

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2568

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่าง
พงษ์ศักดิ์ รุณกรโกก ชูติ หมอรักษา กนกวรรณ เทธิกสูงเนิน ภูมิบุญ พลต่าง จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร วรรณนิศา นุชคุ้ม และ สุภัตรา หมู่ป่ารัง
- การปรับปรุงผังโรงงานด้วยการวางผังอย่างมีระบบร่วมกับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
จารุวรรณ ดีเสมอ สมเกียรติ ภูดี และ ภักตรา ภูประงค์
- แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม
วิรัช คำจันทร์ พรชนก โกพล และ ศักดิ์ดา คำจันทร์
- การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก: กรณีศึกษา
ธัตนากรณ วงษ์ทอง ธรรวดี เชื้อนแก้ว เอกองค์การ น้อมมนัส ปรวิทย์ เจียนดอน ปรเมศวร์ เป้าวรรณ และ เฉลิมชัย กุลเลียบ
- การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ
วิทยา ศิริคุณ วิวัฒน์ เพชรสุวรรณ ชูไธดี สนิ สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ และ รอมฎอน บุระพา
- การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต
ปริมประภา จุลบุตติ ธนพล สิทธิศักดิ์ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย ธัตนากรณ วงษ์ทอง และ ปรเมศวร์ เป้าวรรณ
- การวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11
ธนศักดิ์ ธัตนากรณพิบูล สุรพจน์ วัชรภาณุกุล รุ่งวสันต์ ไกรกลาง อากา เชื้อดี สุรัตน์ วรรณศรี สุรศักดิ์ มะธิตะปะนา และ ภานุกร บุญสุข
- พฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$
รตบงกช แสนจุ่ม ยิงยศ ทิพย์ศรีราช ชูติ หมอรักษา และ กมลภัสสร มั่นศิลป์
- การศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิวเวอร์พลาสติกคอมโพสิต สำหรับการใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม
บุษบา การุณจิต ไกรสุข บุญประดิษฐ์ ปฏิกาน นิลเพชร และ ไชยภัตชนก รัมมะรัตน์

การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่าง	1
Cost Reduction in Automotive Parts Production by Applying Sampling Standards	
โดย : พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก จูติ หมอรักษา กนกวรรณ เกริกสูงเนิน ภูมิบุญ พลต้าง จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร วรรณนิศา นุชคุ้ม และ สุภัทรา หมูป่าร้าง	
การปรับปรุงผังโรงงานด้วยการวางผังอย่างมีระบบร่วมกับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์	13
Facility Layout Improvement Using Systematic Layout Planning and Multi-Criteria Decision Making: A Case Study in the Electronics Industry	
โดย : จารุวรรณ ดีเสมอ สมเกียรติ ภูติ และ ภัทรา ภูปร่างค์	
แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม	23
Guidelines for Improving the Efficiency of Drinking Water Production Process	
A Case Study of Drinking Water Plant in Nakhon Phanom Province	
โดย : วิเรชา คำจันทร์ พรชนก โกพล และ ศักดิ์ดา คำจันทร์	
การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก: กรณีศึกษา	35
Reducing Changeover Time in the Plastic Injection Process: Case Study	
โดย : รัตนภรณ์ วงษ์ทอง อีรุฒิ เชื้อนแก้ว เอกองค์การ น้อมมนัส ปรีวิทย์ เจียนดอน ประเมศวร์ เป้าวรรณ และ เฉลิมชัย กุลเลียบ	
การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ	45
Investigation of the Effects of Welding Path Patterns on the Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy in GMAW Using a Robotic Welding Arm	
โดย : วิทยา ศิริคุณ วิษเนศ เพชรสุวรรณ ชูไฮติ สนิ สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ และ รอมฎอน บุระพา	
การพัฒนากระบวนการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต	57
Development of Waste Data Monitoring and Analysis System in Production Process	
โดย : ปริมประภา จุลบุตติ ธนพล สิทธิศักดิ์ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย รัตนภรณ์ วงษ์ทอง และ ประเมศวร์ เป้าวรรณ	

การวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11	67
Analysis of Water Jet Cutting Parameters on Surface Roughness of SKD 11 Steel	
โดย : ธนศักดิ์ รัตนพุทธิพิบูล สุรพจน์ วัชโรภากุล รุ่งวสันต์ ไกรกลาง ฉกาจ เชื้อดี สุรัตน์ วรรณศรี สุรศักดิ์ มะธิโตปะน้า และ ภาณุกร บุญสุข	
พฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$	80
Microscale Mechanical Properties of $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$ Ceramics	
โดย : รตบงกช แสนจุ่ม ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช วุฒิ หมอรักษา และ กมลภัสสร มั่นศิลป์	
การศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิต สำหรับการใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม	87
A study of Mechanical and Thermal Properties of Louver Panel Product Plastic Composite for Architectural Applications	
โดย : บุษบา การุณสินธ์ ไกรสุข บุญประดิษฐ์ ปฏิภาณ นิลเพชร และ ไชยภรณ์กั รัมมะรัตน์	



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ แสง-ชูโต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลนิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พทุสยาน นราพินิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทิชัย ผัสดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช

คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูเก็ม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนชนะ ศรีสระคู

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี แสงสุริยันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กั้วหน้า จงวัฒนารักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Journal of Manufacturing and Management Technology

Editorial Team

Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr.Anin Memon

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Editorial Board

Asst. Prof. Pisit Sang-Xuto

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

Assoc. Prof. Tannachart Wantang

Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University

Asst. Prof. Supaaek Pramoonmark

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Boonsong Chongkolnee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Jatuporn Jaidumrong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Asst. Prof. Dr.Nonthachoti Udomsri

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Asst. Prof. Dr.Pisit Srinoi

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

Asst. Prof. Puttasayan Narapinij

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Nateechai Passadee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Yingyos Tipsrirach

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

Assoc. Prof. Dr.Niwat Mookam

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

Asst. Prof. Dr.Poontana Sresracoo

Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Asst. Prof. Dr.Montri Saengsuriyan

Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

Dr.Surached Thuankaewsing

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Secretary

Asst. Prof. Dr.Kaona Jongwuttanaruk

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บทบรรณาธิการ

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพุทธศักราช 2568 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 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งตั้งและท่านจะไม่มีเปิดเผยชื่อกันและกันตลอดกระบวนการตรวจสอบบทความ (Double-blind review)

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



รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฤทธิชัย สังขทิพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อธิธิผลิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา คำจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช คำจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ จิตกุล

ดร.ภูริพัส แสงพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนรมิตชา กาโลทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัดน์ ณ พัทลุง

รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร

อาจารย์ ว่าที่ร้อยเอก ศุภพร ศิลาลอย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุชิต คงฤทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูไฮตี สนิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
วิทยาเขตศาลายา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลตะวันออก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสานนครราชสีมา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลตะวันออก

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Reviewers

Asst. Prof. Ritthichai Sangkhathip	Faculty of Engineering, Pathum Wan Institute of Technology
Asst. Prof. Dr.Mongkon Ittiphalin	Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong
Asst. Prof. Dr.Sakda Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Asst. Prof. Dr.Wirekha Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Asst. Prof. Dr.Natthasak Pornputsiri	Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr.Prajak Jattakul	Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok Chantaburi Campus
Dr.Puripat Saenpong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Chanchai Laoha	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Naranchala Khumlaithong	Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya Campus
Asst. Prof. Chirawat Na-Badalung	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Assoc. Prof. Dr.Jittiwat Nithikarnjanatharn	Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Rachasima Campus
Mr. Supat Silaloy	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Asst. Prof. Anuchit Khongrit	Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.Nara Samattapapong	Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Suhaidee Sani	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่าง

Cost Reduction in Automotive Parts Production by Applying Sampling Standards

พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก¹ ฐิติ หมอรักษา² กนกวรรณ เกริกสูงเนิน³ ภูมิบุญ พลต่าง³

จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร³ วรณนิตา นุชคุ้ม⁴ และ สุภัทรา หมูป่ารัง^{5*}

¹วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

77 หมู่ 7 ตำบลหนองระเวียง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วิทยาเขตจันทบุรี

131 หมู่ 10 ถนนบาราศนราดูล ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี 22210

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ. สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ. สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ตำบล บางพระ อำเภอศรีราชา ชลบุรี 20110

Phongsak Runkratok¹ Thiti Mhoraksa² Kanokwan Kroeksungnoen³ Bhoomboon Phonthang³

Jittiwat Nithikarnjanatharn³ Wannisa Nutkhum⁴ and Supattra Muparang^{5*}

¹College of Innovation Skills, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima

77 Moo 7, Nong Raveang Subdistrict, Muang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima, 30000

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus

131 Moo 10, Bamrasnaradura Road, Phluang Sub-district, Khao Khitchakut District, Chanthaburi, 22210

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

744 Suranarai Road, Nai Mueang Sub-district, Mueang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima, 30000

⁴Department of Production Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang Sub-district, Mueang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima, 30000

⁵Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

43 Moo 6 Bangpra Sub-district, Sriracha District, Chonburi, 20110

*Corresponding author E-mail: supattra_mu@rmutto.ac.th

(Received: June 21, 2025; Revise: June 29, 2025; Accepted: June 29, 2025)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการสุ่มตรวจสอบรอยเชื่อมในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะชิ้นส่วนรถยนต์ รุ่น ทีเอโอ ด้วยการประยุกต์ใช้แผนการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E แทนวิธีการสุ่มตรวจสอบแบบเดิมที่ไม่มีมาตรฐานชัดเจน ซึ่งมาตรฐาน MIL-STD-105E เป็นมาตรฐานที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายและยังคงมีการอ้างอิงในภาคอุตสาหกรรมแม้ว่าจะถูกแทนที่ด้วยมาตรฐานอื่น จากเดิมใช้การสุ่มตรวจสอบสินค้าอยู่ที่ 3 ชิ้นต่อล็อต ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงในการตรวจสอบเนื่องจากการตรวจสอบสินค้าแบบทำลาย ทำให้มีค่าใช้จ่าย 167,040 บาทต่อปี การปรับปรุงวิธีการสุ่มตรวจสอบด้วยมาตรฐานการสุ่มตรวจสอบ MIL-STD-105E ประกอบด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง การใช้แผนภูมิควบคุม และการปรับเปลี่ยนแผนการสุ่มตัวอย่าง พบว่า จากผลการใช้แผนภูมิควบคุมในการติดตามความแปรผันข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตแสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลการผลิตอยู่ในค่าควบคุม และการยอมรับสินค้าอยู่ในเงื่อนไขของกฎการสับเปลี่ยนการสุ่มตรวจสอบ ในการตรวจสอบแบบปกติไปค่อนข้างง่าย ทำให้สามารถใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E เพื่อกำหนดชิ้นงานในการสุ่มตัวอย่าง โดยทำข้อตกลงร่วมกับลูกค้าในการยอมรับความเสี่ยงของสินค้า จึงทำให้สามารถลดจำนวนการตรวจสอบสินค้าจาก 3 ชิ้นต่อล็อต ลดลงเหลือ 2 ชิ้นต่อล็อต ส่งผลให้จำนวนการตรวจสอบจาก 1,392 ชิ้นต่อปี ลดลงเหลือ 1,008 ชิ้นต่อปี และมีมูลค่าการตรวจสอบ 120,960 บาทต่อปี ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 77,310 บาทต่อปี โดยที่ความแปรผันข้อมูลการวัดของกระบวนการอยู่ในค่าควบคุม ซึ่งการปรับปรุงนี้แสดงให้เห็นถึงการลดต้นทุนการตรวจสอบในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ: แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E การตรวจสอบชิ้นส่วนยานยนต์ และการลดต้นทุน

Abstract

This study aims to improving the weld seam inspection sampling process in an automotive parts manufacturing facility, particularly for TAO model components. The improvement involves implementing the MIL-STD-105E sampling plan to replace the previous non-standard inspection method. Initially, three samples per lot were inspected, leading to high inspection costs due to the destructive testing nature, totaling 167,040 baht annually. The improvement strategy included historical data analysis, control chart implementation, and adjustment of the sampling plan. Results from the control charts indicated that the production process remained within control limits, allowing the application of switching rules from normal to reduced inspection. By adopting the MIL-STD-105E plan and negotiating acceptable risk levels with customers, the number of samples per lot was reduced from three to two. Consequently, annual inspections decreased from 1,392 to 1,008 pieces, cutting inspection costs to 120,960 baht—resulting in savings of 77,310 baht per year. These findings confirm that the process remains under statistical control while significantly reducing inspection costs in quality control.

Keywords: Sampling plan, MIL-STD-105E, Inspection of Automotive Parts, and Cost Reduction

1. บทนำ

อุตสาหกรรมรถยนต์ไทยเติบโตจากการสนับสนุนของรัฐ เช่น การลดภาษีและส่งเสริมการลงทุน ทำให้การส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยส่งเสริมการใช้ชิ้นส่วนในประเทศส่งผลให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ระดับโลกและชิ้นส่วนยานยนต์กลายเป็นสินค้าส่งออกหลัก มูลค่ากว่า 5.41 แสนล้านบาทในปี พ.ศ. 2565 [1–3] ภาวะเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันสูงทั้งด้านคุณภาพและราคาซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจในการเลือกซื้อ ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตต้องวิเคราะห์และควบคุมความสามารถของกระบวนการผลิตเพื่อลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ซึ่งหากความผันแปรมีมาก จะส่งผลให้คุณภาพสินค้าไม่คงที่และอาจกลายเป็นของเสียที่ไม่เป็นที่ยอมรับของลูกค้า การควบคุมคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญของการผลิตชิ้นส่วนแต่การตรวจสอบทุกรายการอาจไม่คุ้มค่าในด้านต้นทุน โดยเฉพาะในการผลิตจำนวนมาก จึงต้องมีวิธีการหรือแผนการสุ่มตัวอย่างสินค้าเพื่อใช้ในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธของสินค้า โดยมีการนำแผนการสุ่มตัวอย่างมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าเฉพาะบางส่วนเพื่อเป็นตัวแทนของสินค้าทั้งหมด การกำหนดจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากไม่ได้มีการตรวจสอบสินค้าทุกชิ้น [4–5] โดยการใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลในด้านการสุ่มตัวอย่างและการควบคุมคุณภาพ ปัจจุบันมาตรฐานนี้ถูกยกเลิกการใช้งานอย่างเป็นทางการในปี พ.ศ. 2538 และถูกแทนที่ด้วยมาตรฐานอื่น เช่น ANSI/ASQ Z1.4 อย่างไรก็ตามการดำเนินงานตามมาตรฐานดังกล่าวมีหลักการคล้ายคลึงกับมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันเป็นอย่างมากและยังคงมีการอ้างอิงและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตที่มีขนาดใหญ่หรือการผลิตหลายล็อตที่ไม่สามารถตรวจสอบทุกชิ้นได้ โดยมาตรฐาน MIL-STD-105E ถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาและใช้ในหลายอุตสาหกรรมทั่วโลกในการประเมินคุณภาพของสินค้าผ่านการสุ่มตัวอย่างที่มีการควบคุมตามเกณฑ์ที่กำหนด [6–7] จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสุ่มตัวอย่างพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการสุ่มผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุแบบอ่อนตัวโดยนำมาตรฐาน MIL-STD-105E และกฎการสับเปลี่ยนมาใช้ ผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้กระบวนการสุ่มมีประสิทธิภาพมากขึ้นลดต้นทุน ลดการสูญเสีย และเพิ่มโอกาสทางธุรกิจของบริษัท [8] การใช้ MIL-STD-105E ซึ่งเป็นมาตรฐานการสุ่มตัวอย่างแบบการตรวจรับเพื่อปรับปรุงกระบวนการควบคุมคุณภาพ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดข้อผิดพลาดในการตรวจสอบเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจรับและลดต้นทุนที่เกิดจากการตรวจสอบที่ไม่จำเป็น [9] พบว่าการใช้มาตรฐานแผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E เป็นแนวทางที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องการรักษาคุณภาพมาตรฐานสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้มาตรฐานการสุ่มตัวอย่างเพื่อลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งจากเดิมไม่มีมาตรฐานการสุ่มตัวอย่างสินค้าทำให้มีการตรวจสอบสินค้า 3 ชิ้นต่อล็อต และมีผลการวัดชิ้นงานที่อยู่ในข้อกำหนดของลูกค้า ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงในการสุ่มตัวอย่างเนื่องจากการตรวจสอบแบบทำลาย มีมูลค่าในการสุ่มตัวอย่างสูงถึง 167,040 บาทต่อปี ทางผู้จัดทำได้ใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E กำหนดมาตรฐานของการสุ่มตัวอย่างภายในกระบวนการตรวจสอบสินค้าเพื่อให้มีมาตรฐานของการสุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบสินค้าและลดต้นทุนในการตรวจสอบ

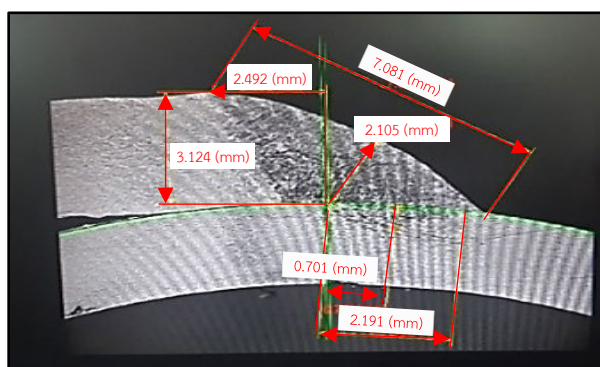
2. วิธีดำเนินงาน

การดำเนินการศึกษากระบวนการตรวจสอบรอยเชื่อมในสายการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในปัจจุบันเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานเชื่อมเพื่อลดต้นทุนการตรวจสอบรอยเชื่อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การดำเนินการสุ่มตรวจสอบรอยเชื่อม

จากการสุ่มชิ้นงานของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโดยเริ่มจากการสุ่มตัวแรก ตัวกลาง และตัวท้ายล็อต จำนวน 3 ชิ้นเพื่อ

ตรวจสอบความยาวรอยเชื่อม (L) ให้อยู่ในช่วง 15–43 มม. หากผ่านเกณฑ์ถือว่าเป็นงานดี หากไม่ผ่านต้องปรับเครื่องจักรและสุมตรวจใหม่ จากนั้นกำหนดจุดตัดโดยขีดกึ่งกลางรอยเชื่อม 4 จุด และตัดระหว่างตัวค้ำกับท่อ นำชิ้นงานที่ตัดขีดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 และ 1,200 แล้วทาด้วยไนทอล 1–2 เปอร์เซนต์ ทำให้อรอยเชื่อมชัดขึ้น จากนั้นนำชิ้นงานเข้าไปส่องกล้องวัดรอยเชื่อม โดยจะตรวจสอบรอยเชื่อมโดยการวัดค่าการซึมลึก ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของรอยเชื่อมของฝั่งท่อและตัวค้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดไว้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องวัดชิ้นงาน

จากรูปที่ 1 จะตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องวัดชิ้นงานทั้งหมด 4 จุดตรวจสอบ ได้แก่ จุดที่ 1. วัดความกว้างของแนวเชื่อม (a) ซึ่งกำหนดไว้ให้ไม่ต่ำกว่า 3.45 มม. จุดที่ 2. วัดความกว้างของการซึมลึก (b) กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 1.84 มม. จุดที่ 3. วัดการซึมลึกจากท่อถึงตัวค้ำ (c) กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 1.15 มม. จุดที่ 4. ระยะการซึมลึกของท่อ (d) กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.3 มม. ตามข้อกำหนดลูกค้า

2.2 การศึกษาข้อมูลรายปีก่อนปรับใช้แผนการสุมตัวอย่าง

ข้อมูลการสุมตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ สถานีงานเชื่อมชิ้นงานด้วยโรบอทเชื่อมทั้ง 2 เครื่อง แต่ละเครื่องมีจำนวนการผลิตอยู่ในช่วง 51–90 ชิ้นต่อล็อต ซึ่งมีการตัดชิ้นงานต่อหนึ่งล็อต 3 ชิ้น และมูลค่าการตั้งงานตรวจสอบของเครื่องเชื่อมที่ 1 และ 2 ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 12 จากการใช้วิธีการสุมตรวจสอบแบบเดิมตามแผนการสุมตรวจสอบตามแบบแผนการผลิตจากลูกค้า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตัดชิ้นงานก่อนการปรับใช้แผนการสุม

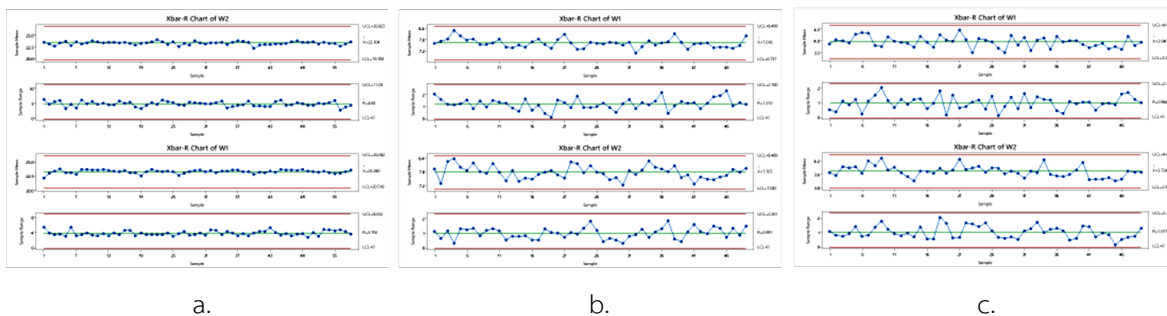
เดือนที่	จำนวน (ชิ้น)		มูลค่าการตั้งงานตรวจสอบ (บาท)	
	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่
	1	2	1	2
1	58	58	6,960	6,960
2	58	58	6,960	6,960
3	58	58	6,960	6,960
4	58	58	6,960	6,960
5	58	58	6,960	6,960

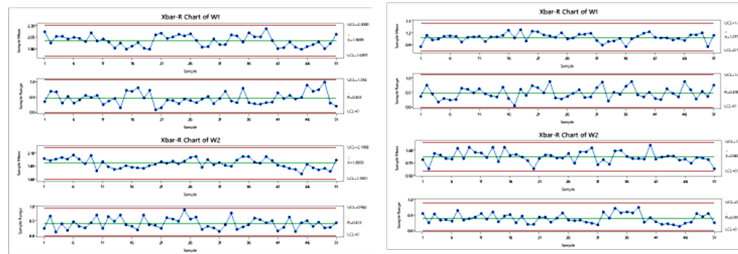
เดือนที่	จำนวน (ชิ้น)		มูลค่าการดำเนินงานตรวจสอบ (บาท)	
	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่
	1	2	1	2
66	58	58	6,960	6,960
7	58	58	6,960	6,960
8	58	58	6,960	6,960
9	58	58	6,960	6,960
10	58	58	6,960	6,960
11	58	58	6,960	6,960
12	58	58	6,960	6,960
รวม	696	696	83,520	83,520
	1,352		167,040	

จากตารางที่ 1 พบว่ามีจำนวนการสุ่มตรวจสอบชิ้นงานของเครื่องเชื่อมทั้ง 2 เครื่อง อยู่ที่ 1,392 ชิ้นต่อปี และมีต้นทุนในการตรวจสอบที่ 167,040 บาทต่อปี

2.3 การวิเคราะห์ความผันแปรข้อมูลการวัด

จากผลการวัดที่อยู่ในค่าควบคุมตามที่ลูกค้าได้กำหนด นำมาวิเคราะห์ความผันแปรของการวัดจากจุดตรวจสอบรอยเชื่อมของเครื่องเชื่อมที่ 1 และ เครื่องเชื่อมที่ 2 ดำเนินการโดยใช้ แผนภูมิควบคุมชนิด X-Bar R Chart เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการผลิต แผนภูมิที่ใช้แสดงผลในรูปแบบ กราฟคู่ โดยกราฟด้านบนแสดงข้อมูลจาก เครื่องเชื่อมที่ 1 และกราฟด้านล่างแสดงข้อมูลจาก เครื่องเชื่อมที่ 2 กราฟด้านบนจะแสดงค่าเฉลี่ย (X-Bar) ของกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการวัดระดับโดยรวมของการผลิตในแต่ละช่วง ส่วนกราฟด้านล่างจะแสดง ความผันแปร (R-Chart) ของกระบวนการ ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงภายในกระบวนการที่อาจเกิดขึ้นระหว่างแต่ละตัวอย่างการใช้ X-Bar R Chart จะช่วยในการ ติดตาม และ ประเมินเสถียรภาพของกระบวนการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการนั้นสามารถ ควบคุมได้ และ คาดการณ์ได้ อย่างแม่นยำตาม ขอบเขตที่กำหนด ซึ่งช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ว่า กระบวนการนั้นอยู่ในขอบเขตควบคุมหรือไม่ [10] โดยลักษณะของการวัดแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 2





d.

e.

รูปที่ 2 ความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 2 แสดงผลความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตโดยจะแสดงผลการวัดชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมที่ 1 และเครื่องเชื่อมที่ 2 เป็นผลการวัดความยาวของแนวเชื่อม (a) ผลการวัดความกว้างของแนวเชื่อม (b) การเชื่อมจากตัวค้ำถึงท่อ (c) ความกว้างของการเชื่อม (d) ระยะการเชื่อมถึงท่อ (e) ซึ่งพบว่าผลของข้อมูลในกราฟแสดงถึงค่าเฉลี่ยและความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตอยู่ในค่าควบคุมบนและล่างในเส้นขอบเขตควบคุม 10 ลอตต่อเนื่อง

2.4 การกำหนดมาตรฐานในการสุ่มตรวจสอบ

การกำหนดแผนการสุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบด้วยการใช้มาตรฐาน MIL-STD105E ถึงแม้ในปี พ.ศ. 2538 มาตรฐานดังกล่าวถูกยกเลิกอย่างเป็นทางการและถูกแทนที่ด้วยมาตรฐานอื่น เช่น ANSI/ASQ Z1.4 เนื่องจากหลักการของมาตรฐานนี้ยังคงคล้ายคลึงกับมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างมากและยังคงมีการอ้างอิงและใช้งานอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมที่ศึกษา ผู้วิจัยจึงเลือกมาตรฐานดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการศึกษานี้ โดยแบ่งแผนการตรวจสอบออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบปกติ แบบผ่อนคลาย และแบบเข้มงวด การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผลการตรวจสอบก่อนหน้านี้และข้อกำหนดในการเปลี่ยนแผนหากกระบวนการผลิตมีคุณภาพสม่ำเสมอและไม่พบข้อบกพร่องเกิน AQL (Acceptable Quality Level) หรือระดับข้อบกพร่องที่ยอมรับได้ต่อล็อตต่อเนื่อง 10 ลอต สามารถเปลี่ยนไปใช้แผนแบบผ่อนคลายเพื่อลดจำนวนตัวอย่างที่ต้องตรวจ การเลือกจำนวนตัวอย่างจะพิจารณาตามขนาดล็อตและระดับการตรวจ ซึ่งมีทั้งแบบทั่วไปและแบบพิเศษที่ใช้ในกรณีที่ต้องการลดภาระการตรวจสอบการใช้ MIL-STD-105E ช่วยลดต้นทุนในการตรวจสอบโดยยังรักษาระดับความเชื่อมั่นต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ หากพบข้อบกพร่องเกิน AQL ลอตจะถูกปฏิเสธ และหากพบปัญหาซ้ำ แผนการตรวจจะเปลี่ยนเป็นแบบเข้มงวด เพื่อเพิ่มความถี่ในการควบคุมและลดความเสี่ยงของการส่งมอบสินค้าที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของลูกค้า แผนการสุ่มตรวจสอบ MIL-STD-105E สามารถเปิดตารางเพื่อหาจำนวนการสุ่มตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 [11]

TABLE I – Sample Size code letters									
(See 4.9.1 and 4.9.2)									
Lot or batch size			Special inspection levels				General inspection levels		
			S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2	To	8	A	A	A	A	A	A	B
9	To	15	A	A	A	A	A	B	C
16	To	25	A	A	B	B	B	C	D
26	To	50	A	B	B	C	C	D	E
51	To	90	B	B	C	D	D	F	G
91	To	150	B	B	C	D	D	F	G
151	To	280	B	C	D	E	E	G	H
281	To	500	B	C	D	E	F	H	J
501	To	1200	C	C	E	F	G	J	H
1201	To	3200	C	D	E	G	H	K	L
3201	To	10000	C	D	F	G	J	L	M
10001	To	35000	C	D	F	H	K	M	N
35001	To	150000	D	E	G	J	L	N	P
150001	To	500000	D	E	G	J	M	P	Q
500000	And	Over	D	E	H	K	N	Q	R
CODE LETTERS									

รูปที่ 3 แสดงการเลือกใช้แผนการสุ่มตัวอย่างขั้นตอนที่ 1

Table II - C. Single Sampling Plans for Reduced Inspection (Master Table).

Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (reduced inspection)*																															
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000						
A	2	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
B	3	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
C	5	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
D	8	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
E	13	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
F	20	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
G	32	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
H	50	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
I	80	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
J	125	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
K	200	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
L	315	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
M	500	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
N	800	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
P	1250	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
Q	2000	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
R	3150	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
R	5000	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	

↕

= Use first sampling plan below arrow.

↑

= Use first sampling plan above arrow.

If sample size equals or exceeds lot or batch size, do 100 percent inspection.

If the acceptance number has been exceeded, but the rejection number has not been reached accept the lot, but reinspect normal inspection.

Ac = Acceptance number.

Re = Rejection number.

↓ = Use first sampling plan below arrow. If sample size equals or exceeds lot or batch size, do 100 percent inspection.
 ↑ = Use first sampling plan above arrow.
 * = If the acceptance number has been exceeded but the rejection number has not been reached accept the lot, but reinstate normal inspection.

Ac = Acceptance number.
 Re = Rejection number.

รูปที่ 4 แสดงการเลือกใช้แผนการสุ่มตัวอย่างขั้นตอนที่ 2

จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 การเปิดตารางแผนการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ระดับการตรวจสอบพิเศษ ซึ่งเป็นระดับของการตรวจสอบที่ต้องการลดจำนวนตัวอย่างของการผลิตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดต่อเนื่อง 10 ลอต และมีความผันแปรของข้อมูลการวัดอยู่ในระดับขอบเขตควบคุมในกราฟ X-Bar R-Chart บ่งบอกถึงการวัดที่มีความเสถียรของค่าเฉลี่ยและแนวโน้มการวัดในกระบวนการตรวจสอบของจำนวนการผลิตในช่วง 51 ถึง 90 ขึ้นต่อลอต ซึ่งอยู่ในเงื่อนไขของกฎการสับเปลี่ยนการสุ่มตรวจสอบให้สามารถเปลี่ยนการตรวจสอบจากปกติไปผ่อนคลายเป็นมาตรฐาน MIL-STD-105E โดยใช้มาตรฐานนี้เป็นแนวทางในการกำหนดจำนวนการสุ่มตรวจสอบ จึงปรับเปลี่ยนแผนการสุ่มตรวจสอบเป็นแบบผ่อนคลายเป็นแต่ต้องยอมรับความเสี่ยงเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นระดับที่ใช้ตัวอย่างน้อยลง โดยใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบครั้งเดียว และกำหนดค่าการยอมรับของเสียไว้ที่ AQL 1.0 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นระดับในการตรวจสอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ต้องการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวด แต่ยังคงยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ [12] ตามที่ได้ระดมความคิดกับทางผู้บริหารและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง

จากดังรูปที่ 3 สามารถเลือกใช้ระดับการตรวจสอบแบบผ่อนคลายเป็นระดับการตรวจสอบแบบพิเศษ S2 จากแถวที่มีจำนวนลอตการผลิตอยู่ในช่วง 51 ถึง 90 ขึ้นต่อลอต จะได้รหัสตัวอักษร B และนำมาเปิดตารางดังรูปที่ 4 จากระดับตัวอักษร B จะ

ได้จำนวนการสุ่มตัวอย่างที่ 2 ขึ้นต่อตลอด มีการยอมรับความเสี่ยง 1.0 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 ชิ้น หรือ AQL 1.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีจำนวนการยอมรับของเสียในลอต (Ac 0) เมื่อพบของเสียของลอตการผลิต 1 ครั้ง จะทำการปฏิเสธลอต (Re 1) และหากพบปัญหาซ้ำแผนการตรวจจะเปลี่ยนเป็นแบบเข้มงวด

3. ผลการดำเนินการ

ผลหลังจากการปรับใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ MIL-STD-105E มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการตัดสินใจงานหลังจากปรับใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง

ผลจากการตัดสินใจงานหลังการปรับใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ MIL-STD-105E ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการตัดสินใจงานหลังการปรับใช้แผนการสุ่ม

เดือนที่	จำนวน (ชิ้น)		มูลค่าการตัดงานตรวจสอบ (บาท)	
	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่	เครื่องเชื่อมที่
	1	2	1	2
1	42	42	5,040	5,040
2	42	42	5,040	5,040
3	42	42	5,040	5,040
4	42	42	5,040	5,040
5	42	42	5,040	5,040
6	42	42	5,040	5,040
7	42	42	5,040	5,040
8	42	42	5,040	5,040
9	42	42	5,040	5,040
10	42	42	5,040	5,040
11	42	42	5,040	5,040
12	42	42	5,040	5,040
รวม	504	504	60,480	60,480
	1,008		120,960	

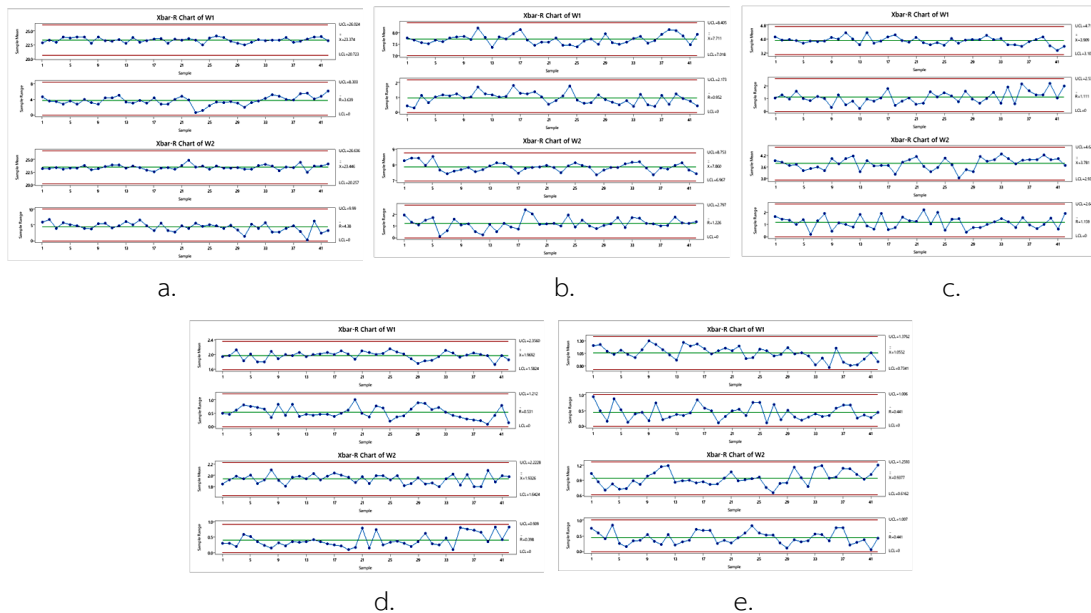
จากตารางที่ 2 เมื่อได้ทำข้อตกลงร่วมกับลูกค้าในการลดจำนวนการสุ่มตรวจสอบพบว่าจำนวนการสุ่มตัดตรวจสอบชิ้นงานของเครื่องเชื่อมที่ 1 และเครื่องเชื่อมที่ 2 อยู่ที่ 1,008 ชิ้นต่อปี ต้นทุนในการสุ่มตัดตรวจสอบ 120,960 บาทต่อปี หลังจากการใช้แผนการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E ซึ่งปรับเปลี่ยนจากการสุ่มชิ้นงานตามตัวอย่างเดิม 3 ขึ้นต่อตลอด จากนั้นเปลี่ยนเป็นการสุ่มชิ้นงาน 2 ขึ้นต่อตลอด ซึ่งได้จากการเปิดตารางตามแผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E

