สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเจาะโลหะแผ่นอัตโนมัติ

Automatic Punching Machine

นางสาวมนัสชนก จงประสิทธิ์พร

Miss Manutchanok Jongprasitporn

นางสาวอรวรรณ สิงห์สุข

Miss Orawan Singhasuk

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42429
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องเจาะโลหะแผ่นอัตโนมัติ Automatic Punching Machine		
นักศึกษา	นางสาวมนัสชนก จงประสิทธิ์พร	รหัสประจำตัว	40010585
	นางสาวอรวรรณ สิงห์สุข	รหัสประจำตัว	40010971
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2543		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)

(อ.วิภู ศรีสืบสาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ
นักศึกษา	น.ส. มนัสชนก จงประสิทธิ์พร
	น.ส. อรวรรณ สิงห์สุข
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช
	อ. วิภู ศรีสืบสาย

บทคัดย่อ

วิวัฒนาการในโลกปัจจุบันพัฒนาการทางด้านคอมพิวเตอร์มีความสามารถสูงขึ้น ทำให้คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น สามารถทดแทนและช่วยเหลือแรงงานจากมนุษย์และเครื่องจักรกลในด้านต่างๆ อาทิเช่น การคำนวณ การออกแบบ การควบคุม การตรวจสอบ การทดสอบ เป็นต้น โดยเฉพาะในเรื่องการควบคุม ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลให้ทำงานได้อย่างอัตโนมัติแทนการควบคุมจากแรงงานคน ทั้งนี้เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ ความละเอียดและความรวดเร็ว ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้นำเอาความรู้ด้านคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับความรู้ด้านกลไกต่างๆที่มีมีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม เพียงแค่กำหนดค่าต่างๆให้แก่คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะประมวลผลตามโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นด้วย Delphi5 โดยใช้ภาษา Pascal แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถเจาะชิ้นงานได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic Punching Machine
Students	Miss Manutchanok Jongprasitporn
	Miss Orawan Singhasuk
Level of Study	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2000
Thesis Advisors	Asst. Prof. Pornsak Attavanich
	Mr.Wipoo Sriseubsai

ABSTRACT

Nowadays, computer has developed to have more abilities, so computer has played an essential role in the different kinds of important aspect, replacing and helping human and machine in many different tasks such as Calculation, Designing, Control, Examination, Testing, Medical science and so on. Especially, on controlling machine, computer is used to automatically control the machine instead of human control because it gives more accuracy. Therefore, the highest aim of this study is focused on the combination of computer and mechanism knowledge. The application software, which is developed by using Delphi5 as a tool and Pascal as a computer language, will be displayed on computer screen on which the user can assign parameters for controlling machine. So, the program will compile follow the procedure and signal the controlling circuit for punching the work piece on the exact positions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ขอขอบคุณ ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช และ อ.วิภู ศรีสืบสาย สำหรับคำแนะนำ และ คำปรึกษา

ขอขอบคุณ ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ สำหรับกำลังใจ และข้อชี้แนะ

ขอขอบคุณ อ.อุดม จันทร์จรัสสุข, อ.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ และ อ.พลชัย โชติปรายนกุล ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และแก้ปัญหาด้านกลไก วงจร และการเขียนโปรแกรม

ขอขอบคุณ อ.สกนธ์ คล่องบุญจิต(พี่ยิม) สำหรับกำลังใจจากต่างประเทศ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ WORK SHOP (พี่โก้) ภาคเครื่องกล สำหรับความช่วยเหลือในการทำงานกลึง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำหรับประสบการณ์การทำงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ และ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว สำหรับกำลังใจ ความรัก และ ความเข้าใจ ที่ทำให้มีวันนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน สำหรับความมีน้ำใจ และคุณกิตติภูมิ สำหรับกำลังใจในการทำงาน

นางสาวมนัสชนก จงประสิทธิ์พร

นางสาวอรวรรณ สิงห์สุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 จุดประสงค์และความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกล CNC	3
2.2 ทฤษฎีการอบชุบเหล็กขั้นพื้นฐาน (Heat Treatment of Steel)	11
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Stepping Motor	13
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับพอร์ท Printer	26
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง	
3.1 ส่วนประกอบของ Hardware	34
3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์	36
3.3 ภาพแสดงแบบชุดหัว Punch และ Die	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง	46
4.2 อุปกรณ์ในการทดลอง	46
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	46
บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปและวิจารณ์	52
5.2 แนวทางในการพัฒนา	53
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเครื่องจักรกล CNC	6
2.2 การขับป้อนของโต๊ะทำงาน	8
2.3 ลักษณะโครงสร้างภายในของชุดบอลสกรู	8
2.4 ช่วงอุณหภูมิในการทำการชุบแข็งและอบคืนไฟ	12
2.5 Block Diagram แสดงการควบคุม Stepping Motor	13
2.6 ขั้นตอนการทำงานของ Stepping Motor แบบเต็ม Step 1 เฟส	15
2.7 กราฟสเต็ปการหมุนในโหมดการทำงาน	16
2.8 ภาพตัดขวางของ Stepping Motor แบบ 3 เฟส	17
2.9 ตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของ stepping Motor ถูกกระตุ้น	17
2.10 แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก	18
2.11 ขั้นตอยการเคลื่อนที่ของโรเตอร์เมื่อ Stepping Motor ถูกกระตุ้น	18
2.12 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของ Stepping Motor	19
2.13 (a) มอเตอร์ 3 เฟส	19
2.13 (b) มอเตอร์ 4 เฟส	19
2.14 โครงสร้างของ Stepping Motor แบบแม่เหล็กถาวร	20
2.15 โครงสร้างของ High Bit Stepping Motor	21
2.16 วงจรขับแบบยูนิโพล่าร์	23
2.17 วงจรขับแบบไพล่าร์	23
2.18 รูปร่างและตำแหน่งขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ทขนาน DB-25 ตัวเมีย	30
3.1 Control Panel ของโปรแกรม	37
3.2 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ	39
3.3 ชุดหัว Punch	41
3.4 ชุด Die	41
3.5 ภาพด้านบนของชุดหัว Punch ชิ้นใหญ่	42
3.6 ภาพด้านข้างของชุดหัว Punch ชิ้นใหญ่	42
3.7 ภาพด้านบนของชุดหัว Punch ชิ้นเล็ก	43
3.8 ภาพด้านข้างของชุดหัว Punch ชิ้นเล็ก	43
3.9 ภาพด้านบนของชุดหัว Die ชิ้นใหญ่	44
3.10 ภาพด้านข้างของชุดหัว Die ชิ้นใหญ่	44
3.11 ภาพด้านบนของชุดหัว Die ชิ้นเล็ก	45
3.12 ภาพด้านข้างของชุดหัว Die ชิ้นเล็ก	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
2.1 เปรียบเทียบระหว่างระบบ NC กับเครื่องจักรกลทั่วไป	3
2.2 ตัวอย่างมุมของ Step	14
2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	24
2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	25
2.5 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	25
2.6 แสดง Adderss Port ของ IBM PC	27
2.7 หน้าที่และการทำงานของขาต่างๆของ Port ขนาน	31
2.8 Address ของ Resistor ของ Port ขนาน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำย่อและสัญลักษณ์

NC	Numerical Control
CNC	Computerized Numerical Control
N	จำนวนรอบ
f	Frequency of translational vibration of the disk surface = $\omega/2\pi$
s	จำนวนสเต็ปทั้งหมด
θ_s	มุมเฟส
m	จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์
Nr	จำนวนรอบ
ν_s	แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟทั้งหมด
i	กระแสไฟฟ้า
r	ความต้านทานของขดลวด
R	ความต้านทานของตัวต้านทาน
L	ตัวเหนี่ยวนำ
μ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
σ	ค่าความแปรปรวน
$\sum$	ผลรวมของข้อมูล
$\bar{x}$	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุด X
x_i	ข้อมูลชุดที่ iชุดX
n	จำนวนข้อมูล
$\bar{y}$	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุด Y
y_i	ข้อมูลชุดที่ iชุดY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 จุดประสงค์และความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

เนื่องด้วยในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนมากขึ้นในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ การสาธารณสุข การติดต่อสื่อสาร การคมนาคม การก่อสร้าง หรือแม้กระทั่งทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันได้มีอัตราการแข่งขันค่อนข้างสูง จึงเห็นได้ว่าแต่ละหน่วยงานก็ต่างมุ่งที่จะพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้กันอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม ได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในการปฏิบัติ งานเพิ่มมากขึ้น ทั้งทางด้านการออกแบบ การผลิต การบำรุงรักษา การตรวจสอบคุณภาพ หรือแม้กระทั่งการขนถ่ายผลผลิตไปยังผู้บริโภค คอมพิวเตอร์จึงเป็นกลจักรสำคัญที่จะทำให้หน่วยงานประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี

การนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้งานทางด้านการผลิตสามารถกระทำได้ในหลาย ๆ ส่วนด้วยกัน ซึ่งโครงงานนี้ก็เป็นตัวอย่างหนึ่งในการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยทางด้านการผลิต โดยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นโลหะ ซึ่งจะสามารถทำการเจาะแผ่นโลหะเป็นรูปต่าง ๆ เพื่อการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่อไป อาทิเช่น งานขึ้นรูปแผ่นโลหะเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ของเด็กเล่น เครื่องครัว ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

ทั้งนี้เครื่องเจาะแผ่นโลหะหรือเครื่อง Punching เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่มากเกินไป โดยทำการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการลงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำไปประมวลผลตามโปรแกรม ส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรควบคุม Stepping Motor และหัวเจาะ ให้ทำงานตามขั้นตอนต่าง ๆ จนเสร็จสมบูรณ์ ทั้งนี้ความถูกต้องแม่นยำจะขึ้นอยู่กับการวาง alignment ของ guide vane การจับยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเจาะ และความละเอียดที่ได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนสเต็ปของมอเตอร์ ความละเอียดของบอลสกรู อย่างไรก็ดี ประสิทธิภาพในการเจาะจะใช้ได้ดีเมื่อชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะแข็งที่มีความหนาไม่มาก และมีขนาด(กว้าง-ยาว)พอเหมาะกับขนาดของที่จับยึดชิ้นงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถเรียนรู้ และเข้าใจการทำงานร่วมกันระหว่างกลไกทาง Hardware และคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ ซึ่งมีการรับและส่งค่าการประมวลผลของ Application Software ทางพอร์ท Printer ไปยังวงจรต่างๆ

ขอบเขตของโครงงาน คือสามารถออกแบบและสร้างเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และชิ้นงานที่ได้ มีค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามทฤษฎีทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นเหล็กอัติโนมัติ ที่มีการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน 2 แนวแกนคือแนวแกน X , แนวแกน Y และมีการเคลื่อนที่ของหัว Punch ในแนวแกน Z โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ และการเจาะ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ส่วนของเครื่องเจาะชิ้นงานอัติโนมัติ

1.3.1.1 จัดทำชุดหัว Punch และ Die ให้สามารถทำการเจาะแผ่นเหล็กบางขนาด 1-1.5 มิลลิเมตร

1.3.1.2 เครื่องเจาะแผ่นเหล็กอัติโนมัติสามารถทำงานโดยการควบคุมจากคอมพิวเตอร์

1.3.1.3 เครื่องเจาะแผ่นเหล็กอัติโนมัติสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แนวแกน ได้แก่ แนวแกน X และแนวแกน Y

1.3.2 ส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงาน

1.3.2.1 โปรแกรมการควบคุมการทำงานสามารถรับค่าได้ 3 แบบ ได้แก่

- รับค่าเป็นคู่ลำดับโดยแป้นพิมพ์
- รับค่าโดยการวาดภาพเป็นจุดโดยเม้าท์
- รับค่าโดยการเปิดจากรูปภาพที่ได้ทำการบันทึกไว้

1.3.2.2 หน้าจอใช้งานของโปรแกรมมีรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกล CNC [1]

2.1.1 ความหมายของ NC และ CNC

NC ย่อมาจากคำว่า Numerical Control ซึ่งหมายถึง การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยระบบตัวเลขและตัวอักษร กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆ ตลอดจนการทำงานอื่นๆของเครื่องจักรกลจะถูกควบคุมโดยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่นๆซึ่งจะถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (pulse) ของกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณออกอื่นๆ ที่จะไปกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆเพื่อทำให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

CNC ย่อมาจากคำว่า Computerized Numerical Control ระบบควบคุม CNC แบบนี้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสมารถสูงเพิ่มเข้าไปภายในระบบทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบ NC และประมวลผลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล

2.1.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกล NC กับเครื่องจักรกลทั่วไป

ความแตกต่างในการใช้เครื่องจักรกล NC เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลที่ใช้ทั่วไปก็คือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆจะกระทำเพียงครั้งเดียว กล่าวคือ จะกระทำในขั้นตอนการวางแผนและสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลสำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ โดยสามารถทำการผลิตซ้ำๆกันกี่ครั้งก็ได้ตามต้องการ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างระบบ NC กับเครื่องจักรกลทั่วไป

ลำดับที่	ขั้นตอน		เครื่องจักรกลทั่วไป	เครื่องจักรกล CNC
1	การป้อนโปรแกรม	ขั้นเตรียมงาน	ไม่มี	มี
2	การจับยึดชิ้นงาน	ขั้นเตรียมงาน	มือ	มือ
3	การจับยึดเครื่องมือ	ขั้นเตรียมงาน	มือ	มือหรือชุดควบคุม
4	การตั้งจุดอ้างอิง	ขั้นเตรียมงาน	มือ	มือ
5	การตั้งความเร็วรอบ	ขั้นเตรียมงาน	มือ	ระบบควบคุม
6	การเลื่อนแท่นเลื่อน	ขั้นทำงาน	มือหมุน	ระบบควบคุม
7	การเปรียบเทียบระยะ	ขั้นทำงาน	สายตา	ระบบควบคุม
8	การตรวจสอบขนาด	ขั้นทำงาน	เครื่องวัด	ใช้เวลาน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ความแตกต่างระหว่างระบบ NC กับระบบ CNC

ระบบ CNC เป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบ NC ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างระหว่างระบบ NC ก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุม นั่นคือคอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบ NC ไปควบคุมเครื่องจักรกล ความสามารถในการทำงานต่างๆจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกล NC ดังนี้

1. การแสดงภาพจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบทางจอภาพ
2. ความจุของหน่วยความจำที่เพิ่มมากขึ้น สามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก
3. การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรโดยตรง
4. สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้
5. มีระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น
6. มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง
7. มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับการคำนวณต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน เป็นต้น

2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรกล NC และ CNC

ข้อดี ของเครื่องจักรกล NC และ CNC เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติประเภทอื่นๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

1. มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบ และอุตราการป้อนที่ใช้ทำการผลิต
3. เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า
4. สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย
5. การปรับตั้งเครื่องจะกระทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ
6. หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่ใช้ทักษะและประสบการณ์สูง
7. เวลาว่างจากการควบคุมเครื่อง สามารถนำมาจัดเตรียมงานอื่นๆไว้ล่วงหน้าได้
8. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้น

ข้อเสีย ของเครื่องจักรกล NC และ CNC มีดังนี้

1. ราคาของเครื่องจักรกลค่อนข้างสูง
2. การบำรุงรักษามีความซับซ้อนมาก
3. จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษะสูง และฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
4. ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ จำเป็นต้องสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศ
5. การซ่อมบำรุงจะต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูง และผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
6. ราคาของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในกระบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลายึดมีดกัด มีดกลึงแบบใช้ Insert เป็นต้น มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรจะต้องควบคุมระดับอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละออง

ข้อมูลเหล่านี้ จำเป็นจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบก่อนที่จะพิจารณาจัดซื้อ ซึ่งสามารถสอบถามได้จากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายโดยตรง

2.1.5 การทำงานของเครื่องจักรกล CNC

หลักการทำงานของเครื่องจักรกล NC หรือ CNC จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือ โดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้ว เครื่องจักรกล CNC ก็จะทำการผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไป เช่น เครื่องกัด NC ก็จะทำงานเหมือนเครื่องกัดทั่วไป เพียงแต่ระบบควบคุม NC ของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆแทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตาม ก่อนที่เครื่องจักรกล NC จะสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะให้ทำอะไร และจะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ นั่นคือ จะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape)

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องเครื่องจักรกล NC ไม่มีมือสำหรับหมุนมือหมุน ให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นแท่นเลื่อนต่างๆจะต้องมีมอเตอร์ป้อน (Feed Motor) ประกอบอยู่ เช่น เครื่องกัด CNC จะมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกน ก็จะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว

เมื่อควบคุมระบบอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive Amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่

ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ ช่างควบคุมเครื่องอาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะรู้ว่าจะต้องเลื่อนแท่นไปอีกเป็นระยะทางเท่าใด แต่ระบบควบคุม NC มองไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จะสามารถบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า ระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวเส้นตรง (Linear Scale) มีจำนวนเท่ากับแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว

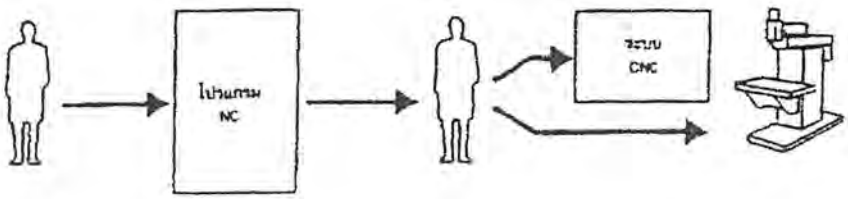
จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรกล CNC สามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรงและขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป ทำให้เครื่องกล NC และ CNC เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.1.6 ระบบควบคุมเครื่องจักรด้วยตัวเลข

เครื่องจักรกล CNC จะประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ

1. เครื่องจักกล เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัด เฉือน เจาะชิ้นงาน ตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้
2. ระบบซีเอ็นซี เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการตัดเฉือนเจาะทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเครื่องจักรกล CNC

ข้อมูลเดิมที่อธิบายรายละเอียดของขั้นตอนที่ใช้ในการตัดเฉือนเจาะชิ้นงาน จะถูกป้อนเข้าไปใน ระบบควบคุมของเครื่องจักรกลก่อน ในรูปแบบของโปรแกรมเอ็นซี ซึ่งถูกจัดเตรียมโดยช่างเขียนโปรแกรม ช่างควบคุมเครื่องจะเป็นผู้ป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุม ซึ่งอาจป้อนด้วยมือผ่านแป้นพิมพ์โดยตรง หรือใช้แถบกระดาษเจาะรู (punched tape) ก็ได้ หลังจากนั้น ก็จะเดินเครื่องทดลองโปรแกรม และสังเกตสภาวะการตัดเฉือนเจาะชิ้นงานในแต่ละขั้นตอน บ่อยครั้งที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องจัดเตรียมโปรแกรม หรือเขียนโปรแกรมด้วยตนเอง หรือแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือนเจาะสูงสุด ดังนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องมีความรู้ทั้งระบบควบคุมของเครื่องจักรกลและการเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วย

2.1.7 องค์ประกอบของเครื่องจักรกลที่ควบคุมได้

องค์ประกอบหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนชิ้นงานและองค์ประกอบ อื่น ๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมเอ็นซี ด้วยวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ กัน

2.1.7.1 แนวแกนป้อน (Feed axes)

ในการกล่าวถึงเครื่องจักรกลซีเอ็นซี บ่อยครั้งที่เราจะได้ยินคำว่า แนวแกน (axes) ซึ่งหมายถึง แนวแกนการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของเครื่องจักรกล เช่น โต๊ะงาน เพลาหัวเครื่อง อุปกรณ์ลำเลียงเครื่องมือ (Tool carriers) เป็นต้น

สำหรับเครื่องจักรกลทั่วไป การเคลื่อนที่ในแนวแกนต่าง ๆ จะเกิดจากการหมุนมือ หมุนคันโยก หรือ โยกคันโยกอัตโนมัติ (Feed levers)

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีแนวแกนป้อนรวมกันอยู่หลายแนวแกนทำให้สามารถตัดเฉือนเจาะชิ้นงานให้เป็นรูปทรงต่าง ๆ ที่ต้องการได้ การกำหนดแนวแกนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะกำหนดตามมาตรฐานสากลภายใต้หัวเรื่อง Coordinate axes and direction of movement for numerically controlled machinery ซึ่งจะกำหนดแนวแกนเหล่านี้โดยใช้ตัวอักษร x , y และ z

สำหรับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนมาก จะมีจำนวนแนวแกนป้อนเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.2 การขับป้อน (Feed driver)

การเคลื่อนที่เรียงลำดับกันหรือพร้อม ๆ กันอย่างต่อเนื่องของแนวแกนป้อน จะทำให้เกิดการตัดเฉือนเจาะของเครื่องมือในชิ้นงาน

การขับป้อนจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ในขณะตัดเฉือนเจาะแท่นเลื่อนอาจพาให้ชิ้นงานเคลื่อนที่หรือคมตัดเคลื่อนที่ก็ได้

ระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการหมุนขับและควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอก มอเตอร์ชนิดนี้จะสามารถหมุนและเบรคให้หยุดได้ทั้งสองทิศทางขณะตัดเฉือนเจาะชิ้นงาน การเคลื่อนที่ป้อนจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถต้านแรงกระทำจากภายนอกได้ เช่น แรงตัดเฉือนเป็นต้น ด้วยเหตุนี้ ระบบขับป้องจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีความแข็งแกร่งสูง มีการเคลื่อนที่คงที่และสม่ำเสมอ สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนอัตราป้อนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในขณะทำงานคมตัดอาจทื่อ หรือการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนถูกกีดขวาง หรือการเร่งอัตราป้อนให้เคลื่อนที่เร็วและหยุดโดยทันทีทันใด สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มอเตอร์รับภาระมากเกินไป (over loading) ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการป้องกันอุบัติเหตุเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้คลัตท์แบบลูกกลิ้ง (Over running clutch) ร่วมกับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ระบบขับป้อนให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรและการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพ มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping motors) เป็นมอเตอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง โดยการแปลงคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม การหมุนในแต่ละมุมหรือขั้นที่เปลี่ยนไป 1 ขั้นจะเท่ากับ 1 คลื่นสัญญาณ ดังนั้นตำแหน่งของเพลาจะถูกกำหนดโดยจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ และความเร็วในการหมุนของเพลาจะวัดเป็นจำนวนขั้นต่อวินาที (Steps per second) ซึ่งจะเท่ากับความถี่ของคลื่น สัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบที่วัดเป็นจำนวนคลื่นสัญญาณต่อวินาที (pulses per second) ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ในการแบ่งขั้นการหมุนตามจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบแรงบิดของมอเตอร์ชนิดนี้จะลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนแบ่งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลเล็ก ๆ ที่ไม่ต้องใช้กำลังขับมาก เช่น เครื่องพลอตเตอร์ (Plotter machine) เป็นต้น

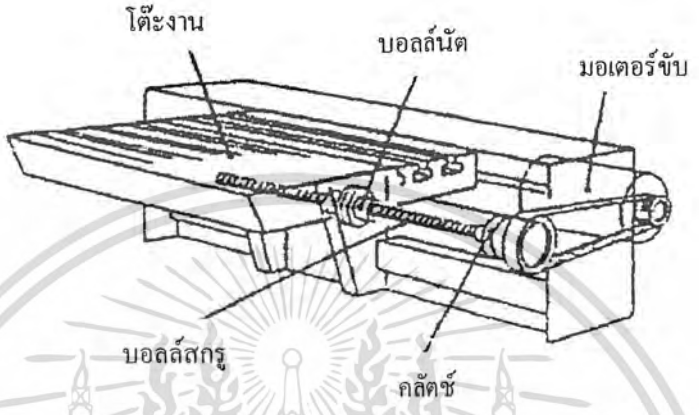
2.1.7.3 บอลสกรู (Ball screw)

