of Car Accessory Company", Kasem Bundit Engineering Journal, Vol. 9, No. 1, 2019, pp. 69-84. (In Thai)
- [4] A. Choonhakiatsakul, "Transportation Cost Reduction of a Transportation Company: Case Study of

Distribution Center in Phetchaburi Province", Graduate, Thammasat University, 2016. (In Thai)

- [5] C. Duan and S. Garrott, "Using Excel Solver to Solve Braydon Farms' Truck Routing Problem: A Case Study", South Asian Journal of Management Sciences, Vol. 10, No. 1, 2016, pp. 38-47.
- [6] Ronald H. Ballou, Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain, Prentice-Hall, 2004, pp. 13-14.

การพับขึ้นรูปตัววีโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์โดยเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์

V-bending of Sheet Metal with a Polymer Die

by Selective Laser Sintering Technology

ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ * เฉลิม ขุนเอียด พัทธระ กัญจนกาญจน์ และสัญญา คำจริง

ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Bhadpiroon Watcharasresomroeng *, Chalerm Khunead, Patchara Kanjanakarn and Sanya Kumjing

Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*Corresponding author Email: natchanun.a@rmutsb.ac.th *

(Received: June 24, 2022; Accepted: June 27, 2022)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองใช้แม่พิมพ์ที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุทำการพับขึ้นรูปตัววีโลหะแผ่นและเปรียบเทียบคุณภาพชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ที่ผลิตจากโลหะ แม่พิมพ์พอลิเมอร์ผลิตจากผงพอลิเอไมด์ 12 โดยใช้เทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ แม่พิมพ์ถูกออกแบบให้มีมุมพับเท่ากับ 90 องศา และมีรัศมีมุมของฟันซ์กับรัศมีมุมของตายเท่ากับ 3 และ 4 mm ตามลำดับ การทดลองทำโดยพับขึ้นรูปอลูมิเนียมผสมเกรด A5052-H32 ความหนา 1 mm ซึ่งมีขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 20 x 100 mm การพับขึ้นรูปกำหนดให้แม่พิมพ์มีเคลียร์แรนซ์เท่ากับความหนาของชิ้นงานเริ่มต้น จากการทดลองพบว่าเกิดการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปทั้งด้วยแม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พอลิเมอร์ โดยชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์มีปริมาณการดัดตัวกลับมากกว่าชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์โลหะเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 องศา แต่ปัญหาการพับขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียมผสมด้วยแม่พิมพ์โลหะ คือ การเกิดรอยจากแม่พิมพ์บนผิวชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ในขณะที่ไม่พบปัญหาดังกล่าวบนผิวชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์

คำสำคัญ: พับขึ้นรูป แม่พิมพ์พอลิเมอร์ เทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์

Abstract

This article aims to experiment with a polymer die through the additive manufacturing process in the V-bending of sheet metal while comparing the quality of the bent part with the metal die. The polymer die was made from powder polyamide 12, which uses a selective laser sintering technology. The die was designed with a bend angle of 90 degrees and a punch corner radius and a die corner radius of 3 and 4 mm, respectively. The experiment was performed by bending a 1 mm thick A5052-H32 grade aluminum alloy with an initial blank size of 20 x 100 mm. The bending defined the die clearance as equal to the initial workpiece thickness. From the experiments, it was found that springback occurred with the workpieces after bending with both the metal and polymer dies. The workpieces that were bent by a polymer die had a higher quantity of springback than

the workpieces that were bent by a metal die by an average of 2.59 degrees. However, the problem with bending aluminum alloy sheets with a metal die was that the die scratched the workpiece surface after bending, while no such problem was found on the workpiece that was bent with a polymer die.

Keywords: Bending, Polymer die, Elective Laser Sintering Technology

1. บทนำ

การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive manufacturing; AM) กำลังได้รับความนิยมและเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถผลิตได้ด้วยการผลิตแบบลดเนื้อวัสดุ (Subtractive manufacturing; SM) เช่น กระบวนการกลึง กัด และเจาะ เป็นต้น โดยปี 2019 ประเทศไทยมีการใช้ AM ในการผลิตมากเป็นอันดับ 2 ของอาเซียนรองจากประเทศสิงคโปร์ [1] ปัจจุบัน AM มีเทคโนโลยีต่าง ๆ ให้เลือกใช้ผ่านกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ที่หลากหลาย โดยมีเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ เทคโนโลยี Fused deposition modeling (FDM), Stereolithography (SLA) และ Selective laser sintering (SLS) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีต่างมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบแตกต่างกัน

งานขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยทั่วไปใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “แม่พิมพ์ (Die)” ในการขึ้นรูป เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของโลหะแผ่นให้ เป็นไปตามที่ต้องการ โดยแม่พิมพ์จะถูกผลิตจากโลหะกลุ่มเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) หรือเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) ด้วยการชุบแข็ง (Hardening) เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ แต่การสัมผัสกันระหว่างผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ (Metal to metal contact) มักส่งผลให้เกิดปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป เช่น ชิ้นงานถูกครูด (Scratch) จากเศษโลหะที่ยึดติดบนผิวแม่พิมพ์ (Adhesion) หรือการเกิดรอยเส้น (Marking line) หรือรอยที่เกิดจากแม่พิมพ์ (Die mark) บนผิวชิ้นงาน [2-6] ทั้งนี้การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานโดยใช้แผ่นพอลิเมอร์วางระหว่างผิวสัมผัสดังกล่าวหรือการใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ขึ้นรูปขึ้นงานโลหะ

