

The Journal of Manufacturing & Management Technology

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2567

ISSN : 2821-9597 (Online)

บทความวิจัย / บทความทางวิชาการ

- อิทธิพลของทิศทางการวางชิ้นงานต่อความเที่ยงตรงของขนาดรูปทรงผิวโค้งอิสระที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์
ภาณุภพ ศรีสม กวี บุญสุวรรณ และดอน แก้วดก
- การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่
ประจักษ์ จิตกุล อีร์วดี เชื้อนแก้ว จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และฐิติ หมอรักษา
- การพัฒนาแอปพลิเคชันและการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสภาพการอบแห้งผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ดุขฎิ บุญธรรม และธนกิจ งามมี
- การลดเวลาในการกัดเอียงมุมชิ้นงานโดยการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับยึด
เจตนิพัทธ์ พิมพ์ลักษณ์กุล สุรัชย์ งามปึก อีร์วดี พวงพี จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และวรรณนิศา บุชคุ้ม
- การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐจากถ่านหินอัด
สุพรรณ ตาคำวัน ทศนพล อินดิปัญญา และธีระวัฒน์ มาลัยศรี
- การวิเคราะห์โปรไฟล์ความหยาบผิวจากกระบวนการกัดที่ส่งผลต่อกระบวนการสึกหรอตามทฤษฎีของ Bearing Area Curve
สุธรรม ศิวาวุธ ยืน สุภาโชค ปริญญา ศรีสัตยกุล และพรทิพย์ กองคำธาร
- การศึกษาความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไดรฟ์ของโพลีเอทิลีนออกไซด์ที่ผ่านกระบวนการกลึง
ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง รัตติกรณ์ เสาร์แดน มงคล กาสีวงศ์ และวิโรจน์ ฉัตรเกษ
- สาเหตุของความเสียหายและแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับสกรูลำเลียงในการขนถ่ายตะกอนเปียกพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
สมคิด เลานิตะราษฎร์ และภาสพวิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ
- อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 โดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียด
ชาญณรงค์ สุภา ประพันธ์ ยาวระ บุญกิจ อุ่นพิกุล ดนัย สอนสุภาพ ชนาธิป กาลจักร และสมเกียรติ เต็มสุข

อิทธิพลของทิศทางการวางชิ้นงานต่อความเที่ยงตรงของขนาดรูปทรงผิวโค้งอิสระที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์	1
Influence of Workpiece Alignment on the Dimension Accuracy Freeform Curved Surface Geometry Achieved through Robotic Milling Process	
โดย : ภาณุภพ ศรีสม กวี บุญสุวรรณ และ ดอน แก้วตก	
การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่	13
Adding Value to Agricultural Waste to New Products	
โดย : ประจักษ์ จิตกุล ธีรภูมิ เชื้อนแก้ว จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และ วิฑิต หมดรักษา	
การพัฒนาเตาอบไม้สักและการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสภาพการอบแห้งผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	24
Development of Teak Wood Dryer and Optimization of Drying Condition by Mathematical Modeling	
โดย : ดุษฎี บุญธรรม และ ธนกิจ งามมี	
การลดเวลาในการกัดเอียงมุมชิ้นงานโดยการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับยึด	38
Design Jigs and Fixtures to Reduce Time in the Bevel Milling of Workpiece	
โดย : เจตนิพัทธ์ พิมพ์ลักษณ์กุล สุรัชย์ งามปัก วรภูมิ พวงพี จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และ วรณนิตา นุชคุ้ม	
การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐจากเถ้าขานอ้อย	49
Feasibility Study of Brick Production from Sugarcane Bagasse Ash	
โดย : สุบรรณ ตาคำวัน ทศนพล อินต๊ะปัญญา และ ธีระวัฒน์ มาลัยศรี	
การวิเคราะห์โปรไฟล์ความหยาบผิวจากกระบวนการขัดที่ส่งผลต่อกระบวนการสึกหรอตามทฤษฎีของ Bearing Area Curve	60
Analysis of The Surface Roughness in Lapping Process Affecting Wear Behavior Based on The Bearing Area Curve Theory	
โดย : สุธรรม ศิวาวุธ ยุพิน สุภาโชค ปริญา ศรีสัตยกุล และ พรทิพย์ คงลำธาร	

การศึกษาความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไตรโบโลยีของโพลีออกซิเมทิลีนที่ผ่านกระบวนการกลึง	69
Study of the Surface Roughness affecting on the Tribological Properties of Polyoxymethylene by Turning Process	
โดย : ชีรยุทธ กาญจนแสงทอง รัตติกรณ์ เสาร์แดน มงคล กาสิวงศ์ และ วิโรจน์ ฉัตรเกษ	
สาเหตุของความเสียหายและแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับสกรูลำเลียงในการขนถ่ายตะกอนเปียกพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	78
Causes of Damage and Solution for a Screw Conveyor in the Handling of Polymer Wet Cake in the Petrochemical Industry	
โดย : สมคิด เลานิตะรากุล และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ	
อิทธิพลของอลูมินาที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61	87
โดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียด	
Influences of Alumina Powder on Surface Roughness of Tool Steel Material SKD61 by Lapping Surface Technique	
โดย : ชาญณรงค์ สุภา ประพันธ์ ยาวระ บุญกิจ อุ่นพิกุล ดนัย สอนสุภาพ ชนาธิป กาลจักร และ สมเกียรติ เต็มสุข	



คณะกรรมการจัดทำวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ มีมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสิษฐ์ แสง-ชูโต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ธรรมณชาติ วันแต่ง

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญส่ง จงกลณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทโชติ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสิษฐ์ ศรีน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทสายัน นราพินิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัยยศ ทิพย์ศรีราช

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูแก้ม

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วังไกลกังวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนชนะ ศรีสระคู

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ดร.มนตรี แสงสุริยันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอนแก่น

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัวหน้า จงวัฒนารักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Journal of Manufacturing and Management Technology

Editorial Team

Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr.Anin Memon

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Editorial Board

Asst. Prof. Pisit Sang-Xuto

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

Assoc. Prof. Tannachart Wantang

Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University

Asst. Prof. Supaaek Pramoonmark

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Boonsong Chongkolnee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Asst. Prof. Jatuporn Jaidumrong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Asst. Prof. Dr.Nonthachoti Udomsri

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Asst. Prof. Pisit Srinoi

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

Asst. Prof. Puttasayan Narapinij

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Nateechai Passadee

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Asst. Prof. Yingyos Tipsrirach

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

Asst. Prof. Dr.Niwat Mookam

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

Asst. Prof. Dr.Poontana Sresracoo

Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Dr.Montri Saengsuriyan

Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

Dr.Surached Thuankaewsing

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

Secretary

Asst. Prof. Dr.Kaona Jongwuttanaruk

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

บทบรรณาธิการ

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

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

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



รองศาสตราจารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์

บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุष्ฎี บุญธรรม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี
อาจารย์ศักดิ์ดา คำจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
อาจารย์วิเรชา คำจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์
ดร.ประจักษ์ จิตกุล	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ภูริพัส แสนพงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนรัญชลา กำไลทอง	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัฒน์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย ผัสดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ว่าที่ร้อยเอก ศุภทร ศิลาลอย	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ นิลเพชร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Reviewers

Asst. Prof. Dr.Dussadee Buntam	Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.Nara Samattapapong	School of Engineering, Suranaree University of Technology
Mr. Sakda Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Ms. Wirekha Khamjan	Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus
Asst. Prof. Dr.Natthasak Pornputsiri	Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.Prajak Jattakul	Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chantaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr.Puripat Saenpong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Chanchai Laoha	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
Asst. Prof. Dr.Naranchala Khumlaithong	Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya Campus
Asst. Prof. Chirawat Na-Badalung	School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Asst. Prof. Nateechai Passadee	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Mr. Supat Silaloy	School of Engineering and Inovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Mr. Patiparn Nilpetch	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

อิทธิพลของทิศทางการวางชิ้นงานต่อความเที่ยงตรงของขนาดรูปทรงผิวโค้งอิสระ ที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์

Influence of Workpiece Alignment on the Dimension Accuracy Freeform Curved Surface Geometry Achieved through Robotic Milling Process

ภาณุภพ ศรีสม¹ กวี บุญสุวรรณ² และ ดอน แก้วดก^{3*}

¹สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กทม. 10250

²มิตุโตโย ประเทศไทย 76/3-5 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กทม. 10220

³สาขาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติแบบสลับ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กทม. 10250

Panupop Srisoom¹ Kawee Boonsuwan² and Don Kaewdook^{3*}

¹Engineering Technology Program, Graduate School, Thai-Nichi Institute of Technology

1771/1 Pattakarn Rd., Suan Luang, Bangkok 10250

²Mitutoyo (Thailand) Company,

76/3-5 Chaengwattana Rd., Kwaeng Anusaowaree, Khet Bangkaen, Bangkok 10220

³Robotics and Lean Automation Engineering Program, Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology

1771/1 Pattakarn Rd., Suan Luang, Bangkok 10250

*Corresponding author Email: don@tni.ac.th

(Received: January 10, 2024; Revise: February 17, 2024; Accepted: February 27, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของทิศทางการจัดวางชิ้นงานที่มีต่อค่าความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตและมิติของรูปทรงผิวโค้งอิสระชิ้นงานที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์บนวัสดุโฟม EPS เกรด 2.0 การทดลองใช้มอเตอร์ปรับความเร็วรอบได้และดอกกัดเอ็นมิลแบบ 4 ฟัน ชนิดหัวบอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ส่วนปลายแขนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบ 6 แกน ยี่ห้อ ABB รุ่น IRB 6640 มีระยะเอื้อมปลายแขนไกลสุด 2.55 เมตร ออกแบบการวางชิ้นงาน 2 ทิศทาง ประกอบด้วยการวางขนานกับแนวแกน X และวางขนานแนวแกน Y อ้างอิงจากโคออร์ดิเนตฐานของหุ่นยนต์ ซึ่งทิศทางการวางชิ้นงานมีผลต่อการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ เนื่องจากตำแหน่งเกิดจากวิธีการเคลื่อนที่ในปริภูมิสามมิติที่เกี่ยวข้องทั้งตำแหน่งและการหมุนของแกน เส้นทางการเดินคมตัดแขนหุ่นยนต์ถูกสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการผลิต ประกอบด้วยการกัดสวนทางและกัดตามเพื่อสร้างพื้นผิวโค้งอิสระตามแบบงานบนชิ้นงานทดสอบ การตรวจสอบขนาดของรูปทรงผิวโค้งอิสระที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ใช้เครื่องมือวัด 3 มิติแบบสัมผัสด้วยหัวบอลขนาด 5 มิลลิเมตร ผลการวัดพบว่าการวางชิ้นงานทั้งสองทิศทางมีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย โดยการวางขนานกับแนวแกน X มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.664 มิลลิเมตร และ ทิศทางขนานกับแนวแกน Y มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.148 มิลลิเมตร ผลการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่า p-value > 0.05 บ่งชี้ว่าทิศทางการวางชิ้นงานไม่มีผลต่อระดับค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานรูปทรงผิวโค้งอิสระที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์

คำสำคัญ: กัดด้วยแขนหุ่นยนต์ วัสดุโฟม รูปทรงผิวโค้งอิสระ ความเที่ยงตรง เครื่องมือวัด 3 มิติ

Abstract

This research aims to study the directional impact of workpiece arrangement on the geometric and dimensional deviations of the freeform curved surfaces milled by robotic milling on EPS foam material grade 2.0. The experiment utilized an adjustable rotational speed motor, cutter with a 4-tooth end mill, ball head type, and 10 millimeters of diameter. The cutter was mounted at the end of a 6-axis industrial robotic arm ABB IRB 6640 model with a maximum reach of 2.55 meters. The two orientations for workpiece placement were designed, parallel to the X-axis and parallel to the Y-axis, referencing the robot's coordinate base. The direction of workpiece placement affects the robotic arm's end-effector movement due to the positions generated in the three-dimensional coordinate system, involving both position and rotation of the axes. The toolpaths for the robotic arm's end effector were generated using computer-aided programming to facilitate the milling process. The toolpaths included contouring and pocketing to create a curved freeform surface on the workpieces. The measurement of the size of the freeform curved surfaces resulting from robotic arm milling utilized a Coordinate Measuring Machine (CMM) with touch probe diameter 5-millimeter of ball head. The measured results indicated slight differences in the size of the curved surfaces for the two orientations. The workpiece placement parallel to the X-axis showed an average deviation of 2.664 millimeters, while the orientation parallel to the Y-axis showed an average deviation of 2.148 millimeters. Statistical testing at a 95% confidence level with a p-value > 0.05 suggested that the workpiece placement direction in the robotic arm milling process not significantly impact the deviation levels of the freeform curved surfaces resulting from the robotic arm milling process.

Keywords: Robot milling, Foam material, Freeform curved surfaces, Coordinate Measuring Machine (CMM)

1. บทนำ

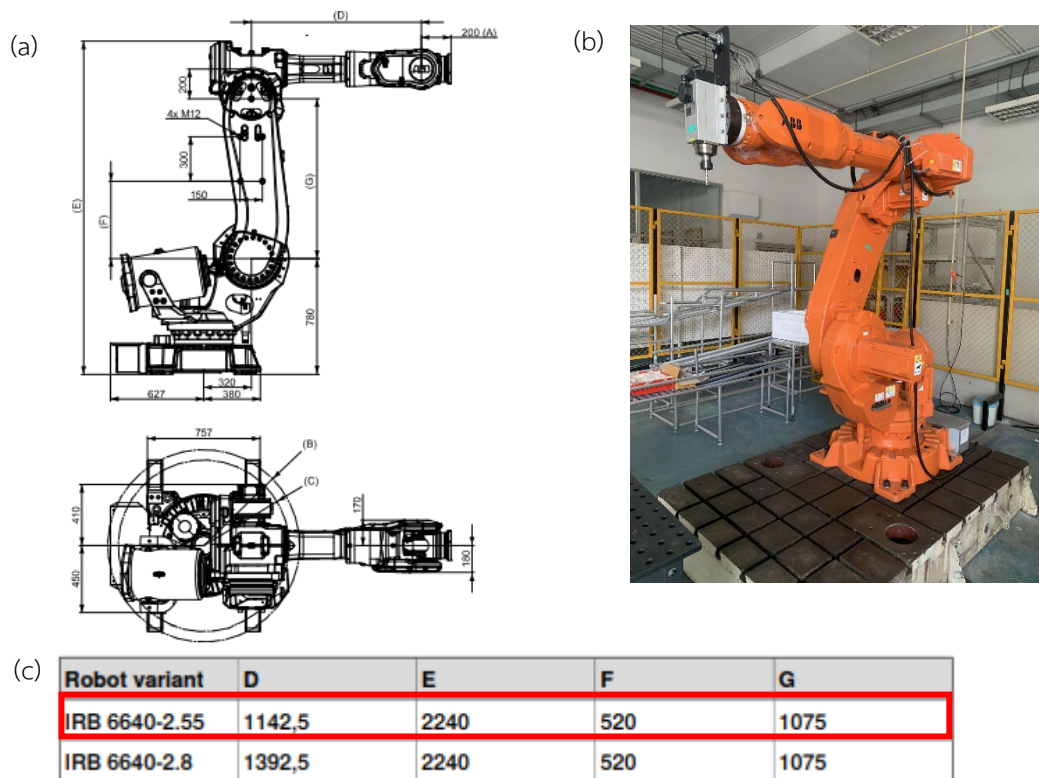
หุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบ 6 แกน คือหุ่นยนต์ที่มีองศาอิสระหรือแกนการเคลื่อนที่หกระดับ โดยทั่วไปแกนทั้งหกจะถูกกำหนดเป็นแกน X, Y, Z, A, B และ C โดยแกน X, Y และ Z สอดคล้องกับตำแหน่งของหุ่นยนต์ในพื้นที่สามมิติ ในขณะที่แกน A, B และ C สอดคล้องกับทิศทางของหุ่นยนต์หรือทิศทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปด้วยความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ทั้ง 6 แกน โครงสร้างของหุ่นยนต์ประกอบขึ้นจากการต่อกันของก้านต่อ (Link) ต่างๆ ด้วยข้อต่อ (Joint) จากส่วนฐาน (Base) และปลายแขน (End Effector) [1, 2] ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานหุ่นยนต์สำหรับงานที่มีลักษณะเฉพาะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้แก่ การใช้หุ่นยนต์สำหรับพ่นสีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือชิ้นส่วนยานยนต์ การใช้หุ่นยนต์ในการขัดพื้นผิวและงานลบคมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงานและอัตราการผลิตที่สูงขึ้น [3] และการใช้หุ่นยนต์สำหรับกระบวนการเชื่อมในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนยานยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานและรักษาคุณภาพแนวเชื่อม [4] อย่างไรก็ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบ 6 แกนมีขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลายหนึ่งในลักษณะงานที่สามารถนำหุ่นยนต์มาประยุกต์ใช้ได้คือการติดตั้งชุด

คมตัดที่ส่วนปลายแขนหุ่นยนต์ โดยการปรับพารามิเตอร์การตัดเฉือนให้สอดคล้องตามทฤษฎีการตัดเฉือน เส้นทางเคลื่อนที่ปลายแขนของหุ่นยนต์ (Tool path) ถูกสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) ซอฟต์แวร์สามารถปรับเส้นทางเครื่องมือให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ ลดการสิ้นเปลืองวัสดุ และตรวจจับการชนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างเครื่องจักรและชิ้นส่วนสามารถลดข้อผิดพลาด เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย อัญญภูมิ เหลืองทองคำ และ คณะ [6] ทำการทดลองเพื่อประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดความถูกต้องและแม่นยำของแขนหุ่นยนต์แบบ 6 แกน โดยใช้หุ่นยนต์ KUKA รุ่น KR150 R2700 โดยติดตั้งตัวสะท้อนแสงเลเซอร์ไว้ที่ส่วนปลายแขนของหุ่นยนต์ ผลการศึกษพบว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดอยู่ที่ระดับ ± 0.0149 มิลลิเมตร โดยการรายงานค่าความไม่แน่นอนขยายของการทดสอบตำแหน่งและการทดสอบเส้นทางขึ้นอยู่กับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานคูณกับตัวประกอบครอบคลุม ($k=2$) ซึ่งให้ระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% Leandro Batista da Silva และ คณะ [7] ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะคมตัดในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยแขนหุ่นยนต์แบบ 6 แกน โดยใช้หุ่นยนต์ Motoman SV3X ชิ้นงานวางบนโต๊ะที่สามารถปรับตำแหน่งแบบ 2 แกน โดยใช้คมตัดหัวบอลขนาด 3 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าการเอียงมุมของคมตัดที่เหมาะสมมีผลต่อคุณภาพผิวและความแม่นยำของขนาดชิ้นงานที่เกินจากการกัดชิ้นงานด้วยแขนหุ่นยนต์ Peng JingFu และ คณะ [8] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางการเดินของคมตัดเพื่อเพิ่มระดับความเรียบผิวชิ้นงานที่ได้จากการด้วยแขนหุ่นยนต์ การศึกษาใช้โปรแกรม RobotStudio เพื่อจำลองการเคลื่อนที่และปรับเส้นทางการตัดเฉือนให้เหมาะสม ทำการตัดเฉือนด้วยแขนหุ่นยนต์ ABB รุ่น IRB-6660 205/190 ผลการศึกษพบว่าการปรับระดับความเร่งของข้อต่อข้อติดจำกัดของข้อต่อ ข้อจำกัดของประสิทธิภาพความแข็งแรง โดยวิธีการเชิงเส้นต่อเนื่องระหว่างเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ Xiang Qu และ คณะ [9] นำเสนอการปรับปรุงทิศทางการป้อนและท่าทางปลายแขนหุ่นยนต์โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ โดยใช้หุ่นยนต์ KUKA รุ่น KR210 R2700-2 ผลการทดลองพบว่าทิศทางการป้อนและท่าทางของปลายแขนที่ถูกชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของโปรไฟล์ที่วัดได้มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ได้อย่างมาก Lejun Cen และคณะ [10] ทำการศึกษาผลกระทบของพลวัตหุ่นยนต์ต่อแรงในการกัดด้วยหุ่นยนต์ โดยใช้หุ่นยนต์ KUKA รุ่น KR210 โดยใช้การคำนวณแบบวนซ้ำเพื่อหาผลกระทบของแรงการกัดต่อความแข็งแรงของแขนหุ่นยนต์ ได้รับการพิจารณาโดยใช้ Conservative Congruence Transformation (CCT) การทดลองการกัดด้วยหุ่นยนต์แสดงให้เห็นถึงการลดลงของความผิดพลาดที่คาดการณ์ไว้ประมาณ 50% ถึง 75% สำหรับลักษณะสำคัญของแรงการกัดที่เกิดขึ้นจากรูปแบบพลวัต งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของทิศทางการวางชิ้นงานที่มีต่อความเที่ยงตรงของรูปทรงผิวโค้งอิสระที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์บนวัสดุโฟมสำหรับทำแม่พิมพ์ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์แบบ 6 แกน สำหรับการตัดเฉือนเพื่อลดต้นทุนทางด้านเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิต

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 หุ่นยนต์สำหรับกัดชิ้นงาน

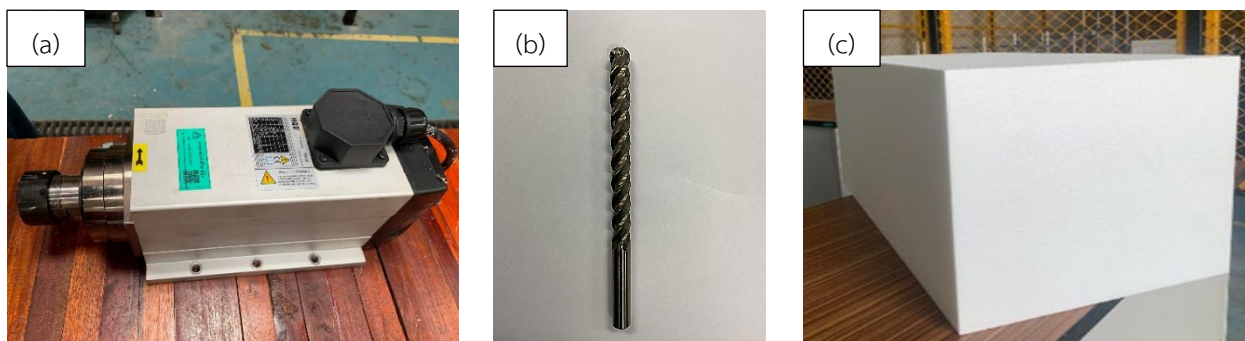
งานวิจัยนี้ใช้หุ่นยนต์อาร์ทิกิวเลท (Articulated Arm Robot) แบบ 6 แกน มีลักษณะโครงสร้างคล้ายแขนมนุษย์ [11] ยี่ห้อ ABB รุ่น IRB 6640 รับภาระโหลดได้สูงสุด 235 กิโลกรัม มีระยะเอื้อมปลายแขนไกลสุด 2.55 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 (a) ขนาดด้านมิติของแขนหุ่นยนต์ (b) หุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง (c) ตารางแสดงค่าระยะความยาวของข้อต่อแขนหุ่นยนต์

2.2 คมตัดและระบบเฟลาขับ

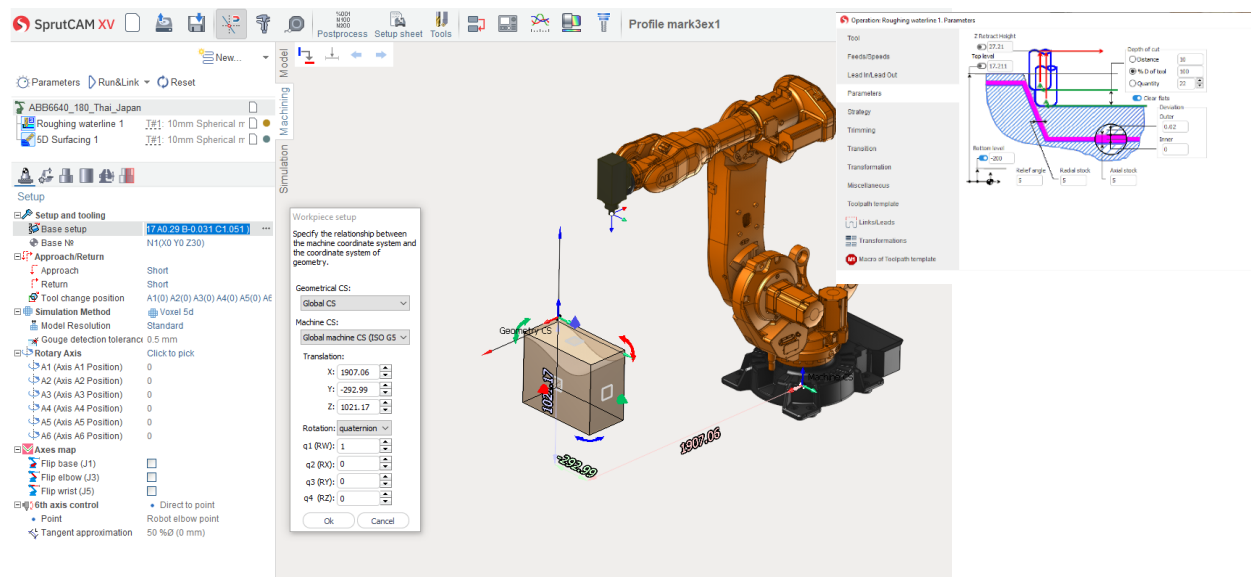
เฟลาขับที่ใช้ในการกัดชิ้นงานใช้เซอร์โวมอเตอร์ติดตั้งที่ปลายแขนหุ่นยนต์ ยี่ห้อ HQD รุ่น GDF60-18Z/6.0 ความเร็วหมุนที่ใช้กัดงาน 8400 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 140 Hz ดังแสดงในรูปที่ 2-a ใช้ดอกกัดเอ็นมิลแบบ 4 ฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร มีระยะกัตลิก 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-b ชิ้นงานที่ทดลองเป็นวัสดุโฟมเกรดอุตสาหกรรมสำหรับผลิตแม่พิมพ์ต้นแบบ (Expandable Polystyrene หรือ EPS) ความหนาแน่น 2 ปอนด์ ที่ขนาด 300 มิลลิเมตร x 600 มิลลิเมตร x 500 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-c



รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (a) เซอร์โวมอเตอร์, (b) ดอกกัดเอ็นมิลแบบ 4 ฟัน และ (c) วัสดุชิ้นงานโฟม EPS เกรด 2.0

2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์

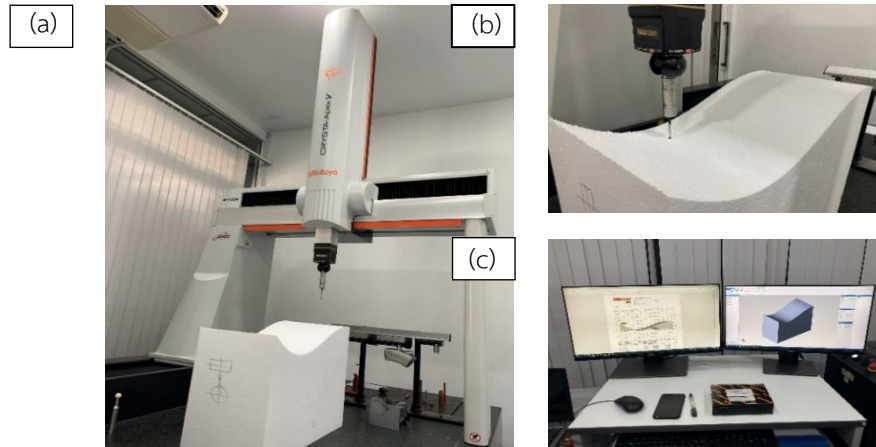
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการผลิต (CAM) เพื่อสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ให้กับแขนหุ่นยนต์ [10, 12] ในรูปแบบ NC Code ด้วยโปรแกรม SprutCAM XV ซึ่งสามารถวิเคราะห์โครงสร้างการเคลื่อนที่ของปลายหุ่นยนต์ได้อย่างแม่นยำ ตรงกับลักษณะงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 หน้าต่างควบคุมหุ่นยนต์โปรแกรม SprutCAM XV

2.4 การตรวจวัดขนาดและรูปทรงชิ้นงาน

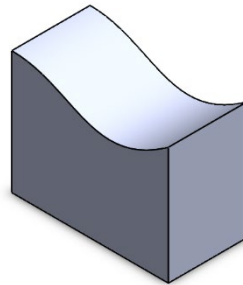
การตรวจวัดค่าความเที่ยงตรงของพื้นผิวชิ้นงานหลังการตัดเฉือนใช้เครื่องวัดแบบ 3 มิติ (CMM) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CRYSTA-Apex V 9108 ใช้การวัดแบบสัมผัสด้วยหัวโพรบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความยาวก้าน 21 มิลลิเมตร ทำการสัมผัสบนพื้นผิวของชิ้นงานด้วยแรงสัมผัส 0.20 นิวตันต่อมิลลิเมตร ที่ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อวินาที บนพื้นผิวโค้งทั้ง 3 เส้นทางดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 (a) เครื่องวัดขนาดแบบ 3 มิติ (CMM) Mitutoyo รุ่น CRYSTA-Apex V 9108 (b) การสัมผัสของหัวโพรบขณะทำการวัด (c) โปรแกรมเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการวัด

2.5 การทดลอง

ออกแบบชิ้นงานพื้นผิวโค้ง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD) สำหรับการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ตามมาตรฐาน The ASME Y14.5 GD&T Standard [13, 14] เพื่อการประเมินความคลาดเคลื่อนของรูปทรง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปทรงผิวโค้งอิสระของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ออกแบบพารามิเตอร์การตัดเฉือนความเร็วตัดสำหรับวัสดุโพลีเอทิลีนและคมตัดที่ทำมาจากเหล็กเครื่องมือความเร็วรอบสูง (HSS) โดยสมการที่ 1, 2 และ 3 [15]

$$V = \frac{\pi d N}{1000} \quad (1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วตัด; เมตร ต่อ นาที

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคมตัด; มิลลิเมตร

N คือ ความเร็วรอบของเพลาชับ; รอบ ต่อ นาที

การเคลื่อนที่ในการป้อนของชิ้นงานเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือแบบเกลียวดังสมการที่ 2 และ 3

อัตราการป้อนต่อรอบ S

$$S = \frac{f}{N} \quad (2)$$

อัตราการป้อนต่อฟัน S_z

$$S_z = \frac{f}{Nz_c} \quad (3)$$

เมื่อ S คือ อัตราการป้อนต่อรอบ; มิลลิเมตร ต่อ รอบ

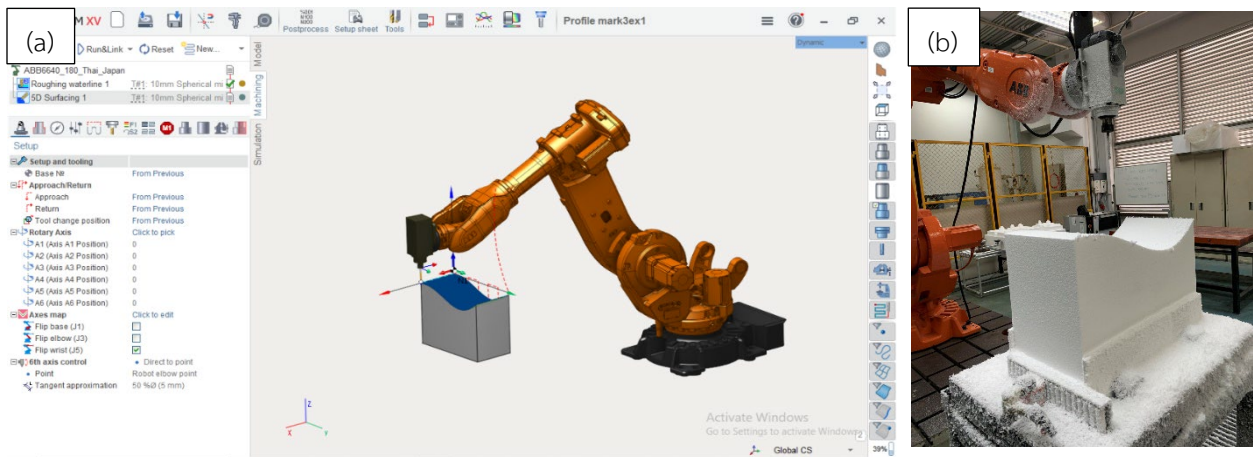
S_z คือ อัตราการป้อนต่อฟัน; มิลลิเมตร ต่อ ฟัน

f คือ อัตราการป้อน; มิลลิเมตร ต่อ นาที

N คือ ความเร็วรอบของเพลาขับ; รอบ ต่อ นาที

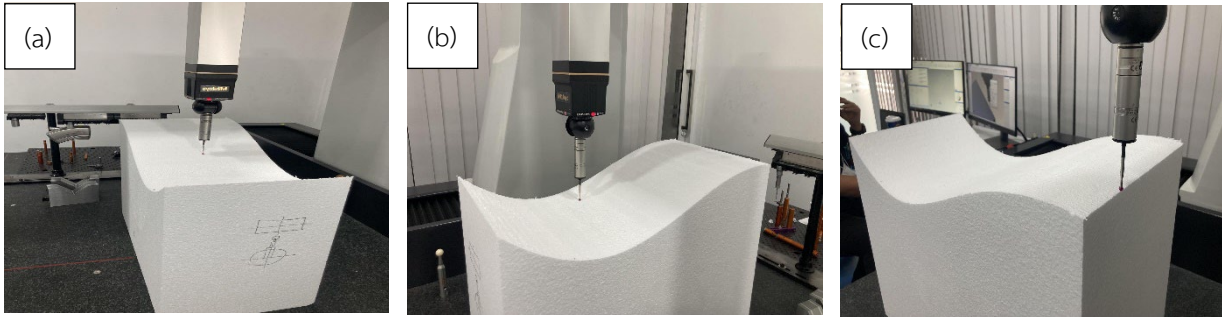
Z_c คือ จำนวนฟันที่ใช้ในการกัด

สร้าง NC Code ด้วยโปรแกรม SprutCAM XV ตั้งค่าโปรแกรมโดยเริ่มต้นจากการกำหนดคุณลักษณะของหุ่นยนต์เป็น ABB รุ่น IRB 6640 นำไฟล์ชิ้นงานที่ถูกออกแบบเข้าสู่โปรแกรม SprutCAM XV ตั้งค่าคมตัดและเงื่อนไขการตัดเฉือน จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขณะตัดเฉือน เลือกคำสั่งสร้าง NC Code นำไฟล์ไปโหลดเข้าตู้ควบคุมหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 (a) จำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ปลายแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม SprutCAM (b) การกัดงานจริงด้วยแขนหุ่นยนต์

ตรวจวัดค่าความเที่ยงตรงของพื้นผิวชิ้นงานหลังการตัดเฉือนใช้เครื่องวัดแบบ 3 มิติ อ้างอิงจากพื้นผิวของโต๊ะวางชิ้นงาน เครื่องวัดหาระนาบด้านข้างของชิ้นงานทั้ง 4 เฟลน เพื่อหาขอบของชิ้นงาน ทำการแบ่งครึ่งชิ้นงานเพื่อหาจุดกึ่งกลาง และแบ่งเป็น 4 ส่วน เพื่อการวัดพื้นผิวของงานโดยเริ่มจากการวัดตรงกลางของชิ้นงานเป็นเส้นทางแรก เพิ่มเส้นทางจากจุดกึ่งกลางไปทางซ้ายห่าง 75 มิลลิเมตร เป็นเส้นทางที่สอง และ เส้นทางที่ 3 ห่างจากจุดกึ่งกลางไปทางขวาห่าง 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 นำเส้นทางที่ทำการวัดด้วยหัวโพรบทั้ง 3 เส้นทางเปรียบเทียบกับแบบ 3 มิติโดยการเปรียบเทียบแบบ 2 มิติเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของชิ้นงาน



รูปที่ 7 (a) ตำแหน่งการวัดที่จุดกึ่งกลางชิ้นงาน (b) ตำแหน่งการวัดขอบซ้ายชิ้นงาน (c) ตำแหน่งการวัดขอบขวาชิ้นงาน

3. ผลที่ได้จากการวิจัย

ชิ้นงานที่ถูกจัดวางในระนาบที่แตกต่างกันประกอบด้วย ทิศทางการวางชิ้นงานขนานแกน X และ แกน Y อ้างอิงกับ โคออร์ดิเนตของหุ่นยนต์ มีผลต่อระยะการเคลื่อนที่แต่ละแกนของแขนหุ่นยนต์ส่งผลให้ได้ค่าผลการวัดพื้นผิวของชิ้นงานหลังการกัด มีระยะความเที่ยงตรงของขนาดที่ต่างกันเมื่อเทียบกับแบบงานจริง มีรายละเอียดผลการวัดดังนี้

แนวการวัด a-1 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.23245 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 2.80427 มิลลิเมตร

แนวการวัด a-2 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.42895 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 1.47251 มิลลิเมตร

