

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2566

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- การจัดการคลังสินค้าด้วย ABC Analysis กรณีศึกษาโรงหล่อพระศรีการช่างพุทธนิมิต ธรรมวิชัย ประเสริฐ บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ เพ็ญนภา สิงขรัตน์ และ หัสกร ดารา
- การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ กรณีศึกษาบริษัท เอส.เจ. สกรูไทย จำกัด อติพร ทิพย์โกชน์ ปรีดาพร จันทมา และ คณน สุจาร์
- อิทธิพลของด้ายเคสียแรงแซและความเร็วพันซ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบบลงกั๊ง ณัฐชานันท์ อังสุเศรษฐี ธนพล กอสุราษฎร์ และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ
- อิทธิพลของปัจจัยทางกระแสไฟฟ้าในการเจาะรูของรอยเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด JIS SKD61 ด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า สมชาย วนไทยสงค์ รัตติกรณ์ เสาร์เณน เอนก สุทธิฤทธิ์ รอยต่อ เจริญสินโอฬาร และ พิชัย จันทรมณี
- การศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าว ณ ขอบรูเจาะต่อความไวในการทดสอบด้วยวิธีกระแทกสั่นสำหรับงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ฤทธิชัย เทาเนียม สมชาย วนไทยสงค์ กิจกวี บุรินรัมย์ และ เจษฎา แก้ววิชิต
- กรณีศึกษาการปรับระดับฐานพิมพ์โดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เอกภดี เมืองกลาง นันทวัน ปุณณนัท กริชเพชร กล้ามะรัตน์ ปรีชา สมหวัง กรัณท์กมล ภูครองหิน เทวิล สกุลบุญยงค์ เณน คอกพิมาย และ พริมา สมหวัง
- การเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อทั้งของแข็ง เกรด 6061 ชัยยุทธ มีงาม ศุภชัย ชัยณรงค์ ยงยุทธ ดุลยกุล และ เดช เหมือนขาว
- การศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปลอมจัมผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป ธีรวัฒน์ แสงภาส
- การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิค ECRS วรพจน์ ศิริรักษ์ ทศพงศ์ นันทมาจดา วรพจน์ แสงบุญเรือง อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล และ ชัชชัย สีตา

การจัดการคลังสินค้าด้วย ABC Analysis กรณีศึกษาโรงหล่อพระเสรีการช่างพุทธนิมิต Using ABC Analysis for Warehouse Management: A Case Study of Seree Karnchang Buddhanimit Foundry โดย : ธรรมวิเศษ ประเสริฐ บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ เพ็ญญา สังขรัตน์ และ หัสกร ดารา	1
การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ กรณีศึกษาบริษัท เอส.เจ. สกรูไทย จำกัด Improving the workflow of the packing department to increase productivity with 3D computer simulation modeling, A case study of SJ Screw Thai Co., Ltd. โดย : อติพร ทิพย์โภชน์ ปรีดาพร จันทูมา และ คนน สู่จारी	12
อิทธิพลของตายเคสและความเร็วพ่นที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแปลงกึ่ง Influence of Die Clearance and Punch Velocity on The Quality of The Rubber Cutting Edge in The Blanking Process โดย : ณัฐชนันท์ อังศุเรณีย์ ธนพล กอสุราษฎร์ และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ	24
อิทธิพลของปัจจัยทางกระแสไฟฟ้าในการเจาะรูของรอยเชื่อม เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า Influence of Discharge Current in Drilling Hole of Weld on JIS SKD61 Tool Steel by Using Electrical Discharge Machining Process โดย : สมชาย วนไทยสงค์ รัตติกรณ์ เสาร์แดน เอนก สุทธิฤทธิ์ รอยต่อ เจริญสินโอฬาร และ พิชัย จันทรมณี	34
การศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าว ณ ขอบรูเจาะต่อความไวในการทดสอบ ด้วยวิธีกระแสไหลวนสำหรับงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกล Study of Cracking Behavior of a Drilled Hole Edge Crack on ECT Sensitivity for Machinery Component Maintenance โดย : ฤทธิชัย ภาณีนิม สมชาย วนไทยสงค์ กิจทวี นุรินรัมย์ และ เจษฎา แก้ววิชิต	46
กรณีศึกษาการปรับระดับฐานพิมพ์โดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Case Study of Print Bed Leveling by Bilinear Interpolation in 3D Printers โดย : เอกบติ เมืองกลาง นันทวัน ปุณณนัท กริชเพชร กล้ามะรัตน์ ปรีชา สมหวัง กรัณท์กมล ภูครองหิน เทวิล สกฤษณียงค์ เด่น ดอกพิมาย และ พริมา สมหวัง	60

การเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6061 Friction Stir Spot Welding of SSM 6061 Aluminium Alloy โดย : ชัยยุทธ มิงาม ศุภชัย ชัยณรงค์ ยงยุทธ ดุลยกุล และ เดช เหมือนขาว	70
การศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป A study of Compression Molding Process for Fruit Fork from Starch โดย : อธิวัฒน์ แสงภาส	82
การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิค ECRS Process Improvement of Electronic Part Assembly with ECRS technique โดย : วรพจน์ ศิริรักษ์ ทศพงศ์ นันทม์จนา วรพจน์ แสงบุญเรือง อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล และ ชัชชัย สีตา	93



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ แสง-ชูโต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

ราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทสายัน นราพิณิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูแก้ม

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รัตนโกสินทร์ ว่างไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนณะ ศรีสระคู

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ดร.มนตรี แสงสุริยันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอนแก่น

เลขานุการ

ดร.กั้วหน้า จงวัฒนารักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Journal of Manufacturing and Management Technology

Editorial Team

Editor –in–Chief

Assoc. Prof. Dr.Anin Memon

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Editorial Board

Asst. Prof. Pisit Sang-Xuto

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

Assoc. Prof. Tannachart Wantang

Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University

Asst. Prof. Supaaek Pramoonmark

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Boonsong Chongkolnee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Jatuporn Jaidumrong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Asst. Prof. Dr.Nonthachoti Udomsri

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Suvannabhumi

Asst. Prof. Pisit Srinoi

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

Asst. Prof. Puttasayan Narapinij

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Nateechai Passadee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Yingyos Tipsrirach

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

Asst. Prof. Dr.Niwat Mookam

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

Asst. Prof. Dr.Poontana Sresracoo

Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Dr.Montri Saengsuriyan

Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

Dr.Surached Thuankaewsing

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

Secretary

Dr.Kaona Jongwuttanaruk

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บทบรรณาธิการ

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน ปีพุทธศักราช 2566 จำนวนบทความตีพิมพ์ 9 บทความ โดยวารสารมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์บทความคุณภาพสูงสำหรับนักศึกษาด้านเทคโนโลยี นักวิจัย และผู้ปฏิบัติงาน ให้เข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีพัฒนาการปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น วารสารรับตีพิมพ์บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทัศน์ทั้งที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษซึ่งไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน โดยทางวารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม ซึ่งในฉบับนี้มีเนื้อหาทั้งทางด้านวิศวกรรมการผลิต กระบวนการผลิต การจัดการการผลิต และการดำเนินงาน วัสดุศาสตร์และการประยุกต์ใช้งาน และ โซ่อุปทานและโลจิสติกส์

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

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



รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุขฎิ บุญธรรม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อธิณิลิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร ชาคะวิถิ	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นราธิป ภาวะรี	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒนวงศ์วนา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูไฮดี สนิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติ หมอรักษา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ประจักษ์ จิตกุล	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ภูริพัส แสนพงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ดร.ชาตินันทรบ แสงสว่าง	คณะพาณิชยนาวิณานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เนรัญชลา กำไลทอง	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัดน์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพล ตันทวิรุฬห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ดร.ปรเมศวร์ เป้าวรรณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราญา เนื่องมัจฉา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แมน ตัญแพร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

อาจารย์สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Reviewers

Asst. Prof. Dr.Dussadee Buntam	Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.Mongkon Ittiphalin	Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong
Asst. Prof. Dr.Pachara Chatavithee	Faculty of Economics, Khon Kaen University
Asst. Prof. Naratip Pawaree	Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.Fasai Wiwatwongwana	Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology
Asst. Prof. Suhaidee Sani	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Asst. Prof. Thiti Mhoraksa	Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr.Prajak Jattakul	Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr.Puripat Saenpong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Chanchai Laoha	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Dr.Chatnugrob Sangsawang	Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University Sriracha Campus
Asst. Prof. Naranchala Khumlaithong	Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya Campus
Asst. Prof. Chirawat Na-Badalung	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Asst. Prof. Dr.Natthasak Pornputsiri	Faculty of Industrial and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Asst. Prof. Dr.Phacharaphon Tunthawiroon	Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.Paramet Baowan	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Woraya Neungmatcha	Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Asst. Prof. Dr.Man Tuiprae	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Mr. Suttipong Jumroonrut	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

การจัดการคลังสินค้าด้วย ABC Analysis กรณีศึกษาโรงหล่อพระเสรีการช่างพุทธนิมิต

Using ABC Analysis for Warehouse Management:

A Case Study of Seree Karnchang Buddhanimit Foundry

ธรรมวิชัย ประเสริฐ^{1*} บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช¹ ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ¹ เพ็ญภา สัจจรัตน์¹ และ หัสกร ดารา¹¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรThammawit Prasert^{1*} Banyat Panprasitvech¹ Patipat Hongsuwan¹ Pennapa Sangkharat¹ and Hassakorn Dara¹¹Department of Industrial Engineering and Management,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

E-mail :prasert_t@silpakorn.edu*

(Received: January 13, 2023; Revise: June 8, 2023; Accepted: June 26, 2023)

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอแนวทางเลือกสำหรับการจัดการคลังสินค้าของโรงหล่อพระเสรีการช่างพุทธนิมิต เนื่องจากพบปัญหาพื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอ และไม่มีแผนในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ในการปรับปรุงได้ใช้หลักการจัดคลังสินค้าแบบ ABC Analysis โดยมีการเสนอแนวทางเลือกในการจัดการคลังสินค้า 2 แผน คือ 1) แผนการจัดการที่ใช้ปริมาณการจัดจำหน่ายในการวิเคราะห์ สามารถลดปริมาณสินค้าคงคลังได้ 785 ชิ้น คิดเป็นมูลค่าต้นทุนสินค้าคงคลังที่ลดลงได้ 1,304,906 บาท 2) แผนการจัดการที่ใช้มูลค่าสินค้าในการวิเคราะห์ สามารถลดปริมาณสินค้าคงคลังได้ 823 ชิ้น คิดเป็นมูลค่าต้นทุนสินค้าคงคลังที่ลดลงได้ 1,408,037 บาท โดยแผนการจัดการที่ใช้ปริมาณการจัดจำหน่ายในการวิเคราะห์เป็นแผนที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีกว่า หลังการปรับปรุงมีจำนวนสินค้าคงคลังลดลง 42% ของปริมาณชิ้นส่วนทั้งหมด และต้นทุนมูลค่าสินค้าคงคลังลดลง 44% จากนั้นประยุกต์กิจกรรม 5ส ในการปรับสิ่งแวดล้อมในคลังสินค้าให้พนักงานสามารถตรวจสอบจำนวนสินค้าคงคลังได้ง่ายขึ้น

คำสำคัญ: ABC Analysis การจัดการคลังสินค้า กิจกรรม 5ส

Abstract

This study aimed to propose an alternate warehouse management strategy for the Seree Karnchang Buddhanimit foundry. Due to limited storage and a lack of procedures to keep stock, the ABC Analysis method of warehouse management was used to make improvements, and two alternative warehouse management strategies were proposed: 1) A management plan that considered the number of sales could reduce inventory by 785 items and a reduced cost of inventory 1,304,906 Baht 2) An approach that analyzed sales value, which was able to reduce inventory by 823 items, representing a discounted cost of inventory of 1,408,037 Baht. The management strategy that analyzes the distribution volume is one that better serves the requirements of the customers. Following modification, the inventory slipped by 42% of the total number of parts and the cost of

the inventory fell by 44%. Then, 5S actions were implemented to make the warehouse environment more conducive to staff productivity. The area was cleaned and easier to inventory control.

Keywords: ABC Analysis, Warehouse Management, 5S

1. บทนำ

โรงงานหล่อพระเสรีการช่างพุทธนิมิต เป็นโรงงานหล่อและจัดจำหน่ายพระพุทธรูปรายใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทย มีพื้นที่โรงงาน 15 ไร่ มีจำนวนพนักงาน 200 คน มีการผลิตและจำหน่ายพระพุทธรูป 3,000 – 4,000 องค์ต่อปี โดยโรงงานจะผลิตชิ้นส่วนแต่ละส่วนเก็บไว้ในคลังสินค้าแล้วจึงเบิกมาประกอบเป็นองค์พระตามคำสั่งซื้อของลูกค้า จากการสำรวจพบว่าชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้ามีการจัดเก็บและการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไม่ทราบปริมาณสินค้าคงคลังที่แน่นอน ในบางช่วงเวลามีปริมาณการจัดเก็บชิ้นส่วนมากเกินไปทำให้พื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอ และชิ้นส่วนบางรายการ เช่น พระฐานจีวรรั้วขนาด 30 นิ้ว มียอดจำหน่ายเดือนละ 30 องค์ แต่ไม่มีการจัดเก็บชิ้นส่วนดังกล่าวในคลังสินค้า ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา

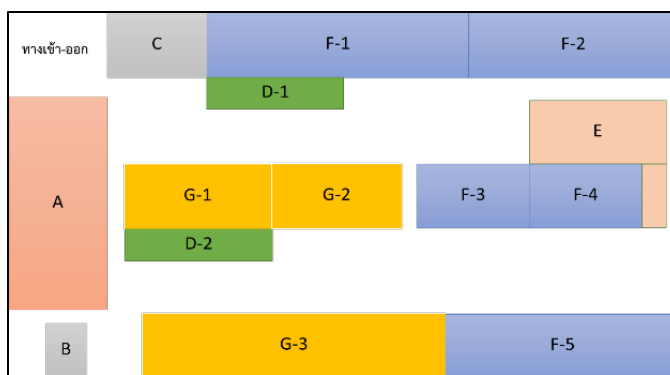
จากการที่ไม่มีแผนการจัดการคลังสินค้าเหมาะสมทำให้เกิดปัญหาการจัดเก็บชิ้นส่วนพระพุทธรูปมากหรือน้อยเกินไป รวมถึงการจัดการพื้นที่ภายในคลังสินค้า และยังส่งผลให้การค้นหาและการเบิกจ่ายชิ้นส่วนพระพุทธรูปมีความล่าช้า อีกทั้งไม่ทราบปริมาณสินค้าคงคลังที่จัดเก็บทำให้ไม่สามารถวางแผนการผลิตที่เหมาะสมได้ ดังนั้นเพื่อประหยัดต้นทุนสินค้าคงคลังที่ใช้เก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิต (Work in process) [1] เกิดความจำเป็น และแก้ไขปัญหาปริมาณการจัดเก็บชิ้นส่วนไม่เหมาะสม จึงนำแนวทาง ABC Analysis [2] มาควบคุมสินค้าคงคลัง โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของสินค้าคงคลังแต่ละประเภทที่มีความสำคัญมากและน้อยรองลงไปตามลำดับ โดยหลักการ ABC Analysis เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนเหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้ในเบื้องต้นในโรงงานที่ยังไม่มีการจัดการสินค้าคงคลัง เช่นเดียวกับงานวิจัยของณรงค์ [3] รวมถึงงานวิจัยของณัฐชา [4] และเสาวนุช [5] ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้าของสถานประกอบการด้วยวิธีการ ABC Analysis เมื่อกำหนดปริมาณคลังสินค้าที่เหมาะสมแล้วจึงใช้กิจกรรม 5ส ในการจัดการสภาพแวดล้อมในการทำงานให้เหมาะสม ดังเช่นในงานศึกษาของวารุณี [6] ที่ใช้ 5ส ในการจัดการพื้นที่ให้สิ่งแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น วิธีดังกล่าวจึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์กับโรงงานกรณีศึกษา และเมื่อสิ่งแวดล้อมในที่ทำงานสะอาดเป็นระเบียบ จะเอื้อกับการตรวจสอบปริมาณสินค้าคงคลัง

2. วิธีการดำเนินงาน

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาการจัดการสินค้าคงคลัง จึงมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาแผนผังและพื้นที่การวางสินค้าก่อนการปรับปรุง

พื้นที่ภายในคลังสินค้ามีขนาด 8x19 ตารางเมตร จัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิต มีการแบ่งพื้นที่คลังสินค้า ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 พื้นที่คลังสินค้าก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 1 มีการแบ่งพื้นที่คลังสินค้านี้

- Zone A คือ พื้นที่วางชิ้นส่วนพระรอบประกอบ
- Zone B คือ โต๊ะทำงานของพนักงานคลังสินค้า
- Zone C คือ ตู้เก็บขวดเชื่อม
- Zone D คือ กล่องเก็บชิ้นส่วนพระเล็ก
- Zone E คือ พื้นที่วางเคียร์และชิ้นส่วนพระขนาดใหญ่
- Zone F คือ ชั้นเก็บชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์
- Zone G คือ ชั้นเก็บชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลือง

ซึ่งจากการสำรวจพบว่าชั้นวางชิ้นส่วนมีพื้นที่ไม่เพียงพอ ทำให้มีชิ้นส่วนที่ต้องวางบนพื้นและไม่สามารถจัดกลุ่มประเภทชิ้นส่วนได้เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 พื้นที่คลังสินค้าชิ้นส่วนระหว่างผลิตไม่เพียงพอ

2.2 เก็บข้อมูลสินค้าคงคลัง

เก็บข้อมูลยอดขายและมูลค่าสินค้าพระพุทธรูปประจำเดือนมกราคม ถึง สิงหาคม 2563 เพื่อนำมากำหนดหาปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปที่ควรจัดเก็บภายในคลัง จากการสำรวจยอดขายและมูลค่าของพระพุทธรูป พบว่ามีรุ่นพระทั้งหมด 116 รุ่น จำนวนพระที่จำหน่าย 2,209 องค์ คิดเป็นมูลค่ารวมทั้งหมด 41,987,300 บาท

การสำรวจปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปเนื้อทองเหลืองและอัลลอยด์ภายในคลังสินค้าชิ้นส่วนระหว่างการผลิตประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2564 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับยอดขายและมูลค่าสินค้าในแต่ละเดือน มีชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลือง ทั้งหมด 861 ชิ้น มีมูลค่า 1,396,997 บาท และมีชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์ทั้งหมด 1,018 ชิ้น คิดเป็นมูลค่า 1,570,848 บาท มีชิ้นส่วนพระ

รวมทั้งหมด 1,879 ชิ้น คิดเป็นมูลค่า 2,967,845 บาท

2.3 การวิเคราะห์ปัญหา

ดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาที่พบภายในคลังสินค้าโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผลพบสาเหตุที่สำคัญ ดังนี้

- ไม่มีปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปที่ควรจัดเก็บ ทางแผนกวางแผนการผลิตไม่มีค่ามาตรฐานในการจัดเก็บชิ้นส่วนพระพุทธรูป แต่ทำการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อที่เข้ามา ทำให้บางครั้งไม่มีการสต็อกชิ้นส่วนพระพุทธรูปที่ลูกค้าต้องการในคลังสินค้า ชิ้นส่วนระหว่างผลิต

- ไม่มีการตรวจเช็คชิ้นจำนวนส่วนสินค้าคงคลังที่เป็นระบบ เนื่องจากจำนวนพนักงานไม่สอดคล้องกับปริมาณชิ้นส่วน และมีขั้นตอนการตรวจนับชิ้นส่วนที่ล่าช้า และวิธีการไม่เหมาะสม ทำให้ยอดไม่ตรงตามความเป็นจริง จึงไม่สามารถทราบยอดระหว่างวัน

- จัดการพื้นที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของชิ้นส่วนพระเนื่องจากมีขนาดพื้นที่คลังสินค้าที่จำกัด และภายในคลังสินค้ามีไม่มีป้ายหรือแผนผังแบ่งแยกหมวดหมู่ในการวางชิ้นส่วนพระพุทธรูปที่ชัดเจน ทำให้มีการจัดวางที่ไม่เหมาะสม มีการวางชิ้นส่วนที่ปะปนกัน ซึ่งยากต่อการค้นหาและการนำเข้าและเบิกจ่ายชิ้นส่วนพระ

- พื้นที่ไม่สะอาด ไม่เหมาะสมกับการทำงาน พบว่ามีฝุ่นและชื้นเนื่องจากโรงงานไม่มีแผนในการทำความสะอาด ไม่มีอุปกรณ์กันน้ำและอุปกรณ์ทำความสะอาด ทำให้ภายในคลังมีฝุ่นและชื้น บริเวณบนชิ้นส่วนพระพุทธรูป ทำให้ต้องเสียเวลาในการทำความสะอาดชิ้นส่วนพระก่อนนำไปประกอบและอาจเป็นปัญหาสุขภาพของพนักงานในภายหลัง

2.4 การแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังด้วย ABC Analysis

ABC Analysis [7] เป็นระบบที่แบ่งประเภทความสำคัญของสินค้าคงคลังตามมูลค่าของสินค้าคงคลังที่หมุนเวียนในรอบปี โดยจะแบ่งของคงคลังออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A เป็นของคงคลังที่มีมูลค่าหมุนเวียนในรอบปีสูงที่สุด กลุ่ม B มีมูลค่าปานกลาง ส่วน และกลุ่ม C มีมูลค่าต่ำสุด เพื่อให้มีแนวทางในการจัดกลุ่มของสินค้าแต่ละประเภท Magee-Boodman ได้กำหนดแนวทางในการแบ่งประเภทของของคงคลัง ดังนี้

กลุ่ม A มีของคงคลัง 5-10% ของรายการของคงคลังทั้งหมด แต่มีมูลค่า 75-80% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมด

กลุ่ม B มีของคงคลัง 20-30% ของรายการของคงคลังทั้งหมด แต่มีมูลค่า 15-20% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมด

กลุ่ม C มีของคงคลัง 40-50% ของรายการของคงคลังทั้งหมด แต่มีมูลค่าเพียง 5-10% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมด

หลังจากการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์มูลค่าและยอดการจำหน่ายพระ จึงดำเนินการแบ่งกลุ่มรุ่นพระตามมูลค่าสินค้าคงคลังเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่ม A B และ C จากมูลค่าสินค้า 41,987,300 บาท สามารถแบ่งตามหลักการ ABC Analysis ได้ดังนี้

- กลุ่ม A แบ่งตามมูลค่าสินค้าที่ 75% มีรุ่นพระ 25 รุ่น คิดเป็นมูลค่า 31,680,300 บาท

- กลุ่ม B แบ่งตามมูลค่าสินค้าที่ 15% มีรุ่นพระ 19 รุ่น คิดเป็นมูลค่า 6,243,000 บาท

- กลุ่ม C แบ่งตามมูลค่าสินค้าที่ 10% มีรุ่นพระ 72 รุ่น คิดเป็นมูลค่า 4,064,000 บาท

แบ่งกลุ่มรุ่นพระด้วยปริมาณการจัดจำหน่ายพระจำนวน 2,209 องค์ สามารถแบ่งแบ่งตาม ABC Analysis ได้ดังนี้

- กลุ่ม A แบ่งตามยอดขายที่ 75% มีรุ่นพระ 25 รุ่น มียอดขาย 1,659 องค์

- กลุ่ม B แบ่งตามยอดขายที่ 15% มีรุ่นพระ 19 รุ่น มียอดขาย 335 องค์

- กลุ่ม C แบ่งตามยอดขายที่ 10% มีรุ่นพระ 72 รุ่น มียอดขาย 215 องค์

3. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการวางแผนและดำเนินงานในการหาแนวทางการปรับปรุงคลังสินค้าของโรงงานหล่อพระเสรีการช่างพุทธรณิมิตที่ได้ระบุปัญหาที่เกิดขึ้น มีผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาดังนี้

3.1 วางแผนการจัดเก็บชิ้นส่วนภายในคลังสินค้า

เบื้องต้น ทำการหาจำนวนพระพุทธรูป (องค์) ที่ควรจัดเก็บภายในคลังสินค้า

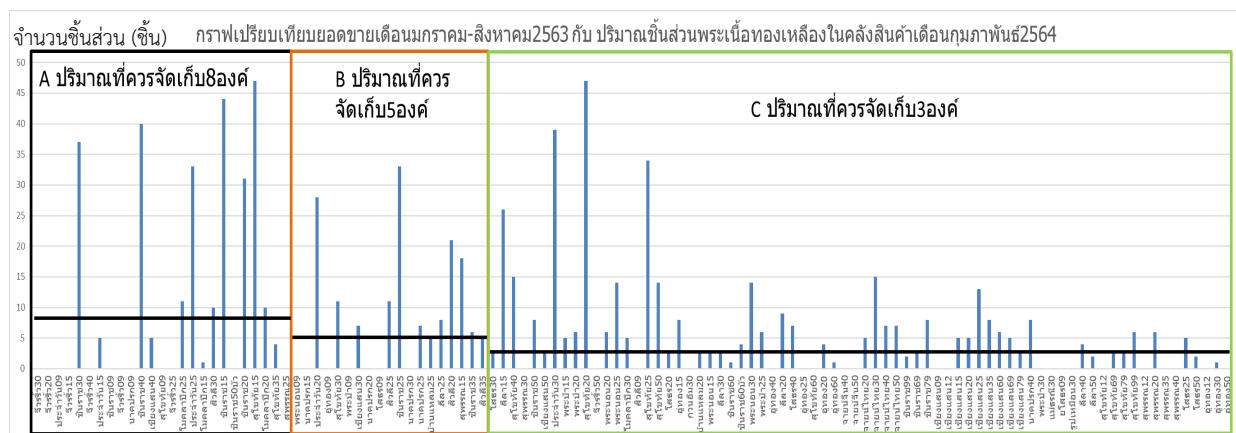
โดยขั้นตอนในการหาจำนวนพระพุทธรูป (องค์) ที่ควรจัดเก็บมีดังนี้

1) ทำการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณการจัดจำหน่ายของรุ่นพระแต่ละกลุ่ม A , B , C

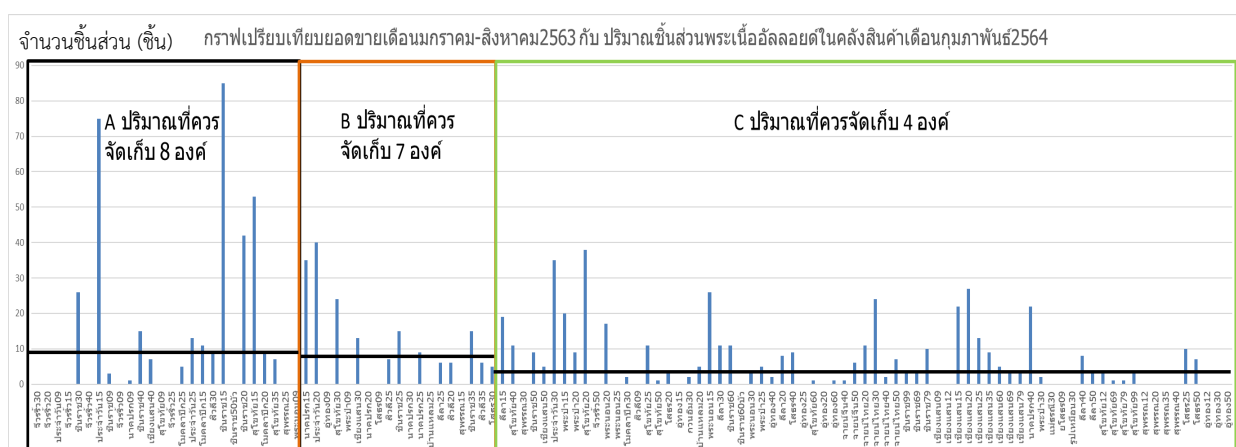
2) นำค่าเฉลี่ยปริมาณการจัดจำหน่ายที่ได้มาหารจำนวนเดือนที่รวบรวมข้อมูล เพื่อหาค่าจำนวนพระพุทธรูป (องค์) ที่ควรจัดเก็บในแต่ละเดือน ตามปริมาณการจัดจำหน่ายที่จำหน่ายได้ในแต่ละเดือน

จากมูลค่าและปริมาณการจัดจำหน่ายพระพุทธรูป 8 เดือน (มกราคม-สิงหาคม) สามารถออกแบบแผนจัดการสินค้าคงคลัง 2 แผน ดังนี้

แผนที่ 1 จัดการจำกัดปริมาณสินค้าคงคลังด้วยการเปรียบเทียบปริมาณการจัดจำหน่ายพระพุทธรูปเดือนมกราคม-สิงหาคม 2563 กับปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้าเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณการจัดจำหน่ายพระพุทธรูปกับปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลือง



รูปที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณการจัดจำหน่ายพระพุทธรูปกับปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์

จากการวิเคราะห์ปริมาณการจัดจำหน่ายเปรียบกับปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปเพื่อหาปริมาณจำนวนพระพุทธรูปที่ควรจัดเก็บ พบว่า ยังมีการจัดเก็บบางชิ้นส่วนมากเกินไปและบางชิ้นส่วนน้อยเกินไปไม่เหมาะสมกับยอดขาย ซึ่งปริมาณการจัดเก็บที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ คือ

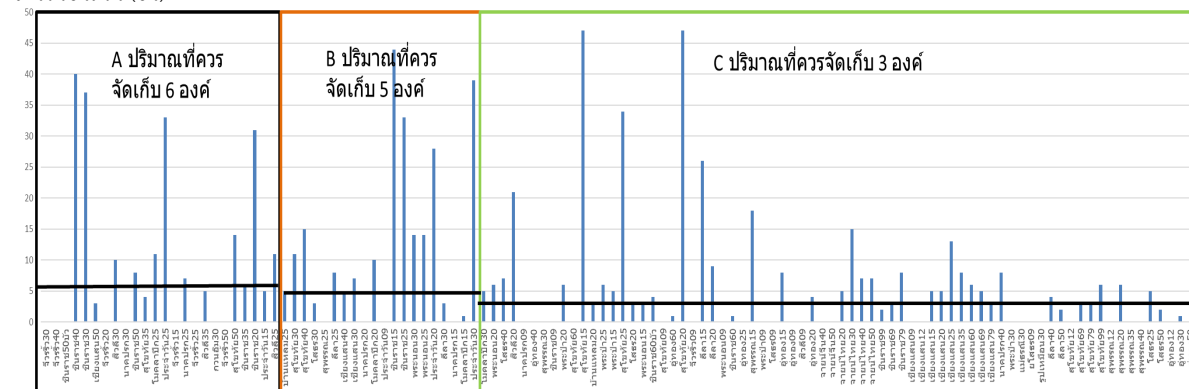
- พระเนื้อทองเหลือง กลุ่ม A ควรจัดเก็บ 8 องค์ กลุ่ม B ควรจัดเก็บ 5 องค์ และกลุ่ม C ควรจัดเก็บ 3 องค์
- พระเนื้ออัลลอยด์ กลุ่ม A ควรจัดเก็บ 8 องค์ กลุ่ม B ควรจัดเก็บ 7 องค์ และกลุ่ม C ควรจัดเก็บ 4 องค์

แผนที่ 2 จัดการจำกัดปริมาณสินค้าคงคลังด้วยการเปรียบเทียบมูลค่าสินค้าพระพุทธรูปเดือนมกราคม-สิงหาคม 2563 กับปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้าเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

จากการวิเคราะห์มูลค่าสินค้าเปรียบกับปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปเพื่อหาปริมาณจำนวนพระพุทธรูปที่ควรจัดเก็บ พบว่า ยังมีการจัดเก็บชิ้นส่วนที่ไม่เหมาะสมกับมูลค่าสินค้า ซึ่งปริมาณการจัดเก็บที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ คือ

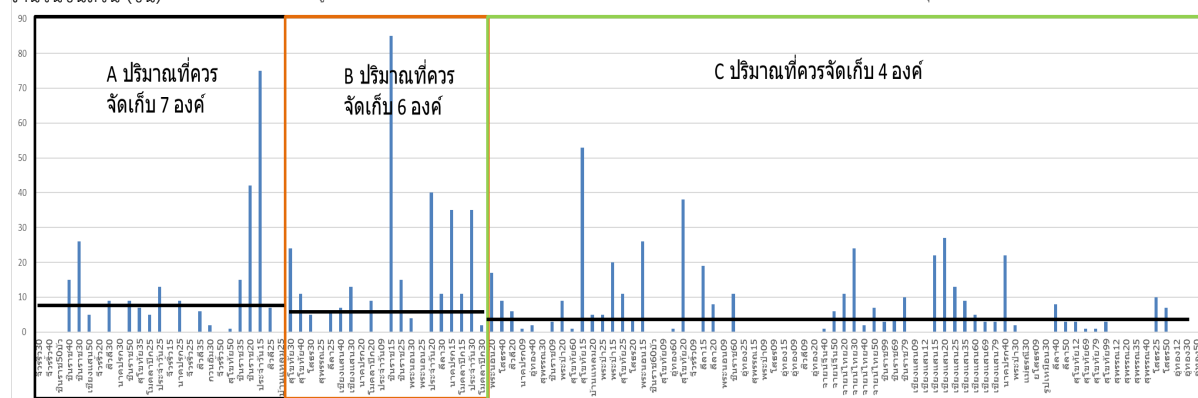
- พระเนื้อทองเหลือง กลุ่ม A ควรจัดเก็บ 5 องค์ กลุ่ม B ควรจัดเก็บ 6 องค์ และกลุ่ม C ควรจัดเก็บ 3 องค์
- พระเนื้ออัลลอยด์ กลุ่ม A ควรจัดเก็บ 7 องค์ กลุ่ม B ควรจัดเก็บ 6 องค์ และกลุ่ม C ควรจัดเก็บ 4 องค์

จำนวนชิ้นส่วน (ชิ้น) กราฟเปรียบเทียบมูลค่าขายเดือนมกราคม-สิงหาคม2563 กับ ปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลืองในคลังสินค้าเดือนกุมภาพันธ์2564



รูปที่ 5 เปรียบเทียบมูลค่าสินค้าพระพุทธรูปกับปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลือง

จำนวนชิ้นส่วน (ชิ้น) กราฟเปรียบเทียบมูลค่าขายเดือนมกราคม-สิงหาคม2563 กับ ปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์ในคลังสินค้าเดือนกุมภาพันธ์2564



รูปที่ 6 เปรียบเทียบมูลค่าขายพระพุทธรูปกับปริมาณชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์

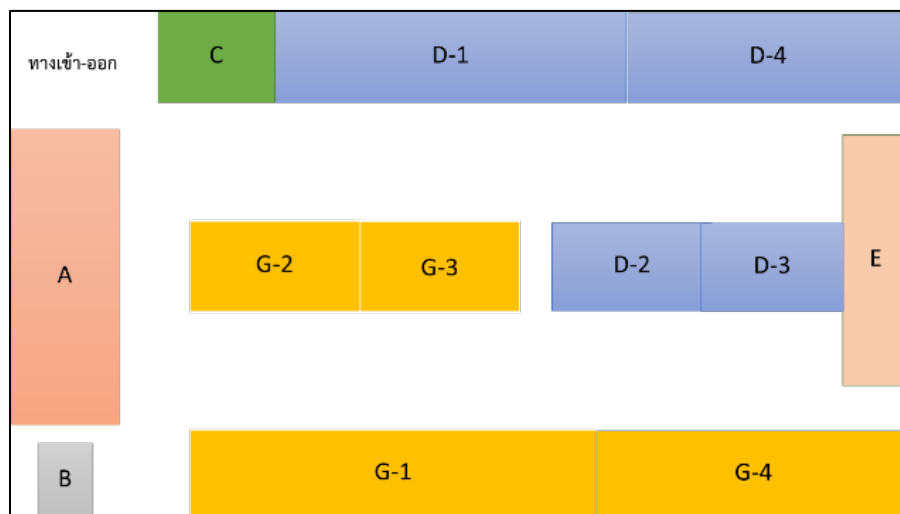
จากการเปรียบเทียบทั้ง 2 แผน มีจำนวนพระพุทธรูป (องค์) ที่ควรจัดเก็บภายในคลังสินค้าโดยการวิเคราะห์ยอดขายและมูลค่าสินค้าพระในแต่ละเดือน และทำการเพิ่มลดปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปให้เท่ากับปริมาณพระพุทธรูปที่ควรจัดเก็บ ผลจากการเพิ่มลดปริมาณชิ้นส่วนพระมีดังนี้

แผนที่ 1 สามารถลดปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปในคลังสินค้าได้ 785 ชิ้น และลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้ 1,304,906 บาท

แผนที่ 2 สามารถลดปริมาณชิ้นส่วนพระพุทธรูปในคลังสินค้าได้ 823 ชิ้น และลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้ 1,408,037 บาท

3.2 ปรับปรุงแผนผังการจัดวางสินค้าคงคลัง

จากการปรับปรุงแผนผังภายในคลังสินค้าด้วยหลักการ ABC Analysis โดยการแบ่งกลุ่มชิ้นส่วนที่ใช้งานบ่อยไว้ทางด้านหน้าคลังสินค้าและการแบ่งหมวดหมู่ตามกลุ่ม A, B, C ซึ่งวิธีการแบ่งโดยวิธีนี้จะทำให้การขนถ่ายชิ้นส่วนพระพุทธรูปมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นและชิ้นส่วนไม่ปะปนกันแยกแยะได้ชัดเจน รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังคลังสินค้าหลังปรับปรุง

- Zone A คือ พื้นที่วางชิ้นส่วนพระรอบประกอบ
- Zone B คือ โต๊ะทำงานของพนักงานคลังสินค้า
- Zone C คือ บริเวณพื้นที่วางกล่องชิ้นส่วนพระพุทธรูปขนาดเล็ก
- Zone D คือ ชั้นเก็บชิ้นส่วนพระเนื้ออัลลอยด์
- Zone E คือ พื้นที่วางเคียร์และชิ้นส่วนพระขนาดใหญ่
- Zone G คือ ชั้นเก็บชิ้นส่วนพระเนื้อทองเหลือง

3.3 ปรับปรุงการตรวจนับชิ้นส่วนภายในคลังสินค้า

จากกระบวนการเช็คปริมาณชิ้นส่วนของทางสำนักงานก่อนปรับปรุงพบว่า ในขั้นตอนการเช็คปริมาณชิ้นส่วนภายในคลังสินค้าจะไม่สามารถทราบปริมาณชิ้นส่วนระหว่างกระบวนการนับได้ และการสั่งผลิตของทางสำนักงานจะเป็นการสั่งผลิตตามคำสั่งซื้อ ทำให้มีการผลิตทุกครั้งที่มีคำสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามาส่งผลให้ชิ้นส่วนเก่าที่อยู่ภายในคลังสินค้าไม่ถูกนำไปใช้งาน และอาจทำให้ข้อมูลของทางสำนักงานไม่ตรงตามความเป็นจริง จึงทำการปรับปรุงใบตรวจสอบสินค้าคงคลัง ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เป็นตารางใบตรวจสอบสินค้าคงคลังหลังปรับปรุง. ตารางมีหลายคอลัมน์สำหรับบันทึกข้อมูลการนับสต็อก, วันที่, และผลการนับ. ตารางถูกใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสินค้าคงคลังหลังจากการปรับปรุงระบบ.