Angsuseranee and Watcharasresomroeng [2] ได้อธิบายกลไกการเกิดรอยเส้นบนวัสดุชิ้นงานโลหะแผ่นที่ผ่านกระบวนการพับขึ้นรูปตัววี (V-bending) ว่าเกิดจากการเลื่อน (Slip) ของวัสดุชิ้นงานเพื่อยกตัว ณ ตำแหน่งบริเวณบ่าตาย (Die shoulder) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของพunch ทำให้ผิวของโลหะแผ่นเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic deformation) ในลักษณะรอยครูดกับบ่าตายที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็ง การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้แผ่นโพลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) ชนิดความหนาแน่นสูง (High density) วางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงาน แต่การแก้ปัญหาดังกล่าวไม่สามารถใช้แก้ปัญหาการเกิดรอยเส้นที่เกิดกับวัสดุชิ้นงานในลักษณะแทงได้ดังรายงานในงานวิจัยของ Watcharasresomroeng and Angsuseranee [3] โดยการแก้ปัญหาการพับขึ้นรูปตัววีชิ้นงานแท่งอลูมิเนียมทำได้โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene; PTFE) หรือที่รู้จักกันในชื่อ “เทฟลอน (Teflon)” กับ โพลีออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene; POM) มาใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ แต่การพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์พบปัญหาการติดตัวกลับ (Springback) ของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปมากกว่าชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติก (Elasticity) หรือช่วงยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงจากเครื่อง پرسขณะทำการพับขึ้นรูป ดังนั้นการลดปัญหาการเกิดการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปควรเลือกวัสดุพอลิเมอร์ชนิดที่มีการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติกต่ำขณะรับแรงมาใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Nakamura et al. [4] ที่ศึกษาการพับขึ้นรูปตัววีแผ่นอลูมิเนียมโดยใช้แม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววีที่ผลิตจากการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยี FDM ซึ่งเป็นการนำวัสดุพอลิเมอร์ในลักษณะเส้น (Filament) มาหลอมละลายแล้วฉีดขึ้นรูปทีละชั้น (Layer) จนได้เป็นชิ้นงานสำเร็จ การลดความรุนแรงการเปลี่ยนรูปของแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์สามารถทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีโครงสร้างผสมระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ เช่น ในงานวิจัยของ Zaragoza et al. [5] ที่ใช้โครงสร้างภายนอก (Frame) ของแม่พิมพ์ทำจากโลหะ ในขณะที่ Nakamura et al. [6] ใช้แท่งโลหะแทรก (Insert) ระหว่างแม่พิมพ์พอลิเมอร์เพื่อลดการเสียรูปในช่วงอัดพลาสติกของวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งงานวิจัยทั้งสองเป็นการใช้แม่พิมพ์พับขึ้นรูปจากการพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เทคโนโลยี FDM

การผลิตชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี FDM มีจุดเด่นในเรื่องราคาเครื่องที่ไม่สูงมากและสามารถใช้วัสดุในการขึ้นรูปได้หลายชนิดจึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมใช้ในปัจจุบัน แต่จุดด้อยของเทคโนโลยีนี้ คือ เรื่องความละเอียดและความแข็งแรงของชิ้นงานที่ผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยีอื่น ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) ในขณะที่การผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้เทคโนโลยี SLS หรือเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ ซึ่งเป็นการใช้แสงเลเซอร์แรงสูงหลอมผงวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปให้เป็นเนื้อเดียวกันจึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตได้มีความแข็งแรงสูงกว่าการผลิตด้วยเทคโนโลยี FDM แต่ข้อด้อยของเทคโนโลยี SLS ได้แก่ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีราคาสูงและวัสดุที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ดังกล่าวด้วยเทคโนโลยีนี้ได้ยังมีอยู่อย่างจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยีอื่น [3-5] จึงทำให้ยังเป็นเรื่องจำกัดในการเลือกใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ภาคอุตสาหกรรมในการใช้เทคโนโลยี SLS ในการผลิตเครื่องมือสำหรับขึ้นรูปโลหะด้วยวัสดุพอลิเมอร์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้แม่พิมพ์ที่ผลิตด้วยการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยเทคโนโลยี SLS ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานในงานผลิตชิ้นส่วนในภาคอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ [8-10] แล้วทำการเปรียบเทียบคุณภาพผิวและรูปทรงของชิ้นงานหลังจากการพับขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ที่ผลิตจากโลหะ

2. วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการศึกษา

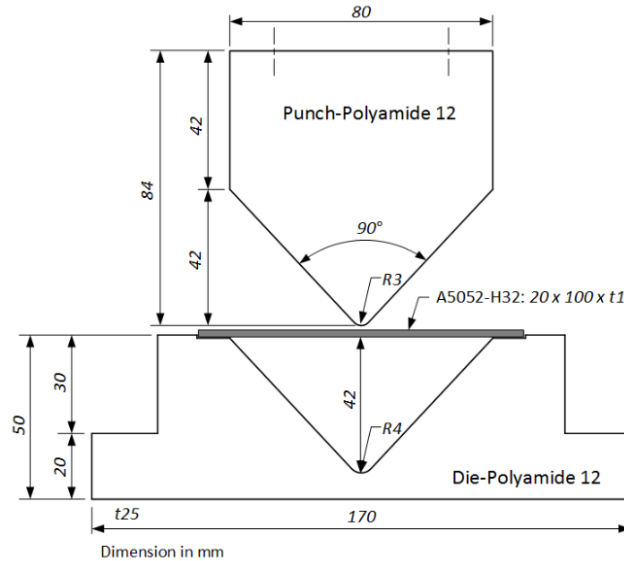
วัสดุเกรด A5052-H32 (JIS) ซึ่งเป็นวัสดุอลูมิเนียมผสมที่มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) สูง ทำให้ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการทนต่อการกัดกร่อน มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เรือ ยานยนต์ และอากาศยาน ถูกใช้เป็นชิ้นงานเริ่มต้น (Initial blank) ในการทดลองพับขึ้นรูปตัววี โดยมีความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวที่ได้จากใบรับรองวัตถุดิบที่ผู้ผลิตตรวจสอบและทดสอบ (Mill sheet) เท่ากับ 229 MPa และ 8% ตามลำดับ การศึกษานี้กำหนดให้มีตัวแปรในการทดลองพับขึ้นรูปตัววีเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

Parameter (Unit)	Value
Forming velocity (mm/s)	10
Punch radius (mm)	3
Die radius (mm)	4
Bend angle (degree)	90
Clearance (mm)	1
Lubrication	Non (Dry condition)

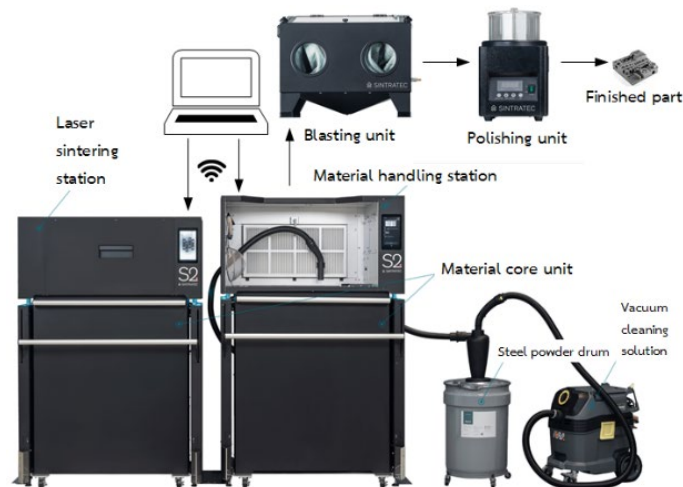
2.1 แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววี

แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววีถูกออกแบบตามตัวแปรที่ต้องการศึกษาดังตารางที่ 1 โดยมีขนาดเป็นไปดังรูปที่ 1 แม่พิมพ์ดังกล่าวขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี SLS โดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Sintratec รุ่น S2 มีพิภพการสร้างชิ้นงานในปริมาตรทรงกระบอก (Cylinder build volume) เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 160 mm มีความสูงเท่ากับ 400 mm และมีความละเอียดการพิมพ์ 3 มิติ ในแนวแกน Z เท่ากับ 0.001 mm



รูปที่ 1 แบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววีที่ใช้ในการทดลอง

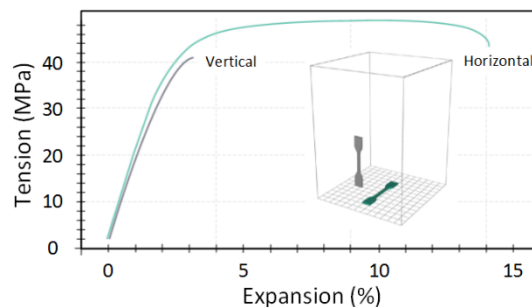
อุปกรณ์ที่ประกอบเป็นระบบเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS ของ Sintratec รุ่น S2 แสดงดังรูปที่ 2 โดยกระบวนการขึ้นรูปเริ่มจากการส่งข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ (3D CAD data หรือ Modelling data) ของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปในรูปแบบชนิดไฟล์ Standard triangle language (STL) ให้ชุด Material handling station (MHS) เพื่อเตรียมผงวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปให้แก่ Material core unit (MCU)



รูปที่ 2 ระบบการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS ของชุดเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Sintratec รุ่น S2

เมื่อทำการเตรียมผงวัสดุเสร็จสิ้น ชุด MCU จะถูกเคลื่อนย้ายจากชุด MHS เข้าสู่ชุด Laser sintering station (LSS) ซึ่งมีข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบจำลองดังกล่าวโดยการหลอมเหลวผงวัสดุด้วยลำแสงเลเซอร์ หลังจากชุด LSS ทำงานเสร็จสิ้น ชุด MCU จะถูกเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชุด MHS อีกครั้งเพื่อกำจัดผงวัสดุที่ไม่ถูกลำแสงเลเซอร์หลอม โดยผงที่ถูกกำจัดออกจะถูกดูดด้วยชุด Vacuum cleaning solution เพื่อเก็บผงวัสดุดังกล่าวใน Steel powder drum

วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ได้แก่ ผง (Powder) พอลิเอไมด์ 12 (Polyamide 12; PA12) หรือชื่อเรียกทั่วไปทางการค้าว่า “ไนลอน (Nylon)” ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรม โดยเฉพาะเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน มีสมบัติรับแรงกระแทกได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ที่สำคัญมีการจำหน่ายในลักษณะผงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS



รูปที่ 3 พฤติกรรมของวัสดุ PA12 จากการทดสอบด้วยแรงดึง [7]

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบด้วยแรงดึงตามมาตรฐาน DIN EN ISO 527-1 กับชิ้นทดสอบ PA12 ที่ถูกขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี SLS จากเส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงพบว่า ชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมตามแนวนอน (Horizontal) จะมีค่าความแข็งแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวสูงกว่าชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมตามแนวตั้ง (Vertical) ทั้งนี้ชิ้นทดสอบทั้งสองลักษณะยังคงมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมากกว่า 40 MPa ซึ่งเป็นค่าสมบัติทางกลที่อยู่ในช่วงมาตรฐานของวัสดุ PA12

แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Sintratec รุ่น S2 ในเรื่องพิสัยการสร้างชิ้นงานในปริมาตรทรงกระบอกกับมิติแม่พิมพ์ที่ต้องการขึ้นรูปดังรูปที่ 1 ดังนั้นในงานนี้จึงต้องเตรียมข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นงานตาย (Die) ตามแนวตั้ง

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ใช้เครื่องเซอร์โวเพรส (Servo press) ขนาด 10 kN ในการให้แรงขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่น เกรด A5052-H32 ความหนา 1 mm ซึ่งมีขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 20 x 100 mm โดยทำการทดลองพับขึ้นรูป จำนวน 30 ตัวอย่าง

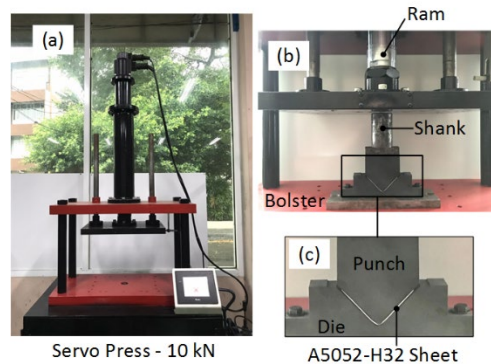
ชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปจะถูกตรวจสอบคุณภาพรูปทรงด้วยชุด Vision Unit ของ Mitutoyo รุ่น MF-B1010D ซึ่งประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อพ่วงกับชุดคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ QSPAK ผลการศึกษาดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลองพับขึ้นรูปชิ้นงานอลูมิเนียมผสมที่ถูกขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S50C (JIS) ที่มีค่าความแข็งแรงหลังการอบชุบและอบคืนตัวเท่ากับ 55 HRC โดยการทดลองนี้ใช้ตัวแปรเดียวกับการทดลองพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ตามตารางที่ 1 และเนื่องจากมีรายงานวิจัย [2-6] แสดงให้เห็นว่านอกจากปัญหาการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปแล้วชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะมีโอกาสเกิดรอยจากแม่พิมพ์บนผิวชิ้นงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจะได้

ตรวจสอบปัญหาดังกล่าวกับชิ้นงานที่ผ่านการทดลองพับขึ้นรูปโดยสายตายั่ว

3. ผลและการวิเคราะห์

แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ถูกขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีเฝ้าหลอมผงด้วยเลเซอร์ถูกวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งดิจิทัลแบบชอร์โนสเกล D (Digital Durometer Shore D) ตามมาตรฐาน PN-EN ISO 868:2005 ของ Mitutoya ได้ค่าความแข็งเท่ากับ

