การศึกษาปัจจัยของกำลังแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักกระจกด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

A Study of Laser Power Factors Appropriate of Engraving glass with Carbon Dioxide Laser Machines

ช่อเพชร จำปี[1*] และ ธีรพล ทรัพย์บุญ[2]

Chophet Jumpee[1*] and Theeraphol Sapboon[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

[1]Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University

[2]Department of Engineering Management, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University

[*]Email : chophet@aru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยกำลังแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมต่อการแกะสลักแผ่นกระจกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ชนิดหลอดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกำหนดให้ความหนากระจก 2 มิลลิเมตร ความเร็วการเดินของเลเซอร์ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่ากำลังเลเซอร์ 10-50 วัตต์ และค่าแรงดันลม 0.5 บาร์ ทำการทดลองแกะสลักซ้ำกัน 3 ภาพต่อ 1 แผ่น จำนวน 41 แผ่น หาค่าปัจจัยกำลังแสงเลเซอร์โดยวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานแกะสลัก พบว่าการแกะสลักชิ้นงานด้วยค่ากำลังแสงเลเซอร์ที่ 23 วัตต์ มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.471 ไมโครเมตร ผิวของชิ้นงานมีความหยาบผิวแตกร้าวเล็กน้อย ส่วนที่ค่ากำลังแสงเลเซอร์ 50 วัตต์ มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 15.635 ไมโครเมตร ผิวของชิ้นงานมีความขรุขระและแตกร้าว ดังนั้นการแกะสลักกระจกด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เหมาะสมอยู่ที่ ค่ากำลังแสงเลเซอร์ 23 วัตต์

คำสำคัญ: กำลังแสงเลเซอร์, ค่าความหยาบผิว, แกะสลักกระจก

Abstract

The objectives of this research are to the study of laser power factors appropriate of engraving glass with carbon dioxide laser machines. The glass thickness is 2 millimeters and the laser's walking speed is 100 millimeters per second. The laser power is 10-50 watts and the air pressure value is 0.5 bar. The engraving experiment is repeated 3 images per 1 sheet of 41 sheets. The laser power factor was determined by measuring the surface roughness of the engraved workpiece. It was found that

engraving workpieces with a laser power of 23 watts had a average surface roughness of 1.471 μm. The surface of the workpiece is surface roughness and slightly cracked. As for the laser power of 50 watts, the average surface roughness is 15.635 μm. The workpiece surface is rough and cracked. Therefore, glass etching with a carbon dioxide laser That's right at Laser power 23 watts.

Keywords: Laser Power, Surface Roughness, Engraving Glass

1. บทนำ

ปัจจุบันแสงเลเซอร์มีบทบาทสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมสื่อโฆษณา อุตสาหกรรมเครื่องแต่งกาย อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมรถยนต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นคลื่นแสงที่มีระเบียบ มีลักษณะเป็นลำแสงความเข้มแสงสูง เมื่อทำการปรับโฟกัสจะมีขนาดเล็กสามารถทำงาน เจาะ ตัด เชื่อม วัสดุต่าง ๆ ขณะที่ขนาดของรอยที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและคมชัด ทำให้สามารถทำงานที่มีความละเอียดสูงได้ดี เลเซอร์ที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO_2 Laser) และนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Nd-YAG; Neodymium–Yttrium Aluminum Garnet) โดยที่ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์มีต้นทุนการผลิตที่ถูกกว่า เป็นเลเซอร์ชนิดก๊าซที่ภายในประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน และก๊าซฮีเลียม ในอัตราส่วนประมาณ 1:1:10 อยู่ในแถบรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นที่ประมาณ 10.6 ไมครอน กำลังของแสงเลเซอร์เฉลี่ยประมาณ 10-2,000 วัตต์ โดยเฉพาะกระบวนการแกะสลักด้วยเลเซอร์จะใช้ลำแสงเลเซอร์ในการเผาไหม้บนพื้นผิววัสดุ ลักษณะเป็น การลอกผิวชิ้นงาน ทำให้บริเวณพื้นที่แกะสลักเกิดการหลอมละลายตามความเข้มของแสงเลเซอร์ ตัวแปรที่สำคัญ เช่น กำลังของแสงเลเซอร์ อัตราเร็วในการเดินป้อน ชนิดของก๊าซ และแรงดันก๊าซ ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตชิ้นงานของเครื่องเลเซอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับการควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เหมาะสม กับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงาน (Buriphan, 2011) ดังเช่นงานวิจัยของ ปพน มณีโชติ และคณะ(2018) ได้ทำการศึกษาการนำแสงเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้ในการเซาะร่องกะลามะพร้าวน้ำหอมพร้อมดื่ม แทนการใช้มีดเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าควรเลือกใช้ความเร็วในการเดินของลำแสงเลเซอร์ที่ 10 เซนติเมตรต่อ 1 วินาที และความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ 55% สามารถเซาะร่องได้เร็ว และไม่ทำให้เกิดรอยซึมหรือความเสียหายกับมะพร้าว โดยควรเลือกตำแหน่งที่กะลามีความหนาน้อยที่สุด

