

การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ โดยใช้วิธีทาคุชิ

Optimal Value of Factors Affecting Surface Roughness and Workpiece Dimension on Acrylic Cutting with a CO₂ Laser Cutter Machine Using the Taguchi Method

วีระพล ทับทิมดี¹ บรรพจน์ มีสา¹ และประเวช เชื้อวงษ์^{1*}

Weerapol Taptimdee¹ Banpot Meesa¹ and Prawach Chourwong^{1*}

Received: January 23, 2024; Revised: April 30, 2024; Accepted: May 1, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ โดยใช้วิธีทาคุชิเพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เหมาะสมตามหลักการทางสถิติ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA ปัจจัยในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย โดยปัจจัยแรก คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่มี 3 ระดับ ได้แก่ 1 1.5 และ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ปัจจัยที่สอง คือ กำลังไฟสูงสุดมี 3 ระดับ ได้แก่ 70 80 และ 90 % และปัจจัยที่สาม คือ กำลังไฟต่ำสุดมี 3 ระดับ ได้แก่ 70 80 และ 90 % ค่าความหยาบผิวของตัวอย่างจะถูกวัดด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวแบบพกพาและขนาดของตัวอย่างจะทำการวัดด้วยไมโครมิเตอร์วัดนอก ค่าความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านความเร็วส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดคือ ความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังไฟสูงสุดและกำลังต่ำสุด 90 % ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดน้อยที่สุดคือ ความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังไฟสูงสุดและกำลังต่ำสุด 80 %

คำสำคัญ : วิธีทาคุชิ; ค่าความหยาบผิว; ความคลาดเคลื่อนของขนาด

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

¹ Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

* Corresponding Author, Tel. 08 1715 8999, E - mail: pravate@techno.rri.ac.th

Abstract

This research investigates the factors that affect the surface roughness and dimension of acrylic workpieces cut with a CO₂ laser machine. The Taguchi method is used to analyze the factors according to statistical principles, followed by an analysis of variance (ANOVA). The experimental factors are divided into three levels: speed (1, 1.5, and 2 mm/s), maximum power (70, 80, and 90 %), and minimum power (70, 80, and 90 %). The surface roughness of the specimen will be measured using a portable surface roughness machine, while the size of the specimen will be measured using an external micrometer with a precision of 0.001 mm, to determine the post-cutting error dimensional. The results show that the speed factor significantly affects the surface roughness and error dimension after cutting. Increasing the movement speed results in a decrease in surface roughness. The main factors that result in the least surface roughness are a speed of 1.0 mm/s, maximum power, and minimum power of 90 %. The main factors that result in the least error dimension after cutting are a speed of 2.0 mm/s, maximum power, and minimum power of 80 %.

Keywords: Taguchi Method; Surface Roughness; Error Dimension

บทนำ

พลาสติกจัดอยู่ในกลุ่มของวัสดุโพลีเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกชนิด PMMA (Poly Methyl Methacrylate) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อะคริลิก (Acrylic)” ซึ่งถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ งานอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น [1] - [2] เนื่องจากอะคริลิกมีสมบัติโดดเด่นในด้านความเหนียว (Toughness) การต้านทานความร้อน ความโปร่งใส (Transparent) สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และเมื่อรวมกับการมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติประจำตัวของพลาสติกแล้ว อะคริลิกจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ทดแทนวัสดุอื่น ๆ ในงานที่หลากหลายในการนำอะคริลิกมาใช้งาน ขั้นตอนหนึ่งในนั้นคือ การตัดอะคริลิกให้ได้ขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ในการตัดอะคริลิกให้ขาดจากกันจะมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น การใช้เลื่อย การใช้เครื่องซีเอ็นซี หรือการใช้เครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ เป็นต้น ในปัจจุบันมีความนิยมใช้เครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถแกะสลักและตัดวัสดุได้หลายชนิด เช่น พลาสติก ไม้ อะคริลิก กระจก ยาง กระจก เป็นต้น [3] อีกทั้งเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น เครื่องตัดมีขนาดเล็ก ราคาถูก สามารถตัดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงและตัดได้อย่างรวดเร็ว [4] เหมาะกับงานขอบบางและเปราะ คุณสมบัติของพื้นผิวสุดท้ายสามารถทำได้ในขั้นตอนเดียวและไม่จำเป็นต้องตกแต่งในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ผิวเรียบ [5] ซึ่งทำให้มีผู้สนใจในงานตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลาง ขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยและผู้สนใจทั่วไปเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านั้นพบว่า [6] ได้ศึกษาถึงปัจจัยและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ของชิ้นงานอะคริลิกที่ตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ โดยศึกษาปัจจัยด้านกระแสไฟ ความเร็วและระยะห่างของ Nozzle ถึงชิ้นงานพบว่า เมื่อกระแสไฟและความเร็วตัดสูงขึ้น จะส่งผลต่ออัตราการกำจัดเนื้อวัสดุ (Material Removal Rate: MRR) สูงขึ้นและพื้นที่ HAZ จะลดลงเมื่อระยะห่างของ Nozzle ถึงชิ้นงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ [7] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของค่าความละเอียด (Resolution) ที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวในการตัดแผ่นอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ โดยศึกษาปัจจัยด้านกำลัง (Power) ความเร็วและค่าความละเอียดพบว่า ค่าความหยาบผิวจะลดลงตามค่าความละเอียดที่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกหลายฉบับที่ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ เช่น การออกแบบการวิเคราะห์ และการผลิตแผ่นไมโครนีเดิลโพลีเมอร์โดยใช้เครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ [8] ลักษณะของรูหลังการเจาะด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ บน PMMA [9] การศึกษาพารามิเตอร์กระบวนการตัดเฉือนของเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ บนอะคริลิก [10] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ นั้นอาจพบปัญหาได้หลายประการ ได้แก่ การตัดไม่ขาด ขอบตัดไม่เรียบ ขนาดชิ้นงานไม่ได้ตามแบบ เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานตัดได้ ดังนั้นการศึกษถึงการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ให้เหมาะสมกับวัสดุอะคริลิกจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิก ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ โดยใช้วิธีการทางสถิติ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA เพื่อศึกษาความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะที่เหมาะสมในการตัดอะคริลิก โดยพิจารณาถึงปัจจัยหลักในการทดลองจำนวน 3 ปัจจัย คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ กำลังไฟสูงสุด กำลังไฟต่ำสุด และตัวแปรตอบสนองคือความหนาผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานหลังการตัด ผลการทดลองนี้จะช่วยให้ผู้ทำงานในด้านตัดอะคริลิก ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และผู้สนใจนำไปเป็นแนวทางในการใช้งานต่อไปในอนาคตได้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีทางสถิติเป็นวิธีการหนึ่งในการประยุกต์การออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาค่าปัจจัยของกระบวนการที่ดีที่สุด โดยวิเคราะห์ทั้งปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ S/N Ratio เพื่อใช้ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องในการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) โดยสามารถวิเคราะห์ได้ 3 กรณี คือ กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger is Better) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target Value is Better) และกรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better) วิธีทางสถิติเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการออกแบบการทดลองโดยให้มีการทดลองจำนวนน้อยที่สุด วิธีทางสถิติเสนอแนวทางการออกแบบที่ตรงไปตรงมาและเป็นระบบ ซึ่งอาศัยอาร์เรย์มุมฉาก (Orthogonal Arrays) เพื่อหลีกเลี่ยงการดำเนินการทดสอบจำนวนมากรวมกัน [11] วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อกำหนดความสำคัญของตัวแปรการออกแบบและการรวมกันของตัวแปรตอบสนองหนึ่งรายการขึ้นไป นอกจากนี้ยังสามารถเลือกระดับของปัจจัยที่ควบคุมอินพุตได้ เพื่อให้ความแปรผันในการตอบสนองของกระบวนการเนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้นไร้ผล โดยการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ควบคุมได้ของกระบวนการ ซึ่งจะลดผลกระทบของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ให้เหลือน้อยที่สุด [12] ด้วยเหตุผลเหล่านี้ วิธีทางสถิติจึงถือเป็นวิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยประหยัดเวลาและต้นทุน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตของระบบวิศวกรรมอีกด้วยในการใช้งานเครื่องจักรสามารถใช้วิธีทางสถิติ เพื่อเลือกระดับที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์กระบวนการซึ่งช่วยลดความแปรผันในสมมติการณ์การทำงานของตัวแปรตอบสนองของกระบวนการตัดเฉือนให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ส่งผลต่อสมมติการณ์การทำงานเหล่านี้ อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสามารถลดลงได้โดยการเลือกระดับของปัจจัยอินพุตที่เหมาะสม [13] วิธีทางสถิติมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับ Factorial Design ซึ่งสามารถยกขึ้นมาพิจารณาได้ดังนี้