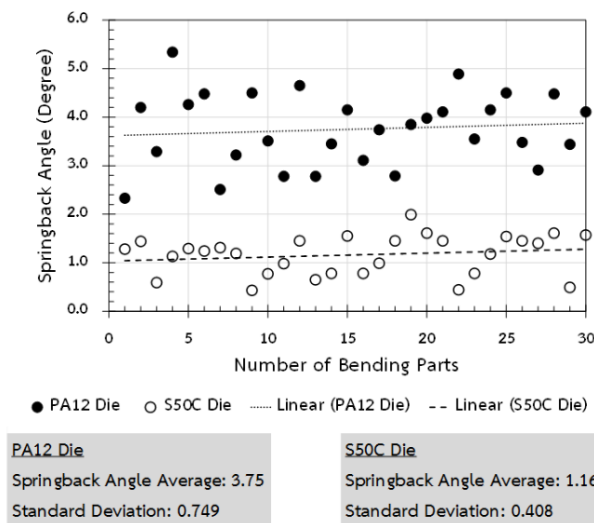
74



รูปที่ 4 (a) เซอร์โวเพรส (b) ลักษณะการติดตั้งแม่พิมพ์ และ (c) ลักษณะการพับขึ้นรูปตัววี

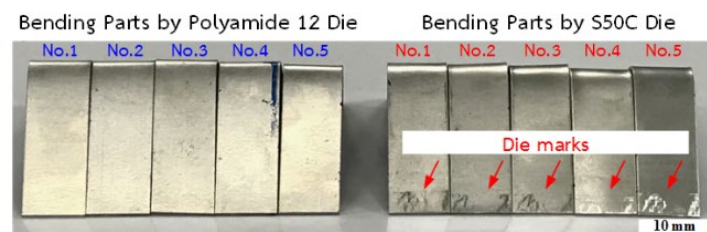
รูปที่ 4 (a) แสดงเครื่องเซอร์โวเพรสขนาด 10 kN ที่ใช้ในการทดลองพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะและพอลิเมอร์ โดยพื้นที่จะถูกประกอบกับแชนก์ (Shank) และถูกจับยึดกับชุดแรม (Ram) ของเครื่องเพรส ดังรูปที่ 4 (b) ในขณะที่สายจะถูกยึดติดกับโบลสเตอร์ (Bolster) ของเครื่องเพรส เมื่อเครื่องเพรสให้แรงผ่านชุดแรม โลหะแผ่น A5052-H32 จะถูกพับขึ้นรูปในลักษณะตามรูปที่ 4 (c)

จากการตรวจสอบชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปด้วยชุด Vision Unit พบว่า ชิ้นงานอลูมิเนียมแผ่น เกรด A5052-H32 ที่ถูกพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะกับ PA12 เกิดการดีดตัวกลับโดยมีค่าองศาการดีดตัวกลับดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 องศาการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

จากรูปที่ 5 พบว่า โลหะแผ่นชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เกรด S50C เกิดการติดตัวกลับหลังการพับขึ้นรูปน้อยกว่าชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยองศาการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปเท่ากับ 1.16 องศา และ 3.75 องศา ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุทำแม่พิมพ์มีผลต่อปริมาณการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ทั้งนี้ด้วยสมบัติอีลาสติกของวัสดุพอลิเมอร์และความแข็งที่มีค่าน้อยกว่าวัสดุโลหะทำให้แม่พิมพ์ดังกล่าวเกิดการเสียรูปอีลาสติก (Elastic deformation) ขณะรับแรงขึ้นรูป [3] แต่อย่างไรก็ดีการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะ ชิ้นงานจะเกิดรอยครูดจากแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่งผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ซึ่ง Angsuseranee and Watcharasresomroeng [2] ได้รายงานว่ารอยดังกล่าวเกิดจากการยกตัวของชิ้นงานระหว่างการพับขึ้นรูปและทำให้เนื้อวัสดุชิ้นงานบริเวณที่สัมผัสกับบ่าตายเกิดการครูดกับผิวของบ่าตายที่มีความแข็งสูง ซึ่งปัญหานี้ไม่พบกับชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์



รูปที่ 6 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

เมื่อพิจารณารูปในรูปที่ 5 พบแนวโน้มการติดตัวกลับของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนการพับขึ้นงานเพิ่มขึ้นกับทั้งชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พอลิเมอร์ ซึ่งในประเด็นนี้ยังไม่พบรายงานวิจัยใดได้กล่าวถึงสาเหตุดังกล่าว โดยผู้วิจัยจะได้ศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าวรวมถึงเรื่องอายุการใช้งานและความคุ้มค่าการใช้แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ทำจากผง PA12 ด้วยเทคโนโลยี SLS ในการพับขึ้นรูปโลหะแผ่นเมื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะหรือวัสดุพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการลดเนื้อวัสดุ

4. สรุป

แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ทำจากผง PA12 ด้วยเทคโนโลยี SLS สามารถพับขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียมผสม เกรด A5052-H23 ได้ โดยให้คุณภาพผิวชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปดีกว่าการพับด้วยแม่พิมพ์โลหะวัสดุ S50C ชุบแข็ง แต่ชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์จะเกิดการติดตัวกลับสูงกว่าชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์โลหะเฉลี่ย 2.59 องศา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานชิ้นนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Leksirinukul. (2019, August 15). Additive manufacturing. [Online]. Available: <https://www.salika.co/2019/08/15/additive-manufacturing-growth-opportunities-in-asean> (In Thai)
- [2] N. Angsuseranee and B. Watcharasresomroeng, “Marking Lines Mechanism and Problem Solving in the Sheet Metal Bending”, *RMUTL Engineering Journal*, Vol. 5, 2020, pp. 10–18. (In Thai)
- [3] B. Watcharasresomroeng and N. Angsuseranee, “A solution to die marks in the bending operation of an aluminum alloy shaft”, in *The 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Thailand, 2020, pp. 177-181.
- [4] N. Nakamura, K. Mori, F. Abe and Y. Abe, “Bending of sheet metals using plastic tools made with 3D printer”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 15, 2018, pp. 737–742.
- [5] V.G. Zaragoza, M. Strano, L. Iorio and M. Monno, “Sheet metal bending with flexible tools”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 29, 2019, pp. 232–239.
- [6] N. Nakamura, K. Mori and Y. Abe, “Applicability of plastic tools additively manufactured by fused deposition modelling for sheet metal forming”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 108, 2020, pp. 975–985.
- [7] Sintratec. (2021, March 10). Tensile test Sintratec PA12. [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2574/6810/files/Factsheet_Tensile_Test_Sintratec_PA12_EN.pdf?2563564693558467541
- [8] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.
- [9] S. GmbH, *Metal Forming Handbook*, Berlin, Springer Berlin, Heidelberg, 1998.
- [10] I. Suchy, *Handbook of die design*, Estados Unidos, McGraw-Hill, 2006.

**การเลือกใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนของการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน
สำหรับท่อน M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร**
**Selection of upper electrode tips for the resistance projection welding of
M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet**

ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว ฐิติ หมอรักษา* ปณณวิชัย พรวัฒนอนันต์ และสถาพร ศิริแพทย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอเขาชะเมา จันทบุรี 22210

Teerawut Khuenkaew, Thiti Mhoraksa*, Pannawit Phonwatthanaanan, Sathaphon Siriphaet

Department of Industrial Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology,

Chanthaburi campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Khao Kitchakut, Chanthaburi, 22210

*Corresponding author Email: thiti_mh@rmutto.ac.th

(Received: June 22, 2022; Accepted: June 26, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปร่างของหัวอิเล็กโทรดด้านบนในการเชื่อมความต้านทานแบบป้อนสำหรับท่อน M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบป้อน กระแสสลับค่าฟัดกำลัง 50 กิโลโวลต์แอมแปร์ 50 เฮิร์ต คุณภาพของรอยเชื่อมผ่านการตรวจสอบโดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ และค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม ผลการทดลองได้อธิบายลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมทั้งบนพื้นผิวด้านบนของท่อน และบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ส่วนค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมมีผลการทดลองที่แตกต่างกันเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมแตกต่างกัน การใช้หัวอิเล็กโทรดแบบที่ 3 ถูกเลือกเพื่อใช้ในการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน เนื่องจากทำให้รอยเชื่อมเกิดลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมที่ดี ให้ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้า

คำสำคัญ: กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน รูปร่างหัวอิเล็กโทรด ค่าแรงกดสูงสุด

Abstract

The objective of this research is to select the geometry of the upper electrode tip used in the resistance projection welding (RJW) of weldment between M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet. The projection welding was performed using a 50 kVA AC device and a 50 Hz RJW machine, while the quality of the weld was assessed by considering the weldment appearance and maximum compression force. The results of the study explained the weldment appearance of both the M12 T-shape weld nut and the surface of the SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet and the maximum compression force for all welds with the various different heat inputs. The electrode geometry type 3 achieved acceptable weld quality and the

maximum compression force is able to achieve the desired quality requirements in the projection welding process.

Keywords: Resistance projection welding, Electrode geometry, Maximum compression force

1. บทนำ

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุม (Resistance projection welding) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในการประสานโบลท์หรือทำให้ติดกับแผ่นงาน เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีความรวดเร็ว แม่นยำ และสามารถประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์งานเชื่อมอัตโนมัติได้ ลักษณะของการเชื่อมความต้านทานแบบปุมจะประกอบด้วยชิ้นงานที่มีปุมเล็ก ๆ (Projection) 3 ถึง 4 ปุม โดยปุมนี้จะเป็นจุดสัมผัสที่จะทำให้เกิดความร้อน และหลอมละลายให้ติดกันกับแผ่นงานเชื่อมด้วยแรงกดจากหัวอิเล็กโทรด [1] การเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับนิตแต่ละขนาดกับแผ่นงานเชื่อมแต่ละชนิดต้องมีการปรับตั้งปัจจัยการเชื่อมให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้ชิ้นงานหลังการเชื่อมมีสมบัติทางกลที่สามารถที่ต้านทานแรงที่ทำการกระทำโดยไม่เกิดการเสียหายระหว่างการประกอบในสายการผลิตรถยนต์ [2]

จากการศึกษาวรรณกรรมทั้งภายในและนอกประเทศพบว่า มีนักวิจัยหลาย ๆ ท่านทำการศึกษาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบปุม เช่น โยธิน จันทรทอง และกรณชัย กัลยาศิริ [3] ได้สรุปผลการศึกษาเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับการเชื่อมเนื้อขนาด M8 กับเหล็กแผ่นรีดร้อนเกรด SPHC270 ความหนา 2.9 มิลลิเมตร โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแรงกดหัวอิเล็กโทรดเท่ากับ 2.93 kN กระแสไฟฟ้าเชื่อมเท่ากับ 10.5 kA และเวลาในการเชื่อมเท่ากับ 13 Cycles ให้ค่าแรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 134.2 N.m Zygmunt Mikno และคณะ [4] ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของรอยเชื่อมจากการเชื่อมความต้านทานแบบปุมของเหล็ก DX53 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแรงกด และการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดที่ควบคุมด้วยระบบนิวเมติก(classical) และการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดด้วยระบบหัวขับไฟฟ้า (Electric actuator) ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การควบคุมแรงกดและการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดด้วยระบบหัวขับไฟฟ้าทำให้บริเวณผลกระทบจากความร้อน (Heat affect zone) มีขนาดเล็ก คุณภาพรอยเชื่อมดีกว่าการควบคุมด้วยระบบนิวเมติก

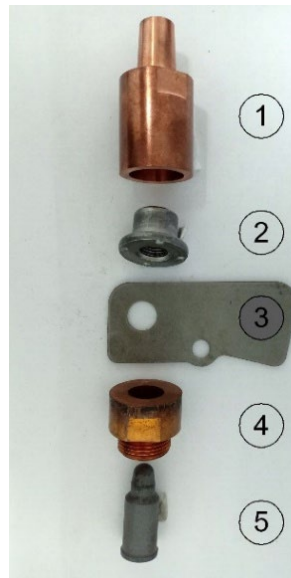
จากการศึกษาการเชื่อมความต้านทานแบบปุม นักวิจัยมุ่งเน้นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยการเชื่อมได้แก่ แรงกด หัวอิเล็กโทรด กระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อม แต่การที่จะได้มาซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมแท้จริงแล้วยังมีปัจจัยการเชื่อมอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม โดยเฉพาะลักษณะรูปร่างของหัวอิเล็กโทรด (Electrode geometry) ซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกใช้ตามคำแนะนำจากคู่มือการใช้งานจากผู้ผลิตเครื่องเชื่อม โดยการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความหนาของชิ้นงานเชื่อม สารเคลือบผิวของวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม [5] ดังนั้นเพื่อให้ได้คุณภาพของรอยเชื่อมที่ดีจึงมีการศึกษาเรื่องผลกระทบที่เกิดจากลักษณะรูปร่างของหัวอิเล็กโทรด [6]

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ทำร่วมกับโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปร่างของหัวอิเล็กโทรดด้านบนในการเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับนิต M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน 3 รูปแบบ จากการเชื่อมด้วยปัจจัยการเชื่อมความต้านทานแบบปุมแบบคงที่ ผลการทดลองที่นำมาพิจารณาได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังผ่านการเชื่อม และค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Compression Force)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและวิธีการทดลอง

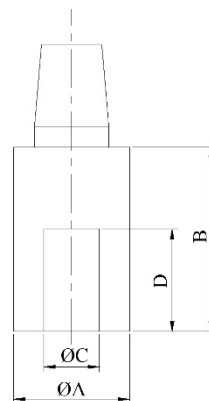
ชิ้นงานเชื่อมประกอบด้วยท่อน้ำ M12 ตามมาตรฐาน JIS B 1196 กับเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS G 3302 ทำการเชื่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมความดันแบบปั๊ม PANASONIC รุ่น YR500-CM2 มีพิกัดกำลัง 50 kVA, 50 Hz ผู้วิจัยทำการปรับตั้งค่าปัจจัยการเชื่อม เตรียมชิ้นงาน อุปกรณ์ และองค์ประกอบของการเชื่อม ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของการเชื่อม

(1) หัวอิเล็กโทรดด้านบน (2) ท่อน้ำ M12 (3) เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC (4) หัวอิเล็กโทรดด้านล่าง (5) ไกด์พิน

โดยใช้หัวอิเล็กโทรดด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 30 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุ CuCrZr และมีไกด์พินทำจากวัสดุ KCF เป็นตัวประคองท่อน้ำ M12 ส่วนหัวอิเล็กโทรดด้านบน 3 รูปแบบทำจากวัสดุ CuCrZr มีรูปร่าง มีขนาดตามรูปที่ 2 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 2 รูปร่างหัวอิเล็กโทรดด้านบน

ตารางที่ 1 ขนาดของหัวอิเล็กโทรดด้านบน

ขนาด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
เส้นผ่านศูนย์กลาง A	25	25	30
ระยะ B	45	45	45
เส้นผ่านศูนย์กลาง C	ไม่มี	12	23
ระยะ D	ไม่มี	25	25

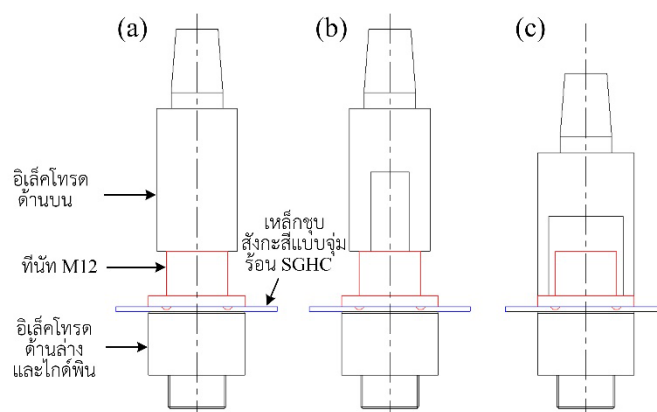
จากนั้นทำการเชื่อมชิ้นงานจำนวน 15 ชิ้นงาน หลังการเชื่อมเสร็จจะนำไปตรวจสอบทางกายภาพ และทำการทดสอบค่าแรงกดสูงสุด แล้วบันทึกผลการทดลอง สำหรับระดับปัจจัยการเชื่อมได้กำหนดเป็นค่าคงที่ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

ปัจจัยการเชื่อม	ค่าปัจจัย	หน่วย
แรงกดหัวอิเล็กโทรด	7.0	กิโลนิวตัน
กระแสไฟฟ้าเชื่อม	10,800	แอมแปร์
เวลาเชื่อม	15	ไซเคิล

2.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม

คุณลักษณะของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปั๊มที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือลักษณะทางกายภาพ (Appearance) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นว่ารอยเชื่อมมีจุดบกพร่องหรือมีคุณภาพที่ดี [7] ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการพิจารณาสภาพภายนอกที่เกิดจากการเชื่อมบริเวณที่นัท และรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC เนื่องจากตำแหน่งการกดของหัวอิเล็กโทรดด้านบนทั้ง 3 รูปแบบมีความแตกต่างกันตามรูปที่ 3 จากรูปจะเห็นว่า หัวอิเล็กโทรดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีตำแหน่งการกดบริเวณผิวด้านบนของที่นัท ส่วนแบบที่ 3 มีตำแหน่งการกดบริเวณผิวล่างของที่นัท

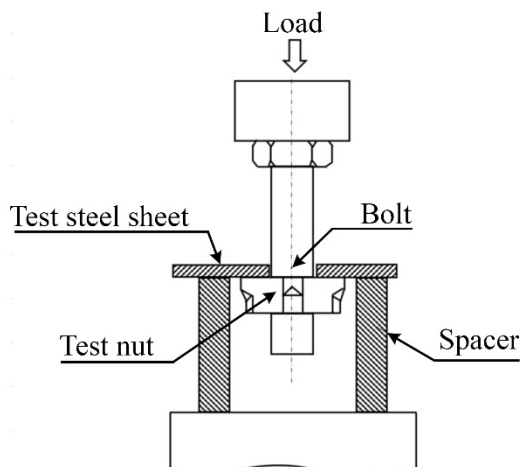


รูปที่ 3 ลักษณะการกดหัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

2.3 การทดสอบเพื่อหาค่าแรงกดสูงสุด

การทดสอบเพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดจะต้องมีโบลท์ขันเกลียวผ่านทึนท โดยมีอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 4 การทดสอบจะใช้แรงกดที่หัวของโบลท์ให้ตรงกับแกนกลางรู หลังจากนั้นทำการวัดแรงกดที่ทำให้ทึนทหลุดออกจากแผ่นเหล็ก