Mohammad Muhshin Aziz Khan และคณะ (2021) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการแกะสลักพลาสติกอะครีลิคด้วยเลเซอร์ที่สัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราขจัดเนื้องาน พบว่า กำลังแสงเลเซอร์ที่ 44 วัตต์ ความเร็วในการเดินของลำแสงเลเซอร์ที่ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางทับซ้อนกันของลำแสงเลเซอร์ที่ 0.065 มิลลิเมตร ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และอัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น โดยปัจจัยที่สำคัญคือระยะทางทับซ้อนกันของลำแสงเลเซอร์ (Khan et al., 2021)

Mahmoud Moradi และคณะ (2021) Mahmoud Moradi และคณะ(2021) ได้ทำการศึกษา การแกะสลักด้วยเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ บนวัสดุโพลีคาร์บอเนตที่ผ่านกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่า ที่ความหนาแผ่นโพลี

คาร์บอเนต 3.2 มิลลิเมตร ใช้กำลังแสงเลเซอร์ 8 วัตต์ ความเร็วในการเดินของลำแสงเลเซอร์ 9 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะการโฟกัสของเลเซอร์ เป็น 42 มิลลิเมตร ได้ความลึกของชิ้นงานเป็น 0.95 มิลลิเมตร ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพดี แต่ถ้าลดระยะการโฟกัสของเลเซอร์ เป็น 38 มิลลิเมตร ส่งผลให้เกิดความลึกของชิ้นงานเพิ่มขึ้น 1.25 มิลลิเมตร ชิ้นงานมีความเสียหาย ดังนั้นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญ คือ ตำแหน่งความกว้างของโฟกัสที่ได้รับความร้อนของเลเซอร์

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น พบว่า การแกะสลักด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการขีดเส้นบางๆ ลงบนผิวของวัสดุโดยไม่ทำให้วัสดุแตกออกจากกันตามแนวที่ขีด สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่ใช้ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุประเภทกระจก มาแกะสลักลวดลายด้วยเลเซอร์ เช่น ตัวอักษร รูปภาพต่างๆ ให้ปรากฏบนผิวกระจกในงานประเภท ตู้กระจกครอบพระ ดังรูปที่ 1 ซึ่งให้ความแม่นยำ และความละเอียดสูง โดยขึ้นอยู่กับการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเลเซอร์ กระจกที่ใช้เป็นประเภท กระจกแผ่น (Sheet Glass) หรือกระจกใส (Clear Glass) ที่มีส่วนผสมหลัก คือ ทรายซิลิกา โซดาไฟ หินปูน และโดโลไมต์ มีความหนาอยู่ที่ 2-8 มิลลิเมตร มีค่าการตัดแสงประมาณ 8% ที่ความหนา 12 มิลลิเมตร ค่าการสะท้อนแสงประมาณ 7% ราคาไม่แพง หาซื้อได้ทั่วไป (Kongchairit, 2011) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยของกำลังแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักกระจกด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

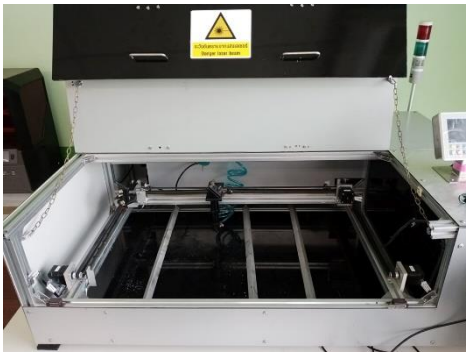
รูปที่ 1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ตู้กระจกครอบพระแกะสลักลาย (ที่มา : https://www.facebook.com/Shopdeede.A)