หัวใจของระบบขับป้อนของเครื่องจักกลซีเอ็นซี ก็คือ การส่งกำลังขับด้วย บอลสกรู ซึ่งจะมีลูกบอลไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา บอลสกรูจะประกอบด้วยสกรูกับนัตที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลม ร่องเกลียวกลมบนสกรูและในนัตจะชุบแข็งและเจียระไนผิวเรียบมันเพื่อลดความฝืดและเพิ่มความเที่ยงในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูป

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู นัตก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรูพาให้แท่นเลื่อนและโต๊ะงานเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน

ภายในของตัวนัตจะประกอบไปด้วยชุดของลูกบอลจำนวนมาก ดังแสดงในรูป ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังแท่นเลื่อนจะมีน้อยมากนัตจะถูกแบ่งออกเป็นสองซีก และ ขันประกอบยึดเข้าด้วยกัน โดยมีการเตรียมอัดแรงไว้ก่อน (preload) ทำให้สามารถลดระยะคลอน (backlash) ให้เหลือน้อยที่สุดจนแทบจะไม่มีเลยได้ทำให้การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูงสามารถทำงานซ้ำ ๆ กันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การขับป้อนของโต๊ะทำงาน

รูปที่ 2.3 ลักษณะสร้างภายในของชุดบอลสกรู

การต่อกำลังระหว่างมอเตอร์กับบอลสกรู จะมีชุดคลัตช์ความฝืดเป็นตัวเชื่อม ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ต่อกำลังขับแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงานชนหรือกระทำกับสิ่งกีดขวางไม่ให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเกิดความเสียหายมากเกินไป กล่าวคือ เมื่อมีการชน หรือกระแทกกันขึ้นจนแรงมากถึงค่าหนึ่ง ชุดคลัตช์ก็จะตัดระบบการส่งกำลังขับระหว่างมอเตอร์กับตัวบอลสกรูทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.4 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Work-Piece holding devices)

อุปกรณ์ชิ้นงานจะจัดเตรียมไว้สำหรับยึดชิ้นงานเข้ากับโต๊ะงานในงานกัด (Milling) สามารถเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบต่าง ๆ กันได้ดังนี้

- แขนกดชิ้นงาน
- แองเกิล เพลท (angle plate)
- ปกกกาจับชิ้นงาน
- แท่นแม่เหล็ก
- อุปกรณ์จับชิ้นงานที่ออกแบบเฉพาะงาน

2.1.8 ระบบควบคุมซีเอ็นซี (CNC Control System)

ระบบซีเอ็นซี (CNC system) จะมีคอมพิวเตอร์ประกอบอยู่ด้วยดังนั้น ช่างควบคุมเครื่องไม่เพียงแต่จะสามารถใช้โปรแกรมเอ็นซีสั่งให้เครื่องจักรทำงานได้เท่านั้น แต่จะยังสามารถเขียนและป้อนโปรแกรมด้วยตนเองตลอดจนการแก้ไขโปรแกรมได้หลังจากป้อนเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องแล้ว

ขนาดต่าง ๆ ของเครื่องมือตัดและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสามารถที่จะเลือกใช้และป้อนเข้าไปในระบบควบคุมซีเอ็นซี ขณะทำการปรับตั้ง (setting-up) และเป็นอิสระจากตัวโปรแกรมเอ็นซีขนาดต่าง ๆ ของเครื่องมือจะถูกนำไปใช้โดยอัตโนมัติในขณะทำการตัดเฉือนเจาะ ด้วยเหตุนี้ช่างควบคุมเครื่องจึงไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลในการปรับตั้งมากและสามารถที่จะเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้ด้วยตนเอง

หากพิจารณาถึงภาษาโปรแกรม (Programming language) และเทคโนโลยีทางด้านการตัดเฉือนของเครื่องจักรกลที่ใช้ในระบบเอ็นซีกับซีเอ็นซีแล้วจะไม่แตกต่างกัน

2.1.8.1 ชนิดของการควบคุม (Control modes)

ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ทำงานของแท่นเลื่อนต่าง ๆ ในเครื่องจักรกล เอ็นซีและซีเอ็นซี จะมีการเคลื่อนที่อยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear Interpolation หรือ Straightline Interpolation) การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ ระบบซีเอ็นซีจะคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ในแนวเส้นตรงระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือ 2 ตำแหน่งในขณะที่เครื่องมือเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั้น ระบบควบคุมซีเอ็นซีจะตรวจสอบและแก้ไขแนวแกนในการเคลื่อนที่ให้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลา ทำให้การเคลื่อนที่ของเครื่องมือไม่ผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนออกจากจุดต่อของเส้นตรงมากกว่าค่าพิกัดความเผื่อของเครื่องที่กำหนดไว้

2. การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง (Circular Interpolation) ระบบควบคุมซีเอ็นซี จะคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ที่ต่อกันเป็นเส้นโค้งตามขนาดรัศมีที่กำหนด ระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือที่กำหนดไว้ 2 ตำแหน่ง ระบบควบคุมจะอาศัยจุดเหล่านี้ในการตรวจสอบและแก้ไขแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องมือให้ถูกต้องและอยู่ภายในพิกัดความเผื่อของเครื่องจักรกลที่กำหนด ในระบบควบคุมซีเอ็นซีจะแบ่งการควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งสองลักษณะตามลักษณะการเคลื่อนที่ป้อนออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. การควบคุมจุดต่อจุด (Point to point control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบนี้จะควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างจุดสองจุดที่โปรแกรมไว้ในลักษณะการ เคลื่อนที่เร็ว (Rapid traverse) โดยที่เครื่องมือจะต้องไม่สัมผัสชิ้นงาน

แนวแกนในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบควบคุม กล่าวคือ มอเตอร์ขับของระบบป้อนอาจจะเริ่มทำงานหลาย ๆ แนวแกนพร้อมกัน หรือทำงานทีละแนวแกนจนกว่าจะเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งของเครื่องมือที่โปรแกรมไว้ ทำให้ไม่สามรถควบคุมทางเดินของเครื่องมือ (Tool path) การควบคุมแบบจุดต่อจุดมักจะใช้กับเครื่องเจาะ (Drilling machine) เครื่องเชื่อมจุด (Spot drilling) เป็นต้น

2. การควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นเตรง (Straight –cut control)

การควบคุมชนิดนี้ นอกจากจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือแบบเคลื่อนที่เร็วได้แล้ว ยัง สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในแนวขนานกับแนวแกนของเครื่องจักรกลตามค่าอัตราป้อนที่ต้องการได้อีกด้วย แต่จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ครั้งละ 1 แนวแกนเท่านั้น การเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จะถูกควบคุมด้วยอัตราป้อนและความยาวในการเคลื่อนที่ ระบบการควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรงชนิดนี้จะใช้กับเครื่องกัดและเครื่องกลึงแบบง่าย ๆ

3. การควบคุมตามเส้นของรูป (Contouring control)

การควบคุมแบบนี้จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ทำงานได้ดังนี้

- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแบบเคลื่อนที่เร็วได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ขนานกับแนวแกน ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามค่าอัตราป้อนได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใด ๆ บนชิ้นงานที่กำหนดในแนวแกนเส้นตรงและเส้นโค้งตามค่าอัตราป้อนได้

2.1.8.2 การควบคุมหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรกล

ระบบควบคุมซีเอ็นซีนอกจากจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตามรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานแล้ว ยังสามารถควบคุมหน้าที่การทำงานอื่น ๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนของเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในขณะนั้นได้อีกด้วย จำนวนหน้าที่การทำงานและวิธีการควบคุมจะไม่ขึ้นอยู่กับตัวเครื่องจักรกลเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับชนิดระบบควบคุมอีกด้วย

ตัวอย่างหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องโปรแกรมเพื่อช่วยในการทำงานมีดังนี้

- การเริ่มหมุนของเพลางาน ทิศทางการหมุนและการเปลี่ยนความเร็วรอบ
- การกำหนดตำแหน่งของเพลางาน - การเปิดสารหล่อเย็นและความดันของสารหล่อเย็น - การรักษาอัตราป้อนให้คงที่
- การเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องมือ
- การรักษาความเร็วตัดให้คงที่
- การเริ่มทำงานหรือควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ช่วยงานอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์เปลี่ยนชิ้นงานได้แก่ โต๊ะเปลี่ยนงาน (pallet shuttle) เป็นต้น
- ชุดยันศูนย์ท้ายแท่น (Tail-stock)
- อุปกรณ์ใส่และถอดชิ้นงาน (loader and unloader)
- แท่นประคองศูนย์ (Steady rest)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ลำเลียงเศษ (chip conveyor)
- Sorter

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่สามารถใช้ระบบควบคุมสั่งการทำงานในหน้าที่ต่าง ๆ ได้ยิ่งมากเท่าใดก็จะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น

2.2 ทฤษฎีการอบชุบเหล็กขั้นพื้นฐาน (Heat Treatment of Steel) [2]

การอบชุบเหล็กในที่นี้มิได้หมายถึงฉฉพาะการชุบเหล็กให้แข็งเพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงการใช้ความร้อนกระทำต่อเหล็ก เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเหล็กและโครงสร้างภายในของเหล็ก การอบชุบเหล็กที่สำคัญและใช้กันมากมีดังนี้

2.2.1 การชุบแข็ง (Hardening)

การชุบแข็ง คือการชุบเพื่อให้เหล็กมีความแข็งขึ้น ขั้นแรกจะต้องเผาเหล็กจากอุณหภูมิบรรยากาศให้ร้อนประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็ก) ภายในเตาไฟฟ้าหรือเตาอบชุบอื่นๆที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เมื่อเหล็กร้อนจนถึงอุณหภูมินี้ โครงสร้างของเหล็กจะเปลี่ยนเป็นออสเตไนต์ (ดูจาก Diagram) ทั่วๆไปมักจะเผาให้อุณหภูมิของเหล็กร้อนเลยเส้น A3 ไปประมาณ 50-75 องศาเซลเซียส แต่จะไม่เผาเหล็กให้อุณหภูมิสูงเกินพิกัดนี้ เพราะจะทำให้เกรนของเหล็กขยายตัวโตขึ้น ซึ่งจะทำให้คุณภาพของเหล็กหลังการชุบเสียไป ในทางปฏิบัติถ้าเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.8% จะเผาให้อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A3 ประมาณ 50-75 องศาเซลเซียส ถ้าเหล็กมีคาร์บอนสูงกว่า 0.8% จะเผาเพียงแค่อุณหภูมิเหนือเส้น A1 ประมาณ50-75 องศาเซลเซียสเท่านั้น เหตุผลก็คือ เพื่อต้องการรักษาซีเมนไทต์ไว้ไม่ให้เปลี่ยนไปเป็นออสเตไนต์ เพราะซีเมนไทต์มีความแข็งสูงอยู่แล้ว (ดูภาพประกอบ)

เมื่อเผาเหล็กจนกลายเป็นออสเตไนต์แล้ว จะต้องทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ระยะหนึ่ง เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อความหนา 25 มิลลิเมตร เพื่อให้เหล็กร้อนทั่วถึงกันตลอดทั้งแท่ง จากนั้นจึงนำเอาเหล็กออกจากเตา ทำให้เย็นโดยรวดเร็วด้วยการจุ่มลงในน้ำ (Water Quench) หรือในน้ำมัน (Oil Quench) ในขณะที่ทำให้เหล็กเย็นโดยรวดเร็วนี้ ออสเตไนต์จะเปลี่ยนกลับไปเป็นเฟอร์ไรต์และเพิร์ไลต์ไม่ทัน แต่จะให้โครงสร้างใหม่ที่มีความแข็งแรงสูง เรียกว่ามาร์เทนไซต์ ถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้ว มาร์เทนไซต์ก็คือเหล็กเฟอร์ไรต์นั่นเอง แต่เป็นเหล็กเฟอร์ไรต์ที่มีปริมารคาร์บอนสูงกว่าสภาพสมดุลตาม Equilibrium Diagram ที่เป็นเช่นนี้เพราะอะตอมของคาร์บอนไม่มีเวลาพอที่จะเคลื่อนไหวมารวมกันให้เป็นซีเมนไทต์ ดังนั้นความแข็งของเหล็กที่ผ่านการชุบจึงขึ้นอยู่กับ 2 สิ่งคือ

1.) ปริมาณธาตุคาร์บอนในเหล็ก กล่าวคือ ถ้าในเหล็กมีธาตุคาร์บอนมาก โอกาสที่เหล็กจะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็ยิ่งง่าย และให้ปริมาณของมาร์เทนไซต์มาก

2.) อัตราความเร็วในการชุบ กล่าวคือ ถ้าทำให้เหล็กเย็นเร็วๆ โอกาสที่ออสเตไนต์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็มีมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าปล่อยให้เหล็กเย็นช้าๆ ออสเตไนต์จะเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ไรต์กับซีเมนไทต์หมด ไม่เกิดเป็นมาร์เทนไซต์ เหล็กก็จะไม่แข็ง

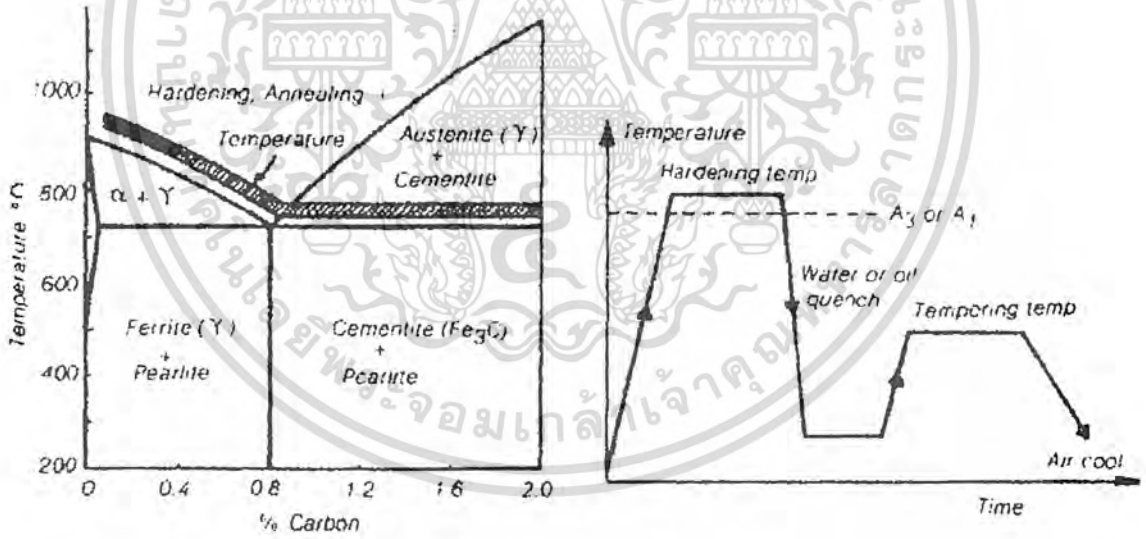
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การอบคืนไฟ (Tempering)

เหล็กที่ผ่านการชุบมาแล้วย่อมจะเกิดความเครียด (Strain) ขึ้นภายใน และมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่เหล็กจะขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Ductility) ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน เพราะถ้าเกิดมีการกระแทก ชิ้นเหล็กอาจแตกร้าวได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติเสียใหม่โดยทำการอบคืนไฟ ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้

นำเหล็กที่ผ่านการชุบมาแล้วเผาในเตาที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200-400 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากเตาปล่อยให้เย็นในอากาศธรรมดา เหล็กจะมีคุณสมบัติทางความเหนียว (Ductility) ดีขึ้น แต่ความแข็งจะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เผาที่อุณหภูมิต่ำมาร์เทนไซต์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอะตอมของคาร์บอนจะเคลื่อนไหวออกจากมาร์เทนไซต์มารวมกันเป็นเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์บางส่วน ที่เป็นเช่นนี้เพราะมาร์เทนไซต์ไม่ใช่โครงสร้างของเหล็กที่สมดุลที่อุณหภูมิบรรยากาศ เมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อกลับไปเนโครงสร้างที่สมดุลคือเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์ ที่เราต้องเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียสก็เพื่อไม่ต้องการให้มาร์เทนไซต์คืนตัวหมด เพราะเรายังต้องการความแข็งของเหล็กอยู่ ถ้าเราเผาให้อุณหภูมิสูงเกิน 400 องศาเซลเซียส ความแข็งจะถูกทำลายหมด

โดยทั่วไป การชุบแข็งและการคืนตัวจะต้องกระทำติดต่อกัน เพื่อให้ได้เหล็กแข็งและทนแรงกระแทกได้ดีด้วย (ดูภาพประกอบ)



รูปที่ 2.4 ช่วงของอุณหภูมิในการทำการชุบแข็งและการอบคืนไฟ

การทำหัว Punch และ Die ในโครงงานนี้ใช้เหล็กชนิด HB (มาตรฐานเหล็กที่ใกล้เคียงคือ AIS = PATENTED, DIN = 1.7225, ASSAB = 709 ซึ่งมีคุณสมบัติใช้ทำแม่พิมพ์ยาง, Die, Casting, ฐานรองแม่พิมพ์) มาทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบที่อุณหภูมิ 880 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาชุบแข็งในน้ำมัน ซึ่งมีค่าความแข็ง HRC ประมาณ 30-40

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Stepping Motor

Stepping Motor เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้าที่มี Input เป็นกลุ่มของ Binary Rotate และเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือหมุนไปตาม Step (แต่ละ Step อยู่ในช่วง 0.1-90 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ Stepping Motor) ตามสัญญาณ Pulse ที่ป้อนให้กับขั้ว Stator จึงจะเกิดแรงผลักต่อ Rotor ทำให้ Rotor หมุนไป แต่ลักษณะของ Stepping Motor จะมีขั้วของ Stator อยู่หลายขดซึ่งเรียกว่า "Phase" นั้น เมื่อป้อนสัญญาณ Pulse ในลักษณะ Sequence ของเลข Binary โดยผ่านวงจร Driver จะทำให้ Rotor หมุนได้อย่างต่อเนื่องกับ Block Diagram ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 Block Diagram แสดงการควบคุม Stepping Motor

2.3.1 คุณประโยชน์ของ Stepping Motor

การใช้ Stepping Motor ในระบบควบคุมตำแหน่งมีข้อดีอยู่หลายประการ คือ

1. เป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการการป้อนกลับ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งหรือความเร็ว
2. ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่งแทบจะไม่มีเลย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Stepping Motor นั้น เคลื่อนที่เป็น Step ด้วยจำนวนองศาที่แน่นอน
3. Stepping Motor จะถูกนำมาใช้กับเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำ และใช้อยู่ในเครื่องมือประเภท Digital เช่น เครื่องวาดรูป นิวเมอริคอลคอนโทรล Computer Numerical Control (CNC)
4. ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลง Digital เป็น Interface กับ Microcomputer
5. Stepping Motor เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณ Digital ไปเป็นการเคลื่อนที่ทางกล ดังนั้นการติดต่อกับอุปกรณ์ Digital ก็เป็นไปโดยง่าย และวงจรขยายกำลังจากสัญญาณ Digital (Digital Power Amplifier) ที่ใช้ก็ถูกกว่าวงจรขยายกำลังเชิงเส้น (Linear Power Amplifier) อีกด้วย
6. การออกแบบวงจรควบคุม Stepping Motor สามารถทำได้ง่ายกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์แบบ Servo และยังสามารถออกแบบวงจรใน Stepping Motor ให้ทำงานหรือหยุดได้แบบทันทีทันใด

2.3.2 คุณลักษณะของ Stepping Motor

ความถูกต้องเที่ยงตรงของมุม Step ขณะที่ไม่มี Load จะถูกระบุสำหรับมอเตอร์ทุกชนิด เช่น มอเตอร์ที่มี Step 7.5 องศา ความผิดพลาด ±10 ลิปดา ขณะที่เคลื่อนที่ไปหนึ่ง Step เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของมุม Step

มุมStep	จำนวน Step ต่อรอบ
0.9°	400
1.8°	200
3.6°	100
3.75°	96
7.5°	48
15.0°	24

มอเตอร์ที่มีจำนวน Step ต่อรอบเท่ากับ 4 จะมีค่าผิดพลาดเป็นศูนย์เมื่อหมุนครบ 1 รอบ เพราะขณะที่หมุนมาณ ตำแหน่งเดิมขณะเริ่มต้นขั้วแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) วงเดิม ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งของ Stepping Motor ที่ต้องการความถูกต้องสูงๆ จะต้องแบ่งจำนวน Step ต่อรอบเป็นจำนวนเท่าของ 4 Step เพื่อลดการสะสมของค่าผิดพลาด (Step Angle Error) ซึ่งเป็นรูปแบบการทำงาน 4 Step ตัวอย่าง Step ของมุม Step แสดงดังตารางที่ 2.2

แรงบิด (Torque)

การทำงานของ Stepping Motor มีแรงบิดเกี่ยวข้องอยู่ 3 ชนิดคือ

1. โฮลดิ้งทอร์ค (Holding Torque) คือแรงบิดที่ทำให้ Stepping Motor หมุนไป 2 Step ขณะหยุดนิ่ง ถ้าแรงบิดที่ทำให้ Stepping Motor มีขนาดมากกว่า Holding Torque จะทำให้มอเตอร์สูญเสียการหมุนแบบ Step กลายเป็นการหมุนแบบต่อเนื่อง โดยปกติขณะทำงานของมอเตอร์ Torqueจะน้อยกว่าระดับ Holding

2. ดีเทนท์ทอร์ค (Detent Torque) เป็น Stepping Motor แบบ Hybrid และแบบแม่เหล็กถาวร จะมีส่วนประกอบของ Rotor เป็นแม่เหล็กซึ่งจะสร้างแรงบิดมาเบรคการหมุนของมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอในขณะที่ไม่มีการป้อนกระแสเข้าขด Stator แรงบิดดังกล่าวนี้ เรียกว่า Detent Torque

3. ไดนามิคทอร์ค (Dynamic or Working Torque) คือแรงบิดขณะทำงานซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วของมอเตอร์ โดยปกติการเปลี่ยนอัตราเร็วของมอเตอร์จะอยู่ในย่านระหว่างเส้นโค้งพูลอิน (Pull-in Curve) และเส้นโค้งพูลเอ้าท์ (Pull-out Curve) เพราะถ้าปรับอัตราเร็ว ณ จุดนอกโค้งพูลเอาท์ มอเตอร์จะสูญเสียการหมุนแบบ Step ได้ เกิดการหมุนแบบต่อเนื่องนั่นเอง

2.3.3 หลักการทำงานของ Stepping Motor

Stepping Motor สามารถแบ่งโครงสร้างทางกายภาพออกได้เป็น 2 ส่วน คือ Stator และ Rotor ตัว Stator เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยขดลวดทองแดงซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีการจ่ายกระแสผ่าน

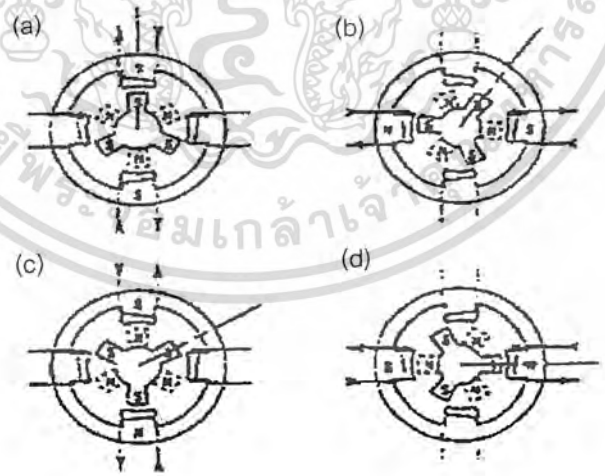
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวด ส่วน Rotor เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นแท่งทรงกลม และที่ผิวรอบนอกมีลักษณะเป็นซีกฟันซึ่งทำจากแม่เหล็กถาวร

