สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การพัฒนาระบบสแกน 2 มิติ สำหรับการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์

นายมูซา มูฮำหมัด
นายยุทธนา อินทรวันณี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....76640
วัน,เดือน,ปี.....-3 ส.ค. 2550

b.....
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Development of 2-Dimension Scaning System for Laser Marking

Mr.Moosa Moohammad

Mr.Yuttana Intaravanne

A Special Project Submitted in Patial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

Kingmongkut's Intitute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **โครงงานพิเศษเรื่อง** | การพัฒนาระบบสแกน 2 มิติ สำหรับการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ |
| **นักศึกษา** | นายมูซา มูฮำหมัด |
| | นายยุทธนา อินทรวันณี |
| **ภาควิชา** | **ฟิสิกส์ประยุกต์** |
| **สาขาวิชา** | **ฟิสิกส์ประยุกต์** |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | **อ.เบญจพล ตันฮู้** |

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ประธานกรรมการ อ.ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์ | |
| กรรมการ อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข | |
| กรรมการ ดร.ประธาน บุรณศิริ | |
| กรรมการที่ปรึกษา อ.เบญจพล ตันฮู้ | |

.....

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงงานพิเศษเรื่อง** การพัฒนาระบบสแกน 2 มิติ สำหรับการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์

**นักศึกษา** นายมูซา มูฮำหมัด

นายยุทธนา อินทรวันณี

**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**

**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์

**ปีการศึกษา** 2549

**อาจารย์ที่ปรึกษา** อ.เบญจพล ตันสู้

## บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาเครื่องทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์กำลังต่ำแบบ 2 มิติ โดยโครงงานนี้ควบคุมชุดขับเคลื่อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR มีความละเอียดในการทำงาน 0.06 มิลลิเมตรต่อพิกเซล ซึ่งรับคำสั่งจากโปรแกรมสั่งงานบนคอมพิวเตอร์ที่พัฒนามาจาก LabVIEW ผ่านทางพอร์ต USB เพื่อทำสัญลักษณ์ เช่น วงกลม สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม หรือ อักขระ บนวัสดุที่เป็นไม้หรืออะคีลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Special Project Title** | Development of 2-Dimension Scaning System for Laser Marking |
| **Name** | Mr.Moosa Moohammad<br>Mr.Yuttana Intaravanne |
| **Department** | Applied Physics **Faculty of Science** |
| **Program** | Applied Physics |
| **Academic Year** | 2006 |
| **Special Project Advisor** | Mr.Benchapol Tunhoo |

## ABSTRACT

This project presents the development of laser marking system using low power $CO_2$ laser. This machine is controlled by computer programming using LabVIEW. It have resolution 0.06 mm/pixel. Controlled data are send via USB port to make the designated figure such as circle, rectangular, triangle and character so that $CO_2$ lasers system are used for marking on wood or arcylic-plastic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุน ช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอาจารย์เบญจพล ตันสู้ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งเสียสละเวลาอันมีค่ากับโครงงานพิเศษนี้ กรุณาให้คำแนะนำ ชี้ข้อบกพร่อง ดูแลเอาใจใส่ ตรวจทานแก้ไขจนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ธวัชชัย ขาวประเสริฐและอาจารย์ทุกท่านในอาคารซ่อมสร้างเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการทำแท่นแสกน

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจจนงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณบิดามารดา ที่คอยช่วยเหลือเอาใจใส่และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดในยามเหนื่อยล้าและท้อแท้

นอกจากนี้ขอขอบคุณอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการนี้ถึงจุดหมายได้อย่าสมบูรณ์

นายมูซา มูฮำหมัด

นายยุทธนา อินทรวันณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญรูป | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์ | 3 |
| 2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์ | 5 |
| 2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ | 6 |
| 2.3.1 หลักการของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด | 6 |
| 2.3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด | 7 |
| 2.3.3 อิเล็กโทรด | 8 |
| 2.4 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) | 8 |
| 2.5 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ | 8 |
| 2.6 ระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและลำแสงเลเซอร์ | 9 |
| 2.6.1 มอเตอร์กระแสตรงและระบบขับเคลื่อน X-Y | 9 |
| 2.6.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ | 10 |
| 2.6.3 หลักการทำงานของ DC motor | 10 |
| 2.6.4 เทคนิค PWM ( Pulse Width Modulations ) | 12 |
| 2.7 การทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ | 13 |
| 2.8 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ | 13 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.9 ระบบทางแสง (Optical System) | 14 |
| 2.10 การสะท้อนแสง (Reflectance) | 14 |
| 2.11 การทำสัญลักษณ์โลหะบางด้วยเลเซอร์ | 14 |
| 2.12 การทำสัญลักษณ์วัสดุที่ไม่ใช่โลหะ | 14 |
| 2.13 ผิวของวัสดุ | 15 |
| 2.14 การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในกระบวนการผลิตทางอุสาหกรรม (Laser Processing) | 15 |
| 2.15 ข้อดีของการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ | 15 |
| 2.16 ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ในการทำสัญลักษณ์ | 16 |
| 2.17 หัวตัดของเลเซอร์ (Laser Cutting Head) | 16 |
| 2.18 ชุดตัดแสงเลเซอร์ (Shutter) | 17 |
| 2.19 ตัวนับรอบมอเตอร์(Speed encoder) | 17 |
| 2.20 การควบคุมระยะทางโดยการนับรอบ | 18 |
| 2.21 ขนาดพื้นที่ทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์ | 18 |
| 2.22 หลักการในการทำสัญลักษณ์ : รูปเรขาคณิตฯ | 18 |
| 2.23 หลักการในการทำอักขระ | 20 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 21 |
| 3.1 ส่วนประกอบของโครงงาน | 21 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย | 22 |
| 3.3 ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน | 22 |
| 3.3.1 ด้าน Hardware | 22 |
| 3.3.2 ด้าน Software | 22 |
| 3.4 โครงสร้างและการพัฒนาระบบขับเคลื่อน 2 มิติ | 23 |
| 3.5 การควบคุมระบบขับเคลื่อน | 24 |
| แผนผังการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์ | 26 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| แผนผังการทำงานของเส้นตรง | 27 |
| แผนผังการทำงานของสี่เหลี่ยม | 28 |
| แผนผังการทำงานของสามเหลี่ยม | 29 |
| แผนผังการทำงานของอักขระ | 30 |
| บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง | 31 |
| 4.1 วิธีการทดลอง | 31 |
| 4.2 ผลการทดลอง | 32 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 40 |
| 5.1 สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน | 40 |
| 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง | 40 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา | 40 |
| ภาคผนวก | |
| บรรณานุกรม | |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 การกระตุ้นอะตอมให้ปล่อยแสงเลเซอร์ | 4 |
| รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป | 4 |
| รูปที่ 2.3 หลอดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด | 7 |
| รูปที่ 2.4 วงจรจ่ายไฟสำหรับเลเซอร์ อย่างง่าย | 8 |
| รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง | 10 |
| รูปที่ 2.6 รูปแสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัวมอเตอร์กระแสตรง | 11 |
| รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อขั้วที่ป้อนให้กับมอเตอร์ | 11 |
| รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณกระตุ้นด้วยเทคนิค PWM | 12 |
| รูปที่ 2.9 มอเตอร์กระแสตรง | 13 |
| รูปที่ 2.10 เลนส์รวมแสงความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร ทำจาก ZnSe | 16 |
| รูปที่ 2.11 ลักษณะของชุดตัดแสงเลเซอร์ | 17 |
| รูปที่ 2.12 ลักษณะของตัวนับรอบมอเตอร์ | 17 |
| รูปที่ 2.13 กราฟสมการเส้นตรงความชันเป็นศูนย์ | 18 |
| รูปที่ 2.14 กราฟสมการเส้นตรงความชันเป็น ∞ | 19 |
| รูปที่ 2.15 กราฟสมการเส้นตรงความชันเท่ากับ C | 19 |
| รูปที่ 2.16 กราฟสมการวงกลม | 20 |
| รูปที่ 2.17 หลักการเขียนอักขระ | 20 |
| รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์ | 21 |
| รูปที่ 3.2 ระบบขับเคลื่อน X-Y plotter | 23 |
| รูปที่ 3.3 แสดงการใช้เทคนิค PWM | 24 |
| รูปที่ 3.4 วงจรสำหรับขับมอเตอร์กระตรง | 24 |
| รูปที่ 3.5 บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์ ATMEGA16 | 25 |
| รูปที่ 4.1 แบบระบบ X-Y Plotter | 32 |
| รูปที่ 4.2 ชุด X-Y Plotter ตามแบบ | 32 |
| รูปที่ 4.3 . แบบวงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter | 33 |
| รูปที่ 4.4 วงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter ตามแบบ | 33 |
| รูปที่ 4.5 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรมทดสอบแท่นแสกน | 34 |
| รูปที่ 4.6 มีความเร็ว 60% ของความเร็วสูงสุด | 35 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

**เรื่อง** **หน้า**

รูปที่ 4.7 มีความเร็ว 15% ของความเร็วสูงสุด 35
รูปที่ 4.8 มีความเร็ว 85% ของความเร็วสูงสุด 36
รูปที่ 4.9 ทำสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงตามแนวแกน X 36
รูปที่ 4.10 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม 37
รูปที่ 4.11 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม 37
รูปที่ 4.12 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม 38
รูปที่ 4.13 ทำสัญลักษณ์เป็นคลื่นไซน์ 38
รูปที่ 4.14 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปอักขระ 39
รูปที่ 4.145 เปรียบเทียบผลงานการทำสัญลักษณ์จากโครงงานชิ้นเก่าและชิ้นใหม่ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันมีการใช้เลเซอร์กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตหลายประเภท เช่น การเชื่อมโลหะ การเจาะ การตัดวัตถุ หรือการทำสัญลักษณ์ของวัสดุด้วยเลเซอร์ วิธีแบบเชิงกลที่เรามีอยู่นั้นมีประสิทธิภาพและความสะดวกไม่เพียงพอต่อการทำงานในปัจจุบันอีกทั้งขาดความแม่นยำอีกด้วย จึงทำให้เลเซอร์มีความสำคัญและมีบทบาทกับอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น

จากผลงานที่ผ่านมาโครงงานนี้ได้เปลี่ยนการทำสัญลักษณ์ด้วยการให้หัวของเลเซอร์เคลื่อนที่แทนชิ้นงานทำให้ได้พื้นที่ในการทำสัญลักษณ์มาก แต่ประสบปัญหาในเรื่องของการโฟกัสลำแสงของเลเซอร์ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเดิมตลอดค่อนข้างยุ่งยาก เพราะในการเคลื่อนที่ในแนวแกน xy เลนส์ที่ใช้โฟกัสลำเลเซอร์ได้เคลื่อนที่ด้วยจึงทำให้มีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงจุดโฟกัสด้วย อีกทั้งทางด้านโปรแกรมสั่งงานก็ยังไม่ยืดหยุ่นสำหรับการใช้งานจริง จึงทำการเปลี่ยนระบบการทำสัญลักษณ์ใหม่ให้กลับมาเป็นแบบเดิม โดยการให้ชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่แทน เพื่อตัดปัญหาในเรื่องของลำของเลเซอร์จากการโฟกัสให้เหลือเพียงการพัฒนาทาง ด้านการควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นต่อการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น การพัฒนาโครงงานนี้จะเน้นในเรื่องของตัวโปรแกรมและการสั่งงานควบคุมการทำสัญลักษณ์ โดยจะให้ชิ้นงานวางอยู่บนแท่นสแกนที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาในระนาบ xy ได้และให้ลำของเลเซอร์หลังจากได้โฟกัสแล้วพุ่งตรงลงมาบนชิ้นงานในแนวแกน x โดยใช้การสะท้อนของกระจก ซึ่งโครงงานนี้จะติดตั้งระบบการทำสัญลักษณ์โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ให้พร้อมซึ่งสะดวกต่อการทดลอง การวิจัย และการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดทดลองสำหรับกระบวนการการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์ให้ดียิ่งขึ้น
3. เพื่อนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.3 ขอบเขตของงานวิจัย**

1. ออกแบบและสร้างแบบจำลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์
2. สามารถทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์ได้

**1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน**

1. ร่วมกันศึกษาและตั้งปัญหา พร้อมทั้งแสดงแนวคิดในการแก้ปัญหา
2. สร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการสร้างสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์
3. ทำการทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์
4. สรุปและวิจารณ์ผลเพื่อหาข้อบกพร่องพร้อมทั้งแนวทางในการแก้ปัญหาหรือการพัฒนาต่อไป

**1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้รับความรู้ในการศึกษาเกี่ยวกับระบบสแกนที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน
2. ได้รับความรู้ในการศึกษาและออกแบบวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์
3. ได้รับความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมแอพพลิเคชั่นที่เป็นหน้าต่างในการสั่งงาน
4. สามารถทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์ให้ได้สัญลักษณ์ต่างๆตามต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากการขยายทางแสงซึ่งมีผลทำให้แสงที่ได้ออกมามีความเข้มสูง มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเป็นเอกรงค์สูง ขนาดของลำแสงเลเซอร์มีขนาดตั้งแต่หนึ่งในสิบของเส้นผมมนุษย์ถึงขนาดของตึก และกำลังของเลเซอร์มีขนาดตั้งแต่ $10^{-9}$ วัตต์ถึง $10^{20}$ วัตต์ ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่มีในปัจจุบันเริ่มตั้งแต่ไมโครเวฟถึงย่านรังสีเอกซ์ เนื่องด้วยสมบัติที่พิเศษของเลเซอร์ที่แตกต่างไปจากแสงทั่วไป เลเซอร์จึงถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีการแบ่งเลเซอร์ออกเป็นเลเซอร์กำลังสูงกับเลเซอร์กำลังต่ำซึ่งก็มีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ อุตสาหกรรม การสื่อสารและการทหาร เป็นต้น

ทางด้านอุตสาหกรรมการผลิต เลเซอร์นับว่ามีความสำคัญมากอีกอย่างหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ในการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์นั้นสามารถนำเลเซอร์ที่มีกำลังต่ำหรือกำลังสูงมาทำงานก็ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมากระทำกับเลเซอร์ โดยปกติแล้วการทำสัญลักษณ์บนวัสดุที่ไม่ใช่โลหะก็จะเลือกใช้เพียงแค่เลเซอร์กำลังต่ำเท่านั้นก็สามารถทำงานได้แล้วและชนิดของเลเซอร์ที่เลือกใช้ก็มีความสำคัญมากที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานได้สูงสุด

## 2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์

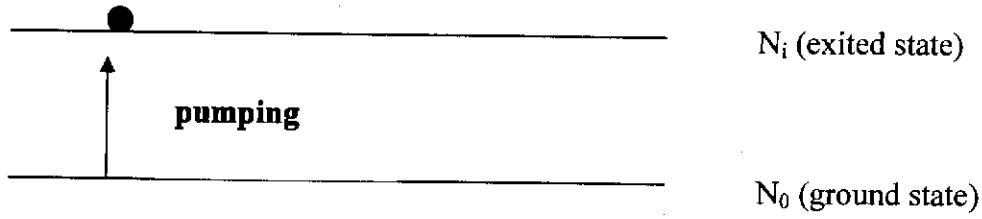
องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเลเซอร์ มีดังนี้

1. วัสดุที่ต้องการกระตุ้นให้เปล่งแสงเลเซอร์ (อาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือสารประกอบ) ซึ่งเรียกว่าแอคทีฟมีเดียม
2. ขบวนการที่ทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population inversion) ในแอคทีฟมีเดียมขบวนการนี้เรียกว่าการปั๊มเลเซอร์ (Laser pumping)
3. ขบวนการที่ทำให้เกิดการสั่นของเลเซอร์เพื่อเพิ่มขยาย (Amplify) ความเข้มของขบวนการปลดปล่อยด้วยการถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) จนสามารถปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาได้ ขบวนการนี้เกี่ยวข้องกับกระจกเลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายเชิงทัศน์ (Resonator) หรือช่องขยายเชิงทัศน์ (Resonant Cavity)

ถ้า $N_0$ = จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน $E_0$ หรือสถานะพื้น

