

การออกแบบและพัฒนาดอกสว่านในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม
ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF DRILL PIT IN DRILLING OF
ALUMINIUM PART WITH CNC MILLING: A CASE STUDY OF
MOTORCYCLE PART PRODUCTION COMPANY**

กิตติ วิโรจรัตนภาพิศาล¹ จิรวัดณ์ วรวิชัย² อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี³ และ ศิวศิษฏ์ ปิจमितร์⁴
^{1,2,3,4}อาจารย์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ตาก, 41 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000,
¹kibuya@gmail.com, ²chirawat-w@hotmail.com, ³t.ukrit@edu.rmutl.ac.th,
⁴siwasit.pitjamit@rmutl.ac.th

Kitti Wirotrattanaphaphisan¹, Chirawat Woarawichai², Ukrit Thanasuptawee³
and Siwasit Pitjamit⁴
^{1,2,3,4}Lecturer, Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Tak, 41/1 Moo 7 Paholayothin Road, Tambon Mai Ngam, Amphur Muang, Tak 63000, Thailand,
¹kibuya@gmail.com, ²chirawat-w@hotmail.com, ³t.ukrit@edu.rmutl.ac.th
⁴siwasit.pitjamit@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการออกแบบและพัฒนาดอกสว่านในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม
ผลิตภัณฑ์ที่ยืดไฟหน้า ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ช่วยในการ
วิเคราะห์ปัญหาของการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียมใช้เวลานาน พบว่าสาเหตุย่อยเกิดจากต้องใช้ออก
กลบคมชิ้นงานแยกจากดอกสว่านเจาะชิ้นงานมีผลทำให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุง
วิธีการทำงานใหม่ โดยทำการรวมดอกสว่านเจาะชิ้นงานและดอกกลบคมชิ้นงานเข้าไว้ด้วยกัน
เพื่อที่จะลดเวลาในการสับเปลี่ยนดอกสว่าน ในการดำเนินงานใช้วิธีการออกแบบการทดลอง
แฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเจาะรูชิ้นงานด้วยดอกสว่านที่ได้
พัฒนาใหม่ ผลจากการทดลองพบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับดอกสว่านแบบใหม่ที่มีความเร็วรอบ
3,000 รอบ/นาที และอัตราป้อนอยู่ที่ 250 มิลลิเมตร/นาที จะได้ค่าความหยาบผิวที่ดีกว่าดอกสว่าน
แบบเดิม โดยค่าความหยาบผิวแบบเดิมมีค่าเฉลี่ย Rz 8.484 μm และค่าความหยาบผิวแบบใหม่มี

ค่าเฉลี่ย Rz 5.103 μm ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตชิ้นงานจาก 282 ชิ้นต่อวัน เป็น 297 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้น 15 ชิ้นต่อวัน

คำสำคัญ: ความเร็วรอบ, อัตราป้อน, เจาะรู, ความหยาบผิว

ABSTRACT

This research work aimed to increase productivity by designing and developing drills for drilling holes in Holder Head Light with CNC milling machines. Using cause and effect diagram assisted in analyzing problem of hole punching. The minor was caused by need to use workpiece chamfer separately from drill pit, resulting in low productivity. Therefore, the researcher revised the work method. The workpiece drill pit and workpiece chamfer were combined to reduce time to change drill pit. The experiment was done, statistical method was used, a general full factorial was designed to find the optimum conditions for drilling workpieces with new developed drill pit. Result from experiment was found that the optimum factor for new drill at a speed of 3,000 rev/mm and a feed rate of 250 mm/min and new drilling pit, it will get better surface roughness values than original drill pit. The original surface roughness was improved from at the averaged of Rz 8.484 μm to Rz 5.103 μm . It was possible to increase productivity of workpieces from 282 pieces per day to 297 pieces per day, and increase of 15 pieces per day.

KEYWORDS: Drilling Speed, Feed Rate, Drilling Hole, Surface Roughness

1. บทนำ

การผลิตชิ้นส่วนยานพาหนะจากวัสดุอลูมิเนียม (Aluminum) เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญทางระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะความต้องการของผู้บริโภคทางด้านยานพาหนะยังมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อดีของการผลิตชิ้นส่วนด้วยวัสดุอลูมิเนียมเนื่องจากสามารถกำหนดรูปทรงที่มีความสลับซับซ้อนได้มีความเที่ยงตรงทางด้านรูปร่างสูงและมีความแข็งแรงสูง กระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยเครื่องจักรแรงดันสูง ได้มีการพัฒนาจากกระบวนการหล่อโลหะของไทยสมัยก่อนมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เทคโนโลยีที่มีความทันสมัยมีประสิทธิภาพ การผลิตจึงมีความสะดวกรวดเร็วได้ปริมาณมากใช้เวลาน้อยลงชิ้นงานได้ตรงตามมาตรฐาน

บริษัทการศึกษา เป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยใช้เทคโนโลยีการหล่อฉีด (Die Casting) ในการขึ้นรูปชิ้นงานตั้งแต่กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ กระบวนการ

ขึ้นรูป กระบวนการตกแต่งชิ้นงาน กระบวนการตัดแต่งขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล และกระบวนการพ่นสีชิ้นงาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมา ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานพาหนะของไทยมีการมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีความหลากหลาย ตลอดจนมีคุณภาพและมาตรฐานการผลิตที่เป็นมาตรฐานระดับโลกที่ให้การยอมรับทำให้สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้น ส่วนของงานการตัดแต่งขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องมือกล คือส่วนงานที่สำคัญในกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ชิ้นงาน ทั้งนี้ในกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ การลดต้นทุนการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่าในกระบวนการผลิตชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light) มียอดสั่งการผลิตเป็นจำนวนมากประมาณ 10,000 ชิ้นต่อเดือน มีผลทำให้ผลิตไม่ทันกับความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะในส่วนของการเจาะรูชิ้นงาน ที่แผนกการตัดแต่งขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล พบปัญหาในส่วนของการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียมใช้เวลานาน