รูปที่ 8 ใบตรวจสอบสินค้าคงคลังหลังปรับปรุง

การปรับปรุงกระบวนการนำเข้าและนำออกชิ้นส่วนพระพุทธรูปในคลังสินค้าโดยการเพิ่มใบตรวจสอบสินค้าคงคลังแบบรายวัน จากเดิมพนักงานที่ไม่มีการเช็คจำนวนชิ้นส่วนระหว่างนำเข้าหรือออก ทำให้ไม่สามารถทราบยอดที่เป็นปัจจุบันได้และการนับชิ้นส่วนจะเป็นการนับทุกสิ้นเดือนโดยใช้ใบตรวจสอบแบบรายเดือน ซึ่งใช้เวลานานในการนับทำให้ไม่สามารถทราบยอดระหว่างกระบวนการเช็คได้ และจากการปรับปรุงใบตรวจสอบสินค้าคงคลัง ของทางสำนักงาน พบว่าในขั้นตอนการเช็คปริมาณชิ้นส่วนภายในคลังสินค้าจะสามารถทราบปริมาณชิ้นส่วนที่เป็นปัจจุบันได้ และการส่งผลิตของทางสำนักงานจะเป็นการส่งผลิตตามยอดปริมาณที่ควรจัดเก็บทำให้สามารถนำชิ้นส่วนเก่าไปใช้งานก่อนทำการผลิตใหม่ และทำให้สามารถตรวจสอบปริมาณชิ้นส่วนที่ถูกต้องของสำนักงานและคลังสินค้าได้เนื่องจากมีการส่งข้อมูลเป็นรายวันแทนรายเดือน

3.4 ปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ดำเนินการกิจกรรม 5ส เพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน สะสางชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้าที่มีเกินความจำเป็นและมีชิ้นส่วนพระพุทธรูปวางที่ขวางทางเดินเข้า-ออก โดยหลักการ ABC Analysis ใช้การลดชิ้นส่วนที่อยู่ในคลังสินค้าการไม่วางชิ้นส่วนพระพุทธรูปขวางทางและทำเส้นบอกทางเดิน

จากการใช้เวลาในการค้นหาชิ้นส่วนพระพุทธรูป เวลาเช็คสต็อกต้องนับชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้าใหม่ทั้งหมด ปัญหาชิ้นส่วนเข้า-ออกคลังสินค้า ภายในหนึ่งวันมีการเข้า-ออก หลายครั้งทำให้ยากต่อการทราบจำนวนชิ้นส่วนพระพุทธรูป และมีชิ้นส่วนพระพุทธรูปที่ขนาดใหญ่วางเกะกะ ไม่เป็นที่เป็นทางตำแหน่งในการวางสินค้า แก้ไขโดยทำเส้นสัญลักษณ์เป็นสีขาวแสดงขอบเขตของการจัดวางชิ้นส่วน จัดทำป้ายแสดงชื่อชิ้นส่วนพระพุทธรูป จัดทำเช็คใบตรวจสอบสินค้าคงคลังที่เช็คแบบรายวันเพื่อแสดงสถานะภายในคลังสินค้า

ปัญหามีฝุ่นตามชั้นวางชิ้นส่วนพระพุทธรูป และบริเวณพื้นแก้ไขโดยมีอุปกรณ์ทำความสะอาดประจำคลังสินค้า และสร้างตารางการดูแลคลังสินค้าโดยมีคนตรวจและมีคนทำ ด้านสุขลักษณะปัญหา ชิ้นส่วนพระพุทธรูปมีฝุ่นขึ้นแก้ไขโดยมีอุปกรณ์ป้องกัน

พนักงานภายในคลังสินค้าไม่ใส่ใจในการดูแลคลังสินค้า แก้ไขโดยมีการจัดการอบรมพนักงานเรื่องสุขอนามัยและความสะอาดในโรงงานและมีการทำ big cleaning day

การใช้กิจกรรม 5ส ในการปรับปรุงการใช้พื้นที่ภายในคลังสินค้าสามารถทำให้พนักงานประจำคลังสินค้าทำงานได้สะดวกมากขึ้น การใช้พื้นที่ที่มีความสะดวกและง่ายต่อการทำงานที่มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการปรับปรุงพื้นที่คลังสินค้าด้วย 5ส

5 ส	ปัญหา	รูปภาพก่อนการปรับปรุง	รูปภาพหลังการปรับปรุง
	ปัญหา : มีชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้ามีความจำเป็น แก้ไข : หลักการ ABC Analysis ใช้การลดชิ้นส่วนที่อยู่ในคลังสินค้า		
สะอาด	ปัญหา : มีชิ้นส่วนพระพุทธรูปวางที่ขวางทางเดินเข้า-ออก แก้ไข : ไม่วางชิ้นส่วนพระพุทธรูปขวางทางและทำเส้นบอกทางเดิน		
สะดวก	ปัญหา : ค่อนข้างใช้เวลาในการค้นหาชิ้นส่วนพระพุทธรูป แก้ไข : มีป้ายแสดงชื่อชิ้นส่วนพระพุทธรูป		

4. สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ทำการเสนอแผนทางเลือกการจัดการสินค้าคงคลังแก่โรงงานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบแผนทางเลือกจัดการสินค้าคงคลัง

หัวข้อ	แผนทางเลือก	
	แผนที่ 1 เปรียบเทียบยอดขาย กับ ปริมาณชิ้นส่วน	แผนที่ 2 เปรียบเทียบมูลค่าสินค้า กับ ปริมาณชิ้นส่วน
ข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ	ปริมาณยอดขาย (องค์)	มูลค่าสินค้า (บาท)
ปริมาณชิ้นส่วนที่ลดลง	785 ชิ้น	823 ชิ้น
จำนวนรวมจากสินค้าคงคลังที่เข้าสู่ระบบ	1,204,906 บาท	1,408,037 บาท
ข้อดี/ข้อเสีย	มีสต็อกสำรองเพียงพอและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้มากกว่า	เพิ่มพื้นที่ในการจัดวางภายในคลังสินค้า และนำเงินเข้ากลับสู่ระบบได้มากกว่า

สรุปการตัดสินใจพบว่าทางโรงงานเลือกแผนที่ 1 การเปรียบเทียบยอดขายกับปริมาณชิ้นส่วนภายในคลังสินค้า เนื่องจากทางโรงงานให้ความสำคัญในการมีสต็อกที่เพียงพอต่อการผลิตและจำหน่ายพระพุทธรูปมากกว่า ลดต้นทุนสินค้าคงคลัง จากการปรับปรุงพบว่าปริมาณชิ้นส่วนภายในคลังสินค้าหลังการปรับปรุงมีจำนวนลดลงเหลือ 1,094 ชิ้น ลดลงไปจำนวน 785 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 42 ของปริมาณชิ้นส่วนทั้งหมดและต้นทุนสินค้าคงคลังลดลง 1,304,906 บาท คิดเป็นร้อยละ 44 ของต้นทุนสินค้าคงคลังเดิม การปรับปรุงแผนผังการจัดวางชิ้นส่วนพระพุทธรูปภายในคลังสินค้า โดยใช้หลักการ ABC Analysis สามารถจัดชิ้นส่วนที่เป็นหมวดหมู่และสามารถแยกแยะได้ชัดเจน มีกระบวนการนับชิ้นส่วนพระพุทธรูปสามารถทราบยอดที่เป็นปัจจุบัน สามารถตรวจสอบยอดปริมาณชิ้นส่วนภายในคลังสินค้าที่ตรงกับทางสำนักงาน และกิจกรรม 5ส สามารถทำให้พนักงานประจำคลังสินค้าทำงานได้สะดวกมากขึ้น การใช้พื้นที่ที่มีความสะดวกและง่ายต่อการทำงานที่มากขึ้น

ในงานวิจัยต่อยอด สามารถนำแผนงานการบริหารสินค้าคงคลังนี้ไปใช้ร่วมกับการวางแผนการผลิต และแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ ให้สอดคล้องกันทั้งกระบวนการ ซึ่งผู้วิจัยพบว่า จากการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา การบริหารสินค้าคงคลังที่สามารถดำเนินการได้จริง ต้องเริ่มจากการวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับแผนการบริหารสินค้าคงคลังก่อน ไมอย่างนั้นจะไม่สามารถจัดการเกี่ยวกับพื้นที่การจัดเก็บที่เพียงพอได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Apirachayasakul, in *Warehouse Management*, 3rd ed., Bangkok: Focus Media and Publishing Company Limited, 2010, pp. 10–19. (in Thai)
- [2] P. Lalitaporn, “Inventory Control,” in *Inventory Management Using the MRP System*, 6th ed., Bangkok: Technology Promotion Association (Thai - Japan), pp. 50–51. (in Thai)

- [3] N. Kraisornsiri and P. Veerapong, “Enhancement of Packing Material Warehouse Management Efficiency, A Case Study: Glass Packaging Manufacturing and Distributing Company,” in *Proceeding of 6th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2021 (RMTC2021)*, Hua Hin Grand Hotel and Plaza, Prachuap Khiri Khan, pp. 686–681, 2021. (in Thai)
- [4] N. Wongpromrat and K. Kanchanasoonthorn, “Increasing Efficiency in Warehouse Management and Product Delivery: A Case Study of AAA (Bangkok) Co., Ltd.,” dissertation, University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok, 2008. (in Thai)
- [5] S. Sukpanyalert, “Analysis of Reserve Inventory Levels for Consumer Goods,” dissertation, University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok, 2006. (in Thai)
- [6] W. Keeian, N. Uthong and R. Kanchana, “Reducing Waste in The Work Process of The Curriculum Department, A Case Study,” in *Proceeding of 1st Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2016 (RMTC2016)*, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Han Tra, Phra Nakhon Si Ayutthaya, pp. 180-674, 2016. (in Thai)
- [7] J. F. Magee and D. M. Boodman, *Production Planning and Inventory Control*. Tata McGraw-Hill Book Company, 1958.

การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ด้วยการ
สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ กรณีศึกษาบริษัท เอส.เจ สกรูไทย จำกัด
Improving the workflow of the packing department to increase productivity with
3D computer simulation modeling, A case study of SJ Screw Thai Co., Ltd.

อดิพร ทิพย์โภชน¹ ปรีดาพร จันทูมา¹ และ คณน สุจारी^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

พุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

Atiporn Thippod¹ Preedaporn Junthuma¹ and Kanon Sujaree^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin Phutthamonthon Nakhon Pathom 73210

E-mail: kanon.suj@rmutr.ac.th*

(Received: March 17, 2023; Revise: June 28, 2023; Accepted: June 28, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานประกอบชิ้นงานของบริษัทเอส.เจ สกรูไทย จำกัด โดยใช้การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ที่เรียกโปรแกรม Flexsim ซึ่งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองต้นแบบที่จำลองสถานการณ์จริง กับโมเดลที่สร้างการจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอีก 3 โมเดล ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์จริง พบว่าเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงาน 1 ชิ้น อยู่ที่ 37.83 วินาที ซึ่งหลังจากเลือกวิธีการที่ดีที่สุดจากการจำลองสถานการณ์ ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่ 3 ที่มีการออกแบบโต๊ะสำหรับพนักงานยืนนั่งประกอบชิ้นงาน และปรับขั้นตอนการประกอบเป็นการประกอบชิ้นงานทีละ 2 ชิ้น ส่งผลให้สามารถลดเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงาน 1 ชิ้น อยู่ที่ 23.37 วินาที พบว่าเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงาน สามารถลดเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงานลงไปได้ถึงร้อยละ 38.22 และมีอัตราการผลิตใน 1 วันเพิ่มขึ้นจากการประกอบได้ 454 ชิ้น เพิ่มขึ้นเป็น 500 ชิ้น

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ผลการทดลอง

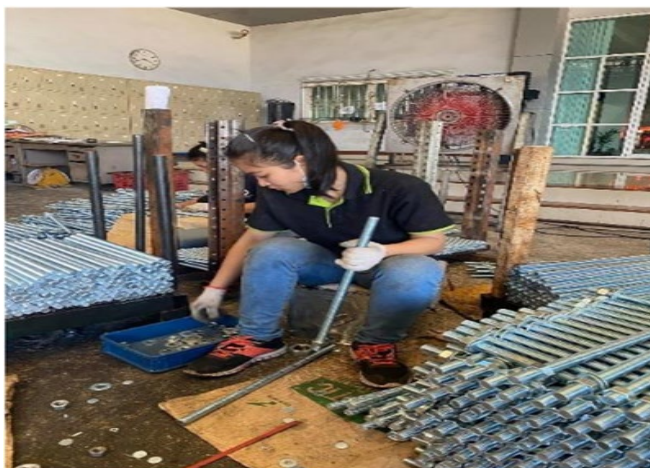
Abstract

This research focuses on increasing the productivity of the assembly staff of SJ Screw Thai Co., Ltd. by computer simulation modeling. The simulation program is called Flexsim manufacturing, which is generated the prototype model compared with three models to increase productivity. The simulation experiment found that the assembly time per piece was 37.83 seconds for the best scenario that showed a desk design for standing-sitting staff members and adjusting the assembly process to assembling two pieces at a time. The result decreased assembly time per piece by 23.37 seconds. Reduced assembly time by 38.22% per daily production rate that increased from 454 to 500 pieces.

Keywords: Increasing productivity, Computer simulation, Flexsim manufacturing, simulation experiment

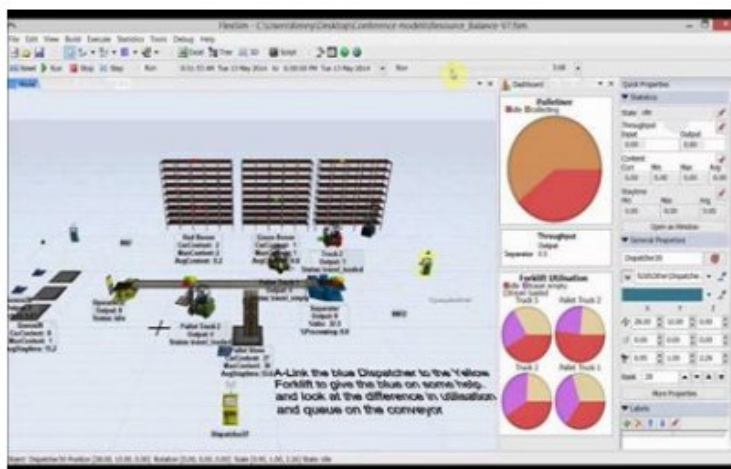
1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาบริษัทเอส.เจ. สกรูไทย จำกัด พบปัญหาสำคัญคือการจัดเรียงระบบการประกอบชิ้นงานไม่เป็นระบบ ทำให้เกิดความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน ทำให้ต้องใช้คนงานสำหรับการประกอบชิ้นงานมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ในการผลิตงานตามแบบที่ลูกค้าสั่ง ซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของลูกค้าแต่ละรายมีขั้นตอนการผลิต การจัดเรียงของระบบการทำงานที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการจัดระบบการทำงานเป็นอย่างดี โดยการลดความสูญเสียเปล่าหรือขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและงานเสร็จตามเวลาที่กำหนด งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์ของบริษัท เอส.เจ. สกรูไทย จำกัด เนื่องจากการทำงานเกิดปัญหาเกิดคอขวด (Bottleneck) มีงานค้างของแผนกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองการทำงาน โดยวัตถุประสงค์คือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์โดยการลดระยะเวลาในการประกอบชิ้นงาน ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการจำลองระบบงานมากขึ้น จึงมีการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งในการวิจัยการดำเนินงานเป็นการศึกษาปัญหาของระบบการทำงานด้วยแบบจำลองในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [1] หลักการในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือ การสร้างแนวทางในการตัดสินใจให้ระบบการทำงาน เพื่อปรับปรุงระบบการทำงานเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น [2] ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีนำมาซึ่งการแข่งขันโดยใช้ศักยภาพที่หลากหลายและเจาะลึกในรายละเอียดยิ่งขึ้น สำหรับการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งมีมูลค่าสูงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจลงทุนหรือการออกแบบการทำงานของสายการผลิตสามารถส่งผลกระทบต่อธุรกิจโดยตรง การใช้งานโปรแกรมจำลองกลายเป็นทางเลือกใหม่ที่ เกิดจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสร้างความคุ้มค่าและความน่าเชื่อถือของการตัดสินใจลงทุนและปรับเปลี่ยนสายการผลิตได้ด้วยข้อมูลที่มีความใกล้เคียงการใช้งานจริง โปรแกรมจำลอง (Flexsim manufacturing) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองการทำงานของระบบต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบ วางแผนการทำงาน รวมถึงคาดการณ์กระบวนการและผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ด้วยการวิเคราะห์และทดลองผ่านการทำงานในกระบวนการต่าง ๆ จากกระบวนการจำลองทำให้ลดเวลา ลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการจำลองจะทำให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงหรือแสดงผลของการทำงานตามค่าที่ใส่ไว้ในซอฟต์แวร์โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องหรือดำเนินการใด ๆ ที่ต้องลงทุนด้านเวลาและเงินทุนจำนวนมากซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่าง ๆ เช่น ความเสียหายของระบบ ความล่าช้าในการทำงาน โดยโปรแกรมจำลองการทำงานที่เหมาะสม (Optimize) ของระบบงานเป็นต้น[3] ปัจจุบันโปรแกรมจำลองถูกใช้เพื่อรับข้อมูลที่เกิดขึ้นในทันทีสำหรับการคาดการณ์และการดำเนินการที่ทันทั่วทั้งที่ภายใต้แนวคิด Digital Twin ที่ผู้ให้บริการชั้นนำเริ่มให้ความสนใจและพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบการปฏิบัติงานจริง ถือเป็นโปรแกรมการแสดงผลแบบ 3 มิติ แบบ Real Time สามารถจำลองระบบได้ครอบคลุมสายห่วงโซ่อุปทานแบบจำลองสถานการณ์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสรรงานพนักงาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและใช้ประโยชน์จากพนักงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [4] และลดต้นทุนด้านแรงงานที่ไม่จำเป็น [5] และเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของทางเลือกในการแก้ไขปัญหา [6] จากการศึกษาโรงงานตัวอย่าง บริษัท เอส.เจ. สกรูไทย จำกัด มีการดำเนินธุรกิจเป็นบริษัทรับจ้างผลิตและจำหน่ายนอต สกรู งานชุบ สกรูเกลียวปล่อย เกลียวมิล เกลียวหุน เกลียวชิพบอร์ด เกลียวสูง-ต่ำ เกลียวสามเหลี่ยม สกรูผ่าปลาย สัตต หมุดย้ำ สลัก แหวน ริเวท ปีน คลิป ให้คำปรึกษาข้อมูลด้านเทคนิคต่าง ๆ ด้านงานก่อสร้าง ไฟฟ้า ประปา โทรศัพท์ รถยนต์ รถเกียร์ข้าว รถไถนา ลิฟต์ โตรคมนาคม ฯลฯ และการผลิตชิ้นงานตามแบบที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 1 การประกอบชิ้นงานของ บริษัท เอส.เจ สกรูไทย

ซึ่งการแก้ปัญหาจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ออกมาวิเคราะห์เพื่อหลีกเลี่ยงการหยุดสายการผลิต และเพื่อให้เกิดรูปแบบการแก้ปัญหาหลากหลายแบบ และสามารถจัดสมดุลการผลิตได้ [7] สำหรับงานวิจัยนี้เลือกโปรแกรมที่มีชื่อว่า Flexsim เพราะมีรูปแบบการแสดงผลที่ชัดเจน เข้าใจง่ายต่อการนำเสนอเพื่อปรับปรุงแผนกบรรจุภัณฑ์ โปรแกรม Flexsim เป็นซอฟต์แวร์จำลอง 3D ที่สามารถจำลองและแสดงภาพระบบในการผลิตการจัดการคลังสินค้าระบบโลจิสติกส์ [8] การวางแผนผังโรงงานการวิเคราะห์สาเหตุของกระบวนการไหล แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการแสดงผลโปรแกรม Flexsim

2. ข้อมูลกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยเรื่องนี้ เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการผลิต Stud เกลียวตลอด (Stud-T3) ของโรงงาน ซึ่งอยู่ในแผนกบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดสัดส่วนของเวลาหรือของเสียที่เกิดจากพนักงาน ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็นดังนี้

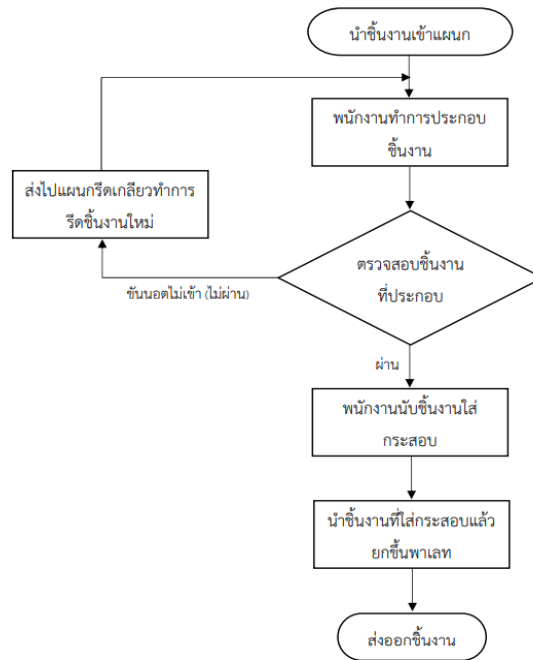
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์ในบริษัท เอส.เจ สกรูไทย จำกัด

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนกบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บข้อมูล สร้างแบบจำลองต้นแบบ และแบบจำลองปรับปรุงแก้ไข

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูลทำการทดลองแก้ไขสถานการณ์

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 ผังกระบวนการของบริษัท เอส.เจ. สกรูไทย จำกัด

รายละเอียดของขั้นตอนการนำชิ้นงานเข้าแผนก ทำการจับเวลาที่รถยนต์ยกชิ้นงานจากแผนกรีดเกลียวมาวางที่แผนกบรรจุภัณฑ์เพื่อทำการประกอบ โดยเวลานี้ใช้กับรถยนต์ยกเลทเหล็กวางชิ้นงานเท่านั้น แบ่งเป็น เวลา Load Time = 57.12 วินาที เวลาวิ่งจากแผนกรีดเกลียวไปจนถึงแผนกบรรจุภัณฑ์ = 44.25 วินาที และเวลา Unload Time = 23.99 วินาที รวมเวลาทั้งหมด 125.36 วินาที ขั้นตอนพนักงานประกอบชิ้นงาน ได้ทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่าง ตามทฤษฎีมาเน่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการประกอบชิ้นงาน 1 เลท จำนวน 500 ชิ้น (n คือ ขนาดตัวอย่าง, N คือ จำนวนชิ้นงาน, e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้)

$$n = N / 1 + Ne^2$$

$$n = 500 / 1 + 500(0.05)^2 \quad (1)$$

$$n = 222$$

ทำการหาค่าเฉลี่ยของการประกอบชิ้นงาน จากขนาดตัวอย่าง 222 ตัวอย่าง จากชิ้นงานจำนวน 500 ชิ้น (X คือ เวลาในการประกอบชิ้นงานต่อหนึ่งชิ้นงาน,

$\bar{X}$ คือ เวลาเฉลี่ยในการประกอบชิ้นงาน, n คือ จำนวนตัวอย่าง) จากการเก็บข้อมูล

$$\bar{X} = 48.750631 \text{ วินาที}$$

ดังนั้นเวลาการประกอบชิ้นงานทั้งหมด

$$= 48.750631 \times 500$$

$$= 24,375.32 \text{ วินาที}$$

ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานที่ประกอบทำการจับเวลาในการตรวจสอบชิ้นงานจำนวน 500 ชิ้น โดยการตรวจสอบชิ้นงาน 1 ชิ้น ใช้เวลา 0.36018 วินาที รวมจับเวลาการตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 500 ชิ้น เป็นเวลาทั้งหมด 180.09 วินาทีและเวลาตรวจสอบชิ้นงานที่นำรีดเกลียวใหม่มา 46 ชิ้น เป็นเวลา 16.57 วินาที

ขั้นตอนพนักงานนับชิ้นงานใส่กระสอบได้ทำการจับเวลาในการนับชิ้นงานใส่กระสอบ 1 กระสอบต่อชิ้นงาน 20 ชิ้น โดยจะได้ขนาด ตัวอย่าง 25 ตัวอย่าง เวลาในการนับชิ้นงานใส่กระสอบทั้งหมด

$$= 61.2596 \times 25$$

$$= 1,531.49 \text{ วินาที}$$

ขั้นตอนการนำชิ้นงานที่ใส่กระสอบแล้วยกขึ้นพาเลททำจับเวลาในการยกกระสอบ 1 กระสอบขึ้นพาเลท โดยมีกระสอบจำนวนทั้งหมด 25 กระสอบ เวลาในการยกกระสอบขึ้นพาเลททั้งหมด

$$= 12.5988 \times 25$$

$$= 314.97 \text{ วินาที}$$

ขั้นตอนการจับเวลาที่รถยกทำการยกพาเลทขึ้นรถที่ทำการนำส่งสินค้า โดยเวลานี้ใช้กับรถยกที่ยกพาเลทขึ้นงานเท่านั้น แบ่งเป็น เวลา Load Time = 91.64 วินาที เวลาวิ่งจากแผนกบรรจุภัณฑ์ไปจนถึงรถส่งออกสินค้า = 34.15 วินาที และเวลา Unload Time = 75.86 วินาที รวมเวลาทั้งหมด 201.95 วินาที

ขั้นตอนนำชิ้นงานเสียกลับไปรีดใหม่ทำการจับเวลางานเสียที่ต้องนำไปรีดเกลียวใหม่ พนักงานใช้รถเข็น เข็นชิ้นงานเสียที่อยู่ใกล้จากแผนกบรรจุภัณฑ์ไปแผนกรีดเกลียว เพื่อทำการรีดเกลียวชิ้นงานใหม่ โดยแบ่งเป็น เวลา Load Time = 10.23 วินาที เวลาวิ่งจากแผนกรีดเกลียวไปจนถึงแผนกบรรจุภัณฑ์ = 105.36 วินาที และเวลา Unload Time = 10.19 วินาที รวมเวลาทั้งหมด 125.78 วินาที

ขั้นตอนการรีดเกลียวชิ้นงานใหม่นับจำนวนของเสียใน 4 เลท ที่ได้ทำการประกอบชิ้นงานทั้งหมด

เลทที่ 1 มีของเสียจำนวน 50 ชิ้น

เลทที่ 2 มีของเสียจำนวน 48 ชิ้น

เลทที่ 3 มีของเสียจำนวน 42 ชิ้น

เลทที่ 4 มีของเสียจำนวน 45 ชิ้น

หาค่าเฉลี่ยของของเสียจากของเสียทั้ง 4 เลท จะได้ 46 ชิ้น ทำการจับเวลาในการรีดเกลียวงานเสียใหม่ เวลาในการรีดเกลียวใหม่ทั้งหมด

$$= 71.33652174 \times 46$$

$$= 3,281.48 \text{ วินาที}$$

ขั้นตอนการนำชิ้นงานกลับมาประกอบทำการจับเวลาที่พนักงานนำชิ้นงานที่กลับไปแก้ไขกลับมาทำการประกอบชิ้นงานใหม่พนักงานใช้รถเข็น เข็นชิ้นงานที่รีดเกลียวใหม่แล้วจากแผนกรีดเกลียวไปแผนกบรรจุภัณฑ์โดยแบ่งเป็น เวลา Load Time = 9.46 วินาที เวลาวิ่งจากแผนกรีดเกลียวไปจนถึงแผนกบรรจุภัณฑ์ = 108.85 วินาที และเวลา Unload Time = 7.38 วินาที

รวมเวลาทั้งหมด 125.69 วินาที

ขั้นตอนการประกอบใหม่ทำการจับเวลาในการประกอบชิ้นงานที่นำกลับมาจากแผนกรีดเกลียวใหม่อีกรอบ จำนวน 46 ชิ้น เวลาในการประกอบทั้งหมด

$$= 48.750631 \times 46$$

$$= 2,242.529026 \text{ วินาที}$$

ขั้นตอนการจับเวลาในการตรวจสอบชิ้นงานที่นำกลับมาจากแผนกรีดเกลียวใหม่อีกรอบ จำนวน 46 ชิ้นเวลาในการตรวจสอบทั้งหมด

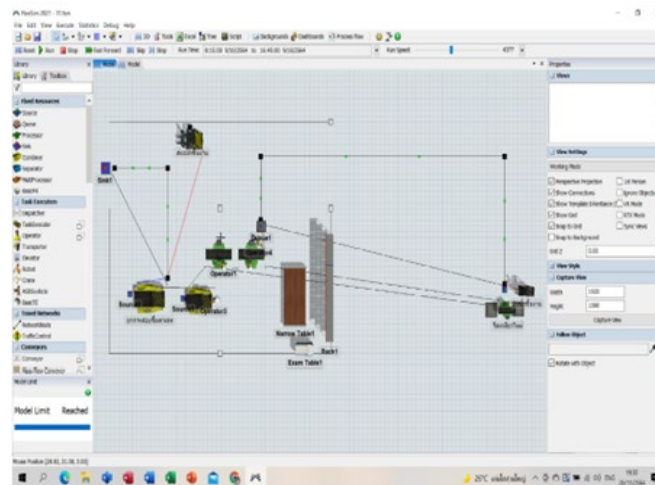
$$= 0.36 \times 46$$

$$= 16.57 \text{ วินาที}$$

รวมเวลาทั้งหมดในกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์สำหรับจำนวนชิ้นงานทั้งหมด 500 ชิ้น ประมาณ 32,503.10 วินาที หรือ 9 ชั่วโมง 1 นาที 43.1 วินาที

3. การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วย Flexsim

การเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการประกอบชิ้นงาน เริ่มจากการประชุมกับโรงงาน จากนั้นได้ทำการวัดพื้นที่แล้วนำไปวาดในโปรแกรม AutoCAD 2018 แล้วได้สอบถามตัวอย่างสินค้าที่ผลิตให้กับลูกค้า ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ Stud-T3 (Studเกลียวตลอด) มีแหวน 2 ตัว และนอต 2 ตัว จำนวน 500 ชิ้นงานแบบจำลองสถานณนี้สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Flexsim 2021 เวอร์ชัน 21.2.3 และตั้งค่าคุณสมบัติในแบบจำลองตามสภาพแวดล้อมการทำงานจริง ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแสดงในหัวข้อ 3.6 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ซีพียู Intel Core i5-10300H แรม 16 GB DDR4 การ์ดจอ NVIDIA GeForce GTX1650TI 4 GB GDDR6 และใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 10



รูปที่ 4 โมเดลต้นแบบของแผนกบรรจุภัณฑ์

4. แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาของโรงงาน ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ ที่ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงหรือแก้ไข คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงานที่ทำการประกอบประจำแผนกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นจากพนักงานประกอบ คือ พนักงานในแผนกบรรจุภัณฑ์มีแต่พนักงานผู้หญิง ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานน้อย และตอนที่ต้องนั่งประกอบชิ้นงาน พนักงานทุกคนต้องนั่งกับพื้นหรือไม่ก็ต้องหาถังมารองนั่งแล้วก็นั่งประกอบชิ้นงาน ทำให้เกิดความเหนื่อยล้า และพนักงานประกอบชิ้นงานขาดความชำนาญ ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้งานเกิดความล่าช้าจึงตั้งสมมติฐานทดลองโดยการออกแบบโต๊ะสำหรับการประกอบชิ้นงานให้กับพนักงานในแผนกบรรจุภัณฑ์ โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองด้วยกัน แบบจำลองสถานการณ์จริงเพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถนำมาเป็นตัวแทนระบบจริงได้ จะทำการนำข้อมูลจริงที่เก็บจากระบบจริงมาทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลแล้วนำค่าที่ได้ใส่ลงในแบบจำลองสถานการณ์

4.1 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1

ออกแบบโต๊ะประกอบชิ้นงานให้พอดีกับพนักงานที่สามารถนั่งเก้าอนั่งประกอบ และทำการประกอบชิ้นงานตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดเนื่องจากในปัจจุบัน แผนกบรรจุภัณฑ์ได้มีวิธีการนั่งประกอบชิ้นงานที่ทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าในระหว่างการทำงาน เพราะพนักงานต้องนั่งก้มหลังและก้มคอในการประกอบชิ้นงาน จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าเป็นอย่างมาก ทำให้คิดหาแนวทางแก้ไขโดยจะทำการออกแบบโต๊ะประกอบชิ้นงานให้มีขนาด กว้าง 1,000 mm ยาว 1,200 mm และสูง 750 mm พนักงานมีความสูงเฉลี่ย 1,657.5 mm ดังภาคผนวก จ กำหนดให้มีความกว้าง 350-450 mm ความยาว 1,000-1,300 mm ความสูง 940-1,160 mm ตามทฤษฎีที่ 2.7.5 สามารถให้พนักงานนั่งทำงานได้ 2 คน สามารถวางชิ้นงานประกอบได้ขนาดใหญ่ที่สุด 30 mm โต๊ะประกอบจะมีช่องใส่ขวดและแหวนขนาดความกว้าง 300 mm ความยาว 600 mm อย่างละ 2 ช่อง และมีช่องสำหรับใส่เครื่องมือช่วยในการประกอบขนาดความกว้าง 100 mm ความยาว 150 mm อยู่ 2 ช่อง เพื่อให้พนักงานได้มีท่าทางการนั่งประกอบชิ้นงาน โดยที่โต๊ะไม่ต้องนั่งก้มหลังและก้มคอยู่ตลอดเวลา ทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าในระหว่างการทำงานลดลง

4.2 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 2

ออกแบบโต๊ะประกอบชิ้นงานที่สามารถให้พนักงานยืนประกอบชิ้นงานหรือนั่งเก้าอี้ประกอบชิ้นงานได้พอดีและทำการประกอบชิ้นงานตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดเนื่องจากในปัจจุบัน แผนกบรรจุภัณฑ์ได้มีวิธีการนั่งประกอบชิ้นงานที่ทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าในระหว่างการทำงาน เพราะพนักงานต้องนั่งก้มหลังและก้มคอในการประกอบชิ้นงาน จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าเป็นอย่างมาก ทำให้คิดหาแนวทางแก้ไขโดยจะทำการออกแบบโต๊ะประกอบชิ้นงานให้มีขนาด กว้าง 1,000 mm ยาว 1,200 mm และสูง 1,160 mm พนักงานมีความสูงเฉลี่ย 1,657.5 mm กำหนดให้มีความกว้าง 350-450 mm ความยาว 1,000-1,300 mm ความสูง 940-1,160 mm สามารถให้พนักงานนั่งทำงานได้ 2 คน สามารถวางชิ้นงานประกอบได้ขนาดใหญ่ที่สุด 30 mm โต๊ะประกอบจะมีช่องใส่ขวดและแหวนขนาดความกว้าง 300 mm ความยาว 600 mm อย่างละ 2 ช่อง และมีช่องสำหรับใส่เครื่องมือช่วยในการประกอบขนาดความกว้าง 100 mm ความยาว 150 mm อยู่ 2 ช่องเพื่อให้พนักงานสามารถนั่งหรือยืนประกอบชิ้นงานได้ตามความสะดวกสบายของแต่ละคน ทำให้พนักงานมีอิสระในการขยับร่างกาย ไม่รู้สึกอึดอัดกับการนั่งทำงานอย่างเดียวยาวตลอดเวลา และการยืนทำงานอาจช่วยเผาผลาญแคลอรี และช่วยทำให้มีสมาธิมากขึ้นด้วย

4.3 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3

ออกแบบโต๊ะประกอบชิ้นงานที่สามารถให้พนักงานยืนประกอบชิ้นงานหรือนั่งเก้าอี้ประกอบชิ้นงานได้พอดีและทำการประกอบชิ้นงานที่หลายๆชิ้นเนื่องด้วยแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 นี้จะทำการออกแบบโต๊ะแบบเดียวกับแบบจำลองแก้ไข

สถานการณ์ที่ 2 แต่จะทำการปรับเปลี่ยนวิธีการประกอบชิ้นงานแทน เนื่องจากในปัจจุบันพนักงานในแผนกบรรจุภัณฑ์จะทำการประกอบชิ้นงานที่ละ 1 ชิ้น ทำให้บางครั้งที่มีงานเข้ามาเยอะๆ ก็จะทำให้การประกอบชิ้นงานไม่ทันกำหนด จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คิดหาแนวทางการแก้ไขโดยจะให้พนักงานทำการประกอบชิ้นงานทีละหลาย ๆ ชิ้น ซึ่งในการวิจัยนี้จะให้พนักงานทำการประกอบที่ละ 2 ชิ้น เพื่อลดเวลาในการประกอบชิ้นงาน

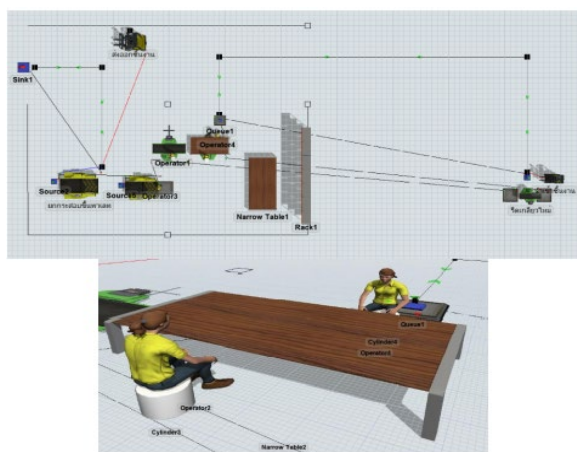
5. ผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการทำงานพบว่าสามารถลดเวลาการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ เช่น สามารถลดเวลากระบวนการผลิตมะพร้าว น้ำหอมได้ 39.58% [9] สามารถลดแรงงานของกระบวนการผลิตสับปะรดบรรจุถุง 6 คน [10] และลดต้นทุนลงได้ 22.22% สำหรับโรงคั่วทุเรียนในช่วงสถานการณ์โควิด 19 [11] โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของแต่ละกระบวนการมาวิเคราะห์หารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Input analyser โดยการเก็บข้อมูล 50 ค่า [12-14] ตามหลักการ Kolmogorov-Smirnov Test [15] แสดงได้ดังนี้

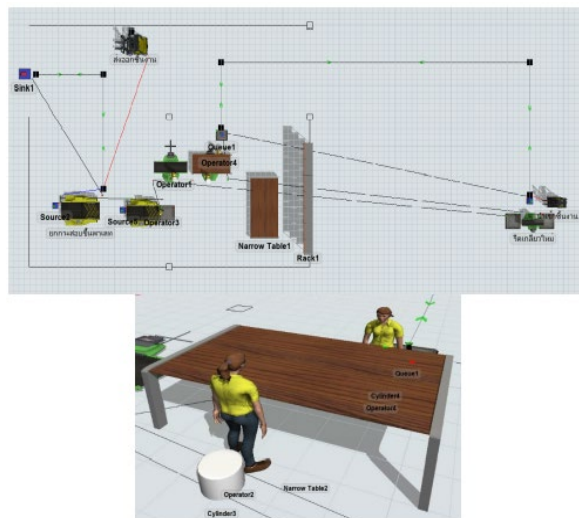
ตารางที่ 1 การแจกแจงข้อมูลของกระบวนการบรรจุภัณฑ์

กระบวนการ	รูปแบบการแจกแจง
นำชิ้นงานเข้าแผนก	0.001 + WEIB(0.918, 1.01)
การนับชิ้นงาน	LOGN(2.29, 1.19)
การยกกระสอบ	GAMM(1.6, 2.25)
การรีดเกลียวใหม่	ERLA(0.658, 6)

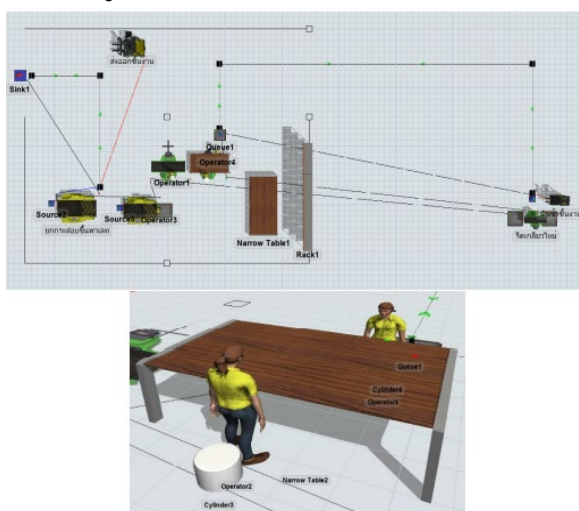
แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 ถึง แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองสถานการณ์จริงแสดงดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1



รูปที่ 6 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 2



รูปที่ 7 แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3

ซึ่งแต่ละแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์มีส่วนของการนั่งทำงานและยืนทำงาน และขนาดความสูงของโต๊ะทำงานที่ไม่เท่ากัน และได้สรุปเวลาการประกอบชิ้นงานของแต่ละแบบจำลองสถานการณ์และอัตราการผลิตต่อวัน แสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เวลาประกอบชิ้นงานเทียบกับแบบจำลอง

เวลาประกอบชิ้นงาน	
สถานการณ์จริง	48.75
แบบจำลองสถานการณ์จริง	48.28
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 1	40.12
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 2	42.03
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 3	23.37

ตารางที่ 3 อัตราการผลิตต่อวัน

	อัตราการผลิตต่อวัน
สถานการณ์จริง	454
แบบจำลองสถานการณ์จริง	454
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 1	454
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 2	454
แบบจำลองสถานการณ์ที่ 3	500

