สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องแกะสลักสามมิติ

นายภูวดล ปลอดจินดา
นายสัญชัย ศรีอนันต์
นายธวัชชัย ธานีรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55624
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548
b.....
i.....
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TREE DIMENSION CARVE MACHINE

Mr.TAWATCHAI TANEERAT

Mr.PHUWADON PLODJINDA

Mr.SANCHAI SRIANAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องแกะสลักสามมิติ

TREE DIMENSION CARVE MACHINE

นักศึกษา	นายธวัชชัย ธานีรัตน์	รหัสประจำตัว	44015736
	นายภูวดล ปลอดจินดา	รหัสประจำตัว	44015746
	นายสัญชัย ศรีอนันต์	รหัสประจำตัว	44015757

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช)

(อาจารย์พลชัย โชติปรางษกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องแกะสลักสามมิติ
นักศึกษา	นายธวัชชัย ธานีรัตน์
	นายภูวดล ปลอดจินดา
	นายสัญชัย ศรีอนันต์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช
	อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการการผลิตคือ เครื่องจักร ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตผล เพื่อออกจำหน่ายทำรายได้ให้แก่องค์การ หากเครื่องจักรสามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและรวดเร็วก็จะได้เปรียบทางการตลาดสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ องค์กรจึงควรที่จะมีเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพและเป็นระบบอัตโนมัติเป็นส่วนประกอบในการผลิตให้มากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการแข่งขันกับคู่แข่งและประหยัดต้นทุนในด้านแรงงานด้วย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ มีจุดประสงค์หลักที่จะให้เครื่องแกะสลักสามมิติเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานตามคำสั่งของผู้ใช้งาน โดยควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยคำสั่ง G-Code จากการสั่งงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ วิธีการศึกษาเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกันรวมทั้งการคำนวณแรงที่กระทำกับเครื่องออกแบบการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องแกะสลัก สร้างเครื่องแกะสลักสามมิติตามที่ได้ออกแบบไว้ รวมทั้งการศึกษาวิธีการอินเตอร์เฟสระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟแวร์ การต่อวงจรไฟฟ้าและอิเลคทรอนิกส์ที่ใช้งาน และการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิก การสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ ซอฟแวร์ และ วงจรไฟฟ้าอินเตอร์เฟส ผลที่ได้คือ เครื่องแกะสลักสามมิติ ที่สามารถแกะสลักชิ้นงานเป็นรูปต่างๆ ได้ ชิ้นงานที่ใช้ คือ ไม้ พลาสติก และอลูมิเนียม โดยสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ตัดจากการป้อน G-Code ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	THREE DIMENSION CRAVE MACHINE
Student	Mr.Tawatchai Taneerat
	Mr.Phuwadol plodjinda
	Mr.Sanchai Srianan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's of Technology Ladkrabang
Academic Year	2003
Thesis Advisor	Assist Prof. Pornsak Attavanich
	Mr.Pholchai Chotipraynakul

ABSTRACT

This thesis is mainly emphasized in "3D Carve Machine" creation, so that others may benefit from this research in the most parctical way.The main objective in the creation is to mobilize the 3D Carve machin under control, by controller's command codes G-Code, through the computerization system. The research was initially started whit gathering overall information of CNC system and calculated structure of machine,including the significant characteristics and factors in designing the 3D Carve machine.Besides the above, the interface, electrical and electronics circuit board, Visual Basic Programming research are also elaborated in this thesis.The core of 3D Carve machine creation is significantly classified into Hardware and Software sections.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยคำแนะนำและการสนับสนุนของอาจารย์เป็นอย่างดี ตลอดเสมอมาจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ

อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ ที่อาจารย์ได้มอบให้แก่คณะผู้จัดทำตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความกรุณา คำแนะ ความเอาใจใส่ กำลังใจ และโอกาสที่มอบหมายให้ศึกษาปริญญานิพนธ์นี้

ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ อาจารย์เป็นผู้ที่เอาใจใส่ และอยู่เบื้องหลังความสำเร็จของคณะทำงานเสมอมา ตลอดจนกำลังใจและคำแนะนำดีๆ

ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่มอบโอกาส การสนับสนุน และคอยเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และคณะอาจารย์ทุกคน

ขอบคุณพี่น้องชาวอุตสาหการลาดกระบังทุกคนที่มอบกำลังใจ ความผูกพัน และ มิตรไมตรี ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือในด้านต่างๆที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณห้องสมุด KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่าสำหรับการศึกษานี้

นายภูวดล ปลอดจินดา
นายธวัชชัย ธานีรัตน์
นายสัญชัย ศรีอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ก
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
	กิตติกรรมประกาศ	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญรูป	ฉ
1	**บทนำ**	
	1.1 ความสำคัญของโครงการ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 การตัดเฉือนโลหะ	3
	2.1.1 การตัดฉากโดยใบมีดคมเดียว	3
	2.1.2 สมมุติฐาน และรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	3
	2.2 ซีเอ็นซี	7
	2.2.1 แนวแกนป้อน	7
	2.2.2 การขับป้อน	8
	2.2.3 ระบบวัดขนาด	9
	2.3 แนวคิดพื้นฐาน	10
	2.3.1 ระบบสองมิติ (2D)	10
	2.3.2 ระบบสามมิติ (3D)	12
	2.4 ระบบการเคลื่อนที่	12
	2.4.1 ระบบสัมพัทธ์	12
	2.4.2 ระบบแบบสัมบูรณ์	13
	2.5 การควบคุมการเคลื่อนที่	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ระบบพิกัด 14
2.5.2 ระบบพิกัดแบบเส้นตรง 14
2.5.3 ระบบคอนทัวริ่ง 15
2.5.4 ระบบรวม 15
2.6 ทฤษฎีเรขาคณิตเบื้องต้นสำหรับการทำโปรแกรมเอ็นซี 16
2.6.1 จุดศูนย์ของเครื่อง 16
2.6.2 จุดอ้างอิง 16
2.6.3 จุดศูนย์ของชิ้นงาน 18
2.6.4 จุดอ้างอิงของเครื่องมือ 19
2.7 อินเตอร์โพเลเตอร์ในระบบการผลิต 19
2.7.1 วิธีของ MIT 20
2.7.2 วิธี Digital Differential Analyzer 21
2.7.2.1 การอินเตอร์โพเลชันเส้นตรง 22
2.7.2.2 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง 23
2.7.3 วิธีคำนวณทางพีชคณิต 24
2.7.3.1 อินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง 25
2.7.3.2 การอินเตอร์โพเลชันเส้นโค้ง 27
2.8 บอลสกรู 29
2.9 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ 32
2.10 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ 34
2.10.1 การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 35
2.10.2 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 36
2.10.3 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 37
2.10.3.1 แบบเต็มคลื่นลูกเดียว 37
2.10.3.2 แบบเต็มคลื่นสอง เฟส 38
2.10.3.3 ครึ่งสเต็ป 38
2.10.4 การคำนวณโหลดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 39

3 แผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน 43
3.2 การออกแบบ และส่วนประกอบ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....44
3.2.2 การออกแบบโครงสร้างหลัก.....44
3.2.3 วงจรชุดเชื่อมต่อในการควบคุม.....46
3.2.4 การออกแบบซอฟท์แวร์.....47
3.3 รายละเอียดการทำงาน.....50

4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์.....51
4.2 ผลการดำเนินงานด้านซอฟแวร์.....52
4.2.1 รายละเอียดโปรแกรมสำหรับการควบคุมเครื่อง.....52
4.2.1.1 การใส่โค้ดลงในโปรแกรม.....55
4.2.1.2 การเริ่มโปรแกรม.....56
4.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน.....56
4.4 ผลการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน.....58

5 สรุปผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....59
5.1.1 สรุปผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์.....59
5.1.2 สรุปผลการดำเนินงานด้าน ซอร์ฟแวร์.....59
5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน.....59
5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง.....60

หนังสืออ้างอิง.....61
ภาคผนวก ก.....ผ1-ผ34
ภาคผนวก ข.....ผ1-ผ21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ตำแหน่งแอดเดรส I/O ที่สำรองสำหรับพอร์ตขนาน	32
2.2	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	37
2.3	แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	38
2.4	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป **หน้า**

2.1 ไดอะแกรมของแรงและความเร็ว ในการตัดฉากโดยใบมีดคมเดียว.....4
2.2 ไดอะแกรมของความเร็ว และแผ่นย่อยของระนาบเฉือน.....6
2.3 ระบบคู่ลำดับแบบเรคแทนกุลาร์คาร์ทีเซียนสองมิติ.....11
2.4 ระบบคู่ลำดับมือขวา.....12
2.5 การทำงานแบบสัมพัทธ์.....13
2.6 การทำงานแบบสัมบูรณ์.....13
2.7 ระบบพิกัด.....14
2.8 ระบบพิกัดแบบเส้นตรง.....14
2.9 ระบบคอนทัวริ่ง.....15
2.10 ระบบรวม.....15
2.11 แบบชิ้นงานในระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี.....16
2.12 วัตถุประสงค์ของการใช้จุดอ้างอิง.....17
2.13 การวางแบบชิ้นงานที่จุดใดๆ ในระบบโคออดิเนท.....18
2.14 การวางแบบชิ้นงานโดยใช้แนวแกนของระบบโคออดิเนทเป็นหลัก.....18
2.15 วิธีของ MIT.....20
2.16 ทฤษฎีของวิธี DDA.....21
2.17 วงจรพื้นฐานของ DDA.....22
2.18 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นแบบเส้นตรง (DDA).....22
2.19 การอินเตอร์โพเลชั่นแบบเส้นตรง (DDA).....23
2.20 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง.....24
2.21 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง.....24
2.22 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง (พีชคณิต).....25
2.23 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง (พีชคณิต).....26
2.24 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (พีชคณิต).....27
2.25 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (พีชคณิต).....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.26 องค์ประกอบในการคำนวณ....30
2.27 หน้าที่ของแต่ละพิน....33
2.28 การเข้าถึงข้อมูลระดับบิตและการทำงาน....33
2.29 หน้าตัดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์....34
2.30 สเต็ปเปอร์มอเตอร์....35
2.31 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์....36
2.32 การจ่ายกำลังไฟฟ้ากับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้ง 2 แบบ....37
2.33 องค์ประกอบการคำนวณของเกียร์....40
2.34 องค์ประกอบการคำนวณสายพาน....40
2.35 ความเร่งเชิงเส้นตรง (Linear Acceleration)....41
2.36 ความเร่งเอ็กโปแนนเชียล (Exponential Acceleration)....42
3.1 การวางแผนการดำเนินงาน....43
3.2 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ....44
3.3 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านหน้า)....45
3.4 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านหลัง)....45
3.5 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านบน)....45
3.6 วงจรสมบูรณ์ของชุดเชื่อมต่อ....46
3.7 รายละเอียดของชุดเชื่อมต่อ....46
3.8 แสดงการติดตั้ง Drive Motor....47
3.9 หลักการทำงานชุดควบคุมของเครื่องแกะสลักสามมิติ....48
3.10 หลักการทำงานของโปรแกรม....49
4.1 เครื่องแกะสลักสามมิติ....51
4.2 รูปแบบของโปรแกรมควบคุมเครื่อง....52
4.3 พื้นที่แสดงผลการของโค้ด....53
4.4 พื้นที่สำหรับเขียนโค้ด....53
4.5 เมนูหลัก....53
4.6 พื้นที่แสดงการหมุนของหัวจับ....54
4.7 พื้นที่การควบคุมการเคลื่อนที่....54
4.8 พื้นที่บอกตำแหน่งแต่ละแกน....54
4.9 พื้นที่บอกตำแหน่งคำสั่งโปรแกรม....54
4.10 พื้นที่ควบคุมการทำงาน....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 แสดงวิธีการเขียนโค้ดโปรแกรมการสั่งงาน.....55
4.12 การเริ่มต้นของโปรแกรม.....56
4.13 การจับชิ้นงาน.....57
4.14 การปรับตำแหน่งมีดให้สัมผัสชิ้นงาน.....57
4.15 ชิ้นงานสำเร็จ.....58
4.16 ชิ้นงานก่อนและหลังขึ้นรูปชิ้นงาน.....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างรวดเร็วมาก และเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตของเรามากขึ้น รวมทั้งในงานอุตสาหกรรม เพราะจะมีผลในการลดต้นทุนและเวลาในการผลิตเพื่อให้แข่งขันกับคู่แข่งในเรื่องราคาได้ และทางเลือกหนึ่งก็คือการนำเทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC) เข้ามาช่วยในการผลิตเพื่อลดต้นทุนด้านแรงงาน ลดเวลาการปรับตั้งเครื่อง เป็นต้น แต่เครื่องจักรกลอัตโนมัติก็ยังมีราคาที่แพงและการใช้งานก็ซับซ้อนมาก เพราะเป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งเป็นเทคโนโลยีชั้นสูง ซึ่งในประเทศไทยไม่สามารถคิดค้นประดิษฐ์ใช้เอง

เครื่องแกะสลักสามมิติ (3D Carve Machine) เป็นเครื่องจักรหนึ่งที่อำนวยความสะดวกในกระบวนการผลิตได้ดีอย่างหนึ่ง เพราะสามารถลอกแบบและขนาดต่างๆของชิ้นงานต้นแบบเอาไว้ และทำการผลิตได้ตามรูปแบบของชิ้นงานต้นแบบนั้นได้ทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาเขียนแบบ และปรับตั้งเครื่องใหม่ ช่วยลดระยะเวลาไปได้มาก และประหยัดต้นทุน แต่ด้วยราคาที่สูงมากทำให้ผู้ประกอบการต้องทำการตัดสินใจอย่างรอบคอบ ความคุ้มค่าในการที่จะนำเครื่องแกะสลักสามมิตินี้เข้ามาใช้ในสถานประกอบการ จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องแกะสลักสามมิตินี้ในรูปแบบง่ายๆเหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนบางประเภท และเป็นต้นแบบในการพัฒนาเพื่อให้มีความสามารถในการใช้งานมากขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและเรียนรู้หลักการทำงานของการควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ
3. เพื่อสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องจักรต่อๆไป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติโดยมีจุดประสงค์หลักคือสามารถควบคุมและสั่งงานให้เครื่องสามารถทำงานได้ตามต้องการที่มีการควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยคำสั่ง G-Code และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

ส่วนฮาร์ดแวร์ ทำการศึกษาหลักการทำงาน ลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ที่จำเป็นในการออกแบบ และสร้างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนซอฟท์แวร์ ทำการศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่อง ให้สามารถปฏิบัติตามคำสั่งที่ป้อนเข้าไปในรูปแบบคำสั่งมาตรฐาน G-Code

ส่วนการอินเตอร์เฟส ทำการศึกษารูปแบบและวิธีการในการอินเตอร์เฟส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การทำปริญญานิพนธ์นี้หวังไว้เป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความรู้ในการเรียนรู้สิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงได้รับความรู้ใหม่ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อไปในภายภาคหน้า และได้เรียนรู้เพิ่มเติมจากวิธีการต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในภายภาคหน้า ทั้งนี้ยังสามารถให้ความรู้กับนักศึกษาท่านอื่นหรือผู้สนใจที่จะศึกษาที่เกี่ยวกับเรื่องนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตัดเฉือนโลหะ (Mechanic of Metal Cutting)

2.1.1 การตัดฉากโดยใบมีดคมเดียว (Single Edge Orthogonal Cutting)

การตัดฉากโดยคมเดียวเป็นกรณีที่ง่ายที่สุดในการตัดวัสดุ แต่ยังไม่สามารถทำความเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุได้ครบถ้วน แนวความคิดที่นำมาพิจารณา คือ แนวความคิดแบบระนาบเฉือนบาง (Thin shear plane concept) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ในการตัดวัสดุโดยทั่วไป เนื้อชิ้นงานจะถูกเฉือนออกมาเป็นฝอย การแปรรูปของเนื้อชิ้นงานจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงบนแผ่นหรือโซนบาง โดยชิ้นงานจะถูกกระทำโดยความเค้นเฉือน (Shear stress) ที่มีค่าสูงและการคราก ที่อัตราความเครียด (Strain rate) สูง

2.1.2 สมมุติฐาน และรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุชิ้นงาน มีสมมติฐานคือ

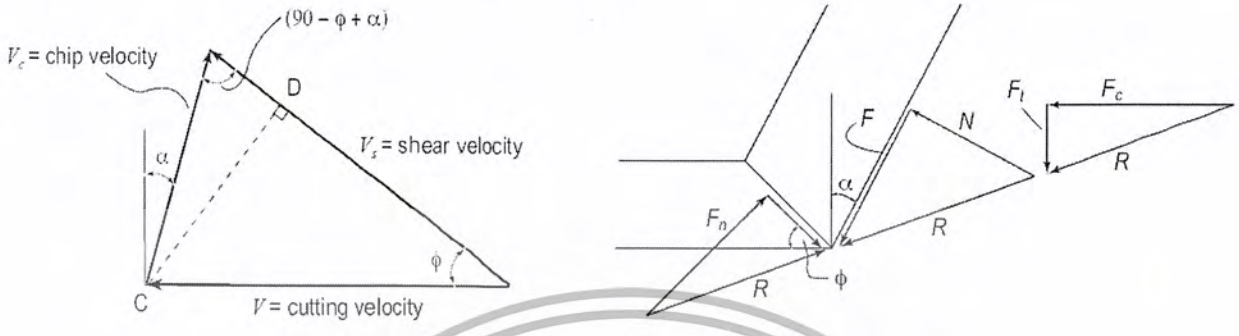
1. ใบมีดเป็นใบมีดใหม่และคมสนิท คมมีดไม่ทื่อ ไม่ชำรุด ไม่สึกหรอ และไม่มีการเสียดสีระหว่างพื้นผิวชิ้นงานที่ถูกตัดแล้วกับผิวหลังมีด
2. การแปรรูปของวัสดุชิ้นงานเป็นการแปรรูปในสองมิติ คือ มีการแปรรูปในระนาบปกติที่ตั้งฉากกับคมมีดเท่านั้น และไม่มีการแปรรูปในทิศทางขนานกับคมมีด สมมติว่าคมมีดอยู่กับที่ ชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าคมมีดด้วยความเร็ว V_w (Cutting speed หรือ Work velocity)
3. การเฉือนของเนื้อวัสดุ เกิดขึ้นบนบริเวณแผ่นบางระหว่างคมมีดกับผิวอิสระของชิ้นงาน เรียกว่าระนาบเฉือน (Shear plane) โดยความเค้นบนระนาบเฉือนมีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น
4. ทางด้านหลังจากระนาบเฉือน ฝอยโลหะจะเคลื่อนที่โดยผิวหลังฝอยสัมผัสกับผิวหน้ามีดด้วยความเร็ว V_C (Ship velocity) ในทิศทางตั้งฉากกับมีด โดยมีการเสียดทานเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวหลังฝอยกับผิวหน้ามีด จนถึงบริเวณหนึ่ง ฝอยโลหะก็จะโค้งออกจากผิวหน้ามีด
5. ฝอยโลหะจะอยู่ในสภาพของเทห์วัตถุอิสระ (Free body) ที่อยู่ในสภาพสมดุล โดมีแรงรวม R (Resultant cutting force) กระทำที่ระนาบเฉือน และแรงปฏิกิริยา R' (Reaction force) กระทำที่ผิวหลังฝอย โดยที่แรงสองแรง คือ R และ R' นี้ " มีขนาดเท่ากัน มีทิศทางตรงข้าม และซ้อนแกน หรืออยู่บนเส้นตรงเดียวกัน" สมมติฐานข้อนี้มีชื่อเรียกว่า "หลักการของการซ้อนแกน"