1. ลดตัวแปรที่ไม่สนใจ วิธีทางสถิติมุ่งเน้นการลดผลกระทบจากตัวแปรที่ไม่สนใจ (Nuisance Variables) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ โดยการใช้ Orthogonal Arrays (OA) เพื่อลดจำนวนการทดลอง ทำให้วิธีทางสถิติเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดตัวแปรที่ไม่สนใจอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Factorial Design ที่มักจะต้องทดลองทุกค่าของตัวแปรที่สนใจทั้งหมด

2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ง่ายและตรวจสอบได้ง่าย วิธีทางสถิติใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่สามารถระบุตัวแปรที่ส่งผลต่อผลลัพธ์มากที่สุดได้ และสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้วิธีทางสถิติที่ซับซ้อนเท่ากับ Factorial Design ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Variance Analysis) หรือการใช้โมเดลทางสถิติที่ซับซ้อนขึ้น

3. ประหยัดเวลาและทรัพยากร เนื่องจากวิธีทางสถิติลดจำนวนการทดลองที่ต้องทำลง จึงทำให้ประหยัดเวลาและทรัพยากรมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Factorial Design ที่ต้องทดลองทุกค่าของตัวแปรที่สนใจทั้งหมด

ดังนั้นวิธีทางสถิติเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการลดตัวแปรที่ไม่สนใจ ลดการใช้ทรัพยากร และทำให้การวิเคราะห์ผลลัพธ์เป็นไปอย่างง่ายและมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Factorial Design ในบางกรณีที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามวิธีการทางสถิติยังคงมีข้อจำกัด เช่น

1. ไม่ครอบคลุมทุกค่าของตัวแปร วิธีทางสถิติมักจะใช้ Orthogonal Arrays (OA) เพื่อลดจำนวนการทดลอง ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถครอบคลุมทุกค่าของตัวแปรที่สนใจได้

