

ระบบควบคุมกำลังคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์สำหรับเครื่องทำต้นแบบอย่างรวดเร็ว

Power Control of Carbondioxide Laser System for Rapid Prototype

ไพฑูรย์ ช่างทองคลองสี, รศ.ดร.ธนู อุญฉาย, รศ.ดร.ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์
ศูนย์วิจัยการคำนวณขั้นสูง ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800

โทร (02)9132500 ต่อ 8311 โทรสาร (02)5870026 E-mail: tong_072@yahoo.com และ tcc@kmitnb.ac.th

Paitoon Changtongclongsee, Thanu Chouychai and Sirisark Hachuwong

Research center for Advanced Computational Engineering, Department of Mechanical Engineering

King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Piboolsongkram Rd.10800 Thailand

Tel:(662) 9132500 Ext.8311 Fax:(662) 5870026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาาระบบควบคุมกำลังของเลเซอร์สำหรับเครื่องทำต้นแบบอย่างรวดเร็วให้มีกำลังที่เหมาะสมต่อความเร็วในการวิ่งตัดกระดาษด้วยลำแสงเลเซอร์เพื่อให้ขนาดของรอยตัดมีขนาดคงที่สม่ำเสมอที่ทุกความเร็วของการตัด การเคลื่อนที่ของหัวตัดในแต่ละแกนนั้นถูกควบคุมโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง การควบคุมตำแหน่งของการเคลื่อนที่และความเร็วจะเป็นการควบคุมแบบ พี ไอ ดี ผลจากการศึกษาและทดลองพบว่า สามารถควบคุมกำลังของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ได้โดยสามารถปรับกำลังได้ที่ 0 วัตต์จนถึง 30 วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังที่มากที่สุดของเลเซอร์ชุดนี้ และพบว่ากำลังที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษและความหนาของกระดาษด้วย นอกจากนี้การควบคุมกำลังของเลเซอร์ยังมีการหน่วงเวลาเนื่องจากการสะสมพลังงานทางความร้อนของเลเซอร์ ทำให้ต้องมีการควบคุมกำลังของเลเซอร์ให้ทำงานล่วงหน้าจึงจะทำให้ผลการตัดสมบูรณ์ตามต้องการ

Abstract

The objective of this thesis was to study and develop the power control system of Carbondioxide laser for rapid prototype. The parameters that affect the quality of the cut line are cutting velocity and cutting power. The motion of laser gripper in each axis was controlled by a DC servomotor. The PID control was applied for position and velocity control. The results show that the power of Carbondioxide laser can be controlled. The range of power was from 0 watt to 30 watt which was the maximum of this machine. And the cutting power depends on the thickness and type of paper. The smooth cut line can be achieved by optimizing the cutting velocity and cutting power. More over, it is found that the laser beam must be turn on before moving the laser gripper allowing the time to accumulate enough thermal energy to get a clear cut.