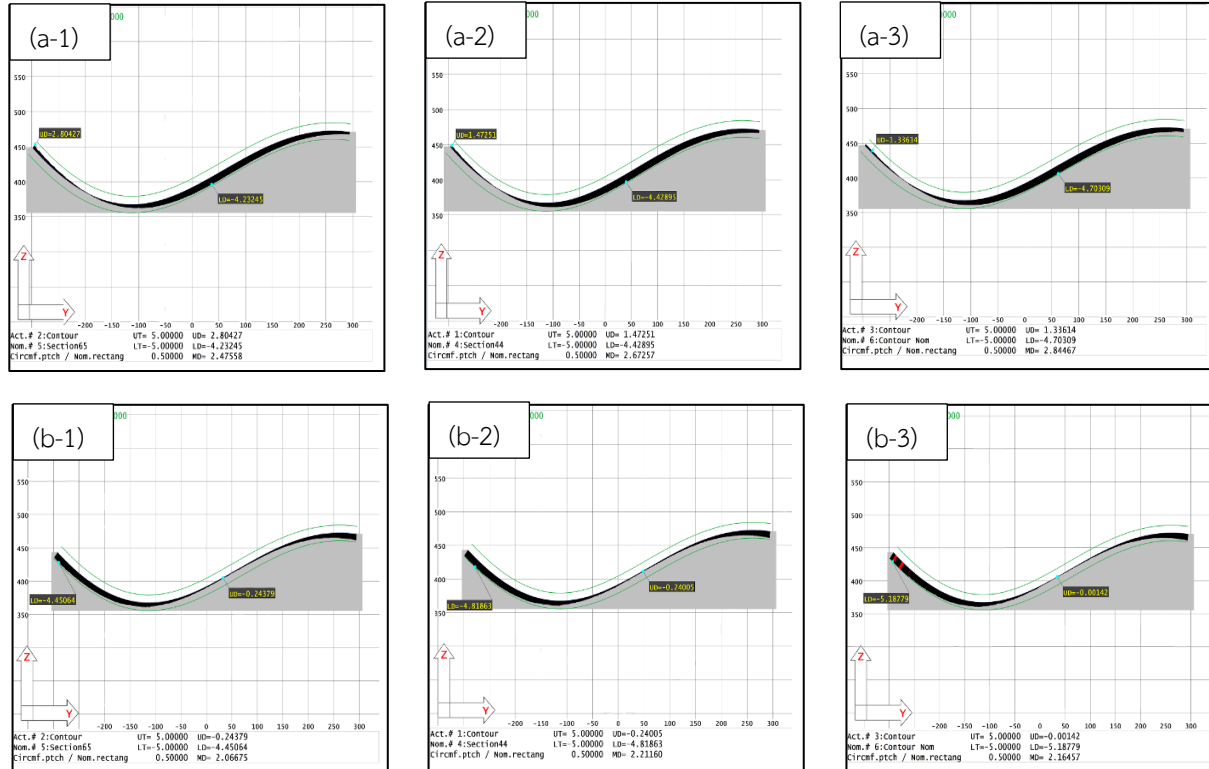
แนวการวัด a-3 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.70309 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 1.33614 มิลลิเมตร

แนวการวัด b-1 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.45064 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.24379 มิลลิเมตร

แนวการวัด b-2 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.81863 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.24005 มิลลิเมตร

แนวการวัด b-3 มีระยะคลาดเคลื่อนสูงสุด 5.18779 มิลลิเมตร และ ระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.00142 มิลลิเมตร

จากข้อมูลการวัดตามแนวความยาวของชิ้นงานพบว่าตำแหน่งส่วนปลายแขนที่ไกลจากฐานหุ่นยนต์จะมีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) สูงกว่าระยะปลายแขนที่อยู่ใกล้ฐาน และหากวิเคราะห์ค่าการวัดตามแนวขวางของชิ้นงานพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันทั้งการวางชิ้นงานขนานแกน X และ แกน Y อ้างอิงกับโคออร์ดิเนตของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 8

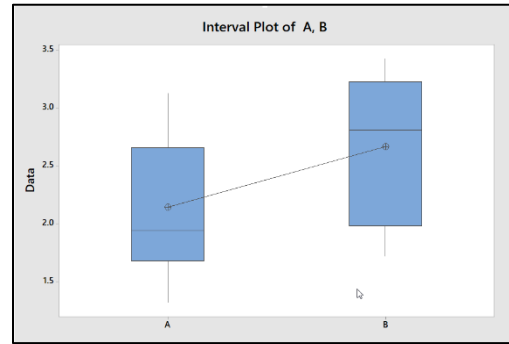


รูปที่ 8 (a) ทิศทางการวางชิ้นงานขนานแกน X อ้างอิงกับโคออร์ดิเนตของหุ่นยนต์ (a-1) ระยะที่ห่างจากกึ่งกลางทางซ้าย (a-2) ระยะกึ่งกลาง (a-3) ระยะห่างจากกึ่งกลางทางขวา (b) ทิศทางการวางชิ้นงานขนานแกน Y อ้างอิงกับโคออร์ดิเนตของหุ่นยนต์ (b-1) ระยะที่ห่างจากกึ่งกลางทางซ้าย (b-2) ระยะกึ่งกลาง (b-3) ระยะห่างจากกึ่งกลางทางขวา

เมื่อนำผลที่ได้จากการวัดของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทางมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab 17 โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า P-value = 0.077 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า α จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก [Do not Reject $H_0 \Rightarrow \mu_1 = \mu_2$] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 [16] ซึ่งให้เห็นว่าทิศทางการจัดวางชิ้นงานทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นงานที่เกิดจากการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10

Two-Sample T-Test and CI: A, B				
Two-sample T for A vs B				
	N	Mean	StDev	SE Mean
A	10	2.146	0.615	0.19
B	10	2.666	0.625	0.20
Difference = μ (A) - μ (B)				
Estimate for difference: -0.520				
95% CI for difference: (-1.102, 0.062)				
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -1.88 P-Value = 0.077 DF = 18				
Both use Pooled StDev = 0.6197				

รูปที่ 9 ค่าแตกต่างของ Hypothesis Testing ด้วยวิธี Sample T ระหว่างกลุ่ม A และ กลุ่ม B



รูปที่ 10 Boxplot ค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง A และ กลุ่ม B

4. สรุป

ตำแหน่งจัดวางชิ้นงานวัสดุโฟม EPS เกรด 2.0 ในกระบวนการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์ มีผลกระทบต่อขนาดมิติของชิ้นงาน เนื่องจากตำแหน่งปลายแขนหุ่นยนต์เกิดจากวิถีการเคลื่อนที่ในปริภูมิสามมิติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับตำแหน่งและการหมุนของแขนแต่ละแกน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าชิ้นงานที่ถูกจัดวางในแนวขนานแกน Y อ้างอิงกับโคออร์ดิเนตของหุ่นยนต์ให้ผลการวัดที่มีความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นงานหลังการกัดดีกว่า ผลการวัดด้วยเครื่องวัดขนาดแบบ 3 มิติ ระยะความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1476 มิลลิเมตร และ 2.6643 มิลลิเมตร ในจัดวางแนวขนานแกน Y และจัดวางในแนวแกน X ตามลำดับ เมื่อเทียบกับขนาดกำหนดของแบบงาน ซึ่งตำแหน่งที่ไกลจากจุดฐานของหุ่นยนต์จะเกิดความคลาดเคลื่อนของระยะการกัดมากที่สุดเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error) แต่ละแกนของแขนหุ่นยนต์ที่มีระยะความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ ผลการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่า $p\text{-value} = 0.077$ บ่งชี้ว่าทิศทางการวางในแนวขนานแกน Y และ การวางในแนวขนานแกน X ในกระบวนการกัดด้วยแขนหุ่นยนต์มีค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยที่เท่ากันของขนาดชิ้นงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท มิตูโตโย (ประเทศไทย) จำกัด ในความอนุเคราะห์ด้านการวัดขนาดด้วยเครื่อง CMM บริษัท อัลฟาโซลูชั่น จำกัด ในการให้คำแนะนำการใช้โปรแกรม SprutCAM XV และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย ส่งผลให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Toochinda, *Analysis and Control of Industrial Robots*, 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2016. (in Thai)
- [2] P. Pitakwatchara, *Basics of Robotics: Serial Robot Mechanics*, 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2014. (in Thai)
- [3] F. Yin, S. Wu, H. Huang, C. Cui, and Q. Ji, "Effect of Machining Trajectory on Grinding Force of Complex-Shaped Stone by Robotic Manipulator," *Machines*, vol. 10, no. 9, pp. 1–12, Sep. 2022. doi:10.3390/machines10090787

- [4] S. B. Niku, *Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications*, 2nd ed. Wiley, 2011.
- [5] A. Karim, J. Hitzer, A. Lechler, and A. Verl, “Analysis of The Dynamic Behavior of A Six-Axis Industrial Robot Within The Entire Workspace in Respect of Machining Tasks,” *2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Jul. 2017. doi:10.1109/aim.2017.8014094
- [6] A. Lounghongkam, C. Raksiri, and P. Kittiya, “The Measurement Uncertainty Evaluation of Accuracy and Precision for 6-axis Robotic Arm in Accordance with ISO 9283 by Laser Tracker,” *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 33, no. 110, pp. 79–92, 2020. (in Thai)
- [7] L. B. Silva, H. Yoshioka, H. Shinno, and J. Zhu, “Tool Orientation Angle Optimization for A Multi-Axis Robotic Milling System,” *International Journal of Automation Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 574–582, Sep. 2019. doi:10.20965/ijat.2019.p0574
- [8] J. Peng, Y. Ding, G. Zhang, and H. Ding, “Smoothness-Oriented Path Optimization for Robotic Milling Processes,” *Science China Technological Sciences*, vol. 63, no. 9, pp. 1751–1763, May 2020. doi:10.1007/s11431-019-1529-x
- [9] X. Qu, M. Wan, C.-J. Shen, and W.-H. Zhang, “Profile Error-Oriented Optimization of The Feed Direction and Posture of The End-Effector in Robotic Free-Form Milling,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 83, p. 102580, Oct. 2023. doi:10.1016/j.rcim.2023.102580
- [10] L. Cen and S. N. Melkote, “Effect of Robot Dynamics on The Machining Forces in Robotic Milling,” *Procedia Manufacturing*, vol. 10, pp. 486–496, 2017. doi:10.1016/j.promfg.2017.07.034
- [11] S. Mejri, V. Gagnol, T.-P. Le, L. Sabourin, P. Ray and P. Paultre, “Dynamic characterization of machining robot and Stability Analysis,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 82, no. 1–4, pp. 351–359, Jun. 2015. doi:10.1007/s00170-015-7336-3
- [12] T. Narisa, *An Application of Laser Tracker for ISO 9283 Six Axis Robot Accuracy and Precision Test Method*, 1st ed. Bangkok: Kasetsart University, 2019. (in Thai)
- [13] Y. Chen, Y. Lu, and Y. Ding, “Toolpath Generation for Robotic Flank Milling via Smoothness and Stiffness Optimization,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 85, p. 102640, Feb. 2024. doi:10.1016/j.rcim.2023.102640
- [14] G. Henzold, *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification Using ISO and ASME Standards*, 2nd ed. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2006.
- [15] H. A.-G. El-Hofy, *Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

- [16] P. Suthat-Na-Ayutthaya and P. Luengpaiboon, *Engineering Statistics (Revised Version)*, Bangkok: Top Publishing, 2016. (in Thai)

การสร้างความมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่

Adding Value to Agricultural Waste to New Products

ประจักษ์ จัตกุล¹ ธีรวัฒน์ เชื้อนแก้ว² จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร³ และ ฐิติ หมอรักษา^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.เขาคิชฌกูฏ จ.ฉะเชิงเทรา 22210

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

³สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Prajak Jattakul¹ Teerawut Khuenkaew² Jittiwat Nithikarnjanatharn³
and Thiti Mhoraksa^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala
University of Technology Tawan-Ok, Khao Kitchakut, Chanthaburi, 22210

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,
Mueang, Khon Kaen, 40000

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of
Technology Isan, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000

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

(Received: February 25, 2024; Revise: June 28, 2024; Accepted: June 30, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยการสร้างความมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ มีจุดมุ่งหมายเพื่อการแก้ปัญหา หาวิธีการจัดและจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งจะสามารถทำให้ลดจำนวนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อันทำให้สามารถลดภาวะทางอากาศลงได้ วิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัย และสามารถทำขยะให้มีมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ คือ การนำวิธีการทางวิศวกรรมมาทำให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดมูลค่าเพิ่มเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยใช้ทรัพยากรให้เป็นไปอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีขั้นตอน คือ เตรียมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ กิ่งลำไย และใบลำไยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมาย่อยให้เหลือขนาด 3 mm ด้วยเครื่องสับย่อยจากนั้นชั่งน้ำหนักวัตถุดิบที่ผ่านการสับย่อยตามสูตรที่กำหนด และน้ำหนักการไอโซไซยานต 10% ของน้ำหนักวัตถุดิบ นำเข้าเครื่องผสมพร้อมกับผสมกาวโดยการฉีดกาวเข้าไปยังเครื่อง เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วนำวัตถุดิบที่ผสมกาวแล้วมาชั่งแล้วใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 400×600 mm หลังจากนำวัตถุดิบใส่จนเสร็จแล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันไฮดรอลิกส์ 30 MPa อุณหภูมิประมาณ 160 °C เป็นเวลา 10 min หลังจากนั้นนำออกจากเครื่องอัดร้อน จะได้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดตามสูตรที่ผสม ผลการศึกษาพบว่ามีความหนาแน่นเฉลี่ย 788.53 kg/m³ มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย 8.82 % มีค่าการพองตัวเฉลี่ย 5.58 % มีค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ย 11.12 MPa มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 1,763.9 MPa และ 0.42 MPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานส่วนคุณสมบัติทางกลบางอย่างยังต่ำกว่าเกณฑ์

คำสำคัญ: วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ผลิตภัณฑ์ใหม่ มูลค่า ลำไย

Abstract

The goal of research on the creation of value from agricultural waste to new products is to find solutions to problems, reduce the amount of waste material left in agriculture, which can improve air quality, and generate commercial value-added waste. The process of manufacturing particleboards from agricultural wastes, longan branches and leaves, is to reprocess them to 3 mm in the Sub-chopper and mix 10% isocyanate glue by weight in the mixing machine. A sample was weighted and placed in a 400 x 600 mm mold by compressing it with a heat press. A 400 x 600 mm mold was filled with a weighted sample, which was compressed using a heat press machine set at roughly 30 MPa for ten minutes at 160 °C. Particleboards were then taken out of the heat press machine. The averages of density, moisture content, and thickness swelling, according to the study's findings, were 788.53 kg/m³, 8.82%, and 5.58%, respectively. Additionally, the averages for tension perpendicular to the surface, modulus of elasticity, and flexural strength were 0.42 MPa, 1,763.9 MPa, and 11.12 MPa, respectively. The physical properties of particleboards were found to surpass the Thai Industrial Standard 876–2547 when compared to the standard, although the mechanical properties did not. Consequently, although this particleboard was excellent for building homes, it was not suited for creating furniture, but it was suitable for making home decoration.

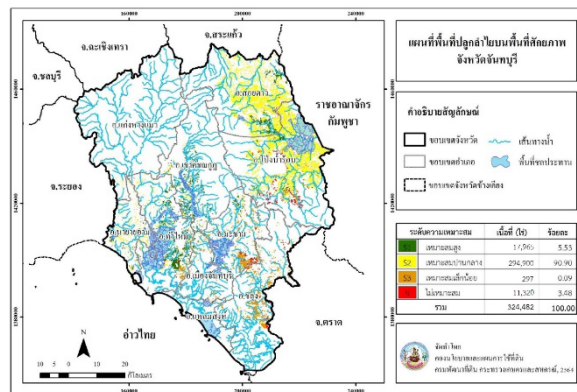
Keywords: Agricultural wastes, New products, Value, Longan

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยของเราประสบปัญหาจากมลภาวะต่าง ๆ มากมายอันเกิดจากวิทยาการที่ก้าวหน้า จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้เศษสิ่งเหลือใช้มีปริมาณมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาของวัสดุเหลือทิ้ง ขยะมูลฝอยในหลายพื้นที่อันก่อให้เกิดปัญหามลภาวะที่สำคัญ และมีผลกระทบต่อดำรงชีวิตของมนุษย์ วัสดุเหลือทิ้งหรือขยะเหล่านี้เป็นของเหลือใช้จากการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น วัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากสำนักงาน วัสดุเหลือทิ้งจากร้านอาหาร วัสดุเหลือทิ้งจากสถานประกอบการ โรงงาน และวัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน ซึ่งหากเราไม่รู้จักวิธีกำจัด และจัดการวัสดุเหลือทิ้งหรือขยะเหล่านั้นอย่างถูกวิธีแล้ว จะนำไปสู่ปัญหาต่าง ๆ ตามมามากมาย เช่น มลพิษที่เกิดจากขยะมูลฝอย หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม อันเนื่องมาจากขยะมูลฝอย เช่น การทิ้งขยะในที่สาธารณะ การทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำ และการเกิดกลิ่นเหม็นจากกองขยะส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ ร่างกาย และสุขภาพ จากการสำรวจพื้นที่ชุมชนตำบลเทพนิมิต อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี พบว่าประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก โดยมีพืชเศรษฐกิจสำคัญ คือ ลำไย เนื่องจากเป็นพื้นที่ศักยภาพเหมาะสมในการปลูกลำไยของจังหวัดจันทบุรี [1] ซึ่งในการปลูกลำไยนั้นจะมีการตกแต่งกิ่ง และมีใบร่วงหล่นจำนวนมาก เกษตรกรมักนิยมนำใบไปทำปุ๋ย ทำฟืน และเผาทำลาย อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ คือฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน ส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพของประชากรในพื้นที่เช่นเดียวกับพื้นที่อื่น ๆ ต่างกันตรงแหล่งที่มาของมลภาวะนั่นเอง จากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีนักวิจัยนำวัสดุต่าง ๆ ทั้งที่เหลือทิ้งหรือไม่มีมูลค่า มาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งแผ่นประกอบกระดาน และจานรองแก้ว เช่น วัสดุเชิงประกอบชีวภาพพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงด้วยอนุภาคเส้นใยกล้วยและทัลค์ [2] ปาร์ติเกิล

บอร์ดจากใบยาง โยมะพร้าว และเปลือกหมาก [3] วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับฟางข้าว [4] แผ่นประกอบจากเศษกระชูดเหลือใช้ [5] กระดาษจากเส้นใยเปลือกหน่อไม้ผสมเปลือกข้าวโพด [6] จานรองแก้วจากกากกาแฟและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [7] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่ที่เหลือจากการทำเสื่อ [8] วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยจากกล้วยและใบสัปะรด [9] วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสัปะรด [10–11] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นมะยมชิต [12] แผ่นไม้อัดจากเส้นใยทางปาล์มน้ำมันผสมน้ำยาพารา [13] แผ่นขึ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้สัก [14] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้จากโรงงานทำตะเกียบ [15] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว [16] แผ่นใยไม้อัดจากขานอ้อยผสมขี้เลื่อย [17] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน [18] แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน [19] และอื่น ๆ อีกมากมาย

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการนำมาผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดเพื่อจัดทำเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 1 พื้นที่ปลูกลำไยบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดจันทบุรี [1]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและวิธีการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้จะการผลิต และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876 – 2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กิ่งลำไยแห้ง และใบลำไยแห้ง
- 2) ตัวประสาน คือ กาวไอโซไซยาเนต
- 3) คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา
- 4) คุณสมบัติทางกล คือ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

2.2 ขั้นตอนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด

เตรียมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กิ่งลำไย และใบลำไยซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมาย่อยให้เหลือขนาด 3 mm ด้วยเครื่องสับย่อยจากนั้นชั่งน้ำหนักวัตถุดิบที่ผ่านการสับย่อยตามสูตรที่กำหนด และน้ำหนักกาวไอโซไซยาเนต 10% ของน้ำหนักวัตถุดิบ นำเข้าเครื่องผสมพร้อมกับผสมกาวโดยการฉีดกาวเข้าไปยังเครื่อง เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วนำวัตถุดิบที่ผสมกาวแล้วมาชั่ง แล้วใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 400×600 mm หลังจากนำวัตถุดิบใส่จนเสร็จแล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันไฮดรอลิกส์ 30 MPa อุณหภูมิประมาณ 160 °C เป็นเวลา 10 min หลังจากนั้นนำออกจากเครื่องอัดร้อน จะได้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดตามสูตรที่ผสม



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบกับตัวประสาน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป



รูปที่ 4 ปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ปาร์ติเกิลบอร์ดที่ได้จากการอัดขึ้นรูปจะมีขนาด 400×600×10 mm การทดสอบตัวอย่างแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีการสุ่มตัวอย่างจากการผลิตมาทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876 – 2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ [20] ได้แก่

คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความหนาแน่น ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50×50 mm จำนวน 6 ชิ้น นำชิ้นทดสอบที่ตัดเรียบร้อยแล้ว ไปทำการชั่งให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.1 g และทำการวัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ และวัดความกว้างกับความยาวจากนั้นหาค่าความหนาแน่น

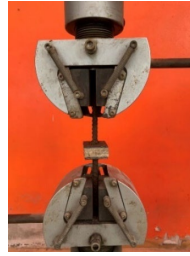
2) ปริมาณความชื้น ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 1 ให้ได้มวลแน่นอนถึง 0.1 g เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ ทำการอบชิ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ (130 ± 2) °C จนได้มวลคงที่ คือมวลของชิ้นทดสอบเมื่อชั่ง 2 ครั้งใช้เวลาห่างกัน 6 hr ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลของชิ้นทดสอบ หลังจากนั้นนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็น ชั่งชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้งจึงหาค่าปริมาณความชื้น

3) การพองตัวตามความหนา ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50×50 mm จำนวน 8 ชิ้น จากนั้นทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา และวัดความหนาของชิ้นทดสอบ ทดสอบเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ และแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 °C เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 hr ให้นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วจึงปล่อยให้อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้อีก 1 hr นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำทำการหาค่าการพองตัวตามหนา

คุณสมบัติทางกล

1) ความต้านทานแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50×200 mm จำนวน 12 ชิ้น ทำการวัดความหนาและความกว้างจากนั้นทำการคำนวณวางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับข้างละประมาณ 25 mm ให้แรงกดลงที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 sec แต่ไม่มากกว่า 90 sec (ความเร็วในการกดประมาณ 10 mm/min)

2) ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50×50 mm จำนวน 8 ชิ้น ตัดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงโดยใช้กาวสังเคราะห์ที่ให้แรงยึดระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงได้มากกว่าแรงยึดตัวในชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึงดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 sec แต่ไม่มากกว่า 90 sec (ความเร็วในการดึงประมาณ 2 mm/min) หาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



รูปที่ 5 ทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

2.4 ขั้นตอนการจัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่

เมื่อทราบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของปาร์ติเกิลบอร์ดจากการทดสอบตัวอย่างตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876 – 2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ คณะวิจัยออกแบบเพื่อจัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นแนวทางเสนอให้ชุมชน โดยมี 2 แนวทางคือ 1) ใช้ปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กิ่งลำไย และใบลำไยเท่านั้น และ 2) ใช้ปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ร่วมกับวัสดุอื่น ๆ เมื่อชุมชนเห็นด้วยจึงทำการจัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ทั้ง 2 แนวทางขึ้น



รูปที่ 6 ต้นแบบผลิตภัณฑ์จากปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้



รูปที่ 7 ต้นแบบผลิตภัณฑ์จากปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ร่วมกับวัสดุอื่น ๆ

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการดำเนินงานหลังการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแล้วนำผลที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกับผลวิจัยของฐิติ และคณะ [3] และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876–2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ ได้ผลดังนี้

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, การพองตัวตามความหนา และปริมาณความชื้น ดังตาราง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นกับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m ³)	มาตรฐาน (kg/m ³)
กิ่งลำไย และใบลำไย	788.53	400 – 900
ใบยาง	826.7115	400 – 900
ใบมะพร้าว	744.841	400 – 900
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	805.97083	400 – 900

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการพองตัวตามความหนากับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	การพองตัวตามความหนาเฉลี่ย (%)	มาตรฐาน (%)
กิ่งลำไย และใบลำไย	5.580	≤12
ใบยาง	2.363	≤12
ใบมะพร้าว	2.735	≤12
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	3.638	≤12

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชื้นกับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	ความชื้นเฉลี่ย (%)	มาตรฐาน (%)
กิ่งลำไย และใบลำไย	8.82	4–13
ใบยาง	7.27	4–13
ใบมะพร้าว	11.88	4–13
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	10.81	4–13

2) คุณสมบัติทางกล คือ ความต้านแรงดัด, โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ดังตาราง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดกับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	ความต้านแรงดัดเฉลี่ย (Mpa)	มาตรฐาน (Mpa)
กิ่งลำไย และใบลำไย	11.12	>14
ใบยาง	13.53	>14
ใบมะพร้าว	21.02	>14
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	21.3	>14

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมอดูลัสยืดหยุ่นกับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	มอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย (Mpa)	มาตรฐาน (Mpa)
กิ่งลำไย และใบลำไย	1,763.90	>1,800
ใบยาง	1,659	>1,800
ใบมะพร้าว	1,070.55	>1,800
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	1,277	>1,800

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตึงดักกับผิวหน้ากับมาตรฐาน

วัตถุดิบ	ความต้านแรงดึงตึงดักกับผิวหน้าเฉลี่ย (Mpa)	มาตรฐาน (Mpa)
กิ่งลำไย และใบลำไย	0.420	>0.4
ใบยาง	0.341	>0.4
ใบมะพร้าว	0.803	>0.4
เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว	0.593	>0.4

4. อภิปรายผล

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปาร์ติเกิลบอร์ดจากกิ่งลำไย และใบลำไย เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ พบว่ามีสมบัติทางกายภาพอยู่ในมาตรฐานกำหนด และคุณสมบัติทางกลบางประการไม่ได้อยู่ในมาตรฐานกำหนด สอดคล้องกับผลวิจัยของฐิติ และคณะ [3] ซึ่งพัฒนาปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ เปลือกหมาก ใบยาง ใบมะพร้าว และงานวิจัยของเดช และคณะ [5] เนื่องจากการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยวัสดุชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมเข้าไป

5. สรุป

จากการศึกษา สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) จากการศึกษาศสมบัติทางกายภาพของปาร์ติเกิลบอร์ดจากกิ่งลำไย และใบลำไย พบว่า มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 788.53 kg/m^3 ค่าการพองตัวเฉลี่ย 5.58 % และปริมาณความชื้นเฉลี่ย 8.82 % เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ พบว่ามีสมบัติทางกายภาพอยู่ในมาตรฐานกำหนด

2) จากการศึกษาศสมบัติทางกลของปาร์ติเกิลบอร์ดจากกิ่งลำไย และใบลำไย พบว่า มีค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ย 11.12 MPa, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านแรงดึงตึงดักกับผิวหน้าเฉลี่ย 1,763.90 MPa และ 00.42 MPa ตามลำดับ เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ พบว่ามีสมบัติทางกลบางประการต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานในเชิงกล จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านการทำเฟอร์นิเจอร์ ที่ต้องมีการรับแรงต่าง ๆ เช่น แรงกด แรงกระแทก แต่เหมาะกับการทำอุปกรณ์ตกแต่งภายในบ้าน เช่น กล่องใส่ของขนาดเล็ก ชั้นวางของเล็ก ๆ น้อย ๆ และกรอบรูป ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องรับแรงมาก

3) จากการศึกษาค่าทำให้ทราบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปาร์ติเกิลบอร์ดจากกิ่งลำไย และใบลำไย คณะวิจัยจึงได้ทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบเสนอชุมชน เพื่อเป็นการหาวิธีจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งจะสามารถทำให้ลดจำนวน

ลงได้ อันซึ่งผลต่อการไม่ทำลายภาวะทางอากาศโดยตรง เกิดมูลค่าเพิ่มเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยใช้ทรัพยากรให้เป็นไปอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสร็จสมบูรณ์ โดยได้รับการสนับสนุนวัสดุจากเกษตรกรผู้ปลูกลำไยตำบลเทพนิมิต อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Appropriate Agricultural Promotion Guidelines According to The Chanthaburi Provincial Proactive Agriculture Map Database,” Land Development Department, <https://www.ddd.go.th/Agri-Map/Data/E/cti.pdf> (accessed Jan. 21, 2023). (in Thai)
- [2] W. Sitthicharoen et al., “Use of Hemp Fiber Particles and Talc as Fillers to Reinforce Polylactic Acid Biocomposite Materials,” in *Proceeding of 4th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019 (RMTC2019)*, Chiang Mai, Thailand, May 30–31, 2019, pp. 314–320, 2019. (in Thai)
- [3] T. Mhoraksa, S. Sriprathuang, and J. Na-Phatthalung, “Development of Particle Board from Agricultural Waste Materials,” in *Proceeding of 4th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019 (RMTC2019)*, Chiang Mai, Thailand, May 30–31, 2019, pp. 321–326, 2019. (in Thai)
- [4] J. Nithikarnjanatharn et al., “Mechanical Properties of Recycled Polypropylene Composites Mixed with Rice Straw,” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Chanthaburi, Thailand, September 3–4, 2020, pp. 744–749, 2020. (in Thai)
- [5] D. Mueankhao, Y. Dulyakul, and C. Mee-ngam, “Producing Composite Panels from Scraps of Krajoed Left Over from Handicrafts in The Thale Noi Community, Phatthalung Province,” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Chanthaburi, Thailand, September 3–4, 2020, pp. 779–785 (in Thai)
- [6] M. Khaosuk, and T. Somjai, “Study of The Properties of Paper Made from Bamboo Shoot Husk Fibers Mixed with Corn Husks,” *Journal of Manufacturing and Management Technology (JMMT)*, vol. 1, no. 2, pp. 21–31, 2022. (in Thai)
- [7] S. Akaranarakul, C. Uthiyang, and T. Saengkat, “Study of The Mixing Ratio of Coffee Grounds and Low-Density Polyethylene for Creating Products, A Case Study: Glass Coasters,” in *Proceeding of 6th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2021 (RMTC2021)*, Nakhon Pathom, Thailand, September 1–3, 2021, pp. 526–531, 2021. (in Thai)
- [8] K. Phiwngam et al., “Production of Plywood Sheets from Bamboo Scraps Left Over from Making Mats,”

- in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*, Nakhon Ratchasima, Thailand, July 6–8, 2022, pp. 526–531, 2022. (in Thai)
- [9] M. Rahman, S. Das, and M. Hasan, “Mechanical Properties of Chemically Treated Banana and Pineapple Leaf Fiber Reinforced Hybrid Polypropylene Composites,” *Advances in Materials and Processing Technologies*, vol. 4, no. 4, pp. 527–537, Apr. 2018. doi:10.1080/2374068x.2018.1468972
- [10] J. Jain, and S. Sinha, “Pineapple Leaf Fiber Polymer Composites as A Promising Tool for Sustainable, Eco-Friendly Composite Material: Review,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, no. 15, pp. 10031–10052, Oct. 2021. doi:10.1080/15440478.2021.1993478
- [11] S. Joshi and S. Patel, “Review on Mechanical and Thermal Properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Reinforced Composite,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, no. 15, pp. 10157–10178, Dec. 2021. doi:10.1080/15440478.2021.1993487
- [12] K. Boontositrakul et al., “Developing Plywood Sheets from Scraps of Mangosteen Trees to Generate Income for Local Communities and Promote the Zero-Waste Concept,” *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 121–135, 2023. (in Thai)
- [13] P. Chumprong et al., “Plywood Sheets Made from Oil Palm Fibers Mixed with Latex,” in *Proceeding of The 28th National Convention on Civil Engineering, Phuket, Thailand, May 24–26, 2023*, pp. MAT43–1–MAT43–10, 2023. (in Thai)
- [14] T. Wanichdilokrat et al., “Influence of Hot-Pressing Temperature on The Properties of Plywood Sheets Made from Teak Sawdust in Phrae Province,” *Thai Journal of Forestry*, vol. 43, no. 1, pp. 49–56, 2024. (in Thai)
- [15] S. Sukhitham, S. Jarusombat, and T. Wenin, “Plywood Sheets Made from Leftover Bamboo from Chopstick Factories,” *Thai Journal of Forestry*, vol. 38, no. 2, pp. 192–201, 2019. (in Thai)
- [16] P. Yenchai, S. Jarusombat, and T. Wenin, “Production of Plywood Sheets from Scraps of Samed Khao Wood,” *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 131–140, 2016. (in Thai)
- [17] N. Mayeng et al., “Development of Fiberboard from Bagasse Mixed with Sawdust,” in *Proceeding of The 6th Nation Science and Technology Conference, Songkhla, Thailand, April 1–2, 2021*, pp. 506–513, 2021. (in Thai)
- [18] J. Namwong et al., “Study of Physical Properties Mechanical Properties and The Development of Plywood Sheets Made from Durian Peels Using a Compression Molding Process,” *Journal of Industrial Education*, vol. 23, no. 1, pp.43–53, 2024. (in Thai)
- [19] P. Keprasit et al., “Developing Plywood Sheets from Durian Tree Branch Fragments to Add Value to Agricultural Waste Materials and Promote the Zero-Waste Concept,” *Journal of Engineering, RMUTT*, vol. 21, no. 2, pp. 37–46, 2023. (in Thai)

- [20] “Industrial Product Standards TIS 876 – 2004, Flat Plywood Sheets,” Thai Industrial Standards Institute (TISI), http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS876-2547.pdf (accessed Jan. 20, 2023). (in Thai)

การพัฒนาเตาอบไม้สักและการวิเคราะห์ความ

เหมาะสมของสภาพการอบแห้งผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Development of Teak Wood Dryer and Optimization of Drying Condition by
Mathematical Modelingดุษฎี บุญธรรม^{1*} และ ธนกิจ ถาหมี²¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์²สำนักงานหม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติเขต 1 จังหวัดแพร่ กรมหม่อนไหมDussadee Buntam^{1*}, and Tanakij Thamee²¹Department of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University²Queen Sirikit Sericulture Office 1, The Queen Sirikit Department of Sericulture

*Corresponding author Email: dussadeebuntam@gmail.com

(Received: March 21, 2024; Revise: June 27, 2024; Accepted: June 29, 2024)

บทคัดย่อ

การพัฒนาเตาอบไม้สักและการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสภาพการอบแห้งผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างและพัฒนาเตาอบไม้สักที่สามารถลดปัญหาด้านคุณภาพของการอบไม้สัก ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเตาอบไม้สักแบบผสมผสาน โดยมีระบบการทำงานที่สำคัญ 3 ส่วนคือ 1) โครงสร้างของเตาอบไม้สัก ออกแบบเพื่อให้สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวันโดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ มีพัดลมดูดอากาศทำงานเพื่อลดอุณหภูมิในห้องอบลง 2) การให้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ จะให้พลังงานความร้อนมายังเตาอบ เมื่อเตาอบไม่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือมีอุณหภูมิไม่ได้ตามที่กำหนด และ 3) ในการควบคุมระบบเตาอบไม้สัก ภายในเตาอบไม้สักจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อใช้ในการติดต่อระบบการให้ความร้อนของทั้ง 2 ระบบ จากการการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าที่สุด พบว่าแบบจำลองการประมาณการแปรมีความเหมาะสมที่สามารถใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นของไม้สักระหว่างการอบแห้งได้ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งด้วยเตาอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9853 ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เท่ากับ 0.0001 และ 0.0112 มีค่าต่ำที่สุด

คำสำคัญ: ไม้สัก เตาอบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น

Abstract

The objective of research of development of teak wood dryer and optimization of drying condition by mathematical modeling has create and development teak wood dryer. It was for reducing various problems regarding the quality of teak wood does not affect the environment by designing and creating a combined teak

wood oven. There are 3 parts to the working system: 1) Structure of the teak oven was designed to receive light throughout the day with a tunnel shape. There is an exhaust fan working to reduce the temperature in the oven. 2) Providing heat energy from hot air. It will provide heat energy to the oven. When the oven does not receive heat from the sun or the temperature is not as specified and 3) the controlling the teak wood oven system Inside the teak wood oven the temperature and humidity are controlled. It is used in editing the heating systems of both systems. The mathematical modeling using non-linear regression analysis of a combined oven for drying teak wood by using the value of the decision coefficient (R^2), the chi-squared (χ^2), and the lowest square root of the mean square error (RMSE). It was found that the Diffusion approximation model is suitable to predict the moisture ratio of teak during drying for drying using a combined drying oven. The decision coefficient is equal to 0.9853, the chi-squared reduction value, And the square root of the mean square error is 0.0001 and 0.0112, having the lowest values.