เมื่อยังไม่มีการจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์ ซีกฟันอันใดอันหนึ่งของ Rotor จะอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับซีกฟันอันใดอันหนึ่งของ Stator ทั้งนี้เป็นเพราะแม่เหล็กถาวรที่ตัวของ Rotor พยายามที่จะทำให้ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Reluctance) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่ง ณ ที่จุดซึ่งซีกฟันของตัว Rotor และ Stator ตรงกันนั้นมีค่าความต้านทานทางแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยที่สุด ทำให้เกิดเส้นแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด เส้นแรงแม่เหล็กทางไฟฟ้าจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ขึ้นมาสองคู่ ทั้งที่ตัว Rotor และตัว Stator ดังรูป ค่าทอร์ค (Torque) ที่ทำให้ตัว Rotor ยึดอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวนี้ เรียกว่า Detent Torque (หมายความว่า การที่จะทำให้มอเตอร์เคลื่อรที่ในขณะที่ไม่จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์ จะต้องออกแรงมากกว่าค่า Detent Torque จึงจะทำให้ Rotor เคลื่อนที่ได้)

เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดที่อยู่ใน Stator คู่ใดคู่หนึ่ง ดังรูปที่ 2.6(a) จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ที่ซีกฟันของตัว Stator ซึ่งจะดึงดูดซีกฟันของตัว Rotor ที่มีขั้วแม่เหล็กศักดิ์ต่างกันซึ่งอยู่ใกล้ที่สุดเข้าไว้ ตำแหน่งนี้เรียกว่า Stable Position ของ Rotor ซึ่งจะมีจำนวนตำแหน่งเท่ากับซี่ฟันของ Rotor และแรงที่จะให้ Rotor เปลี่ยนตำแหน่งไปจาก Stable Position ได้เรียกว่า Holding Torque

เมื่อสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสให้แก่ขดลวดจากขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่ง เนื่องจากขดลวดวางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน 90 องศา ก็จะทำให้ตัว Stator ดึงดูดซี่ฟันของตัว Rotor อีกซีกหนึ่งที่ใกล้ที่สุดเอาไว้ ซึ่งจะทำให้ตัว Rotor เคลื่อนที่ไป 1 Step หรือ 30 องศาดังรูปที่ 2.6(b) จากนั้นก็เปลี่ยนไปจ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดแรก โดยคราวนี้เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสให้ตรงกันข้ามกับครั้งแรก ซึ่งจะทำให้ตัว Rotor เคลื่อนที่ไปอีก 1 Step (เคลื่อนที่ไป 30 องศา) ดังรูป ที่ 2.6(c)



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของ Stepping Motor แบบเต็ม Step 1 Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็ไปจ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดที่สอง โดยกลับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้อีกเช่นกัน ทำให้ Rotor หมุนไป 90 องศาดังรูปที่ 2.6(d) และถ้าหากเราป้อนกระแสให้กับมอเตอร์เหมือนที่เราป้อนในครั้งแรกแล้ว ฟันซีกถัดไปของตัว Rotor จะอยู่ในตำแหน่งที่เหมือนกับในรูปที่ 4.2(a) อีกครั้งหนึ่ง ถ้าหากเราต้องการให้ Stepping Motor เคลื่อนที่ 1 รอบ เราจะต้องกระตุ้นให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปจนครบ 12 Step และถ้าต้องการให้ Rotor หมุนไปอีกทางหนึ่ง ก็จะทำการสลับลำดับในการจ่ายกระแส จากรูปที่ 2.6(a), 2.6(d), 2.6(b), 2.6(b) ตามลำดับ

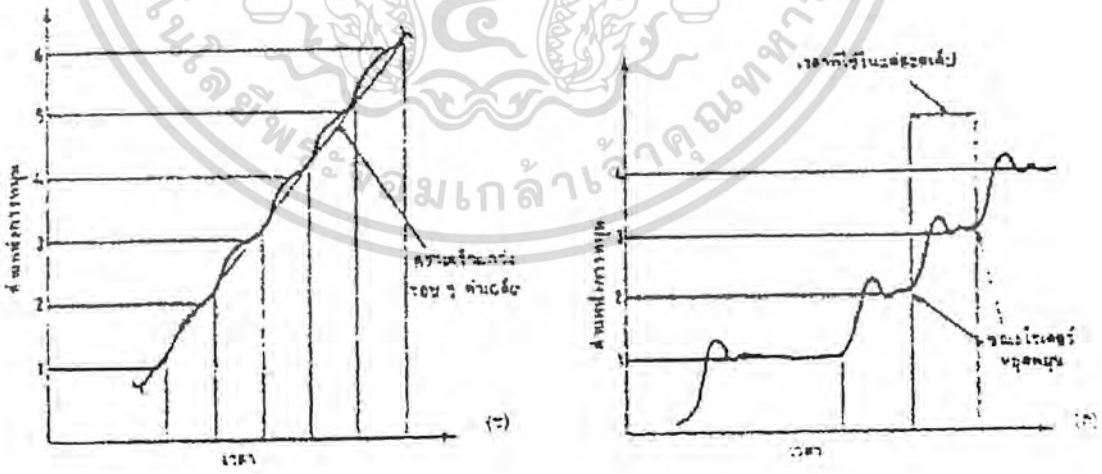
2.3.4 Mode การทำงานของ Stepping Motor

ถ้าจะแบ่งโหมดการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตามอัตราเร็วของสเต็ป จะแบ่งออกได้เป็น 2 โหมด คือ หมุนเป็นสเต็ป (Discrete Stepping Mode) และหมุนเป็นแบบต่อเนื่อง (Slewing Mode)

โดยถ้าการหมุนเป็นแบบสเต็ป และมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสเต็ปต่อไป ก็จะเรียกการทำงานในโหมดนี้ว่าการหมุนเป็นสเต็ป ดังรูปที่ 2.7(ก) สำหรับตัวอย่างของเครื่องที่ใช้ทำงานในโหมดนี้คือ เครื่องเจาะบัตร การทำงานต่างๆคือ สเต็ปปิงมอเตอร์จะเป็นตัวส่งแถบกระดาษเข้าไปยังเครื่องปรุกระดาษเพื่อบันทึกข้อมูลลงในแถบกระดาษ ซึ่งการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะหมุนไปแล้วหยุดชั่วขณะเพื่อปรุกระดาษให้เรียบร้อยก่อน แล้วจึงค่อยหมุนต่อไปยังตำแหน่งเจาะใหม่

ถ้าเพิ่มอัตราเร็วในแต่ละสเต็ปให้เร็วขึ้น และเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดนิ่ง จะเรียกกำหนดการทำงานนี้ว่า การหมุนแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ข) ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์ (N) กับความเร็วของสเต็ป (f) และจำนวนสเต็ปทั้งหมด (s) ได้ดังสมการ

$$N = 60 \times \left(\frac{f}{s}\right) \quad \text{เมตร/นาที} \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.7 กราฟสเต็ปการหมุนในโหมดการทำงาน

(ก) หมุนแบบสเต็ป

(ข) หมุนต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

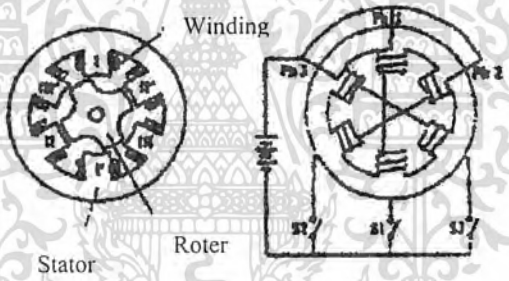
2.3.5 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามลักษณะโครงสร้าง และการใช้งานดังต่อไปนี้

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลัคแตนซ์ (Variable Reluctance Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับค่า Reluctance ได้ ซึ่งรูปที่ 2.8 แสดงภาพขวางของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 3 เฟส โดยที่สเตเตอร์มีทั้งหมด 6 ฟัน ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกัน หรือทำมุมกัน 180 องศาซึ่งกันและกัน จะเป็นเฟสเดียวกัน ขดลวดที่พันอยู่ที่ฟันของสเตเตอร์มนแต่ละเฟสจะต่อนุกรมหรือขนานก็ได้ จากรูปที่ 2.8 เป็นการต่อแบบอนุกรม ส่วนโรเตอร์นั้นมีฟัน 4 ซี่ ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ทำมาจากโลหะซิลิกอนซึ่งมีสภาพซึมซับทางแม่เหล็กสูง และยอมให้สนามแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้ ฟันของสเตเตอร์ในเฟสเดียวกันจะมีขั้วต่างกัน โดยซี่ 1, 2, 3 เป็นขั้วเหนือ และซี่ 1′, 2′, 3′ เป็นขั้วใต้หลังจากถูกกระตุ้น

กระแสที่ไหลในแต่ละเฟสถูกควบคุมโดยสวิตช์ ปิด/เปิด ถ้าเฟส 1 ถูกกระตุ้น จะมีกระแสไหลและเกิดฟลักซ์แม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.9 แกนโรเตอร์จะอยู่แนวเดียวกับซี่ 1 และ 1′ ทำให้ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน กรณีนี้จะทำให้ค่ารีลัคแทนซ์มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สมดุล

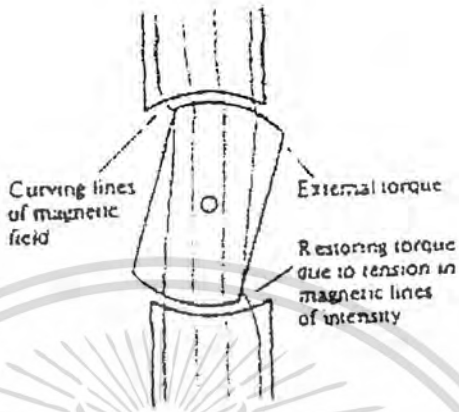


รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 3 เฟส

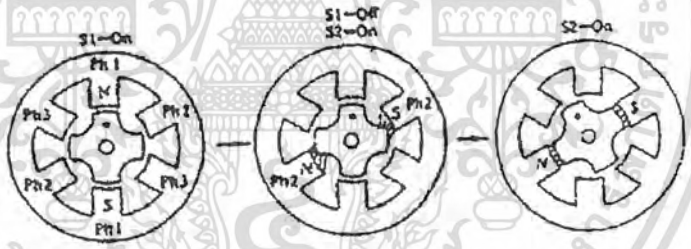
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42429



รูปที่ 2.10 แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ เมื่อสเต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น

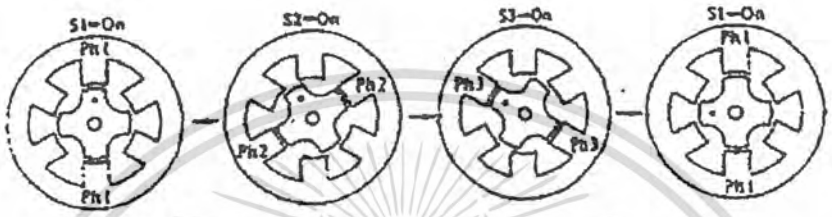
ถ้าโรเตอร์ถูกกระทำจากแรงภายนอก จะทำให้เปลี่ยนตำแหน่งดังรูปที่ 2.10 แรงบิดกระทำกับโรเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกาทำให้ตำแหน่งเปลี่ยนไป มีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่จากขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์ เมื่อโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันแล้ว ค่า Reluctance จะมีค่ามาก จากนั้นสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะทำให้ค่า Reluctance น้อยที่สุด เมื่อเฟส 2 ถูกกระตุ้นดังรูปที่ 2.11 โรเตอร์ถูกแรงภายนอกกระทำให้เคลื่อนที่ไป 30 องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นก็จะย้ายจากมุมที่ถูกกระตุ้นกลับไปยังตำแหน่งที่ค่ารีลัคแทนซ์น้อยที่สุด การย้ายจากมุมที่เกิดการกระตุ้นแต่ละครั้งให้กลับไปยังตำแหน่งเดิม เรียกว่า Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติพื้นฐานของ Stepping Motor แบบ Variable Reluctance

1. ช่องว่าง (Air Gap) ต้องมีขนาดเล็กที่สุด

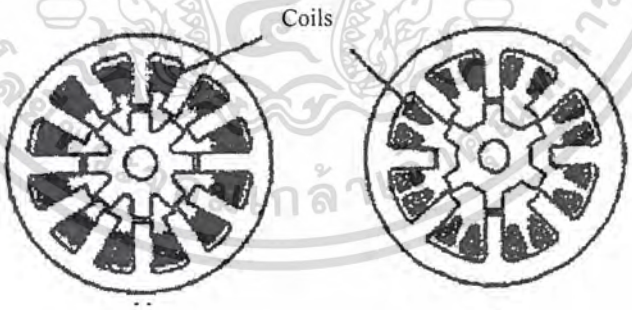
ช่องว่างระหว่างฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ Torque ที่เกิดขึ้นมีค่ามาก และมีความแม่นยำทางตำแหน่งมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของ Stepping Motor

2. มุมของสเต็ป

คุณสมบัติอีกประการของ Step คือจะต้องมีมุมของการ Stepที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ค่ามุมที่แสดงในรูปที่ 2.8 ยังไม่ถือว่าเป็นมุมที่เล็ก แต่รูปที่ 2.13(a) แสดงมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีจำนวนฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์เป็น 2 เท่าของรูปที่ 2.8 ส่วนรูปที่ 2.13(b) แสดงมอเตอร์ 4 เฟส มุมของการสเต็ป 7.5 องศา โดยฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์มี 12 และ 16 ซี่ตามลำดับ



(a) (b)

รูปที่ 2.13(a) มอเตอร์ 3 เฟส

รูปที่ 2.13(b) มอเตอร์ 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของมุมของการสเต็ป θ_s , มุมเฟส m, จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ Nr, จำนวนสเต็ป S แสดงดังสมการ

$$S = \frac{360}{\theta_s} = m \cdot Nr \qquad \text{สเต็ป} \tag{2.2}$$

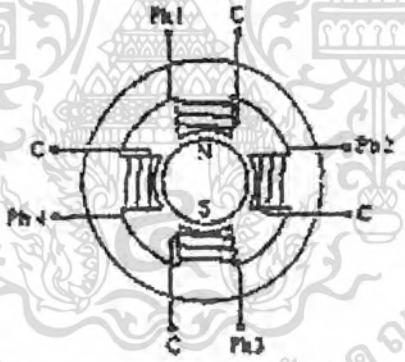
เพื่อที่จะลดขนาดของมุมสเต็ปลง จะต้องเพิ่มจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์โดยที่โครงสร้างของแต่ละขั้วของเฟสใดๆและสเตเตอร์จะมีหลายซี่ฟัน แต่ก็ไม่ใช่องค์ประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมุมของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

3. การสร้างสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้มีโครงสร้างหลาย Step เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

โครงสร้างของ Stepping Motor แบบนี้จะมี 1 เฟส โดยที่โรเตอร์และสเตเตอร์มีซี่ฟันเหมือนกัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านทอร์คต่อหน่วยปริมาตรของโรเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดของมุมสเต็ปเล็กลง จะต้องเพิ่มขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์และจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่ก็มีขีดจำกัดในการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรสร้างขึ้นโดยมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ Stepping Motor แบบแม่เหล็กถาวร

ตัวอย่างการทำงานของ Stepping Motor แบบแม่เหล็กถาวร สมมติว่า Stepping Motor แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส มีโรเตอร์เป็นแบบแม่เหล็กถาวรทรงกระบอก และสเตเตอร์มี 4 ซี่ฟัน ซึ่งรอบๆพันด้วยขดลวด มีรูปแบบพื้นฐานของการทำงานคือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น

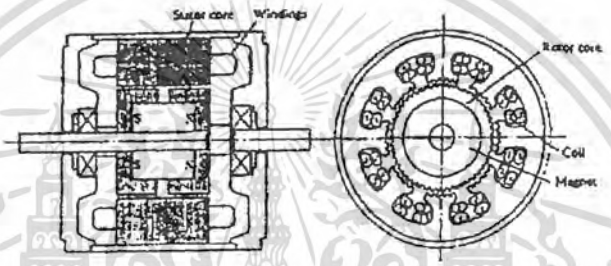
ข้อเสียของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือ มีขนาดมุม Step ใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อยเนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีขั้วหลายขั้วทำให้ไม่สามารถสร้างสแต็ปขนาดเล็กได้ สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์คที่ได้ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยปริมาตรต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล้กสูง

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ไฮบริด

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้มีแกนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ได้ ไฮบริดสเต็ปปิ้งมอเตอร์นี้มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ แต่ต่างกันตรงที่การต่อขดลวด โดยที่แต่ละเฟสของ Stepping Motor แบบ Variable Reluctance จะมีขดลวดแค่ 2 ขดพันอยู่ที่ขั้วเดียวกัน เรียกว่า Bipolar ซึ่งในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะให้ขั้วที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของไฮบริดสเต็ปปิ้งมอเตอร์

คุณสมบัติที่สำคัญของไฮบริดสเต็ปปิ้งมอเตอร์ คือโครงสร้างของมอเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางระหว่างแม่เหล็กทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจาก Stator ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบ Heteropolar ดังนั้นทอร์คเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็กสองชนิดคือ สนามแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของซี่ฟันของ Stator จะใหญ่กว่าซี่ฟันของโตอร์เล็กน้อยเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการทำงานของ Hybrid Stepping Motor ที่แตกต่างจาก Stepping Motor แบบ Variable Reluctance คือ แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย ซึ่งซี่ฟันที่ถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้มแม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการเกิด Oscilate ทาง Mechanics

ข้อดีของ Hybrid Stepping Motor คือ มีขนาดสเต็ปขนาดเล็ก มีความละเอียดต่อสเต็ปต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ มีแรงเฉื่อยทาง Mechanics น้อยกว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

นอกจากนี้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว ยังมี Stepping Motor ชนิดอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงอีกเช่น Linear Stepping Motor ซึ่งเป็น Stepping Motor ที่ได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเป็นเชิงเส้น Electrode Hybrid Stepping Motor ซึ่งเป็น Stepping Motor กำลังสูงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 วงจรขับ (Drive Circuit) [3]

สัญญาณควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มักจะเป็นสัญญาณที่สร้างจากวงจรดิจิตอล เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์จำพวก TTL แรงดันที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ไม่มาก แต่เนื่องจากการทำงานของสเต็ปปิงมอเตอร์ต้องการแรงดันกระแสที่สูงกว่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรขับ เพื่อทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสที่พอเพียงให้กับตัวสเต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยทั่วๆไป วงจรขับมักจะสร้างจากไบโพล่าร์ทรานซิสเตอร์ที่นำมาต่อใช้งานเป็นวงจรสวิตช์ปิด/เปิด ให้กระแสไหลผ่านไปยังขดลวดในทิศทางเดียว เราเรียกวงจรขับแบบนี้ว่า ยูนิโพล่าร์ ซึ่งมีการจ่ายกระแสเพียงทิศทางเดียว แต่ถ้าใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริดหรือแบบแมาเหล็กถาวรซึ่งมักจะมี 2 เฟส จะต้องใช้วงจรขับที่สามารถจ่ายกระแสตรงได้สองทิศทาง เรียกวงจรขับแบบนี้ว่า ไบโพล่าร์ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์หลายตัวต่อเป็นวงจรแบบบริดจ์

วงจรขับแบบยูนิโพล่าร์ (Unipolar Drive Circuit)

วงจรขับพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ขดลวดแต่ละเฟสจะถูกกระตุ้นโดยวงจรขับแต่ละชุด ซึ่งวงจรขับแต่ละชุดก็จะได้รับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

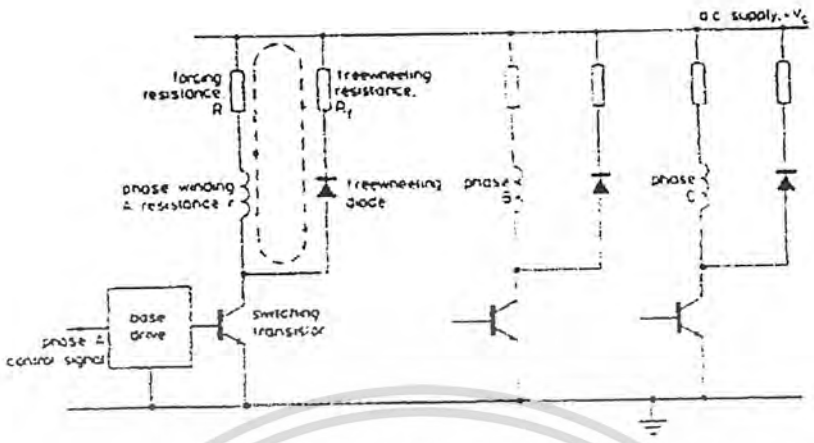
กระแสจะไหลผ่านขดลวดแต่ละเฟสเมื่อสวิตช์ซึ่งทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัวเนื่องจากกระแสที่ไบแอสทางด้านเบส ในสภาวะเช่นนี้ แรงดัน DC จากแหล่งจ่ายไฟจะไหลผ่านตัวต้านทาน ผ่านขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ และไหลผ่านทรานซิสเตอร์ เนื่องจากแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ในสภาวะอิ่มตัวมีค่าน้อย (ประมาณ 0.1 โวลต์) แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดโดยมีความสัมพันธ์กับผลรวมของความต้านทานของขดลวด (r) และความต้านทานของตัวต้านทาน (R)

$$V_s = i \cdot (r + R) \quad \text{โวลต์} \tag{2.3}$$

ตามปกติขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะแสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ (L) ซึ่งทำให้การตอบสนองต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวมันช้า ส่งผลต่อการทำงานของมอเตอร์ที่มีความเร็วสูง การใส่ตัวต้านทานอนุกรมเข้าไว้กับขดลวดจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

ความเหนี่ยวนำของขดลวดยังทำให้ประแสไม่หยุดไหลทันทีทันใดที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะปิด ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำตกคร่อมคอลเล็คเตอร์และอิมิเตอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้วงจรขับเสียหาย ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการต่อ Freewheeling Diode และ Freewheeling Resistance เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสแทน

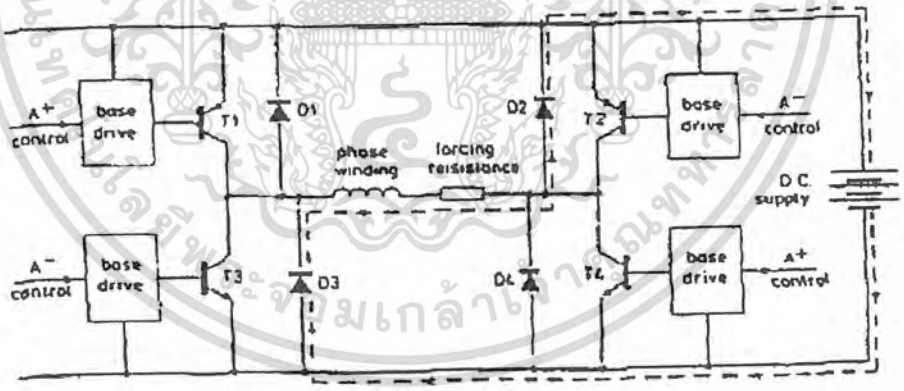
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรขับแบบยูนิโพล่าร์

วงจรขับแบบไบโพล่าร์ (Bipolar Drive Circuit)

วงจรขับชนิดนี้จะต่อทรานซิสเตอร์เป็นแบบบริดจ์ วงจรบริดจ์หนึ่งชุดจะขับมอเตอร์ได้หนึ่งเฟส เหมาะที่จะใช้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร หรือแบบไฮบริด ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรขับแบบไบโพล่าร์

ทรานซิสเตอร์จะผลัดกันทำงานทีละคู่ตามทิศทางของกระแสที่ต้องการ สำหรับการกระตุ้นขดลวดในทิศบวก ทรานซิสเตอร์ T1 และ T4 จะทำงาน ทำให้เกิดทางเดินของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟ ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T4 กลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟ ในทางกลับกัน ในกรณีการจ่ายไฟในทิศลบ (ทิศตรงข้าม) ทรานซิสเตอร์ T2 และ T3 จะทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านขดลวดในทิศตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีไดโอด 4 ตัวต่อขนานกับทรานซิสเตอร์แต่ละตัว จุดประสงค์เพื่อให้เกอดเส้นทางการไหลของ Freewheeling Current บริเวณไดโอด D2 และ D3 จะเป็นทางผ่านของกระแสหลังจากที่ทรานซิสเตอร์ T2 และ T3 หยุดทำงาน Freewheeling Current ในวงจรขับแบบไบโพล่าร์จะสิ้นสุดเร็วกว่าแบบยูนิโพล่าร์ เพราะฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องต่อ Freewheeling Resistance เหมือน Unipolar