1.บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมไปอย่างมาก ทั้งด้านการคำนวณและควบคุมต่างๆ การใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยแทนแรงงานมนุษย์ โดยมีมนุษย์เป็นผู้ควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานแทนและในขณะนี้ได้นำระบบควบคุมอัตโนมัติโดยการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานแทนมนุษย์ทั้งหมดในหลายอุตสาหกรรมเป็นต้น เครื่องทำต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping) ซึ่งจะทำให้การสร้างแบบจำลองขึ้นมาก่อนการผลิตจริงทำให้สามารถแก้ไขปรับปรุงชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วนี้ ก็มีการนำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติมาเป็นส่วนประกอบด้วยกัน โดยจะมีระบบควบคุมอัตโนมัติ 3 แกนเป็นส่วนประกอบ จะทำหน้าที่ในการควบคุมตำแหน่งความเร็วของหัวจับเลเซอร์เพื่อใช้ตัดชิ้นงานต้นแบบ ให้เป็นไปตามที่ต้องการโดยใช้ระบบโคออดิเนตคาร์ทีเซียน [2]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาจระบบควบคุมกำลังของเลเซอร์ให้มีกำลังที่เหมาะสมต่อความเร็วในการวิ่งตัดเพื่อให้ได้ขนาดของรอยตัดมีขนาดคงที่สม่ำเสมอ ถึงแม้ความเร็วของการตัดจะไม่คงที่ก็ตาม การเคลื่อนที่ของหัวตัดในแต่ละแกนนั้นถูกควบคุมโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่และความเร็วจะเป็นการควบคุมแบบ พี ไอ ดี [2] การควบคุมกำลังของเลเซอร์นั้นจะใช้การปรับค่าความต้านทานในวงจรสวิตซ์ที่ใช้ในการจุดหลอดเลเซอร์ให้สามารถผลิตแสงเลเซอร์ออกมาตามกำลังที่เราต้องการ ในช่วงกำลังต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุดของขนาดหลอดที่จะให้กำลังออกมาได้ ส่วนการปรับค่าความต้านทานในวงจรสวิตซ์ซึ่งนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ทำการปรับไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของหัวตัดด้วยเลเซอร์ ในการปรับจะสามารถปรับกำลังเลเซอร์ให้ เหมาะสมกับความเร็วนั้นด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น ทำให้สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้สะดวก

2. แสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เป็นแสงที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากแสงที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ และเป็นแสงที่แตกต่างไปจากแสงจากหลอดไฟทั่วไป แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยการควบคุมให้อะตอมหรือโมเลกุลเปล่งแสงออกมาอย่างเป็นระเบียบ มีคุณสมบัติเด่นหลายข้อสามารถสรุปได้ดังนี้ [1]

1. ความเป็นแสงสีเดียว ในทางทฤษฎีแล้วความกว้างของความถี่ของเส้นสเปกตรัมมีค่าน้อยมากเพียงไม่กี่ Hz (ในกรณีแสงธรรมชาติ เส้นสเปกตรัมมีความกว้างหลายพัน MHz)
2. มีความขนานของลำแสงดีมาก
3. สามารถรวมแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดสเปกตรัมเล็กมาก ๆ ได้ดีมาก ในทางทฤษฎีค่าของสเปกตรัมจะมีขนาดเล็ก ถึงความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์
4. มีความเข้มของพลังงาน (energy density) (พลังงาน / พื้นที่หน้าตัด) ที่สูงมาก
5. มีโคเอเรนซ์ดีมาก
6. สามารถรวมพลังงานของแสงไว้มาก ๆ แล้วยิงออกมาเป็นแสงพัลส์ที่มีพลังงานสูงมาก ๆ ได้

โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามสถานะของสารเลเซอร์ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์

โดยทั่วไปจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ส่วน ดังนี้คือ

[1]

1. ตัวกลางเลเซอร์ (Laser media)

เป็นวัสดุหรือตัวกลางที่จะให้กำเนิดแสงเลเซอร์ออกมา มีทั้งวัสดุของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

2. ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator)

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย กระจกสะท้อนแสงหรือมีความยาวเทียบเท่ากระจกเพื่อทำหน้าที่ป้อนกลับแสงให้แสงเป็นคลื่นนิ่งและทำให้แสงมีความเข้มสูงขึ้นจนถึงจุดเลเซอร์ (lasing)

3. แหล่งกำเนิดพลังงานหรือกระตุ้น (Excitation Power Source)

เป็นต้นกำเนิดพลังงาน เช่น กำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อดิสชาร์จให้ก๊าซกลายเป็นพลาสมาหรือใช้กำเนิด ลำอิเล็กตรอนหรือใช้ฉีดกระแสไฟฟ้า หรือใช้ทำให้เกิดแสงแฟลชสว่างมาก ๆ

2.2 การป้อนพลังงานแก่ตัวกลางของเลเซอร์ได้แก่

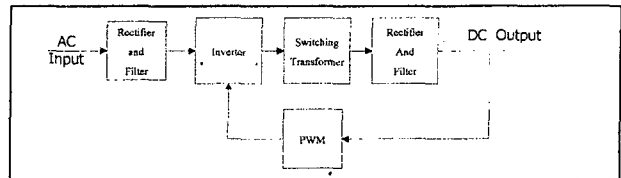
1. การป้อนพลังงานแสง (Optical Pumping) โดยใช้หลอด