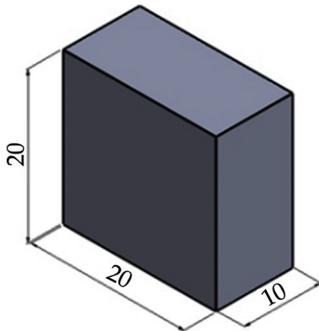
2. การใช้ S/N Ratio อาจไม่เหมาะสมในกรณีที่มีข้อมูลไม่ต่อเนื่องหรือมีการวัดผลลัพธ์ที่ซับซ้อน จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า มีงานวิจัยจำนวนมากได้นำวิธีทางสถิติมาหาปัจจัยที่ดีที่สุด เช่น [14] ได้ศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ บนการตัดอะคริลิกโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์ของตัวแปรทางสถิติ เกรย์และวิธีการตอบสนองพื้นผิว โดยวิเคราะห์ปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ กำลังเลเซอร์ ความเร็วตัดและระยะห่างของ Nozzle ถึงชิ้นงาน จากผลการทดลองพบว่า พารามิเตอร์กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดคือ กำลังเลเซอร์ 65 % ความเร็วในการตัด 4 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะห่างของหัวตัด 4 มิลลิเมตร ในขณะที่จากผลลัพธ์ของวิธี RSM พารามิเตอร์กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดคือ 75 % ของกำลังเลเซอร์ ความเร็วในการตัด 5.9 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะห่างของหัวตัด 3 มิลลิเมตร นอกจากนี้ [15] ได้ศึกษาถึงการตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการ FDM ต่อสมบัติเชิงกลของตัวอย่าง PA12 ที่พิมพ์แบบสามมิติโดยใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบการทดลองแบบ L8 โดยกำหนดปัจจัยด้านความหนา อุณหภูมิเครื่องอัดรีด โครงสร้างชิ้นงาน และอัตราการยึดติด พบว่า ความหนาเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการปรับปรุงสมบัติทางกล ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงกระแทกที่เหมาะสมที่สุดที่กำหนดสำหรับพารามิเตอร์กระบวนการ คือ 0.25 มิลลิเมตร 50 % เส้นตรง และ 250 °C ตามลำดับ นอกจากนี้ [16] ได้ศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพพารามิเตอร์การพิมพ์ 3 มิติโดยใช้วิธีทางสถิติเพื่อตรวจสอบสมบัติทางกลของอะคริลไนไตรล์ สไตรีน อะคริเลต (ASA) โดยศึกษาปัจจัยด้านการวางแนว อุณหภูมิการพิมพ์ ความสูงของชั้น สารเติม และมุมแรสเตอร์พบว่า ความหนาแน่นของสารเติมและความสูงของชั้นมีอิทธิพลมากที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและเครื่องมือ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ อะคริลิกใสเกรดการค้า หนา 10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้มากในการทำเป็นแม่พิมพ์หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ตกแต่ง งานป้ายต่าง ๆ เนื่องจากมันมีความใสคล้ายแก้ว มีความคงทนและแข็งแรง อะคริลิกจะถูกตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ (LINTCNC รุ่น LT-1390, China) ดังรูปที่ 1 ข้อกำหนดและคุณลักษณะของเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ดังตารางที่ 1 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเลเซอร์แบบ CO₂ นั้น จะมีแหล่งกำเนิดลำแสงเป็นหลอดแก้วแบบปิดผนึกภายในเต็มไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงสูงไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคก๊าซภายในหลอดแก้ว จะทำให้เกิดเป็นลำแสงที่มีพลังงานความร้อนสูงและส่งถ่ายพลังงานความร้อนผ่านเลนส์สะท้อนแสงมายังหัว Nozzle ซึ่งมีเลนส์โฟกัสอยู่ภายในเพื่อบีบลำแสงให้แคบและมีความเข้มสูงเพียงพอที่จะทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและขาดออกจากกัน [17] - [18] หลักการทำงานของเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ดังรูปที่ 2 ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ตามแบบงานที่กำหนด โดยเริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม RD Works V8.0 ซึ่งสามารถส่งผ่านข้อมูลผ่านบอร์ดควบคุมแบบ Ruida Controller ทำให้เครื่องจักรทำงานตามแบบได้ โปรแกรมสามารถกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการตัดงานได้ เช่น ระยะห่างระหว่างหัวตัด (Nozzle) ถึงผิวบนชิ้นงาน (ปรับตั้งแบบอัตโนมัติ) ความเร็ว (Speed) กำลังสูงสุด

(Max Power) และกำลังต่ำสุด (Min Power) เป็นต้น โดยค่ากำลังสูงสุด (Max Power) คือ ระดับพลังงานที่ใช้สำหรับเลเซอร์ขึ้นงานเมื่อเดินเป็นเส้นตรงที่ความเร็วตามที่ถูกตั้งค่าไว้ ส่วนค่ากำลังต่ำสุด (Min Power) คือ ระดับพลังงานที่ใช้สำหรับเดินแนวเส้นโค้งหรือการเดินในแนวเส้นตรงที่ความเร็วต่ำเท่านั้น ในระบบ Ruida Controller จะเริ่มต้นใช้ “Min Power” เมื่อเป็นความเร็วเริ่มต้น (หรือความเร็วเชิงมุม) และจะค่อย ๆ เพิ่มกำลังเข้าสู่ “Max Power” เมื่อถึงความเร็วที่กำหนด



(ก) ขนาดชิ้นงานตัวอย่าง



(ข) หัวตัด (Nozzle)

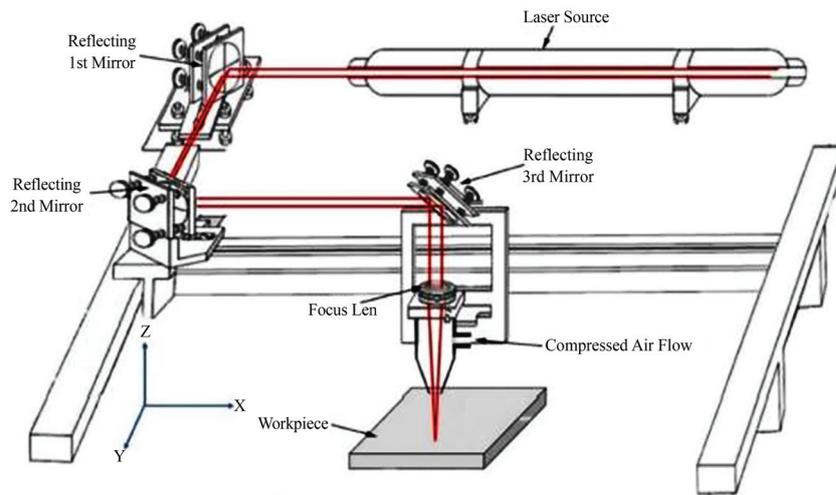


(ค) เครื่องตัดเลเซอร์ CO₂

รูปที่ 1 ชิ้นงานตัวอย่างและเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดและคุณลักษณะของเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂

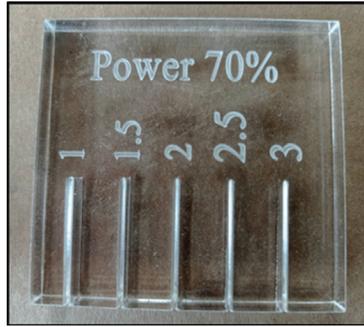
เครื่องหมายการค้า	กำลังแสงเลเซอร์	มอเตอร์	ขนาดตัวเครื่องของตำแหน่ง	ความแม่นยำ
LINTCNC	100 W	สเต็ปเปอร์มอเตอร์	1980 x 1140 x 1220 มิลลิเมตร	< 0.01
รุ่น	หลอดเลเซอร์	พื้นที่ทำงาน	การระบายความร้อนของท่อเลเซอร์	ความเที่ยงตรงในการสแกนสูงสุด
LT-1390	หลอดแก้ว CO ₂ แบบปิดผนึก	1300 x 900 มิลลิเมตร	ระบายความร้อนด้วยน้ำ	0.0254 มิลลิเมตร



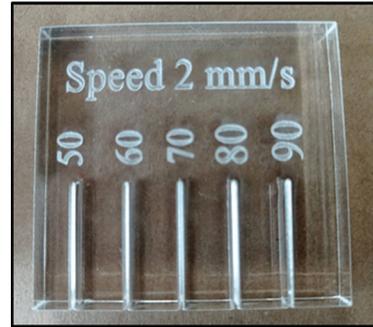
รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ [19]

2. การกำหนดปัจจัยการทดลองทางสถิติ

การกำหนดปัจจัยการทดลองเป็นการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวอย่างหลังการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ซึ่งปัจจัยการทดลองประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ปัจจัยคงที่และปัจจัยแปรผัน โดยปัจจัยคงที่ได้แก่ ระยะห่างระหว่างหัวตัด (Nozzle) ถึงผิวบนชิ้นงานเท่ากับ 14 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่โรงงานผลิตแนะนำ และปัจจัยแปรผัน ได้แก่ ความเร็ว (Speed) กำลังสูงสุด (Max Power) กำลังต่ำสุด (Min Power) ตัวแปรตอบสนองคือ ค่าความหนาผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดตัวอย่างหลังการตัด ในการกำหนดระดับของปัจจัยการทดลอง ผู้วิจัยได้ทดลองตัดชิ้นงานโดยกำหนดค่าปัจจัยที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบหาความเร็วกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดที่ทำให้สามารถตัดชิ้นงานให้ขาดออกจากกันได้ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดกำลังสูงสุดและต่ำสุดที่ 70 % ของกำลังแสงเลเซอร์ ปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ 5 ระดับ ได้แก่ 1 1.5 2 2.5 และ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 3(ก) และ (ค) พบว่า ที่ความเร็ว 1 1.5 และ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที รอยตัดจะขาดจากผิวด้านบนทะลุลงสู่ผิวด้านล่าง แต่เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.5 และ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที จะพบว่า รอยตัดจะขาดจากผิวด้านบนแต่ไม่ทะลุลงสู่ผิวด้านล่าง ซึ่งเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นการหลอมละลายทะลุลงสู่ผิวด้านล่างจะยิ่งลดต่ำลง ในการทดลองลำดับต่อมาเป็นการหากำลังสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกันเมื่อกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่คงที่เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 5 ระดับ ได้แก่ 50 60 70 80 และ 90 % ของกำลังแสงเลเซอร์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 3(ข) และ (ง) พบว่า เมื่อทดลองตัดด้วยกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดเท่ากับ 50 และ 60 % รอยตัดจะขาดจากผิวด้านบนแต่ไม่ทะลุลงสู่ผิวด้านล่าง เมื่อตัดด้วยกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดเท่ากับ 70 80 และ 90 % รอยตัดจะขาดจากผิวทะลุลงสู่ผิวด้านล่าง อาจกล่าวได้ว่าเมื่อกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดเพิ่มมากขึ้นการหลอมละลายทะลุลงสู่ผิวด้านล่างจะยิ่งมากขึ้น ซึ่งผลเช่นนี้เป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่องตัดเลเซอร์รุ่นนี้ กำหนดไว้ว่าจะสามารถตัดอะคริลิกได้ที่มีความหนาสูงสุดไม่เกิน 15 มิลลิเมตร ดังนั้นหากต้องการตัดอะคริลิกที่มีความหนาสูง การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะต้องต่ำและกำลังไฟจะต้องสูง



(ก) รอยตัดจากผิวด้านบน
กำลังไฟสูงสุดและต่ำสุด 70 %
ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1 - 3 มม./วินาที



(ข) รอยตัดจากผิวด้านบน
ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 มม./วินาที
กำลังไฟสูงสุดและต่ำสุด 50 - 90 %



(ค) รอยตัดจากผิวด้านข้าง
กำลังไฟสูงสุดและต่ำสุด 70 %
ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1 - 3 มม./วินาที
รูปที่ 3 การทดสอบหาระดับปัจจัยการทดลองในด้านกำลังไฟและความเร็วในการตัด



(ง) รอยตัดจากผิวด้านข้าง
ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 มม./วินาที
กำลังไฟสูงสุดและต่ำสุด 50 - 90 %

จากการทดสอบหาระดับปัจจัยการทดลอง ดังรูปที่ 3 ทำให้สามารถกำหนดระดับของปัจจัยทั้งในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่ กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดได้ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่มี 3 ระดับ คือ 1 1.5 และ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที และกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดมี 3 ระดับ คือ 70 80 และ 90 % ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ โดยมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวอย่างทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ดังตารางที่ 2 และใช้ Orthogonal Array แบบ L9 (3³) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)	
Speed (S)	1	1.5	2	mm/s
Max Power (P1)	70	80	90	%
Min Power (P2)	70	80	90	%
ตัวแปรตอบสนอง	ความหยาบผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด			

ตารางที่ 3 Orthogonal Array L9 (3³)

Run Order	Speed (mm/s)	Max Power (%)	Min Power (%)
1	1.0	70	70
2	1.0	80	80
3	1.0	90	90