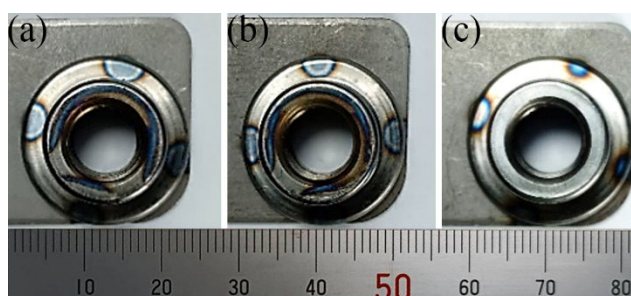


รูปที่ 4 การทดสอบหาค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม

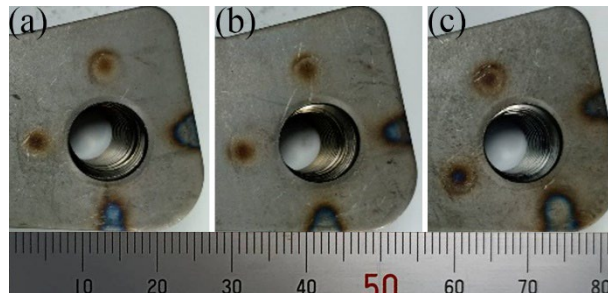
จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมด้วยสายตาจะเห็นได้ว่า บนพื้นผิวบริเวณจุดสัมผัสของหัวอิเล็กโทรดกับทึนท มีร่องรอยการอาร์คของกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่ส่งผ่านทึนทไปสู่ปุ่มด้านล่างตามรูปที่ 5 (a) และ (b) ซึ่งเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามลำดับ ส่วนการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 3 ไม่ปรากฏร่องรอยการอาร์คตามรูปที่ 5 (c) ลักษณะรอยอาร์คที่เกิดขึ้นรูปที่ 5 (a) และ (b) เป็นจุดบกพร่องจากการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มหากใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมที่สูงจนทำให้ยอดเกลียวของทึนทเกิดการเสียรูปหรือเกิดการระเบิดของน้ำโลหะ (Expulsion) บริเวณรอยเชื่อมเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมมากเกินไป [8] แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบโดยใช้ Thread Plug Gauge M12 ขันผ่านเกลียวของทึนท พบว่าชิ้นงานทดสอบทั้งหมดไม่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของทึนทจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี แบบจุ่มร้อน SGHC พบว่ารอยเชื่อมบริเวณปุ่ม (Projection) จะมีความเข้มสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนที่แตกต่างกันโดยใช้แบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะมีความเข้มสีของรอยเชื่อมใกล้เคียงกัน ดังแสดงตามรูปที่ 6 (a) และ (b) ส่วนการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 3 มีความเข้มสีของรอยเชื่อมสูงที่สุดดังแสดงตามรูปที่ 6 (c)



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC จากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มหากใช้ปัจจัยการเชื่อมกระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันจะทำให้สีของรอยเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [9] เมื่อปัจจัยการเชื่อมอยู่ในระดับที่สูง สีของรอยเชื่อมจะมีสีเหลืองเข้มเนื่องจากเกิดค่าความร้อนสูงที่กระจายตัวภายในเนื้อวัสดุจนเกิดการหลอมละลายเนื้อโลหะบริเวณรอยเชื่อม ค่าความร้อนที่ต้องการในการเชื่อมจะแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าเชื่อม เวลาเชื่อม และผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้าตามสมการที่ 1 [10]

$$H = I^2 \times R_T \times t \quad (1)$$

เมื่อ H คือ ค่าความร้อนที่ได้ (จูล)
 I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเชื่อม (แอมแปร์)
 R_T คือ ผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)
 t คือ เวลาเชื่อม (วินาที)

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการคงที่ระดับของปัจจัยกระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมจากสมการที่ 1 ค่าความร้อนจะขึ้นอยู่กับผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อมีการเชื่อมเกิดขึ้นในระบบกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะไหลผ่านหัวอิเล็กโทรดด้านบน ผ่านที่หนีต ผ่านแผ่นงานเชื่อม และผ่านหัวอิเล็กโทรดด้านล่างจนเป็นวัฏจักรของการเชื่อม ดังนั้นการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 1 และ 2 ผลรวมของค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงค่าสูงกว่าแบบที่ 3 ดังนั้นค่าความร้อนที่ต้องการให้เกิดการหลอมละลายของโลหะจะมีค่าสูงกว่าแบบที่ 3 ด้วยเช่นกัน

3.2 ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม

เพื่อให้สอดคล้องกับการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ ค่าแรงกดสูงสุดภายใต้มาตรฐาน TSB 1503G ที่นั้ตต้องต้านทานแรงกดสูงสุดมากกว่า 5,685 นิวตัน การทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมถูกกำหนดในข้อตกลงเรื่องการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน หัวข้อการทดสอบแบบทำลาย การทดสอบจะใช้แรงกดกระทำในทิศทางตั้งฉากกับที่นั้ตแล้วทำการกดจนที่นั้ตหลุดออกจากแผ่นงานเชื่อม ทำการบันทึกค่าแรงกดสูงสุด งานวิจัยนี้ทำการเชื่อมชิ้นงาน จำนวน 15 ชิ้นงานทดสอบ โดยมีผลการทดลองจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนทั้ง 3 แบบ แบบละ 5 ชิ้นงานทดลอง สำหรับผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดเรียงลำดับจากน้อยไปหามากเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 2 แบบที่ 1 และแบบที่ 3 โดยมีค่าโดยเฉลี่ย 4,873 นิวตัน 5,595 นิวตัน และ 8,222 นิวตันตามลำดับ และมีเพียงแค่การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ลูกค้ากำหนด

ตารางที่ 3 ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบต่าง ๆ (หน่วย : นิวตัน)

ชิ้นงานทดลอง	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1	5,660	4,894	7,915
2	5,548	4,957	8,253
3	5,677	4,894	8,568
4	5,578	4,832	8,126
5	5,512	4,788	8,248
ค่าเฉลี่ย	5,595	4,873	8,222

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมมีค่าไม่เท่ากัน จะเห็นได้จากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 1 แบบที่ 2 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมมีค่าต่ำ เนื่องจากระบบมีความต้านทานไฟฟ้ารวมที่มากจึงทำให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมไหลผ่านที่นั้ตจากจุดบนสุดถึงจุดที่ต่ำที่สุด(บริเวณปุ่ม) ได้ยาก และมีปริมาณน้อย ส่วนการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมมีค่าสูงกว่า เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมมีค่าน้อยจึงทำให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมไหลผ่านได้ดี หากเปรียบเทียบการไหลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมผ่านตัวของที่นั้ต การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 การไหลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะสูงกว่าแบบอื่น เนื่องจากการตำแหน่งการกดของหัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 กับที่นั้ตจะกดบริเวณผิวด้านล่าง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะไม่ไหลผ่านที่นั้ตทั้งชิ้นงาน แต่จะเป็นการไหลไปสู่บริเวณปุ่มของที่นั้ตโดยตรง จึงทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าที่สูง หากช่วงเวลาของวัฏจักรการเชื่อมมีความเหมาะสมจะทำให้เกิดรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ รอยเชื่อมมีความแข็งแรง

4. สรุป

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ไม่ทำให้เกิดร่องรอยจากการอาร์คที่อาจเป็นจุดบกพร่องจากการเชื่อม อีกทั้งชิ้นงานเชื่อมมีค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ในการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มสำหรับที่นั้ต M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบปุ่ม PANASONIC รุ่น YR500-CM2 พิกัดกำลัง 50 kVA, 50 Hz