2.3.7 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ (Wave), แบบ 2 เฟส และแบบครึ่งสเต็ป (Half Step) ทั้ง 3 แบบ ต่างก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป

แบบเวฟเป็นการกระตุ้นที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป ดังเช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

แบบ 2 เฟส เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไป เช่นเดียวกับแบบเวฟคือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรง จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันและต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟมากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

แบบครึ่งสเต็ปเป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตั้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลงและแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่า เมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้ จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ปจึงจะได้เท่ากับ 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบกับแบบ 2 เฟสจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 การทำงานของวงจรควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การทำงานของวงจร Drive เริ่มจากพอร์ท Printer ของคอมพิวเตอร์ส่งผ่านตามสายสัญญาณมาที่วงจร Drive เข้ามาทางขาเบสของทรานซิสเตอร์ TIP 41 ซึ่งทรายซิสเตอร์ตัวนี้ทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ตัดต่อ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่เบสแล้ว จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว กระแสไฟฟ้าที่มาคอยอยู่ที่ขาคอลเลคเตอร์จึงสามารถไหลไปขาอิมิเตอร์โดยผ่านขดลวด 1 ขดภายในสเต็ปปิ้งมอเตอร์แล้วลงกราวน์ได้

การกระตุ้นการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะต้องเป็นไปจามลำดับ (Sequence) ทั้งในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา คือเราจะใช้โปรแกรม Dlphi เขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ท Printer โดยใช้ Address Port 378H เป็น Port เอาท์พุท ซึ่งมีบิตทั้งหมด 8 บิต เราจึงนำสัญญาณจากแต่ละบิตมาเป็นสัญญาณป้อนเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ TIP 41 ที่ต่อกับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว (ทั้งแกน X และแกน Y) และการต่อจะต้องต่อตามลำดับการทำงานขดลวดที่ถูกต้อง มิเช่นนั้นมอเตอร์จะหมุนไม่เป็นลำดับ ถ้าเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 6 สาย จะมีสายไฟขดลวด 4 เส้น และ Center Tap ต่อลงกราวน์ ส่วนอีก 4 เส้นจะต่อเข้ากับขาอิมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TIP 41 ของแต่ละชุดโดยสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 1 ตัว จะต้องใช้ชุดของทรานซิสเตอร์ Drive 4 ชุด

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับพอร์ท Printer [4]

2.4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ Slot มาตรฐานของ IBM PC

SA0-SA9 (อินพุท/เอาท์พุท) เป็น Address ของระบบที่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำและอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุท สายสัญญาณนี้จะต่อกับหน่วยความจำได้ 1 MB แต่ถ้าต้องการเชื่อมขยาย Address จะต้องใช้สาย Address LA17-LA23 การใช้สัญญาณ SA0-SA19 จะต้อง Active ขณะที่สัญญาณ BALE เป็น 1 และจะ Latch ไปใช้ในขณะที่เปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 สัญญาณ BALE เป็นสัญญาณที่มาจากไมโครคอนโปรเซสเซอร์ หรือดีเอ็มเอคอนโทรลเลอร์

CLK (เอาท์พุท) เป็นสัญญาณนาฬิกาของระบบ ในกรณีที่ไอบีเอ็มที จะส่งสัญญาณนี้เป็นสัญญาณขนาด 6 MHz โดยมีช่วงเวลาประมาณ 167 นาโนวินาที สัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยม มี Duty Cycle 50% สัญญาณนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการซิงโครนัสระบบ มิได้มีจุดหมายสำหรับใช้เป็นฐานเวลา

RESET DRV (เอาท์พุท) สัญญาณนี้ใช้สำหรับ Reset ระบบในขณะเปิดเครื่อง หรือขณะที่แหล่งจ่ายไฟที่ขาด หรือไฟตก สัญญาณนี้จะ Active เมื่อ Logic เป็น 1

SD0-SD7 (อินพุท/เอาท์พุท) เป็นสัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิที่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำไมโครโปรเซสเซอร์และอุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุท บิท D0 เป็นบิทที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด

BALE (เอาท์พุท) เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับการ Latch Address ของระบบ สัญญาณนี้จะมาจาก 82288 ตัวควบคุมบัสสัญญาณที่จะใช้ Latch Address เมื่อเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 และสัญญาณนี้จะได้รับการทำให้เป็น 1 ขณะที่กำลังทำ ดีเอ็มเอ

I/O CHK (อินพุท) สัญญาณตรวจสอบของอินพุท/เอาท์พุท เพื่อบอกข้อมูลกับระบบเช่นเดียวกับการตรวจสอบ Parity ดังนั้นถ้าบนอินพุท/เอาท์พุทมีข้อผิดพลาด สัญญาณนี้จะ Activeเพื่อให้ส่งสัญญาณเตือนในลักษณะ Parity Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O CHRDY (อินพุท) สัญญาณนี้จะได้รับการทำให้เป็น 0 ด้วยหน่วยความจำหรืออุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุท การใช้สัญญาณนี้ก็เพื่อใช้อุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุทที่ช้าจะได้ติดต่อกับระบบด้วยการส่งสัญญาณมายัง CPU เพื่อซิงโครนัสระบบได้

IRQ3-IRQ7 (อินพุท) เป็นสัญญาณ Interrupt

IOR (อินพุท/เอาท์พุท) สัญญาณอินพุท/เอาท์พุท เป็นสัญญาณที่ส่งมาจาก CPU การควบคุมสัญญาณนี้มาจาก 80286 และดีเอ็มเอ คอนโทรเลอร์ สัญญาณนี้ แอคทีฟ 0

SMEMR (Output) MEMR (Input/Output) สัญญาณนี้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ใช้สำหรับติดต่อกับหน่วยความจำในส่วน 1 MB แรก หรือถอดรหัสมาจาก Address ส่วนล่าง ส่วน MEMR นี้แอคทีฟกับหน่วยความจำทั้งหมด 16 MB

DRQ0-DRQ3 (Input) สัญญาณการขอดีเอ็มเอแชนแนล 0-3 โดยสัญญาณนี้จะมาจากอุปกรณ์ Input/Output

ALEN (Output) Enable Address เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับการแยกบัสแอดเดรสในการทำดีเอ็มเอ เมื่อสัญญาณนี้แอคทีฟ แสดงว่าดีเอ็มเอ คอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานทางแอดเดรสแทน CPU

REFRESH (Input/Output) เป็นสัญญาณที่ใช้ในการแสดงสัญญาณรีเฟรชไซเคิล สัญญาณนี้ส่งมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านทางช่อง Input/Output

T/C (Output) สัญญาณ Terminal Count เป็นสัญญาณ Pulse เมื่อดีเอ็มเอนับจำนวนมาครบตามที่กำหนด

MEM CS16 (Input) สัญญาณนี้ส่งมาจาก Main Board ถ้าหากการถ่ายเทข้อมูลต้องการสถานะรอ

IO CS16 (Input) สัญญาณนี้เป็นตัวส่งมาจาก Main Board ว่า Input/Output ต้องการสถานะรอ

OSC (Output) สัญญาณนาฬิกา 70 นาโนวินาที หรือประมาณ 1431818 MHz

OWS (Input) เป็นสัญญาณที่บอก CPU ว่าการทำงานหนึ่งรอบของบัสไม่จำเป็นต้องการแทรกสถานะรอ

ตารางที่ 2.6 แสดง Address Port ของ IBM PC [6]

Number Port (Hex)	Type of Equipment
001-01F	DMA COBTROLLER 1,8237A-5
020-03F	INTERRUPT CONTROLLER หมายเลข 1,8259A ตัวหลัก
040-05F	TIMER 8254-2
060-06F	8042 KEYBOARD
070-07F	CLOCKNMC-MOSRAM
080-09F	DMA PAGEREGKHER
0A0-0BF	INTERRUPT CONTROLLER 28237A-5
0C0-0DF	CLEAR MATH PROCESSOR
0F	RESET MATH PROCESSOR
0F8-0FF	MATH PROCESSOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110-118	HARD DISK
200-207	IO GAME
208-277	NOT USE
278-27F	INTERIOR PORT NO2
280-2F7	NOT USE
2F8-2FF	SERAL PORT NO2
300-31F	PROTOTYPE CARD
320-35F	NOT USE
360-36F	SPARE
370-377	NOT USE
378-37F	PRINTER PORT NO1
380-38F	SDLC, BKYNC2
390-3AF	NOT USE
3B0-3BF	MONOCHROME AND PRINTER
3C0-3CF	SPARE
3D0-3DF	COLOUR DISPLAY MONITOR
3F0-3F7	CONTROL DISKKET
3F8-3FF	SERIAL PORTY NO2

2.4.2 การจัด ADDRESS สำหรับหน่วยความจำและ I/O [7]

การจัดแอดเดรสของพอร์ท I/O ใน IBM PC

ในการควบคุมการตรวจสอบสภาวะในการทำงาน รวมทั้งการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นชิพซัพพอร์ท หรือการ์ดในการควบคุมต่างๆที่ใช้ในระบบของ IBM PC จะกระทำโดยผ่านทางพอร์ท I/O ของระบบด้วย และเนื่องจากการควบคุมหรือติดต่อกับพอร์ทเหล่านี้ต้องกระทำโดยการอ้างถึงแอดเดรสของพอร์ท I/O เหล่านั้นโดยตรง เราจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงหลักการอ้างแอดเดรสของ 8088 ในเครื่อง PC ด้วย

สำหรับแอดเดรสที่จัดไว้สำหรับ I/O นั้น จะเป็นแอดเดรสที่ถูกสร้างขึ้นโดย 8088 ซึ่งแอดเดรสเหล่านี้เป็นแอดเดรสที่จัดไว้สำหรับ I/Oพอร์ทโดยเฉพาะ คือแยกจากแอเดรสของหน่วยความจำโดยเด็ดขาด ส่วนการส่งข้อมูลให้กับพอร์ทเหล่านี้ต้องกระทำโดยการใช้คำสั่ง OUT ของ 8088 ส่งข้อมูลนั้นไปยังแอดเดรสของพอร์ทที่ต้องการ และสำหรับการตรวจสอบหรือการอ่านข้อมูลจากพอร์ทก็จะทำได้โดยการใช้คำสั่ง IN ของ 8088 อ่านข้อมูลจากแอดเดรสของพอร์ทที่ต้องการเช่นกัน

ภายในไมโครคอนโปรเซสเซอร์ 8088 จะมีแอดเดรสสำหรับการใช้พอร์ท I/Oอยู่ทั้งสิ้น 65,536 แอดเดรส ซึ่งทำให้การอ้างแอดเดรสของพอร์ท I/O ที่ทำงานร่วมกับ 80288 นั้น ต้องใช้จำนวนเส้นแอดเดรสในบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรสทั้งสิ้น 16 เส้น แต่สำหรับใน IBM PC นี้ถูกออกแบบมาให้ใช้แอดเดรสเฉพาะ 10 เส้นล่าง คือ A0-A9 เท่านั้น ดังนั้นในการอ้างอิงถึงแอดเดรสของพอร์ทของอุปกรณ์หรือชิพพอร์ทใดๆที่ใช้ร่วมกับ IBM PC จึงใช้เส้นจำนวนแอดเดรสเพียง 10 เส้นด้วย โดยเส้นแอดเดรสที่เหลือคือ A10-A15 นั้น จะไม่ถูกนำไปใช้งาน แต่แอดเดรสบนเส้นแอดเดรสเหล่านี้ยังคงเลี่ยนแปลงตามค่าแอดเดรสพอร์ทที่กำหนดไว้ในคำสั่ง OUT หรือ IN อยู่ด้วย เพียงแต่ไม่ได้ถูกนำมาดีโค้ดร่วมกับแอดเดรส 0010H นั้นจะให้ผลเหมือนกับการส่งข้อมูลไปยังพอร์ทที่ตรงกับแอดเดรส 04100H, 0810H, 0C10H ทั้งนี้เนื่องจากแอดเดรส 6 บิทบนไม่ถูกนำมาใช้งาน จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าแอดเดรสบนเส้นแอดเดรส A0-A15 นั้นไม่ทำให้เกิดความแตกต่างใดๆขึ้น

เนื่องจากใน IBM PC ได้ใช้งานเส้นแอดเดรสเพียง 10 เส้น ดังนั้นจึงสามารถที่จะอ้างแอดเดรสของพอร์ทได้สูงสุดเพียง 1024 เท่านั้น นอกจากนี้ในกรณีที่เป็นการอ่านข้อมูลของพอร์ทของ IBM PC ข้อมูลที่เป็นบิท A9 เป็น 0 แล้วเราจะทำการอ่านข้อมูลได้เฉพาะจากพอร์ทของอุปกรณ์หรือชิพพอร์ทต่างๆที่อยู่บนเมนบอร์ดของ IBM PC เช่น 8253-5, 8237-5, 8259A เท่านั้น แต่ถ้าข้อมูลในบิท A9 นี้เป็น 1 แล้ว เราจะทำการอ่านข้อมูลได้เฉพาะจากพอร์ทที่อยู่บนการ์ดต่างๆเท่านั้น

พอร์ทบน IBM PC ทั้ง 1024 พอร์ท ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกเป็นกลุ่มของพอร์ทที่อยู่บนเมนบอร์ด และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่จัดเตรียมไว้สำหรับพอร์ทที่อยู่บนการ์ดต่างๆ

สำหรับในกรณีของการส่งข้อมูลให้กับพอร์ททั้ง 1024 พอร์ท เราสามารถที่จะเลือกส่งไปยังพอร์ทใดๆใน IBM PC ได้ ดังนั้นการเลือกแอดเดรสสำหรับพอร์ทที่อยู่บนการ์ดจึงสามารถทำได้โดยสะดวก แต่อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ ถ้าแอดเดรสที่เราเลือกให้กับพอร์ทนี้ตรงกับค่าแอดเดรสเดิมที่มีอยู่บนบอร์ด เมื่อเราทำการส่งข้อมูลให้กับพอร์ทที่อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสนี้ ก็จะเท่ากับเป็นการส่งข้อมูลให้กับพอร์ทที่อยู่บนการ์ดด้วย ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเช่นกัน ดังนั้นในการกำหนดค่าแอดเดรสที่ถูกสร้างขึ้นมาบนการ์ดต่างๆ จึงควรใช้ค่าแอดเดรสที่แอดเดรสบิท A9 มีค่าเป็น 1 คือ แอดเดรส 0FE00H หรือ 0FFFFH เท่านั้น

การใช้งานแอดเดรสในพอร์ท I/O ของ IBM PC

จากที่กล่าวมาแล้ว พอร์ท I/Oทั้ง 1024 พอร์ทใน IBM PC ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น2กลุ่มๆละ 512 พอร์ท สำหรับในหัวข้อนี้จะหล่าวถึงการใช้งานพอร์ทต่างๆ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น

1. ในกลุ่มแรกนี้ เป็นของพอร์ท I/O ที่อยู่บนเมนบอร์ดของ IBM PC ซึ่งจะมีแอดเดรสอยู่ที่จำแหน่ง 000H จนถึง 01FF หรือแอดเดรส A9 เป็น 0 นั่นเอง

สำหรับแอดเดรสของพอร์ท I/O ในกลุ่มนี้จะถูกใช้ในการอ้างแอดเดรสของชิพซัพพอร์ทและอุปกรณ์ I/O ต่างๆบนเมนบอร์ด IBM PC จะเห็นว่าแอดเดรส 00C0H จนถึงแอดเดรส 01FFH นั้นไม่ได้ถูกใช้งานบนเมนบอร์ด ดังนั้นในกรณีดังกล่าวเราก็สามารถที่จะใช้งานแอดเดรสต่างๆเหล่านี้ได้ อย่างไรก็ตามแอดเดรสเหล่านี้ยังคงถูกดีโค้ดให้เป็นแอดเดรสที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ท I/O บนเมนบอร์ดเท่านั้น ดังนั้นการใช้ค่าแอดเดรส 00C0H-01FFH กับพอร์ท I/O บนการ์ดหรือพอร์ทที่เราสร้างขึ้นนั้น ต้องเป็นพอร์ทเอาพุทเพียงชนิดเดียวเท่านั้น กล่าวคือ จะทำการอ่านข้อมูลที่มีค่าแอดเดรสอยู่ในช่วง 00C0H-01FFH ไม่ได้

2. ในกลุ่มที่สองนี้จะเป็นกลุ่มของพอร์ท I/O ที่ถูกใช้งานบนการ์ดที่เสียบใช้งานบน Slot ต่างๆของ IBM PC สำหรับแอดเดรสของพอร์ทเหล่านี้จะเริ่มต้นจากแอดเดรส 0200H-03FFH ซึ่งก็คือแอดเดรสที่มีบิท A9 เป็น 1 นั่นเอง สำหรับการใช้งานแอดเดรสของพอร์ท I/O ในกลุ่มนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การใช้งานแอดเดรสในกลุ่มนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานบนการ์ดต่างๆ ร่วมกับ IBM PC โดยการ์ดที่ถูกออกแบบผลิตขึ้นใหม่นั้นอาจจะใช้ค่าแอดเดรสสำหรับพอร์ท I/O จึงควรจะตรวจสอบดูก่อนว่าการ์ดต่างๆที่ใช้อยู่ในระบบของ IBM PC ที่เราใช้อยู่นั้นมีการ์ดใดบ้างและการ์ดเหล่านั้นใช้งานแอดเดรสใดบ้าง จากนั้นจึงทำการออกแบบวงจรอินเทอร์เฟสโดยเลือกใช้เฉพาะแอดเดราที่ยังไม่ถูกใช้งาน

2.4.3 พอร์ทขนาน

พอร์ทขนานหรือพอร์ทเครื่องพิมพ์ของคอมพิวเตอร์มีขั้วต่อเป็นคอนเนคเตอร์แบบ D ขนาด 25 ขา (DB-25) มีการจัดขาสัญญาณดังรูปที่ 2.18 และมีหน้าที่การทำงานแสดงในตารางที่ 2 ภายในพอร์ทขนานประกอบด้วยรีจิสเตอร์พื้นฐานที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล 3 ตัวคือ Register Data, Status และ Control โดยแอดเดรสของ Register ทั้ง3นี้จะมีตำแหน่งไล่เรียงกันไปตามลำดับ ขึ้นอยู่กับแอดเดรสของพอร์ทขนานเช่น ที่พอร์ทขนาน LPT1 แอดเดรสของ Register Data อยู่ที่ &H378 (&H เป็นตัวอักษรที่แสดงว่าข้อมูลนี้เป็นข้อมูลเลขฐาน 16) ในขณะที่แอดเดรสของ Register Status อยู่ที่ &H379 และแอดเดรสของ Register Control จะอยู่ที่ &H37A โดยความสัมพันธ์ระหว่างแอดเดรสพอร์ทขนานกับแอดเดรสของรีจิสเตอร์พื้นฐานทั้งสามตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตำแหน่งของพอร์ทขนานส่วนใหญ่จะมีตำแหน่งพอร์ทเริ่มต้นอยู่ที่ &H378 แต่ก็ไม่ใช่ตำแหน่งสำหรับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ดังนั้นวิธีง่ายๆเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของพอร์ทขนานที่ใช้งานอยู่ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Debug แสดงค่าของหน่วยความจำตำแหน่ง 0040:08 ซึ่งใช้สำหรับเก็บค่าแอดเดรสของพอร์ทขนาน LPT1, LPT2 และ LPT3 เอาไว้ดังตัวอย่างกรอบแยกที่ 1

รูปที่ 2.18 รูปร่างและตำแหน่งขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ทขนาน DB-25 ตัวเมีย (มองจากด้านหน้า)

กรอบแยกที่ 1

```
C:\dos\debug
-d 0040 : 08
0040 : 0008 78 03 78 02 00 00 00 00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างข้างบนพอร์ท LP1 มีแอดเดรสอยู่ที่ &H378 ส่วนพอร์ท LPT2 มีแอดเดรสอยู่ที่ &H278 สำหรับ LPT3 และ LPT4 นั้นยังไม่ได้ถูกกำหนดเอาไว้ นอกจากการใช้โปรแกรม Debug แล้ว ยังสามารถใช้โปรแกรม MSD.EXE ของ DOS เพื่อตรวจสอบได้อีกด้วย

จากตารางที่ 2.8 สามารถแบ่งคุณสมบัติของพอร์ทขนานได้ 2 รูปแบบคือ พอร์ทที่ทำหน้าที่เป็นเอาท์พุท และพอร์ทที่ทำหน้าที่เป็นอินพุทซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 หน้าที่และการทำงานของขาต่างๆของพอร์ทขนาน

ขา	หน้าที่	พอร์ท		ทิศทาง
		ชื่อ	บิท	
1	$\overline{\text{Strobe}}$	CONTROL	CO	เอาท์พุท
2	Data บิท 0	DATA	DO	เอาท์พุท
3	Data บิท 1	DATA	D1	เอาท์พุท
4	Data บิท 2	DATA	D2	เอาท์พุท
5	Data บิท 3	DATA	D3	เอาท์พุท
6	Data บิท 4	DATA	D4	เอาท์พุท
7	Data บิท 5	DATA	D5	เอาท์พุท
8	Data บิท 6	DATA	D6	เอาท์พุท
9	Data บิท 7	DATA	D7	เอาท์พุท
10	Acknowledge	STATUS	S6	อินพุท
11	$\overline{\text{Busy}}$	STATUS	S7	อินพุท
12	Out of Paper	STATUS	S5	อินพุท
13	Select	STATUS	S4	อินพุท
14	Line Feed	CONTROL	C1	เอาท์พุท
15	Error	STATUS	S3	อินพุท
16	Initial	CONTROL	C2	เอาท์พุท
17	$\overline{\text{Select IN}}$	CONTROL	C3	เอาท์พุท
18-25	Ground			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แอดเดรสของรีจิสเตอร์ของพอร์ทขนาน

พอร์ท ขนาน	แอดเดรสของ DATA	แอดเดรสของ STATUS	แอดเดรสของ CONTROL
LPT	&H378	&H379	&H37A
LPT	&H3BC	&H3BD	&H3BE
LPT3	&H278	&H279	&H27A

พอร์ทเอาท์พุท

พอร์ทที่ทำหน้าที่เป็นพอร์ทเอาท์พุทคือ พอร์ท DATA และพอร์ท CONTROL สำหรับพอร์ท DATA ตำแหน่งบิท D0-D7 สามารถใช้งานเป็นเอาท์พุทได้ทั้งหมด ส่วนพอร์ท CONTROL มีบิทที่ทำหน้าที่เป็นเอาท์พุทเพียง 4 บิทคือ C0-C3 ส่วนตำแหน่งอื่นๆไม่ได้ใช้งานหรือถูกสงวนไว้ใช้กับงานอื่น

การเขียนข้อมูลไปยัง Register DATA นั้น ข้อมูลที่ส่งออกไปกับสถานะ Logic ที่ขาพอร์ท DATA จะตรงกัน แต่สำหรับพอร์ท CONTROL นั้น บิท C0-C1 และ C3 จะกลับสถานะโดยเมื่อป้อนค่าหนึ่งค่าใดไปยัง Register CONTROL ที่พอร์ท CONTROL จะทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่ในบิท C0, C1, C3 ให้มีสถานะตรงกันข้าม ดังนั้นเมื่อต้องการส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ท CONTROL จะต้องมีการกลับค่าของข้อมูลในบิท C0, C1, C3 ก่อนเสมอ

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนข้อมูลไปยังพอร์ทขนานนั้น สามารถเขียนได้โดยง่ายโดยใช้ภาษาระดับต่ำ เช่น ภาษแอสเซมบลี้ ไปจนถึงภาษาระดับสูง เช่น ภาษาเบสิค, เทอร์โบปาสคาล หรือเทอร์โบ C สำหรับตัวอย่างการส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ทเอาท์พุทของพอร์ทขนานด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ มีดังนี้

โปรแกรมแอสเซมบลี้