ในการวิเคราะห์แรงตัด เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นเมอร์แชนท์ (Merchant) สมมติว่า แรงและความเร็วกระทำที่คมมีด จากนั้นเขียนไดอะแกรมของแรง และไดอะแกรมของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปของวัสดุชิ้นงาน ดังใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 เนื่องจากไม่มีการแปรรูปในทิศทางตั้งฉากกับคมมีด ดังนั้น ความกว้างของชิ้นงานก่อนตัด (b_w) และความกว้างของฝอยหลังการตัด (b_c) จะมีค่าคงที่เท่ากัน กล่าวคือ

$$b_w = b_c = b \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมของแรงและความเร็ว ในการตัดฉากโดยใบมีดคมเดียว

เมื่อพิจารณาดูไดอะแกรมของแรงจะพบว่า แรงเฉือน F_s ที่กระทำบนผิวของฝอย คือผลคูณของความต้านทานการเฉือน (Shear strength, τ) ของวัสดุชิ้นงาน กับพื้นที่ของระนาบเฉือน A_s นั่นก็คือ

$$F_S = \tau A_S = \frac{\tau A_S}{\sin\phi} = \frac{\tau bt}{\sin\phi} \tag{2.2}$$

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของรอยตัด $A = bt$ (2.3)

ซึ่งอยู่ในระนาบตั้งฉากกับความเร็วในการตัด v และแรง F_n ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบเฉือน แสดงได้โดยค่าของแรงรวม R ที่กระทำกับฝอย ที่กระทำบนระนาบเฉือนนั่นคือ

$$F_n = F_S / \tan(\phi + \beta - \alpha) \tag{2.4}$$

$$\begin{aligned} R &= F_s / \cos(\phi + \beta - \alpha) = \tau A_s / \sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha) \\ &= \tau A / \sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha) \\ &= \tau bt / \sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha) \end{aligned} \tag{2.5}$$

ในการตัดวัสดุ นิยมแสดงค่าแรงตัดโดยแรงในสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน คือ แรงกำลัง(Power force,F_c) และแรงยัน (Thrust force,F_t) แรงสองแรงนี้แสดงโดย

$$\begin{aligned} F_c &= R\cos(\beta - \alpha) \\ &= \frac{F_S \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)} \\ &= \frac{\tau A \cos(\beta - \alpha)}{\sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \\ &= \frac{\tau bt \cos(\beta - \alpha)}{\sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \end{aligned} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$F_t = R\sin(\beta-\alpha) = \frac{F_S \sin\beta-\alpha}{\sin\phi\cos(\phi+\beta-\alpha)} = \frac{\tau A \sin\beta-\alpha}{\sin\phi\cos(\phi+\beta-\alpha)} = \frac{\tau bt \sin\beta-\alpha}{\sin\phi\cos(\phi+\beta-\alpha)} \quad (2.7)$$

กำลังที่ใช้ในการตัด P คือ ผลคูณระหว่างแรง F_c และความเร็วตัด v นั่นก็คือ

$$P = F_c\, v \quad (2.8)$$

จากการพิจารณาดูไดอะแกรมของความเร็ว จะพบว่า

$$v_c\cos\alpha = v_s\sin\phi \quad (2.9)$$

$$v_c\sin(90^\circ-\phi+\alpha) = v_c\cos(\phi-\alpha) = v\sin\phi \quad (2.10)$$

$$v_c = \frac{v\sin\phi}{\cos(\phi-\alpha)} \quad (2.11)$$

$$v_s = \frac{v\cos\alpha}{\cos(\phi-\alpha)} \quad (2.12)$$

ดังนั้น

$$\tan\phi = \frac{v_c\cos\alpha}{v-v_c\cos\alpha} = \frac{{}^{v_c}/_{v}\cos\alpha}{1-{}^{v_c}/_{v}\sin\alpha} \quad (2.13)$$

ถ้า l เป็นความยาวชิ้นงานก่อนตัด และ l_c เป็นความยาวของฝอยที่เกิดขึ้นจากการตัดจะพบต่อไปว่า

$$R_l = \frac{v_c}{v} = \frac{l_c}{l} \quad (2.14)$$

เมื่อ R_l เป็นค่าอัตราส่วนความยาวของฝอยต่อความยาวของชิ้นงาน (Chip length ratio) โดยปกติแล้ว R_l จะมีค่าน้อยกว่า 1 และสมการที่ (2.13) อาจเขียนใหม่เป็น

$$\tan\phi = \frac{R_l\cos\alpha}{1-R_l\cos\alpha} \quad (2.15)$$

สมมติฐานอีกข้อหนึ่งที่อาจจะนำมาใช้ คือ หลักการทรงมวล (Conservation of mass) โดยจะถือว่ามวล (หรือน้ำหนัก) ของวัสดุก่อนและหลังการตัดมีค่าคงเดิม ไม่มีการสูญหาย ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{bt}{\rho_w} = bt_c l_c \rho_c = W \tag{2.16}$$

เมื่อ W เป็นน้ำหนักของชิ้นงานที่ถูกตัดออกไป ซึ่งจะเท่ากับน้ำหนักของฝอยที่เกิดขึ้น t เป็นความลึก หรือความหนาของฝอยก่อนการตัด ส่วนค่าของความหนาแน่น ρ_w ก่อนการตัด และ ρ_c หลักการตัด อาจจะถือได้ว่ามีค่าคงที่ ρ เท่ากัน ดังนั้นอาจจะแสดงได้ว่า

$$\frac{l_c}{l} = \frac{t}{t_c} = R \tag{2.17}$$

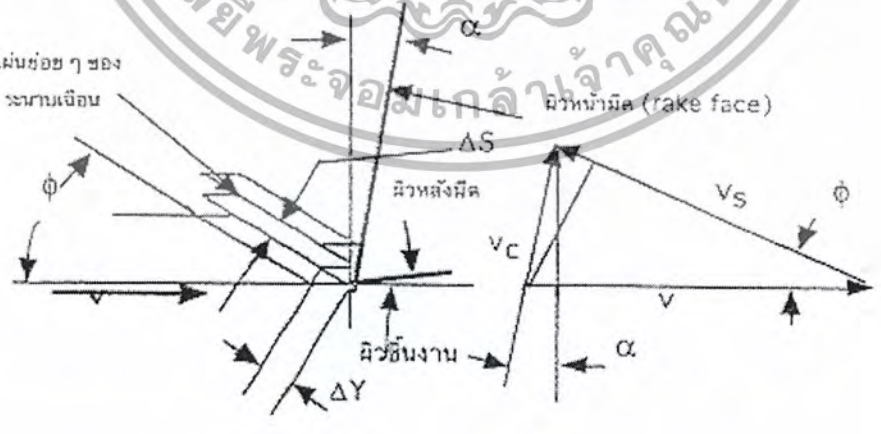
และ
$$l = \frac{W}{bt\rho} \tag{2.18}$$

สมการที่ (2.18) ใช้คำนวณหาความยาว l ของฝอยโลหะก่อนการตัดได้ โดยค่าน้ำหนัก W ได้จากการนำตัวอย่างฝอยไปชั่ง ความยาว l_c ได้จากการวัดความยาวของตัวอย่างฝอย ความกว้าง b และความหนา t เป็นค่าเรขาคณิตที่ทราบอยู่แล้ว ส่วนค่าความหนาแน่น ρ เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ทราบจากเอกสารหรือการทดลองจากนี้จะหาค่า R_l จาก

$$R_l = \frac{l_c}{\frac{W}{bt\rho}} = \frac{l_c bt\rho}{W} \tag{2.19}$$

เมื่อทราบค่า R_l จากสมการ (2.19) แล้ว ก็สามารถหามุมเฉือน (Shear angle, ϕ) ได้จากสมการที่ (2.15)

เมอร์แชนท์ (Merchant) สมมติว่าระนาบเฉือนเกิดขึ้นทีละแผ่นเล็กๆ และสามารถคำนวณหาความเครียดของการเฉือน (Shear strain, γ_s) จากไดอะแกรมของความเร็วในรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมของความเร็ว และแผ่นย่อยของระนาบเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_s = \frac{\Delta Y}{\Delta S} = \frac{v_s}{v\sin\phi}$$
$$= \frac{\left(v\cos\phi + v_c\sin\alpha\right)}{v\sin\phi} \quad (2.20)$$

แต่ $$v_c\cos\alpha = v\sin\phi \quad (2.21)$$

แทนค่า v_c จากสมการ(2.16) ลงในสมการ(2.21) จะได้ว่า

$$\gamma_s = \frac{\left(v\cos\phi + \frac{v\sin\phi\sin\alpha}{\cos\alpha}\right)}{v\sin\phi}$$
$$= \left(\cos\phi\cos\alpha + \frac{\sin\phi\sin\alpha}{\sin\phi\cos\alpha}\right)$$
$$= \frac{\cos(\phi-\alpha)}{\sin\phi\cos\alpha} \quad (2.22)$$

ค่าของอัตราความเครียดจากการเฉือน (Shear strain rate, γ_s') หาได้จาก

$$\gamma_s' = \frac{v_s}{\Delta S} = \frac{\left(v\cos\phi + v_c\sin\alpha\right)}{\Delta S}$$
$$= \left(\frac{v\cos\phi + \frac{v\sin\phi\sin\alpha}{\cos\alpha}}{\Delta S}\right)$$
$$= \frac{v\cos(\phi-\alpha)}{\Delta S\cos\alpha}$$
$$= \frac{v\left(\cos\phi\cos\alpha + \sin\phi\sin\alpha\right)}{\Delta S} \quad (2.23)$$

ค่าของความหนาของระนาบเฉือน ΔS อาจจะต้องหาจากการทดลองวัดจากชิ้นงาน

2.2 ซีเอ็นซี (Computer Numerical Control; CNC)

องค์ประกอบของการควบคุมเครื่อง

องค์ประกอบหรือชิ้นส่วนของเครื่องแกะสลักสามมิติ ที่ทำหน้าที่เข้าตัดเฉือนชิ้นงาน และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะถูกควบคุมโดยโปรแกรม ด้วยวิธีการควบคุมแบบต่างๆ กัน

2.2.1 แนวแกนป้อน (Feed axis)

แนวแกน (Axis) หมายถึง แนวการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของเครื่องจักร เช่น โต๊ะงาน เพลาหัวเครื่อง อุปกรณ์ลำเลียงเครื่องเครื่องมือ (Tool carriers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีแนวแกนอยู่หลายแนวแกนทำให้สามารถตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปทรงต่างๆ ที่ต้องการได้ การกำหนดแนวแกนต่างๆ ของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะกำหนดตามมาตรฐานสากลภายใต้หัวเรื่อง Coordinate axes and direction of movement for numerically machinery ซึ่งจะกำหนดแนวแกนเหล่านี้โดยใช้ตัวอักษร X Y และ Z เครื่องแกะสลักสามมิติจะมีแนวแกนเหมือนกับเครื่องกลึง นั่นคือ จะมีการป้อนอยู่ 2 แนวแกน คือ แกน X และแกน Z ทั้งสองแนวแกนจะอยู่ที่ชุดแท่นเลื่อน (Compound slide) ซึ่งมีอุปกรณ์ลำเลียงเครื่องมือ (Tool Carrie) ติดตั้งอยู่ ลักษณะเช่นนี้จึงสามารถป้อนขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงต่างๆ กันได้ตามต้องการ

2.2.2 การขับป้อน (Feed drives)

การเคลื่อนที่เรียงลำดับกันหรือพร้อมๆ กันอย่างต่อเนื่องของแนวแกนป้อน จะทำให้เกิดการตัดเฉือนของเครื่องมือตัดในชิ้นงาน

การขับป้อนจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ในขณะตัดเฉือนแท่นเลื่อนอาจพาให้ชิ้นงานเคลื่อนที่หรือคมตัดเคลื่อนที่ก็ได้ ระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการหมุนขับและควบคุมการทำงาน ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอก มอเตอร์ชนิดนี้จะสามารถหยุดหมุนและเบรกให้หยุดได้ทั้งสองทิศทางขณะตัดเฉือนชิ้นงาน การเคลื่อนที่ป้อนขับจึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถต้านแรงกระทำจากภายนอกได้ เช่น แรงตัดเฉือน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ระบบขับป้อนจึงต้องรับการออกแบบให้มีความแข็งแรงสูง การเคลื่อนที่คงที่และสม่ำเสมอ สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนอัตราป้อนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในขณะทำงานคมตัดอาจหื่อหรือการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนถูกกีดขวาง หรือการเร่งอัตราป้อนให้เคลื่อนที่เร็วและหยุดโดยทันทีทันใด สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มอเตอร์รับภาระมากเกินไป (Over loading) ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันอุบัติเหตุเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้คลัตช์แบบลูกกลิ้ง (Over running clutch) ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ระบบขับป้อนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือ การเลือกอุปกรณ์ในระบบขับป้อนให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรและการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

มอเตอร์ เครื่องจักรกลเอ็นซีสมัยใหม่ จะออกแบบระบบขับแบบเซอร์โว (Servo drives) ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนและความเร็วรอบได้โดยไม่มีขีดจำกัดของขั้นความเร็วรอบและอัตราป้อน มอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

ก) มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้เป็นแม่เหล็กถาวรที่มี 4 6 หรือ 8 ขั้ว ประกอบด้วย เบรก (Break) แกนมอเตอร์ (Rotor) อุปกรณ์วัดรอบ (Tachogenerator) และอุปกรณ์วัด (Measuring box)

การใช้มอเตอร์กระแสตรง ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนได้ละเอียดและมีวงจรควบคุมที่ไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มอเตอร์ชนิดนี้ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะต้องคอยทำความสะอาดและเปลี่ยนเมื่อแปลงถ่านหมด นอกจากนี้ แปรงถ่านยังทำให้แกนมอเตอร์สึกหรออันเป็นผลทำให้กำลังมอเตอร์ลดลง ข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คือ หากต้องการกำลังขับสูง มอเตอร์ก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย และเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงๆ จะทำให้แรงบิดน้อยลง ดังนั้น จึงมักใช้กับเครื่องจักรกลเอ็นซีขนาดเล็กและขนาดกลาง

ข) มอเตอร์แบบขั้น (Stepping motor) เป็นมอเตอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง โดยการแปลงคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม การหมุนในแต่ละมุมหรือขั้นที่เปลี่ยนไปหนึ่งขั้นจะเท่ากับหนึ่งคลื่นสัญญาณ ดังนั้น ตำแหน่งของเพลาจะถูกกำหนดโดยจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ และความเร็วในการหมุนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลาจะวัดเป็นจำนวนขั้นต่อวินาที (Step per second) ซึ่งจะเท่ากับความถี่ของคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบที่วัดเป็นจำนวนคลื่นต่อวินาที (Pulses per second) ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ในการแบ่งขั้นการหมุนตามจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบ แรงบิดของมอเตอร์นี้จะลดความเร็วในการหมุนแบ่งเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลเล็กๆ ที่ไม่ต้องใช้กำลังขับมาก

ค) มอเตอร์กระแสสลับ (Alternate-current motor) ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์แบบซิงโครนัส (Synchronous) ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ไม่ต้องเปลี่ยนแปรงถ่าน ทำให้สามารถลดการบำรุงรักษาได้มาก และมอเตอร์ขนาดเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์จะสามารถให้แรงบิดได้ดีกว่า และมีขนาดเล็กกว่าด้วย ส่วนข้อเสียของมอเตอร์แบบนี้คือ วงจรควบคุมจะมีความซับซ้อนมากกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

บอลสกรู (Ball screws) หัวใจของระบบขับป้อนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี คือ การส่งกำลังขับด้วยบอลสกรูว์ ซึ่งจะมีลูกบอลไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา บอลสกรูจะประกอบด้วยสกรูกับนัตที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลม ร่องเกลียวกลมบนบอลสกรูและในนัตจะชุบแข็งและเจียระไนผิวเรียบมันเพื่อลดความฝืด และเพิ่มความแม่นยำในการเคลื่อนที่

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู นัตจะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรูพาให้แท่นเลื่อนและโต๊ะงานเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน

ภายในตัวนัตจะประกอบไปด้วยชุดของลูกบอลจำนวนมาก ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังแท่นเลื่อนจะมีน้อยมาก นัตจะถูกแบ่งออกเป็นสองซีก และขันประกอบยึดเข้าด้วยกัน โดยมีการเตรียมแรงอัดไว้ก่อน (Preload) ทำให้สามารถลดระยะคลอน (Backlash) ให้เหลือน้อยที่สุดจนแทบจะไม่มีเลยได้ทำให้การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูงสามารถทำงานซ้ำๆ กันได้

การต่อกำลังระหว่างมอเตอร์กับบอลสกรู จะมีชุดคลัตช์ความฝืดเป็นตัวเชื่อม ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ต่อกำลังขับแล้วยังมีหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงานชนหรือกระแทกกับสิ่งกีดขวางไม่ให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเกิดความเสียหายมากเกินไป กล่าวคือเมื่อมีการชน หรือกระแทกกันขึ้นจนแรงมากถึงค่าหนึ่งชุดคลัตช์ก็จะตัดระบบการส่งกำลังขับระหว่างมอเตอร์กับตัวบอลสกรูทันที

2.2.3 ระบบวัดขนาด (Measuring system)

การเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละแนวแกนของแท่นเลื่อน จะถูกส่งไปยังระบบควบคุมโดยระบบวัดขนาด การวัดตำแหน่งของแท่นเลื่อนสามารถที่จะวัดได้ทั้งโดยตรง (Direct measurement) และโดยทางอ้อม (Indirect measurement)

การวัดตำแหน่งโดยตรง วิธีนี้จะใช้สเกลวัด (Measuring scale) ยึดติดกับแท่นเลื่อนหรือโต๊ะทำงานโดนตรง ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ความไม่เที่ยงของตรงของสกรูนำเลื่อน (Lead screw) ระบบขับจะไม่มีผลต่อค่าที่อ่านได้ อุปกรณ์อ่านค่าวัด (Measuring valve resolves) จะอ่านข้อมูลในการวัดสเกลวัด (Measuring scale grid) และแปลงข้อมูลนี้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งกลับไปยังระบบควบคุม