ไฟแสงสว่างกำลังสูง หรือใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ด้วยกัน เป็นตัวป้อนพลังงาน ให้แก่เลเซอร์อีกชนิดหนึ่ง

2. การป้อนพลังงานไฟฟ้า (Electrical Pumping) โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ในการทำ Gas Discharge เมื่อตัวกลางของเลเซอร์มีสภาพเป็นก๊าซ

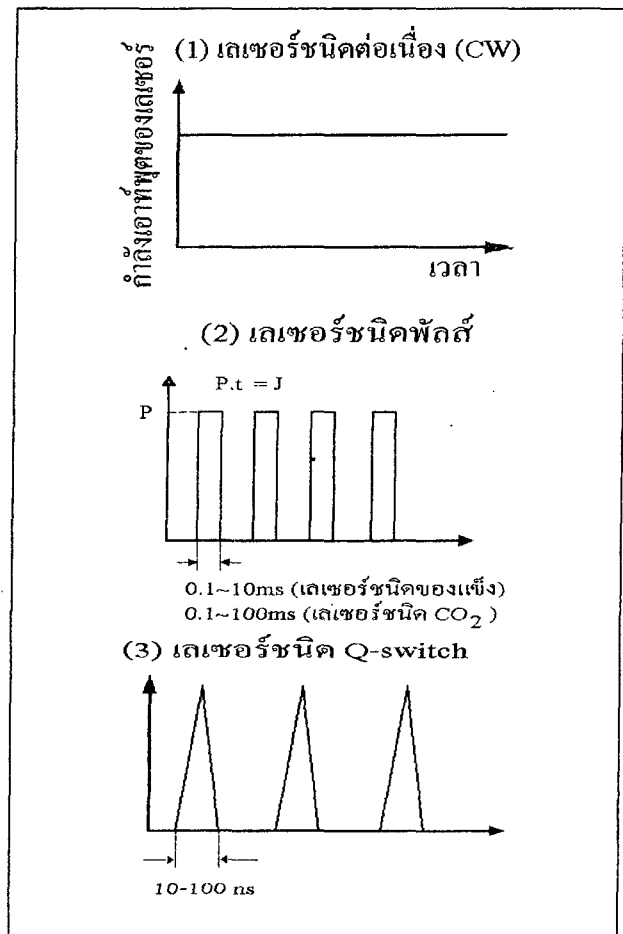
3. การป้อนพลังงานด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron Beam Pumping) โดยใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงยิงเข้าไปกระตุ้นให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการ Excitation

โดยในงานวิจัยนี้ตัวกลางเลเซอร์เป็นชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้การป้อนพลังงาน ไฟฟ้าแบบสวิตชิง ดังรูป 1 [3]



รูปที่ 1 แผนภาพส่วนประกอบสำคัญของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง

รูปที่ 2 ลักษณะเอาต์พุตของเลเซอร์ชนิด CW, ชนิดพัลส์ และชนิด Q-Switch



เลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Laser) มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

ความยาวคลื่น	: $10.6 \mu m$ ย่านแสงอินฟราเรด
กำลังเอาต์พุต	: $10 mW \sim kW$ (อาจถึง MW)
วิธีการกระตุ้น	: ดิสชาร์จ