6. สรุป

โดยผลการวิเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์จริง พบว่าในกระบวนการประกอบชิ้นงานของแผนกบรรจุภัณฑ์ ใช้เวลาในการประกอบชิ้นงาน 37.83 วินาที อัตราการผลิตใน 1 วัน สามารถทำการประกอบชิ้นงานได้ 500 ชิ้น พบว่ามีงานเสีย 46 ชิ้น นำงานเสียไปรีดเกลียวใหม่ได้จำนวน 13 ชิ้น ดังนั้นงานที่ทำการประกอบเสร็จใน 1 วัน มีจำนวน 454 ชิ้น โดยหลังจากการสร้างแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ทั้ง 3 สถานการณ์ พบว่าเวลาในกระบวนการเป็นดังนี้ แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 พบว่าในกระบวนการผลิตของแผนกบรรจุภัณฑ์ ใช้เวลาในการประกอบชิ้นงาน 40.12 วินาที อัตราการผลิตใน 1 วัน สามารถทำการประกอบชิ้นงานได้ 500 ชิ้น พบว่ามีงานเสีย 46 ชิ้น นำงานเสียไปรีดเกลียวใหม่ได้จำนวน 46 ชิ้น ดังนั้นงานที่ทำการประกอบเสร็จใน 1 วัน มีจำนวน 454 ชิ้น แนวทางแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 สามารถเป็นแนวทางในการลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ แต่เมื่อพนักงานต้องนั่งประกอบชิ้นงานเป็นเวลานาน ๆ ไป อาจจะทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าในระหว่างการทำงานได้เป็นอย่างมาก แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 2 พบว่าในกระบวนการผลิตของแผนกบรรจุภัณฑ์ ใช้เวลาในการประกอบชิ้นงาน 42.03 วินาที อัตราการผลิตใน 1 วัน สามารถทำการประกอบชิ้นงานได้ 500 ชิ้น พบว่ามีงานเสีย 46 ชิ้น นำงานเสียไปรีดเกลียวใหม่ได้จำนวน 41 ชิ้น ดังนั้นงานที่ทำการประกอบเสร็จใน 1 วัน มีจำนวน 454 ชิ้น แนวทางแก้ไขสถานการณ์ที่ 2 สามารถเป็นแนวทางในการลดเวลาในกระบวนการผลิตได้เช่นเดียวกับแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 แต่ว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 จะสามารถช่วยให้พนักงานมีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1 เพราะว่าการออกแบบโต๊ะทำให้พนักงานสามารถยืน-นั่งทำงานก็ได้ เพราะโต๊ะที่สามารถยืน-นั่งทำงานได้จะทำให้พนักงานรู้สึกสบายร่างกายมากขึ้น และรู้สึกอึดอัดน้อยลง แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 พบว่าในกระบวนการผลิตของแผนกบรรจุภัณฑ์ ใช้เวลาในการประกอบชิ้นงาน 23.37 วินาที อัตราการผลิตใน 1 วัน สามารถทำการประกอบชิ้นงานได้ 546 ชิ้น พบว่ามีงานเสีย 46 ชิ้น นำงานเสียไปรีดเกลียวใหม่ได้จำนวน 46 ชิ้น และนำกลับมาทำการประกอบชิ้นงานได้ทั้งหมด 46 ชิ้น ดังนั้นงานที่ทำการประกอบเสร็จใน 1 วัน มีจำนวน 500 ชิ้น แนวทางแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 สามารถเป็นแนวทางในการลดเวลาในกระบวนการผลิตได้เช่นเดียวกับแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 และ 2 แต่แบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 นั้นจะลดเวลาในกระบวนการผลิตได้มากที่สุด เนื่องจากเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการประกอบชิ้นงานเป็นการประกอบทีละ 2 ชิ้น และโต๊ะประกอบชิ้นงานยังเป็นโต๊ะที่สามารถยืน-นั่งทำงานได้ จากแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ทั้งหมด พบว่าหากเลือกแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 โดยการสร้างโต๊ะประกอบชิ้นงานที่สามารถยืน-นั่งทำงานได้ และทำการประกอบชิ้นงานทีละ 2 ชิ้น จะเป็นแบบจำลองแก้ไขสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถลดเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงานลงได้จาก 37.83 วินาที เหลือเพียง 23.37 วินาที จะเห็นได้ว่าเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงาน สามารถลดเวลาในส่วนของการประกอบชิ้นงานลงไปได้ถึงร้อยละ 38.22 และมีอัตราการผลิตใน 1 วันที่เพิ่มขึ้นจากทำการประกอบได้ 454 ชิ้น เพิ่มขึ้นเป็น 500 ชิ้น ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา คือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาในการประกอบชิ้นงานอาจคาด

เคลื่อนไปบ้างเนื่องจากระยะเวลาที่มีความหลากหลายไม่คงที่และแปรผันได้ ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย ในอนาคตควรสร้างได้ประกอบชิ้นงานที่สามารถปรับระดับได้ เพื่อความสะดวกสบาย ควรปรับปรุงแบบจำลอง (Model) ให้ตรงกับความต้องการ เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Auepher, "Modeling," *Student e-Portfolio*, 12-Mar-2012. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/annzii2560/bth-thi-5-baeb-caxng-khxng-rabb-ngan>. (in Thai)
- [2] P. Wanthong, "Process Improvement and Analysis for Jewelry Product by Computer Simulation," Master dissertation, Ind. Eng., Thammasat Univ., 2016.
- [3] T. Sunarak, "Production Line Efficiency Improvement: A Case of Stator D Frame Model Production Line," In *Proceeding of 21st IE Network Conference 2012*, Sripatum University, Thailand, pp. 649–654, 2012. (in Thai)
- [4] Klos, S. and Trebuna, P. "Using Computer Simulation Method to Improve Throughput of Production Systems by Buffers and Workers Allocation". *The Journal of Production Engineering Committee of Polish Academy of Sciences and Polish Association for Production Management*, Vol. 6(4), 2015, pp. 60-69.
- [5] W. Saengkularb and W. Tharmmaphornphilas. "Simulation Model for Operator Allocation In Head Gimbal Assembly Line" *Engineering Journal Chiang Mai University*, Vol. 26(1), 2019, pp. 207-226. (in Thai)
- [6] J. Panasri, S. Sresodapol, W. koiloy and N. Samattapapong. "Application of Simulation Program to Increase Efficiency Melamine Dish Production Process". *The journal of manufacturing and management technology*, Vol. 1, 2022, pp. 30-38. (in Thai)
- [7] A.Hafezalkotob, H.Ketabianand H.Rahimi, "Balancing the production line by the simulation and statistics techniques: A case study", *Engineering and Technology*, Vol.7, No.4, 2014, pp. 754-763.
- [8] P. Kotchathun, W. Ui-tabpo and K. Sujaree, "The Three Dimensions of The Computer Simulation Model to Decrease the Waiting Time of The Patients on The Rush Hours: A Case Study of The Medical Records Department at Sam Phran Hospital," In *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, pp. 784–792, 2020. (in Thai)

- [9] P. Saenjit, A. Muangwai and N. Amdee, “Process improvement and analysis of the aromatic coconut by computer simulation”. *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, Vol 4(2), 2022, pp. 254-265. (in Thai)
- [10] S.Aeimsum-ang and A. Boonmee, “Simulation for the Pineapple in Retort Pouches Process Improvement: A Case Study”. *UBU Engineering Journal*, Vol. 13(1), 2020, pp. 114-126. (In thai)
- [11] S. Kanchanasuwan. “Finding the Right Number of Employees in Durian Packing Houseduring the COVID-19 Pandemic by Simulation Technique” *Journal of yala rajabhat university*, Vol. 17(2), 2022 pp. 44-53. (in thai)
- [12] K. Sujaree, “Dental Mobile Unit Using Computer Simulation,” *The 2017 Technology Innovation Management and Engineering Science international conference (TIMES-iCON2017)*, Nakhon Pathom Thailand, November, 20th-21st, pp. 68–72, 2017.
- [13] K. Sujaree and S. Watcharanad, “Mobile Dental Unit Scenario Using Computer Simulation,” In *Proceeding of 1st RMUTP Engineering Conference*, Bangkok, Thailand, pp. 136–143, 2017. (in Thai)
- [14] T. Yamane, *Statistics: An introductory analysis*. New York: Harper and Row, 1973.
- [15] Y. Dodge, *Kolmogorov–Smirnov Test*. In: *The Concise Encyclopedia of Statistics*. Springer, New York, 2008

อิทธิพลของตายเคลียร์แรนซ์และความเร็วพันทที่มีต่อคุณภาพ

ขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลงก์กิ้ง

Influence of Die Clearance and Punch Velocity on The Quality
of The Rubber Cutting Edge in The Blanking Processณัฐชานันท์ อังสุเศรษฐี¹ ธนพล กอสุราษฎร์² และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ^{3*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000

²บริษัท ไทยรับเทค จำกัด เขตบางบอน กรุงเทพมหานคร 10150³ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

Natchanun Angsuseranee¹ Thanapol Korsurat² and Bhadpiroon Watcharasresomroeng^{3*}¹Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 13000²Thai Rubb Tech Co., Ltd., Bangbon, Bangkok, 10150³Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000

Email: bhadpiroon.s@rmutsb.ac.th*

(Received: January 8, 2023; Revised: March 10, 2023; Accepted: March 15, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตายเคลียร์แรนซ์และความเร็วพันทที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลงก์กิ้ง ชิ้นงานที่ศึกษาเป็นข้อต่อสายน้ำเกลือทำจากวัสดุยางพอลิไอโซพรีนโดยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งมีจำนวน 144 คาวิตี แต่ละคาวิตีถูกเชื่อมโยงด้วยครีบซึ่งมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร การทดลองใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นตามหลักการแม่พิมพ์โลหะโดยมีค่าตายเคลียร์แรนซ์เท่ากับ 0.01 และ 0.05 มิลลิเมตร ตัวแปรกระบวนการที่ศึกษาได้แก่ความเร็วพันทซึ่งกำหนดเท่ากับ 314 และ 1257 มิลลิเมตร/วินาที ผลการทดลองพบว่า หลักการทำงานของแม่พิมพ์แบลงก์กิ้งสามารถประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ตัดยางพอลิไอโซพรีนได้ โดยขอบตัดชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพของสถานประกอบการ คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานสำเร็จขึ้นอยู่กับขนาดตายเคลียร์แรนซ์และความเร็วพันทขณะทำการตัดชิ้นงาน การเพิ่มคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีขนาดตายเคลียร์แรนซ์น้อยและการเพิ่มความเร็วพันทในการตัดชิ้นงาน

คำสำคัญ: แบลงก์กิ้ง ตายเคลียร์แรนซ์ ความเร็วพันท ขอบตัดชิ้นงาน ยาง

Abstract

The objective of this research is to study the influence of die clearance and punch velocity on the quality of the rubber cutting edge in the blanking process. The specimens studied were saline hose joints made of polyisoprene rubber material by compression molding process with 144 cavities. Each cavity was linked by flash with an average thickness of 1 millimeter. The experiment was conducted on a die designed and built according to the metal die principle with die clearance values of 0.01 and 0.05 millimeter. The studied process parameter was the punch velocity, which was set at 314 and 1257 millimeter/second. The results showed that the principle of a blanking die can be applied to the design of a polyisoprene rubber cutting die. The cutting edge of the workpiece has a quality that meets the quality criteria of the establishment. The quality of the cutting edge of the finished workpiece depends on the die clearance size and the punch velocity during cutting. The quality of the cutting edge can be improved by designing the die with less die clearance and increasing the punching speed of the workpiece.

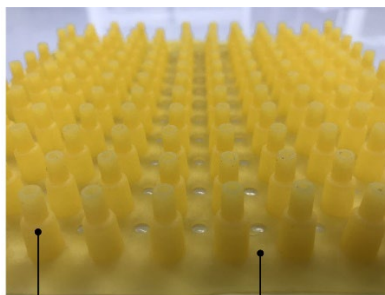
Keywords: Blanking, Die clearance, Punch velocity, Cutting edge, Rubber

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากวัสดุยางเป็นอีกอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศเนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกยางพาราซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์ยาง ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ยางมีส่วนเกี่ยวข้องกับหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์ และเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น จากการใช้ผลิตภัณฑ์ยางที่หลากหลายทำให้มีการสังเคราะห์วัสดุที่มีสมบัติและโครงสร้างคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติเพื่อให้มีสมบัติเฉพาะตรงตามวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตขึ้น ทำให้ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ยางทำจากวัตถุดิบยางพาราผสมกับสารเคมีเพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ยังคงจัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ โดยในอุตสาหกรรมเรียวยางชนิดนี้ว่า “ยางคอมปาวด์ (Compound Rubber)” กับยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมี โดยการแปรรูปยางทั้ง 2 ชนิด เป็นผลิตภัณฑ์จากยางทำได้ด้วย 3 เทคนิคหลัก ได้แก่ การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Molding) การขึ้นรูปด้วยการดันออกหรือเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) และการขึ้นรูปด้วยการรีดขึ้นรูปหรือคาเลนเดอร์ริง (Calendering) สำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยาง ได้แก่ การใช้แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป (Compression Mold) และแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูป (Injection Mold) โดยชิ้นงานที่ได้ส่วนใหญ่จะมีครีบ (Flash) เชื่อมโยงชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการที่เกิดขึ้นในแต่ละควาวิตี้ (Cavity)

รูปที่ 1 แสดงชิ้นงานที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์และเพื่อให้ได้ชิ้นงานสำเร็จจำเป็นต้องตัดชิ้นงานออกจากครีبدังกล่าว ปัจจุบันการตัดชิ้นงานออกจากครีบใช้เครื่องมือ (Tool) ที่เรียกว่า “ดายคัท (Die Cut)” โดยการดัด (Bending) เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steel) ในลักษณะแผ่น (Sheet) ให้มีรูปทรงตามชิ้นงานที่ต้องการตัด แล้วนำมายึดติดกับแผ่นไม้อัด (Plywood) โดยทั่วไปแม่พิมพ์ลักษณะนี้มีจำนวนมิตติดเท่ากับจำนวนชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการตัด แต่ผู้ผลิตพบปัญหาความไม่สม่ำเสมอของขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (ขอบตัด; Cutting Edge) ด้วยแม่พิมพ์ในลักษณะดังกล่าว ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนที่ผลิตจากยางสำหรับใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากมีความต้องการชิ้นงานสำเร็จที่มีขอบตัดสม่ำเสมอและมีขนาด

เที่ยงตรง อีกทั้งปัจจุบันชิ้นส่วนทางการแพทย์ที่ผลิตจากยางมีรูปร่างซับซ้อนและมีขนาดเล็ก ทำให้เป็นข้อจำกัดของการผลิตแม่พิมพ์ตายคัเพื่อใช้ตัดชิ้นงานออกจากครีบ



ชิ้นงานสำเร็จ ครีบ
รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

จากปัญหาข้างต้นทางสถานประกอบการซึ่งเป็นผู้ผลิตแม่พิมพ์และอุปกรณ์ในการแปรรูปวัสดุพอลิเมอร์ โดยเฉพาะในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) จำพวดยางคอมปาวด์ มีความต้องการพัฒนาเครื่องมือในการตัดชิ้นงานยางออกจากครีบให้ได้ขอบตัดที่มีคุณภาพรูปทรงและผิวของขอบตัดชิ้นงานเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

งานวิจัยของ Joommanee and Watcharasresomroeng [1] แสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่นในลักษณะของกระบวนการแบลงก์กิ้ง (Blanking) ในการตัดครีบชิ้นงานยางได้ แต่คุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรของเครื่องมือหรือแม่พิมพ์ โดยรูปแบบของคมตัดพังก์ที่ศึกษาในงานวิจัยดังกล่าวสามารถให้คุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวศึกษาเพียงแค่รูปแบบของคมตัดพังก์ที่ส่งผลต่อคุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานยาง ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาถึงคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ได้

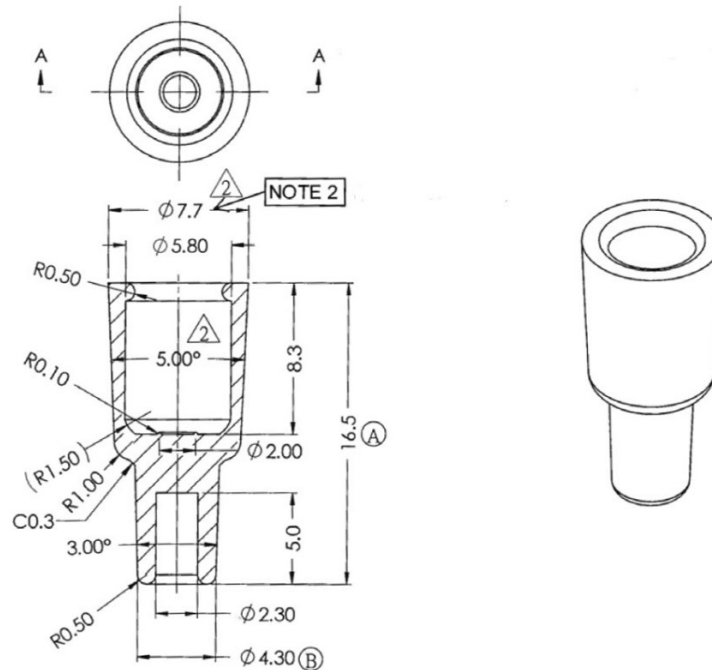
ตามทฤษฎีของงานแบลงก์กิ้ง ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ได้แก่ ช่องว่างระหว่างพังก์กับดายหรือดายเคลียร์แรนซ์ (Die Clearance) เนื่องจากส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ของวัสดุโลหะแผ่น [2-6] โดยมีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาอิทธิพลของดายเคลียร์แรนซ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานในการตัดวัสดุโลหะแผ่นชนิดต่าง ๆ เพื่อหาขนาดดายเคลียร์แรนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดให้กับแม่พิมพ์สำหรับใช้ตัดวัสดุชิ้นงาน เนื่องจากวัสดุชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลต่างกันจะเกิดสถานะความเค้นที่เนื้อวัสดุระหว่างกลไกการเปลี่ยนรูปขณะทำการตัดที่บริเวณการตัดเนื้อวัสดุชิ้นงานแตกต่างกันดังเช่นงานวิจัยที่ผ่านมา [7-10] นอกจากตัวแปรของเครื่องมือตัดในกระบวนการแบลงก์กิ้งอย่างดายเคลียร์แรนซ์แล้ว คุณภาพของขอบตัดชิ้นงานยังขึ้นอยู่กับความเร็วพังก์ (Punch Velocity) ซึ่งเป็นตัวแปรกระบวนการ (Process Parameter) ที่สำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานตัดในกระบวนการแบลงก์กิ้งด้วย [3]

จากปัญหาและแนวทางข้างต้น เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาแม่พิมพ์ตัดแผ่นยางซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์หรือผลิตภัณฑ์ยางคอมปาวด์ในลักษณะอื่นด้วยกระบวนการแบลงก์กิ้ง ผู้วิจัยจึงศึกษาอิทธิพลของเคลียร์แรนซ์และความเร็วพังก์โดยมีสมมติฐานการวิจัยว่าตัวแปรดังกล่าวมีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลงก์กิ้งเพื่อต่อยอดองค์ความรู้การใช้แม่พิมพ์ตัดวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์และเป็นไปตามความต้องการของสถานประกอบการ

2. วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1. วัสดุชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ศึกษาเป็นชิ้นส่วนทำหน้าที่เชื่อมต่อสายน้ำเกลือ ทำจากวัสดุยางพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene Rubber; IR) ซึ่งเป็นยางสังเคราะห์จากไอโซพรีนมอนอเมอร์ (Isoprene Monomer) มีสมบัติดังตารางที่ 1 และมีขนาดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบชิ้นงานที่ศึกษา (หน่วย : mm)

ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุชิ้นงาน

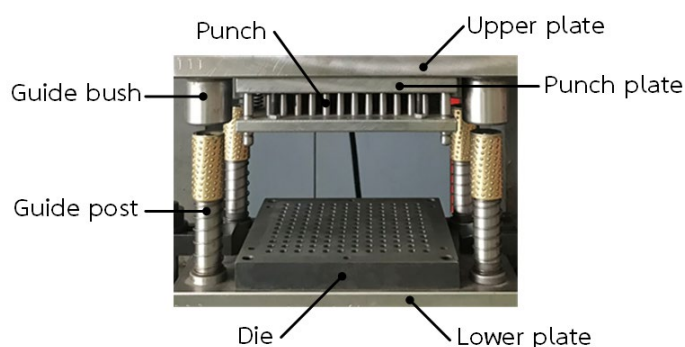
Mechanical Property	Value
Hardness [Shore A]	36
Tensile strength [N/mm ²]	9.60
Elongation at break [%]	1055

ความแข็ง (Hardness) ของวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยดังข้อมูลในตารางที่ 1 ผู้วิจัยใช้เครื่องวัดค่าความแข็งแบบ Shore (Durometer) สเกล A ของ TECLOCK ดำเนินการทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D 2240 [11] สำหรับค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ผู้วิจัยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล แบบ Universal Testing Machine ของ Monsanto ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D 412 [12]

การผลิตชิ้นงานใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่มีควาวิตัจำนวน 144 ควาวิตั โดยแต่ละควาวิตัถูกเชื่อมโยงด้วยครีบซึ่งมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1 mm เมื่อพิจารณาตารางที่ 1 แม้ว่าวัสดุดังกล่าวจะมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าวัสดุกลุ่มยางธรรมชาติ แต่ข้อดีของยางพอลิไอโซพรีน คือ มีสิ่งเจือปนน้อยกว่าและมีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่ายางธรรมชาติ

2.2 เครื่องมือ

ด้วยวิธีการทำงานเดิมของสถานประกอบการโดยการใช้แม่พิมพ์แบบด้ายคัททำการตัดแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบนั่น โดยทั่วไปแม่พิมพ์แบบดังกล่าวจะทำการติดใบมีดจำนวนเท่ากับจำนวนชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการตัดแยกออกจากครีบ เพื่อการตัดชิ้นงานครั้งเดียวจะสามารถแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบได้ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเพิ่มผลผลิต (Productivity) ผู้วิจัยจึงออกแบบแม่พิมพ์ในการศึกษาครั้งนี้ด้วยการทำฟันซ์ จำนวน 144 ตัว ยึดติดกับแม่พิมพ์ชุดบน (Upper Die Set) ด้วยฟันซ์เพลท (Punch Plate) โดยด้ายเป็นลักษณะแผ่นเพลท (Plate) ถูกทำรู จำนวน 144 รู ยึดติดกับแม่พิมพ์ชุดล่าง (Lower Die Set) ดังรูปที่ 3 ซึ่งจะทำให้การปั๊มตัด 1 ครั้ง ได้จำนวนชิ้นงานสำเร็จเท่ากับหลักการใช้แม่พิมพ์แบบด้ายคัททำงาน



รูปที่ 3 ชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้การทำงานของฟันซ์ร่วมศูนย์เดียวกันกับรูด้ายจึงออกแบบให้ชุดแม่พิมพ์มีไกด์โพสต์ (Guide Post) กับไกด์บุช (Guide Bush) ทำหน้าที่นำเลื่อนให้แม่พิมพ์ชุดบนกับแม่พิมพ์ชุดล่างทำงานร่วมศูนย์เดียวกัน และใช้สตริปเปอร์ (Stripper) แบบให้แรงด้วยสปริงทำหน้าที่ดึงชิ้นงานก่อนและระหว่างการตัด รวมทั้งทำหน้าที่ปลดแผ่นครีบบอกจากฟันซ์ภายหลังเสร็จสิ้นการตัดในแต่ละรอบการทำงาน

2.3 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ที่มีการกำหนดระดับปัจจัยหลักไว้ที่ระดับสูง (High Level) และระดับต่ำ (Low Level) ปัจจัยหลัก (Main Factor) ของการทดลอง ได้แก่ ด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ โดยมีผลการทดลอง (Response) ที่ได้จากปัจจัยหลักที่ศึกษา คือ คุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน

การพิจารณาเลือกค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ของแม่พิมพ์ตัดชิ้นงานบางส่วนเพื่อกำหนดใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยใช้แนวทางหลักการออกแบบแม่พิมพ์โลหะโดยพิจารณาข้อมูลจากค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ของแม่พิมพ์ที่แนะนำให้ใช้ในการตัดวัสดุโลหะ [6] ซึ่งพบว่า การตัดโลหะที่มีความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง (Hardness) ต่ำ รวมถึงความต้องการขอบตัดชิ้นงานที่มีคุณภาพจะกำหนดให้ใช้ค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์น้อย เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวแลกเปลี่ยนเรียนรู้จากผู้มีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ด้ายคัทของสถานประกอบการ จึงออกแบบให้แม่พิมพ์ที่จะใช้ในการทดลองตัดชิ้นงานของสถานประกอบการมีค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์เป็นร้อยละ 1 และ ร้อยละ 5 ของความหนาวัสดุที่ต้องการตัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.05 mm ตามลำดับ

การทดลองปั๊มตัดชิ้นงานใช้เครื่องเพรสเชิงกลหรือเครื่องปั๊มแบบใช้กลไกทางกล (Mechanical Press Machine) ขนาด 800 kN ที่ติดตั้งตัวปรับความเร็วการเคลื่อนที่ของแรม (Ram) เครื่องเพรสได้ เพื่อใช้ควบคุมความเร็วฟันซ์ขณะทำการตัดชิ้นงาน โดยกำหนดให้เพลทข้อเหวี่ยงหมุนรอบตัวเองต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 300 rpm และ 1200 rpm โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าต่ำสุดและ

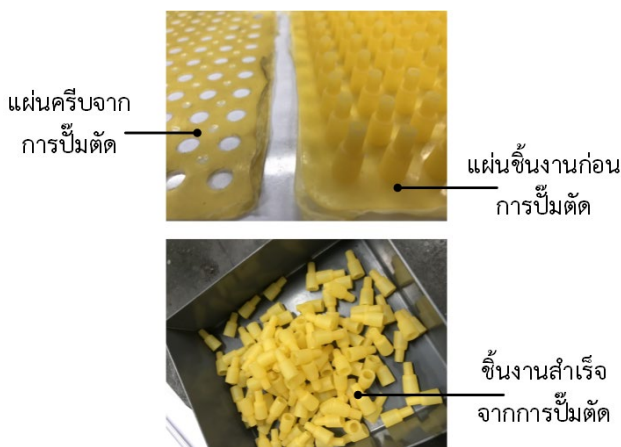
ค่าสูงสุดของเครื่องเพรสที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับตั้งได้ ทำให้พื้นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตัดเท่ากับ 314 mm/sec และ 1257 mm/sec ตามลำดับ

การออกแบบการทดลองใช้เทคนิคการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ สำหรับศึกษาปัจจัยที่สองระดับ ทำให้มีจำนวนการทดลอง (Run) เท่ากับ 2^k โดย k คือ จำนวนของปัจจัยหลัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 4 การทดลอง ซึ่งในการวิเคราะห์ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย โดยมีการทดลองซ้ำ (Replication) จำนวน 30 ครั้งในแต่ละการทดลอง

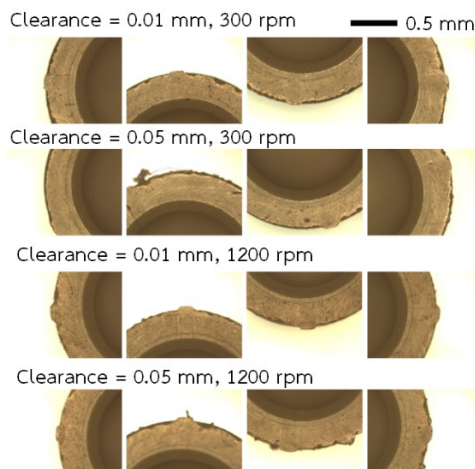
คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดจะถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ของ Mitutoyo รุ่น MF-B1010D ที่ต่อพ่วงกับชุดประมวลผลภาพ Mitutoyo Vision Unit ซึ่งสามารถขยายขอบตัดชิ้นงานได้จากการตัดโดยชุดแม่พิมพ์ด้วยกำลังขยาย 10X ทั้งนี้การวัดขนาดและตรวจสอบลักษณะของขอบตัดใช้ชุดซอฟต์แวร์ QSPAK ของ Mitutoyo เช่นกัน

3. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

จากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตามหลักการแม่พิมพ์ตัดโลหะเพื่อใช้ในการตัดชิ้นงานข้อต่อสายน้ำเกลือซึ่งทำจากวัสดุยางพอลิไอโซพรีนตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนด การทดลองบ่มตัดชิ้นงานแสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ชุดดังกล่าวสามารถตัดชิ้นงานได้ โดยตัวอย่างแผ่นชิ้นงานก่อนการบ่มตัดแผ่นครีบและชิ้นงานสำเร็จที่ถูกบ่มตัดแยกโดยแม่พิมพ์ชุดดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นชิ้นงานก่อนการบ่มตัดและชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 5 ลักษณะขอบตัดที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองที่กำหนด

เมื่อนำชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองที่กำหนดไปตรวจสอบคุณภาพขอบตัดที่ได้ดังตัวอย่างรูปที่ 5 โดยทำการวัดขนาดของครีบส่วนที่เหลือจากการตัด ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ต่อพ่วงกับชุดประมวลผลภาพ Mitutoyo Vision Unit ผ่านซอฟต์แวร์ QSPAK ของ Mitutoyo และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วย Threshold Operation เพื่อตรวจวัดพื้นที่ของครีบส่วนเหลือที่ยังติดอยู่กับชิ้นงานสำเร็จที่ตัดได้ และนำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางสถิติ

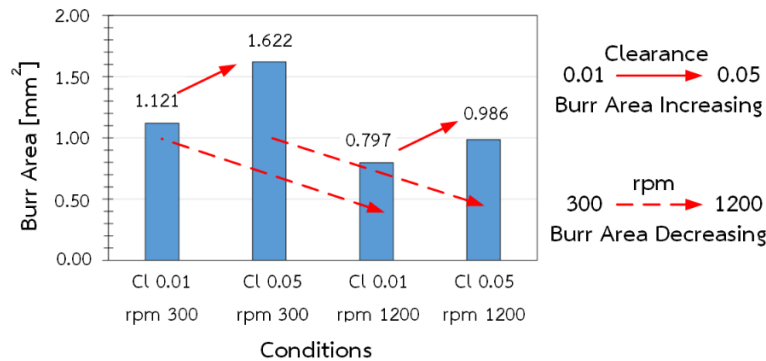
ก่อนการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลผลการตรวจวัดพื้นที่ของครีบที่ยังติดอยู่กับชิ้นงานสำเร็จที่ตัดได้ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ทางสถิติทดสอบชุดข้อมูลดังกล่าว โดยผลการทดสอบพบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่า P-Value ของผลการทดสอบมากกว่า 0.05 ในทุกเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยปริมาณครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงาน

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	11.2030	3.73432	187.23	0.000
Linear	2	10.4713	5.23566	262.51	0.000
Clearance [mm]	1	3.5632	3.56316	178.56	0.000
rpm	1	6.9082	6.90816	346.37	0.000
2-Way Interactions	1	0.7316	0.73164	36.68	0.000
Clearance [mm]*rpm	1	0.7316	0.73164	36.68	0.000
Error	116	2.3136	0.01994		
Total	119	13.5165			

สมมติฐานงานวิจัยถูกทดสอบด้วยวิธีการพารามेटริก (Parametric Method) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) มีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของตายเคิลี่แรนซ์ และความเร็วพั่นในรูปของ rpm มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ที่กำหนดไว้ รวมถึงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยหลักทั้งสอง

ก็มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าเคลียร์แรนซ์ ความเร็วพั่นซ์ และอันตรกิริยาระหว่างค่าเคลียร์แรนซ์ และความเร็วพั่นซ์ มีผลต่อปริมาณครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานสำเร็จภายใต้เงื่อนไขการทดลอง

ค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานจากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อศึกษาตัวแปรในงานวิจัยนี้ถูกนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบดังรูปที่ 6 โดยรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดค่าเคลียร์แรนซ์และลดความเร็วพั่นซ์ในการตัดชิ้นงานมีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานที่ลดลง ชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการบีมตัดด้วยชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าเคลียร์แรนซ์มากจะมีค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดมากกว่ากรณีใช้ชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าเคลียร์แรนซ์น้อยบีมตัดชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีงานตัดโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์ [2-5] ในขณะที่การใช้ความเร็วพั่นซ์ในการตัดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานสำเร็จมีพื้นที่ครีบส่วนเหลือลดลง ซึ่งทางทฤษฎีตัดโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์ในงานของ Lange [3] ไม่ได้ระบุไว้อย่างแน่ชัดถึงความสัมพันธ์ของความเร็วพั่นซ์ในการตัดกับคุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จที่ได้ เพียงแต่กล่าวว่าขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงานที่ทำการตัด อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงการเพิ่มผลผลิต ผู้ปฏิบัติงานจึงควรใช้ความเร็วพั่นซ์ในการตัดชิ้นงานสูงสุดเท่าที่ทำได้

จากการทดลองชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ค่าเคลียร์แรนซ์ 0.01 mm และใช้ความเร็วพั่นซ์ในการตัดด้วยความเร็วรอบของเครื่องเพรส 1200 rpm ให้คุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางพอลิไอโซพรีนดีกว่ากรณีเงื่อนไขการทดลองอื่นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบคุณภาพของพนักงานควบคุมคุณภาพ (QC) ระดับความเชี่ยวชาญสูงสุดของสถานประกอบการ อย่างไรก็ตามการตัดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตามหลักการแม่พิมพ์โลหะนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน [2-5] อีกทั้งยังต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตและจุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนวิธีการจากการใช้ด้ายคัทในการตัดแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบด้วย ซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ผลิตและใช้ในงานวิจัยนี้มีต้นทุนสูงกว่าแม่พิมพ์ด้ายคัททั่วไปอยู่ 10 เท่า ดังนั้นผู้วิจัยจะได้ศึกษาปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานที่ผลิตได้เพื่อปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานสำเร็จให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนหาวิธีการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้ในการตัดชิ้นงานยางให้มีความต้นทุนที่ต่ำลง รวมถึงการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) จำลองการตัดชิ้นงานยางพอลิไอโซพรีน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุดังกล่าวในกระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ต่อไป

4. สรุป

งานวิจัยนี้ใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์โลหะพัฒนาการออกแบบเครื่องมือสำหรับตัดแยกส่วนชิ้นงานสำเร็จวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์ออกจากแผ่นครีป โดยชิ้นงานที่ศึกษาเป็นข้อต่อสายน้ำเกลือ มีขนาดเล็ก ทำจากยางพอลิไอโซพรีน

จากการศึกษาพบว่าหลักการทำงานของแม่พิมพ์โลหะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ตัดยางที่ศึกษาได้ โดยคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานที่ได้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของสถานประกอบการ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ค่าตายเคลียร์และความเร็วพั่นขณะทำการตัดชิ้นงานมีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานสำเร็จ การเพิ่มคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานสำเร็จโดยการลดปริมาณครีปส่วนเหลือที่ข้อต่อชิ้นงานทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ตัดให้มีค่าตายเคลียร์น้อยและใช้ความเร็วพั่นขณะทำการตัดชิ้นงานสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโครงการศึกษาวิจัยเชิงนโยบายการพัฒนาแพลตฟอร์มบริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพ (Talent Resource Management; TRM) กลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ.2564 และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Joommanee and B. Watcharasresomroeng, "Study effect of degree cutting punch in blanking die rubber part quality," in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, 2020, pp. 159. (in Thai)
- [2] D. F. Eary and E. A. Reed, *Techniques of pressworking sheet metal: Engineering approach to die design*, 2nd ed. London, England: Prentice-Hall, 1974.
- [3] K. Lange, *Handbook of metal forming*. Maidenhead, England: McGraw Hill Higher Education, 1985.
- [4] Schuler, *Metal forming handbook*, Springer, Berlin Heidelberg, 1998.
- [5] T. Altan and etc., *Metal forming: Fundamentals and applications*, ASM International, 1983.
- [6] C. Suktayou, P. Kaewtatip and V. Premanond, *Sheet metal stamping*, Thai Tool and Die Industry Association (TDIA), pp. 50–65, 2004. (in Thai)
- [7] N. Pornputsiri, R. Paisarn, P. Kaewtatip and V. Premanond, "Study on Influence of Die Clearance on Wear Behavior in Blanking Process", in *Proceeding of Mechanical Engineering Network of Thailand the 16th Conference*, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, pp.441–437 (in Thai)
- [8] S. Subramonian, T. Altan, B. Ciocirlan, and C. Campbell, "Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 75, pp. 63–71, 2013.
- [9] Z. Xing, L. Chen, C. Lei, T. Cai, and H. Yu, "Simulated analysis and experimental investigation on edge qualities of high strength steels hot blanking parts," *Procedia Manuf.*, vol. 15, pp. 619–626, 2018.

- [10] M. Otroshi and G. Meschut, “Influence of cutting clearance and punch geometry on the stress state in small punch test,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 136, no. 106183, p. 106183, 2022.
- [11] ASTM, “Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness,” ASTM, Aug. 2000.
- [12] ASTM, “Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension,” ASTM, May 2021.

อิทธิพลของปัจจัยทางกระแสไฟฟ้าในการเจาะรูของรอยเชื่อม เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า

Influence of Discharge Current in Drilling Hole of Weld on JIS SKD61 Tool Steel by Using Electrical Discharge Machining Process

สมชาย วนไทยสงค์¹ รัตติกรณ์ เสาร์แดน^{1*} เอนก สุทธิฤทธิ์¹ รอยต่อ เจริญสินโอฬาร¹ และ พิชัย จันทรมณี¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

Somchai Wonthaisong¹, Rattikorn Saodaen^{1*}, Anek Suttirit¹, Roytor Charoensin-o-larn¹ and Pichai Janmanee¹

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

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Road, Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

Email: Rattikorn.s@mail.rmutk.ac.th*

(Received: January 16, 2023; Revised: June 7, 2023; Accepted: June 8, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) ของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ซึ่งผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW) โดยใช้อิเล็กโทรดสำหรับสปาร์คที่แตกต่างกันสองประเภท ได้แก่ ทองเหลือง และทองแดง ด้วยการปรับตั้งค่าปัจจัยหลักทางกระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ จากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR), อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR), ความหยาบผิว (Ra), และลักษณะรูเจาะเข้า-ออก ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ารูเจาะของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลือง, กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด 21.458 มม.²/นาที และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 82.1% ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ต่ำสุดของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดง, กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 1.9457 ไมโครเมตร ลักษณะรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูออกน้อยกว่า 1 มม. จากการใช้อิเล็กโทรดทั้งสองประเภทและทั้งหมดของการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า

คำสำคัญ: เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 อัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ความหยาบผิว

Abstract

This research aimed to study the efficiency of drilling hole with the electrical discharge machining process (EDM) of JIS SKD61 tool steel. Which was welded to repair by using the shield metal arc welding (SMAW) and gas metal arc welding (GMAW) processes. The welded specimens were sparked with two different electrodes of tool such as brass, and copper. The main factor of discharge current was set up 3 levels of 2.5, 3

and 3.5 Ampere. Then, the performance efficiency was evaluated by the material removal rate (MRR), and electrode wear ratio (EWR), surface roughness (Ra), and appearance of entrance-exit drilled hole, respectively. The experimental results were found that the drilled hole of the SMAW weld sparked by brass electrode, and discharge current of 3 Ampere had the highest material removal rate of 21.458 mm²/min, and electrode wear ratio 82.1 percentage. The average of lowest surface roughness of the SMAW weld which was conducted with Cu electrode, discharge current of 3 Ampere having of approximately 1.9457 micrometer. The appearance of entrance-exit drilled hole of SMAW as well as GMAW welds had the dimensional analysis of entrance drilled hole larger than 1 millimeter and smaller than 1 millimeter for exit drilled hole from using both electrodes and entire discharge current set up.