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นมูลเหตุจูงใจให้ทางคณะผู้วิจัยดำเนินการศึกษาออกแบบและพัฒนาดอกสว่านในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อลดเวลาในกระบวนการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ แผนผังแสดงเหตุและผล แผนภูมิกระบวนการไหล หลักการ ECRS มาใช้วิเคราะห์แก้ปัญหา และใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับการเจาะรูชิ้นงานให้ได้ค่าความหยาบผิวที่เหมาะสม

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาดอกสว่านในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม
- 2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม
- 2.3 เพื่อลดเวลาในกระบวนการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม

3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 ทดลองการเจาะรูชิ้นงานที่เครื่อง CNC Milling ยี่ห้อ Brother TC-31 AN
- 3.2 ทำการตรวจชิ้นงานด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว Surface Roughness Tester รุ่น SV-3000 CNC
- 3.3 ปัจจัยของการทดลองในการเจาะรูชิ้นงานด้วยเครื่อง CNC Milling ยี่ห้อ Brother TC-31 AN มีดังนี้

3.3.1 ความเร็วรอบ (Drilling Speed) ที่ใช้ในการเจาะรูชิ้นงาน โดยกำหนดจากค่ามาตรฐานเดิมอยู่ในช่วง 3,000 \pm 200 รอบ/นาที (2,800 รอบ/นาที, 3,000 รอบ/นาที และ 3,200 รอบ/นาที)

3.3.2 อัตราป้อน (Feed Rate) โดยกำหนดจากค่ามาตรฐานเดิมอยู่ในช่วง 200 \pm 50 รอบ/นาที (150 มิลลิเมตร/นาที, 200 มิลลิเมตร/นาที และ 250 มิลลิเมตร/นาที)

3.3.3 รูปแบบดอกสว่าน (Drilling Type) (แบบเดิม และแบบใหม่)






4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานเพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ดังนี้

4.1 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหล เป็นแผนภูมิที่ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหล (Flow) ของคน วัสดุและเครื่องจักร โดยแสดงเป็นสัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ตัว [1] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่ใช้บันทึกและจำกัดความของแผนภูมิกระบวนการไหล

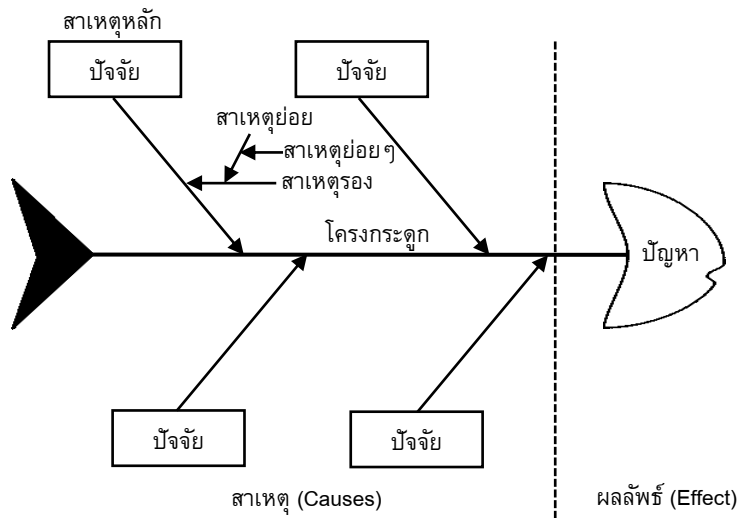
สัญลักษณ์	ชื่อเรียก	คำจำกัดความโดยย่อ
	การปฏิบัติงาน (Operation)	<ul style="list-style-type: none"> การเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมี หรือฟิสิกส์ของวัตถุ การประกอบชิ้นส่วน หรือการถอดส่วนประกอบออก
	การตรวจสอบ (Inspection)	<ul style="list-style-type: none"> ตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุ ตรวจสอบคุณภาพหรือปริมาณ
	การเคลื่อนย้าย (Transportation)	<ul style="list-style-type: none"> การเคลื่อนวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง พนักงานกำลังเดิน
	การรอคอย (Delay)	<ul style="list-style-type: none"> การเก็บวัสดุชั่วคราวระหว่างการปฏิบัติงาน การคอยเพื่องานขั้นต่อไปเริ่มต้น
	การเก็บ (Storage)	<ul style="list-style-type: none"> การเก็บวัสดุ ชิ้นส่วน หรือผลิตภัณฑ์ไว้ในสถานที่ถาวรซึ่งต้องอาศัยคำสั่งในการเคลื่อนย้าย

4.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้เกิดผล (Effect) โครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกซึ่ง

รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นที่สรุปของสาเหตุที่กลายเป็นปัญหา [2] ดังรูปที่ 1