ขนาดของแหล่งจ่ายไฟ : แรงดันไฟฟ้า kV ~ หลายสิบ kV, กระแสไฟฟ้า mA ~ A

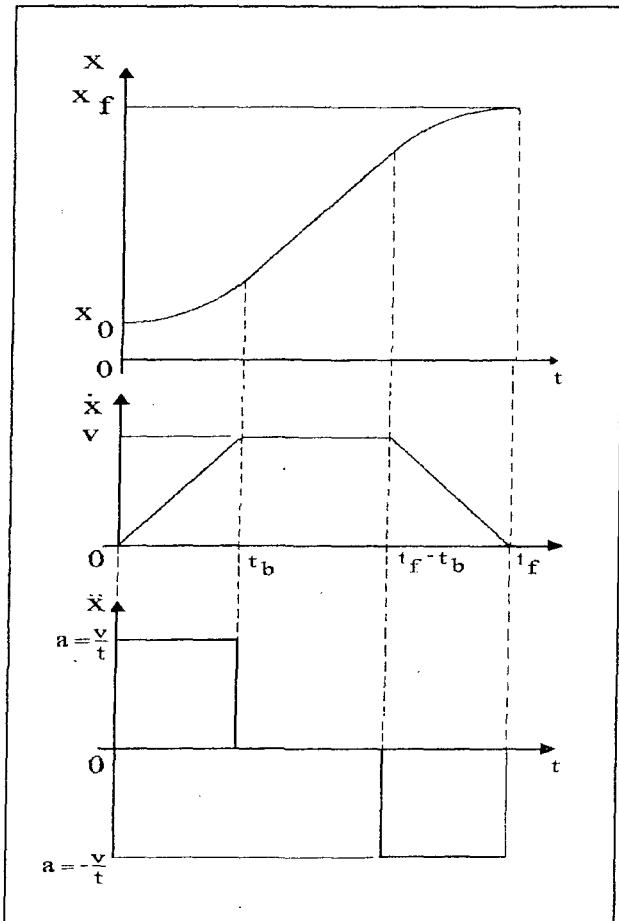
ประสิทธิภาพ : ~ 20 %

ชนิดของการเลเซอร์ : แบบต่อเนื่อง (CW) และพัลส์ (Pulse)

อื่นๆ : มีทั้งชนิดกักขังก๊าซ CO_2 (ระบบปิด) และชนิดไหลเวียนก๊าซ CO_2 (ระบบเปิด)

เลเซอร์ชนิด CO_2 จัดว่าเป็นเลเซอร์ชนิดก๊าซที่สามารถให้กำลังเอาต์พุตได้สูงที่สุด และให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดด้วย โดยทั่วไปใช้ก๊าซ CO_2 เป็นก๊าซหลักและอาจผสมด้วยก๊าซ N_2 และ He การกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ใช้วิธีการดีสชาร์จด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง

ในงานวิจัยนี้การเคลื่อนที่นั้นชุดควบคุมจะสร้างทางเดินแบบเส้นตรงด้วยชุดคำสั่งแบบตำแหน่งไปยังตำแหน่งโดยใช้ฟังก์ชันแบบสโปลน์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่โดยใช้ฟังก์ชันสโปลน์

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่ามีการเคลื่อนที่ในเส้นทางอยู่ 3 แบบ คือ ช่วงแรกจาก 0 ถึง t_b เป็นช่วงความเร่งคงที่ (a) ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นจนถึงค่าที่กำหนดและเคลื่อนที่ต่อไปในช่วงที่สอง ซึ่งเป็น

ช่วงความเร็วคงที่ (V) ความเร่งจะมีค่าเป็นศูนย์จนถึงเวลา $t_f - t_b$ จึงเริ่มเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงคงที่ (-a) ความเร็วจะลดลงจนถึงเวลา t_f ค่าความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจะได้ระยะทางตามที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วจะให้ระยะทางส่วนแรกมีค่าเท่ากับระยะทางส่วนที่สาม ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง เทียบกับเวลาได้ดังตารางที่ 1 [5]

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง เทียบกับเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ฟังก์ชันสโปลน์

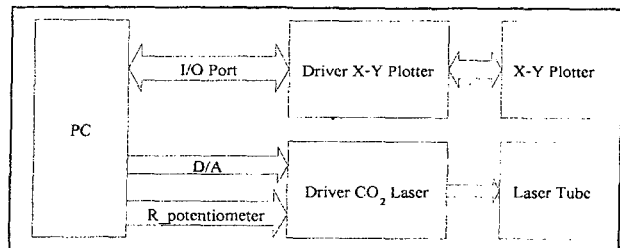
Time	$x(t)$	$\dot{x}(t)$	$\ddot{x}(t)$
$0 \leq t \leq t_b$	$x_0 + \frac{a}{2}t^2$	at	A
$t_b \leq t \leq t_f$	$\frac{x_f + x_0 - Vt_f}{2} + Vt$	V	0
$t_f - t_b \leq t$	$x_f - \frac{at_f^2}{2} + at_f t - \frac{a}{2}t^2$	$-at_f - a$ at	-a