Keywords: JIS SKD61 tool steel, Material removal rate, Electrode wear ratio, Surface roughness

1. บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้นำเทคโนโลยีหลากหลายรูปแบบมาใช้ในกระบวนการผลิต โดยมุ่งเป้าหมายไปที่การลดต้นทุน ลดเวลา เพิ่มผลผลิต และเพิ่มความแม่นยำสูงในการผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ที่มีรูปร่างซับซ้อนและใช้วิธีการตัดเฉือนโดยทั่วไปได้ยาก เนื่องจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์เป็นวัสดุที่ยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์สำหรับโลหะหรือแม่พิมพ์สำหรับพลาสติกที่ต้องการความแม่นยำค่อนข้างสูงนั้น ส่วนมากจะถูกผลิตที่ผ่านขั้นตอนการใช้เครื่องเจาะรูด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) ซึ่งเป็นการแปรรูปโลหะด้วยกระบวนการกัดเซาะวัสดุชิ้นงานที่มีความแข็งสูง [1] โดยใช้หลักการทางความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าส่งผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่า “Electrode” จึงทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กภายใต้ของเหลวกึ่งตัวนำที่เรียกว่าสาร “Dielectric” ซึ่งจะทำให้เกิดการขจัดเนื้องานหรือการหลอมละลายของเนื้อโลหะในบริเวณที่เล็กมากระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) และเนื้อโลหะ โดยสามารถควบคุมผิวชิ้นงานที่ขจัดออกมีลักษณะรูทรงเหมือนอิเล็กโทรดที่ได้ในการแปรรูป [2, 3] การแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) ด้วยเครื่องเจาะรูโลหะด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้มากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการแปรรูปชิ้นงานประเภทวัสดุแม่พิมพ์ที่มีความแข็งสูงและเป็นวัสดุที่สามารถทำการแปรรูปโดยใช้การเจาะด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine: EDM) ได้เป็นอย่างดี [4]

เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสำหรับการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์งานร้อนและเย็น [5, 6] ฉะนั้น ความเสียหายมีโอกาที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตหรือการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานานของชิ้นส่วนประกอบดังกล่าว เช่น การเกิดรอยแตกร้าว การสึกหรอ และอื่นๆ จึงมีความจำเป็นสำหรับกระบวนการซ่อมบำรุงและซ่อมแซมส่วนที่เกิดความเสียหายด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์ก เนื่องจากต้นทุนค่อนข้างต่ำและใช้กันอย่างแพร่หลายในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ที่เกิดความเสียหาย [7] ก่อนถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปโดยการเจาะด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) กับการใช้วัสดุอิเล็กโทรด (Electrode) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการเจาะ คุณภาพความหยาบผิว และขนาดรูเจาะสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจาะรูสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW) ด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงสำหรับสปาร์กชิ้นงานทดสอบ จากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน และประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน

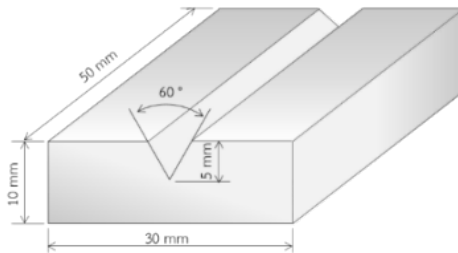
(MRR), อัตราการสึกหรบของอิเล็กโทรด (EWR), ความหยาบผิว (Ra), และลักษณะรูเจาะของวัสดุที่ถูกเชื่อมแต่ละประเภทและอิเล็กโทรดที่แตกต่างกัน

2. วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

1) วัสดุทดสอบ คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ผ่านกระบวนการชุบแข็ง 1020 – 1050 °C และค่าความแข็งสูงสุด 334 HV แสดงคุณสมบัติส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 [8, 9] ชิ้นงานทดสอบถูกกำหนดขนาดความกว้าง 30 มม. ความยาว 50 มม. และความหนา 10 มม. ซึ่งถูกเตรียมชิ้นงานรอยเชื่อมในลักษณะร่องตัววี (V-shaped groove) บริเวณกลางชิ้นงานทดสอบ ความลึก 5 มม. มุมบารวมร่อง (Groove Angle) 60 องศา ดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61

ความหนาแน่น (g /cm ³)	7.85
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 100°C (J/g °C)	0.44
การชุบแข็ง (°C)	1020 - 1050
ความแข็งสูงสุด (HV)	344
ส่วนผสมทางเคมี (%)	C = 0.32-0.45, Si = 0.80-1.20, Mn = 0.20-0.50, Cr = 4.75-5.50, Mo = 1.10-1.75, V = 0.80-1.20



(ก) ขนาดชิ้นงานทดสอบ



(ข) ลักษณะชิ้นงานทดสอบก่อนเชื่อม

รูปที่ 1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61

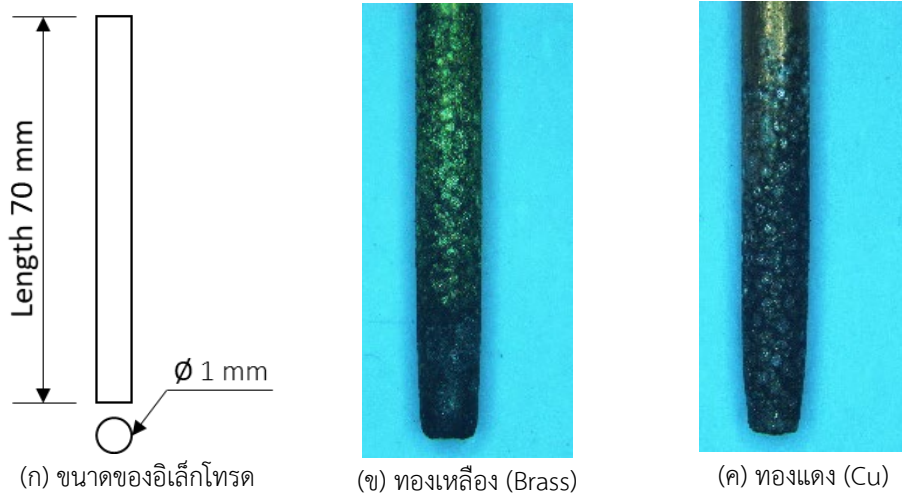


รูปที่ 2 ตัวอย่างรอยเชื่อม SMAW และ GMAW

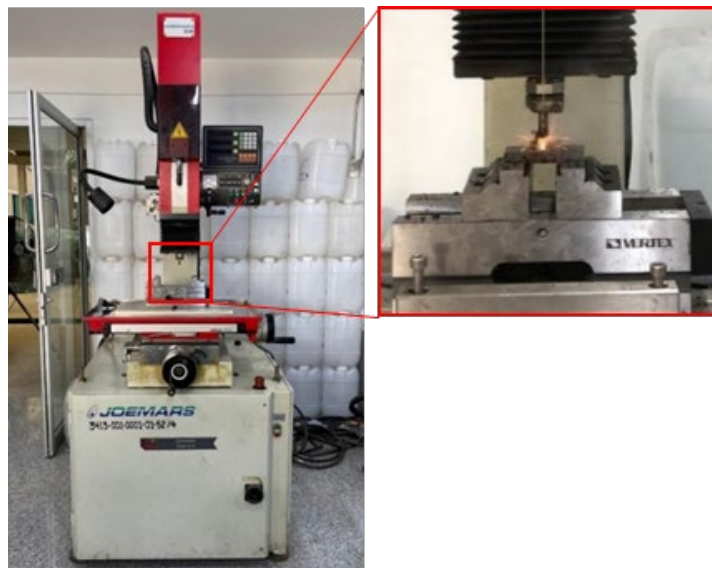
จากนั้นดำเนินการเชื่อมชิ้นงานทดสอบด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Shield Metal Arc Welding : SMAW) โดยการใช้ลวดเชื่อม AWS A5.1 E6013 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 มม. แรงดันไฟฟ้า 35 โวลต์, และกระแสไฟฟ้า 90 แอมแปร์ สำหรับ

การเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (Gas Metal Arc Welding : GMAW) ด้วยเงื่อนไขการเชื่อม ได้แก่ ลวดเชื่อม DIN 8555 MSG6-4Z-60 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มม. แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์, กระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์ และแก๊สปกคลุม Ar75%+CO₂25% เป็นต้น แสดงลักษณะรอยเชื่อมดังรูปที่ 2

2) วัสดุอิเล็กโทรด คือ ทองเหลือง (Brass) และทองแดง (Cu) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ความยาว 70 มม. ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อิเล็กโทรดสำหรับสปาร์คขึ้นงานทดสอบ



รูปที่ 4 เครื่องกัดเจาะเนื้อโลหะด้วยไฟฟ้า (SHEDM)

3) เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine : EDM) เป็นเครื่องจักรแบบควบคุมด้วยตัวเลข (Computer Numerical Control) แบบ Small Hole Electrical Discharge Machine (SHEDM) ยี่ห้อ JOEMARS รุ่น JM325D แสดงดังรูปที่ 4

3. การทดลอง

3.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ความลึกรอยเชื่อม 5 มม. ด้วยการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม.

การกำหนดปัจจัยคงที่ ได้แก่ เวลาเปิด (On-time), เวลาปิด (Off-time), ระยะห่าง (Gap) และอื่นๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ [11] แสดงการปรับตั้งค่าเงื่อนไขการทดลองตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปรับตั้งค่าเงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไข	รายละเอียด
Depth	10
IP	8
C	7
On-time (μs)	12
Off-time (μs)	5
Gap (mm)	2
Pressure (kg/cm ²)	70
Electrode wear (%)	55~58
Working time	18"~19"
Current (A)	2.5, 3, 3.5

3.2 ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไขโดยถูกกำหนดด้วยผลการประเมิน [10] ดังนี้

1) อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) ในการแปรรูปชิ้นงานคำนวณจากสมการที่ 1

$$MRR = \frac{\text{ปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออกไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad (1)$$

2) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) สามารถคำนวณจากสมการที่ 2

$$EWR = \frac{\text{ระดับความลึกของชิ้นงานที่แท้จริง}}{\text{ระยะที่อิเล็กโทรดสึกหรอออกไป}} \times 100 \quad (2)$$

3.3 ประเมินคุณภาพความหยาบผิวและขนาดรูเจาะ

การประเมินคุณภาพผิวของรูเจาะถูกวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) บริเวณผนังรูเจาะจากภาคตัดขวาง (Cross section) ของรูเจาะด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope แบบ 3 มิติในระดับนาโนเมตร ยี่ห้อ Olympus รุ่น OLS5000 และถูกวัดขนาดรูเจาะด้านบน (รูเข้า) และด้านล่าง (รูออก) จากการเจาะด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Olympus STM6 และ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพผิวงานรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ด้วยการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง และการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้า

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

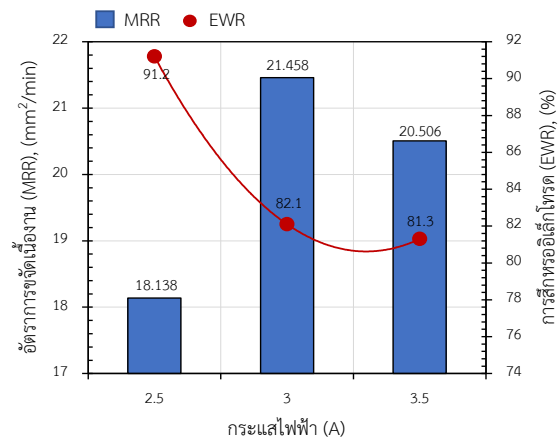
ผลการทดลองจากการศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์คขึ้นงานทดสอบขณะเจาะรูด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 ที่ถูกเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW) สามารถอภิปรายผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ผลการทดลองค่าปัจจัยประสิทธิภาพเบื้องต้น

การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูบริเวณรอยเชื่อม SMAW ด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงจากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ แสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 3 พบว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) 18.138 - 21.458 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) 81.3 - 91.2% สำหรับอิเล็กโทรดทองแดงพบว่ามีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) 6.829 - 9.428 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) 154.6 - 164.3%

ตารางที่ 3 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม SMAW

อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm ³ /min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	18.138	91.2
	3	21.458	82.1
	3.5	20.506	81.3
ทองแดง (Cu)	2.5	9.428	164.3
	3	6.829	154.6
	3.5	7.139	156.1

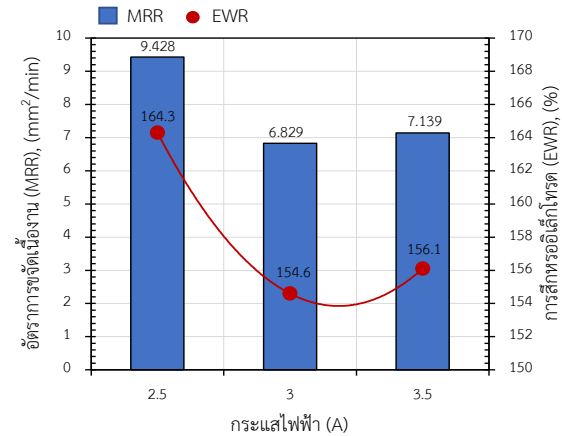


รูปที่ 5 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม SMAW

รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะรูสำหรับรอยเชื่อม SMAW ของอิเล็กโทรดทองเหลือง พบว่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดเท่ากับ 21.458 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 82.1% เมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์ เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ พบว่าอัตราการขจัดเนื้องานมีค่าต่ำสุดและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดค่อนข้างสูง

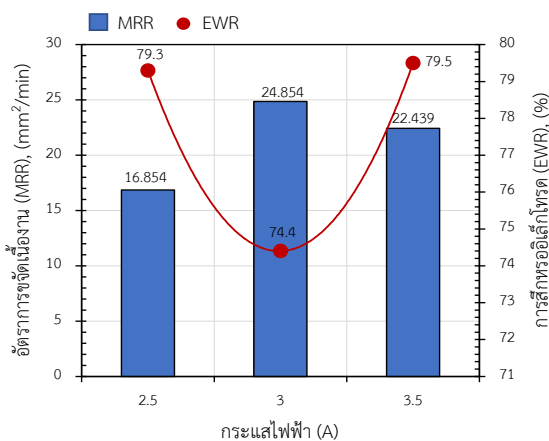
ตารางที่ 4 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอ
ของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม GMAW

อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm ³ /min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	16.854	79.3
	3	24.854	74.4
	3.5	22.439	79.5
ทองแดง (Cu)	2.5	10.471	155.4
	3	8.894	150.4
	3.5	6.735	157.5

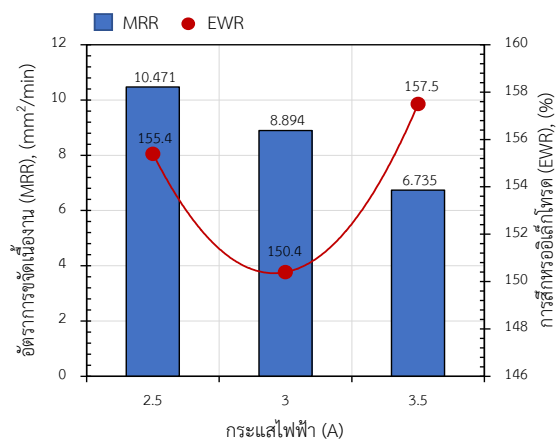


รูปที่ 6 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอ
ของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม SMAW

ตารางที่ 4 แสดงอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงสำหรับเจาะรอยเชื่อม GMAW พบว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) เท่ากับ 16.854 - 24.854 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) เท่ากับ 74.4 - 79.5% สำหรับอิเล็กโทรดทองแดงมีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) เท่ากับ 6.735 - 10.471 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) เท่ากับ 150.4 - 157.5% เมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ ของทั้งสองชนิดอิเล็กโทรด สำหรับอิเล็กโทรดทองแดงมีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ 9.428 mm³/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) เท่ากับ 164.3% ที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้า 3 และ 3.5 แอมแปร์ แสดงดังกราฟรูปที่ 6



รูปที่ 7 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอ
ของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW



รูปที่ 8 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอ
ของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม GMAW

รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่กระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ พบว่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ 24.854

mm²/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ต่ำสุดเท่ากับ 74.4% เมื่อปรับกระแสไฟฟ้า 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ มีอัตราการกัดเนื้องานต่ำกว่าและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดค่อนข้างสูงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดงมีอัตราการกัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ 10.471 mm²/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) 155.4% ที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ เมื่อปรับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 3.5 แอมแปร์ พบว่าอัตราการกัดเนื้องาน (MRR) มีแนวโน้มลดลงและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ลดลงและเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยแสดงผลการเปรียบเทียบในแต่ละสภาวะดังรูปที่ 8

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราการกัดเนื้องาน (MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ของรอยเชื่อมและอิเล็กโทรดทั้ง 2 ประเภท สรุปได้ว่าอัตราการกัดเนื้องาน (MRR) ของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW เมื่อใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองมีค่าสูงกว่าการใช้อิเล็กโทรดทองแดง และเกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) มีค่าต่ำกว่าทุกสภาวะการปรับค่ากระแสไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ประเภท มีความแตกต่างกัน เช่น ค่าความต้านทานไฟฟ้า ความแข็ง ส่วนผสมทางเคมี และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกัดเซาะเนื้อโลหะและการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hardeep Singh และคณะ [12]

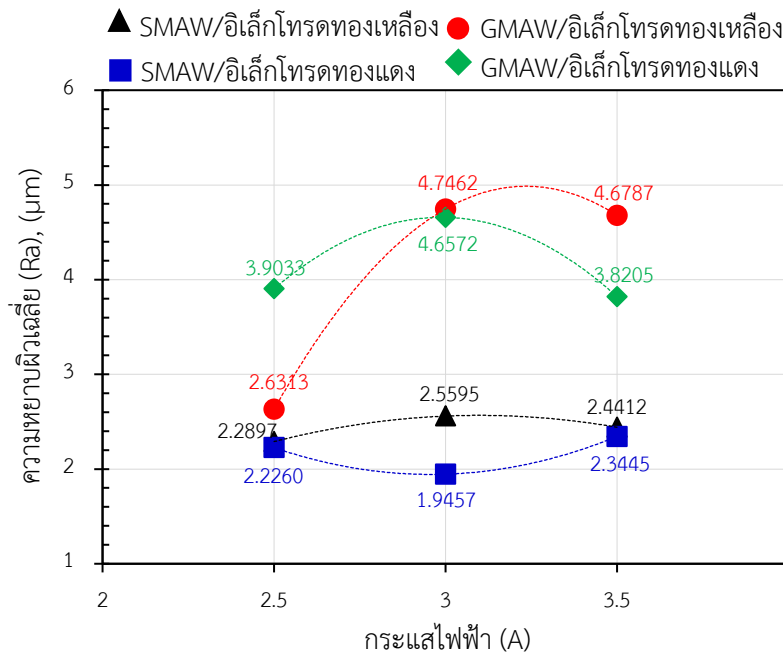
4.2 ผลความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) และขนาดของรูเจาะเข้า-ออก

ผลการประเมินค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะรอยเชื่อม SMAW จากการสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยประมาณ 2.2897 - 2.5595 μm และ 1.9457 - 2.3445 μm สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกเจาะรูด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยประมาณ 2.6313 - 4.7462 μm และ 3.8205 - 4.6572 μm ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra), (μm)			
	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองแดง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองแดง
2.5	2.2897	2.226	2.6313	3.9033
3	2.5595	1.9457	4.7462	4.6572
3.5	2.4412	2.3445	4.6787	3.8205

รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) จากการเจาะรูชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ด้วยอิเล็กโทรดและการปรับกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่ารอยเชื่อม SMAW ที่ถูกเจาะรูด้วยอิเล็กโทรดทองแดงมีแนวโน้มความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ค่อนข้างน้อยเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.9457 μm ที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ เมื่อเปรียบเทียบกับรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกเจาะด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ พบว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.6313 μm นั้นแสดงให้เห็นว่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะที่มีค่าค่อนข้างน้อยได้รับผลกระทบจากอัตราการกัดเนื้องาน (MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ที่ค่อนข้างต่ำจากอิทธิพลหรือความรุนแรงของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมและสอดคล้องกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอิเล็กโทรดแต่ละชนิดที่ถูกนำมาทดลอง

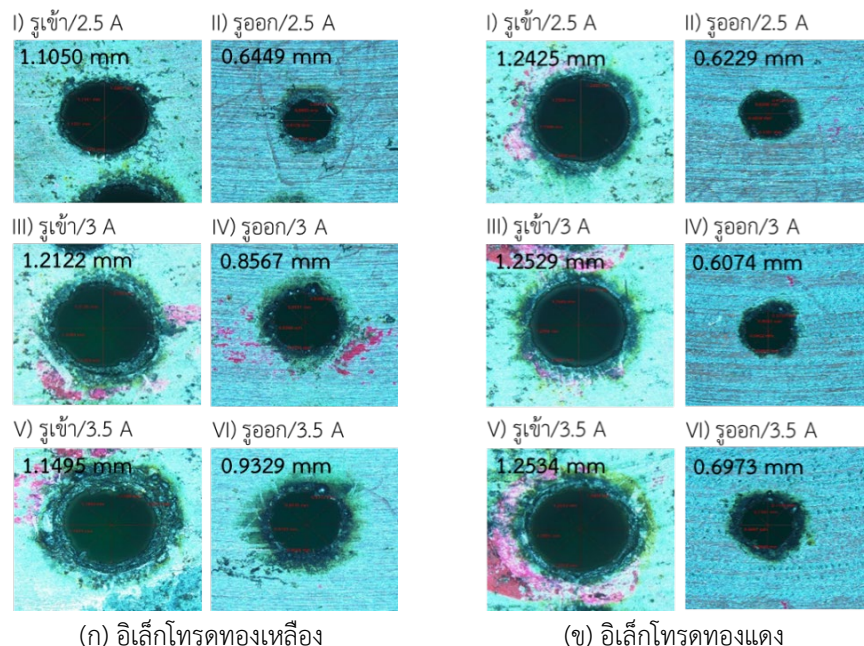


รูปที่ 9 ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงในกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

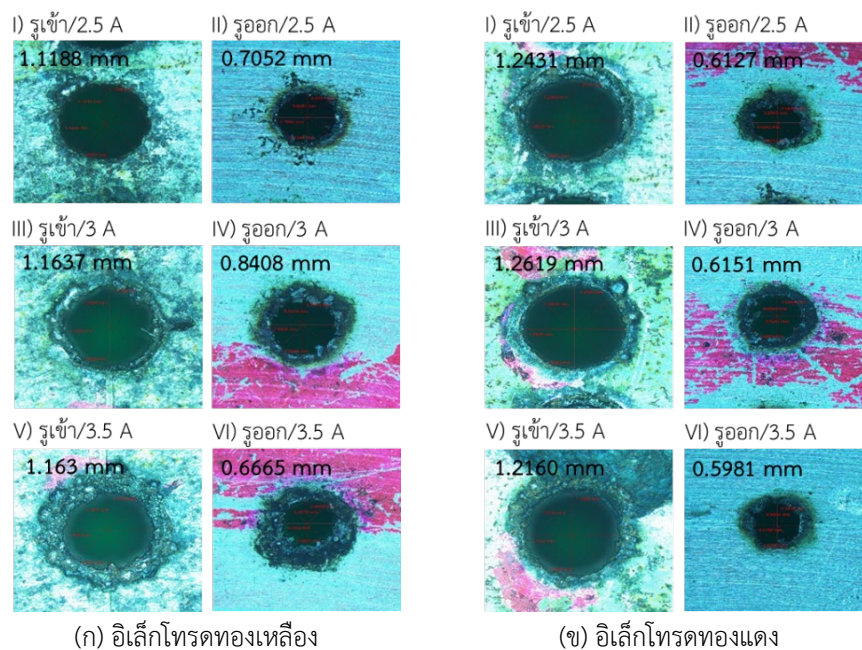
รูเจาะของชิ้นงานทดสอบถูกวัดขนาดบริเวณด้านบน (รูเข้า) และด้านล่าง (รูออก) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของรูเจาะที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลักที่กำหนด ได้แก่ รอยเชื่อม อิเล็กโทรด และกระแสไฟฟ้า สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด JIS SKD61 จากการเจาะด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าแสดงขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อมดังตารางที่ 6 พบว่ารูเข้ามีขนาดมากกว่า 1 มม. ซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองและมีขนาดรูออกค่อนข้างเล็กกว่าขนาดของรูเข้าทุกเงื่อนไขการทดลอง แสดงลักษณะรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11

ตารางที่ 6 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ขนาดรูเจาะ (mm)							
	รอยเชื่อม SMAW				รอยเชื่อม GMAW			
	อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง		อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง	
	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก
2.5	1.1050	0.6449	1.2425	0.6229	1.1188	0.7052	1.2431	0.6127
3	1.2122	0.8567	1.2529	0.6074	1.1637	0.8408	1.2619	0.6151
3.5	1.1495	0.9329	1.2534	0.6973	1.163	0.6665	1.2160	0.5981



รูปที่ 10 ลักษณะรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม SMAW



รูปที่ 11 ลักษณะรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม GMAW

รูปที่ 10 (ก) แสดงลักษณะรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม SMAW โดยการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่ถูกปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ พบว่ารูเจาะเข้ามีขนาด 1.1050 - 1.2122 มม. และขนาดรูออกมีค่าเท่ากับ 0.6449 - 0.9323 มม. ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับรูเจาะของอิเล็กโทรดทองแดงแสดงลักษณะรูเจาะดังรูปที่ 10 (ข) สำหรับรูเจาะเข้าและออกของ

รอยเชื่อม GMAW แสดงดังรูปที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองเดียวกันพบว่าลักษณะรูเจาะเข้าและออกมีความคล้ายกันกับรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW ที่มีขนาดรูเข้ามากกว่า 1 มม. ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1.1188 - 1.2619 มม. เนื่องจากความรุนแรงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการกัดเซาะเนื้องานและช่วงเวลาที่อิเล็กโทรดจะสัมผัสผิวชิ้นงานยาวนานกว่าบริเวณอื่นและมีโอกาสทำให้เกิดสภาวะการสปาร์มากกว่าบริเวณด้านล่างรูเจาะซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็ก สาเหตุจากการสึกหรอในขณะสปาร์บริเวณปลายแท่งอิเล็กโทรดที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้งจึงทำให้ขนาดของรูเข้าและออกมีขนาดไม่เท่ากันและรูเจาะมีลักษณะเป็นความเรียว [13,14]

5. สรุป

- 1) รอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์ด้วยอิเล็กโทรดทองเหลือง การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด $21.458 \text{ mm}^2/\text{min}$, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 82.1% และรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกสปาร์ด้วยอิเล็กโทรดทองเหลือง การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด $24.854 \text{ mm}^2/\text{min}$, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 74.4%
- 2) ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ต่ำสุดของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์ด้วยอิเล็กโทรดทองแดง การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีค่า $1.9457 \mu\text{m}$ และรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกสปาร์ด้วยอิเล็กโทรดทองแดง การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ มีค่า $2.6313 \mu\text{m}$
- 3) รูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW จากการสปาร์ด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่ปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูออกน้อยกว่า 1 มม. ทุกๆ เงื่อนไขการทดลอง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Thongyindee and S. Danchaivijit, "High Temperature Tensile Properties of Hot-Pressed Inconel 718," *Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineer, Chulalongkorn University*, 1999.
- [2] Y. Keskin, H. S. Halkaci, and M. Kizil, "An Experimental Study for Determination of The Effects of Machining Parameters on Surface Roughness in Electrical Discharge Machining (EDM)," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 28, no. 11-12, pp. 1118–1121, 2005.
- [3] B. Thomas, "Technology of Electrical Discharge Machining," *Druckerei Helene, 6102, Pfunstste*, pp. 11–53, 1991.
- [4] G. Bissacco, J. Valentincic, H. N. Hansen, and B. D. Wiwe, "Towards the Effective Tool Wear Control in Micro-EDM Milling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 47, no. 1-4, pp. 3–9, 2009.
- [5] N. Takatsuji, Y. Kakutani, T. Aida, S. Murakami, J. Shinmura, and H. Matsui, "Sliding Characteristics in Hot Working Tool Steel at High Pressure," *Procedia Engineering*, vol. 81, pp. 1976–1981, 2014.

- [6] S.-S. Shin, S.-K. Lee, D.-K. Kim, and B. Lee, “Enhanced Cooling Channel Efficiency of High-Pressure Die-Casting Molds with Pure Copper Linings in Cooling Channels Via Explosive Bonding,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 297, p. 117235, 2021.
- [7] L.-H. Chiu, C.-H. Wu, and H. Chang, “Wear Behavior of Nitrocarburized JIS SKD61 Tool Steel,” *Wear*, vol. 253, no. 7-8, pp. 778–786, 2002.
- [8] Y. Meng, S. Sugiyama, and J. Yanagimoto, “Microstructural Evolution During Rap Process and Deformation Behavior of Semi-Solid SKD61 Tool Steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, no. 8, pp. 1731–1741, 2012.
- [9] F. C. Tsai, B. H. Yan, C. Y. Kuan, and F. Y. Huang, “A Taguchi and Experimental Investigation into The Optimal Processing Conditions for The Abrasive Jet Polishing of SKD61 Mold Steel,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, no. 7-8, pp. 932–945, 2008.
- [10] K. Jamkamon and et al., “Effects of EDM On Changes in Surface Hardness of AISI P20 Steel,” in *Proceeding of The 29th Conference of Industrial Engineering Network 2011 (IE Network 2011)*, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 2011. (in Thai)
- [11] P. Chanmanee and A. Muttara, “Study of Factors Affecting Tungsten Carbide EDM by Taguchi Technique,” in *Proceeding of The 8th Engineering Academic Conference*, Prince of Songkla University, 2010. (in Thai)
- [12] H. Singh, J. Singh, S. Sharma, and J. Singh Chohan, “Parametric Optimization of MRR & TWR of The AL6061/Sic Mmcs Processed During Die-Sinking EDM Using Different Electrodes,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 48, pp. 1001–1008, 2022.
- [13] T. T. Öpöz, “Manufacturing of Micro Holes by Using Micro Electric Discharge Machining (Micro-EDM),” thesis, Mechatronics Engineering, Atılım University, Kızılcaşar, Gölbaşı, Turkey, 2008.
- [14] N. Devarani and S. N. Joshi, “Electric Discharge Alloying of Titanium and Aluminium on AISI P20 Mold Steel,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 405, p. 126515, 2021.

การศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าว ณ ขอบรูเจาะต่อความไว ในการทดสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนสำหรับงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

Study of Cracking Behavior of a Drilled Hole Edge Crack on ECT Sensitivity for Machinery Component Maintenance

ฤทธิชัย เภาเนียม¹ สมชาย วนไทยสงค์^{1*} กิจทวี นุรินรัมย์¹ และ เจษฎา แก้ววิชิต²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ พุ้มมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

450 หมู่ 6 ตำบลย่านยาว อำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Rittichai Phaoniam¹, Somchai Wonthaisong^{1*} Kittawee Nurinram¹ and Jesada Kaewwichit²

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

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Road, Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

450 Moo 6, Yan Yao, Sam Chuk, Suphan Buri, 72130

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

(Received: January 16, 2023; Revised: June 7, 2023; Accepted: June 8, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรอยแตกร้าวรอยเชื่อม ณ ขอบรูเจาะต่อความสามารถในการทดสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนสำหรับงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โดยการสร้างรอยแตกร้าวบนรอยเชื่อมบริเวณขอบรูเจาะชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ซึ่งทำการทดลองด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลส ปกคลุม (Tungsten Inert Gas welding : TIG) ในลักษณะการเชื่อมจุดพร้อมกับชุดจำลองความเค้นตกค้าง (U-Bending Type) ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการแตกร้าวในรอยเชื่อม คือ ระดับความเค้นตกค้าง 154 และ 220 เมกะปาสกาล และเวลาเชื่อม 3 และ 6 วินาที จากนั้นทำการตรวจสอบรอยแตกร้าวรอยเชื่อมด้วยสารแทรกซึมและวิธีกระแสไหลวน ผลการทดลองพบว่ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นทุกสภาวะการเชื่อมจากการแสดงผลการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมอย่างชัดเจน ความลึกรอยแตกร้าวรอยเชื่อมถูกประเมินผลด้วยการตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนมีค่าแนวโน้มที่สูงขึ้นเท่ากับ 1.08 มม. เมื่อใช้ระดับความเค้นตกค้าง 220 เมกะปาสกาล และเวลาเชื่อม 6 วินาที ซึ่งตรวจพบลักษณะสัญญาณแอมพลิจูดมีความใกล้เคียงกับสัญญาณจากแท่งมาตรฐานอ้างอิงของร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบ (Reference Standard Block) ของชิ้นงานเชื่อม

คำสำคัญ: รอยแตกร้าวรอยเชื่อม กระแสไหลวน ความลึกรอยแตกร้าว ความเค้นตกค้าง

Abstract

The purpose of this research for studying a weld crack, which is adjacent to a drilled hole edge on machinery component maintenance, as well as, inspection sensitivity of eddy current testing. For the weld cracking-drilled hole edge of was constructed using tungsten inert gas welding process (TIG). SKD11 tool steel's machinery component was employed. The weld characteristic was the spot welding by U-Bending type simulation which was considered the factors affected to cracking in a weld such as residual stress levels of 154 and 220 MPa, and welding times of 3 and 6 seconds. Then, investigating the weld cracking used penetrant testing and eddy-current testing methods. The results were found that the weld cracking occurred obviously in entire experimental conditions. The penetrant testing was used in order to identify the cracking appearance. The weld cracking depth was assessed with eddy-current testing. There was the high tendency of approximately 1.08 mm in depth. Such the cracks were carried out by using the residual stress of 220 MPa, and welding time of 6 second. The eddy-current testing detected the amplitude signal of weld cracks was similar to a reference standard block of welded part.

Keywords: Weld cracking, Eddy-current testing, Crack depth, Residual stress

1. บทนำ

การแข่งขันในภาคส่วนอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยาน เรือ ขนส่งสินค้า โครงสร้างเหล็ก และอื่นๆ ซึ่งมีการพัฒนาและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ที่มุ่งเน้นในด้านภาคการผลิตที่มีประสิทธิภาพ [1-3] ดังนั้น การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพและอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาจากการเสื่อมสภาพการใช้งานเป็นเวลานานของชิ้นส่วนต่างๆ [4-7] การประเมินการใช้งานถูกนำมากำหนดอายุการใช้งานเครื่องจักร และวางแผนการดำเนินงานด้านความปลอดภัยซึ่งนำไปสู่กระบวนการซ่อมบำรุงที่ถูกชี้วัดให้เป็นผลลัพธ์ และสามารถป้องกันความเสียหายที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้โดยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing : NDT) เช่น การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant testing : PT) การตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-current testing : ECT) และอื่นๆ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความสำคัญในกระบวนการตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของวัสดุที่ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง และเหมาะสมสำหรับงานประเภทโลหะบาง ท่อ โครงสร้าง และงานเชื่อม เป็นต้น [8-10]

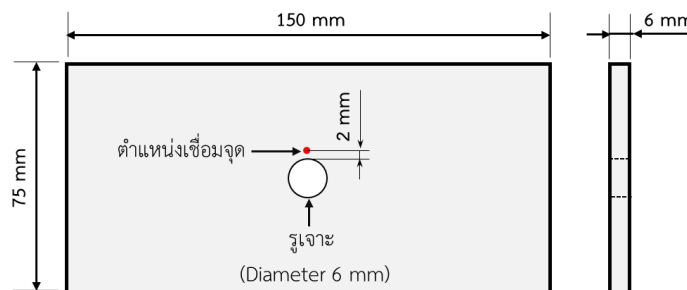
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Ehsan Mohseni และคณะ ได้ทำการตรวจสอบระดับของสัญญาณที่ถูกรบกวนในแต่ละเทคนิคซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดผลกระทบของการวางแนวรอยแตกร้าวด้วยสัญญาณแอมพลิจูดด้วยการทดสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) พบว่าผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าจำลองสัญญาณความน่าจะเป็น และระบบอัตโนมัติมีความสอดคล้องกันและมีความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบด้วยวิธี ECT [11] สัญญาณแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นตามขนาดความลึกของร่องรอยบาก และเส้นโค้งที่แสดงถึงความแปรผันของแอมพลิจูดเทียบกับความลึกสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการหาขนาดของความลึกของรอยแตกจริงได้ [12] และชนิดของหัวโพรบแบบกระแสสมำเสมอมีลักษณะของสัญญาณอิมพีแดนซ์ขนาดใหญ่กว่า

สัญญาณของแบบจำลองทางตัวเลขเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบรอยแตกกว้างของรอยเชื่อมอินโคเนล (Inconel) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [13] อย่างไรก็ตามการสร้างรอยบกพร่องเทียมเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการจำลองสัญญาณเชิงตัวเลขของการทดสอบกระแสไหลวน (ECT) นั้น ได้ถูกวิจัยกันอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวข้อง แต่การสร้างรอยแตกกว้างต้นแบบที่ถูกจำลองสถานการณ์จากสภาวะการใช้งานจริง พบว่ามีการศึกษาค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยกระตุ้นที่ส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อมเพื่อนำมาใช้สำหรับฝึกทักษะการประเมินความเสียหายในกระบวนการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการแตกกว้างบริเวณขอบรูเจาะโดยใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสสปีดคลูม (TIG) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ด้วยปัจจัยของระดับความเค้นตกค้างและเวลาเชื่อมที่แตกต่างกัน ตรวจสอบรอยแตกกว้างด้วยสารแทรกซึม (PT) และวิธีการกระแสไหลวน (ECT) เพื่อประเมินลักษณะรอยแตกกว้างที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง และสามารถนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

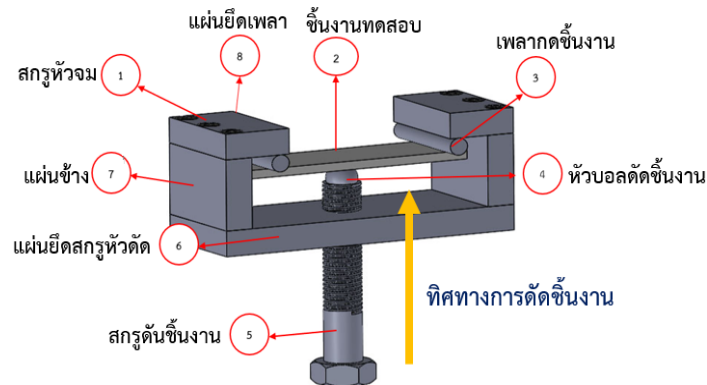
1) วัสดุทดลอง คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ขนาดความกว้าง 75 มม. ความยาว 150 มม. และความหนา 6 มม. โดยชิ้นงานทดลองถูกเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. บริเวณกลางแผ่นชิ้นงานทดสอบ และกำหนดตำแหน่งการเชื่อมจุดห่างจากขอบรูเจาะ 2 มม. ตามแนวความกว้างของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นงานทดลอง

2) ชุดทดสอบจำลองความเค้นตกค้าง (U-Bending Type)

ออกแบบชุดทดสอบจำลองความเค้นตกค้าง (U-Bending Type) ให้เป็นไปตามหลักการกำหนดแรงที่กระทำกับชิ้นงานทั้ง 2 ข้าง ด้วยเพลาคดชิ้นงานที่ถูกให้แรงดัดชิ้นงานอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม แสดงส่วนประกอบของชุดทดสอบแบบ U-Bending Type และลักษณะการจับยึดชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดทดสอบจำลองความเค้นตกค้าง (U-Bending Type)

3) เครื่องเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสสตีล (TIG Welding Machine)

กระบวนการเชื่อมเป็นแบบอาร์คใช้แท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสในการอาร์ค หรือเรียกว่าการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas welding : TIG) ด้วยเครื่องเชื่อม TIG รุ่น HITRONIC TIG 200S

4) อุปกรณ์ทดสอบรอยแตกด้วยสารแทรกซึม

การตรวจสอบรอยแตกด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing : PT) ใช้ยาทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ 1) น้ำยาทำความสะอาดพื้นผิว (Cleaner), 2) น้ำยาแทรกซึมชนิดมองเห็นด้วยตาเปล่า (Color Contrast Penetrant), 3) น้ำยาส่งภาพ (Developer) และ ชุดอุปกรณ์ทำความสะอาดชิ้นงานตั้งแต่การเตรียมชิ้นงานทดสอบ ขณะทำการตรวจสอบ และสิ้นสุดขั้นตอนการทดสอบ

5) เครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-current testing : ECT) รุ่น Mentor EM Eddy Current เชื่อมต่อกับสายเคเบิล RG 174 ROHS และหัวโพรบสำหรับสแกนพื้นผิวในช่วงความถี่ 25-100 kHz แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน

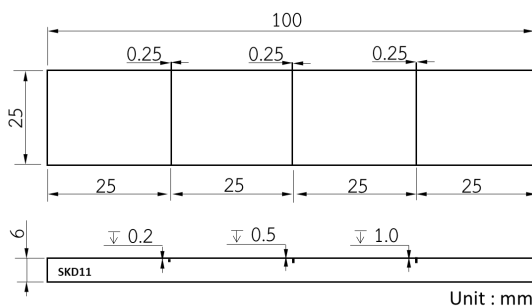
3. การทดลอง

3.1 แท่งมาตรฐานอ้างอิงร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบ (Reference Standard Block) และการตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน

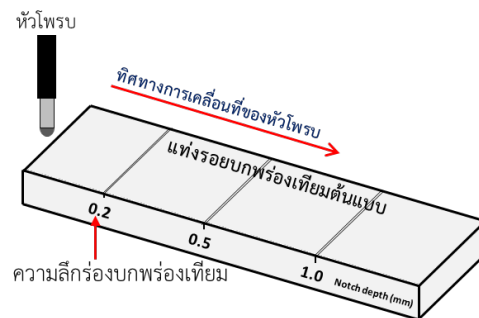
การสร้างแท่งร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบสำหรับใช้อ้างอิงลักษณะของสัญญาณแอมพลิจูดที่ตรวจพบในรอยแตกร้าวรอยเชื่อมเป็นไปตามมาตรฐาน ASME SEC.V ARTICLE 8 [14] ซึ่งถูกกำหนดด้วยวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ที่ไม่ผ่านการอบชุบความร้อน และผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas welding: TIG) มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) ออกแบบแท่งมาตรฐานอ้างอิงร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบ (Reference Standard Block) หรือ แท่งสอบเทียบ (Calibrate) ถูกกำหนดขนาดตามแท่งมาตรฐานรอยบกพร่องเทียบจากต่างประเทศที่ระดับความลึก 0.2, 0.5 และ 1.0 มม แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4

2) การตรวจสอบรอยแตกร้าวด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) ซึ่งกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวโพรบตั้งฉากกับร่องความลึกรอยบกพร่อง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ขนาดแท่งมาตรฐานอ้างอิงร่องความลึก
รอยบกพร่องต้นแบบ
(Reference Standard Block)



รูปที่ 5 ลักษณะการตรวจสอบรอยแตกร้าว
ด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT)

การดำเนินงานตามเทคนิคการปรับตั้งค่ารอยความไม่ต่อเนื่องอ้างอิงตาม ASME SEC.V ARTICLE 8 โดยปรับตั้งเส้นยกออก (Lift off) ให้อยู่ในแนวแกนแนวตั้ง หรือแกนแนวนอน ซึ่งการตอบสนองต่อสัญญาณที่บกพร่อง โดยการควบคุมการเพิ่มขึ้นของสัญญาณบกพร่องจากจุดที่ลึกที่สุดเป็นอย่างน้อย 50% ของจอแสดงผลทางแนวตั้ง หรือแนวนอน แสดงเงื่อนไขและการปรับตั้งค่าเครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและการปรับตั้งค่าเครื่องตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน

หัวตรวจสอบ (Probe)	
ชนิดหัวตรวจสอบ (Probe Type)	Surface Probe
ลักษณะขดลวด (Coil Type)	Absolute
ขนาดหัวตรวจสอบ (Probe Dai.), mm	3.2
สายเชื่อมต่อ (Cable Type)	Microdot to BNC
ช่วงความถี่ใช้งาน (Frequency Range), kHz	20-200
การปรับตั้งเครื่องตรวจสอบ (ECT Set up)	
โหมดทำงาน (Mode)	Phase Mode
ความถี่ใช้งาน (Operating Frequency), kHz	200
กำลังขยาย (X/Y dB Gain)	26.7/26.7
ปรับตั้งมุมเฟส (Phase, deg.)	279.4
อัตราสุ่มสัญญาณ (Sample Rate), kHz	1000

3.2 เงื่อนไขการทดลองเพื่อสร้างรอยแตกร้าว

1) คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 โดยมุ่งเน้นที่ความเค้นตกค้าง ณ จุดครากของวัสดุเพื่อกำหนดเงื่อนไขของวัสดุดังกล่าว แสดงค่าความเค้นตกค้าง ณ จุดครากของเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 มีค่า 154 MPa และแสดงคุณสมบัติอื่นๆ [15] ดังตารางที่ 2

วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ถูกกำหนดเป็นเกณฑ์ในการจำลองค่าความเค้นตกค้างที่ปริมาณ 154 และ 220 MPa เพื่อหาแรงกระทำสูงสุด และระยะดัดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปริมาณความเค้นที่ได้จากการคำนวณตามกลศาสตร์วัสดุความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและระยะดัด แสดงผลการจำลองแรงและระยะดัดที่เปลี่ยนแปลงในระดับความเค้นตกค้าง 154 และ 220 MPa ใช้แรงกระทำสูงสุด 535 และ 770 นิวตัน มีระยะดัดเท่ากับ 0.5 และ 2.0 มม. ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 [15]

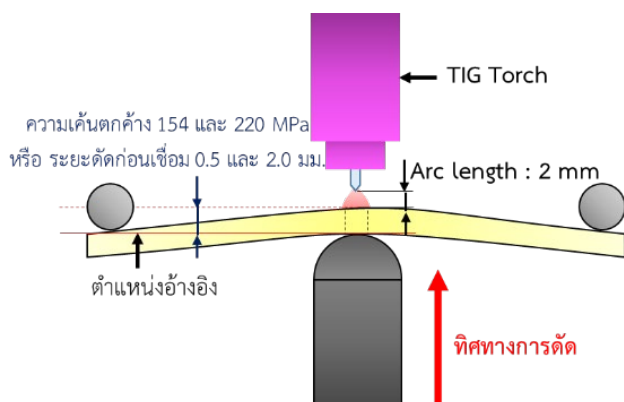
เงื่อนไข	รายละเอียด
Yield strength	154 MPa
Tensile strength	231 MPa
Elongation	56 %
HBS	123-321

ตารางที่ 3 ผลการจำลองแรงกระทำในแต่ละระดับความเค้นตกค้างของเหล็กกล้า เกรด SKD11

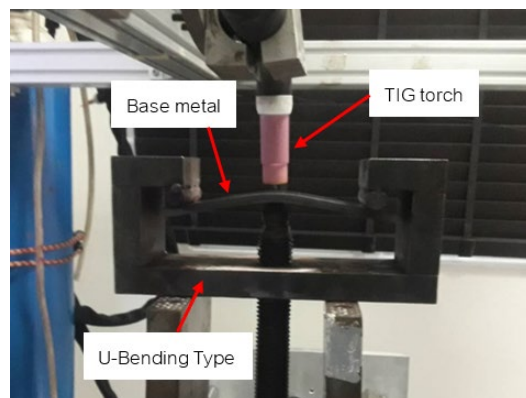
ความเค้นตกค้าง	แรงกระทำ	ระยะดัดเปลี่ยนแปลง
154 MPa	535 N	0.5 mm
220 MPa	770 N	2.0 mm

2) จับยึดชิ้นงานทดสอบบนชุดทดสอบ U-Bending Type โดยทำการดัดชิ้นงานในระยะดัด 0.5 และ 2.0 มม. หรือความเค้นตกค้าง 154 และ 220 MPa และเชื่อมจุดในตำแหน่งที่ห่างจากขอบระยะ 2 มม. (รูปที่ 1) แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการ

ทดลองดังตารางที่ 4 และลักษณะการเชื่อมดังรูปที่ 6



(ก) การตั้งค่าเงื่อนไขการเชื่อม



(ข) การสร้างความเค้นตกค้างขณะเชื่อม

รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

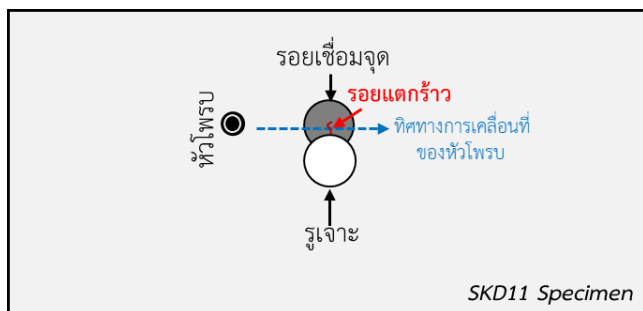
ตารางที่ 4 เงื่อนไขการเชื่อม

เงื่อนไข	รายละเอียด
กระบวนการเชื่อม	GTAW
ทิศทางในการเชื่อม	แบบจุด
กระแสเชื่อม	100 Amps
แท่งอิเล็กโทรด	WT20, 2.4 มม.
ระยะอาร์ค	2 มม.
แก๊สปกคลุม	99.9% argon
อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม	10 L/min
เวลาเชื่อมจุด	3 และ 6 วินาที
ความเค้นตกค้าง หรือ ระยะตัดที่เปลี่ยนไป	154 และ 220 MPa หรือ 0.5 และ 2.0 มม.

3) การตรวจสอบรอยแตกร้าวรอยเชื่อมด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing : PT) และวิธีกระแสไหลวน (Eddy-current testing : ECT)

การทดสอบรอยแตกร้าวด้วยสารแทรกซึม (PT) มีขั้นตอน ดังนี้ 1) ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำยาทำความสะอาดพื้นผิวโดยใช้ผ้าแห้งเช็ดออก, 2) ฉีดน้ำยาแทรกซึมลงบนชิ้นงาน ปล่อยทิ้งไว้ 5 นาที, 3) ใช้น้ำยาทำความสะอาดผิวงานโดยฉีดใส่ผ้าแห้งแล้วเช็ดน้ำยาแทรกซึมบนผิวงานให้สะอาด, 4) ฉีดน้ำยาแรงปฏิกิริยาแล้วปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที และ 5) บันทึกผลการตรวจสอบก่อนใช้น้ำยาทำความสะอาดพื้นผิวเพื่อทำความสะอาดผิวชิ้นงาน

การตรวจสอบรอยแตกร้าวด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) ดำเนินการตามเทคนิคการปรับตั้งค่าเครื่องทดสอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ตามขั้นตอนในการทดสอบของแท่งร่องความถี่รอบยกพร้อมต้นแบบ (ข้อ 3.1) แสดงตำแหน่งการตรวจสอบสัญญาณของชิ้นงานทดสอบหลังเชื่อมบริเวณรอยเชื่อมดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งการตรวจสอบรอยแตกร้าว (Crack)

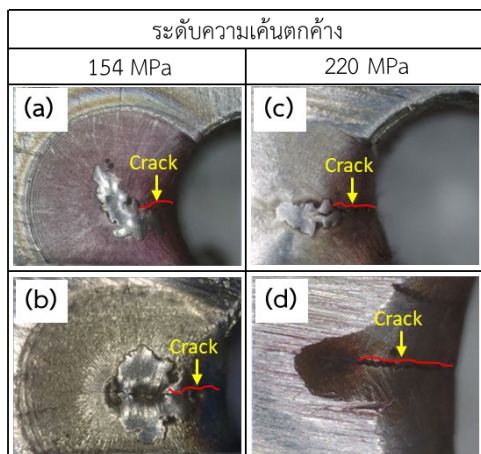
4) การวัดความยาวรอยแตกร้าวถูกวัดจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของรอยแตกร้าว หลังจากการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (PT) โดยถ่ายภาพของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนิกส์ (USB Digital Microscope Endoscope Otoloscope Camera) ก่อนนำภาพถ่ายเข้าสู่โปรแกรมการวัดขนาดความยาวรอยแตกร้าว (Crack length)

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

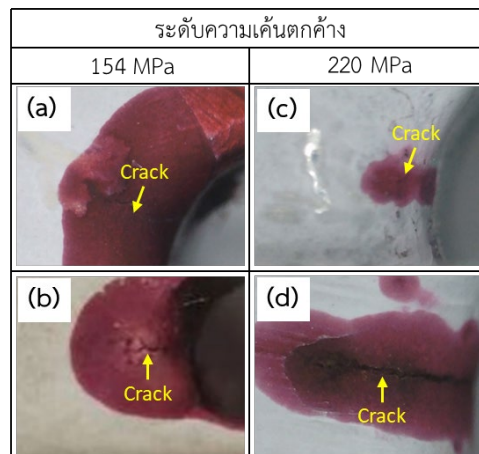
จากผลการคำนวณระดับค่าความเค้นตกค้าง (Stress) ของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 เพื่อหาระยะตัดที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานทดสอบขณะทำการเชื่อมจุด โดยถูกกำหนดระดับค่าความเค้นตกค้าง 154 และ 220 MPa, เวลาเชื่อม 3 และ 6 วินาที แสดงผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing : PT)

รูปที่ 8 แสดงรอยเชื่อมและลักษณะรอยแตกร้าวของการเชื่อมจุดใกล้ขอบรูเจาะที่ระดับความเค้นตกค้าง 154 และ 220 MPa, เวลาเชื่อม 3 และ 6 วินาที พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองเกิดรอยแตกร้าวบนรอยเชื่อมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งมีขนาดความยาวที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามชิ้นงานทดสอบทั้งหมดถูกทำการตรวจสอบรอยแตกร้าวบนพื้นผิวรอยเชื่อมด้วยสารแทรกซึม (PT) เพื่อยืนยันการแตกร้าวของรอยเชื่อมแสดงลักษณะรอยแตกร้าวและสามารถวัดขนาดความยาวรอยแตกร้าวตามสารแทรกซึมที่ปรากฏขึ้นอย่างชัดเจนบนรอยเชื่อมจุดบริเวณขอบรูเจาะดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ลักษณะรอยเชื่อมจุดที่เวลาในการเชื่อม และความเค้นตกค้างที่แตกต่างกัน ;
(a) 3 วินาที 154 MPa, (b) 6 วินาที 154 MPa,
(c) 3 วินาที 220 MPa และ (d) 6 วินาที 220 MPa



รูปที่ 9 รอยเชื่อมที่ถูกตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมที่เวลาในการเชื่อมและความเค้นตกค้างที่แตกต่างกัน ;
(a) 3 วินาที 154 MPa, (b) 6 วินาที 154 MPa,
(c) 3 วินาที 220 MPa และ (d) 6 วินาที 220 MPa

ตารางที่ 5 ผลการวัดค่าความยาวรอยแตกร้าวรอยเชื่อม

ความเค้นตกค้าง (MPa)	เวลาเชื่อม (วินาที)	ความยาวรอยแตกร้าว (มม.)
154	3	0.94
	6	2.13
220	3	1.16
	6	2.31

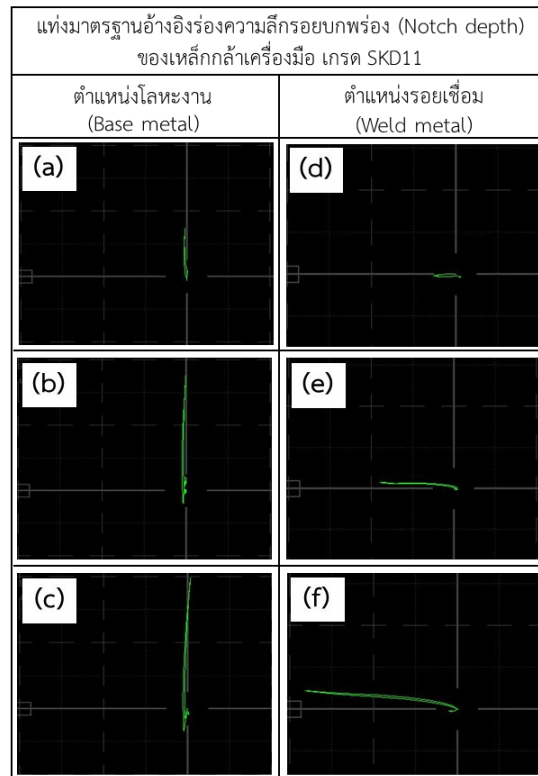
ตารางที่ 5 แสดงผลค่าความยาวรอยแตกร้าวรอยเชื่อม ที่ระดับความเค้นตกค้าง 154 MPa และเวลาเชื่อม 3 และ 6 วินาที มีค่าเท่ากับ 0.94 และ 2.13 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเค้นตกค้าง 220 MPa และเวลาเชื่อมเดียวกัน พบว่ารอยแตกร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 1.16 และ 2.31 มม. ตามลำดับ นั่นแสดงให้เห็นว่าระดับความเค้นตกค้าง และเวลาเชื่อมที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยแตกร้าวในรอยเชื่อมจากการประเมินผลด้วยเทคนิคการตรวจสอบรอยแตกร้าวด้วยสารแทรกซึม (PT)

4.2 ผลการตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy-current testing : ECT)

การหาความลึกรอยบกพร่องถูกตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (ECT) เพื่อประเมินผลจากลักษณะของสัญญาณแอมพลิจูดที่ปรากฏขึ้น โดยทำการศึกษากับแท่งร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 (ชิ้นงานปกติที่ไม่ผ่านกระบวนการเชื่อม หรือตำแหน่งโลหะงาน) และชิ้นงานรอยเชื่อมหรือตำแหน่งรอยเชื่อมที่ระดับความลึก 0.2, 0.5 และ 1.0 มม. ตามลำดับ

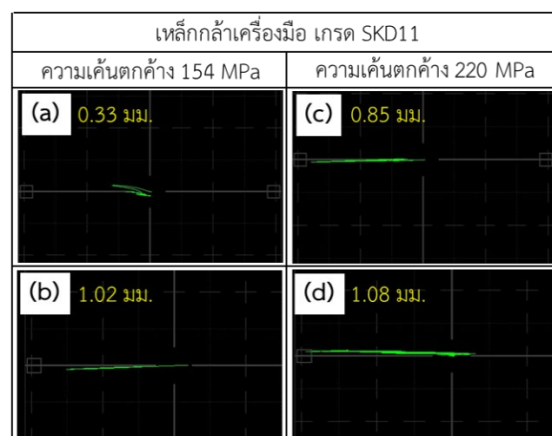
รูปที่ 10 แสดงลักษณะสัญญาณแอมพลิจูดของชิ้นงานปกติมีทิศทางไปในแนวแกน Y หรือมุมเฟสล่าช้า (Lag Phase) 90 องศา และมีความยาวสูงขึ้นเมื่อร่องความลึกรอยบกพร่องมีความลึกเพิ่มจาก 0.2 – 1.0 มม. ตามลำดับ ซึ่งมีทิศทางของเส้นสัญญาณแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานรอยเชื่อมที่มีระดับร่องความลึกเดียวกัน คือ สัญญาณแอมพลิจูดมีทิศทางไปในแนวแกน X ทางด้านขวา หรือมุมเฟสล่าช้า 180 องศา แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานปกติที่ไม่ผ่านกระบวนการเชื่อม และ

ชิ้นงานเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าชิ้นงานรอยเชื่อมเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคจากอิทธิพลทางความร้อนซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุจึงส่งผลกระทบต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่มีทิศทางเปลี่ยนไป [16]



รูปที่ 10 สัญญาณแอมพลิจูดของแท่งมาตรฐานอ้างอิงร่องความลึกรอยบากพร้อมต้นแบบ

ที่ตำแหน่งโลหะงานและตำแหน่งรอยเชื่อม ; (a) 0.2 มม., (b) 0.5 มม., (c) 1.0 มม., (d) 0.2 มม., (e) 0.5 มม. และ (f) 1.0 มม.



รูปที่ 11 สัญญาณแอมพลิจูดของความลึกรอยแตกที่ถูกรวบรวมที่เวลาในการเชื่อมและความเค้นตกค้างที่แตกต่างกัน ;

(a) 3 วินาที 154 MPa, (b) 6 วินาที 154 MPa, (c) 3 วินาที 220 MPa และ (d) 6 วินาที 220 MPa

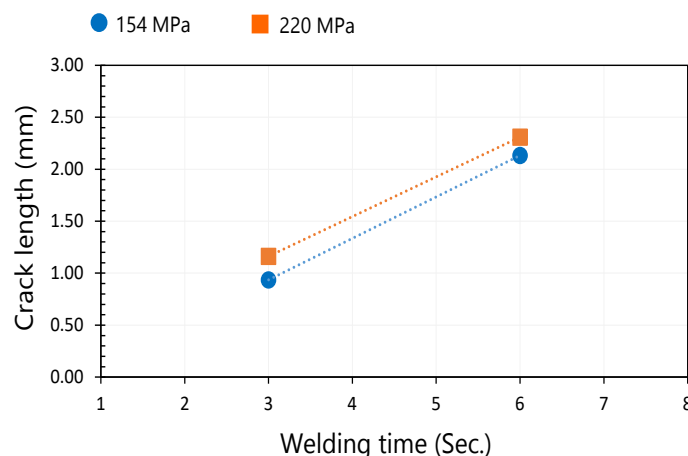
ตารางที่ 6 ผลการวัดค่าความยาวและความลึกรอยแตกร้าวรอยเชื่อม

ระดับความเค้นตกค้าง (MPa)	เวลาเชื่อม (วินาที)	รอยแตกร้าว	
		ความยาว (มม.)	ความลึก (มม.)
154	3	0.94	0.33
	6	2.13	1.02
220	3	1.16	0.85
	6	2.31	1.08

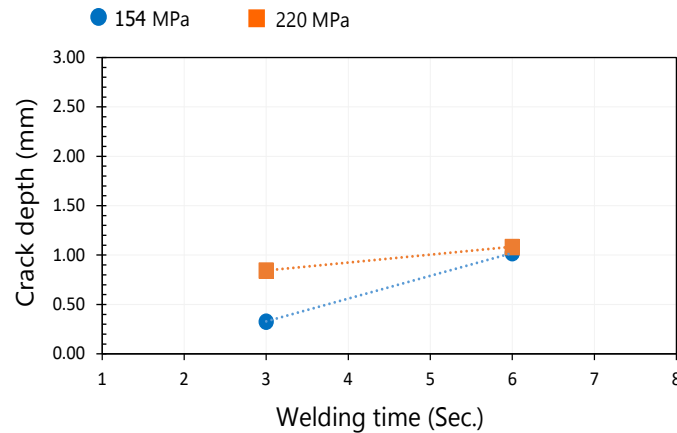
ผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวรอยเชื่อมมีลักษณะสัญญาณคล้ายกับสัญญาณแอมพลิจูดที่ถูกตรวจสอบในแท่งร่องความลึกรอยบกพร่องต้นแบบ (รูปที่ 10) และไม่พบลักษณะของสัญญาณที่แตกต่าง หรือเหมือนกับสัญญาณแอมพลิจูดของรอยเชื่อมที่เกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ในลักษณะความไม่ต่อเนื่องของเนื้อวัสดุแสดงลักษณะแอมพลิจูดของรอยเชื่อมดังรูปที่ 11 พบว่าที่ระดับความเค้นตกค้าง 154 MPa, เวลาเชื่อม 3 วินาที มีค่าความลึกรอยแตกร้าว 0.33 มม. และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับความเค้นตกค้าง และเวลาเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 220 MPa และ 6 วินาที มีค่าความลึกรอยแตกร้าวสูงสุดเท่ากับ 1.08 มม. ซึ่งสอดคล้องกับค่าความยาวรอยแตกร้าวที่ถูกวัดด้วยภาพถ่ายทางกายภาพบนรอยเชื่อม แสดงผลค่าความยาวและความลึกรอยแตกร้าวที่ถูกเชื่อมจุดด้วยเงื่อนไขที่กำหนดดังตารางที่ 6

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค้นและเวลาในการเชื่อมที่ส่งผลต่อรอยแตกร้าว

จากตารางที่ 6 แสดงผลค่าความยาวและความลึกรอยแตกร้าวในแต่ละสภาวะการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวได้ดังกราฟรูปที่ 12 และ 13 พบว่า ความสัมพันธ์เวลาเชื่อม (Welding time) ความยาวรอยแตกร้าว (Crack length) และความลึกรอยแตกร้าว (Crack depth) ของเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ที่เวลาเชื่อม (Welding time) เดียวกัน และระดับความเค้นตกค้าง 154 และ 220 MPa มีรอยแตกร้าวที่สามารถวัดขนาดความยาวและความลึกได้นั้นมีค่าสูงขึ้น เมื่อเวลาเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 3 วินาที เป็น 6 วินาที ที่ระดับความเค้นตกค้างต่างกัน (154 และ 220 MPa) สามารถเกิดรอยแตกร้าวบริเวณจุดเชื่อมที่มีแนวโน้มความยาว และความลึกรอยแตกร้าวสูงขึ้นอย่างชัดเจน จากปัจจัยของเวลาเชื่อมที่สูงขึ้นส่งผลต่อพฤติกรรมการสร้างบ่อหลอมละลายที่เกิดการหลอมซึมลึก (Deep penetration) เพิ่มขึ้นจึงเป็นสาเหตุการเกิดรอยแตกร้าวในรอยเชื่อมในขณะที่รอยเชื่อมแข็งตัว [17]



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อม (Welding time) และความยาวรอยแตกร้าว (Crack length)



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อม (Welding time) และความลึกรอยแตกร้าว (Crack depth)

แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของเวลาเชื่อมส่งผลต่อขนาดของรอยแตกร้าวขณะเย็นตัวของรอยเชื่อมที่ความเค้นตกค้างแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อรอยแตกร้าวสูงที่สุด คือ เวลาเชื่อม (Welding time) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเค้นตกค้างที่ผ่านการเชื่อมจุด เพื่อให้เกิดความร้อนบริเวณรูเจาะของชิ้นงานซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการแตกร้าวรอยเชื่อมซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ S. H. Chen และ Morteza Taheri [18-19]

5. สรุป

- 1) การแตกร้าวรอยเชื่อมที่ขอบรูเจาะพบรอยแตกร้าวจากการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (PT) ทุกเงื่อนไขการเชื่อมที่ถูกกำหนดด้วยระดับความเค้นตกค้าง และเวลาเชื่อมซึ่งวัดความยาวรอยแตกร้าวได้ 0.94-2.31 มม.
- 2) ความลึกรอยแตกร้าวรอยเชื่อมใช้วิธีตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน (ECT) มีลักษณะของสัญญาณอิมพีแดนซ์สอดคล้องกับสัญญาณของร่องความลึกรอยบกพร่องซึ่งมีค่าความลึก 0.33-1.08 มม.
- 3) การเพิ่มขึ้นของขนาดรอยแตกร้าวรอยเชื่อมขึ้นอยู่กับระดับความเค้นตกค้าง และเวลาเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Tharawetcharak, P. Jomthong, C. Pornsing and T. Thonglim, "The Competitive Situation Analysis of Thai Automotive-Part Manufacturers Under Asean Free Trade Area Agreement," *Naresuan University Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 73-82, 2017. (in Thai)
- [2] A. Chaemfa, "Automotive industry," *Industry Update*, GSB Research, pp. 1-6, 2019. (in Thai)
- [3] *Chulalongkorn University Intellectual Property Institute*, "Next Generation Automotive-Intellectual Property Innovation Driven Enterprise (IP IDE Center)" December, 2018.

- [4] N. D. Beskou, S. V. Tsinopoulos, and G. D. Hatzigeorgiou, “Fatigue Cracking Failure Criterion for Flexible Pavements Under Moving Vehicles,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 90, pp. 476–479, 2016.
- [5] Y. Yamashita and Y. Murakami, “Small Crack Growth Model from Low to Very High Cycle Fatigue Regime for Internal Fatigue Failure of High Strength Steel,” *International Journal of Fatigue*, vol. 93, pp. 406–414, 2016.
- [6] J. Hong, L. Jiang, X. Xu, And Y. Ma, “High Cycle Fatigue Failure with Radial Cracks in Gears of Aero-Engines,” *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 33, no. 10, pp. 2620–2632, 2020.
- [7] H. Ma, J. Zeng, R. Feng, X. Pang, Q. Wang, and B. Wen, “Review on Dynamics of Cracked Gear Systems,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 55, pp. 224–245, 2015.
- [8] A. Prateepasen, “Non-Destructive Testing in Welds and Researches.” *Chulalongkorn University Press*, Bangkok, Thailand, 2011.
- [9] Y. Kong, C. J. Bennett, and C. J. Hyde, “A Review of Non-Destructive Testing Techniques for The In-Situ Investigation of Fretting Fatigue Cracks,” *Materials & Design*, vol. 196, p. 109093, 2020.
- [10] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, D. Srikanth, H. Surendran, and M. M. Nickolas, “Non-Destructive Testing (NDT) Techniques for Low Carbon Steel Welded Joints: A Review and Experimental Study,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 3732–3737, 2021.
- [11] E. Mohseni, H. Habibzadeh Boukani, D. Ramos França, and M. Viens, “A Study of The Automated Eddy Current Detection of Cracks in Steel Plates,” *Journal of Non-Destructive Evaluation*, vol. 39, no. 1, 2019.
- [12] B. Helifa, A. Oulhadj, A. Benbelghit, I. K. Lefkaier, F. Boubenider, and D. Boutassouna, “Detection and Measurement of Surface Cracks in Ferromagnetic Materials Using Eddy Current Testing,” *NDT & E International*, vol. 39, no. 5, pp. 384–390, 2006.
- [13] N. Yusa, E. Machida, L. Janousek, M. Rebican, Z. Chen, and K. Miya, “Application of Eddy Current Inversion Technique to The Sizing of Defects in Inconel Welds with Rough Surfaces,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 235, no. 14, pp. 1469–1480, 2005.
- [14] 2021 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Non-Destructive Examination, (ASME SEC.V ARTICLE 8).
- [15] D. W. Tang, C. Y. Wang, Y. N. Hu, and Y. X. Song, “Constitutive Equation for Hardened SKD11 Steel at High Temperature and High Strain Rate Using the SHPB Technique,” *SPIE Proceedings*, 2009.
- [16] V. M. Silva, C. G. Camerini, J. M. Pardal, J. C. Blás, and G. R. Pereira, “Eddy Current Characterization of Cold-Worked AISI 321 Stainless Steel,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 395–401, 2018.

- [17] R. Phaoniam, P. Inprachong and J. Kaewwichit, “Evaluation of Weld Solidification Cracking Resistance Based on High Temperature Ductility Curve”, *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 152-166, 2018. (in Thai)
- [18] S. H. Chen, R. T. Yeh, T. P. Cheng, and I. J. Yang, “Hydrogen Sulphide Stress Corrosion Cracking of Tig and Laser Welded 304 Stainless Steel,” *Corrosion Science*, vol. 36, no. 12, pp. 2029–2041, 1994.
- [19] M. Taheri, S. F. Kashani-Bozorg, V. V. Ramalingam, B. Babaei, and A. Halvaei, “Effect Of Nd:YAG Pulsed-Laser Welding Parameters on Melting Rate of GTD-111 Superalloy Joint,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 30, no. 12, pp. 9108–9117, 2021.

กรณีศึกษาการปรับระดับฐานพิมพ์โดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Case Study of Print Bed Leveling by Bilinear Interpolation in 3D Printers

เอกบดี เมืองกลาง^{1*} นันทวัน ปุงคานนท์¹ กริชเพชร กล้ามะรัตน์¹ ปรีชา สมหวัง¹

กรัณท์กมล ภูครองหิน¹ เทวิล สกกุลบุญยงค์¹ เด่น คอกพิมาย¹ และ พริมา สมหวัง¹

¹สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Ekbodee Muangklang^{1*} Nuntawan Pungkanon¹ Kritphet Klammarat¹ Preecha Somwang¹

Krankamol Phukhronghin¹ Thewin Sakunbunying¹ Den Kogphimai¹ and Pharima Somwang¹

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

Rajamangala University of Technology Isan

Email: Ekbodee.mu@rmu.ac.th*

(Received: January 18, 2023; Revised: June 5, 2023; Accepted: June 6, 2023)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมโดยสามารถขึ้นรูปชิ้นงานจริง ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมด้าน 3 มิติ เมื่อทำการออกแบบชิ้นงานที่ต้องการเสร็จ จัดเตรียมไฟล์งานแบ่งเป็นชั้น จากนั้นแปลงไฟล์ออกเป็นชุดคำสั่งสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X,Y,Z นำไฟล์ชุดคำสั่งป้อนเข้าเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก่อนเริ่มพิมพ์ทั่วไปมีปัญหาการพิมพ์ คือ การปรับระดับฐานพิมพ์ ระยะหัวฉีดกับฐานพิมพ์ และฐานพิมพ์ไม่เรียบ ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ คณะผู้จัดทำได้ทดลองปรับระดับฐานพิมพ์เป็นแบบอัตโนมัติเปรียบเทียบกับวิธีธรรมดาซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากฐานพิมพ์เอียงอยู่ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับระดับฐานพิมพ์โดยติดตั้งชุดเซนเซอร์ตรวจวัดระยะฐานพิมพ์ ทดสอบการวัดค่าฐานพิมพ์ที่จุด โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบเชิงเส้นเทียบกับวิธีการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ สรุปผลการทดลองคือ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบอัตโนมัติสามารถลดปัญหาการพิมพ์ในขั้นแรก โดยมีความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานอยู่ที่ 0.0075 %

คำสำคัญ: ฐานพิมพ์เครื่องพิมพ์ 3 มิติ การปรับระดับฐานพิมพ์เครื่องพิมพ์ 3 มิติ การประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่

Abstract

Nowadays, 3D printers are a necessity in the industry that especially in areas that require actual work piece. It is a design process with 3D programs. After the desired work piece design has been completed that necessary to prepare a work file divided into layers. It is the process of converting the file into a set of instructions for moving in the X, Y, Z axis. The final step is to feed the batch file to the 3D printer. There are four major problems with 3D printing: leveling the print bed, distance between nozzle and print bed and the print base is not smooth that printed piece incomplete. The research team was able to experiment with automatically adjusting the print bed leveling compared to the conventional method, which is inaccurate due to the tilting of the print bed. This research presents the adjustment of the print bed level by installing the

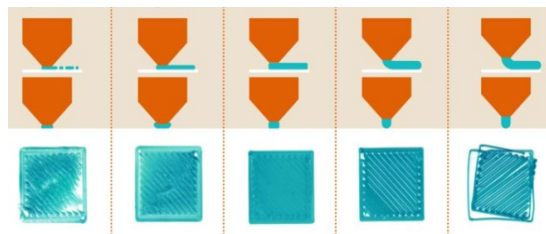
print bed distance sensor. It is the processing of set point a print bed measurement test on the spot. It's linear interpolation versus double linear interpolation. The results show that this method of automatic bed leveling can reduce the problem of first layer printing. The experimental results have a discrepancy of the work piece at 0.0075 %.

Keywords: Print bed 3D printer, Leveling, Bilinear Interpolation

1. บทนำ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติเป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ [1] ที่เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมและการผลิตโดยทั่วไป อาทิ การขึ้นรูปชิ้นส่วนทางกล ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญในงานวิศวกรรม โดยการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [2] จะมีขั้นตอนโดยทั่วไปที่สำคัญเริ่มตั้งแต่ การเลือกวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชนิดต่างๆ อัตราการฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด การปรับระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ และลักษณะของฐานพิมพ์ โดยหลังจากทำการออกแบบชิ้นงานในรูปแบบของโมเดล 3 มิติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไฟล์โมเดล 3 มิติ [3] ที่สมบูรณ์จะถูกทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบ G-code และ M-code เพื่อให้ Firmware สามารถรับข้อมูลแล้วทำการประมวลผลเพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุนเคลื่อนที่ตามพิกัดโคตที่ได้จากการออกแบบ โดยมีรูปแบบลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวแกนแนว X,Y และปรับระดับในแนวแกน Z [4]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [5] ปัญหาที่พบบ่อยโดยทั่วไปจากการขึ้นรูปชิ้นงาน [6] คือ การปรับระดับฐานพิมพ์ไม่ไต่ระดับ [7] ซึ่งอาจเกิดจากฐานพิมพ์ไม่เรียบ บิด โค้ง หรือโก่งงอ จนไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ปัญหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ โดยการปรับระดับการพิมพ์เป็นขั้นตอนเริ่มแรกในกระบวนการขึ้นรูป 3 มิติ โดยลักษณะการปรับระดับระยะการพิมพ์ [8] สามารถสรุปได้ 3 รูปแบบกว้างๆ คือ รูปแบบที่ 1 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่ใกล้เคียงไป เส้นพลาสติกขาด [9] รูปแบบที่ 2 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่เหมาะสม เส้นพลาสติกสมบูรณ์ และรูปแบบที่ 3 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่ห่างกันมากเกินไป เส้นพลาสติกไม่ติดฐานพิมพ์ [10] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการปรับระดับระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ในการพิมพ์ชิ้นแรก [11]

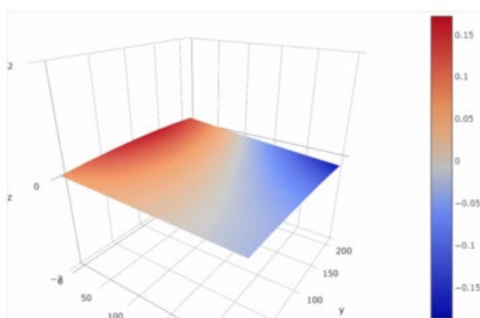
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดปรับปรุงระดับฐานพิมพ์อัตโนมัติ โดยทำการติดตั้งชุดเซนเซอร์วัดระยะในตำแหน่งใกล้กับหัวพิมพ์เพื่อเก็บค่าระดับของฐานพิมพ์ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้จะถูกประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และสั่งให้ชุดควบคุมมอเตอร์หมุนตามทิศทางที่ได้หลังจากโปรแกรมทำการประมวลผลเพื่อทำการชดเชยระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ เพื่อให้การพิมพ์ในชั้นแรกซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่สำคัญนั้นมีเส้นพลาสติกสมบูรณ์ โดยจากผลการทดสอบ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลการชดเชยค่าฐานพิมพ์ซึ่งใช้วิธีปรับระดับฐานพิมพ์แบบธรรมดา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึง การลดปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการพิมพ์ทำให้ชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการการตรวจสอบและปรับระนาบของฐานพิมพ์

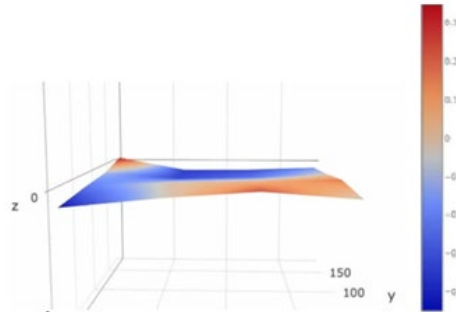
ในการปรับระดับฐานพิมพ์อัตโนมัติสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการปรับระยะหว่างหัวฉีดและฐานพิมพ์ให้เหมาะสม โดยในปัจจุบันการตรวจสอบและปรับระนาบฐานพิมพ์นั้นมีหลายเทคนิควิธีการ ในงานวิจัยนี้จะขอลำถึงวิธีการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน 2 รูปแบบดังนี้

2.1 Mesh based Leveling คือ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบตาข่ายโดยทำการวัดความสูงของฐานพิมพ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อสร้างระนาบตาข่าย 3 มิติ เพื่อแสดงถึงความไม่สมบูรณ์หรือความผิดปกติของฐานพิมพ์ เมื่อกระบวนการชดเชยฐานพิมพ์เริ่มทำงาน หัวฉีดจะทำการปรับระดับในแกน Z+, Z- ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้น ลง พร้อมกับทำการวัดระดับที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนฐานพิมพ์ จากนั้นทำการประมาณค่าแบบ Bilinear Interpolation ซึ่งจะทำให้หัวฉีดเคลื่อนที่ตามส่วนโค้งของฐานพิมพ์ได้ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยเทคนิคนี้ยังสามารถแยกเป็นรูปแบบย่อยอีกได้อีก 3 รูปแบบ คือ 1) Mesh Bed Leveling เป็นการปรับระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบธรรมดาโดยใช้ Feeler Gauge 2) Auto Bed Leveling (Bilinear) คือ การปรับระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบ Bilinear โดยไม่สนใจว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดระยะหรือไม่ และ 3) Unified Bed Leveling คือ การปรับระดับตาข่ายแบบ Bilinear พร้อมกับการวัดระยะจากเซนเซอร์เพื่อใช้สำหรับปรับค่าระนาบให้พอดีกับทั้งฐานพิมพ์

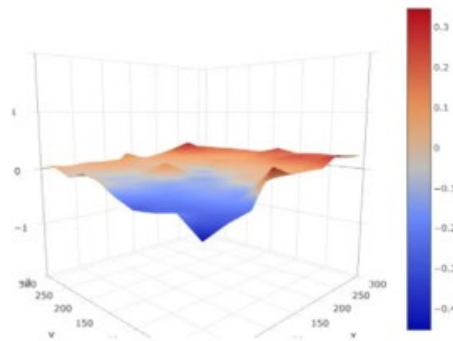
2.2 Matrix based Leveling คือ การปรับระดับความสูงตามเมทริกซ์ความสูงของฐานพิมพ์ โดยทำการวัดระดับ ณ จุดตำแหน่งต่างๆ ในฐานพิมพ์ เพื่อสร้างเมทริกซ์การหมุน ซึ่งเมทริกซ์นี้จะถูกใช้เพื่อหมุนจุดในพื้นที่ระนาบ 3 มิติที่สัมพันธ์กับการเอียงของฐานพิมพ์ ดังนั้น หากพิมพ์วัตถุบนพื้นผิวที่เอียงจะส่งผลให้วัตถุทั้งหมดเอียงตามไปด้วย ซึ่งเทคนิคนี้จะนิยมใช้กับฐานพิมพ์ที่มีลักษณะแบนราบอย่างสมบูรณ์เท่านั้น โดยลักษณะของระนาบที่สร้างขึ้นจากการเก็บข้อมูลของเซนเซอร์ในเทคนิคต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2 Linear Mesh Bed leveling [12]