2. ขอบเขตของการวิจัย

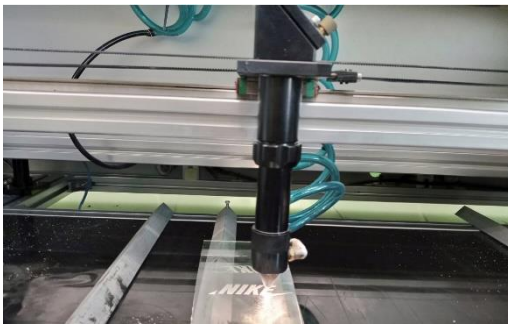
การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการศึกษาปัจจัยของกำลังแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักกระจกด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเครื่องเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 2 มีขนาดกำลังแสงเลเซอร์ 50 วัตต์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นกระจกแผ่นใส ความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 20x10 เซนติเมตร ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 1 ทำการทดลองแกะสลักซ้ำจำนวน 3 ภาพต่อ 1 แผ่นตั้งแต่ค่ากำลังแสงเลเซอร์ที่ 10 วัตต์ จนถึง 50 วัตต์ โดยทำการแกะสลักกระจก จำนวน 3 ภาพ ต่อ 1 แผ่น ที่กำลังแสงเลเซอร์เท่ากัน ทั้งหมด 41 แผ่น จากนั้นนำชิ้นงานไปหาคุณสมบัติค่าความหยาบผิวเฉลี่ย

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	**ระดับ**
ค่ากำลังเลเซอร์	10-50 วัตต์
ค่าความเร็วการเดินของเลเซอร์	100 มม./วินาที
ระยะห่างของหัวเลเซอร์กับชิ้นงาน	8 มม.
ขนาดแรงดันลมที่ใช้	0.5 บาร์



รูปที่ 2 เครื่องเลเซอร์ TAC-LASER Engraving-R1

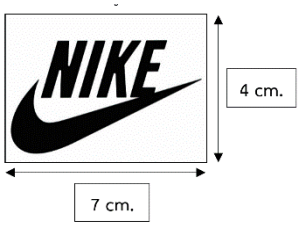


รูปที่ 4 การแกะสลักกระจกด้วยเครื่องเลเซอร์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบชิ้นงานแกะสลักกระจก

ทำการออกแบบชิ้นงานบนกระจกใสความหนา 2 มิลลิเมตร ใช้โปรแกรม RDWorks ในการออกแบบ ขนาดของภาพอยู่ที่ 4x7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3



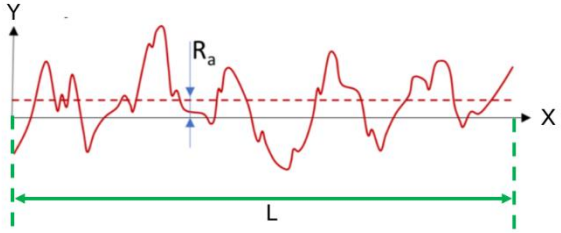
รูปที่ 3 ตัวอย่างรูปภาพที่ใช้ในการทดลองการแกะสลัก

3.2 การแกะสลักชิ้นงานกระจก

การแกะสลักชิ้นงานกระจก ทำการวางชิ้นงานบนเครื่องเลเซอร์ ที่ใช้ในการทดลอง ตั้งค่าพารามิเตอร์ในการแกะสลักกระจก ได้แก่ ค่าความเร็วการเดินของเลเซอร์ 100 มิลลิเมตร/วินาที ระยะห่างของหัวเลเซอร์กับชิ้นงาน 8 มิลลิเมตร และแรงดันลมที่ใช้ 0.5 บาร์ เริ่มทำการแกะสลักกระจกที่กำลังแสงเลเซอร์ที่ 10 วัตต์ จนถึง 50 วัตต์ (เนื่องจากช่วงกำลังแสงเลเซอร์ที่ 1-9 วัตต์ ไม่สามารถแกะสลักกระจกได้) แกะสลักกระจก จำนวน 3 ภาพ ต่อ 1 แผ่น ที่กำลังแสงเลเซอร์เท่ากัน ดังรูปที่ 4