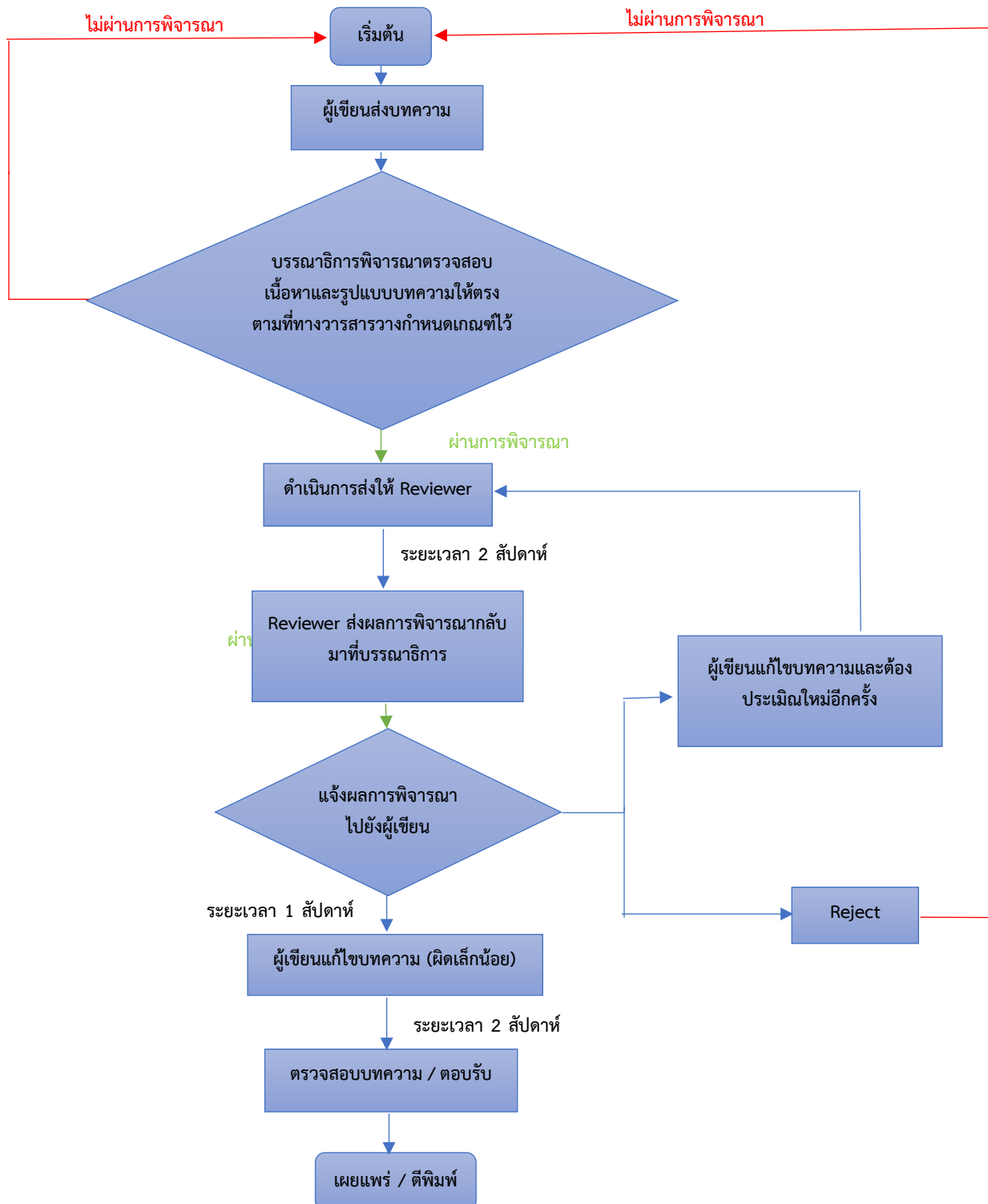
5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสร็จสมบูรณ์ ต้องขอขอบพระคุณบริษัทกรณิศศึกษา ที่ได้อนุญาตให้คณะวิจัยเข้าศึกษาวิจัย ให้ข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Wiangkaew and C. Laprangsirat, Steel Quick Reference, SE-ED Book Center, Bangkok, pp. 104-105, 2011. (In Thai)
- [2] F. Valdir, S. Danilo, F. Gilmar and R. Fernando, “Inspection of projection welded automotive nuts through B-scan ultrasonic acoustic imaging”, *18th World Conference on Nondestructive Testing*, Durban, South Africa, 2012, pp. 1-10.
- [3] Y. Janthong and K. Kanlayasiri, “Optimization on Resistance Projection Welding Variables for M8 Nuts and SPHC270 Hot-Rolled Mild Steel Plates Welding”, *The 39th Conference of Industrial Engineering Network 2013*, Chonburi, Thailand, October 16-18, 2013. (In Thai)
- [4] Z. Mikno, M. Stepień and W.P. Grzesik, “Optimization of resistance welding by using electric servo actuator”, *Weld World*, Vol. 61, 2017, pp. 453-462.
- [5] O. Annette, AWS welding handbook welding processes part2, 9th ED. USA, American Welding Society. 2007.
- [6] Y. Li, Z. Wei, Y. Li, Q. Shen and Z. Lin, “Effects of cone angle of truncated electrode on heat and mass transfer in resistance spot welding”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, 2013, pp. 400–408.
- [7] T. Khuenkaew. “Resistance spot welding of SUS316L and SUS425 stainless steels”, Ph.D. dissertation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Industrial Engineering, 2019. (In Thai)
- [8] Y. Luo, W. Rui, X. Xie. and Y. Zhu, “Study on the nugget growth in single-phase AC resistance spot welding based on the calculation of dynamic resistance”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 229, 2016, pp. 492–500.
- [9] B. Kocabekir, R. Kaçar, S. Gündüz and F. Hayat, “An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weld ability of 316L austenitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 195, 2008, pp. 327–335.
- [10] M.H. Bina, M. Jamali, M. Shamanian and H. Sabet, “Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 75, 2014, pp. 1371–1379.

ขั้นตอนการตีพิมพ์ลง วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ



**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ**

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

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

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

โทรสาร.....อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

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

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM
FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF MANUFACTURING AND MANAGEMENT TECHNOLOGY

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

Name-Surnames

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

Address (for Contact).....

.....

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

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

Name of Article:.....

.....

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

The days of Online Submission.....

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

Sign

(.....)

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



สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดยสมาคม

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ ๖/๒๕๖๕ อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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