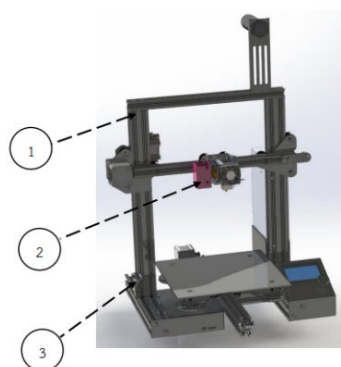
รูปที่ 3 Bilinear Auto Bed leveling [12]



รูปที่ 4 Unified bed leveling [13]

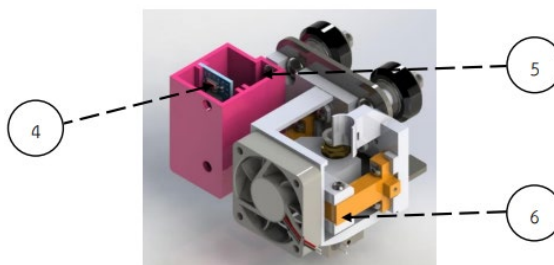
3. วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [14] มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้ 1) ออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Solidwork [15] และทำการบันทึกไฟล์ให้นามสกุลเป็น .STL 2) ทำการแปลงไฟล์ .STL ที่จัดเตรียมไว้แบ่งเป็นชั้น ซึ่งไฟล์ที่แปลงจะกลายเป็นชุดคำสั่งซึ่งออกรหัสเป็น G-code เพื่อให้เครื่องพิมพ์สามารถเคลื่อนที่และพิมพ์ชิ้นงานออกมาได้ 3) ปรับตั้งเครื่องพิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่ง ที่พร้อมสำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X , Y , Z เพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน 4) นำไฟล์ชุดคำสั่ง G-code ป้อนเข้าเครื่องพิมพ์เพื่อให้เครื่องพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตามชุดคำสั่งการทำงาน [16] ตัวอย่างเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 5 โดยมีชิ้นส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย 1) เครื่องพิมพ์ 3 มิติ 2) ชุดตั้งฐานพิมพ์อัตโนมัติ 3) ลิมิตสวิตช์



รูปที่ 5 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ในการสร้างระบบตาข่ายเพื่อชดเชยฐานพิมพ์ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ไว้ที่หัวพิมพ์เพื่อให้เซนเซอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งพื้นที่ฐานพิมพ์และเก็บข้อมูลระยะห่างระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ โดยตัวอย่างลักษณะชุดเซนเซอร์ที่ทำการติดตั้งกับหัวพิมพ์แสดงไว้ในรูปที่ 6 และมีชิ้นส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย 4) บอร์ด Arduino Pro mini 5) ชุดแปลงสัญญาณเซนเซอร์ 6) เซ็นเซอร์วัดระยะ



รูปที่ 6 ชุดเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดฐานพิมพ์

การทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ร่วมกับชุดเซนเซอร์ตรวจวัดระยะฐานพิมพ์ มีขั้นตอนดังนี้ 1) กดเลือกไฟล์คำสั่ง G-Code เครื่องพิมพ์จะกลับเข้าสู่พิกัด Home คือ X0 , Y0 , Z0 2) มอเตอร์เคลื่อนที่กลับสู่พิกัด Z0 ของเครื่องพิมพ์ เพื่อสัมผัสลิฟต์สวิทช์ เปิดการทำงานของวงจรตรวจวัดฐานระดับฐานพิมพ์ 3) เมื่อฐานพิมพ์เริ่มทำงานแบบอัตโนมัติ จะนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดระยะไปบันทึกไว้ที่หน่วยความจำของตัวเครื่อง 4) เมื่อเริ่มพิมพ์ชิ้นงาน เครื่องจะดึงเอาข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาใช้ชดเชยค่าในแกน Z+ , Z- ขณะพิมพ์ชิ้นงาน โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Creality ender3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้พิมพ์ Ultimaker Cura พลาสติกที่ใช้พิมพ์เป็น พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ค่าพารามิเตอร์ที่พิมพ์ คือ ความสูงแต่ละชั้น (Layer height) 0.2 mm ความหนาแน่นชิ้นงาน (Infill Density) 20% ความหนาชั้นบนสุดและชั้นล่างสุด (Top/Bottom Thickness) 0.8 mm กำแพงชิ้นงานหรือความหนาผิวด้านนอก (Wall Thickness) 0.8 mm ความเร็วในการพิมพ์ (Print Speed) 60 mm/s และอุณหภูมิ (Temperature) ในการพิมพ์ 3 มิติ 210 °C

4. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทดสอบเพื่อวัดค่าระยะระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์พร้อมทั้งทำการประมาณค่าเพื่อนำไปสร้างระบบตาข่ายที่ใช้อ้างอิงในการชดเชยระยะในการพิมพ์ และ 2) การทดสอบการพิมพ์ชิ้นงานโดยเปรียบเทียบระหว่างมีการปรับฐานพิมพ์และไม่มีการปรับฐานพิมพ์

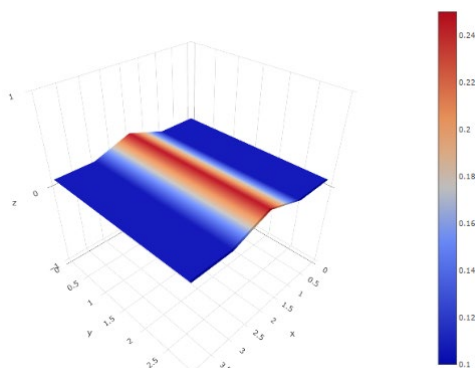
4.1 การทดลองวัดค่าที่จุดแบบธรรมดา

การทดลองปรับระดับโดยวัดระดับฐานพิมพ์แบบทั่วไปโดยใช้ Feeler Gauge ขนาด 0.10 มิลลิเมตร ปรับระดับความห่างระหว่างหัวพิมพ์ 3 มิติกับฐานพิมพ์ โดยวัดระดับที่ขอบฐานพิมพ์ทั้งหมด 5 จุด และวัดระยะห่างของจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของฐานพิมพ์ มีผลการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการวัดปรับระดับฐานพิมพ์แบบทั่วไปโดยใช้ Feeler Gauge

X	1	2	3	4	5
Y					
1	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
3	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1

ซึ่งจากผลการปรับระดับฐานพิมพ์แบบธรรมดา โดยใช้ Feeler Gauge แล้วนำผลการทดสอบมาสร้างเป็นตารางตาข่าย จากนั้นทำการพล็อตกราฟ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7 โดยแสดงให้เห็นถึงการโค้งงอของฐานพิมพ์และเป็นการปรับระดับแบบเชิงเส้น ซึ่งยังคงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความเอียงของฐานพิมพ์อยู่



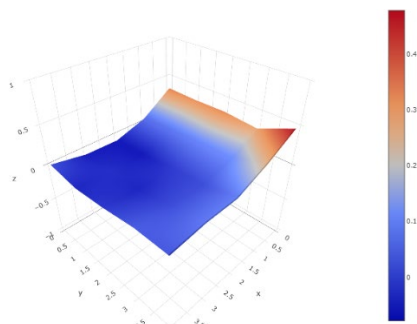
รูปที่ 7 ระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบธรรมดาจากการใช้ Feeler Gauge ปรับระดับ

4.2 การทดลองวัดค่าที่จุดแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

ในการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์สำหรับการปรับระดับฐานพิมพ์แบบวัดค่าที่จุดในช่วงเชิงเส้นคู่ มีผลการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดค่าที่จุดระดับฐานพิมพ์แบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

X	1	2	3	4	5
Y					
1	+0.337	+0.057	-0.078	-0.070	+0.013
2	+0.324	+0.067	-0.077	-0.045	-0.057
3	+0.330	+0.088	-0.028	-0.058	-0.028
4	+0.290	+0.102	+0.003	+0.003	+0.026
5	+0.478	+0.260	+0.088	+0.078	+0.019

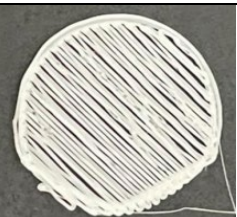
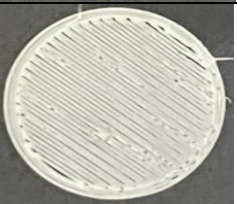


รูปที่ 8 ระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายวัดค่าที่จุดแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

4.3 การทดสอบการพิมพ์ชิ้นงาน

หลังจากทำการวัดค่าระยะห่างระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์เพื่อทำการปรับฐานพิมพ์แล้ว จากนั้นทำการทดสอบพิมพ์ชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างการปรับฐานพิมพ์จากค่าที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น และการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ

ลักษณะ	การพิมพ์ที่ฐานในชั้นแรก
ชนิดฐานพิมพ์	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่	

1) ทดสอบพิมพ์ชิ้นงานแบบธรรมดาในช่วงเชิงเส้น ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 9 จุด และนำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาดความสูง

ตารางที่ 4 ผลจากการวัดชิ้นงานในการพิมพ์แบบธรรมดา

จุดที่	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ทดสอบครั้งที่ 4
1	9.50	10.00	9.76	10.00
2	10.00	10.06	10.00	9.86
3	10.20	10.00	10.10	10.10
4	10.25	9.52	9.70	9.94
5	9.00	9.10	9.00	9.11
6	8.70	9.00	9.98	9.00
7	9.20	10.01	10.30	10.10
8	10.40	9.85	9.98	10.30
9	10.02	10.13	10.11	10.15
เฉลี่ย	9.70	9.74	9.88	9.84
Error (%)	2.1%			

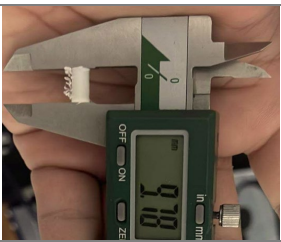
2) ทดสอบพิมพ์ชิ้นงานแบบธรรมดาในช่วงเชิงเส้นคู่ ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 9 จุด และนำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาดความสูง

ตารางที่ 5 ผลจากการวัดชิ้นงานในการพิมพ์แบบอัตโนมัติ

จุดที่	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ทดสอบครั้งที่ 4
1	10.00	10.00	10.01	10.02
2	10.01	10.02	10.02	10.01
3	10.02	10.00	10.00	10.00
4	10.00	10.01	10.03	10.02
5	10.00	10.00	10.00	10.01
6	10.00	10.01	10.00	10.00
7	10.01	10.00	10.01	10.00
8	10.00	10.02	10.00	10.02
9	10.00	10.00	10.00	10.00
เฉลี่ย	10.00	10.01	10.01	10.01
Error (%)	0.0075%			

จากผลการทดสอบการพิมพ์ชิ้นงานในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ในตารางที่ 4 เป็นการพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้รูปแบบการปรับฐานพิมพ์แบบธรรมดา ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนในการพิมพ์อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยวิธีการปรับฐานพิมพ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ตามตารางที่ 5 จะสามารถเห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า มีความแม่นยำสูงกว่า โดยลักษณะการวัดชิ้นงานและบันทึกข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวัดความสูงชิ้นงานเนื่องจากชดเชยแกน Z

ลักษณะ	ความสูง
ชนิดฐานพิมพ์	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่า ในช่วงเชิงเส้น	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่า ในช่วงเชิงเส้นคู่	

5. อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอโมเดลการปรับฐานพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบอัตโนมัติ โดยติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดระยะเพื่อทำการวัดระยะอัตโนมัติและการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ เพื่อสร้างระนาบในการชดเชยการปรับระดับฐานพิมพ์ในแกน Z จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับระดับแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ทำให้ชิ้นงานมีสมบรูณ์กว่าแบบเชิงเส้นและมีความผิดพลาดน้อยกว่า โดยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0075 % ขณะที่วิธีการแบบดั้งเดิมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 % ส่งผลให้เห็นว่าการปรับฐานพิมพ์ด้วยวิธีที่นำเสนอนี้สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการขึ้นรูปชิ้นงาน และชิ้นงานมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจากการปรับระยะอัตโนมัติของหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ที่เหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานและบริษัท 3D Printer Korat ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Rompas, C. Tsirmpas, I. Papatheodorou, G. Koutsouri, and D. Koutsouris, “3D Printing: Basic Concepts Mathematics and Technologies” International Journal of Systems Biology and Biomedical Technologies (IJSBBT), vol. 2, no. 2, pp. 58-71, 2013.
- [2] D. Tripak, P. Pamonsinlapatham, “3D Printing: Technology that Changes the Health World” Thai Pharm Health Sci J., Vol. 10 No. 4, pp.199-206, 2015. (in Thai)
- [3] C. Tachat, “Stereolithography (SLA) 3D Printer Design for Desktop Work Space with Post Printed Organizer Module” M.Eng. (Product Design), Silpakorn University, Thailand, 2017. (in Thai)
- [4] K. Tanlawan, W. Somjai, K. Premprayool and A. Udomvech, “The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning” Thaksin J., vol. 20, no. 3, pp. 245-253, 2017. (in Thai)
- [5] D. Tathong, J. Wonglimpiyarat, “The Effects of Low Cost 3D Printers on Product Development in the

- Industries”NIDA BUSINESS J., vol.24, pp.123-155, 2019. (in Thai)
- [6] N. Thedpitak, “The Three-Dimensional Modeling from Computed Tomography Images by Three-Dimensional Printing” Srinagarind Med J., vol. 34, no. 6, pp.574-577, 2019. (in Thai)
- [7] J. Tongtippayarat, “3D Modeling for Military Simulation Software” Defence Technology Academic J., vol. 2, no. 6, pp.94-105, 2020. (in Thai)
- [8] P. Sirirutbunkajal, C. Pattarmaprom, “Effect of 3D-printed Mold Insert on the Dimensional Stability of Injection Molded Parts” Thai Science and Technology J., vol. 28, no. 10, pp.1903-1915, 2020 (in Thai)
- [9] C. Paenoi, T. Sangpradit, J. Sukonthachart, “The Application of Coordinate Celestial Objects On Celestial Sphere Model Created by 3D Printing Technology to Promote Understanding of Astronomical Concepts” Social Science and Buddhist Anthropology J., vol.6 no.4, pp.241-255, 2021. (in Thai)
- [10] W. Jitwiriya, S. Limrungruengrat, B. Kaewprachum, “Development of an Extruder in the Making of 3D Printing Filament from Recycled Plastics” Industrial Technology Lampang Rajabhat University J., vol. 14, no. 2, pp.87-98, 2021. (in Thai)
- [11] “Bed Leveling Guide by Billie Ruben” DIY 3D Printing. [Online]. Available: <http://diy3dprinting.blogspot.com/2019/07/bed-leveling-guide-by-billie-ruben.html>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [12] “Auto-Leveling 3D Printer” ALL3DP. [Online]. Available: <https://all3dp.com/2/auto-leveling-3d-printer-do-i-really-need-it>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [13] “Unified Bed Leveling (UBL)” 3D Maker Engineering. [Online]. Available: <https://www.3dmakerengineering.com/blogs/3d-printing/unified-bed-leveling-marlin>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [14] D. Naprasert, “Shear Bond Strength of Relining Materials Bonded to 3D Printed Provisional Crown Material” The Department of Medical Services J., vol. 47, no. 4, pp.101-107, 2022. (in Thai)
- [15] S. Samrit, P. Rojanarat, S. Posritong, “Shear Bond Strength between 3D Printing UDMA Denture Base Material andthe Hard Relining Material” The Department of Medical Services J., vol. 48, no. 1, pp.60-66, 2023. (in Thai)
- [16] V. Rasmidatta, “Effective Design Process for 3D Printing” DEC J., vol. 1, no. 3, pp.187-211, 2023 (in Thai)

การเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 6061

Friction Stir Spot Welding of SSM 6061 Aluminium Alloy

ชัยยุทธ มีงาม^{1*} ศุภชัย ชัยณรงค์¹ ยงยุทธ ดุลยกุล² และ เดช เหมือนขาว²¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา จังหวัดสงขลา 90000Chaiyoot Meengam^{1*} Suppachai Chainarong¹ Yongyuth Dunyakul² and Dech Maunkhaw²¹Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla 90000²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkhla, Songkhla 90000Corresponding author Email: Chaiyoot.me@skru.ac.th^{*}

(Received: January 15, 2023; Revised: June 12, 2023 Accepted: June 12, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง SSM 6061 ซึ่งมีตัวแปรในการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบที่ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 30, 45 และ 60 วินาที และระยะกดลึก 2.4 มิลลิเมตร จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานแบบจุดมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดการบิดตัวหรือแตกร้าวของชิ้นงาน และชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดมีแนวโน้มที่ยึดติดได้ดี สมบัติทางด้านแรงดึงเนื่องจากการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด อยู่ที่ 251.5 MPa จากตัวแปรที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 30 วินาที และที่ตัวแปรความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60 วินาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดที่ 132.07 MPa ตามลำดับ สำหรับสมบัติทางด้านความแข็งแสดงให้เห็นว่าบริเวณรอยเชื่อมที่ถูกควมมีค่าความแข็งที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งเดิมของวัสดุ เมื่อความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 59.95 HV และความแข็งเดิมของวัสดุ 54.38 HV ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคไปในทิศทางที่ดี ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานดีขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลของความแข็งแรงดึงด้วยวิธีการทางสถิติที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 98.42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมาจากตัวแปรที่ควบคุมได้ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอีก 1.58 เปอร์เซ็นต์ มาจากตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบจุด อะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง SSM 6061 โครงสร้างจุลภาค สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

Abstract

The research aims to study friction stir spot welding (FSSW) of semi-solid metal 6061 aluminum alloy. For parameters in experimental such as rotation speed at 380, 760, 1240 and 2500 rpm, holding time 30, 45 and 60 second and depth of plunge 2.4 millimeter. The experiments show that the physical characteristics of the specimen from FSSW are complete; there was no distortion or cracking in of the specimen. Which the specimens after FSSW process are likely to produce a very good weld. The maximum shear strength average

was 251.5 MPa from rotational speed of 1240 rpm and holding time 30 second. On the other hand, from rotational speed of 2500 rpm and holding time 60 second gives minimum shear strength average was 132.07 MPa respectively. The results shown that a have increase hardness in stir zone, when maximum hardness was 59.95 HV and hardness of base materials was 54.38 HV. Characteristics of microstructure in the stir zone are changed in a favorable direction, as a result mechanical properties of the specimen well. The analysis of the data retrieval shears strength by statistical confidence level of 95 percent shows that the coefficient of determination (R^2) was 98.42 percent, which comes from controllable and coefficient of determination was 1.58 percent from uncontrollable in experimental.

Keywords: Friction Stir Spot Welding, SSM 6061 Aluminium Alloy, Microstructure, Coefficient of determination

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานเสียดทานแบบจุด (Friction Stir Spot Welding) เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็ง เกิดขึ้นที่สถาบันงานเชื่อมของประเทศอังกฤษ (The Welding Institute, TWI) [1] ซึ่งกระบวนการเชื่อมนี้ถูกประยุกต์มาจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) โดยอาศัยการเสียดทานของผิวชิ้นงานกับหัวเชื่อม (Tool Pin) จนทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานเกิดความร้อน และใช้แรงกดเพื่อให้ชิ้นงานเกิดความที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุทั้งสองเกิดการอ่อนตัวจนนำไปสู่ยึดติดกันของชิ้นงาน การเชื่อมเสียดทานแบบจุดมีข้อดีหลายข้อด้วยกัน เช่น ไม่จำเป็นต้องเติมโลหะเชื่อม การเชื่อมเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ โดยมีตัวแปรในการเชื่อม คือ ความเร็วหมุนเชื่อม (Rotation Speed) เวลาในการกดแช่ (Dwell Time) และแรงกด (Pressure) เป็นต้น อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่มักจะนำกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุดใช้สำหรับการเชื่อมในอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industries) [2] เนื่องจากใช้สำหรับการเชื่อมโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก นอกจากนั้นวัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ส่วนใหญ่จะมีน้ำหนักเบา ได้แก่ แมกนีเซียม อะลูมิเนียม เป็นต้น โดยเฉพาะอะลูมิเนียมที่นำมาใช้งานหลายเกรดด้วยกัน เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งอะลูมิเนียม เกรด 6061 ก็เป็นอีกเกรดที่นำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ล้อแมค หรือชิ้นส่วนต่างๆ ที่รับแรงกระทำที่สูง เพราะคุณสมบัติที่เบาและมีความแข็งแรงสูงเมื่อนำไปใช้งาน นอกจากนั้นอะลูมิเนียม เกรด 6061 ยังถูกนำไปใช้งานในชิ้นส่วนหรืออุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอากาศยาน (Aircraft industries) ตัวรถไฟหรือตู้โดยสาร (Body or Passenger car) เป็นต้น [3] อย่างไรก็ตามการต่อ (Joint) อะลูมิเนียมเข้าด้วยกันมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตที่สูง และสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรที่มีความเหมาะสมในการเชื่อมเพื่อนำไปสู่คุณภาพที่ดีของแนวเชื่อม และนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

จากข้อมูลและเหตุผลดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยจะศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมเสียดทานแบบจุด และทดสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อม (Weld Zone) เช่น ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง เป็นต้น ทดสอบสมบัติทางโลหะวิทยา และนำผลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในงานเชิงวิศวกรรมและประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6061 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

2.2. เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค มหภาคของแนวเชื่อมหลังจากกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

2.3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึง การทดสอบความแข็ง จากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของ อะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6061

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. อะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061

อะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด SSM 6061 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยวัสดุอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ผ่านการหล่อขึ้นรูปในสถานะแบบกิ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS (Gas Induce Semi Solid) พบว่าการหล่อด้วยเทคนิค GISS เมื่ออุณหภูมิถึง 658 องศาเซลเซียส จะใช้แก๊สเฉื่อยผ่านแท่งกราไฟต์พูน (แก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจน) เป็นเวลา 10 วินาที และพักน้ำโลหะเป็นเวลา 30 วินาที ก่อนเทน้ำโลหะลงในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แล้วอัดด้วยความดันประมาณ 80 MPa ค้างไว้จนโลหะแข็งตัว ได้เป็นชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 100 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 [4]

Alloying Element (wt %)								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.25	0.15	0.35	Bal.

3.2. การเชื่อมเสียดทานแบบจุด

ลักษณะการจับยึดแผ่นอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 หลังจากการกัดที่ได้ขนาดแล้ว ใช้ปากกาจับงานให้วางอุปกรณ์รองชิ้นงาน (Jig) แล้ววางชิ้นงาน 2 ชิ้น ที่จุดเชื่อมให้ซ้อนชิ้นงาน 28 มิลลิเมตร เพื่อจะเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบจุด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การจับยึดชิ้นงานแบบต่อเกย

การกำหนดตัวแปรและการออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 นั้นมีหลายปัจจัยด้วยกัน ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของรอยเชื่อมจะประกอบด้วย รูปแบบของเครื่องมือเชื่อม ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อม แรงกด และชนิดของวัสดุที่นำมาเชื่อม แต่สำหรับงานวิจัย

ครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้สองปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อม และเวลาในการกัดแซ่ที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้งสองปัจจัยถูกออกแบบให้เป็นตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งจะสนใจว่าตัวแปรเหล่านั้นจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อมมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยอื่น ๆ ในการทดลองด้วย โดยกำหนดให้เป็นปัจจัยคงที่ในการเชื่อมเสียตามแบบจุด ได้แก่ ความหนาของวัสดุขนาด 4 มิลลิเมตร ระยะกดลึงที่ 2.4 มิลลิเมตร แรงกดและรูปทรงของเครื่องมือกลึง เป็นต้น สำหรับปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ คณะผู้วิจัยได้กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลอง ทั้งความเร็วรอบในการเชื่อมเสียตามแบบจุด ระยะเวลาในการกัดแซ่ ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของชิ้นงาน

การกำหนดขนาดตัวอย่าง สำหรับค่า Estimate และ Minimum Effect (D) สามารถหาค่าได้จากผลของการทดลองที่เกี่ยวข้องหรือค่าที่มีการแนะนำให้ใช้ หรือการทดลองเบื้องต้น ในกรณีงานวิจัยครั้งนี้ไม่มีข้อมูลของการทดลองอื่นหรือมีข้อมูลอื่น ๆ มาสนับสนุนในการประมาณค่าที่ต้องการ จึงเลือกวิธีการทดลองการเชื่อมเบื้องต้นก่อน เพื่อหาค่าดังกล่าว โดยทำการทดลองเชื่อมชิ้นงานและกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมเหมือนกับแผนการทดลองแบบสุ่ม และเชื่อมเบื้องต้น 1 ชั่วโมง จำนวน 12 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการเชื่อมไปเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึงเดือนตามมาตรฐาน ASTM-E8M [5] และทดสอบชิ้นงานด้วยแรงดึงเดือน เก็บข้อมูลในส่วนของคุณค่าแรงดึงเดือนสูงสุด เพื่อหาค่าความแตกต่างของข้อมูล และใช้สำหรับกำหนดค่า Minimum Effect (D) หลังจากนั้นนำค่าดังกล่าวมาประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลทางสถิติ เพื่อหาค่า Estimate และขนาดของตัวอย่าง (n) ที่จะใช้กำหนดการทดลองจริงต่อไป

ตารางที่ 2 การออกแบบแผนการทดลองเชื่อมชิ้นงานแบบสุ่ม

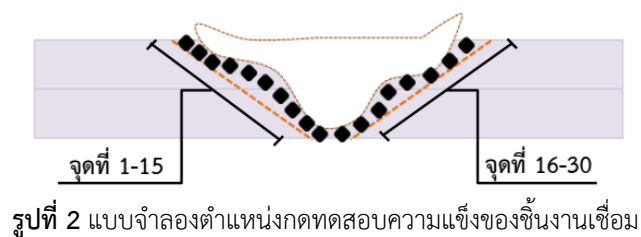
StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Rotation Speed	Time	StdOrder
24	1	1	1	2500	60	24
26	2	1	1	380	45	26
30	3	1	1	760	60	30
3	4	1	1	380	60	3
20	5	1	1	1240	45	20
23	6	1	1	2500	45	23
35	7	1	1	2500	45	35
19	8	1	1	1240	30	19
13	9	1	1	380	30	13
11	10	1	1	2500	45	11
25	11	1	1	380	30	25
28	12	1	1	760	30	28
8	13	1	1	1240	45	8
17	14	1	1	760	45	17
18	15	1	1	760	60	18
10	16	1	1	2500	30	10
5	17	1	1	760	45	5
32	18	1	1	1240	45	32
34	19	1	1	2500	30	34

ตารางที่ 2 การออกแบบแผนการทดลองเชื่อมชิ้นงานแบบสุ่ม (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Rotation Speed	Time	StdOrder
14	20	1	1	380	45	14
24	1	1	1	2500	60	24
26	2	1	1	380	45	26
30	3	1	1	760	60	30
3	4	1	1	380	60	3
20	5	1	1	1240	45	20
23	6	1	1	2500	45	23
35	7	1	1	2500	45	35
19	8	1	1	1240	30	19
13	9	1	1	380	30	13
11	10	1	1	2500	45	11
25	11	1	1	380	30	25
28	12	1	1	760	30	28
8	13	1	1	1240	45	8
17	14	1	1	760	45	17
18	15	1	1	760	60	18
10	16	1	1	2500	30	10
5	17	1	1	760	45	5
32	18	1	1	1240	45	32
34	19	1	1	2500	30	34
14	20	1	1	380	45	14

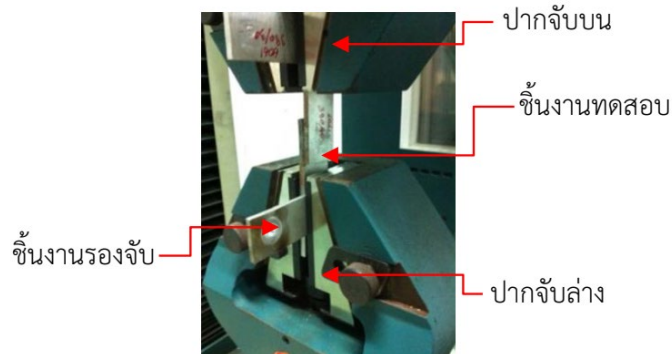
3.3. การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบความแข็ง การทดสอบความแข็งจะทดสอบแบบวิกเกอร์ส ด้วยการใช้หัวเพชรรูปทรงพีระมิด มุม 136 องศา ในการกดชิ้นงาน ซึ่งตำแหน่งที่กดความแข็งจะกดรอบ ๆ รอยเชื่อม จำนวน 30 จุด โดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 0.4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ซึ่งชิ้นงานทั้งสองชิ้นที่เชื่อมต่อกันจะอยู่ในลักษณะต่อเกยกัน ชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือนถูกนำไปทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึง 1.67 มิลลิเมตร/วินาที เป็นการทดสอบชิ้นงานแบน ซึ่งการทดสอบจะอ้างตามมาตรฐาน

การทดสอบแรงดึงเฉือนมาตรฐาน JIS Z3136 ทดสอบด้วยเครื่องยี่ห้อ NARIN รุ่น NRI-CPT500-50 ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนหลังการเชื่อมต่อไปเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงเฉือนให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Strengths)

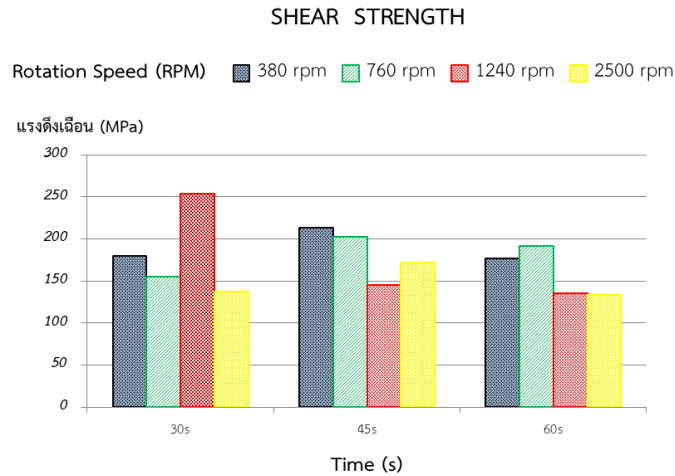


รูปที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1. ผลทดสอบแรงดึงเฉือน

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเชื่อมและเวลาในการกดแช่ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนในแต่ละตัวแปรของการทดลอง ผลการแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนหลังการเชื่อมทุก ๆ การทดลอง มีผลการทดลองที่ดี โดยขั้นตอนยึดติดกัน ในทุกตัวแปรของการทดลอง ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 30 วินาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุด คือ 251.5 MPa เนื่องจากลักษณะโครงสร้างมีการประสานกันดี ไม่พบจุดบกพร่องจากการเชื่อมเสียตามแบบจุด ในทางตรงกันข้ามค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60 วินาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 132.07 MPa ซึ่งมาจากความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่น้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 30 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกันของทั้งสองการทดลอง อย่างไรก็ตามในตัวแปรการเชื่อมที่เวลาในการกดแช่ 45 วินาที แสดงให้เห็นว่ามีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ยใกล้เคียงกันในทุก ๆ ความเร็วหมุนเชื่อม โดยที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ย 221.50 MPa ที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ย 197.83 MPa ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ย 147.67 MPa และที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ย 168.10 MPa ตามลำดับ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของตัวแปรเหล่านี้มีลักษณะที่คล้าย ๆ กัน และความร้อนสะสมที่เกิดในระหว่างการเชื่อมก็แตกต่างกันด้วย สำหรับเวลาในการกดแช่ 60 วินาที ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ยจะอยู่ที่ 178.33, 190.53, 135.83 และ 132.07 MPa จากความเร็วที่ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที ตามลำดับ อีกสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ได้นั้นมาจากขนาดความกว้างของรอยเชื่อม [6] โดยรอยเชื่อมที่กว้างสามารถรับแรงดึงได้ดี ในทางกลับกันรอยเชื่อมที่มีขนาดเล็กและแคบจะส่งผลต่อการรับแรงดึงที่ไม่ดี อย่างไรก็ตามขนาดของแนวเชื่อมก็มาจากการสร้างองค์ประกอบของความร้อนในการเชื่อม ซึ่งมาจากการทดลองในแต่ละตัวแปรที่แตกต่างกัน สำหรับการเชื่อมเสียตามแบบจุด การสร้างความร้อนเพื่อให้เนื้อวัสดุเกิดการอ่อนตัวเป็นเรื่องสำคัญ [7] เพราะจะส่งผลต่อการยึดติด และมีผลต่อสมบัติทางด้านแรงดึงของชิ้นงานหลังการเชื่อมอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงแรงดึงเฉือน

4.2. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ตั้งสมมุติฐานการทดลองเพื่อพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วม (Interaction Effects) ที่ 2 ปัจจัย เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีผลการทดลองดังแสดงต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ คือ ความเร็วรอบของกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบแตกต่างกัน

- ทดสอบสมมติฐานอิทธิพลของระยะเวลาการกดแท่น

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ ระยะเวลาการกดแท่น

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแท่นไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแท่นแตกต่างกัน

พิจารณาที่ 2 Factor Interaction Effect

- ทดสอบอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและเวลาในการกดแท่น

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของอันตรกิริยา ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3$)

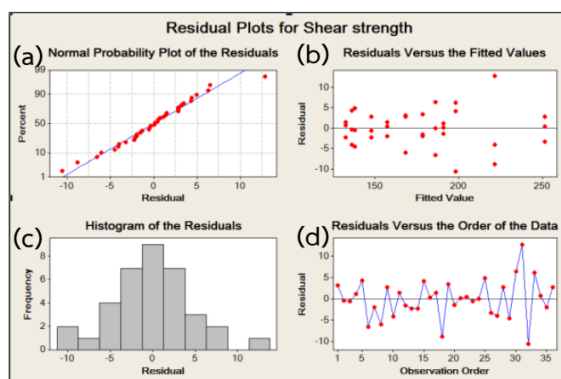
$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของอันตรกิริยา ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3$)

วิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม เป็นเส้นตรง และการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ในลักษณะใด จากรูปที่ 5(a) เพื่อให้มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะการควบคุมโดยพิจารณา ดังนี้

1) พิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูลโดยดูจากกราฟ Residual Versus the Order of the Data ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่มอยู่ภายใต้พิกัดควบคุมหรือไม่ จากลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญจากรูปที่ 5(d) ดังกล่าวไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

2) พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากข้อมูลมีมากถึง 36 ตัว จึงพิจารณาจาก Histogram of the Residuals จากรูปที่ 5(c) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงการกระจายตัวแบบ Normal Distribution จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

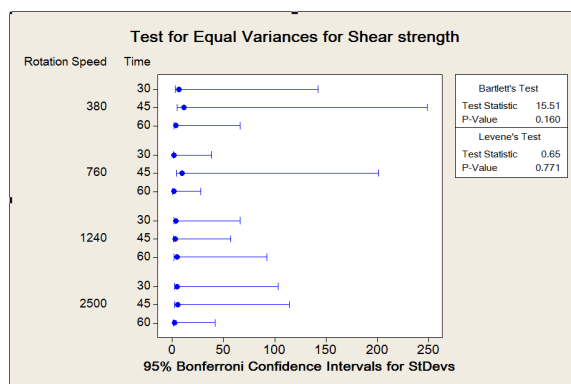
3) พิจารณาข้อมูลรอบค่าศูนย์ลักษณะการกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์จาก (Model Adequacy Checking) ดังแสดงในรูปที่ 5(b) ลักษณะข้อมูล Residuals Versus the Fitted Values ที่ได้มีบางค่าที่กระจายตัวออกจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง มีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง

ทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

จาก Bartlett's Test ผลการคำนวณที่ได้ดังรูปที่ 6 ยอมรับ เนื่องจากค่า P-Value = 0.771 ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า = 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 12 ครั้ง มีค่าเท่ากัน หรือมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน

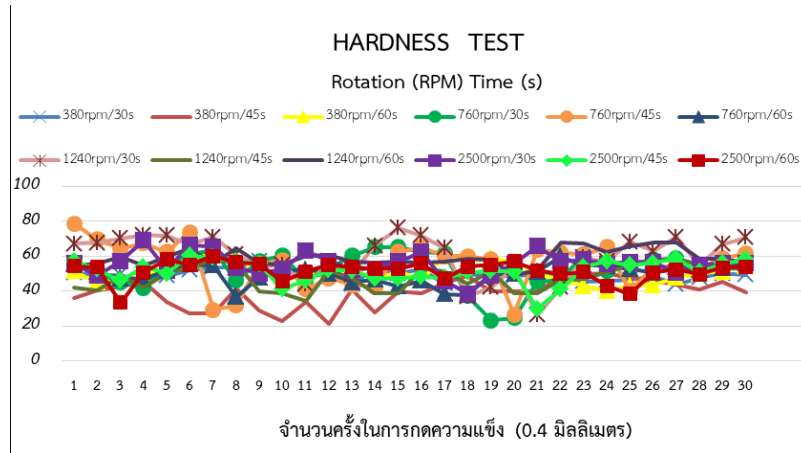
จากการวิเคราะห์ข้อมูลของความแข็งแรงดึงเฉือนตามปัจจัยต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 98.42 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ ความผันแปรต่าง ๆ ของการทดลองที่สามารถควบคุมได้ (Controllable) เช่น ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือเชื่อม อุปกรณ์หรือปัจจัยต่าง ๆ ที่มีส่วนในการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบจุดและถูกกำหนดให้คงที่ในการทดลอง ในทางตรงกันข้ามส่วนที่เหลือประมาณ 1.58 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) เช่น สภาพอากาศที่ทดลอง อุณหภูมิความร้อนแวดล้อม หรือความชื้นในการเชื่อม ซึ่งเป็นผลมาจากการทดลอง [8] สำหรับสภาพอากาศที่ทดลอง อุณหภูมิความร้อนแวดล้อม หรือความชื้นในการเชื่อมเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในขณะเชื่อมเสียดทานแบบจุด ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการเชื่อมในสภาวะของแข็ง การเกิดความร้อนในขณะเชื่อมเกิดขึ้นยาก ต้องอาศัยลักษณะการเสียดทานทางกล ดังนั้นการเกิดการสูญเสียความร้อนจากความชื้น สภาพลมพัดในขณะเชื่อมหรือสภาวะฝนตกนั้นขณะเชื่อม ก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงดึงเฉือน อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ครั้งนี้ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและเวลาในการกดแช่

Analysis of Variance for Shear Strength, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rotation speed	3	11759.5	11759.5	3919.8	132.38	0.000
Holding time	2	4702.5	4702.5	2351.3	79.41	0.000
Rotation speed*Holding time	6	27860.8	27860.8	4643.5	156.82	0.000
Error	24	710.6	710.6	29.6		
Total	35	45033.5				
S = 5.44151 R - Sq = 98.42% R - Sq (adj) = 97.70%						

4.3. ผลการทดสอบความแข็งแรง

ผลการทดสอบความแข็งแรงรวมในทุกตัวแปรของการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 30, 45 และ 60 วินาที ตามลำดับ การทดลองแสดงให้เห็นว่าบริเวณรอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเนื้อโลหะเดิมเพียงเล็กน้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมขึ้นขึ้นอยู่กับความเร็วยรอบและเวลาในการกดแช่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของชิ้นงาน เมื่อเพิ่มเวลาในการกดแช่มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการเพิ่มความเร็วยรอบที่สูงขึ้นก็มีแนวโน้มที่ทำให้ความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาทีกลับมีค่าความแข็งแรงเพิ่มเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเกิดการสูญเสียความร้อนในการหมุน (Heat Loss) เพราะฉะนั้นค่าความแข็งแรงหลังจากการเชื่อมมีผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเชื่อม [9] ในทางตรงกันข้ามตัวแปรที่เชื่อมเสียดทานแบบจุดแล้วทำให้ความร้อนในระหว่างการเชื่อมมีน้อย มีแนวโน้มที่ทำให้ความแข็งแรงน้อยด้วย เพราะโครงสร้างจุลภาคจะเกิดการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีพลังงานกระตุ้นมาทำให้ห่อหุ้มเกิดการเคลื่อนที่ จนเกิดการเรียงตัวใหม่ที่เป็นโครงสร้างแบบใหม่ที่เปลี่ยนไปหลังการเชื่อม [10] อย่างไรก็ตามความแข็งแรงที่สูงมากก็ไม่ส่งผลดีมากนัก เพราะมีความเสี่ยงที่จะทำให้ชิ้นงานเปราะ และอาจนำไปสู่การเกิดรอยแตกเร็วหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดได้ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