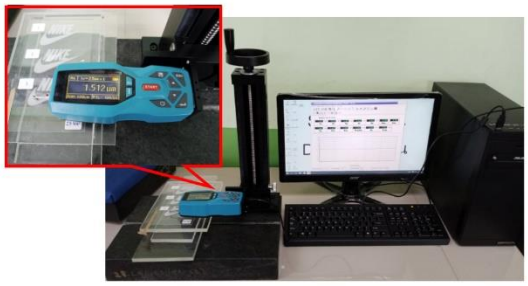
3.3 การวัดคุณสมบัติค่าความหยาบผิว

การวัดความหยาบของพื้นผิว เป็นสมบัติทางโลหะวิทยาในการแสดงขนาดความขรุขระของผิว หากมีความขรุขระมาก แสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระน้อย แสดงว่ามีความหยาบน้อย โดยที่การวัดแบบความหยาบผิวเฉลี่ย (Average roughness, Ra) เป็นค่าที่ดีที่สุด และได้รับการยอมรับในงานด้านวิศวกรรม ตามมาตรฐานของ ISO 4287 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นอ้างอิงกับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นอ้างอิง หารด้วยความยาวเฉลี่ย (L) ตามแนวแกน X ของเส้นอ้างอิง และแนวแกน Y จะเป็นขนาดความหยาบผิว มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) (Kongcharoen, 2019) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างในการหาค่าความหยาบเฉลี่ย (Ra)

กำหนดระยะที่ทำการวัดจากใต้ตัวอักษรลงมา15 เซนติเมตร วัดตามแนวแกน X ดังรูปที่ 6 ทำการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย โดยใช้เครื่อง Roughness Tester รุ่น Srt-300 ทำการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้ง 3 ภาพ ต่อ 1 แผ่น ที่กำลังแสงเลเซอร์เท่ากัน เพื่อนำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้ง 3 ภาพ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ตำแหน่งการวัดค่าความหยาบผิว

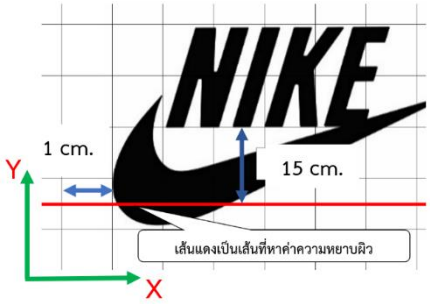
รูปที่ 7 การวัดคุณสมบัติค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน

4. ผลการทดลอง

จากการศึกษาการแกะสลักภาพบนแผ่นกระจก โดยใช้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ของเครื่องเลเซอร์ตั้งแต่ 10-50 วัตต์ เป็นปัจจัยในการทดลองแกะสลักภาพที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพได้ผลการทดลองดังนี้

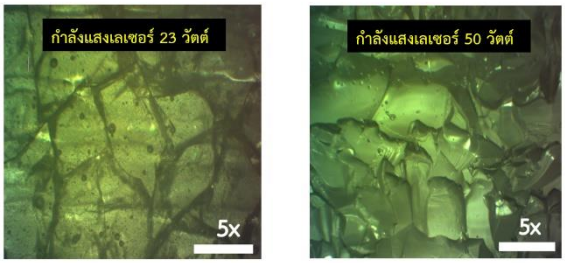
4.2 ผลการทดลองการส่องกล้องจุลทรรศน์

จากการทดลองการแกะสลักแผ่นกระจก โดยทำการทดลอง 3 ภาพต่อ 1 แผ่น พบว่าการแกะสลักที่ค่ากำลังแสงเลเซอร์ 10-19 วัตต์ เมื่อดูด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นผิวของชิ้นงานจะมีผิวที่มีความหยาบน้อย แต่ลายแกะสลักไม่คมชัด ส่วนค่ากำลังแสงเลเซอร์ 20-33 วัตต์ ตัวผิวของชิ้นงานค่อนข้างจะมีผิวที่มีความหยาบน้อยเหมือน 10-19 วัตต์ แต่จะเริ่มมีรอยแตกตามบริเวณขอบชิ้นงานเล็กน้อย ลายแกะสลักเริ่มคมชัด และพื้นผิวกระจกเริ่มมีสีขาวขุ่นขึ้น เมื่อใช้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ 34-50 วัตต์ ผิวของชิ้นงานเริ่มที่จะแตกและลอกออกมากขึ้น ดังนั้นยิ่งใช้กำลังแสงเลเซอร์ในแกะสลักสูงมากเท่าไร เนื้อผิวชิ้นงานก็จะยิ่งแตกลอกออกมามากขึ้น เรื่อย ๆ ตามความร้อนของกำลังแสงเลเซอร์ที่ยิงลงบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เปรียบเทียบชิ้นงานกำลังเลเซอร์ที่แตกต่างกัน