โดยที่

$$t_b = \frac{V}{a} = \frac{x_0 - x_f + Vt_f}{V} = \frac{t_f}{2} \pm \frac{\sqrt{a^2 t_f^2 - 4a(x_f - x_0)}}{2a} \quad (13)$$

$$t_f = \frac{x_f - x_0}{V} + \frac{V}{a} \quad (14)$$

ในงานวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานร่วมกันระหว่างเลเซอร์และ X-Y Plotter โดยในการควบคุมการทำงานของเลเซอร์นั้นมี 2 ส่วนหลักคือส่วนเปิด-ปิดเลเซอร์และส่วนปรับกำลังเลเซอร์ ดังรูปที่ 4

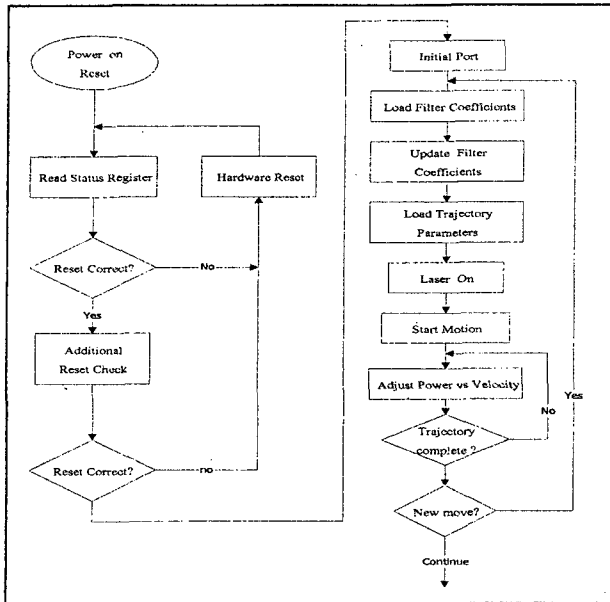


รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานร่วมกันของเลเซอร์ และ X-Y Plotter

1. ส่วนเปิด-ปิดเลเซอร์ นั้นใช้สัญญาณ D/A (Digital to Analog) ขนาด 2.2 VDC ในการเปิดระบบเลเซอร์ให้ทำงานและ 0 VDC ในการปิดเลเซอร์

2. ส่วนปรับกำลังเลเซอร์นั้นใช้การปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้แบบดิจิทัลในวงจรสวิตช์ซึ่งผ่าน IC DS1267 ในการ์ด ET-PCIO โดยสามารถปรับกำลังของเลเซอร์ได้อยู่ในช่วง 0-30 วัตต์

และในการควบคุมการทำงานของ X-Y Plotter นั้นจะควบคุมผ่าน อินเทอร์เน็ตที่ต่อไปยังการ์ดควบคุมและ ขับเคลื่อน (Control and Driver Card) ในงานวิจัยนี้ เราจะทำการปรับกำลังเลเซอร์ไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ทั้ง 2 แกน โดยมีรายละเอียดการทำงาน โดยมีลำดับการ ควบคุมการเคลื่อนที่และปรับกำลังเลเซอร์ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลำดับการเขียนการโปรแกรมส่วนควบคุมทั้งการเคลื่อนที่และการปรับกำลังเลเซอร์