ตารางที่ 3 Orthogonal Array L9 (3³) (ต่อ)

Run Order	Speed (mm/s)	Max Power (%)	Min Power (%)
4	1.5	70	80
5	1.5	80	90
6	1.5	90	70
7	2.0	70	90
8	2.0	80	70
9	2.0	90	80

3. การวัดค่าความหยาบผิวและขนาดตัวอย่าง

การวัดค่าความหยาบผิวจะทำการวัดด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวแบบพกพา (Mitutoyo รุ่น SJ-210, Japan) และสอบเทียบด้วยแผ่นเทียบผิวมาตรฐาน Mitutoyo Ra 2.97 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4 โดยวัดค่าเฉลี่ยความหยาบผิวแบบ Ra (Arithmetical Roughness Mean) ซึ่งเป็นการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัดได้ การวัดค่าความหยาบผิวจะทำการวัดบนพื้นผิวชิ้นงานตามแนวเส้นตรงทั้ง 4 ด้าน ๆ ละ 2 จุด รวมทั้งสิ้น 8 จุดต่อตัวอย่าง จากนั้นนำค่าความหยาบผิวที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวัดขนาดตัวอย่างหลังการตัดจะทำการวัดด้วยไมโครมิเตอร์วัดนอก (Insize รุ่น 3210-25A, China) ช่วงการวัด 0 - 25 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร โดยทำการวัดขนาดตัวอย่างด้านกว้าง 2 จุด และด้านยาว 2 จุด รวมทั้งสิ้น 4 จุดต่อตัวอย่าง นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด (Error Dimension) ดังสมการที่ (1)



(ก) เครื่องวัดความหยาบผิว Mitutoyo รุ่น SJ-210

(ข) แผ่นเทียบผิวมาตรฐาน

รูปที่ 4 เครื่องวัดความหยาบผิวแบบพกพา (Mitutoyo รุ่น SJ-210, Japan) และแผ่นเทียบผิวมาตรฐาน Mitutoyo Ra 2.97 ไมโครเมตร

$$\text{Error Dimension} = \frac{\text{ขนาดที่ต้องการ} - \text{ขนาดที่วัดได้}}{\text{ขนาดที่ต้องการ}} \times 100 \quad (1)$$

4. การทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองเพื่อยืนยันผลจะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิวและสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด โดยการตัดชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง สำหรับวัดค่าความหยาบผิวและชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง สำหรับวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ต้องไม่มากกว่า 15 %

ผลการทดลอง

1. ผลของค่าความหยาบผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

ในการทดลองแบบทฤษฎี จะใช้การทดลองทั้งสิ้น 9 การทดลอง โดยตัวอย่างทั้ง 9 การทดลอง จะถูกนำมาวัดค่าความหยาบผิวแบบ Ra และทำการวัดขนาดของตัวอย่างหลังการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ จากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้ไปดำเนินการหาค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด ผลที่ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าความหยาบผิว (Ra) ขนาดของตัวอย่างหลังการตัดและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

Run Order	Speed (mm/s)	Max Power (%)	Min Power (%)	Ra (ไมโครเมตร)	S.D. Ra	Dimension (mm)	S.D. Dim	Error Dimension (%)
1	1.0	70	70	0.184	0.079	14.499	0.013	3.34
2	1.0	80	80	0.159	0.068	14.544	0.008	3.04
3	1.0	90	90	0.118	0.034	14.445	0.007	3.70
4	1.5	70	80	0.217	0.086	14.609	0.030	2.61
5	1.5	80	90	0.168	0.051	14.670	0.210	2.20
6	1.5	90	70	0.183	0.065	14.563	0.037	2.92
7	2.0	70	90	0.185	0.109	14.621	0.021	2.53
8	2.0	80	70	0.193	0.085	14.622	0.111	2.52
9	2.0	90	80	0.200	0.025	14.651	0.087	2.33

การวิเคราะห์ผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยด้านความเร็ว กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด โดยผู้วิจัยได้นำค่าความหยาบผิว (Ra) และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด มาพิจารณาวิเคราะห์ปัจจัยรบกวน (S/N Ratio) ด้วยโปรแกรม Minitab 18 โดยในงานวิจัยนี้ต้องการให้ค่าความหยาบผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดมีค่าน้อยที่สุด จึงได้พิจารณาเลือก “ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better)” คือค่าที่ดีที่สุด ดังสมการที่ (2) และผลการวิเคราะห์ปัจจัยรบกวนของเทคนิคทฤษฎี ดังตารางที่ 5

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \tag{2}$$

เมื่อ

- S/N คือ อัตราส่วนสัญญาณไปยังสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio)
- y คือ ค่าของตัวแปรตาม (Response Variable)
- n คือ จำนวนชุดข้อมูล

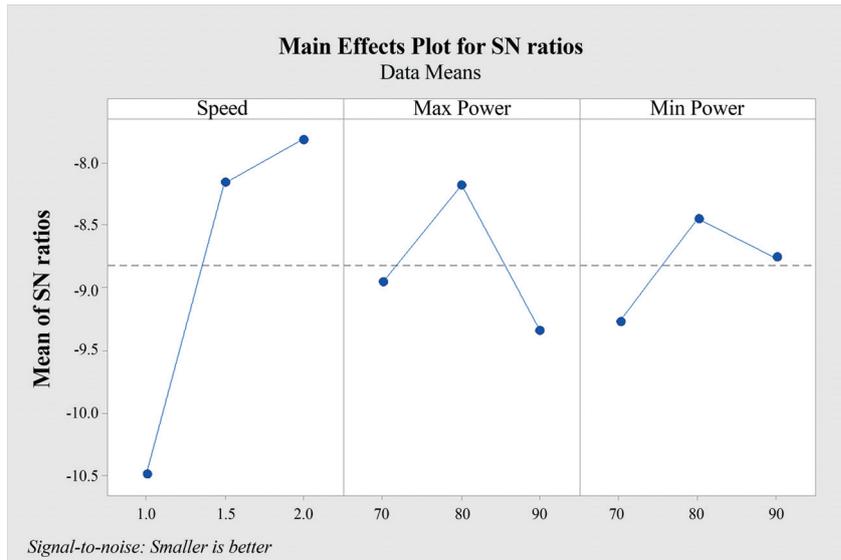
ตารางที่ 5 ค่า S/N Ratio ของค่าความหยาบผิว (Ra) และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