```
MOV DX,378H
MOV AL,VALUE
OUT DX,AL
```

พอร์ทอินพุท

พอร์ทที่ทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุทคือ พอร์ท STATUS มีบิทที่ใช้งานเป็นอินพุทเพื่อรับข้อมูลจากภายนอก 5 บิท คือ S3-S7 โดยบิท S7 นั้นมีการกลับสถานะอยู่ ดังนั้นการอ่านค่าข้อมูลในบิท S7 จะได้ค่าออกมาเป็นค่าตรงข้าม ตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ท STATUS จะอยู่ถัดจากแอดเดรสของพอร์ท DATA หนึ่งตำแหน่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการง่ายต่อการทำความเข้าใจ การเขียนโปรแกรมไปยังพอร์ท STATUS จึงนิยมระบุตำแหน่งแอดเดรสเป็น BaseAddr+1 (ปกติมีค่าเท่ากับ &H378+1) สำหรับตัวอย่างการอ่านข้อมูลจากพอร์ทอินพุทด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้

MOV DX,378H

IN AL,DX

พอร์ทสำหรับคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่

สำหรับในคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ๆนั้น พอร์ท DATA สามารถใช้เป็นอินพุทได้ด้วย โดยจะมีบิทที่ทำหน้าที่กำหนดทิศทางของข้อมูลอยู่ที่พอร์ท CONTROL บิท 5 (C5) ถ้าบิทนั้นเป็น 0 จะเป็นการกำหนดให้พอร์ทนี้เป็นเอาท์พุท ถ้าบิทนี้ถูกเซทเป็น 1 จะเป็นการดิสเอเบิ้ลเอาท์พุท ทำให้สามารถอ่านสถานะ Logic ภายนอกได้ ซึ่งก็คือการทำหน้าที่เป็นอินพุทนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 ส่วนประกอบของ Hardware

3.1.1 รายการส่วนประกอบ (ดูรูปที่ 1-6 ในภาคผนวก)

1. Table ส่วนบน(ช่องทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y)ซึ่งประกอบด้วย
   - บอลล์สกรูขนาดเล็ก
   - บอลล์นัตขนาดเล็ก
   - Guide vane
2. Table ส่วนล่าง(ช่องทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X)ซึ่งประกอบด้วย
   - บอลล์สกรูขนาด ใหญ่
   - บอลล์นัตขนาดใหญ่
   - Guide vane
3. อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 1 ชุด
4. ชุดหัว Punch 1 ชุด
5. ชุด Die 1 ชุด
6. แผ่นควบคุมการเคลื่อนที่ของหัว Punch
7. คานยึดจับกระบอกสูบ
8. สายพาน 2 เส้น
9. ฐานรองเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ
10. ปั๊มลม
11. กระบอกสูบลม 1 ลูก
12. สายต่อลม
13. Stepping Motors 2 ชุด
14. โซลินอยด์วาล์ว 1 ชุด
15. ลิมิตสวิตซ์ 3 ตัว
16. ชุดวงจร Drive Motor 1 ชุด
17. ชุดวงจรตรวจการทำงาน โซลินอยวาล์ว และ ลิมิตสวิตซ์ 1 ชุด
18. ชุด Power Supply 1 ชุด
19. สายไฟใช้เชื่อมต่อวงจรและ Stepping Motor 2 เส้น
20. สายไฟใช้เชื่อมต่อวงจรและ โซลินอยวาล์ว 1 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. สายไฟใช้เชื่อมต่อวงจรและ ลิมิตสวิตซ์ 1 เส้น

22. สายเชื่อมต่อสัญญาณจาก Port Printer กับ วงจรควบคุมการทำงาน

23. เครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.2 รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ (ดูรูปที่ 1-6 ในภาคผนวก)

1. ส่วนของ Table ส่วนบนนั้นจะมีชุดจับยึดงานติดอยู่บนโครงอลูมิเนียมซึ่งจะเคลื่อนที่ไปตาม Guide vave โดยได้รับการส่งกำลังจาก Stepping Motor โดยผ่านทางสายพานมาขับบอล์สสกรูซึ่งในการหมุนแต่ละรอบของบอล์สสกรูนั้นจะทำหน้าที่ส่งกำลังไปทำหน้าที่ในการขับโครงอลูมิเนียมซึ่งยึดกับชุดจับยึดชิ้นงานอีกทีหนึ่ง ทั้งนี้ส่วนจับยึดชิ้นงานเป็นเหล็กแผ่นจับยึดส่วนบนและล่างของชิ้นงาน โดยการเคลื่อนที่ของ Table ส่วนบนนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ได้ระยะทางทั้งสิ้น 18 เซนติเมตร

2. ส่วนของ Table ส่วนล่างนั้นจะมี Guide vane 1 คู่ เป็นแท่งสเตนเลสกลมเป็นแกนนำให้ Table ส่วนล่างเคลื่อนที่ไปในแนวแกน Y โดยได้รับการส่งกำลังจาก Stepping Motor โดยผ่านทางสายพานมาขับบอล์สสกรูซึ่งในการหมุนแต่ละรอบของบอล์สสกรูนั้นจะทำหน้าที่ส่งกำลังไปทำหน้าที่ในการขับโครงอลูมิเนียมซึ่งยึดกับชุดจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ได้ระยะทางทั้งสิ้น 23 เซนติเมตร

3. ชุดจับยึดชิ้นงานประกอบด้วยโครงอลูมิเนียมและแผ่นเหล็ก จำนวน 4 ชิ้นใช้ในการจับยึดชิ้นงาน

4. ชุดหัว Punch ทำหน้าที่ในการเจาะชิ้นงาน ประกอบด้วย 3 ส่วน
   - ส่วนยึดต่อกับก้านกระบอกสูบ
   - ส่วนหัวใช้ยึดจับส่วนเจาะชิ้นงาน
   - ส่วนเจาะชิ้นงาน

5. ชุด Die ทำหน้าที่ในการรองรับการกดเจาะชิ้นงาน ประกอบด้วย 3 ส่วน
   - ส่วนรองรับการเจาะโดยตรง
   - ส่วนแกนเหล็กที่มีรูภายในเพื่อนำเศษโลหะหลังการเจาะออก
   - ส่วนฐานรองชุด Die

6. แผ่นควบคุมการเคลื่อนที่ของชุด Punch ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัว Punch เนื่องจากลักษณะของชุด Punch มีระยะชักยาว จึงทำให้เกิดการหมุน และ สั่นทำให้การเจาะเกิดการผิดพลาด ดังนั้นจึงมีการเพิ่มชิ้นส่วนแผ่นควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นมา

7. ปั๊มลม ทำหน้าที่ในการให้กำลังในการขับเคลื่อนกระบอบสูบ ขนาด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

8. กระบอกสูบ ทำหน้าที่ในการส่งกำลังในการเจาะชิ้นงาน กระบอกสูบนี้เป็นกระบอบสูบชนิด ไป – กลับสองทาง ควบคุมการทำงานด้วยลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และ ระยะชัก 14 เซนติเมตร

9. สายลม ทำหน้าที่ในการส่งลมจากปั๊มลมมายังโซลินอยวาล์ว และ จากโซลินอยวาล์วไปยังกระบอกสูบ

10. Stepping Motor เลือกใช้ชนิด ยูนิโพลาร์ หรือเรียกว่า แบบ 6 สาย 4 เฟส โดยส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ชนิดนี้ คือมีสายไฟทั้งหมด 6 เส้น และ มีขดลวดจำนวน 2 ขดบนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งในแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม ข้อดี Stepping Motor ไม่ต้องมีสัญญาณป้อนกลับในการตรวจสอบการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนเข้าออกของก้านสูบ เพื่อทำการเจาะชิ้นงาน โดยปรับเปลี่ยนทิศทางของลมที่จะเข้ากระบอกสูบ ซึ่งจะได้รับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง Port Printer มายังวงจรควบคุมการทำงานของโซลินอยด์ มายังขดลวดในโซลินอยวาล์วทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางของแรงดันลม

12. ลิมิตสวิตช์ ทำหน้าที่ตรวจเช็คตำแหน่งเริ่มต้นการทำงาน เมื่อโครงอลูมิเนียมเคลื่อนที่ไปแตะลิมิตสวิตช์ทางด้านข้างทั้ง 2 ตัวในแนวแกนX และแกนYจะทำให้ทราบได้ถึงตำแหน่งที่หัว Punch อยู่คือตำแหน่งที่จุด X ,Y เท่ากับ (0,0) และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัว Punchเพื่อให้ทราบว่าเมื่อหัว Punch เคลื่อนที่ลงถึงระยะที่ต้องการแล้วแตะลิมิตสวิตช์ก็จะทำการเคลื่อนที่ขึ้น

13. ฐานรองเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ ทำจากแผ่นเหล็กเรียบ พร้อมกับขาตั้งที่ทำการปรับระดับไว้เรียบร้อยแล้วเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของ Table สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระนาบที่ไม่มีการเอียง และสามารถรองรับแรงกระแทกได้ดี ขนาดของฐานรองเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ 80 x 90 ตารางเซนติเมตร

14. คานจับยึดกระบอกสูบจะใช้เหล็กรูปตัว U ทำโครงสร้างของคานในแนวตั้ง และใช้เหล็กฉากทำโครงสร้างของคานในแนวระนาบ เพื่อรองรับภาระในแนวดิ่ง

15. วงจร Drive Motor ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Stepping Motor โดยการรับสัญญาณมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์มายังวงจรแล้วจึงส่งไปที่มอเตอร์

16. วงจรตรวจเช็คการทำงานของโซลินอยวาล์ว และลิมิตสวิตช์

17. Power Supply ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่วงจร Drive Motor และ วงจรตรวจเช็คการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว และลิมิตสวิตช์

18. เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นเหล็กอัตโนมัติ โดยผ่านทาง Port Printer ไปยังชุดวงจรควบคุม

3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ [8,9]

3.2.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม

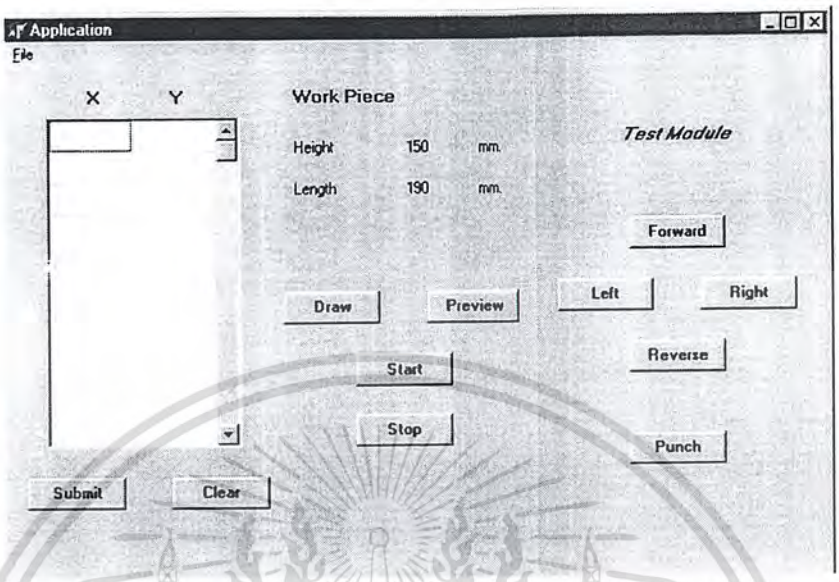
โปรแกรมที่เขียนด้วย Delphi จะแบ่งส่วนสำคัญออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. Form
2. Source Code

Form เป็นวินโดว์อันหนึ่งมีคุณสมบัติเหมือนวินโดว์ทั่วไป คือ ประกอบด้วย คอนโทรล เมนูปุ่มมินิไมซ์ ปุ่ม แมกซิไมซ์ ไตเติลบาร์ และขอบหน้าต่างที่สามารถปรับขนาดได้

Form ในโครงงานนี้ มีหน้าที่ควบคุมซึ่งมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 Control Panel ของโปรแกรม

รายละเอียดของส่วนต่างๆบนหน้าจอใช้งาน

1. ข้อมูลแสดงขนาดของชิ้นงาน - แสดงความกว้าง ความยาวของชิ้นงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมทราบขอบเขตของค่าคู่ลำดับ x, y ที่จะป้อน
2. ช่องใส่ค่า x, y - ช่องป้อนตำแหน่งจุดที่ต้องการ Punch
3. ปุ่ม Draw - ปุ่มเลือกการป้อนค่าให้สามารถ Plot จุดต่างๆลงบน Form ที่กำหนดให้
4. ปุ่ม Submit - ปุ่มยืนยันค่าตำแหน่งต่างๆที่ป้อน
5. ปุ่ม Clear - ปุ่มลบค่าตำแหน่งต่างๆที่ป้อนไว้ เพื่อทำการแก้ไข
6. ปุ่ม Start - ปุ่มเริ่มต้นการทำงาน (Punch) ของเครื่อง
7. ปุ่ม Stop - ปุ่มหยุดการทำงานของเครื่องเมื่อมอเตอร์หยุดทำงาน
8. Save Menu - เมนูเพื่อบันทึกค่าตำแหน่งต่างๆของงานใดงานหนึ่ง
9. Open Menu - เมนูเพื่อเปิดแฟ้มค่าตำแหน่งต่างๆของงานใดๆที่ได้เคยบันทึกไว้
10. Exit Menu - เมนูเพื่อออกจากโปรแกรม
11. Test Module - กลุ่ม Function ที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของ Hard Ware และวงจรโดยไม่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตำแหน่งในโปรแกรม ประกอบด้วย

- Front (มอเตอร์ขับเคลื่อนที่จับชิ้นงานไปข้างหน้า)
- Back (มอเตอร์ขับเคลื่อนที่จับชิ้นงานไปข้างหลัง)
- Left (มอเตอร์ขับเคลื่อนที่จับชิ้นงานไปข้างซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Right (มอเตอร์ขับเคลื่อนที่จับชิ้นงานไปข้างขวา)

Source Code เป็นตัวโปรแกรมหลักที่ใช้ควบคุมการทำงานต่าง ๆ โดยภาษาที่ใช้ในโปรแกรม Delphi คือ ภาษา Pascal โครงสร้างของ Code-editer เป็นดังนี้

Unit Unit1; Unit ชื่อของ unit

Interface

Uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs;

การเรียกใช้คอมโพเนนท์ต่าง ๆ

type

Tform1 = class(Tform) ชื่อของ form = class(tfrom) และสามารถประกาศชนิดของตัวแปรขึ้นมาใหม่ได้

Private

{Private declaration} การประกาศ procedure หรือ function ที่ใช้ได้เฉพาะ unit นี้เท่านั้น

{Public declaration} การประกาศ procedure หรือ function ที่สามารถเรียกใช้ได้จาก unit อื่นได้

end;

var

Form1:Tform1;ชื่อของ Form:Tform1; และตัวแปรอื่น ๆ

Implementation หลังจาก Implementation จนถึง end. เป็นตัวโปรแกรมที่ควบคุมการทำงาน

{$R*.DFM} เป็นการ link กับ form ห้ามลบเด็ดขาดเป็นการควบคุมที่มี procedure และ function ควบคุมการทำงานต่าง ๆ

end.

3.2.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

ก่อนและหลังการทำงานทุกครั้ง เครื่องจะทำการ Set up ตำแหน่งตนเองให้อยู่ในตำแหน่ง (0,0) เสมอ (หากตำแหน่งก่อนการทำงานและตำแหน่งสุดท้ายของการทำงานไม่ได้อยู่ที่ 0,0) ดังนั้นในการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม ผู้ใช้งานจะเริ่มด้วยการป้อนพิกัดตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานที่ต้องการให้มีการ Punch

ในกรณีที่ไม่สามารถกำหนดจุดต่างๆเป็นค่าคู่อันดับ (x, y) ได้นั้นผู้ใช้งานก็สามารถ Click ที่ปุ่ม Draw เพื่อดึง Form สำหรับการ Plot จุดที่ต้องการ Punch ด้วย Mouse ได้อีกด้วย

จากนั้นก็ Click ที่ปุ่ม Submit เพื่อยืนยันค่าที่ป้อนทั้งหมด และอาจ Click ปุ่ม Preview เพื่อดูภาพชอ้นงานสำเร็จก่อนสั่งให้เครื่องทำงานจริงได้ และสามารถ Click ปุ่ม Clear เพื่อลบค่าทั้งหมดในกรณีใส่ค่าผิดและต้องการแก้ไขค่าให้ถูกต้อง

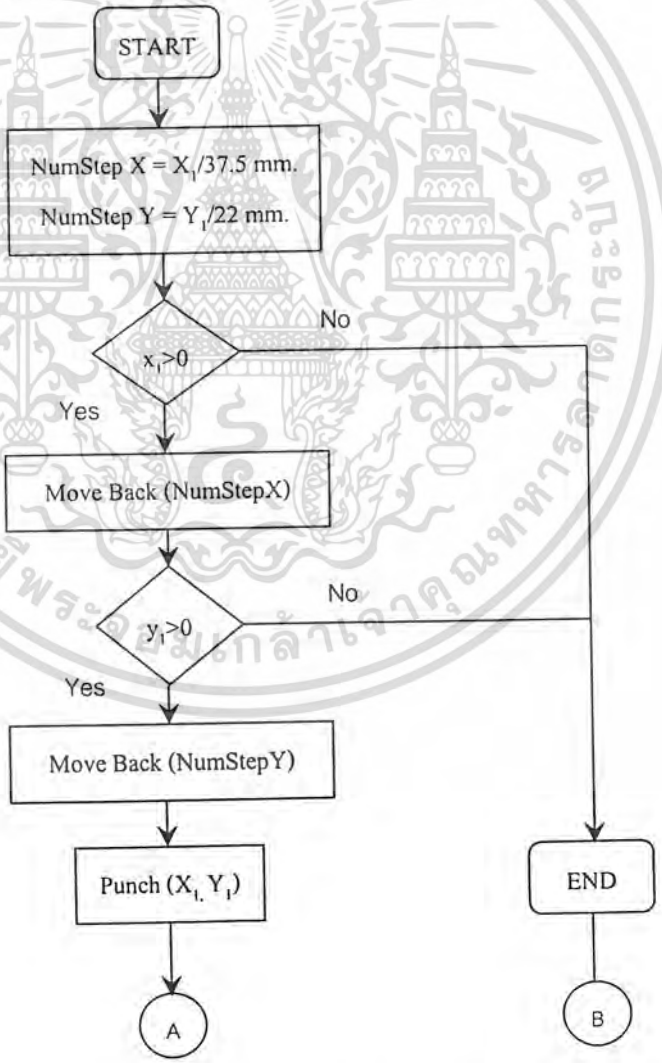
เมื่อค่าทุกอย่างถูกต้องสมบูรณ์แล้ว ก็ Click ปุ่ม Submit เพื่อยืนยันค่า แล้ว Click ปุ่ม Start เพื่อเริ่มการ Punch ได้เลย นอกจากนั้นหลังจากป้อนค่าจุดต่างๆของงานหนึ่งๆแล้วนั้น ผู้ใช้โปรแกรมสามารถบันทึกและเปิดแฟ้มของชิ้นงานต่างๆเพื่อเก็บและนำค่าพิกัดจุดต่างๆมาใช้งานได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ

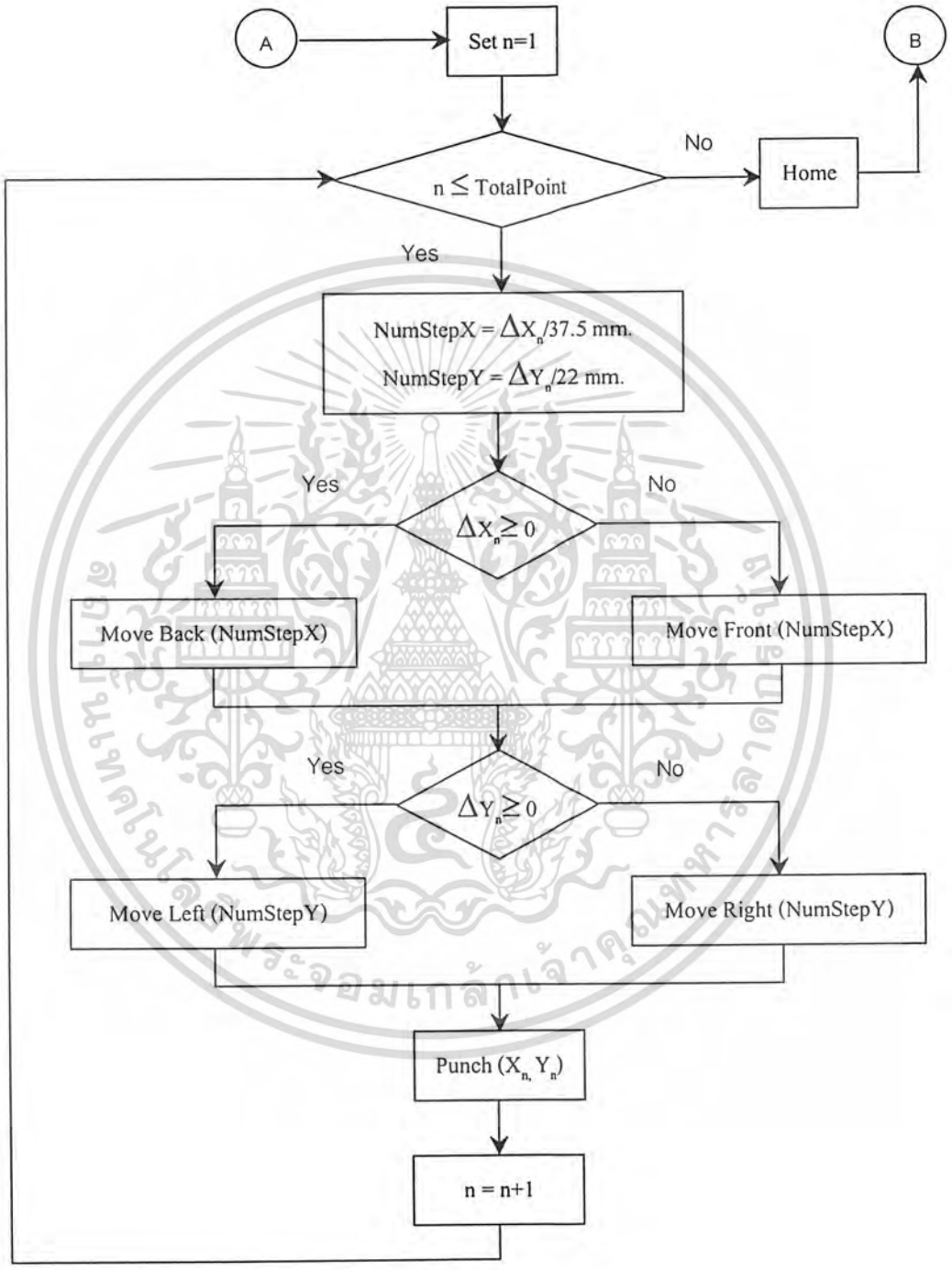
ในการหมุนของมอเตอร์เพื่อเคลื่อนที่ชิ้นงานไปยังพิกัดต่างๆจะเป็นไปตามสเต็ป ดังนั้นในการเคลื่อนที่ไปยังแต่ละพิกัดตำแหน่ง จะต้องใช้โปรแกรมคำนวณระยะห่างจนได้ค่าเป็นจำนวนสเต็ป เพื่อใช้เป็นจำนวนครั้งในการป้อนสัญญาณให้แก่วงจร Drive มอเตอร์อีกต่อหนึ่ง ในการขับเคลื่อนนั้นได้มีการเขียนโปรแกรมให้ขับเคลื่อนมอเตอร์ทีละแกน โดยขับเคลื่อนมอเตอร์แกน x ให้เคลื่อนไปจนถึงตำแหน่งที่ต้องการในแนวแกน x ก่อน แล้วจึงขับเคลื่อนมอเตอร์แกน y จนถึงตำแหน่งที่ต้องการในแนวแกน y สำหรับพิกัดคู่หนึ่งๆ ถ้าระยะในแนวแกนใดแกนหนึ่งเป็น 0 ก็จะไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกนนั้น

รูปที่ 3.2 เป็น Flow Chart แสดงการคำนวณและการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ สมมติให้จุด (x_1, y_1) เป็นพิกัดแรกที่ผู้ใช้งานป้อน และเรื่อยไปจนถึง (x_n, y_n) มอเตอร์จะขับเคลื่อนชิ้นงานไปยัง (x_1, y_1) เพื่อทำการ Punch ก่อนเป็นจุดแรก จากนั้นจึงคำนวณระยะห่างของจุดต่อไปในแต่ละแนวแกนทีละคู่เพื่อนำไปคำนวณเป็นจำนวนสเต็ปในการหมุนมอเตอร์ต่อไป



รูป 3.2 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ (ต่อ)

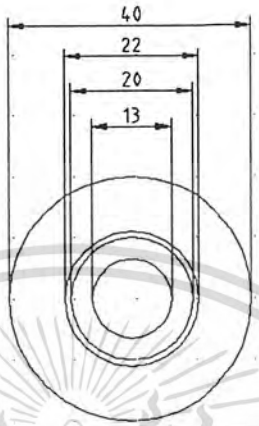
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ภาพแสดงแบบชุดหัว Punch และ Die

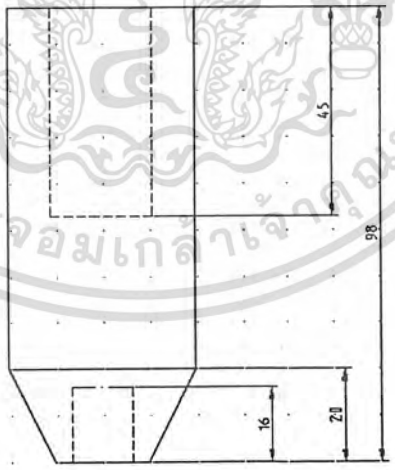
รูปที่3.3 ชุดหัว Punch

รูปที่ 3.4 ชุด Die

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

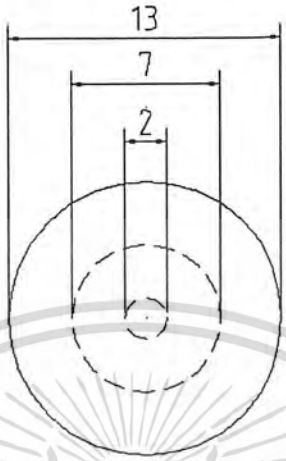


รูปที่ 3.5 ภาพด้านบนของชุดหัว Punch ชิ้นใหญ่

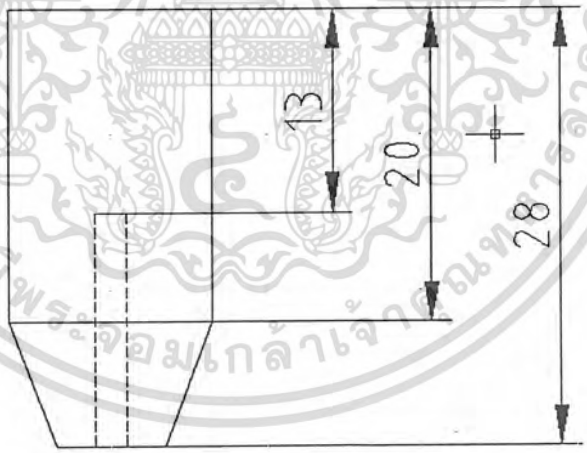


รูปที่ 3.6 ภาพด้านข้างของชุดหัว Punch ชิ้นใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

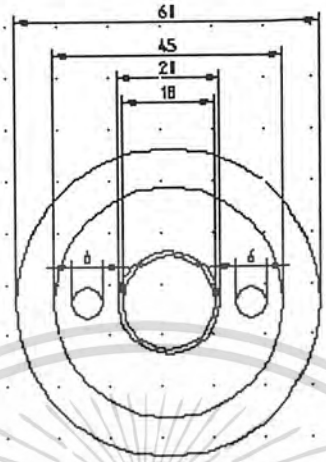


รูปที่ 3.7 ภาพด้านบนของหัว Punch ชิ้นเล็ก

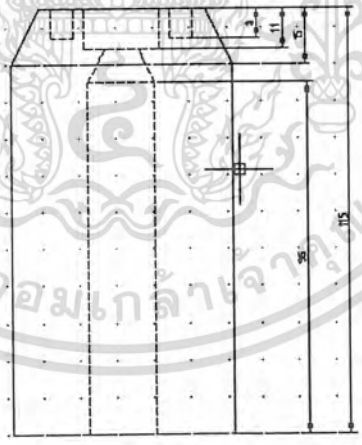


รูปที่ 3.8 ภาพด้านข้างของหัว Punch ชิ้นเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

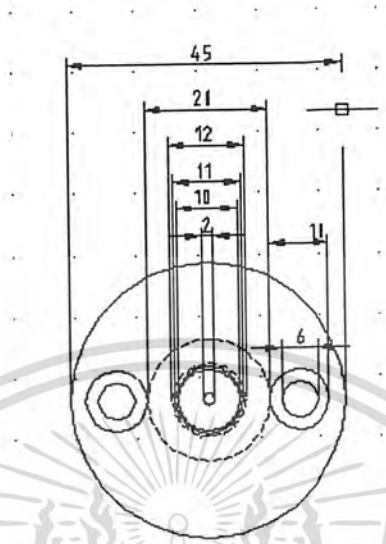


รูปที่ 3.9 ภาพด้านบนของ Die ชิ้นใหญ่

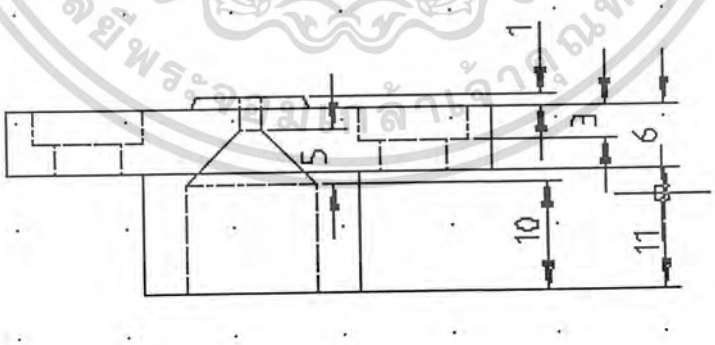


รูปที่ 3.10 ภาพด้านข้างของ Die ชิ้นใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ภาพด้านบนของ Die ชิ้นเล็ก