เมื่อทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย x5 พบว่า กำลังแสงเลเซอร์ที่ 23 วัตต์ เนื้อผิวกระจกมีเรียบ มีรอยแตกร้าวเล็กน้อย ส่วนกำลังแสงเลเซอร์ที่ 50 วัตต์ เนื้อผิวกระจกมีความแตกร้าว และเนื้อผิวมีการหลอมละลายจนนูนขึ้นมาเป็นผิวซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 9

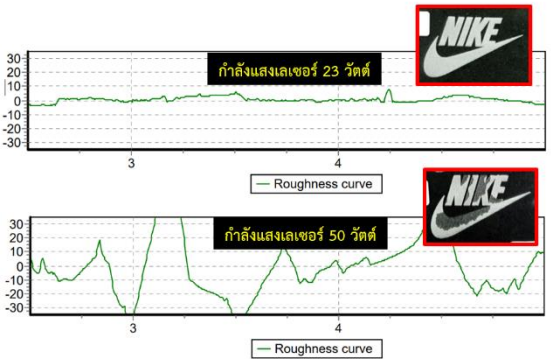


รูปที่ 9 ภาพถ่ายชิ้นงานกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย x5

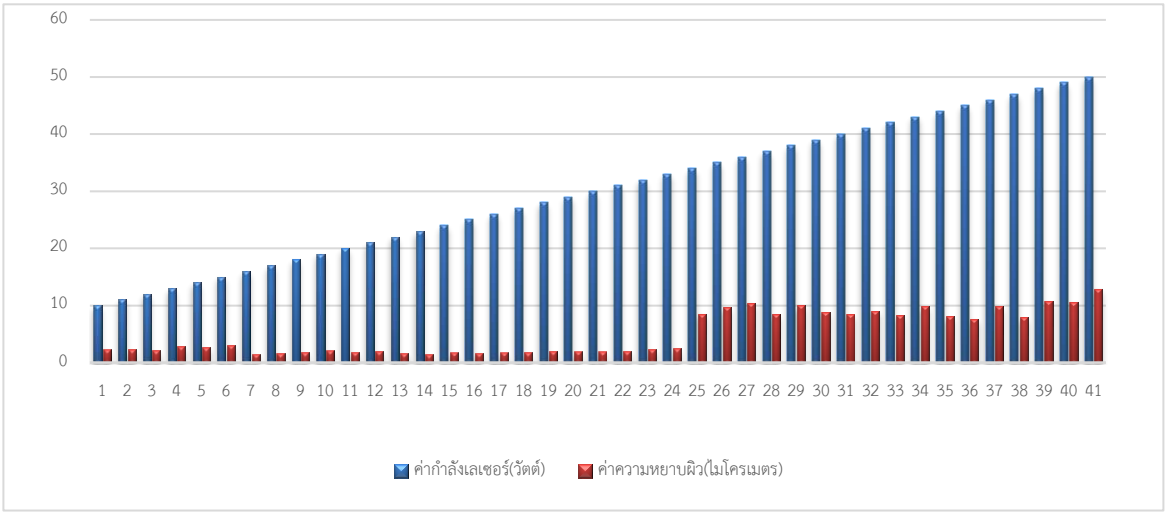
4.2 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิว

จากผลการทดลองหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ย จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 41 แผ่น พบว่าค่ากำลังแสงเลเซอร์ที่ 10-33 วัตต์ มีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ที่ 1.538 ไมโครเมตร จนถึง 3.042 ไมโครเมตร เป็นค่าความหยาบผิวที่อยู่ระดับน้อยถึงปานกลาง ผิวชิ้นงานมีความขรุขระและบางส่วนมีการแตกร้าวเล็กน้อย ส่วนค่ากำลังแสงเลเซอร์ 34-50 วัตต์ มีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ย เริ่มที่ 7.605 ไมโครเมตร จนถึง 12.903 ไมโครเมตร เป็นค่าความหยาบผิวที่อยู่ในระดับสูง ผิวชิ้นงานมีความแตกและลอกออกมา