มาตรฐาน MIL-STD-105E มีหลักการคล้ายคลึงกับมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันคือ ANSI/ASQ Z1.4 และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาพบว่า อัตราชิ้นงานบกพร่องลดลงจาก 4.2 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระบวนการถูกตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นทำให้พบและแก้ไขข้อบกพร่องได้เร็วขึ้น หลังการปรับใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ AQL (Acceptable Quality

Level) ระดับ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Montgomery, D.C., (2014) ที่พบว่าการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน ANSI/ASQ Z1.4 ช่วยลดความเสี่ยงของผู้ผลิต (Producer's Risk) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เวลาการตรวจสอบลดลง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากลดจำนวนชิ้นงานที่ต้องตรวจสอบ โดยเทคนิค Single Sampling Plan สอดคล้องกับการศึกษาของ Magar, V.M. and Shinde, V.B., (2014) ซึ่งอธิบายว่า 7 QC Tools รวมถึงเทคนิคการสุ่มตัวอย่างสามารถลดเวลาการตรวจสอบได้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพ และต้นทุนการตรวจสอบลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ การลดปริมาณการตรวจสอบสอดคล้องกับหลักการทางเศรษฐศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ว่าการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมช่วยลดต้นทุนการประกันคุณภาพ [15] อย่างไรก็ตามการสุ่มตัวอย่างอาจไม่เหมาะสมสำหรับกระบวนการที่ต้องการความแม่นยำสูงสุด เนื่องจากยังมีความเสี่ยงที่ยอมรับชุดงานที่มีข้อบกพร่อง (Consumer's Risk) [16]

3.2 การติดตามความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการ

ผลของความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตหลังจากการปรับใช้แผนการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E จากข้อมูลการวัดด้วยการใช้แผนภูมิควบคุม X-Bar R-Chart พบว่า ข้อมูลการวัดโดยแบ่งจุดตรวจสอบออกเป็น 5 ลักษณะการวัด ได้แก่ ค่าความยาวของแนวเชื่อม (a) ความกว้างของแนวเชื่อม (b) ความกว้างของการซึมลึก (c) การซึมลึกจากตัวค้ำถึงท่อ (d) และระยะการซึมลึกของท่อ (e) ยังคงอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมทั้งหมด ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการอยู่ในระดับที่เสถียรและสามารถยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการหลังปรับปรุง

จากรูที่ 5 แสดงผลความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตโดยแสดงผลการวัดชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมที่ 1 และเครื่องเชื่อมที่ 2 เป็นผลการวัดความยาวของแนวเชื่อม (a) ผลการวัดความกว้างของแนวเชื่อม (b) การซึมลึกจากตัวค้ำถึงท่อ (c) ความกว้างของการซึมลึก (d) ระยะการซึมลึกของท่อ (e) พบว่าผลของข้อมูลในกราฟแสดงถึงค่าเฉลี่ยและความผันแปรข้อมูลการวัดของกระบวนการผลิตอยู่ในค่าควบคุมบนและล่างในเส้นขอบเขตควบคุม

3.3 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงและมูลค่าของการตัดหลังการปรับปรุงมาใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ MIL-STD-105E ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

	จำนวนการตัดชิ้นงาน (ตัว)	ต้นทุน (บาท)
ก่อนปรับปรุง	1,352	167,040
หลังปรับปรุง	1,008	120,000

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เนื่องจากการใช้แผนการสุ่มตรวจสอบแบบเดิม ไม่มีแผนการที่แน่ชัด โดยการตรวจสอบใช้ชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้นต่อล็อตการผลิต ทำให้จำนวนการตัดชิ้นงานก่อนการปรับปรุงการสุ่มชิ้นงานเท่ากับ 1,392 ตัวต่อปี และส่งผลให้ต้นทุนในการตัดเท่ากับ 167,040 บาทต่อปี ภายหลังจากการปรับปรุงและใช้มาตรฐานการสุ่มตรวจสอบ MIL-STD-105E พบว่าจำนวนการตัดชิ้นงานลดลง 2 ตัวต่อล็อตการผลิต จากการเปิดตารางส่งผลให้มีจำนวนการตัด 1,008 ตัวต่อปี ใช้ต้นทุนการตัด 120,960 บาทต่อปี จำนวนการตัดชิ้นงานลดลงคิดเป็น 25.44 เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนลดลงคิดเป็น 27.58 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ ยังได้ประเมินผลกระทบของการลดจำนวนตัวอย่างต่อความถี่ของการตรวจพบข้อบกพร่อง โดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากข้อมูลย้อนหลัง 12 เดือน พบว่าอัตราข้อบกพร่อง (Defective Rate) ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังลดจำนวนตัวอย่างตรวจสอบ โดยความผิดพลาดยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า AQL 1.0 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับแนวทางการประเมินแบบ Economical Design ที่ระบุไว้ในงานของ Huang (2018) ซึ่งเสนอว่าการลดจำนวนตัวอย่างภายใต้การควบคุมความเสี่ยงสามารถลดต้นทุนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยงด้านคุณภาพเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [11]

4. อภิปรายผล

จากการนำแผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E มาใช้ในระบบการตรวจสอบชิ้นส่วนยานยนต์ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการตรวจสอบ โดยการลดจำนวนตัวอย่างที่ต้องตรวจสอบจาก 3 ชิ้นต่อล็อต เหลือ 2 ชิ้นต่อล็อต สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 77,310 บาทต่อปี ในขณะที่ระหว่างการตรวจสอบยังคงสามารถรักษาคุณภาพการผลิตได้ในระดับที่ลูกค้ากำหนด โดยแผนภูมิควบคุม X-Bar R-Chart แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตยังคงเสถียรและอยู่ในขอบเขตควบคุม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐธิดา ไสแสง [8] ที่ใช้ MIL-STD-105E ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการสุ่มตัวอย่างและลดต้นทุนรวมถึงงานของ Deadila Defiatri [9] ที่พบว่า MIL-STD-105E สามารถปรับปรุงการควบคุมคุณภาพในการสุ่มตัวอย่างและลดข้อผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เกินความจำเป็นได้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีข้อจำกัดในด้านการลดจำนวนตัวอย่างในการตรวจสอบซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการไม่สามารถตรวจพบข้อบกพร่องที่หลุดรอดจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในกรณีที่กระบวนการผลิตมีความผันผวนสูงหรือเกิดข้อผิดพลาดซ้ำๆ การยอมรับความเสี่ยงจากการลดการตรวจสอบต้องได้รับการพิจารณาและชั่งตวงร่วมกับลูกค้าอย่างชัดเจนและควรพิจารณาปรับแผนการสุ่มตัวอย่างให้เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท โดยเฉพาะในกรณีที่มีความผันผวนหรือข้อกำหนดพิเศษจากลูกค้า เช่น ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญ ควรใช้การสุ่มตัวอย่างที่เข้มงวดขึ้นเพื่อรักษาคุณภาพการผลิตให้ได้มาตรฐาน

อย่างไรก็ตาม จากการประเมินความน่าจะเป็นของการตรวจพบลอตที่มีของเสียเกิน AQL ด้วยกราฟ OC Curve ตามแนวทางของ Dewi (2022) พบว่าความสามารถของแผน MIL-STD-105E ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะในกรณีที่กระบวนการผลิตมีค่าความเบี่ยงเบนต่ำและควบคุมได้ดี ซึ่งช่วยสนับสนุนการใช้แผนแบบผ่อนคลายเป็นการตรวจสอบ โดยยังสามารถรักษาความน่าเชื่อถือในคุณภาพชิ้นส่วนได้ [12]

5. สรุปผลงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการสุ่มตรวจสอบด้วยการใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง MIL-STD-105E ร่วมกับการศึกษาข้อมูลย้อนหลังด้วยการใช้แผนภูมิควบคุม X-Bar R-Chart ในการติดตามกระบวนการผลิตเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และควบคุมความผันแปรของข้อมูลการวัดจากกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการปรับปรุงนี้ทำให้สามารถลดจำนวนการตัดสินใจงานจาก 1,392 ชิ้นต่อปี เหลือ 1,008 ชิ้นต่อปี ซึ่งลดลง 384 ชิ้นต่อปี และลดต้นทุนจาก 167,040 บาทต่อปี เหลือ 120,960 บาทต่อปี ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบได้ 77,310 บาทต่อปี ในขณะที่ยังคงประสิทธิภาพการตรวจสอบไว้ในระดับที่ลูกค้ากำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทธนศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและเสียสละเวลาอธิบายกระบวนการทำงานอย่างละเอียด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Panjakajornsak, “A Structural Model of Thai Consumers’ Value Co-Creation in Purchasing Products in The Internet Retail Business,” *Sripatum Chonburi Interdisciplinary Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 154–168, 2024. (in Thai)
- [2] P. Boonkwang, T. Sirisukhantha, and R. Mala, “Opportunity and Challenges for Survival of Small Retail Stores in The Post-Covid-19 Era,” *Journal of MCU Ubon Review*, vol. 8, no. 2, pp. 87–89, 2023. (in Thai)
- [3] T. Trisirichote, “The Holistic Learning of Technician-Level Workers in The Automotive Industry and The Recognition of Organizational Support for Performance and The Recognition of Organizational Support are The Primary Variables Governing,” *Social Science Journal of Prachachuen Research Network*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2024. (in Thai)
- [4] M. Intaprasoet, and W. Ngamsa-ard, “Improving The Incoming Inspection Process and Final Inspection Processes of Washing Machine Manufacturer to Reduce Product Defects with Six Sigma Theory, Case Study: Abc Company,” *Journal of Science and Technology, Southeast Bangkok College*, vol. 1, no. 2, pp. 1–11, 2021. (in Thai)
- [5] K. Yimnak, N. Fueangsakun, and S. Choothong, “Group Acceptance Sampling Plan for Sujatha Distribution,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 3, pp. 1–9, ID. 253–157558, Jul.–Sep. 2025. (in Thai)
- [6] D. Makwana, P. Engineer, A. Dabhi, and H. Chudasama, “Sampling Methods in Research: A Review,” *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, vol. 7, no. 3, pp. 762–768, 2023.

- [7] J. Nithikarnjanatharn, in *Quality Control*, 3rd ed, Bangkok: O.S. Printing House, 2023, pp. 403–410 (in Thai)
- [8] N. Sosang, C. Phungamngoen, W. Savedboworn, D. Dechampai, K. Numbang, P. Sirawathanakhul, C. Kongphet, and S. Tapklang, “Improving Efficiency in The Random Sampling Process: A Case Study of Pouch Products at Raw Material Receiving and Warehouse,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 3, pp. 1–12, ID. 243–145335, Jul.–Sep. 2024. (in Thai)
- [9] D. Defiatri and R. Wulan Damayanti, “Acceptance Sampling MIL–STD 105E For Quality Control: A Case Study,” *E3S Web of Conferences*, vol. 465, p. 02043, 2023. doi:10.1051/e3sconf/202346502043
- [10] A. Atalan, “Testing Machine Learning Prediction Data on Xbar–R Chart,” *6th International Conference on Scientific and Academic Research*, pp. 170–176, 2025.
- [11] Y.–C. Huang, and C.–C. Cheng, “The Comparative Study on Expected Total Quality Cost Between Traditional Single Sampling Plan and Economical Design,” *International Journal for Quality Research*, vol. 13, no. 1, pp. 221–234, Mar. 2019. doi:10.24874/ijqr13.01–13
- [12] B. R. Dewi, F. E. Gunawan, and F. Alamsjah, “The Operating Characteristics Curve of The Acceptance Sampling of Type–A Based on Outgoing Percent Defective Lot,” *Jambura Journal of Probability and Statistics*, vol. 3, no. 2, pp. 46–60, Nov. 2022. doi:10.34312/jjps.v3i2.15965
- [13] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2020.
- [14] V. M. Magar and V. B. Shinde, “Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes,” *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 2, pp. 364–371, 2014.
- [15] M. Meesangpant, C. Sangthongluan, T. Holomyong, and S. Yodsurang, “Development of Quality Management in The Cosmeceutical Industry,” *Journal of Academic for Public and Private Management*, vol. 4, no. 3, pp. 169–182, 2022. doi:10.14456/jappm.2022.27 (in Thai)
- [16] W. E. Deming, K. E. Cahill, and K. L. Allan, *Out of the Crisis*. Cambridge: The MIT Press, 2022.

การปรับปรุงผังโรงงานด้วยการวางผังอย่างมีระบบร่วมกับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์:

กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

Facility Layout Improvement Using Systematic Layout Planning and Multi-Criteria

Decision Making: A Case Study in the Electronics Industry

จารุวรรณ ดีเสมอ¹ สมเกียรติ ภู่อติ¹ และ ภัทรา ภู่อปรัง^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอปทุมณฑล

จังหวัดนครปฐม 73170

Jaruwan Deesamer¹ Somkiat Phudee¹ และ Pattra Pooprang^{1*}

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

Rattanakosin, Phutthamonthon, Nakhon Pathom, 73170

*Corresponding author Email: pattra.poo@rmutr.ac.th

(Received: June 10, 2025; Revise: June 28, 2025; Accepted: June 28, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแผนผังโรงงานให้สามารถรองรับการเพิ่มสายการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 2 สายการผลิต โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาของผังโรงงานเดิมที่ไม่สามารถรองรับการขยายตัวได้ ซึ่งพบว่ามีพื้นที่ในการใช้งานไม่เพียงพอ และสายการผลิตมีการจัดเรียงสถานที่ที่ไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) มาใช้ในการออกแบบผังทางเลือกและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) เพื่อประเมินผังทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการออกแบบผังทางเลือกจำนวน 3 แบบ ซึ่งแตกต่างกันในเรื่องของระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ความปลอดภัยในการทำงาน ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน และการใช้พื้นที่ที่เกิดประโยชน์สูงสุด ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง พบว่าแผนผังทางเลือกที่ 3 เป็นแผนผังที่เหมาะสมที่สุด และสามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุได้ถึงร้อยละ 40 จากเดิม

คำสำคัญ: การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ การวิเคราะห์ลำดับชั้น และการปรับปรุงผังโรงงาน

Abstract

This research aims to improve the factory layout to accommodate the addition of two new production lines for printed circuit board assembly (PCBA). An initial assessment identified that the existing layout could not effectively support expansion due to inadequate workspace and disrupted process flow in Production Line, resulting in excessive material handling and reduced production efficiency. To address these issues, three layout alternatives were designed using Systematic Layout Planning (SLP) and evaluated with Analytic Hierarchy Process (AHP) based on material distance, safety, flexibility, and space utilization. Alternative 3 was selected as optimal, reducing material-handling distance by 40%.

Keywords: Systematic Layout Planning, Analytic Hierarchy Process, Factory Layout Improvement

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย ทั้งด้านการผลิต การส่งออก การจ้างงาน และการพัฒนาเทคโนโลยี โดยเฉพาะในยุคที่การแข่งขันเน้นประสิทธิภาพ ความรวดเร็ว และความยืดหยุ่นของกระบวนการผลิต การวางแผนโรงงานอย่างเหมาะสมจึงเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยลดต้นทุน เพิ่มความปลอดภัย และส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมอย่างไรก็ตาม บริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ดำเนินธุรกิจมากกว่า 30 ปี กำลังเผชิญความท้าทายในการขยายกำลังการผลิต เนื่องจากผังโรงงานเดิมไม่สามารถรองรับสายการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใหม่อีก 2 สายการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดปัญหาการจัดวางอุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสม ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ยาวขึ้น และความล่าช้าในกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันขององค์กร การออกแบบผังโรงงานโดยใช้วิธี Systematic Layout Planning (SLP) เป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับในด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม เพื่อจัดวางพื้นที่และเครื่องจักรให้เอื้อต่อการไหลของวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ ลดระยะทางการขนย้าย และเพิ่มความคล่องตัวในการดำเนินงาน โดยงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า SLP สามารถลดระยะทางรวมของการไหลของวัสดุในโรงงานได้อย่างชัดเจน [1], [6], [9] ขณะเดียวกัน การตัดสินใจเลือกผังที่เหมาะสมจากหลายทางเลือกจำเป็นต้องอาศัยเทคนิค Analytic Hierarchy Process (AHP) เพื่อประเมินความเหมาะสมตามเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น ความปลอดภัย ความยืดหยุ่น และการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ [2], [7] การประยุกต์ใช้ SLP ร่วมกับ AHP จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิผล โดยสามารถยกระดับคุณภาพของการออกแบบผังโรงงานให้ตอบสนองต่อทั้งเป้าหมายด้านการผลิตและความยั่งยืน ตัวอย่างจากงานวิจัยในโรงงานประเภทต่าง ๆ เช่น โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานอาหาร [3], [8] ดังนั้น การศึกษาและปรับปรุงผังโรงงานของบริษัทในครั้งนี้จึงมุ่งประยุกต์ใช้ SLP ควบคู่กับ AHP เพื่อให้การจัดวางสายการผลิตใหม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดวางผังโรงงาน (Facility Layout) เป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบระบบการผลิต (Production System Design) ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิต ต้นทุนการดำเนินงาน และการใช้ทรัพยากรภายในโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบสถานประกอบการใหม่หรือการปรับปรุงสถานที่เดิมให้รองรับการเปลี่ยนแปลง

2.1 การจัดวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning: SLP)

แนวคิด Systematic Layout Planning (SLP) ได้รับการพัฒนาโดย Richard Muther ในปี ค.ศ. 1961 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นแนวทางการจัดวางผังอย่างมีระบบ โดย SLP เน้นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ทำงานหรือกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงการเคลื่อนที่ของวัสดุ อุปกรณ์ และแรงงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการปฏิบัติการ ขั้นตอนการนำวิธีการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) ไปใช้ในทางปฏิบัติ เริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตทั้งหมด เพื่อทำความเข้าใจลักษณะงาน การไหลของวัสดุ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูลหลักในด้านผลิตภัณฑ์ (P), ปริมาณการผลิต (Q), เส้นทางกระบวนการ (R), การบริการสนับสนุน (S) และเวลาในการผลิต (T) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Flow Diagram) และจัดทำแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Activity Relationship Diagram) รวมถึงตารางความสัมพันธ์ (REL Chart) เพื่อประเมินความจำเป็นของการจัดวางพื้นที่ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ขั้นตอนถัดไปคือการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการใช้ พิจารณาปรับตามเนื้อที่ที่ทำได้ สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ของพื้นที่ (Relationship Diagram) พิจารณาปรับปรุงจาก

ข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น รูปร่างของพื้นที่ อาคาร หรือเครื่องจักรที่มีอยู่แล้วพัฒนาทางเลือกในการจัดวางผัง (Layout Alternatives) อย่างน้อย 2–3 แบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่เหมาะสม เช่น ระยะทางการเคลื่อนย้าย ความสะดวกในการดำเนินงาน หรือความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน หลังจากนั้นจึงเลือกแบบผังที่ดีที่สุดมาจัดทำเป็นผังขั้นสุดท้าย [4]

2.2 การวิเคราะห์ลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

กระบวนการวิเคราะห์ลำดับขั้น (AHP) เป็นวิธีการประเมินทางเลือกหลายเกณฑ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่ง สามารถใช้ในกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ได้ทั้งในขั้นตอนการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ และการจัดลำดับทางเลือก โดยมีขั้นตอนดังนี้ [5]

2.2.1 การสร้างโครงสร้างลำดับขั้นของปัญหา ซึ่งประกอบด้วย รายการเกณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการพิจารณา และรายการทางเลือกทั้งหมด

2.2.2 กำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ด้วยการเปรียบเทียบเชิงคู่เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของเกณฑ์แต่ละเกณฑ์

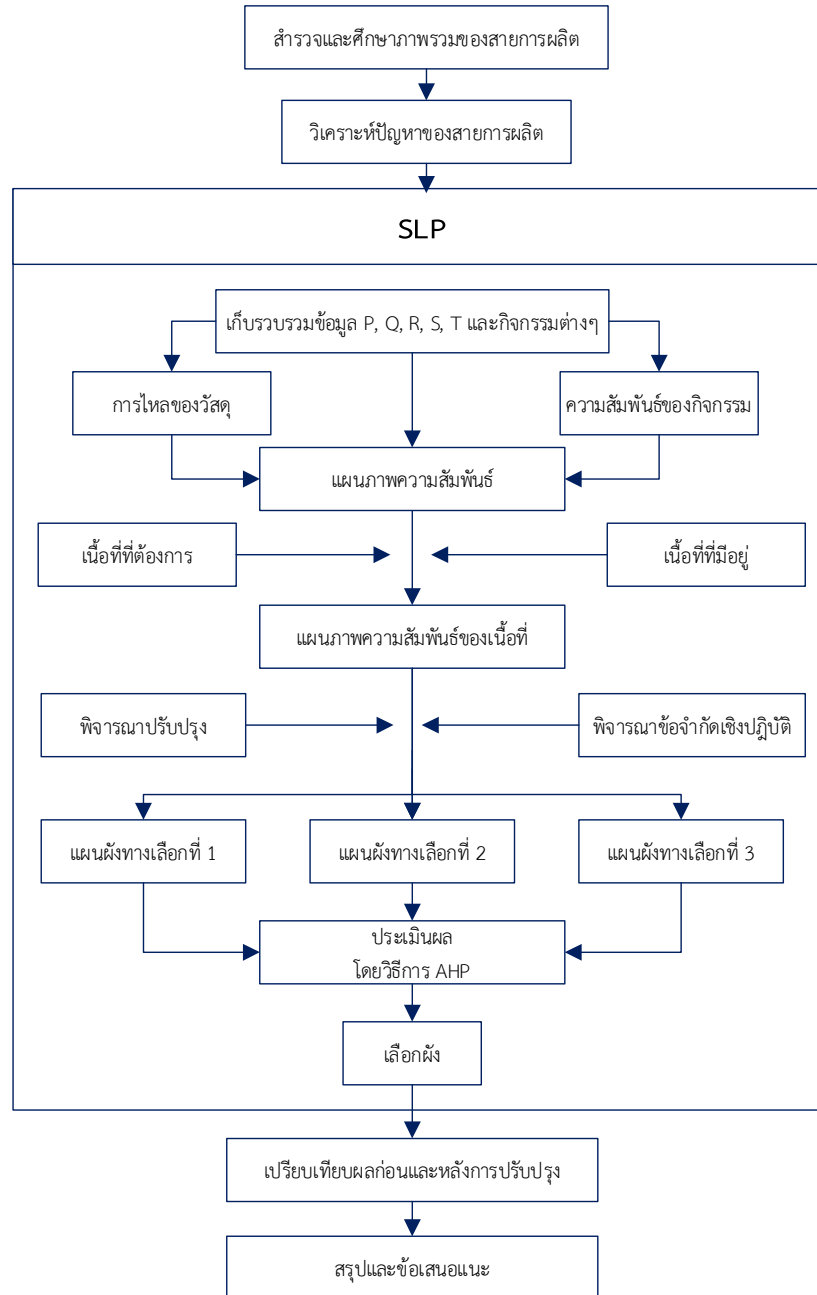
2.2.3 เปรียบเทียบทางเลือกทั้งหมดโดยพิจารณาทีละเกณฑ์

2.2.4 คำนวณหาเวกเตอร์ของค่าสมรรถนะของทางเลือกแต่ละทางเลือกภายใต้เกณฑ์แต่ละเกณฑ์ โดยใช้ขั้นตอนเดียวกับการหาค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของเกณฑ์ และตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency Check) คำนวณ Consistency Ratio (CR) ควร ≤ 0.10 เพื่อให้ผลเชื่อถือได้

2.2.5 รวมคะแนนและจัดอันดับทางเลือก โดยนำน้ำหนักของเกณฑ์คูณน้ำหนักของแต่ละทางเลือก แล้วรวมคะแนนทั้งหมดเพื่อจัดลำดับ

3. วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ใช้ วิธีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) ร่วมกับ เทคนิคการวิเคราะห์ลำดับขั้น (AHP) เพื่อปรับปรุงแผนผังโรงงาน โดยงานวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงาน และเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ P, Q, R, S, T ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมหรือหน่วยงานในกระบวนการผลิต ขั้นตอนต่อมา คือ การจัดทำแผนภาพความสัมพันธ์ (Relationship Diagram) เพื่อแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละหน่วยงานภายในโรงงาน โดยพิจารณาพร้อมกับข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่มีอยู่ เพื่อนำไปสู่การออกแบบแผนผังทางเลือกจำนวน 3 แบบ ที่ตอบสนองต่อเป้าหมายด้านประสิทธิภาพ จากนั้นใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลำดับขั้น (AHP) เพื่อประเมินและจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ในการพิจารณา ได้แก่ ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ [1], [2], [6], [8], [9] ความปลอดภัยในการทำงาน [3], [9] ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน [3], [9] และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [2], [3], [8], [9] (พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ว่างรวมถึงประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่) ทำการประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้จัดการและวิศวกร จำนวน 4 คน ซึ่งผลจาก AHP จะถูกนำมาใช้เปรียบเทียบและตัดสินใจเลือกแบบผังที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้จริง แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังรูปที่ 1



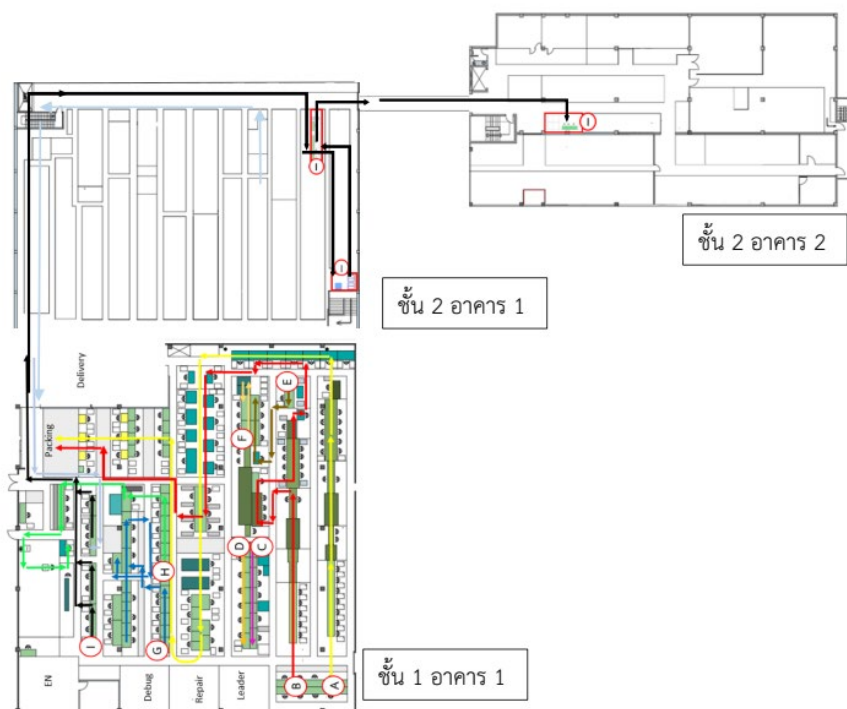
รูปที่ 1 วิธีการดำเนินงาน

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ผังโรงงานในปัจจุบัน เพื่อทำการออกแบบผังโรงงานให้สามารถรองรับการเพิ่มสายการผลิตของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ (ตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ) จำนวน 2 สายการผลิต คือสายการผลิต B1, B2 พบว่าผังโรงงานปัจจุบันมีพื้นที่ไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มสายการผลิต B1 และ B2 ได้ และในสายการผลิต I เป็นสายการผลิตที่มีสถานีงานที่กระจายตัวอยู่ในหลายพื้นที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ไม่ต่อเนื่องกัน และ

ทำให้เกิดความสูญเสียจากการเคลื่อนที่เกินความจำเป็น แสดงแผนผังการไหลปัจจุบันของการผลิตรวมทั้ง 9 สายการผลิต ดังรูปที่

2



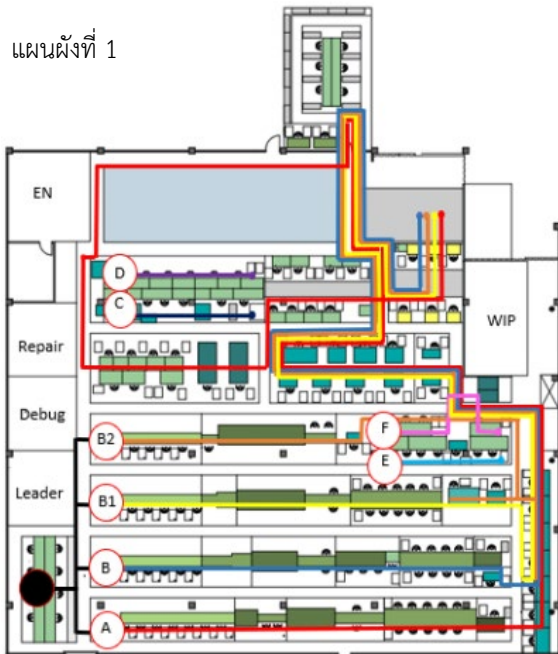
รูปที่ 2 แผนผังการไหลของการผลิตรวม 9 สายการผลิต

4.1 ผลการออกแบบผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP)

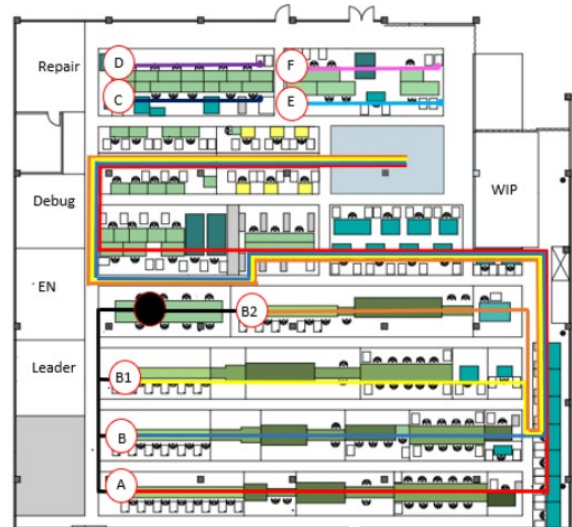
ในการปรับปรุงผังโรงงานครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) มาเป็นแนวทางหลักในการออกแบบผังโรงงานทางเลือกทั้งสามแบบ โดยยึดตามขั้นตอนของ SLP ที่เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของกิจกรรมในกระบวนการผลิต เช่น พื้นที่ใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างแผนก ความต้องการเฉพาะของกระบวนการผลิต และข้อจำกัดทางกายภาพของโรงงาน จากนั้นจึงวิเคราะห์และจัดลำดับความสัมพันธ์ (Relationship Chart) เพื่อนำไปสู่การจัดวางตำแหน่งของแต่ละกิจกรรมอย่างเป็นระบบ

ในการปรับปรุงผังโรงงานเพื่อเพิ่มสายการผลิตของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ สายการผลิต B1 B2 (ตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ) จำนวน 2 สายการผลิต มีข้อพิจารณาการปรับปรุง และข้อจำกัดเชิงปฏิบัติที่เป็นองค์ประกอบในการออกแบบและจัดวางแผนผัง โดยการออกแบบแผนผังทางเลือก ผู้วิจัยทำการออกแบบและจัดวางผังทางเลือกที่อยู่บริเวณชั้น 1 อาคารที่ 1 มีการกำหนดพื้นที่ของกิจกรรม Coating ให้อยู่ในพื้นที่ที่มีควบคุมระบบการถ่ายเทอากาศของโรงงาน ซึ่งต้องอยู่บริเวณชั้น 1 และในการออกแบบผังทางเลือกทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบและจัดวางสายการผลิต G, H, I เหมือนกัน ซึ่งทางโรงงานมีการเปิดพื้นที่ทางเชื่อมระหว่างอาคาร 1 และอาคาร 2 ที่อยู่บริเวณชั้น 2 เพื่อรองรับสายการผลิต G และสายการผลิต H เนื่องจากมีสถานีงานที่ใช้เครื่องจักรเบา จึงสามารถติดตั้งสายการผลิตในพื้นที่ทางเชื่อมระหว่างอาคารที่มีข้อจำกัดเรื่องการรับน้ำหนักของพื้นที่ได้ และในสายการผลิต I ที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดความสูญเสียจากการเคลื่อนย้ายเกินความจำเป็น ทางโรงงานได้จัดสรรสายการผลิต I ให้อยู่ในพื้นที่เดียวกันบริเวณชั้น 2 อาคาร 2 ในส่วนของรูปแบบการจัดวางที่แตกต่างกันของแต่ละ

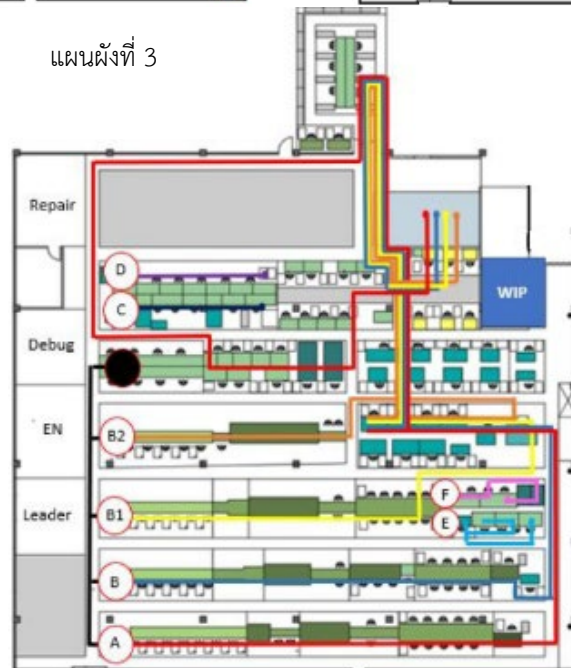
แผนผังที่ 1



แผนผังที่ 2



แผนผังที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังทางเลือก

จากรูปที่ 3

ผังทางเลือกที่ 1 มุ่งเน้นการปรับปรุงจากผังเดิม โดยยังคงโครงสร้างสายการผลิตเดิมไว้ แต่ปรับให้เกิดความต่อเนื่องมากขึ้น ลดจุดตัดกันหรือการย้อนกลับของการไหลของวัสดุ และจัดสรรพื้นที่ด้านข้าง เช่น ทางเดินหรือพื้นที่เก็บของชั่วคราวอย่างเหมาะสม จึงเป็นแนวทางที่สามารถดำเนินการได้ทันทีโดยใช้ทรัพยากรเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีรายละเอียดในการปรับปรุง คือ มีการเพิ่มสายการผลิต B1 และ B2 โดยจัดวางร่วมกับสายการผลิต A และ B ซึ่งเป็นสายการผลิตที่มีขั้นตอนการผลิตคล้ายกัน ใช้สถานีนงานและเครื่องจักรร่วมกันในหลายจุด สายการผลิต C และ D เดิมมีทิศทางการไหลตรงกันข้ามกับสายการผลิตอื่น จึงปรับให้ไหลในทิศทางเดียวกันเพื่อเพิ่มความต่อเนื่อง สายการผลิต E ได้รับการออกแบบใหม่ให้มีพื้นที่สำหรับสถานีนงาน Inspection และเครื่อง ICT ต่อเนื่องกัน ส่วนสายการผลิต F ซึ่งเดิมมีเส้นทางการไหลวกวนเนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่สำหรับการบำรุงรักษาเครื่อง Power Test จึงปรับตำแหน่งเครื่องดังกล่าวไปยังฝั่งตรงข้ามของสายการผลิตเพื่อสร้างรูปแบบการไหลแบบตัว U นอกจากนี้ ยังมีการย้ายสถานีนงาน Coating ไปยังพื้นที่ด้านข้างเพื่อใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