รูปที่ 3.12 ภาพด้านข้างของ Die ชิ้นเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ขั้นตอน และผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อทดสอบความแม่นยำในการเจาะที่ค่าโคออร์ดิเนตต่าง-ๆและทำการสรุปประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นโลหะ

4.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1 . แผ่นโลหะสังกะสีแผ่นเรียบขนาด 175 x 220 ตารางมิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น

2. เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ 1 ชุด

3. ไม้บรรทัด 1 อัน

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแผ่นโลหะสังกะสีขนาด 175 x 220 ตารางมิลลิเมตร ทำระยะวัดโดยมีช่วงหา 10 มิลลิเมตร
2. นำแผ่นโลหะสังกะสีขนาด 175 x 220 ตารางมิลลิเมตร ใส่ในที่จับยึดชิ้นงาน
3. ป้อนค่า X,Y ที่ตำแหน่งตามรูปแบบ ในการทดลองนี้ได้ทำการป้อนค่าโคออร์ดิเนตเป็นรูปตัวอักษรภาษาอังกฤษ IE เป็นจำนวน 70 จุด (ดูรูปที่ 7 ในภาคผนวก)
4. กดปุ่ม Start เพื่อให้เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติทำงานเริ่มทำงานแล้วรอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จจึงนำชิ้นงานออกจากเครื่อง
5. นำชิ้นงานมาทำการวัดและบันทึกผลในหน่วยของมิลลิเมตร
6. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้หลักทางสถิติ หาค่า Z แล้วนำค่า Z ที่ได้ไปเปิดตารางหาพื้นที่ใต้โค้งปกติ โดยใช้ วิธีการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ [10] กรณีประชากรสอง (ซึ่งในการทดลองนี้หมายถึงพิกัดจุดต่างๆบนชิ้นงานที่ Punch ได้) ที่ทราบค่าแน่นอนของ σ_1^2 และ σ_2^2

ให้ค่า X_1 และ X_2 คือประชากรที่ให้ความสนใจสองชุดซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ย และ μ_1 และ μ_2 และมีค่าความแปรปรวนที่ทราบค่าเป็น σ_1^2 และ σ_2^2 โดยลำดับ ซึ่งสามารถกำหนดวิธีการตัดสินใจในรูปการทดสอบสมมติฐานได้ว่า

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบได้กำหนดให้ทำการชักสิ่งตัวอย่างขนาด n_1 และ n_2 ตัวจากประชากร Xและ Y โดยลำดับและด้วยสาเหตุด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ของการทดลองจะได้ $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ เป็นการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_1 และ μ_2 และค่าความแปรปรวน โดยลำดับ และด้วยทฤษฎีผลรวมเชิงเส้นตรงของตัวแปรสุ่มปกติ จะได้ว่า

สูตรความแปรปรวน

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1} \tag{4.1}$$

สูตร Z

$$Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \tag{4.2}$$

การทดลองนี้มีค่านัยสำคัญในการพิจารณาที่ $\alpha = 0.05$ และมีการตั้งสมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

(สมมติฐาน H_0 : แสดงว่าค่าที่ป้อนให้แก่เครื่องและค่าที่เครื่องสามารถเจาะได้มีค่าเท่ากัน)

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

(สมมติฐาน H_1 : แสดงว่าค่าที่ป้อนให้แก่เครื่องและค่าที่เครื่องสามารถเจาะได้มีค่าไม่เท่ากัน)

<u>การทดลองครั้งที่ 1</u>

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า X ของข้อมูลชุดที่ 1

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{94708.57}{69} \qquad \sigma_2^2 = \frac{94795.17}{69}$$

แทนค่าลงในสมการ 4.2 จะได้

$$\therefore Z = \frac{111.1429 - 111.22}{\sqrt{\frac{1372.5879 + 1373.8430}{70}}} = \frac{-0.0771}{\sqrt{\frac{2746.431}{70}}}$$

$$= \frac{-0.0771}{\sqrt{39.2347}} = \frac{-0.0771}{6.2637}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= -0.012309

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า Y ของข้อมูลชุดที่ 1

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{46550}{69} \qquad \sigma_2^2 = \frac{46682.22}{69}$$

จากสมการ 4.2

$$Z = \frac{y_1 - y_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{n}}}$$

แทนค่าลงในสูตร Z จะได้

$$\therefore Z = \frac{85 - 85.07143}{\sqrt{\frac{674.63 + 676.554}{70}}} = \frac{-0.07143}{\sqrt{\frac{1351.184}{70}}}$$

$$= \frac{-0.07143}{\sqrt{19.3026}} = \frac{-0.07143}{4.3934757}$$

= -0.0162582

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

<u>การทดลองครั้งที่ 2</u>

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า X ของข้อมูลชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{94708.57}{69} = 1372.5879 \qquad \sigma_2^2 = \frac{94789.09}{69} = 1373.755$$

แทนค่าลงในสมการ 4.2 จะได้

$$Z = \frac{111.1429 - 111.23}{\sqrt{\frac{1372.5879 + 1373.755}{70}}} = \frac{-0.0871}{\sqrt{\frac{2746.3429}{70}}}$$

$$= \frac{-0.0871}{\sqrt{39.2334}} = \frac{0.0871}{6.2636}$$

$$= -0.0139056$$

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า Y ของข้อมูลชุดที่ 2

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{46550}{69} = 674.6376 \qquad \sigma_2^2 = \frac{46718.24}{69} = 677.076$$

แทนค่าลงในสมการ 4.2 จะได้

$$\therefore Z = \frac{85 - 85.1}{\sqrt{\frac{674.6376 + 677.076}{70}}} = \frac{-0.1}{\sqrt{\frac{1351.9136}{70}}}$$

$$= \frac{-0.1}{\sqrt{19.3102}} = \frac{-0.1}{4.39433}$$

$$= -0.0227566$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

<u>การทดลองครั้งที่ 3</u>

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า X ของข้อมูลชุดที่ 3

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{94708.57}{69} = 1372.5879 \qquad \sigma_2^2 = \frac{94844.71}{69} = 1374.5610$$

แทนค่าลงในสมการ 4.2 จะได้

$$\therefore Z = \frac{111.1429 - 111.2329}{\sqrt{\frac{1372.5879 + 1374.561}{70}}} = \frac{-0.09}{\sqrt{\frac{2747.1489}{70}}}$$

$$= \frac{-0.09}{\sqrt{39.245}} = \frac{-0.09}{6.2645}$$

$$= 0.143665$$

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า Y ของข้อมูลชุดที่ 3

จากสมการ 4.1 จะได้

$$\sigma_1^2 = \frac{46550}{69} = 674.637 \qquad \sigma_2^2 = \frac{46737.42}{69} = 677.3539$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าลงในสมการ 4.2 จะได้

$$\therefore Z = \frac{85 - 85.05}{\sqrt{\frac{674.637 + 677.3539}{70}}} = \frac{0.05}{\sqrt{\frac{135.199}{70}}}$$

$$= \frac{0.05}{\sqrt{19.314}} = \frac{0.05}{4.39478}$$

$$= 0.011377$$

ในการทดลองที่มีระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยใช้การทดสอบแบบสองทาง เมื่อเปิดตารางที่ Z พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.475 ได้ค่า $Z_{\frac{0.05}{2}} = Z_{0.025} = 1.96$ จึงทำให้ค่า Z ที่ได้จากการเปิดตารางมีค่ามากกว่า ค่า Z ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถยอมรับสมมุติฐาน H_0 ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีค่าความผิดพลาดในขอบเขตที่ยอมรับได้

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถสรุปตามแนวทางสถิติได้ว่าเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติมีความแม่นยำในสมมุติฐาน H_0 เครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ มีค่าในการเจาะเท่ากับค่าที่ป้อน ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 แต่ถึงอย่างไรก็ยังคงมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งก็สามารถรวบรวมสาเหตุของการเกิดข้อผิดพลาดได้จากการสังเกตการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นโลหะอัตโนมัติ ได้ดังนี้

1. เนื่องจากการมีระยะชักที่ยาวเกินไปของทำให้เกิดการสั่นและหมุนของก้านกระบอกสูบขณะปฏิบัติงานแต่เนื่องจากได้มีการแก้ไปปัญหาขั้นต้นโดยการทำแผ่นควบคุมการเคลื่อนที่ของก้านกระบอกสูบ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการหมุนและลดปัญหาการสั่นของก้านกระบอกสูบได้ จึงทำให้ผลของการสั่นและหมุนของก้านกระบอกสูบมีผลต่อความผิดพลาดน้อยลง

2. เนื่องจากการเกิดการสั่นที่ยังคงเหลืออยู่ ทำให้เกิดการกระแทกระหว่างหัว Punch และ Die ทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นทั้งที่หัว Punch และ Die ทำให้เกิดครีบขึ้นที่ชิ้นงานและทำให้การเคลื่อนไปยังจุดถัดไปของชิ้นงานทำได้ลำบากจึงทำการเจาะเกิดความผิดพลาดขึ้น

3. เนื่องจากการใช้ Stepping Motor ที่ทำงาน Open loop ในการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ ทำให้ไม่มีการป้อนค่ากลับเพื่อตรวจสอบ ค่าผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์

1. การควบคุมของโครงงานนี้จะเป็นแบบอัตโนมัติ โดยที่การค้นหาจุดที่จะทำการเจาะชิ้นงานจะเป็นไปในลักษณะ ของการค้นหาแบบจุดตามค่าที่ทำการป้อนเข้าไป ซึ่งเมื่อจะทำการค้นหาแต่ละจุดไปตามค่าที่ป้อน โดยอ้างอิงกับจุด (0,0) เพื่อที่จะทำการเจาะก็จะใช้ เป็นกระบวนการเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งครบทุกจุดตามต้องการ

2. การอ้างอิงจุดกับค่าจุด 0,0 มีข้อดีคือทำให้การทำงานของระบบมีจุดอ้างอิงที่แน่นอน เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นกับการเจาะในครั้งใดจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อจุดถัดไป แต่ข้อเสียของการอ้างอิงจุดกับจุด (0,0) คือทำให้ผู้ใช้ต้องจัดเรียงชุดข้อมูลให้เกิดการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมเอง เพราะเครื่องจะทำงานตาม ลำดับของค่าที่ป้อนเข้าไป

3. ในส่วนของระบบนิวมาติคจะเกิดมีการรั่วของลมในบางจุด อาทิเช่น บริเวณข้อต่อระหว่างวาล์วกับสายลม บริเวณข้อต่อระหว่างกระบอสูบกับสายลม เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุปกรณ์เก่าในการสร้าง จึงทำให้เกิดการหลวมในบางจุด

4. เนื่องจากระยะชักมีระยะห่างมากทำให้เกิดการคาดเคลื่อนทำให้การกระแทกลงมาเจาะชิ้นงานในบางครั้ง หัว Punch จะเกิดการกระแทกโดนขอบด้างข้างของ Die ทำให้ส่วนหัวที่ใช้ในการเจาะเกิดการสึกหรอได้ง่ายอายุการใช้งานน้อยลง และทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการเจาะ

5. ปัญหาจากการสึกหรอของหัว Punch ทำให้เกิดคีบด้านหลังชิ้นงาน และ คีบนั้นจะส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่อไปเพราะครีบนั้นจะติดอยู่ที่ Die ทำให้โปรแกรมการทำงานสั่งให้เกิดการเคลื่อนที่แต่ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ไปได้ช้ากว่าเพราะต้องทำการดึงชิ้นงานออกจาก Die แล้วจึงเคลื่อนที่ต่อไป ซึ่งผลก็คือ ระยะที่เคลื่อนที่ได้กับระยะที่เราต้องการจะมีค่าผิดพลาดไป ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการเจาะ

6. ชุดหัวPunchได้ออกแบบให้มี ส่วนหัวใช้ยึดจับส่วนเจาะชิ้นส่วนเจาะชิ้นงาน เพื่อสามารถเปลี่ยนขนาดของหัวเจาะได้หลายขนาด แต่ส่วนเจาะชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมากจึงทำให้มีปัญหาในการยึดกับส่วนยึดหัวเจาะไม่สามารถนำไปทำการบัดกรีแข็งได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การสวมอัดแทน

7. ที่จับชิ้นงานมีข้อจำกัดไม่สามารถจับชิ้นงานที่มีขนาดแตกต่างกัน หรือรูปแบบที่หลากหลายได้ และไม่มีขอบเขตพื้นที่ที่แน่นอนในการใส่ชิ้นงานทำให้อาจเกิดการคลาดเคลื่อนในกรณีที่ใส่ชิ้นงานคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่ง

8. การเคลื่อนที่หาตำแหน่งของ Stepping Motor เป็นระบบการทำงานแบบ Open Loopไม่ต้องมีการใช้ค่าป้อนกลับในการตรวจสอบค่าผิดพลาด แต่ในความเป็นจริงแล้ว Stepping Motor สามารถเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงระยะทางที่ป้อนเข้าไปมากแต่ก็ไม่ได้ระยะตามที่ต้องการถึง 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 แนวทางในการพัฒนา

1. การปรับปรุงชุดหัว Punch ไม่ให้มีระยะชักที่ยาวมากเกินไป ดังนั้นควรใช้กระบอกสูบที่มีขนาดเส้นศูนย์กลางใหญ่ และมีระยะชักสั้น แต่ถ้ายังคงต้องการใช้กระบอกสูบที่มีระยะชักยาวนั้น ก็ไม่ควรที่จะนำชุดหัว Punch ยึดกับก้านกระบอกสูบ ควรออกแบบส่วนที่ติดกับก้านกระบอกสูบเป็นเพียงตัวกระแทกหัว Punch เท่านั้นซึ่งจะทำให้เกิดความแม่นยำในการเจาะมากขึ้น และ จะทำให้ไม่เกิดการสั่นที่ชุด Punch ก็จะทำให้เกิดความสึกหรอกับหัวเจาะน้อยลง อายุการใช้งาน ชุด Punch และ Die ยาวนานขึ้น

2.. การปรับปรุงที่ยึดจับชิ้นงาน ควรมีการออกแบบให้สามารถจับชิ้นงานได้หลายขนาด และให้มีแรงยึดจับได้สม่ำเสมอและทั่วถึงทั้งแผ่น

3. การปรับปรุงในส่วนการทำงานของ Stepping Motor เป็นแบบ Open loop จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในการเคลื่อนที่ เพราะฉะนั้นควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้อนค่ากลับเพิ่มเข้าไปช่วยในการทำงาน เพื่อตรวจสอบว่าการเคลื่อนที่ค้นหาตำแหน่งได้ตรงตามจุดที่ต้องการ

4. การปรับปรุงโปรแกรม ควรมีส่วนประมวนค่าจุดที่ป้อนเข้ามาเพื่อทำการเรียบเรียงหาค่าที่อยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน ทำให้ระยะการเคลื่อนที่ในแต่ละจุดมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในส่วนของการรับค่าปัจจุบันสามารถรับค่าได้ 3 แบบคือ

- รับจากการป้อนค่าโคออร์ดิเนต โดยใช้คีย์บอร์ด
- รับค่าจากการใช้เม้าส์ คลิกในตำแหน่งต่างๆที่ต้องการ
- รับจากการเปิดข้อมูลค่าโคออร์ดิเนตของรูปใดๆที่ได้ทำการ Save เอาไว้

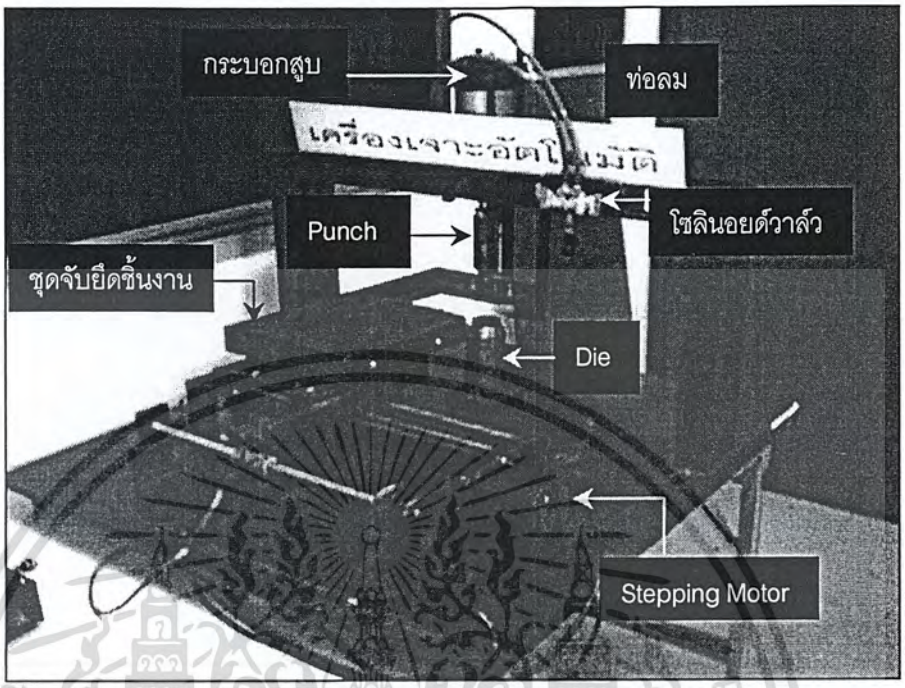
4.1 ควรปรับปรุงให้สามารถ Import ไฟล์รูปภาพจากโปรแกรม AutoCAD แล้วรับค่าเป็นลักษณะจุดเพื่อทำการเจาะต่อไปได้ทันที

4.2 ควรมีการปรับปรุงออกแบบ เพิ่มการติดตั้งระบบความปลอดภัย ในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเจาะชิ้นงาน

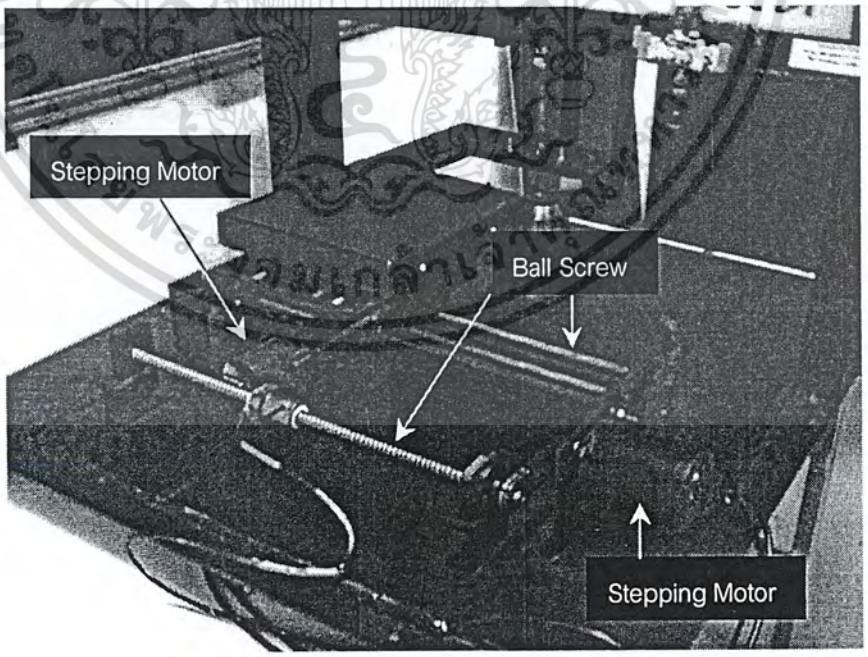
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

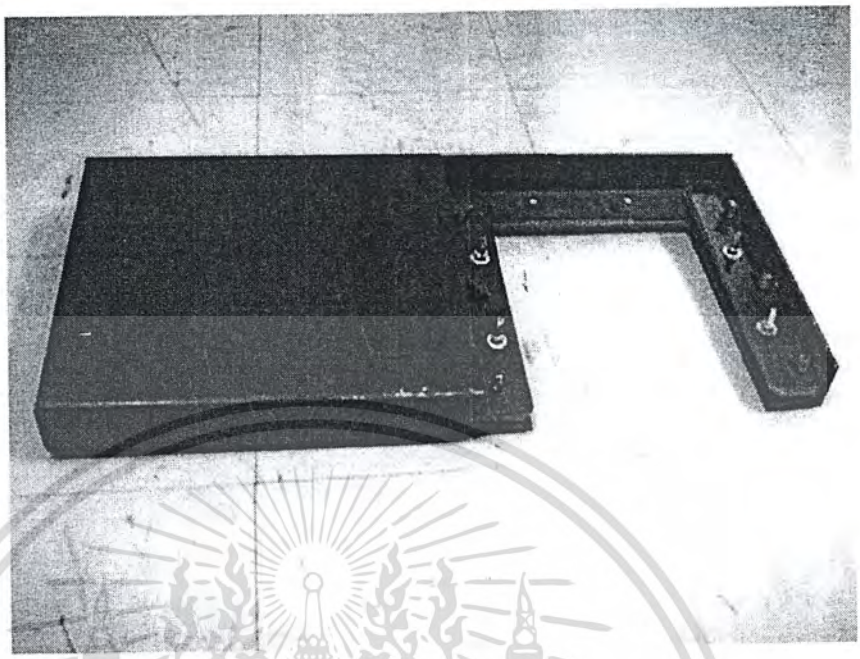


รูปที่ 1 ภาพรวมของเครื่องเจาะแผ่นเหล็กอัตโนมัติ

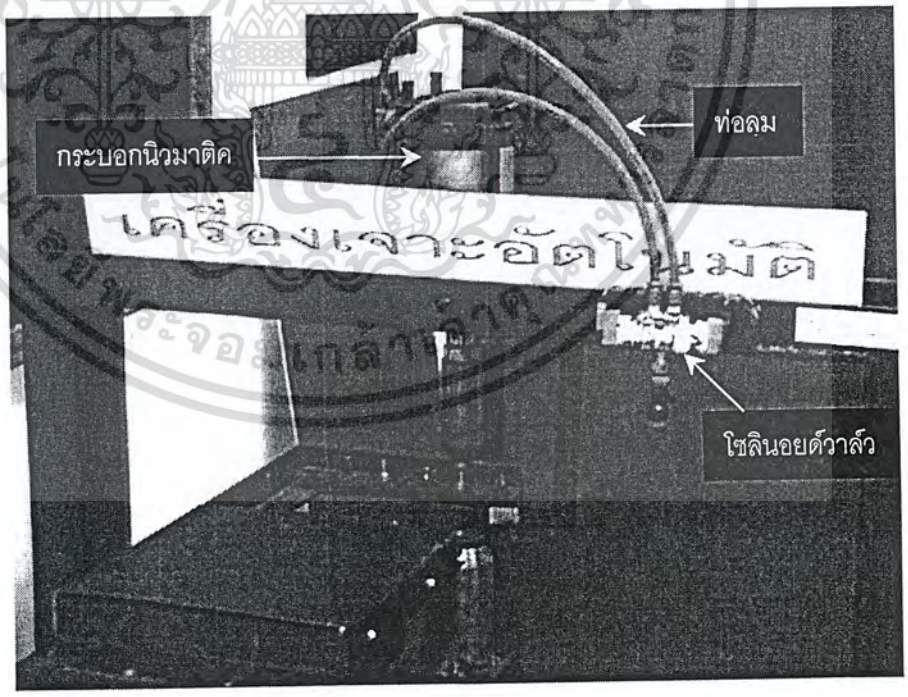


รูปที่ 2 ฐานล่าง พร้อม Ball Screw และ Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

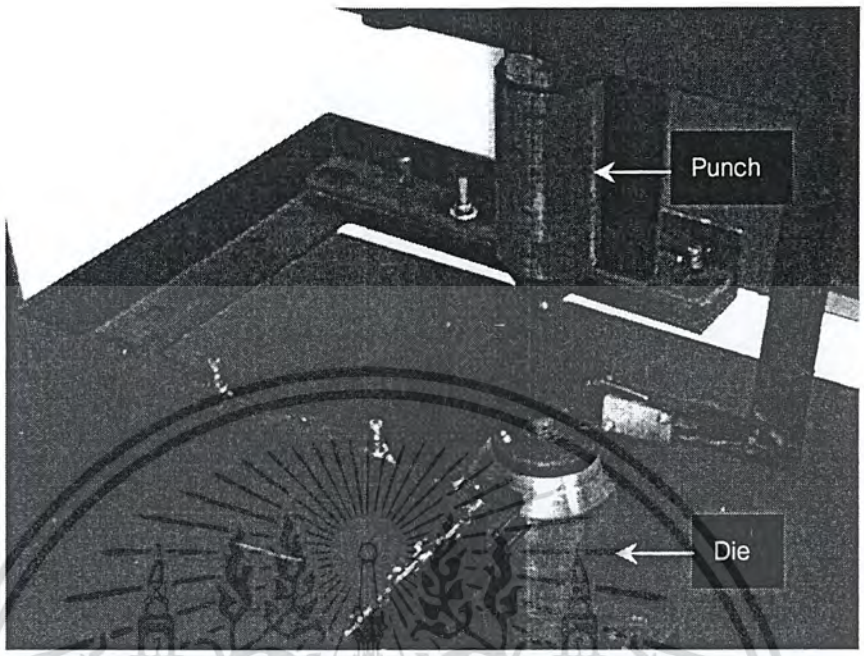


รูปที่ 3 ชุดจับยึดชิ้นงาน

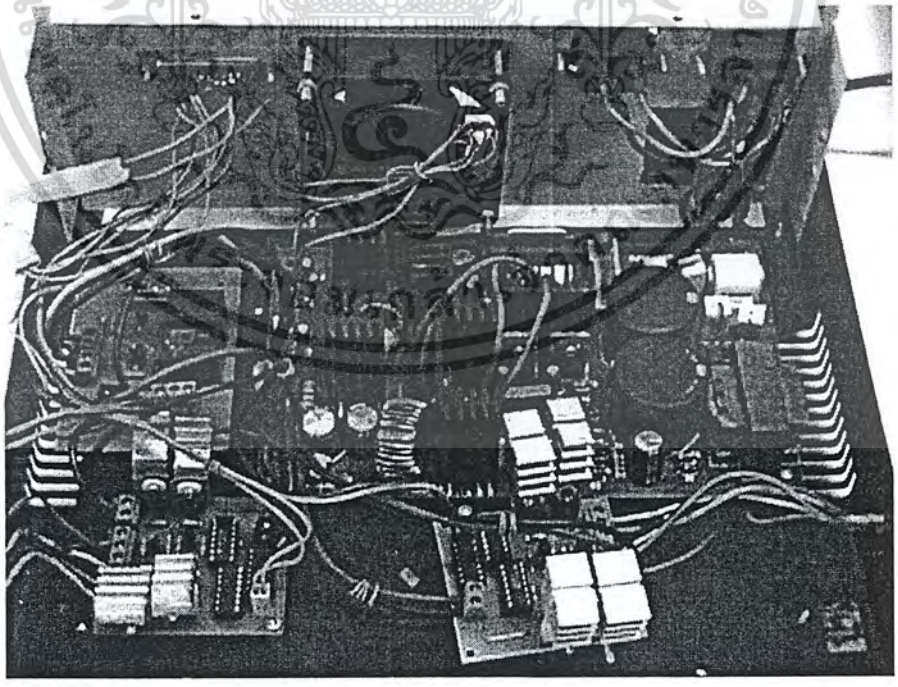


รูปที่ 4 ระบบนิวมาติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ชุดหัวเจาะ (Punch และ Die)



รูปที่ 6 วงจร Drive, วงจร Limit Switch และวงจรควบคุมวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนิวมาติค (Pneumatic Systems)

ระบบนิวมาติค แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1.) กระบอกสูบ

จากการศึกษา ได้ Tensile Strengths ของสังกะสีเท่ากับ 20 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร

กำหนดให้ขนาดรูที่จะทำการเจาะเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานหนา 1 มิลลิเมตร