Run Order	Speed (mm/s)	Max Power (%)	Min Power (%)	S/N ratio of Ra (ไมโครเมตร)	S/N ratio of Error Dimension (%)
1	1.0	70	70	14.7036	-10.4749
2	1.0	80	80	15.9721	-9.6575
3	1.0	90	90	18.5624	-11.3640
4	1.5	70	80	13.2708	-8.3328
5	1.5	80	90	15.4938	-6.8485
6	1.5	90	70	14.7510	-9.3077
7	2.0	70	90	14.6566	-8.0624
8	2.0	80	70	14.2889	-8.0280
9	2.0	90	80	13.9794	-7.3471

ตารางที่ 5 แสดงผลค่า S/N Ratio ของค่าความหยาบผิว (Ra) และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด จากสมการที่ (2) ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better) ตามการออกแบบการทดลองของทากูชิแบบ Orthogonal Array L9 (3^3) พบว่า S/N Ratio ของค่าความหยาบผิว (Ra) ที่มีค่ามากที่สุดที่ 18.5624 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากปัจจัยด้านความเร็วในการตัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และกำลังสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 90 % ส่วน S/N Ratio ของความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดที่มีค่ามากที่สุดที่ -6.8485 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากปัจจัยด้านความเร็วในการตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และกำลังสูงสุด 80 % และกำลังต่ำสุดเท่ากับ 90 % อย่างไรก็ตามผลที่ได้นี้เกิดจากตัวอย่างการทดลองเพียง 9 ตัวอย่างเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิว (Ra) และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด จึงต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัยแต่ละปัจจัยและแต่ละระดับของปัจจัย โดยการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักของค่าความหยาบผิว ดังรูปที่ 4 และผลกระทบของปัจจัยหลักของความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับ S/N Ratio ของค่าความหยาบผิว



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่า S/N Ratio ของค่าคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

จากรูปที่ 5 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่า S/N Ratio ของค่าความหยาบผิวพบว่า เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็ว กำลังสูงสุด และกำลังต่ำสุด จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักสำหรับค่า S/N Ratio ที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 90 % ซึ่งจะทำให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดที่ 0.118 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของ S/N Ratio ของค่าความหยาบผิวลดลง [7], [14] ซึ่งตรงกันข้ามกับค่ากำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด เมื่อเพิ่มกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดให้สูงขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของ S/N Ratio ของค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ผลเช่นนี้เกิดจากความเร็วในการตัดที่ต่ำ กำลังเลเซอร์ที่สูงจะส่งผลให้คุณภาพของพื้นผิวดีขึ้นเนื่องจากเกิดความร้อนสูงในบริเวณที่ถูกตัดทำให้การกำจัดโลหะหลอมเหลวออกจากบริเวณตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเร็วในการตัดที่สูงขึ้นทำให้พื้นผิวหยาบขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิลดลง การเพิ่มกำลังเลเซอร์จะปรับปรุงการไหลของการหลอมในบริเวณการตัด และส่งผลให้คุณภาพพื้นผิวดีขึ้น [20] - [21]

จากรูปที่ 6 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่า S/N Ratio ของค่าคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดพบว่า เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่า S/N Ratio ที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นจาก 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปจนถึง 2 มิลลิเมตรต่อวินาที จะทำให้ค่าเฉลี่ยของ S/N Ratio ของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดจะเพิ่มขึ้น [7], [14] ซึ่งแตกต่างกับค่ากำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด เมื่อเพิ่มกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดให้สูงขึ้นจาก 70 % ไป 80 % จะทำให้ค่าเฉลี่ยของ S/N Ratio ของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดจะเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดเพิ่มขึ้นจาก 80 % ไปจนถึง 90 % ดังนั้นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดน้อยที่สุด คือ ความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 80 % ซึ่งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดน้อยที่สุด ผลนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [17] ที่กล่าวว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเลเซอร์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับทั้งความหยาบของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเลเซอร์ที่สูงขึ้นทำให้ความหยาบของพื้นผิวเพิ่มขึ้นและความคลาดเคลื่อนของขนาดลดลง

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลังจากวิเคราะห์ปัจจัยการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA เพื่อศึกษาความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะที่เหมาะสมในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ของค่าความหยาบผิว ดังตารางที่ 6 สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิวได้ ดังสมการที่ (3) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด ดังตารางที่ 7 สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดได้ ดังสมการที่ (4)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิว

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.004806	0.001602	5.03	0.057
Speed	1	0.002282	0.002282	7.16	0.044*
Max Power	1	0.001204	0.001204	3.78	0.109
Min Power	1	0.001320	0.001320	4.15	0.097
Error	5	0.001592	0.000318		
Total	8	0.006398			

S = 0.0178459 R-sq = 75.11 % R-sq(adj) = 60.18 %

สมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิว

$$Ra = 0.3521 + 0.0390 \text{ Speed} - 0.001417 \text{ Max Power} - 0.001483 \text{ Min Power} \quad (3)$$

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดไม่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของ อะคริลิก หลังการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์อย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญคือ ปัจจัยด้านความเร็ว โดยสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิวดังสมการที่ (3)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1.27223	0.42408	3.17	0.123
Speed	1	1.21500	1.21500	9.07	0.030
Max Power	1	0.03682	0.03682	0.27	0.622*
Min Power	1	0.02042	0.02042	0.15	0.712*
Error	5	0.66966	0.13393		
Total	8	1.94189			