เนื้อผิวจะมีความขรุขระมาก และบางผิวชิ้นงานมีการกินลึกเข้าไปในเนื้องาน ดังนั้นกำลังแสงเลเซอร์ที่ดีที่สุดในการแกะสลักกระจกอยู่ที่ 23 วัตต์ มีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ย 1.538 ไมโครเมตร และส่วนกำลังแสงเลเซอร์ที่ 50 วัตต์ ให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยสูงที่สุด 12.903 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 10 ถ้าพิจารณาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ดีที่สุดต่อ 1 ชิ้นงาน พบว่า ที่กำลังแสงเลเซอร์ 23 วัตต์ มีค่า 1.471 ไมโครเมตร และค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่สูงที่สุด อยู่ที่ 15.635 ไมโครเมตร กำลังแสงเลเซอร์ที่ 50 วัตต์ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย
ที่กำลังแสงเซอร์เลเซอร์ 23 วัตต์ และ 50 วัตต์



รูปที่ 10 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย Ra

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอปัจจัยกำลังแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมต่อการแกะสลักแผ่นกระจกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ชนิดหลอดคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากกระบวนการแกะสลักพื้นผิวกระจกด้วยเลเซอร์ เป็นการให้ความร้อนที่วัสดุ โดยวัสดุจะดูดซับพลังงานความร้อนจากลำแสงเลเซอร์เข้าไปในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุอ่อนตัว ละลาย เผาไหม้ หรือระเหยออกไป ลักษณะและขนาดของพื้นผิวที่ผ่านการเลเซอร์จะแตกต่างกันไปตามกำลังของแสงเลเซอร์และระยะห่างของแนวการแกะสลักที่ได้ เมื่อเพิ่มกำลังแสงเลเซอร์ เนื้อวัสดุบนพื้นผิวกระจกก็เกิดการหลอมเหลวมากขึ้นทำให้เกิดชั้นผิวขึ้นมาใหม่ และมีการซ้อนทับกันมากขึ้น หรืออาจทำให้เนื้อของวัสดุหลุดออกจากพื้นผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้พื้นผิวของวัสดุมีค่าความหยาบผิวที่สูง ดังนั้นความเร็วในการเดินของลำแสงเลเซอร์ที่เร็วต้องมีความสัมพันธ์กับกำลังแสงของเลเซอร์ จึงจะช่วยลดความร้อนจากการสัมผัสระหว่างแสงเลเซอร์กับพื้นผิววัสดุทำให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เหมาะสมนำไปใช้ประโยชน์ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่ากำลังแสงเลเซอร์ที่ 23 วัตต์ ค่าแรงดันลมอยู่ที่ 0.5 บาร์ ระยะห่างของหัวเลเซอร์กับชิ้นงาน 8 มิลลิเมตร และความเร็วการเดินของเลเซอร์ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.471 ไมโครเมตร ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีความหยาบน้อย เมื่อนำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์

พบว่ามีความแตกร้าวเล็กน้อย แต่ภาพที่ได้จากการแกะสลักชิ้นงานมีความคมชัด ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

การทดลองในครั้งต่อไปควรศึกษาปัจจัยของความเร็วการเดินของเลเซอร์และแรงดันลมที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักกระจก

การทดลองควรศึกษาสารเคมีที่ใช้เคลือบกระจกก่อนทำการแกะสลักชิ้นงาน เพื่อให้การแกะสลักชิ้นงานออกมามีความคมชัด และสวยงามมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารราชภัฏกรุงเก่า สาขาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2565 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

8. เอกสารอ้างอิง

Buriphan, N. (2011). The Influencer of Cutting Condition for Stainless Steel SUS 304 Laser on Surface Roughness (M.S. thesis) Department of Industrials Engineering,Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani. (in Thai)

Maneechot, P. and Pisuchpen, S. (2018). The Design of Easy-to-open Ready-to-drink Aromatic Coconut by using Laser Perforation. pp. 1433-1443. In The 47th National Graduate Research Conference, 6 December 2018, Faculty of Graduate Studies, Rajabhat Maha Sarakham University, Khon Kaen.

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, CO_2 Emission and Removal Rate. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 5(3), 1-14. https://doi.org/10.3390/jmmp5030078

Moradi, M., Moghadam, M. K. and Beiranvand, Z.M. (2021).CO_2 Laser Engraving of Injection Moulded Polycarbonate: Experimental Investigation. Lasers in Engineering, 48(4), 293-303.

Kongchairit, T. (2011). A Selection of High Efficiency Windows Glass for Energy Conservation Buildings using AHP Method (M.S. thesis) Department of Engineering Management, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Bangkok. (in Thai)

KONGCHAROEN, P. (2019). Case Study on Effects of CO_2 Laser Cutting Parameters on Kerf Width and Surface Roughness of Mild Steel (M.S. thesis) Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. (in Thai)