Keywords: Teak wood, Oven, Mathematical model, Non-linear regression equations

1. บทนำ

อุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทยมีการนำไม้ประเภทไม้แปรรูปและไม้ท่อน มาแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ มากมายในปี 2560-2564 พบว่า จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้ารวมเป็นมูลค่าถึง 23,029 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 52.7 ของมูลค่าการส่งออก อย่างไรก็ตามไม้ที่นำเข้าเพื่อการบริโภคในประเทศทั้งหมดรวมกับการพึ่งพาไม้วัตถุดิบในประเทศ อันได้แก่ ไม้ยางพาราและไม้จากสวนป่าอื่นๆ แล้วยังสามารถ สร้างมูลค่าเพิ่มเป็นผลิตภัณฑ์ไม้และเฟอร์นิเจอร์ไม้เพื่อการส่งออกคิดเป็นมูลค่าถึง 19,585 ล้านบาท [1] ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มูลค่าการนำเข้า ส่งออกผลิตภัณฑ์ไม้ (ล้านบาท)

ปี	ไม้แปรรูป		ไม้ท่อน		เฟอร์นิเจอร์ไม้	
	นำเข้า	ส่งออก	นำเข้า	ส่งออก	นำเข้า	ส่งออก
2560	2,963	49,830	138	2.6	3,080	9,181
2561	7,940	39,280	178	80	5,156	12,037
2562	6,990	29,666	63	116	4,734	12,116
2563	5,271	29,007	93	208	4,215	16,194
2564	3,234	33,437	138	332	5,844	19,585

ที่มา: สถิติการป่าไม้, ส่วนศูนย์ข้อมูลกลาง สำนักสารนิเทศ กรมป่าไม้ [1]

ไม้สักเป็นไม้เศรษฐกิจที่มีความสำคัญของจังหวัดแพร่ เป็นไม้ที่มีความแข็งแรง มีลวดลายที่สวยงาม และมีความทนทานตามธรรมชาติ [2] ในอดีตไม้สักสามารถสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านในพื้นที่เป็นอย่างมาก จึงทำให้ชาวบ้านในจังหวัดแพร่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพหลักเป็นช่างไม้ โดยเฉพาะในตำบลน้ำคำ อำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่ ที่ยังประกอบธุรกิจด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้สัก จากการลงพื้นที่พบปัญหาไม้สักที่ผ่านการอบ มีตำหนิ ไม้หวั่นแตก และโค้งงอ ซึ่งเกิดจากการอบไม้สัก และการอบไม้แต่ละครั้งยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ในกระบวนการอบไม้สักโดยทั่วไป พบว่าเกิดความเสียหายของไม้สักมีการ

แตกหัก บิดงอ เนื่องจากการการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นในเตาอบไม้สักมีความแปรปรวนที่มาก รวมถึงไม่สามารถคาดการณ์เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบไม้สักได้บางครั้งใช้เวลาในการอบไม้สักมากเกินไป หรือน้อยเกินไปซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถใช้เตาอบไม้สักได้เต็มประสิทธิภาพ [3–5] ในปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาการอบแห้งไม้โดยการใช้อิทธิพลของไมโครเวฟ [6–7] แต่มีการใช้เทคโนโลยีการออกแบบขั้นสูงและมีต้นทุนการผลิตสูง ยังไม่เหมาะสมกับการผลิตของผู้ประกอบการรายย่อย โดยแนวทางหนึ่งในการช่วยพัฒนาการอบไม้ของกลุ่มผู้ประกอบการขนาดเล็ก คือการสร้างเตาอบไม้สักแบบผสมผสานระหว่างความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์กับลมร้อนมาใช้ในการออกแบบเพื่อสร้างเตาอบไม้สัก โดยช่วงกลางวันที่มีแสงจะใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการให้พลังงานความร้อนในการอบไม้ แต่เมื่ออุณหภูมิในเตาอบลดลง (ช่วงไม่มีแสงอาทิตย์) ลมร้อนจะทำหน้าที่ให้พลังงานความร้อนแทนพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับลมร้อน มาสร้างเตาอบไม้สักที่มีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเตาอบไม้สักที่มีการใช้ความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และลมร้อน เพื่อใช้ในการอบแห้งไม้สักสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก เพื่อใช้มีประสิทธิภาพในการอบไม้เพิ่มขึ้น และนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายกับลักษณะงานที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับการอบแห้งไม้สัก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างรอบการอบแห้งไม้สัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบในการทำนายการลดปริมาณความชื้นของไม้สักเพื่อปรับปรุงแบบการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนร่วมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานโดยเน้นกระบวนการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่เหมาะสม ที่สามารถนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ใช้เทคโนโลยีเป็นหลักการสำคัญในการดำเนินงาน ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและมาตรฐานการอบไม้สัก แล้วทำการออกแบบพัฒนาเตาอบไม้สัก ศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งไม้สักที่เหมาะสมจากเตาอบไม้สักที่พัฒนาได้ และวัดประสิทธิภาพเตาอบไม้สักที่พัฒนาได้ โดยใช้ไม้สักจากกลุ่มผู้ประกอบการไม้สักในจังหวัดแพร่ในทดสอบและศึกษาวิจัย มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและมาตรฐานของการอบไม้สัก

ในการอบไม้สักให้ได้คุณภาพผู้วิจัยได้ยึดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 497-2526) แบ่งตามข้อกำหนดความชื้นและลักษณะการใช้งานออกเป็น 3 ประเภท

ประเภทที่ 1 ความชื้นร้อยละ 8 – 12 ที่ใช้เป็นไม้เสา เช่น ไม้ประตูลูกไม้แผ่นเรียบ

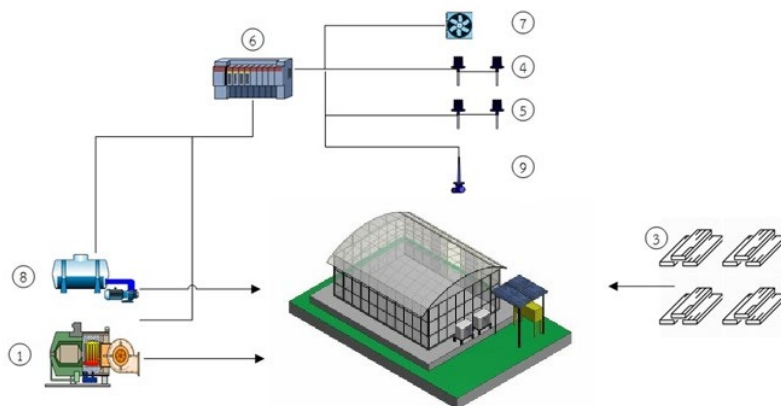
ประเภทที่ 2 ความชื้นร้อยละ 12 – 16 ที่ใช้เป็นไม้พื้น และไม้กายอื่นๆ

ประเภทที่ 3 ความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 โดยทั่วไปใช้เป็นไม้ทำถังใส่ของ

2.2 การพัฒนาเตาอบไม้สัก

เป็นพัฒนาระบบการอบไม้สักให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยนำวิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติ และการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมมาใช้ เพื่อหาเงื่อนไขในการอบไม้สักที่เหมาะสม

1) การออกแบบและพัฒนาเตาอบไม้สักกำหนดแนวทางการปรับปรุงกระบวนการอบไม้สัก ผู้วิจัยและผู้ประกอบการแนวคิดในการสร้างเตาอบไม้สักและหารูปแบบการทำนายเวลาการอบไม้สักที่เหมาะสมตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบและพัฒนาเตาอบไม้สัก

หลักการทำงานเบื้องต้นเครื่องกำเนิดลมร้อน (1) ทำหน้าที่ปล่อยความร้อนเข้าไปในโรงอบไม้ (2) โดยขนาดของเตาอบไม้ มีความจุ 6 ลบ.ม. (2 ม. x 2 ม. x 1.5 ม.) โครงสร้างหลักที่มีวัสดุเป็นเหล็ก วัสดุโปร่งใส่ที่ใช้เป็นผนังและหลังคาใช้โพลีคาร์บอเนต และพื้นโรงอบเป็นคอนกรีตเพื่อดูดซับความร้อนและป้องกัน ความชื้นจากพื้นดิน ในการอบไม้ซึ่งต้องพิจารณาปริมาณของไม้ที่นำเข้าสูโรงอบไม้ (3) เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด โดยภายในเตาอบไม้ และภายนอกโรงอบไม้จะมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (4) และเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น (5) ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์จะถูกส่งไปประมวลผลด้วยระบบควบคุม IOT (6) เมื่ออุณหภูมิในการอบสูงเกินไปพัดลมจะระบายอากาศ (7) และเมื่อความชื้นในโรงอบต่ำจะสั่งให้ปั้มน้ำ (8) ทำงานโดยจะทำการเพิ่มความชื้นโดยพ่นสเปย์หมอก (9) มาในโรงอบไม้ให้มีความชื้นตามที่กำหนดไว้

2) การหาขนาดของเครื่องกำเนิดลมร้อน ทำการกำหนดความต้องการการใช้งานคือ อุณหภูมิในการอบ 50–60 องศาเซลเซียส ปริมาตรห้องอบ 6 ลบ.ม. โดยทำการเลือกใช้ Hot Air Generator Model: HA-205 ซึ่งมีคุณสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติ Hot Air Generator Model: HA-205

คุณสมบัติ	รายละเอียด
แหล่งจ่ายไฟ	3 Phase 380 V
กำลังไฟฟ้าโดยรวม/ กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์	5 Kw
ปริมาตรอากาศสูงสุด	3.6–4.4 m ³ /min
แรงดันอากาศสูงสุด	0.6–0.8 kPa
อุณหภูมิสูงสุดสำหรับการใช้อากาศหมุนเวียน	≥ 220 องศาเซลเซียส
การควบคุมปริมาณอากาศ	Manual Da
ความดังของเสียง	≥ 75 dB
ขนาดสายไฟที่ใช้กับเครื่อง	VCT 4 เส้น x 3.5 มม. ² x 3 ม.
น้ำหนัก	28 kg

หมายเหตุ: อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขการใช้งาน

3) เก็บข้อมูลการอบไม้สัก เพื่อหาเงื่อนไขการอบไม้สักที่เหมาะสม ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลการอบไม้สักโดยมีรายละเอียดเงื่อนไขในการอบไม้สัก ดังตารางที่ 2 โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 2 รายละเอียดการเก็บข้อมูลการอบไม้สัก

หัวข้อ	รายละเอียด
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบไม้	1. อุณหภูมิภายในเตาอบไม้ให้ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส
	2. ความเร็วลมในการดูดอากาศ
	3. ความชื้นภายในเตาอบ ไม้เกิน 30 %
เงื่อนไขการอบไม้	o ความจุของเตาอบไม้สัก 6 ลบ.ม. (2 ม. x 2 ม. x 1.5 ม.)
	o ไม้ไม่มีตำหนิมีความชื้นและขนาดตามที่กำหนด

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งไม้สักที่เหมาะสม

เป็นการออกแบบโมเดลแบบจำลองในการพยากรณ์ประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาพฤติกรรมการอบแห้งของไม้สัก หรือหาค่าจลนพลศาสตร์การอบแห้งไม้สัก โดยนำตัวอย่างไม้สัก ที่ไม่มีตำหนิ เช่น ไม้มีปม ไม้แตก และมีรา เป็นต้น โดยวัตถุดิบมาจากโรงงานเลื่อยไม้สักในพื้นที่จังหวัดแพร่ โดยทำการอบไม้ครั้งละ 65 ชิ้น (เต็มโรงอบ) ทำการกำหนดและควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส ให้มีความชื้นในห้องอบแห้งไม่ต่ำกว่า 30% ทำการเก็บข้อมูลวัดความชื้นวันละ 3 ครั้ง เช้า (9.00 น.) เที่ยง (12.00 น.) และเย็น (17.00 น.) ทำการอบแห้งจนความชื้นในไม้ต่ำกว่าร้อยละ 10 นำข้อมูลมาสร้างกราฟการลดความชื้น อัตราการอบแห้ง และคำนวณสัดส่วนของปริมาณความชื้น (Moisture ratio; MR) [8–9] แล้วสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นในระหว่างการอบแห้ง จากนั้นทำการทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยทำการวิเคราะห์รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล (Empirical Model) ในการอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งที่เหมาะสม ด้วยการพล็อตข้อมูลของกราฟในการอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงสถิติ ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton [10], Page [11], Henderson and Pabis [12], Logarithmic [13], Wang and Sing [14], Two Term [15], Two Term exponential [16] และ Diffusion Approximation [17] หาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด โดยงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปสมการอบแห้งเอมพิริคัล ดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อใช้ช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของจลนพลศาสตร์การอบแห้งกับระยะเวลาในการอบแห้งโดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non-Linear Regression)

ตารางที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้ง

Model name	Model expression
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Wang and Sing	$MR = 1 + at + bt^2$
Two Term	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$
Two Term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Diffusion Approximation	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$

หมายเหตุ: เมื่อ a b c k_1 k_2 n คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุและ k คือ สัมประสิทธิ์การอบแห้ง (ชั่วโมง⁻¹)

จากนั้นทำวัดความสามารถของสมการจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) R^2 ค่าไคสแควร์ (Chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) ตามสมการที่ (1) (2) และ (3)

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - E)^2} \quad (3)$$

โดยที่

- Q_i คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบจริงลำดับที่ i
 Q คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจริง
 E_i คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ลำดับที่ i
 E คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการพยากรณ์

2.4 การวัดประสิทธิภาพเตาอบไม้สัก

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาอบไม้สักจากเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยจะทำการประเมินผลทางด้านต่างๆ อัตราการอบแห้งไม้สัก อัตราการบิดงอของไม้สัก ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ประเมินจากได้จากอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มีสูตรการคำนวณ ตามสมการ (4) (5) (6) และ (7) ตามลำดับ

○ อัตราการอบแห้งไม้สัก

$$Drying \ Rate = \frac{M_i - M_f}{t} \quad (4)$$

โดยที่

- M_i = น้ำหนักของไม้เริ่มต้น (กิโลกรัม)
 M_f = น้ำหนักของไม้สุดท้าย (กิโลกรัม)
 t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

- อัตราการบดงของไม้สัก

$$\text{อัตราการบดงของไม้สัก} = \frac{\text{จำนวนไม้ที่บดงหลังการอบ}}{\text{จำนวนไม้ทั้งหมด}} \times 100 \quad (5)$$

- อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER)

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณของน้ำที่ระเหยจากวัสดุ (kg)}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-h)}} \quad (6)$$

- การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ Specific Energy Consumption (SEC)

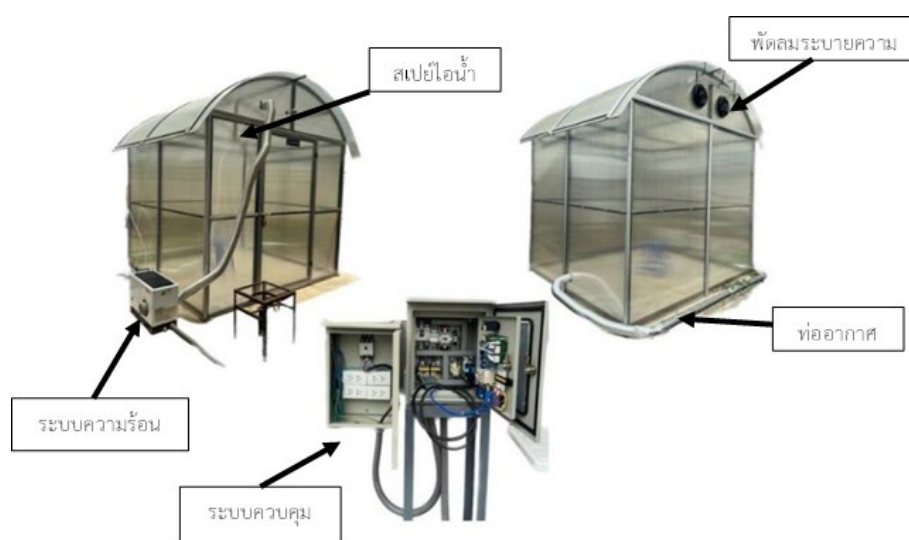
$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-h)}}{\text{ปริมาณของน้ำที่ระเหยจากวัสดุ (kg)}} \quad (7)$$

3. ผลการทดลอง

การดำเนินงานโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเตาอบแห้งไม้สักขนาดเล็กโดยใช้แบบจำลองอัจฉริยะในการควบคุมอุณหภูมิ เป็นการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาเพื่อให้มีเตาอบไม้สักที่เหมาะสมกับการใช้งาน มีผลดำเนินการงานวิจัยได้ ดังนี้

3.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่อง

ในการออกแบบและพัฒนาเตาอบไม้สักได้ศึกษาแนวทางการทำงานของเตาอบไม้แบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและยึดหลักเกณฑ์ในการปรับปรุงดังต่อไปนี้ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นไม่สูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ มีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนใช้งานง่าย มีความแข็งแรงของโครงสร้าง และการบำรุงรักษาง่าย โดยหลักการทำงานของเตาอบไม้สักในช่วงที่มีแสงอาทิตย์จะส่องมาที่เตาอบไม้จะใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง และเมื่อไม่มีความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรืออุณหภูมิไม่เป็นไปตามที่กำหนดระบบลมร้อนจะเริ่มทำงาน แล้วทำการปรับอุณหภูมิในห้องให้มีความร้อนตามที่กำหนดไว้ โดยแบ่งหลักการทำงานเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบเตาอบไม้สักแบบผสมผสาน

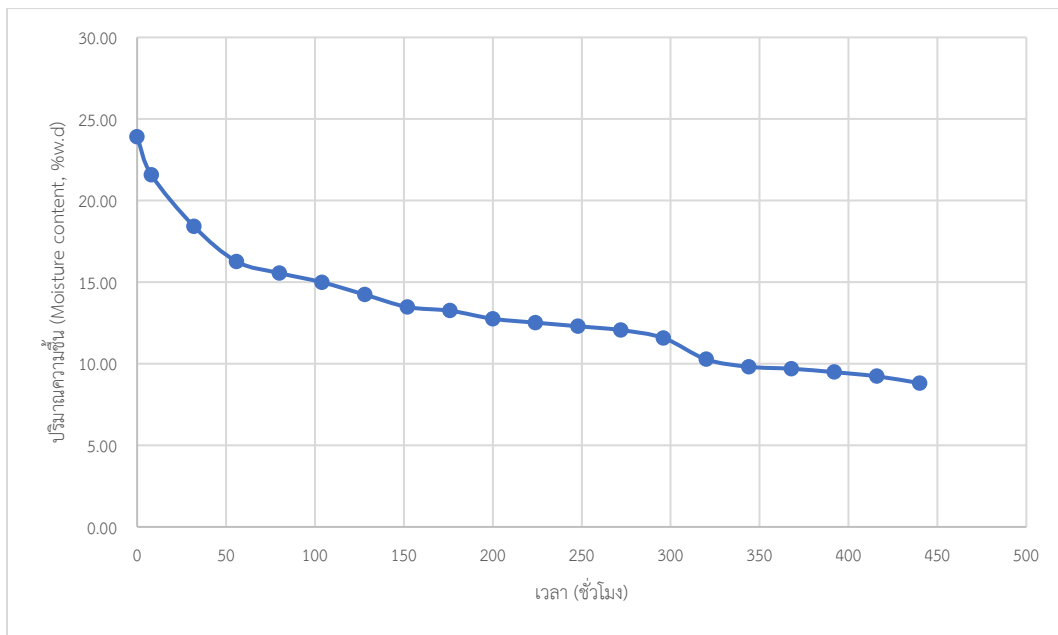
ส่วนที่ 1 การให้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โครงสร้างของเตาอบไม้สัก (1) จะถูกออกแบบเพื่อให้สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวันโดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ เมื่อเตาอบได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้อุณหภูมิในเตาอบสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเตาอบสูงเกินตามที่กำหนด พัดลมดูดอากาศ (2) ก็จะทำงานเพื่อลดอุณหภูมิในห้องลง พัดลมดูดอากาศจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ (4) ในการทำงาน

ส่วนที่ 2 การให้พลังงานความร้อนจากฮอตแอร์ (5) จะให้พลังงานความร้อนมายังเตาอบ เมื่อเตาอบไม่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (ช่วงไม่มีแสงแดด)

ส่วนที่ 3 ในการควบคุมระบบเตาอบไม้สัก ภายในเตาอบไม้สักจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อใช้ในการตัดต่อระบบการให้ความร้อนของทั้ง 2 ระบบ การควบคุมระบบเตาอบจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์อีกทางหนึ่ง

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งไม้สักที่เหมาะสม

จากการนำไม้สักเข้าไปทดสอบการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานความร้อนร่วมจำนวน 3 ครั้ง ทำการวัดและเก็บข้อมูลความชื้นวันละ 1 ครั้งในเวลา 17.00 น. ทุกวันเป็นเวลา 20 วัน พบว่าในการอบแห้งไม้สักมีอุณหภูมิในห้องเตาอบเฉลี่ยอยู่ที่ 48.62 องศา ต่ำสุดอยู่ที่ 37.8 สูงสุดอยู่ที่ 76.4 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 39.76% ต่ำสุด 29.44 สูงสุด 62.5 อุณหภูมิภายนอกเตา ต่ำสุด 27.4 สูงสุด 50.7 ความชื้นสัมพัทธ์ 63.57 ต่ำสุด 30.5 สูงสุด 91.1 โดยความชื้นของไม้เริ่มต้นที่ร้อยละ 23.8973 (ฐานแห้ง) และความชื้นสุดท้ายของการทดลองอยู่ที่ร้อยละ 8.81 (ฐานแห้ง) เมื่อนำข้อมูลการอบแห้งมาคำนวณหาสัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR) แล้วสร้างกราฟของสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อเวลาในระหว่างการอบแห้งตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง

จากรูปที่ 3 พบว่า ในช่วงแรก (1-100 ชั่วโมง) ไม้สักมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นในช่วงชั่วโมงที่ 100 - 300 จะมีอัตราการลดความชื้นเริ่มคงที่ แล้วมีการลดลงเพิ่มขึ้นในช่วงชั่วโมงที่ 400 อัตราการลดความชื้นลดลงและคงที่มากขึ้น และสัดส่วนของปริมาณความชื้น จะลดลงตามระยะเวลาในการอบที่นานขึ้น เมื่ออธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล 8 แบบจำลอง ได้แก่ Newton, Page, Henderson and Pabis,

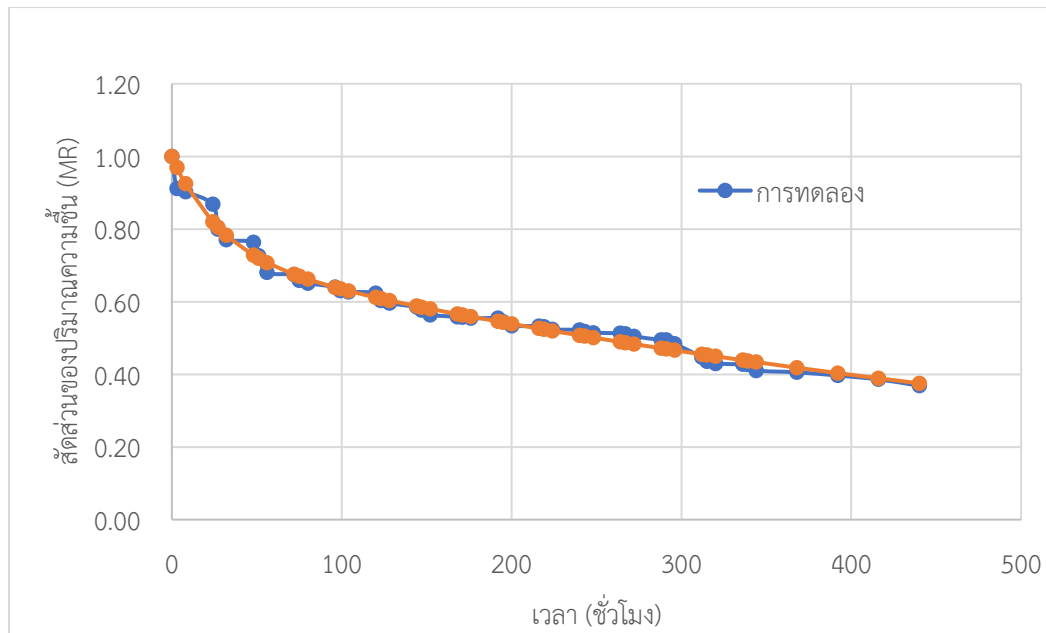
Wang and Sing, Logarithmic, Two-term, Two-term exponential และ Diffusion approximation ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) โดยมีค่าอยู่ที่ 0.5241 ถึง 0.9853 ค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) โดยมีค่าอยู่ที่ 0.0001 ถึง 0.1439 และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ($RMSE$) มีค่าอยู่ที่ 0.0112 ถึง 0.3793 ตามลำดับ พบว่าแบบจำลองของ Diffusion approximation มีความเหมาะสมที่สามารถใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นของไม้สักระหว่างการอบแห้งได้ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งด้วยเตาอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9853 ซึ่งมีความมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ และมีการลดลงไคกำลังสอง และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย $RMSE$ เท่ากับ 0.0001 และ 0.0112 มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [18] ที่ทำการศึกษาโมเดลการอบแห้งและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเมล็ดคาโนลาโดยใช้

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์เชิงสถิติของแบบจำลองการอบไม้สักด้วยเตาอบพลังงานความร้อนร่วม

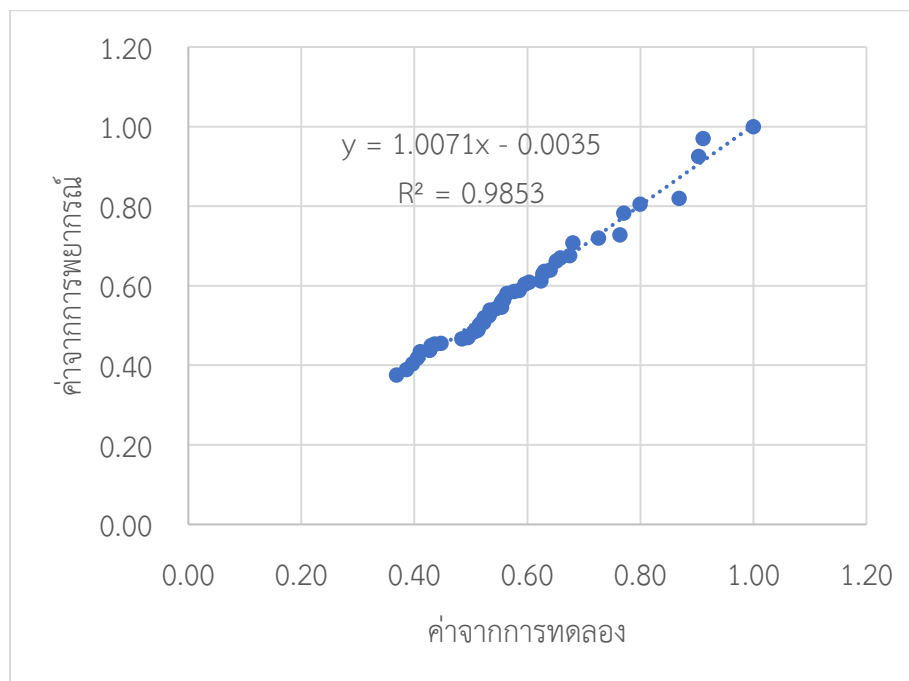
Model	Model constants	R^2	χ^2	$RMSE$
Newton	k=0.003	0.9279	0.0020	0.0451
Page	k=0.042	0.8393	0.1439	0.3793
	n=0.510			
Henderson and Pabis	k=0.002	0.9103	0.0003	0.0178
	a=0.837			
Wang and Sing	a=0.003	0.8517	0.0925	0.3041
	b=0.0005			
Logarithmic	k=0.007	0.5241	0.0071	0.0845
	a=0.513			
	c=0.401			
Two-term	a=0.251	0.9839	0.0028	0.0531
	k0=0.031			
	b=0.724			
	k1=0.001			
Two-term exponential	k=0.019	0.9562	0.0012	0.0347
	a=0.129			
Diffusion approximation	k=0.035	0.9853	0.0001	0.0112
	a=0.272			
	b=0.043			

ผลการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Diffusion approximation เทียบกับผลการทดลองในการอบไม้สักด้วยเตาอบความร้อนร่วม แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าผลของการใช้แบบจำลองมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกับผลการทดลองสำหรับทำนายค่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แบบจำลองนี้อธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นขณะอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมได้ และในรูปที่ 5 พบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นจากการวัดมีความแตกต่างจากค่า

อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองไม่มากนักก็จึงมีความสอดคล้องกันของข้อมูลค่อนข้างดีซึ่งดูได้จากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและการวัดเก็บเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณความชื้น (MR) กับเวลาระหว่างผลการทดลองกับการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง Diffusion approximation



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากการพยากรณ์จากแบบจำลอง Diffusion approximation สำหรับการอบในเตาอบพลังงานความร้อนร่วม

3.3 การวัดประสิทธิภาพเตาอบไม้สัก

การวัดประสิทธิภาพการใช้เตาอบพลังงานความร้อนร่วมในการอบไม้สัก โดยทำการประเมินและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานใน 3 ด้าน ได้แก่ อัตราการอบแห้งไม้สัก อัตราการบดของไม้สัก และการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ Specific Energy Consumption (SEC) ซึ่งได้ผลสรุปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพของเตาอบพลังงานความร้อนร่วม

การวัดค่า	ผล
น้ำหนักไม้เริ่มต้น (kg)	299.400
น้ำหนักไม้หลังอบ (kg)	250.200
น้ำหนักที่ระเหยไป (kg)	49.200
ความชื้นไม้เริ่มต้น (% w.b.)	30.115
ความชื้นไม้สุดท้าย (% w.b.)	9.782
ไฟที่ใช้ (kwh)	6,978.000
เวลาอบแห้ง (hr.)	440.000
อัตราการแห้ง (kg water evap./hr.)	0.1118
อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (kg water evap./kW-h)	0.0070
การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg water evap.)	510.580
อัตราการบดของไม้สัก (%)	9.23

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเตาอบพลังงานความร้อนร่วม โดยทำการอบไม้สักในเตาอบพลังงานความร้อน โดยใช้ไม้สักจำนวน 65 เล่ม มีน้ำหนักก่อนเข้าอบรวม 299.4 กิโลกรัม หลังจากทำการอบแห้งเป็นเวลา 440 ชั่วโมง มีน้ำหนักหลังอบแล้วอยู่ที่ 250.2 กิโลกรัม ทำการวัดความชื้นเริ่มร้อยละ 30.115 (น้ำหนักฐานเปียก) และความชื้นหลังอบแล้วที่ 9.78 (น้ำหนักฐานเปียก) ในการอบแห้งใช้พลังงานแสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมด้วย โดยใช้ไฟในการอบจำนวน 6978 หน่วย (kwh) ทำการประเมินอัตราการแห้ง (DR) เท่ากับ 0.1118 มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะเท่ากับ 0.007 กิโลกรัม น้ำที่ระเหยต่อกิโลวัตต์ ชั่วโมง มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 510.58 กิโลจูลต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย และมีอัตราการบดของไม้สักจำนวน 6 เล่ม คิดเป็น 9.23% เนื่องจากการอบแห้งไม้สักที่อุณหภูมิต่ำทำให้น้ำที่ระเหยออกจากไม้มีปริมาณน้อย จึงทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้ช้า [19]

4. สรุปและอภิปรายผล

ในการพัฒนาเตาอบแห้งไม้สักขนาดเล็กโดยใช้แบบจำลองอัจฉริยะในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อออกแบบและพัฒนาเตาอบไม้สักต้นแบบโดยควบคุมอุณหภูมิแบบอัจฉริยะ หาโมเดลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบไม้สักด้วยเตาอบพลังงานความร้อนร่วม และหาประสิทธิภาพของเตาอบพลังงานความร้อนร่วมในการอบไม้สักและออกแบบโมเดลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบไม้สัก จากผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัยที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการมาทั้งหมดสามารถที่จะสรุปผลการวิจัยตามประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

การออกแบบและสร้างเตาไม้สัก โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นไม่สูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ มีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนใช้งานง่าย มีความแข็งแรงของโครงสร้าง และการบำรุงรักษาง่าย โดยมีการพัฒนาระบบการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การให้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โครงสร้างของเตาอบไม้สัก ออกแบบเพื่อให้สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวันโดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ มีพัดลมดูดอากาศทำงานเพื่อลดอุณหภูมิในห้องอบ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในการทำงาน ส่วนที่ 2 การให้พลังงานความร้อนจากฮอตแอร์ จะให้พลังงานความร้อนมายังเตาอบ เมื่อเตาอบไม่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือมีอุณหภูมิไม่ได้ตามที่กำหนด ส่วนที่ 3 ในการควบคุมระบบเตาอบไม้สัก ภายในเตาอบไม้สักจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อใช้ในการตัดต่อระบบการให้ความร้อนของทั้ง 2 ระบบ การควบคุมระบบเตาอบจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์อีกทางหนึ่ง

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบไม้สักด้วยเตาอบพลังงานความร้อนร่วม โดยทำการอบไม้สักจำนวน 65 เล่ม ในเตาอบให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ฐานเปียก แล้วทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้สักระหว่างการอบแห้ง แล้วนำข้อมูลมาคำนวณหาสัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR) แล้วสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นในระหว่างการอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล (Empirical Model) ในการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งที่เหมาะสมด้วยการพล็อตข้อมูลของกราฟในการอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) สูงสุด และค่าการลดลงไคกำลังสอง (Reduce chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) ต่ำที่สุด พบว่าแบบจำลองของ Diffusion approximation มีความเหมาะสมที่สามารถใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นของไม้สักระหว่างการอบแห้งได้ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งด้วยเตาอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9853 ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย RMSE เท่ากับ 0.0001 และ 0.0112 มีค่าต่ำที่สุด

การวัดประสิทธิภาพของเตาอบพลังงานความร้อนร่วมในการอบไม้สัก ทำการประเมินค่าอัตราการอบแห้งไม้สัก เท่ากับ 0.11 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีอัตราการบดงของไม้สัก 9.23% มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate) เท่ากับ 0.0070 kg water evap./kW-h และมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) 510.580 MJ/kg water evap.

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Royal Forest Department, *Forest Department Statistics Data for 2021*. Bangkok, Thailand: Information Office of the Royal Forest Department, 2021. (in Thai)
- [2] Royal Forest Department, *Thai Teak Knowledge*. Bangkok, Thailand: Royal Forest Department, Ministry of Natural Resources and Environment, 2013. (in Thai)
- [3] A. Chondamrongkul, S. Phiphitwittaya, and W. Rattanaporncharoen, "Germination Rates of Teak Pollen from Different Directions of The Canopy," in *Proceeding of The 2000 Annual Forest Research Report, Forest Research Section Office of Forestry Studies, Royal Forest Department*, pp. 199–207, 2000. (in Thai)

- [4] A. Kovanich, “The Past, Present, and Future of Teak in Thailand,” *Faculty of Forestry, Kasetsart University, Seminar 50 years of Huai Tak teak plantation Celebrating the 60th Birthday Anniversary of Her Majesty the Queen from 5–8 August 1992 at the Wiang Thong Hotel, Lampang Province*, pp. 1–14, Aug. 1992. (in Thai)
- [5] A. Khaosaard, S. Chanpaisaeng, and T. Ruengsirikul, “Teak (*Tectona grandis* Linn.f.),” *Forestry academic publications, Forestry Research Division, Maintenance Division, Royal Forest Department*, pp. 1–24, 1992. (in Thai)
- [6] S. Khatri, K. Puangsuwan, R. Kaewmai, and N. Khao, “Drying Kinetics of Rubber Wood Using Microwaves,” *Journal of Engineering and Innovation*, vol. 15, no. 4, pp. 192–202, 2019. (in Thai)
- [7] P. Rattanadecho, “Research and Development of a Commercial Multi-Purpose Drying System Using Microwaves with Co-Vacuum System: A Case Study, High Quality Products, Complete Research Report,” *Thailand Science Research and Innovation (TSRI)*, 2009. (in Thai)
- [8] U. E. Inyang, I. O. Oboh, and B. R. Etuk, “Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials,” *Advances in Chemical Engineering and Science*, vol. 8, no. 2, pp. 27–48, 2018. doi:10.4236/aces.2018.82003
- [9] K. O. Falade, J. C. Igbeke, and F. A. Ayanwuyi, “Kinetics of Mass Transfer, and Colour Changes During Osmotic Dehydration of Watermelon,” *Journal of Food Engineering*, vol. 80, no. 3, pp. 979–985, Jun. 2007. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.06.033
- [10] P. W. Westerman, G. M. White, and I. J. Ross, “Relative Humidity Effect on The High-Temperature Drying of Shelled Corn,” *Transactions of the ASAE*, vol. 16, no. 6, pp. 1136–1139, 1973. doi:10.13031/2013.37715
- [11] A. A. Faruq, M. Zhang, and D. Fan, “Modeling the Dehydration and Analysis of Dielectric Properties of Ultrasound and Microwave Combined Vacuum Frying Apple Slices,” *Drying Technology*, vol. 37, no. 3, pp. 409–423, May 2018. doi:10.1080/07373937.2018.1465433
- [12] S. Pabis, and S. Henderson, “Grain Drying Theory: II. A Critical Analysis of The Drying Curve of Shelled Maize,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 6, no. 4, 272–277, 1961.
- [13] E. Horuz, H. Bozkurt, H. Karataş, and M. Maskan, “Simultaneous Application of Microwave Energy and Hot Air to Whole Drying Process of Apple Slices: Drying Kinetics, Modeling, Temperature Profile and Energy Aspect,” *Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 2, pp. 425–436, Sep. 2017. doi:10.1007/s00231-017-2152-y
- [14] M. Özdemir and Y. Onur Devres, “The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts During Roasting,” *Journal of Food Engineering*, vol. 42, no. 4, pp. 225–233, Dec. 1999. doi:10.1016/s0260-8774(99)00126-0

- [15] M. S. Rahman, C. O. Perera, and C. Thebaud, “Desorption Isotherm and Heat Pump Drying Kinetics of Peas,” *Food Research International*, vol. 30, no. 7, pp. 485–491, Aug. 1997. doi:10.1016/s0963-9969(98)00009-x
- [16] P. K. Chandra, and R. P. Singh, *Applied Numerical Methods for Food and Agricultural Engineers*, 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1994.
- [17] N. Kumar, B. C. Sarkar, and H. K. Sharma, “Mathematical Modelling of Thin Layer Hot Air Drying of Carrot Pomace,” *Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, no. 1, pp. 33–41, Feb. 2011. doi:10.1007/s13197-011-0266-7
- [18] N. Malekjani, S. M. Jafari, M. H. Rahmati, E. E. Zadeh, and H. Mirzaee, “Evaluation of Thin-Layer Drying Models and Artificial Neural Networks for Describing Drying Kinetics of Canola Seed in A Heat Pump Assisted Fluidized Bed Dryer,” *ijfe*, vol. 9, no. 4, pp. 375–384, Nov. 2013. doi:10.1515/ijfe-2012-0136
- [19] K. Pituphromphan, N. Phumisa-at, and L. Wiset, “Drying of Paddy Seed Flour by Heat Pump Dryer,” *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, vol. 32, no. 5, pp. 622–625, 2013. (in Thai)

การลดเวลาในการกัดเอียงมุมชิ้นงานโดยการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับยึด

Design Jigs and Fixtures to Reduce Time in the Bevel Milling of Workpiece

เจตนิพัทธ์ พิมลลักษณ์กุล¹ สุรัชชัย งามปักษ์¹ วรวิทย์ พวงพี¹ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร¹ และ วรณนิตา นุชคุ้ม^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Jetnipat Pimollukanakul¹ Surachai Ngampak¹ Worawut Phuangphi¹

Jittiwat Nitthikarnjanatharn¹ and Wannisa Nutkhum^{1*}

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

Rajamangala University of Technology Isan

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

(Received: June 5, 2024; Revise: June 26, 2024; Accepted: June 29, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการทำงานโดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ซึ่งเป็นเครื่องมือในงานอุตสาหกรรมชนิดหนึ่ง อีกทั้งการทฤษฎีทางสถิติและการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับผลิตชิ้นงานจำนวนมากให้ตรงตามมาตรฐาน ก่อนการปรับปรุงขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานนั้นใช้ปากกาองศาสำหรับการจับยึดชิ้นงานและกัดเอียงมุมของชิ้นงาน การติดตั้งอุปกรณ์และกัดเอียงมุมชิ้นงานใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 1-2 ชั่วโมงต่อชิ้น จากการเปรียบเทียบข้อมูลเวลาก่อนและหลังสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เห็นได้ว่าเวลาการทำงานของขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ก่อนสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานใช้เวลาเฉลี่ย 31.01 นาที และหลังสร้างอุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงานใช้เวลาเฉลี่ย 15.77 นาที สามารถลดเวลาได้ 15.45 นาที คิดเป็นร้อยละ 49.80 และสามารถลดต้นทุน 44,976 บาทต่อปี

คำสำคัญ: อุปกรณ์นำเจาะ อุปกรณ์จับยึด กัดเอียงมุม

Abstract

This research aims to reduce work time by designing and creating a drilling guide device and a workpiece clamping device, which are types of tools used in the industrial sector. Additionally, it involves statistical theory and Jig Fixture for mass production that meets standards. Before the improvement, the process of clamping the workpiece involved using an angle vice for clamping and milling the workpiece's angle. The installation of the device and milling the workpiece's angle took an average of 1-2 hours per piece. By comparing the time data before and after the creation of the drilling guide and workpiece clamping devices, it was found that the work time for the 45-degree angle milling process was reduced from an average of 31.01 minutes before the creation of the devices to an average of 15.77 minutes after their creation. This reduction of 15.45 minutes represents a 49.80% decrease in time and results in an annual cost savings of 44,976 baht.