ผังทางเลือกที่ 2 ออกแบบโดยเน้นใช้หลักการของความสัมพันธ์ระหว่างแผนก (Relationship-based layout) เพื่อให้สายการผลิตมีการไหลอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด ผลลัพธ์ที่ได้คือ ระยะเวลารวมในการเคลื่อนย้ายวัสดุสั้นที่สุด ซึ่งส่งผลดีต่อเวลาและต้นทุนการผลิต โดยในการจัดวางแผนผัง ผู้วิจัยได้วางสายการผลิต A, B, B1 และ B2 ให้ขนานกัน เนื่องจากสายการผลิตเหล่านี้มีลักษณะกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน ใช้เครื่องจักรและสถานีนงานร่วมกัน จึงจำเป็นต้องอยู่ใกล้กันเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน สำหรับสายการผลิต C และ D ซึ่งเดิมมีทิศทางการไหลสวนทางกับสายอื่น ได้รับการปรับให้มีทิศทางการไหลสอดคล้องกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ในส่วนของสายการผลิต E และ F ที่ขาดพื้นที่สำหรับการบำรุงรักษา ได้รับการปรับปรุงให้มีพื้นที่สำหรับการซ่อมบำรุง และออกแบบให้มีการไหลของกระบวนการที่ต่อเนื่องมากขึ้น พร้อมทั้งย้ายตำแหน่งของแผนก Preparation มาไว้ตรงข้ามแผนกวิศวกรรม (Engineer: EN) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตาม ผังนี้มีข้อจำกัดในด้านพื้นที่ว่างสนับสนุน เช่น พื้นที่จัดเก็บหรือการเข้าถึงของบุคลากรในบางส่วน

ผังทางเลือกที่ 3 ออกแบบภายใต้ข้อจำกัด สะท้อนถึงการออกแบบที่ยึดข้อจำกัดของสภาพจริงของโรงงานเป็นหลัก เช่น ขนาดพื้นที่จำกัด และตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ การปรับขนาดโต๊ะทำงาน การปรับพื้นที่ห้องเก็บงาน และการจัดวางเครื่องจักรสำคัญให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานพื้นที่และลดการเข้าซ้อนในการเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการปรับปรุงแผนผัง ดังนี้ มีการจัดพื้นที่ด้านหน้าติดกับทางเข้าให้เป็นพื้นที่สนับสนุน เช่น พื้นที่ประชุมและบริการ เพื่อแยกออกจากพื้นที่การผลิตหลัก โดยผู้วิจัยได้จัดวางแผนกวิศวกรรม (EN) ไว้บริเวณด้านหน้าเพื่อให้สามารถควบคุมและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตได้อย่างรวดเร็ว มีการเพิ่มสายการผลิต B1 และ B2 ซึ่งออกแบบให้สายการผลิต A, B, B1 และ B2 วางสายการผลิตขนานกัน เนื่องจากกระบวนการผลิตมีลักษณะคล้ายกัน ใช้สถานีนงานและเครื่องจักรร่วมกัน และมีจำนวนสถานีนงานค่อนข้างมาก มีการปรับปรุงพื้นที่เดิมของห้อง WIP ที่ไม่ได้ใช้งานเพื่อรองรับการติดตั้งสถานีนงาน CPU สำหรับสายการผลิต C และ D ซึ่งเคยมีทิศทางการไหลสวนทางกับสายการผลิตอื่น ได้รับการปรับให้มีทิศทางเดียวกันเพื่อเพิ่มความต่อเนื่อง ขณะที่สายการผลิต E และ F ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำให้เกิดการไหลแบบวกวน ยังคงไม่ปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แต่มีการปรับลดขนาดโต๊ะทำงานที่ใช้ในสถานีนงานของสายการผลิต E โดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน เนื่องจากโต๊ะเดิมมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นและไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม นอกจากนี้ ยังมีการย้ายสถานีนงาน Coating ไปยังพื้นที่ด้านข้างเพื่อใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่าและเหมาะสมยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ แสดงผลของระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุของแต่ละแผนผังทางเลือก ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ

ระยะทาง (ก่อนปรับปรุง)	แผนผังที่ 1	แผนผังที่ 2	แผนผังที่ 3
567.5 เมตร	341 เมตร	246 เมตร	341 เมตร

4.2. ผลการประเมินแผนผังโรงงานทางเลือก

เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) มาใช้ประเมินผังโรงงานทางเลือกทั้ง 3 แบบ โดยพิจารณาจาก 4 เกณฑ์หลัก ซึ่งแต่ละเกณฑ์ได้รับการถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง แล้วจึงนำค่าคะแนนในแต่ละด้านมาคำนวณรวม เพื่อจัดลำดับความเหมาะสมของผังแต่ละแบบ แสดงผลเปรียบเทียบแบบคู่ของปัจจัยหลัก (Pairwise Comparison Matrix) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบแบบคู่ของปัจจัยหลัก (Pairwise Comparison Matrix)

ปัจจัย	1. ระยะทาง	2. ความปลอดภัย	3. ความยืดหยุ่น	4. การใช้พื้นที่
1. ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ	1	1/6	1/10	1/9
2. ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อม	6	1	1/2	1/7
3. ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง	10	2	1	1
4. การใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	9	7	1	1

หมายเหตุ: ค่าดัชนีอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio – CR): $CR = 0.097$ (ค่า $CR < 0.10$ แสดงว่า ระดับความสอดคล้องของการเปรียบเทียบนี้ ยอมรับได้)

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison) ของปัจจัยหลักที่ใช้ในการพิจารณาออกแบบหรือปรับปรุงผังโรงงาน โดยใช้เทคนิค การตัดสินใจเชิงลำดับลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งมีปัจจัยหลัก 4 ด้าน ได้แก่ ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อม ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าการตัดสินใจเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ ซึ่งได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ โดยพิจารณาว่าปัจจัยหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าหรือน้อยกว่าปัจจัยอื่นในระดับใด ตามมาตราส่วน เช่น 1 = เท่ากัน, 3 = ปานกลาง, 5 = มาก, 7 = มากกว่าอย่างมาก และ 9 = มากที่สุด ฯลฯ

จากตาราง พบว่า ปัจจัย "ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง" (ลำดับที่ 3) มีความสำคัญเหนือ "ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ" และ "ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อม" อย่างชัดเจน (ค่า 10 และ 2 ตามลำดับ) และปัจจัย "การใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด" (ลำดับที่ 4) ได้รับค่าน้ำหนักสูงเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ สะท้อนถึงความสำคัญในเชิงการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพของพื้นที่ สำหรับค่าดัชนีอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 0.097 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (< 0.10) แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบของผู้ตัดสินใจมีความสอดคล้องในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถใช้ในการคำนวณลำดับความสำคัญของปัจจัยต่อไปได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของผังโรงงานทางเลือกโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP)

เกณฑ์	แผนผังที่ 1	แผนผังที่ 2	แผนผังที่ 3	ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์
ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ	0.14	0.78	0.06	0.03
ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน	0.27	0.06	0.66	0.14
ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง	0.07	0.11	0.79	0.34
การใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	0.35	0.06	0.56	0.45
ค่าน้ำหนักรวม	0.22	0.09	0.61	

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของผังโรงงานทางเลือกทั้ง 3 แบบ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์การตัดสินใจหลัก คือ ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีผลค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์เท่ากับ 0.03, 0.14, 0.34 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกผังที่เหมาะสมที่สุด จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผังทางเลือกที่ 3 มีคะแนนรวมสูงสุดที่ 0.61 ซึ่งมาจากการมีค่าน้ำหนักสูงที่สุดใน 3 จาก 4 เกณฑ์ ได้แก่ ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน (0.66), ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง (0.79) และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (0.56) อีกทั้งยังสามารถลดระยะทางได้ถึงร้อยละ 40 จากเดิม ส่งผลให้ผังทางเลือกนี้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้จริงในการปรับปรุงผังโรงงานทั้งในแง่ของประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และการรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ในทางตรงกันข้าม ผังทางเลือกที่ 2 แม้จะมีค่าน้ำหนักสูงในด้านระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ (0.78) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิต แต่กลับมีค่าน้ำหนักในเกณฑ์อื่นค่อนข้างต่ำ ทำให้คะแนนรวมโดยรวมอยู่ที่เพียง 0.09 ขณะที่ผังทางเลือกที่ 1 ได้คะแนนรวม 0.22 แสดงถึงความเหมาะสมในระดับปานกลาง

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการนำหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) มาใช้ในการออกแบบแผนผังโรงงานทางเลือก และใช้วิธีการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) ในการประเมินผลแผนผังทางเลือกต่างๆ โดยได้มีการออกแบบแผนผังทางเลือกทั้งหมด 3 แบบ ที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ความปลอดภัยในการทำงาน ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง และการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลการประเมินแผนผังทางเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง พบว่าแผนผังทางเลือกที่ 3 เป็นแผนผังที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเกิดจากการจัดกลุ่มกระบวนการผลิตที่สัมพันธ์กันไว้ใกล้กัน ลดการเคลื่อนย้ายวัสดุ การออกแบบพื้นที่ยืดหยุ่นและเหมาะสม สำหรับขยายสายการผลิตในอนาคต สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า SLP ร่วมกับ AHP ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่ ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ได้อย่างเป็นระบบ

สำหรับการปรับปรุงแผนผังครั้งนี้ ผู้วิจัยไม่ได้นำเกณฑ์ด้านต้นทุนมาพิจารณา เนื่องจากมุ่งเน้นที่การปรับปรุงเพิ่มสายการผลิต ลดการเคลื่อนไหว และการใช้พื้นที่อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม หากนำเกณฑ์ต้นทุนมาประกอบการพิจารณาในอนาคต อาจช่วยเสริมมิติด้านความคุ้มค่า และเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทธนศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลทรัพยากร และคำแนะนำ จนทำให้การดำเนินงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Kittipanyangam, S. Sithiboon, and K. Sirikasemsuk, “Comparison of Plant Layouts Using CORELAP, ALDEP, and SLP Methods: A Case Study of A Printed Circuit Board Manufacturing Factory,” *KMITL Engineering Journal*, vol. 39, no. 4, pp. 17–27, 2022. (in Thai)
- [2] J. Suksrisawat and P. Koetthong, “Design And Layout Planning: A Case Study of A Furniture Factory,” *Undergraduate Engineering Project, Department of Engineering Management and Logistics, College of Innovation in Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University*, 2019. (in Thai)
- [3] T. Pawananthamsuk, P. Boonrung, and K. Saicharoen, “Design of A Grilled Food Factory Layout with Delivery Service,” *Thai Industrial Engineering Network Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 34–45, Jul.–Dec. 2022. (in Thai)
- [4] P. Klomchit, *Industrial Plant Design: To Increase Productivity and Safety*. Bangkok: SE–ED, 2012. (in Thai)
- [5] P. Sureeyathanapass, *Performance Evaluation and Multi-Criteria Decision Making*, 1st ed. Khon Kaen: Khon Kaen University Press, 2021. (in Thai)
- [6] S. Barnwal, and P. Dharmadhikari, “Optimization of Plant Layout Using SLP Method,” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 3008–3015, 2016.
- [7] L. S. Goecks, T. Mareth, A. L. Korzenowski, J. A. R. Moraes, and E. O. B. Nara, “Analytic Hierarchy Process as A Decision–Making Tool for Systematic Layout Planning, Involving Social Responsibility Criteria: A Case Study”, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 40, no. 1, pp. 29–50, 2022.
- [8] Q. Ahmad M., O. T. Meanazel, A. H. Alalawin, and H. A. Almomani, “Optimization of Plant Layout in Jordan Light Vehicle Manufacturing Company,” *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, vol. 101, no. 4, pp. 721–728, 2020.
- [9] Y. I. Yogatama, A. M. S. Asih, A. Saifurrahman, I. Prasetyo, and T. Ariyanto, “Systematic Layout Planning for Nanocomposite–based Product for Electric Vehicle Supercapacitor,” *2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, Singapore*, pp. 1532–1536, 2023.

แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม

Guidelines for Improving the Efficiency of Drinking Water Production Process

A Case Study of Drinking Water Plant in Nakhon Phanom Province

วิเรชา คำจันทร์¹ พรชนก โกพล¹ และ ศักดิ์ดา คำจันทร์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

59 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Wirekha Khamjan¹ Phornchanok Kopon¹ and Sakda Khamjan^{1*}

¹Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,

Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

59 Moo.1, Chiangkrua Sub District, Muang, Sakon Nakhon, Thailand, 47000

*Corresponding author Email: sakda.kh@ku.th

(Received: June 12, 2025; Revise: June 29, 2025; Accepted: June 30, 2025)

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงน้ำดื่มในจังหวัดนครพนม โดยนำแผนผังก้างปลาและเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งปัญหาที่พบมี 2 ปัญหาหลัก ที่ต้องเร่งแก้ไข ปัญหาแรกเป็นการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า เนื่องจากพนักงาน 2 คน ทำงานไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้เกิดการว่างงาน จึงนำหลักการวิเคราะห์แผนภูมิคนและเครื่องจักร มาพิจารณาแก้ไขปัญหา สามารถทำให้เวลาในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น ซึ่งรอบเวลาการทำงานจากเดิม 9.32 นาที เหลือ 7.76 นาที ลดลงจากเดิม 1.56 นาทีต่อรอบการทำงาน และประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยของพนักงานเพิ่มขึ้น จากเดิมร้อยละ 49.99 เป็นร้อยละ 60.12 และปัญหาที่สองการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน เนื่องจากหัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอ จึงทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย และทำการจับเวลาพบว่าสามารถลดเวลาในการบรรจุน้ำดื่ม จากเดิม 14 วินาที เหลือ 12 วินาที คิดเป็นร้อยละ 14.29

คำสำคัญ: เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ เทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม แผนภูมิคนและเครื่องจักร และประสิทธิภาพ

Abstract

The paper presents methods to enhance the efficiency of drinking water production processes through a case study of a drinking water plant in Nakhon Phanom Province. Use fishbone diagrams along with the Why-Why Analysis. To find the cause of the problem, 2 main problems need to be urgently resolved. The first problem was a delay in bottling drinking water due to two employees working intermittently, which resulted in unemployment. Therefore, the principles of Man-Machine Chart analysis are used to solve this problem. This

approach allows us to increase our employees' working hours. We reduced the cycle time from 9.32 minutes to 7.76 minutes, resulting in a 1.56-minute reduction per cycle. Additionally, the average efficiency of employees working increased from 49.99% to 60.12%. The second problem is filling bottles in quantity. They are not equal. It is caused by the irregular distribution of water from the dispenser. Adjusted 24 water supply valves and measured timers. As a result, the time required to add drinking water increased from the original 14 seconds to 12 seconds, accounting for a 14.29 percent reduction.

Keywords: Industrial Engineering Tools, Why-Why Analysis, Man-Machine Chart, and Efficiency

1. บทนำ

น้ำดื่มเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต โดยมนุษย์เราจำเป็นต้องบริโภคน้ำสะอาดเพื่อสุขภาพที่ดี ปัจจุบันมีผู้คนหันมาบริโภคน้ำดื่มที่ผลิตจากโรงงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคำนึงถึงความสะดวกและคุณภาพของน้ำ โรงน้ำดื่มกรณีศึกษาในจังหวัดนครพนมก็เป็นหนึ่งในโรงงานที่สามารถผลิตน้ำดื่มที่สะอาดและมีคุณภาพ โดยทางโรงงานทำการผลิตน้ำดื่มขายส่งให้กับผู้ขายรายย่อยและร้านค้าในตำบลรวมถึงบริเวณอำเภอที่ใกล้เคียง แต่ด้วยทางโรงงานยังขาดระบบการบริหารจัดการที่ดีทำให้การผลิตน้ำดื่มไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นจึงได้ทำการลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องในโรงน้ำดื่ม ซึ่งปัญหาที่พบ คือ เกิดการรองานของพนักงาน การว่างงานของเครื่องจักร เครื่องจักรและอุปกรณ์ขาดการบำรุงรักษา โดยมี 2 ปัญหาหลักที่ต้องเร่งแก้ไข ปัญหาแรกเป็นการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า ปัญหาที่สองการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงนำเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ [1] มาใช้ในการแก้ปัญหการผลิตน้ำดื่มเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มให้สามารถแข่งขันในตลาดได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผนภูมิคนและเครื่องจักร (Man-Machine Charts) [2], [3] เป็นแผนภูมิแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างคนและเครื่องจักร ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่หนึ่งคนกับหนึ่งเครื่องจักรขึ้นไป จุดมุ่งหมายเพื่อดูสัดส่วนการเสียเวลารอคอยของคนและเครื่องจักร หรือศึกษาดูว่าควรต้องลดหรือเพิ่มจำนวนคนในการทำงานหรือไม่ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยปี 2563 [4] ได้เสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเพลทขึ้นส่วนประกอบคอยล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพลท โดยใช้แผนภูมิการทำงานของคนและเครื่องจักร เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนการทำงาน และนำหลักการลดความสูญเสีย มาวิเคราะห์เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการขึ้นรูปเพลท หลังจากการปรับปรุงพบว่ารอบเวลาในกระบวนการขึ้นรูปเพลทลดลง การขึ้นรูปขึ้นส่วนโครงพัดลมลดลง 1,412 วินาที เหลือ 973 วินาที การขึ้นรูปขึ้นส่วนเพลทด้านซ้าย-ขวา ลดลงจาก 2,346 วินาที เหลือ 1,684 วินาที

แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) [5], [6] เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลายๆสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาหนึ่งปัญหา ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยปี 2565 [7] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์ Silver Box ที่ Line R1-Low#1 พบว่าในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการผลิต ใช้เวลาการผลิตนานเกินกว่ามาตรฐานกำหนด จึงได้นำหลักการ PDCA เก็บและรวบรวมข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยใช้แผนผังก้างปลาและใช้เทคนิคทำไม-ทำไม เพื่อหาสาเหตุและวิธีการปรับปรุง หลังจากการปรับปรุงพบว่าเวลาที่สูญเสียเฉลี่ยในช่วงเริ่มต้นกระบวนการผลิต Silver Box ลดลงจากเดิม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.87 นาที เป็น 17.15 นาที และค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยในช่วงแรกของการทำงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 20 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็น 30 ชิ้นต่อชั่วโมง

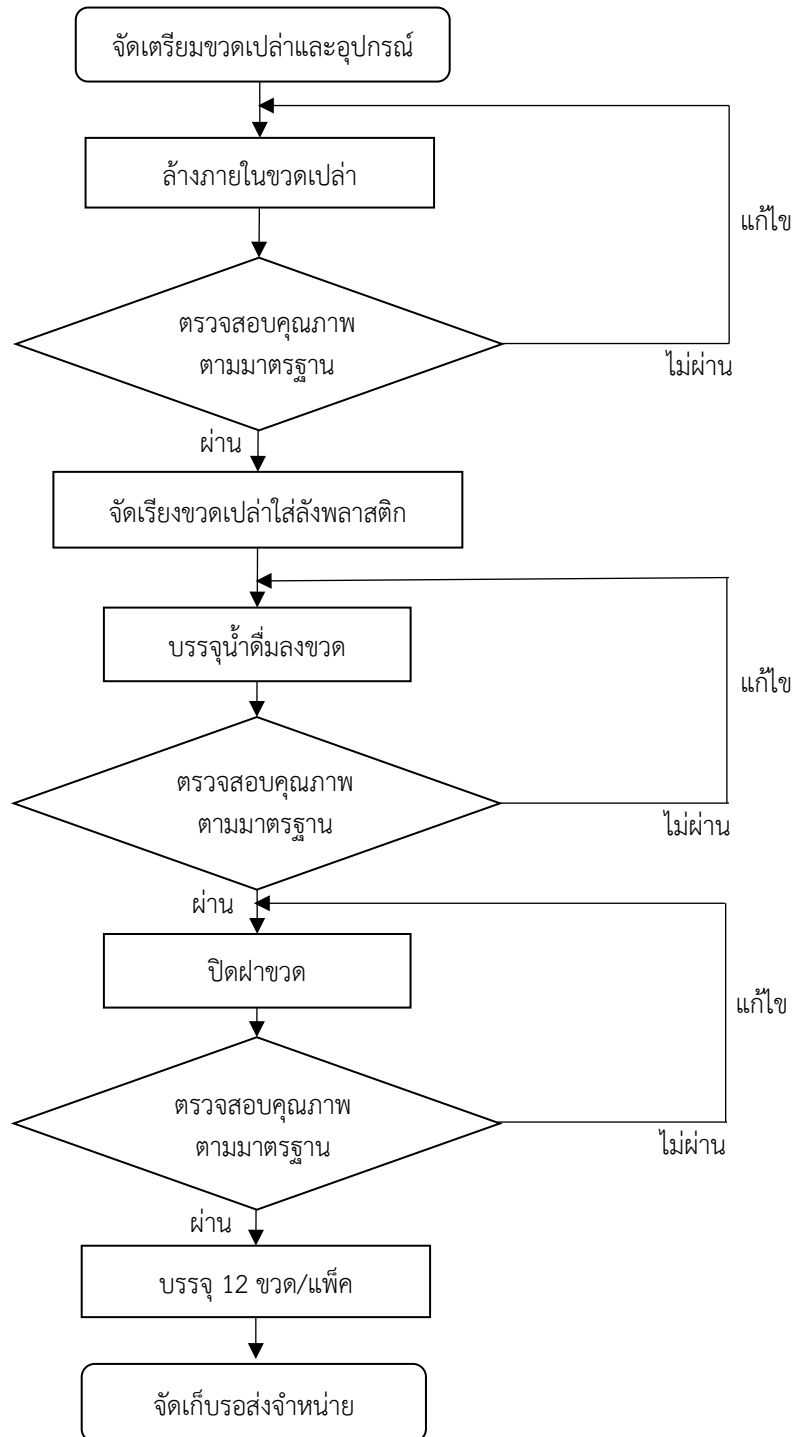
เทคนิคการตั้งคำถามทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) [8], [9] เป็นการวิเคราะห์ที่เริ่มตั้งคำถามว่า “ทำไม” ไปจนกว่าจะสามารถหาสาเหตุที่แท้จริงได้ โดยนิยามสร้างผังเพื่อให้เห็นโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบก้างปลาและแบบต้นไม้ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้วิธีการมองเห็น “ผลกระทบ” และ “สาเหตุ” ในบางประเด็น แต่ยังไม่ถ้วนสรุปทันทีที่เกิดจากสาเหตุใด โดยจะพยายามหาข้อเท็จจริงที่ถูกต้องไปเรื่อยๆ เพื่อค้นหาถึงสาเหตุที่แท้จริงต่อไป ซึ่งจากการศึกษางานวิจัย [10] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดด้วยเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิผลรวมของเครื่องทอด พบว่าเครื่องทอดมีค่าประสิทธิผลรวมอยู่ร้อยละ 60.73 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ จึงได้วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เครื่องเกิดเหตุขัดข้อง โดยการนำพาเรโตมาเป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการเลือกหัวข้อของปัญหามาทำการวิเคราะห์สาเหตุ โดยใช้หลักการตั้งคำถาม ทำไม-ทำไม และการวัดค่าประสิทธิผลรวมของเครื่องทอด ผลก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุงตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.60 ค่าความพร้อมใช้งานของเครื่องทอดเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.60 และค่าประสิทธิผลรวมของเครื่องทอดเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 32.13

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตน้ำดื่ม โดยขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน พบว่ามีกระบวนการผลิต 5 ขั้นตอนหลัก ดังตารางที่ 1 และรวบรวมข้อมูลแผนผังกระบวนการผลิตแบบละเอียด ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำดื่ม

ขั้นตอน	ขั้นตอนการผลิต
ขั้นตอนที่ 1 การล้างขวดเปล่า	
ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงขวดเปล่าใส่ลังพลาสติก	
ขั้นตอนที่ 3 การบรรจุน้ำดื่มลงขวด	
ขั้นตอนที่ 4 การปิดฝาขวด	
ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุน้ำดื่ม 12 ขวด/แพ็ค	

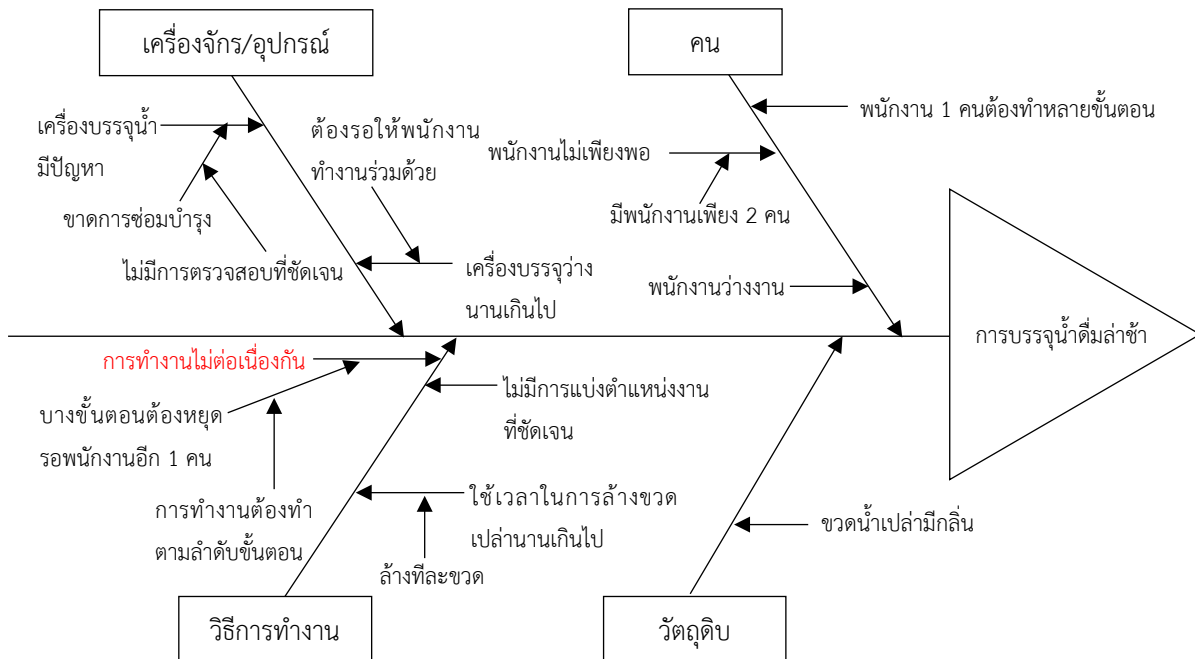


รูปที่ 1 แผนภูมิกระบวนการผลิตน้ำดื่ม

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสาเหตุของปัญหาและแนวทางการปรับปรุง โดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อระดมความคิดเห็นหาสาเหตุของปัญหา และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม-ทำไม เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง โดยกำหนดการวิเคราะห์ปัญหาเป็น 2 แนวทาง คือ ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า และปัญหาน้ำที่บรรจุลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน

3.2.1 ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า

ทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า โดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา แสดงดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงและแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า

รูปที่ 2 แสดงสาเหตุการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า พบว่าสาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากวิธีการทำงานเนื่องจากการทำงานที่ไม่ต่อเนื่องกัน เพราะการทำงานต้องทำตามลำดับขั้นตอนและบางขั้นตอนต้องหยุดรอพนักงานอีกคนทำงานเสร็จก่อน

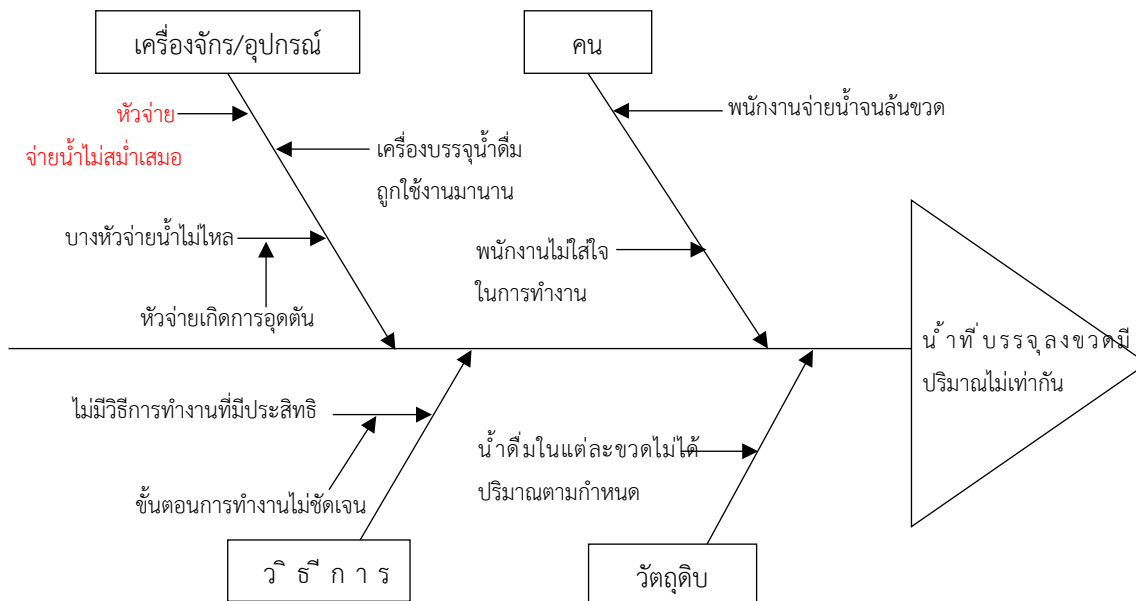
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม ของปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า

Why	สาเหตุ
ทำไมพนักงานทำงานไม่ต่อเนื่องกัน	เพราะพนักงานคนที่ 2 ไม่ได้ทำงาน
ทำไมพนักงานคนที่ 2 ไม่ได้ทำงาน	เพราะต้องหยุดรอพนักงานคนที่ 1
ทำไมต้องหยุดรอพนักงานคนที่ 1	เพราะพนักงานคนที่ 1 ทำหลายขั้นตอน
ทำไมพนักงานคนที่ 1 ทำหลายขั้นตอน	เพราะพนักงานไม่ได้แบ่งหน้าที่และตำแหน่งงานที่ชัดเจน

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม ของปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า ทำการหาแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาคือ แบ่งหน้าที่และตำแหน่งงานให้กับพนักงานทั้ง 2 คน อย่างชัดเจนและเหมาะสม

3.2.2 ปัญหาน้ำที่บรรจุลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน

ทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน โดยใช้แผนผังก้างปลา เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา แสดงดังรูปที่ 3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงและแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 4 สาเหตุการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน

รูปที่ 3 แสดงสาเหตุการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน พบว่าสาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ จึงทำให้หัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม ของปัญหาการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน

Why	สาเหตุ
ทำไมหัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอ	เพราะน้ำไหลได้ไม่ทั่วทุกหัวจ่าย
ทำไมน้ำไหลไม่ทั่วทุกหัวจ่าย	เพราะวาล์วหัวจ่ายไม่ได้ปรับตั้ง
ทำไมวาล์วหัวจ่ายไม่ได้ปรับตั้ง	เพราะพนักงานบรรจุน้ำไม่มีความรู้ในการปรับวาล์วหัวจ่ายน้ำ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม-ทำไม ของปัญหาการบรรจุน้ำดื่มลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน ทำการหาแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาคือ ปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย ให้มีความสม่ำเสมอ

3.3 ศึกษาการทำงานของพนักงาน

3.3.1 ทำการศึกษาข้อมูลแผนภูมิกระบวนการผลิตของกระบวนการบรรจุน้ำดื่ม จากการศึกษาข้อมูลของการบรรจุน้ำดื่ม สามารถบันทึกข้อมูลได้แสดงดังตารางที่ 4 พบว่ามีทั้งหมด 8 ขั้นตอน โดยมีระยะทางการเคลื่อนที่ทั้งหมด 6 เมตร และใช้เวลาการผลิตทั้งหมด 9.32 นาทีต่อรอบการทำงาน

ตารางที่ 4 แผนภูมิกระบวนการผลิตของกระบวนการบรรจุน้ำดื่ม

ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน	Activity	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง
กิจกรรม: ขั้นตอนการบรรจุน้ำ	ปฏิบัติ 	5		
	เคลื่อนย้าย 	3		
	ล่าช้า 	0		
	ตรวจสอบ 	0		
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน	เก็บ 	0		
	ระยะทาง(เมตร)	6		

คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาท)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
								
พนักงานยกขวดเปล่าจากห้องเก็บขวดมาที่ล้างขวด	3	1.00						
พนักงานทำการล้างภายในขวดเปล่า		1.73						
พนักงานนำขวดที่ล้างมายังจุดบรรจุน้ำ	2	0.20						
พนักงานทำการจัดเรียงขวดใส่ลังพลาสติก		1.20						
พนักงานบรรจุน้ำลงขวดให้ได้ตามที่กำหนด		0.88						
พนักงานทำการปิดฝาและตรวจสอบ		2.53						
พนักงานทำการห่อบรรจุภัณฑ์แล้วเป่าฟิล์มหัด		1.23						
พนักงานขนย้ายน้ำดื่มมายังจุดที่วางน้ำดื่ม	1	0.55						
รวม	6	9.32	5	3	0	0	0	

3.3.2 ข้อมูลแผนภูมิคน-เครื่องจักรของการบรรจุน้ำดื่ม

หลังการศึกษางานจากแผนภูมิกระบวนการผลิตของกระบวนการบรรจุน้ำดื่มแล้วนั้น ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคนและเครื่องจักร ตั้งแต่กระบวนการยกขวดเปล่าจากห้องเก็บขวดมายังจุดล้างขวดจนถึงกระบวนการขนย้ายน้ำดื่มมายังจุดที่วางผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีทั้งหมด 8 ขั้นตอน พบว่าพนักงานคนที่ 2 ว่างจากการทำงาน 7.54 นาที ต่อ 1 รอบการทำงาน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แผนภูมิคน-เครื่องจักรของการบรรจุน้ำดื่ม

ผู้ปฏิบัติงาน					เครื่องบรรจุน้ำดื่ม/อุปกรณ์				
พนักงานคนที่1	เวลา (นาที)		พนักงานคนที่ 2	เวลา (นาที)	เครื่องบรรจุน้ำดื่ม	เวลา (นาที)	เครื่องเป่าฟิล์มหด	เวลา (นาที)	
ยกขวดเปล่า จากห้องเก็บขวด มาที่ล้างขวด	1.00		ว่าง	7.54	ว่าง	4.13	ว่าง	7.54	
ทำการล้าง ภายในขวดเปล่า (12 ขวด)	1.73								
นำขวดที่ล้าง มายังจุดบรรจุน้ำ	0.20								
ทำการจัดเรียงขวด ใส่ลังพลาสติก	1.20								
บรรจุน้ำลงขวด ให้ได้ตามที่กำหนด	0.88				บรรจุน้ำลงขวด	0.88			
ทำการปิดฝา และตรวจสอบ ความเรียบร้อย	2.53		ว่าง	1.78	ว่าง	4.31	เป่าฟิล์มหด	1.23	
			ทำการห่อบรรจุภัณฑ์ เป่าฟิล์มหด	1.23					
			ขนย้ายน้ำดื่มมายัง จุดที่วางผลิตภัณฑ์	0.55			ว่าง	0.55	
รายละเอียด		พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		เครื่องบรรจุน้ำดื่ม		เครื่องเป่าฟิล์มหด	
เวลาว่าง (นาที)		1.78		7.54		8.44		7.54	
เวลาทำงาน (นาที)		7.54		1.78		0.88		1.78	
รอบเวลาการทำงาน (นาที)		9.32		9.32		9.32		9.32	
ร้อยละเวลาทำงาน		80.90		19.09		9.44		19.09	