$N$ = จำนวนอะตอมที่สถานะกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

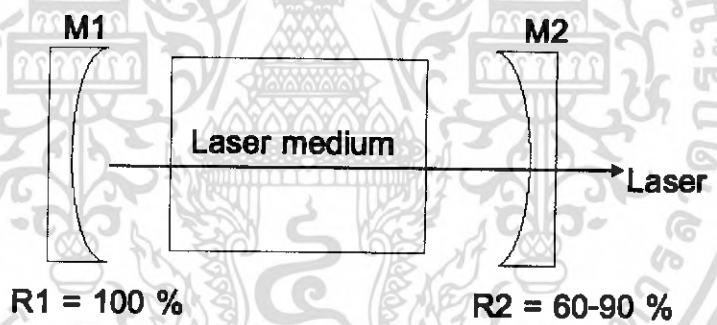



เมื่อ $N_i > N_0$ เรียกว่าการเกิดประชากรผกผัน Population inversion

รูปที่ 2.1 การกระตุ้นอะตอมให้เกิดปล่อยแสงเลเซอร์100

เมื่อ $N_i > N_0$ เรียกว่าการเกิดประชากรผกผัน(Population inversion) การปั๊มคือการให้พลังงานแก่อะตอมหรือโมเลกุลของ แอคทีฟมีเดียม เพื่อทำให้อะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้น (excited) จากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นซึ่งมีหลายวิธี เช่น

- ใช้แสงปั๊มที่เรียกว่า "Optical Pumping"
- ใช้ไฟฟ้า (Electrical discharge)




รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป

โดยที่แอคทีฟมีเดียม จะเป็นแก๊ส ซึ่งจะถูกจัดว่าเป็นแก๊สเลเซอร์

สำหรับ $M_1$ เป็นกระจกด้านหลังของเลเซอร์ซึ่งสะท้อนแสงเลเซอร์ได้ 100% (Reflectivity $R_1 = 100$)

สำหรับ $M_2$ เป็นกระจกด้านหน้าหรือกระจกที่ปล่อยให้ลำแสงเลเซอร์ออกจะสะท้อนแสงได้ประมาณ 60-90 % ($R_2$)

เมื่อจ่ายพลังงานให้แก่ แอคทีฟมีเดียม อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางจะถูกปั๊มหรือถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นซึ่งการปลดปล่อยโฟตอนแบบนี้เป็นแบบสปอนเตเนียส อีมิสชั่นโดยที่โฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนบางตัวถูกปล่อยออกในทิศใดๆก็ได้คือบางตัวอาจจะออกมาทางด้านข้างซึ่งจะผ่านออกมาโดยเปล่าประโยชน์ แต่บางตัวจะมีทิศทางขนานกับแกนของตัวกลางเลเซอร์เข้าไปกระตุ้นอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นให้เกิดปลดปล่อยโฟตอนโดยวิธีขบวนการปลดปล่อยด้วยการกรกระตุ้น (Stimulate emission) จะเห็นได้ว่าโดยวิธีนี้จำนวนโฟตอนจะถูกขยายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากหลักการดังกล่าวข้างต้น กระจกเลเซอร์จะทำหน้าที่สะท้อนโฟตอนให้วิ่งกลับไปกลับมา ระหว่างกระจก $M_1$ และ $M_2$ เพื่อทำให้เกิดการเพิ่มขยาย (amplify) จำนวนโฟตอนโดยวิธีกระบวนการปลดปล่อยด้วยกรกระตุ้น (Stimulate emission) เมื่อผ่านตัวกลางเลเซอร์จนกระทั่งถึงจุดที่มีการสั่นของเลเซอร์ (Laser Oscillator) ลำแสงเลเซอร์ก็จะถูกปล่อยออกมาทางกระจก $M_2$ จะเห็นได้ว่าโฟตอนที่ถูกสะท้อนจากกระจกเลเซอร์เข้าไปในตัวกลางเลเซอร์เพื่อทำให้เกิดกระบวนการการปลดปล่อยด้วยการถูกกระตุ้น (Stimulate emission) ได้นั้น อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางจะต้องอยู่ที่สถานะกระตุ้นอยู่แล้วในจำนวนที่มากกว่าจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลที่ยังไม่ได้ถูกกระตุ้นนั่นคือ ตัวกลางอยู่ในสภาวะประชากรผกผันนั่นเอง

**2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์**

สำหรับแหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปมีคุณสมบัติดังนี้

1. แสงโดยทั่วไปเกิดจากอะตอมปล่อยโฟตอนแต่ละตัวจะมีเฟสต่างกันลำแสงจึงไม่เสริมกันและแสงโดยทั่วไปจะลู่ออก (Diverge) ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งหายไปเมื่อเดินทางเป็นระยะทางไม่ไกลนัก
2. แสงโดยทั่วไปจะมีหลายความถี่หรือหลายความยาวคลื่นหรือหลายสี และถึงแม้จะทำให้เป็นแสงที่มีความถี่เดียว เช่น ใช้ฟิลเตอร์กรองแสงแต่ละโฟตอนของแสงสีเดียวก็ยังต่างเฟสกันดังนั้นต้นกำเนิดแสงโดทั่วไปจึงไม่เป็นโคฮีเลนซ์ หรือความเป็นโคฮีเลนซ์น้อยมาก

สำหรับแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติดังนี้

1. Directionality คือมีทิศทางเดียวที่แน่นอน ซึ่งจากไดอะแกรมของเลเซอร์รูปที่ 2.2 จะเห็นว่าลำแสงเลเซอร์จะมีทิศอยู่ในแนวแกนของตัวกลางเลเซอร์หรือท่อที่บรรจุเท่านั้น
2. Monochromatically หมายถึงเลเซอร์มีแสงที่มีค่าความถี่เดียว
3. Coherencen การที่แสงเลเซอร์มีความเป็นอาพันธ์สูงมากเนื่องจากว่าแสงเลเซอร์มีความถี่เดียวและทุกโฟตอนมีเฟสเดียวกัน ดังนั้นลำแสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกมาเป็นลำแสงขนานกับแกนตัวกลางเลเซอร์ลำแสงเลเซอร์จึงสามารถเดินทางได้เป็นระยะไกลๆ โดยลำแสงจะบานออกน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Brightness แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความสว่างสูงมาก

## 2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

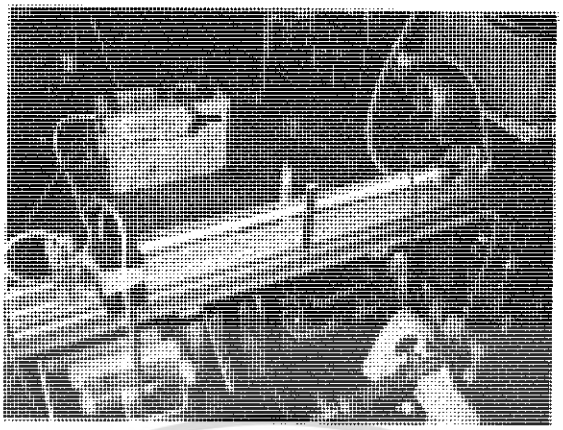
คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์โดยแท้จริงแล้วเป็นเลเซอร์ที่ได้จากส่วนผสมของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ($CO_2$) ไนโตรเจน ($N_2$) และฮีเลียม (He) องค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์จะต้องอาศัยองค์ประกอบหลักสำคัญ 3 อย่างคือ

1. สารตัวกลางเลเซอร์ เป็นสารที่ต้องสามารถทำให้เกิดสภาวะประชากรผกผัน และสภาวะปลดปล่อยด้วยการถูกกระตุ้น (Stimulate emission) ได้ ซึ่งในที่นี้คือแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ($CO_2$) ไนโตรเจน ($N_2$) และฮีเลียม (He)
2. กระจกเลเซอร์ (Laser mirror) จะมี 2 ชิ้นคือกระจกด้านหน้าที่สร้างจากวัสดุที่ไม่ดูดกลืนพลังงานเลเซอร์ ได้แก่พวก ZnSe มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนอยู่ระหว่าง 65- 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระจกด้านหลังมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมครอนได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์สร้างจากซิลิกอนที่เคลือบทองคำซึ่งสะท้อนแสงได้ดีเกือบทุกค่าความยาวคลื่น
3. แหล่งจากกำลังงานสำหรับกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์ (Laser power supply) เพื่อทำให้เกิดสภาวะประชากรผกผัน (Population inversion) และขวนการปลดปล่อยด้วยการกระตุ้น (Stimulate emission) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้หลายแบบ แต่สำหรับ $CO_2$ จะใช้แหล่งจ่ายไฟ (power supply) มาใช้ในการกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์

### 2.3.1 หลักการของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด

การกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ด้วยสนามไฟฟ้าไฟฟ้า (Electric field exiting) นับเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ที่มีสถานะเป็นแก๊ส รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ด้วย สำหรับหลอดเลเซอร์แบบปิดจะเป็นหลอดที่กระจกเลเซอร์ติดถาวรและมีการเติมแก๊สอยู่ภายในหลอดเรียบร้อยแล้วซึ่งแก๊สนี้เป็นแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และฮีเลียม ด้วยอัตราส่วน 10:10:80 ที่ความดันแก๊ส 15 Torr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หลอดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด

**2.3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด**

มีส่วนประกอบต่างๆแบ่งเป็น 6 ส่วนคือ

1. หลอดกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Tube) ซึ่งเป็นหลอดแบบปิด โดยมีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกที่มีท่อสำหรับให้สารตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งในที่นี้คือแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ($CO_2$) ไนโตรเจน ($N_2$) และฮีเลียม (He) ไหลเข้าออกในระหว่างเลเซอร์กำลังทำงาน
2. กระจกเลเซอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยกระจกเลเซอร์ด้านหน้าและกระจกด้านหลังซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงระหว่า 65- 95 เปอร์เซ็นต์และเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับโดยกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนน้อยกว่าจะเป็นด้านที่ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา
3. อิเล็กโทรด (Electrode) เป็นขั้วโลหะสำหรับป้อนสนามไฟฟ้า ทำจากทังสเตนและต่อเชื่อมเข้ากับวงแหวนอลูมิเนียม (Aluminum Ring) ซึ่งอยู่ภายในหลอดกำเนิดแสงเลเซอร์บริเวณที่เป็นบริเวณทำงานเพื่อให้สัมผัสกับสารตัวกลางเลเซอร์
4. ระบบระบายความร้อน (Cooling System) โดยทั่วไปใช้การระบายความร้อนโดยน้ำหล่อเย็น (Cooling Water)
5. ระบบสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูง โดยทั่วไปอาศัยกำลังงานจากแหล่งจ่ายไฟ 220 หรือ 380 โวลต์ในการสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูง
6. ชั้นหลอดแก้วสำหรับหุ้มเพื่อระบายความร้อน มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกยาวหุ้มหลอดชั้นในซึ่งเป็นบริเวณทำงานเพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในสารตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

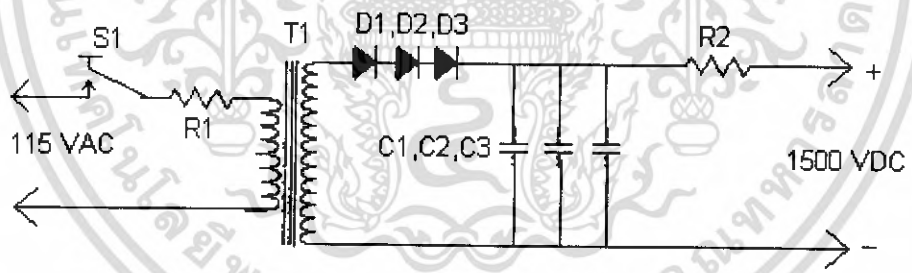
และอิเล็กโทรด โดยเฉพาะที่บริเวณอิเล็กโทรดเพื่อป้องกันไม่ให้หลอดแก้วบริเวณนี้แตกร้าว จากสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ไม่เท่ากันของอลูมิเนียมและหลอดแก้ว

### 2.3.3 อิเล็กโทรด

เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับป้อนสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งจะมี 2 ขั้ว แต่ละขั้วจะมีองค์ประกอบ 2 ชิ้นคือ แท่งทังสเตนและวงแหวนอลูมิเนียมซึ่งสามารถกระจายความร้อนได้ดี โดยเส้นผ่าศูนย์กลางจะใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณทำงาน เพื่อไม่ให้บังแนวแสง เพราะวงแหวนอลูมิเนียมจะใส่ไว้ภายในบริเวณทำงานซึ่งเป็นบริเวณที่แสงสะท้อนกลับไปกลับมาผ่านสารตัวกลางเลเซอร์ ส่วนแท่งทังสเตนจะเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าจากภายนอกตัวหลอดไฟฟ้าไปถึงวงแหวนอลูมิเนียมซึ่งจะผ่านหลอดแก้วชั้นนอกซึ่งเป็นส่วนระบายความร้อน

## 2.4 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ลักษณะการจ่ายไฟให้กับเลเซอร์โดยมีแหล่งจ่ายไฟทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับขั้วแคโทด (cathode) แอโนด (anode) และควบคุมการจ่ายไฟโดยให้วาริแอกเป็นตัวปรับแรงดันไฟฟ้าทางขาเข้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเลเซอร์การปรับแรงดันนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงกำลังของเลเซอร์ด้วย




รูปที่ 2.4 วงจรจ่ายไฟสำหรับเลเซอร์อย่างง่าย

## 2.5 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์

ปัจจัยแรกที่จำกัดกำลังที่ออกมาของเลเซอร์ชนิดแก๊สนั้นคือการไร้ความสามารถในประสิทธิภาพของการเอาความร้อนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ออกจากแก๊ส การระบายความร้อนด้วยอากาศก็อาจจะเป็นไปได้แต่ความร้อนในการทำงานของ $CO_2$-Laser นั้นสูงมาก ในอุตสาหกรรมได้ใช้ระบบการระบายความร้อนด้วยการหมุนเวียนของน้ำมันและน้ำมันไปน้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อความเสถียรภาพของระบบที่ดีกว่าและลดการดูแลรักษาใน $CO_2$-Laser ที่เล็กกว่าจะใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำก็เพียงพอแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและลำแสงเลเซอร์

ในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานกับลำแสงเลเซอร์ที่มาทำปฏิกิริยากันเพื่อให้ได้ลวดลายตามที่ต้องการนั้นมีลักษณะในการเคลื่อนที่ออกเป็นรูปแบบต่างๆดังนี้

1. ให้ลำแสงเลเซอร์เป็นตัวเคลื่อนที่แล้วให้ชิ้นงานอยู่กับที่
2. ให้ชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่แล้วให้ลำแสงเลเซอร์อยู่กับที่
3. ให้ทั้งลำแสงเลเซอร์และชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่
4. การใช้ระบบแขนกลซึ่งมีแกนในการทำงาน 5 หรือ 6 แกน

สำหรับโครงงานพิเศษนี้ได้ใช้ระบบที่ให้ลำแสงเลเซอร์อยู่กับที่แล้วให้ชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่ในแนวแกน 2 มิติ

### 2.6.1 มอเตอร์กระแสตรงและระบบขับเคลื่อน X-Y

ระบบนี้ได้ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่

มอเตอร์ คือ เครื่องกลที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าออกมาเป็นพลังงานกล DC มอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลาของDCมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลาของ DC มอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก$\varphi$ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K\varphi I$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลามีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

$\varphi$ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

I คือ กระแสเป็นแอมแปร์

K คือ ค่าคงตัว

ดังนั้นแรงบิดของเพลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลท์เต็จตกคร่อมตัวมันเอง โวลท์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลาของมอเตอร์และต้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลท์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\varphi\omega$$

เมื่อ E คือ โวลท์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\varphi$ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

$\omega$ คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

สมการ (1) – (2) เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการทำงานพื้นฐานของ DC มอเตอร์

### 2.6.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์

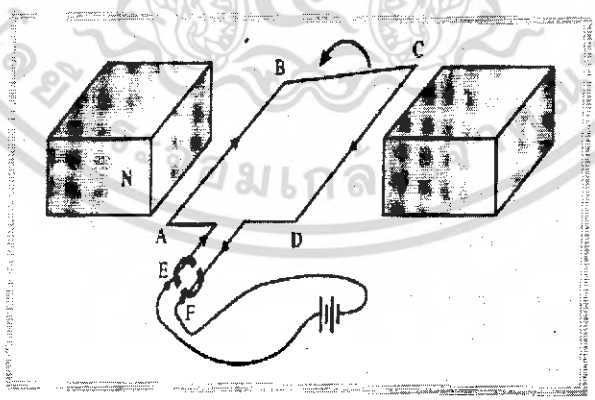
1. ขั้วแม่เหล็ก N และ S ซึ่งทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ในมอเตอร์ ขั้วแม่เหล็ก อาจเป็นแม่เหล็กถาวร หรืออาจทำจากแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้ ในมอเตอร์ เรียกขั้วแม่เหล็ก N และ S นี้ว่า สเตเตอร์ (Stator)

2. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ซึ่งหมุนได้รอบตัว เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป ในขดลวดอาร์เมเจอร์ ที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อขดลวด แล้วเกิดโมเมนต์คู่ควบ หมุนขดลวดอาร์เมเจอร์