S = 0.365966 R-sq = 65.52 % R-sq(adj) = 44.82 %

สมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด

$$\text{Error Dimension} = 3.99 - 0.900 \text{ Speed} + 0.0078 \text{ Max Power} - 0.0058 \text{ Min Power} \quad (4)$$

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านความเร็วในการตัดมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงาน หลังการตัดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่า P-Value ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 0.05 ในส่วนปัจจัยด้านกำลังสูงสุดและ กำลังต่ำสุดไม่มีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานหลังการตัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยสมการสัมประสิทธิ์การถดถอย สำหรับความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด ดังสมการที่ 4

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด หลังการตัด ดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7 พบว่า ค่า R-sq(adj) มีค่าเท่ากับ 60.18 % และ 44.82 % สามารถ

อธิบายได้ว่า ค่า $R\text{-sq}(\text{adj})$ ที่มีค่าต่ำกว่า 80 % แสดงถึงโมเดลไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ดีพอ โดยโมเดล Linear Regression ที่ได้รับจากการทดสอบ ไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ซึ่งอาจจะเกิดจากมีบางตัวแปรที่ใช้ในการทดลองส่งผลต่อตัวแปรตามมาก ในการดำเนินการวิจัยในอนาคตควรเพิ่มจำนวนสิ่งตัวอย่างให้มากขึ้น และใช้วิธี Blocking ตัวแปรที่มีแนวโน้มว่าจะมีค่าความแปรปรวนมากกับตัวแปรตาม

3. การทดลองเพื่อยืนยันผล

ผลการคำนวณจากสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิว (สมการที่ (3)) จะได้ค่า R_a เท่ากับ 0.139 ไมโครเมตร โดยแทนค่าความเร็วตัดเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังไฟสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 90 % ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัด (สมการที่ (4)) จะเท่ากับ 2.35 % ที่ความเร็วตัดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังไฟสูงสุดและกำลังไฟต่ำสุดเท่ากับ 80 %

ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวซ้ำ ดังตารางที่ 8 โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง (ค่าเฉลี่ยจากการวัดบนพื้นผิวทั้ง 4 ด้านละ 1 จุด) พบว่า ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 10 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.1508 ไมโครเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.02 ซึ่งแตกต่างจากค่าความหยาบผิวที่ได้จากสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยอยู่ 0.0118 ไมโครเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดซ้ำ โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง (ค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 จุด) ดังตารางที่ 9 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.542 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.123 ซึ่งแตกต่างจากค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดที่ได้จากสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยอยู่ 0.192 คิดเป็นร้อยละ 8.17 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 8 ผลการวัดค่าความหยาบผิวซ้ำ

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
R_a	0.135	0.137	0.155	0.156	0.168	0.160	0.143	0.159	0.129	0.168	0.1508
S.D.	0.011	0.021	0.025	0.032	0.030	0.024	0.010	0.028	0.010	0.008	0.020

ตารางที่ 9 ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดซ้ำ

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
Error Dimension	2.567	2.403	2.367	2.180	2.313	2.207	2.670	2.790	2.253	2.767	2.452
S.D.	0.170	0.101	0.208	0.027	0.198	0.016	0.077	0.136	0.013	0.287	0.123

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและขนาดของชิ้นงานในการตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO_2 โดยวิธีทฤษฎี ผลการทดลองได้รับการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทำความเข้าใจถึงอิทธิพลของปัจจัย ได้แก่ ความเร็ว กำลังไฟสูงสุดและกำลังไฟต่ำสุด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยด้านความเร็วส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. เมื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ให้ต่ำลง และเพิ่มกำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุดให้สูงขึ้น จะทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง เนื่องจากเกิดความร้อนสูงในบริเวณที่ถูกตัดทำให้การกำจัดโลหะหลอมเหลวออกจากบริเวณตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและส่งผลให้คุณภาพพื้นผิวดีขึ้น

3. ค่าความหยาบผิว (Ra) สำหรับการทดลองโดยวิธีทากูชิ แบบ Orthogonal Array L9 อยู่ระหว่าง 0.118 ถึง 0.217 ไมโครเมตร ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 90 %

4. ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดสำหรับการทดลองโดยวิธีทากูชิ แบบ Orthogonal Array L9 อยู่ระหว่าง 2.20 ถึง 3.70 % ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหลังการตัดน้อยที่สุด คือ ความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กำลังสูงสุดและกำลังต่ำสุด 80 %

5. ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้การตัดอะคริลิกกับเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ที่มีกำลังของหลอดเลเซอร์ที่ใกล้เคียงกันได้

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ที่มีกำลังของหลอดเลเซอร์ขนาด 100 วัตต์เท่านั้น โดยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂ ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดนั้นจะมีกำลังของหลอดเลเซอร์ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 50 80 100 130 และ 150 วัตต์ เป็นต้น หากกำลังของหลอดเลเซอร์เปลี่ยนไป อาจส่งผลต่อปัจจัยในการตัดที่แตกต่างออกไป

2. ถึงแม้ว่าการตัดชิ้นงานให้ขาดออกจากกัน โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำและใช้กำลังสูงขึ้น จะทำให้ผิวเรียบที่สุดตามผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามการตัดชิ้นงานโดยเริ่มต้นจากผิวบนจนทะลุลงสู่ผิวด้านล่างอาจทำให้เกิดความเอียงหรือการโก่งที่ผิวชิ้นงานได้ ดังนั้นงานวิจัยต่อไปจะเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วและกำลังที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานหลังการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CO₂