หมายเหตุ: เวลาการบรรจุ 1 รอบการทำงานต่อขวด 2 แพ็ค จำนวน 24 ขวด

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและแนวทางการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า พนักงานปฏิบัติงานไม่ต่อเนื่องกันเนื่องจากพนักงานคนที่ 1 มีหน้าที่ปฏิบัติงานหลายขั้นตอน และพนักงานคนที่ 2 เกิดการว่างงาน จึงทำให้การทำงานยังไม่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

แนวทางการปรับปรุง ทำการแบ่งหน้าที่จากการพิจารณางานย่อยของกระบวนการทำงาน มาพิจารณาเพื่อลดเวลางานย่อยในสายการผลิต โดยจัดงานย่อยให้กับพนักงานคนที่ 2 เป็นคนทำการล้างขวดเปล่า นำขวดที่ล้างมายังจุดบรรจุน้ำ และทำการจัดเรียงขวดใส่ลังพลาสติกร่วมกับพนักงานคนที่ 1 เพื่อลดการว่างงาน และทำให้พนักงานคนที่ 1 บรรจุน้ำลงขวดได้เร็วขึ้น แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การปรับปรุงแผนภูมิคน-เครื่องจักรของการบรรจุน้ำดื่ม

ผู้ปฏิบัติงาน						เครื่องบรรจุน้ำดื่ม/อุปกรณ์						
พนักงานคนที่ 1		เวลา (นาที)	พนักงานคนที่ 2		เวลา (นาที)	เครื่องบรรจุน้ำดื่ม		เวลา (นาที)	เครื่องเป่าฟิล์มหด		เวลา (นาที)	
ยกขวดเปล่า จากห้องเก็บขวด มาที่ล้างขวด		1.00	ว่าง		1.00	ว่าง		2.57	ว่าง		5.98	
ทำการล้าง ภายในขวดเปล่า (12 ขวด)		0.87	ทำการล้าง ภายในขวดเปล่า (12 ขวด)		0.87							
นำขวดที่ล้าง มายังจุดบรรจุน้ำ		0.15	นำขวดที่ล้าง มายังจุดบรรจุน้ำ		0.15							
ทำการจัดเรียงขวด ใส่ลังพลาสติก		0.55	ทำการจัดเรียงขวด ใส่ลังพลาสติก		0.55							
บรรจุน้ำลงขวด ให้ได้ตามที่กำหนด		0.88	ว่าง		3.41	บรรจุน้ำลงขวด		0.88	ว่าง			
ทำการปิดฝา และตรวจสอบ ความเรียบร้อย		2.53				ว่าง		4.31				
ว่าง		1.78	ทำการห่อบรรจุภัณฑ์ เป่าฟิล์มหด		1.23				เป่าฟิล์มหด		1.23	
			ขนย้ายน้ำดื่มมายัง จุดที่วางผลิตภัณฑ์		0.55				ว่าง		0.55	
รายละเอียด			พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			เครื่องบรรจุน้ำดื่ม		เครื่องเป่าฟิล์มหด	
เวลาว่าง (นาที)			1.78			4.41			6.88		6.53	
เวลาทำงาน (นาที)			5.98			3.35			0.88		1.23	
เวลาครบรอบการทำงาน (นาที)			7.76			7.76			7.76		7.76	
ร้อยละเวลาทำงาน			77.06			43.17			11.34		15.85	

หมายเหตุ: เวลาการบรรจุ 1 รอบการทำงานต่อขวด 2 แพ็ค จำนวน 24 ขวด

จากตารางที่ 6 แสดงแผนภูมิคน-เครื่องจักรของการบรรจุน้ำดื่มหลังการปรับปรุง พบว่าเวลาทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 5.98 นาที และพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 3.35 นาทีต่อรอบ และเวลารว่างจากการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 1.78 นาที พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 4.41 นาทีต่อรอบการทำงาน

ผลการวิเคราะห์ปัญหาน้ำที่บรรจุลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน เกิดจากหัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอเพราะวาล์วเครื่องจ่ายน้ำไม่ได้รับการปรับตั้ง ทำให้เวลาในการบรรจุน้ำดื่มจะมีบางขวดเต็มก่อนและบางขวดเต็มทีหลัง

แนวทางการปรับปรุง ทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย เพื่อให้หัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย จ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอ เต็มพร้อมกันทุกขวด และทำการจับเวลาในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบเวลาในการบรรจุน้ำดื่มก่อนและหลังการปรับปรุง

กิจกรรม	เวลาก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาหลังปรับปรุง (วินาที)
บรรจุขวดแรกเต็ม	12	10
บรรจุขวดสุดท้ายเต็ม	26	22
เวลาที่ใช้ทั้งหมด	14	12

จากตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาการบรรจุน้ำดื่ม พบว่าเวลาก่อนปรับปรุงการบรรจุน้ำดื่มจากขวดแรกเริ่มเต็มที่ 12 วินาที จนถึงขวดสุดท้ายเต็มที่ 26 วินาที ซึ่งใช้เวลาในการบรรจุน้ำดื่มรวมทั้งหมด 14 วินาทีต่อรอบ และเวลาหลังการปรับปรุงการบรรจุน้ำดื่ม จากขวดแรกเริ่มเต็มที่ 10 วินาที จนถึงขวดสุดท้ายเต็มที่ 22 วินาที ซึ่งใช้เวลาในการบรรจุน้ำดื่มรวมทั้งหมด 12 วินาทีต่อรอบ สามารถลดเวลาในการบรรจุน้ำดื่มได้ 2 วินาทีต่อรอบ

4.2 ผลการดำเนินงานหลังการปรับปรุง

การปรับปรุงการทำงานที่เกิดจากปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า โดยจัดงานย่อยให้พนักงานคนที่ 2 ใหม่ ด้วยการทำงานร่วมกันกับพนักงานคนที่ 1 ซึ่งทำให้เวลาในการทำงานของพนักงานคนที่ 2 เพิ่มขึ้น และเวลาลดลง โดยจากเดิมประสิทธิภาพการทำงานก่อนปรับปรุง พนักงานคนที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 80.90 และพนักงานคนที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 19.09 หลังการปรับปรุงการทำงาน ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับร้อยละ 77.06 และพนักงานคนที่ 2 เท่ากับร้อยละ 43.17 แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบการทำงานของคนและเครื่องจักรก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

สรุปรายละเอียด	การทำงานของคน				การทำงานของเครื่องจักร			
	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		เครื่องบรรจุน้ำดื่ม		เครื่องเป่าฟิล์มหัด	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาว่างงาน (นาท)	1.78	1.78	7.54	4.41	8.44	6.88	7.54	6.53
เวลาทำงาน (นาท)	7.54	5.98	1.78	3.35	0.88	0.88	1.78	1.23
รอบเวลาการทำงาน (นาท)	9.32	7.76	9.32	7.76	9.32	7.76	9.32	7.76
ร้อยละเวลาทำงาน	80.90	77.06	19.09	43.17	9.44	11.34	19.09	15.85

4.2.1 ผลการปรับปรุงปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า จากตารางที่ 8 พบว่าจากเดิมการทำงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง พนักงานคนที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 80.90 และพนักงานคนที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 19.09 ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับร้อยละ 77.06 และพนักงานคนที่ 2 เท่ากับร้อยละ 43.17 โดยประสิทธิภาพ

การทำงานของพนักงานทั้ง 2 คน ก่อนการปรับปรุงเฉลี่ยร้อยละ 49.99 หลังการปรับปรุงเฉลี่ยร้อยละ 60.12 ประสิทธิภาพการทำงาน
ของพนักงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.13

4.2.2 ผลการปรับปรุงปัญหาน้ำที่บรรจุลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน โดยทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย
และทำการจับเวลาขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม พบว่าสามารถลดเวลาการบรรจุน้ำดื่มได้เท่ากับ 2 วินาที คิดเป็นร้อยละ 14.29

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม
ในจังหวัดนครพนม ได้ทำการสำรวจและนำแผนผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงสาเหตุและผล กับเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม-ทำไม
มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งปัญหาที่พบคือ ปัญหาการบรรจุน้ำดื่มล่าช้า เนื่องจากพนักงาน 2 คน ทำงานแต่ละขั้นตอนไม่
ต่อเนื่องกัน โดยพนักงานคนที่ 1 ทำงานมากกว่าพนักงานคนที่ 2 เพราะต้องทำการบรรจุน้ำดื่มทีละขั้นตอนตามลำดับ ทำให้
พนักงานคนที่ 2 เกิดการว่างงาน จึงนำหลักการวิเคราะห์ข้อมูลคนและเครื่องจักรมาพิจารณาแก้ไขปัญหา โดยทำการแบ่งหน้าที่
จากงานย่อยให้พนักงานใหม่ ซึ่งทำให้เวลาในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น และเวลารวบรวมลดลง โดยรอบเวลาการทำงานจากเดิม
9.32 นาที ลดลงเหลือ 7.76 นาที ลดลงจากเดิม 1.56 นาทีต่อรอบ และประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยของพนักงานเพิ่มขึ้น จากเดิม
ร้อยละ 49.99 เพิ่มขึ้นร้อยละ 60.12 ส่วนปัญหาน้ำที่บรรจุลงขวดมีปริมาณไม่เท่ากัน เนื่องจากหัวจ่ายจ่ายน้ำไม่สม่ำเสมอ ทำให้
น้ำเต็มขวดไม่พร้อมกัน เพราะวาล์วหัวจ่ายน้ำไม่ได้ปรับตั้ง จึงทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ 24 หัวจ่าย และทำการจับเวลาขั้นตอน
การบรรจุน้ำดื่ม พบว่าสามารถลดเวลาการบรรจุน้ำดื่มได้เท่ากับ 2 วินาที จากเดิม 14 วินาที เหลือ 12 วินาที คิดเป็นร้อยละ 14.29

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มพบว่าหลังจากการปรับปรุงและ
แก้ไขกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ยังมีขั้นตอนการล้างขวดเปล่าที่มีความสูญเสียของน้ำที่ยังไม่สามารถลดปริมาณน้ำทิ้งได้ ดังนั้น
แนวทางการปรับปรุงสามารถนำเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการลดความสูญเสียของการ
ใช้น้ำให้ลดน้อยลงได้

4. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงน้ำกรณีศึกษาที่ให้ความร่วมมืออย่างดี และให้ความช่วยเหลือในการปรับปรุงกระบวนการผลิต
เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Pinchaioon, N. Siriruk, and S. Lueachai, "Improvement Production Line of Auto Part Using Industrial Engineering Tools," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 93-105, 2018.
- [2] P. Pornprasert and K. Phunikom, "The Waste Reduction of Vase Earthenware Manufacturing: A Case Study of Enterprise Community in Ubon Ratchathani Province," *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, vol. 3, no. 5, pp. 61-72, 2013.
- [3] S. Prateepchanachai, S. Loedkathok, and P. Duangkam, "Increasing Productivity in Process of Surface Grinding Piston Ring Parts of Air Conditioner Compressor by Analyzing to Determine Number of Labors Suitable for Machine," *Journal of Technology and Engineering Progress*, vol. 1, no. 2, pp. 21-31, 2024.

- [4] S. Tumrongsuk and K. Jibaim, “Improvement to Increase Efficiency in Producing Plates of Coil Component,” *Institute of Vocational Education Southern Region 1 Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 53-67, 2020.
- [5] N. Chuwongwattana, N. Osothsilp, and P. Akkharapathomphong, “Defective Reduction from Using Bottle Light Weight in Mouthwash Filling Line,” *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 669–678, 2019.
- [6] W. Saelour, N. Rawee, S. Deesuk, and N. Suebsaila, “Reducing The Waste of Unloading Process from Warehouse by Ecrs Principle. Case Study: Customs Agent, ABC Limited Company,” *Journal of BSRU-Research and Development Institute*, vol. 8, no. 1, pp. 160-170, 2023.
- [7] N. Kriengkorakot, P. Kriengkorakot, and P. Pengdee, “Silver Box Production Efficiency Improvement: A Case Study,” *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 24, no. 3, pp. 30-38, 2022.
- [8] T. Kuaites, T. Thueanphae, and N. Chanthranapasawat, “Reduce Waste of Working Process in The Hotel Service Industry by Flow Process Chart,” *The Journal of King Mongkut’s University of Technology North Bangkok*, vol. 31, no. 1, pp. 180-192, 2021.
- [9] C. Thavornwat and S. Boonchujarud, “Process Improvement of Raw Materials Storage with Industrial Engineering Techniques,” *RMUTL Engineering Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 1-9, 2020.
- [10] U. Chaloeichom, S. Triwanapong, and R. Kanchana, “The Operational Effectiveness Improvement of Fryer Machine by Preventive Maintenance: A Case Study of Delicatessen Manufacturing Factory,” *Journal of Engineering, RMUTT*, vol. 13, no. 2, pp. 21-34, 2015.

การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก: กรณีศึกษา

Reducing Changeover Time in the Plastic Injection Process: Case Study

รัตนภรณ์ วงษ์ทอง¹ ธีรวุฒิ เชื้อนแก้ว^{1*} เอกองค์การ น้อมมนัส¹ พรวิทย์ เจียนดอน¹

ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ¹ และ เฉลิมชัย กุลเลียบ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Ratanaporn Wongthong¹ Teerawut Khuenkaew^{1*} Aekongkan Nommanas¹ Porawit Jiandon¹

Paramet Baowan¹ and Chalermchai Kulliap¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

150 Village No. 6, Srichan Road, Mueang District, Khon Kaen Province 40000

*Corresponding author Email: teerawut.ke@rmuti.ac.th

(Received: June 20, 2025; Revise: June 27, 2025; Accepted: June 27, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุง เริ่มจากการระบุและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนรุ่นอย่างเป็นระบบ โดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล เพื่อระบุปัจจัยสาเหตุ และ Why-Why Analysis เพื่อเจาะลึกถึงรากเหง้าของปัญหา แนวทางการแก้ไขและปรับปรุงงานได้รับการพัฒนาขึ้นตามหลักการ ECRS ผลลัพธ์จากการดำเนินการพบว่าเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 3,960 วินาที เหลือ 3,582 วินาที คิดเป็นการลดลง 378 วินาที หรือร้อยละ 9.54 นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานได้ 348,872.8 บาทต่อปี และโครงการนี้มีจุดคุ้มทุนเพียง 7 วัน การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้เครื่องมือการศึกษางานและเวลาในการเพิ่มผลผลิตและสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: การเปลี่ยนรุ่นการผลิต แผนผังสาเหตุและผล และการลดความสูญเสีย

Abstract

This research focuses on reducing the changeover time of the plastic injection process and analyzing the economic benefits of improvement. It starts with identifying and analyzing the problems that occur in the changeover process systematically, using the cause-and-effect mapping tool to identify the causal factors and the Why-Why Analysis to evaluate the root causes of the problems. The work correction and improvement approach is developed based on the ECRS principle. The results of the operation show that the changeover time is significantly reduced from 3,960 seconds to 3,582 seconds, which is a reduction of 378 seconds, or 9.54 percent. In addition, the economic analysis indicates that labor costs can be reduced by 348,872.8 baht per

year, and the project has a break-even point of only 7 days. This study demonstrates the effectiveness of applying the work and time study to increase productivity and create tangible economic benefits.

Keywords: Changeover, Cause and Effect Diagram, and ECRS

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต การบริหารต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขันขององค์กร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่มีการแข่งขันสูงและมีความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย การผลิตในลักษณะเฉพาะตามคำสั่ง (Make to Order) หรือแม้แต่การผลิตหลายรุ่นผลิตภัณฑ์ (Multi-Product Manufacturing) จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (Changeover) บ่อยครั้ง ซึ่งการเปลี่ยนรุ่นดังกล่าวมักใช้ระยะเวลาและทรัพยากรจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น การลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการลดต้นทุนการผลิตอย่างยั่งยืน ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตถือเป็นเวลาที่ไม่เพิ่มมูลค่าต่อการผลิตโดยตรง (Non-Value-Added Time) การปรับปรุงและลดเวลาส่วนนี้ลง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร เพิ่มอัตราการผลิต และลดต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ยังช่วยลดของเสียจากการตั้งค่าเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม และเพิ่มความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาด [1]

จากการศึกษางานวิจัยที่มีการบูรณาการร่วมกันระหว่างนักวิจัยและสถานประกอบการพบว่าบริษัทฯ ศึกษามีการวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าโดยมีเครื่องฉีดพลาสติก 44 เครื่องใช้ในการผลิต ในแต่ละวันมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเฉลี่ย 2 รอบต่อเครื่องต่อวัน ซึ่งการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวใช้เวลานานจนเกิดผลกระทบต่อเวลาการผลิต ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงเพื่อลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าว ซึ่งการปรับปรุงดังกล่าวมีหลักการ มีแนวคิดที่มีความสอดคล้องกับ นักวิจัยหลายๆ ท่าน เช่น ศักดิ์ดา คำจันทร์และคณะ [2] ได้นำเทคนิคการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร และแนวคิดการลดความสูญเสีย (ECRS) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาเพื่อการกำหนดมาตรฐานการเปลี่ยนรุ่นแม่พิมพ์และเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนรุ่นแม่พิมพ์ในกระบวนการฉีดพลาสติกของบริษัทฯ เพิ่มขึ้นส่วนยานยนต์ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตร้อยละ 10.72 ซึ่งเทคนิคและการปรับปรุงดังกล่าวสอดคล้องกับทีมงานวิจัยก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์ และคณะ [3] ได้ทำการปรับปรุงการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเครื่องยาสายไฟอัตโนมัติของโรงงานผู้ผลิตสายไฟในรถยนต์โดยนำเทคนิคการปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die : SMED) และหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของเครื่องยาสายไฟอัตโนมัติ โดยทำการสร้างมาตรฐานในการจัดเตรียมงานไว้วางหน้า ปรับปรุงเครื่องจักร และจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ ทำให้สามารถลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตร้อยละ 53.50 นอกจากนั้นการนำวิธีการวิเคราะห์แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตร่วมกับการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยศุภิสรา ชินภักดี และคณะ [4] ทำให้สามารถลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นในกระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์โลหะได้ร้อยละ 24.41

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกและการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง โดยทำการหาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนรุ่นการผลิต จากนั้นใช้การวิเคราะห์ปัญหาและการสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังสาเหตุและผล แล้วทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis จากนั้นใช้หลักการ ECRS ในการแก้ปัญหาและปรับปรุงงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. หลักการ ECRS [5,6] ประกอบด้วย 4 แนวทางหลักในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ดังนี้

1) การกำจัด (Eliminate) เป็นการพิจารณาตัดขั้นตอนหรือกิจกรรมที่ไม่จำเป็นออกจากกระบวนการทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความซับซ้อนของระบบ และช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงาน ซึ่งส่งผลให้กระบวนการโดยรวมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2) การรวม (Combine) หมายถึง การพิจารณารวมขั้นตอนหรือกิจกรรมที่มีลักษณะคล้ายกันหรือสามารถดำเนินการควบคู่กันได้มารวมกัน เพื่อให้สามารถประหยัดเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการ อีกทั้งในบางกรณียังสามารถลดจำนวนแรงงานที่ต้องใช้ได้

3) การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) เป็นการปรับเปลี่ยนลำดับหรือรูปแบบของขั้นตอนการทำงานเสียใหม่ เพื่อให้การดำเนินงานมีความต่อเนื่อง ราบรื่น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยบางครั้งการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในลำดับขั้นตอนสามารถช่วยลดความล่าช้าและปัญหาคอขวดในกระบวนการได้อย่างมีนัยสำคัญ

4) การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงหรือออกแบบวิธีการทำงานใหม่ให้มีความเรียบง่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติงานมากขึ้น ทั้งนี้ เพื่อลดระยะเวลาในการดำเนินงาน และลดความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดจากขั้นตอนที่มีความซับซ้อน ซึ่งช่วยเสริมสร้างความแม่นยำและความรวดเร็วในการทำงาน

2.2 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) [7,8] เป็นเครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ โดยช่วยระบุปัญหาและหาสาเหตุอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย

- 1) ฮิสโตแกรม (Histogram) แสดงการกระจายของข้อมูล ช่วยวิเคราะห์แนวโน้มและปัญหา
- 2) แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) บันทึกข้อมูลจริงในแบบฟอร์ม ช่วยรวบรวมและวิเคราะห์ได้รวดเร็ว
- 3) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เรียงข้อมูลจากมากไปน้อยเพื่อระบุปัญหาสำคัญตามหลัก 80/20
- 4) แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนผังอิชิกาวา ใช้ระบุและจัดกลุ่มสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อหาแนวทางแก้ไขที่ตรงจุด

5) แผนภูมิ (Graph) แสดงข้อมูลในรูปแบบภาพ เช่น กราฟเส้นหรือกราฟแท่ง ช่วยให้เข้าใจข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ชัดเจน

6) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ใช้ตรวจสอบความเสถียรของกระบวนการ โดยเปรียบเทียบค่าข้อมูลกับขอบเขตควบคุมที่กำหนด เพื่อติดตามแนวโน้มความเปลี่ยนแปลง

7) แผนภูมิกระจาย (Scatter Diagram) แสดงจุดข้อมูลของตัวแปรสองชุดบนกราฟ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และแนวโน้มระหว่างตัวแปรนั้น ๆ

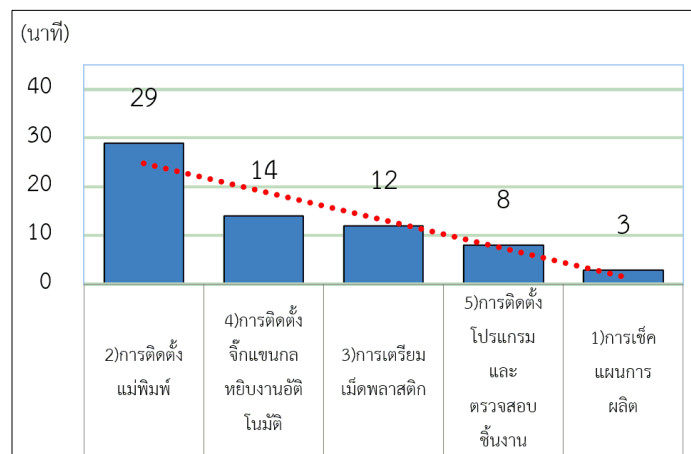
2.3. การฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding) เป็นกระบวนการผลิตที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมพลาสติก เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำและปริมาณมากได้ในระยะเวลาอันสั้น กระบวนการนี้เริ่มจากการฉีดเม็ดพลาสติกที่หลอมละลายเข้าไปในแม่พิมพ์ (Mold) จากนั้นพลาสติกจะเย็นตัวและแข็งกลายเป็นรูปทรงที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม หนึ่งในขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานคือ การเปลี่ยนรุ่นการผลิต ซึ่งเป็นขั้นตอนในการกำหนดตำแหน่งและการยึดจับแม่พิมพ์หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้มีความมั่นคงและถูกต้อง ในขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นการผลิต หากการตั้งค่ามีความผิดพลาด อาจส่งผลให้คุณภาพชิ้นงานที่ได้มีข้อบกพร่อง หรือการไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้การเปลี่ยนรุ่นการผลิตที่ไม่เหมาะสมยังอาจทำให้เครื่องฉีดพลาสติกทำงานผิดพลาดซึ่งไม่เพียงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ยังทำให้เกิดความสูญเสียทางเวลาและค่าใช้จ่าย

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบัน บริษัทกรณีศึกษามีขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกมี 5 ขั้นตอน คือ

- 1) การเช็คแผนการผลิต
- 2) การติดตั้งแม่พิมพ์
- 3) การเตรียมเม็ดพลาสติก
- 4) การติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติ
- 5) การติดตั้งโปรแกรมและตรวจสอบชิ้นงาน

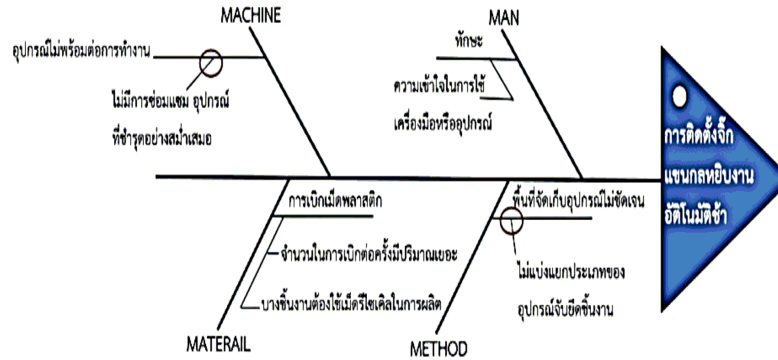
จากการศึกษาวิธีการทำงานและเวลาในขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกตามรูปที่ 1 ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดขั้นตอนการทำงานลำดับสุดท้าย จะเห็นได้ว่าขั้นตอนที่ 2 การติดตั้งแม่พิมพ์ใช้เวลาการทำงานมากที่สุด ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติ ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมเม็ดพลาสติก ขั้นตอนที่ 5 การติดตั้งโปรแกรมและตรวจสอบชิ้นงาน และขั้นตอนที่ 1 การเช็คแผนการผลิต ใช้เวลาการทำงานจากมากไปหาน้อยตามลำดับ แต่เนื่องด้วยระยะเวลาในการดำเนินการปรับปรุงมีเวลาจำกัดรวมทั้งการปรับปรุงดังกล่าวกระทบต่อเวลาในการผลิต ดังนั้นจึงเลือกขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากอันดับที่สองของการเปลี่ยนรุ่นการผลิตมาทำการปรับปรุง



รูปที่ 1 เวลาของขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก (เรียงจากมากไปหาน้อย)

3.2) วิเคราะห์ปัญหาและค้นหาสาเหตุ

จากการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกทำให้ทราบปัญหาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกใช้เวลานานจนเกิดความล่าช้ามีผลกระทบต่อเวลาการผลิต ดังนั้นจึงทำการระบุปัญหาการติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติเข้าปัญหาดังกล่าวถูกนำไปวิเคราะห์ปัญหาและค้นหาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล ซึ่งได้ทำการแบ่งกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลโดยใช้หลักของ 4M ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงเหตุและผล

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis และได้แนวทางในการแก้ไขปัญหาแสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามี 2 แนวทางที่ต้องทำการแก้ไข เพื่อให้การติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติมีความรวดเร็วและใช้เวลาในการทำงานน้อยลงแนวทางดังกล่าว ได้แก่

- 1) ทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ของจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา
- 2) ปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บให้เป็นระเบียบ พร้อมทั้งแบ่งแยกประเภทให้ชัดเจน

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วย Why-Why Analysis

ปัญหา	สาเหตุ	สาเหตุรอง1	สาเหตุรอง2	สาเหตุย่อย	แนวทางการแก้ไข
ติดตั้ง	ใช้เวลาใน	- จิ๊กบางตัวไม่พร้อมใช้งาน	- ไม่มีการซ่อมแซม	- ไม่แบ่งแยกชนิดหรือประเภทของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	- ทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา
จิ๊กเข้ากับโรบอทช้า	การเลือกจิกนาน	- พื้นที่จัดเก็บจิ๊กไม่สะดวกต่อการใช้งาน	- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีจำนวนมาก	ชิ้นงาน	- ปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บให้เป็นระเบียบ แบ่งแยกประเภทให้ชัดเจน

3.3) การแก้ไขปัญหา

แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วย Why-Why Analysis ทั้ง 2 แนวทางได้ทำการดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการ ECRS มาใช้เพื่อกำจัดเวลาที่สูญเปล่าในการทำงานของพนักงานตามรูปที่ 3 และตารางที่ 3 กล่าวคือ

การกำจัด (Eliminate) จากการรวบรวมข้อมูลในการปรับปรุงตามรูปที่ 3ก) ได้กำจัดการซ่อมแซมจิ๊กระหว่างติดตั้ง โดยทำการแยกประเภทของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และแยกอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหายออกจากกันแล้วทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหายให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลาตามรูปที่ 3ข) และกำจัดเวลาในการเลือกจิ๊ก โดยจัดทำป้ายบอกชื่อรหัสชิ้นงานติดกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีการระบุกลุ่มของแม่พิมพ์ตามกลุ่มลูกค้าโดยใช้ป้ายสีที่ต่างชนิด นอกจากนั้นได้ทำการปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยการแบ่งพื้นที่จัดเก็บแต่ละสีออกจากกันเพื่อให้การใช้งานสะดวกและง่ายขึ้น

การรวมกัน (Combine) ได้รวบรวมขั้นตอนการทำงานต่างๆ เข้าด้วยกันหลังจากการกำจัดวิธีการที่เกิดเวลาสูญเปล่าออกไปแล้วจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่

การจัดใหม่ (Rearrange) ได้ปรับปรุงพื้นที่การจัดเก็บแยกตามชื่อลูกค้าโดยแบ่งพื้นที่จัดเก็บจิ๊กตามป้ายบอกชื่อลูกค้า รวมทั้งทำป้ายระบุหมายเลขชิ้นงานให้มีความสอดคล้องกับชิ้นงานตามรูปที่ 3ค) มีปรับเปลี่ยนตำแหน่งที่เก็บโดยนำจิ๊กที่ใช้ในการผลิตความถี่สูงเอาไว้ใกล้ทางเดิน จิ๊กที่มีน้ำหนักมากเอาไว้ด้านล่างสุด เพื่อสะดวกในการหยิบจับ ทำป้ายระบุหมายเลขชิ้นงานให้มีความสอดคล้องกับชิ้นงานที่ทำการผลิตตาม รูปที่ 3ง)



ก)



ข)



ค)



ง)

รูปที่ 3 การแก้ปัญหา ก) รวบรวมข้อมูล ข) การซ่อมแซม

ค) การติดป้ายบ่งชี้ ง) การจัดตำแหน่งการจัดเก็บ

การทำให้ง่าย (Simplify) การกำหนดการควบคุมด้วยสีแยกประเภทของจิ๊กและการมองด้วยตาเปล่าแล้วสามารถหยิบจิ๊กเพื่อนำไปประกอบได้อย่างถูกต้องได้นำไปเขียนเป็นขั้นตอนการปฏิบัติงานแล้วสอนให้พนักงานเข้าใจ และสามารถปฏิบัติงานได้

ตารางที่ 3 การจัดความสูญเปล่า ด้วยหลักการ ECRS

หลักการขจัดสิ่งสูญเปล่า	การพิจารณา	รายละเอียด	หมายเหตุ
การกำจัด (Eliminate)	จะกำจัดเวลาสูญเปล่าได้ไหม	กำจัดเวลาในการเลือกจิก	แบ่งพื้นที่จัดเก็บจิก ให้ใช้งานสะดวก
การรวมกัน (Combine)	รวมเข้าด้วยกันได้ไหม	รวบรวมขั้นตอนการทำงานต่างๆ เข้าด้วยกันหลังจากการกำจัด ขั้นตอนที่เกิดเวลาสูญเปล่าออกไปแล้ว	จัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่
การจัดใหม่ (Rearrange)	จะจัดขั้นตอนงานได้ไหม	การปรับเปลี่ยนตำแหน่งพื้นที่จัดเก็บจิก	ลดเวลาในการเลือกจิกของพนักงาน
การทำให้ง่าย (Simplify)	จะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ไหม	การทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น	สามารถลดเวลาในเตรียมกระบวนการผลิต โดยลดเวลาสูญเปล่าในการหาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

4. ผลการทดลอง

ผลการดำเนินงานหลังจากการปรับปรุง ได้จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน (WI) และขออนุมัติใช้เพื่อทำการสอนให้กับพนักงานประจำเครื่องได้เรียนรู้ จนสามารถปฏิบัติงานได้จริงโดยผ่านการประเมินทักษะ จากการจับเวลาในการติดตั้งจิกจำนวน 15 รอบที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาค่ารอบการจับเวลาที่เหมาะสม ภายใต้ความเชื่อมั่น 95% นั้นทำให้ทราบผลการแก้ไขปัญหาก็ ซึ่งสรุปจากแผนภูมิกระบวนการไหลตามรูปที่ 4 ได้ดังนี้ จากเวลาการเตรียมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกก่อนทำการปรับปรุงใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 66 นาที หรือ 3,960 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 59 นาที 42 วินาที หรือ 3,582 วินาที ลดลงจากเดิม 6 นาที 18 วินาที หรือ 378 วินาทีต่อรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)					ประเภท: ผลิตภัณฑ์ / วัสดุ / พนักงาน		
แผนภูมิหมายเลข 01 แผ่นที่ 1 ใน 1 แผ่น					สรุปผล		
สถานที่: บริษัท					Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง
กรรมวิธี: กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก					ปฏิบัติงาน	7	7
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน ปรับปรุง					เคลื่อนย้าย	6	6
ตำแหน่งที่ตั้ง:					ลำช้า	-	-
					ตรวจสอบ	1	1
					จัดเก็บ	-	-
ผู้บันทึก:					ระยะทาง (เมตร)	108	108
ผู้อนุมัติ:					เวลา (นาฬิกา)	66	59.42
							6.18

คำอธิบาย	แม่พิมพ์ (ลูก)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาฬิกา)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1. เช็คน้ำมัน	-	3			
2. ไปจัด Mold ที่ติดตั้ง	-	10	2		
3. เช็ค Mold ที่จะทำการผลิต	-	-	3		
4. นำ Mold ไปยังเครื่อง	-	8	4		
5. ติดตั้ง Mold กับเครื่อง	-	-	20		
6. ไปเปิดพลาสติก	-	40	5		
7. นำเม็ดพลาสติกไปใส่เครื่อง	-	40	6		
8. เติมน้ำมันเครื่อง	-	-	1		
9. ไปพื้นที่จัดเก็บ จุก	-	5	1		
10. เลิก จุก ที่จะใช้	-	-	2.42		
11. นำ จุก ไปที่เครื่อง	-	5	1		
12. ประกอบ จุก กับเบส	-	-	3		
13. ติดปะกับงานและทำการผลิต	-	-	5		
14. ตรวจสอบ	-	-	3		
รวม	1	108	59.42	7	6

รูปที่ 4 แผนภูมิกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)					ประเภท: ผลิตภัณฑ์ / วัสดุ / พนักงาน		
แผนภูมิหมายเลข 01 แผ่นที่ 1 ใน 1 แผ่น					สรุปผล		
สถานที่: บริษัท					Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง
กรรมวิธี: กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก					ปฏิบัติงาน	7	7
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน ปรับปรุง					เคลื่อนย้าย	6	6
ตำแหน่งที่ตั้ง:					ลำช้า	-	-
					ตรวจสอบ	1	1
					จัดเก็บ	-	-
ผู้บันทึก:					ระยะทาง (เมตร)	108	108
ผู้อนุมัติ:					เวลา (นาฬิกา)	66	59.42
							6.18