3. วงแหวนผ่าซีก หรือ Commutator เป็นส่วนประกอบสำคัญ ที่จะทำให้กระแสที่ไหล ผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ไหลในทิศที่ทำให้เกิดโมเมนต์คู่ควบ หมุนขดลวดอาร์เมเจอร์ในทิศเดียวกันตลอดเวลา

4. แปรงคาร์บอน ทำหน้าที่สัมผัสเบาๆ กับ Commutator โดยที่แปรงทั้งสองอยู่กับที่ และใช้สำหรับต่อกับวงจรไฟฟ้า

### 2.6.3 หลักการทำงานของ DC motor

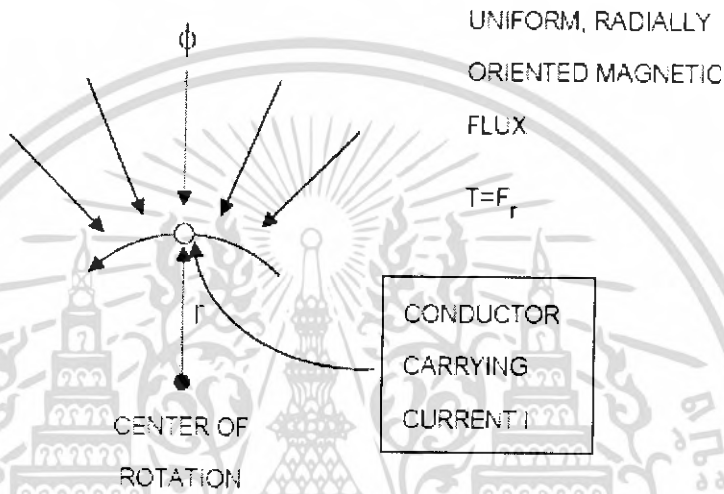



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของ DC Motor

ลักษณะของมอเตอร์นั้น คล้ายไดนาโม แต่มีส่วนที่สำคัญคือ แหวนครึ่งซีก เพื่อทำหน้าที่บังคับให้กระแสวิ่งอยู่ทางเดียว ถ้าไม่มีแหวนครึ่งซีกแล้ว ขดลวดจะพลิกกลับไปมา เริ่มแรก ลวด

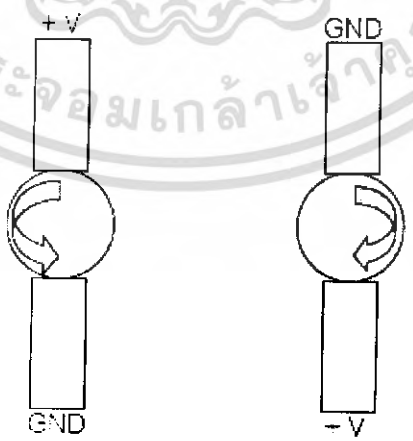
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้าน AB อยู่ติดกับแหวน E ลวดด้าน CD อยู่ติดกับแหวน F ตามรูป กระแสเข้าตามทิศทาง EAB (เข้าไปข้างใน) และกระแสออก ทางด้าน CDF (ออกมาข้างนอก) พอให้กระแสเข้าขดลวด เริ่มหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา สมมติลวดหมุนได้ครึ่งรอบ จะ เห็นว่าลวด CD มาแทน AB และ AB มาแทน CD จังหวะนี้ ลวด AB จะได้กระแสตามทิศ CDF, ลวด CD จะได้กระแสทิศ EAB ทำให้ขดลวดนี้สามารถ หมุนไปได้ทางเดียวเรื่อยๆ ถ้าหากไม่มีแหวนครึ่งซีก คือเป็นแหวน 2 วง กระแสไม่มีถูกตัดช่วง ลวดแต่ละฝ่าย จะได้รับกระแสทางเดียวตลอด ทำให้ขดลวดพลิกกลับไป กลับมา




รูปที่ 2.6 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัว DC มอเตอร์

การทำให้มอเตอร์กระแสตรงทำงาน ก็เพียงเราป้อนความต่างศักย์แล้วทำให้กระแสไหลผ่านมอเตอร์กระแสตรง โดยการหมุนจะหมุนเป็น C.W. หรือ C.C.W. ก็จะเป็นขึ้นอยู่ว่าป้อนความต่างศักย์ที่เป็นบวกให้กับขั้วไหน

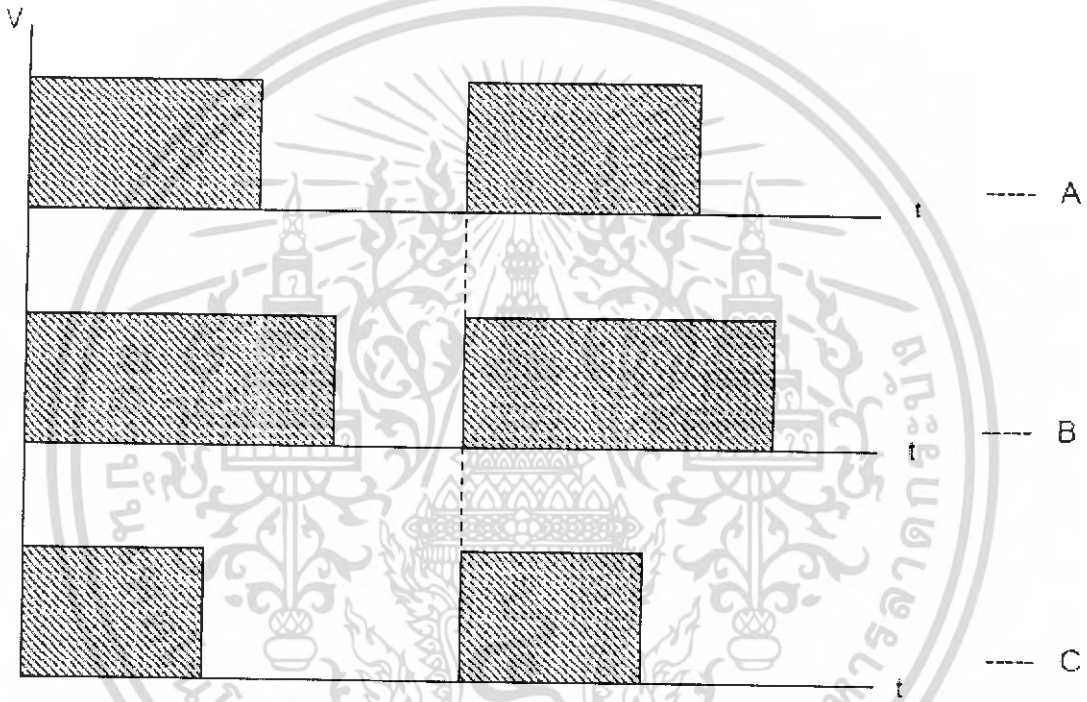



รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อกลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.4 เทคนิค PWM ( Pulse Width Modulations )**

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเราควบคุมได้เพียงทิศทางการหมุนเท่านั้นแต่ถ้าเราต้องการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง ในที่นี้เราจะใช้เทคนิค PWM ( Pulse Width Modulations ) โดยเราจะป้อนสัญญาณกระตุ้นให้มอเตอร์หมุนเป็นPulse ที่มีความถี่ค่าหนึ่งแล้วเราปรับความกว้าง Pulseให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็จะเป็นการปรับความเร็วมอเตอร์ให้เพิ่มหรือลดตามความกว้าง Pulse โดยการใช้เทคนิค PWM นี้ต้องกำหนดความถี่ที่เราป้อนให้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมถ้าเรากำหนดมากไปการใช้เทคนิค PWM จะไม่ได้ผล แต่ถ้าเรากำหนดน้อยไปมอเตอร์อาจจะหมุนไม่สม่ำเสมอ



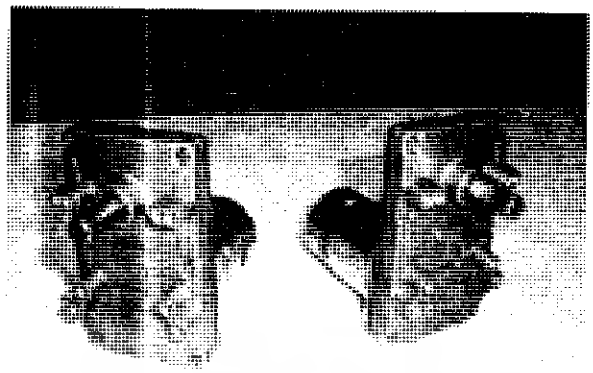

รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณกระตุ้นด้วยเทคนิค PWM โดยที่

A แสดงระดับสัญญาณปกติ

B แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วมอเตอร์

C แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการลดความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 DC Motor

**2.7 การทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์**

การทำสัญลักษณ์เป็นสิ่งที่ต้องการในการทำวัสดุให้เหมือนกันทุกอย่าง ข่าวสารของผลิตภัณฑ์หรือการป้องกันการโจรกรรม เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกทำสัญลักษณ์ที่เล็กและเบาบางซึ่งถูกกระทำจะทำด้วยความเร็วสูง และบริเวณนั้นต้องไม่มีการทำรอยต่อหรือการปนเปื้อนของสารเคมีจากน้ำหมึกซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำสัญลักษณ์ได้ เลเซอร์จึงถูกนำมาใช้ในเทคนิคนี้มากที่สุด

วิธีในการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ มี 3 วิธีดังต่อไปนี้

1. การทำแม่พิมพ์หรือการแกะสลัก (Engraving)
2. การทำสัญลักษณ์แบบดอทเมตริกซ์ (Dot matrix marking)
3. การทำภาพหน้ากาก ( mask imaging )

การทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์นี้จะคล้ายกับการแกะสลักทางกลศาสตร์ ในกระบวนการทั่วไปเลเซอร์จะทำให้ชิ้นระเหิดและหลุดออกไปเป็นร่องไอเนื่องจากความร้อน ซึ่งมีความกว้างประมาณ 12 ไมโครเมตรถึง 1 มิลลิเมตร

**2.8 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์**

เนื่องจากที่มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากมายทำให้ค่าไม่คงที่ตามทฤษฎีนอกเหนือจากขนาดของกำลังเลเซอร์ที่ใช้สมบัติต่างๆของวัสดุที่มีผลต่อการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์แล้วยังมีพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. ระบบทางแสง (Optical System)
2. ค่าสภาพการสะท้อนแสง
3. การออกแบบหัวเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.9 ระบบทางแสง (Optical System)**

ระบบทางแสงสำหรับเลเซอร์มี 3 ส่วนที่มีผลต่อการตัดวัสดุ ได้แก่

1. การออกแบบเลเซอร์แควิตี ซึ่งเป็นตัวกำหนดการกระจายของลำแสง และยังมีผลต่อขนาดของลำแสงที่ออกจากเอาท์พุทที่จะถูกโฟกัสด้วยเลนส์ที่ใช้ในการรวมแสงให้ไปตกบนชิ้นงานที่ต้องการวัด
2. การโฟกัส ได้แก่ ความลึกของระยะโฟกัส ขนาดของจุดโฟกัส และตำแหน่งจุดโฟกัส

**2.10 การสะท้อนแสง (Reflectance)**

ค่าสภาพการสะท้อนแสงของผิววัสดุที่ต้องการตัดมีผลต่อการตัดมีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์อย่างยิ่งจากทฤษฎีการตัดวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงต่ำควรจะเร็วกว่าวัสดุที่มีค่าสภาพการสะท้อนแสงสูง ดังนั้นสภาพการดูดกลืนแสง ซึ่งเท่ากับ 1-R จึงขึ้นอยู่กับรูปร่างของผิววัสดุ เช่น ผิวขัดมันหรือผิวหยาบ จากรูปเป็นการเปรียบเทียบสภาพการดูดกลืนแสงของฉนวนกับของเหล็กในช่วงอินฟาเรดของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

**2.11 การทำสัญลักษณ์โลหะบางด้วยเลเซอร์**

ในกระบวนการตัดโดยใช้ลำแสงเลเซอร์จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นบางประการเช่น การเพิ่มพลังงานของแสงเลเซอร์ให้เหมาะสม แต่ปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจากการประพฤติตัวของวัสดุที่นำมาใช้ในการตัดทำให้ยากแก่การทำนายผลโดยทั่วไปเมื่อแสงเลเซอร์ถูกโฟกัสลงบนชิ้นงานจะเกิดการก่อตัวของพลาสมา (สภาวะที่ของเหลวและก๊าซอยู่รวมกัน) ขึ้นที่งานอย่างรวดเร็ว การใช้เลเซอร์ในการทำสัญลักษณ์จะเกิดการลากแสงเลเซอร์ให้เป็นรูปร่างตามต้องการหลังจากการลากผ่านของลำแสงเลเซอร์จะมีความร้อนจำนวนมากตกค้างอยู่ ซึ่งมีผลอย่างมากในกระบวนการทางโลหะ ในทันทีที่แสงเลเซอร์วิ่งผ่านชิ้นงานจะอยู่ในสภาพไม่สมดุลทางความร้อนการที่จะได้ผลการทำสัญลักษณ์ที่ดีต้องพยายามกำจัดสภาวะนี้ออกไปซึ่งก็คือการดึงสภาวะความร้อนที่ตกค้างบนออกให้เร็วที่สุด การแก้ปัญหานี้เป็นเรื่องซับซ้อนไม่สามารถใช้การคำนวณแก้ไขได้ จำเป็นต้องใช้การคาดคะเนจากการทดลองและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง

**2.12 การทำสัญลักษณ์วัสดุที่ไม่ใช่โลหะ**

สำหรับวัสดุที่ไม่ใช่โลหะเมื่อทำปฏิกิริยากับเลเซอร์นั้นวัสดุจะมีการดูดกลืนพลังงานจากเลเซอร์ได้ดีหรือมีการสะท้อนน้อยต่อลำแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นมาก อย่างเช่น เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 10.6 ไมโครเมตร วัสดุต่างๆเช่น ไม้อัด ไม้สน ยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติก มีคุณสมบัติทางกายภาพไม่เหมือนกันทำให้ในการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์นั้นต้องการกำลังเลเซอร์ที่ต่างกันและความเร็วในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานก็เกี่ยวข้องกับลักษณะของรอยการทำเครื่องหมายด้วยเพราะทั้งกำลังของเลเซอร์และความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ทำให้ร่องรอยการทำเครื่องหมายมีความลึกที่แตกต่างกันออกไป

## 2.13 ผิวของวัสดุ

ผิวของวัสดุเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการดูดกลืนลำแสงของเลเซอร์ทั้งนี้ผิวของวัสดุแต่ละชนิดจะสะท้อนแสงเลเซอร์ต่างกัน ค่าสภาพการสะท้อนแสง (Reflectance) ของโลหะเกือบทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นตามค่าความยาวแสง จะเห็นว่าเมื่อความยาวคลื่นมากค่าสภาพการสะท้อนแสงของโลหะเกือบทุกชนิดก็จะมีค่ามากและที่ความยาวคลื่นมาก ค่าสภาพการสะท้อนแสงจะขึ้นกับสภาพการนำไฟฟ้า (Electric conductivity) ดังนั้นโลหะที่มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงจะสะท้อนแสงในย่านอินฟาเรดได้ดี นั่นคือทองคำจะสะท้อนแสงในย่านอินฟาเรดได้ดีกว่าอลูมินัมและอลูมินัมจะสะท้อนแสงได้ดีกว่าเหล็กเป็นต้น

## 2.14 การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม (Laser Processing)

การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหมายถึง อุตสาหกรรมด้านต่างๆซึ่งสามารถใช้เลเซอร์กระทำต่อชิ้นงานแล้วทำให้เนื้อวัสดุเกิดการหลอม (melting) หรือถูกทำให้หายไป (removal) เช่นการระเหยกลายเป็นไอ การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้ได้แก่ การเชื่อม การเจาะ การตัด การอบผิวด้วยความร้อน การสกัด การขลิบหรือการแต่งการกรีด การเขียน การพอกผิวแข็งและการเตรียมโลหะผสม เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในโครงการนี้ จะทดสอบเลเซอร์เฉพาะการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์เท่านั้นเพราะการทำสัญลักษณ์และการเจาะมีหลักการเดียวกัน

## 2.15 ข้อดีของการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

1. ในการทำสัญลักษณ์ไม่มีการสัมผัสกันระหว่างหัวเลเซอร์และชิ้นงานดังนั้นจึงเป็นการลีกเลี่ยงความไม่บริสุทธิ์ของชิ้นงานที่เกิดจากการเสียดสีสัมผัส นอกจากนั้นในการทำสัญลักษณ์วัสดุที่ยืดหยุ่นได้ง่าย เช่น ผ้าและยาง จะได้รอยตัดที่แน่นอนไม่บิดเบี้ยวเหมือนการตัดด้วยวิธีธรรมดา เช่น การใช้มีด
2. ไม่มีการสึกหรอของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รอยทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์จะคมมาก ดังนั้นขอบของชิ้นงานจะเรียบมากหลังจากขัดแล้วไม่ต้องขัดหรือเจียรผิวรอยทำสัญลักษณ์ดังเช่น การทำสัญลักษณ์ด้วยเลื่อยหรือแก๊ซที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