ในขณะที่มีการเคลื่อนที่จะทำการอ่านเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ขณะนั้นแล้วไปคำนวณหาความเร็วจากสมการใน ตารางที่ 1 แล้วไปทำการเลือกค่ากำลังที่เหมาะสมกับความเร็วในการวิ่งตัดขณะนั้น เพื่อไปปรับกำลังเลเซอร์ ผ่านความต้านทานปรับค่าได้ แบบดิจิตอลในวงจร สวิตซ์ ซึ่ง โดยจะวนรอบเช็คตำแหน่งของเป้าหมายและปรับกำลังเรื่อยไป จนกว่าจะถึงเป้าหมาย

โดยกำลังที่เหมาะสมกับความเร็วที่ใช้ในการตัดนั้นได้มาจากการ ทดลองตัดวัสดุตัวอย่างด้วยค่าความเร็วและกำลังต่างๆ

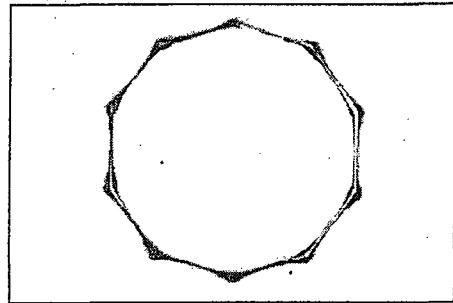
3. ผลการวิจัย

เริ่มจากการทดสอบดังนี้

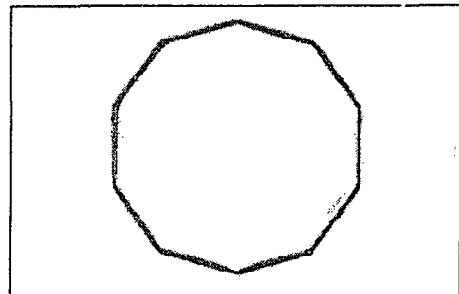
1. ในการทดสอบนั้นจะทำการกำหนดวัสดุตัวอย่างขึ้นมา 1 ชนิด ในที่นี้เราจะใช้กระดาษแข็ง โดยทำการตัดกระดาษด้วยเลเซอร์โดยมี การวิ่งตัดกระดาษด้วยค่ากำลังต่างๆที่หลอดเลเซอร์ให้กำลังออกมา โดยวิ่งตัดเป็นระยะทาง 80 mm. โดยวิ่งตัดด้วยความเร็วคงที่ แล้วทำ การปรับกำลังที่ใช้ในการตัดดังนี้ 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 วัตต์โดยมีความเร็วที่ใช้ในการทดสอบต่างๆดังนี้ 10, 11.66, 13.33, 15, 16.66, 18.33, 20, 21.66, 23.33, 25, 26.66, 28.33, 30, 31.66, 33.33, 35, 36.66 mm/s.

2. นำผลจากการตัดวัสดุตัวอย่าง ไปใช้ในการเขียนโปรแกรมเลือก ค่ากำลังของเลเซอร์ให้เหมาะสมกับแต่ละความเร็วในการวิ่งตัด โดยทำ

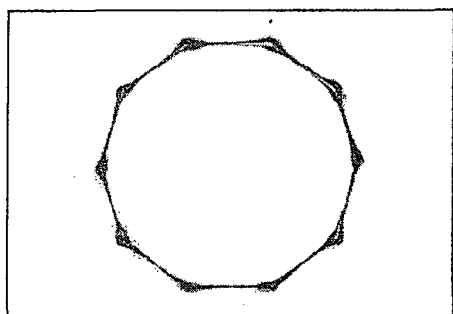
การปรับกำลังให้สัมพันธ์กับความเร็วในการวิ่งตัด ณ จุดที่สามารถตัด วัสดุได้ขาด เนื่องจากเครื่องทำต้นแบบใช้การสร้างทางเดินของการ เคลื่อนที่เป็นแบบฟังก์ชันสไปล์ ดังนั้นในการปรับกำลังเราก็ใช้ค่า ความเร็วจากการคำนวณ ณ เวลาต่างๆในแต่ละครั้งของการเคลื่อนที่ จากตารางที่ 1 ที่ระบบควบคุมสั่งให้หัวตัดเลเซอร์วิ่งไปยังตำแหน่งที่ ต้องการ แล้วนำความเร็วที่ได้ไปปรับกำลังเลเซอร์ผ่านความต้านทาน ปรับค่าได้แบบดิจิตอลในวงจรสวิตซ์ ซึ่ง โดยเราจะตัดกระดาษเป็นภาพ ตัวอย่างเช่น วงกลมที่เกิดจากเส้นตรงจำนวน 10 เส้นลากต่อกัน