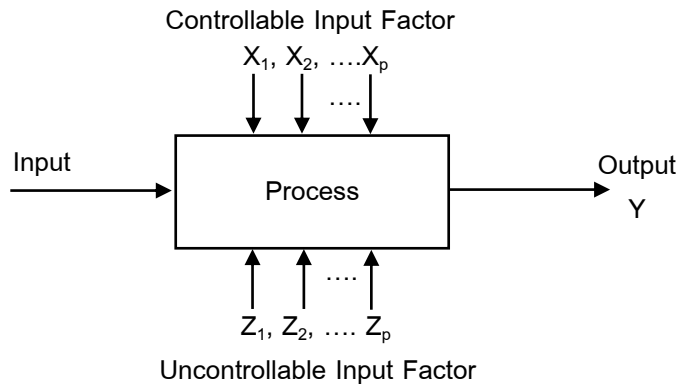
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ในขั้นตอนการระดมสมองนั้นจะให้ผู้ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตเสนอความคิดเห็นโดยที่ผู้ร่วมแสดงความคิดเห็นนั้นจะเป็นหัวหน้างาน และผู้ปฏิบัติงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล

4.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

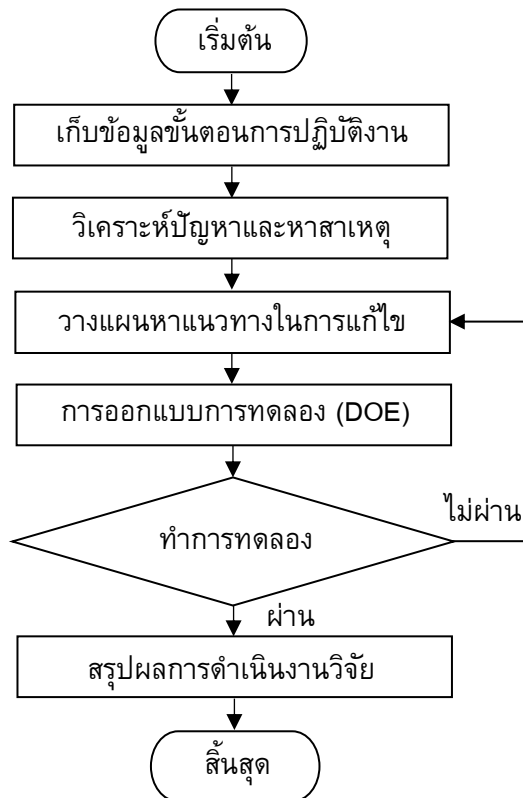
การออกแบบการทดลอง [3] คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนปัจจัย (Factor) นำเข้าของกระบวนการ (Input) และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออก (Output) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าเป็นผลตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้ (Response: Y) โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ควบคุมได้ กำหนดให้เป็นตัวแปร X_1, X_2, \dots, X_p เป็นตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถควบคุมได้ (Controllable) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ กำหนดให้เป็นตัวแปร Z_1, Z_2, \dots, Z_p บางครั้งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Uncontrollable or Noise) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการทดลอง

5. วิธีการดำเนินงาน

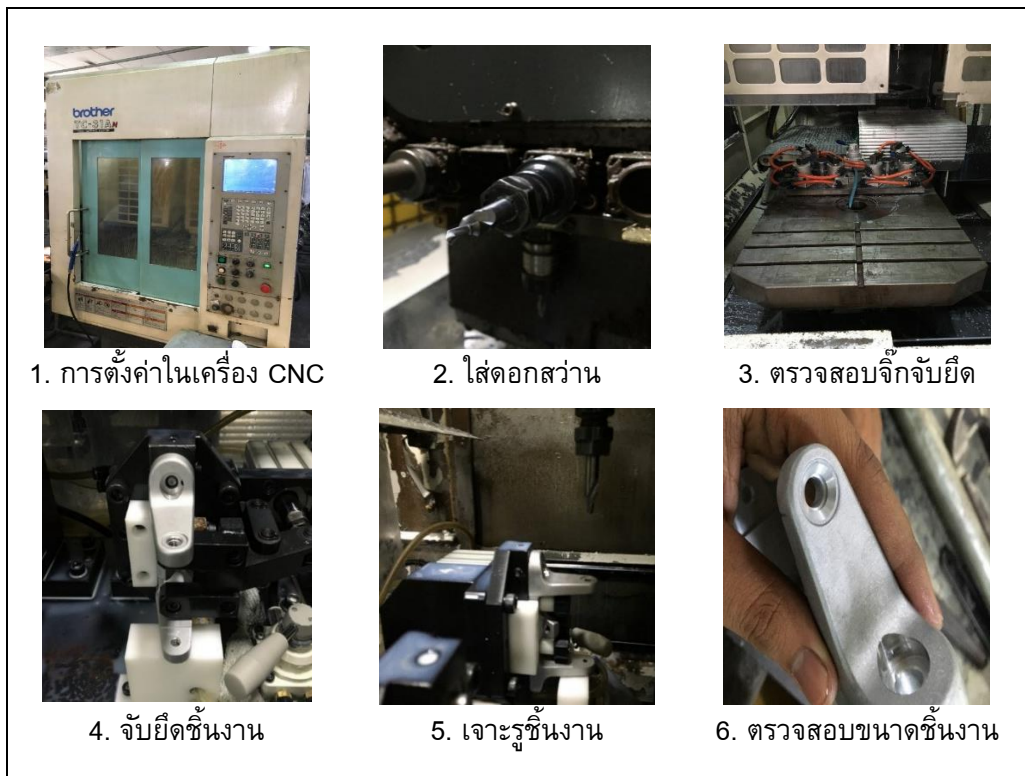
วิธีการดำเนินงานในครั้งนี้ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