4. ความร้อนของเลเซอร์ที่ใช้ในการทำสัญลักษณ์บนวัสดุจะไม่ทำให้เนื้อวัสดุบริเวณใกล้เคียงของรอยทำสัญลักษณ์เสียรูปหรือบิดเบี้ยวคดงอเนื่องจากความร้อน

5. วัสดุที่มีความแข็งหรือความยากในการทำสัญลักษณ์ สามารถตัดได้โดยง่ายโดยเลเซอร์

6. ปริมาณเศษผงหรือเศษวัสดุที่หลงเหลือเนื่องจากการทำสัญลักษณ์มีน้อย แสดงให้เห็นถึงปริมาณความสูญเสียของวัสดุ

7. ปัจจุบันเครื่องเลเซอร์ทำงานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ ดังนั้นจึงเป็นการง่ายต่อการใช้งาน

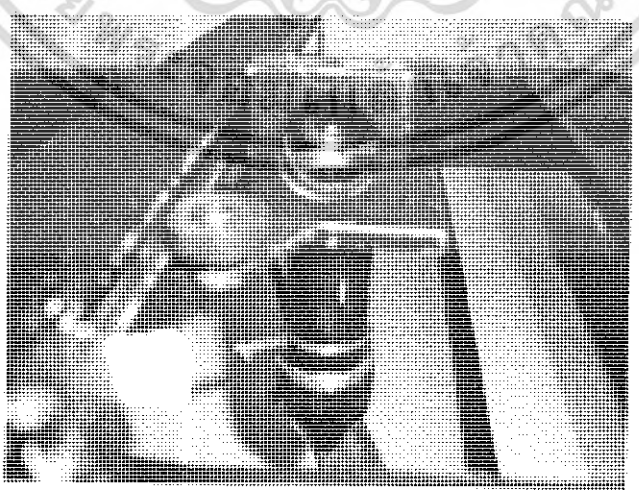
**2.16 ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ในการทำสัญลักษณ์**

1. ราคาของตัวเครื่องเลเซอร์สูงรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าวิธีอื่นๆมาก

2. ในการบำรุงดูแลรักษาจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ทางด้านเลเซอร์

**2.17 หัวตัดของเลเซอร์ (Laser Cutting Head)**

แสงเลเซอร์จะถูกบังคับให้เข้าไปในท่ออลูมิเนียมในแนวขนานกับหลอดเลเซอร์แล้วสะท้อนไปที่กระจก Si เคลือบด้วยเยอรมันเนียมและทองตามลำดับซึ่งเอียงเป็นมุม 45 องศาเลเซอร์จะสะท้อนผ่านเข้าไปในท่ออลูมิเนียมต่อไปในแนวดิ่งแล้วถูกรวมแสงโดยเลนส์รวมแสงซึ่งทำด้วย ZnSe มีความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร สำหรับตำแหน่งของเลนส์ได้ออกแบบให้โฟกัสสามารถปรับขึ้นลงได้ในแนวดิ่งเพื่อปรับจุดโฟกัสของลำแสงเลเซอร์



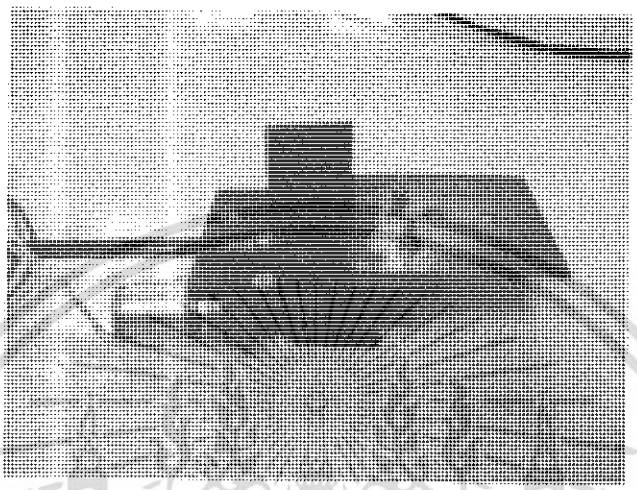
รูปที่ 2.10 เลนส์รวมแสงความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร ทำจาก ZnSe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**2.18 ชุดตัดแสงเลเซอร์ (Shutter)**

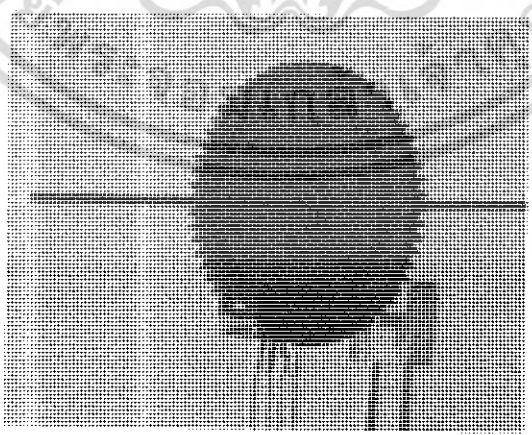
เป็นชุดตัดแสงเลเซอร์ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเปิด-ปิดแสงเลเซอร์ในการทำสัญลักษณ์ และมีการควบคุมชุดตัดแสงเลเซอร์ด้วยรีเลย์



รูปที่ 2.11 ลักษณะของชุดตัดแสงเลเซอร์

**2.19 ตัวนับรอบมอเตอร์(Speed encoder)**

ซึ่งจะใช้แผ่นจานกลมที่บริเวณขอบจะมีลักษณะเป็นซี่ตลอดทั้งแนวของขอบ ในการใช้งานจะติดตั้งตัวอ่านนี้ไว้กับมอเตอร์แล้วมีตัวยิงอินฟาเรดกับตัวรับวางคร่อมมอยู่ เมื่อมอเตอร์หมุนก็จะทำให้ซี่ของจานไปตัดอินฟาเรดและปล่อยให้อินฟาเรดออกมา จึงได้สัญญาณออกมาในลักษณะของการเปิด-ปิดแล้วนำก็ไปหาระยะที่มอเตอร์หมุนได้



รูปที่ 2.12 ลักษณะของตัวนับรอบมอเตอร์

76640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.20 1การควบคุมระยะทางโดยการนับรอบ**

ตัวนับรอบที่ใช้ในการทำโครงงานมีจำนวนช่องใน 1 รอบหรือในการหมุนของแกนเกลียว 1 รอบเท่ากับ 120 ช่อง และใน 1 รอบการหมุนจะให้ระยะทาง 1.8 มิลลิเมตร โดยที่กำหนด 1 พิกเซล เท่ากับการหมุนไป 4 ช่องดังนั้น 1 พิกเซลจึงมีพื้นที่การทำงานเป็น 0.06 มิลลิเมตร

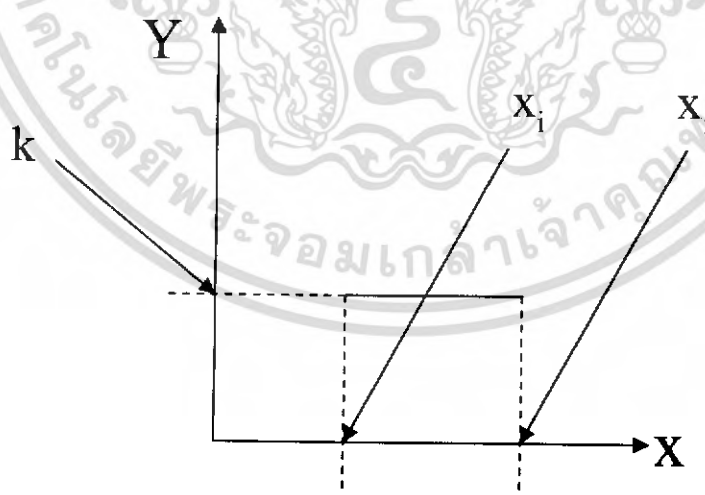
**2.21 ขนาดพื้นที่ทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์**

ดังที่กล่าวในหัวข้อข้างต้น 1 พิกเซลจะมีพื้นที่การทำงาน 0.06 มิลลิเมตรและในการทำสัญลักษณ์พื้นที่ที่กำหนดให้ใช้ในการทำสัญลักษณ์มีค่าเท่ากับ 150 x 150 มิลลิเมตรดังนั้นในพื้นที่ในการทำสัญลักษณ์จึงมีความละเอียดเท่ากับ 2500 x 2500 พิกเซล

**2.22 หลักการในการทำสัญลักษณ์ : รูปเรขาคณิตฯ**

ในการทำสัญลักษณ์จะใช้การกำหนดสมการสำหรับการเคลื่อนที่เพื่อให้เคลื่อนไปยังพิกัด (X,Y) ที่กำหนดหรือพิกัดที่หาได้จากสมการ

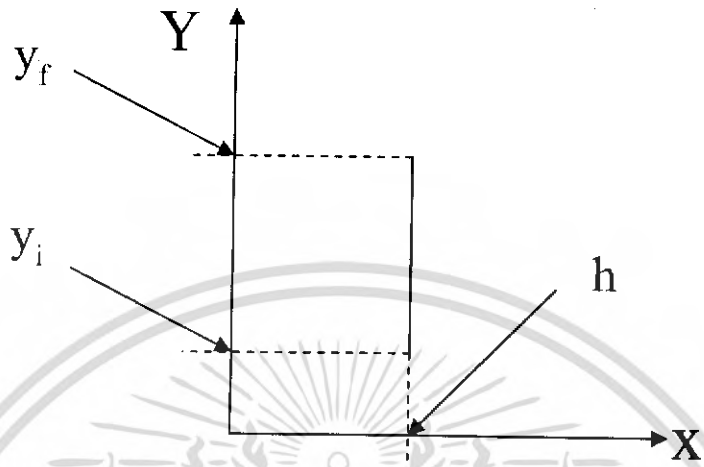
**การเคลื่อนที่แนวนอน (ความชันเป็น 0) สมการ $y = k, x = x_i$ ถึง $x_f$**




รูปที่ 2.13 กราฟสมการเส้นตรงความชันเป็นศูนย์

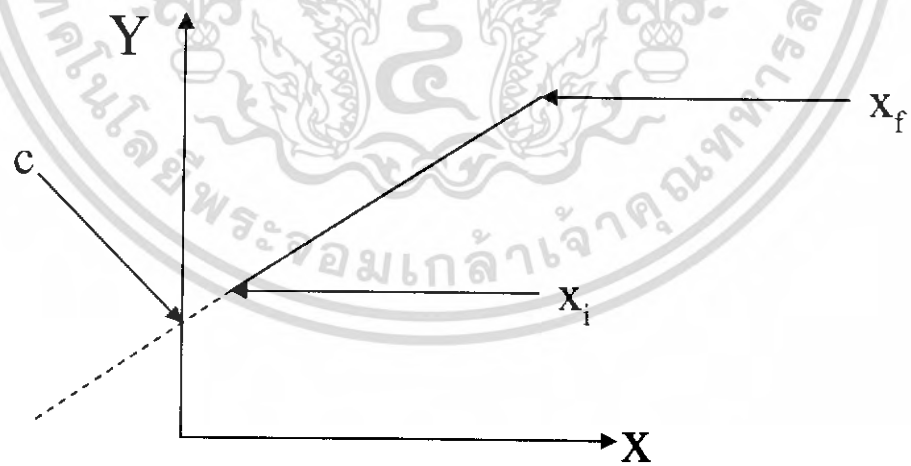
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเคลื่อนที่แนวตั้ง(ความชันเป็น ∞) สมการ $x = h$ , $y = y_i$ ถึง $y_f$**




รูปที่ 2.14 กราฟสมการเส้นตรงความชันเป็น ∞

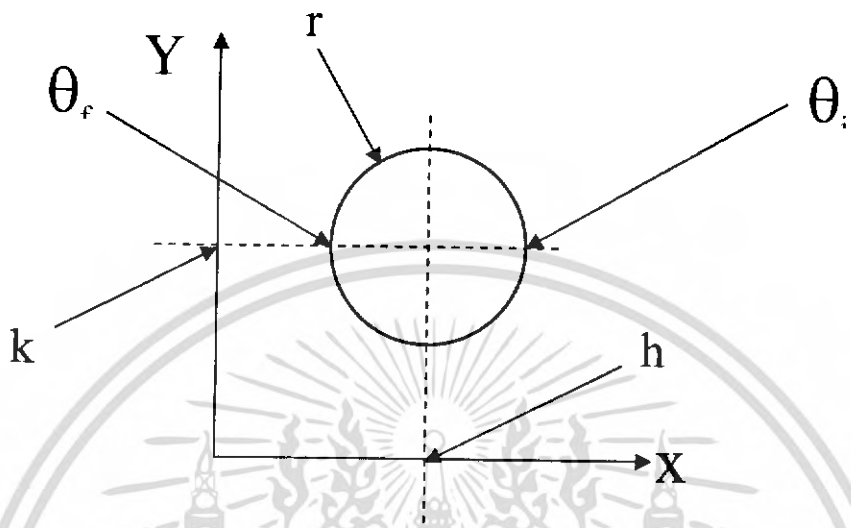
**การเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น สมการ $y = mx + c$, $x = x_i$ ถึง $x_f$**




รูปที่ 2.15 กราฟสมการเส้นตรงความชันเท่ากับ c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

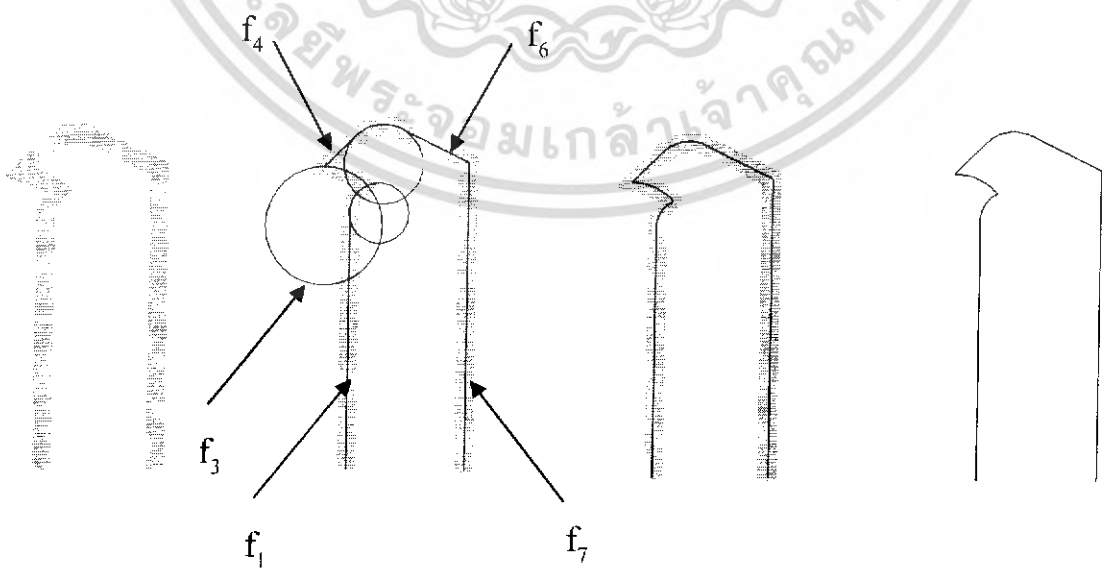
**การเคลื่อนที่แบบวงกลม สมการ x = rcos ( q) , y = rsin (q) , q = qi ถึง qf**




รูปที่ 2.16 กราฟสมการวงกลม

**2.23 หลักการในการทำอักขระ**

หลักการในการทำสัญลักษณ์ในรูปแบบของตัวอักษรจะใช้หลักการการเขียนโดยการวาดจากรวมรูปแบบเส้นเรขาคณิตให้ได้รูปแบบตัวอักษรที่ต้องการแล้วจึงนำสมการเรขาคณิตที่ใช้มาสั่งงานในการทำสัญลักษณ์ดังรูปที่ 3.9




รูปที่ 2.17 หลักการเขียนอักขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