จากข้อมูลในการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงาน โรงงานมีเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหมด 44 เครื่อง มีการผลิต 23 วันทำงานต่อเดือน โดยทำงาน 2 ช่วงเวลาทำงานต่อวัน (2กะ) การเปลี่ยนรุ่นการผลิตเฉลี่ย 2 รอบต่อวัน ดังนั้นใน 1 วันจะมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตรวม 88 ครั้ง การผลิตชิ้นงานในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาที่มีรอบการทำงาน (Cycle Time) โดยเฉลี่ย 10.5 วินาที ต่อชิ้น ดังนั้น จากแก้ปัญหาลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตในขั้นตอนการติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติจะสามารถนำเวลาที่ลดได้ไปทำการผลิตชิ้นงานได้ 3,168 ชิ้นต่อวัน $((378/10.5) \times 88)$ การเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์เฉพาะขั้นตอนการเตรียมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก สามารถลดค่าใช้จ่ายจากแรงงานได้ 1,264.03 บาทต่อวัน $(378 \times 0.038 \times 88)$ ค่าใช้จ่ายเกิดจากการดำเนินงาน 7,830 บาท ดังนั้นจุดคุ้มทุน 6.19 วัน $(7,830/1,264.03)$ หรือ ประมาณ 7 วันทำงาน ผลการดำเนินงานในภาพรวมในการลดเวลาการเตรียมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในขั้นตอนการติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการดำเนินงานในภาพรวม

รายการ	ต่อวัน	ต่อเดือน	ต่อปี
ค่าแรงงานลดลง (บาท)	1,264.03	29,072.7	348,872.8
ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ชิ้น)	3,168.0	72,864.0	874,368.0
จุดคุ้มทุน	6.19 วัน หรือ 7 วัน		

5. อภิปรายผลและสรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติก และวิเคราะห์ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุง โดยมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะขั้นตอนการติดตั้งจิ๊กแขนกลหยิบงานอัตโนมัติ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลานาน

ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นถึงการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นที่สำคัญและมีนัยยะทางเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบถูกนำไปใช้โดยเริ่มจากการใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) เพื่อระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการติดตั้งจิ๊กแขนกลหีบงานอัตโนมัติ ครอบคลุมด้าน Machine, Man, Material, และ Method จากนั้นทำการการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis เพื่อเจาะลึกถึงรากเหง้าของปัญหา ซึ่งระบุได้แก่ การชำรุดของอุปกรณ์และการจัดการพื้นที่จัดเก็บที่ไม่เป็นระเบียบ การระบุสาเหตุที่ชัดเจนเหล่านี้เป็นฐานในการพัฒนาแนวทางการแก้ไขที่ตรงจุด สำหรับแนวทางการปรับปรุงได้รับการออกแบบและประยุกต์ใช้ตามหลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) อย่างเป็นรูปธรรม ได้แก่ Eliminate (การกำจัด) ได้ลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็น เช่น การซ่อมแซมอุปกรณ์ระหว่างการติดตั้ง โดยเปลี่ยนเป็นการบำรุงรักษาเชิงรุก และกำจัดเวลาในการค้นหาจิ๊กด้วยระบบการระบุตัวตนและจัดเก็บที่ชัดเจน Combine (การรวม) ได้ปรับรวมขั้นตอนที่สามารถทำร่วมกันได้เพื่อลดการเคลื่อนไหวและเวลาที่สูญเปล่า Rearrange (การจัดเรียงใหม่) ได้ปรับผังการจัดเก็บจิ๊กให้เข้าถึงง่ายขึ้น ตามความถี่ในการใช้งานและน้ำหนัก เพื่อลดเวลาในการหยิบและจัดวาง Simplify (การทำให้ง่ายขึ้น) ได้พัฒนากระบวนการติดตั้งให้ง่ายขึ้นผ่านการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน (Standard Work Instruction) และใช้ระบบ Visual Control เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ผลลัพธ์เชิงปริมาณจากการปรับปรุงยืนยันถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำมาใช้ โดยเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตลดลงจาก 3,960 วินาที เหลือ 3,582 วินาที ซึ่งคิดเป็นการลดลง 378 วินาที หรือร้อยละ 9.54 ผลการลดเวลานี้สอดคล้องกับแนวคิดการเพิ่มผลิตภาพตามหลักการ Lean Manufacturing และงานวิจัยอื่น ๆ ที่ประยุกต์ใช้ ECRS ในบริบทอุตสาหกรรมที่คล้ายคลึงกัน (เช่น คักดีดา คำจันทร์และคณะ, ศรีสุรา ชินภักดีและคณะ). แม้ว่าการวิจัยนี้ไม่ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค SMED โดยตรงเหมือนงานของ ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์และคณะ แต่หลักการ ECRS ที่ใช้ก็เป็นองค์ประกอบสำคัญในการปรับปรุงกิจกรรมให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการแยกกิจกรรมภายในและภายนอกใน SMED นอกจากนี้ประโยชน์ด้านเวลาแล้ว การปรับปรุงนี้ยังก่อให้เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์อย่างชัดเจน โดยสามารถลดต้นทุนค่าแรงงานได้ถึง 348,872.8 บาทต่อปี และมีจุดคุ้มทุนที่รวดเร็วเพียง 7 วัน การประหยัดเวลาและต้นทุนนี้ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นงานได้ถึง 3,168 ชิ้นต่อวัน หรือ 874,368 ชิ้นต่อปี ซึ่งไม่เพียงช่วยให้บริษัทบรรลุเป้าหมายในการลดเวลา แต่ยังเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันและตอบสนองความต้องการของลูกค้าในตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือเป็นการศึกษาเฉพาะกรณีในขั้นตอนเดียวของกระบวนการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจแตกต่างกันไปในบริบทอื่น ๆ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหาและหลักการ ECRS อย่างเป็นระบบ สามารถลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตในกระบวนการฉีดพลาสติกได้อย่างมีนัยสำคัญ (ลดลงร้อยละ 9.54) การปรับปรุงนี้ส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนค่าแรงงาน 348,872.8 บาทต่อปี และมีจุดคุ้มทุนภายใน 7 วัน ผลการวิจัยนี้ยืนยันถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้ศาสตร์วิศวกรรมอุตสาหการในการเพิ่มผลิตภาพและสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่เป็นรูปธรรมในภาคอุตสาหกรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ได้อนุญาตให้คณะวิจัยเข้าศึกษาวิจัยให้ข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Nopmanee and M. Warapoj, “Improvement of Pressing Process in Automotive Industry,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 17, no. 3, pp. 79-98, 2021.
- [2] K. Sakda, K. Nanthiya, and K. Wirekha, “Set Standard Work and Improve The Efficiency of Mold Model Changing,” in *Proceeding of 9th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2024 (RMTC2024)*, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand, 2024, pp. 192–197. (in Thai)
- [3] J. Kaona, T. Surat, W. Voraya, and T. Chalernsak, “Setup Time Reduction for Automatic Assembly Wire Harness Machine by SMED Theory A Case Study: Automotive Wire Harness Manufacturer,” in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*, Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, 2022, pp. 85–95. (in Thai)
- [4] C. Supisara, K. Samachaya, M. Asawin, and C. Ninlawan, “Reducing Model Changeover Times in the Metal Packaging Printing Process: A Case Study,” *Engineering and Technology Horizons*, vol. 40, no. 4, Art. no. 400405, 2023.
- [5] B. Nipon, *Introduction to Lean Manufacturing*. Bangkok, Thailand: TPA Book, 2005.
- [6] S. Worapot, N. Thassaphong, S. Woraphod, P. Amornrat, and S. Chatcha, “Process Improvement of Electronic Part Assembly with ECRS Technique,” *The Journal of Manufacturing and Management Technology*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [7] F. Praphaporn, H. Apisak, B. Paramet, W. Panya, and J. Porawit, “The Improving and Defect Prevention in Production Process of Car Window Trim Seal Parts Case study: Company for Plastic Components,” *The Journal of Manufacturing and Management Technology*, vol. 3, no. 2, 2024.
- [8] Thailand Productivity Institute. (2025, June 16). *QC 7 Tools*. [Online]. Available: <https://productiveeng.co/2022/11/15/qc7tools/>

การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ

Investigation of the Effects of Welding Path Patterns on the Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy in GMAW Using a Robotic Welding Arm

วิทยา ศิริคุณ¹ วิษเณศ เพชรสุวรรณ^{1*} ชูไฮดี สนิ¹ สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์^{1,2} และ รอมฏอน บุระพา^{1,2}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Witthaya Sririkun¹ Wikanet Phetsuwan^{1*} Suhaidee Sani¹ Surasit Rawangwong^{1,2} and Romadorn Burapa^{1,2}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Muang, Songkhla 90000, Thailand

²Materials Processing Technology Research Unit, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Boyang,
Muang, Songkhla 90000, Thailand

*Corresponding author Email: wikanet.p@rmutsv.ac.th

(Received: June 11, 2025; Revise: June 28, 2025; Accepted: June 29, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ภายใต้กระบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยใช้แขนกลหุ่นยนต์เชื่อม KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ควบคู่กับแหล่งจ่ายกำลังเชื่อม ภายใต้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย วัสดุทดสอบเป็นแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ขนาด $100 \times 200 \times 4$ มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์การเชื่อมคงที่ ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของก๊าซเฉื่อย 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที โดยพิจารณาผลของรูปแบบการเดินแนวเชื่อม 3 ลักษณะ คือ แบบเส้นตรง (ไม่มีการส่าย) แบบส่ายซิกแซก และแบบส่ายเป็นวงกลม ผลการทดสอบเชิงกลโดยวิธีความแข็งแบบวิกเกอร์ และการทดสอบแรงดึง แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเดินแนวเชื่อมแบบส่ายวงกลมส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูงสุดที่ 70.38 HV และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 154.74 MPa รองลงมาคือแบบส่ายซิกแซกที่ให้ค่าความแข็งแรง 64.10 HV และแรงดึง 141.39 MPa ขณะที่แบบไม่ส่ายให้ค่าต่ำสุดคือ 66.94 HV และ 135.44 MPa ตามลำดับ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของการเดินแนวเชื่อมมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมทางกลของแนวเชื่อมในโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์การควบคุมกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงานเชื่อมให้มีคุณภาพสูงมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: โลหะผสมอะลูมิเนียม 6061 การเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ รูปแบบการเดินแนวเชื่อม และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย

Abstract

This research aims to investigate the effects of welding path patterns on the mechanical properties of aluminum alloy 6061 under an automated welding process. The study utilizes a robotic welding arm integrated with welding power source, operating under the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process, also known as Metal Inert Gas (MIG) welding. The test specimens are aluminum alloy 6061 plates with dimensions of 100 × 200 × 4 mm. Constant welding parameters are maintained, including a welding current of 180 A, shielding gas flow rate of 12 L/min, wire feed speed of 6 m/min, and travel speed of 0.5 m/min. Three distinct welding path patterns are examined: linear (without weaving), zigzag weaving, and circular weaving. Mechanical properties are evaluated using the Vickers Hardness Test and Tensile Test. The results indicate that the circular weaving pattern yields the highest average weld hardness of 70.38 HV and the highest tensile strength of 154.74 MPa. The zigzag weaving pattern follows with a hardness of 64.10 HV and tensile strength of 141.39 MPa, while the linear pattern produces the lowest values at 66.94 HV and 135.44 MPa, respectively. These findings demonstrate that the welding path pattern significantly influences the mechanical behavior of the weld in aluminum alloy 6061. The research findings can be used as a guideline for developing control strategies in robotic welding processes within the industrial sector to enhance the efficiency and quality of welded components.

Keywords: Aluminum Alloy 6061, Robotic Welding, Welding Path Pattern, and Gas Metal Arc Welding (GMAW)

1. บทนำ

อะลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีความโดดเด่น ได้แก่ ความแข็งแรงเชิงกลที่สูง ความทนทานต่อการกัดกร่อน การนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี และน้ำหนักที่เบากว่าโลหะชนิดอื่น ๆ [1-2] คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้วัสดุประเภทนี้ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา อาทิเช่น อุตสาหกรรมการบิน ยานยนต์ อากาศยาน การก่อสร้าง และการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า [3] การเพิ่มธาตุผสม เช่น ซิลิกอน สังกะสี และแมกนีเซียมในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางกลและคุณสมบัติการหลอมละลายได้ [4] ในขณะที่อะลูมิเนียมยังคงเป็นโลหะที่ได้รับการยอมรับในอันดับที่สองรองจากเหล็ก ในแง่ของการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มโลหะผสมอะลูมิเนียมประเภท 5xxx 6xxx และ 7xxx ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานสูงและมีน้ำหนักเบา โดยเฉพาะในกรณีของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายไม่เพียงแต่ในชิ้นส่วนยานยนต์และอากาศยาน แต่ยังรวมไปถึงโครงสร้างทางทะเล โครงสร้างภายในอาคาร และการผลิตเฟอร์นิเจอร์ [5-6]

ในอุตสาหกรรมการบิน ยานยนต์ กระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ โดยเฉพาะกระบวนการเชื่อม ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนสำคัญ เช่น โครงสร้างหลัก ตัวถัง และชิ้นส่วนรับน้ำหนัก โดยการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ได้รับการพัฒนาอย่างมากในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลาในการผลิต [7] โดยเฉพาะกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย (Gas Metal Arc Welding; GMAW) หรือ MIG (Metal Inert Gas Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการเชื่อมโลหะด้วยการใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กที่ป้องกันจากภายนอก ทำให้การเชื่อมมีประสิทธิภาพสูง [8]

กระบวนการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) ใช้ลวดเชื่อมที่ป้อนเข้ามาอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความร้อนจากการอาร์กกระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงาน ทำให้โลหะหลอมละลายและเชื่อมติดกันเป็นแนวเชื่อม โดยการปกคลุมอาร์ก ด้วยก๊าซเฉื่อย

เช่น อาร์กอนหรือฮีเลียม จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการออกซิเดชันของโลหะในระหว่างการเชื่อม [9] การใช้หุ่นยนต์ในการเชื่อมร่วมกับกระบวนการ GMAW ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมกระบวนการเชื่อม เช่น การควบคุมความเร็วในการเดินเชื่อม แรงดันอาร์ก และกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้สามารถลดข้อผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์ เช่น ความเหนื่อยล้า และทำให้คุณภาพของการเชื่อมมีความสม่ำเสมอ [10] ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อม เช่น รูปแบบการเดินเชื่อม กระแสไฟฟ้า ความเร็วในการเดินเชื่อม และการควบคุมอุณหภูมิอาร์ก มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความแข็งแรงและคุณสมบัติของแนวเชื่อม การควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้ได้แนวเชื่อมที่มีคุณสมบัติที่ดีและทนทาน [11] โดยลดการเกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การบิดงอหรือการแตกหักของแนวเชื่อม

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ ยี่ห้อ KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ร่วมกับเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 320i ในกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบใช้ก๊าซเฉื่อย (GMAW) แบบ MIG โดยใช้วัสดุเป็นแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 แผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

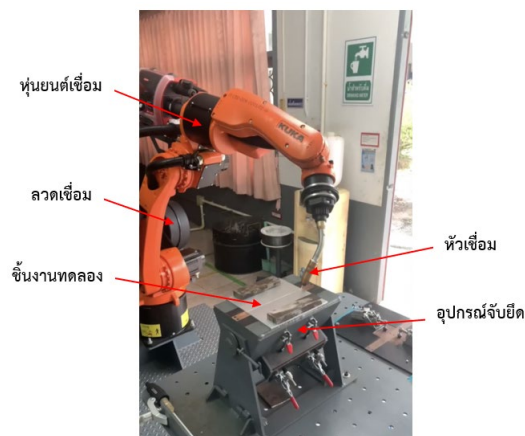
งานวิจัยนี้ได้ใช้อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ขนาดแผ่น $200 \times 100 \times 4$ mm มีส่วนประกอบหลัก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 (% โดยมวล) [5]

โลหะ	Si	Fe	Ti	Cu	Mg	Zn	Mn
Al 6061	0.8	0.7	0.15	0.4	1.2	0.25	0.15

2.1.2 หุ่นยนต์เชื่อมและเครื่องเชื่อม

งานวิจัยนี้ได้ใช้หุ่นยนต์เชื่อม (Welding robot) KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ดังรูปที่ 1 และเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 320 i และใช้ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมมิก เกรด ER 4043 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 หุ่นยนต์เชื่อม

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.2.1 กำหนดปัจจัยการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยในการทดลองเชื่อม คือ กระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที ทั้งนี้ การเลือกค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวอ้างอิงจากค่าที่เหมาะสมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [12] และสอดคล้องกับคำแนะนำจากผู้ผลิตลวดเชื่อมและเครื่องเชื่อมสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ด้วยกระบวนการ GMAW โดยค่าดังกล่าวสามารถให้สภาพอาร์กที่เสถียร การหลอมละลายของลวดสม่ำเสมอ และลดโอกาสเกิดความบกพร่องของแนวเชื่อม เช่น รูพรุนหรือการแตกร้าว โดยมีการเดินเชื่อม 3 แบบ คือ ไม่มีการส่าย (No weaving) การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral) ดังตารางที่ 2

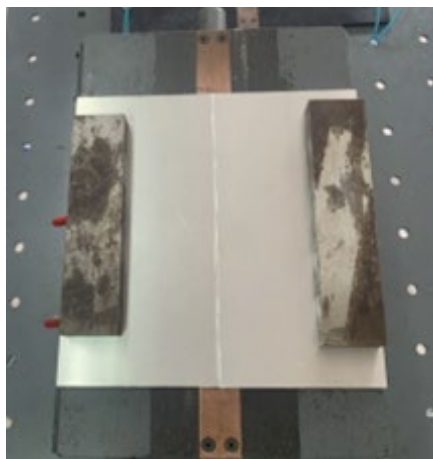
ตารางที่ 2 ปัจจัยในการทดลองเดินเชื่อม

การทดลอง	การเดินเชื่อม	ปัจจัยในการทดลอง			
		กระแส (A)	ความเร็วป้อนลวด (m/min)	ความเร็วเดินเชื่อม (m/min)	การไหลของก๊าซ Argon 100 % (L/min)
1	ไม่มีการส่าย (No Weaving)	180	6	0.5	12
2	การส่ายแบบซิกแซก (Triangle)	180	6	0.5	12
3	การส่ายแบบวงกลม (Spiral)	180	6	0.5	12

2.2.2 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

ในการเชื่อมทดลองมีขั้นตอนเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเป็นระบบ ดังนี้

- 1) นำแผ่นอะลูมิเนียมมากัดแต่งผิวสำหรับเชื่อมต่อชน
- 2) จัดยึดชิ้นงานทดลองในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 จัวยึดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

- 3) ติดตั้งลวดเชื่อมอะลูมิเนียมผสมสำหรับเชื่อมมิก ER 4043 เข้ากับหุ่นยนต์เชื่อม
- 4) ปรับค่ากระแสและความเร็วป้อนลวดเชื่อมของเครื่องเชื่อม โดยใช้กระแส 180 แอมแปร์ และความเร็วป้อนลวดเชื่อม 6 เมตรต่อนาที
- 5) เขียนโปรแกรมกำหนดรูปแบบการเดินเชื่อมและกำหนดความเร็วในการเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที
- 6) ทำการทดลองเชื่อม โดยการเปิดถังแก๊ส Argon อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลิตรต่อนาที ปรับการบังคับหุ่นยนต์ด้วยรีโมทเป็นโหมด Auto จากนั้นเริ่มการเชื่อมอัตโนมัติโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ โดยแต่ละรูปแบบการเดินเชื่อมมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อประเมินความแปรปรวนของข้อมูล ชิ้นงานทดลองทั้งหมด 9 ชิ้น
- 7) นำชิ้นงานที่ทดลองเชื่อมเสร็จมาพักให้เย็นลงในอุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นงานจากการทดลองเชื่อมด้วยหุ่นยนต์เชื่อม

2.2.3 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

1) ทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เริ่มจากการตัดและหล่อชิ้นงานด้วยเรซิน ตามด้วยการขัดผิวด้วยกระดาษทรายละเอียดพร้อมน้ำหล่อเย็น จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องวิกเกอร์เพื่อวัดค่าความแข็ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นงานหล่อเรซินเตรียมทดสอบความแข็งแรง

2) การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test)

จากชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้วนำมาตัดตามแนวขวางกับรอยเชื่อม ดังรูปที่ 5 ให้ได้ขนาดตามอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8 เพื่อนำไปทำการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 5 ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะของแนวเชื่อม

ผลจากการทดลองปัจจัยการเดินเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยกำหนดกระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที โดยมีการเดินเชื่อม 3 แบบ คือ ไม่มีการส่าย (No weaving) การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral) ได้ลักษณะของแนวเชื่อม ดังตารางที่ 3

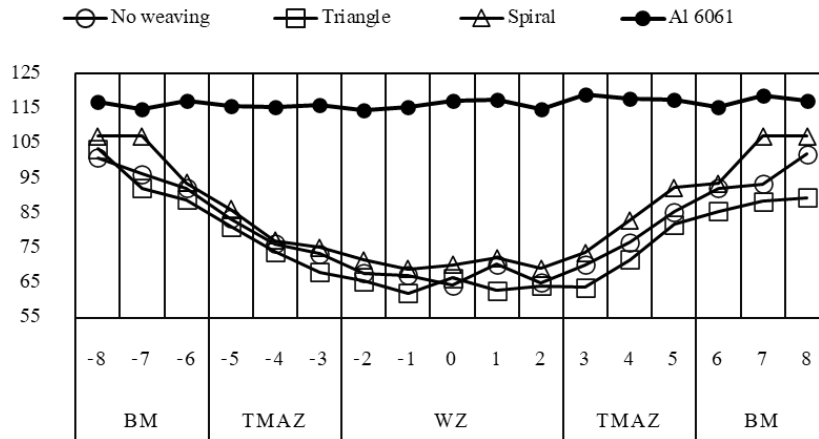
ตารางที่ 3 ลักษณะแนวเชื่อม

การทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง การเดินเชื่อม	ภาพประกอบ
1	ไม่มีการส่าย (No weaving) 	
2	การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) 	
3	การส่ายแบบวงกลม (Spiral) 	

จากตารางที่ 3 รอยเชื่อมของการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบการทดลอง แนวเชื่อมมีลักษณะสมบูรณ์และรอยเชื่อมทั้งสองผสานเป็นเนื้อที่ติดกัน โดยผ่านการตรวจสอบด้วยสายตา

3.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์

การทดสอบค่าความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อม โดยการนำค่าความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบ มาเปรียบเทียบกับวัสดุเดิม เพื่อดูค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) บริเวณที่ได้ผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal; BM) เมื่อนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบในรูปแบบกราฟได้ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6



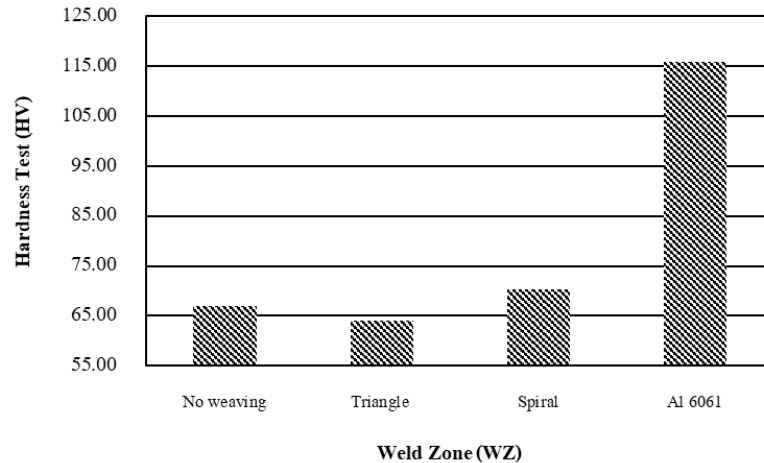
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็ง

3.2.1 วิเคราะห์ค่าความแข็งรอยเชื่อมจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

จากผลการทดสอบ พบว่าชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบ ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) สูงสุดตามลำดับ ดังนี้

- 1) การเดินเชื่อมสายแบบวงกลม (Spiral) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 70.38 HV
- 2) การเดินเชื่อมแบบไม่มีการสาย (No weaving) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 66.94 HV
- 3) การเดินเชื่อมสายแบบซิกแซก (Triangle) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 64.10 HV

เมื่อนำค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) ของชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 แบบ คือ ไม่มีการสาย (No weaving) การสายแบบซิกแซก (Triangle) และการสายแบบวงกลม (Spiral) มาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของวัสดุเดิม เฉลี่ย 115.9 HV จะเห็นได้ว่าชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมในทุกสภาวะการทดลอง มีค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมต่ำกว่าค่าความแข็งของวัสดุเดิม ดังรูปที่ 7 เพราะความร้อนจากการเชื่อมส่งผลต่อความแข็งของอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในพื้นที่ที่ได้รับความร้อนโดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) ที่ได้รับความร้อนมากที่สุดทำให้มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ [11] ว่าบริเวณแนวเชื่อมของชิ้นงาน (Weld Zone; WZ) หลังผ่านกระบวนการเชื่อม มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากความร้อนสูงทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเกรน (Grain Growth) โดยเกรนที่ใหญ่ขึ้นจะมีความแข็งลดลง



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง

3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง

ผลจากการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยกำหนดกระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที และการทดลองเดินเชื่อมที่ 3 รูปแบบ คือ ไม่มีการส่าย, การส่ายแบบซิกแซก และการส่ายแบบวงกลม โดยให้รอยเชื่อมอยู่ตำแหน่งกลางของชิ้นงานทดสอบ ความยาวทั้งหมด 150 มิลลิเมตร ความหนาชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร ระยะ Gauge Length (G) ของชิ้นงานทดสอบ 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน E8 เพื่อทดสอบหาค่าแรงดึงที่ดีที่สุด และศึกษาแนวโน้มของค่าแรงดึงว่าจะไปในทิศทางใด ตามมาตรฐานของ ASTM E8 ดังตารางที่ 5 ตารางที่ 4 และรูปที่ 8

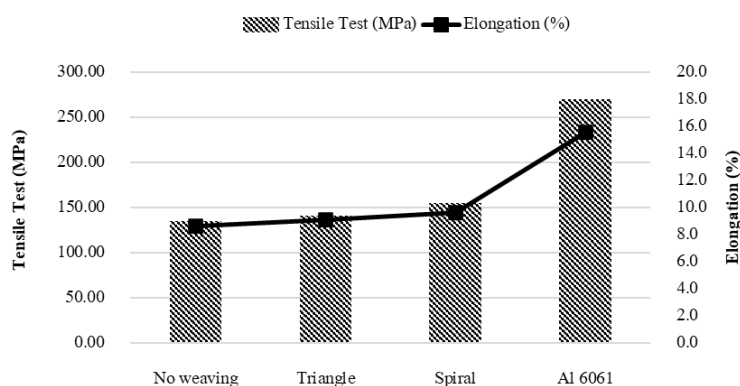
ตาราง 4 ผลการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

การทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง การเดินเชื่อม	ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึง		
		ความต้านทาน แรงดึง (MPa)	ความเค้นคราก (MPa)	ร้อยละการยึดตัวของวัสดุ (%)
1	ไม่มีการส่าย →	135.44	119.97	8.7
2	การส่ายแบบซิกแซก ↗↘↗↘↗↘↗↘↗↘	141.39	126.04	9.1
3	การส่ายแบบวงกลม ○○○○○○○○	154.74	147.6	9.7

3.3.1 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึงรอยเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061

ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานจากการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม จากการทดลองเดินเชื่อมที่ 3 รูปแบบ โดยสามารถจัดอันดับปริมาณแข็งแรงดึงของชิ้นงานและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุสูงสุดตามลำดับ

- 1) การเดินเชื่อมสายแบบวงกลม (Spiral) ค่าความแข็งแรงดึง 154.74 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 9.7% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ)
- 2) การเดินเชื่อมสายแบบซิกแซก (Triangle) ค่าความแข็งแรงดึง 141.39 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 9.1% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ)
- 3) การเดินเชื่อมแบบไม่มีการส่าย (No weaving) ค่าความแข็งแรงดึง 135.44 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 8.7% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณที่ได้ผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) จะอยู่ห่างจากกึ่งกลางเนื้อเชื่อมประมาณ 8–13 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 ความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของวัสดุ

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Max Stress ตามรูปแบบการเดินแนวเชื่อม

รูปแบบการเดินแนวเชื่อม	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ความแปรปรวน (Variance)
ไม่มีการส่าย (No Weaving)	135.44	6.31 MPa	39.81 MPa ²
การส่ายแบบซิกแซก (Triangle)	141.39	3.67 MPa	13.46 MPa ²
การส่ายแบบวงกลม (Spiral)	154.74	10.78 MPa	116.27 MPa ²

จากตารางที่ 5 การทดสอบแรงดึงชิ้นงานที่ใช้รูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่างกัน พบว่าแบบส่ายวงกลม (Spiral) ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด (154.74 MPa) และมีความแปรปรวนมากที่สุด ขณะที่แบบ ไม่มีการส่าย (No Weaving) ให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (135.44 MPa) แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเดินแนวเชื่อมส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

ตารางที่ 6 การทดสอบ t-test เปรียบเทียบค่า Max Stress ระหว่างรูปแบบการเดินแนวเชื่อม

คู่เปรียบเทียบ	t-value	degrees of freedom (df)	p-value
Spiral vs No Weaving	2.68	3.22	0.07
Spiral vs Triangle	2.03	2.46	0.14
Triangle vs No Weaving	1.41	3.21	0.25

จากการทดสอบ t-test เปรียบเทียบค่า Max Stress ระหว่างแต่ละคู่ของรูปแบบการเดินแนวเชื่อม พบว่า ทุกคู่มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของค่า Max Stress ระหว่างรูปแบบการเดินแนวเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. สรุป

ในการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยใช้กระแส 180 โวลต์ อัตราการไหลของก๊าซ 12 ลิตร/นาที่ ความเร็วป้อนลวด 6 เมตร/นาที่ และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตร/นาที่ ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการเดินแนวเชื่อม 3 แบบ ได้แก่ การไม่ส่าย (No weaving), การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral)

4.1 ลักษณะของแนวเชื่อม

การเดินแนวเชื่อมทั้ง 3 แบบสามารถเชื่อมวัสดุให้ติดกันได้ทั้งหมด แต่พบว่าแนวเชื่อมที่ได้จากการเดินเชื่อมแบบวงกลม (Spiral) มีลักษณะสม่ำเสมอและมีความสมบูรณ์มากที่สุด แนวเชื่อมมีความกว้างที่คงที่ตลอดแนวเชื่อม ต่างจากแบบไม่มีการส่ายและแบบซิกแซกที่แนวเชื่อมมีความกว้างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการสะสมความร้อนระหว่างกระบวนการเชื่อม

4.2 การทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อม

ค่าความแข็งแรงในบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) มีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากความร้อนที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม ทำให้บริเวณแนวเชื่อมที่ได้รับความร้อนสูงสุดมีความแข็งแรงลดลง

4.3 การทดสอบแรงดึง

การเดินเชื่อมแบบวงกลม (Spiral) ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ 154.74 MPa รองลงมาคือแบบซิกแซก (Triangle) ที่ 141.39 MPa และแบบไม่มีการส่าย (No weaving) อยู่ที่ 135.44 MPa แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเดินแนวเชื่อมมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของชิ้นงานที่เชื่อม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย และสถานที่ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Rodjanakid, C. Mekkaew, C. Sangsawang, S. Sukprasertthchai, and T. Chowwannonthapunya, “A Case Study of Thermodynamics and Electrochemical Corrosion Behavior of Al 6061–T6,” *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, vol. 14, no. 40, pp. 26–37, 2024.

- [2] A. Kamruan, S. Siwadamrongpong, U. Thanasubtawee, and P. Muangjunburee, “Influence of Friction Stir Welding Parameters on Tensile Strength of Semi-Solid Cast 2024 Aluminum Alloy Butt Joints,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 2, pp. 85–94, 2021.
- [3] L. Suphachai and B. Phonrat, “A Study on The Bending Stress Capability and Energy Absorption of Solid Rectangular Materials Produced from Natural Materials,” *Journal of RMUTK*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [4] Y. Zhao, W. Zhang, C. Yang, D. Zhang, and Z. Wang, “Effect of Si on Fe-Rich Intermetallic Formation and Mechanical Properties of Heat-Treated Al-Cu-Mn-Fe Alloys,” *Journal of Materials Research*, vol. 33, no. 11, pp. 898–911, 2018.
- [5] A. Teeeparaksapan, C. Jatuporn, and A. Wanaset, “Forecasting The Aluminum Price in The London Metal Exchange Using Box-Jenkins Method,” *Journal of Multidisciplinary Academic Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2023.
- [6] T. Chaisalon, “Determining The Optimal Parameters in Carbon Steel Welding Process Using Robotic Arm,” *Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [7] “Automotive Industry in Thailand, Robot & Automation Yearly Report 2023,” *TGI RAIU*, [Online]. Available: <https://tgiraiu.org/public/uploadfile/news/1724666064.pdf>. [Accessed: Jan. 11, 2025].
- [8] H. Liu and Y. Hu, “Welding,” in *Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys*, vol. 3, pp. 39–65, 2022.
- [9] A. A. Ojetoye, S. A. Akangbe, and O. M. Olorunda, “Friction Welding Processes: A Review,” *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 2579–0625, 2024.
- [10] R. Singh, “4 – Welding Automation,” in *Applied Welding Engineering (3rd ed.): Processes, Codes, and Standards*, pp. 187–201, 2020.
- [11] R. Kosturek, J. Torzewski, M. Wachowski, and L. Snizek, “Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties and Microstructure of Friction Stir Welded AA7075-T651 Aluminum Alloy Butt Joints,” *Materials*, vol. 15, no. 17, 5950, 2022.
- [12] P. K. Palani and N. Murugan, “Selection of Parameters of Pulsed Current Gas Metal Arc Welding,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 172, no. 1, pp. 1–10, 2006.

การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต

Development of Waste Data Monitoring and Analysis System in Production Process

ปริมประภา จุลบุตดี¹ ธนพล สิทธิศักดิ์¹ อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย¹

รัตนารณณ์ วงษ์ทอง¹ และ ปรมศวรร เป้าวรรณ^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Primprapa Junlabuddee¹ Thanaphon Sitthisak¹ Apisak Harnpicharnchai¹

Rattanaorn Wongthong¹ and Paramet Baowan^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

150 Village No. 6, Srichan Road, Mueang District, Khon Kaen Province 40000

*Corresponding author E-mail: paramet.ba@rmuti.ac.th

(Received: June 23, 2025; Revise: June 27, 2025; Accepted: June 27, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อพัฒนาระบบดิจิทัลสำหรับลดเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการบันทึกข้อมูลของเสีย พร้อมทั้งให้ผู้บริหารสามารถติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป กูเกิลฟอร์ม (Google Form) และกูเกิลชีท (Google Sheets) ในการสร้างแบบฟอร์มสำหรับจัดเก็บข้อมูล ร่วมกับลุคเกอร์ สตูดิโอ (Looker Studio) เพื่อทำการสรุปและวิเคราะห์ผลข้อมูล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานลงได้จากเดิมเฉลี่ย 30.33 นาที ลดเหลือ 10.30 นาที หรือมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 66.04 เมื่อเทียบกับเวลาเดิม

คำสำคัญ: กูเกิลฟอร์ม กูเกิลชีท ลุคเกอร์ สตูดิโอ และระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเสีย

Abstract

This study presents the development of an integrated digital system for waste data monitoring and analysis system for the production process of a case study company. The system aims to reduce working time for operators in data recording and make the process more user-friendly, while allowing management to access information in real-time. The system architecture integrates three main modules Google Form and Google Sheet software to create data collection forms, integrated with Looker Studio for data summarization and analysis. Experimental results demonstrated the system successfully reduced the operation process time from an average of 30.33 minutes to 10.30 minutes, representing a 66.04% improvement in operational efficiency compared to the previous method.