กำหนดความดันใช้งานเท่ากับ 0.03 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร

การคำนวณหาขนาดกระบอกสูบที่ต้องการ

จาก $\sigma = 0.06\ \tau$

จะได้ $\tau = 12$ กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร

จาก พื้นที่รับแรงเฉือนในการเจาะรูเท่ากับ 15.7143 ตารางมิลลิเมตร

จาก $F = \tau A$ จะได้ แรง $F = 188.5716$ กิโลกรัม

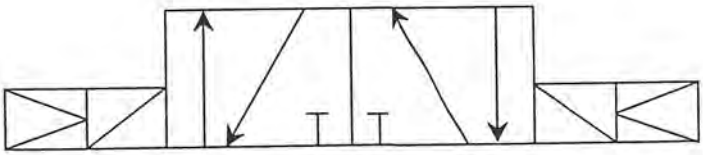
ที่กระบอกสูบ $F = PA$ ฉะนั้นพื้นที่ลูกสูบ $A = F/P$

จะได้พื้นที่ลูกสูบที่ต้องการเท่ากับ 6823.92 ตารางมิลลิเมตร เพราะฉะนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบเท่ากับ 89.43 มิลลิเมตร

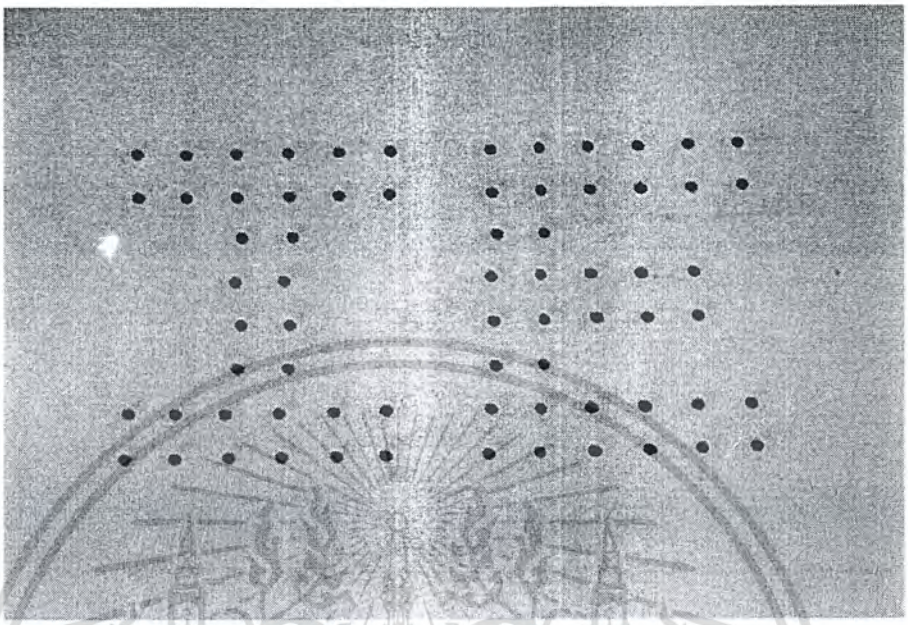
เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้กระบอกสูบดังนี้

- กระบอกสูบที่ใช้เป็นแบบ ไป-กลับ 2 ทาง
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบมีขนาด 10 เซนติเมตร
- กระบอกสูบที่ใช้มีระยะชักประมาณ 14 เซนติเมตร

2.) โซลินอยด์วาล์ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

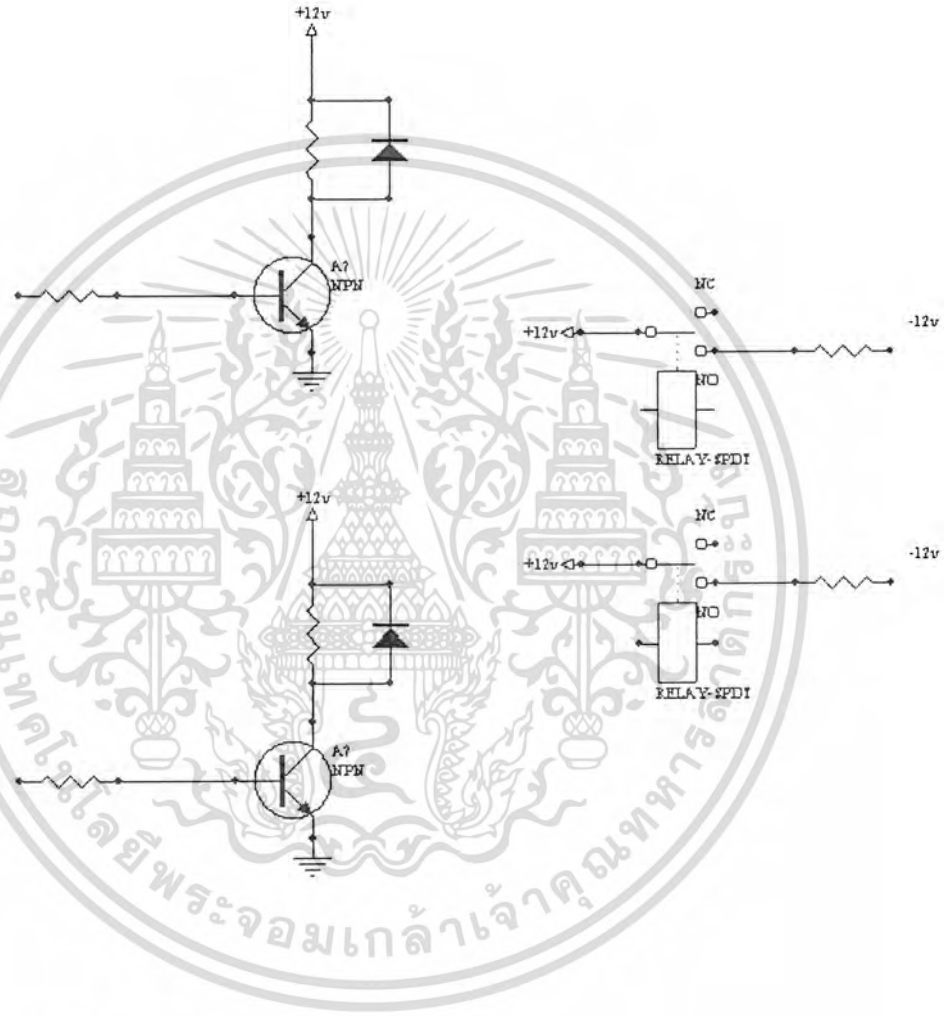


รูปที่ 7 ชิ้นงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

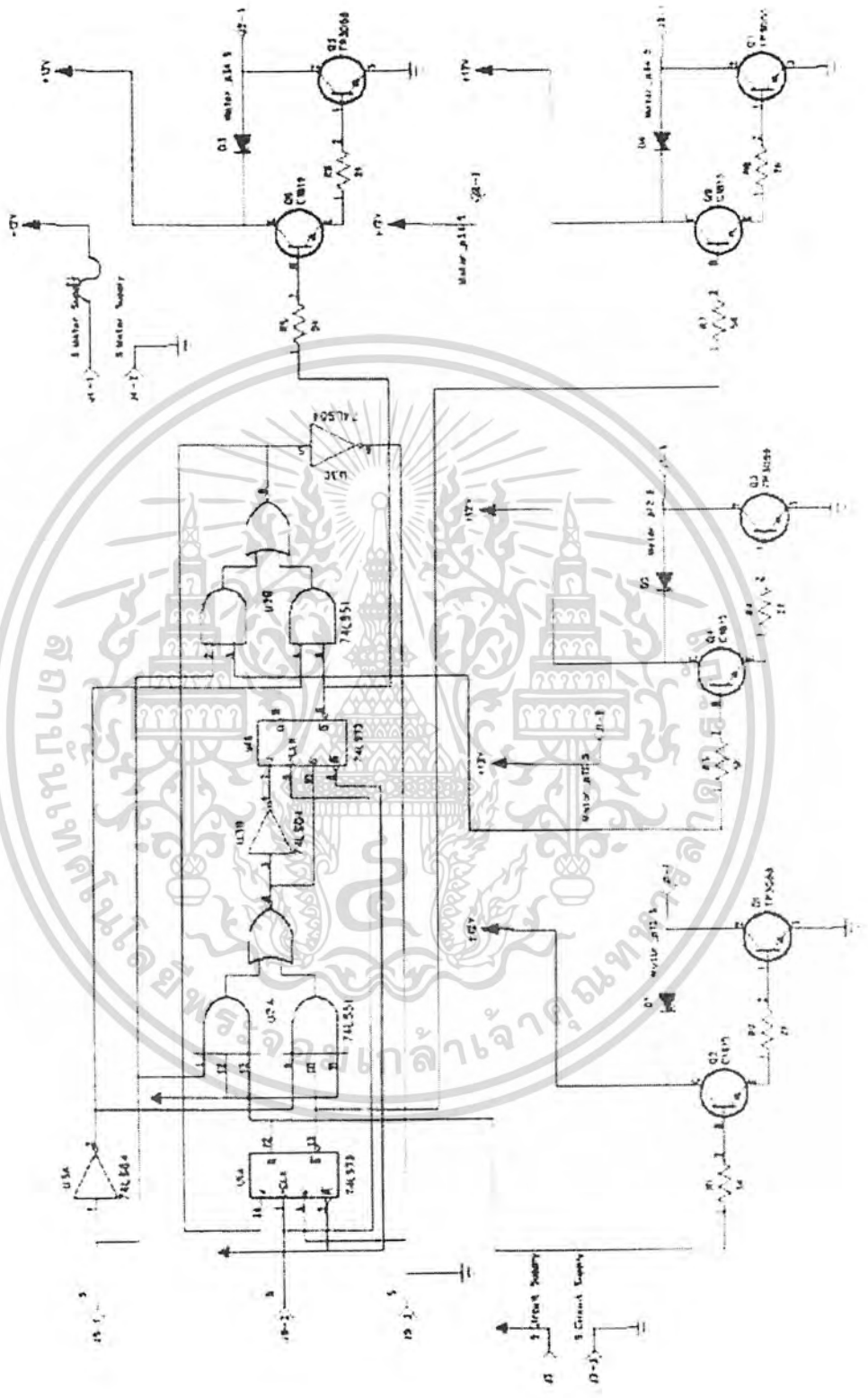
ใช้ Solinoid Valve ขนาด 24 V.DC. ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีสัญญาณ Pulse จากคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรขยายมายังขดลวดโซลินอยด์ ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กจึงเกิดการเหนี่ยวนำให้กลไกภายในวาล์วทำการเปลี่ยนทิศทางลมให้เข้ายังห้องใดห้องหนึ่ง เช่น ถ้าเข้าห้องทางขวามือ (ตามรูป) ก็จะทำให้ลมออกไปดันก้านสูบให้เลื่อนออก และลมจากกระบอกสูบระบายออกทางห้องซ้ายมือ ในทำนองเดียวกันถ้าเกิดการเหนี่ยวนำให้กลไกภายในวาล์วเลื่อนให้ลมเข้าทางห้องซ้ายมือ ก็จะทำให้ก้านสูบหดกลับในขณะที่ลมระบายออกจากห้องทางขวามือ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 วงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 วงจร Drive Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคำสั่งภาษา Pascal ในโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะ

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Menus, StdCtrls, Grids, ExtDlgs, ExtCtrls,unit3;

type
  TForm1 = class(TForm)
    StringGridIP: TStringGrid;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    MainMenu1: TMainMenu;
    F1: TMenuItem;
    Open1: TMenuItem;
    Save1: TMenuItem;
    Saveas1: TMenuItem;
    Button3: TButton;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Button6: TButton;
    Button5: TButton;
    N1: TMenuItem;
    Exit2: TMenuItem;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    SaveDialog1: TSaveDialog;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  { Public declarations }
 end;

var
 ddx,ddy: Currency;
 Form1: TForm1;
 TotalPoint:integer;
 x0,y0 : real;
 x1,y1 : integer;
 Prev : boolean;
 //k:longint;
 pinb: array[0..7]of integer;
 rb:boolean = false;
 lb:boolean = false;
 ub:boolean = false;
 db:boolean = false;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

Procedure portout(ioport:word;value:byte);
begin
asm
mov dx,[ioport];
mov al,value;
out dx,al;
end;
end;

 Function portin(ioport:word):byte;
 var a:byte;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Memo1: TMemo;
Button4: TButton;
Button7: TButton;
Button8: TButton;
Button9: TButton;
Button10: TButton;
Timer1: TTimer;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Button11: TButton;
Button12: TButton;
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Exit2Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Saveas1Click(Sender: TObject);
procedure Open1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Help1Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
asm
mov dx,[ioport];
in al,dx;
mov a,al;
end;
portin:=a;
end;

Procedure Delay(k:longint);
var d1:integer;
Begin
for d1:=1 to k do
begin
end;
End;


Procedure Back(NumStepX:integer);
var ccc: longint;
begin
for ccc:=1 to abs(NumStepX) do
begin
portout($378,1);
Delay(300000);
portout($378,0);
Delay(300000);
end;
end;

Procedure Front(NumStepX:integer);
var ccc: longint;
begin
for ccc:=1 to abs(NumStepX) do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
portout($378,3);
Delay(300000);
portout($378,0);
Delay(300000);
end;
end;

Procedure left1(NumStepY:integer);
var ccc: longint;
begin
for ccc:=1 to abs(NumStepY) do
begin
portout($378,12);
Delay(100000);
portout($378,0);
Delay(500000);
end;
end;

Procedure right(NumStepY:integer);
var ccc: longint;
begin
for ccc:=1 to abs(NumStepY) do
begin
portout($378,8);
Delay(500000);
portout($378,0);
Delay(100000);
end;
end;

procedure readinput();
var pin,ii:integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
for ii:=0 to 7 do
begin
pinb[ii]:=0;
end;
pin:=portin($379);
if pin>=128 then
begin
pinb[7]:=1;
pin:=pin-128;
end;
if pin>=64 then
begin
pinb[6]:=1;
pin:=pin-64;
end;
if pin>=32 then
begin
pinb[5]:=1;
pin:=pin-32;
end;
if pin>=16 then
begin
pinb[4]:=1;
pin:=pin-16;
end;
if pin>=8 then
begin
pinb[3]:=1;
pin:=pin-8;
end;
if pin>=4 then
begin
pinb[2]:=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pin:=pin-4;
end;
if pin>=2 then
begin
pinb[1]:=1;
pin:=pin-2;
end;
if pin>=1 then
begin
pinb[0]:=1;
pin:=pin-1;
end;
end;

procedure punch();
begin
portout($37A,0);
readinput;
while pinb[4]=1 do
begin
readinput;
end;
portout($37A,$0c);
delay(100000);
end;

procedure Reset();
begin
readinput;
while pinb[5]=1 do
 begin
 right(1);
 readinput;
 end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while pinb[7]<>1 do
begin
 front(1);
 readinput;
end;
end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);//submit
var check:Extended;
   xi,yj : integer;
begin
yj := 0;
 while ((StringGridIP.cells[0,yj])<>'') and ((StringGridIP.cells[1,yj])<>'') do
 begin
   for xi:=0 to 1  do
   begin
   try
   check:=StrToFloat(StringGridIP.cells[xi,yj]);
   except
   on EConvertError do showmessage('Allow Numerical Input Only!');
   end;// of try
   end;
    yj:=yj+1;
  end;

   TotalPoint:=yj;
  end;


  procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);//Preview
  var aaa,jj :integer;
  begin
  Prev:=true;
  form2.show;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
form2.Refresh;
Form2.image1.canvas.pen.width:=1;
Form2.image1.canvas.pen.Color:=clBtnFace;
for aaa:=1 to 19 do
begin
 Form2.image1.canvas.moveto(0+30*aaa,0);
 Form2.image1.canvas.lineto(0+30*aaa,450);
end;

for aaa := 1 to 15 do
begin
 Form2.image1.canvas.moveto(0,0+30*aaa);
 Form2.image1.canvas.lineto(570,0+30*aaa);
end;

for jj:=0 to totalpoint-1 do
begin
x0:=strtofloat(form1.stringGrid1P.Cells[0,jj]);
y0:=strtofloat(form1.stringgridip.Cells[1,jj]);
x1 := round((190-x0)*3);
y1 := round((150-y0)*3);
Form2.image1.canvas.pen.color:=clred;
Form2.image1.canvas.pen.width:=6;
Form2.image1.canvas.moveto(x1,y1);
Form2.image1.canvas.lineto(x1,y1);
end;
end;


procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);//clear
var j:integer;
begin
if Prev=true then
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
form2.Refresh;
for j:=0 to totalpoint-1 do
begin
 x0:=strtofloat(form1.stringGridIP.Cells[0,j]);
 y0:=strtofloat(form1.stringgridip.Cells[1,j]);
 x1 := round((190-x0)*3);
 y1 := round((150-y0)*3);
 Form2.image1.canvas.pen.color:=clwhite;
 Form2.image1.canvas.pen.width:=6;
 Form2.image1.canvas.moveto(x1,y1);
 Form2.image1.canvas.lineto(x1,y1);
 end;
end;
j:=0;
repeat
 begin
  stringgridIP.cells[0,j]:='';
  stringgridIP.cells[1,j]:='';
  j:=j+1;
 end;
 until (stringgridIP.cells[0,j]='')and(stringgridIP.cells[1,j]='');
 j:=0;
 memo1.lines.clear;
 end;

 procedure TForm1.Exit2Click(Sender: TObject);//exit
 begin
 self.close;
 end;

 procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);//start
 var NumStepX,NumStepY,step,tpunch,n:integer;
 Begin
 StringGridIP.Options:=[Goediting];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Reset;

NumStepX:=round(StrToFloat(StringgridIp.cells[0,0])*1000/37.5);
NumStepY:=round(StrToFloat(StringgridIp.cells[1,0])*1000/22);
if (StrToFloat(StringgridIp.cells[0,0])>0) then back(NumStepX);
if (StrToFloat(StringgridIp.cells[1,0])>0) then Left1(NumStepY);
Punch;
 label4.caption := Inttostr(numstepx);
 label4.caption := Inttostr(numstepy);
For tpunch:=1 to totalpoint-1 do
 begin
 ddx:=StrToFloat(StringGridIP.Cells[0,tpunch])-StrToFloat(StringGridIP.Cells[0,tpunch-1]);
 ddy:=StrToFloat(StringGridIP.Cells[1,tpunch])-StrToFloat(StringGridIP.Cells[1,tpunch-1]);
 NumStepX:=round((ddx*1000/37.5));
 NumStepY:=round((ddy*1000/22));
 if ddx>=0 then Back(NumStepx) else front(NumStepX);
 if ddy>=0 then Left1(NumstepY) else right(NumstepY);
 punch;
 end;
Reset;


End;



procedure TForm1.Saveas1Click(Sender: TObject);
var i,row :integer;
begin
if savedialog1.execute then
memo1.clear;
memo1.lines.add(inttostr(totalpoint));
for row:=0 to (totalpoint) do
for i:=0 to 1 do
begin
memo1.lines.add(stringgridIP.cells[i,row]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;
memo1.lines.savetofile(savedialog1.filename);
end;

procedure TForm1.Open1Click(Sender: TObject);
var p,col,rrow :integer;
begin
if opendialog1.execute then
begin
form1.caption:=opendialog1.filename;
memo1.lines.loadfromfile(opendialog1.filename);
end;
p:=1;
for rrow:=0 to strtoint(memo1.lines[1])do
for col:=0 to 1 do
begin
stringgridIP.cells[col,rrow]:=memo1.lines[p];
p:=p+1;
end;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
ddx:=0;
ddy:=0;
totalpoint:=0;
x0:=0;
y0:=0;
x1:=0;
y1:=0;
Prev:=false;
Reset;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm1.Help1Click(Sender: TObject);
begin
showmessage('Please call staff for instruction.');
end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
punch;
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
 if lb then left1(1);
 if rb then right(1);
 if ub then front(1);
 if db then back(1);
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
begin
 lb := not lb;
end;

procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
 rb := not rb;
end;

procedure TForm1.Button10Click(Sender: TObject);
begin
 db := not db;
end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
 ub := not ub;
end;

procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);//Draw
var lop:integer;
begin
FORM3.SHOW;
form3.Refresh;
 form3.image1.canvas.pen.width:=1;
 form3.image1.canvas.pen.color:=ClBtnFace;
 for lop:=1 to 19 do
  begin
  form3.image1.canvas.moveto(0+30*lop,0);
  form3.image1.canvas.lineto(0+30*lop,450);
  end;
 for lop:=1 to 15 do
  begin
  form3.image1.canvas.moveto(0,0+30*lop);
  form3.image1.canvas.lineto(570,0+30*lop);
  end;
end;

procedure TForm1.Button12Click(Sender: TObject);//ClearDraw
var lp,j : integer;
begin
Form3.refresh;
for lp:=1 to cn do
 begin
  form3.image1.canvas.moveto(ax[lp],ay[lp]);
  form3.image1.canvas.lineto(ax[lp],ay[lp]);
  form3.image1.canvas.pen.color:=clwhite;
  form3.image1.canvas.pen.width:=6;
  form1.stringgrid1P.cells[0,lp-1]:= inttostr(round(190-ax[lp]/3));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  form1.stringgridIP.cells[1,lp-1]:= inttostr(round(150-ay[lp]/3));
 end;
j:=0;
repeat
 begin
  stringgridIP.cells[0,j]:='';
  stringgridIP.cells[1,j]:='';
  j:=j+1;
 end;
 until (stringgridIP.cells[0,j]='')and(stringgridIP.cells[1,j]='');
 j:=0;
 memo1.lines.clear;
end;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit Unit2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Image1: TImage;
     private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form2: TForm2;

implementation
uses unit1;
{$R *.DFM}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit Unit3;

interface

uses
 Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
 ExtCtrls;

type
 TForm3 = class(TForm)
  Image1: TImage;
  procedure Image1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
   Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
 private
  { Private declarations }
 public
  { Public declarations }
 end;

var
 Form3: TForm3;
 ax,ay:array[1..1000] of integer;
 cn:integer;

implementation
uses Unit1, Unit2;
{$R *.DFM}


procedure TForm3.Image1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;//TableToDraw
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var lp :integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

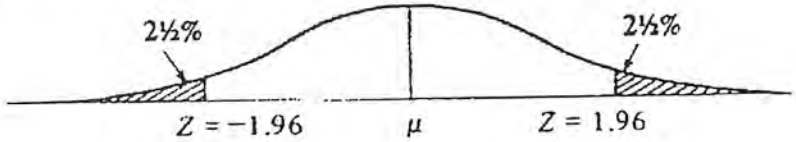
```
begin
 cn:=cn+1;
  ax[cn]:=x;
  ay[cn]:=y;
  for lp:=1 to cn do
  begin
   form3.image1.canvas.moveto(ax[lp],ay[lp]);
   form3.image1.canvas.lineto(ax[lp],ay[lp]);
   form3.image1.canvas.pen.color:=clblue;
   form3.image1.canvas.pen.width:=6;
   form1.stringgridIP.cells[0,lp-1]:= inttostr(round(190-ax[lp]/3));
   form1.stringgridIP.cells[1,lp-1]:= inttostr(round(150-ay[lp]/3));
  end;