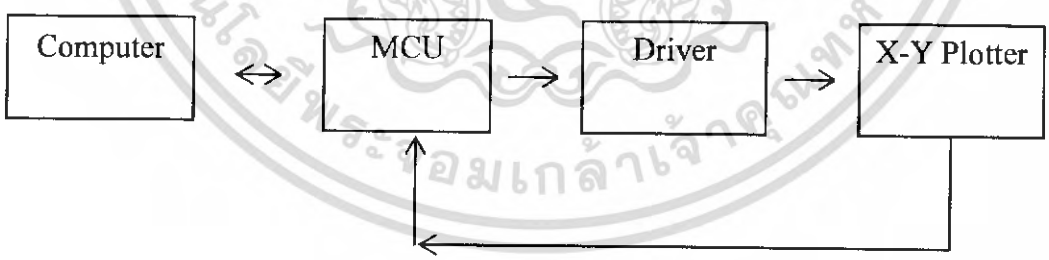
# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ชุดนี้ได้นำเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์มาทำสัญลักษณ์แบบสองมิติ โดยการให้ชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน XY แล้วให้ลำแสงเลเซอร์ที่พุ่งลงมาบนชิ้นงานอยู่กับที่ ในส่วนของการขับเคลื่อนไปตามระนาบนั้นจะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์อีกทีหนึ่งและใช้ Visual C++ เป็นตัวโปรแกรมความคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์สำหรับการสั่งงานให้เครื่องทำสัญลักษณ์ตามที่เราสั่ง โดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง USB

## 3.1 ส่วนประกอบของโครงงาน

โครงงานนี้ได้จัดทำระบบของเครื่องทำสัญลักษณ์ทั้งหมดครบชุดโดยมีส่วนต่างๆดังนี้

- ระบบขับเคลื่อน XY
- ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน
- โปรแกรมสำหรับการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์




รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบโครงสร้างของระบบขับเคลื่อน XY
2. ออกแบบวงจรสำหรับควบคุมการขับเคลื่อน
3. จัดหาอุปกรณ์พร้อมกับดำเนินการสร้างชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบเอาไว้
4. ทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อน XY
5. ติดตั้งตัวอ่านความเร็วในการทำงานของมอเตอร์ขณะทำงานจริง
6. สร้างโปรแกรมให้กับคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์
7. ศึกษาและหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์กับความเร็วของมอเตอร์
8. สั่งงานควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทั้งแกน X และ Y เพื่อให้ได้ทิศทางและระยะทางในการเคลื่อนที่ตามต้องการ
9. ศึกษาการเก็บข้อมูลและวิธีการสร้างไฟล์รูปภาพ
10. สร้างโปรแกรมสำหรับการสั่งงานบนคอมพิวเตอร์
11. ทดลองและบันทึกผลการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์
12. สรุปผลและข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไป

## 3.3 ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน

ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น Hardware และ Software

### 3.3.1 ด้าน Hardware

- ไมโครคอลโทรลเลอร์ ATMEGA16
- Photo coupler PC817
- มอเตอร์กระแสตรง
- ตัวขับมอเตอร์ L298
- ระบบขับเคลื่อน XY
- ชุดอ่านความเร็ว

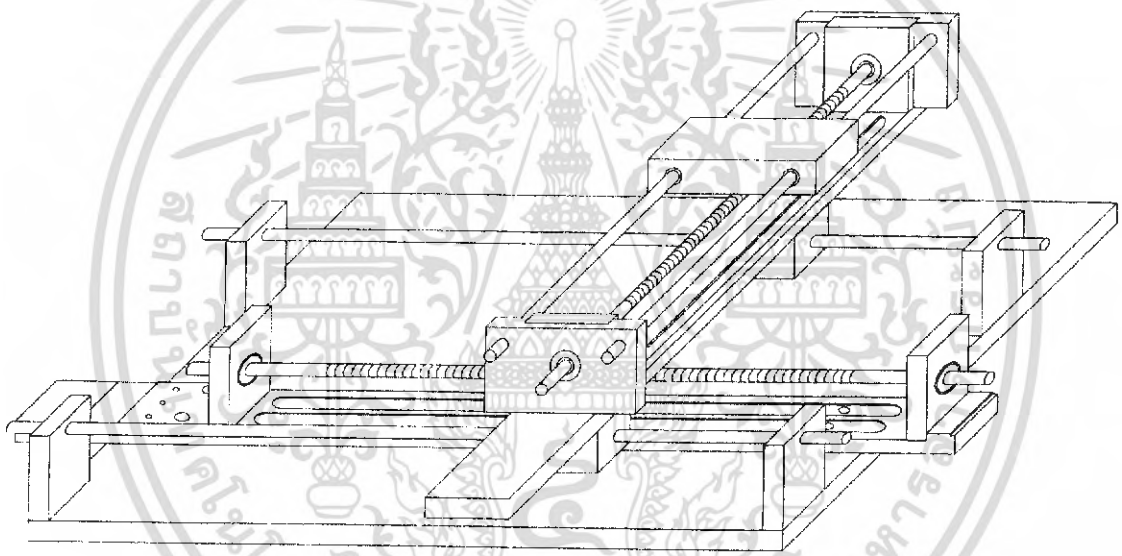
### 3.3.2 ด้าน Software

- Visual C++
- CodeVisionAVR C Compiler
- LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 โครงสร้างและการพัฒนาระบบขับเคลื่อน 2 มิติ

ในส่วนของระบบขับเคลื่อนในโครงงานนี้เป็นอีกส่วนที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปจากระบบขับเคลื่อนเดิม เนื่องจากระบบขับเคลื่อนเดิมนั้นใช้สายพานและฟันเฟืองเป็นกลไกในการขับเคลื่อนแต่ในส่วนของระบบขับเคลื่อนที่ทำขึ้นใหม่เป็นการใช้แกนเกลียวเป็นกลไกในการขับเคลื่อน เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ระบบขับเคลื่อนเพื่อช่วยในการรองรับชิ้นงาน รวมทั้งความละเอียดในการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์และใช้มอเตอร์กระแสตรง(DC motor) เป็นตัวขับแทนการใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์(Stepping motor) ที่มีมาแต่เดิมเพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานของเครื่องอีกทั้งยังง่ายต่อการควบคุมอีกด้วย

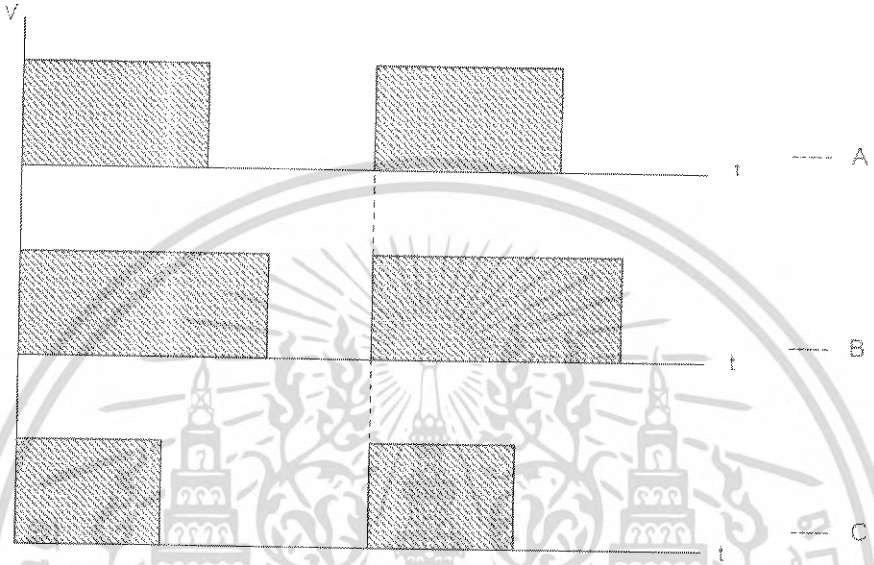


รูปที่ 3. 2 ระบบขับเคลื่อน (X-Y Plotter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การควบคุมระบบขับเคลื่อน

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้คอนโทรลเลอร์ควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อเป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ในที่นี้ใช้เทคนิค PWM ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 เพื่อควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

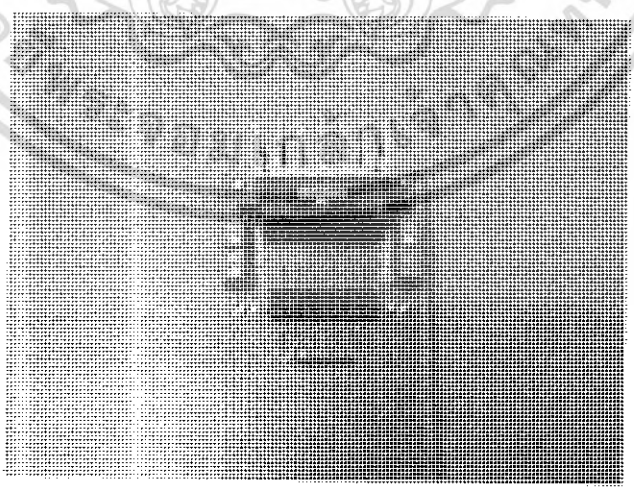



รูปที่ 3.3 แสดงการใช้เทคนิค PWM

A แสดงระดับสัญญาณปกติ

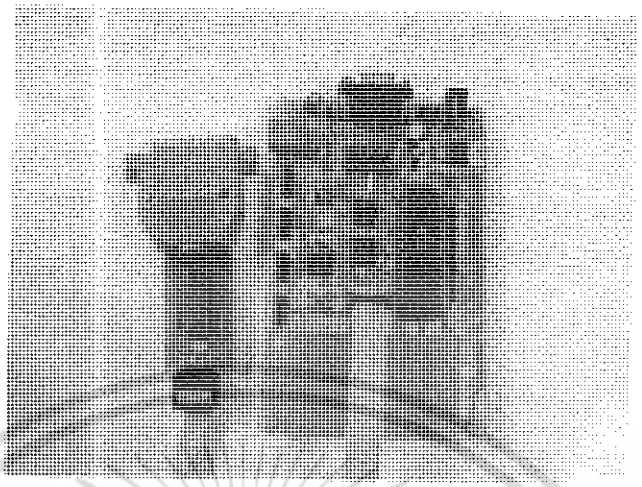
B แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วมอเตอร์

C แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการลดความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 3.4 วงจรสำหรับขับมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

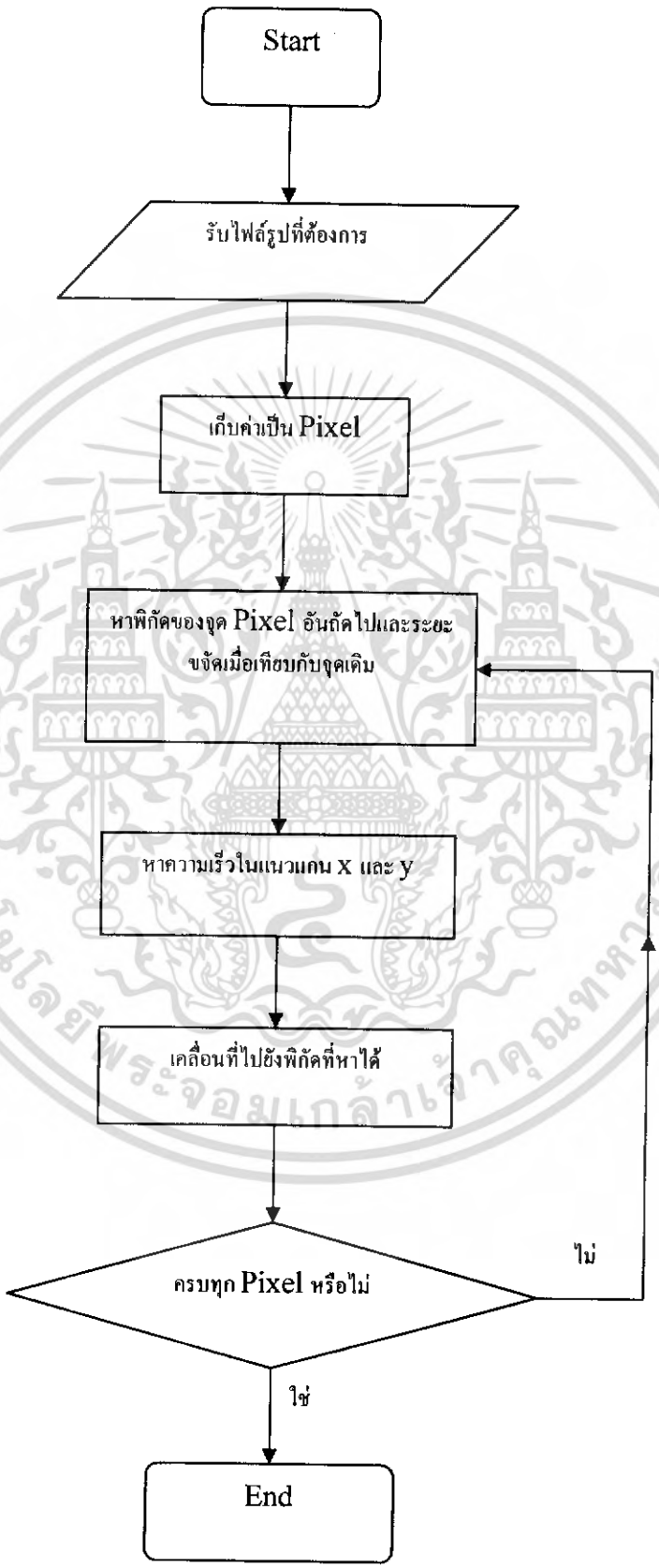


รูปที่ 3.5 บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์ ATMEGA16

วงจรขับเคลื่อนนั้นได้ใช้ไอซี L298 ซึ่งสามารถนำมาขับมอเตอร์กระแสตรงให้มีทิศทางการหมุนสองทิศทางได้สองตัว คอนโทรลเลอร์นั้นใช้ไอซี ATMEGA16 สำหรับการทำงานของคอนโทรลเลอร์นั้นได้ใช้โปรแกรม CodeVisionAVR C Compiler เพื่อทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งแล้วแปลงเป็นภาษา คอมพิวเตอร์แล้วอัดลงบน MCU และควบคุมการทำสัญลักษณ์ของเครื่องผ่านทางคอมพิวเตอร์

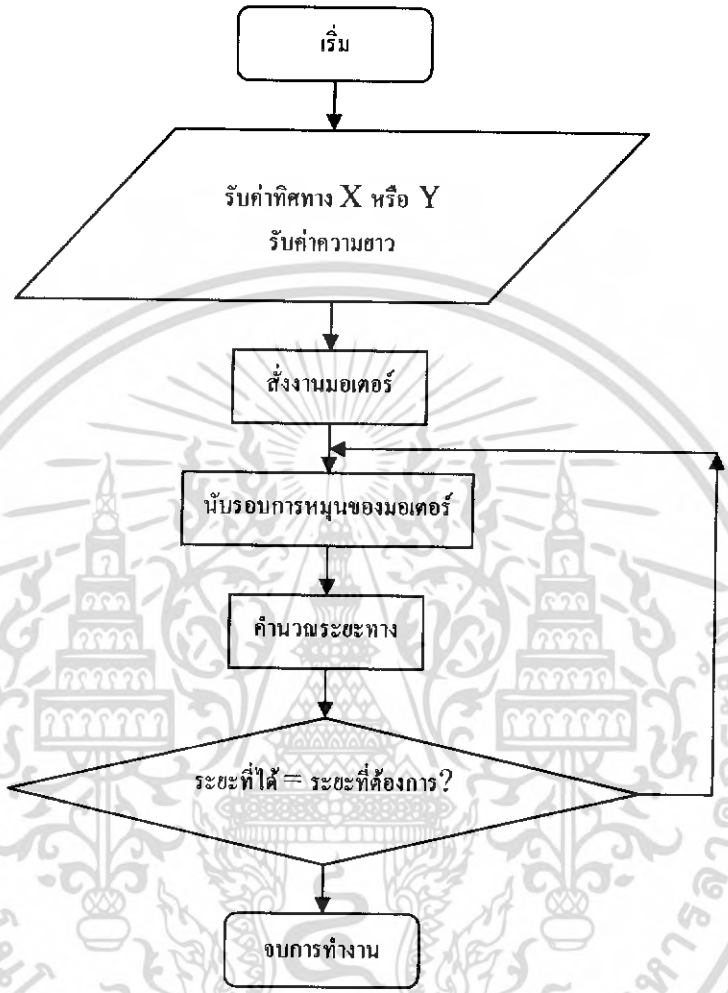
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แผนผังการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์**