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดความหยาบผิว และขอขอบคุณสาขาวิชาทัศนศิลป์ และมีเดียอาร์ต คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ให้กับทีมงานวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] Pawar, E. (2016). A Review Article on Acrylic PMMA. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**. Vol. 13, Issue 2, pp. 1-4. DOI: 10.9790/1684-1302010104
- [2] Hwayyin, R. N. and Hammood, A. S. (2019). Improving the Properties of Acrylic by Creating Crack Using Laser Beam. In **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Vol. 579, DOI: 10.1088/1757-899X/579/1/012042
- [3] Mushtaq, R. T., Wang, Y., Rehman, M., Khan, A. M., and Mia, M. (2020). State-of-the-Art and Trends in CO₂ Laser Cutting of Polymeric Materials-A Review. **Materials**. Vol. 13, Issue 17, pp. 1-23. DOI: 10.3390/ma13173839
- [4] Wangikar, S. S., Dixit, M. M., Wadekar, S. G., Nagtilak, H. R., Hingmire, N. D., and Shinde, D. P. (2021). Parametric Influence Study for Laser Cutting on Acrylic. In **Proceedings of National Conference on Relevance of Engineering and Science for Environment and Society**. pp. 104-107. DOI: 10.21467/proceedings.118.15

- [5] Moradi, M., Moghadam, M. K., Shamsborhan, M., Beiranvand, Z. M., Rasouli, A., Vahdati, M., Bakhtiari, A., and Bodaghi, M. (2021). Simulation, Statistical Modeling, and Optimization of CO₂ Laser Cutting Process of Polycarbonate Sheets. **Optik**. Vol. 225, DOI: 10.1016/j.ijleo.2020.164932
- [6] Palanisamy, C., Efzan, M. N. E., and Wen, C. C. (2023). Parametric and Heat Affected Zone Study on CO₂ Laser Cutting of Acrylic. **MethodsX**. Vol. 10, DOI: 10.1016/j.mex.2023.102125
- [7] Varsi, A. and Gupta, A. (2022). Influence of Resolution on Surface Roughness During CO₂ Laser Beam Machining. **International Journal of Mechanical Engineering**. Vol. 7, No. 1, pp. 4797-4805
- [8] Anbazhagan, G., Suseela, S. B., and Sankararajan, R. (2023). Design, Analysis and Fabrication of Solid Polymer Microneedle Patch Using CO₂ Laser and Polymer Molding. **Drug Delivery and Translational Research**. Vol. 13, pp. 1813-1827. DOI: 10.1007/s13346-023-01296-w
- [9] Shehab, A. A., Naemah, I. M., Al-Bawee, A., and Al-Ezzi, A. (2020). Hole Characteristic of CO₂ Laser Drilling of Poly-methyl Methacrylate PMMA. **Journal of Mechanical Engineering Research and Developments**. Vol. 43, No. 3, pp. 186-196
- [10] Pathak, A., Siddiqui, T. U., and Hussian, F. (2019). Investigation of Process Parameters of CO₂ Laser Beam Machining on Acrylic. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**. Vol. 8, Issue 5, pp. 4751-4757. DOI: 10.15680/IJIRSET.2019.0805159
- [11] Hanizam, H., Salleh, M. S., Omar, M. Z., and Sulong, A. B. (2019). Optimisation of Mechanical Stir Casting Parameters for Fabrication of Carbon Nanotubes-aluminium Alloy Composite Through Taguchi Method. **Journal of Materials Research and Technology**. Vol. 8, Issue 2, pp. 2223-2231. DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.02.008.
- [12] Rao, R. V. (2011). **Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes: International Research and Development**. Springer Science & Business Media
- [13] Elsheikh, A. H., Deng, W., and Showaib, E. A. (2020). Improving Laser Cutting Quality of Polymethylmethacrylate Sheet: Experimental Investigation and Optimization. **Journal of Materials Research and Technology**. Vol. 9, Issue 2, pp. 1325-1339. DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.11.059
- [14] Oktatian, E., Rosyidi, C. N., Pujiyanto, E., and Oktatian, E. M. (2021). Optimization of CNC CO₂ Laser Cutting Process Parameters on Acrylic Cutting Using Taguchi Grey Relational Analysis and Response Surface Methodology. **Research Square**. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1048691/v1
- [15] Kam, M., İpekçi, A., and Şengül, Ö. (2023). Investigation of the Effect of FDM Process Parameters on Mechanical Properties of 3D Printed PA12 Samples Using Taguchi Method. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**. Vol. 36, Issue 1, pp. 307-325. DOI: 10.1177/08927057211006459
- [16] Hameed, A. Z., Aravind Raj, S., Kandasamy, J., Shahzad, M. A., and Baghdadi, M. A. (2022). 3D Printing Parameter Optimization Using Taguchi Approach to Examine Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) Mechanical Properties. **Polymers**. Vol. 14, No. 16, pp. 1-15. DOI: 10.3390/polym14163256
- [17] Ninikas, K., Kechagias, J., and Salonitis, K. (2021). The Impact of Process Parameters on Surface Roughness and Dimensional Accuracy During CO₂ Laser Cutting of PMMA Thin Sheets. **Journal of Manufacturing and Material Processing**. Vol. 5, Issue 3, DOI: 10.3390/jmmp5030074



- [18] Badoniya, P. (2018). CO₂ Laser Cutting of Different Materials-A Review. **International Journal of Engineering Research and Technology (IRJET)**. Vol. 5, Issue 6, pp. 2103-2115
- [19] Khan, M. M. A., Saha, S., Romoli, L., and Kibria, M. H. (2021). Optimization of Laser Engraving of Acrylic Plastics from the Perspective of Energy Consumption, CO₂ Emission and Removal Rate. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**. Vol. 5, Issue 3, DOI: 10.3390/jmmp5030078
- [20] Sharifi, M. and Akbari, M. (2019). Experimental Investigation of the Effect of Process Parameters on Cutting Region Temperature and Cutting Edge Quality in Laser Cutting of AL6061T6 Alloy. **International Journal for Light and Electron Optics**. Vol. 184, pp. 457-463. DOI: 10.1016/j.ijleo.2019.04.105
- [21] Khoshaim, A. B., Elsheikh, A. H., Moustafa, E. B., Basha, M., and Showaib, E. A. (2021). Experimental Investigation on Laser Cutting of PMMA Sheets: Effects of Process Factors on Kerf Characteristics. **Journal of Materials Research and Technology**. Vol. 11, pp. 235-246. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.01.012