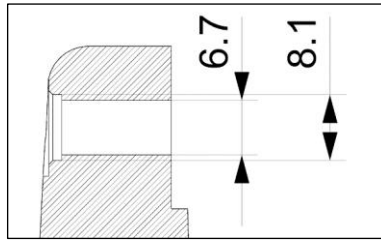
5.1 เก็บข้อมูลขั้นตอนการปฏิบัติงาน

คณะผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในกระบวนการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light) ของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยมีขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ การตั้งค่าในเครื่อง CNC Milling ใส่ดอกสว่านลงบนสายพานลำเลียงเครื่องมือตัด ตรวจสอบจิ๊กจับยึด การจับยึด ชิ้นงานจะใช้ระบบนิวเมติกส์เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน เจาะรูชิ้นงาน และตรวจสอบขนาด ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม

ในขั้นตอนการดำเนินงานโดยการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม ซึ่งรูเจาะจะมีขนาดที่ 6.7 มิลลิเมตร และ 8.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 ชิ้นงานสามารถเจาะได้เลยโดยไม่ต้องเจาะรู นำเนื่องจากชิ้นงานมีรูนำอยู่แล้ว เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานมีด้วยกัน 2 เครื่อง คือเครื่อง CNC Milling ยี่ห้อ Brother TC-31 AN กับเครื่องวัดความหยาบผิว Surface Roughness Tester รุ่น SV-3000 CNC



รูปที่ 5 ขนาดของรูเจาะ

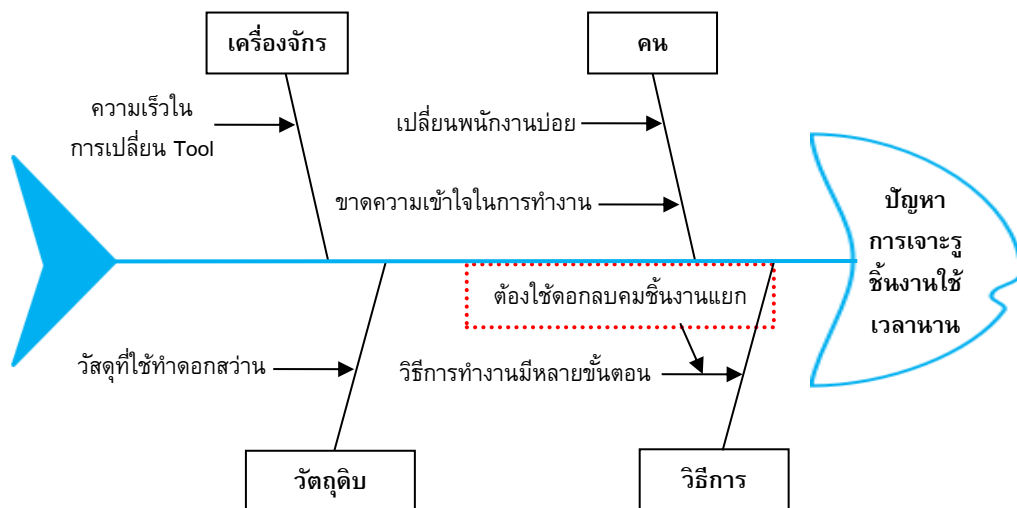
5.2 วิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุ

เมื่อดำเนินการเก็บข้อมูลขั้นตอนการปฏิบัติงานของการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light) จากนั้นทำการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุดังนี้

5.2.1 วิเคราะห์ปัญหาโดยแผนผังแสดงเหตุและผล

จากการวิเคราะห์ปัญหาและเวลาสูญเสียในขั้นตอนการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม โดยแผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งพบว่าปัญหาเกิดขึ้นจากสาเหตุ 4 ประการ คือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ ที่ทำให้เกิดปัญหาการเจาะรูชิ้นงานใช้เวลานาน ดังแสดงในรูปที่ 6

จากการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังแสดงเหตุและผลเบื้องต้น ได้ระดมสมองโดยเลือกแก้ปัญหาที่วิธีการ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่สามารถนำมาแก้ไขปัญหาดได้โดยสาเหตุรองคือ วิธีการทำงานมีหลายขั้นตอน และมีสาเหตุย่อยเกิดจากต้องใช้ดอกกลบคมชิ้นงานแยก (Chamfer) ออกจากดอกเจาะชิ้นงาน



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล

5.2.2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานการแมชชีน (Machine) ชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light) พบว่ามีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอน โดยเฉพาะขั้นตอนที่ต้องใช้ดอกกลบคมชิ้นงานแยกกับดอกเจาะชิ้นงานทำให้เสียเวลาในการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 7

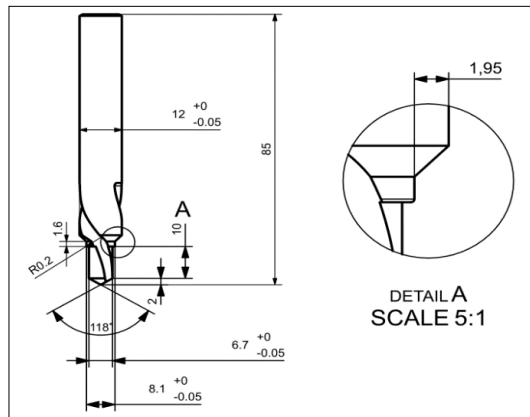
แผนภูมิกระบวนการไหล		<input type="checkbox"/> คน	<input type="checkbox"/> วัสดุ	<input checked="" type="checkbox"/> เครื่องจักร			
แผนภูมิหมายเลข : 01	สรุปผล						
	สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	เสนอ	ลดลง			
กรรมวิธี : การแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light)	การปฏิบัติงาน	○	6				
	การเคลื่อนย้าย	➡	-				
	การรอคอย	○	-				
<input checked="" type="checkbox"/> วิธีการเดิม <input type="checkbox"/> วิธีการใหม่	การตรวจสอบ	<input type="checkbox"/>	1				
ตำแหน่งที่ตั้ง : Category 1	การเก็บพัก	▽	-				
ผู้บันทึก : นายรัฐพงศ์ ไชยมุติ	เวลา (วินาที)		192				
รายการ	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
		○	➡	○	<input type="checkbox"/>	▽	
1. เจาะรู (Drilling) ขนาด 8.1 มิลลิเมตร	14	●					
2. เจาะรู (Drilling) ขนาด 15.0 มิลลิเมตร	27	●					
3. กัดชิ้นงานด้านข้าง (Milling Side) 10.0 มิลลิเมตร	84	●					
4. เจาะรู (Drilling) ขนาด 6.75 มิลลิเมตร	28	●					
5. ลบคมรูชิ้นงาน (Chamfer)	10	●					
6. ทำเกลียว (TAP) M8 x 1.25	17	●					
7. ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน	12					●	