Keywords: Jigs, Fixtures, Bevel Milling Jigs, Fixtures, Bevel Milling

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตมนุษย์ ซึ่งมีการพัฒนาคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกสบายต่อการดำรงชีวิตเป็นอันมาก เทคโนโลยีได้เข้ามาเสริมปัจจัยพื้นฐาน การดำรงชีวิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [1] การผลิตชิ้นงานทางอุตสาหกรรมยังขาดมาตรฐานในกระบวนการผลิตชิ้นงาน ส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาคุณภาพชิ้นงานที่ตรงตามมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงาน จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตชิ้นงาน [2] อุปกรณ์นำเจาะ (Jig) เป็นอุปกรณ์พิเศษที่สร้างขึ้นเพื่อกำหนดตำแหน่งการทำงานของชิ้นงาน ทั้งยังทำหน้าที่เป็นตัวนำทิศทางให้กับเครื่องมือตัด เช่น ตำแหน่งการเจาะ ตำแหน่งการเดินมีด ตำแหน่งการประกอบชิ้นส่วน [3] เนื่องจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) เป็นอุปกรณ์จับยึดรองรับและระบุตำแหน่งชิ้นงานสำหรับการใช้งานเฉพาะสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นหลัก ในการออกแบบ คือ การกำหนดตำแหน่งที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบของชิ้นงาน การเลือกรูปแบบตัวกำหนดตำแหน่งที่ดี การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนและสามารถใช้งานได้จริง [4] การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงาน หรือความต้องการผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการอย่างรวดเร็ว รวมถึงสามารถผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการสินค้าแบบเจาะจง [5] เนื่องจากปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอะไหล่หรือชิ้นส่วนทางด้านวิศวกรรม และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ซึ่งใช้วิธีการลดต้นทุน การนำเข้าแบบถาวรเป็นการผลิตขึ้นเองโดยเทคโนโลยีการผลิต [6]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตงานที่มีเครื่องจักรเพื่อการผลิตชิ้นส่วนทางด้านวิศวกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การแปรรูปโลหะภัณฑ์ขนาดใหญ่ โดยมีเครื่องจักรที่หลากหลายสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้อย่างครอบคลุมตั้งแต่งานเชื่อมประกอบ งานเชื่อมพอกผิวแข็ง งานพันทราย กลึง กัด ไส เจียระไน เจาะ คว้านรู งานประกอบ สำหรับการผลิตชิ้นงานยังคงพบจุดบกพร่องของชิ้นงาน และมีความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน การใช้ปากกาจับยึดแบบธรรมดา หรือแขนกดแบบแผ่น (Clamping) นั้นจะทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต ซึ่งต้องมีการหยุดการทำงานของเครื่องกัดเป็นเวลานานเพื่อการเปลี่ยนชิ้นงานกัดแต่ละครั้ง โดยเฉลี่ยใช้เวลา 5-10 นาที ในการผลิตชิ้นส่วนจำนวนมาก (Mass Productions) ก็ยังทำให้ต้องสูญเสียเวลาการทำงานของเครื่องจักรมากขึ้นตามไปด้วย [7] ซึ่งอุปกรณ์นำเจาะและจับยึดชิ้นงานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และงานไม้ ใช้ในงานที่ต้องการผลิตชิ้นงานที่เที่ยงตรงด้านมาตราส่วนครั้งละมาก ๆ ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาเพื่องานใดงานหนึ่งโดยอ้างอิงตามตำแหน่ง (Datum) [8] ในการจับยึดชิ้นงานมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตชิ้นงานเนื่องจากสามารถจับยึดชิ้นงานได้มั่นคงทำให้ชิ้นงานมีลักษณะตรงตามแบบอย่างเป็นมาตรฐาน ซึ่งวิธีการจับชิ้นงานลักษณะเดิมใช้ระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง ส่งผลให้การผลิตชิ้นงานเกิดความล่าช้า

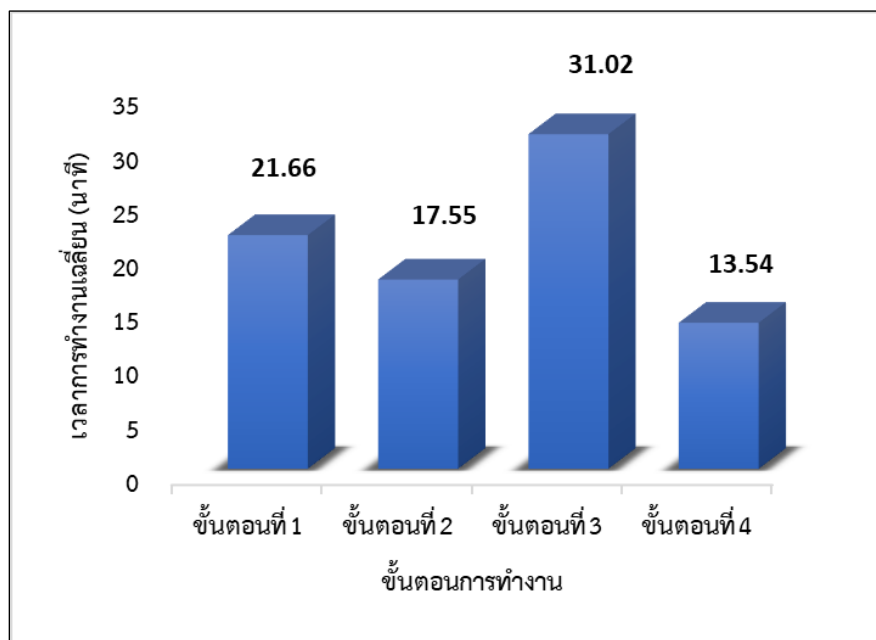
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นงาน กมลพงศ์และปิยะพงษ์ [9] ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยการจับยึดชิ้นงานซึ่งใช้ร่วมกับปากกาจับชิ้นงานสำหรับการตัดชิ้นงานแบบหลายขั้นตอน โดยอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดเลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียมและทำการแปรรูปเพื่อให้มีขนาดตามแบบงาน จากการทดลองเพื่อประเมินความสามารถของอุปกรณ์ช่วยสำหรับการจับยึดชิ้นงาน ในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยของ อำนาจ มีแสง [10] สร้างเครื่องมือจับยึดชิ้นงานในการขึ้นรูปท่ออย่างให้มีขนาดความยาวเท่าที่ต้องการทำให้ไม่มีการทิ้งเศษวัสดุใด ๆ ซึ่งหมายถึงการลดความสูญเสียในกระบวนการตัดท่ออย่างสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ลงทั้งหมดร้อยละ 100 คิดเป็นมูลค่าวัสดุที่เหลือ 221,870 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาคืนทุนของการสร้างเครื่องมือจับยึดชิ้นงาน 1.2 วันงานวิจัยดังกล่าวมีการลดระยะเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบอุปกรณ์ นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน สำหรับการผลิตชิ้นงาน เพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ยังขาดมาตรฐาน และมีความคลาดเคลื่อนให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1. การศึกษาหลักการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซี และการเก็บข้อมูลระยะเวลากะบวนการผลิต

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซี (Computer Numerical Control: CNC) โดยทั่วไประบบควบคุมทำหน้าที่ส่งการทำงานของมอเตอร์แกนต่างๆ เริ่มต้นผู้ใช้งานจะต้องป้อนคำสั่งทางเทคนิค (G Code) เข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เมื่อระบบควบคุมอ่านคำสั่งทางเทคนิคที่ป้อนสู่เครื่องจักรกลอัตโนมัติ ดำเนินการควบคุมให้เครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซี ทำงานสำหรับกระบวนการผลิตชิ้นงานที่มีมุมเอียง 45 องศา โดยระยะเวลากะบวนการผลิต คือ ช่วงระยะเวลาดังแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิตอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต สามารถหาได้ด้วยการรวมระยะเวลาดังแต่การนำเข้าวัตถุดิบ การสร้างชิ้นงาน จนถึงขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ปาดผิวชิ้นงาน 6 ด้าน ขั้นตอนที่ 2 ปาดตกป่า 1 มิลลิเมตร และเจาะรูทะลุ ขั้นตอนที่ 3 ใช้ปากกาทรงศาจับยึดชิ้นงานให้แน่นแล้วดำเนินการกัดเอียงมุม 45 องศาชิ้นงาน 2 ด้าน และขั้นตอนที่ 4 เจาะรูด้านข้างพร้อมตัดแปปเกลียว ซึ่งแสดงเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 1 เห็นได้ว่าขั้นตอนที่ 3 ใช้เวลาการทำงานมากที่สุด จึงเลือกวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานของขั้นตอนนี้



รูปที่ 1 เวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอน



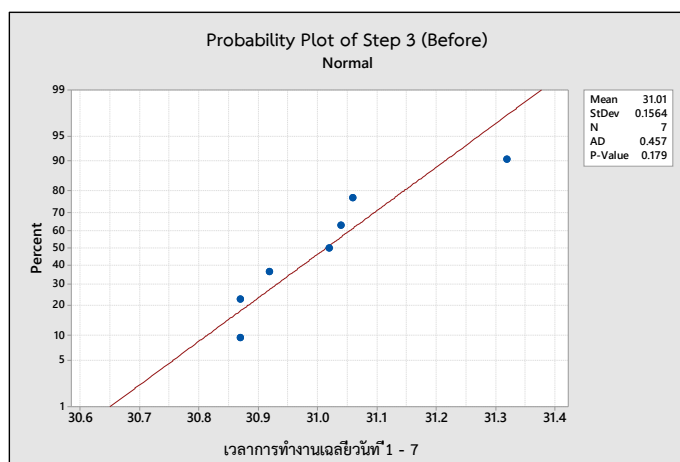
รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของขั้นตอนที่ 3

การเก็บข้อมูลระยะเวลาการทำงานของขั้นตอนที่ 3 โดยการจับเวลาการทำงานวันละ 15 ชิ้น เป็นเวลา 7 วัน รวมทั้งสิ้น 105 ชิ้น พบว่าเวลาทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 31.01 นาที และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.156 นาที ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาขั้นตอนการทำงานที่ 3 ก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	ค่าเฉลี่ย	SD
เวลาผลิต ชิ้นงาน (นาที)	31.02	31.06	31.04	30.87	30.92	30.87	31.32	31.01	0.16

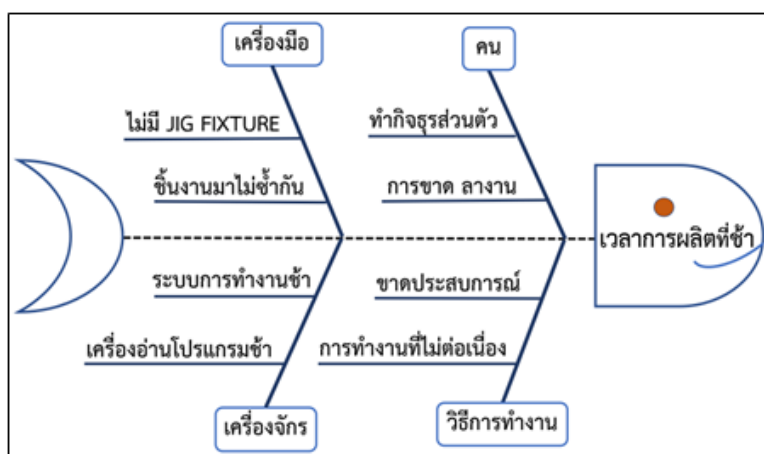
ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ระยะเวลาการทำงานก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.159 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรูปที่ 3



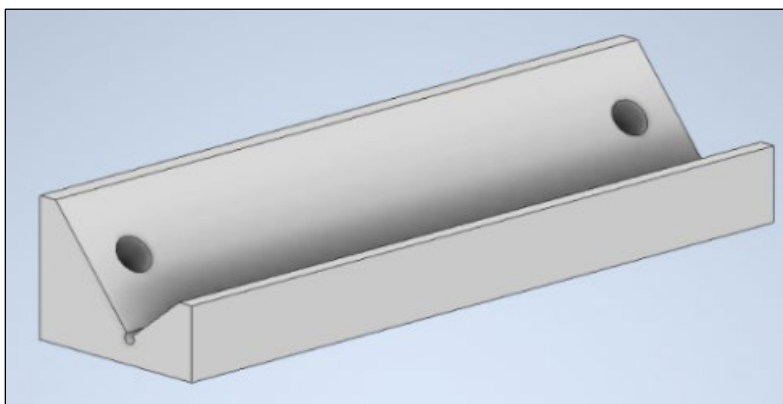
รูปที่ 3 การกระจายตัวชุดข้อมูลขั้นตอนการผลิตที่ 3 ก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

2.2. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่า กระบวนการจับยึดชิ้นงานกัดเอียงมุม 45 องศา ใช้ระยะเวลา 1–2 ชั่วโมง จากการเก็บข้อมูลดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา ดังรูปที่ 4 ซึ่งจากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่าบริษัทได้รับงานจากลูกค้าจำนวนมาก และลักษณะชิ้นงานแตกต่างกัน จึงเลือกใช้ปากกาองศาสำหรับการจับยึดชิ้นงานในกระบวนการผลิต ปัญหาที่พบ คือ ใช้เวลาในการติดตั้งปากกาสำหรับจับยึดชิ้นงานโดยเฉลี่ย 1–2 ชั่วโมง ทางวิศวกรและหัวหน้าพนักงานดำเนินการวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อลดเวลาการจับยึดชิ้นงาน โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เพื่อลดระยะเวลาการตั้งองศาและระยะเวลาการผลิต โดยการเขียนแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุและปัญหา



รูปที่ 5 เขียนแบบในโปรแกรมสำเร็จรูป

2.3. การสร้างอุปกรณ์นำเจาะและจับยึดชิ้นงาน

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เหล็ก S50C เป็นเหล็กคาร์บอนปานกลางซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในงานพื้นฐานทั่วไป โครงสร้างแม่พิมพ์และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก มีความสามารถในการชุบแข็ง ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนพื้นฐานหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์ และงานทั่ว ๆ ไป ความแข็งหลังการชุบ 57 HRC [11] ดังรูป 6 และ 7



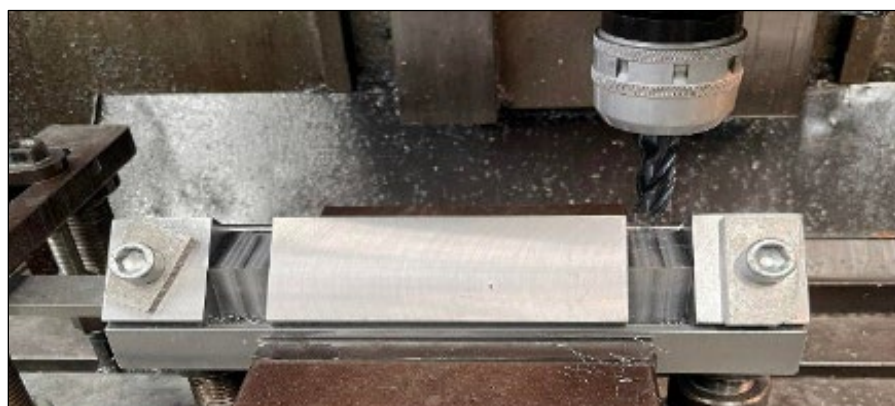
รูปที่ 6 เหล็ก S50C สำหรับการสร้างอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 7 อุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

2.4. การทดสอบกระบวนการทำงาน

ติดตั้งอุปกรณ์นำเจาะและจับยึดชิ้นงานกับปากกาจับชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานมาจับยึดเข้ากับอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดให้แน่น จากนั้นดำเนินการทำงานตามขั้นตอนที่ 3 คือ การกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ทั้ง 2 ด้าน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ทั้ง 2 ด้าน

3. ผลการดำเนินงาน

ผลการตรวจสอบหลังดำเนินการใช้อุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในกระบวนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา แสดงรายละเอียดซึ่งประกอบไปด้วย

3.1. ค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ค่าใช้จ่ายการซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้การสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดโดยประมาณ 16,192 บาท ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับสร้างอุปกรณ์จับยึด และอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงาน

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	บาท
1	เม็คมีด 90 องศา	1,500
2	ดอกเจาะนำศูนย์ (Center drill)	340
3	ดอกสว่าน 5 มม.	70
4	ดอกสว่าน 10 มม.	100
5	ดอกสว่าน 14 มม.	320
6	ตีาป M16x2.0 มม.	500
7	ดอกกัด (Endmill) 12 มม.	612
8	หัวปาด 90 องศา	12,000
9	เหล็ก S50C	750
รวม		16,192

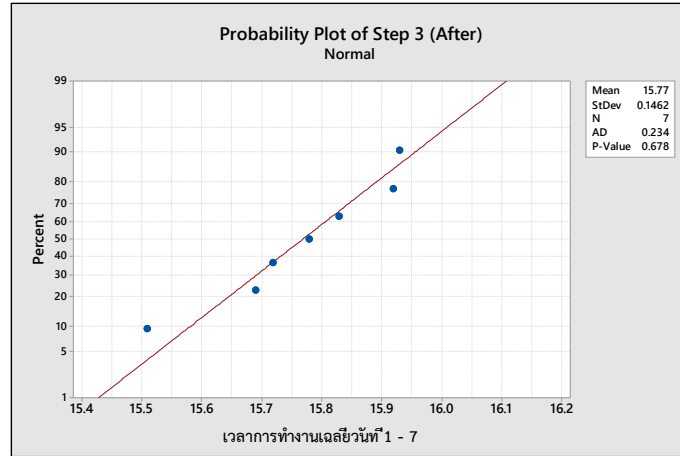
3.2. ผลการวิเคราะห์กระบวนการจับยึดชิ้นงานหลังสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ผลการจับเวลาขั้นตอนที่ 3 การกัดเอียงมุม 45 องศา ชิ้นงาน 2 ด้าน หลังการสร้างอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยจับเวลาการทำงานวันละ 15 ชิ้น เป็นเวลา 7 วัน รวมทั้งสิ้น 105 ชิ้น พบว่าใช้เวลาในการเฉลี่ยเท่ากับ 15.77 นาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 นาที ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลาขั้นตอนการทำงานที่ 3 หลังการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	ค่าเฉลี่ย	SD
เวลาผลิต									
ชิ้นงาน	15.51	15.69	15.83	15.72	15.93	15.92	15.78	15.77	0.15
(นาที)									

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.678 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การกระจายตัวชุดข้อมูลขั้นตอนการผลิตที่ 3 หลังการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.3. การทดสอบเปรียบเทียบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

เมื่อทดสอบข้อมูลเวลาหลังสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานว่าการแจกแจงแบบปกติแล้ว จากนั้นทดสอบสมมติฐานซึ่งใช้การทดสอบแบบ One-Sample t โดยนำข้อมูลค่าเฉลี่ยระยะเวลาในขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ไปเปรียบเทียบกับเวลาเป้าหมายที่กำหนดนั้นคือ การลดระยะเวลาในขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา น้อยกว่า 20 นาทีจริงหรือไม่ อย่างมีนัยสำคัญ โดยสมมติฐานในการทดสอบ มีดังนี้

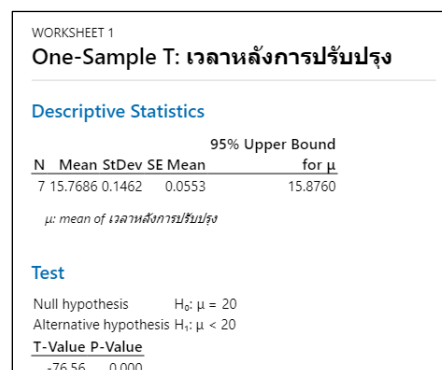
สมมติฐานหลัก (H_0) : ขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา หลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานใช้เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 20 นาที

สมมติฐานรอง (H_1) : ขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา หลังการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานใช้นเวลาน้อยกว่า 20 นาที แสดงเป็นสมการดังนี้

$$H_0 : \mu \geq 20$$

$$H_1 : \mu < 20$$

โดย μ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา เมื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ One-Sample t ได้ผลดังรูปที่ 10

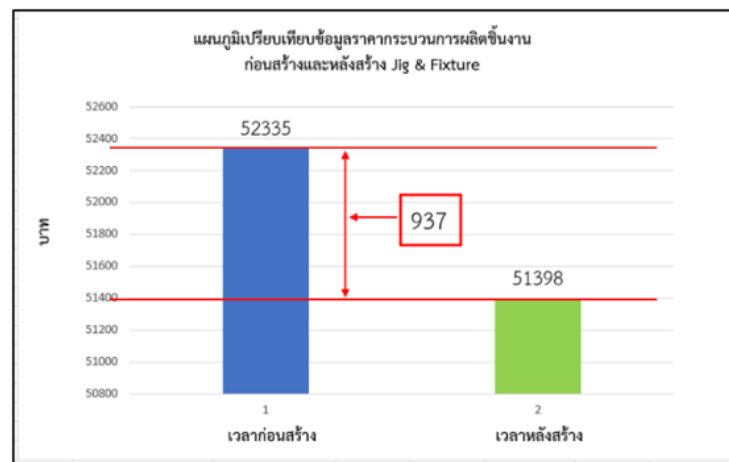


รูปที่ 10 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ One-Sample t

ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เห็นได้ว่าเวลาในขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ดังนั้นสรุปได้ว่าขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา หลังการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานใช้เวลาน้อยกว่า 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การตรวจสอบรอยเจาะที่เกิดจากอุปกรณ์จับยึดยังมีลักษณะคงเดิมเหมือนก่อนทำการปรับปรุง

3.4. ผลการเปรียบเทียบต้นทุน

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตชิ้นงาน พบว่าก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีต้นทุนการผลิตชิ้นงานรวม 52,335 บาท และหลังสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน มีต้นทุนการผลิตรวม 51,398 บาท สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 937 บาท ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภูมิแสดงต้นทุนการผลิตชิ้นงานก่อนและหลังการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาการสร้างอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเป็นเครื่องมือพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่ง จับยึดชิ้นงาน และยังเป็นตัวนำทางของเครื่องมือตัด การทำงานของกระบวนการผลิตขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 พบว่าขั้นตอนที่ 3 ใช้ระยะเวลาการผลิตมากที่สุด เนื่องจากต้องติดตั้งปากกาองศา 45 องศา และใช้ระยะเวลามากในการตั้งองศาชิ้นงาน จากการศึกษาวิเคราะห์การแก้ไขปัญหา เพื่อหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยใช้ด้วยแผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) และไดอะแกรม ใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) สำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุ และปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต สอดคล้องกับ กิตติ์วีและเสาวนิตย์ [12]

ก่อนสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ระยะเวลาการทำงานขั้นตอนที่ 3 กัดเอียงมุมองศาชิ้นงาน 45 องศา โดยใช้อุปกรณ์ปากกาองศาจับยึดเข้ากับชิ้นงานให้แน่น แล้วดำเนินการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ทั้ง 2 ด้าน พบว่าการทดสอบจับเวลาขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 31.01 นาที หลังจากออกแบบและสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานชิ้นงาน สอดคล้องกับ กมลพงศ์และปิยะพงษ์ [9] และดำเนินการทำงานขั้นตอนที่ 3 กัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา โดยใช้อุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน จับยึดเข้ากับชิ้นงานให้แน่น แล้วกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา ทั้ง 2 ด้าน พบว่าระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 15.77 นาที

5. สรุป

ผลการดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์นำเจาะชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา พบว่าระยะเวลาก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 31.01 นาที เนื่องจากกระบวนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา แบบก่อนการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้เวลาในการติดตั้งปากกาองศา และอุปกรณ์จับยึดสำหรับจับยึดชิ้นงานค่อนข้างนาน และหลังจากการสร้างอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ใช้เวลาในการผลิตเฉลี่ยต่อชิ้น 15.77 นาที เนื่องจากกระบวนการกัดเอียงมุมชิ้นงาน 45 องศา มีอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์ จับยึดเข้ามาช่วยสำหรับจับยึดชิ้นงาน ทำให้ลดระยะเวลาการทำงานได้ 15.45 นาที คิดเป็นร้อยละ 49.80 และสามารถลดต้นทุนได้ 44,976 บาทต่อปี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากรับการสนับสนุนจากสถานประกอบการบริษัทและผู้มีส่วนร่วมทุกท่านขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการตอบสนองและความร่วมมือ

ผู้วิจัยหวังว่างานนี้วิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์แก่ผู้ที่ได้อ่านและศึกษา สำหรับข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ผู้วิจัยยินดีที่จะได้รับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้ศึกษา เพื่อประโยชน์ในการวิจัยต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Technology Affects the Way We Live Today,” Salmec Power Company Limited, <https://salmecpower.com> (accessed January 25, 2021).
- [2] “What is Industry 4.0? How to deal with it?,” TOT Public Company Limited, <https://www.tot.co.th/sme-tips/SME-tips/> (accessed June 30, 2021).
- [3] “Automotive industry with CNC Machining and P-Wat lathe,” P-WAT 2016 COMPANY LIMITED, <https://pwat.co.th/general/vehicle-parts-industrial-cnc-machining/> (accessed May 28, 2021).
- [4] T. Pornphan, “Using Computers to Help Determination of Position in The Drilling Jig Design,” dissertation, Master of Engineering Degree, 2015
- [5] K. Chutika, T. Pornchanok, and C. Watcharin, “10 Years of Thai Industry, How Far Have We Come?,” *Focused and Quick (FAQ)*, Issue 165, pp. 1–12, 2020.
- [6] P. Witthaya, P. Adul, and C. Pechan, “Control of CNC Machining,” dissertation, Electrical Engineering, Automotive Engineering and Mechanical Engineering, Sripatum University. 2020.
- [7] T. Wichian, “Application of Jigs and Fixtures in CNC Machining Modules,” *Journal of Engineering, RMUTT*, vol. 4, pp. 1–6, 2003.
- [8] B. Chalermpon, and W. Krismant, “Development of Training Model for Occupational Competency of Jig & Fixture Technicians,” *Journal of Humanities and Social Sciences Nakhon Phanom University*, vol. 11, no. 2, pp. 184–196, 2021.
- [9] J. Kamonpong, and K. Piyapong, “Designing and Manufacturing Clamping Accessory for Multi-Stage

Cutting process on The Wire Electrical Discharge Machine,” *UTK Research Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 95–105, 2021.

- [10] M. Amnat, “Jig and Fixture Design for Waste Reduction in Air Hose Cutting Process: A Case Study of An Automotive Part Factory,” dissertation, Master of Engineering Degree, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2011.
- [11] K. Promchot, “The Influence of Inter-Pass Temperature on Hardfacing Weld Metal Properties on JIS-S50C Steel Surface,” dissertation, Master of Engineering Degree, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2015.
- [12] W. Kitrawee, and L. Saowanit, “Increase Productivity by Applying Lean Manufacturing Concept: A Case Study of Teak Wood Production Company,” dissertation, Master of Science Degree, Logistics and Supply Chain Management. 2020.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐจากเถ้าชานอ้อย

Feasibility Study of Brick Production from Sugarcane Bagasse Ash

สุบรรณ ตาคำวัน^{1*} ทศนพล อินตะปัญญ¹ และ อีระวัฒน์ มาลัยศรี¹¹ภาควิชาการออกแบบและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

129 หมู่ 21 ต.เนินหอม อ.เมือง จ.ปทุมธานี 25230

Suban Takumwan^{1*} Tutsapol Intapanyo¹ and Theerawat Maliasri¹¹Department of Construction Design and Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

129, Moo 21, Noen Hom, Prachinburi 25230, Thailand

*Corresponding author Email: suban.t@itm.kmutnb.ac.th

(Received: June 5, 2024; Revise: June 29, 2024; Accepted: June 30, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าชานอ้อยมาผลิตอิฐก่อสร้างเพื่อใช้ทดแทนอิฐมอญ ซึ่งใช้วิธีการและกระบวนการผลิตตามการผลิตบล็อกประสานของสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้น ปูนซีเมนต์:หินปูน 1:6 โดยปริมาตร (BA00) แทนที่หินปูนด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 (BA10) โดยปริมาตร จนถึงร้อยละ 100 (BA100) ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของอิฐที่อายุ 7 และ 28 วัน เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก. 77-2545) และอิฐมอญที่มีขายในท้องตลาด (BA) พบว่าการแทนที่หินปูนด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 ทำให้ได้กำลังอัดสูงสุด 79.38 ksc. สามารถแทนหินปูนด้วยเถ้าชานอ้อยได้จนถึงร้อยละ 70 (BA70) ทำให้คุณสมบัติผ่านตามมาตรฐาน มอก. การแทนที่หินปูนด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 70 (BA70) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตอิฐมากที่สุดเนื่องจากสามารถใช้เถ้าชานอ้อยได้มากและคุ้มค่าที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ปูนซีเมนต์:พอร์ตแลนด์:หินปูนต่อเถ้าชานอ้อย 1:1.8:4.2 โดยปริมาตร แต่การนำไปใช้จริงควรใช้อัตราส่วน 1:2:4 เพื่อสะดวกต่อการปฏิบัติงานทำให้คุณสมบัติทั้งหมดของอิฐเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ด้านน้ำหนักของผนังอิฐที่แทนที่หินปูนด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 70 (BA70) มีความใกล้เคียงกับผนังอิฐมอญตามท้องตลาดทั่วไปเนื่องจากมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน วิธีดังกล่าวเป็นการนำของเสียจากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยนำของเสียมาผลิตเป็นอิฐก่อสร้างแทนการใช้อิฐมอญและมีการฉาบปิดทับทั้งสองด้าน คล้ายกับหลักการฝังกลบอย่างปลอดภัยเมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย หินปูน อิฐมอญ อิฐประสาน

Abstract

This research was to study the feasibility of using the sugarcane bagasse ash to replace clay bricks in the production of construction bricks using methods and production processes according to the interlocking block production of the Institute of Science and Technology. The initial ratio of brick production is cement:

stone dust 1:6 by volume (BA00). Stone dust was replaced by bagasse ash from 10% (BA10) by volume to 100% (BA100). Bricks aged for 7 and 28 days will be tested for various properties which compared with the ordinary construction brick industry standard (TIS. No. 77–2545) and the clay bricks that were available in the market (BA). The research found that the replacement of stone dust with sugarcane bagasse ash at 10% resulted in the highest compressive strength of 79.38 ksc. and able to replace stone dust with sugarcane bagasse ash up to 70% (BA70), which made all properties passed TIS standards. The Replacement of stone dust with 70% bagasse ash (BA70) is the most suitable ratio for brick production because sugarcane bagasse ash can be used the most and was most cost-effective. The appropriate ratio is Portland cement to stone dust to sugarcane bagasse ash 1:1.8:4.2 by volume, but in actual use, the ratio should be 1:2:4 for ease of use, which slightly increased the overall properties of bricks. The weight of brick walls that replaced stone dust with 70% sugarcane bagasse ash (BA70) was similar to clay brick walls that are available in the market (BA) due to its similar density. Therefore, the production of BA70 bricks was the use of waste from the factory to create benefits, which was to produce construction bricks instead of clay bricks and was plastered on both sides. This was similar to the Secure Landfill of Stabilized and/or Solidified Wastes principle.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, Stone dust, Clay bricks, Interlocking block

1. บทนำ

อิฐมอญหรืออิฐสามัญ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันแพร่หลายมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อิฐมอญทำจาก ดินเหนียว น้ำ และ วัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ซีเมนต์กลบ ทราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็น ก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก อิฐมอญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรองรับ โดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว แต่อาจจะ บิ่นได้เล็กน้อย มีความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาว และความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 3.5 MPa และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 [1] การเผาอิฐแต่ละครั้งต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการเผาสูงเนื่องจากเชื้อเพลิงนั้นมีราคาสูง และการเผาแต่ละครั้งต้องใช้เวลา 7–10 วัน ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ อิฐเนื่องจากการเผาอิฐมอญแต่ละครั้งจะเกิดแก๊สเสียและมลพิษ อากาศจาก การเผาไหม้ก่อนอิฐและเชื้อเพลิง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (C_xH_x) สารระเหยอินทรีย์ (VOCs) ควัน (Smoke) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matters; $\text{PM}_{2.5}$ – PM_{10}) รวมไปถึงการเผาอิฐมอญยังเป็นกิจกรรมการเผาในที่โล่งที่ใช้ระยะเวลานานและใช้ เชื้อเพลิงปริมาณมาก [2] นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากการเผาคือจะมีปริมาณความเสียหายของอิฐเกิดขึ้น เช่น อิฐเกิดการระเบิด เกิดการแตกหัก มีรอยร้าว โดยแต่ละครั้งการเผาจะมีปริมาณอิฐเสียประมาณร้อยละ 10 [3]

ขยะหรือกากของเสียจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมคือ วัสดุที่เหลือใช้ โดยเกิดจากประกอบกิจการของโรงงาน ทั้ง ที่เกิดจากวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ส่วนสนับสนุนการผลิต และผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพ โดยสิ่งเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความต้องการ การผลิตสินค้า เปรียบได้เสมือนเงาตามตัว ขยะหรือกากของเสียจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้ หลายประเภท โดยใช้วิธีการจำแนกกากของเสียตามลักษณะคือของเสียที่เป็นของเสียอันตรายและของเสียที่ไม่เป็นอันตราย การ กำจัดขยะหรือกากของเสียจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น มีหลากหลายวิธีในการเลือกปฏิบัติอยู่ที่ทางโรงงานอุตสาหกรรม

ผู้ก่อกำเนิดของเสียจะต้องเป็นผู้ดำเนินการกำจัดของเสียอื่นๆ ด้วยกรรมวิธีใด ตัวอย่างเช่น การฝังกลบ การเผาของเสีย แต่วิธีการเหล่านี้เป็นการกำจัดของเสียที่ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังมีวิธีการที่สามารถกำจัดของเสียได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง [4]