การวัดตำแหน่งโดยอ้อม การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจะได้รับกำลังขับมาจากการหมุนของบอลสกรู อุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Resolve) จะบันทึกการเคลื่อนที่หมุนของแผ่นจานสัญญาณ (Pulse disk) ที่ต่อติดอยู่กับบอลสกรูและส่งต่อไปยังระบบควบคุมของเครื่อง ระบบควบคุมก็จะใช้สัญญาณที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจากสัญญาณการหมุน (Rotation pulses) ของแผ่นจานสัญญาณ

นอกจากการวัดตำแหน่งทางตรงและทางอ้อมแล้ว ในระบบการวัดขนาดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ต้องการให้การวัดตำแหน่งมีความเที่ยงตรงตลอดแนวแกนป้อน จะต้องต่อระบบขับป้อนเข้ากับอุปกรณ์วัดที่เหมาะสม อุปกรณ์วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสเกลกับอุปกรณ์อ่านค่าวัดที่สามารถอ่านสเกลได้ สเกลที่ใช้ในอุปกรณ์วัดมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ สเกลวัดแบบรหัส (Code measuring scale) กับสเกลวัดแบบช่อง (Division grid) การใช้สเกลวัดทั้ง 2 ชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการวัดตำแหน่ง (Position measurement) วิธีการวัดตำแหน่งที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute position measurement) กับการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง หรือแบบลูกโซ่ (Incremental or chain position measurement) ซึ่งมีความต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ หมายความว่า ค่าตำแหน่งต่างๆ สามารถวัดได้ตลอดเวลาและเป็นอิสระจากสถานะของเครื่องและระบบควบคุม ทั้งนี้เพราะค่าต่างๆ เหล่านี้จะวัดอ้างอิงจากจุดศูนย์อ้างอิง (Fix zero datum) เสมอ

การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ จะใช้สเกลวัดแบบรหัส (Code measuring scale) ของเครื่อง (Machine zero point) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการอ้างอิงที่แน่นอนและถาวรของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ข้อสำคัญของการใช้วิธีการวัดตำแหน่งแบบนี้คือ ความยาวของช่วงอ่านค่าวัดของสเกลจะต้องยาวกว่าระยะเลื่อนทำงานของแท่นเลื่อนเพื่อให้ระบบควบคุมของเครื่องสามารถอ่านค่าวัดได้ทุกตำแหน่งสเกลนี้จะใช้รหัสเป็นระบบตัวเลขฐานสอง (Binary system)

การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง หมายความว่า ระยะเลื่อนสั้นๆ ตามความที่กำหนด ดังนั้นในการวัดตำแหน่งอาจจะเป็นการเพิ่มหรือลดขนาดความยาวในการเคลื่อนที่ที่วัดอยู่ก็ได้ ในระหว่างการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนระบบควบคุมจะทำการนับจำนวนส่วนแบ่งที่ตำแหน่งใหม่แตกต่างจากตำแหน่งก่อนหน้านี้เสมอ

วิธีการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง สเกลวัดจะแบ่งเป็นช่อง (Grid)แบบง่ายๆ โดยที่แต่ละช่องจะมีพื้นที่สว่างกับทึบสลับกันไป เมื่อแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ ช่องนี้จะวิ่งผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Resolver) ซึ่งจะทำหน้าที่นับจำนวนช่องพื้นที่สว่างและทึบ จากนั้นก็ส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมของเครื่อง ระบบควบคุมก็จะนำสัญญาณนี้มาคำนวณหาตำแหน่งสุดท้ายของแท่นเลื่อนที่แตกต่างจากตำแหน่งก่อนหน้านี้ ในทางปฏิบัติที่ต้องการให้วิธีการวัดแบบนี้ทำงานได้อย่างถูกต้อง เมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ระบบควบคุมของเครื่องควรจะเลื่อนไปยังจุดที่ทราบค่าระยะห่างจากจุดศูนย์ของเครื่อง จุดนี้จะเรียกว่า "จุดอ้างอิง" (Referent point) หลังจากที่แท่นเลื่อนในแนวแกนต่างๆ เลื่อนไปยังจุดอ้างอิงแล้ว อุปกรณ์อ่านค่าวัดก็จะสามารถทำหน้าที่วัดตำแหน่งด้วยช่องสเกลได้

2.3 แนวคิดพื้นฐาน

ระบบคู่ลำดับแบบเรคแทนกุลาร์คาร์ทีเซียน

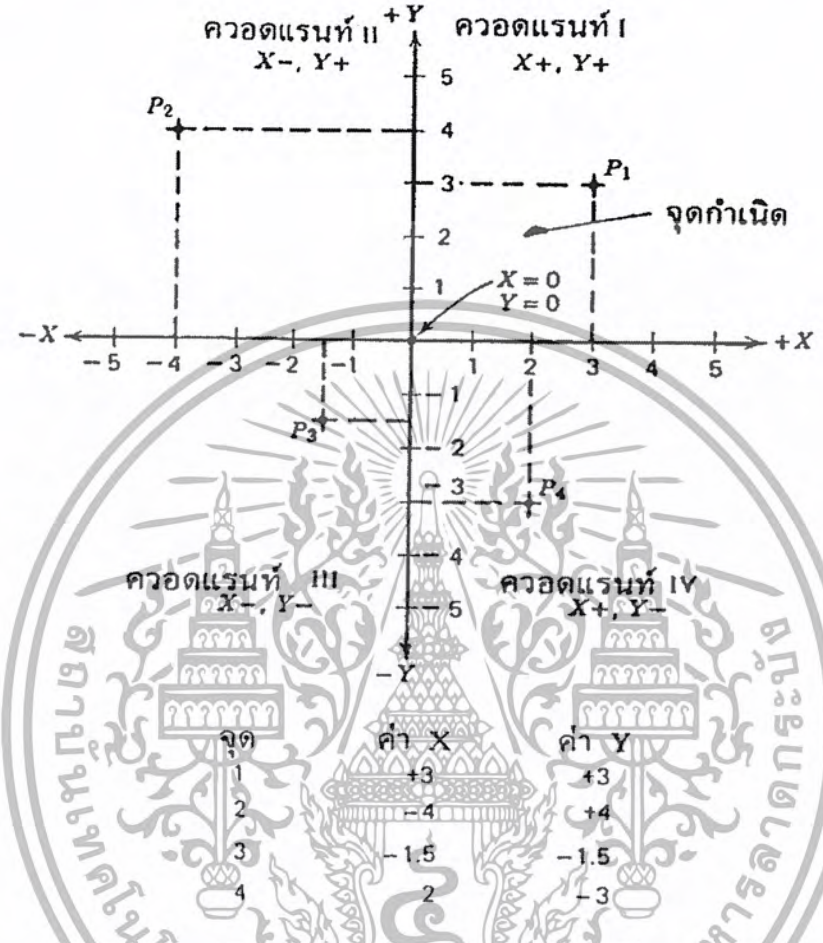
การแสดงข้อมูลของขนาดสัดส่วนให้แก่ระบบคอมพิวเตอร์นั้น ชิ้นงานเหล่านี้จะถูกนิยามในรูปอนุกรมของจุด เส้นตรง และเส้นโค้ง นั่นคือ นิยามให้อยู่ในรูปเรขาคณิตของผิวหน้าชิ้นงาน (Part surface) กระบวนการ NC นี้ได้ใช้ระบบของคู่ลำดับ (Coordinate) เพื่อสร้างรูปเรขาคณิต

2.3.1 ระบบสองมิติ (2D)

ระบบคู่ลำดับที่ง่ายที่สุด คือ ระบบสองมิติ (Two-dimensional system) หรือระบบสองแกน รูปที่ 1.2 เป็นระบบสองมิติที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเส้นตรงสองเส้นที่มีสเกลบ่งอยู่ และเส้นตรงสองเส้นนี้ต่างตั้งฉากซึ่งกันและกัน จุดที่ตัดกันของเส้นตรงสองเส้นนี้ จะเป็นจุดศูนย์กลางของเส้นตรงทั้งสอง ดังนั้น เส้นตรงทั้งสองจึงเป็นแกนคู่ลำดับ (Coordinate axes) และจุดตัดกันเรียกว่าจุดกำเนิด (Origin) ซึ่งกำหนดว่า X = 0, Y= 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายของแกนนั้น พิจารณาจากทิศทางที่ออกจากจุดกำเนิด ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 แกน X ที่อยู่ทางซ้ายของจุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่ออยู่ทางขวาของจุดกำเนิดในทำนองเดียวกัน แกน Y ที่อยู่ใต้จุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่ออยู่เหนือจุดกำเนิด ตำแหน่งจุดใดๆ บนระนาบนี้จะถูกพิจารณาและถูกบรรยายได้โดยอ้างอิงจุดกำเนิด

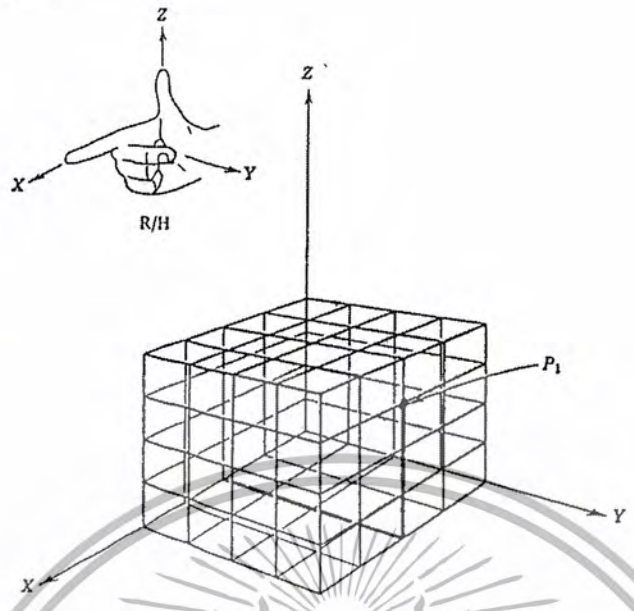


รูปที่ 2.3 ระบบคู่ลำดับแบบเรขาคาร์ทีเซียนสองมิติ

ระนาบดังกล่าวยังสามารถแบ่งออกได้เป็นสี่ควอดแรนท์ คือ ควอดแรนท์ 1 ควอดแรนท์ 2 ควอดแรนท์ 3 และควอดแรนท์ 4 เครื่องหมายคู่ลำดับของจุดที่อยู่ภายในระนาบนี้ จะถูกพิจารณาโดยตำแหน่งควอดแรนท์ ดังนั้นจุดใดๆ ที่อยู่ในควอดแรนท์ 1 จะได้ว่า X เป็น “บวก” และ Y เป็น “ลบ” อยู่ในควอดแรนท์ 2 จะได้ว่า X เป็น “ลบ” และ Y เป็น “บวก” อยู่ในควอดแรนท์ 3 จะได้ว่า X เป็น “ลบ” และ Y เป็น “บวก” และอยู่ในควอดแรนท์ 4 จะได้ว่า X เป็น “บวก” และ Y เป็น “ลบ” แต่ละจุดจะมีตำแหน่งเอกลักษณ์ของตัวเอง และสามารถนิยามในเชิงคณิตศาสตร์ได้ ค่า Y จะหาได้จากระยะที่ห่างจากแกน X และค่า X จะหาได้จากระยะที่ห่างจากแกน Y ค่าเหล่านี้หมายถึง คู่ลำดับของจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบสามมิติ (3D)



รูปที่ 2.4 ระบบคู่ลำดับมือขวา

หากเพิ่มแกนคู่ลำดับ Z เพิ่มขึ้นอีกแกนหนึ่ง เข้ากับแกน X และแกน Z ของระบบคู่ลำดับสองมิติแล้ว จะสามารถสร้างระบบสามมิติ (Three dimensional system) หรือสามแกนขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และอาจกล่าวได้อีกว่า ระบบคู่ลำดับสามมิตินั้นสร้างขึ้นจากเส้นตรงที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันในสเปซ (Space) เส้นตรงเหล่านี้จะถูกนิยามให้มีหน่วยเหมือนกันกับกรณีของระบบสองมิติ กล่าวคือ จุดนี้จะเป็นจุดกำเนิด และมีค่าคู่ลำดับของ X = 0, Y = 0 และ Z = 0 แกนที่จับกันเป็นคู่ๆ จะทำให้เกิดระนาบคู่ลำดับ XY, XZ และ YZ ถ้า P เป็นจุดใดในสเปซ ค่าคู่ลำดับ X,Y และ Z จะสามารถสร้างได้จากระบบที่ตั้งฉากกับแกนคู่ลำดับในแต่ละแกนกับจุดตัดที่ P ระยะทางที่วัดจากจุดกำเนิดไปตามแกน X,Y และ Z คือ คู่ลำดับ X,Y และ Z ของจุด P

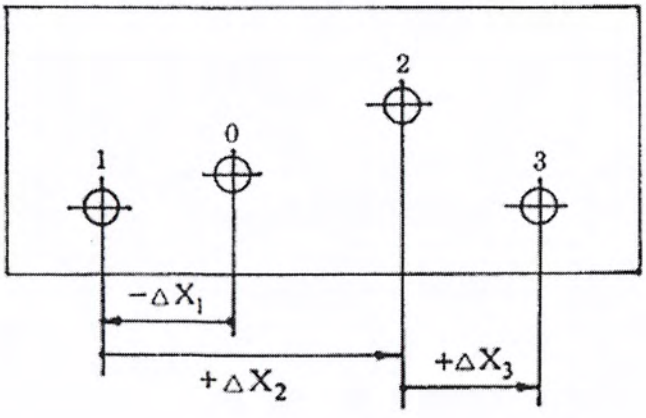
2.4 ระบบการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของระบบ NC อาศัยการเขียนโปรแกรมขึ้น เพื่อส่งให้เครื่องกลเคลื่อนที่ไป การเคลื่อนที่จะแบ่งออกเป็นสองระบบ คือ ระบบสัมพัทธ์ (Incremental system) และระบบสัมบูรณ์ (Absolute system)

2.4.1 ระบบสัมพัทธ์

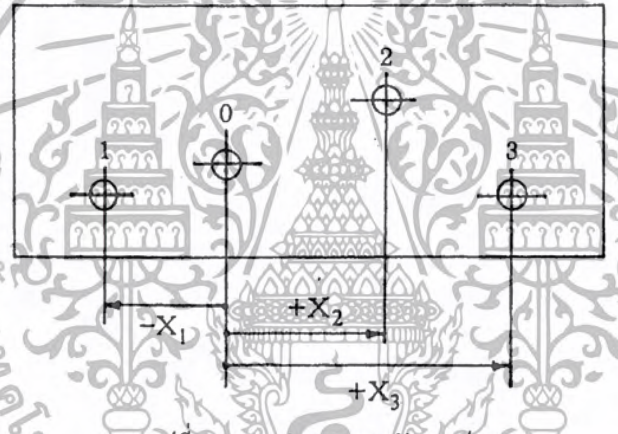
ในการเขียนโปรแกรมแบบสัมพัทธ์นั้น จำเป็นต้องเข้าใจเรื่องของขนาดสัดส่วนแบบสัมพัทธ์ด้วย การทำงานในระบบสัมพัทธ์นั้น จะทำงานในลักษณะสัมพัทธ์(Increment) จากตำแหน่งปัจจุบันออกไปไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานหรือมีดตัด การคำนวณจะเริ่มจากตำแหน่งของมีดตัดหรือของโต๊ะงานไปยังตำแหน่งที่จะไป เครื่องหมายลบและบวกจะหมายถึงการเพิ่มไปในทางบวกหรือลบ การเคลื่อนที่ไปในทิศทาง Xที่เป็นบวก ไม่ได้หมายความว่า เดินไปในแกน +X แต่หมายถึง การให้เคลื่อนที่ไปทางขวาโดยไปตามแนวแกน X จากตำแหน่งปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การทำงานแบบสัมพัทธ์

2.4.2 ระบบแบบสัมบูรณ์



รูปที่ 2.6 การทำงานแบบสัมบูรณ์

การทำงานของระบบสัมบูรณ์นั้น คือ การเคลื่อนที่ตำแหน่งทุกตำแหน่งได้ถูกกำหนดเป็นระยะทางจากตำแหน่งศูนย์หรือจากจุดอ้างอิง

ข้อดีของระบบสัมบูรณ์ที่เหนือกว่าระบบสัมพัทธ์คือ เรื่องความผิดพลาดในตำแหน่ง (Positioning errors) ถ้าเกิดความผิดพลาดในตำแหน่งในระบบสัมพัทธ์แล้ว ทุกตำแหน่งที่ตามมาจะถูกกระทบหมด และการเคลื่อนที่ที่เหลือจะไม่ถูกต้อง แต่ถ้ามีความผิดพลาดในตำแหน่งเกิดขึ้นในระบบ NC แบบสัมบูรณ์แล้ว ตำแหน่งที่เจาะจงในขณะนั้นจะเกิดความผิดพลาด แต่ตำแหน่งที่ตามมาจะไม่ถูกกระทบ เพราะว่าทุกขนาดสัดส่วนและการเคลื่อนที่แบบตำแหน่งในแต่ละตำแหน่งจะเคลื่อนจากจุดฐานศูนย์หรือจุดอ้างอิงจุดเดียวเสมอ

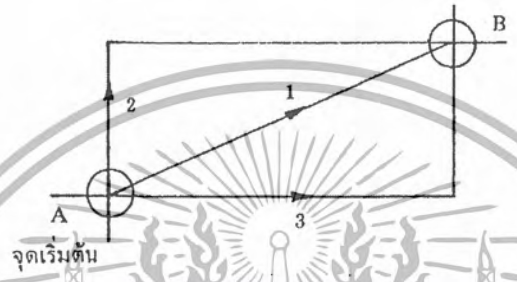
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การควบคุมการเคลื่อนที่

การควบคุมให้มีดตัดเคลื่อนที่ไปตามทางที่จะให้ทำงานนั้น เป็นตัวบ่งชี้ถึงต้นทุนของเครื่องมือกล NC รวมทั้งต้นทุนการผลิต โดยปกติการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกล NC จะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

2.5.1 ระบบพิกัด

ระบบพิกัด(Position system) หรือระบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) เป็นระบบที่ง่ายที่สุดของNC ซึ่งจะควบคุมเครื่องมือกลให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้เป็นตัวเลขแล้วโดยอัตโนมัติ