รูปที่ 7 แผนภูมิกระบวนการไหลการแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการเดิม)

5.3 วางแผนหาแนวทางในการแก้ไข

ทำการปรับปรุงและพัฒนาลดขั้นตอนในการทำงาน โดยใช้หลักการ ECRS ประกอบไปด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) [4-5] จะใช้ C (Combine) พิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ โดยทำการรวมดอกสว่านเจาะและดอกกลบคมชิ้นงานเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อที่จะลดเวลาในการลับเปลี่ยนดอกสว่านและอุปกรณ์นั้นจะเน้นการใช้งานที่มีความแม่นยำของขนาดชิ้นงานหลังทำการ

ทดลอง และที่สำคัญจะต้องคำนึงถึงความคงทนของอุปกรณ์และความคุ้มทุนของดอกสว่านจึงใช้เป็นดอกสว่านคาร์ไบด์เพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยการออกแบบเพื่อใช้เจาะรูชิ้นงานที่เป็นวัสดุอลูมิเนียม ขนาดรูที่เจาะ 6.7 มิลลิเมตรและ 8.1 มิลลิเมตร จะใช้มุมคมตัดที่ 118 องศา และมุมร่องคายเศษ 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แบบดอกสว่านแบบใหม่

5.4 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป (General Full Factorial Design) [6-7] สำหรับออกแบบการทดลองเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม โดยประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ มีระดับปัจจัย 3 ระดับ อัตราป้อน มีระดับปัจจัย 3 ระดับ [8-9] และรูปแบบดอกสว่าน มีระดับปัจจัย 2 ระดับ มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ดังนั้นจึงมีการทดลองทั้งหมด $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ การทดลอง โดยการทดลองเป็นแบบสุ่ม ดังตารางที่ 2 และ 2) การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อความหยาบผิว

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย			หน่วย
		-1	0	1	
1. ความเร็วรอบ	S	2,800	3,000	3,200	รอบ/นาที
2. อัตราป้อน	F	150	200	250	มิลลิเมตร/นาที
3. รูปแบบดอกสว่าน	T	Original	-	New	รูปแบบ

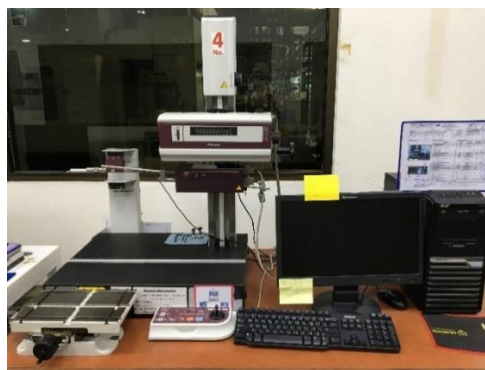
5.5 ทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลองตามแบบการทดลองที่ออกแบบไว้ในข้างต้น และเริ่มจับเวลาในการเจาะรูทั้งดอกสว่านแบบเก่าและดอกสว่านแบบใหม่เพื่อหาเวลาไปเปรียบเทียบกัน ทำการทดลองโดยนำไปทดสอบกับเครื่อง CNC Milling ก่อนจะทำการทดลองต้องมีการประกอบชิ้นส่วนดอกสว่านเข้ากับชุดหัวจับ ซึ่งมีการประกอบดอกสว่านที่ออกแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ชุดจับยึดดอกสว่าน

ใช้เครื่องวัดความหยาบผิว Surface Roughness Tester รุ่น SV-3000 CNC ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยทำการวัดความหยาบผิวชิ้นงานในส่วนที่ทำการทดลองเจาะรูชิ้นงาน ซึ่งในการวิจัยทำการวัดค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Ten-Point Mean Roughness: Rz) [10] มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร (μm)



รูปที่ 10 เครื่องวัดความหยาบผิว Surface Roughness Tester

จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำการทดลองเสร็จแล้วมาผ่าเครื่องบริเวณรูที่เจาะเพื่อนำไปทำการวัดค่าความหยาบผิว ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ทำการวัดค่าความหยابผิวชิ้นงาน

6. ผลการทดลอง

ผลจากการออกแบบและพัฒนาดอกสว่านในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการใหม่) โดยสามารถลดขั้นตอนการทำงานและลดเวลาได้ดังแสดงในรูปที่ 12 และผลจากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 3 ดังนี้