4.4. ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคที่ตัวแปรความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกัดแซ่ 30 วินาที ที่กำลังขยาย 100 เท่า ผลการทดลองให้เห็นว่าความเร็วในการเชื่อมและเวลาในการกัดแซ่ต้องมีการสัมพันธ์ที่เหมาะสม จึงจะทำให้รอยเชื่อมเกิดการยึดติดที่สมบูรณ์กันดี ลดการเกิดจุดบกพร่องในการเชื่อม จากรูปที่ 8 (ตำแหน่งที่ 1 และ 3) แสดงให้เห็นว่าตะเข็บรอยต่อของชิ้นงานเชื่อมประสานกันดี โดยส่งผลมาจากตัวแปรในการทดลอง จะเห็นได้ว่าด้าน Advancing side ของชิ้นงาน และด้าน Retreating side มีการกำจัดตะเข็บรอยต่อที่ดี เนื่องจากความร้อนในขณะเชื่อมเพิ่มตามระยะเวลาในการกัดแซ่ชิ้นงานหรือการเพิ่มความเร็วหมุนในการเชื่อม ซึ่งการเพิ่มทั้งสองตัวแปรนี้ส่งผลให้เกิดความร้อนเข้า (Heat input) ในขณะเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่สูงขึ้นด้วย สามารถช่วยให้เนื้อวัสดุของชิ้นงานเชื่อมไหลตัวได้ดี นำไปสู่การยึดติดที่ดีขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามบริเวณรอยเชื่อมพบว่าการเชื่อมที่สมบูรณ์ ไม่พบช่องว่างหรือจุดบกพร่อง สาเหตุจากบริเวณรอยเชื่อมสามารถเกิดความร้อนที่ดีในระหว่างการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 8 (ตำแหน่งที่ 2) สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบจุดตัวแปรความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกัดแซ่ 30 วินาที สังเกตได้ว่าขนาดโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมมีขนาดเล็กกว่าตัวแปรอื่น ๆ เนื่องจากแรงที่กระทำจากการหมุน ซึ่งลักษณะแรงที่กระทำจะเป็นแรงเฉือน (Shear Force) [11]



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาเชื่อม 30 วินาที

ในทางตรงกันข้าม โครงสร้างจุลภาคที่ตัวแปรความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกัดแซ่ 60 วินาที ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าชิ้นงานหลังการเชื่อมมีตะเข็บช่องว่างจากการเชื่อม ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความร้อนของด้าน Advancing side และด้าน Retreating side ดังแสดงในรูปที่ 9 (ตำแหน่งที่ 1 และ 3) เนื่องจากเวลาที่นานเกินไปหรือความเร็วรอบที่สูงเกินไปอาจเสี่ยงที่จะทำให้ชิ้นงานไม่ยึดติด เพราะจะเกิดการสูญเสียความร้อนของชิ้นงานในขณะการเชื่อมเสียดทานแบบ

จุด ในขณะที่บริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานก็ประสานกันได้ดี ไม่พบจุดบกพร่องหลังการเชื่อม [12] ดังแสดงในรูปที่ 9 (ตำแหน่งที่ 2) ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่ปราศจากจุดบกพร่องหลังการเชื่อมเสียทานแบบจุดมาจากความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและเวลา กัดแช่ที่เหมาะสม โดยปัจจัยทั้งสองส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคทั้งทางด้านรูปร่างของโลหะผสมหรือขนาดของ เกรนที่เปลี่ยนแปลงไป ในทางตรงกันข้ามความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและเวลากัดแช่สูงมาก อาจส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นงาน และความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม เนื่องจากความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและเวลากัดแช่เป็นกลไกที่ก่อตัวของความร้อนในขณะ เชื่อมเสียทานแบบจุด ดังนั้นเมื่อความร้อนในขณะเชื่อมสูงเกินไป นำไปสู่การผลึกเนื้อโลหะที่อ่อนตัวออกจากบริเวณรอยเชื่อม ส่งผลให้เกิดเป็นข้อบกพร่องจากการเชื่อม หรือความร้อนที่สูงเกินไปอาจนำไปสู่การบิดเบี้ยวของชิ้นงานหลังการเชื่อม ในขณะที่ ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและเวลากัดแช่ต่ำ ส่งผลให้ชิ้นงานได้รับความร้อนน้อย นำไปสู่การไม่ยึดติดของชิ้นงาน โครงสร้าง ภายในบริเวณรอยเชื่อมเกิดจุดพองพร่อง สุดท้ายนำไปสู่การยึดติดของชิ้นงานที่ไม่แข็งแรงเพียงพอ



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาเชื่อม 60 วินาที

5. สรุปผล

การเชื่อมเสียทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 พบว่ารอยเชื่อมประสานกันดีในทุกตัวแปรของการทดลอง ชิ้นงานไม่เกิดการแตกร้าวและไม่เกิดการบิดตัวของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียทานแบบจุด ลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค โดยความร้อนและแรงกดทำให้เฟส Mg_2Si การแตกหักเล็กลงกระจายทั่วรอย เชื่อมจนเป็นโครงสร้างที่ละเอียด เรียกว่า “Fine Structure” และโครงสร้างบางส่วนที่เกิดผสมผสานกัน เรียกว่า “Mix Zone” ซึ่ง จะมีลักษณะเกรนแบบหยาบ สำหรับด้าน Advancing side และด้าน Retreating side แรงทำให้เกรนก่อนกลมเกิดการยึดตัวตาม แนวแรงหรือทิศทางของการหมุน เรียกว่า “Flow Zone” บริเวณเหล่านี้จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปจากเกรนก่อนกลมไปสู่การยึด ของเกรน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและเวลากัดแช่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค โดยปัจจัยทั้ง สองต้องมีความเหมาะสม จึงจะสามารถกำจัดจุดบกพร่องหลังการเชื่อมได้สมบูรณ์ ผลการทดลองสมบัติทางด้านแรงดึงเดือนหลัง การเชื่อมแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงดึงเดือนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 251.5 MPa จากตัวแปรที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และ เวลาในการกัดแช่ 30 วินาที และที่ตัวแปรความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกัดแช่ 60 วินาที มีค่าความแข็งแรงดึง เดือนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 132.07 MPa ตามลำดับ สมบัติทางด้านความแข็งแรงหลังการเชื่อมเสียทานแบบจุดแสดงให้เห็นว่าบริเวณรอย เชื่อมที่ถูกควมมีค่าความแข็งแรงที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงเดิมของวัสดุ เมื่อความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 59.95 HV และความแข็งแรง เดิมของวัสดุ 54.38 HV สำหรับบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนมีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ การ วิเคราะห์ข้อมูลของความแข็งแรงดึงเดือนด้วยวิธีการทางสถิติที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 98.42 เปอร์เซนต์ มาจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือเชื่อมและอื่น ๆ ที่ควบคุมได้ ส่วนปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ สภาพอากาศที่ทดลอง อุณหภูมิความร้อนแวดล้อมและความชื้นในการเชื่อมมีค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ อยู่ที่ 1.58 เปอร์เซนต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.-S. Jeon, S.-T. Hong, Y.-J. Kwon, H.-H. Cho, and H. N. Han, “Material Properties of Friction Stir Spot Welded Joints of Dissimilar Aluminum Alloys,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 22, pp. 605–613, 2012.
- [2] S. Venukumar, S. Yalagi, and S. Muthukumaran, “Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Conventional and Refilled Friction Stir Spot Welds in AA 6061-T6 Using Filler Plate,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 23, no. 10, pp. 2833–2842, 2013.
- [3] S. Toshiya, M. Kenzo, Y. Shyuhei and I. Kenji, “Friction Stir Spot Welding of Pure Aluminium Sheet in View of High Temperature Deformation,” *Transactions of JWR*. vol. 40, no. 2, pp. 1–5, 2011.
- [4] R. Burapa, S. Janudom, T. Chuchee, R. Canyook, and J. Wannasin, “Effects of Primary Phase Morphology on Mechanical Properties of Al-Si-Mg-Fe Alloy in Semi-Solid Slurry Casting Process,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. vol. 20, no. 3, pp. s857–s861, 2010.
- [5] *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM E8/E8M-09, 2019.
- [6] Y. C. Chen, A. Gholinia and P. B. Prangnell, “The Effect of a Paint Bake Treatment on Joint Performance in Friction Stir Spot Welding AA6111-T4 Sheet Using a Pinless Tool,” *Materials Chemistry and Physics*. vol. 141, pp. 768–775, 2013.
- [7] Y.F. Sun, H. Fujii, N. Takaki and Y. Okitsu, “Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Al Alloy/Steel Joints Prepared by A Flat Spot Friction Stir Welding Technique,” *Materials and Design*. vol. 47, pp. 350–357, 2013.
- [8] J. M. Piccinia and H. G. Svoboda, “Effect of Pin Length on Friction Stir Spot Welding (FSSW) of Dissimilar Aluminum-Steel Joints,” *Procedia Materials Science*. vol. 9, pp. 504–513, 2015.
- [9] H. Liu, Y. Zhao, X. Su, L. Yu, and J. Hou, “Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded 2A12-T4 Aluminum Alloy,” *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1–10, 2013.
- [10] R. S. Mishra and Z. Y. Ma, “Friction Stir Welding and Processing,” *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 50, no. 1-2, pp. 1–78, 2005.
- [11] X. W. Yang, T. Fu, and W. Y. Li, “Friction Stir Spot Welding: A Review on Joint Macro- and Microstructure, Property, and Process Modelling,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2014, pp. 1–11, 2014.
- [12] J.Y. Cao, M. Wang, L. Kong, L.J. Guo, “Hook Formation and Mechanical Properties of Friction Spot Welding in Alloy 6061-T6,” *Journal of Materials Processing Technology*. vol. 230, pp. 254–262, 2016.

การศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป

A study of Compression Molding Process for Fruit Fork from Starch

ธีรวัฒน์ แสงภาส¹¹หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 128 ถนนห้วยแก้ว

อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Teerawat Sangkas¹¹Department of Tools and Die Engineering Faculty of Engineering, 128 HuayKaew Road,

Muang, Chiangmai, 50300

Corresponding author Email: S.teerawat88@gmail.com*

(Received: January 16, 2023; Revised: June 12, 2023; Accepted: June 26, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป โดยได้ทำการออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์แบบ 2 ระบบปลด เพื่อทำการปลดชิ้นงาน ผู้วิจัยได้พบว่าแป้งสาลีมีแนวโน้มที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบส่วนผสมของแป้งกับน้ำใหม่เพื่อให้ขึ้นรูปได้ ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งข้าวโพดต่อน้ำที่ 80 : 20 ใช้เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที ใช้แรงปิดแม่พิมพ์ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 120 องศาเซลเซียส และสามารถปลดชิ้นงานโดยชุดแม่พิมพ์ที่ออกแบบระบบปลด 2 ขั้นตอนได้โดยชิ้นงานไม่แตกหักเสียหาย หลังจากการขึ้นรูปได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบคุณสมบัติ พบว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งเฉลี่ย 85.15A มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 46.65 เปอร์เซ็นต์ และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ภายใน 5 วัน

คำสำคัญ: แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป แป้งสำเร็จรูป

Abstract

This research aims to study the process of compression molding fruit forks from starch. The design and making of a mold set by designing the ejection system as a 2-step system. The first step is to use the stripper plate to eject the workpiece out of the mold. The second step is to use the ejector pin to push the workpiece off the stripper plate. The research found that wheat flour has a better-forming tendency than corn flour, but the workpiece is still not usable. The researcher is continuing to experiment with modifying the mixing ratio. After the experiment, it was found that the percentage that was able to form a good fruit fork was mixing the ratio of corn flour to water at 80:20, forming a time of 10 minutes using a mold closing force of 10 kg/cm². And using a molding temperature of 120 degrees Celsius, the workpiece can be ejected by a mold set designed with a 2-step system without breaking the workpiece. After forming, the workpiece was checking its properties. It was

found that the workpiece had an average hardness of 85.15A with 46.65% water absorption and could biodegrade in 5 days, so it is likely to be developed as a material that can replace plastic in the future.

Keywords: Compression molding, Fruit from Starch, Starch

1. บทนำ

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และนำมาใช้ประโยชน์ แทนโลหะ ไม้ หรือวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ทำเส้นใยสำหรับผลิตสิ่งทอ หล่อเป็นลำเรือ ชิ้นส่วนของยานยนต์ ภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ และเครื่องใช้อื่น ๆ ปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน [1] อย่างไรก็ตามพลาสติกที่มีประโยชน์ในหลายๆด้านก็สร้างปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยที่คนส่วนมากยังไม่คำนึงถึง ซึ่งปัญหาคือไมโครพลาสติกที่ได้แพร่กระจายไปสู่ระบบนิเวศต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นในน้ำหรืออากาศ ไมโครพลาสติกจะส่งผลเสียระยะยาวต่อร่างกายของผู้ได้รับในจำนวนมากและต่อเนื่อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายได้ด้วยตัวเอง [2] ซึ่งจะทำให้การขึ้นรูปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ที่ใช้แปรงสำเร็จรูปในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อัด [3] โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตคือการศึกษากระบวนการขึ้นรูปและแรงกดอัดที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปขึ้นงานส้อมจิ้มผลไม้

2. วัสดุและขั้นตอนการทำวิจัย

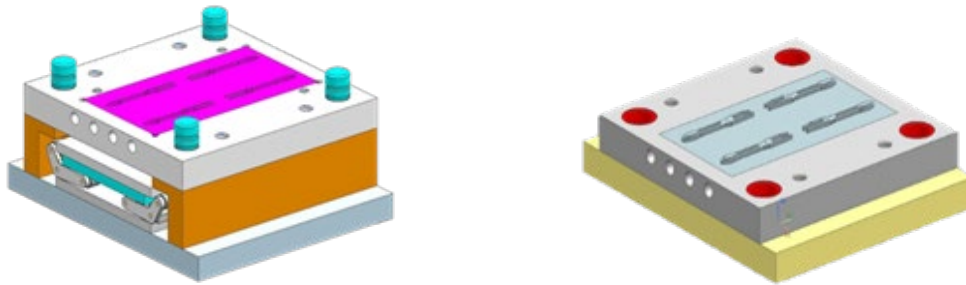
ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และกระบวนการขึ้นรูปขึ้นงานได้ใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปเนื่องจากเหมาะสมสำหรับขึ้นรูปวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง [4]

2.1 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 1 ชิ้นงานต้นแบบส้อมจิ้มผลไม้

ในการดีไซน์ชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ นั้นต้องคำนึงถึงขั้นตอนในการขึ้นรูปขึ้นงานให้สมบูรณ์แบบ โดยแม่พิมพ์จะต้องมีระบบช่วยในการปลดชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะที่เล็กและบาง ทำให้เกิดการเสียหายของชิ้นงานได้หากทำการปลดชิ้นงานจากแม่พิมพ์แบบไม่ถูกต้อง



รูปที่ 2 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้

เนื่องจากชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้เป็นชิ้นงานที่ต้องสัมผัสกับอาหาร และเป็นส่วนผสมระหว่างแป้งสำเร็จรูปกับน้ำจึงต้องเลือกใช้วัสดุแม่พิมพ์ที่ไม่เป็นสนิม และการขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูปต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูป ดังนั้นวัสดุที่ใช้ต้องนำความร้อนได้ดี ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วัสดุสแตนเลส เกรด 304 มาใช้ในการสร้างชุดแม่พิมพ์กดอัด

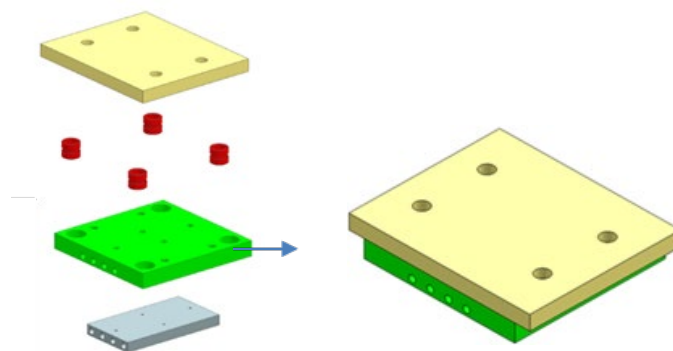
โดยเริ่มต้นกระบวนการดีไซน์แม่พิมพ์โดยต้องหาแรงดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้สูตร

$$P_C = \frac{F}{A}$$

$$P_C = \frac{200 \text{ กิโลกรัม}}{6.0831 \text{ ตารางเซนติเมตร}} \quad (1)$$

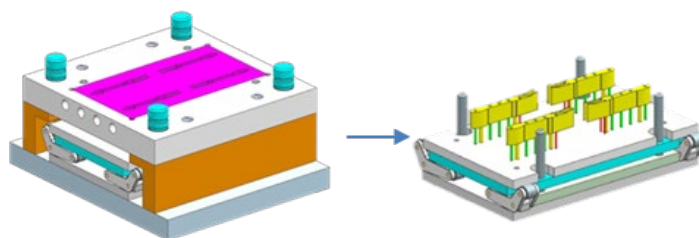
$$P_C = 32.8 \text{ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร}$$

โดย 200 กิโลกรัมได้มาจากความสามารถในการกดอัดของเครื่องที่ใช้ เมื่อได้แรงกดอัดแล้วทำการคำนวณจำนวนเบ้ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับขนาดของแม่พิมพ์หรือขนาดของเครื่องที่ใช้ ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนเบ้า (N_{cavity}) แต่ในที่นี้ได้คำนวณจำนวนเบ้าจากขนาดไทร์บาร์ของเครื่อง จากขนาดไทร์บาร์ของเครื่อง และรูปแบบของชุดแม่พิมพ์จึงทำให้สามารถทำแม่พิมพ์ที่มีเพียง 4 เบ้า จึงสามารถทำการติดตั้งชุดแม่พิมพ์กดอัดขึ้นรูปเข้ากับเครื่องกดอัดได้ จากกระบวนการดังกล่าวจำเป็นจะต้องทำการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงาน ซึ่งต้องใช้แม่พิมพ์ที่มีระบบปลด 2 step ประกอบฝั่งพิมพ์ผู้ โดยประกอบแผ่นยึดพิมพ์ผู้และปลอกนำศูนย์เข้าด้วยกัน จากนั้นนำแผ่นพิมพ์ผู้มาประกอบเข้ากับแผ่นยึดพิมพ์ผู้แล้วนำแผ่นยึดแผ่นแม่พิมพ์ด้านบน นำมาประกอบเข้ากับแผ่นยึดพิมพ์ผู้มาติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 3



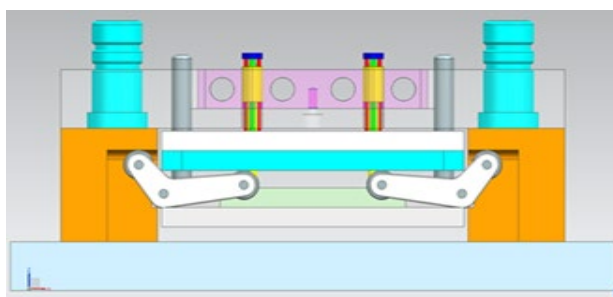
รูปที่ 3 การประกอบแม่พิมพ์ชุดบน

ขั้นตอนที่ 2 ประกอบชุดระบบปลดโดยนำ แท่งปลด A และแท่งปลด B ประกอบเข้ากับแผ่นยึดตัวดันปลด แล้วนำแผ่นยึดตัวดันปลด A มาประกอบเข้ากับแผ่นยึดแผ่นปลด จากนั้นนำแท่งปลด และแท่งดันแผ่นปลดกลับ ประกอบเข้ากับแผ่นดันปลดกลับแล้วนำ Plate Accelerator 4 ตัวมาประกอบเข้ากับแผ่นดันปลดกลับ จากนั้นนำแผ่นดันปลดชิ้นงาน A มาประกอบเข้ากับแผ่นดันปลดชิ้นงาน จากนั้นนำชุดดันแผ่นปลดกลับ และชุดดันปลดชิ้นงาน ประกอบเข้าด้วยกัน จากนั้นติดตั้งแผ่นปลด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การประกอบแม่พิมพ์ชุดล่าง

ในแม่พิมพ์ชุดนี้มีจุดที่สำคัญคือ การปลดชิ้นงานแบบ 2 step ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้มีระยะในการปลดชิ้นงานที่แตกต่างกัน เพื่อให้ปลดชิ้นงานได้สมบูรณ์แบบมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชุดระบบปลดชิ้นงานแบบ 2 Step

เมื่อทำการผลิตและประกอบเสร็จจึงนำแม่พิมพ์ไปทดลองกดอัดขึ้นรูปชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ และหาจุดที่ต้องปรับแก้ในระบบปัดของแม่พิมพ์

ตารางที่ 1 ตารางการออกแบบทดลอง

ปัจจัยสำเร็จรูป	หน่วย	ปัจจัยข้าวโพด		ปัจจัยสาลี
อัตราส่วน แป้ง : น้ำ	WT% (gram)	60: 40	65 : 35	70: 30
อุณหภูมิ	Degree Celsius	140		150
เวลา	Sec	300		600

หลังจากได้วางแผนการทดลองแล้ว จึงทำการชั่งน้ำหนักของแป้งและน้ำให้ได้ตามสัดส่วน และทำการผสมแป้งกาน้ำที่ได้ตวงไว้โดยขั้นตอนการผสมจะทำการคนด้วยมือให้แป้งกับน้ำเข้ากันจนแป้งมีลักษณะเป็นก้อนที่เกาะตัวกันได้ดี ที่ออกแบบไว้ซึ่งจะทำการทดลองทุกอัตราส่วน เพื่อหาว่าอัตราส่วนใดเหมาะสมในการขึ้นรูปและมีคุณสมบัติที่เป็นไปตามความต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การชั่งตวงน้ำหนักของแป้งและน้ำ

การทดลองเริ่มจากการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องกดอัดพลาสติกแบบกึ่งอัตโนมัติ และติดตั้งฮีตเตอร์เข้ากับแม่พิมพ์ จากนั้นตรวจสอบการทำงานของแม่พิมพ์ และระบบปัดของชุดแม่พิมพ์ หลังจากนั้นทำการปรับตั้งอุณหภูมิที่จะใช้ในการกดอัดขึ้นรูป โดยทำการอุ่นแม่พิมพ์ก่อนจะเติมน้ำลงไป ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส เมื่ออุ่นอุณหภูมิแม่พิมพ์ถึงตามที่ปรับค่าไว้แล้วหลังจากนั้น ทำการเติมผงแป้งสำเร็จรูปที่ผสมเตรียมไว้ลงไปในแม่พิมพ์โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 140 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การใส่วัสดุในแม่พิมพ์ก่อนการอัดขึ้นรูป

หลังจากเติมผงแป้งสำเร็จรูปลงไปแม่พิมพ์ ให้ปิดแม่พิมพ์ และตั้งเวลาในการกดอัดที่ 300 วินาที และ 600 วินาที โดยใช้แรงกดอัด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.2 การทดลองการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

จากผลการดำเนินการทดลองนั้นจะทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งผลจากการออกแบบการทดลองบางการทดลองไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ในการดำเนินการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นงาน และความแข็งแรงของชิ้นงาน

2.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ที่ทำจากแป้งข้าวโพด : น้ำ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองอัดขึ้นรูป อัตราส่วน ข้าวโพด : น้ำ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

เวลา (วินาที)	อัตราส่วนผสม แป้ง : น้ำ	การปลดงาน	ผิวชิ้นงาน	ลักษณะงาน
300	60 : 40	X	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
600	60 : 40	X	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และมีลักษณะร่วน
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และมีลักษณะร่วน
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง

การทดลองต่อไปคือผลการทดลองของการทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ที่ทำจากแป้งข้าวโพด : น้ำ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองอัดขึ้นรูป อัตราส่วน ข้าวโพด : น้ำ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

เวลา (วินาที)	อัตราส่วนผสม แป้ง : น้ำ	การปลดงาน	ผิวชิ้นงาน	ลักษณะงาน
300	60 : 40	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
	70 : 30	X	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง
600	60 : 40	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และมีลักษณะร่วน
	65 : 35	✓	✓	ชิ้นงานแห้งเปราะและโก่งงอ
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะ และเป็นโพรง

จากตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 พบว่า แป้งข้าวโพดไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจาก เมื่อเติมแป้งลงบนแม่พิมพ์ แป้งข้าวโพดจะพองตัวทันทีส่งผลให้เกิดโพรงภายในจึงทำให้ชิ้นงาน เปราะ และไม่แข็งแรงไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองอัดขึ้นรูป อัตราส่วน แป้งสาลี : น้ำ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

เวลา (วินาที)	อัตราส่วนผสม แป้ง : น้ำ	การปลดงาน	ผิวชิ้นงาน	ลักษณะงาน
300	60 : 40	X	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	65 : 35	X	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	70 : 30	✓	✓	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้
600	60 : 40	X	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้

ตารางที่ 5 ผลการทดลองอัดขึ้นรูป อัตราส่วน แป้งสาลี : น้ำ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

เวลา (วินาที)	อัตราส่วนผสม แป้ง : น้ำ	การปลดงาน	ผิวชิ้นงาน	ลักษณะงาน
300	60 : 40	X	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้
600	60 : 40	X	X	ชิ้นงานไม่แข็งตัว
	65 : 35	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้
	70 : 30	✓	X	ชิ้นงานแห้งเปราะและมีผิวไหม้

จากผลการทดลองดังแสดงตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 เมื่อได้ทำการทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงานตามทีออกแบไว้พบว่า แป้งสาลีสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าแป้งข้าวโพดแต่ยังไม่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการขึ้นรูปส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสำเร็จรูป จากการทดลอง การทดลองที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่า 150 องศาเซลเซียส แต่ชิ้นงานยังไม่แข็งตัวเนื่องจากมีอัตราส่วนของน้ำในแป้งมาก การทดลองที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีผิวที่ไหม้แห้งกรอบ และผิวดูไม่เรียบ เนื่องจากอุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงเกินไปจึงทำให้ขณะเติมแป้งสำเร็จรูปลงไปบนแม่พิมพ์ทำให้แป้งพองตัว และเกิดการผิวดูไม่เรียบ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองต่อ โดยการเพิ่มอัตราส่วนของแป้งกับน้ำ

ตารางที่ 6 ผลการทดลองอัดชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ที่ทำจากแป้งสาลี : น้ำ ทดลองอัดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 300 วินาที และ 600 วินาที

เวลา (วินาที)	อัตราส่วนผสม แป้ง : น้ำ	การปลดงาน	ผิวชิ้นงาน	ลักษณะงาน
300	75 : 25	✓	✓	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ แต่ยังมีส่วนที่ยังไม่แข็งตัว
	80 : 20	✓	✓	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ แต่ยังมีส่วนที่ยังไม่แข็งตัว
600	75 : 25	✓	✓	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ แต่ยังมีส่วนที่ยังไม่แข็งตัว
	80 : 20	✓	✓	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ตามแบบ

จากผลการทดลองตามตารางที่ 6 มีชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งชิ้นงานมีลักษณะสมบูรณ์มากที่สุดเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองก่อนหน้านี้ดังแสดงในรูปที่ 9

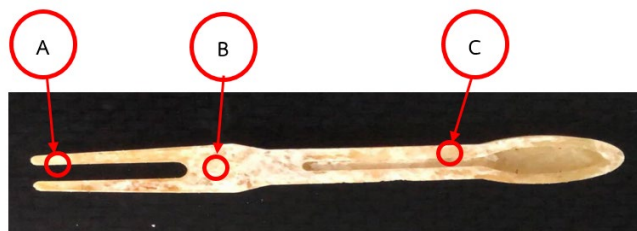


รูปที่ 8 ชิ้นงานแป้งสาลีที่ขึ้นรูปได้ดี



รูปที่ 9 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้แต่ไม่สมบูรณ์

เมื่อทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามตารางที่ 6 พบว่าที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราส่วนแป้ง : น้ำ 80 : 20 ใช้เวลาในการขึ้นรูป 600 วินาที สามารถทำได้ขึ้นรูปชิ้นงานได้ดีชิ้นงานสามารถปลดออกได้โดยไม่มีการแตกหัก และชิ้นงานแข็งตัวเมื่อออกจากแม่พิมพ์ ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงได้เลือกอัตราส่วนดังกล่าวไปทำการทดลองขึ้นรูปต่อเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของส้อมจิ้มผลไม้ โดยการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานจะทดสอบตามจุดตรวจวัดที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 จุดตรวจวัดความแข็งชิ้นงาน

ตารางที่ 7 การวัดค่าความแข็งของส้อมจิ้มผลไม้

ชั้นที่	จุดตรวจวัด Shore A (HA)		
	A	B	C
1	83.00	88.00	84.00
2	85.50	82.50	82.00
3	80.50	88.50	82.00
4	81.00	82.00	83.50
5	84.50	88.00	88.50
6	85.00	80.50	86.00
7	84.50	88.50	85.00
8	83.50	86.00	88.50
9	83.00	85.50	83.50
10	88.00	81.00	86.50
เฉลี่ย	85.80	85.05	84.90

เมื่อทำการตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานแล้วจึงทำการทดสอบการดูดซึมน้ำของส้อมจิ้มผลไม้ เนื่องจากส้อมจิ้มผลไม้จะมีการใช้งานกับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำเยอะเช่นแตงโม หากส้อมดูดซึมน้ำได้ดีเกินไปก็จะไม่สามารถใช้งานได้นานเท่าที่ควร

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการดูดซึมน้ำ

ชั้นที่	น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ(กรัม)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ 600 วินาที	การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
1	2.40	3.70	54.17
2	1.80	2.50	38.89
3	2.10	3.30	57.14
4	2.60	3.60	38.46
5	2.30	3.00	30.43
6	2.20	3.40	54.54
7	2.00	2.90	45.00
8	2.40	3.50	45.83
9	2.00	3.20	60.00
10	1.90	2.70	42.10
เฉลี่ย	2.17	3.18	46.656

2.4 อภิปรายผล

จากการศึกษาการกดอัดขึ้นรูปส้อมจากแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี เมื่อทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้พบว่าแป้งข้าวโพดนั้นไม่สามารถนำมากดอัดขึ้นรูปเป็นส้อมจิ้มผลไม้ที่สมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยจึงขยายขอบเขตการทดลองโดยเพิ่มอัตราส่วนของแป้งให้มากขึ้น ก็ยังพบว่าข้าวโพดนั้นไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ จากการทดลองผู้วิจัยจึงพบว่าแป้งสาลีมีแนวโน้มขึ้นรูปชิ้นงานได้ดีกว่าข้าวโพด แต่อย่างไรก็ตามแป้งสาลีไม่สามารถขึ้นรูปได้ตามแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ และจึงทำการ

ขยายขอบเขตการทดลอง จึงพบว่าที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราส่วนแป้ง : น้ำ 80 : 20 ใช้เวลาในการขึ้นรูป 600 วินาที สามารถทำได้ขึ้นรูปชิ้นงานได้ดีชิ้นงานสามารถปลดออกได้โดยไม่มีการแตกหัก และชิ้นงานแข็งตัวเมื่อออกจากแม่พิมพ์ชิ้นงานมีขนาดที่สมบูรณ์ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้

ในส่วนของการทดสอบความแข็งของส้อมจิ้มผลไม้ที่ผู้วิจัยได้ใช้ค่าความแข็งจากส้อมผลไม้ที่ผลิตจากพลาสติก PS ซึ่งมีค่าความแข็งในช่วง 60-80 Rockwell M เป็นค่าตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับส้อมจิ้มผลไม้ที่ผลิตจากแป้ง ผลการทดสอบคือ ส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งยังแข็งได้ไม่เทียบเท่ากับส้อมที่ทำมาจากพลาสติก แต่ยังสามารถจิ้มผลไม้ได้ดีเช่นเดียวกัน

การทดลองการดูดซับน้ำพบว่าหลังจากการทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 10 นาที พบว่าชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้จากแป้งสาติดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ย 46.656 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานจะเริ่มนิ่ม และเปื่อยยุ่ยบริเวณผิวชิ้นงาน แต่ภายในชิ้นงานยังคงแข็งตัวและคงรูปได้ และเมื่อแช่ชิ้นงานไว้ในน้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ชิ้นงานจะเริ่มย่อยสลายไปทั้งหมด

การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ ทดสอบโดยการนำชิ้นงานฝังลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตรเป็นเวลา 20 วัน นำตัวอย่างมาตรวจสอบที่เวลา 5, 10 และ 20 วัน โดยซึ่งน้ำหนักตัวอย่างเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานที่ฝังไว้ในดินลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 วัน ชิ้นงานได้ย่อยสลายไปกับดินและไม่สามารถนำออกมาวัดผลได้

3. สรุป

- 3.1 แม่พิมพ์แบบปลด 2 Step เหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะบาง สามารถผลิตชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ได้
- 3.2 อัตราส่วนผสมของแป้งสาติด่อน้ำที่ 80 : 20 ในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 600 วินาทีสามารถขึ้นรูปชิ้นงานส้อมจิ้มผลไม้ได้สมบูรณ์ และชิ้นงานมีความแข็ง 85.15 Shore A
- 3.3 ชิ้นงานสามารถย่อยสลายได้เมื่อนำไปฝังในดิน

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Sridee, "Development of Semi-Finished Rice for Health Food," *Science and Technology Government Infrastructure Database*, Ministry of Science and Technology, 2016. (in Thai)
- [2] S. Srisang, "Characteristics of Starch Affecting the Processing of Aquatic Products," *Aquaculture Product Research and Development Group, Aquaculture Technology Research and Development Division*, Department of Fisheries, 2021. (in Thai)
- [3] W. Wattanuchariya and T. Sangkas, "Effect of Forming Condition on Compressive Strength of Hydroxyapatite-Bioactive Glass Compact Rod," *Engineering Journal*, p. 20, 2016.
- [4] K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes, and S. E. Dudas, "Human Consumption of Microplastics," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 12, pp. 7068–7074, 2019.

- [5] D. Udphap, “Carbohydrate Technology,” *King Mongkut’s University of Technology Thonburi Library*. [Online]. Available: <https://eu.lib.kmutt.ac.th/eLearning/Courseware/BCT611/subject.html>. [Accessed: 01-Jan-2022]. (in Thai)
- [6] S. Jantaramanee, S. Awaphak, A. Onrak, et al., “Design and Construction of a Compression Mold for a Rubber Cup from Cement,” in *Proceeding of The 36th Conference of Industrial Engineering Network 2018 (IE Network 2018)*, Ubon Ratchathani University, Thailand, 2018. (in Thai)
- [7] K. Thunsiri, S. Udomsom and W. Wattanutchariya, “Characteristic of Pore Structure and Cells Growth on The Various Ratio of Silk Fibroin and Hydroxyapatite in Chitosan Base Scaffold,” *Key Engineering Material*, vol. 675, pp. 459-462, 2016.
- [8] Z. Gnjjdic, D. Bozic, and M. Mitkov, “The Influence of Sic Particles on The Compressive Properties of Metal Matrix Composites,” *Materials Characterization*, vol. 47, no. 2, pp.129–138, 2001.
- [9] C. Daesa, “Software Development Helps Design Compression Mold for Rubber Products,” *Faculty of Engineering, Prince of Songkla University*, 2004. (in Thai)
- [10] W. Wattanutchariya, J. Ruennareenard and P. Suttakul, “Appropriate Forming Conditions for Hydroxyapatite-Bioactive Glass Compact Scaffold,” in *Proceeding of The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018) “Exploring Innovative Solutions for Smart Society,”* 2018.
- [11] P. Wutticharoenmongkol, P. Rungrattanaporn, and J. Rungruangprapha, “Synthesis of Hydrogels from Three Types of Starch,” *ThaiJo*. [Online]. Available: <https://li01.tci-thaijo.org>. [Accessed: 01-Jan-2022]. (in Thai)

การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิค ECRS

Process Improvement of Electronic Part Assembly with ECRS technique

วรพจน์ ศิริรักษ์¹ ทศพงศ์ นันทมัจฉา^{2*} วรพจน์ แซงบุญเรือง² อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล¹ และ ชัชชัย สีตา¹¹สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย อำเภอพาน จังหวัด
เชียงราย 57120²สาขาเทคนิคพื้นฐาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม
48150Worapot Sirirak¹ Thassaphong Nanthamajcha^{2*} Woraphod Saengbunrueang² Amornrat Pinchaimoon¹
and Chatchai Seeta¹¹Department of Engineering and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna Chiang Rai, Pharn, Chiang Rai, 57120²Department of Basic Technique, Srisongkram Industrial Technology College, Nakhon Phanom University,
Srisongkram, Nakhon Phanom, 48150

Corresponding author Email: Thassaphong@gmail.com*

(Received: January 13, 2023; Revised: May 8, 2023 Accepted: May 11, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตในการประกอบชิ้นงานและเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต กระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า กระบวนการผลิตดังกล่าวมีจำนวนทั้งสิ้น 10 สถานีงาน แต่ได้เลือกทำการศึกษา 2 สถานีงาน ที่มีรอบเวลาการผลิตชิ้นส่วนต่อชิ้นสูงเกินกว่าเป้าหมาย และทั้ง 2 สถานีงานถูกทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยหลักการ ECRS หลังจากการปรับปรุงสถานีงานพบว่าสามารถลดรอบเวลาการผลิตในการประกอบชิ้นงานขึ้นตอนที่ 4 จาก 250.05 วินาทีต่อชิ้น ลดลงเหลือ 173.9 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 30.23 และขึ้นตอนที่ 5 จาก 285.15 วินาทีต่อชิ้น ลดลงเหลือ 242.4 วินาทีต่อชิ้น หรือคิดเป็นเวลาที่ลดลงร้อยละ 14.68 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตคิดเป็นร้อยละ 30.88 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตเข้าใกล้ตามเป้าหมายสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 2,602 ชิ้นต่อวัน

คำสำคัญ: สมดุลการผลิต เทคนิค ECRS การปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

This research objective was to reduce the production time of the part assembly process and effectively increase the electronic part production line. From the initial study, it was found that this production has 10 stations of work but chose for case study to have 2 stations of work, and that it has a higher cycle time of part production per piece than target. The 2 work stations were analyzed for cause of problem and process

improvement by line balance with the ECRS technique. After that, workstation improvement found that it could reduce the cycle time of production in a part assembly of step 4 from 250.05 seconds per piece to 173.9 seconds per piece, or 30.23% of the cycle time reduction. And step 5 from 285.15 seconds per piece to 242.4 seconds per piece, or 14.68% of the cycle time reduction. The effectiveness of electronic parts production was increased to 30.88% of production, which was effective production nearly on target and increased productivity to 2,602 pieces per day.