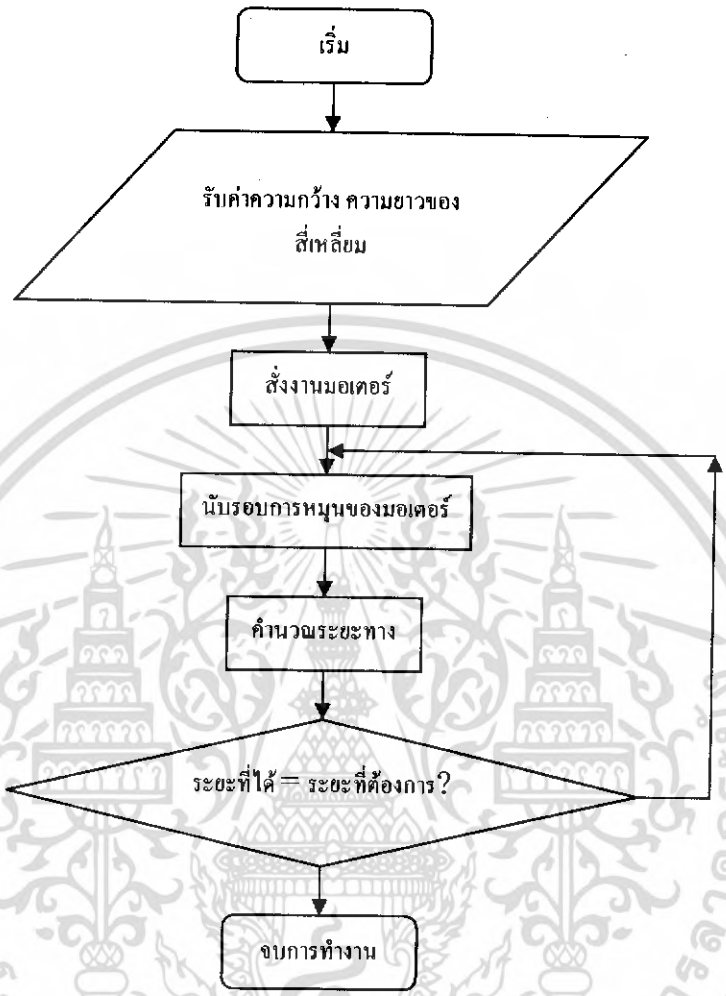

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เส้นตรง**



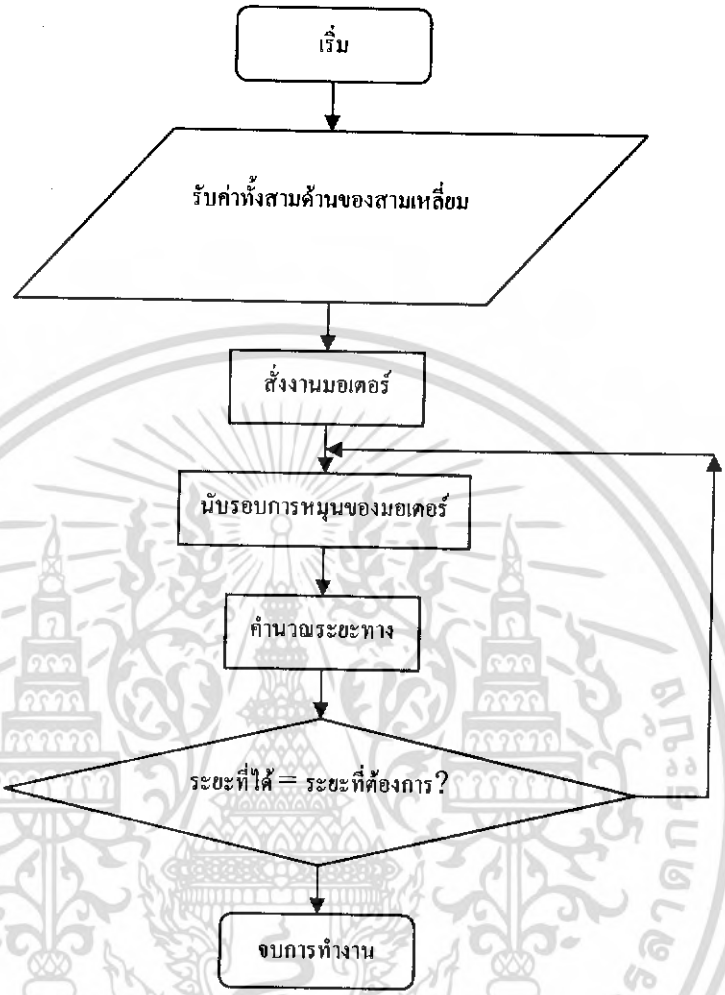

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สี่เหลี่ยม**



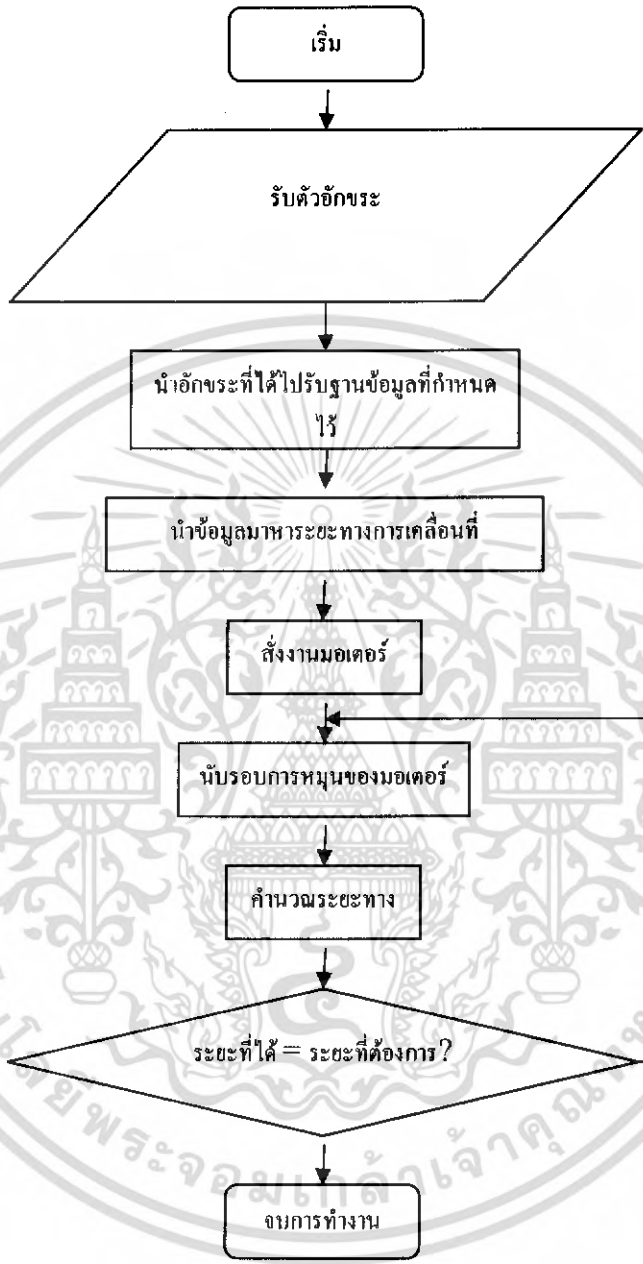

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สามเหลี่ยม**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**อักขระ**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# วิธีการทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้สร้าง X-Y plotter ขึ้นมาใหม่แทนชุดเดิมพร้อมสำหรับการใช้งานเมื่อนำส่วนต่างๆ ในการทำงานของเครื่องทำสัญลักษณ์มารวมเข้าด้วยกันโดยมี่ 4 ส่วนคือ X-Y plotter, Controller, Driver และ Computer ในลำดับต่อไปเป็นการติดตั้งและทดสอบการทำงานเครื่องทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์พร้อมกับการทำสัญลักษณ์ตามคำสั่งที่ออกมาจากโปรแกรมสั่งงานทางคอมพิวเตอร์

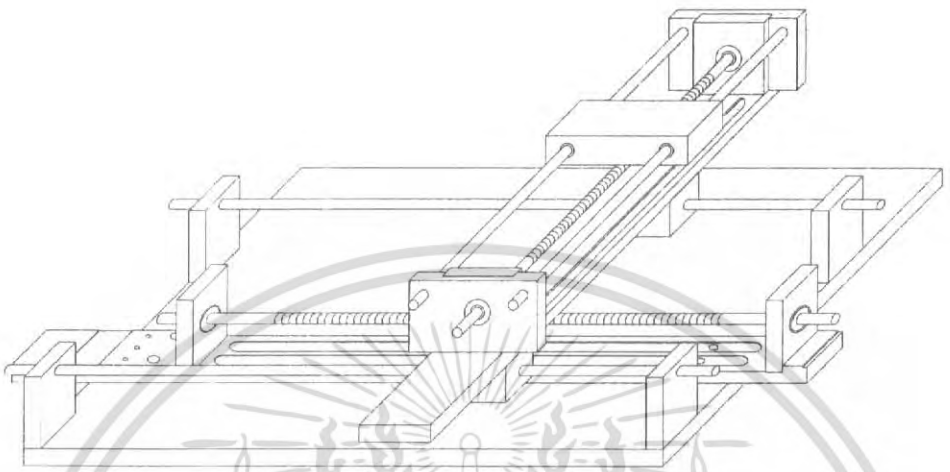
## 4.1 วิธีการทดลอง

1. ออกแบบระบบ X-Y Plotter
2. สร้างชุด X-Y Plotter ตามแบบ
3. ออกแบบวงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter
4. สร้างวงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter ตามแบบ
5. สร้างโปรแกรมสั่งงานจากคอมพิวเตอร์
6. ติดตั้งระบบ X-Y Plotter กับตัวขับเคลื่อนเข้าด้วยกันพร้อมกับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
7. เปิดโปรแกรมสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ขึ้นมา
8. ทดสอบการเคลื่อนที่ของ X-Y Plotter โดยการปรับความเร็ว
9. สร้างแผนผังการทำงาน
10. ทำสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงตามแนวแกน X
11. ทำสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงตามแนวแกน Y
12. ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม
13. ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม
14. ทำสัญลักษณ์เป็นตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

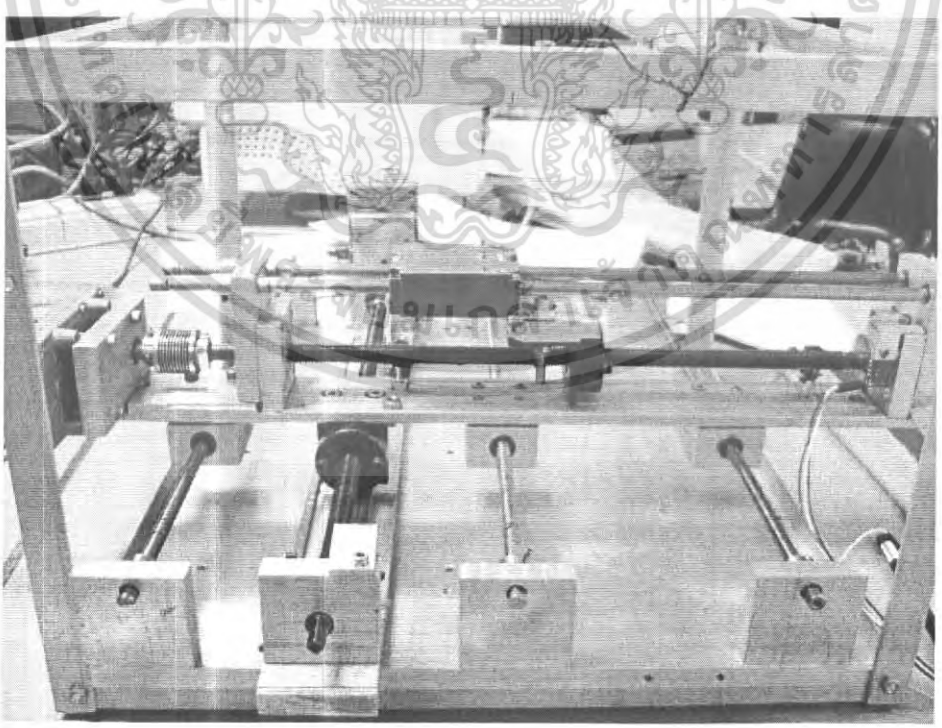
**4.2 ผลการทดลอง**

1. แบบระบบ X-Y Plotter



รูปที่ 4.1 แบบระบบ X-Y Plotter

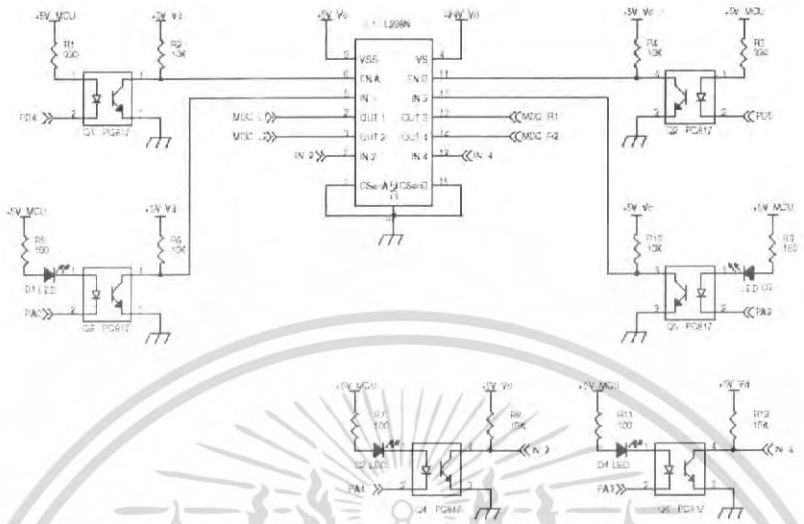
2. ชุด X-Y Plotter ตามแบบ



รูปที่ 4.2 ชุด X-Y Plotter ตามแบบ

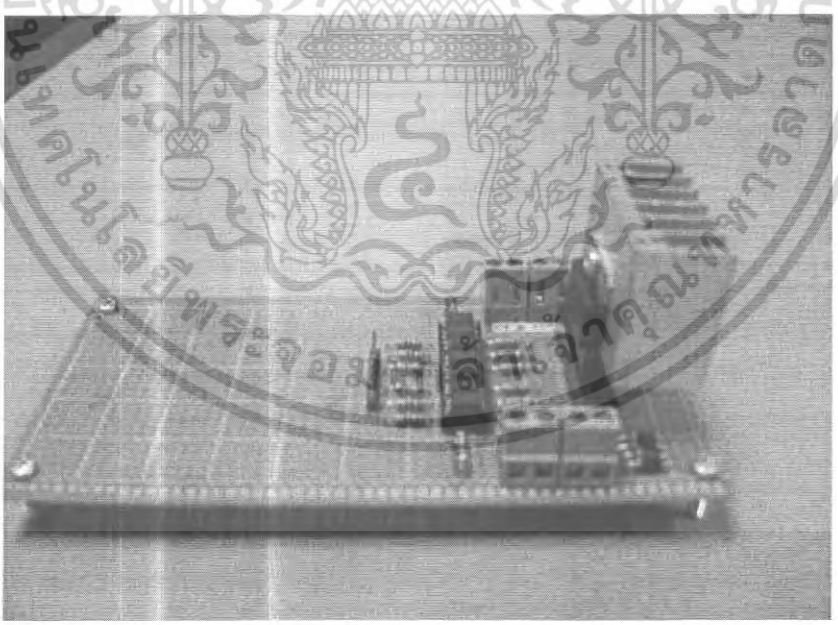
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบวงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter



รูปที่ 4.3 . แบบวงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter

4. วงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter ตามแบบ



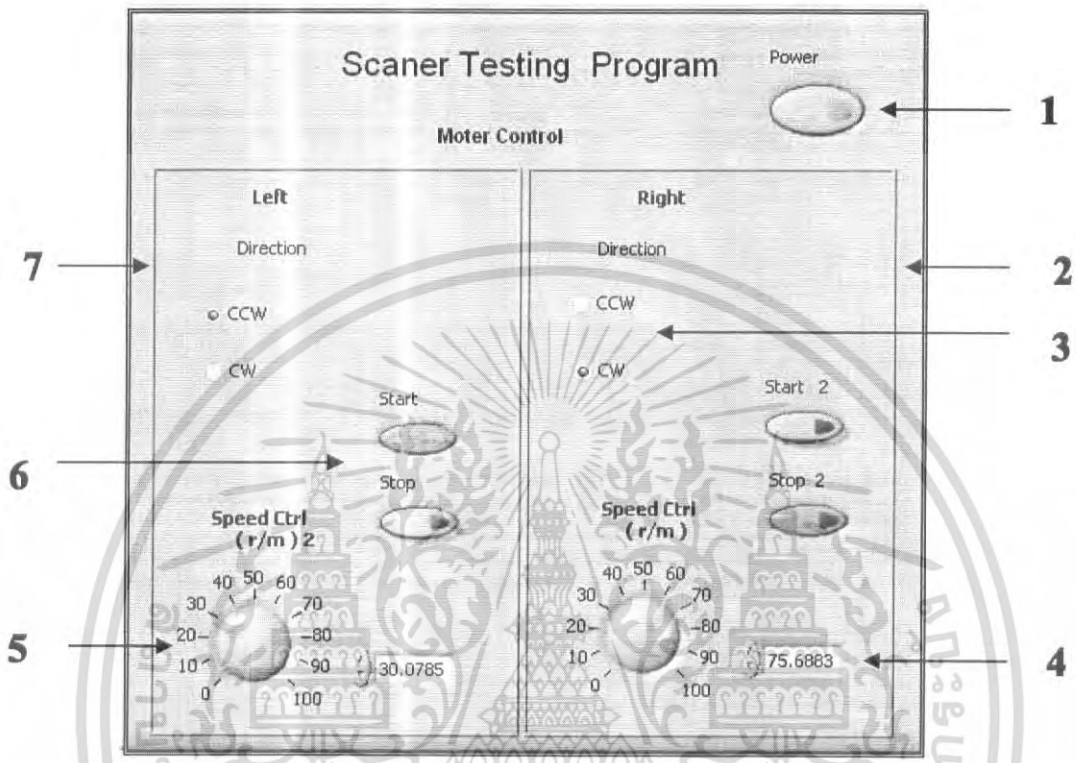
รูปที่ 4.4 วงจรขับเคลื่อน X-Y Plotter ตามแบบ