แผนภูมิกระบวนการไหล		<input type="checkbox"/> คน	<input type="checkbox"/> วัสดุ	<input checked="" type="checkbox"/> เครื่องจักร			
แผนภูมิหมายเลข : 02	สรุปผล						
	สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	เสนอ	ลดลง			
กรรมวิธี : การแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่ยึดไฟหน้า (Holder Head Light)	การปฏิบัติงาน	○	6	5	1		
	การเคลื่อนย้าย	⇒	-	-	-		
	การรอคอย	◻	-	-	-		
<input type="checkbox"/> วิธีการเดิม <input checked="" type="checkbox"/> วิธีการใหม่	การตรวจสอบ	□	1	1	-		
ตำแหน่งที่ตั้ง : Category 1	การเก็บพัก	▽	-	-	-		
ผู้บันทึก : นายรัฐพงศ์ ไชยมุติ	เวลา (วินาที)		192	182	10		
รายการ	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
		○	⇒	◻	□	▽	
1. เจาะรู (Drilling) ขนาด 8.1 มิลลิเมตร	14	●					
2. เจาะรู (Drilling) ขนาด 15.0 มิลลิเมตร	27	●					
3. กัดชิ้นงานด้านข้าง (Milling Side) 10.0 มิลลิเมตร	84	●					
4. เจาะรู (Drilling) ขนาด 6.75 มิลลิเมตร พร้อมลบคมรูชิ้นงาน (Chamfer)	28	●					
5. ทำเกลียว (TAP) M8 x 1.25	17	●					
6. ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน	12				●		

รูปที่ 12 แผนภูมิกระบวนการไหลการแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการใหม่)

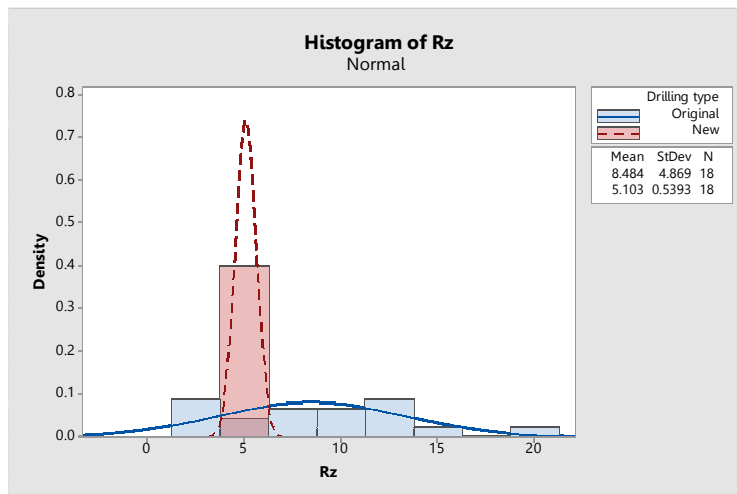
ตารางที่ 3 ผลการทดลองแฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	ความเร็ว รอบ	อัตรา ป้อน	รูปแบบ ดอกสว่าน	Rz (μm)
1	1	1	1	2,800	150	Original	1.804
2	2	1	1	2,800	150	New	4.967
3	3	1	1	2,800	200	Original	4.797
4	4	1	1	2,800	200	New	4.638
5	5	1	1	2,800	250	Original	11.594
6	6	1	1	2,800	250	New	4.711
7	7	1	1	3,000	150	Original	2.88
8	8	1	1	3,000	150	New	4.718
9	9	1	1	3,000	200	Original	6.71
10	10	1	1	3,000	200	New	4.422
11	11	1	1	3,000	250	Original	12.523
12	12	1	1	3,000	250	New	4.529
13	13	1	1	3,200	150	Original	4.763
14	14	1	1	3,200	150	New	5.794
15	15	1	1	3,200	200	Original	13.231
16	16	1	1	3,200	200	New	5.986
17	17	1	1	3,200	250	Original	8.824
18	18	1	1	3,200	250	New	5.983
19	19	1	1	2,800	150	Original	2.583
20	20	1	1	2,800	150	New	4.866
21	21	1	1	2,800	200	Original	6.286
22	22	1	1	2,800	200	New	5.511
23	23	1	1	2,800	250	Original	19.07
24	24	1	1	2,800	250	New	5.921
25	25	1	1	3,000	150	Original	2.764
26	26	1	1	3,000	150	New	5.008
27	27	1	1	3,000	200	Original	7.692

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	รูปแบบดอกสว่าน	Rz (μm)
28	28	1	1	3,000	200	New	4.932
29	29	1	1	3,000	250	Original	12.374
30	30	1	1	3,000	250	New	4.534
31	31	1	1	3,200	150	Original	9.108
32	32	1	1	3,200	150	New	5.088
33	33	1	1	3,200	200	Original	10.733
34	34	1	1	3,200	200	New	4.719
35	35	1	1	3,200	250	Original	14.977
36	36	1	1	3,200	250	New	5.53

ผลจากการวัดค่าความหยาบผิวของดอกสว่านแบบเดิม (Original) ให้ค่าที่ไม่หนึ่งจะมีค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่กว้างกว่าดอกสว่านแบบใหม่ (New) ซึ่งค่าความหยาบผิวดอกสว่านแบบใหม่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำจากการทำซ้ำจะเป็นค่าที่เกาะกลุ่มกัน โดยค่าความหยาบผิวดอกสว่านแบบเดิม มีค่าเฉลี่ย Rz 8.484 μm และค่าความหยาบผิวดอกสว่านแบบใหม่ มีค่าเฉลี่ย Rz 5.103 μm ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งค่าความหยาบของผิวตามมาตรฐานของบริษัทอยู่ในช่วง Rz 7.500 μm – 8.500 μm