Keywords: Production balance, ECRS technique, Process improvement

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมคุณภาพสูงและมีขนาดใหญ่มานานกว่า 60 ปี และเป็นห่วงโซ่อุปทานหลักของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของโลกปัจจุบันประเทศไทยมีฐานการผลิตและส่งออกกลุ่มผลิตภัณฑ์สินค้าชิ้นส่วนไฟฟ้าและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เป็นอันดับต้น ๆ ของโลก อย่างไรก็ตาม ปัญหาและอุปสรรคของการผลิตด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ทั้งด้านการลดระยะเวลาการผลิตและการเพิ่มผลผลิตให้ได้มากขึ้นตามความต้องการของลูกค้า การลดต้นทุน การปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตและลดความเสี่ยงในขั้นตอนการผลิตสินค้า ทั้งการพัฒนาความสามารถในการผลิตสินค้าและความเติบโตในด้านอุตสาหกรรมในเวลาเดียวกัน ทำให้มีความจำเป็นอย่างมากที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตเพื่อให้สอดคล้องต่อตลาดโลกให้มากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ เน้นความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีและรูปแบบการผลิตแบบใหม่เพื่อรองรับความต้องการผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ทำให้ผู้ผลิตต้องปรับเปลี่ยนแผนในการผลิต เพื่อให้ทันต่อความต้องการผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่จะเพิ่มขึ้น โดยต้องคำนึงถึงคุณภาพสินค้า ต้นทุนการผลิตโดยรวม การส่งมอบสินค้าให้ทันเวลาและการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิธีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาล่าช้าในการผลิตด้วยการจัดสมดุลการผลิตและเทคนิค ECRS ช่วยในการปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการผลิต [1-6] สามารถปรับปรุงการผลิตและลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7-9] จากที่กล่าวมาเทคนิค ECRS เป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างมากอีกทั้งยังช่วยในการวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพได้อย่างรวดเร็วหลังการปรับปรุง อย่างไรก็ตามบริษัทกรณีศึกษาได้ประสบปัญหาด้านการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นและศึกษาสายการผลิตเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงกระบวนการไหลที่ไม่สมดุลมีจุดที่เป็นลักษณะคอขวด สามารถผลิตได้เฉลี่ยเพียง 2,847 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นประสิทธิภาพของสายการผลิตเพียงร้อยละ 63.72 เสียสมดุลในการผลิตไปมากถึงร้อยละ 36.28 ทำให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตในการประกอบชิ้นงานและเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต เพื่อลดความสูญเสียของเวลารวมถึงการจัดสมดุลของสายการผลิต โดยจะทำการวิเคราะห์การไหลของสายการผลิตและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเทคนิค ECRS ให้มีความต่อเนื่องในการทำงาน ทำให้มีชิ้นงานคงค้างอยู่ระหว่างขั้นตอนการผลิตให้น้อยที่สุด

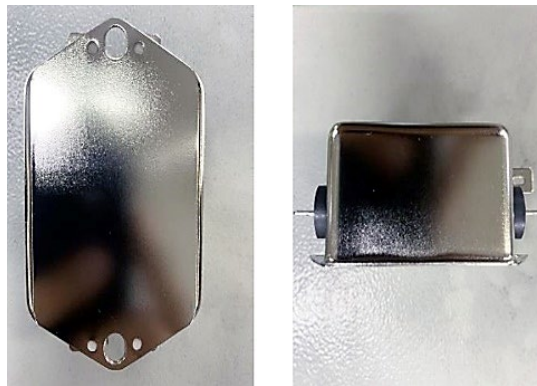
การใช้เทคนิค ECRS ในการปรับปรุงและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการประกอบ ด้วยแนวคิดการจัดสมดุลสายการผลิต รวมไปถึงการลดความสูญเสียด้วยเทคนิค ECRS โดยการใช้หลักในการการรวมงาน (Combine) เพื่อรวมงานที่

เกี่ยวข้องมารวมอยู่ในตำแหน่งการทำงานเดียวกัน และหลักการทำงานให้ง่าย (Simplify) ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้มีความรวดเร็วในการผลิตโดยใช้ จิ๊กจับในขั้นตอนการจุ่มตะกั่ว, จิ๊กในการตรวจสอบ, จิ๊กช่วยในการบัดกรี และฟิกเจอร์ช่วยในการตัดคอยล์ เพื่อลดปัญหาความไม่สมดุลของสายการผลิตและเพิ่มผลิตภาพสูงสุดให้กับกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุนการผลิตและยังคงไว้ซึ่งคุณภาพที่ตรงต่อความต้องการของลูกค้าและการตรงต่อเวลาในการตอบสนอง โดยการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีขั้นตอนของการดำเนินงานดังนี้

2.1 ศึกษาข้อมูลการผลิต โดยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งลักษณะชิ้นส่วนที่ผลิตดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นงาน

โดยมีการทำงาน 2 กะ โดยเวลาการทำงาน 1 กะเป็น 640.20 นาที จำนวนเป้าหมายที่ต้องการให้ผลิตอยู่ที่ 6,000 ชิ้นต่อวัน สำหรับกระบวนการผลิตนี้มีขั้นตอนในกระบวนการที่สำคัญ รวมทั้งสิ้น 10 กระบวนการ ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 Housing Preparation คือ กระบวนการเตรียมตัวบล็อกของชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 2 Foil Preparation คือ กระบวนการตัดแผ่นฟอยล์ตามจำนวนที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 CU Wire Preparation คือ กระบวนการนำลวดทองแดงมาตัดเป็นเส้นตามขนาดที่ใช้ในงานแต่ละงาน

ขั้นตอนที่ 4 Winding หรือ Hand coil Preparation คือ กระบวนการพันลวดทองแดงรอบตัว Toroid ด้วยมือ แล้วนำไปเช็คค่าความเหนี่ยวนำ (Reactance)

ขั้นตอนที่ 5 Assembly คือ การประกอบชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 6 Moulding คือ การหยอดเรซินลงในตัวชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 7 Spot welding คือ กระบวนการเชื่อมตัก โดยนำฝามาปิดแล้วเชื่อมเข้ากับตัวบล็อก (Housing)

ขั้นตอนที่ 8 Cleaning คือ กระบวนการทำความสะอาดหลังจากที่ทำการเชื่อม เพื่อเช็คคราบที่เปื้อนออก

ขั้นตอนที่ 9 Final Test คือ กระบวนการทดสอบครั้งสุดท้าย หลังจากผ่านการประกอบอย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 10 inspection คือ การตรวจสอบความเรียบร้อยและความเสียหายที่เกิดขึ้น

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงรายละเอียดข้อมูลแต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาการผลิตพบว่าในการผลิต 10 ขั้นตอนจะมีรอบวัฏจักรเวลาการผลิตชิ้นงานรวมเป็น 132.78 วินาทีต่อชิ้น หรือสามารถผลิตรวมเป็น

289 ขึ้นต่อชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาเวลาเพื่อในการทำงานและเวลาสูญเสียจากการปรับตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิตจึงปรับตั้งเป้าหมายการผลิตที่ต้องการในแต่ละชั่วโมงลดลงร้อยละ 3 จากความสามารถในการผลิตที่ 289 ขึ้นต่อชั่วโมง ทำให้เป้าหมายการผลิตในแต่ละขั้นตอนเฉลี่ยเหลือ 281 ขึ้นต่อชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์ปัญหา พิจารณาจากเวลาในการผลิตของแต่ละกระบวนการซึ่งจากข้อมูลตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาขั้นตอนที่ 4, 5 และ 9 เป็นขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพเวลาในการผลิตต่ำกว่าเป้าหมายกำหนดเพียงร้อยละ 61.56, 71.88 และ 98.57 ตามลำดับ โดยเฉพาะขั้นตอนการทำงานที่ 4 และ 5 เป็นขั้นตอนที่เกิดปัญหาการผลิตต่ำกว่าเป้าหมายอย่างมาก สำหรับขั้นตอนที่ 9 ถึงแม้ว่ามีค่าประสิทธิภาพเวลาที่ต่ำกว่าเป้าหมายกำหนดไว้แต่อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสายการผลิตล่าช้าอย่างรุนแรง ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนการทำงานที่ 9 จึงไม่ถูกพิจารณาปรับปรุงในครั้งนี้ เมื่อสังเกตลักษณะการทำงานและพื้นที่ในการทำงานแล้วพบว่ากระบวนการที่ 4 และ 5 มีการจัดตำแหน่งการทำงานที่ไม่เหมาะสมรวมถึงขาดอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้ง่ายและรวดเร็วจึงทำให้เกิดคอขวดกับทั้ง 2 ขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้กระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพลดลงซึ่งหาได้จาก

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลรอบการผลิตแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	รอบเวลามาตรฐานการผลิต (วินาที/ชิ้น)	เป้าหมายที่ต้องการ (ชิ้น/ชั่วโมง)	ผลิตได้จริง (ชิ้น/ชั่วโมง)	ร้อยละประสิทธิภาพ
1.Housing Preparation	12.49	281	288	102.49
2.Foil Preparation	10.21	281	353	126.33
3.CU Wire Preparation	12.21	281	295	104.98
4.Hand coil Preparation	20.84	281	173	61.56
5.Assembly	17.82	281	202	71.88
6.Moulding	9.67	281	372	132.38
7.Spot Welding	12.48	281	288	102.49
8.Cleaning	12.36	281	291	103.55
9.Final Test	13.01	281	277	98.57
10.Inspection	11.69	281	308	109.60

สมการที่ 1 ตามอ้างอิงที่ [10] เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนที่ 4 ที่ใช้เวลาในกระบวนการผลิตมากที่สุดจึงนำมาเป็นตัวแทนคิดประสิทธิภาพสายการผลิต และความเร็วในการผลิตของการผลิต (Takt time) คำนวณได้จากสมการที่ 2 ตามอ้างอิงที่ [10]

$$\text{ประสิทธิภาพสายการผลิต} = \frac{\text{ผลรวมของเวลาการประกอบชิ้นงาน} \times 100}{\text{สถานีงาน} \times \text{รอบเวลาการทำงานสูงสุด}} \quad (1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพสายการผลิต} = \frac{132.79 \text{ (วินาทีต่อชิ้น)} \times 100}{10 \times 20.84 \text{ (วินาทีต่อชิ้น)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพสายการผลิต} = 63.72\%$$

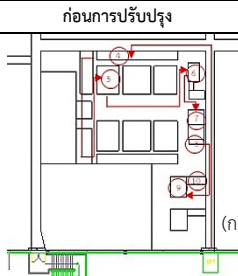
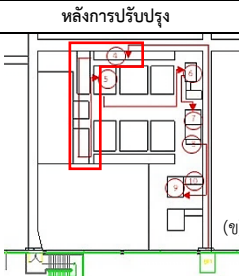
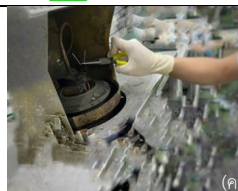
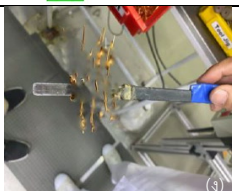
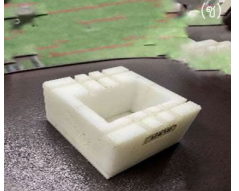
$$\text{ความเร็วในการผลิต} = \frac{\text{เวลาปฏิบัติงานประจำวัน (2 กะ)}}{\text{จำนวนที่ต้องการผลิตต่อวัน}} \quad (2)$$

$$\text{ความเร็วในการผลิต} = \frac{(640.20 \times 2) \times 60}{6000}$$

$$\text{ความเร็วในการผลิต} = 12.80 \text{ วินาทีต่อชิ้น}$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสายการผลิตนี้มีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 63.72 และเวลาในการผลิตที่ควรเป็นอยู่ที่ 12.80 วินาทีต่อชิ้น ในแต่ละขั้นตอน ดังนั้นจึงมุ่งแก้ปัญหาในขั้นตอนที่ 4 และ 5 โดยใช้เทคนิค ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการทำงาน เพื่อช่วยในการสร้างสมดุลการไหลของงานให้ดีขึ้น

ตารางที่ 2 แนวทางการปรับปรุงการทำงานในขั้นตอนที่ 4 และ 5

ขั้นตอนที่	ส่วนที่	รายละเอียด	รูปภาพตัวอย่าง		เทคนิค ECRS
			ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
4	1	รูป (ก) ก่อนการปรับปรุงมีสถานีงานในขั้นตอนที่ 4 หลายจุดและอยู่ห่างกัน ทำให้มีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปหลายตำแหน่งส่งผลให้เกิดความล่าช้า รูป (ข) จึงทำการรวมงานของกระบวนการเจียรลวด จุ่มตะกั่ว และ วัดชิ้นงานให้อยู่ในสายการผลิตเดียวกันหลังจากปรับปรุงการ			Combine ; C
	2	รูป (ค) วิธีการทำงานเดิมในการจุ่มชิ้นงานเพื่อเคลือบตะกั่ว รูป (ง) ออกแบบปรับปรุงจิ๊กจับในขั้นตอนการจุ่มตะกั่วให้สามารถจุ่มได้ครั้งละ 10 ตัว			Simplify ; S
5	1	รูป (จ) วิธีการทำงานเดิมในการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าแบบเดิมจากการวัดค่าทีละขา รูป (ฉ) ออกแบบจิ๊กในการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของชิ้นงานปรับปรุงให้วางบนจิ๊กและทำการวัดและตรวจสอบได้ทั้ง 4 ขาในครั้งเดียว			Simplify ; S
	2	รูป (ช) วิธีการทำงานเดิมในการบัดกรีชิ้นงานจากทีละ 1 ตัว รูป (ฌ) ออกแบบจิ๊กช่วยในการบัดกรีครั้งละ 20 ตัว ในการบัดกรีชิ้นงานโดยการนำ housing ไปวางบนจิ๊กแล้วจึงทำการบัดกรี			Simplify ; S
	3	รูป (ณ) ก่อนปรับปรุงใช้แรงงานในการตัดให้ได้ตามลักษณะและตำแหน่งที่กำหนด รูป (ญ) ออกแบบฟิกเจอร์ เพื่อช่วยในการตัดคอยล์ทำให้การทำงานง่ายและเร็วขึ้น			Simplify ; S

2.3 แนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต จากการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดความไม่สมดุลในสายการผลิต รวมไปถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในการปรับปรุงและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ

กระบวนการประกอบ ด้วยแนวคิดการจัดสมดุลสายการผลิต รวมไปถึงการลดความสูญเสียด้วยเทคนิค ECRS โดยการใช้หลักในการรวมงาน (Combine) เพื่อรวมงานที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนที่ 4 ที่มีตำแหน่งการทำงานแยกกัน นำมารวมอยู่ในตำแหน่งการทำงานเดียวกัน และ การทำให้ง่าย (Simplify) ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานให้มีความง่ายและรวดเร็วประกอบด้วย จิกจับในขั้นตอนการจุ่มตะกั่ว, จิกในการตรวจสอบ, จิกช่วยในการบัดกรี และฟิกเจอร์ช่วยในการตัดคอยล์ ทั้งในการทำงานของขั้นตอนที่ 4 และ 5 รายละเอียดการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งทำการปรับปรุงขั้นตอนที่ 4 ด้วยการรวมงานของกระบวนการเจียร์ลวด จุ่มตะกั่ว และ วัดชิ้นงานให้อยู่ในสายการผลิตเดียวกัน และปรับปรุงจิกจับในขั้นตอนการจุ่มตะกั่วให้สามารถจุ่มได้ครั้งละ 10 ตัว และขั้นตอนที่ 5 ได้ออกแบบจิกในการตรวจสอบ ค่าทางไฟฟ้าของชิ้นงาน จากก่อนปรับปรุงวัดที่ละขา ปรับปรุงให้วางบนจิกและทำการวัด การออกแบบจิกในการบัดกรีชิ้นงานจากที่ละ 1 ตัว เป็น ที่ละ 20 ตัว ในการบัดกรีชิ้นงานโดยการนำ housing ไปวางบนจิกแล้วจึงทำการบัดกรี และการออกแบบฟิกเจอร์ เพื่อช่วยในการตัดคอยล์ ก่อนปรับปรุงใช้แรงงานในการตัดเป็นหลัง ปรับปรุงใช้ฟิกเจอร์ในการช่วยตัด เพื่อให้การทำงานได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น จากนั้นดำเนินการเก็บข้อมูลด้านเวลาจากการทดลองการทำงานของพนักงานหลังการปรับปรุงด้วยเทคนิค ECRS จำนวน 25 ครั้ง เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพของสายการผลิตและเพื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

3. ผลดำเนินการวิจัย

จากการปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ด้วยเทคนิค ECRS ทำให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้นด้วยหลักในการรวมงานเข้าด้วยกัน (Combine ; C) และหลักในการทำงานให้ง่าย (Simplify ; S) ทั้งขั้นตอนที่ 4 และ 5 โดยการปรับปรุงกระบวนการสำหรับขั้นตอนการผลิตใน ขั้นตอนที่ 4 Hand coil + Preparation มีการปรับปรุง 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ปรับปรุงผัง (Layout) ในการทำงาน โดยย้ายกระบวนการ เจียร์ลวด จุ่มตะกั่ว และ วัดชิ้นงาน ให้อยู่ในสายการผลิตเดียวกัน ในการผลิตชิ้นงาน ขั้นตอนแรก ลวดทองแดงจะถูกตัดตามระยะที่กำหนดโดยเครื่องตัดเพื่อป้องกันการเหลือเศษจากการตัด เมื่อทำการตัดเสร็จลวดทองแดงจะถูกลำเลียงโดยรถเข็นเข้าสู่ลิฟท์เพื่อเดินทางไปยังสายการผลิต ลวดทองแดงเคลื่อนย้ายมาถึงสายการผลิตพนักงานจะทำการติดตั้งคอยล์กับจิกจับยึดที่ออกแบบให้พนักงานทำงานได้ง่าย เพื่อเริ่มกระบวนการพันลวดทองแดง ให้ได้ตามรอบที่กำหนดแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการ ขัดชาลวดทองแดงที่ผ่านการพันคอยล์ นำชาลวดทองแดงที่ผ่านการพันคอยล์ไปจุ่มตะกั่ว ทำการวัดค่าไฟฟ้าและเข้าสู่กระบวนการขั้นตอนที่ 5 เป็นกระบวนการเจียร์ลวด จุ่มตะกั่ว และ วัดชิ้นงาน ที่อยู่สายการผลิตเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ลดระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายได้มาก ส่วนที่ 2 ปรับปรุงจิกที่ใช้ในการจุ่มตะกั่ว จากจุ่มทีละตัว เป็น ที่ละ 10 ตัว โดยอาศัยหลักการความสูญเสียทั้ง 7 ประการ (Waste) ในขั้นตอนลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น การจุ่มตะกั่วเริ่มต้นกระบวนการโดยการนำคอยล์ที่ผ่านการพันด้วยลวดทองแดงมาเข้าสู่ กระบวนการใส่แผ่น Foil และเข้าสู่กระบวนการขัดชาทองแดงตามมาด้วยกระบวนการจุ่มตะกั่ว ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการการวัดค่าไฟฟ้า ในขั้นตอนการจุ่มตะกั่วก่อนปรับปรุงจะทำการจุ่มได้ทีละ 1 ตัว ซึ่งเกิดความล่าช้า เมื่อทำการปรับปรุงจิกจับในขั้นตอนการจุ่มตะกั่วให้สามารถจุ่มได้ครั้งละ 10 ตัว ซึ่งจะสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนนี้ได้ เช่นเดียวกับส่วนที่ 3 ขั้นตอนการบัดกรีชิ้นงานแบบเดิมทำการบัดกรีทีละ 1 ตัว ซึ่งเกิดความล่าช้าเพื่อนำชิ้นงานที่บัดกรีแล้วเสร็จออกและเปลี่ยนชิ้นงานใหม่มาบัดกรี เมื่อออกแบบปรับปรุงจิกสำหรับปฏิบัติการบัดกรีแล้วสามารถทำได้ครั้งละ 20 ตัว ซึ่งลดเวลาการทำงานได้อย่างมาก รวมถึงขั้นตอนการตัดคอยล์จากเดิมใช้คนตัดทีละขาให้มีลักษณะและตำแหน่งของขาคอยล์ที่ตัดตามแบบงานที่กำหนด เมื่อออกแบบฟิกเจอร์สำหรับการตัดคอยล์แล้วสามารถทำได้ง่ายและเร็วขึ้นเนื่องจากกำหนดตำแหน่งของขาคอยล์ที่ตัดไปตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในฟิกเจอร์ จากการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในการทดลองจำนวน 25 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยของเวลาเพื่อเปรียบเทียบเวลาการทำงานขั้นตอนที่ 4 และ 5 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3 และผลการเปรียบเทียบผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลาการทำงานก่อนและหลังปรับปรุงขั้นตอนที่ 4 และ 5

จำนวนครั้ง	ขั้นตอนที่ 4				ขั้นตอนที่ 5				
	เวลาก่อน ปรับปรุง (วินาที)	เวลาการหลัง ปรับปรุง (วินาที)		เวลาเฉลี่ยรวม หลังปรับปรุง ทั้ง 2 ส่วน	เวลาก่อน ปรับปรุง (วินาที)	เวลาหลังปรับปรุง (วินาที)			เวลาเฉลี่ยรวม หลังปรับปรุงทั้ง 3 ส่วน
		ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2			ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3	
1	259	203	152	177.5	270	274	242	201	239.0
2	271	213	154	183.5	301	276	255	211	247.3
3	231	233	145	189.0	273	298	243	197	246.0
4	244	199	149	174.0	286	251	252	194	232.3
5	255	223	148	185.5	302	266	270	213	249.7
6	246	205	135	170.0	299	261	240	202	234.3
7	277	180	148	164.0	267	243	228	228	233.0
8	248	186	149	167.5	280	265	272	234	257.0
9	260	193	140	166.5	260	268	268	217	251.0
10	249	198	131	164.5	283	284	279	215	259.3
11	259	191	156	173.5	267	271	248	190	236.3
12	267	195	147	171.0	288	279	237	200	238.7
13	236	221	131	176.0	292	265	245	194	234.7
14	269	191	162	176.5	307	289	251	201	247.0
15	226	213	154	183.5	319	267	255	196	239.3
16	256	208	150	179.0	323	293	248	216	252.3
17	250	186	123	154.5	276	286	256	190	244.0
18	249	192	134	163.0	279	286	252	194	244.0
19	242	189	132	160.5	292	288	243	186	239.0
20	272	220	156	188.0	266	294	252	198	248.0
21	233	205	144	174.5	285	274	243	185	234.0
22	248	211	156	183.5	279	257	258	178	231.0
23	237	207	175	191.0	251	260	243	203	235.3
24	245	186	155	170.5	292	285	252	184	240.3
25	224	179	144	161.5	290	291	249	203	247.7
เวลาเฉลี่ย	250.05	201.06	146.76	173.9	285.15	274.91	251.40	201.05	242.4
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	14.21	14.02	11.23	9.85	17.14	14.19	11.36	13.40	7.91

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลของเวลาในการทำงานขั้นตอนที่ 4 และ 5

รายละเอียด	ขั้นตอนที่ 4			ขั้นตอนที่ 5			
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
		ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2		ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3
เวลาเฉลี่ย (วินาทีต่อชิ้น)	250.05	201.06	146.76	285.15	274.91	251.40	201.05
Takt time (วินาทีต่อชิ้น)	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
เวลาสมมูล (วินาทีต่อชิ้น)	20.84	16.75	12.23	17.82	17.18	15.71	12.57
ผลต่าง	+8.04	+3.95	-0.57	+5.02	+4.38	+2.91	-0.23

พบว่าเมื่อปรับปรุงการทำงานในขั้นตอนที่ 4 แล้วพบว่าเมื่อปรับปรุงส่วนที่ 1 รวมงานเข้าด้วยกันมีเวลาสมมูลในการทำงานสูงกว่า takt time เท่ากับ 3.95 วินาทีต่อชิ้น และเมื่อปรับปรุงส่วนที่ 2 สร้างจิกในการจุ่ม เวลาสมมูลในการทำงานลดลงต่ำกว่า takt time ทำให้ผลต่างระหว่าง takt time กับเวลาสมมูลเท่ากับ 0.57 วินาที การปรับปรุงและลดความสูญเปล่าในขั้นตอนที่ 5 Assembly ซึ่งดำเนินการปรับปรุงให้มีการทำงานที่ง่ายขึ้นโดยปรับปรุง 3 ส่วน โดยรายละเอียดเปรียบเทียบเวลาการทดลองทำงาน

ส่วนที่ 1 ออกแบบจิกในการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของชิ้นงาน จากเมื่อก่อนวัดทีละขาเป็นวงบนจิกและทำการวัด เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนในกระบวนการประกอบชิ้นงานจะถึงขั้นตอนการตรวจสอบค่าไฟฟ้าของชิ้นงานก่อนปรับปรุงจะทำการวัดค่าไฟฟ้าของชิ้นงานทีละขา โดยออกแบบจิกวัดค่าไฟฟ้าชิ้นงานโดยการวางชิ้นงานบนจิกและทำการวัดค่ารอบเดียวเพื่อความสะดวกในการวัดค่าและสามารถลดระยะเวลาและความลำบากในการวัดค่าลงได้ตาม

ส่วนที่ 2 ออกแบบจิกในการบัดกรีชิ้นงานจากทีละ 1 ตัว เป็น ทีละ 20 ตัว ในการบัดกรีชิ้นงาน

ส่วนที่ 3 ออกแบบฟิกเจอร์ในการตัดคอยล์ กระบวนการนำชิ้นงานทั้งหมดประกอบใน housing ในขั้นตอนการประกอบคอยล์นั้นจะมีการตัดลวดจากคอยล์ที่นำมาประกอบก่อนนำไปบัดกรีกระบวนการนี้ก่อนปรับปรุงจะใช้แรงงานในการตัดจึงสร้างฟิกเจอร์ในการช่วยตัดคอยล์ขึ้นมาเพื่อลดความผิดพลาดระหว่างการทำงานและลดระยะเวลาในการทำงานลง

พบว่าเมื่อปรับปรุงการทำงานในขั้นตอนที่ 5 แล้วพบว่าเมื่อปรับปรุงส่วนที่ 1 สร้างจิกในการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้ามีเวลาสมมูลในการทำงานสูงกว่า takt time เท่ากับ 4.38 วินาทีต่อชิ้น เมื่อปรับปรุงส่วนที่ 2 ด้วยการสร้างจิกในการบัดกรีชิ้นงานมีเวลาสมมูลในการทำงานสูงกว่า takt time เท่ากับ 2.91 วินาทีต่อชิ้น และส่วนที่ 3 ออกแบบฟิกเจอร์ช่วยในการตัดคอยล์เวลาสมมูลในการทำงานลดลงต่ำกว่า takt time ทำให้ผลต่างระหว่าง takt time กับเวลาสมมูลเท่ากับ 0.23 วินาที

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการทำงานจากเวลากระบวนการผลิตที่ลดลงของทั้งขั้นตอนที่ 4 และ 5 หาได้จากสมการที่ 3 ผลของค่าประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 5

$$\text{ค่าร้อยละประสิทธิภาพ} = \frac{\text{เวลาเฉลี่ยหลังปรับปรุง} - \text{เวลาก่อนปรับปรุง}}{\text{เวลาก่อนปรับปรุง}} \times 100 \quad (3)$$

จากตารางที่ 5 ค่าประสิทธิภาพเวลาการทำงานในขั้นตอนที่ 4 และ ขั้นตอนที่ 5 มีค่าติดลบแสดงให้เห็นว่า เวลาในการทำงานของทั้ง 2 ขั้นตอน ลดลงจากเดิมก่อนการปรับปรุง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เร็วขึ้นและสามารถทำการผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้น โดยที่ขั้นตอนที่ 4 มีร้อยละประสิทธิภาพเวลาทำงานเฉลี่ย -30.23 และขั้นตอนที่ 5 มีร้อยละประสิทธิภาพเวลาทำงานเฉลี่ย -14.68

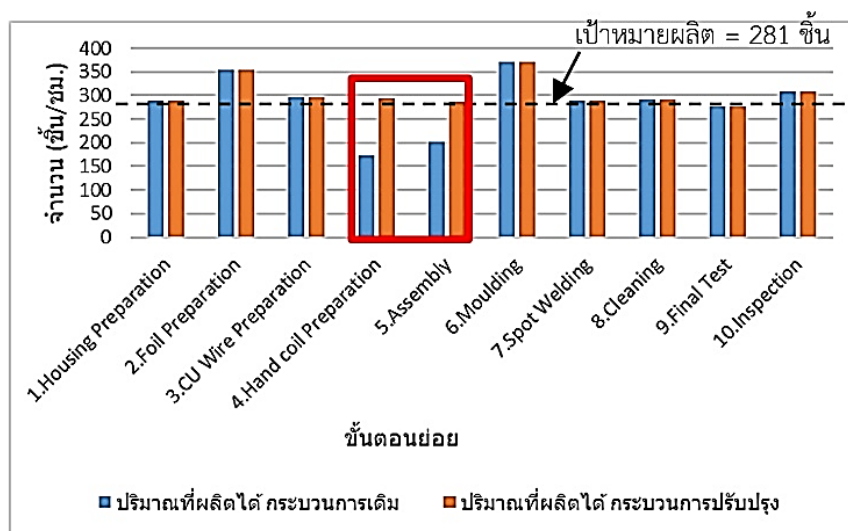
ตารางที่ 5 ค่าร้อยละประสิทธิภาพเวลาการทำงาน

จำนวนครั้ง	ขั้นตอนที่ 4			ขั้นตอนที่ 5		
	เวลาก่อน ปรับปรุง (วินาที)	เวลาเฉลี่ย รวมหลัง ปรับปรุงทั้ง 2 ส่วน	ร้อยละ ประสิทธิภาพเวลา ทำงาน	เวลาก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาเฉลี่ย รวมหลัง ปรับปรุงทั้ง 3 ส่วน	%ประสิทธิภาพ เวลาทำงาน
1	259	177.5	-31.47	270	239.0	-11.48
2	271	183.5	-32.29	301	247.3	-17.84
3	231	189.0	-18.18	273	246.0	-9.89
4	244	174.0	-28.69	286	232.3	-18.78
5	255	185.5	-27.25	302	249.7	-17.32
6	246	170.0	-30.89	299	234.3	-21.64
7	277	164.0	-40.79	267	233.0	-12.73
8	248	167.5	-32.46	280	257.0	-8.21
9	260	166.5	-35.96	260	251.0	-3.46
10	249	164.5	-33.94	283	259.3	-8.37
11	259	173.5	-33.01	267	236.3	-11.50
12	267	171.0	-35.96	288	238.7	-17.12
13	236	176.0	-25.42	292	234.7	-19.62
14	269	176.5	-34.39	307	247.0	-19.54
15	226	183.5	-18.81	319	239.3	-24.98
16	256	179.0	-30.08	323	252.3	-21.89
17	250	154.5	-38.20	276	244.0	-11.59
18	249	163.0	-34.54	279	244.0	-12.54
19	242	160.5	-33.68	292	239.0	-18.15
20	272	188.0	-30.88	266	248.0	-6.77
21	233	174.5	-25.11	285	234.0	-17.89
22	248	183.5	-26.01	279	231.0	-17.20
23	237	191.0	-19.41	251	235.3	-6.25
24	245	170.5	-30.41	292	240.3	-17.71
25	224	161.5	-27.90	290	247.7	-14.59
เวลาเฉลี่ย	250.05	173.9	-30.23	285.15	242.4	-14.68
ส่วน						
เบี่ยงเบน	14.21	9.85	5.77	17.14	7.91	5.53
มาตรฐาน						

4. สรุปและอภิปรายผล

กระบวนการผลิตชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ในสายการผลิต ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตยังไม่สามารถเป็นไปตามแผนการผลิตที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ อันเนื่องมาจากในบางกระบวนการมีความเร็วในการผลิตที่ช้ากว่ามาตรฐานซึ่งใช้เวลาสูงเกินรอบการผลิตชิ้นงานต่อชิ้น (Takt Time) ประกอบไปด้วย 2 กระบวนการด้วยกัน ประกอบไปด้วย การพันคอยล์ (Hand coil +Preparation) และกระบวนการประกอบชิ้นงาน (Assembly) จึงใช้หลักการศึกษาเวลาเพื่อลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS เพื่อปรับปรุงสมดุลสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งทำให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้นด้วยหลักในการรวมงานเข้าด้วยกัน (Combine ; C) และหลักในการทำงานให้ง่าย (Simplify ; S) ทั้งขั้นตอนที่ 4 และ 5 โดยเวลาที่ใช้ในการผลิตของทั้ง 2 ขั้นตอน ลดลงและไม่สูงเกินรอบเวลาการผลิตต่อชิ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30.23 ในขั้นตอนที่ 4 และ ร้อยละ 14.68 ของขั้นตอนที่ 5 ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตเข้าใกล้ตามเป้าหมายกำหนด

หลังปรับปรุงสายการผลิตสามารถสรุปผลของเวลาแต่ละกระบวนการผลิต ข้างต้นแล้วนั้น โดยผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดความสูญเสียเวลาจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นพบว่า เวลาที่ใช้ในการผลิตลดลงเนื่องมาจากการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสะดวกต่อผู้ใช้งาน รวมไปถึงการจัดการกระบวนการในการรวมงานให้มีประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการผลิตของขั้นตอนที่ 4 และ 5 เพิ่มขึ้น เป็น 294 ชิ้นต่อชั่วโมง และ 286 ชิ้นต่อชั่วโมง ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

และจากการจัดสมดุลการผลิต พบว่า เมื่อคิดประสิทธิภาพของสายการผลิตรวมทั้ง 10 ขั้นตอน หลังผ่านการปรับปรุงตามสมการที่ 1 สายการผลิตโดยรวมในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 63.72 เป็นร้อยละ 94.60 ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.88 ระยะเวลาในการผลิตลดลงใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนด สามารถเพิ่มจำนวนการผลิตจาก 2,847 ชิ้นต่อวัน เป็น 5,449 ชิ้นต่อวัน เนื่องจากการรวมงานที่สามารถทำได้ด้วยกันได้มาอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน และการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานได้ครั้งละหลายชิ้นและง่ายส่งผลให้พนักงานสามารถทำงานได้อย่าง

รวดเร็วและไม่เกิดของเสียหรือตำหนิในชิ้นงานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิงที่ [6, 11, 12] ที่ได้ใช้เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม

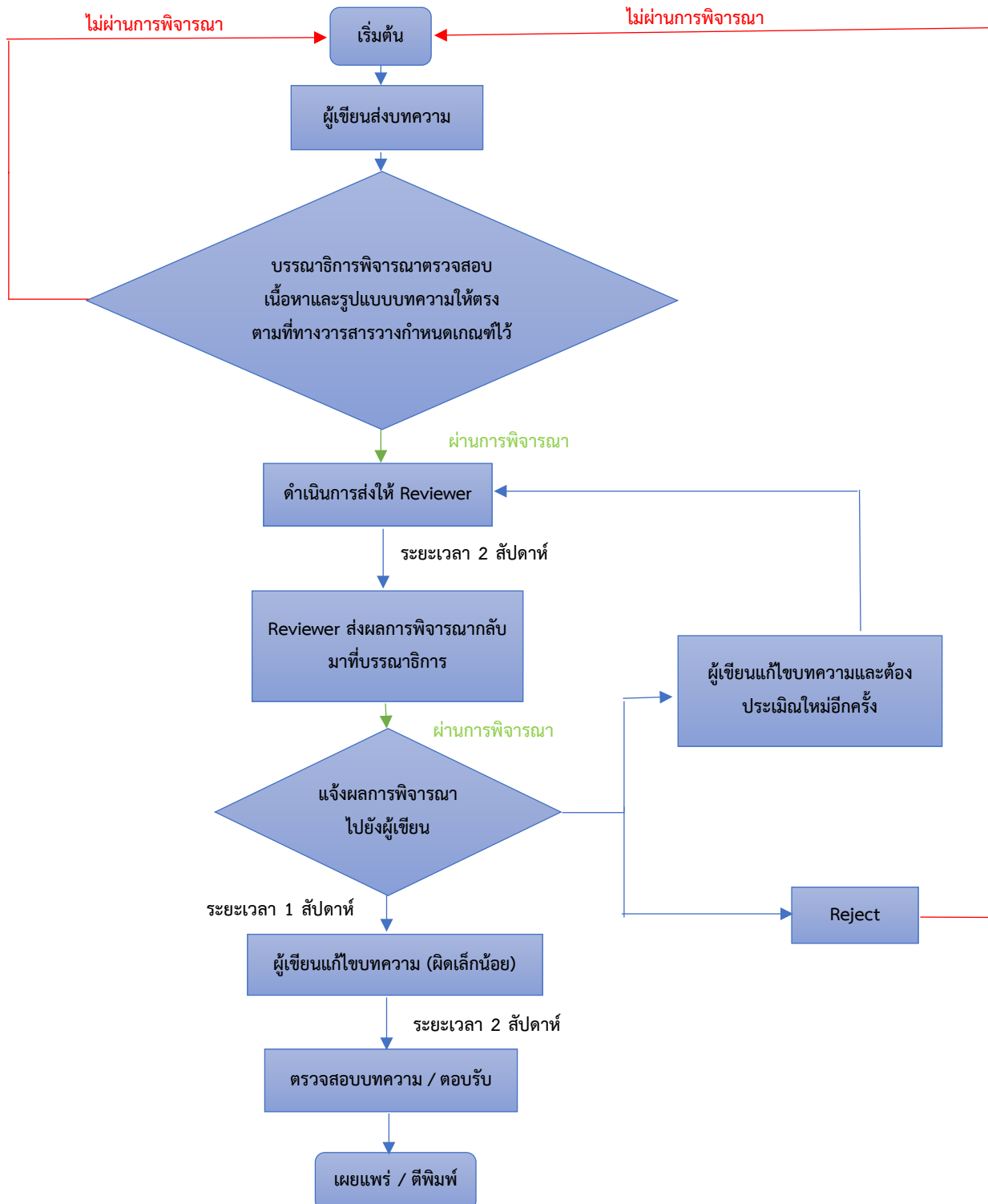
อย่างไรก็ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในการผลิตอยู่ที่ 6,000 ชิ้นต่อวัน จึงควรมีการปรับปรุงพัฒนาในขั้นตอนการทำงานที่ 9 และขั้นตอนอื่นอย่างต่อเนื่องด้วยเทคนิคอื่น เทคนิคการควบคุมคุณภาพ เป็นต้นเพื่อให้การทำงานมีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในสายการผลิตให้ครบทั้ง 10 ขั้นตอนการทำงานทันสมัยอยู่เสมอซึ่งจะสามารถช่วยให้กระบวนการผลิตในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพดีขึ้นอีกทั้งเพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักรการผลิตและรุ่นของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Dankhate, T. Sae-Lee and C. Pattayano. “Line Balancing for Reducing Waste of Producing: A Case Study frozen salmon Process”. in *proceeding of industrial engineering network conference 2018*, Ubon Ratchathani University, Thailand, pp. 1-6, 2018. (In Thai)
- [2] Y. jongjun, Y. ketmuang and N. buripun “Production Balancing Line for Reducing Waste In Process Production Maintain Mounting Dump”, in *proceeding of industrial engineering network conference 2012*, Sripatum University, Thailand, pp. 281-288, 2012. (In Thai)
- [3] J. Kongchuenjai and C. Chamnanlor. “Mixed Model Line Balancing in Automotive Industry using Mathematical Models”. *Thai Journal of Operations Research*. Vol 6(1), pp. 13-21, 2018. (In Thai)
- [4] W. Keaitnukul. “A Line Balancing of the Aluminium Frame Assembly Processes Case Study: A Sample Company”, *Thai Industrial Engineering Network Journal*. Vol 4(1), pp. 49-58, 2018. (In Thai)
- [5] M. Kittiyankajon, M. Wongharjuk and M. Susomboon. “Application of Single Minute Exchange of Die and ECRS Techniques to Reduce Machine Set up Time: A Case Study of Powdered Drink Mix Process”. *Engineering Journal Chiang Mai University*. Vol 27(1), pp.1-1, 12020. (In Thai)
- [6] W. Sirirak, N. Jaikhom, A. Pinchaimoon, T. Klongdee, and S. Sirisean. “ECRS technique using for honey filling process improvement”. *Journal of Manufacturing and Management Technology (JMMT)*. Vol 1(1), pp 1-10, 2022. (In Thai)
- [7] C. Pornsing and S. Amphutsa. “Process and Plant Layout Improvement using Industrial Engineering Techniques: A Case Study Sample LED Light Factory”. *Thai Science and Technology Journal*. Vol. 27(6), pp. 1132-1146, 2019. (In Thai)
- [8] C. Khambunlue, T. Pornpriphet, and K. Wongpoo. “Increasing Efficiency of Cutting Process Thai Enterprises Kanom(Krayasart) of Small Enterprises Kanom Thai Ban Tak”. *RMUTL Engineering Journal*. Vol. 4(2), pp. 45-53, 2019. (In Thai)
- [9] N. Kanoksirujisaya, S. Srininpan and S. Ratchabut. “Reducing waste reduction in parts manufacturing processes Hard disk drives (HDDs) by ECRS techniques”. *Journal of Industrial Technology and Innovation*. Vol. 1(1), pp. 1-11, 2022. (In Thai)

- [10] IE Business Solution co.,ltd, (21 May 2021). Finding Takt Time for production line balancing
[Online] Available : <https://ieprosoft.com/>
- [11] P. Phichitphajongkij. “Improvement of Chassis Production Process of Truck Factory” *Engineering Journal Chiang Mai University*. Vol 25(2), pp. 55-66, 2018. (In Thai)
- [12] C. Kittidecha and A. Chaiklang “The Productivity Improvement of Bottled Water Manufacturing using Work Study Technique”. *Journal of Manufacturing and Management Technology (JMMT)*. Vol 1(1), pp 1-9, 2022. (In Thai)

ขั้นตอนการตีพิมพ์ลง วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ



แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

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

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

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

โทรสาร.....อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

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

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM

FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF MANUFACTURING AND MANAGEMENT TECHNOLOGY

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

Name-Surnames

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

Address (for Contact).....

.....

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

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

Name of Article:.....

.....

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

The days of Online Submission.....

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

Sign

(.....)

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



สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดยสมาคม

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ ๖/๒๕๖๕ อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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