บริษัท น้ำตาลและอ้อยตะวันออก จำกัด เป็นการดำเนินกิจการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายมีโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจัดตั้งอยู่ที่ อำเภอดอนจาน จังหวัดสระแก้ว กระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลทรายจะผลิตขานอ้อยออกมาเป็นผลพลอยได้ซึ่งบริษัทฯ ได้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงงานโดยนำขานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า และผลผลิตที่ได้ในรูปของเสียของการผลิตไฟฟ้าคือ เถ้าขานอ้อย เป็นของเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการและนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดของเสียที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ [5] การกำจัดของเสียโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีหลากหลายวิธีการตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยมีงานวิจัยที่ได้นำเถ้าขานอ้อยกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง อาทิเช่น การนำเถ้าขานอ้อยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีต [6] การใช้เถ้าขานอ้อยผสมอินเหินยาเพื่อใช้ผลิตอิฐดินเผา [7] การนำเถ้าขานอ้อยมาเป็นส่วนผสมร่วมกับปูนขาวและหินปูนในการผลิตอิฐ [8]

หินปูนจากโรงโม่หิน เป็นวัตถุที่เกิดจากอุตสาหกรรมการโม่หิน เพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไปแล้วหินปูนไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ามากนักและโดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการโรงโม่หินคิดว่าเป็นเศษวัสดุที่หลงเหลือจากการผลิตและเป็นภาระที่จะต้องนำไปทิ้งหรือกำจัด โดยส่วนใหญ่หินปูนจะถูกนำไปเป็นส่วนผสมของหินคลุกสำหรับรองพื้นทางในงานถนนลาดยางหรือเป็นวัสดุผสมในงานอิฐบล็อกคอนกรีต [9]

งานวิจัยนี้เป็นการนำหินปูนและเถ้าขานอ้อยมาเป็นวัสดุผสมเพื่อทำอิฐเพื่อทดแทนอิฐมอญขนาดใหญ่ โดยนำเทคโนโลยีการผลิตบล็อกประสานมาใช้ [10–13] กล่าวคือ จะใช้หินปูนและเถ้าขานอ้อยเป็นมวลรวมละเอียด นำมาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตามอัตราส่วนมาตรฐานของการผลิตบล็อกประสานตามที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยแนะนำไว้คือ 1:6 – 1:7 [14] ผสมน้ำแล้วอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด จากนั้นนำมาบ่มให้ก้อนอิฐแข็งตัวโดยไม่ต้องเผาและทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลเปรียบเทียบกับ มอก. 77–2545 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ [1] เพื่อแก้ปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเถ้าขานอ้อยโดยการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่อย่างปลอดภัย ลดปัญหาจากการเผาอิฐที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [2]

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การสร้างเครื่องอัดอิฐ

เครื่องผลิตอิฐมอญก่อสร้างสามัญขนาดใหญ่โดยใช้การอัดขึ้นรูปด้วยแรงอัดไฮดรอลิกสามารถให้กดสูงสุดถึง 10 ตัน ซึ่งมีแม่พิมพ์อิฐก่อสร้างขนาด 190x90x40 มิลลิเมตร ติดตั้งไว้ด้านบนโดยมีช่องใส่วัสดุทางด้านบน ปิดฝา ซึ่งในการผลิตจะได้ได้ 1 ก้อนต่อ 1 รอบกระบวนการผลิต

2.2 การเตรียมวัตถุดิบในงานผลิตอิฐ

เถ้าขานอ้อยที่เกิดจากการนำเอาขานอ้อยไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีสิ่งสกปรกและมีการจับตัวเป็นก้อน การเตรียมเถ้าขานอ้อยก่อนนำไปใช้จะนำเถ้าขานอ้อยมาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำส่วนที่ผ่านตะแกรงไปทำอิฐต่อไป หินปูนจะมีสิ่งสกปรกและมีการจับตัวเป็นก้อน ก่อนใช้ จะนำหินมาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว จากนั้นจะนำหินปูนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว ไปทดสอบการทดสอบหาขนาดผลของมวลรวมเพื่อดูการกระจายตัวของหินปูน



รูปที่ 1 เครื่องอัดอิฐที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 2 การเตรียมเถ้าขานอ้อยก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 3 การเตรียมหินฝุ่นก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 4 การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม

2.3 การผลิตอิฐ

การผลิตอิฐจะใช้ขั้นตอนการผลิตตามเทคโนโลยีการผลิตอิฐประสานตามมาตรฐานของ วว. ทุกประการกล่าวคือมีการเตรียมวัสดุมวลรวม จากนั้นทำไปผสมในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมและนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดและนำไปตาก 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเรียงรตนน้ำและทำการบ่มโดยใช้พลาสติกคลุมและนำไปทดสอบเมื่ออิฐอายุได้ 7 วันและ 28 วันการผลิตอิฐงานวิจัยนี้จะใช้วัสดุหลักคือหินฝุ่นผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนปูนต่อหินฝุ่น 1:6 โดยปริมาตร ผสมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ตั้งชื่ออัตราส่วนนี้เป็น BA00 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเริ่มต้นจากนั้นจะทำการแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 (BA10) โดยปริมาตร จนถึงร้อยละ 100 (BA100) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมจะเปลี่ยนไปตามปริมาณการใช้เถ้าขานอ้อยในการผลิตอิฐ กล่าวคือจะมีการใช้น้ำมากขึ้นตามปริมาณของเถ้าขานอ้อยที่เพิ่มขึ้น เพื่อคงความชื้นของมวลรวมเท่าเดิมทุกๆ ส่วนผสม



รูปที่ 5 การผลิตอิฐ

2.4 การทดสอบ

อิฐที่ผลิตขึ้นเพื่อนำมาทดแทนอิฐมอญนั้น จะทำการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ และเปรียบกับอิฐมอญที่มีขายในท้องตลาด (BA) ซึ่งจะประกอบไปด้วยกำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบกำลังอัดจะต้องทำการเตรียมตัวอย่างโดยการก่ออิฐด้วยปูนปลาสเตอร์จำนวน 5 ก้อนและมีการแคปหัวทั้งบนและล่างเพื่อให้มีผิวเรียบเมื่อแห้งนำเข้าเครื่องทดสอบ UTM จนอิฐเกิดการแตกหักจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่ากำลังอัดของอิฐโดย 1 อัตราส่วนจะทำการทดสอบ 3 ตัวอย่างและนำมาหาค่าเฉลี่ยตามมาตรฐาน มอก. ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3.5 MPa

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของผนังอิฐ ซึ่งหากอิฐมีการดูดซึมน้ำมากไปจะส่งผลให้น้ำในปูนก่อหายไปและการยึดเกาะน้อยลงความแข็งแรงของผนังก็จะลดลงตามด้วยการทดสอบทำได้โดยการนำอิฐไปอบให้แห้งแล้วทิ้งให้เย็นแล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการคำนวณค่าน้ำหนักน้ำในอิฐจากสภาวะแห้งจนถึงสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ตามมาตรฐาน มอก. ต้องไม่เกินร้อยละ 25



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังอัด



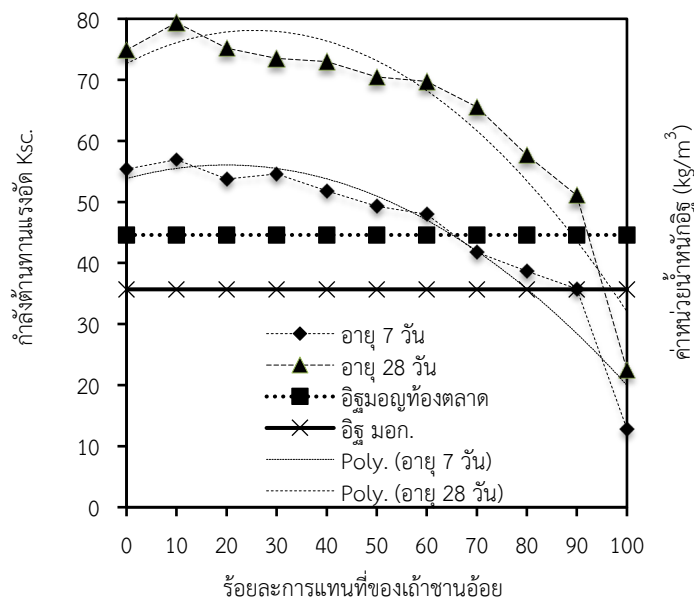
รูปที่ 7 การทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐ

3. ผลการวิจัย

จากการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบหาความคละของหินฝุ่น การทดสอบกำลังอัด การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำและการทดสอบหาค่าความหนาแน่นได้ผลทดสอบดังต่อไปนี้

3.1 ผลการทดสอบขนาดความคละของหินฝุ่นที่ใช้

จากผลการทดสอบพบว่าค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M) ของหินฝุ่นอยู่ที่ 3.741 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ามวลรวมละเอียดในการผสมคอนกรีตหรือทรายที่มีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 2.3-3.1 ผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย [15]



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดกับปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยเถ้าขานอ้อย

3.2 ผลการทดสอบกำลังอัด

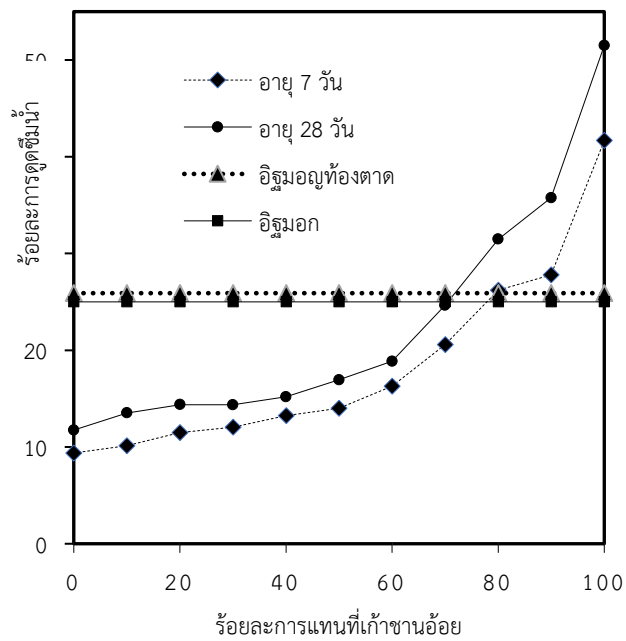
จากผลการทดสอบพบว่าอิฐอัตราส่วนที่ BA10 หรือแทนหินปูนด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 มีกำลังสูงสุดเท่ากับ 79.39 ksc. และเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยเพิ่มมากขึ้นกำลังอัดจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.กำลังของอัตราส่วน BA00–BA90 มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐาน ด้านกำลังของอิฐในท้องตลาด มีค่าเท่ากับ 44.46 ksc. สูงกว่ามาตรฐาน มอก.เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 9

3.3 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

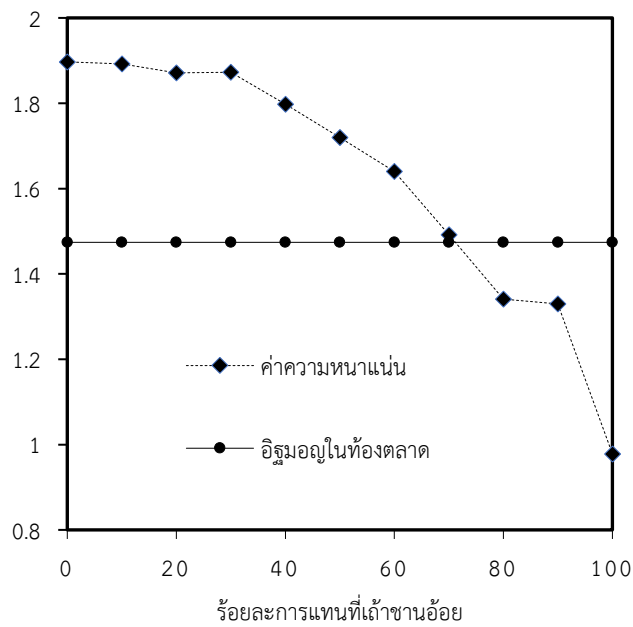
จากผลการทดสอบพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของอิฐที่อายุ 28 วันตั้งแต่อัตราส่วน BA80–BA100 มีค่าดูดซึมน้ำมากกว่ามาตรฐาน มอก. และค่าการดูดซึมน้ำอิฐมอญในท้องตลาดมีค่าเท่ากับ 25.9 ซึ่งมากกว่ามาตรฐาน มอก.เล็กน้อย และพบว่าผลของอายุของอิฐทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดูจากผลการดูดซึมน้ำของอิฐอัตราส่วน 70 ที่อายุ 28 วันมีค่าเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 19.60 ดังแสดงในรูปที่ 10

3.4 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของวัสดุ

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐที่ 2 ลดลงเมื่อแทนที่ด้วยหินปูนด้วยเถ้าขานอ้อยเพิ่มขึ้นโดยเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 100 จะมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 978 kg/m^3 ซึ่งลดลงจากอัตราส่วนเริ่มต้น BA00 คิดเป็นร้อยละ 48.44 เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐในท้องตลาด BA มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.474 kg/m^3 ใกล้เคียงกับอัตราส่วน BA70 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.492 kg/m^3 ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยเถาชานอ้อย



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ค่าความหนาแน่นน้ำกับปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยเถาชานอ้อย

4. สรุป

งานวิจัยนี้จะทำการผลิตอิฐโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตอิฐประสานตามมาตรฐานของ วว. มาใช้ โดยใช้วัสดุหลักคือหินฝุ่นผสมกับปูนซีเมนต์และเถ้าขานอ้อย ในอัตราส่วนเริ่มต้นจะใช้อัตราส่วนปูนต่อหินฝุ่น 1:6 โดยปริมาตร ผสมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม (BA00) จากนั้นจะทำการแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 (BA10) โดยปริมาตร จนถึงร้อยละ 100 (BA100) ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอิฐเมื่ออิฐอายุได้ 7 วัน และ 28 วัน เปรียบเทียบกับ มอก.มอก. 77-2545 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ และอิฐตามท้องตลาดผลการทดสอบพบว่า สามารถแทนหินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยจนถึงร้อยละ 70 คุณสมบัติต่าง ๆ จะผ่านมาตรฐาน มอก. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตอิฐมากที่สุดคือการแทนที่ด้วยหินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 70 เป็นอัตราส่วนที่สามารถใช้เถ้าขานอ้อยได้มากที่สุดและคุณสมบัติต่าง ๆ ผ่านมาตรฐาน มอก. ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตอิฐที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์จากเถ้าขานอ้อยต่อไป

5. อภิปรายผล

การผลิตอิฐโดยใช้หินฝุ่นและการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยจะทำให้กำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณเถ้าขานอ้อยเพิ่มมากขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าขานอ้อยเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [8], [15] การนำเถ้าขานอ้อยมาแทนที่หินฝุ่นเพื่อใช้ในการผลิตอิฐนั้นพบว่าการแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 ทำให้กำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 79.38 ksc. อาจเป็นผลมาจากเถ้าขานอ้อยไปเพิ่มมวลละเอียดให้กับส่วนผสมทำให้การจัดเรียงตัวของส่วนผสมได้ดีส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น อัตราส่วนที่คุณสมบัติทั้งด้านกำลังอัดและการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐาน มอก.คืออัตราส่วน BA00-BA70 ในอัตราส่วน BA70 การแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 70 หรือคิดเป็นอัตราส่วนปูนต่อหินฝุ่นต่อเถ้าขานอ้อย 1:1.8:4.2 โดยปริมาตร ในทางปฏิบัติควรใช้อัตราส่วน 1:2:4 เพื่อให้สะดวกต่อการปฏิบัติงานซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของอิฐเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวถือว่าเป็นอัตราส่วนที่ดีเนื่องจากมีการใช้ปริมาณหินฝุ่นค่อนข้างมาก ด้านน้ำหนักของผนังกรณีใช้อิฐอัตราส่วน BA70 ไปสร้างจะมีค่าใกล้เคียงกับผนังอิฐมอญตามท้องตลาดทั่วไปเนื่องจากอิฐมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน การผลิตอิฐด้วยเถ้าขานอ้อยเป็นการนำของเสียจากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำของเสียมาผลิตเป็นอิฐก่อสร้างแทนการใช้อิฐมอญ ซึ่งคล้ายกับหลักการฝังกลบอย่างปลอดภัยเมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (Secure Landfill of Stabilized and/or Solidified Wastes) [2] นอกจากนี้ยังเป็นการลดปริมาณการใช้อิฐมอญซึ่งกระบวนการผลิตอิฐมอญนั้นก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นปริมาณมาก [14]

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มจพ. วิทยาเขตปราจีนบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai Industrial Standards Institute (TISI), "Specific Criteria for Inspection for Approval of Ordinary Construction Brick Products, TISI 77-2545," Ministry of Industry (Thailand), <http://law.industry.go.th/laws/file/60518>. (in Thai)

- [2] N. Chakhamrun, and L. Boonkhao, “Particulate Matters Assessment Among Red Brick Workersin Nongkinphen Subdistrict Warinchamrap District Ubon Ratchathani Province,” *Thailand Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 21, pp. 68–75, 2019. (in Thai)
- [3] S. Mulinta, “Design and Construction of Drying Chamber for Common Bricks,” *Master’s Dissertation (Industrial Chemistry), Chiangmai University*, 2012. (in Thai)
- [4] Department of Industrial Works, *Guidelines and Criteria for Waste Properties for Processing into Fuel Rods and Cement Blocks*, 1st ed. Bangkok, Thailand, 2012. (in Thai)
- [5] Eastern Sugar and Cane Public Company Limited. (2015, October 11). [Online]. Available: <http://www.esgroup.co.th> (in Thai)
- [6] N. Phonphuak and P. Chindaprasirt, “Utilization of Sugarcane Bagasse Ash to Improve Properties of Fired Clay Brick”, *Chiang Mai Journal of Science*, vol. 45, pp. 1855–1862, 2018.
- [7] S. França, L. N. Sousa, S. L. C. Saraiva, M. C. N. F. Ferreira, M. V. de M. S. Silva, R. C. Gomes, C. de S. Rodrigues, M. T. P. Aguiar, and A. C. da S. Bezerra, “Feasibility of Using Sugar Cane Bagasse Ash in Partial Replacement of Portland Cement Clinker”, *Buildings*, vol. 13, no. 4, p. 834, Mar. 2023. doi: 10.3390/buildings13040843
- [8] M. V. Madurwar, S. A. Mandavgane, and R. V. Ralegaonkar, “Development and Feasibility Analysis of Bagasse Ash Bricks”, *Journal of Energy Engineering*, vol. 141, no. 3, pp. 1–9, Sep. 2015. doi: 10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000200
- [9] S. Seangatith, “Appropriate Ratio of Cement to Rock Dust in Concrete Block Production”, *Journal of Thailand Concrete Association*, vol. 20, pp. 1–6, 2013. (in Thai)
- [10] S. Takumwan, “Assessment of Building House with Interlocking Bricks: A Case Study of Na Prue Sub-District, Prachin Buri Province”, *Journal of Architecture, Design and Construction*, vol. 20, pp. 53–68, 2020. (in Thai)
- [11] A. Jeba Jeslin and I. Padmanaban, “Experimental Studies on Interlocking Block as Wall Panels,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 1–6, 2020. doi:10.1016/j.matpr.2019.05.294
- [12] B. S. Mohammed, M. S. Liew, W. S. Alaloul, A. Al-Fakih, W. Ibrahim, and M. Adamu, “Development of Rubberized Geopolymer Interlocking Bricks”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 8, pp. 401–408, 2018. doi: 10.1016/j.cscm.2018.03.007
- [13] H. Ben Ayed, O. Limam, M. Aidi, and A. Jelidi, “Experimental and Numerical Study of Interlocking Stabilized Earth Blocks Mechanical Behavior,” *Journal of Building Engineering*, vol. 7, pp. 207–216, Sep. 2016. doi:10.1016/j.job.2016.06.012
- [14] Technology Transfer Division to Rural Areas, “Knowledge of interlocking block technology,” *Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)*, 2002. (in Thai)

- [15] S. Takumwan, “Mechanical Properties of Interlocking Blocks Mixed with Coconut Shell Ash”, in *Proceeding of The 8th National Conference on Technical Education, Bangkok, Thailand, 2015*. (in Thai)

การวิเคราะห์โปรไฟล์ความหยาบผิวจากกระบวนการขัดที่ส่งผลต่อกระบวนการสึกหรอ ตามทฤษฎีของ Bearing Area Curve

Analysis of The Surface Roughness in Lapping Process Affecting Wear Behavior Based on The Bearing Area Curve Theory

สุธรรม สีวาวุธ^{1*}, ยุพิน สุภาโชค², ปริญา ศรีสัตยกุล³ และ พรทิพย์ คงลำธาร⁴

^{1,3}สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

^{2,4}สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

Sutham Siwawut^{1*}, Yupin Supachoke², Parinya Srisattayakul³, and Pornthip Khonglumtan⁴

^{1,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep, 10120

^{2,4}Department of Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep, 10120

*Corresponding author Email: sutham.s@mail.rmutk.ac.th

(Received: February 9, 2024; Revise: June 29, 2024; Accepted: June 29, 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิว และพารามิเตอร์ที่เป็นส่วนประกอบของกราฟ bearing area curve (BAC) ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ reduced peak height (Rpk), core roughness depth (Rk), reduced valley depth (Rvk), material ratio 1 at the peak zone (Mr1) และ material ratio 2 at the valley zone (Mr2) ควบคู่กับพารามิเตอร์ arithmetic mean deviation (Ra) ของเหล็กกล้าเกรด SKD61 ชุบแข็งด้วยระบบสุญญากาศมีความแข็ง 52–55 HRC และขัดผิวขึ้นงานด้วยกระบวนการขัด (Lapping process) ด้วยผงอลูมินาที่แตกต่างกัน 4 ขนาด ได้แก่ 0.05, 0.30, 1.00 และ 3.00 ไมโครเมตร ภายใต้สภาวะใช้น้ำหล่อเย็นแบบน้ำมัน กราฟ BAC ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางการเลือกลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับการต้านทานการสึกหรอ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์พบว่าเหล็กกล้าเกรด SKD61 ที่ขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร มีช่วงระยะ run-in สั้น และมีพื้นที่สัมผัสหลักขนาดใหญ่ (พารามิเตอร์ Rk ใหญ่) แรงกระทำต่อพื้นที่จึงมีค่าลดลง ส่งผลให้สามารถต้านทานการสึกหรอมากขึ้น

คำสำคัญ: Bearing area curve กระบวนการขัด ความหยาบผิว พฤติกรรมการสึกหรอ

Abstract

This paper presents an analysis of the surface morphology, and the constituent parameters of the Bearing Area Curve (BAC), which include reduced peak height (Rpk), core roughness depth (Rk), reduced valley depth (Rvk), material ratio at the peak zone (Mr1), and material ratio at the valley zone (Mr2), in conjunction with the arithmetic mean deviation (Ra). The study focuses on SKD61 tool steel, hardened to a hardness range

of 52–55 HRC using vacuum hardening, and processed through a lapping process with four different alumina abrasive sizes: 0.05, 0.30, 1.00, and 3.00 micrometers, under oil-based diamond lapping lubricant conditions. The BAC analysis was employed to guide the selection of optimal surface characteristics for improved wear resistance. The analysis results revealed that SKD61 tool steel lapped with a 0.30 micrometer alumina abrasive size exhibited a short run-in period and a large contact area (high Rk), which reduces the load per unit area, leading to enhanced wear resistance.

Keywords: Bearing area curve, Lapping process, Surface roughness, Wear behavior

1. บทนำ

กระบวนการขัด (Lapping Process) เป็นวิธีการที่สามารถจัดวัสดุออกจากผิวชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ และเป็นที่ยอมรับใช้ในการตกแต่งผิวสำเร็จในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เนื่องจากกระบวนการนี้ช่วยลดหรือขจัดรอยขีดข่วนบนพื้นผิว ลดความเสียหายได้ผิว และลดค่าความหยาบผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีข้อดีที่สำคัญ ได้แก่ ง่ายต่อการจับยึดชิ้นงาน มีต้นทุนต่ำ และสามารถรักษารูปร่างตามมิติได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ โดยแทบไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนหรือความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ แม้ว่ากระบวนการขัดจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็ยังเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน โดยมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของพารามิเตอร์ในกระบวนการขัด เช่น แรงกด ความเร็วสัมพัทธ์ เวลา และขนาดของสารกัดกร่อน การรักษาสถานะของกระบวนการขัดที่เหมาะสมและการรักษาความเรียบของแผ่นขัดจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ได้คุณภาพผิวที่ดีขึ้น [1]

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการขัด นักวิจัยพบว่าแรงกดมีผลกระทบโดยตรงต่อความหยาบผิวในทิศทางที่แปรผันตรง กล่าวคือ เมื่อพารามิเตอร์อื่นไม่เปลี่ยนแปลง แรงกดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้วัสดุกัดกร่อนลดลงเล็กน้อย และเกิดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุกัดกร่อนกับชิ้นงานมากขึ้น ส่งผลให้ความหยาบผิวเพิ่มตามไปด้วย [2–4] ในทางตรงข้ามพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ความเร็วสัมพัทธ์ เวลา และขนาดของสารกัดกร่อนนั้นจะมีผลกระทบในทิศทางที่แปรผกผันกับความหยาบผิว กล่าวคือ เมื่อความเร็วสัมพัทธ์ เวลาในการขัด และความเข้มข้นของวัสดุกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ความหยาบผิวจะลดน้อยลง [5]

เหล็กกล้า SKD61 เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์สำหรับงานร้อน แม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูป และแม่พิมพ์ที่ต้องรับแรงกระแทกอย่างรุนแรง วัสดุนี้มีความแข็งแรงสูงและทนทานต่อการสึกหรอได้ดี จึงถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ความเสียหายของแม่พิมพ์มากกว่า 80% เกิดจากการสึกหรอที่บริเวณพื้นผิวอันเนื่องมาจากแรงเสียดทาน [6–8] การควบคุมคุณภาพของพื้นผิวเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากลักษณะพื้นผิวที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของคุณภาพผิวแม่พิมพ์ พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอจะเพิ่มแรงเสียดทานนำไปสู่ปัญหาที่ส่งผลต่อกระบวนการระหว่างถอดแม่พิมพ์ รวมถึงกระบวนการขึ้นรูปที่ไม่ได้ขนาด และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย การควบคุมลักษณะคุณภาพของพื้นผิวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่คือการควบคุมความหยาบผิวในรูปแบบ 2 มิติ ด้วยค่าพารามิเตอร์ Ra และ Rz ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าคุณภาพผิวเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าและเพื่อทำนายคุณสมบัติและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนนั้นๆ นอกเหนือจากการควบคุมค่าพารามิเตอร์ Ra และ Rz แล้ว ลักษณะเฉพาะของความหยาบผิวที่สามารถอธิบายความเสียหายและพฤติกรรมการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพคือการใช้กราฟ BAC (Bearing Area Curve) ซึ่งเป็นเส้นโค้งสถิติที่นิยมใช้ในการออกแบบและควบคุมลักษณะผิว โดยเฉพาะในชิ้นส่วนของระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ เช่น กระบอกลูกสูบ, แหวนลูกสูบ, ตลับลูกปืน และแมคคานิคัลซีล (Mechanical Seals) กราฟ BAC เป็นที่ยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถอธิบายโปรไฟล์พื้นผิวได้ดีและสามารถประเมินการสึกหรอของพื้นผิวได้อย่างแม่นยำ [9–10] Peiyu He และคณะได้เสนอวิธีการปรับปรุงลักษณะพื้นผิวในมุมมองของกราฟ BAC เพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอและเพิ่ม

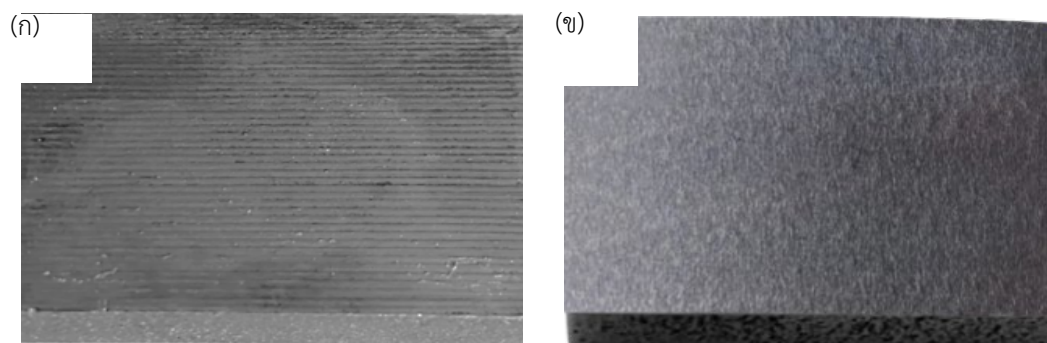
อายุการใช้งานของเหล็กกล้า H13 โดยพบว่าการคำนวณปริมาณการสึกหรอมีความแม่นยำมากกว่า 96% [8] นอกจากนี้ การตรวจสอบประสิทธิภาพในการเจียระไนเหล็กกล้า AISI D2 ภายใต้อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยใช้กราฟ BAC ในการประเมินลักษณะพื้นผิว พบว่าอัตราส่วน Bearing Area ที่สูงขึ้นส่งผลให้แรงในการเจียระไน และความหยาบผิวลดลง [11] การนำกราฟ BAC มาใช้อธิบายการสึกกร่อนจากการเสียดสีในกระบวนการขัดก็มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และพบว่ากราฟ BAC มีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ [12] จากการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่ากราฟ BAC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินลักษณะพื้นผิวและทำนายการสึกหรอ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพผิวในกระบวนการขัดและการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์และชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง

การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการขัด (Lapping Process) เพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้า SKD61 ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์สำหรับงานร้อน และงานที่ต้องรับแรงกระแทกสูง และมีปัญหาด้านความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอของพื้นผิวในการบวนการผลิตชิ้นส่วนที่ได้กล่าวมาข้างต้น การควบคุมคุณภาพผิวจึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดแรงเสียดทาน และอัตราการใช้สึกหรอ โดยวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วสัมพัทธ์ เวลา และขนาดของสารกัดกร่อนต่อความหยาบผิวของชิ้นงานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการขัดเหล็กกล้า SKD61 โดยศึกษาความหยาบผิวในรูปแบบ 2 มิติ ด้วยพารามิเตอร์ Ra และวิเคราะห์กราฟ BAC (Bearing Area Curve) เพื่อปรับปรุงกระบวนการขัดในอุตสาหกรรม เพิ่มคุณภาพ และยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ผลิตจากเหล็กกล้า SKD61

2. วิธีการทดลอง

2.1. การเตรียมวัสดุ

เหล็กกล้าเกรด SKD61 ตามมาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standard) ขนาด 25 x 40 x 10 มิลลิเมตร ได้รับการเตรียมชิ้นงานโดยการเจียระไนผิวด้วยล้อหิน Ceramic-Aluminum Oxide รุ่น SGB ที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที และชุบแข็งด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Heat Treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งที่ 52-55 HRC ที่อุณหภูมิเผา 1,030 องศาเซลเซียส และเย็นตัวด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเหล็กให้เป็นมาร์เทนไซต์ ชิ้นงานจึงถูกอบคืนไฟที่ 500 องศาเซลเซียสและปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง องค์ประกอบทางเคมีตรวจสอบโดยบริษัทมาสเตอร์เทค แอนด์ ซีสเต็มส์ จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ชิ้นงานตัวอย่าง (ก) ก่อน และ (ข) หลังเจียระไน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีเหล็กกล้า JIS SKD61

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
C	Si	Mn	P	Cr	Mo	V
0.365	1.001	0.342	0.020	5.028	1.234	0.840

2.2. การทดสอบขัดละเอียด

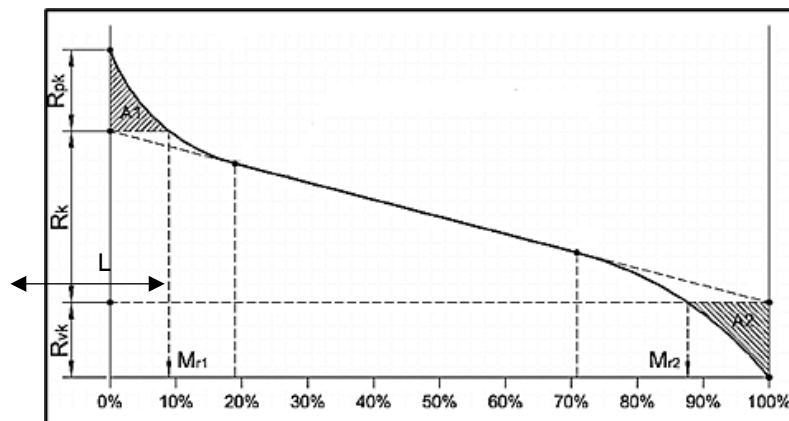
หลังจากเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกระบวนการเจียรไนเรียบร้อยแล้ว การขัดละเอียดจะถูกดำเนินการด้วยเครื่องขัดความแม่นยำสูง Lamaster model 15 (Lapmaster, Chicago) เพื่อให้ได้คุณภาพผิวที่มีที่สุด โดยมีเงื่อนไข และรายละเอียดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไข และรายละเอียดการทดลองสำหรับกระบวนการขัดละเอียด

ขนาดผงขัดลูมินา (ไมโครเมตร)	0.05, 0.30, 1.00, and 3.00
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	60
น้ำหนักกด (กิโลกรัม)	2
เวลาขัด (นาที)	60
น้ำหล่อเย็น	Diamond Lapping Lubricant Oil Base
อัตราส่วนน้ำหล่อเย็น (มิลลิลิตร)	ผงขัดลูมินา : น้ำหล่อเย็น : น้ำสะอาด (อัตราส่วน 1: 1: 5)

2.3. การตรวจสอบลักษณะพื้นผิว และความหยาบผิว

หลังจากกระบวนการขัดเหล็กกล้าเกรด SKD61 ด้วยผงขัดลูมินาที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด (0.05, 0.30, 1.00, และ 3.00 ไมโครเมตร) เสร็จสิ้นแล้ว ชิ้นงานตัวอย่างถูกตรวจสอบลักษณะพื้นผิวทั่วไปด้วยกล้องจุลทรรศน์ 3 มิติรุ่น LEXT OLS5000 (Olympus, ประเทศญี่ปุ่น) โดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า จากนั้นดำเนินการวัดและวิเคราะห์ความหยาบผิวด้วยพารามิเตอร์ R_a และพารามิเตอร์ของกราฟ BAC ที่ประกอบด้วย R_{pk} , R_k , R_{vk} , Mr_1 และ Mr_2 ตามมาตรฐาน ISO 13565-2 ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 พารามิเตอร์จากเส้นโค้งสะสม BAC [13]

ขั้นตอนการตรวจสอบความหยาบผิวนี้ใช้เครื่องวัดความหยาบผิว 2 มิติรุ่น FTA-S4D4000 (Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)

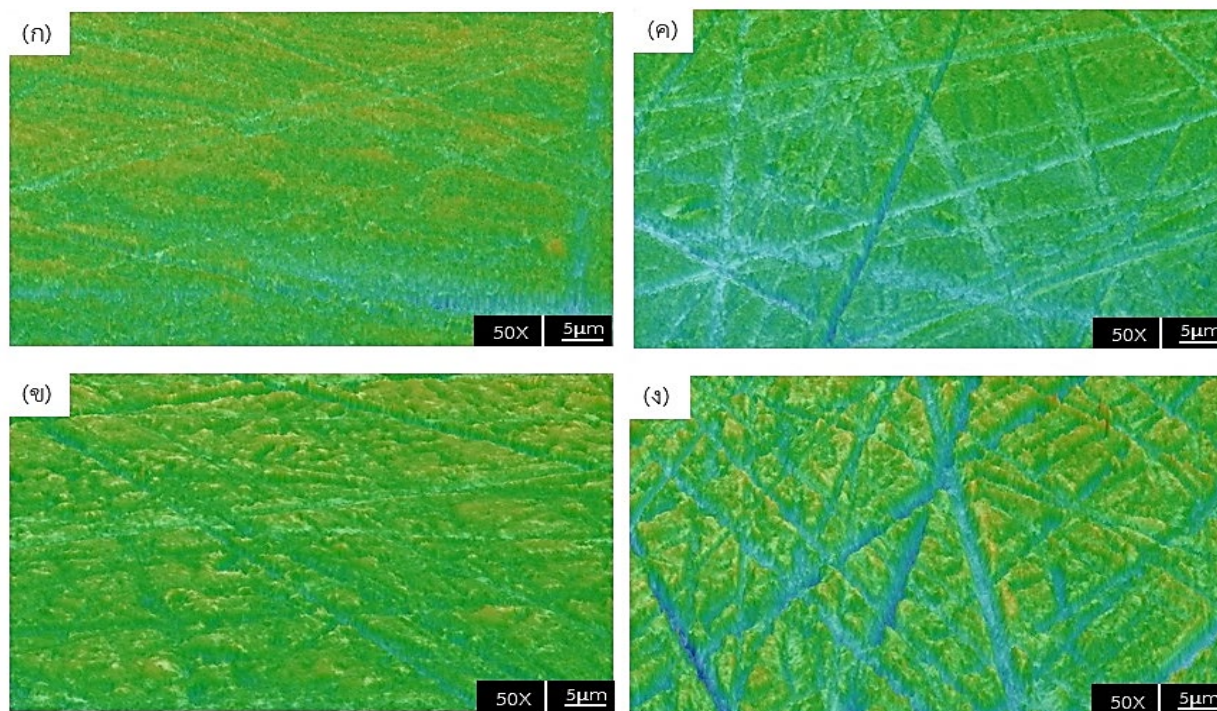
ด้วยสไตร์สรีมี 2 ไมโครเมตร ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian) และความยาวคลื่น (Cut off length) เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร โปรไฟล์ความหยาบผิวถูกวัดด้วยระยะความยาวประเมินเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร โดยรวมระยะเผื่อก่อนวัด (Pre) และระยะเผื่อหลังวัด (Post) ด้านละครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น แต่ละตัวอย่างจะทำการวัดทั้งหมด 5 ตำแหน่งกระจายทั่วชิ้นงาน และนำค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์ผล

3. ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะพื้นผิว

ในกระบวนการขัด อนุภาคของผงขัดจะกระจายแบบสุ่มทั่วพื้นผิวขัดด้วยการหมุนตามแนวรัศมีวงโคจรของชุดวงแหวน ขับเคลื่อนของเครื่องขัด การกระจายนี้ทำให้เกิดแนวเส้นการกัดกร่อนหมุนวนเป็นเกลียวในแนวรัศมีของชิ้นงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการ เมื่อเวลาผ่านไป แนวเส้นทางการขัดจะถูกซ้อนทับตัดกันเป็นระยะๆ ซึ่งส่งผลให้พื้นผิวมีลักษณะเป็นแนวเส้นในทุกทิศทาง พื้นผิวที่มีแนวเส้นเป็นอิสระนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ และวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละชนิด [14] ทำให้ความหยาบผิวจากกระบวนการขัดมีความสม่ำเสมอ และใกล้เคียงในทุกทิศทาง

ลักษณะพื้นผิวทั่วไปจากกระบวนการขัด ดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ถูกขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 1.00 และ 3.00 ไมโครเมตร มีร่องรอยการขีดข่วนขนาดใหญ่ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวมีค่าสูงขึ้น สาเหตุหลักมาจากเกิดเศษวัสดุขนาดใหญ่หลุดออกในระหว่างกระบวนการขัด และวนเข้าสู่กระบวนการขัด นอกจากนี้มวลของผงขัดอลูมินาจะลดลงตามขนาดผงขัดที่ใหญ่ขึ้น [15] ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ที่แรงกดขนาดเท่ากัน ผงขัดอลูมินาที่มีขนาดใหญ่กว่าจะส่งผลให้แรงกดลงบนชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น เป็นผลทำให้มีความหยาบผิวที่หยาบขึ้น



รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของเหล็กกล้าเกรด SKD61 ที่ผ่านกระบวนการขัดด้วยผงอลูมินาขนาด (ก) 0.05, (ข) 0.30, (ค) 1.00 และ (ง) 3.00 ไมโครเมตร

3.2 ลักษณะค่าความหยาบผิว

ผลการตรวจสอบความหยาบผิวพารามิเตอร์ Ra และพารามิเตอร์ของกราฟ BAC ที่ประกอบด้วย Rpk, Rk, Rvk, Mr1, และ Mr2 ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว 2 มิติ ปลายสไตส์สรีมี 2 ไมโครเมตร ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian) และความยาวคลื่น (Cut off length) เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร แต่ละตัวอย่างทำการวัดทั้งหมด 5 ตำแหน่งกระจายทั่วชิ้นงาน และนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์ผล ดังแสดงในตารางที่ 3

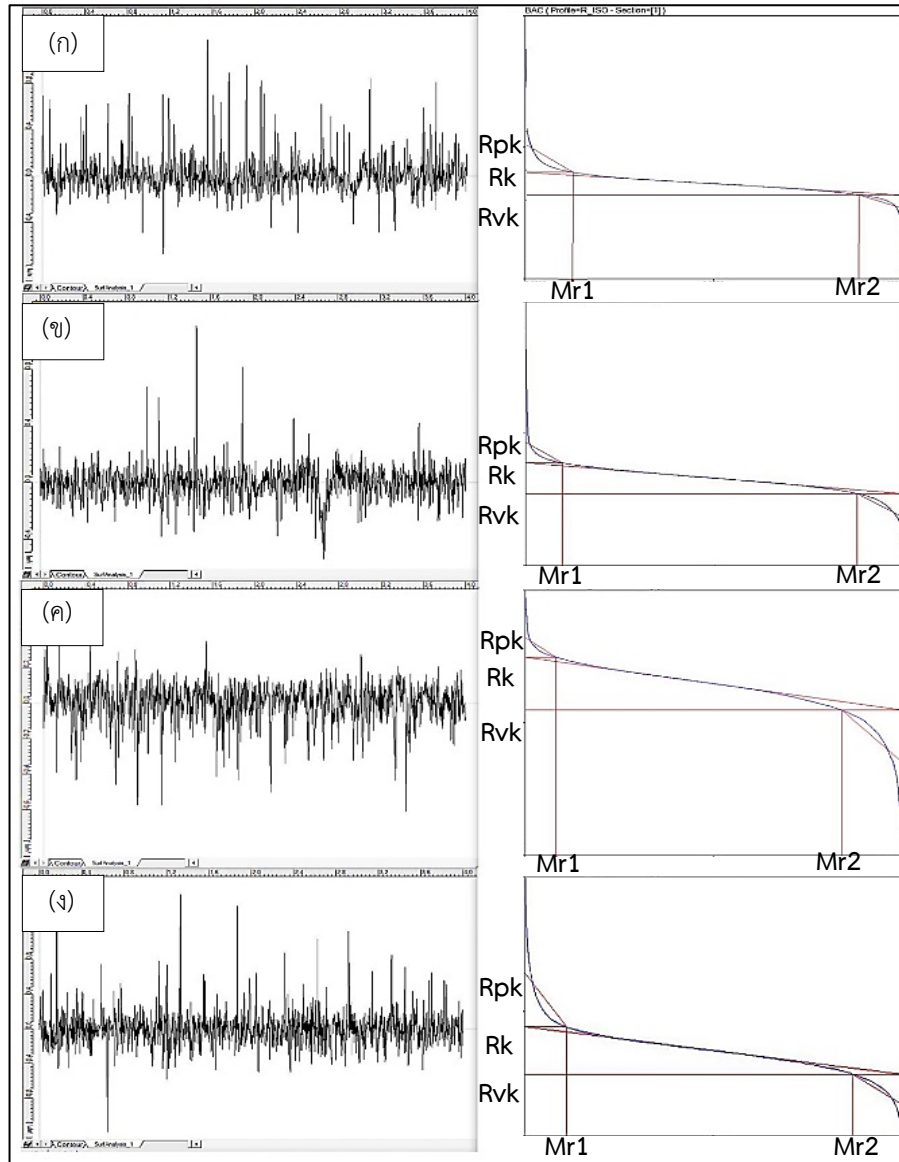
ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ Ra, Rk, Rpk, Rvk, Mr1 และ Mr2

ขนาดผงขัดลูมินา (μm)	0.05	0.30	1.00	3.00
Ra (μm)	0.0690	0.0749	0.1124	0.1153
Rk (μm)	0.1917	0.1930	0.2497	0.2964
Rpk (μm)	0.1294	0.0831	0.1493	0.3427
Rvk (μm)	0.1493	0.1889	0.3809	0.1902
Mr1 (%)	9.63	8.24	9.09	11.17
Mr2 (%)	87.10	84.10	83.41	87.15

หลังจากช่วงรันอินสิ้นสุดลง ความหยาบบริเวณยอดผิวสูงส่วนบนได้ถูกขัดถูออกหมดแล้ว กระบวนการไทรโบลีย์จะเริ่มเข้าสู่ช่วงของพารามิเตอร์ Rk หรือ ซึ่งเป็นผิวหลักในการรับแรงกระทำทั้งหมด และสามารถประเมินอายุการใช้งานของชิ้นงานได้ ในช่วงนี้จะเป็นสภาวะที่สัมผัสประสิทธิภาพเสียดทานมีค่าคงที่ และเกิดการสึกหรอแบบขัดถู (abrasive wear) [16] จากรูปที่ 4 (ก) และรูปที่ 4 (ข) จะพบว่าค่าพารามิเตอร์ Rk ที่ต่ำใกล้เคียงกันคือ 0.1917 และ 0.1930 ไมโครเมตร ตามลำดับ ลักษณะพื้นผิวมีแนวโน้มเป็นแนวนอน และมีขนาดใหญ่ เมื่อมีการขัดถูบนผิวของพื้นที่ Rk จะเกิดการกระจายแรงกระทำมากกว่า ส่งผลให้ค่าแรงกระทำต่อพื้นที่มีค่าต่ำลง

ในส่วนของพารามิเตอร์ Rvk เป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำมันหล่อลื่นในสภาวะหล่อลื่นของวัสดุ ในกระบวนการที่ต้องใช้งานร่วมกับสารหล่อลื่น จากการศึกษาพารามิเตอร์นี้พบว่าโดยทั่วไปออกแบบให้มีขนาดอยู่ในช่วง 0.80 – 1.20 ไมโครเมตร และพารามิเตอร์ Mr2 อยู่ที่ประมาณ 70 – 85% โดยเฉลี่ย สำหรับกระบวนการที่มีการใช้งานร่วมกับสารหล่อลื่น [17] ในกรณีของการใช้งานแม่พิมพ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้สารหล่อลื่น พารามิเตอร์ Rvk จึงมีบทบาทในการกักเก็บอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดการหลุดร่อนจากการขัดถูที่เกิดจากกระบวนการก่อนหน้า และมีบทบาทในการเปลี่ยนความหยาบผิวในช่วงของ Rk หมดลงเท่านั้น

จากพิจารณาภาพรวมของพารามิเตอร์ทั้งหมด และการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าลักษณะพื้นผิวที่คาดว่าจะสามารถทนต่อการสึกหรอได้ดีคือ ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร แม้ว่าค่าพารามิเตอร์ Ra และ Rk ของตัวอย่างที่ขัดด้วยผงอลูมินา 0.05 ไมโครเมตรจะมีพื้นผิวขนาดเล็กที่สุด และมีความหยาบผิวที่ต้องการ แต่หากพิจารณาถึงภาพรวมของพารามิเตอร์ทั้งหมด ตั้งแต่ช่วงระยะรันอิน พบว่าตัวอย่างที่ขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเกิดการหลุดลอกของเศษวัสดุในปริมาณน้อย การยึดติดในกระบวนการต่ำ และมีระยะ L เท่ากับ 0.8020 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะการเข้าสู่ช่วงเสถียรของกระบวนการที่สั้นที่สุดอีกด้วย ดังนั้นตัวอย่างที่ขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร จึงเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพด้านไทรโบลีย์ในมุมมองของกราฟ BAC



รูปที่ 4 เส้นโค้งสะสม BAC ของเหล็กกล้าเกรด SKD61 ที่ผ่านกระบวนการขัดด้วยผงอลูมินาขนาด (ก) 0.05, (ข) 0.30, (ค) 1.00 และ (ง) 3.00 ไมโครเมตร

4. สรุป

การวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงคุณภาพผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้า SKD61 ซึ่งใช้ในงานที่ต้องรับแรงกระแทก และต้องมีความแข็งแรงสูง ปัญหาหลักที่พบคือความเสียหายจากการสึกหรอของพื้นผิวในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน การวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วสัมพัทธ์ เวลา และขนาดของสารกัดกร่อนในกระบวนการขัดละเอียดถูกนำเสนอเพื่อศึกษาลักษณะสันฐานวิทยาของพื้นผิว พารามิเตอร์ความหยาบผิว Ra และส่วนประกอบของกราฟ BAC ที่ประกอบด้วย reduced peak height (Rpk), core roughness depth (Rk), reduced valley depth (Rvk), material ratio 1 at the peak zone (Mr1) และ material ratio 2 at the valley zone (Mr2) พบว่ากระบวนการขัดมีความสามารถในการสร้างผิวที่มีลักษณะเส้นเป็นอิสระ และสม่ำเสมอ การวิเคราะห์ค่าความ

หยาบผิวแสดงให้เห็นว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการขัดด้วยผงอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร สามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี เนื่องจากมีช่วงรันอินสั้นทำให้เข้าสู่ช่วงเสถียรของกระบวนการได้เร็วขึ้น

การประเมินพฤติกรรมการสึกหรอจำเป็นต้องวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เป็นส่วนประกอบของเส้นโค้งสะสม BAC ร่วมกับพารามิเตอร์ Ra ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบพื้นผิวเบื้องต้นในอุตสาหกรรมทั่วไป จากการศึกษา และวิเคราะห์พารามิเตอร์ของ BAC พบว่าพารามิเตอร์ Rk เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องวิเคราะห์ร่วมกับ Rpk รวมถึงระยะทางก่อนเข้าสู่ช่วงเสถียรของกระบวนการก็จำเป็นต้องพิจารณาร่วมด้วยเช่นกันเพื่อให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้ยาวนาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Piotrowski, “Tool Wear Prediction in Single-Sided Lapping Process,” *Machines*, vol. 8, no. 4, p. 59, Sep. 2020. doi:10.3390/machines8040059
- [2] S. B. Yeruva, *Particle Scale Modeling of Material Removal and Surface Roughness in Chemical Mechanical Polishing*. Gainesville, Fla: University of Florida, 2005.
- [3] J. Su, X. Zhang, M. Xue, W. Xiao, and T. Zhang, “Study on Lapping Process of 304 Stainless Steel Using Tribochemical Fixed-Abrasive Lapping Platen,” *Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 2, pp. 231–239, May 2022. doi:10.21062/mft.2022.022
- [4] M. R. Pratheesh Kumar, B. S. Arun, and R. Aravind Babu, “Optimization of Process Parameters in Lapping of Stainless Steel”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 2, no. 9, 2013, pp. 1865–1872.
- [5] P. R. Parate, and R. B. Yarasu, “Optimization of Process Parameters of Lapping Operation by Taguchi Approach for Surface Roughness of SS 321”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, vol. 4, no. 4, pp 15–21, 2013.
- [6] T. V. Do, Q. M. Nguyen, and M. T. Pham, “Optimization of Cutting Parameters for Improving Surface Roughness During Hard Milling of AISI H13 Steel,” *Key Engineering Materials*, vol. 831, pp. 35–39, Feb. 2020. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.831.35
- [7] J. Wang, Z. Xu, and X. Lu, “Effect of The Quenching and Tempering Temperatures on The Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 29, no. 3, pp. 1849–1859, Feb. 2020. doi:10.1007/s11665-020-04686-0
- [8] P. He, S. Lu, Y. Wang, R. Li, and F. Li, “Analysis of The Best Roughness Surface Based on The Bearing Area Curve Theory,” in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 236, no. 3, pp. 527–540, May 2021. doi:10.1177/13506501211018937
- [9] S. Chandra Sharma and D. Hargreaves, “A Suitable Method for Journal Bearing Wear Measurement,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 66, no. 1, pp. 15–22, Feb. 2014. doi:10.1108/ilt-06-2011-0104

- [10] M. Sivanesh Prabhu, A. Elaya Perumal, S. Arulvel, and R. Franklin Issac, “Friction and Wear Measurements of Friction Stir Processed Aluminium Alloy 6082/CACO₃ Composite,” *Measurement*, vol. 142, pp. 10–20, Aug. 2019. doi:10.1016/j.measurement.2019.04.061
- [11] A. Sharma, A. Chaudhari, M. Z. Yusufzai, and M. Vashista, “Effectiveness of Using Liquid Nitrogen Cryogen in Grinding to Enhance the Grinding Performance of Hard Steel,” in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 238, no. 1–2, pp. 315–327, Jan. 2023. doi:10.1177/09544054221147622
- [12] M. Kumar, A. Sidpara, and V. Racherla, “Analysis of Tool Wear and Counter Surface Roughness in The Flexible Abrasive Tool Finishing,” *Lubricants*, vol. 10, no. 11, p. 318, Nov. 2022. doi:10.3390/lubricants10110318
- [13] *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method; Surfaces Having Stratified Functional properties – Part 2: Height Characterization Using the Linear Material Ratio Curve*, ISO 13565–2:1996.
- [14] Z. Chen, D. Wen, J. Lu, J. Yang, and H. Qi, “Surface Quality Improvement by Using a Novel Driving System Design in Single-Side Planetary Abrasive Lapping,” *Materials*, vol. 14, no. 7, p. 1691, Mar. 2021. doi:10.3390/ma14071691
- [15] K. Rubešová, M. Peković, H. Jirková, and D. Hradil, “Resistance of Tool Steel Processed by Unconventional Forming Technology Against Abrasive Wear,” *Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 241–246, Apr. 2021. doi:10.21062/mft.2021.028
- [16] M. El Mansori, B. Goeldel, and L. Sabri, “Performance Impact of Honing Dynamics on Surface Finish of Precoated Cylinder Bores,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 215, pp. 334–339, Jan. 2013. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.09.062
- [17] K. D. Lawrence, and B. Ramamoorthy, “Multi-Surface Topography Targeted Plateau Honing for The Processing of Cylinder Liner Surfaces of Automotive Engines,” *Applied Surface Science*, vol. 365, pp. 19–30, Mar. 2016. doi:10.1016/j.apsusc.2015.12.245

การศึกษาความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไตรโบโลยี ของโพลีออกซิเมทิลีนที่ผ่านกระบวนการกลึง

Study of the Surface Roughness affecting on the Tribological Properties of Polyoxymethylene by Turning Process

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง¹ รัตติกรณ์ เสาร์แดน² มงคล กาสีวงศ์³ และ วิโรจน์ ฉัตรเกษ^{4*}

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³สาขาวิชาช่างอากาศยาน วิทยาลัยการบินนานาชาติ มหาวิทยาลัยนครพนม

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

Teerayut Kanchanasangtong¹ Rattikorn Saodaen² Mongkol Kaseewong³ and Wirot Chudget^{4*}

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep

³Department of Aircraft Maintenance Technician, International College of Aviation
Nakhonphanom University

⁴Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhonphanom University

*Corresponding author Email: wirot_ch@npu.ac.th

(Received: February 11, 2024; Revise: June 25, 2024; Accepted: June 27, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไตรโบโลยีของชิ้นส่วนโพลีออกซิเมทิลีนที่ผ่านกระบวนการกลึงขึ้นรูป เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและเบเกอรี่ ทำการวัดความหยาบผิวของชิ้นทดสอบ วิเคราะห์พื้นผิวรอยกลึงปาดผิว และทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องบล็อกออนริงภายใต้สภาวะแห้ง ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกลึงปาดผิวอยู่ที่ความเร็วตัด 255 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.08 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึก 0.4 มิลลิเมตร มีค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนขึ้น พบว่ารอยกลึงปาดผิวบนผิวชิ้นทดสอบคล้ายกับกันหอย นอกจากนี้ ความหยาบผิวของชิ้นทดสอบมีผลอย่างมากต่อพื้นผิวคู่สัมผัส ส่งผลต่อแรงเสียดทานที่สะสมบนผิวสัมผัส ทำให้วัสดุโพลีออกซิเมทิลีนเกิดการยืดออกและการถ่ายโอนฟิล์มบาง ๆ ของพอลิเมอร์ลงบนผิวคู่สัมผัส อย่างไรก็ตาม การเพิ่มภาระแรงกระทำที่ใช้จะเพิ่มการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสึกหรอ

คำสำคัญ: กลึงปาดผิว โพลีออกซิเมทิลีน ความหยาบผิว การสึกหรอ

Abstract

This work focuses on a study of the surface roughness affecting the tribological properties of polyoxymethylene parts processed by machining, for application in the production of mechanical components in the food processing and bakery industries. The specimens were measured for surface roughness, analysis of

turning surface, and wear test by block-on-ring tester under dry. The results showed that the optimal face turning parameters are at a feed rate of 0.08 mm/rev, cutting speed of 255 m/min, depth of cut 0.4 mm, and the lowest surface roughness value, when increasing the feed rate, it is found that turning surface on the specimens similar to cycloid pattern. In addition, the surface roughness of the specimens has a significant effect on the contact surface, influencing the friction accumulated on the contact surface causing the polyoxymethylene to stretch and polymers to transfer film on the steel surfaces. However, incrementing the applied load values increases the weight loss and the wear rate.

Keywords: Facing, Polyoxymethylene, Surface Roughness, Wear test

1. บทนำ

โพลีออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene; POM) หรือที่เรียกว่า อะซีตัล (Acetals) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยคือ $(-CH_2-O-)_n$ ซึ่งมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ แบบ homopolymer และแบบ copolymer และอะซีตัลเป็นพอลิเมอร์ที่โมเลกุลมีความสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้อะซีตัลมีความแข็งแรง ความแข็งสูงและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี จึงนิยมใช้ในการทำเป็นอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนประกอบที่ต้องการความถูกต้อง เช่น เกียร์ ลูกปืน ลูกเบี้ยว และใบพัด เป็นต้น [1] ในกรณีศึกษานี้เป็นการผลิตชิ้นส่วนประกอบหรืออะไหล่สำหรับประกอบประเภทวัสดุพอลิเมอร์ของเครื่องปั้นขนม ฝาคอบชุดปั้นขนม ชุดปั้นขนม และชุดลำเลียงที่ใช้ในอุตสาหกรรม การแปรรูปอาหารและเบเกอรี่ ซึ่งสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ โดยผ่านกรรมวิธีการตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยเครื่องจักรกลพื้นฐาน เช่น การกลึง การเจาะ การกัด และการตัดเฉือนแบบอื่น ๆ เป็นต้น [2] อย่างไรก็ตาม การซ่อมบำรุงส่วนใหญ่จะเป็นการถอดเปลี่ยนอะไหล่ของเดิมออกแล้วนำอะไหล่สำหรับหรือชิ้นส่วนที่ผลิตเองเข้ามาทดแทน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง แต่สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ผลิตขึ้นเองมักจะขาดคุณภาพในเรื่องขนาดและพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน (Finishing) ซึ่งส่งผลกระทบต่อประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ และเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน การเสื่อมสภาพและความต้านทานการสึกหรอลดลง ส่งผลให้สูญเสียเวลาในการผลิตและต้นทุนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความหยาบผิวของกระบวนการตัดเฉือนด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ และสมบัติไตรโบโลยี พบว่า Gao et al. [3] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของไตรโบโลยีและความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต POM โดยใช้เส้นใย PTFE เป็นสารเติมแต่งและโพลี (เอทิลีนออกไซด์) (PEO) และผ่านการอัดรีดขึ้นรูป พบว่าอัตราการสึกหรอของวัสดุคอมโพสิต POM ลดลง เมื่อเพิ่มเส้นใย PTFE ทำให้สมบัติไตรโบโลยีดีขึ้น Copenhaver et al. [4] ได้การทดลองการกลึงปาดผิวท่ออะลูมิเนียม ASM 6061-T6 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี เพื่อจัดการสะสมตัวของเศษโลหะ การขีดข่วนผิวชิ้นงาน และความเสียหายของเครื่องมือตัด Miller et al. [5] ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในคู่เกียร์โพลีออกซิเมทิลีนที่หล่อลิ้นด้วยสารหล่อลื่นแบบฟิล์มแห้ง โดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีแบบ ฟูลแฟกทอเรียลและกำหนดพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพล 3 ปัจจัย ได้แก่ รัศมี ความโค้ง ความเร็วเลื่อน และโหลดปกติ Pogacnik and Kalin [6] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อพฤติกรรมไตรโบโลยีของพอลิเอไมด์ต่อโพลีอะซีตัลและเหล็กกล้า ทำการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์ Pin on disc โดยใช้วัสดุพอลิเอไมด์ PA6 เป็นพินและวัสดุโพลีอะซีตัลและเหล็กกล้าเป็นแผ่นดิสก์มีความหยาบผิว 0.2 และ 0.65 μm ภาระโหลด 5 N ระยะทาง 25 และ 50 km ความเร็ว 0.1, 0.5 และ 1 m/sec เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการสึกหรอระหว่างล่อคู่สัมผัสของวัสดุและวัดอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน Basavaraj et al. [7] ได้ศึกษาสมบัติทางไตรโบโลยีและสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอไมด์ PA6 กับโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ MoS_2 เพื่อปรับปรุงสมบัติไตรโบโลยีของพอลิเอไมด์คอมโพสิต PA6 ให้มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงหรือการ

กระจายความร้อน เพื่อให้ทนต่อความร้อนสูงที่เกิดขึ้นระหว่างการเสียดสี โดยทำการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์ ภายใต้ภาระโหลด 50, 100 และ 150 N ระยะทาง 1000, 1500 และ 2000 m และความเร็ว 5, 7 และ 9 ms⁻¹ และ Wang et al. [8] ได้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วไฮบริดและสารตัวเติมคาร์บอนไฟเบอร์ต่อประสิทธิภาพของคอมโพสิต UHMWPE ภายใต้สภาวะการเลื่อนแบบแห้งและสารหล่อลื่น โดยใช้ laser microscopic 3D วัดความหยาบผิวตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงขีดความสามารถของสมบัติทางไตรโบโลยี โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เพื่อทำให้วัสดุพอลิเมอร์มีความทนทานต่อการเสียดสีได้ดีเยี่ยม โดยเฉพาะการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ทำการศึกษาค่าความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไตรโบโลยีของวัสดุพอลิออกซิเมทิลีนที่ผ่านการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ซึ่งสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนประกอบหรืออะไหล่สำรอง (Spare Parts) ของเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและเบเกอรี่ เพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอซึ่งเป็นการยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่าง ๆ และยังสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัสดุที่เลือกใช้ในการทดลองคือ โพลีออกซิเมทิลีนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm และความยาว 120 mm ทำการกลึงปาดผิวด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี 2 แกน ของ ACCUWAY รุ่น UL-15 ที่ใช้ระบบควบคุมการทำงานของ FANUC Series Oi-TF และใช้เครื่องมือตัดเป็นเม็ดมีดกลึง รัศมีมุม 0.8 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm และใช้สารหล่อเย็นขณะทำการกลึงปาดผิว ดังรูปที่ 1 โดยมีเงื่อนไขในกระบวนการกลึงปาดผิว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในกระบวนการกลึงปาดผิว

Conditions	Values	Units
Cutting speed (V_c):	195, 255	m/min
Feed rate (F_r):	0.08, 0.16, 0.25	mm/rev
Depth of cut (D_c):	0.4	mm

การหาค่าความเร็วรอบ (Rotational speed, n) [9] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

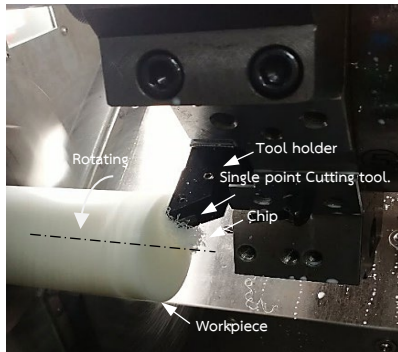
$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (1)$$

โดย n = ความเร็วรอบ (rpm), V_c = ความเร็วตัด (m/min), และ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน (mm) [9] และการกลึงตัด (Cutoff) ชิ้นทดลองให้ได้ความหนา 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ร่องรอยการกลึงปาดผิวหน้าลักษณะรูปร่างเศษพอลิเมอร์ และกลไกการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์ของ Dino lite รุ่น AM4115ZT การวัดความหยาบผิวด้วยเครื่อง OLYMPUS รุ่น OLS5000 Laser Confocal Microscopes เพื่อวัดค่าความหยาบผิว [8], [10] และทดสอบการสึกหรอแบบล้อยางแหวนตามมาตรฐาน ASTM G77 ดังรูปที่ 2 โดยใช้ล้อยางแหวนขนาด 62 mm ความหยาบผิว 0.2 μ m ความเร็วของการเสียดสี 0.3 m/sec แรงกดบนชิ้นทดสอบ 200, 250 และ 300 N ระยะทาง 3000 m ขนาดมิติชิ้นทดสอบ 10x10x15 mm³ และ

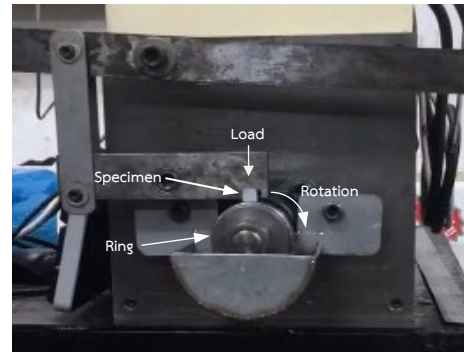
ทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบล้อวงแหวน เพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 4 ตำแหน่ง ของ Mettler Toledo รุ่น AB204 เพื่อหาอัตราการสึกหรอได้จากสมการที่ (2)

$$Wear\ rate = \frac{V_{loss}}{Nm} \quad (2)$$

โดย $Wear\ rate$ = อัตราการสึกหรอ (mm^3/N), V_{loss} = ปริมาณที่สูญเสีย (mm^3), N = แรงกดบนชิ้นทดสอบ (N) และ m = ระยะทางการทดสอบ (m) [6], [7], [8]



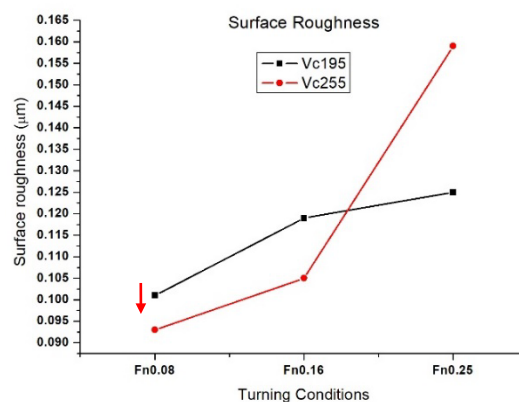
รูปที่ 1 กระบวนการกลึงปาดผิวหน้า



รูปที่ 2 การทดสอบการสึกหรอด้วยล้อวงแหวน

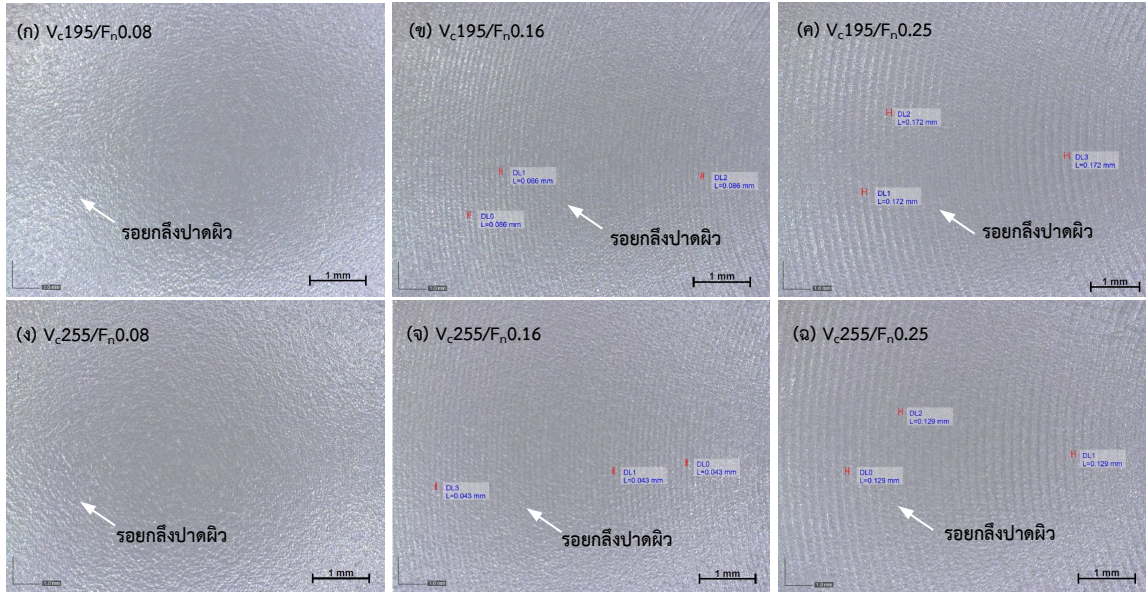
3. ผลการวิจัย

หลังจากทำการกลึงปาดผิวละเอียดด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด แล้วทำการวัดค่าความหยาบผิวชิ้นทดสอบแบบไม่สัมผัส เพื่อเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าชิ้นทดสอบส่วนใหญ่มีค่าความหยาบผิวค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งมีความหยาบผิวอยู่ในช่วง $0.093 - 0.159\ \mu m$ และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกลึงปาดผิวละเอียด คือ ความเร็วตัด $255\ m/min$ อัตราป้อน $0.08\ mm/rev$ และระยะป้อนลึก $0.4\ mm$ มีค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด $0.093 \pm 0.0297\ \mu m$ รองลงมา คือ ความเร็วตัด $195\ m/min$ มีค่าความหยาบผิว $0.101 \pm 0.0049\ \mu m$ อย่างไรก็ตาม การปรับอัตราป้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อพื้นผิวของรอยกลึงปาดผิวและความหยาบผิว



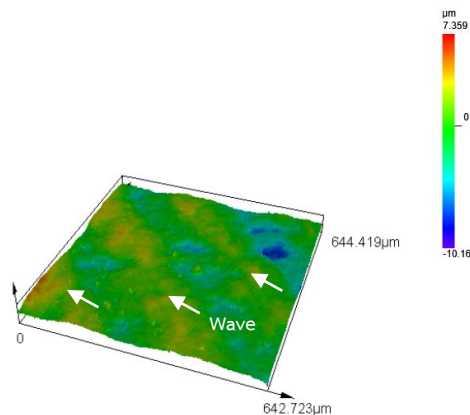
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิวละเอียด ภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

การวิเคราะห์ร่องรอยการกลึงปาดผิวละเอียด เพื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของชิ้นทดสอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าพื้นผิวที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิว (Facing) มีลักษณะเป็นร่องรอยการกลึงปาดผิวแบบขูดถูเนื้อวัสดุออกที่เกิดจากปลายคมตัดของมีดกลึงมีรัศมีมุม 0.8 mm ซึ่งทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวใหม่ (New Surface) ดังรูปที่ 4 (ก) และ (ง)



รูปที่ 4 ลักษณะรอยตัดเฉือนที่ผ่านการกลึงปาดผิวหน้าด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

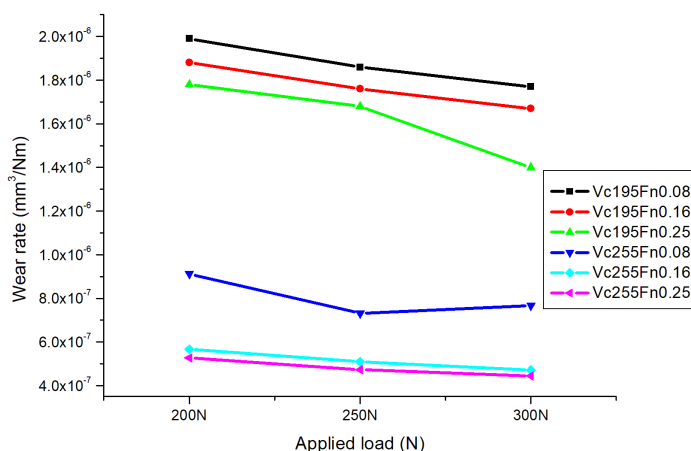
อย่างไรก็ตาม การปรับอัตราป้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อรอยการกลึงปาดผิวที่เกิดเป็นร่องเส้นโค้งหรือวงกลมคล้ายกับกันหอย (Cycloid) บนพื้นผิวใหม่และมีความขรุขระเป็นลักษณะแบบลูกคลื่น (Wave) ดังรูปที่ 5 ตามทิศทางการเดินป้อนของมีดกลึง (Toolpath) และการหมุนของชิ้นงาน (Rotating Workpiece) โดยมีระยะห่างของร่องรอยเส้นโค้ง 0.086 mm และ 0.172 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 (ข) – (ค) และเมื่อปรับค่าความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ระยะห่างของร่องรอยเส้นโค้งลดลงและมีระยะห่างกัน 0.043 mm และ 0.129 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 (จ) – (ฉ)



รูปที่ 5 พื้นผิว 3D ของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิวละเอียดที่ความเร็วตัด $V_c 255$ m/min อัตราป้อน $F_n 0.25$ mm/rev และระยะป้อนลึก $D_c 0.4$ mm

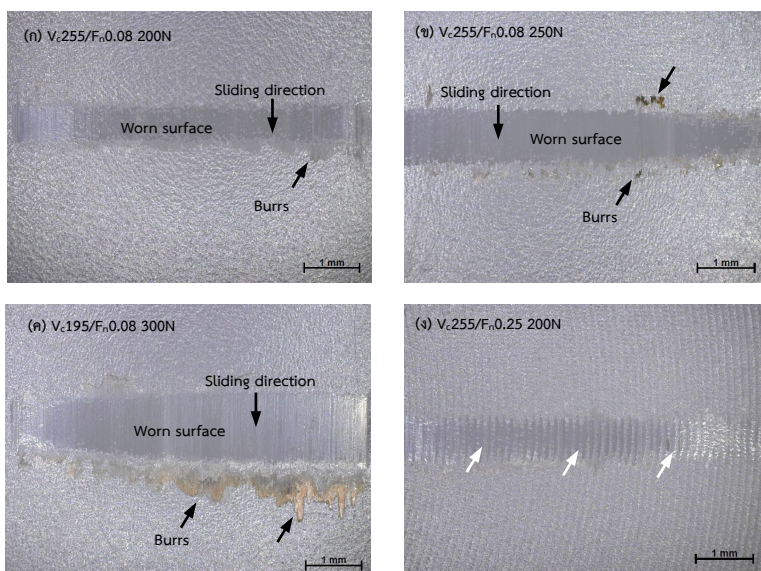
ผลการทดสอบการสึกหรอแบบล้อวงแหวนของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิวภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบทั้งหมดมีพื้นผิวนและลดลงเล็กน้อยตามระดับของแรงกดบนผิวชิ้นทดสอบ (Load) [11] เนื่องจากการปรับเปลี่ยนแรงกด ส่งผลกระทบต่อกลไกการสึกหรอของวัสดุพอลิเมอร์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การเสียดสี การลื่นไถล การถ่ายโอนเนื้อวัสดุ (Polymer Transfer Film) อุณหภูมิที่ผิวสัมผัส และช่องว่างของพื้นผิวสัมผัส เป็นต้น [10–12]