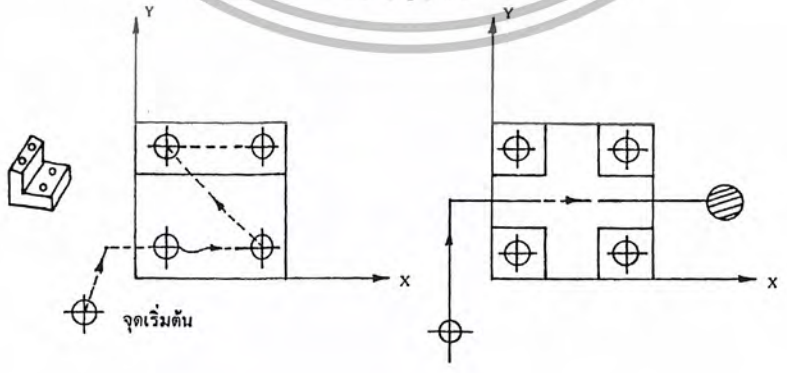


รูปที่ 2.7 ระบบพิกัด

การเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B จะเจาะได้หลายวิธีอยู่แล้วแต่ว่าผู้เขียนโปรแกรมจะกำหนดอย่างไร เพราะระบบควบคุมไม่มีระบบควบคุมไม่มีระบบควบคุมแนวทางเดิน (Path) จากจุด A ไปจุด B อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B ควรใช้เวลาน้อยที่สุด

2.5.2 ระบบพิกัดแบบเส้นตรง

ระบบพิกัดแบบเส้นตรง เป็นระบบที่มีความสามารถในการทำงานอยู่สองประการ คือ การทำงานในลักษณะเป็นตำแหน่งและการเคลื่อนที่ไปในตามแกนแต่ละแกน ดังนั้น ระบบนี้จึงมีความสามารถในการเจาะชิ้นงาน และทำชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม

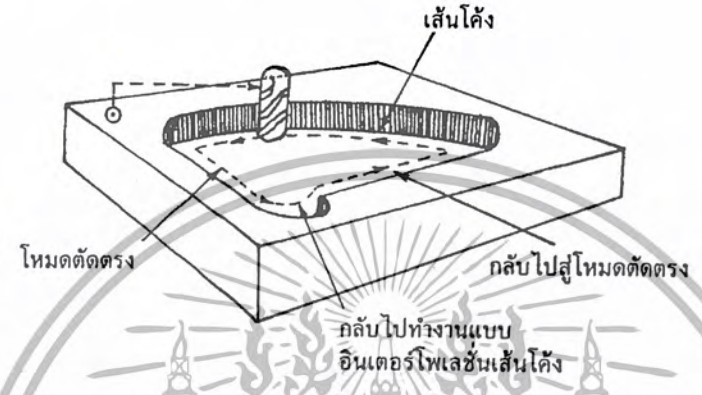


รูปที่ 2.8 ระบบพิกัดแบบเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ระบบคอนทัวริ่ง

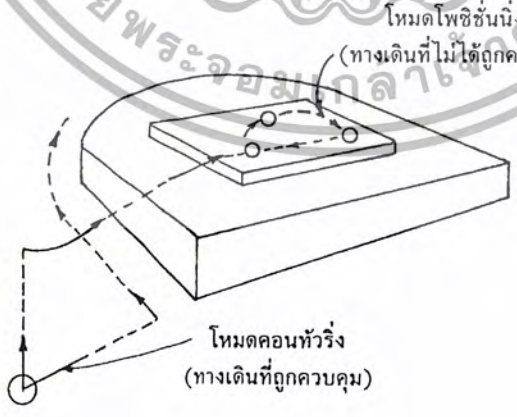
ระบบคอนทัวริ่ง (Contouring) เป็นระบบที่มีความสามารถหลายอย่าง โดยทั่วไปจะเป็นระบบที่ทำงานงานแบบระบบพิกัดแบบเส้นตรง นอกจากนั้น ยังสามารถทำงานเป็นเส้นหักมุมใดๆ เป็นวงกลม เป็นรูปกรวย หรือรูปร่างต่างๆที่สามารถใช้คณิตศาสตร์นิยามได้ ระบบนี้เป็นระบบที่ควบคุมทางเดินแบบต่อเนื่อง (Continuous path control) จึงเป็นระบบที่มีแกนสามแกน หรือมากกว่านั้น



รูปที่ 2.9 ระบบคอนทัวริ่ง

2.5.4 ระบบรวม

ระบบรวมหมายถึง ระบบที่รวมข้อดีของแต่ละโหมด ซึ่งหมายถึง โหมดพิกัด และโหมดคอนทัวริ่งรวมกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าให้ MCU ทำงานโหมดคอนทัวริ่ง เครื่อง NC จะทำงานในระบบคอนทัวริ่ง อย่างเดียว โดยไม่มีระบบพิกัดเข้ามาเกี่ยวข้องเลย อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการให้เครื่อง NC ทำงานแบบพิกัดแล้ว ส่วนที่ควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่องจะถูกตัดออก เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน



รูปที่ 2.10 ระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

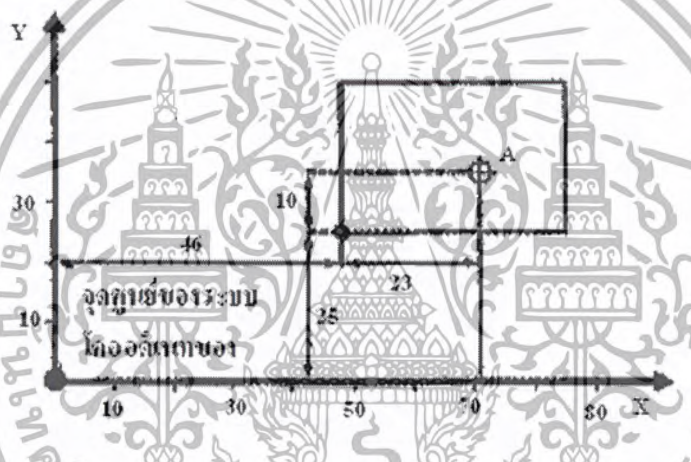
2.6 ทฤษฎีเรขาคณิตเบื้องต้นสำหรับการทำโปรแกรมเอ็นซี

จุดศูนย์และจุดอ้างอิง (Zero points and Reference points)

การเคลื่อนที่ต่างๆ ของเครื่องจักรซีเอ็นซี จะถูกควบคุมด้วยระบบโคออดิเนท ตำแหน่งต่างๆ ที่ถูกต้องภายในพื้นที่ทำงานของเครื่องจักรกล จะวัดระยะมาจากจุดศูนย์ (Zero points) นอกจากจุดศูนย์แล้วเครื่องจักรกลซีเอ็นซียังมีจุดอ้างอิง (Reference point) อื่นๆ อีก เพื่อช่วยเสริมการทำงานและการทำโปรแกรม

2.6.1 จุดศูนย์ของเครื่อง (Machine zero point, M)

การจับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะต้องให้สัมพันธ์กันระหว่างขนาดที่กำหนดในแบบงานกับระบบโคออดิเนทของเครื่องเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบขนาดซึ่งกันและกันได้ เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทุกเครื่องจะมีระบบโคออดิเนทประกอบอยู่ ระบบนี้จะกำหนดจากการเคลื่อนที่กับระบบการวัดระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลที่มีอยู่



รูปที่ 2.11 แบบชิ้นงานในระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นแบบชิ้นงานที่วางอยู่บนระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกล รู A ที่มีขนาดระยะกำหนดในแบบงาน คือ 23 มม. และ 10 มม. จะมีค่าโคออดิเนทที่สัมพันธ์กัน ระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกล คือ โคออดิเนท X = 71 มม. และ Y = 35 มม.

จุดเริ่มต้นของการกำหนดขนาดในแบบงาน (มุมซ้ายมือด้านล่าง) จะมีระยะเยื้องศูนย์จากระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี คือ X = 48 มม. และ Y = 25 มม.

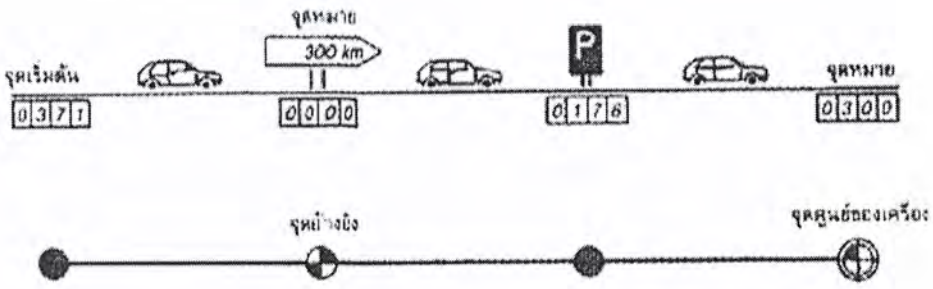
จุดศูนย์ของเครื่อง (M) โดยทั่วไปจะใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ ตำแหน่งจุดศูนย์ของเครื่องจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกลซีเอ็นซี จุดศูนย์ของเครื่องจะใช้เป็นจุดศูนย์ของระบบโคออดิเนทของเครื่องจักรกล และใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับระบบโคออดิเนทอื่นๆ และยังใช้เป็นจุดอ้างอิงในเครื่องจักรกลด้วย

2.6.2 จุดอ้างอิง (Reference point, R)

วัตถุประสงค์เบื้องต้นของการใช้จุดอ้างอิง สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายโดยการเปรียบเทียบกับการใช้หลักกิโลเมตรตามเส้นทางหลวงต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.12 วัตถุประสงค์ของการใช้จุดอ้างอิง

จากรูปที่ 2.12 สมมุติว่าขณะที่ท่านขับรถอยู่มีเหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ณ จุดเริ่มต้นการเดินทาง ท่านจะยังไม่ทราบว่าจุดมุ่งหมายที่จะไปนั้น อยู่ห่างไกลออกไปเป็นระยะทางเท่าใด
2. ตลอดเส้นทาง ท่านจะคอยสังเกตดูหลักกิโลเมตร(จุดอ้างอิง) ซึ่งจะบอกว่าจุดหมายที่จะไปนั้นอยู่ห่างออกไปเท่าไร ท่านก็จะปรับตั้งมิเตอร์วัดระยะทางให้ตรงขีดศูนย์
3. จากนี้ไปท่านก็จะสามารถบอกได้ว่า ณ จุดต่างๆ ที่ท่านจะไปถึงนั้นห่างจากจุดมุ่งหมายของท่านเท่าไร หรืออยู่ห่างจากจุดอ้างอิงเท่าไร (หลักกิโลเมตร)

จากรูปที่ 2.12 จะมีสถานีอยู่ 3 แห่งด้วยกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรซีเอ็นซีแล้ว จะมีความหมาย

สถานีที่ 1 หมายถึง การเปิดสวิตช์เครื่อง

สถานีที่ 2 หมายถึง การเลื่อนไปยังจุดอ้างอิง และปรับตั้งระบบวัดระยะเลื่อนให้เริ่มต้นที่ศูนย์

สถานีที่ 3 หมายถึง ตำแหน่งของเครื่องมือที่เคลื่อนที่ไปอย่างต่อเนื่อง

จุดอ้างอิง R มักจะใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ เป็นจุดที่ใช้ช่วยในการปรับค่าและควบคุมระบบวัดขนาดระยะการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน และเครื่องมือตำแหน่งของจุดอ้างอิงจะถูกกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าอย่างเที่ยงตรงในทุกแนวแกนของการเคลื่อนที่ด้วยสวิตช์จำกัดระยะ หรือสวิตช์ขาแตะ (Limit switches or Trip dogs) ดังนั้น ค่าโคออดิเนตของจุดอ้างอิงจะมีค่าเท่าเดิมเสมอ และรู้ค่าตัวเลขที่แน่นอนที่สัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่อง

ข้อสำคัญ : หลังจากการเปิดสวิตช์ระบบควบคุมแล้ว แนวแกนทั้งหมดจะต้องเคลื่อนที่ไปยังจุดอ้างอิงก่อนเสมอ เพื่อปรับค่าระบบวัดระยะการเคลื่อนที่

ถ้าเกิดเหตุขัดข้องขึ้นจนทำให้ข้อมูลของตำแหน่งแท่นเลื่อนและเครื่องมือในปัจจุบันสูญหายไปจากระบบควบคุม ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากไฟฟ้าดับ เป็นต้น จะต้องเลื่อนแท่นเลื่อนต่างๆ กลับไปหาจุดอ้างอิงก่อนเริ่มทำงานใหม่เสมอ เพื่อปรับค่าของระบบวัดระยะการเคลื่อนที่ให้ถูกต้อง

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีระบบวัดระยะการเคลื่อนที่แบบสัมบูรณ์(Absolute traverse measurement) อาจจะไม่ต้องใช้จุดอ้างอิง ทั้งนี้เพราะว่าสามารถอ่านค่าโคออดิเนทการเคลื่อนที่ของแนวแกนต่างๆ ได้โดยตรงและทุกเวลาที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้ระบบวัดระยะการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (Incremental traverses measuring system) ยังต้องการใช้จุดอ้างอิงสำหรับการปรับค่าระบบวัดระยะการเคลื่อนที่

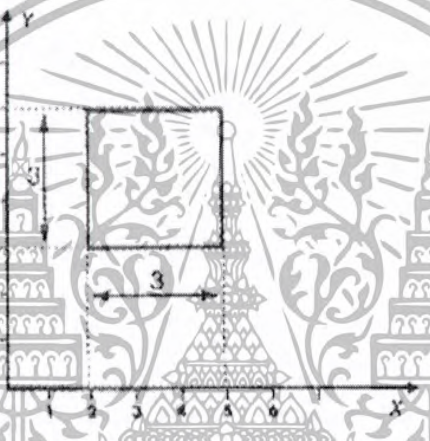
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55624

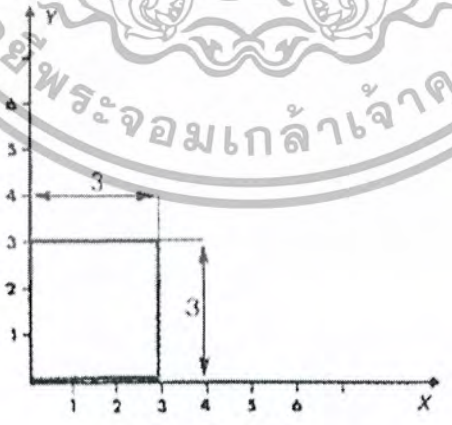
เมื่อขาแตะ(Trip dog) เลื่อนสวิตช์ที่จุดอ้างอิงให้เปิดออกแล้ว ระบบวัดระยะการเคลื่อนที่ก็จะปรับค่าไปที่ศูนย์หรือค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อให้ระดับความถูกต้องที่ต้องการในขณะที่ทำการปรับค่าของระบบวัดขนาดการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนไปยังจุดอ้างอิงควรจะลดความเร็วลง และเลื่อนไปในทิศทางเดียวกันตลอด

2.6.3 จุดศูนย์ของชิ้นงาน(Work piece zero point)

ในระบบโคออดิเนทสามารถที่จะเลือกข้อมูลโคออดิเนทได้ด้วยวิธีง่ายๆ โดยการกำหนดตำแหน่งที่จะวางชิ้นงานลงในระบบโคออดิเนทที่สะดวกต่อการอ่านจุดโคออดิเนท รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นการวางแบบชิ้นงานสี่เหลี่ยมตรงจุดใดๆ ในระบบโคออดิเนท ส่วนรูปที่ 2.14 เป็นชิ้นงานเดิมที่วางให้ขอบงานสองด้านซ้อนทับแกน X และ แกน Y ซึ่งวิธีหลังนี้สามารถใช้ค่าขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงานเป็นค่าโคออดิเนทได้เลย และสามารถตรวจสอบค่าได้ง่ายกว่าและยังช่วยหลีกเลี่ยงการคำนวณหาค่าโคออดิเนทเพิ่มเติมได้



รูปที่ 2.13 การวางแบบชิ้นงานที่จุดใดๆในระบบโคออดิเนท



รูปที่ 2.14 การวางแบบชิ้นงานโดยใช้แนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดศูนย์ของชิ้นงาน(W) มักจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ จะเป็นจุดที่ช่วยในการกำหนดระบบโคออดิเนทของชิ้นงานที่สัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่อง จุดศูนย์ของชิ้นงานจะถูกเลือกใช้โดยผู้เขียนโปรแกรม และป้อนเข้าไปในระบบซีเอ็นซี ในขั้นตอนของการปรับตั้งตำแหน่งของจุดศูนย์ของชิ้นงานสามารถที่ตะกำหนดเลือกใช้ได้อย่างอิสระโดยผู้เขียนโปรแกรม แต่ต้องอยู่ภายในขอบเขตการทำงานของเครื่องจักรกล โดยมีหลักเกณฑ์ง่ายๆ คือ การกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงานควรจะกำหนดไว้ในตำแหน่งที่เป็นจุดอ้างอิงต่างๆ ที่กำหนดไว้ในแบบชิ้นงานอยู่แล้ว กล่าวคือ เมื่อกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงานแล้ว สามารถที่จะเปลี่ยนขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงานให้เป็นค่าโคออดิเนทได้โดยสะดวก และหลีกเลี่ยงการคำนวณค่าโคออดิเนทเพิ่มเติมได้

โดยทั่วไปแล้ว ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของชิ้นงานมักนิยมใช้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดศูนย์ของโปรแกรม (Program zero point)

สรุป ตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงาน มีข้อพิจารณาในการเลือกใช้ ดังนี้

- สามารถกำหนดค่าโคออดิเนทจากขนาดกำหนดในแบบงานได้มากที่สุด
- สามารถจับยึดชิ้นงาน ปรับตั้ง และตรวจสอบ ตลอดจนการควบคุมด้วยระบบวัดระยะการเคลื่อนที่ได้สะดวก

2.6.4 จุดอ้างอิงของเครื่องมือ (Tool Reference Point)

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับการตัดเฉือนชิ้นงานตามเส้นของรูป สิ่งที่สำคัญที่จะต้องคำนึงถึง คือ การเคลื่อนที่ของขอบคมตัดของเครื่องมือที่ยึดอยู่กับชุดพาเครื่องมือ(Tool carrier) เช่น เพลางานของเครื่องกัด เป็นต้น จะต้องเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้ขอบคมตัดของมีดกัดเคลื่อนที่ตามเส้นขอบรูปของชิ้นงานอย่างถูกต้อง

การเขียนโปรแกรมขนาดความยาวของเครื่องมือ จะต้องตรงกับขนาดความยาวของเครื่องมือที่เป็นจริง ถ้าระบบควบคุมเริ่มทำงานด้วยขนาดความยาวของเครื่องมือที่ไม่ถูกต้องก็จะทำให้ไม่ได้ขนาดของเส้นขอบรูปที่ต้องการ ถ้าขนาดของเครื่องมือสั้นเกินไปก็จะตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกไม่หมด และถ้าเครื่องมือยาวเกินไป ก็จะทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานออกมากเกินไป

ดังนั้น ขนาดความยาวของเครื่องมือ จึงต้องทำการวัดขนาดก่อนที่เครื่องจักรกลจะเริ่มทำงานตามโปรแกรม และข้อมูลที่วัดจะได้จะถูกป้อนเข้าไปไว้ในระบบความจำส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของเครื่องมือ(Tool data storage) ของระบบควบคุมซีเอ็นซี

ในการตัดเฉือนชิ้นงาน จุดสำคัญ คือ จะต้องสามารถควบคุมจุดปลายเครื่องมือ หรือขอบคมตัดที่สัมพันธ์กับขนาดของเครื่องตลอดเส้นทางการเคลื่อนตัดเฉือน(Machine part) เนื่องจากเครื่องมือมีรูปทรงและขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้น ขนาดของเครื่องมือที่ถูกต้องจะต้องหาให้ได้ก่อนและป้อนเข้าไปในระบบควบคุม ซึ่งขนาดของเครื่องมือจะต้องปรับตั้งให้สัมพันธ์กับจุดปรับตั้งเครื่องมือ (Tool setting point) ที่อยู่คงที่

2.7 อินเตอร์โพเลเตอร์ในระบบการผลิต (Interpolation)

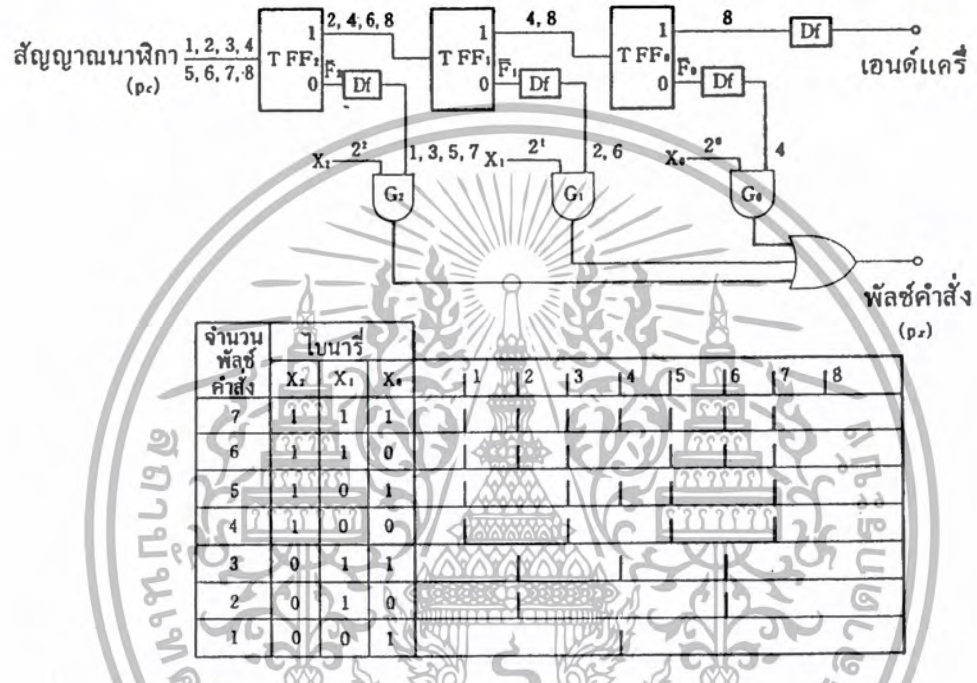
สิ่งที่จำเป็นในระบบการผลิต คือ การสร้างคู่ลำดับการเคลื่อนที่ของแกนแต่ละแกน เพื่อให้เกิดทางเดินที่ต้องการของเครื่องมือตัดให้สัมพันธ์กับชิ้นงาน ซึ่งรวมทั้งการสร้างสัญญาณที่กำหนดรูปร่างของชิ้นงานที่จะผลิต และส่งสัญญาณนั้นเป็นอินพุทอ้างอิงของลูปการควบคุมที่เกี่ยวข้อง ตัวอินเตอร์โพเลเตอร์จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณอ้างอิงเหล่านี้ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ NC จะมีวงจรอินเตอร์โพเลเตอร์ซึ่งเป็นวงจรดิจิตอล ในระบบ CNC ตัวอินเตอร์โพเลเตอร์ถูกสร้างโดยซอฟท์แวร์

2.7.1 วิธีของ MIT

วิธีนี้ใช้เมื่อตอนพัฒนาเครื่อง NC และใช้เป็นอินเตอร์โพเลเตอร์แบบเส้นตรงแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าจะตัดเส้นโค้งอย่างง่ายๆต้องตัดเป็นเส้นตรงสั้นๆ โดยประมาณ ซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการสร้างเทป NC อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ให้หลักการของวงจรแบบไบนารี่แบบง่ายแต่สามารถทำงานได้ตามประสงค์



จำนวนพัลซ์คำสั่ง	ไบนารี่ X_2	X_1	X_0
7	1	1	1
6	1	1	0
5	1	0	1
4	1	0	0
3	0	1	1
2	0	1	0
1	0	0	1

รูปที่ 2.15 วิธีของ MIT

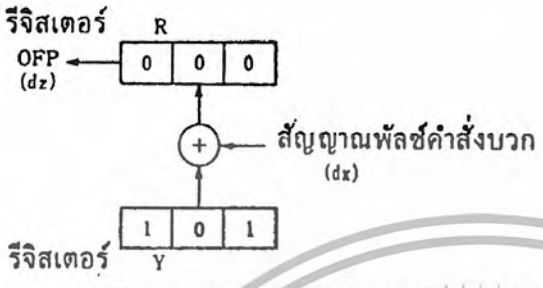
จากรูปที่ 2.15 ซึ่งประกอบด้วยฟลิปฟล็อป 3 ตัว เอาท์พุทของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวซึ่งเขียนได้เป็น $F_i(i = 0,1,2)$ นั้นจะถูกควบคุมโดยจำนวนของพัลซ์คำสั่งที่อ่านจากเทป และเก็บบันทึกไว้ในรีจิสเตอร์ X มีความจำเป็นที่จะต้องแปลงจำนวนพัลซ์เหล่านี้เป็นไบนารี่ก่อน ในกรณีนี้เนื่องจากมีจำนวนบิตอยู่ทั้งหมด 3 บิต ดังนั้นจำนวนพัลซ์นาฬิกาก็คือ $8(2^3)$ ซึ่งเท่ากับ 1 คาบ สมมติว่า ต้องการจำนวนพัลซ์คำสั่งทั้งหมดเป็น 6 จะได้เลขฐาน 2 เป็น 110 ซึ่งแต่ละตัวจะไปควบคุมเกท AND G_2 , G_1 , G_0 ให้เปิดและปิด(ถ้า 1 = เปิด , ถ้า 0 = ปิด) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าที่เกท G_2 จะมีพัลซ์นาฬิกาเลขที่ 1,3,5,7 ผ่านออกไปยังเกท OR และที่เกท G_1 จะมีพัลซ์นาฬิกาที่ 2,6 ผ่านออกไปยังเกท OR ด้วยส่วนพัลซ์นาฬิกาเลขที่ 4 จะไม่ผ่านเกท G_0 ทั้งนี้เพราะว่า X_0 เท่ากับ 0 เกท G_0จึงปิด ดังนั้นเอาท์พุทของเกท OR จึงมีจำนวนพัลซ์ทั้งหมด 6 พัลซ์ออกมา ซึ่งจะเป็นพัลซ์คำสั่งที่จะถูกนำไปใช้งานต่อไป การเพิ่มความถี่ของพัลซ์นาฬิกาจะทำให้พัลซ์คำสั่งเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งหมายความว่า ความเร็วของเครื่องจักรจะถูกควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 วิธี Digital Differential Analyzer;DDA

วิธีDDAนี้เป็นวงจรที่ได้รับการคิดค้นเพื่อใช้กับ NC ซึ่งมีชื่อว่า ตัววิเคราะห์อนุพันธ์ดิจิตอล (digital differential analyzer) สามารถใช้เป็นอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรงในสามมิติ และเป็นอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรงและเส้นโค้งในสองมิติได้

ในการอธิบายทฤษฎีของวิธี DDA จะสมมติว่ามีรีจิสเตอร์ 3 บิตอยู่ 2 ตัวดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16



จำนวนครั้ง	0	1	2	3	4	5	6	7	8
r	000	101	010	111	100	001	110	011	000
OFP	0	0	1	0	1	1	0	1	1

รูปที่ 2.16 ทฤษฎีของวิธี DDA

เมื่อมีพัลซ์คำสั่งบวกเข้ามา เนื้อหา y ของรีจิสเตอร์ Y จะบวกเข้ากับเนื้อหา r ของรีจิสเตอร์ R ทุกครั้งแล้วจึงเก็บเนื้อหาที่ได้ไว้ในรีจิสเตอร์ Rจากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการบวกเป็นจำนวน $2^3 = 8$ ครั้งแล้ว รีจิสเตอร์ R จะกลับไปสู่สภาพเดิม แต่ในระหว่างการบวกนี้ จะมีพัลซ์ซึ่งเรียกว่า โอเวอร์โฟลพัลซ์(OFP)จำนวน 5 พัลซ์ถูกสร้างออกมา จำนวนพัลซ์นี้จะมีจำนวนเท่ากับเนื้อหา y = 101 (= 5)ของรีจิสเตอร์ Y ถ้าให้พัลซ์คำสั่งบวก 1 พัลซ์เป็น dx และ OFP 1พัลซ์เป็น dz จะเขียนความสัมพันธ์ซึ่งได้กล่าวมาก่อนนี้เป็น

$$dz = \frac{5}{8} \cdot dx \qquad (2.24)$$

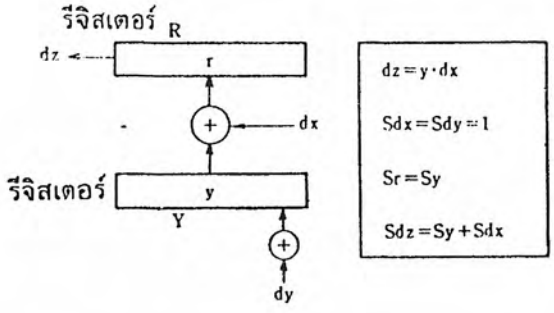
การที่จะเขียนสมการของพัลซ์ dx จำนวน 8 พัลซ์ ซึ่งทำให้เกิพัลซ์ dz จำนวน 5 พัลซ์เป็นสมการที่เท่ากันนั้นเป็นไปได้ไม่ง่าย จึงต้องคิดค่าประมาณ นั่นคือ ทุกครั้งของพัลซ์ dz จำนวน ⅝ พัลซ์โดยเฉลี่ย

ดังนั้น ถ้าคิดเช่นนี้แล้ว เนื้อหา y ของรีจิสเตอร์ Y จะไม่คงที่ แต่ให้เปลี่ยนตามพัลซ์ dx ทุกครั้งได้ เมื่อทำให้อยู่ในรูปทั่วไป

$$dz = y \cdot dx \qquad (2.25)$$

และมีโครงสร้างของวงจรที่สอดคล้องกับสมการ (2.24) วงจรนี้เรียกว่า วงจรพื้นฐานของ DDA ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 อย่างไรก็ตาม สมการ (2.24) เป็นสมการโดยประมาณ การวิเคราะห์ความผิดพลาดทำได้ไม่ง่ายนัก แต่การเลือกใช้จำนวนบิทของรีจิสเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการคำนวณนั้นละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้น s ที่แสดงในรูปที่ 2.17 เป็นสเกลแฟคเตอร์ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ให้เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวอย่างที่แสดงไว้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

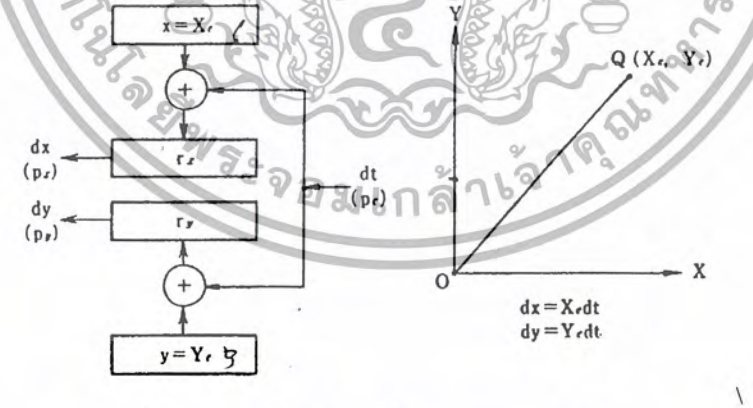


รูปที่ 2.17 วงจรพื้นฐานของ DDA

2.7.2.1 การอินเตอร์โพเลชันเส้นตรง (Linear Interpolation) กำหนดให้จุดกำเนิด O เป็นจุดเริ่มต้น มีจุดปลายอยู่ที่ $Q(X_e,Y_e)$ สมการอนุพันธ์ของเส้นตรง OQ จะเขียนได้เป็น

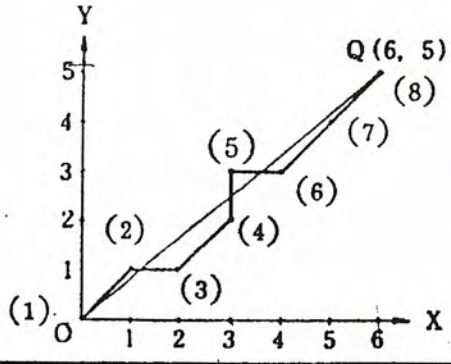
$$dx = X_e \cdot dt$$
$$dy = Y_e \cdot dt \qquad (2.26)$$

โดยที่มี t เป็นพารามิเตอร์ของเวลา เมื่อเปรียบเทียบสมการนี้กับสมการที่ (2.24) แล้วรวมวงจรพื้นฐานเข้าด้วยกัน จะได้วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งกำหนดให้ dx เป็นพัลซ์คำสั่งของ p_x ของแกน X และ dy เป็นพัลซ์คำสั่ง p_y ของแกน Y สำหรับ dt นั้นเป็นพัลซ์นาฬิกา ถ้าความถี่ของพัลซ์นาฬิกาเปลี่ยน จะทำให้ความถี่ของพัลซ์เปลี่ยนตามไปด้วย ดังนั้น จึงสามารถควบคุมความถี่ของพัลซ์คำสั่งได้ ในกรณีของ 3 มิตินั้น เพียงเพิ่มวงจรพื้นฐานสำหรับแกน Z เข้าไปเท่านั้น



รูปที่ 2.18 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นแบบเส้นตรง (DDA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บวก	0	1	2	3	4	5	6	7	8
r_x	000	110	100	010	000	110	100	010	000
dx	0	0	1	1	1	0	1	1	1
r_y	000	101	010	111	100	001	110	011	000
dy	0	0	1	0	1	1	0	1	1

รูปที่ 2.19 การอินเตอร์โพเลชั่นแบบเส้นตรง (DDA)

รูปที่ 2.19 แสดงถึง การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรงด้วยวิธี DDA ซึ่งได้กำหนด $X_e = 6$, $Y_e = 5$

2.7.2.2 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (Circular Interpolation) สมการที่มีอนุพันธ์ของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลาง o นั้น สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} dx &= -y\,.dt \\ dy &= x\,.\,dt \end{aligned} \qquad (2.27)$$

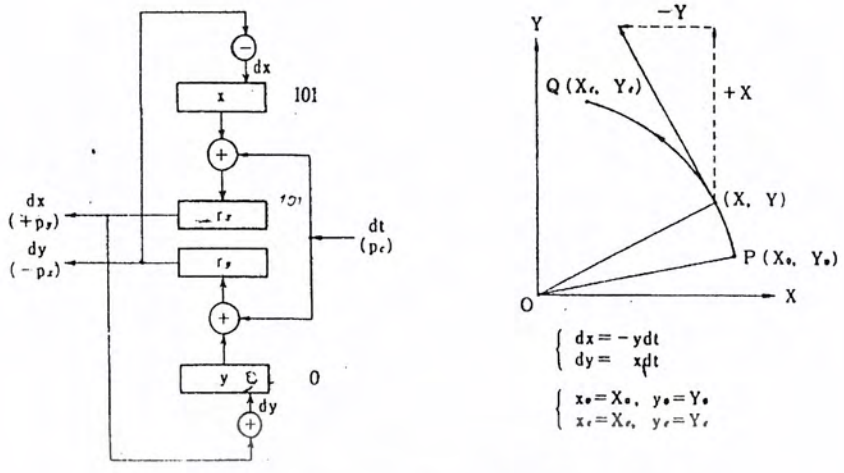
โดยกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขตอนปลายไว้ตามลำดับ ดังนี้

$$\begin{aligned} x_o &= X_o, y_o = Y_o \\ x_e &= X_e, y_e = Y_e \end{aligned} \qquad (2.28)$$

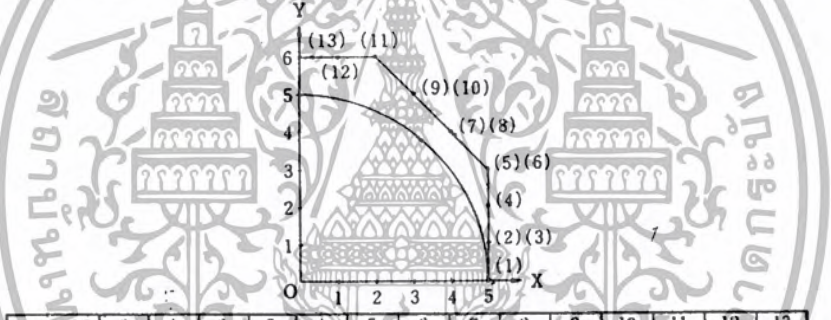
สำหรับค่าของ (X_o, Y_o)และ(X_e, y_e) เป็นคู่ลำดับของจุดเริ่มต้นและจุดปลายของเส้นโค้งรูปวงกลม อันมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด

จากสมการที่ (2.27) สามารถสร้างวงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้งได้โดยประกอบขึ้นจากวงจรพื้นฐาน ซึ่งวงจรอินเตอร์โพเลชั่นนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.20 เนื่องจากองค์ประกอบของเวคเตอร์ที่สัมผัสจุดใดๆ บนเส้นโค้ง (จุด X,Y) นั้นมีค่าเป็น(-Y,X) ดังนั้น สัญญาณ OFP ของ dx จะต้องเป็นพัลซ์คำสั่ง Y ซึ่งกำหนดเป็น p_y และ dy จะเป็นพัลซ์คำสั่ง X ในทิศทางที่เป็นลบ ซึ่งกำหนดเป็น - p_x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง



บวก	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x	101	101	101	101	101	101	101	101	100	100	011	011	010	001
r_x	000	101	010	111	100	001	110	011	111	011	110	001	011	100
$dx(+p_x)$	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
y	000	000	000	001	001	010	011	011	100	100	101	101	110	110
r_y	000	000	000	001	010	100	111	010	110	010	111	100	010	000
$dy(-p_y)$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1

รูปที่ 2.21 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง

ในรูปที่ 2.21 เป็นรูปที่แสดงถึงการทำงานของอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง ซึ่งต้องการอินเตอร์โพเลทเส้นโค้งที่มีจุดเริ่มต้นเป็น(5,0) และจุดปลายเป็น(0,5) ส่วนค่าต่างๆในตารางเป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาของรีจิสเตอร์แต่ละตัว

2.7.3 วิธีคำนวณทางพีชคณิต

ในวิธี DDA นั้น ต้องแก้สมการอนุพันธ์แล้วจึงสร้างพัลซ์คำสั่ง แต่สำหรับวิธีคำนวณทางพีชคณิตตรวจสอบเงื่อนไขแล้วจึงสร้างพัลซ์คำสั่ง ซึ่งวิธีนี้บริษัทฟูยิจึได้คิดค้นมา จากทฤษฎีพื้นฐานจะเห็นว่าไม่สามารถทำอินเตอร์

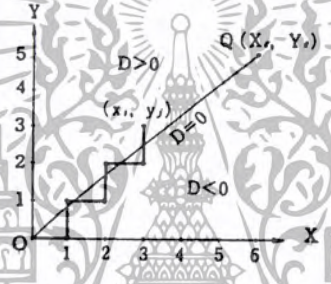
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพเลชั่นในสามมิติได้ แต่ถ้าใช้พิคฟีด (Pick Feed) ในทิศทาง Z แล้วทำการตัดใน 2 มิติซ้ำไปซ้ำมา จะสามารถตัดชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบ 3 มิติได้

นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ได้นำวงจรชดเชยเพื่อคำนวณการชดเชยระยะรัศมีของเครื่องมือตัดไว้ในเครื่อง NC นั่นคือ เวลาเขียนโปรแกรมจะเขียนตามคค่าต่างๆ ของชิ้นงานสำเร็จรูปโดยไม่ต้องให้สัมพันธ์กับค่าระยะรัศมีของมีด แต่ที่ NC เทปนั้นจะต้องให้ข้อมูลดังกล่าวพร้อมคำสั่งที่บ่งถึงการใช้โหมดชดเชยระยะรัศมีของเครื่องมือตัดและทิศทางของออฟเซ็ท เวลาที่จะกำหนดรัศมีของเครื่องมือตัดในการใช้งานจริง จะต้องกำหนดจากปุ่มหมุน(Dial) ที่แผงปฏิบัติงานของเครื่อง NC วิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องสร้างเทป NC ใหม่ถ้าต้องการเปลี่ยนรัศมีของเครื่องมือตัด หรือการใช้รัศมีต่างออกไปของเครื่องมือตัดเพื่อการทำชิ้นงานอื่น ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงต่อการใช้งาน

2.7.3.1 อินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง (Linear Interpolation) กำหนดให้เส้นตรง OQ อยู่ในควอดแรนท์ที่ 1 โดยมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดกำเนิด จุดปลายอยู่ที่ $Q(X_e,Y_e)$ ดังนั้นสมการเส้นตรงจะเป็น

$$X_e \cdot y - Y_e \cdot x = 0$$



รูปที่ 2.22 การอินเตอร์โพเลชันเส้นตรง (พีชคณิต)

ให้จุดใดๆ บนระนาบ X-Y ตามรูปที่ 2.22 นั่นคือคู่ลำดับ (x_i,y_j)แล้ว สมการเพื่อการตัดสินใจจึงเขียนได้เป็น

$$D_{i,j} = X_e \cdot y_j - Y_e \cdot x_i \qquad (2.29)$$

จากสมการนี้ จะใช้เป็นเครื่องตัดสินว่า

ถ้า $D > 0$; (x_i,y_j) อยู่เหนือเส้นตรง OQ

ถ้า $D = 0$; (x_i,y_j) อยู่บนเส้นตรง OQ พอดี

ถ้า $D < 0$; (x_i,y_j) อยู่ใต้เส้นตรง OQ

เริ่มต้นจากจุดกำเนิด ถ้า $D \geq 0$ แล้ว ให้ผลิตสัญญาณคำสั่งพัลซ์ $+p_x$ ซึ่งเป็นคำสั่งของแกน +X ถ้า $D < 0$ แล้ว ให้ผลิตสัญญาณคำสั่งพัลซ์ + p_y ซึ่งเป็นคำสั่งของแกน + Y ในขณะที่พัลซ์ p_x หรือ p_y ถูกผลิตขึ้นมาทุกครั้ง จะมีการพิจารณาเครื่องหมายของสมการเพื่อการตัดสินใจใหม่ $D_{i+1,j}$ หรือ $D_{i,j+1}$ ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงจุดปลาย Q นั่นคือ ถ้ากำหนดให้หน่วยเล็กที่สุดของจุดตัด δ เป็น 1 แล้ว จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $D_{i,j} > 0$; $x_i \rightarrow x_{i+1} = x_i + 1$

ถ้า $D_{i,j} < 0$; $y_j \rightarrow y_{j+1} = y_j + 1$

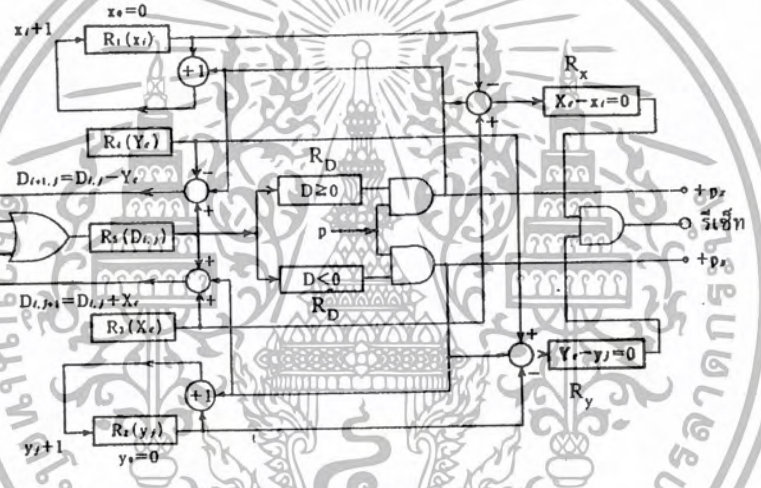
ดังนั้น การคำนวณสมการเพื่อการตัดสินใจใหม่ในแต่ละกรณี คำนวณได้จาก

$$D_{i+1,j} = X_e \cdot y_j - Y_e \cdot (x_i + 1) = D_{i,j} - Y_e$$
$$D_{i+1,j} = X_e \cdot (y_j + 1) - Y_e \cdot x_i = D_{i,j} - X_e$$

โดยมีเงื่อนไขจุดปลายเป็น

$$x_i = X_e \quad ; \quad y_j = Y_e$$

การทำงานของวงจรนี้สามารถ อธิบายได้จากรูป 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง (พีชคณิต)

การทำงานของวงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง มีดังนี้

ในกรณี $D_{i,j} > 0$

ขั้นตอนที่ 1 $(R_3) - (R_1) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_x

พิจารณาค่าสุดท้ายของ $x : X_e - x_i$

ขั้นตอนที่ 2 $(R_1) + 1 \rightarrow R_1$

หาค่า $x_{i+1} = x_i + 1$

ขั้นตอนที่ 3 $(R_5) - (R_4) \rightarrow (R_5)$

คำนวณ $D_{i+1,j} = D_{i,j} - Y_e$

ขั้นตอนที่ 4 $(R_5) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_D

พิจารณาตัดสินเครื่องหมายของ $D_{i+1,j}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ส่งพัลซ์ p_x

ถ้า $(R_x) = 0$, รีเซ็ท

ในกรณี $D_{i,j} < 0$

ขั้นตอนที่ 1 $(R_4) - (R_2) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_y

พิจารณาค่าสุดท้ายของ $y : Y_e - y_i$

ขั้นตอนที่ 2 $(R_2) + 1 \rightarrow R_2$

หาค่า $y_{j+1} = y_j + 1$

ขั้นตอนที่ 3 $(R_5) - (R_3) \rightarrow (R_5)$

คำนวณ $D_{i,j+1} = D_{i,j} - X_e$

ขั้นตอนที่ 4 $(R_5) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_D

พิจารณาตัดสินเครื่องหมายของ $D_{i,j+1}$

ขั้นตอนที่ 5 ส่งพัลซ์ p_x

ถ้า $(R_y) = 0$, รีเซ็ท

2.7.3.2 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (Circular Interpolation) กำหนดให้เส้นโค้ง PQ มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด O จะเริ่มต้นอยู่ที่ $P(X_0, Y_0)$ และจุดปลายอยู่ที่ $Q(X_e, Y_e)$ ซึ่งสามารถเขียนสมการเส้นโค้งได้เป็น

$$x^2 + y^2 = X_o^2 + Y_o^2 = X_e^2 + Y_e^2$$

รูปที่ 2.24 การอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (พีชคณิต)

จากรูปที่ 2.24 พิจารณาที่จุดตัดใดๆ (x_i, y_j)บนระนาบ XY และให้สมการเพื่อการตัดสินใจเป็น

$$D_{i,j} = x_0^2 + y_j^2 - (X_0^2 + Y_0^2)$$

แล้ว จะสามารถ ตัดสินว่าจุด (Xi, Y_j) อยู่ภายนอก บน หรือภายในเส้นโค้งนั้นได้ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $D > 0$; (x_i, y_j) อยู่เหนือเส้นตรง OQ

ถ้า $D = 0$; (x_i, y_j) อยู่บนเส้นตรง OQ พอดี

ถ้า $D < 0$; (x_i, y_j) อยู่ใต้เส้นตรง OQ

จากจุดเริ่มต้น $P(X_0, Y_0)$ ถ้า $D \geq 0$ แล้ว ให้ผลิตคำสั่งพัลซ์ในทิศทางลบของแกน x ซึ่งจะเป็น $- p_x$ และถ้า $D < 0$ แล้วให้ผลิตคำสั่งพัลซ์ในทิศทางบวกของแกน Y ซึ่งจะเป็น $+ p_y$ การสร้างพัลซ์คำสั่ง $- p_x$ หรือ $+ p_y$ ตัวถัดไปนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อได้พิจารณาเครื่องหมายของสมการเพื่อการตัดสินใจใหม่ $D_{i+1,j}$ หรือ $D_{i,j+1}$ แล้ว และจะกระทำซ้ำไปเช่นนี้ จนกว่าจุดตัดจะไปถึงจุดปลาย $Q(X_e, Y_e)$ นั่นคือ

$$\text{ถ้า } D_{i,j} \geq 0 \; ; \; x_i \rightarrow x_{i+1} = x_i - 1$$

$$\text{ถ้า } D_{i,j} < 0 \quad y_j \rightarrow y_{j+1} = y_j + 1$$

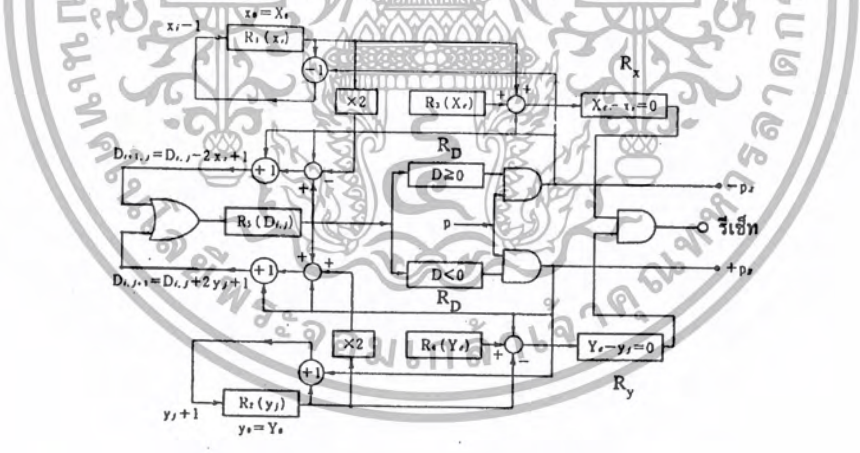
ดังนั้น การคำนวณสมการเพื่อการตัดสินใจใหม่ในแต่ละกรณี คำนวณได้จาก

$$D_{i+1,j} = (x_i - 1)^2 + y_j^2 - (X_0^2 + Y_0^2) = D_{i,j} - 2x_i + 1$$

$$D_{i+1,j} = x_i^2 + (y_j + 1)^2 - (X_0^2 + Y_0^2) = D_{i,j} - 2y_j + 1$$

โดยมีเงื่อนไขจุดปลายเป็น

$x_i = X_e$; $y_j = Y_e$



รูปที่ 2.25 วงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง (พีชคณิต)

การงานของวงจรอินเตอร์โพเลชั่นเส้นโค้ง มีดังนี้

ในกรณี $D_{i,j} > 0$

ขั้นตอนที่ 1 $(R_3) - (R_1) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_x

พิจารณาค่าสุดท้ายของ x : $X_e - x_i$

ขั้นตอนที่ 2 $(R_1) - 1 \rightarrow R_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า $x_{i+1} = x_i - 1$

ขั้นตอนที่ 3 $(R_5) - 2(R_1) + 1 \rightarrow (R_5)$

คำนวณ $D_{i+1,j} = D_{i,j} - 2x_i + 1$

ขั้นตอนที่ 4 $(R_5) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_D

พิจารณาตัดสินเครื่องหมายของ $D_{i+1,j}$

ขั้นตอนที่ 5 ส่งพัลซ์ $-p_x$

ถ้า $(R_x) = 0$, รีเซ็ท

ในกรณี $D_{i,j} < 0$

ขั้นตอนที่ 1 $(R_4) - (R_2) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_y

พิจารณาค่าสุดท้ายของ y : $Y_e - y_i$

ขั้นตอนที่ 2 $(R_2) + 1 \rightarrow R_2$

หาค่า $y_{j+1} = y_j + 1$

ขั้นตอนที่ 3 $(R_5) - 2(R_2) + 1 \rightarrow (R_5)$

คำนวณ $D_{i,j+1} = D_{i,j} + 2y_j + 1$

ขั้นตอนที่ 4 $(R_5) <$ หรือ $> 0 \rightarrow$ รีจิสเตอร์ R_D

พิจารณาตัดสินเครื่องหมายของ $D_{i,j+1}$

ขั้นตอนที่ 5 ส่งพัลซ์ p_y

ถ้า $(R_y) = 0$, รีเซ็ท

2.8 บอลสกรู (Ball Screw)

แนวทางการเลือกบอลสกรูและเทคนิคการคำนวณ

การคำนวณหาประสิทธิภาพและแรงเสียดทาน (Friction and Efficiency)

$$\eta = \frac{1 - \mu \tan \beta}{1 + \mu / \tan \beta} \tag{2.30}$$

$$\eta' = \frac{1 - \mu / \tan \beta}{1 + \mu \tan \beta} \tag{2.31}$$

การคำนวณหาทอก (Load Torque)

$$T = \frac{pL}{2\pi\eta} \tag{2.32}$$

$$P = \frac{2\pi T}{\eta' L} \tag{2.33}$$

T: แรงบิด (daN.cm)

P: ภาระภายนอกในแนวแกน (daN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L: ลีดบอลสกรู (cm)

η : ประสิทธิภาพบอลสกรู (0.9)

การคำนวณหาทอกเนื่องจากแรงเสียดทานเริ่มต้น (Friction torque caused by preloading)

$$T_p = \frac{KP_L L}{2\pi} \tag{2.34}$$

$$\mathrm{K} = 0.05\left(\tan\beta\right)^{-1/2} \tag{2.35}$$

P_L : ภาระนำ (daN)

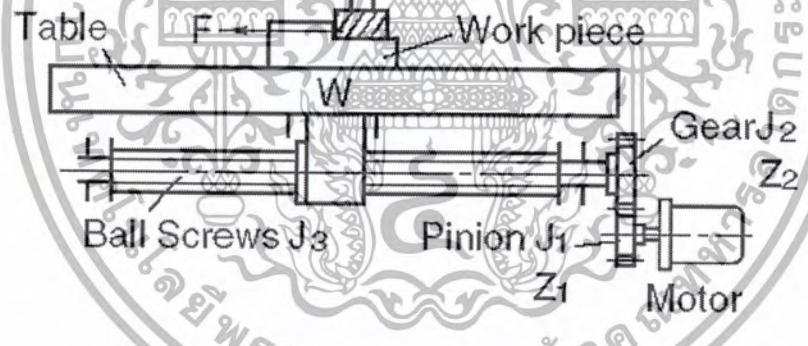
L : ลีดบอลสกรู (cm)

K : สัมปะสิทธิ์ความเสียดทานภายใน

β : มุมลีด ($\tan^{-1}(L/\pi D)$)

D : เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวนอก

การเลือกมอเตอร์ (Selecting Drive Motor)



รูปที่ 2.26 องค์ประกอบในการคำนวณ

$$\mathrm{T}_1 = \left(\frac{PL}{2\pi\eta} + T_p.\frac{\left(3P_L - P\right)}{3P_L}\right)\frac{Z_1}{Z_2} \tag{2.35}$$

$P \leq 3PL$

T_1 : แรงบิดที่ความเร็วคงที่(daN.cm)

P: ภาระภายนอกในแนวแกน (daN)

$P = F + \mu Mg$

F: แรงรุนที่เกิดจากแรงตัด(daN)

M: น้ำหนักของโต๊ะและชิ้นงาน (kg)

μ: สัมปริทธิ์ความเสียดทานบนผิวหน้าสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g: ความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.8×102cm/s2)

L: ลีดบอลสกรู (cm)

η : ประสิทธิภาพทางกลของบอลสกรูหรือเฟือง

TP: Friction torque caused by preloading (daN.cm) Refer to formula.