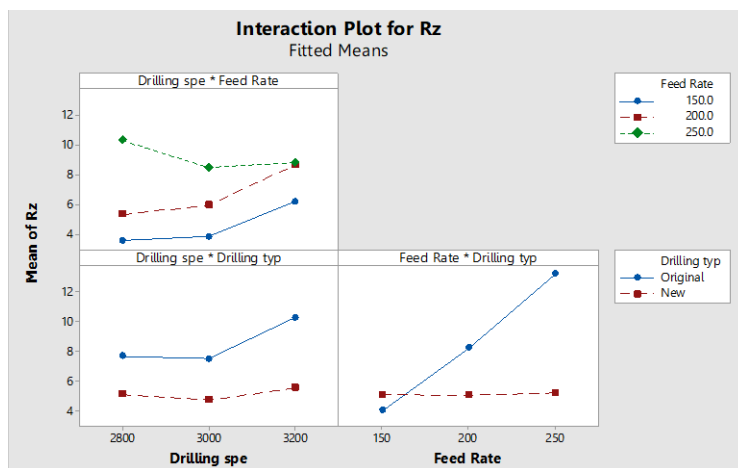
รูปที่ 13 แสดงกราฟความหยาบผิวจากการทดลอง

6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก (Main Effect)

จากรูปที่ 14 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิว คือ อัตราป้อน (Feed Rate) และชนิดของดอกสว่าน (Drilling Type) ซึ่งมีแนวโน้มว่า เมื่อใช้อัตราป้อน 150 มิลลิเมตร/นาที จะทำให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด และเมื่อใช้อัตราป้อนที่ 250 มิลลิเมตร/นาที จะทำให้ได้ค่าความหยาบผิวที่สูงขึ้น โดยชนิดของดอกสว่านแบบใหม่ (New) จะให้ค่าที่ดีกว่าดอกสว่านแบบเก่า (Original) เนื่องจากขนาดของก้านดอกสว่านที่มีความใหญ่ขึ้นซึ่งช่วยลดความสั่นสะเทือนได้ในเวลาเจาะด้วยอัตราป้อนที่สูง เมื่อเทียบกับดอกสว่านแบบเก่า

6.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interaction Effect)

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ (Drilling Speed) และอัตราป้อน (Feed Rate) ค่าความหยาบผิวชิ้นงานจะสูงขึ้นตามความเร็วรอบ พบว่าเมื่อใช้อัตราป้อนที่ 150 มิลลิเมตร/นาที เริ่มจากความเร็วรอบที่ 2,800 รอบ/นาที และเมื่อใช้อัตราป้อนที่ 200 มิลลิเมตร/นาที จะมีทิศทางเดียวกับอัตราป้อนที่ 150 มิลลิเมตร/นาที เช่นกัน แต่จะให้ค่าความหยาบผิวที่สูงขึ้นอีกและเมื่อใช้อัตราป้อนที่ 250 มิลลิเมตร/นาที จะมีทิศทางที่สวนกันกับ 2 ปัจจัยที่ผ่านมา เมื่อความเร็วรอบยิ่งสูงขึ้นจะได้ค่าความหยาบผิวที่น้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่าไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จึงได้นำข้อมูลในตารางที่ 3 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) [11] โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) โดยใช้โปรแกรม Minitab 18 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลอง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	447.078	26.299	7.42	0.000
Linear	5	257.418	51.484	14.53	0.000
Drilling speed	2	22.381	11.190	3.16	0.067
Feed Rate	2	132.164	66.082	18.65	0.000
Drilling type	1	102.874	102.874	29.03	0.000
2-Way Interactions	8	160.785	20.098	5.67	0.001
Drilling speed*Feed Rate	4	27.433	6.858	1.94	0.148
Drilling speed*Drilling type	2	8.577	4.289	1.21	0.321
Feed Rate*Drilling type	2	124.775	62.387	17.60	0.000
3-Way Interactions	4	28.875	7.219	2.04	0.132
Drilling Speed*FeedRate*Drilling type	4	28.875	7.219	2.04	0.132
Error	18	63.791	3.544		
Total	35	510.869			

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทดสอบความหยาบผิวของชิ้นงาน พบว่าปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) [12] คือ อัตราป้อน และชนิดของออกสว่าน โดยมีค่า P-Value ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงมีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิว เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย พบว่ามี 2 ปัจจัยจากทั้งหมด 3 ปัจจัยมีผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองมีค่าความเชื่อมั่น 75.72% ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับความเชื่อมั่นของค่าความหยาบผิว

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
1.88254	87.51%	75.72%	50.05%

6.3 การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากการทดลองใช้คำสั่ง Response Optimizer [13] เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Rz ที่ดีที่สุดโดยกำหนดให้เป้าหมายเป็นค่าน้อยสุด (Minimize) ยิ่งค่า Rz น้อยยิ่งดี จากรูปที่ 15 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดดังนี้ 1) ความเร็วรอบที่ 3,000 รอบ/นาที 2) อัตราป้อน 250 มิลลิเมตร/นาที 3) ดอกสว่านแบบใหม่ จะทำให้ได้ค่า Rz เท่ากับ 4.76 ที่ความน่าเชื่อถือที่ 98% นั้นหมายความว่าค่านี้จะมีความคลาดเคลื่อน (Error) ได้ 2%



รูปที่ 15 กราฟแสดงปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

6.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล

ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล เป็นการทดลองบนค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิว ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการปรับค่าความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 รอบ/นาที และอัตราป้อน เท่ากับ 250 มิลลิเมตร/นาที และชนิดของดอกสว่านแบบใหม่ โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองซ้ำการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/ นาที)	ดอก สว่าน	Rz (µm)					ค่าเฉลี่ย (µm)
			Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
3,000	250	ใหม่	5.013	5.377	5.213	4.235	5.382	4.852
			Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	
			4.428	4.992	4.485	5.081	4.321	