5. ติดตั้งระบบ X-Y Plotter กับตัวขับเคลื่อนเข้าด้วยกันพร้อมกับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สร้างโปรแกรมสั่งงานจากคอมพิวเตอร์

7. เปิดโปรแกรมสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ขึ้นมา

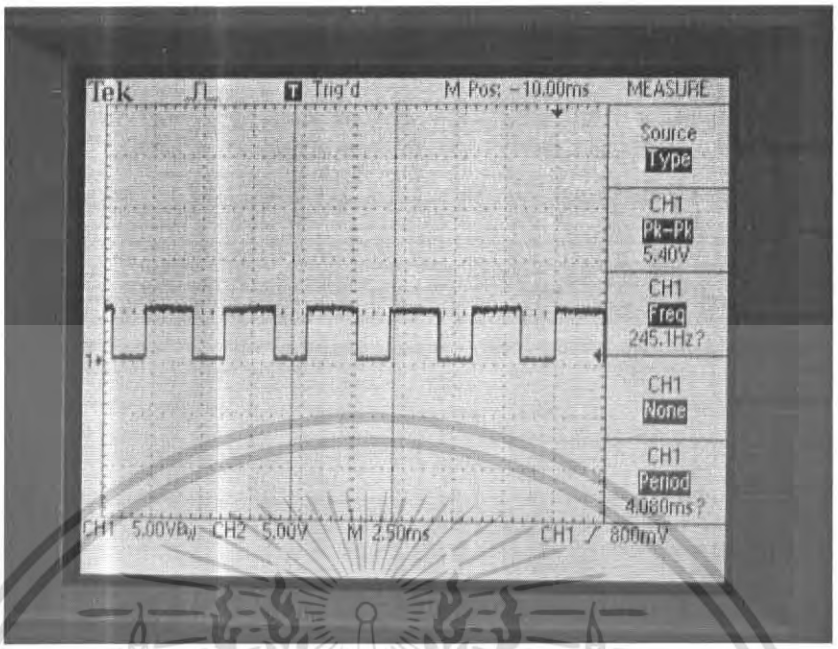



รูปที่ 4.5 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรมทดสอบแท่นแสกน

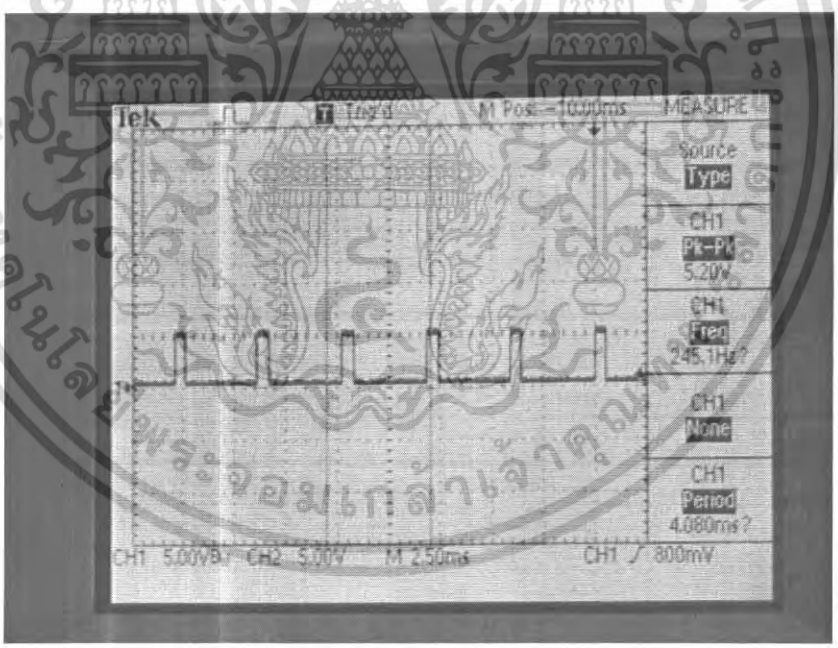
**หน้าที่การทำงานของตำแหน่งต่างๆ บนโปรแกรม**

1. สวิตช์เปิด-ปิดแท่นแสกน ( Power on/off )
2. ระบบควบคุมมอเตอร์ตัวขวา ( Right Moter Control )
3. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ( Direction of Rotation )
4. ช่องแสดงความเร็วรอบของมอเตอร์(รอบต่อนาที) ( Monitor Speed ( r/m ) )
5. ปุ่มควบคุมระดับความเร็วของมอเตอร์ ( รอบต่อนาที ) ( Moter Speed Control ( r/m ) )
6. สวิตช์เปิด-ปิดมอเตอร์ ( Moter on/off )
7. ระบบควบคุมมอเตอร์ตัวซ้าย ( Left Moter Control )
8. ทดสอบการเคลื่อนที่ของ X-Y Plotter โดยการปรับความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

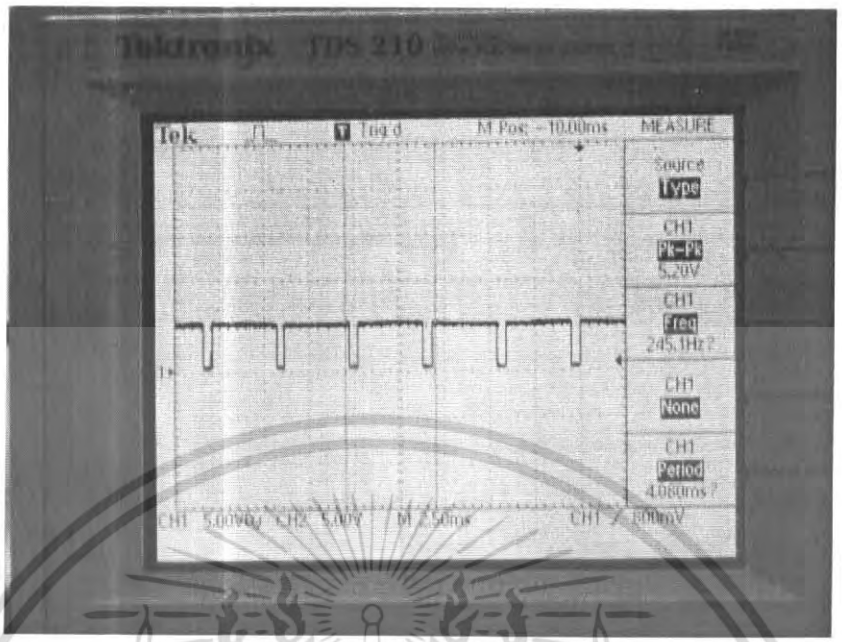



รูปที่ 4.6 มีความเร็ว 60% ของความเร็วสูงสุด




รูปที่ 4.7 มีความเร็ว 15% ของความเร็วสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



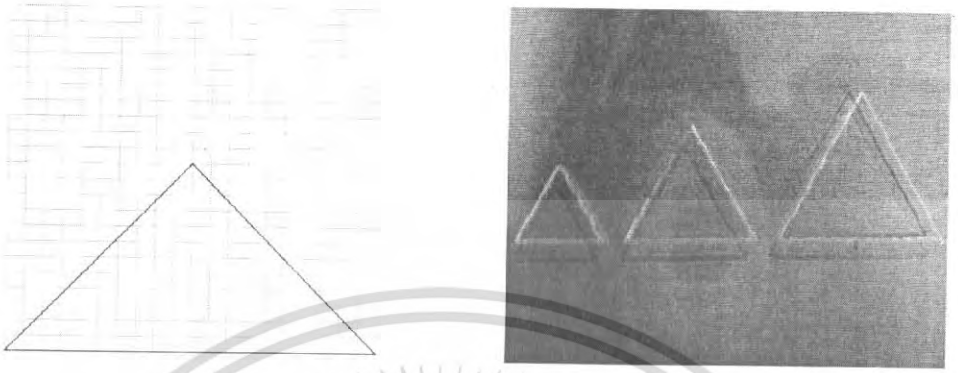

รูปที่ 4.8 มีความเร็ว 85% ของความเร็วสูงสุด

9. ทำสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงตามแนวแกน X

รูปที่ 4.9 ทำสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงตามแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม



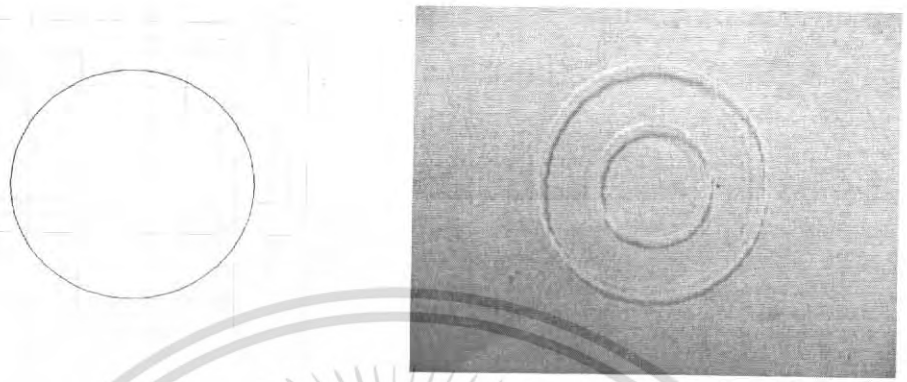
รูปที่ 4.10 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม

11. ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.11 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทำสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม



รูปที่ 4.12 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม

13. ทำสัญลักษณ์เป็นคลื่นไซน์

รูปที่ 4.13 ทำสัญลักษณ์เป็นคลื่นไซน์

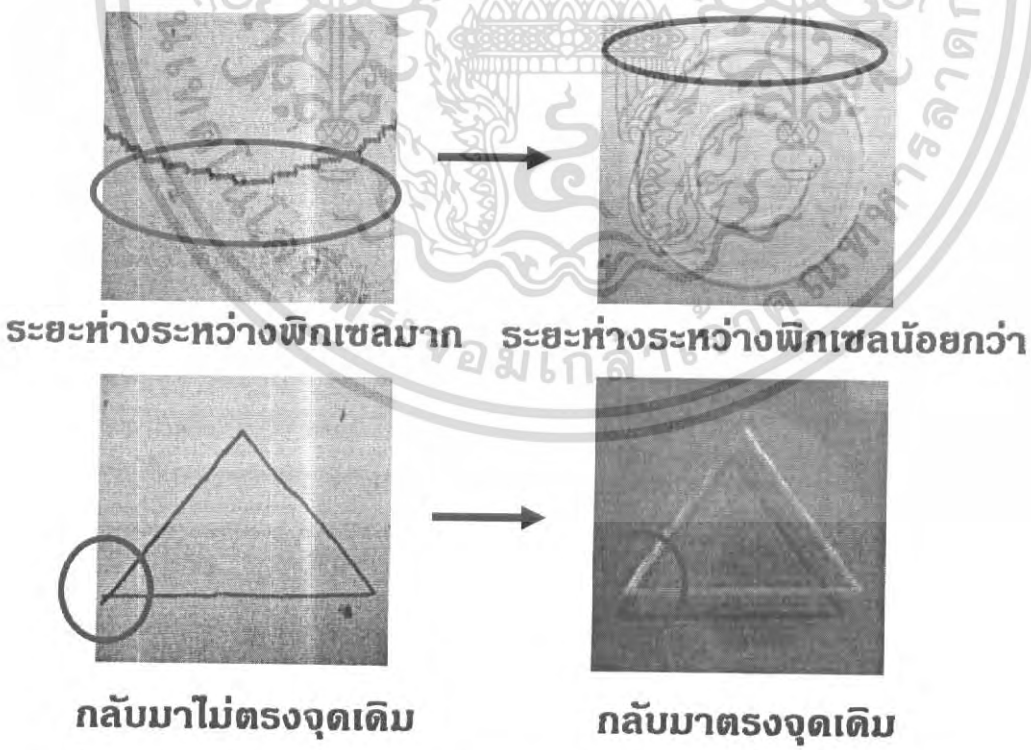
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ทำสัญลักษณ์เป็นอักขระ

รูปที่ 4.14 ทำสัญลักษณ์เป็นรูปอักขระ

15. เปรียบเทียบรูปแบบของสัญลักษณ์

ในการทำสัญลักษณ์ด้วยโครงงานพิเศษชิ้นนี้ผลงานที่ได้ออกมานั้นมีความเรียบคมและสม่ำเสมอมากกว่าถ้าเปรียบเทียบกับผลงานที่ได้จากโครงงานชุดก่อนหน้าดังรูป




รูปที่ 4.145 เปรียบเทียบผลงานการทำสัญลักษณ์จากโครงงานชิ้นเก่าและชิ้นใหม่

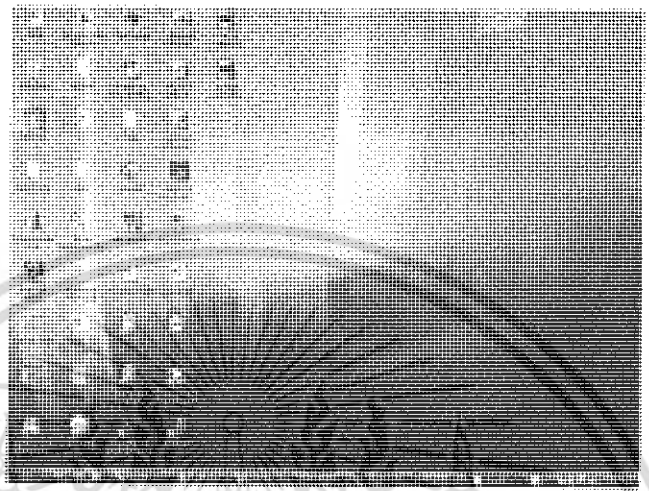
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

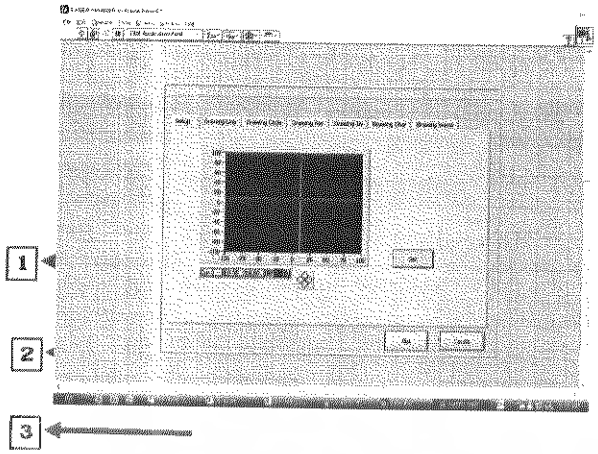
**การใช้งานโปรแกรมสั่งงาน**

เริ่มการใช้งานปีแกรมโดยการ double ที่ไอคอน LASER MARKER บน desktop หรือเปิดโปรแกรม LabVIEW>> open >>LASER MARKER



**อะปรากฏหน้าต่างการทำงานดังรูป**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




1. **Running Status** ตัวแสดงสถานะของโปรแกรม
2. **Trab Control** เลือกฟังก์ชั่นการสั่งงาน
3. **Page** แสดงหน้าโปรแกรมการใช้งาน