Keywords: Google Form, Google Sheet, Looker Studio, and Waste Data Monitoring and Analysis System

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยมีมูลค่ากว่า 2.3 ล้านล้านบาท ในปี 2566 โดยเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ที่สุดอันดับ 10 ของโลก [1] การผลิตเบาะที่นั่งซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 8.5% ต่อปี [2] ท่ามกลางความท้าทายด้านมาตรฐานคุณภาพที่เข้มงวดขึ้นตามข้อกำหนด UNECE R17 [3] บริษัทกรณีศึกษาเป็นอีกหนึ่งสถานประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตเบาะที่นั่งสำหรับยานยนต์ โดยมีความมุ่งมั่นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นและมาตรฐานที่เข้มงวดของอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ ในปัจจุบัน การควบคุมคุณภาพและการจัดการของเสียในกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานและต้นทุนการผลิตโดยรวม จากการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา โดยเฉพาะในขั้นตอนการเชื่อม พบว่าระบบการจัดการข้อมูลของเสียที่ใช้อยู่มีความซับซ้อนและไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ เมื่อพนักงานตรวจพบชิ้นงานเสียในกระบวนการตรวจสอบรอยเชื่อม พนักงานต้องบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มกระดาษ จากนั้นส่งต่อให้หัวหน้างานนำข้อมูลไปบันทึกเข้าในโปรแกรมเอ็กเซล (Excel) เพื่อจัดทำรายงานสรุปและนำไปวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่

- 1) การทำงานซ้ำซ้อน เกิดการบันทึกข้อมูลซ้ำทั้งในระดับพนักงานและหัวหน้างาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ที่ระบุว่า การทำงานซ้ำซ้อนเป็นหนึ่งในความสูญเสียที่สำคัญในกระบวนการผลิตสมัยใหม่
- 2) ความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล การบันทึกข้อมูลด้วยมือและการถ่ายโอนข้อมูลหลายครั้งเพิ่มโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาด
- 3) ความล่าช้าในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล กระบวนการแบบเดิมใช้เวลานาน ส่งผลให้การตอบสนองต่อปัญหาคุณภาพเกิดความล่าช้า
- 4) ข้อมูลไม่ครบถ้วน พบว่าบางครั้งพนักงานไม่ได้บันทึกข้อมูลหรือบันทึกข้อมูลไม่ครบถ้วน ทำให้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ไม่สะท้อนสภาพปัญหาที่แท้จริง

ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการติดตามและแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้กระบวนการทำงานช้าลง แต่ยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม นอกจากนี้ ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 การใช้ระบบจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กร [4]

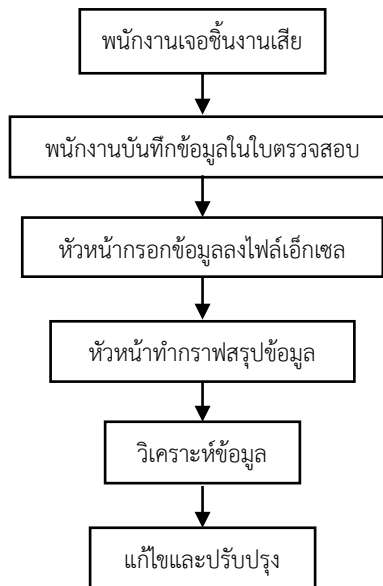
งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิต โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพและเข้าถึงได้ง่าย ได้แก่ กูเกิลฟอร์ม กูเกิลชีท และลुकเกอร์ สตูดิโอ ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือที่มีความสามารถในการรวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time) [5] ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีเป้าหมายเพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการทำงาน ลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามและวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพในกระบวนการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของลีน (Lean Manufacturing) ที่มุ่งเน้นการกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน [3]

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษากระบวนการทำงานแบบเดิม

ทำการเก็บข้อมูลและศึกษากระบวนการทำงานของพนักงานตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการเพื่อให้ทราบและเข้าใจถึง

กระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอนโดยสรุปได้ดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

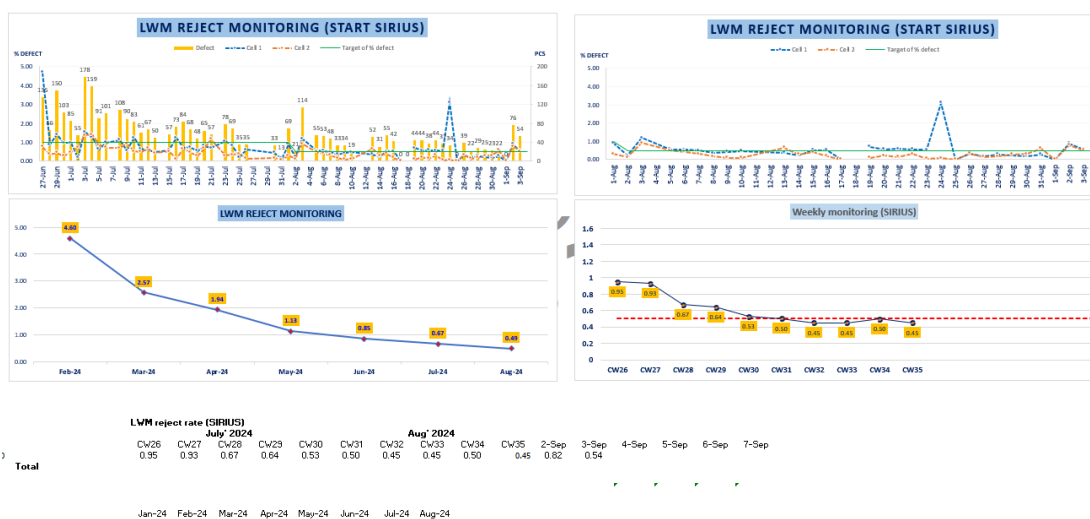


รูปที่ 1 กระบวนการทำงาน (แบบเดิม)

- 1) หลังจากทำการเชื่อมเสร็จแล้ว พนักงานจะตรวจรอยเชื่อมทุกจุดเพื่อเช็คว่างานเชื่อมเกิดปัญหาหรือไม่
- 2) หลังจากพนักงานเจอชิ้นงานเสีย จะทำการบันทึกข้อมูลในใบตรวจสอบที่เตรียมไว้ โดยจะต้องระบุข้อมูลต่อไปนี้ หมายเลขเครื่องเชื่อม (Cell) ประตูเครื่องเชื่อม (Window) กะการทำงาน (Shift) ปัญหา (Defect) จำนวนชิ้นงานเสีย (Total Reject) และวันที่ตรวจสอบ (Inspection Date) โดยจะส่งข้อมูลให้กับทางหัวหน้างานก่อนเลิกงานเวลา 17:00 น. กรณีทำงานล่วงเวลาจะส่งเวลา 19:30 น.
- 3) หัวหน้างานจะนำข้อมูลจำนวนชิ้นงานเสียทั้งหมดกรอกลงในไฟล์เอ็กเซลลงในแบบฟอร์มดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2
- 4) ทำกราฟสรุปข้อมูลดังรูปที่ 3 เพื่อแสดงปัญหาและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
- 5) ทำการวิเคราะห์ว่างานเสียที่เกิดขึ้นนั้นยังอยู่ภายในอัตราส่วนที่ยอมรับได้หรือไม่
- 6) แจ้งทางทีมช่างเพื่อทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและติดตามผลต่อไป

		3-Sep	4-Sep	5-Sep	6-Sep
Cell#2/ W1	Suspect	0	0	0	0
	Judge NG from suspect	1	6	1	
	Total Reject	1	6	1	
เชื่อมไม่เข้าเสมอ	Irregular				
เชื่อมทะลุ	Burn through				
พองอากาศ	Blow hole				
ไม่ตรงแนว	Out of center				
เชื่อมสั้น	Short weld				
เชื่อมไม่ตรงตำแหน่ง	Missalignment				
เชื่อมไม่ติด	Cold weld	1	1		
Robot ค้าง	Electricity Alarm ERROR		6		
Set up	Set up				
		3-Sep	4-Sep	5-Sep	6-Sep
Cell#2/ W2	Suspect	5	16	5	
	Judge NG from suspect	3	3	2	
	Total Reject	8	19	7	
เชื่อมไม่เข้าเสมอ	Irregular	2	3		
เชื่อมทะลุ	Burn through				
พองอากาศ	Blow hole		1		
ไม่ตรงแนว	Out of center				
เชื่อมสั้น	Short weld				
เชื่อมไม่ตรงตำแหน่ง	Missalignment				
เชื่อมไม่ติด	Cold weld	1	1		

รูปที่ 2 แบบฟอร์มการกรอกข้อมูลด้วยเอ็กเซล (แบบเต็ม)



รูปที่ 3 การทำกราฟสรุปข้อมูลด้วยโปรแกรมเอ็กเซล (แบบเดิม)

จากการดำเนินการแบบเดิม จะพบว่ามีขั้นตอนกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ซึ่งพนักงานจะต้องกรอกข้อมูลในใบตรวจสอบ และหัวหน้างานจะต้องมากรอกข้อมูลเดิมซ้ำในลงในแบบฟอร์มที่เตรียมไว้ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งอาจเกิดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลผิดพลาดหากใช้แบบฟอร์มเดิม เช่น การกรอกวันที่หรือการหมายเลขชิ้นงานผิด เป็นต้น ซึ่งจะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลดังกล่าว

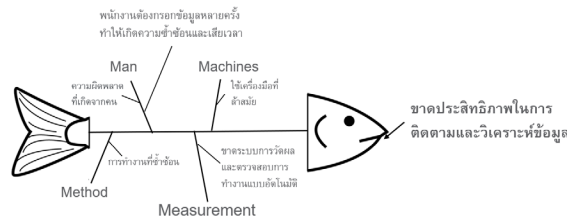
เมื่อทำการจับเวลาในแต่ละกระบวนการของรูปแบบการทำงานแบบเดิม เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ตั้งแต่การบันทึกข้อมูลลงในใบตรวจสอบจนถึงการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวน 10 รอบ พบว่าในแต่ละขั้นตอนมีการใช้เวลาดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยการบันทึกข้อมูลลงในใบตรวจสอบและการกรอกข้อมูลลงไฟล์เอ็กเซลแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 5.02 และ 15.08 นาที ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน สำหรับการถ่ายภาพสรุปข้อมูลใช้เวลาประมาณ 5.22 นาที และการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เวลาประมาณ 5.04 นาที ซึ่งระยะเวลาในการทำงานสองขั้นตอนสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ต้องการนำเสนอ สรุปเวลาของกระบวนการทำงานแบบเดิมทั้งหมดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30.33 นาที

ตารางที่ 1 เวลาการทำงาน (แบบเดิม)

ขั้นตอน	เวลาในการทำงานแต่ละครั้ง (นาที)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
บันทึกข้อมูลลงในใบตรวจสอบ	5.06	5.02	5.03	5.04	5.01	5.02	5.01	5.03	5.00	5.02	5.02
กรอกข้อมูลลงไฟล์เอ็กเซล	15.12	15.02	15.04	15.04	15.05	15.05	15.02	15.03	15.02	15.02	15.04
ทำการฟสรุปข้อมูล	4.57	4.87	5.30	5.18	5.78	5.44	5.20	5.40	5.18	5.30	5.22
วิเคราะห์ข้อมูล	4.54	5.08	5.02	4.97	5.07	5.21	5.30	5.23	4.87	5.13	5.04
รวม	29.29	29.99	30.39	30.23	30.91	30.72	30.53	30.69	30.07	30.47	30.33

2.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางการปรับปรุง

ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิต ได้ใช้เครื่องมือแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ช่วยให้เห็นสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหาได้อย่างชัดเจน [6] โดยนำหลักการ 4M (Man, Machine, Method, Material) มาพิจารณา ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา

ใช้ทฤษฎีการลดความสูญเสียเปล่าด้วย ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [7] โดยลดเวลาในการทำงานและเพิ่มความสะดวกสบายในการจัดการข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ขจัดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน (Eliminate) ขจัดขั้นตอนการบันทึกข้อมูลในใบตรวจสอบและเอ็กเซลที่ทำให้เกิดความซ้ำซ้อนและใช้เวลานาน
- 2) การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) ทำให้กระบวนการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลง่ายขึ้น โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลที่ช่วยลดความซับซ้อนในแต่ละขั้นตอน และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา

2.3 ปรับปรุงกระบวนการดำเนินการใหม่

สร้างระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ลุกเกอร์ สตูดิโอ จากการปรึกษาร่วมกันระหว่างผู้เกี่ยวข้อง พบว่าต้องการดูข้อมูลจากเครื่องตรวจจับของเสีย โดยมีรายละเอียดของข้อมูลและความต้องการใช้งานดังต่อไปนี้

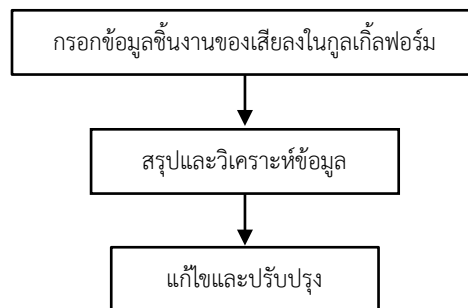
- 1) การแสดงข้อมูลชิ้นงาน
- 2) การกรอกข้อมูลตามวันที่ ระยะเวลาการทำงาน หมายเลขเครื่อง และหมายเลขประตูเครื่อง

- 3) กราฟแสดงจำนวนของเสียและสัดส่วนของเสียแบบรายวัน จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกะการทำงาน
- 4) ยอดรวมชิ้นงานดี ยอดรวมชิ้นงานเสีย และยอดรวมสัดส่วนของเสีย

การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิต มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรม ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 เริ่มจากให้พนักงานกรอกข้อมูลชิ้นงานที่เสียหายลงในกูเกิ้ลฟอร์ม โดยข้อมูลนี้จะถูกจัดเก็บไว้ในกูเกิ้ลชีตโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนลง ไม่จำเป็นต้องบันทึกข้อมูลชุดเดียวกันหลายครั้ง หลังจากนั้นข้อมูลที่เก็บไว้ในกูเกิ้ลชีตจะถูกนำไปแสดงผลในลुकเกอร์ สตูดิโอ ซึ่งจะสร้างกราฟและรายงานที่ดูง่าย ทำให้ผู้บริหารและพนักงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทันทีแบบเรียลไทม์ [5] ช่วยให้การวิเคราะห์และการตัดสินใจรวดเร็วขึ้น และลดเวลาในกระบวนการสรุปและวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก โดยมีกระบวนการทำงานแบบใหม่ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป



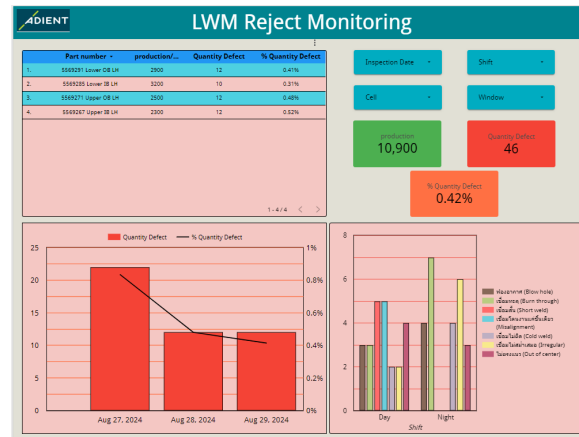
รูปที่ 6 กระบวนการทำงาน (แบบใหม่)

3. ผลการดำเนินงาน

รูปที่ 7 แสดงระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้ลुकเกอร์ สตูดิโอ ซึ่งสามารถสร้างรายงานรูปแบบต่างๆ ตามต้องการ โดยเลือกใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีภายในโปรแกรมให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้ ทั้งรูปแบบกราฟ ตาราง หรือรูปภาพ โดยสามารถวิเคราะห์และคัดกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ ทำให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับหมายเลขชิ้นส่วน จำนวนชิ้นงานต่อวัน จำนวนชิ้นงานเสีย และรายละเอียดอื่นๆ เพื่อใช้รายงานปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

จากการศึกษากระบวนการทำงานแบบใหม่ ซึ่งเหลือขั้นตอนการทำงานหลักเพียงสองขั้นตอนคือ เมื่อพนักงานเจอชิ้นงานของเสีย จะทำการบันทึกข้อมูลลงในกูเกิ้ลฟอร์ม ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในกูเกิ้ลชีตโดยอัตโนมัติ จากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงผลด้วยลुकเกอร์ สตูดิโอ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าจำนวนชิ้นงานของเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีอัตราส่วนของเสียที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยมีเวลาในแต่ละกระบวนการของรูปแบบการทำงานแบบใหม่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยใช้เวลาในการกรอกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 5.16 และ 5.14 นาที ตามลำดับ โดยมีเวลาเฉลี่ยรวมของกระบวนการ

ทั้งหมดจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 ครั้งเท่ากับ 10.30 นาที



รูปที่ 7 ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสีย

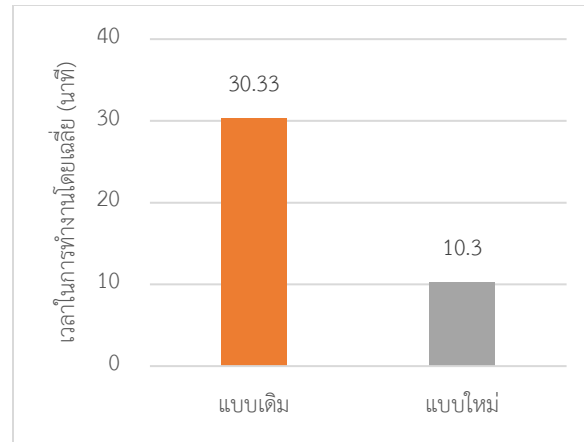
ตารางที่ 2 เวลาการทำงาน (แบบใหม่)

ขั้นตอน	เวลาในการทำงานแต่ละครั้ง (นาที)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
การกรอกข้อมูล	5.14	5.18	5.27	5.05	5.13	5.19	5.16	5.12	5.20	5.14	5.16
การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล	5.16	5.14	5.19	5.16	5.12	5.20	5.18	5.27	5.05	5.13	5.14
รวม	10.30	10.32	10.46	10.21	10.25	10.39	10.34	10.39	10.25	10.27	10.30

4. สรุป

จากการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปกุลเกิ้ลฟอร์ม กุลเกิ้ลชีท และลัคเกอร์ สตูดิโอ เพื่อสร้างระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิต สามารถลดขั้นตอนการกรอกข้อมูลที่ซ้ำซ้อน และลดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลลง อีกทั้งช่วยลดระยะเวลาในการสรุปและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่เกิดขึ้นได้ โดยกระบวนการทำงานแบบใหม่สามารถลดระยะเวลาการทำงานจากเดิมเฉลี่ย 30.33 นาที ลดเหลือ 10.30 นาที หรือมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 66.04 เมื่อเทียบกับเวลาเดิม ดังกราฟในรูปที่ 8 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานระหว่างแบบเดิมและแบบใหม่

ในการใช้งานยังพบปัญหาในการใช้งานระบบอยู่ เนื่องจากพนักงานยังขาดความเข้าใจและความชำนาญในการใช้งานระบบ โดยพบว่าพนักงานกรอกข้อมูลลงในกุลเกิ้ลฟอร์มผิดพลาด จึงจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้งานระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นงานของเสียในกระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้น สำหรับการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของมนุษย์ (Human Error) สามารถนำโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นที่มีความสามารถสูงกว่า เช่น แอปชีท (App Sheet) มาใช้แทนกุลเกิ้ลฟอร์ม ซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดและระยะเวลาในการกรอกข้อมูลได้ [8], [9] นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นต้องการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในการใช้งาน ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมและระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง



รูปที่ 8 เปรียบเทียบเวลาการทำงานแบบเดิม-แบบใหม่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ได้อนุเคราะห์ให้เข้าศึกษาปัญหาและดำเนินการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [17] Federation of Thai Industries, “Report on The Situation of The Thai Automotive Industry 2023,” 2023. Accessed: June 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.fti.or.th>
- [18] Krungsri Research, “Auto Parts Industry Outlook 2023–2025,” 2023. Accessed: June 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.krungsri.com>
- [19] Department of Land Transport, “UNECE Regulation No. 17: Strength of Seats,” 2022. Accessed: June 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.dlt.go.th>
- [20] J. Lee, H. Davari, J. Singh, and V. Pandhare, “Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0–Based Manufacturing Systems,” *Manufacturing Letters*, vol. 18, pp. 20–23, 2018.
- [21] J. Ofoeda, R. Boateng, and J. Effah, “Digital Transformation Process and The Capability and Capacity Implications for Small and Medium Enterprises,” *International Journal of E-Business Research*, vol. 15, no. 2, pp. 97–113, 2019.
- [22] K. Ishikawa, *Introduction to Quality Control*. Productivity Press, 1990.
- [23] T. Barnes, “ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify): Applying Lean Principles to Improve Productivity,” *Industrial Engineering & Management*, vol. 2, no. 3, p. 2169–0316, 2013.
- [24] V. K. Khanna and R. Shankar, “Digital Transformation for Sustainable Enterprise Performance: Evidence from Manufacturing Companies,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 69, no. 6, pp. 1254–1268, 2020.

- [25] J. Meesuptong, S. Pathomsiri, and T. Naenna, “Development of Data Collection Applications for Production Systems Using No-Code/Low-Code Platforms,” *Engineering and Applied Science Research*, vol. 49, no. 1, pp. 51–62, 2022.

การวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11

Analysis of Water Jet Cutting Parameters on Surface Roughness of SKD 11 Steel

ธนศักดิ์ รัตนพุทธรูป¹ สุรพจน์ วัชรโรภากุล^{1*} รุ่งวสันต์ ไกรกลาง¹ ฉาก เชื้อดี¹

สุรัตน์ วรรณศรี¹ สุรศักดิ์ มะธิโตปะน้า¹ และ ภาณุกร บุญสุข¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุนทรารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

Thanasak Rattanapootapiboon¹ Suraphot Watcharophakul^{1*} Rungwasun Kraiklang¹ Chakat Chueadee¹

Surat Wannasri¹ Surasak Matitopatum¹ and Phanukorn Bunsuk¹

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

Rajamangala University of Technology Isan

744 Sura Narai Rd, Ban Ko, Mueang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima 30000

*Corresponding author E-mail: thanasak.ra@rmuti.ac.th

(Received: June 11, 2025; Revise: June 27, 2025; Accepted: June 27, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด ที่มีผลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 ในกระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงผสมสารขัด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน (BBD) จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวน (ANOVA) ผลจากการวิจัยพบว่า ปัจจัยทั้งสี่มีผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วง 3.21 ถึง 4.75 ไมโครเมตร โดยเงื่อนไขที่ส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวต่ำสุด ได้แก่ แรงดันน้ำ 35,000 PSI ความเร็วตัด 20 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะยกหัวตัด 1.64 มิลลิเมตร และใช้สารขัดโกเมน II โดยแบบจำลองที่ได้มีค่าความแม่นยำสูง ($R^2 = 88.36\%$ และ Adjusted $R^2 = 81.03\%$) ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด เพื่อควบคุมคุณภาพผิวงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

คำหลัก ความหยาบผิว การตัดด้วยแรงดันน้ำสูง การออกแบบการทดลอง และบล็อกซ์-เบห์นเคน

Abstract

This research aims to investigate the effects of various factors, including water pressure, cutting speed, stand-off distance, and abrasive type, on the surface roughness of SKD 11 tool steel in the abrasive water jet cutting process. The study applied the Box-Behnken Design (BBD) for experimental design and employed Analysis of Variance (ANOVA) for statistical analysis. The results indicated that all four factors significantly influenced surface roughness ($p\text{-value} < 0.05$), with surface roughness values ranging between 3.21 and 4.75 micrometers. The optimal conditions for achieving the lowest surface roughness were a water pressure of 35,000 Psi, a cutting speed of 20 mm/min, a stand-off distance of 1.64 mm, and the use of Garnet II Abrasive.

The developed model demonstrated high accuracy with an R^2 of 88.36% and an Adjusted R^2 of 81.03%. The findings of this study can be applied as guidelines for selecting appropriate parameters in abrasive waterjet cutting processes to control surface quality and enhance production efficiency.

Keywords: Surface roughness, water jet cutting, Design of experiment, and Box–Behnken Design

1. บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญของงานวิจัย

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น แม่พิมพ์ปั๊ม แม่พิมพ์ตัด และแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็น วัสดุที่นิยมนำมาใช้ คือ เหล็กกล้า SKD 11 เนื่องจากมีคุณสมบัติความแข็งแรง ทนต่อการสึกหรอ และสามารถชุบแข็งได้ดี [1] ซึ่งในกระบวนการตัดแต่งวัสดุ คุณภาพของผิวงาน โดยเฉพาะความหยาบผิว ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์และชิ้นส่วน [2] ความหยาบผิวที่สูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของชิ้นงาน รวมถึงทำให้เกิดจุดอ่อนที่อาจนำไปสู่ความเสียหายระหว่างการใช้งาน [3] ดังนั้นการควบคุมและลดค่าความหยาบผิวจึงเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและตรงตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม

แม้ว่ากระบวนการตัดด้วยแรงดันน้ำสูงจะมีข้อดีในด้านความสะอาดของรอยตัดและช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากความร้อนต่อวัสดุ แต่คุณภาพผิวงานที่ได้ยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด ซึ่งแต่ละปัจจัยล้วนส่งผลกระทบต่อระดับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน งานวิจัยหลายฉบับได้ศึกษาและยืนยันผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้ เช่น Chandar et al. (2024) พบว่าแรงดันน้ำและระยะยกหัวตัดเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวชิ้นงานและความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัสดุผิวการแพทย์ [4] ขณะที่ Mohamad et al. (2024) รายงานว่าความเร็วตัดและชนิดของสารขัดมีผลต่อความหยาบผิวของโลหะ Inconel 718 อย่างมีนัยสำคัญ [5] นอกจากนี้ Rajesh et al. (2024) ยังระบุว่าการเพิ่มแรงดันน้ำและลดระยะยกหัวตัดสามารถลดค่าความหยาบผิวและเพิ่มคุณภาพรอยตัดของวัสดุผสมโลหะได้อย่างชัดเจน [6] จากข้อค้นพบเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่าการควบคุมพารามิเตอร์การตัดอย่างเป็นระบบเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรม ดังนั้นหลายงานวิจัยจึงนิยมประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) โดยเฉพาะวิธี Box–Behnken Design (BBD) เพื่อวางแผนการทดลองอย่างเป็นระบบ ศึกษาปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น งานของ Sathees Kumar et al. (2024) ที่นำ BBD มาวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์การตัดต่อคุณภาพผิวของวัสดุผสมอลูมิเนียม และยืนยันถึงความเหมาะสมของวิธีดังกล่าวในการลดจำนวนการทดลองและเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ [7]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 ในกระบวนการตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ Box–Behnken Design (BBD) เพื่อวางแผนการทดลองอย่างเป็นระบบ และนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวชิ้นงาน ผลการศึกษาจะช่วยสนับสนุนให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม ช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการผลิต พร้อมทั้งส่งเสริมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยแบ่งกระบวนการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการเตรียมชิ้นงานซึ่งใช้เหล็กกล้าเครื่องมือชนิด SKD 11 ขนาด $20 \times 20 \times 10$ มิลลิเมตร ตามที่แสดงในรูปที่ 1 ขั้นตอนที่สองเป็นการใช้เครื่องตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด (Abrasive Water Jet Cutting Machine) ยี่ห้อ OMAX รุ่น 1530 ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับขั้นตอนที่สาม ใช้สารขัดชนิดโกเมน ขนาด 80 Mesh ซึ่งได้จาก 3 แหล่งที่มา ได้แก่ โกเมน I, โกเมน II และ โกเมน III เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดสารขัดต่อความหยาบผิว ขั้นตอนที่สี่เป็นการวัดและตรวจสอบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยใช้เครื่องมือวัดยี่ห้อ Mahr รุ่น Marsurf SD20 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ โดยขั้นตอนที่ห้าเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ผลการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแต่ละขั้นตอนถูกออกแบบและดำเนินการอย่างละเอียดเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและสามารถตอบคำถามวิจัยได้อย่างครบถ้วนและชัดเจน

- 1) ชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือชนิด SKD 11 ขนาด $20 \times 20 \times 10$ มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นงานสำเร็จ

- 2) เครื่องตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด (Abrasive Water Jet Cutting Machine) ยี่ห้อ OMAX รุ่น 1530 ดังรูปที่

2



รูปที่ 2 เครื่องตัดด้วยแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด (Abrasive Water Jet Cutting Machine) ยี่ห้อ OMAX รุ่น 1530

- 3) สารขัดชนิดโกเมน ขนาด 80 Mesh จาก 3 แหล่งที่มา ได้แก่ โกเมน I, โกเมน II และโกเมน III

- 4) เครื่องมือวัดตรวจสอบความหยาบผิว ยี่ห้อ Mahr รุ่น Marsurf SD20

5) โปรแกรม Minitab สำหรับใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

ตัวแปรต้น (Independent Variables)

- ปัจจัยแปรผันที่ศึกษา มี 4 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ดังตารางที่ 1

ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

- ค่าความหยาบผิว (Surface Roughness, Ra) หน่วยเป็นไมโครเมตร (μm)

ตัวแปรควบคุม (Controlled Variables)

- ขนาดรูรีตน้ำ: 0.25 mm
- ขนาดท่อลำนน้ำ: 0.7 mm
- ขนาดของสารขัด: 80 Mesh
- อัตราการไหลของสารขัด: 0.368 kg/min
- อุณหภูมิน้ำ: $10 \pm 2^\circ\text{C}$

ตารางที่ 1 ปัจจัยแปรผัน และระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย		
		-1	0	1
แรงดันน้ำ (WP)	Psi	35000	40000	45000
ความเร็วตัด (FR)	mm/min	20	27.5	35
ระยะยกหัวตัด(SD)	mm	1	2	3
ชนิดทราย (TA)	-	โกเมน I (GA-I)	โกเมน II (GA-II)	โกเมน III (GA-III)

2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิด Response Surface Methodology (RSM) โดยออกแบบการทดลองสำหรับปัจจัยแปรผันได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และทำซ้ำกัน 3 ครั้ง เพื่อศึกษาผลกระทบของแต่ละปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อค่าความหยาบผิว และลดจำนวนชุดการทดลองให้น้อยลงจากการทำ Full Factorial Design โดยไม่สูญเสียความแม่นยำของผลการทดลอง [7]

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

2.3.1 เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้า SKD 11 ให้มีขนาดและคุณสมบัติตามที่กำหนด

2.3.2 ตั้งค่าเครื่องตัดแรงดันน้ำสูงผสมสารขัดตามค่าปัจจัยที่ระบุในชุดการทดลองที่ได้จาก Box-Behnken Design ดังรูปที่ 3

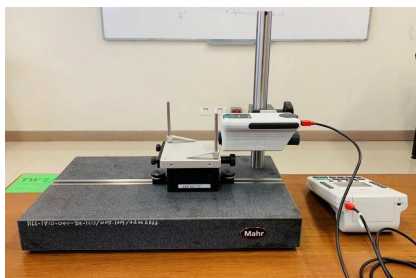


รูปที่ 3 การตั้งเครื่องเพื่อตัดชิ้นงาน

2.3.3 เตรียมสารขัดโกเมนจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ให้พร้อมใช้งาน

2.3.4 ทำการตัดชิ้นงานตามเงื่อนไขการทดลองแต่ละชุด

2.3.5 ดำเนินการวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว รุ่น Marsurf SD20 ดังรูปที่ 4 โดยวัดที่ตำแหน่งเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3 การวัดความหยาบผิวรอยตัดของชิ้นงาน

2.3.6 บันทึกผลการทดลองทั้งหมดเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab เพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยแปดตัว ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด ที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ช่วยในการระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และใช้เป็นแนวทางในการปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการตัด

3. ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองตามชุดการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ Box–Behnken Design (BBD) โดยมีปัจจัยแปดตัว 4 ปัจจัย ได้แก่ แรงดันน้ำ (WP) ความเร็วตัด (FR) ระยะยกหัวตัด (SD) และชนิดของสารขัด (TA) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 ที่ตัดด้วยเครื่องตัดแรงดันน้ำสูงผสมสารขัด โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ผลการทดลองค่าความหยาบผิว

ผลการทดลองตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design มีปัจจัยในการทดลอง 4 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และทำซ้ำกัน 3 ครั้ง 45 เงื่อนไข โดยตัวแปรตามหรือผลตอบสนองที่ต้องการ คือ ค่าความหยาบผิว ซึ่งจะนำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความหยาบผิว

WP (Psi)	FR (mm/min)	SD (mm)	ค่าความหยาบผิว: Ra (μm)		
			TA		
			GA-I	GA-II	GA-III
35000	20	2	3.39	3.36	3.21
45000	20	2	3.98	3.7	3.96
35000	35	2	4.3	3.97	3.96
45000	35	2	4.57	4.13	4.75
35000	27.5	1	3.86	3.54	3.45
45000	27.5	1	4.26	3.79	4.07
35000	27.5	3	4.13	3.67	3.94
45000	27.5	3	4.56	4.18	4.35
40000	20	1	4.01	3.74	3.98
40000	35	1	4.23	3.96	4.38
40000	20	3	4.06	3.71	4.1
40000	35	3	4.38	4.36	4.58
40000	27.5	2	4.23	3.85	3.79
40000	27.5	2	3.86	3.76	3.75
40000	27.5	2	3.87	3.68	3.83

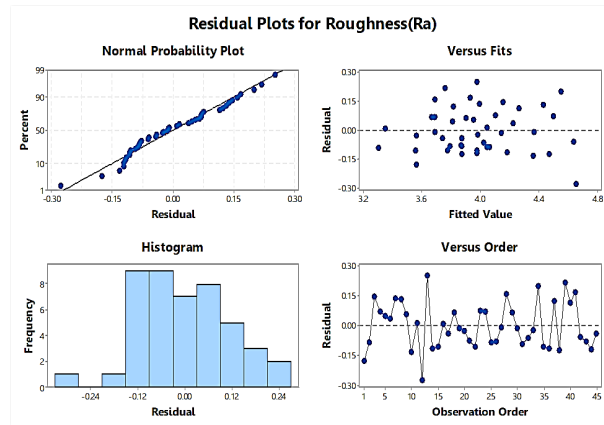
จากการทดลองทั้งหมดที่ดำเนินการตามชุดการทดลองของ BBD พบว่า ค่าความหยาบผิว (Ra) ซึ่งได้จากการตัดชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3.21 ถึง 4.75 ไมโครเมตร โดยปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด ได้แก่ เงื่อนไขที่ใช้ แรงดันน้ำต่ำ (35,000 PSI) ความเร็วตัดต่ำ (20 mm/min) ระยะยกหัวตัดปานกลาง (2 mm) และใช้สารขัดชนิดโกเมน I ในขณะที่ค่าความหยาบผิวสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้แรงดันน้ำสูง (45,000 PSI) ความเร็วตัดสูง (35 mm/min) ระยะยกหัวตัดปานกลาง (2 mm) และใช้สารขัดชนิดโกเมน I

3.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นการทดสอบสมมติฐานถึงอิทธิพลปัจจัยต่อความหยาบผิวในการตัดเหล็ก SKD 11 ด้วยเครื่องตัดวัสดุแรงดันน้ำสูง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 17 ในการวิเคราะห์ผล มีรายละเอียดดังนี้