จากการทดลองยืนยันผลดังตารางที่ 6 ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 4.852 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการทำนาย Y คือ 4.767 μm คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.75% (คิดจาก $(4.852 - 4.767) / 4.852 \times 100 = 1.75\%$)

6.5 การหาจุดคุ้มทุน

การหาจุดคุ้มทุน ของจำนวนการผลิตในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการใหม่) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

จากสมการเป็นการหาค่าจุดคุ้มทุน [14]

$$N^* = \frac{F}{(p - v)} \quad (1)$$

กำหนดให้

N^* คือ จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน

F คือ ต้นทุนคงที่

v คือ ต้นทุนแปรผันต่อชิ้น

p คือ ราคาขายต่อชิ้น

โดยที่

ต้นทุนคงที่ = 13,700 บาท

ต้นทุนแปรผัน = 45 บาทต่อชิ้น

ราคาขาย = 60 บาทต่อชิ้น

แทนค่าในสมการที่ 1

$$N^* = \frac{13,700}{(60-45)} = 913 \text{ ชิ้น}$$

ดังนั้น จำนวนการผลิตที่คุ้มทุนในการเจาะรูชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการใหม่) เท่ากับ 913 ชิ้น

7. สรุปผลการทดลอง

7.1 ดอกสว่านที่ได้ทำการออกแบบมาใหม่นั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า เวลาการแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการเดิม) 192 วินาทีต่อชิ้น เวลาการแมชชีนชิ้นงานอลูมิเนียม (วิธีการใหม่) 182 วินาทีต่อชิ้น ลดลง 10 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็น 5.20% (คิดจากร้อยละที่

ลดลง คือ $(192 - 182) / 192 \times 100 = 5.20\%$) โดยสามารถเพิ่มผลผลิตชิ้นงานจาก 282 ชิ้นต่อวัน เป็น 297 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้น 15 ชิ้นต่อวัน

7.2 จากการทดลองปัจจัยต่างๆ ที่ส่งต่อเวลาของการปฏิบัติงาน พบว่าการออกแบบดอกสว่านนั้นมีผลต่อเวลาในการปฏิบัติงานโดยตรงเพราะการออกแบบดอกสว่านแบบใหม่ จะช่วยลดเวลาการปฏิบัติงาน ดังนั้นการกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมของดอกสว่านแบบใหม่อยู่ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที และอัตราป้อนอยู่ที่ 250 มิลลิเมตร/นาที จะสามารถใช้เวลาในกระบวนการเจาะรูที่น้อยที่สุดโดยที่ความหยابผิวจะอยู่ในช่วงที่ต้องการ

8. ข้อเสนอแนะ

แนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต ควรศึกษาต่อในส่วนของดอกกัด (End Mill) รูปแบบไหนเหมาะสมให้ค่าความหยابผิวที่ต่ำที่สุดและใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด

References

- [1] Kanjanapanyakorn R. Industrial work study. Bangkok, Thailand: Top Publisher; 2009. (In Thai)
- [2] Pipatpanyanugul K. Quality control. Bangkok, Thailand: Top Publisher; 2014. (In Thai)
- [3] Montgomery DC. Design and analysis of experiments. 6th ed. USA: John Wiley & Sons; 2005.
- [4] Rijiravanich V. Work study principles and case study. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Publisher; 2010. (In Thai)
- [5] Sitticharoen W. Work study. Bangkok, Thailand: Odeon Store Publisher; 2004. (In Thai)
- [6] Kaewploy S, Boonseng K. Design of experiment for evaluating the optimal condition in drying process of rubberwood. KKU Research Journal 2014;19(2):284-92. (In Thai)
- [7] Praputtakun K, Wuttipornpun T. A study of optimal proportion of factors in concrete ready mixed process using factorial experiment. The Journal of KMUTNB 2011;21(2): 313-20. (In Thai)
- [8] Chantasee S. The effects of machining parameters on milling of 6061-T6 aluminum alloy. Naresuan University Journal: Science and Technology 2017;25(1):138-49. (In Thai)
- [9] Kiswanto G, Azmi M, Mandala A, Ko TJ. The effect of machining parameters to the surface roughness in low speed machining micro-milling Inconel 718. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021;65(2):141-50.

- [10] Misumi Technical Center. Roughness [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 5]. Available from: <https://misumitechnical.com/technical/tools/what-is-roughness/> (In Thai)
- [11] Sudasna-na-Ayudhya P, Luangpaiboon P. Design and analysis of experiments. Bangkok, Thailand: Top Publishing. 2009. (In Thai)
- [12] Homsri P, Khongthana J. Design of experiment (DOE) to reduce waste in plastic injection process of automotive part. Kasem Bundit Engineering Journal 2013;3(2):73-95. (In Thai)
- [13] Sae-Sio B, Sokul N. Reducing defects in packaging by applying experimental results: a case study of a snack company. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal 2016;9(2):30-44. (In Thai)
- [14] Yaempuan P. Engineering economy. Bangkok, Thailand: Se-Education Publisher; 2013. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



กิติติ วิโรจรัตนภาพิตาล อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: kibuya@gmail.com

Interested Field: Productivity Improvement and Design of Experiments



จิรววัฒน์ วรวิชัย อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: chirawat-w@hotmail.com

Interested Field: Productivity Improvement and Quality Control



อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: t.ukrit@edu.rmutl.ac.th

Interested Field: Productivity Improvement and Design of Experiments



ศิวัษณ์ ปิจมิตร อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา
วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: siwasit.pitjamit@rmutl.ac.th

Interested Field: Productivity Improvement and Design of Experiments

Article History:

Received: June 28, 2022

Revised: September 28, 2022

Accepted: November 21, 2022