อย่างไรก็ตาม ลักษณะรอยกลึงปาดผิวและความหยาบผิวมีผลต่อกลไกการสึกหรอและอัตราการสึกหรอลดลง แต่ถ้ามีความหยาบผิวสูงและความขรุขระของรอยกลึงปาดผิวแบบลูกคลื่น (Wave) ดังรูปที่ 5 เนื่องจากความสูงของยอดคลื่นจะส่งผลต่อพื้นผิวสัมผัสทำให้อัตราการสึกหรอลดลง และการปรับเปลี่ยนความเร็วตัดส่งผลต่อความต้านทานการสึกหรอ



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการสึกหรอตามแรงกดที่ใช้สำหรับชิ้นทดลองที่ผ่านการกลึงปาดผิวหน้าด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์พื้นผิวการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิวละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าพื้นผิวของชิ้นทดสอบเกิดกลไกการสึกหรอจากแรงกดบนผิวชิ้นทดสอบทำให้เกิดการเสียดสีของพื้นผิวล้อวงแหวนกับชิ้นทดสอบ โดยมีทิศทางการเสียดสีเลื่อนสไลด์ (Sliding direction) ไปตามทิศทางการหมุนของล้อวงแหวน ดังรูปที่ 7 (ก) ทำให้เกิดความร้อนสะสมบนผิวสัมผัสจนทำให้เกิดการถ่ายโอนเนื้อวัสดุไปยังพื้นผิวล้อวงแหวน [13] โดยมีลักษณะเป็นฟิล์มบางเกาะบนผิวสัมผัสและบางส่วนถูกสไลด์ออกไปเกาะบนขอบผิวชิ้นงานเล็กน้อย (Burrs) และมีสีคล้ายกับสีน้ำตาลไหม้ ดังรูปที่ 7 (ข) – (ค) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มภาระแรงกระทำบนผิวชิ้นทดสอบจะทำให้อัตราการสึกหรอเพิ่มสูง เนื่องจากภาระแรงกระทำดังกล่าวทำให้ชิ้นทดสอบมีการแบกรับภาระแรงกระทำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดรอยการสึกหรอได้ง่ายและมีเศษอนุภาคพอลิเมอร์เกาะติดบนผิวชิ้นทดสอบมากขึ้น ดังรูปที่ 7 (ค)



รูปที่ 7 แสดงพื้นผิวการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิวละเอียด ภายใต้ภาระแรงกระทำที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ รอยการกลึงปาดผิวของชิ้นทดสอบมีผลต่ออัตราการสึกหรอลดลง เนื่องจากความแตกต่างของความขรุขระของพื้นผิวเริ่มก่อนทดสอบการสึกหรอมีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบคลื่น (Wave) ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวคู่สัมผัสและทำให้รอยกลึงปาดผิวบางส่วนเลือนลาง (ลูกศรสีขาว) ดังรูปที่ 7 (ง)

4. สรุป

บทความนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความหยาบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางไดรโบลีของโพลีเอทิลีนที่ผ่านการกลึงปาดผิวด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและเบเกอรี่ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 อัตราป้อนมีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงปาดผิววัสดุโพลีเอทิลีน แต่อย่างไรก็ตาม อัตราป้อนลดลงจะส่งผลทำให้ระยะห่างของร่องรอยเส้นโค้งลดลง

4.2 รอยตัดเฉือนที่ผ่านการกลึงปาดผิวมีลักษณะเป็นเส้นวงกลมคล้ายกับกันหอย ซึ่งลักษณะร่องรอยกลึงปาดผิวจะมีความแปรผันตามการปรับค่าพารามิเตอร์

4.3 ความหยาบผิวหรือความขรุขระของรอยกลึงปาดผิวมีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสึกหรอ ซึ่งเห็นได้จากกลไกการสึกหรอที่เกิดการสึกหรอจากยอดคลื่นที่สูงที่สุดแล้วลดระดับลงมาบนพื้นผิวที่ราบต่ำ โดยมีการสไลด์ของเนื้อวัสดุไปตามทิศทางการหมุนของล้อวงแหวนทำให้เกิดการยึดตัวและหลุดออกไปเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ

อย่างไรก็ตาม พื้นผิวสำเร็จของชิ้นงานมีผลต่อแรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอ เห็นได้จากการสึกหรอที่มีเศษอนุภาคของพอลิเมอร์เกาะบนพื้นผิว ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ หากมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารหล่อลื่นหรือสารผสม จะช่วยลดแรงเสียดทานและยืดอายุการใช้งาน

5 การอภิปรายผล

จากผลสรุปข้างต้นพบว่า อัตราป้อนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวและลักษณะรอยกลิ้งปาดผิว เนื่องจากการปรับอัตราป้อนลดลง จะทำให้ความขรุขระผิวชิ้นทดสอบมีค่าลดลงและระยะห่างของร่องรอยเส้นวงกลมลดลง ซึ่งคล้ายกับผลทดสอบของ Chabbi et al. [14] ได้ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกลิ้งตัดวัสดุโพลีออกซิเมทิลีน พบว่าความหยาบผิวของพื้นผิวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากอัตราป้อน รองลงมา คือ ระยะป้อนลึก แต่ในขณะที่ความเร็วตัดไม่มีอิทธิพล

อย่างไรก็ตาม กลไกการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านการกลิ้งปาดผิว โดยเริ่มจากการเคลื่อนที่ของลวดคู่สัมผัสภายใต้ภาระแรงกระทำ ซึ่งทำให้เกิดแรงเสียดทานและความร้อนสะสม ส่งผลให้เกิดการยึดตัวและการเลื่อนสไลด์เนื้อวัสดุออกไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดแหวนทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบ ดังรายงานวิจัยของ Zhang et al. [13] พบว่ากระบวนการเสียดสีทำให้เกิดฟิล์มหล่อลื่นที่มีขอบเขต ซึ่งสามารถป้องกันการสัมผัสโดยตรงของพื้นผิวที่ถูกัน และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอต่ำมาก

นอกจากนี้ การเพิ่มภาระแรงกระทำมากขึ้น จะทำให้การสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นบริเวณพื้นผิวคู่สัมผัสกับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unal and Mimaroglu [11] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเสียดสีและการสึกหรอของโพลีเอไมด์ 6 กราไฟต์และแก้วคาร์บอนโพลีโพลีเอไมด์ 6 ภายใต้สภาวะการเลื่อนแบบแห้ง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุผสม PA6 และ PA6 เพิ่มขึ้นตามภาระแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นและค่าความเร็วในการเลื่อน ในขณะที่วัสดุผสมที่เติมแก้วซีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภาระแรงกระทำ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยมีความร่วมมือกับสาขาวิชาช่างกลโรงงานและสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Amonsit, S. Akaratiwa, and T. Udomman, “Foundations of Materials Science and Engineering,” in *Engineering Materials*, 4th ed, Bangkok: McGraw-Hill, 2008, p. 423 (in Thai)
- [2] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 7th ed. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte Ltd, 2020.
- [3] Y. Gao, S. Sun, Y. He, X. Wang, and D. Wu, “Effect of Poly(ethylene Oxide) on Tribological Performance and Impact Fracture Behavior of Polyoxymethylene/Polytetrafluoroethylene Fiber Composites,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 42, no. 7, pp. 1945–1955, Oct. 2011. doi:10.1016/j.compositesb.2011.05.044
- [4] R. Copenhaver, T. Schmitz, and S. Smith, “Stability Analysis of Modulated Tool Path Turning,” *CIRP Annals*, vol. 67, no. 1, pp. 49–52, 2018. doi:10.1016/j.cirp.2018.03.010
- [5] D. Miler, M. Hoić, Z. Domitran, and D. Žeželj, “Prediction of Friction Coefficient in Dry-Lubricated Polyoxymethylene Spur Gear Pairs,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 138, pp. 205–222, Aug. 2019. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.03.040

- [6] A. Pogačnik and M. Kalin, “Parameters Influencing the Running-In and Long-Term Tribological Behaviour of Polyamide (PA) Against Polyacetal (POM) and Steel,” *Wear*, vol. 290–291, pp. 140–148, Jun. 2012. doi:10.1016/j.wear.2012.04.017
- [7] E. Basavaraj, B. Ramaraj, J.-H. Lee, and Siddaramaiah, “Polyamide 6/Carbon Black/Molybdenum Disulphide Composites: Friction, Wear and Morphological Characteristics,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 138, no. 2–3, pp. 658–665, Mar. 2013. doi:10.1016/j.matchemphys.2012.12.035
- [8] Y. Wang, Z. Yin, H. Li, G. Gao, and X. Zhang, “Friction and Wear Characteristics of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) Composites Containing Glass Fibers and Carbon Fibers Under Dry and Water-Lubricated Conditions,” *Wear*, vol. 380–381, pp. 42–51, Jun. 2017. doi:10.1016/j.wear.2017.03.006
- [9] H. A. Youssef and H. El-Hofy, *Machining Technology: Machine Tools and Operations*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.
- [10] G. S. Gehlen, P. D. Neis, J. C. Poletto, L. Y. Barros, D. Buneder and N. F. Ferreira, “Pressure-Velocity Limit Evaluation on Pom-C + Carbon Black at Different Temperatures,” *Wear*, vol. 464–465, p. 203530, Jan. 2021. doi:10.1016/j.wear.2020.203530
- [11] H. Unal and A. Mimaroglu, “Friction and Wear Performance of Polyamide 6 and Graphite and Wax Polyamide 6 Composites Under Dry Sliding Conditions,” *Wear*, vol. 289, pp. 132–137, Jun. 2012. doi:10.1016/j.wear.2012.04.004
- [12] Y. Ren, L. Zhang, G. Xie, Z. Li, H. Chen, H. Gong, W. Xu, D. Guo and J. Luo, “A Review on Tribology of Polymer Composite Coatings,” *Friction*, vol. 9, no. 3, pp. 429–470, Jun. 2021
- [13] L. Zhang, G. Xie, S. Wu, S. Peng, X. Zhang, D. Guo, S. Wen and J. Luo, “Ultralow Friction Polymer Composites Incorporated with Monodispersed Oil Microcapsules,” *Friction*, vol. 9, no. 1, pp. 29–40, Sep. 2019. doi:10.1007/s40544-019-0312-4
- [14] A. Chabbi, M. A. Yallese, I. Meddour, M. Nouioua, T. Mabrouki, and F. Girardin, “Predictive Modeling and Multi-Response Optimization of Technological Parameters in Turning of Polyoxymethylene Polymer (POM C) Using RSM and Desirability Function,” *Measurement*, vol. 95, pp. 99–115, Jan. 2017. doi:10.1016/j.measurement.2016.09.043

สาเหตุของความเสียหายและแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับสกรูลำเลียงในการขนถ่าย

ตะกอนเปียกพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

Causes of Damage and Solution for a Screw Conveyor in the Handling of

Polymer Wet Cake in the Petrochemical Industry

สมคิด เลานิตทะรากุล¹ และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ^{2*}¹บริษัท เออีเอสซี จำกัด อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี 20150²ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี 11000

Somkid Laonittharakul¹ and Bhadpiroon Watcharasresomroeng^{2*}¹AESC Co.,Ltd., Bang Lamung, Chonburi, 20150²Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000

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

(Received: June 4, 2024; Revise: June 21, 2024; Accepted: June 24, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุความเสียหายและแนวทางการแก้ปัญหาสกรูลำเลียงในกระบวนการขนถ่ายตะกอนเปียกของพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การศึกษาใช้เทคนิคทางโลหวิทยาและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ชุดสกรูลำเลียงทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 (JIS) จากการทดสอบความแข็งและหาค่าส่วนผสมทางเคมีพบว่าวัสดุดังกล่าวมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ความเสียหายของสกรูลำเลียงเกิดที่เพลาสกรูซึ่งทำจากท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 318.5 mm หนา 17.4 mm มีความยาว 6000 mm 2 ชิ้น เชื่อมต่อกันด้วยสลีฟเพื่อให้ได้ความยาวรวมเท่ากับ 12000 mm จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณจุดเชื่อมต่อเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการตัดปาดเนื้อวัสดุด้วยกระบวนการกลึงเพื่อใช้ในการสวมอัดกับสลีฟ ผลวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับการตรวจสอบโดยพบรอยแตกในเนื้อวัสดุ ณ บริเวณดังกล่าว การใช้เพลาสกรูขึ้นเดียวช่วยลดความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับบริเวณจุดเชื่อมต่อได้มากกว่าร้อยละ 61

คำสำคัญ: ความล้า สกรูลำเลียง ตะกอนเปียก ปิโตรเคมี

Abstract

The aim of this research is to identify the root causes of damage and potential solutions for the screw conveyor in the petrochemical industry's polymer wet cake handling process. The study employs metallurgical and finite element methods. SUS304 (JIS)-grade stainless steel makes up the screw conveyor. The hardness testing and chemical evaluation revealed that the material's value aligns with the prescribed standard. The screw conveyor, which consists of a 318.5 mm diameter tube, 17.4 mm thick, and two pieces of 6000 mm

length, sustained damage to its shaft. The screw conveyor, when coupled with a sleeve, achieves a total length of 12000 mm. An analysis using the finite element method revealed that the connection point area experienced the highest stress due to the material undergoing turning processes for press fitting with the sleeve. The analysis results are consistent with the detection of cracks in the material in that area. A single screw shaft reduces the maximum stress applied to the connection area by more than 61%.

Keywords: Fatigue, Screw Conveyor, Wet Cake, Petrochemical

1. บทนำ

แหล่งวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาจากแหล่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน ได้แก่ ปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงแก๊สธรรมชาติและน้ำมันปิโตรเลียม ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-product) ของการผลิตปิโตรเลียมได้แก่สารเคมีหรือเคมีภัณฑ์ โดยเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นต้น [1] กระบวนการผลิต PE เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow Production) มีการใช้สกรูลำเลียง (Screw Conveyor) เพื่อขนถ่ายตะกอนเปียกพอลิเมอร์ (Polymer Wet Cake) หากกระบวนการใช้งานสกรูลำเลียงได้รับความเสียหาย ก็จำเป็นต้องหยุดสายการผลิตเพื่อซ่อมบำรุง

สกรูลำเลียงเป็นอุปกรณ์เชิงกลสำหรับขนถ่ายวัสดุโดยเฉพาะการใช้งานเพื่อขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล (Bulk Materials) โดยทั่วไปสกรูลำเลียงจะมีชิ้นส่วนประกอบด้วย เฟลา ใบสกรู หน้าแปลน ชุดขับ ตัวแขวน และราง [2–5] การออกแบบและสร้างสกรูลำเลียงจำเป็นต้องพิจารณารูปร่างของส่วนประกอบและการนำไปใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับใช้เพื่อการลำเลียงวัสดุประเภทใด สมบัติของวัสดุปริมาณมวลชนิดต่าง ๆ ถูกจำแนกประเภทเอาไว้ตามมาตรฐานของ Conveyor Equipment Manufacturers Association หรือ CEMA [3]

สำหรับโจทย์ปัญหาของงานวิจัยนี้ ได้แก่ สกรูลำเลียงเพื่อขนถ่ายตะกอนเปียกของพอลิเมอร์ชนิด PE ของสถานประกอบการพบความเสียหายเป็นรอยร้าวบริเวณจุดเชื่อมต่อของเฟลา ทำให้ต้องหยุดสายการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงเป็นระยะเวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และเมื่อนำกลับมาใช้ก็พบปัญหาเกิดซ้ำขึ้นที่บริเวณตำแหน่งเดิม จากปัญหาดังกล่าวทางสถานประกอบการต้องการค้นหาสาเหตุความเสียหายของสกรูลำเลียง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการป้องกันและการนำไปพิจารณาเพื่อออกแบบชุดสกรูลำเลียงให้มีประสิทธิภาพการใช้งานและมีอายุใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการหยุดสายการผลิตโดยกระทันหันในอนาคตได้ ปัญหาหลักของการใช้สกรูลำเลียงเพื่อขนถ่ายวัสดุ ได้แก่ การเกิดการสึกหรอ (Wear) การกัดกร่อน (Corrosion) และโดยเฉพาะการเกิดความล้า (Fatigue) กับชิ้นส่วนชุดสกรูลำเลียงที่รับภาระซ้ำ ๆ [4–7] ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้สกรูลำเลียงเสียหายจากการใช้งาน

ความล้า คือ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเนื้อของวัสดุเนื่องจากการรับภาระสลับ (Cyclic Load) อย่างต่อเนื่อง เมื่อเนื้อวัสดุได้รับภาระสลับอย่างต่อเนื่องมากพอจะทำให้ผิวโลหะเริ่มเกิดรอยร้าว (Crack Initiation) ซึ่งมีขนาดเล็ก หากยังคงรับภาระต่อเนื่อง รอยร้าวจะมีการขยายตัวไปเรื่อย ๆ (Crack Growth) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากความเค้นบางจุดสูงกว่าความต้านแรงครากของวัสดุ (Yield Strength) และส่งผลให้เกิดการเสียรูปถาวร (Plastic Deformation) ขึ้นที่บริเวณดังกล่าว โดยทั่วไปจะเป็นบริเวณที่มีความไม่ต่อเนื่องบนชิ้นงาน (Discontinuities Zone) ความเสียหายจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน [8–9]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิเคราะห์สถานะความเค้นเพื่อใช้ในการออกแบบ และเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานได้มีการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) วิเคราะห์สถานะความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของสกรูลำเลียงเมื่อรับภาระจากการใช้งาน [10–15] ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปทำนายอายุการใช้งานของสกรูลำเลียงได้ ดังนั้นจากปัญหาของสถานประกอบการและการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยจึงนำองค์ความรู้ด้านโลหวิทยาและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้สาเหตุความเสียหายและเสนอแนวทางการแก้ปัญหาสกรูลำเลียงในกระบวนการลำเลียงตะกอนเปียกของพอลิเมอร์ชนิด PE

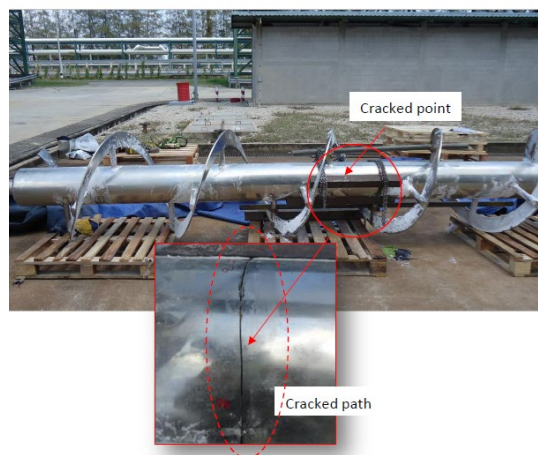
2. วัสดุและวิธีการ

การดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การตรวจสอบความเสียหายของสกรูลำเลียง 2) สร้างแบบจำลอง FEM เพื่อใช้วิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน โดยกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตการจับยึดตามการใช้งานจริง และ 3) ออกแบบชุดสกรูลำเลียงใหม่และใช้การจำลองการทำงานด้วย FEM เพื่อหาชุดสกรูที่สามารถยืดอายุการใช้งานได้

สกรูลำเลียงของสถานประกอบการทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด SUS304 ตามมาตรฐาน JIS ตัวเพลามีลักษณะกลวงทำจากท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 318.5 mm มีความหนา 17.4 mm ความยาว 6000 mm จำนวน 2 ชิ้น เชื่อมต่อกันด้วยสลีฟ (Sleeve) เพื่อให้ได้ความยาวของเพลาสกรูรวม เท่ากับ 12000 mm

2.1. การตรวจสอบความเสียหายของสกรูลำเลียง

การตรวจสอบสกรูลำเลียงทำโดยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Examination, VT) กับลักษณะภายนอกชิ้นงานโดยตรง การตรวจสอบทำร่วมกับสถานประกอบการเพื่อหาจุดที่เกิดความเสียหาย เมื่อทราบบริเวณที่เกิดความเสียหายจะนำเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนในตำแหน่งดังกล่าวไปทำการตรวจสอบหาสาเหตุตามเทคนิคทางโลหวิทยา โดยสกรูลำเลียงที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สกรูลำเลียงและลักษณะความเสียหายที่บริเวณเพล

จากการตรวจสอบแบบ VT ความเสียหายเกิดที่ตัวเพลาสกรูมีลักษณะแตกร้าวบริเวณจุดต่อของเพล โดยสถานประกอบการได้ตัดชิ้นส่วนดังกล่าวให้แก่ผู้วิจัยนำมาตัดเฉพาะบริเวณที่เกิดความเสียหายเพื่อนำไปใช้เทคนิคทางโลหวิทยาศึกษาหาสาเหตุ การเตรียมชิ้นทดสอบทำโดยการตัดเย็นดังรูปที่ 2 เพื่อป้องกันผลกระทบจากความร้อนที่จะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค โดยบริเวณเครื่องหมายวงกลม คือ จุดที่เกิดความเสียหาย



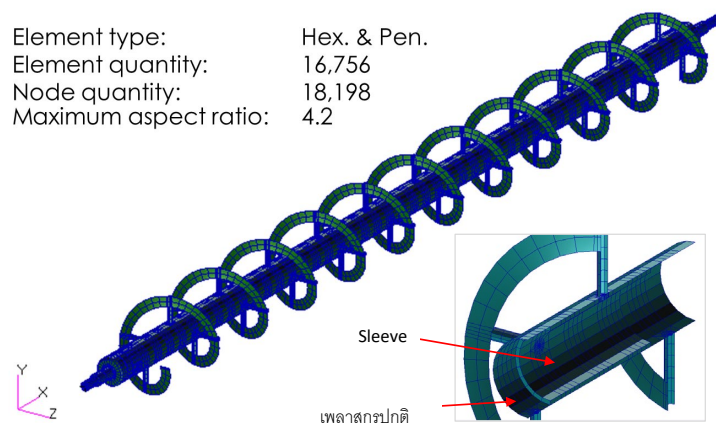
รูปที่ 2 การเตรียมชิ้นทดสอบจากเพลาสกรู

การวิเคราะห์หาสาเหตุทำโดยการทดสอบความแข็ง (Hardness) หาส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การทดสอบความแข็งใช้ Micro Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ STRUERS รุ่น Duramin-5 สำหรับการตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีใช้ Optical Emission Spectroscopy (OES) ยี่ห้อ SPECTROLAB และ SEM เป็นของ JEOL การทดสอบทั้งหมดดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบของแต่ละชนิดการทดสอบ ภายใต้สภาพแวดล้อมทดสอบที่อุณหภูมิ 22.7 °C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 49 %RH แต่ละการทดสอบดำเนินการ 3 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผล

2.2. แบบจำลอง FEM

การวิเคราะห์ FEM ใช้ซอฟต์แวร์ MSC/Patran ในการสร้างแบบจำลอง และใช้ MSC/Nastran เป็นตัวคำนวณ เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดใหญ่และรูปร่างซับซ้อนหากทำการตีเมช (Mesh) แบบอัตโนมัติ อาจจะใช้จำนวนเอลิเมนต์ (Element) มากเกินไป และนำไปสู่การคำนวณที่ยาวนาน ในงานนี้จะเป็นการสร้างเมชแบบมือ (Manual Meshes) เพื่อแก้ปัญหาเรื่องปริมาณเอลิเมนต์ที่มากเกินไป เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณ รวมถึงช่วยเพิ่มคุณภาพเอลิเมนต์ให้มีสัดส่วนรูปร่าง (Aspect Ratio) ที่เหมาะสม



รูปที่ 3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสกรูลำเลียง

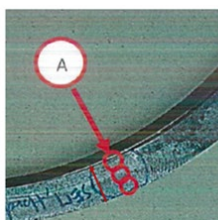
แบบจำลองใช้ทั้งเอลิเมนต์ 2 มิติ ชนิดสี่เหลี่ยมสี่จุดต่อ (Quadrilateral Element 4 Nodes) และเอลิเมนต์ชนิดทรงสี่เหลี่ยมแปดจุดต่อ (Hexagonal Element 8 Nodes) ในส่วนของการจับยึดที่สวมกับแบริ่งและบริเวณที่สวมกับคัปปลิง (Coupling) จะใช้เอลิเมนต์พิเศษชนิด RB2 (Rigid Body Element) ซึ่งมีองศาอิสระ (Degree of Freedom) ในการเคลื่อนที่ 6 ทิศทาง เป็นตัวถ่ายทอดแรงและการจับยึด แบบจำลองนี้ใช้เอลิเมนต์ทั้งสิ้นจำนวน 16756 เอลิเมนต์ ใช้โหนด 18198 โหนด และอัตราสัดส่วนรูปร่างสูงสุด 4.2 เท่า รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3 และสมบัติของวัสดุ SUS304 ได้จากการทดสอบการดึงแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติวัสดุของสกรูลำเลียง

Material Property	Value
Elastic Modulus (MPa)	190000
Poisson Ratio	0.3
Density (kg/m ³)	8000
Yield Strength (MPa)	205
Ultimate Tensile Strength (MPa)	572

3. ผลและการวิเคราะห์

เมื่อนำชิ้นงานเพลابرเวณที่เกิดการแตกร้าวไปตรวจสอบความแข็งตามแนวภาคตัดขวางของหน้าตัดเพลาล พบว่าค่าความแข็งของเนื้อโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดรัศมีของเพลามีลักษณะเป็นท่อดังตำแหน่งการวัดในรูปที่ 4



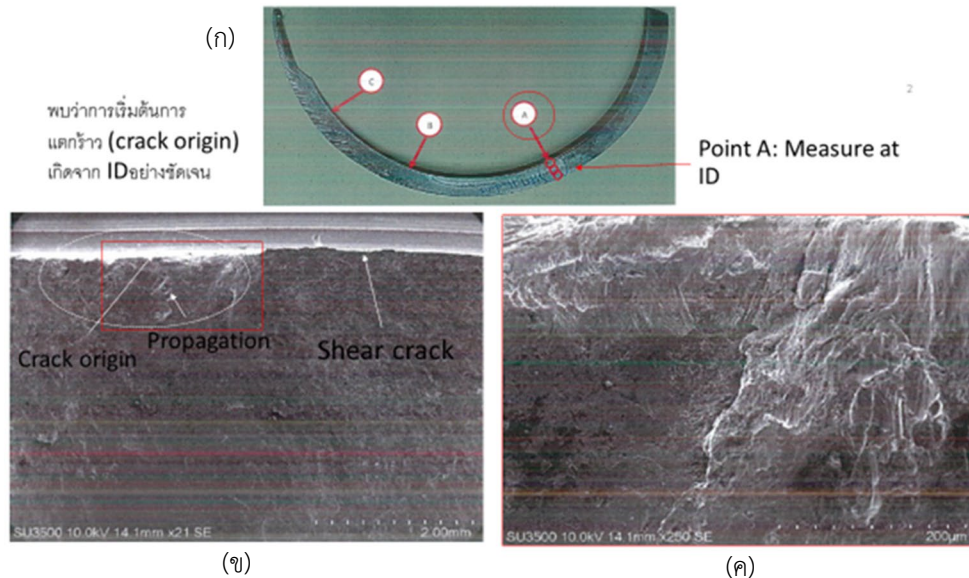
รูปที่ 4 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งตามแนวภาคตัดขวางของหน้าตัดเพลาล

จากรูปที่ 4 ตำแหน่งใกล้เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก หรือ OD เนื้อวัสดุจะมีความแข็งเฉลี่ยสูงสุด คือ เท่ากับ 285.5 HV สำหรับตำแหน่งใกล้เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน หรือ ID เนื้อวัสดุจะมีค่าความแข็งน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 214.9 HV ซึ่งค่าดังกล่าวยังคงอยู่ในช่วงความแข็งตามมาตรฐานของวัสดุ SUS304 [16]

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของเพลาล SUS304

ธาตุ	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V	B
ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.01	0.42	1.59	0.03	<0.01	18.32	0.20	9.23	<0.01	0.08	0.01	<0.01	0.03	<0.01

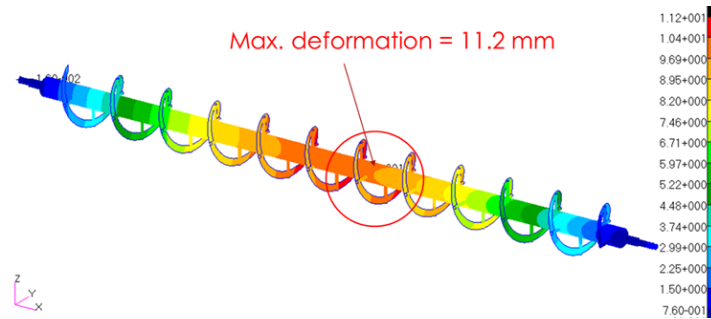
ผลการตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ SUS304 แสดงดังตารางที่ 2 โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดนี้มีธาตุเจือหลัก คือ โครเมียม และนิกเกิล โดยมาตรฐานของธาตุผสมทั้งสองตามมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 18.0-20.0 และ 8.0-10.5 ตามลำดับ [16] เมื่อตรวจสอบชั้นทดสอบเพลาสกรูที่ศึกษาพบว่ามีธาตุโครเมียมและธาตุนิกเกิลผสมอยู่ร้อยละ 18.32 และ 9.23 ตามลำดับ จากผลการทดสอบความแข็งและหาส่วนประกอบทางเคมีแสดงให้เห็นวัสดุชิ้นงานไม่ได้มีส่วนผิดปกติแต่อย่างใด



รูปที่ 5 ชั้นทดสอบและภาพถ่ายความเสียหายของเพลาสกรูด้วย SEM (ก) คือ ตำแหน่งอ้างอิงในการวัด (ข) คือ ตำแหน่งก่อกำเนิดรอยร้าวที่กำลังขยาย 21 เท่า และ (ค) คือ ภาพขยายตำแหน่งก่อกำเนิดรอยร้าวที่กำลังขยาย 250 เท่า

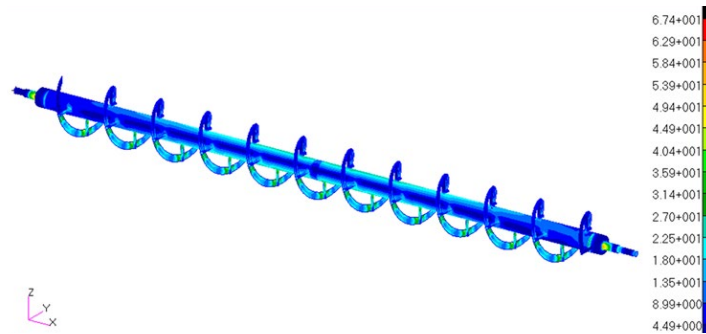
รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งการก่อกำเนิดรอยร้าวของเนื้อวัสดุชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง A บริเวณ ID โดยตำแหน่งก่อกำเนิดรอยร้าวแสดงดังรูปที่ 5 (ข) และภาพกำลังขยายรอยร้าวขนาด 250 เท่า แสดงดังรูปที่ 5 (ค) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีตัดปาดเนื้อวัสดุด้วยกระบวนการกลึงท่อที่ใช้ทำเพลาสกรูเพื่อทำการสวมอัดกับสลีฟในการเชื่อมต่อ ในทางทฤษฎีการที่เนื้อวัสดุมีความไม่ต่อเนื่องจะก่อให้เกิดความเค้นกระจุกตัว (Stress Concentration) [8] อีกทั้งบริเวณดังกล่าวยังมีผิวสัมผัสที่ถูกฉีกด้วยปลายสลีฟด้วย ดังนั้นเมื่อเนื้อวัสดุรับภาระสลับ (Cyclic Load) จะนำไปสู่การเกิดการล้าเนื่องจากผิวสัมผัส (Fretting Fatigue) ได้

ความเค้นสูงสุดของสกรูลำเลียงที่ถูกวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดัง รูปที่ 6 จากรูปพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณที่มีการสวมสลีฟฝั่งด้านที่ติดกับชุดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ซึ่งสอดคล้องกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง เมื่อพิจารณาการทำงานของเพลาสกรูนั้น ภาระที่เกิดขึ้นจะมาจากแรงบิดเนื่องจากการส่งกำลังด้วยมอเตอร์เพื่อใช้ขับเคลื่อนเพลาน้ำหนักของตัวเพลารวมถึงภาระที่ต้องลำเลียงตะกอนเปียกจากแรงดันของใบสกรูนั้น เมื่อเนื้อวัสดุมีความไม่ต่อเนื่องของรูปร่างที่บริเวณดังกล่าวจะเกิดการกระจุกตัวของความเค้นและทำให้ความเค้นบริเวณดังกล่าวสูงกว่าปกติ และเมื่อใช้งานด้วยระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความล้าสะสมซึ่งนำไปสู่การเกิดความเสียหายกับชิ้นงานที่ออกแบบในลักษณะนี้



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของสกรูลำเลียงที่ใช้อยู่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์ปัญหาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ สลิฟเชื่อมต่อเพลานั้นต้องทำการกลึงเนื้อของวัสดุเพลาทิ้ง ส่งผลให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ ดังนั้นหากใช้ชุดสกรูลำเลียงที่ทำจากเพลามีความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ ไม่มีการเชื่อมต่อกัน จะช่วยลดการกระจุกตัวของความเค้นได้ จึงใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการทำงานเพื่อวิเคราะห์สถานะความเค้นที่เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์สถานะความเค้นของสกรูลำเลียงแบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อดัวยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 7 การใช้เพลาสกรูที่ไม่มีการเชื่อมต่อ สามารถลดความเค้นสูงสุดบริเวณจุดต่อซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.3 MPa ลงได้ โดยความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีความสม่ำเสมอและเมื่อพิจารณาความเค้นที่บริเวณดังกล่าวพบว่ามีค่าเท่ากับ 27 MPa ซึ่งลดลงจากเดิมร้อยละ 61 หรือมีค่าความเค้นลดลงเกินครึ่งของความเค้นเดิมที่เกิดขึ้น จากค่าความเค้นที่ลดลงนี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของเพลาก็อาจจะช่วยให้เพลานี้ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการล้าได้ ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้ทำนายอายุการใช้งานได้จากทฤษฎีความล้า

4. สรุป

จากการตรวจสอบด้วยสายตา การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางโลหะวิทยา และเทคนิคระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถสรุปได้ว่า สาเหตุความเสียหายของชุดสกรูลำเลียงตะกอนเปียกพอลิเมอร์ชนิด PE เกิดจากความล้าของเนื้อวัสดุที่บริเวณจุดเชื่อมต่อของเพลาสกรู การตัดปาดเนื้อวัสดุเพื่อเชื่อมต่อเพลาสกรูด้วยสลิฟทำให้เนื้อวัสดุมีความไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความเค้นกระจุกตัวที่บริเวณดังกล่าว เมื่อยังคงใช้งานต่อเนื่อง เนื้อวัสดุจะเกิดความล้าและเกิดความเสียหายจากการแตกร้าวที่บริเวณดังกล่าว

การใช้เพลาสกรูขึ้นเดียวช่วยลดความเค้นที่เกิดในเนื้อวัสดุของเพลาสกรูลงได้ร้อยละ 61.04 ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของสกรูลำเลียงได้เมื่อพิจารณาจากค่าความเค้นที่เกิดกับชิ้นส่วนดังกล่าวลดลง ทั้งนี้วิธีการที่นำเสนออาจทำให้ชุดสกรูลำเลียงมีราคาที่สูงกว่าการใช้ชุดสกรูที่ทำการเชื่อมต่อเพลาสกรู ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำข้อมูลมาศึกษาถึงความคุ้มค่าต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโครงการแพลตฟอร์มบริหารจัดการทรัพยากรภูมิศักยภาพของกลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เพื่อปฏิรูประบบการพัฒนากำลังคนของประเทศ พ.ศ.2564 สัญญาเลขที่ TRM2564-311 และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] *Petrochemical Encyclopedia*, Bangkok, PTT Public Company Limited, 2011. (in Thai)
- [2] P. Chongchitpaisan and S. Sudsawat, “A Review on Screw Conveyors for Bulk Materials in Various Applications,” *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 1–12, 2022.
- [3] *Screw Conveyors for Bulk Materials*, ANSI/CEMA 350-2009, Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2009.
- [4] A. Mariajayaprakash and T. Senthilvelan, “Optimizing Process Parameters of Screw Conveyor (Sugar Mill Boiler) Through Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Taguchi Method,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 14, no. 6, pp. 772–783, Nov. 2014. doi:10.1007/s11668-014-9887-2
- [5] N. R. Tambake, “Fatigue Failure of Flange in Screw Conveyor: A Review,” *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, vol. 3, no. 9, pp.37–41, 2016.
- [6] P. Zhang, Y. Jiang, Y. Li, J. Gong, and N. Sun, “Experimental and Simulative Failure Analysis of Aisi 316L Stainless Steel Screw Shaft,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 18, no. 4, pp. 799–808, May 2018. doi:10.1007/s11668-018-0464-y
- [7] W. Yang, W. Meng, L. Gao, Y. Tan, J. Fottner, X. Dai, F. Yao, Y. Yuan and X. Sun, “Analysis of the Screw Flight Wear Model and Wear Regularity of the Bulk Transport in Screw Ship Unloader,” *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, vol. 46, no. 1, pp. 15–29, Jan. 2022. doi:10.1007/s40997-021-00422-8
- [8] A. F. Madayag, *Metal Fatigue: Theory and Design*. Nashville, John Wiley & Sons, 1969.
- [9] “MSC Software Technical Support,” Simulatemore, <http://simulatemore.mscsoftware.com/what-is-fatigue-analysis-msc-nastran> (accessed May 9, 2022).
- [10] J. N. Patel, S. P. Patel, and S. S. Patel, “Productivity Improvement of Screw Conveyor by Modified Design,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 492–496, Jan. 2013.
- [11] A. Ramesh, P. Karunaker and L. Ramesh, “Design and Analysis of Discharging of Dust in Pneumatic

- Conveying System by A Screw Conveyor Shafts,” in *Proceeding of Advance Research and Innovations in Mechanical, Material Science, Industrial Engineering and Management-ICARMMIEM-2014*, pp. 84–91, 2014.
- [12] R. A. Figueroa Díaz, A. D. Balvantín García, J. Á. Diosdado de la Peña, P. Cruz Alcantar, I. Murillo Verduzco and P. A. Pérez Olivas, “Stress Analysis in a Screw Conveyor Axis Under a Specific Fault Condition,” *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 20, no. 3, pp. 1–11, Jul. 2019. doi:10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.031
- [13] L. Mei, C. Cheng, and Z. Fan, “Research on Finite Element Simulation of Intermediate Support of Vertical Screw Conveyor,” in *Proceeding of 2021 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, pp. 551–555, Aug. 2021. doi:10.1109/aeeca52519.2021.9574401
- [14] S. Moorthi, M. Megaraj, L. Nagarajan, A. Karthick, M. Bharani and P. P. Patil, “Dynamic Analysis and Fabrication of Single Screw Conveyor Machine,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2022, pp. 1–10, Apr. 2022. doi:10.1155/2022/3843968
- [15] W. Lahamornchaiyakul and K. Rattanawong, “The Design and Analysis of The Screw Conveyer Blade for The Small Rice Milling Machine,” *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1–15, 2022.
- [16] *High-Temperature Characteristics of Stainless Steels, A Designers’ Handbook Series No. 9004*. Washington, DC: American Iron and Steel Institute, 2011.