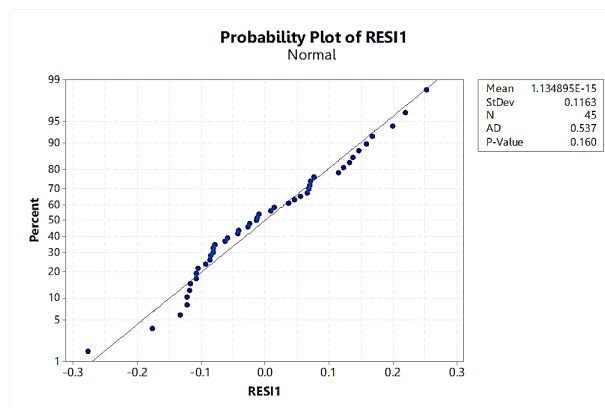
3.2.1 การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

ก่อนทำการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว ต้องตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองก่อน โดยเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่สมมติฐานว่าค่าเศษเหลือ (Residual) ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ คือ ค่าเศษเหลือ (Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ การวิเคราะห์รูปแบบของค่าเศษเหลือ (Residual) ของค่าความหยาบผิว แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟความถูกต้องของสมมติฐานเบื้องต้น

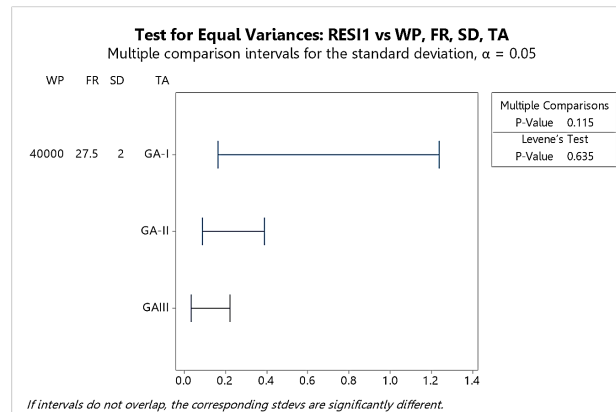
จากกราฟรูปที่ 4 กราฟบนด้านซ้าย เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลของค่าความหยาบผิวมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยพิจารณากราฟว่ามีลักษณะของข้อมูล เป็นเส้นตรงหรือไม่ แต่เพื่อให้ความมั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงต้องทำการทดสอบ Normal Probability แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติค่าเศษเหลือ

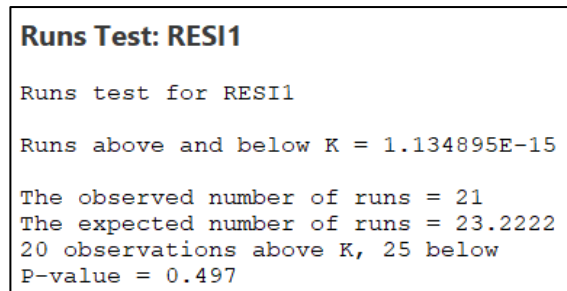
จากรูปที่ 5 พบว่า P-Value เท่ากับ 0.160 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าความหยาบผิวมีการแจกแจงแบบปกติ

จากกราฟด้านบนขวา ในรูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของค่าเศษเหลือที่มีการกระจายอย่างสมดุลในทั้งสองทิศทาง คือ ด้านบวกและด้านลบ และจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนพบว่า P-value เท่ากับ 0.635 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าค่าเศษเหลือมีความแปรปรวนเท่ากัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าเศษเหลือ

เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ จึงทำการทดสอบด้วย Runs Test ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ

จากรูปที่ 7 พบว่า P-Value เท่ากับ 0.497 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าแหล่งที่มาของค่าเศษเหลือ มีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นข้อมูลนี้มีค่าเศษเหลือแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงทำให้ ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่อค่าความหยাবผิว แสดงผลการทดสอบดังรูปที่

Response Surface Regression: Roughness(Ra) versus WP, FR, SD, TA					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	4.51587	0.26564	12.06	0.000
Linear	5	3.90257	0.78051	35.43	0.000
WP	1	1.26960	1.26960	57.63	0.000
FR	1	1.69070	1.69070	76.74	0.000
SD	1	0.31510	0.31510	14.30	0.001
TA	2	0.62716	0.31358	14.23	0.000
Square	3	0.42856	0.14285	6.48	0.002
WP*WP	1	0.00625	0.00625	0.28	0.599
FR*FR	1	0.15185	0.15185	6.89	0.014
SD*SD	1	0.28505	0.28505	12.94	0.001
2-Way Interaction	9	0.18474	0.02053	0.93	0.514
WP*FR	1	0.01763	0.01763	0.80	0.379
WP*SD	1	0.00053	0.00053	0.02	0.878
WP*TA	2	0.11148	0.05574	2.53	0.098
FR*SD	1	0.03101	0.03101	1.41	0.246
FR*TA	2	0.01756	0.00878	0.40	0.675
SD*TA	2	0.00653	0.00327	0.15	0.863
Error	27	0.59485	0.02203		
Lack-of-Fit	21	0.48831	0.02325	1.31	0.393
Pure Error	6	0.10653	0.01776		
Total	44	5.11072			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.148430	88.36%	81.03%	65.60%	

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 8 สรุปผลดังนี้

- ปัจจัยแรงดันน้ำ (WP) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value < 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- ปัจจัยความเร็วตัด (FR) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวเนื่องจากค่า P-Value < 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- ปัจจัยระยะยกหัวตัด (SD) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- ปัจจัยชนิดทราย (TA) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value < 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยแรงดันน้ำ (WP) กับปัจจัยความเร็วตัด (FR) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิวเนื่องจากค่า P-Value = 0.379 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยแรงดันน้ำ (WP) กับปัจจัยระยะยกหัวตัด (SD) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value = 0.878 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยแรงดันน้ำ (WP) กับปัจจัยชนิดทราย (TA) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิวเนื่องจากค่า P-Value = 0.098 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

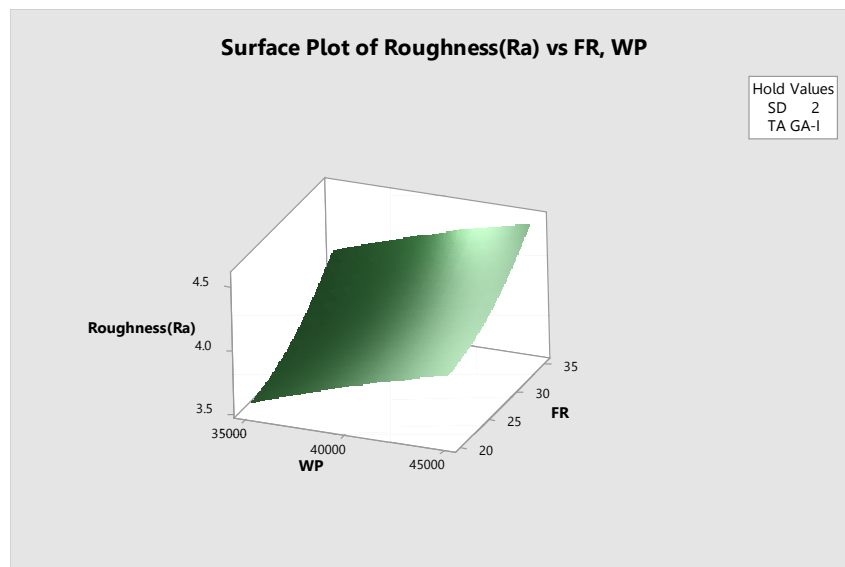
8) การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วตัด (FR) กับปัจจัยระยะยกหัวตัด (SD) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value = 0.246 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

9) การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยความเร็วตัด (FR) กับปัจจัยชนิดทราย (TA) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value = 0.675 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

10) การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัยระยะยกหัวตัด (SD) กับปัจจัยชนิดทราย (TA) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากค่า P-Value = 0.863 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

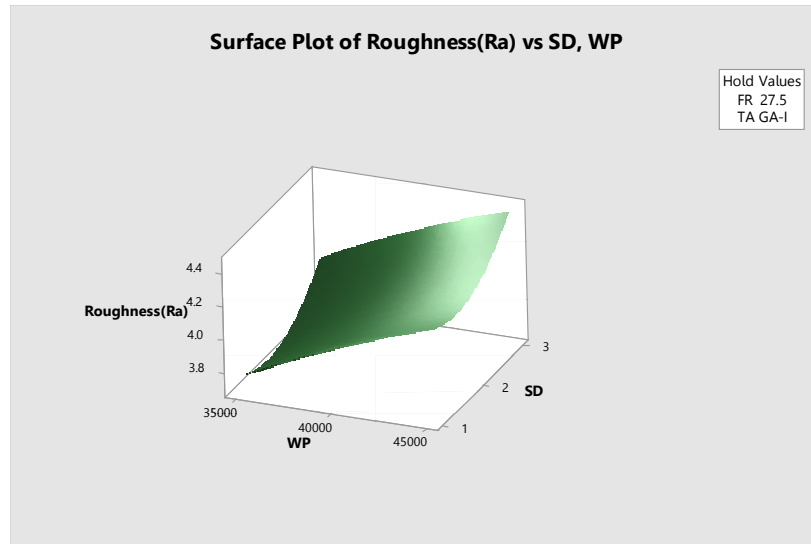
3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

สามารถแสดงได้ในลักษณะของพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface) ดังนี้



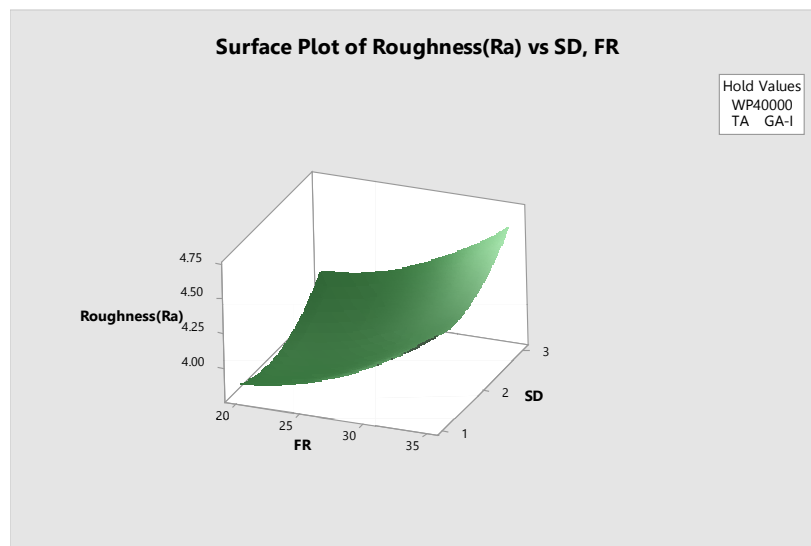
รูปที่ 9 ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับ FR WP

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับ แรงดันน้ำ (WP) กับความเร็วตัด (FR) โดยสามารถเปลี่ยนแปลงระดับได้ และให้ระยะยกหัวตัด (SD) คงไว้ที่ระดับกลาง ดังรูปที่ 9 พบว่าถ้า FR อยู่ระดับสูง WP อยู่ระดับกลาง จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับสูง และถ้า FR อยู่ระดับต่ำ WP อยู่ระดับสูง จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับต่ำ



รูปที่ 10 ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับ SD WP

เมื่อนำเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับแรงดันน้ำ (WP) กับระยะยกหัวตัด (SD) โดยสามารถเปลี่ยนแปลงระดับได้ และให้ความเร็วตัด (FR) คงไว้ที่ระดับกลาง ดังรูปที่ 10 พบว่าถ้า SD อยู่ระดับสูง WP อยู่ระดับต่ำ จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับสูง และถ้า SD อยู่ระดับต่ำ WP อยู่ระดับสูง จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับต่ำ

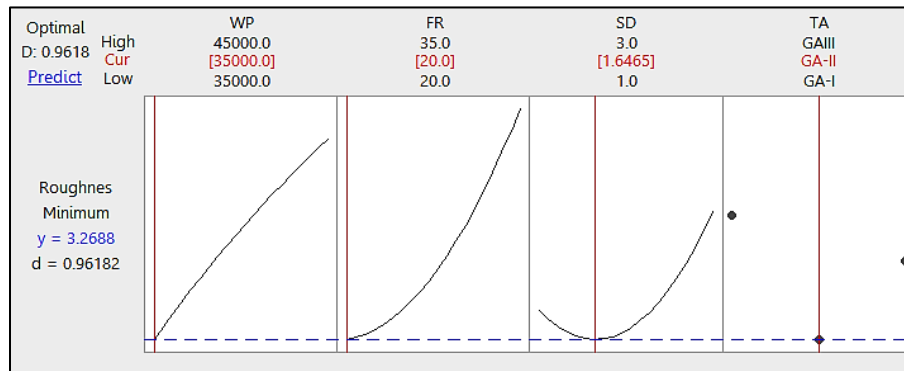


รูปที่ 11 ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับ FR SD

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิว (Ra) เทียบกับ ความเร็วตัด (FR) กับระยะยกหัวตัด (SD) โดยสามารถเปลี่ยนแปลงระดับได้ และให้แรงดันน้ำ (WP) คงไว้ที่ระดับกลาง ดังรูปที่ 11 พบว่าถ้า SD อยู่ระดับสูง FR อยู่ระดับต่ำ จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับสูง และถ้า SD อยู่ระดับต่ำ FR อยู่ระดับสูง จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ในระดับต่ำ

3.4 การวิเคราะห์เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม

ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาที่ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดเป็นหลักด้วยการใช้หลักการ Optimization ฟังก์ชัน Response optimization ของโปรแกรม Minitab โดยในการพิจารณาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมนี้ ก็จะพิจารณาผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนอง ค่าความหยาบผิว (Ra) แสดงผลดังนี้



รูปที่ 12 แสดงการเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม

จากรูปที่ 12 พบว่าความหยาบผิวน้อยสุด เกิดขึ้นเมื่อใช้ระดับปัจจัยแรงดันน้ำ 35,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วตัด 20 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะยกหัวตัด 1.65 มิลลิเมตร และใช้ทรายโกเมน II ให้ความหยาบผิวน้อยสุดอยู่ที่ประมาณ 3.26879 ไมโครเมตร โดยมีระดับความพึงพอใจ (Desirable) อยู่ที่ 96.18%

4. วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ผลลัพธ์จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยแรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด มีผลต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยค่าความหยาบผิวที่ได้อยู่ระหว่าง 3.21 ถึง 4.75 ไมโครเมตร โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chandar et al. (2024) และ Salian et al. (2024) ที่รายงานว่าการเพิ่มแรงดันน้ำและลดความเร็วตัดส่งผลให้ค่าความหยาบผิวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [4,12]

จากผลการทดลองพบว่า การลดแรงดันน้ำจาก 45,000 Psi เป็น 35,000 Psi สามารถลดค่าความหยาบผิวได้ถึงร้อยละ 36.72 และการลดความเร็วตัดจาก 35 mm/min เหลือ 20 mm/min ช่วยลดความหยาบผิวเฉลี่ยร้อยละ 28.90 นอกจากนี้ การเลือกใช้สารขัดโกเมน II ร่วมกับระยะยกหัวตัดต่ำ (1.65 mm) ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Venkatesh (2024) และ Halim et al. (2024) ที่ระบุว่าสมบัติของสารขัดและระยะยกหัวตัดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน [9,13] ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สนับสนุนผลการวิจัย โดยแบบจำลองมีความแม่นยำสูง ($R^2 = 88.36\%$ และ Adjusted $R^2 = 81.03\%$)

5. สรุปผล

ผลการวิจัยจากการวิเคราะห์ ANOVA สรุปได้ว่า ปัจจัยแรงดันน้ำ ความเร็วตัด ระยะยกหัวตัด และชนิดของสารขัด มีผลต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD 11 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 3.21 ถึง 4.75 ไมโครเมตร ซึ่งพบว่าเงื่อนไขที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด คือ แรงดันน้ำ 35,000 Psi

ความเร็วตัด 20 mm/min ระยะยกหัวตัด 1.64 mm และใช้สารขัดโกเมน II มีค่าความแม่นยำของแบบจำลองเท่ากับ $R^2 = 88.36\%$ และ Adjusted $R^2 = 81.03\%$ โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวมากที่สุดคือ ความเร็วตัด (FR) F-Value = 76.74 รองลงมาคือ แรงดันน้ำ(WP) F-Value = 57.63 ระยะยกหัวตัด (SD) F-Value = 14.30 และชนิดทราย (TA) F-Value = 14.23 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดวัสดุด้วยแรงดันน้ำสูงเพื่อควบคุมคุณภาพผิวงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุการทดลองจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. M. Medibew, D. Zielinski, S. W. Agebo, and M. Deja, “Recent Research Progress in the Abrasive Machining and Finishing of Additively Manufactured Metal Parts,” *Materials*, vol. 18, no. 6, p. 1249, 2025.
- [2] S. Khetre, S. Pachpute, V. Birajdar, and M. Ovhal, “Chapter 12 An Insight into The Kerf Taper, Surface Properties, And Delamination in Abrasive Water–Jet Machining (AWJM) Process,” in *Abrasive Water Jet Machining of Composites: Empirical and Analytical Modelling*, S. Salunkhe, V. Sisodia, and J. P. Davim, Eds. Berlin, Boston: De Gruyter, 2024, pp. 233–262.
- [3] R. Kumar et al., “Hand and Abrasive Flow Polished Tungsten Carbide Die: Optimization of Surface Roughness, Polishing Time and Comparative Analysis in Wire Drawing,” *Materials*, vol. 15, no. 4, p. 1287, 2022.
- [4] J. B. Chandar, N. Lenin, and C. Rathinasuriyan, “Exploring Surface Integrity: Experimental Investigation into Abrasive Waterjet Deep Hole Drilling on Ss 316L For Biomedical Applications,” *Journal of Alloys and Metallurgical Systems*, vol. 8, p. 100109, 2024.
- [5] W. N. F. W. Mohamad, M. S. Kasim, R. Alias, and R. I. Raja, “Investigation of Surface Roughness Inconel 718 In Waterjet Turning,” *Jurnal Tribologi*, vol. 41, pp. 113–128, 2024.
- [6] K. Gnanasekaran, M. Rajesh, and V. Hariram, “Advanced Material Processing: Optimization of Abrasive Water Jet Parameters for Metal–Stacked Hybrid Fiber Laminate,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, pp. 1–14, 2024.
- [7] S. Sathees Kumar et al., “Examination of Abrasive Water Jet Machining for Al Hybrid Composites Using RSM–Central Composite Design,” *Interactions*, vol. 245, no. 1, p. 220, 2024.
- [8] R. Bhat, V. Tandon, and S. A. S. Ahmad, “Optimizing Abrasive Water Jet Machining for Enhanced Machining Of 316 Stainless Steel,” *Journal of Computers, Mechanical and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2024.

- [9] N. H. A. Halim et al., “Multi-Objectives Optimization of Abrasive Water Jet Machining (AJWM) On Mild Steel,” *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 16, no. 5, pp. 187–200, 2024.
- [10] T. K. Kumar, and A. K. Kaviti, “An Advanced Study on The Application of Artificial Neural Networks in The Abrasive Waterjet Machining of Titanium Nanocomposites,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, pp. 1–8, 2024.
- [11] K. Fuse et al., “Abrasive Waterjet Machining of Titanium Alloy Using an Integrated Approach of Taguchi-Based Passing Vehicle Search Algorithm,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, pp. 1–15, 2024.
- [12] P. Salian, V. Dillibabu, S. Srinivas, and M. A. Khan, “Optimising Abrasive Water Jet Cutting Parameters for Direct Metal Laser Sintered Inconel 718: A Study of Cutting Efficiency and Surface Quality,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, pp. 1–17, 2024.
- [13] R. Venkatesh, “Magnesium Alloy and Silicon Nitrides Composite Study: Synthesis and Abrasive Water Jet Machining Behavior and Optimization,” *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, vol. 18, no. 2, pp. 1–8, 2024.
- [14] K. N. Kumar, and P. D. Babu, “Improving The Machining Performance of Polymer Hybrid Composite by Abrasive Water Jet Machining for Precise Machining,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 49, no. 11, pp. 15347–15366, 2024.
- [15] B. A. Ahmed, M. A. Abdullah, and S. K. Ghazi, “Surface Roughness of Aluminum Alloy 7024 Predicted by Linear Regression and Neural Network Model in Abrasive Water Jet Machining,” *Al-Bahir Journal for Engineering and Pure Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 132–141, 2024.
- [16] F. Malm, “Abrasive Waterjet Process Parameters Optimization,” Master's Thesis, Western Carolina University, Cullowhee, NC, USA, 2024.

พฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$ Microscale Mechanical Properties of $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$ Ceramicsรตบงกช แสนจุ่ม^{1*} ยิงยศ ทิพย์ศรีราช² ฐิติ หมอรักษา² และ กมลภัสสร มั่นศิลป์¹¹สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี 131 หมู่ที่ 10 ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จันทบุรี 22210

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี 131 หมู่ที่ 10 ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จันทบุรี 22210

Ratabongkot Sanjoom^{1*} Yingyos Thipsrirach² Thiti Mhoraksa² and Kamonpad Mansilp¹¹Department of Integrated Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, 131 Moo 10, Pluang Subdistrict, Khao Khitchakut District, Chanthaburi 22210

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

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, 131 Moo 10, Pluang Subdistrict, Khao Khitchakut District, Chanthaburi 22210

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

(Received: June 13, 2025; Revise: June 27, 2025; Accepted: June 27, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลระดับจุลภาคและโครงสร้างผลึกของเซรามิกระบบ $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$ ($x = 0.00, 0.01, 0.05, 0.10$) ที่เตรียมด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ทำการวิเคราะห์โครงสร้างเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าเซรามิกมีโครงสร้างเฟสแบบเพอโรฟสไกต์ระบบออร์โธรอมบิกปรากฏอย่างบริสุทธิ์ที่ $x \leq 0.05$ ในขณะที่ $x = 0.10$ นั้นมีเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้น จากนั้นตรวจสอบความหนาแน่นด้วยวิธีอาร์คิมิดีสพบว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 4.28 g/cm^3 ($x = 0.00$) เป็น 5.53 g/cm^3 ($x = 0.10$) และตรวจสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของเซรามิก พบว่าค่าความแข็งให้ค่าสูงสุด 4.80 GPa ที่ $x = 0.05$ จากนั้นมีค่าลดลงเหลือ 3.04 GPa ที่ $x = 0.10$ เนื่องจากการเกิดเฟสแปลกปลอมและความพรุนในโครงสร้างระดับจุลภาคจึงทำให้ขีดจำกัดการเติม BiFeO_3 อยู่ที่ $x \leq 0.05$ เพื่อป้องกันการเกิดเฟสแปลกปลอมและความพรุนที่ลดทอนสมบัติเชิงกล เซรามิกที่ได้นี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์แปลงพลังงานจืด เช่น เซอร์แรงกดจุลภาคและไมโครแอคทูเอเตอร์ที่ต้องการความทนทานสูงระดับจุลภาค

คำหลัก เซรามิกเพอโรฟสไกต์ ความแข็งระดับจุลภาค และอุปกรณ์แปลงพลังงานจืด

Abstract

This study investigates the micro-scale mechanical behavior and crystal structure of $(1-x)\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-x\text{BiFeO}_3$ ceramics ($x = 0.00, 0.01, 0.05, 0.10$) synthesized via solid-state reaction. X-ray diffraction analysis confirmed a pure orthorhombic perovskite phase for $x \leq 0.05$, whereas the $x = 0.10$

composition exhibited a secondary phase. Archimedes density measurements showed an increase from 4.28 g/cm³ ($x = 0.00$) to 5.53 g/cm³ ($x = 0.10$). Vickers microhardness testing revealed a maximum hardness of 4.80 GPa at $x = 0.05$, which decreased to 3.04 GPa at $x = 0.10$ due to secondary phase formation and microstructural porosity. The BiFeO₃ content should be limited to $x \leq 0.05$ to prevent the emergence of undesirable secondary phases and porosity that compromise mechanical performance. Ceramics with optimized BiFeO₃ loading are therefore well suited for micro energy harvesting devices, microscale pressure sensors, and micro-actuators requiring high durability at the microscale.

Keywords: Perovskite Ceramics, Vickers Microhardness, and Micro Energy Harvesting

1. บทนำ

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา วัสดุเซรามิกเชิงหน้าที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในสาขาอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ เซ็นเซอร์ และระบบจัดการพลังงาน โดยเฉพาะวัสดุเซรามิกในโครงสร้างเพอรอฟสไกต์ ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติแม่เหล็ก และสมบัติเชิงกลได้ ผ่านการควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค [1–3] หนึ่งในวัสดุที่มีแนวโน้มในการพัฒนาเพื่อการประยุกต์ดังกล่าวคือ เซรามิกในระบบ Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O₃ (SFN) [2] แม้ว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก SFN จะได้รับการศึกษากันอย่างกว้างขวาง แต่สมบัติเชิงกลโดยเฉพาะในระดับจุลภาคกลับยังมีข้อมูลจำกัด โดยเฉพาะค่าความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ของเซรามิก SFN นั้นไม่พบว่ามีค่าจากการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ [2–3] ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกใช้วัสดุในอุปกรณ์ที่ต้องเผชิญแรงทางกล เช่น อุปกรณ์แปลงพลังงาน, ตัวกระตุ้น, และวัสดุในโครงสร้างไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น [4–8] การศึกษาค่าความแข็งแรงระดับจุลภาค (Microhardness) แบบวิกเกอร์ จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินความทนทานของวัสดุภายใต้โหลดขนาดเล็ก และใช้ในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของวัสดุในระดับโครงสร้าง เซรามิก (1-x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O₃-xBiFeO₃ ((1-x)SFN-xBFO) มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในระบบพลังงานอัจฉริยะ เช่น ตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน และตัวแปลงสัญญาณที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวนทางกลสูง อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งองค์ประกอบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะด้านได้ การเข้าใจพฤติกรรมเชิงกลในระดับจุลภาคจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบวัสดุเพื่อตอบโจทยทางวิศวกรรมอย่างยั่งยืน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะเชิงกลระดับจุลภาคของเซรามิก (1-x)SFN-xBFO โดยประเมินค่าความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ เพื่อตรวจสอบผลการเติมขององค์ประกอบ BFO ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล เพื่อปูทางสู่การประยุกต์ใช้ในงานด้านพลังงานและอุปกรณ์อัจฉริยะในอนาคต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการทดลองนี้ได้เตรียมเซรามิกสตรอนเชียมไอรอนไนโอเบต สูตร (1-x)Sr(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O₃-xBiFeO₃ ในปริมาณความเข้มข้นร้อยละ $x = 0.00 - 0.10$ โดยโมล สังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง โดยสารตั้งต้นคือ สตรอนเชียมคาร์บอเนต (SrCO₃, 98.0%, Aldrich) ไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃, 99.0%, Aldrich) ไนโอเบียมออกไซด์ (Nb₂O₅, 99.9%, Aldrich) และบิสมาทออกไซด์ (Bi₂O₃, 99.9%, Aldrich) ทำการบดผสมเปียกโดยใช้ลูกบดเซอโรโคเนียเป็นตัวบดและใช้เอทานอลเป็นตัวช่วยกระจายตัวของอนุภาคเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารผสมที่บดละเอียดแล้วมาทำให้แห้งแล้วคั่วขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรง แล้วนำมาเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 100 °C/นาที นำผงผลึก (1-x)SFN-xBFO

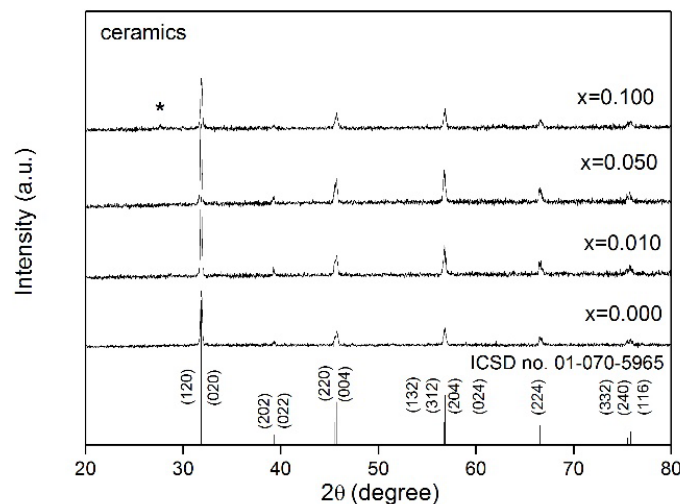
ที่เผาแคลไซน์ มาผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ซึ่งเป็นสารยึดเหนี่ยวความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เมื่อผสมเสร็จแล้ว นำสารที่ได้ไปอัดขึ้นรูปให้เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 mm และหนาประมาณ 1.5 mm โดยใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกด้วยความดันขนาด 40 MPa เป็นเวลานาน 25–30 วินาที นำเม็ดที่อัดขึ้นรูปไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราการให้ความร้อนที่ 100 °C/ชั่วโมง จากนั้นนำเม็ดเซรามิกที่เผาซินเตอร์แล้ว มาวิเคราะห์การก่อเกิดเฟสโดยใช้เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) หาค่าความหนาแน่นของเซรามิกที่เตรียมได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำของอาร์คิมิดีส

สำหรับการตรวจสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์นั้นนำเซรามิกมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวหน้าทั้งสองด้านอยู่ในระนาบ จากนั้นเลือกผิวหน้าด้านหนึ่งที่ยเรียบสม่ำเสมอไปขัดให้เกิดเงาเป็นกระจกโดยใช้ผงขัดเพชร ทำการขัดขึ้นงานบนเครื่องขัดสาร เมื่อได้ชิ้นงานที่เงาเป็นกระจกแล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อนำมาทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์โดยใช้เครื่องวัดค่าความแข็งระดับจุลภาค (microhardness tester) โดยการกดด้วยโหลดขนาด 300 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ซึ่งการหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$H_v = (1854.4) \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

โดยที่ H_v คือ ค่าความแข็งในหน่วยของวิกเกอร์ (GPa) P คือ โหลดที่ให้แก่วัสดุ (N) และ d คือ ค่าความยาวเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมของรอยกด (μm)

3. ผลการวิจัย

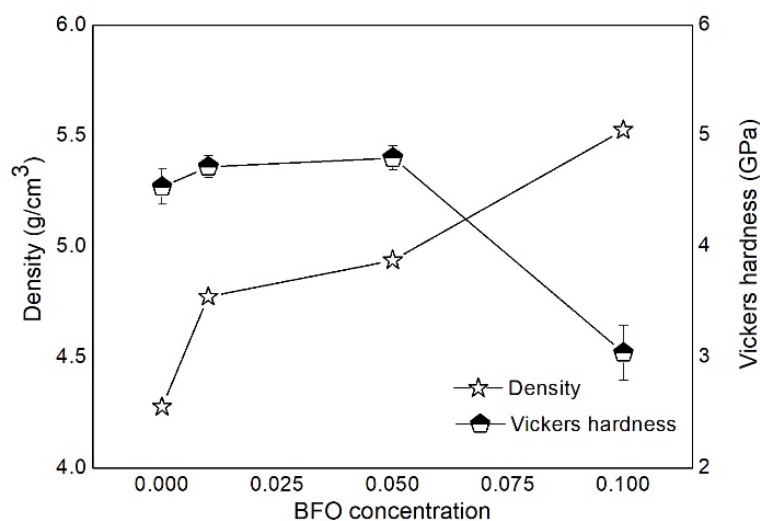


รูปที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก (1-x)SFN-xBFO

รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของเซรามิกระบบ (1-x)SFN-xBFO แสดงไว้ในรูปที่ 1 พบว่าทุกฟิสิกส์ที่ตรวจวัดได้มีเฟสเป็นเพอโรฟสไกต์ที่มีโครงสร้างอยู่ในระบบออร์โธโรมบิก ซึ่งสอดคล้องกับฐานข้อมูล ICSD หมายเลข 01-070-5965 ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับรายงานของ Lui และคณะ [9] ที่ศึกษาวัสดุในระบบเดียวกัน โดยพบว่าในเซรามิกที่มีค่าปริมาณความ

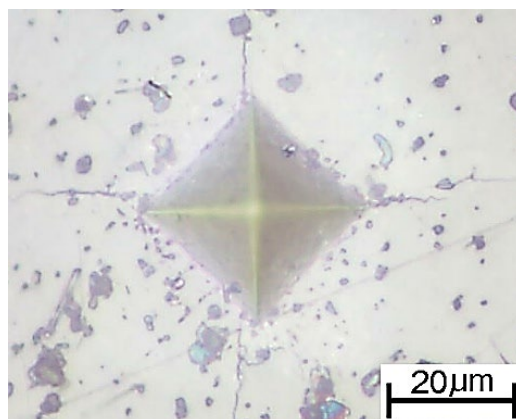
เข้มข้นของ BFO เท่ากับ $x = 0.00$ และ $x = 0.05$ ยังคงแสดงเฉพาะเฟสเพอร์อฟสไกต์บริสุทธิ์เท่านั้น อย่างไรก็ตาม สำหรับเซรามิกที่มีค่าปริมาณความเข้มข้นของ BFO เท่ากับ $x = 0.10$ พบพีครองที่ตำแหน่ง $2\theta \approx 28^\circ$ (แสดงด้วยสัญลักษณ์ *) ซึ่งระบุว่า เป็นเฟสแปลกปลอมของสารประกอบ SrNb_2O_6 ตามข้อมูลจาก ICSD หมายเลข 00-028-1244 แสดงให้เห็นว่าการเติม BFO ในสัดส่วนที่สูงขึ้นอาจนำไปสู่การแยกตัวของเฟสหรือเกิดเฟสทุติยภูมิที่ไม่ต้องการในระบบ

นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณ BFO ส่งผลให้พีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ทั้งหมดมีแนวโน้มเลื่อนไปทางมุม 2θ ที่ต่ำลงเมื่อเทียบกับเซรามิกที่ไม่มีการเติม BFO ($x = 0.00$) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการขยายตัวของระยะพารามิเตอร์ของโครงสร้างผลึกหรือเกิดการเพิ่มขึ้นของระยะระหว่างระนาบผลึก (d-spacing) อันเนื่องมาจากการแทนที่ไอออนในโครงสร้างด้วยไอออนจาก BiFeO_3 ซึ่งมีขนาดไอออนิกแตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาตรของเซลล์หน่วยและเป็นสาเหตุให้พีค XRD เลื่อนไปในทิศทางมุมต่ำตามหลักของสมการ Bragg [10]



รูปที่ 2 ความหนาแน่นและความแข็งแบบวิกเกอร์ของเซรามิก $(1-x)\text{SFN}-x\text{BFO}$

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของเซรามิกระบบ $(1-x)\text{SFN}-x\text{BFO}$ พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ BFO เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ $x = 0.00$ ถึง $x = 0.10$ ความหนาแน่นของเซรามิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง $4.28 - 5.53 \text{ g/cm}^3$ แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลสอดคล้องกับการแทนที่ขององค์ประกอบของ Bi^{3+} และ Fe^{3+} ที่มีขนาดและน้ำหนักของอะตอมมากกว่าในตำแหน่ง A-site และ B-site ส่งผลให้โครงสร้างผลึกมีความหนาแน่นมากขึ้น ในส่วนของค่าความแข็งแบบวิกเกอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 4.54 GPa ($x = 0.00$) เป็น 4.72 GPa ($x = 0.01$) และ 4.80 GPa ($x = 0.05$) พบว่าค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นที่เป็นระบบเพอร์อฟสไกต์เหมือนกัน [11-12] และเมื่อ $x = 0.10$ นั้น พบว่าค่าความแข็งแบบวิกเกอร์มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือ 3.04 GPa ซึ่งค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ที่ลดลงสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่พบเฟสแปลกปลอมของสารประกอบ SrNb_2O_6 ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างผลึกไม่ต่อเนื่องและเกิดความเปราะ (แสดงรอยกุดดังรูปที่ 3) ส่งผลให้ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของรอยกดแบบวิกเกอร์ของเซรามิก (1-x)SFN-xBFO โดยใช้แรงกด 300 กรัม กำลังขยาย 400 เท่า ที่มีลักษณะรอยแตกแยกตรงมุมทั้ง 4