end;

end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก. พื้นที่ภายใต้โค้งปกติ ณ จุดต่างๆถึงจุที่เป็นค่าเฉลี่ยหรือจุดกึ่งกลางของโค้ง

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0000	0040	0080	0120	0159	0199	0239	0279	0319	0359
0.1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0.2	0793	0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0.3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0.4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0.5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0.6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2518	2549
0.7	2580	2612	2642	2673	2704	2734	2764	2794	2823	2852
0.8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0.9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1.0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1.1	3643	3665	3686	3718	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1.2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1.3	4032	4049	4066	4083	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1.4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1.5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4430	4441
1.6	4452	4463	4474	4485	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1.7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1.8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1.9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4758	4762	4767
2.0	4773	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2.1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2.2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2.3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2.4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2.5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2.6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2.7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2.8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4980	4980	4981
2.9	4981	4982	4983	4984	4984	4984	4985	4985	4986	4986
3.0	4986.5	4987	4987	4988	4988	4988	4989	4989	4989	4990
3.1	4990.0	4991	4991	4991	4992	4992	4992	4992	4993	4993
3.2	4993.129									
3.3	4995.166									
3.4	4996.631									
3.5	4997.674									
3.6	4998.409									
3.7	4998.922									
3.8	4999.277									
3.9	4999.519									
4.0	4999.683									
4.5	4999.966									
5.0	4999.997133									

ตัวอย่าง →



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข. ข้อมูลตำแหน่งของต่างๆบนชิ้นงานที่เจาะได้จากการทดลอง

ข้อมูลชุดที่ 1					
x_1	x_2	$x_1-\bar{x}_1$	$(x_1-\bar{x}_1)^2$	$x_2-\bar{x}_2$	$(x_2-\bar{x}_2)^2$
50	50	-61.1429	3738.454	-61.23	3749.113
60	60	-51.1429	2615.596	-51.23	2624.513
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
90	90	-21.1429	447.0222	-21.23	450.7129
100	100	-11.1429	124.1642	-11.23	126.1129
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
140	140.1	28.8571	832.7322	28.87	833.4769
150	150.1	38.8571	1509.874	38.87	1510.877
160	160.1	48.8571	2387.016	48.87	2388.277
170	170.1	58.8571	3464.158	58.87	3465.677
50	50	-61.1429	3738.454	-61.23	3749.113
60	60	-51.1429	2615.596	-51.23	2624.513
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
90	90	-21.1429	447.0222	-21.23	450.7129
100	100	-11.1429	124.1642	-11.23	126.1129
120	120	8.8571	78.44822	8.77	76.9129
130	130	18.8571	355.5902	18.77	352.3129
140	140	28.8571	832.7322	28.77	827.7129
150	150	38.8571	1509.874	38.77	1503.113
160	160	48.8571	2387.016	48.77	2378.513
170	170	58.8571	3464.158	58.77	3453.913
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

120	120.2	8.8571	78.44822	8.97	80.4609
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609
140	140.2	28.8571	832.7322	28.97	839.2609
150	150.2	38.8571	1509.874	38.97	1518.661
160	160.2	48.8571	2387.016	48.97	2398.061
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
120	120	8.8571	78.44822	8.77	76.9129
130	130	18.8571	355.5902	18.77	352.3129
140	140	28.8571	832.7322	28.77	827.7129
150	150	38.8571	1509.874	38.77	1503.113
160	160	48.8571	2387.016	48.77	2378.513
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.13	3736.877
60	60.1	-51.1429	2615.596	-51.13	2614.277
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
90	90.1	-21.1429	447.0222	-21.13	446.4769
100	100.1	-11.1429	124.1642	-11.13	123.8769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
140	140.1	28.8571	832.7322	28.87	833.4769
150	150.1	38.8571	1509.874	38.87	1510.877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

160	160.1	48.8571	2387.016	48.87	2388.277
170	170.1	58.8571	3464.158	58.87	3465.677
50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.13	3736.877
60	60.2	-51.1429	2615.596	-51.03	2604.061
70	70.3	-41.1429	1692.738	-40.93	1675.265
80	80.2	-31.1429	969.8802	-31.03	962.8609
90	90.2	-21.1429	447.0222	-21.03	442.2609
100	100.2	-11.1429	124.1642	-11.03	121.6609
120	120.2	8.8571	78.44822	8.97	80.4609
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609
140	140.2	28.8571	832.7322	28.97	839.2609
150	150.2	38.8571	1509.874	38.97	1518.661
160	160.2	48.8571	2387.016	48.97	2398.061
170	170.2	58.8571	3464.158	58.97	3477.461
7780	7786.1		94708.57		94789.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Y ชุดที่ 1					
y_1	y_2	$y_1-\bar{y}_1$	$(y_1-\bar{y}_1)^2$	$y_2-\bar{y}_2$	$(y_2-\bar{y}_2)^2$
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลชุดที่ 2					
x_1	x_2	$x_1-\bar{x}_1$	$(x_1-\bar{x}_1)^2$	$x_2-\bar{x}_2$	$(x_2-\bar{x}_2)^2$
50	50	-61.1429	3738.454	-61.23	3749.113
60	60	-51.1429	2615.596	-51.23	2624.513
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
90	90	-21.1429	447.0222	-21.23	450.7129
100	100	-11.1429	124.1642	-11.23	126.1129
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
140	140.1	28.8571	832.7322	28.87	833.4769
150	150.1	38.8571	1509.874	38.87	1510.877
160	160.1	48.8571	2387.016	48.87	2388.277
170	170.1	58.8571	3464.158	58.87	3465.677
50	50	-61.1429	3738.454	-61.23	3749.113
60	60	-51.1429	2615.596	-51.23	2624.513
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
90	90	-21.1429	447.0222	-21.23	450.7129
100	100	-11.1429	124.1642	-11.23	126.1129
120	120	8.8571	78.44822	8.77	76.9129
130	130	18.8571	355.5902	18.77	352.3129
140	140	28.8571	832.7322	28.77	827.7129
150	150	38.8571	1509.874	38.77	1503.113
160	160	48.8571	2387.016	48.77	2378.513
170	170	58.8571	3464.158	58.77	3453.913
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
120	120.2	8.8571	78.44822	8.97	80.4609
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609
140	140.2	28.8571	832.7322	28.97	839.2609
150	150.2	38.8571	1509.874	38.97	1518.661
160	160.2	48.8571	2387.016	48.97	2398.061
70	70	-41.1429	1692.738	-41.23	1699.913
80	80	-31.1429	969.8802	-31.23	975.3129
120	120	8.8571	78.44822	8.77	76.9129
130	130	18.8571	355.5902	18.77	352.3129
140	140	28.8571	832.7322	28.77	827.7129
150	150	38.8571	1509.874	38.77	1503.113
160	160	48.8571	2387.016	48.77	2378.513
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.13	3736.877
60	60.1	-51.1429	2615.596	-51.13	2614.277
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.13	1691.677
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.13	969.0769
90	90.1	-21.1429	447.0222	-21.13	446.4769
100	100.1	-11.1429	124.1642	-11.13	123.8769
120	120.1	8.8571	78.44822	8.87	78.6769
130	130.1	18.8571	355.5902	18.87	356.0769
140	140.1	28.8571	832.7322	28.87	833.4769
150	150.1	38.8571	1509.874	38.87	1510.877
160	160.1	48.8571	2387.016	48.87	2388.277
170	170.1	58.8571	3464.158	58.87	3465.677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.13	3736.877
60	60.2	-51.1429	2615.596	-51.03	2604.061
70	70.3	-41.1429	1692.738	-40.93	1675.265
80	80.2	-31.1429	969.8802	-31.03	962.8609
90	90.2	-21.1429	447.0222	-21.03	442.2609
100	100.2	-11.1429	124.1642	-11.03	121.6609
120	120.2	8.8571	78.44822	8.97	80.4609
130	130.2	18.8571	355.5902	18.97	359.8609
140	140.2	28.8571	832.7322	28.97	839.2609
150	150.2	38.8571	1509.874	38.97	1518.661
160	160.2	48.8571	2387.016	48.97	2398.061
170	170.2	58.8571	3464.158	58.97	3477.461
7780	7786.1		94708.57		94789.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลชุดที่ 2					
y_1	y_2	$y_1-\bar{y}_1$	$(y_1-\bar{y}_1)^2$	$y_2-\bar{y}_2$	$(y_2-\bar{y}_2)^2$
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
70	70.1	-15	225	-15	225
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
100	100.1	15	225	15	225
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
80	80.1	-5	25	-5	25
90	90.1	5	25	5	25
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
50	50	-35	1225	-35.1	1232.01
60	60.1	-25	625	-25	625
110	110.1	25	625	25	625
120	120.2	35	1225	35.1	1232.01
5950	5957		46550		46718.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลชุดที่ 3					
x_1	x_2	$x_1-\bar{x}_1$	$(x_1-\bar{x}_1)^2$	$x_2-\bar{x}_2$	$(x_2-\bar{x}_2)^2$
50	50	-61.1429	3738.454	-61.2329	3749.468
60	60	-51.1429	2615.596	-51.2329	2624.81
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.1329	1691.915
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.1329	969.2575
90	90.1	-21.1429	447.0222	-21.1329	446.5995
100	100	-11.1429	124.1642	-11.2329	126.178
120	120.1	8.8571	78.44822	8.8671	78.62546
130	129.9	18.8571	355.5902	18.6671	348.4606
140	140.1	28.8571	832.7322	28.8671	833.3095
150	150.1	38.8571	1509.874	38.8671	1510.651
160	160.1	48.8571	2387.016	48.8671	2387.993
170	170.1	58.8571	3464.158	58.8671	3465.335
50	49.9	-61.1429	3738.454	-61.3329	3761.725
60	60	-51.1429	2615.596	-51.2329	2624.81
70	70	-41.1429	1692.738	-41.2329	1700.152
80	79.9	-31.1429	969.8802	-31.3329	981.7506
90	90	-21.1429	447.0222	-21.2329	450.836
100	100.1	-11.1429	124.1642	-11.1329	123.9415
120	120.1	8.8571	78.44822	8.8671	78.62546
130	130.1	18.8571	355.5902	18.8671	355.9675
140	140.1	28.8571	832.7322	28.8671	833.3095
150	150.1	38.8571	1509.874	38.8671	1510.651
160	160	48.8571	2387.016	48.7671	2378.23
170	170	58.8571	3464.158	58.7671	3453.572
70	69.9	-41.1429	1692.738	-41.3329	1708.409
80	80	-31.1429	969.8802	-31.2329	975.494
120	120.2	8.8571	78.44822	8.9671	80.40888
130	130.2	18.8571	355.5902	18.9671	359.7509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.1329	1691.915
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.1329	969.2575
120	120.1	8.8571	78.44822	8.8671	78.62546
130	130.2	18.8571	355.5902	18.9671	359.7509
140	140.2	28.8571	832.7322	28.9671	839.0929
150	150.2	38.8571	1509.874	38.9671	1518.435
160	160.2	48.8571	2387.016	48.9671	2397.777
70	70	-41.1429	1692.738	-41.2329	1700.152
80	80	-31.1429	969.8802	-31.2329	975.494
120	120	8.8571	78.44822	8.7671	76.86204
130	130	18.8571	355.5902	18.7671	352.204
140	140	28.8571	832.7322	28.7671	827.546
150	150	38.8571	1509.874	38.7671	1502.888
160	160	48.8571	2387.016	48.7671	2378.23
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.1329	1691.915
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.1329	969.2575
120	120.1	8.8571	78.44822	8.8671	78.62546
130	130.1	18.8571	355.5902	18.8671	355.9675
50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.1329	3737.231
60	60.1	-51.1429	2615.596	-51.1329	2614.573
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.1329	1691.915
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.1329	969.2575
90	90.1	-21.1429	447.0222	-21.1329	446.5995
100	100.1	-11.1429	124.1642	-11.1329	123.9415
120	120.1	8.8571	78.44822	8.8671	78.62546
130	130.1	18.8571	355.5902	18.8671	355.9675
140	140.1	28.8571	832.7322	28.8671	833.3095
150	150.1	38.8571	1509.874	38.8671	1510.651
160	160.1	48.8571	2387.016	48.8671	2387.993
170	170.1	58.8571	3464.158	58.8671	3465.335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	50.1	-61.1429	3738.454	-61.1329	3737.231
60	60.1	-51.1429	2615.596	-51.1329	2614.573
70	70.1	-41.1429	1692.738	-41.1329	1691.915
80	80.1	-31.1429	969.8802	-31.1329	969.2575
90	90.3	-21.1429	447.0222	-20.9329	438.1863
100	100.3	-11.1429	124.1642	-10.9329	119.5283
120	120.2	8.8571	78.44822	8.9671	80.40888
130	130.2	18.8571	355.5902	18.9671	359.7509
140	140.2	28.8571	832.7322	28.9671	839.0929
150	150.2	38.8571	1509.874	38.9671	1518.435
160	160.2	48.8571	2387.016	48.9671	2397.777
170	170.3	58.8571	3464.158	59.0671	3488.922
7780	7786.3		94708.57		94844.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลชุดที่ 3					
y_1	y_2	$y_1-\bar{y}_1$	$(y_1-\bar{y}_1)^2$	$y_2-\bar{y}_2$	$(y_2-\bar{y}_2)^2$
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
70	70	-15	225	-15.05	226.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
100	100.1	15	225	15.05	226.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
70	70	-15	225	-15.05	226.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
100	100.1	15	225	15.05	226.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
70	70	-15	225	-15.05	226.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
100	100.1	15	225	15.05	226.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
70	70	-15	225	-15.05	226.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
100	100.1	15	225	15.05	226.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
80	80	-5	25	-5.05	25.5025
90	90.1	5	25	5.05	25.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
50	49.9	-35	1225	-35.15	1235.523
60	60.1	-25	625	-24.95	622.5025
110	110.1	25	625	25.05	627.5025
120	120.1	35	1225	35.05	1228.503
5950	5953.5		46550		46737.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. เครื่องกัดแนวดิ่ง CNC บนพื้นฐานไมโครคอมพิวเตอร์, ทรงพล สิริรวมทรัพย์, รังสรรค์ เสาวพุทธสุเวช
2. ตารางงานโลหะ , ร.ศ.บรรเลง ศรนิล , ผ.ศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์
3. เซมิคอนดักเตอร์ อิเลคทรอนิกส์ , ฉบับที่ 175
4. เทคนิคการเชื่อมต่อ IBM PC , จิติ หนูแก้ว
5. ไมโครเมาส์ , สมชาย อังศุโชติกุล , อดิศักดิ์ โหตระภวานานท์
6. IBM Microcomputer Architecture and Assembly Language, Norman S. Matloff
7. The IBM Personal Computer from the Inside Out , Murray Sargent and Richard L. Shoemaker
8. เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 5 ฉบับสมบูรณ์ , สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร , จักรพงษ์ สุขประเสริฐ
9. คู่มือ Borland Delphi 5 ฉบับสมบูรณ์ , กมลมาศ กำจรกิจการ
10. สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย , ดร. วิเชียร เกตุสิงห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้