อิทธิพลผงอลูมินาที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61

โดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียด

Influences of Alumina Powder on Surface Roughness of Tool Steel Material

SKD61 by Lapping Surface Technique

ชาญณรงค์ สุภา¹ ประพันธ์ ยาวระ² บุญกิจ อุ้นพิกุล³ ดนัย สอนสุภาพ¹ ชนาธิป กาลจักร¹ และ สมเกียรติ เดิมสุข^{1*}¹สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Charnnarong Supa¹ Praphan Yawara² Boonkit Unpikul³ Danai Sornsuphap¹Chanathip Kalchuk¹ and Somkiat Thermsuk^{1*}¹Department of Industrial Technical Education, Faculty of Technical Education²Department of Industrial Technology, Faculty of Technical Education³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

*Corresponding author Email: somkiat.th@rmu.ac.th

(Received: February 16, 2024; Revise: June 26, 2024; Accepted: June 29, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลผงอลูมินาที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวโดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียดสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ 4 ขนาดผงขัดอลูมินา คือ ขนาด 0.05, 0.30, 1.00, 3.00 ไมโครเมตร และ 6 ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที ตามลำดับ ในการเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดลอง ใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงขัดอลูมินา 400 มิลลิลิตร น้ำยาหล่อลื่นผงขัดอลูมินา 400 มิลลิลิตร และน้ำสะอาด 2 ลิตร เพื่อใช้ในการปรับผิวชิ้นงานทดลองที่มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) 0.1–0.5 ไมโครเมตร ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าขนาดผงขัดอลูมินา 0.05 ไมโครเมตร ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด เท่ากับ 30 นาที ส่งผลให้ได้มาซึ่งค่าความหยาบผิวโดยเฉลี่ย (Ra) ละเอียดที่สุดเท่ากับ 0.0544 ไมโครเมตร เมื่อพิจารณาค่าความพึงพอใจ (Desirability : D) เกี่ยวกับการประมวลผลเชิงสถิติ พบว่า มีค่าสูงถึง 87.99%

คำสำคัญ: ผงขัดอลูมินา ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กระบวนการปรับผิวละเอียด

Abstract

This research was to study the Influences of alumina powder on surface roughness by lapping surface technique for tool steel material SKD61, factorial experimental design technique. were applied to analyze 4

sizes of alumina lapping powder, namely 0.05, 0.30, 1.00, 3.00 μm and 6 time periods for lapping, namely 30, 60, 90, 120, 150, 180 min, respectively. Specimen surface preparation for experiments the ratio between 400 ml of alumina lapping powder, 400 ml of alumina lapping lubricant and 2 l of clean water was used to adjust the surface of the experimental specimen with the average surface roughness (Ra).0.1–0.5 μm the best results regarding statistical analysis were found. The size of alumina lapping powder was 0.05 μm , and the finishing time was 30 min, resulting in the best average roughness (Ra) of 0.0544 μm . (Desirability: D) Regarding statistical processing, it was found that the value was as high as 87.99%.

Keywords: Alumina powder, Factorial experiment, Lapping process

1. บทนำ

กระบวนการปรับผิวละเอียดได้รับผลกระทบอย่างมากจากพารามิเตอร์หลายรายการ โดยเน้นความสำคัญของปัจจัยเช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ความดัน และระยะเวลาที่มีการติดต่อกันระหว่างจานปรับผิว ผงขัด และชิ้นงานที่กำลังประมวลผล คุณภาพมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตร่วมสมัย โดยเป็นสิ่งสำคัญเดียวที่สามารถมีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าได้ ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือในกลุ่มอุตสาหกรรมอวกาศที่กว้างขวาง คุณภาพพื้นผิวถูกประเมินผ่านการวัดความหยาบของพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ [1–3] การใช้กระบวนการขัดเพื่อให้ได้ลูมินาคุณภาพสูงผ่านการขัดและขัดเงาแบบระบบเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูงเพื่อทำให้พื้นผิวของวัสดุมีความเรียบเนียนและประณีตมากขึ้น กระบวนการนี้มักนิยมใช้กับวัสดุลูมินา ทำให้วัสดุดูสวยงามและมีคุณค่ามากขึ้น การใช้วิธีนี้มักพบในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดและคุณภาพสูง [4–5] ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมต่างๆ เติบโตและขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ความสำคัญของการวิจัยและการวิเคราะห์พื้นผิวการใช้งานมีมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นผิวที่ต้องการความหยาบสูงเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การขัดเงาเป็นวิธีที่โดดเด่นในกระบวนการปรับแต่งพื้นผิวอุตสาหกรรม เนื่องจากเทคนิคการขัดที่แม่นยำสามารถควบคุมพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างดีเยี่ยม [6–8] กระบวนการขัดและขัดเงาขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเสียดสีแบบเลื่อนระหว่างอนุภาคกับพื้นผิวของชิ้นงานเป็นหลัก ในขั้นตอนนี้ แผ่นขัดหรือแผ่นขัดเงา (หรือที่เรียกว่าเครื่องขัดเงา) จะเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อขัดเคลื่อนอนุภาคสารละลายที่มีลักษณะคล้ายทรายหรือโคลนไปบนพื้นผิวที่สัมผัสกัน แรงเสียดทานแบบเลื่อนนี้มีบทบาทสำคัญในการขัดวัสดุและปรับแต่งพื้นผิว ซึ่งนำไปสู่การสร้างผิวที่เรียบเนียนและปรับเปลี่ยนให้ตรงตามความต้องการได้ [9–10] การขัดมีข้อดีที่โดดเด่น เช่น ประสิทธิภาพสูง ความสามารถในการปรับตัว ความแม่นยำ และความเสียหายของพื้นผิวน้อยที่สุด ทำให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างพื้นผิวเรียบและซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดเฉือนแบบการตัด การกัด และการเจาะที่ การขัดแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก การขัดมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนพื้นผิวให้เป็นไปตามความต้องการโดยที่ความแม่นยำและคุณภาพของผลลัพธ์ยังคงสูงสุด [11–13] ในการขัดเป็นวิธีการที่คุ้นเคยและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานปัจจุบัน เป็นการปรับแต่งพื้นผิวที่มีรูปร่างและลักษณะต่างๆ เช่น พื้นผิวระนาบ ทรงกระบอก ทรงกรวย และรูปร่างที่ซับซ้อนอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและคุณภาพในงานที่ต้องการ [14–15] การวัดที่แม่นยำมีความสำคัญอย่างยิ่งในเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำสูง เช่น กระบวนการขัดพื้นผิว ความแม่นยำและความเชื่อถือได้ในการวัดเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินและควบคุมคุณภาพของพื้นผิว การวัดที่แม่นยำช่วยให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์มีคุณภาพตามที่คาดหวังและสอดคล้องกับข้อกำหนดและความต้องการเฉพาะ เช่น การปรับความเรียบ การวัดที่แม่นยำยังช่วยในการควบคุมความคลาดเคลื่อนที่ตั้งใจไว้และปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น โดยมีความมั่นใจในข้อมูลที่ได้จากการวัดที่แม่นยำและเชื่อถือได้ [16–17] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพล

ผงอลูมินาที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 โดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียด โดยใช้ขนาดผงขัดอลูมินา 4 ประเภท คือ ขนาด 0.05, 0.30, 1.00, 3.00 ไมโครเมตร ช่วงเวลาในกระบวนการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ (Design and Analysis of Experiment : DOE) เพื่อทำการหาพารามิเตอร์กระบวนการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. รูปแบบการดำเนินงาน

ในกระบวนการขึ้นงานทดสอบโดยการใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 แบบ (Flat Bar) ทำการตัดเฉือนปาดผิวด้วยเครื่องกัด (Milling Machine) ให้ได้ขนาด 26 x 40 x 8 มิลลิเมตร แล้วเก็บผิวละเอียดด้วยกระบวนการเจียรไนราบด้วยล้อหินเจียรไนอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide) ซึ่งหินเจียรไนที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ชนิดหินสีขาว (Aluminum Oxide) ขนาด 205x19x31.75 มิลลิเมตร และเบอร์ของหิน (Grit Sizle) คือ เบอร์ WA60JV ให้มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) 0.1–0.5 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1

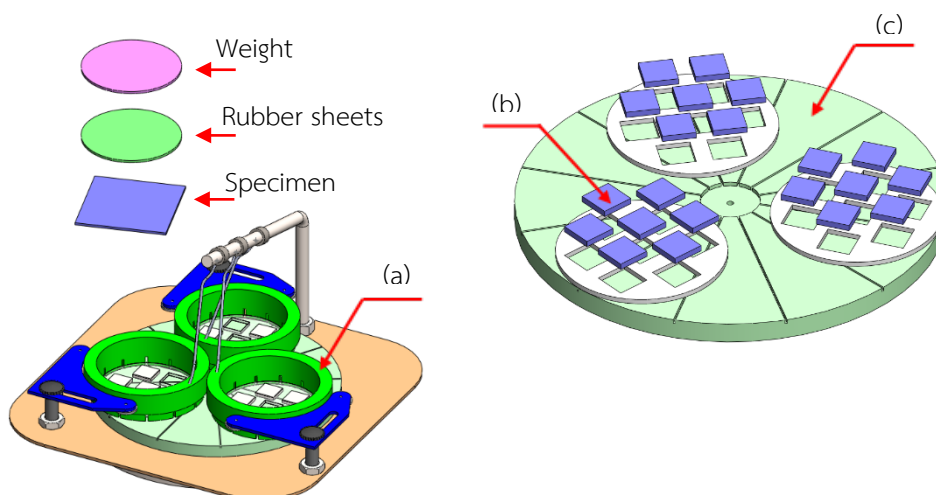


รูปที่ 1 กระบวนการเจียรไนราบด้วยล้อหินเจียรไนอะลูมิเนียมออกไซด์

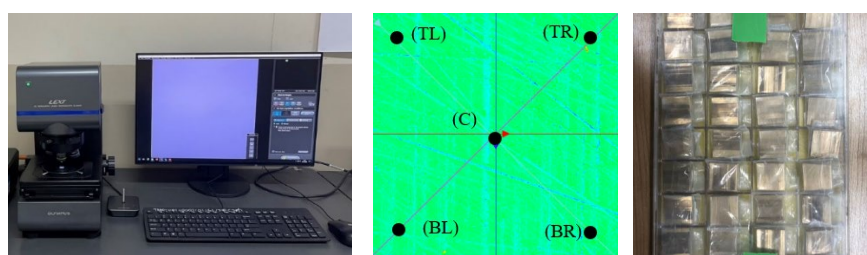
กระบวนการทดลองปรับผิวละเอียดนั้นจะเริ่มตั้งแต่การผสมอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงขัดอลูมินา 400 มิลลิตร น้ำยาหล่อลื่นผงขัดอลูมินา 400 มิลลิตร และน้ำสะอาด 2 ลิตร เพื่อใช้ในการปรับผิวชิ้นงานทดลองที่ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) 0.1–0.5 ไมโครเมตร จากนั้นทำการเปิดเครื่องปรับผิวละเอียด (Lapping Machine) ดังแสดงในรูปที่ 2 ให้ส่วนผสมเข้ากันก่อนโดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานลงงานขัด โดยจะแบ่งทั้งหมด 4 ชุด ชุดละ 9 ชิ้น ชุดที่ 1 ใช้ผงขัดอลูมินา ขนาด 0.05 ไมโครเมตร ชุดที่ 2 ใช้ผงขัดอลูมินาขนาด 0.30 ไมโครเมตร ชุดที่ 3 ใช้ผงขัดอลูมินาขนาด 1.00 ไมโครเมตร และชุดที่ 4 ใช้ผงขัดอลูมินา 3.00 ไมโครเมตร หลังจากนั้นทำการขัดชิ้นงานตามลำดับชุด ขั้นตอนต่อมาเป็นการนำเอาชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 มาดำเนินการทดลองโดยนำชิ้นงานทดสอบเรียงลงบนงานขัดของเครื่องปรับผิวละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นทำการทดลองด้วยการปรับตั้งเป็นช่วงเวลาในกระบวนการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที เพื่อทำการเก็บข้อมูลค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Average Surface Roughness : Ra) การวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงาน จะใช้กล้องจุลทรรศน์ (3D Measuring Laser Microscope รุ่น OLS5000)ดังแสดงในรูปที่ 4 ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองนี้ ซึ่งรวมถึงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่สอดคล้องกับแต่ละช่วงเวลา ถูกนำเสนอในรูปแบบการแสดงด้วยกราฟ ไม่เพียงแต่สรุปผลลัพธ์ แต่ยังช่วยให้เข้าใจอย่างละเอียดเกี่ยวกับความเชื่อมโยงระหว่างระยะเวลาของกระบวนการการปรับปรุงผิวและความหยาบของผิววัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ข้อมูลที่ได้รับจะให้ข้อมูลข้อสังเกตเกี่ยวกับผลกระทบของระยะเวลาการปรับปรุงผิวที่ดีต่อคุณภาพผิว



รูปที่ 2 (a) ผงขัดอลูมินา (Al_2O_3) (b) เครื่องขัดผิวละเอียด lap-master model 15



รูปที่ 3 (a) Conditioning Rings (b) Specimen (c) Polishing Plate



รูปที่ 4 กล้องจุลทรรศน์ 3D Measuring Laser Microscope รุ่น OLS5000

3. ผลการวิจัย

เมื่อดำเนินการทดลองครบทั้งหมดตามแผนการทดลองเชิงสถิติ (Statistical) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) โดยมีขนาดผงขัดอลูมินาที่ทำการศึกษามี 4 ประเภท คือ ขนาด 0.50, 0.30, 1.00, 3.00 ไมโครเมตร ตามลำดับ ช่วงเวลาในกระบวนการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที เป็นพารามิเตอร์หลักสำคัญ ส่วนผลตอบสนอง (Response) สำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติเป็นค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (R_a) ของชิ้นงานทดสอบสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ดังแสดงข้อมูลรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) สำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติ

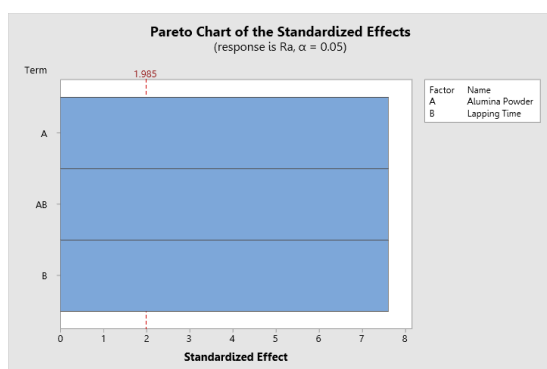
ขนาดผงอลูมินา (Alumina Size; μm)	ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time; min)					
	30	60	90	120	150	180
0.05	0.174	0.174	0.290	0.272	0.176	0.223
0.05	0.227	0.227	0.278	0.278	0.193	0.307
0.05	0.187	0.187	0.269	0.276	0.176	0.264
0.05	0.251	0.251	0.321	0.249	0.209	0.234
0.05	0.194	0.194	0.294	0.270	0.173	0.271
0.30	0.204	0.202	0.235	0.223	0.228	0.264
0.30	0.190	0.237	0.173	0.207	0.115	0.204
0.30	0.221	0.194	0.193	0.200	0.213	0.230
0.30	0.176	0.208	0.163	0.211	0.228	0.252
0.30	0.194	0.187	0.203	0.218	0.186	0.200
1.00	0.144	0.129	0.156	0.145	0.184	0.198
1.00	0.168	0.133	0.148	0.146	0.182	0.175
1.00	0.162	0.140	0.154	0.142	0.170	0.133
1.00	0.165	0.161	0.169	0.149	0.208	0.175
1.00	0.161	0.157	0.144	0.167	0.185	0.159
3.00	0.112	0.122	0.118	0.107	0.159	0.169
3.00	0.100	0.139	0.135	0.098	0.165	0.162
3.00	0.103	0.109	0.143	0.135	0.150	0.138
3.00	0.095	0.120	0.142	0.103	0.168	0.142
3.00	0.134	0.119	0.130	0.124	0.177	0.136

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะพบว่า พารามิเตอร์ ขนาดผงขัดอลูมินา กำหนดให้เป็น A (Alumina Size) ทั้ง 4 ขนาด คือ ขนาด 0.50, 0.30, 1.00, 3.00 ไมโครเมตร และ พารามิเตอร์ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด กำหนดให้เป็น B (Lapping Time) ทั้ง 6 ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที ตามลำดับ มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) ของชิ้นงานทดสอบวัสดุ เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ทั้งในส่วนของอิทธิพลหลักของแต่ละพารามิเตอร์ (Main Effect) และอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากค่า P-Value < ค่า α หรือ $0.01 < 0.05$

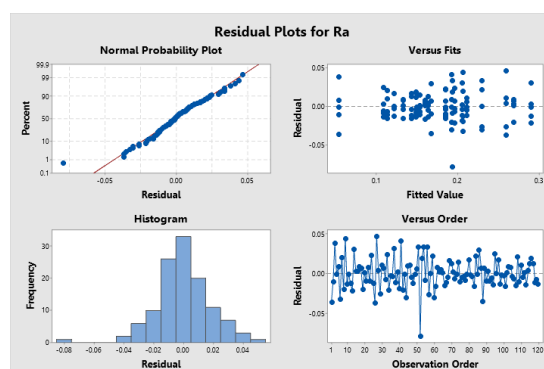
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment)

Source	DF	SS	MS	F-value	p-value
Model	23	0.33656	0.014633	33.58	< 0.001
Linear	8	0.19297	0.024121	55.36	< 0.001
Alumina Powder(A)	3	0.12823	0.042743	98.10	< 0.001
Lapping Time (B)	5	0.06474	0.012948	29.72	< 0.001
2-Way Interactions	15	0.14359	0.009573	21.97	< 0.001
(A) * (B)	15	0.14359	0.009573	21.97	< 0.001
Error	96	0.04183	0.000436	—	—
Total	119	0.37839	—	—	—

เมื่อได้ทำการพิจารณาการวิเคราะห์ความผิดพลาด (Residual) ผังพาเรโตแสดงมาตรฐานผลกระทบ (Pareto Chart of the Standardized Effects) แสดงให้เห็นค่าปัจจัย A คือ ผงขัด (Alumina Powder), B คือ เวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time) เมื่อ AB คือ ผงขัด (Alumina Powder) เวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time) พบว่าเกินเส้นวิกฤต ดังนั้น ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนี้ มีผลต่อค่าความความหยาบผิวของชิ้นงานหลังจากทำการปรับผิวละเอียดชิ้นงาน ด้วยกระบวนการปรับผิวละเอียด (Lapping) อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อทำการพิจารณาจากผลดำเนินการทดลองซึ่งอาศัยโปรแกรม Minitab มาทำการวิเคราะห์ผลทดลอง การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบสามารถแสดงได้โดยสมมติฐานว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลที่ทำทดลองต้องเป็นไปตามหลักการคือ ค่าส่วนตกค้างต้องมีการแจกแจงแบบปกติของค่าความผิดพลาด จากกราฟ Versus Fits ตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของค่าความผิดพลาด โดยข้อมูลที่ดีย่อมมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดต้องสม่ำเสมอ จากกราฟ Versus Order ความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยข้อมูลที่ดีย่อมมีลักษณะของแผนภูมิควบคุมที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 6

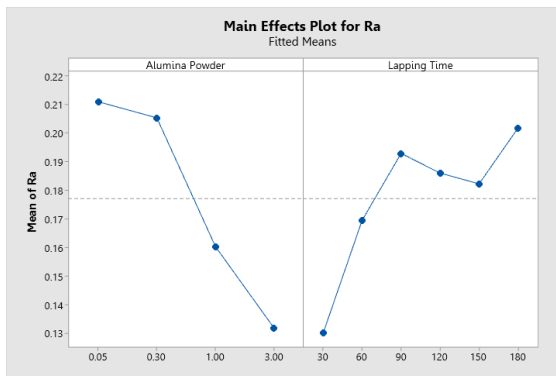


รูปที่ 5 Pareto Chart of the Standardized Effect

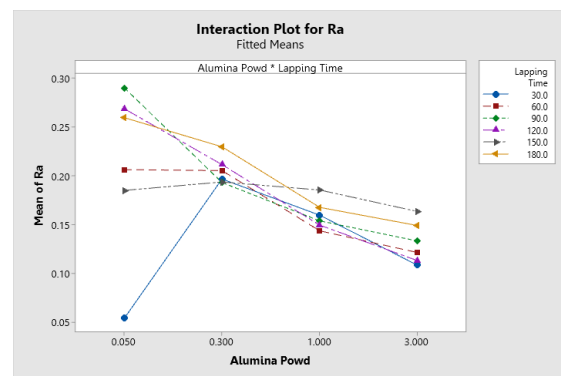


รูปที่ 6 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด (Residual)

เมื่อทำการพิจารณากราฟอิทธิพลหลักของแต่ละพารามิเตอร์ (Main Effect Plot) ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นว่าเส้นกราฟทั้งพารามิเตอร์ขนาดผงขัดอลูมินา (Alumina Size) และพารามิเตอร์ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time) ไม่ขนานกับเส้นอ้างอิง (Reference Line) ในแนวแกนนอน (Horizontal Axial) นั้นหมายความว่า พารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ มีอิทธิพลต่อผลตอบแทนค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (R_a) ของชิ้นงานทดสอบวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ซึ่งก็ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันกับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) ดังแสดงในตารางที่ 2 นอกจากนี้ อิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction Plot) ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าเส้นกราฟของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยขนาดผงขัดอลูมินา (Alumina Size) และปัจจัยช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time) แนวโน้มมีทิศทางไม่เหมือนกัน มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ ที่ระดับความเชื่อมั่นเชิงสถิติ 95% ยังถือว่าผลอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า อิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ มีอิทธิพลต่อผลตอบแทนค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (R_a) ของชิ้นงานทดสอบวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ซึ่งก็ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันกับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) ดังแสดงในตารางที่ 2

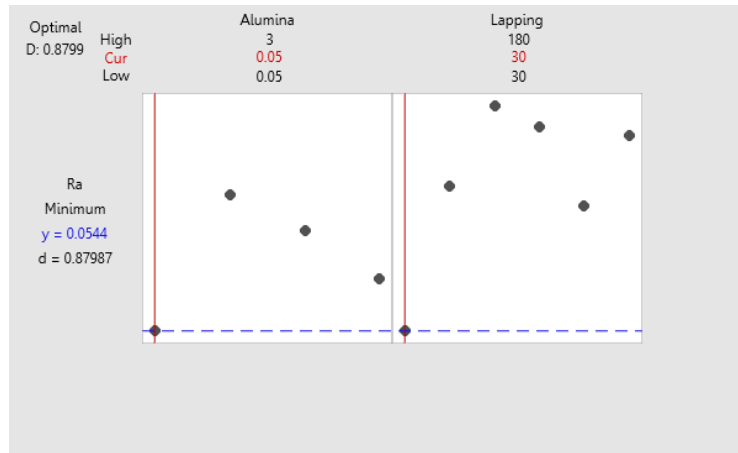


รูปที่ 7 กราฟอิทธิพลหลักของแต่ละพารามิเตอร์



รูปที่ 8 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์

ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ทั้ง 2 แบบ พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์ขนาดผงขัดอลูมินา (Alumina Size) และพารามิเตอร์ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด (Lapping Time) ที่จะส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 โดยค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (R_a) ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด (Minimize) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว คือ ขนาดผงขัดอลูมินา เท่ากับ 0.05 ไมโครเมตร และช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด เท่ากับ 30 นาที จะส่งผลให้ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต R_a เท่ากับ 0.0544 ไมโครเมตร นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความพึงพอใจ (Desirability : D) เกี่ยวกับการประมวลผลเชิงสถิติ พบว่า มีค่าสูงมากถึง 87.99% ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน (Response Optimization)

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการปรับผิวละเอียดมี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยของเวลาและผงขัด ช่วงเวลาในการปรับผิวละเอียด คือ 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที โดยมีขนาดผงขัดอลูมินาที่ทำการศึกษาคือ 4 ประเภท คือ ขนาด 0.50, 0.30, 1.00, 3.00 ไมโครเมตร ตามลำดับ เป็นพารามิเตอร์หลักสำคัญ เมื่อทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานแต่ละชิ้นสามารถรู้ได้ว่าชิ้นงานที่มีค่าความหยาบผิว (Ra) เหมาะสมที่สุดก็คือ ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการปรับผิวละเอียดด้วยผงขัดขนาด 0.05 ไมโครเมตร ซึ่งใช้เวลาในการขัดที่ 30 นาที ได้ค่าความละเอียดอยู่ที่ 0.0544 ไมโครเมตร และได้ค่าความเชื่อมั่นที่ 87.99%

5. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอลูมินาที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวโดยใช้เทคนิคกระบวนการปรับผิวละเอียดสำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 ที่ใช้ในกระบวนการปรับผิวละเอียด ส่วนค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) ของชิ้นงานที่เตรียมก่อนทำการปรับผิวละเอียด ระดับความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) 0.1–0.5 ไมโครเมตร ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการปรับผิวละเอียดดังกล่าวได้แก่ ขนาดผงขัดอลูมินา เท่ากับ 0.05 ไมโครเมตร และชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการปรับผิวละเอียดด้วยผงขัดขนาด 0.05 ไมโครเมตร ซึ่งใช้เวลาในการขัดที่ 30 นาที ได้ค่าความละเอียดอยู่ที่ 0.0544 ไมโครเมตร และได้ค่าความเชื่อมั่นที่ 87.99%

6. กิตติกรรมประกาศ

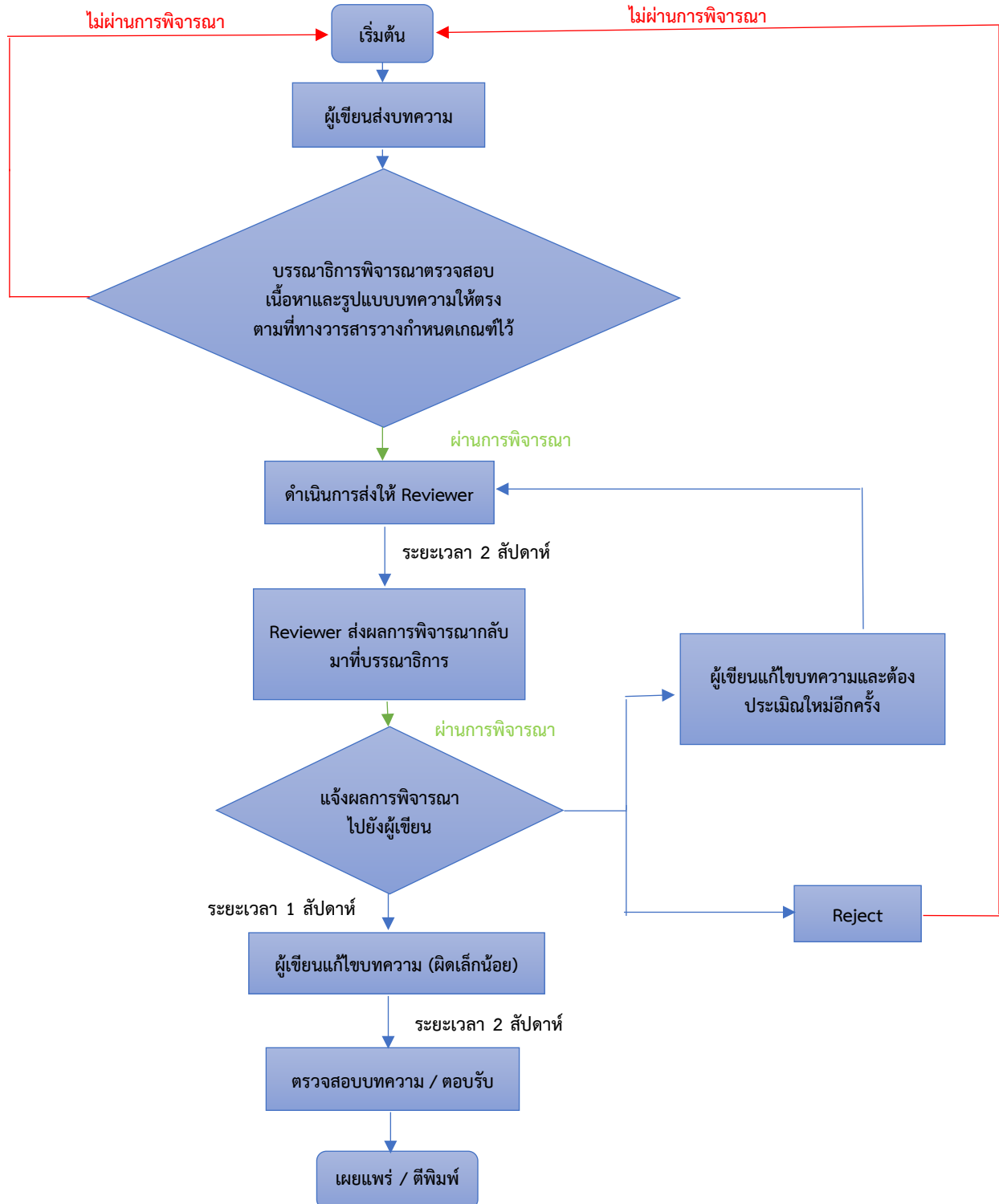
งานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่อำนวยความสะดวกห้องปฏิบัติการใช้เครื่องปรับผิวละเอียด (Lapping) ปฏิบัติการใช้กล้องจุลทรรศน์ 3D Measuring Laser Microscope สำหรับดำเนินการวิจัย ตลอดจนการใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Minitab มาช่วยดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพิ่มความเชื่อมั่นถูกต้องการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Deaconescu and T. Deaconescu, “Improving the Quality of Surfaces Finished by Lapping by Robust Parameter Design,” *Journal of Economics, Business and Management*, pp. 1–4, 2014. doi:10.7763/joebm.2014.v2.88
- [2] N. Mandal, B. Doloi, and B. Mondal, “Predictive Modeling of Surface Roughness in High-Speed Machining of AISI 4340 Steel Using Yttria Stabilized Zirconia Toughened Alumina Turning Insert,” *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 38, pp. 40–46, May 2013. doi:10.1016/j.ijrmhm.2012.12.007
- [3] J. L. Yuan, P. Zhao, J. Ruan, Z. X. Cao, W. H. Zhao, and T. Xing, “Lapping and Polishing Process for Obtaining Super-Smooth Surfaces of Quartz Crystal,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol.183, no. 1–3, pp. 116–119, Jul. 2003. doi:10.1016/s0924-0136(03)00058-x
- [4] J. Khan, “A Lapping and Polishing Process to Achieve High Quality Alumina Surfaces for Applications in Device Fabrication,” *Thin Solid Films*, vol. 220, no. 1–2, pp. 222–226, Nov. 1992. doi:10.1016/0040-6090(92)90576-w
- [5] G. Q. Cai, Y. S. Lu, R. Cai, and H. W. Zheng, “Analysis on Lapping and Polishing Pressure Distribution,” *CIRP Annals*, vol. 47, no. 1, pp. 235–238, 1998. doi:10.1016/s0007-8506(07)62825-x
- [6] S. Thermsuk, S. Thammasang, D. Sonsuphap, and T. Sombat, “Influence Parameters the Surface Roughness of JIS SCMS420 Stainless Steel on Lapping Process,” *Advances in Manufacturing Processes, Intelligent Methods and Systems in Production Engineering*, pp. 423–430, 2022. doi:10.1007/978-3-030-90532-3_33
- [7] S.Thammasang, and S. Thermsuk, “Influence of the Surface Quality of Stainless Steel JIS 420 and JIS 440 on Lapping Process,” *Advances in Dynamical Systems and Applications*, vol. 16, no. 2, pp. 1867–1881, 2021.
- [8] M. Jin, L. Wang, S. Ye, H. Qi, J. Kang, T. Hong, Z. Fang, and X. Dong, “A novel functionally graded lapping and polishing method for the improvement of Material Removal Uniformity,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 50, pp. 102–110, Feb. 2020. doi:10.1016/j.jmapro.2019.12.039
- [9] T. K. Doi, O. Ohnishi, E. Uhlmann, and A. Dethlefs, “Lapping and Polishing,” *Handbook of Ceramics Grinding and Polishing*, pp. 263–325, 2015. doi:10.1016/b978-1-4557-7858-4.00006-6
- [10] A. T. H. Beaucamp, K. Nagai, T. Hirayama, M. Okada, H. Suzuki, and Y. Namba, “Elucidation of Material Removal Mechanism in Float Polishing,” *Precision Engineering*, vol. 73, pp. 423–434, Jan. 2022. doi:10.1016/j.precisioneng.2021.10.004
- [11] Y. Wang, B. Zou, and C. Huang, “Tool Wear Mechanisms and Micro-Channels Quality in Micro-Machining of Ti-6Al-4V Alloy Using the Ti(C7N3)-Based Cermet Micro-Mills,” *Tribology International*, vol. 134, pp. 60–76, Jun. 2019. doi:10.1016/j.triboint.2019.01.030

- [12] Y. Wang, B. Zou, J. Wang, Y. Wu, and C. Huang, “Effect of The Progressive Tool Wear on Surface Topography and Chip Formation in Micro-Milling of Ti-6al-4v Using Ti(C7n3)-Based Cermet Micro-Mill,” *Tribology International*, vol. 141, p. 105900, Jan. 2020. doi:10.1016/j.triboint.2019.105900
- [13] H. Yang, W. Ding, Y. Chen, S. Laporte, J. Xu, and Y. Fu, “Drilling Force Model for Forced Low Frequency Vibration Assisted Drilling of Ti-6al-4v Titanium Alloy,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 146, p. 103438, Nov. 2019. doi:10.1016/j.ijmachtools.2019.103438
- [14] A. P. Babichev, N. V. Mategorin, D. V. Getmanskii, P. D. Motrenko, and V. V. Nelidin, “Vibrational Lapping of Cylindrical Parts,” *Russian Engineering Research*, vol. 29, no. 1, pp. 99–101, Jan. 2009. doi:10.3103/s1068798x09010250
- [15] H. Qi, D. Wen, Q. Yuan, L. Zhang, and Z. Chen, “Numerical Investigation on Particle Impact Erosion in Ultrasonic-Assisted Abrasive Slurry Jet Micro-Machining of Glasses,” *Powder Technology*, vol. 314, pp. 627–634, Jun. 2017. doi:10.1016/j.powtec.2016.08.057
- [16] K.-Y. Chang, Y.-H. Song, and T.-R. Lin, “Analysis of Lapping and Polishing of a Gauge Block,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, no. 6, pp. 414–419, Sep. 2002. doi:10.1007/s001700200171
- [17] J. C. Aurich, B. Kirsch, D. Setti, D. Axinte, A. Beaucamp, P. Butler-Smith, and H. Yamaguchi, “Abrasive Processes for Micro Parts and Structures,” *Cirp Annals*, vol. 68, no. 2, pp. 653–676, 2019. doi:10.1016/j.cirp.2019.05.006

ขั้นตอนการตีพิมพ์ลง วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ



แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

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

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

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

โทรสาร..... อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

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

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM

FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF MANUFACTURING AND MANAGEMENT TECHNOLOGY

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

Name-Surnames

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

Address (for Contact).....

.....

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

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

Name of Article:.....

.....

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

The days of Online Submission.....

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

Sign

(.....)

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



สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

ดำเนินการจัดทำวารสารโดย

สมาคมเครือข่ายราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ

Association of Rajamangala Network of Manufacturing and Management Technology, RNMT

เลขทะเบียนที่ ๖/๒๕๖๕ ที่ตั้ง : อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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