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) ที่ความถี่ 1 kHz วัดที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1824 ($x = 0.00$) เป็น 1955 ($x = 0.01$) และให้ค่าสูงสุดที่ 2287 ($x = 0.05$) จากนั้นค่าลดลงเหลือ 454 ($x = 0.10$) ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดเฟสแปลกปลอมและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเมื่อเติม BFO ในปริมาณสูงเกินไป แสดงให้เห็นว่าการเติม BFO ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่เกิน $x = 0.05$) สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติไฟฟ้าของเซรามิกได้โดยไม่ก่อให้เกิดเฟสทุติยภูมิที่ไม่พึงประสงค์

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิก (1-x)SFN-xBFO

เซรามิก	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ขนาดเกรนเฉลี่ย (μm)	ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (GPa)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) ที่อุณหภูมิห้อง @1kHz
0.00	4.28	1.06	4.54 ± 0.16	1824
0.01	4.77	1.12	4.72 ± 0.10	1955
0.05	4.94	1.36	4.80 ± 0.11	2287
0.10	5.53	4.62	3.04 ± 0.25	454

4. สรุป

จากผลการวิจัยที่ได้พบว่าเซรามิกระบบ (1-x)SFN-xBFO ทั้งหมดแสดงลักษณะโครงสร้างเพอโรฟสไกต์แบบออร์โทโรมบิก และลักษณะการเลี้ยวของพีค XRD ไปทางมุมที่ต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณ BFO นั้น สะท้อนถึงการขยายตัวของระยะ d-spacing ซึ่งสอดคล้องกับการแทนที่ของอะตอม Bi³⁺ และ Fe³⁺ ที่มีน้ำหนักอะตอมมากกว่าเข้าไปในโครงสร้าง

ทางด้านสมบัติกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 4.28 g/cm³ ($x=0.00$) เป็น 5.53 g/cm³ ($x=0.10$) เนื่องจากการยึดตัวของผลึกแน่นขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (H_v) เพิ่มขึ้นจาก 4.54 GPa ($x=0.00$) เป็น 4.80 GPa ($x=0.05$) และมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเหลือเพียง 3.04 GPa ที่ $x=0.10$ รวมไปถึงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ความถี่ 1 kHz มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2287 ที่ $x = 0.05$ และลดลงเหลือ 454 ที่ $x = 0.10$ ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดเฟสรองและการแตกพรุนของโครงสร้าง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการเติม BFO ในสัดส่วนไม่เกิน 5% โดยโมล จะช่วยยกระดับสมบัติ

เชิงกลและไฟฟ้าของเซรามิกโดยไม่ก่อให้เกิดเฟสทุติยภูมิที่ลดทอนความแข็งแรงของเซรามิกได้ เซรามิกที่ได้นี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์แปลงพลังงานจิว์ เช่น เซอร์แรงกตระดับจุลภาค และไมโครแอคทูเอเตอร์ที่ต้องการความทนทานสูงระดับจุลภาค เนื่องจากมีค่าความเหนียวแตกหักและความทนทานต่อความล้าสูง ควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่เสถียรในช่วงอุณหภูมิกว้าง จึงยืดอายุการใช้งานและรักษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้คงที่ได้ยาวนานยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เงินงบประมาณรายไดปี พ.ศ. 2567 ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Wang, H. J. Li, L. L. Zhang, Y. F. Wen, and Y. P. Pu, “Effects of Barium Substitution on the Dielectric Properties of $\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ Ceramics,” *The Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 26, pp. 134–138, 2015.
- [2] C. Kruea-In, W. Udsah, S. Eitssayeam, K. Pengpat, and G. Rujijanagul, “Influence of Processing Temperature on Properties of $\text{Sr}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ High Dielectric Ceramics,” *Ferroelectrics*, vol. 456, pp. 128–133, 2013.
- [3] T. Phatungthane and G. Rujijanagul, “Dielectric Properties of Modified $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ Ceramics Prepared by a Solid-State Reaction Technique,” *Ferroelectrics*, vol. 454, pp. 23–28, 2013.
- [4] W. Tian, Z. Ling, W. Yu, and J. Shi, “A Review of MEMS Scale Piezoelectric Energy Harvester,” *Applied Sciences*, vol. 8, p. 645, 2018.
- [5] V. T. Srikar and S. M. Spearing, “A Critical Review of Microscale Mechanical Testing Methods Used in the Design of Microelectromechanical Systems,” *Experimental Mechanics*, vol. 43, pp. 238–247, 2003.
- [6] W. Guo, Y. Lu, C. Zhang, and Z. Yue, “Low-Temperature Dielectric Relaxation and Microwave-Terahertz Dielectric Response of Ca-Sm-Ti-O Perovskite Ceramics,” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 45, p. 117287, 2025.
- [7] X. Zhang, X. Zhang, J. Zhang, S. Ma, Y. Liu, and Z. Yue, “Defect Relaxation and Microwave Dielectric Response of $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{La}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Hexagonal Perovskite Ceramics with 5-Layer Shifted Structure,” *Journal of Power Sources*, vol. 632, p. 236384, 2025.
- [8] C. Ma, R. Zhang, G. Zhang, H. Du, J. Liu, R. Liang, and Z. Wang, “Structural Evolution and Energy Storage Properties of $\text{Bi}(\text{Zn}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ Modified BaTiO_3 -Based Relaxation Ferroelectric Ceramics,” *Journal of Energy Storage*, vol. 72, p. 108374, 2023.
- [9] Y. Y. Liu, X. M. Chen, X. Q. Liu, and L. Li, “Giant Dielectric Response and Relaxor Behaviors Induced by Charge and Defect Ordering in $\text{Sr}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ Ceramics,” *Applied Physics Letters*, vol. 90, p. 192905, 2007.

- [10] F. Aguesse, A. K. Axelsson, P. Reinhard, V. Tileli, J. L. Rupp, and N. M. Alford, “High-Temperature Conductivity Evaluation of Nb Doped SrTiO₃ Thin Films: Influence of Strain and Growth Mechanism,” *Thin Solid Films*, vol. 539, pp. 384–390, 2013.
- [11] R. Yimnirun, E. Meechoowas, S. Ananta, and T. Tunkasiri, “Mechanical Properties of xPMN-(1-x) PZT Ceramic Systems,” *CMU. Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 147–154, 2004.
- [12] F. Wang, X. Li, Q. Xu, N. Chen, H. Chen, Y. Cheng, and J. Zhu, “Influence of Acceptor–Donor Codoping on the Structure, Electrical Properties, and Hardness of CaBi₂Nb₂O₉-Based Ceramics,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 910, p. 164853, 2022.

การศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิต สำหรับ การใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม

A study of Mechanical and Thermal Properties of Louver Panel Product Plastic Composite for Architectural Applications

บุษบา การุณสิต¹ ไกรสุข บุญประดิษฐ์¹ ปฏิภาณ นิลเพ็ชร^{2*} และ ไชยภรณ์ รัมมะรัตน์³

¹สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

³บริษัท ยูจิ้น ประเทศไทย จำกัด

Budsaba Karoonsit¹ Krai Suk Boonpradit¹ Patiparn Ninpetch^{2*} and Chaiyapat Rammarat³

¹Science and Technology Research Institute,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

³U-JIN (Thailand) co.,ltd.

*Corresponding author Email: patiparn.n@en.rmutt.ac.th

(Received: June 12, 2025; Revise: June 29, 2025; Accepted: June 29, 2025)

บทคัดย่อ

วัสดุพลาสติกคอมโพสิต (Plastic Composite, PC) เป็นหนึ่งในประเภทของวัสดุที่ได้รับความนิยมในการการผลิตเป็นแผ่นลูฟเวอร์ เพื่อนำไปใช้งานด้านสถาปัตยกรรม ตกแต่ง เพิ่มความสวยงามให้แก่อาคารทั้งภายในและภายนอก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงและความทนทานสูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาสมบัติทางวัสดุของแผ่นบานเกล็ดที่ผลิตจากวัสดุไม้พลาสติกคอมโพสิตจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับงานด้านสถาปัตยกรรม ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเชิงเปรียบเทียบของสมบัติเชิงกลและทางความร้อนของผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิตสามชนิดที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยอาศัยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) ขึ้นงานทดสอบถูกทดสอบจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละกรณี ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษานี้ พบว่าวัสดุ PC I มีค่าความแข็ง ค่าต้านทานแรงดึง และระยะยืดตัวสูงสุดที่ 56 Shore D 13.08 MPa และ ร้อยละ 2.14 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงและความเหนียวที่ดี และวัสดุ PC I ยังมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและการโค้งงอได้ดีกว่าวัสดุ PC II และ PC III ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและการโค้งงอที่ต่ำกว่า ในการทดสอบอุณหภูมิการอ่อนตัวพบว่าวัสดุ PC I PC II และ PC III มีอุณหภูมิการอ่อนตัวที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางความร้อนและค่าพลังงานในการสลายพันธะของวัสดุ PC I PC II และ PC III มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์จากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์พลาสติกคอมโพสิตที่มีคุณภาพสูง ตอบสนองทั้งด้านความสวยงามและความคงทนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วัสดุพลาสติกคอมโพสิต ผลิตภัณฑ์แผ่นลูฟเวอร์ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อน

Abstract

Plastic Composite (PC) is a material extensively utilized in the production of louver panels for architectural and decorative purposes. It enhances the aesthetics of both interior and exterior buildings due to its lightweight, strength, durability, and environmental friendliness. Therefore, studying the material properties of louver panels made from PC is essential to select the most suitable and efficient material for architectural applications. This research focuses on a comparative study of the mechanical and thermal properties of three types of louver panel product plastic composite according to the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM). Each case was evaluated with five test specimens. The results revealed that PC I has the highest hardness, tensile strength, and elongation of 56 Shore D, 13.08 MPa, and 2.14%, respectively, indicating good strength and toughness. PC I also demonstrated better impact resistance and bending resistance than PC II and PC III, which exhibited lower impact resistance and flexural strength. In the deflection temperature test, the testing results indicated that PC I, PC II, and PC III manifested slight differences in deflection temperature, but no significant differences were observed. Moreover, the thermal analysis showed that thermal properties and bond dissociation energy values of the materials PC I, PC II, and PC III exhibit no significant differences. The findings from this study can provide guidelines for the development of high-quality louver panels that effectively meet both aesthetic and durability requirements.

Keywords: Plastic Composite, Louver Panel Product, Mechanical Property, and Thermal Property

1. บทนำ

แผ่นลูฟเวอร์ (Louver panel) เป็นผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมในงานด้านสถาปัตยกรรม เนื่องจากแผ่นลูฟเวอร์สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มความสวยงาม ควบคุมแสง และสร้างบรรยากาศที่เป็นธรรมชาติทั้งภายในและภายนอกอาคาร [1] ในปัจจุบัน วัสดุที่นิยมนำมาทำแผ่นลูฟเวอร์มีความหลากหลาย เช่น เมทัลชีท ไม้จริง ไม้สังเคราะห์ พลาสติกคอมโพสิต และอลูมิเนียมลายไม้ [2] ซึ่งแผ่นลูฟเวอร์ที่ผลิตจากวัสดุแต่ละประเภท มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันในด้าน ความแข็งแรง ความทนทานต่อสภาพอากาศ ความสามารถในการต้านทานเชื้อรา และการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมื่อสัมผัสกับความชื้น ดังนั้น การศึกษาประเมินสมบัติทางวัสดุของแผ่นลูฟเวอร์จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในงานก่อสร้างและตกแต่ง นอกจากนี้ ปัจจัยด้านความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อมก็เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการผลิตแผ่นลูฟเวอร์ โดยการใช้ไม้จริงอาจส่งผลกระทบต่อการใช้ไม้ทำลายป่า ในขณะที่วัสดุทดแทน เช่น พลาสติกคอมโพสิต สามารถช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ แต่ยังต้องพิจารณาถึงกระบวนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [3] ดังนั้น การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละประเภทไม่เพียงแต่ช่วยให้เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับงานสถาปัตยกรรม แต่ยังสามารถนำไปสู่การพัฒนาวัสดุที่มีความทนทาน ปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการออกแบบและก่อสร้างอย่างยั่งยืนในอนาคต การพัฒนาวัสดุแผ่นลูฟเวอร์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมไม่เพียงช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ แต่ยังช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น วัสดุที่มีความแข็งแรงและความทนทานสูงสามารถลดความ

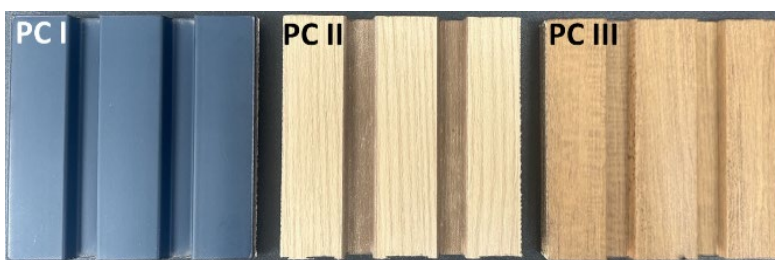
เสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพ สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และรังสียูวี และแรงกระแทก ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานระยะยาวในงานก่อสร้างและตกแต่งอาคาร อีกประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและพัฒนาแผ่นลู่เวอร์ คือ มาตรฐานและข้อกำหนดทางอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์แผ่นลู่เวอร์ที่นำมาใช้ในงานทางสถาปัตยกรรม ในหลายประเทศมีมาตรฐาน เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM) ที่กำหนดวิธีการทดสอบและเกณฑ์ในการประเมินสมบัติของวัสดุ เช่น ค่าต้านทานแรงดึง การทนทานต่อการผุกร่อน หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ต้นทุนและความคุ้มค่าในการใช้งาน ก็เป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุแต่ละประเภทมีผลต่อค่าใช้จ่ายในระยะยาว แม้ว่าไม่จริงอาจให้ความสะดวกและความรู้สึกเป็นธรรมชาติ แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านราคาและความต้องการดูแลรักษา ในขณะที่วัสดุสังเคราะห์หรือวัสดุผสม เช่น PC หรือไม้เคลือบสารป้องกันความชื้น อาจมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า Nukala et al. [4] พบว่าความแข็งแรงทางกลของวัสดุไม้พลาสติกผสม wood polymer composites (WPCs) สามารถปรับปรุงได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณ recycled wood waste (RWW) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงเพิ่มจาก 26.59 เป็น 34.30 MPa พร้อมกับเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น Redhwi et al. [5] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการยึดตัวของ WPCs โดยเฉพาะในวัสดุที่ใช้ HDPE และ PP และได้พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยไม้เกินร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก จะส่งผลเสียต่อความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์แผ่นลู่เวอร์ นอกจากนี้ Guo et al. [6] ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก ที่มีเส้นใยต่างชนิด ปริมาณเส้นใยที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวด้วยความร้อน อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก ระดับผลึก มีค่ามากกว่าวัสดุที่ใช้ผงไม้ขัดพื้นและเคลือบเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ อุณหภูมิหลอมเหลวและระดับผลึกของ WPCs จะลดลง

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของสมบัติเชิงกลและทางความร้อนของวัสดุพลาสติกคอมโพสิตสามชนิดที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันการโดยอาศัยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นลู่เวอร์พลาสติกคอมโพสิตที่มีคุณภาพสูง ให้ตอบโจทย์ทั้งด้านความสะดวกและความคงทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อรองรับการใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรมที่ต้องการความคงทนและความสวยงาม

2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุ (Materials)

วัสดุในการศึกษานี้ คือ วัสดุพลาสติกคอมโพสิต (Plastic Composite) จำนวน 3 ประเภท ที่มีสีของผิวหน้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ สีน้ำเงิน สีครีม และสีน้ำตาลอ่อน (PC I, PC II, PC III) จากบริษัท บริษัท ยูจีน ประเทศไทย จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุพลาสติกคอมโพสิต (PC) ในการศึกษา

2.2 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical testing)

การทดสอบสมบัติเชิงกลในการศึกษานี้ ประกอบไปด้วย 1) การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) 2) การทดสอบค่าต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดตัวสูงสุด (Strain at break) 4) การทดสอบค่าต้านทานแรงกระแทก (Impact resistance) และ 5) การทดสอบค่าต้านทานการโค้งงอ (Flexural strength)

การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของชิ้นงาน ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 (Shore D) [7] โดยชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง 10 มม. ความยาว 100 มม. และความหนา 3 มม. ในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบ durometers PCT model 408 โดยทำการกดค่าความแข็งกระจายทั่วทั้งบริเวณชิ้นงาน สำหรับการทดสอบค่าต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดตัวสูงสุด (Strain at break) ของการศึกษานี้ ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 (Type I) [8] โดยชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง 13 มม. ความยาว 165 มม. และความหนา 3 มม. ในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine: Comotech QC-506M1 ที่ใช้ความเร็วดึง (Cross-head speed) 50 มม./นาที ขั้นตอนการทดสอบค่าต้านแรงกระแทก (Impact) ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 (Izod V notch) [9] โดยชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง 6 มม. ความยาว 65 มม. และความหนา 3 มม. ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบ Zwick/Roll HIT5.5P และกำหนดค่าน้ำหนักของ Pendulum ในการทดสอบเท่ากับ 2.75 จูล และการทดสอบการต้านทานการโค้งงอ (Flexural Strength) ได้ดำเนินการตามการทดสอบของมาตรฐาน ASTM D790 [10] โดยชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง 9.6 มม. ความยาว 191 มม. และความหนา 3 มม. ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine: Comotech QC-506M1 โดยในการทดสอบสมบัติเชิงกลของการศึกษานี้ ชิ้นงานทดสอบถูกทดสอบจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละกรณี และนำค่าผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

2.3 การทดสอบอุณหภูมิการแอ่นตัว (Deflection temperature testing)

การทดสอบหาค่าอุณหภูมิการแอ่นตัว (Deflection temperature) ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D648 [11] และดำเนินการทดสอบด้วยเครื่อง Ceast HDT 3 Vicat Tester และกำหนดช่วงอุณหภูมิการทดสอบระหว่าง 25 ถึง 230 องศาเซลเซียส ที่มีอัตราการความร้อน (Heating rate) เท่ากับ 120 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ภายใต้ค่าความเค้นที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 0.455 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การศึกษานี้ วัสดุ PC ทั้ง 3 ประเภท ถูกทดสอบจำนวน 3 ชิ้นและนำค่าผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

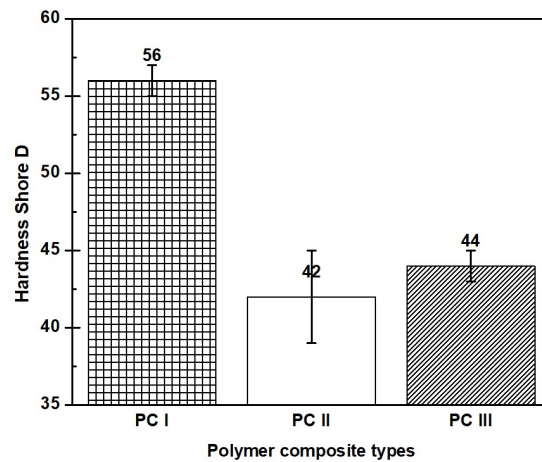
2.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal properties testing)

การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal properties) เช่น อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) อุณหภูมิการหลอมละลาย (T_m) เอลทาลปีของการเกิดผลึก (ΔH_c) และ เอลทาลปีของการหลอมละลาย (ΔH_m) [12] ของชิ้นงานทดสอบ ได้อาศัยการทดสอบด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) ในขั้นตอนการทดสอบ ชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ประเภทจะถูกเตรียมให้เป็นชิ้นงานขนาดเล็กที่มีน้ำหนัก 3.5 ± 0.2 มิลลิกรัม ในระหว่างการทดสอบชิ้นงานทดสอบถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้ชิ้นงานทดสอบมีอุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อนและการเย็นตัวคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 50 มิลลิลิตรต่อนาที

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

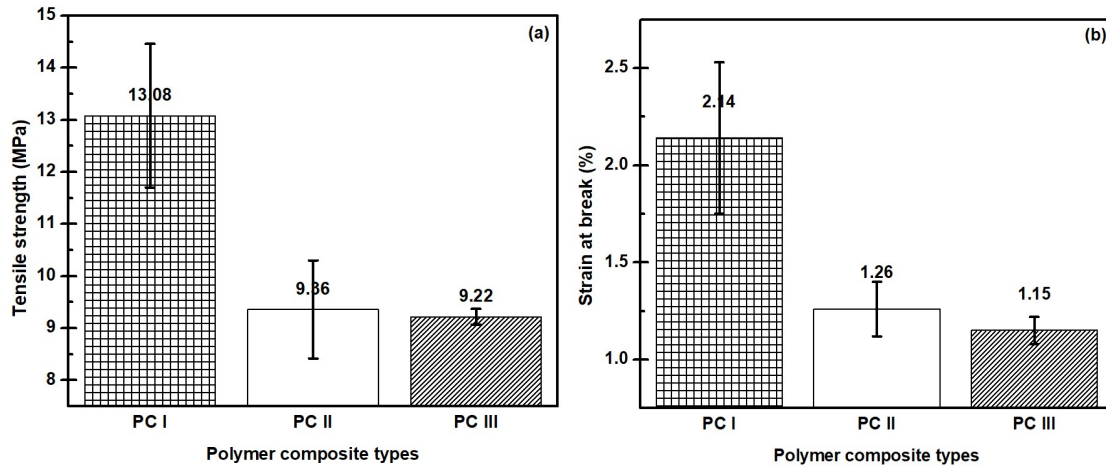
3.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของวัสดุพลาสติกคอมโพสิต (PC) ประเภท I II และ III ถูกแสดงดังรูปที่ 2 ผลการทดสอบพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยของวัสดุ PC I, PC II, และ PC III มีค่าเท่ากับ 56, 42 และ 44 Shore D ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุ PC I มีค่าความแข็งที่สูงที่สุด

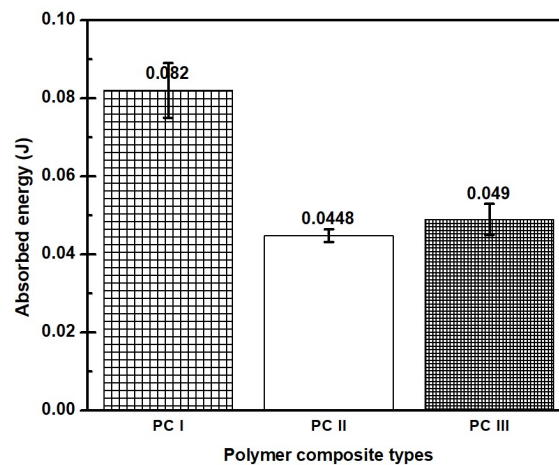


รูปที่ 2 ค่าความแข็งของวัสดุ PC

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดตัวสูงสุด (Strain at break) ของวัสดุ PC I–III จากการศึกษาพบว่าค่าต้านทานแรงดึงของวัสดุ PC I มีค่าเท่ากับ 13.08 MPa และมีค่าระยะยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 2.14 % วัสดุ PC II มีค่าต้านทานแรงดึงและระยะยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 9.36 MPa และ ร้อยละ 1.26 ขณะที่ วัสดุ PC III มีค่าต้านทานแรงดึงเท่ากับและระยะยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 9.22 MPa และ ร้อยละ 1.15 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวัสดุ PC I มีค่าต้านทานแรงดึงและระยะยืดตัวสูงสุดที่มากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าวัสดุมีความแรงและความเหนียวที่ดี ขณะที่ วัสดุ PC III และ PC II มีค่ามีค่าต้านทานแรงดึงและระยะยืดตัวที่แตกต่างกันเล็กน้อย รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact) ของวัสดุ PC I II และ III จากการทดสอบพบว่าค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ PC I, PC II, และ PC III มีค่าเท่ากับ 0.082 0.045 และ 0.049 จูล จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วัสดุ PC I มีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกที่ดี ในขณะที่วัสดุ PC II และ PC III มีค่าที่ต่ำกว่าวัสดุ PC I

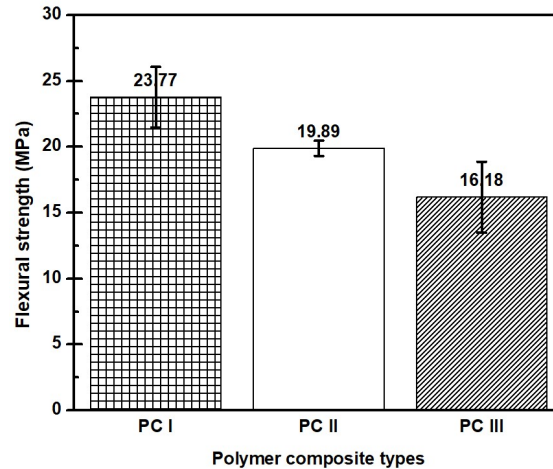


รูปที่ 3 (a) ค่าต้านทานแรงดึงและ (b) ค่าระยะยืดตัวสูงสุดของวัสดุ PC



รูปที่ 4 ค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ PC

นอกจากนี้ ผลการทดสอบการต้านทานการโค้งงอ (Flexural strength) ค่าต้านทานการโค้งงอของวัสดุ PC I II และ III จากผลการทดสอบพบว่าค่า PC I, PC II, และ PC III มีค่าเท่ากับ 23.77, 19.89, และ 16.18 MPa จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุ PC I มีความสามารถในการต้านทานการโค้งงอที่สูงกว่าวัสดุ PC II และ PC III ซึ่งบ่งชี้ว่าวัสดุ PC I มีความสามารถในการต้านทานการโค้งงอที่ดี



รูปที่ 5 ค่าต้านทานการโค้งงอของวัสดุ PC

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการแอ่นตัว

จากตารางที่ 1 แสดงค่าคุณสมบัติการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าคุณสมบัติการแอ่นตัวของวัสดุ PC I, PC II และ PC III มีค่าประมาณ 85.83, 83.67, และ 82.60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวัสดุ PC ทั้ง 3 ประเภทมีค่าคุณสมบัติการแอ่นตัวที่แตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าคุณสมบัติการแอ่นตัวสูงสุดประมาณ 85.83 องศาเซลเซียส และคุณสมบัติแอ่นตัวที่ต่ำสุดประมาณ 82.60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 คุณสมบัติการแอ่นตัวของวัสดุ PC

ชิ้นงาน	คุณสมบัติการแอ่นตัว (องศาเซลเซียส)
PC I	85.83
PC II	83.67
PC III	82.60

3.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนวัสดุ PC ด้วยเทคนิค DSC เพื่อศึกษาคุณสมบัติการดูดและคายพลังงานความร้อนวัสดุของตัวอย่างสี (Pigment) ของวัสดุ PC I PC II และ PC III โดยการจำลองให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 0 ถึง 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับตัวอย่างขณะทดสอบ จาก DSC thermogram ในช่วงอุณหภูมิ 370 – 485 องศาเซลเซียส ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานสลายพันธะของวัสดุ PC จากตารางสามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่าง วัสดุ PC I (สีน้ำเงิน) เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน และมีค่าพลังงานในการสลายพันธะที่ 2,675.48 มิลลิจูล ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุ PC II (สีครีม) ที่มีค่าพลังงานในการสลายพันธะที่ 2,166.88 มิลลิจูล และวัสดุ PC III (สีน้ำตาลอ่อน) ที่มีค่าพลังงานในการสลายพันธะสูงสุดอยู่ที่ 2,173.19 มิลลิจูล จึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุ PC I มีค่าพลังงานในการสลายพันธะที่มากที่สุด แต่สมบัติทางความร้อนวัสดุทั้ง 3 ประเภทแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 อุณหภูมิการแอ่นตัวของวัสดุ PC

ชิ้นงาน	พลังงานในการสลายพันธะ (มิลลิจูล)
PC I	2,675.48
PC II	2,166.88
PC III	2,173.19

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของวัสดุพลาสติกคอมโพสิต (PC) โดยอาศัยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยถูกแสดงดังต่อไปนี้

วัสดุ PC I มีค่าความแข็ง ค่าต้านทานแรงดึง และระยะยืดตัวสูงสุดที่มากที่สุด 56 Shore D 13.08 MPa และ ร้อยละ 2.14 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าวัสดุมีความแข็งแรงและความเหนียวที่ดี นอกจากนี้ วัสดุ PC I ยังมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทก และต้านทานการโค้งงอได้ดีกว่าวัสดุ PC II และ PC III ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและความสามารถในการต้านทานการโค้งงอที่ต่ำกว่า ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีอุณหภูมิการแอ่นตัวที่ต่างกันเล็กน้อย และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ วัสดุ PC I, PC II และ PC III ทั้ง 3 ประเภท ยังมีสมบัติทางความร้อนและค่าพลังงานในการสลายพันธะที่ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

5. กิตติกรรมประกาศ

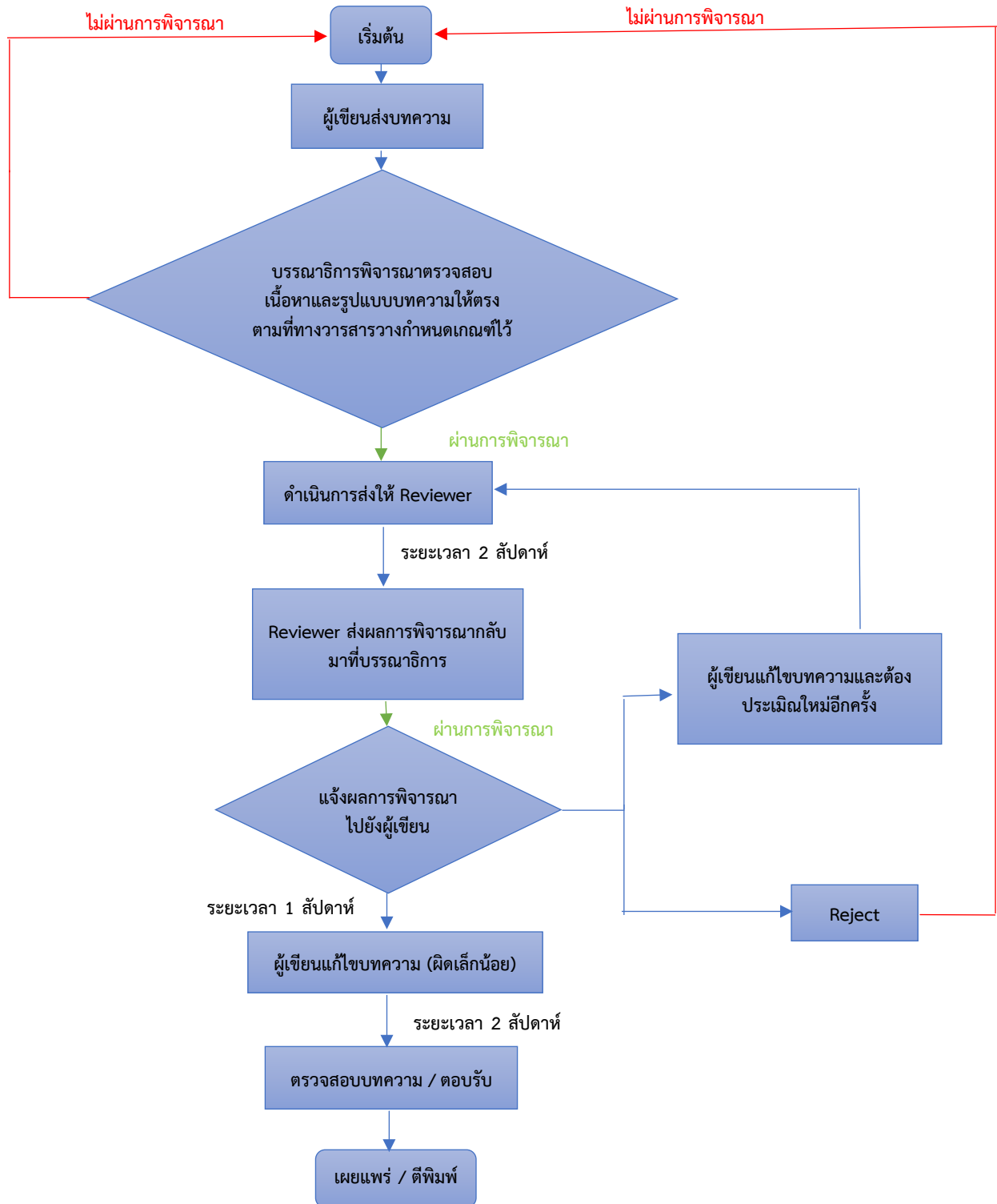
ขอขอบคุณหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนแนวทางการวิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบริษัทยูจิน (ประเทศไทย) จำกัด ที่เล็งเห็นถึงประโยชน์ของการใช้ผลิตภัณฑ์จริงในอุตสาหกรรม มาประยุกต์ศึกษาเชิงวิชาการ และสนับสนุนผลิตภัณฑ์สำหรับการศึกษานี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Global Group Thailand, “Metal Sheet Ventilation Louve (Louver),” (in Thai). Accessed: Apr. 8, 2025. [Online]. Available: <https://www.globalgroupthailand.com>
- [2] Perforated Metal Sheet, “What Types of Materials Are Used to Make Louvers?” (in Thai). Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.perforatedmetalsheet.com>
- [3] C. Popescu, H. Dissanayake, E. Mansi, and A. Stancu, “Eco Breakthroughs: Sustainable Materials Transforming the Future of Our Planet,” *Sustainability*, vol. 16, no. 3, 2024, pp. 10790.
- [4] S. G. Nukala, I. Kong, A. B. Kakarla, W. Kong, and W. Kong, “Development of Wood Polymer Composites From Recycled Wood and Plastic Waste: Thermal and Mechanical Properties,” *Journal of Composites Science*, vol. 6, no. 7, 2022, pp. 194.

- [5] H. H. Redhwi, M. N. Siddiqui, A. L. Andrad, S. A. Furquan, and S. Hussain, “Durability of High-Density Polyethylene (HDPE)- and Polypropylene (PP)-Based Wood-Plastic Composites—Part 1: Mechanical Properties of the Composite Materials,” *Journal of Composites Science*, vol. 7, no. 4, 2023, pp. 163.
- [6] Y. Guo, S. Zhu, Y. Chen, and D. Li, “Thermal Properties of Wood-Plastic Composites With Different Compositions,” *Materials*, vol. 12, no. 6, 2019, pp. 881.
- [7] ASTM International, “ASTM D2240 Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness,” West Conshohocken, PA, USA, 2010.
- [8] ASTM International, “ASTM D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” West Conshohocken, PA, USA, 2014.
- [9] ASTM International, “ASTM D256 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics,” West Conshohocken, PA, USA, 2018.
- [10] ASTM International, “ASTM D790-10 Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials,” West Conshohocken, PA, USA, 2010.
- [11] ASTM International, “ASTM D648-22 Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position,” West Conshohocken, PA, USA, 2022.
- [12] L. Techawinyutham, J. Tengsuthiwat, R. Srisuk, W. Techawinyutham, S. M. Rangappa, and S. Siengchin, “Recycled LDPE/PETG Blends and HDPE/PETG Blends: Mechanical, Thermal, and Rheological Properties,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 15, 2021, pp. 2686–2697.

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.....อีเมล์.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

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

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

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

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

Name-Surnames

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

Address (for Contact).....

.....

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

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

Name of Article:.....

.....

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

The days of Online Submission.....

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

Sign

(.....)

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



สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดย

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ ๖/๒๕๖๕ ที่ตั้ง : อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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