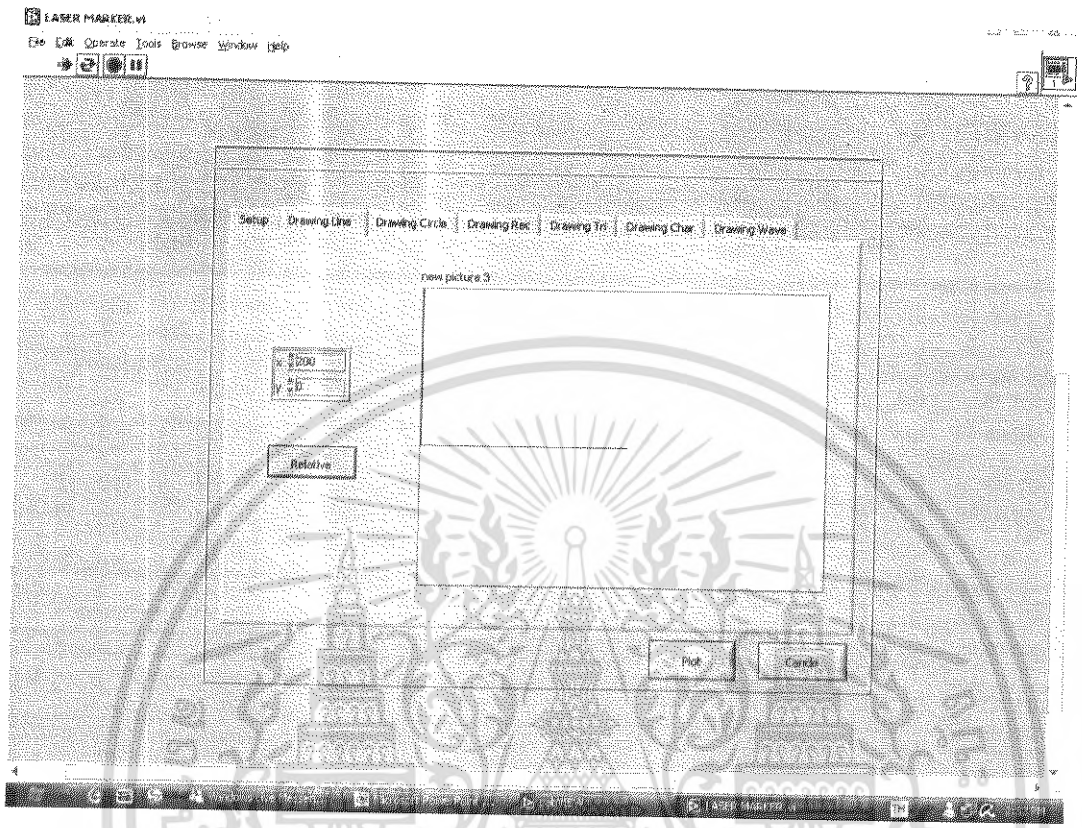
**SETUP**

1. **Setup** เป็นฟังก์ชั่นหนึ่งของโปรแกรมเพื่อใช้ในการกำหนดจุดออริจิ้นของแท่นแสกน
2. **Coordinate** แสดงตำแหน่ง
3. **Direction Control** ใช้ในการเลื่อนพิกัด

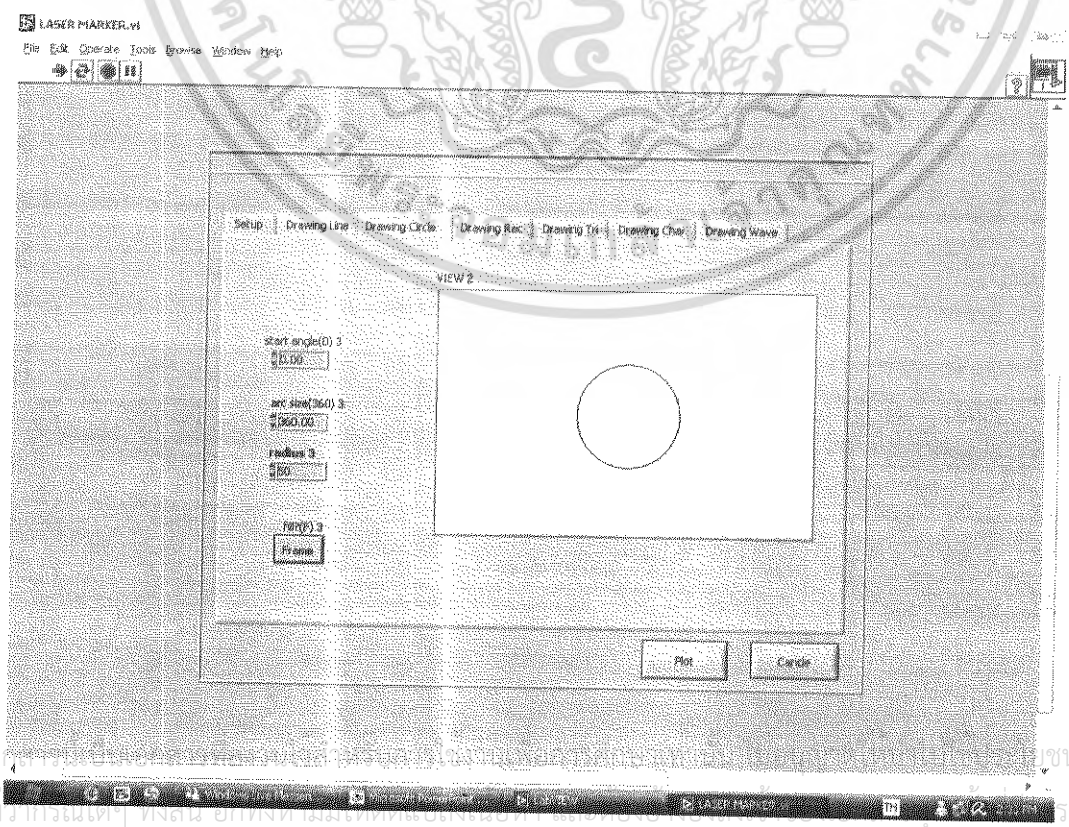
**หน้าต่างการทำงานโปรแกรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Drawing Line

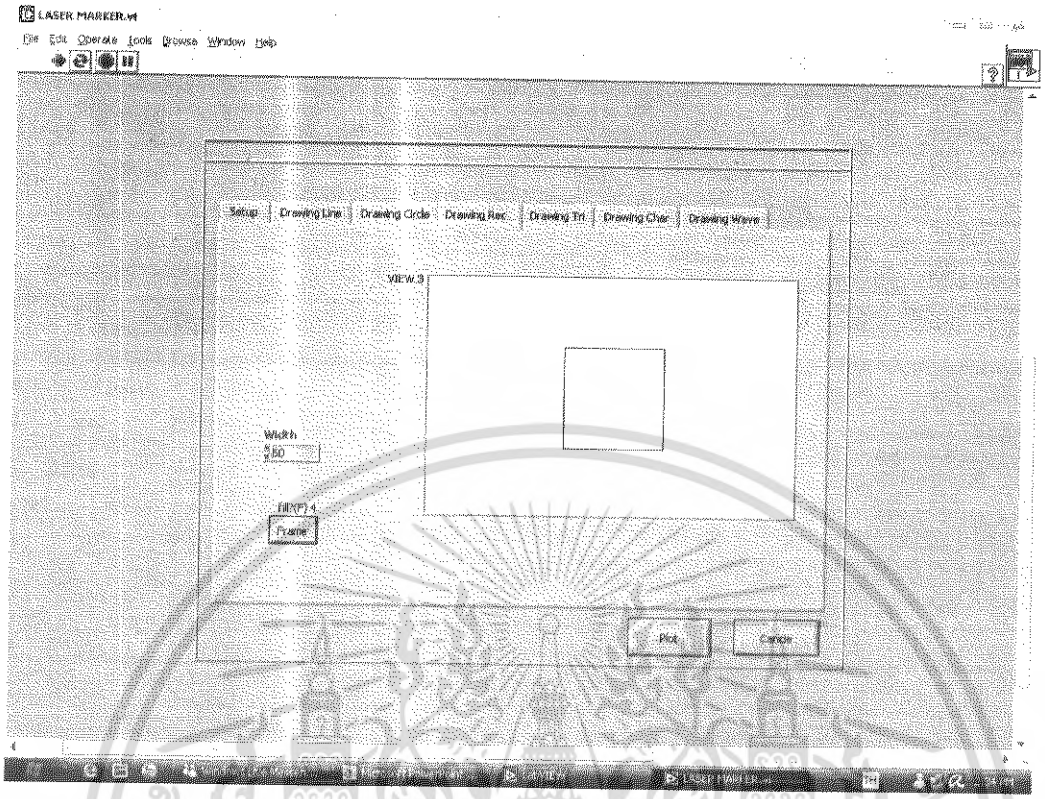



Drawing Circle

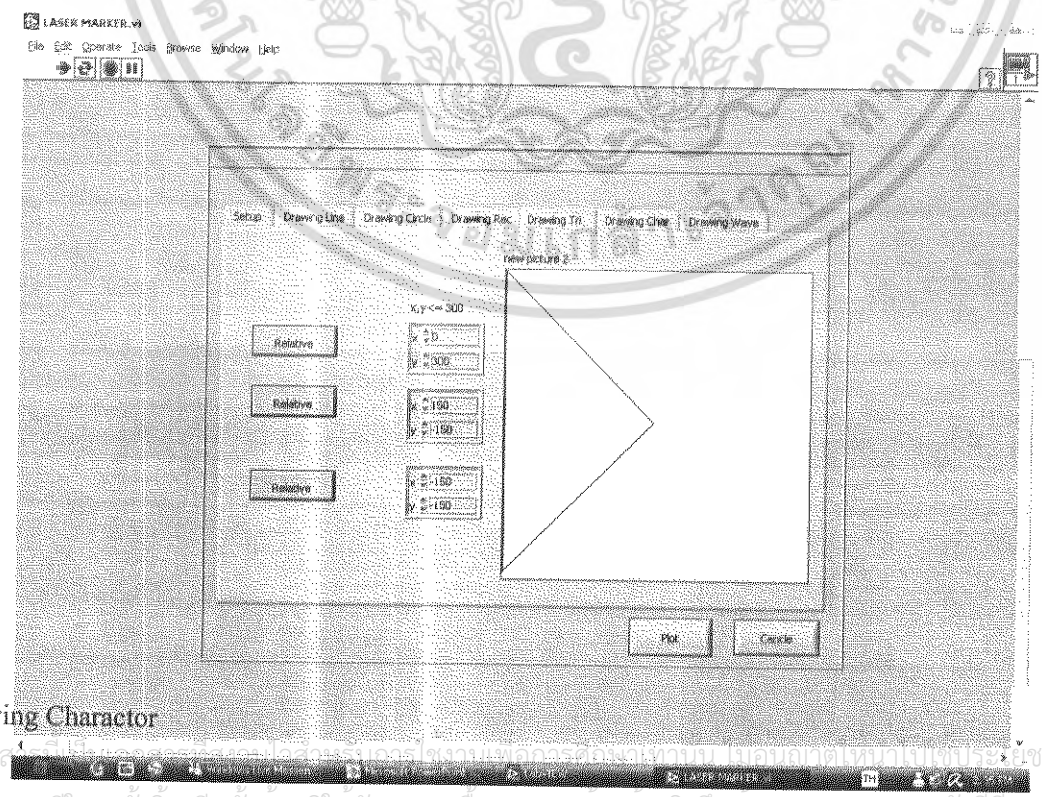



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Drawing Regtangular

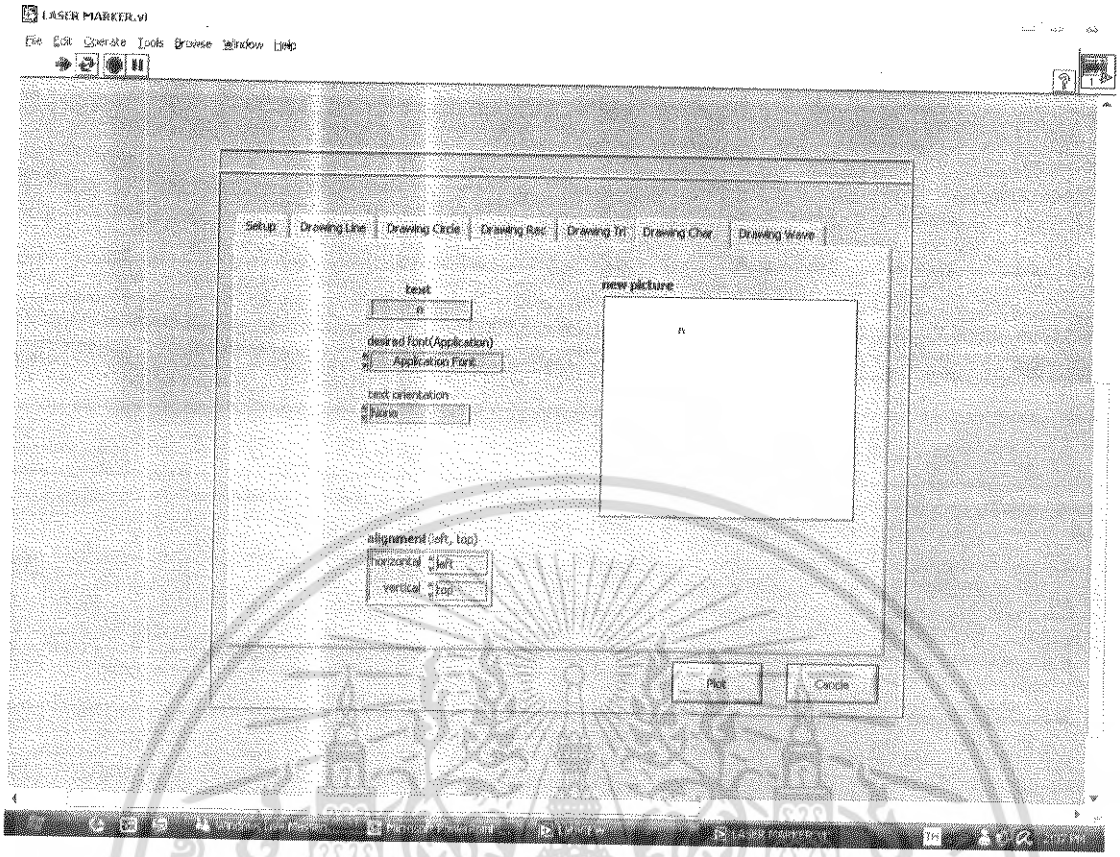



Drawing Triangle

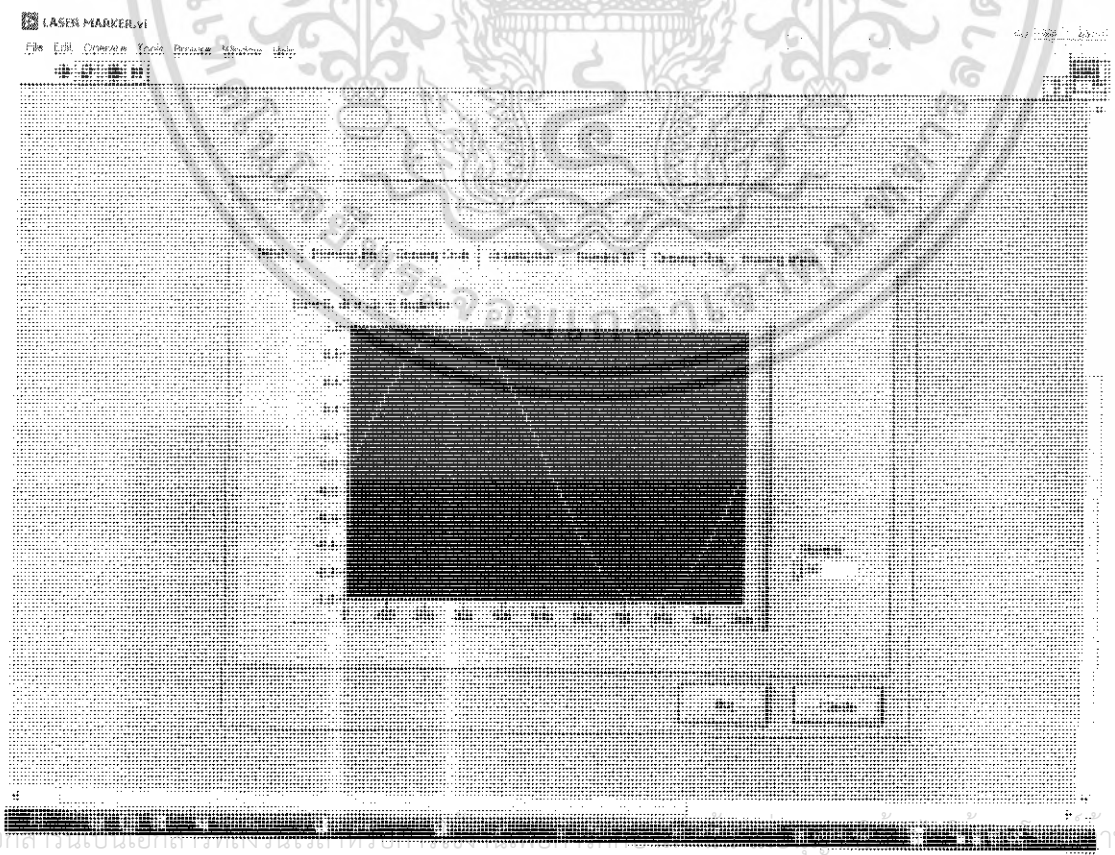



Drawing Charactor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Drawing Wave




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้