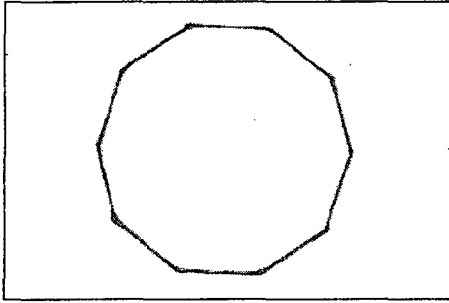
รูปที่ 6 รอยตัดตัดด้วยความเร็ว 10 mm/s , ความเร่ง 50 mm/s² โดย ไม่มีการปรับกำลังเลเซอร์



รูปที่ 7 รอยตัดตัดด้วยความเร็ว 10 mm/s , ความเร่ง 50 mm/s² , และมีการปรับกำลังเลเซอร์



รูปที่ 8 รอยตัดตัดด้วยความเร็ว 20 mm/s , ความเร่ง 50 mm/s² โดยไม่มีการปรับกำลังเลเซอร์



รูปที่ 9 รอยตัดตัดด้วยความเร็ว 20 mm/s, ความเร่ง 50 mm/s²
และมีการปรับกำลังเลเซอร์

4. สรุปผลการวิจัย

สามารถปรับกำลังของเลเซอร์ได้ตั้งแต่ค่า 0 วัตต์ไปจนถึง 30 วัตต์ โดยสามารถปรับกำลังของเลเซอร์ไปพร้อมกับการสั่งให้หัวตัดเลเซอร์เคลื่อนที่ได้ โดยมีการสั่งให้มีการปรับกำลังเลเซอร์ก่อนที่จะสั่งให้หัวตัดเลเซอร์เคลื่อนที่ ทำให้รอยตัดที่ได้มีความต่อเนื่อง รอยตัดจะมีรอยไหม้ โดยเฉพาะบริเวณจุดปลายของการเคลื่อนที่ เนื่องมาจากระบบดูดควันที่ใช้อยู่เป็นเหมือนกับเป็นการเติมออกซิเจน(O₂)ให้แก่บริเวณรอยตัด ทำให้ รอยตัดเกิดรอยไหม้มาก รูปที่ 6,8 เป็นการตัดกระดาดโดยที่ไม่มีการปรับกำลังของเลเซอร์พบว่ารอยตัดที่ได้มีขนาดใหญ่และเกิดรอยดำไหม้มาก โดยเฉพาะบริเวณตำแหน่งจุดปลายของการเคลื่อนที่ อันเนื่องมาจากกำลังของเลเซอร์มีค่าไม่เหมาะสมต่อความเร็วในการวิ่งตัด ทำให้เกิดรอยไหม้บริเวณรอยตัดมาก รูปที่ 7,9 เป็นการตัดกระดาด โดยมีการปรับกำลังของเลเซอร์ด้วยทำให้รอยตัดที่ได้มีขนาดเล็ก ,เกิดรอยดำไหม้บ้างแต่น้อยกว่าการตัดแบบไม่มีการปรับกำลังของเลเซอร์ จึงสรุปได้ว่าสามารถปรับกำลังของเลเซอร์ให้สัมพันธ์กับความเร็วในการวิ่งตัดได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1]. ดุสิต เครื่องาม. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ - มหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [2] สมหวัง อริสริวงศ์. "ระบบควบคุมอัตโนมัติ 3 แกน สำหรับเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2541.
- [3]. ประสิทธิ์พร แซ่เอ็ง. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.
- [4]. National Semiconductor, LM628/629 User guide. USA : National Semiconductor , 1995.
- [5]. William, Wolovich A., Robotics: Basic Analysis and Design. New York: CBS College Publishing, 1987.