PL: ภาระนำ (daN)

Z1: จำนวนฟันเฟืองพิเนียน

Z2: จำนวนฟันเฟือง

การคำนวณหาทอกเนื่องจากความเร่ง (Acceleration torque exerted on the motor's output shaft)

$$T_2 = J_M \varpi = J_M \frac{2\pi N}{60t} \times 10^3 \tag{2.36}$$

$$J_M = J_1 + J_4 + \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2 \left\{(J_2 + J_3) + M\left(\frac{L}{2\pi}\right)^2\right\} \tag{2.37}$$

T2: Drive torque in acceleration (daN.cm)

ϖ : ความเร่งเชิงมุมของเพลามอเตอร์ (rad/s2)

N: จำนวนรอบของเพลามอเตอร์(r/min)

t: ความเร็วไดเนมาติก (s)

JM: โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์ (kg.cm2)

J_1 : โมเมนต์ความเฉื่อยของเฟืองพิเนียน (kg.cm2)

J_2 : โมเมนต์ความเฉื่อยของเฟือง (kg.cm2)

J_3 : โมเมนต์ความเฉื่อยของบอลสกรู (kg.cm2)

J_4 : โมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์มอเตอร์ (kg.cm2)

M: น้ำหนักของโต๊ะและชิ้นงาน (kg)

L: ลีดบอลสกรู (cm)

การคำนวณหาโมเมนต์อินเนอเชียร์

$$J = \frac{\pi\gamma}{32} D^4 l \tag{2.38}$$

D: เส้นผ่านศูนย์กลางนอกของทรงกระบอก (cm)

l : ความยาวของทรงกระบอก (cm)

γ : ความหนาแน่นวัสดุ = 7.8×10^{-3} (kg/cm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาทอกรวมทั้งหมดที่กระทำกับมอเตอร์ **(Overall torque exerted on the motor's output shaft)**

$$T_M = T_1 + T_2 = \left(\frac{PL}{2\pi\eta} + T_P \frac{(3P_L - P)}{3P_L} \right) \frac{Z_1}{Z_2} + J_M \frac{2\pi N}{60t} \times 10^{-3} \quad (2.39)$$

T_M : แรงบิดทั้งหมดที่กระทำบนเพลาของมอเตอร์ (daN.cm)

T_1 : แรงบิดที่ความเร็วคงที่ (daN.cm)

T_2 : แรงบิดในความเร่ง (daN.cm)

2.9 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ (Computer Interface)

พอร์ต

พอร์ต เป็นช่องทางซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถใช้ติดต่อสื่อสารกับโลกภายนอกได้ เครื่องพีซีสามารถที่จะติดตั้งพอร์ตได้สองแบบ คือ แบบขนาน และแบบอนุกรม เป็นการเชื่อมต่อทางกายภาพกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องจักร

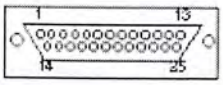
พอร์ตขนาน

ที่เรียกเช่นนี้เพราะว่ามีการรับส่งข้อมูลในลักษณะขนาน 8 บิต (1 ไบต์) ในครั้งหนึ่งการเชื่อมต่อพอร์ตขนานจะประกอบด้วยคอนเนคเตอร์ 25 เข็มรูปตัว D (25-pin-D-shell connector) (เรียกตามรูปร่าง) ประกอบด้วยสายข้อมูล 8 เส้น สายควบคุม 9 เส้น และสายดิน 8 เส้น แสดงดังรูปที่ 27 พอร์ตขนานสามารถใช้งานได้ทั้งส่งและรับข้อมูล

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งแอดเดรส I/O ที่สำรองสำหรับพอร์ตขนาน

Printer	Data Port	Status	Control
LPT1	0x03bc	0x03bd	0x03be
LPT2	0x0378	0x0379	0x037a
LPT3	0x0278	0x0279	0x027a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



View is looking at
Connector side of
DB-25 Male Connector.

Pin	Description	
1	Strobe	PC Output
2	Data 0	PC Output
3	Data 1	PC Output
4	Data 2	PC Output
5	Data 3	PC Output
6	Data 4	PC Output
7	Data 5	PC Output
8	Data 6	PC Output
9	Data 7	PC Output
10	ACK	PC Input
11	Busy	PC Input
12	Paper Empty	PC Input
13	Select	PC Input
14	Auto Feed	PC Output
15	Error	PC Input
16	Initialize Printer	PC Output
17	Select Input	PC Output

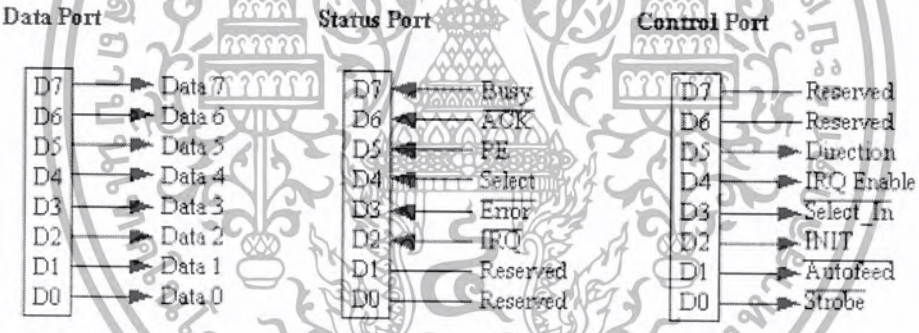
Pin Assignments

Note: 8 Data Outputs
4 Misc Other Outputs

5 Data Inputs

Note: Pins 18-25 are
Ground

รูปที่ 2.27 หน้าที่ของแต่ละพิน



รูปที่ 2.28 การเข้าถึงข้อมูลระดับบิตและการทำงาน

การโปรแกรมพอร์ตขนาน

การโปรแกรมพอร์ตขนานสามารถทำได้ 4 ระดับ ระดับสูงสุดซึ่งมักจะเป็นการเริ่มต้นที่ดีที่สุด คือ การใช้คำสั่งเครื่องพิมพ์ที่เป็นส่วนของภาษาระดับสูง การที่โปรแกรมต้องการทำหน้าที่ฟังก์ชันนอกเหนือจากคำสั่งเหล่านี้ เป็นสภาพที่ผิดปกติสำหรับโปรแกรม และต้องการฟังก์ชันเพิ่มเติมจากคำสั่งต่างๆ ที่จัดไว้ให้แล้ว ยังเพิ่มข้อดีของความคล่องตัว และความเข้ากันได้กับการเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์ หรือ ซอฟต์แวร์ในอนาคตด้วย

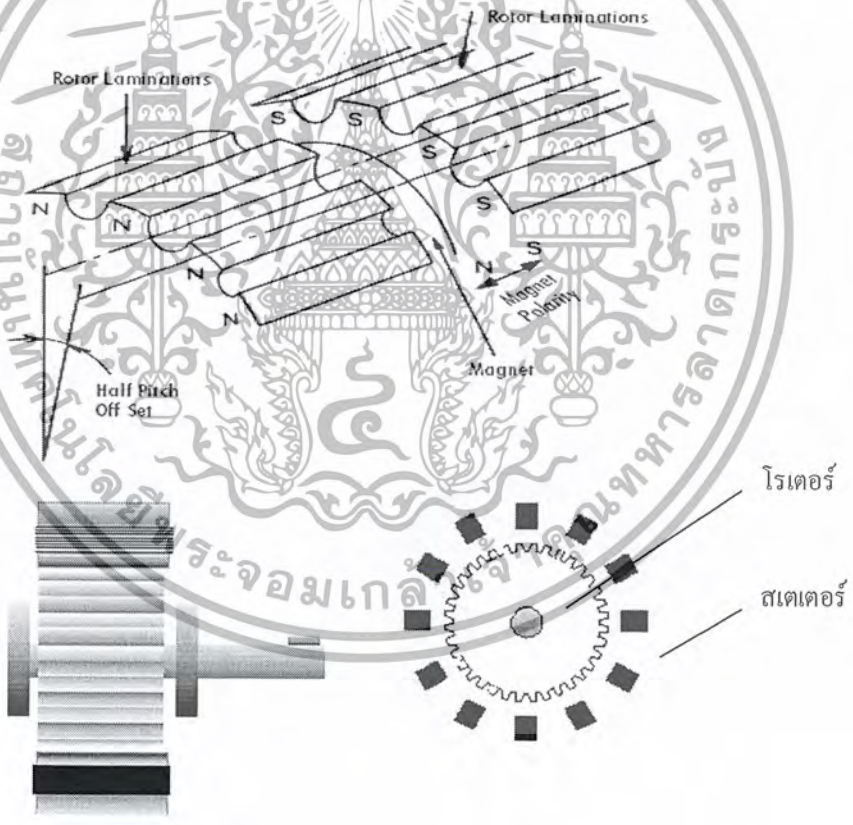
ระดับถัดมา คือ การใช้บริการของเอ็มเอสดอส สามารถส่งสตริงอักขระหลายตัวไปยัง LPT1 โดยทำการเรียกหนึ่งครั้งไปยังฟังก์ชัน 40H ของอินเทอร์รัพท์ 21H แล้วใช้ค่าแฮนเดิล 4 ซึ่งเป็นค่าแฮนเดิลของเอ็มเอสดอสสำหรับ LPT 1 ในการใช้ฟังก์ชันนี้เพื่อส่งข้อมูลไปยังพอร์ตของเครื่องพิมพ์ ใช้อินเทอร์รัพท์ 21H ฟังก์ชัน 3DH เพื่อเปิดพอร์ตที่ต้องการ (LPT2 หรือ LPT3) ให้เป็นอุปกรณ์ จากนั้นผ่านแฮนเดิลของอุปกรณ์ของพอร์ต เมื่อเรียกอินเทอร์รัพท์ 21H ฟังก์ชัน 40H ส่งอักขระเดี่ยวสู่ LPT1 โดยการใช้อินเทอร์รัพท์ 21H ฟังก์ชัน 05H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับต่ำสุดของการทำโปรแกรมพอร์ตขนาน คือ การโปรแกรมฮาร์ดแวร์โดยตรง โดยการเขียนและอ่านพอร์ต I/O ร่วมกับพอร์ตเครื่องพิมพ์เฉพาะ สามารถส่งข้อมูล ตรวจสอบสถานภาพพอร์ต และอื่นก็ได้ การโปรแกรมฮาร์ดแวร์โดยตรงไม่มีความจำเป็นสำหรับการส่งข้อมูลสู่เครื่องพิมพ์ บริการต่างๆ ของไบออสจะจัดหาหน้าที่ทั้งหมดที่ต้องการให้ได้ การโปรแกรมฮาร์ดแวร์โดยตรงยังต้องการใช้สำหรับงานพิเศษระดับสูงๆ เช่น การใช้พอร์ตขนานสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลสองทิศทาง (Bidirectional data transfer) ระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่อง

2.10 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณพัลซ์เชิงไฟฟ้าไปอยู่ในรูปของการตอบสนองเชิงกล เนื่องจากมอเตอร์นี้รับอินพุทเป็นแบบดิจิตอล จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานในระเบียบที่ต้องการขับเคลื่อนที่ละเอียดสำหรับสัญญาณพัลซ์คำสั่งแต่ละพัลซ์ อย่างไรก็ตามสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะมีขอบเขตจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ นั้นคือ นำไปใช้ในกรณีที่ต้องการเอาท์พุทแรงบิดต่ำ สำหรับ NC แล้วระบบอิเล็กตรอไฮดรอลิค (Electrohydraulic) ที่ประกอบด้วยสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ควบคุมเครื่องขยายกำลังไฮดรอลิค จะให้แรงบิดเอาท์พุทที่สูงได้



รูปที่ 2.29 หน้าตัดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

ในรูปที่ 2.29 เป็นรูปหน้าตัดของเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบรีลัคแทนซ์แปร (variable reluctance) โรเตอร์หลายขั้วแบบเฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic) จะเคลื่อนที่อยู่ภายในสนามแม่เหล็กที่ถูกผลิตขึ้นโดยสเตเตอร์ที่พันรอบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อขั้วของสเตเตอร์ถูกกระตุ้น โรเตอร์จะหมุนไปสู่ตำแหน่งสมดุลคงตัวที่สอดคล้องกับวงจรแม่เหล็กของค่ารีลัคแทนซ์ต่ำสุด นั่นคือ ขั้วของโรเตอร์จะจัดตัวเองหันเข้าหาสเตเตอร์ตัวที่ถูกกระตุ้น ในขณะที่ขั้วของสเตเตอร์ถูกกระตุ้นตามลำดับนั้น โรเตอร์จะหมุนไปเป็นสเต็ปเชิงมุม ในขณะที่ความสมดุลยังคงถูกรักษาอยู่ จำนวนตำแหน่งเชิงมุมสามารถจะเพิ่มเป็นสองเท่าได้ ถ้าขั้วสองขั้วของโรเตอร์ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ในกรณีนี้ตำแหน่งสมดุลจะอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองของสเตเตอร์

2.10.1 การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมมอเตอร์ทั่วๆไปซึ่งจะหมุนทันทีและตลอดเวลา สเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถกำหนดการหมุนอย่างละเอียดโดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

สเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถใช้งานในระบบเปิด (Open loop system) นั่นก็คือมันทำงานได้โดยไม่ต้องการการป้อนกลับ (Feed back) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งอย่างถูกต้องจำเป็นที่ต้องการการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้

รูปที่ 2.30 (ก) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดภายในเพื่อกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็ก 1 ขั้ว ในทิศทางตรงกันข้ามส่วนขดลวดอื่นๆจะไม่ถูกกระตุ้นเลย

(ข)การต่อวงจรขดลวดแบบกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กัน ทำให้โรเตอร์เคลื่อนมาอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมา แต่ละซี่เหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ ดังนั้นเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ขึ้นด้านตรงข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกัน แต่ว่าจะไหลวนในทิศตรงข้ามขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.30 (ก) ดังนั้น ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงรอบมากขึ้นตามไปด้วย หรือทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็กสองขั้วที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลางของเหล็ก 2 ขั้วแม่เหล็กหรือเคลื่อนที่ไปครึ่งสเต็ป (Half step) เท่านั้น และยังทำให้เกิดแรงบิดมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.30(ข)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยทั่วไปมีจำนวนของขั้วแม่เหล็กหรือจำนวนสเต็ปต่อรอบอยู่ที่ประมาณ 100-400 สเต็ปต่อรอบ การมีจำนวนสเต็ปมากๆนี้ไม่ได้เพิ่มที่จำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ แต่ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนซี่ขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ จำนวนสเต็ปต่อรอบทั้งหมดจะได้จากการคูณจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และจำนวนซี่ที่โรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์มอเตอร์แบ่งตามพื้นฐานได้เป็น 3 ชนิด คือ

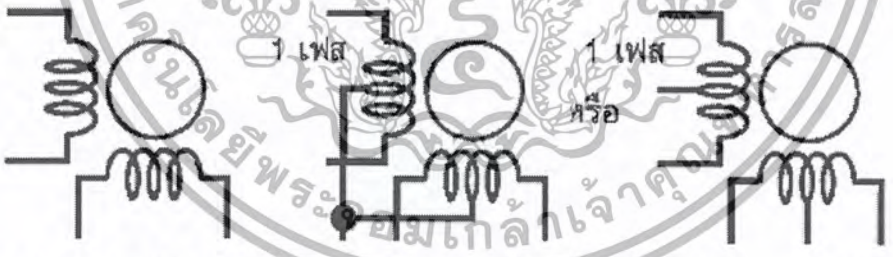
- วาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable reluctance: VR)
- เพอร์มาเนนต์ แมกเน็ต (Permanent magnet: PM)
- ไฮบริด (Hybrid)

1. วาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable reluctance: VR) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบมัลติทูธทำจากเหล็กอ่อน เราจะทราบได้ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้โดยการทดสอบได้ง่ายมากคือใช้นิ้วหมุนเพลาของมอเตอร์และสังเกตมอเตอร์ชนิดนี้ที่โรเตอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กมันจึงหมุนตลอดเวลา โดยไม่ติดขัดแตกต่างชนิด PM และชนิดไฮบริดซึ่งมีสนามเหล็กที่โรเตอร์เมื่อหมุนจะรู้สึกขัดๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีจุดด้อยในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่งและทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง

2. เพอร์มาเนนต์ แมกเน็ต (Permanent Magnet: PM) มีโครงสร้างแบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็กและบนโรเตอร์จะเป็นแบบเหล็กถาวร การควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟสจะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยล์พันอยู่แยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดแรงยึดหน่วงขึ้น สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่ง และความเร็วมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น

3. ไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โครงสร้างภายในซึ่งได้จากการรวมเอาโครงสร้างของสเตเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ และโครงสร้างของโรเตอร์จากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมาประกอบเข้าด้วยกันจึงทำให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีแรงยึดหน่วงสูง มีแรงบิดดึงและผลักได้ดีซึ่งมีความคงทีต่อรอบในการหมุนสูง

การพันขดลวดหรือคอยล์บนสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีอยู่ 2 วิธี คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบยูนิโพลาร์ ดังในรูปที่ 2.31

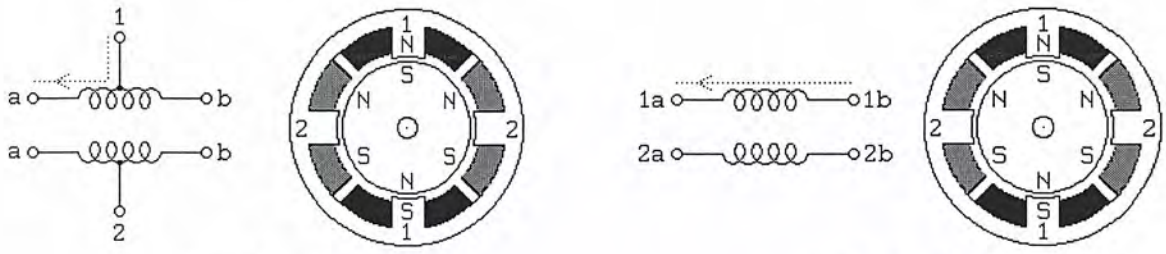


แบบ 2 เฟส 4 สาย (ไบโพลาร์) แบบ 2 เฟส 4 สาย(ยูนิโพลาร์) แบบ 2 เฟส 4 สาย(ยูนิโพลาร์)

รูปที่ 2.31 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์มีการพันขดลวด 1 ขด บนแต่ละขั้วของแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งการกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าทำได้โดยการใช้วงจรสวิตชิ่งกลับขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ยูนิโพลาร์ (ข) ไบโพลาร์

รูปที่ 2.32 การจ่ายกำลังไฟฟ้ากับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้ง 2 แบบ

สำหรับยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาทำได้โดยการสวิตชิ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่งแทนเท่านั้น โดยปกติขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะมันต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการปิดและเปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที รูปที่ 2.32 แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตชิ่งให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่าในแบบของยูนิโพลาร์เป็นวงจรที่ง่ายและไม่มีความซับซ้อนเลย การพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์ก็มีจุดด้อยตรงที่การพันแบบนี้จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์เพราะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานเท่านั้นในระยะเวลาหนึ่ง

2.10.3 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วยการแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (Wave), แบบสองเฟส (Two phase) และแบบครึ่งสเต็ป (Half step) ทั้ง 3 แบบต่างก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป

2.10.3.1 แบบเต็มคลื่นลูกเดียว (Single phase full step) แบบเวฟเป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป เช่น 1, 2,3,4,1 หรือ 1, 4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3.2 แบบเต็มคลื่นสอง เฟส (Two phase full step) แบบ 2 เฟส เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับเวฟ แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวดสองขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับเวฟ คือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12 23 34 41 12 หรือ 14 43 32 21 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียก็คือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.10.3.3 ครึ่งสเต็ป (Half step) แบบครึ่งสเต็ปเป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1 12 2 23 3 34 4 41 1 หรือ 1 14 4 43 3 32 2 21 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นและแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงได้เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มเหมือนกับในการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบกบแบบ 2 เฟสจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
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

2.10.4 การคำนวณโหลดของสเตปเปอร์มอเตอร์ (Step Motor Load Calculations and Selection)

การเลือกสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่เหมาะสมควรมีเงื่อนไขพิจารณาดังนี้

1. โหลด (Load Condition)

ก) แรงเสียดทาน (Friction Load)

ข) โหลดเริ่มต้นเนื่องจากความเฉื่อย (Load Inertia)

2 . โหลดเนื่องจากการเคลื่อนที่ (Dynamic Load Condition)

ก) วงจรขับ (Drive Circuit)

ข) ความเร็ว (Maximum Speed (PPS/Frequency))

ค) ความเร่ง (Acceleration/Deceleration Pattern)

โหลดเริ่มต้นเนื่องจากความเฉื่อย (Load Inertia)

$$J = \frac{1}{8} M\left(D_1^2 + D_2^2\right) \text{ (kg-cm2)} \tag{2.40}$$

M: มวลของพูลเลย์ (kg)

D_1 : เส้นผ่านศูนย์กลางนอก (cm)

D_2 : เส้นผ่านศูนย์กลางรูใน (cm)

ระบบเชิงเส้นนั้นมีความสำพันธ์กับระบบการหมุนในสมการพลังงาน

$$Energy = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} JW^2 \tag{2.41}$$

M: มวล

v: อัตราความเร็ว

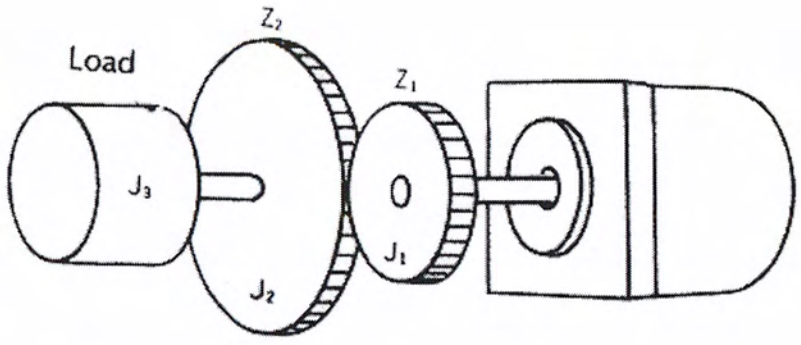
J: ความเฉื่อย

w: อัตราความเร็วเชิงมุม

กรณีขับเคลื่อนด้วยระบบของเกียร์ (Gear drive system)

เมื่อเกียร์ใช้ในการส่งถ่ายกำลัง ความเฉื่อยที่เกิดจากเกียร์คำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 องค์ประกอบการคำนวณของเกียร์

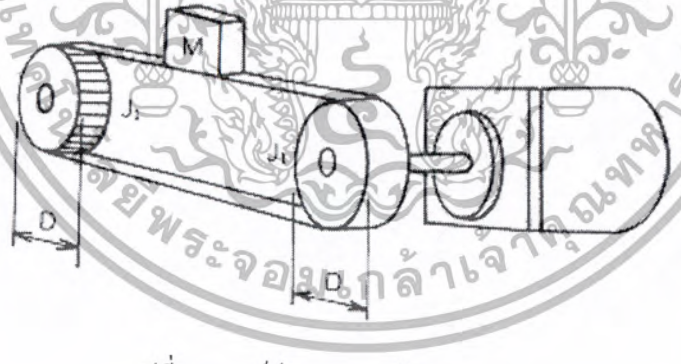
$$J = \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2 (J_2 + J_3) + J_1 \qquad (2.42)$$

Z_1, Z_2 : จำนวนฟันเฟือง

J_1, J_2, J_3 : ความเฉื่อย (kg-cm^2)

J: reflected inertia, (kg-cm^2)

กรณีขับเคลื่อนด้วยระบบสายพานหรือพูเล่ห์ (Pulley & belt system)



รูปที่ 2.34 องค์ประกอบการคำนวณสายพาน

$$J = 2J_1 + \frac{1}{4}MD_2 \qquad (2.43)$$

J: Total inertia reflected to motor

J_1 : ความเฉื่อยของพูลเลย์ (kg-cm2)

D: เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ (cm2)

M: น้ำหนักของวัสดุหรือภาระ (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาโหลดเนื่องจากความเร่ง (Determination of load acceleration/deceleration pattern)

การคำนวณหาโหลด

การหาโหลดที่ต้องการในการขับเคลื่อนหาได้จากสมการ

$$T_M = T_f + T_j \tag{2.44}$$

T_M : แรงบิดเนื่องจากการดึง (kgf-cm)

T_f : ความเสียดทานแรงบิด (kgf-cm)

T_j : ภาระความเฉื่อย (kgf-cm)

$$J_j = \left(\frac{J_R + J_L}{g}\right)\left(\frac{\pi\theta S}{180}\right)\frac{df}{dt} \tag{2.45}$$

J_R : ความเฉื่อนของโรเตอร์[kg-cm^2]

J_l : ความเฉื่อยของภาระ [kg-cm^2]

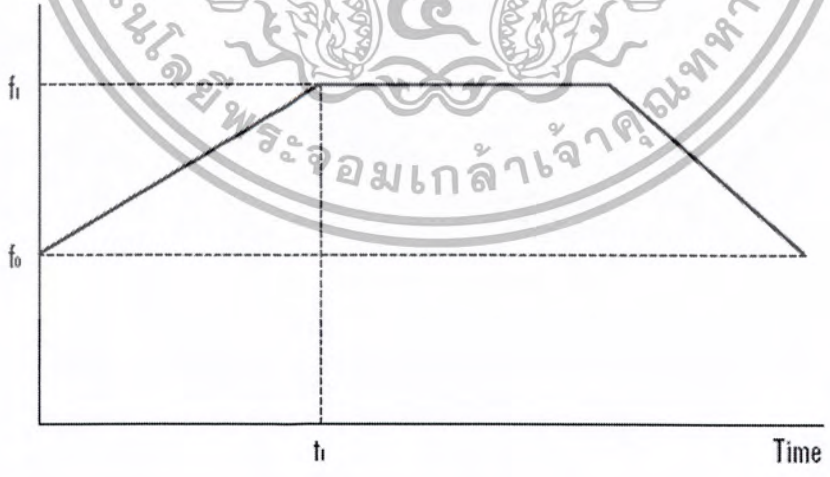
θ : มุมสเต็ป [deg]

g : ความเร่งของแรงโน้มถ่วงโลก = 980 [cm/sec^2]

f : ความถี่ในการขับ [PPS]

อัตราเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration)

สำหรับอัตราเร่งเชิงสั้นแสดงดังรูปที่ และ Frequency f(t), Inertial system frequency fj(t) และ Inertia load (Tj)



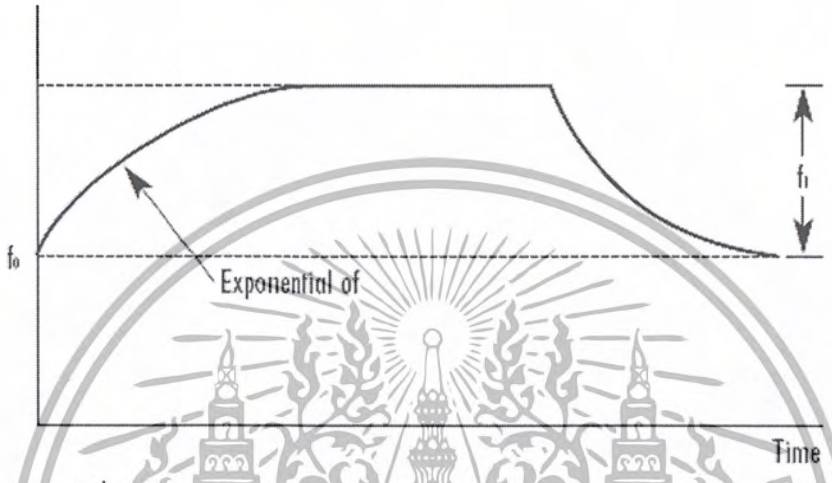
รูปที่ 2.35 ความเร่งเชิงเส้นตรง (Linear Acceleration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_t = \frac{(f_1 + f_0)}{f_1} \cdot t + f_0 \quad (2.46)$$

$$J_j = \left(\frac{J_R + J_L}{g}\right)\left(\frac{\pi\theta S}{180}\right)\frac{(f_1 + f_0)}{t_1} \quad (2.47)$$

อัตราเร่งแบบเอ็คซ์โพเนนเชียล (Exponential Acceleration)



รูปที่ 2.36 ความเร่งเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Acceleration)

$$f_t = f_1 \cdot \left(1 - e^{-(t/\tau)}\right) + f_0 \quad (2.48)$$

$$J_j = \left(\frac{J_R + J_L}{g}\right)\left(\frac{\pi\theta S}{180}\right)\frac{f_1}{\tau \cdot e^{-(t/\tau)}} \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

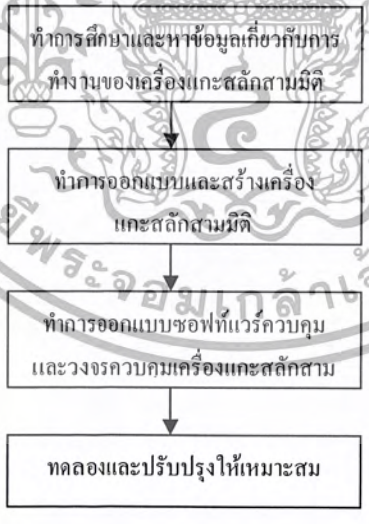
แผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของโครงการ
2. วางแผนการทำงาน
3. ศึกษาหาข้อมูล
4. ออกแบบด้านฮาร์ดแวร์
5. ออกแบบด้านซอฟท์แวร์
6. จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างฮาร์ดแวร์
7. ดำเนินการสร้างฮาร์ดแวร์
8. ดำเนินการด้านซอฟท์แวร์
9. ดำเนินการด้านวงจรควบคุมการทำงาน
10. ทดลองและสรุปผลการทำงาน

สามารถเขียนเป็นการไหลของงานโดยรวมได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

แผนการทำงานในการดำเนินการของเครื่องแกะสลักสามมิติ แบ่งออกได้เป็นสามส่วน คือ การหาวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ ด้านฮาร์ดแวร์ และด้านซอฟท์แวร์ โดยที่ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงการออกแบบระบบวงจรควบคุมการทำงาน และการอินเตอร์เฟสด้วย เพื่อสะดวกในการทำงาน ได้มีการทำงานเป็นแผนภูมิเพื่อง่ายต่อความเข้าใจ

ด้านวัสดุและอุปกรณ์ วัสดุและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา การจัดซื้อ การสร้าง (ส่วนที่ไม่ได้ทำการซื้อ)และการนำอุปกรณ์ที่ได้มาสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ

ด้านฮาร์ดแวร์ แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา การออกแบบ การปรับปรุงและตัดสินใจเลือกแบบ การจัดซื้ออุปกรณ์ และการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติ และรวมไปถึงการต่อวงจรควบคุมการทำงานและวงจรอินเตอร์เฟสด้วย

ด้านซอร์ฟแวร์ แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา การออกแบบ การสร้างรูปแบบของโปรแกรม การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม และการทดลองโปรแกรมกับเครื่องแกะสลักสามมิติ

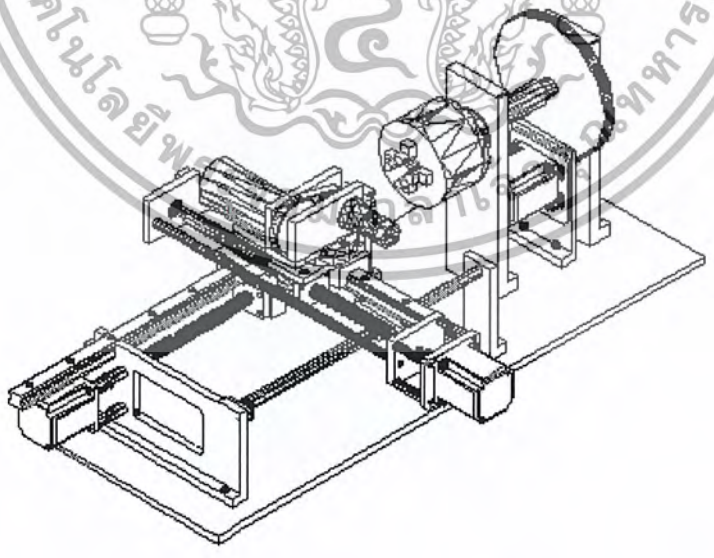
3.2 การออกแบบ และส่วนประกอบ

3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ มีขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาและหาข้อมูลการทำงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ
2. ศึกษาและคำนวณจากทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบและสร้าง
4. ทดลองและปรับปรุง

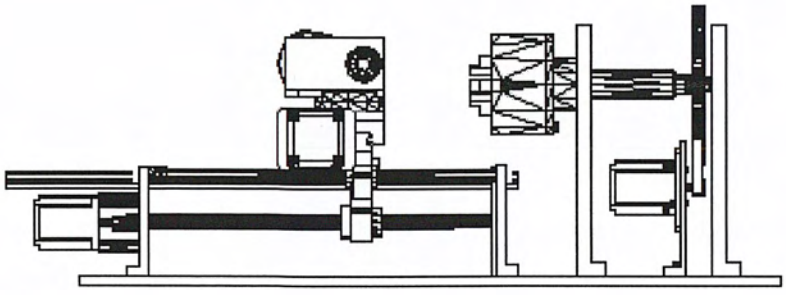
3.2.2 การออกแบบโครงสร้างหลัก

จากการออกแบบโครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติโดยรวมสามารถออกแบบได้ ดังรูปที่ 3.2

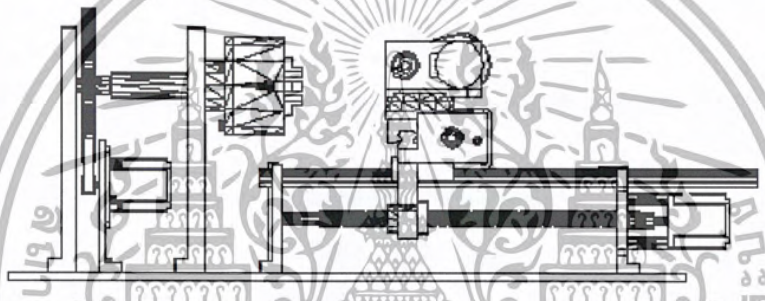


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ

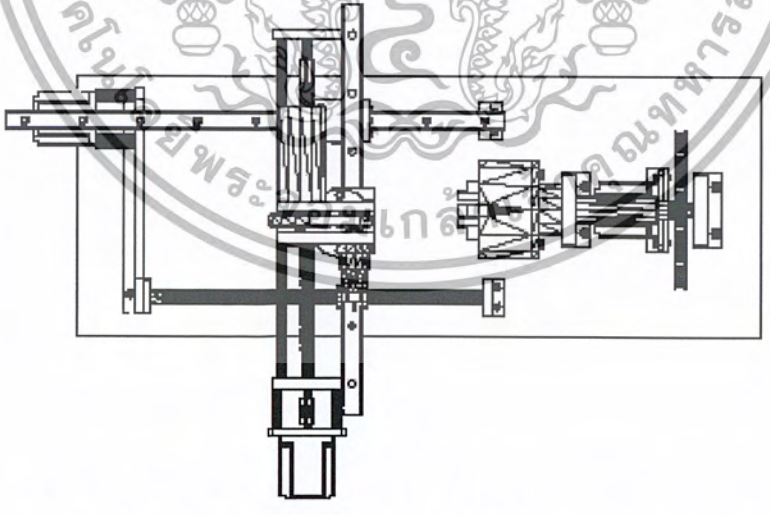
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านหน้า)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านหลัง)

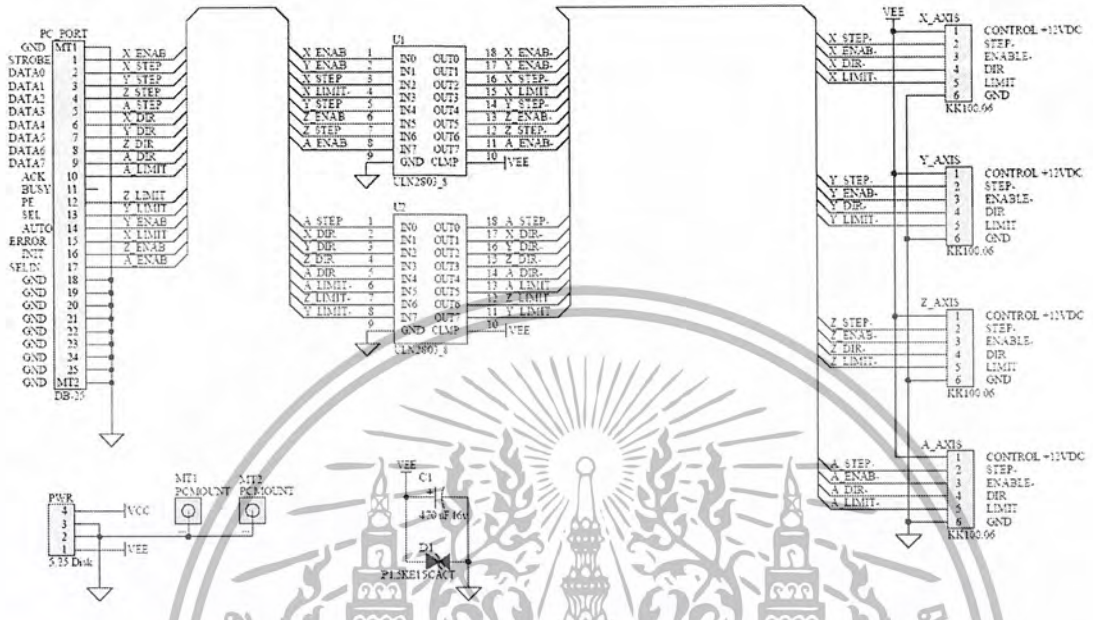


รูปที่ 3.5 โครงสร้างของเครื่องแกะสลักสามมิติที่ได้ออกแบบ (ภาพด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรชุดเชื่อมต่อในการควบคุม

ส่วนประกอบหลักของชุดเชื่อมต่อคือ ULN 2803 ซึ่งเป็นตัวป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้าเข้าพอร์ตคอมพิวเตอร์ และเป็นตัวปรับเปลี่ยนระดับแรงดัน

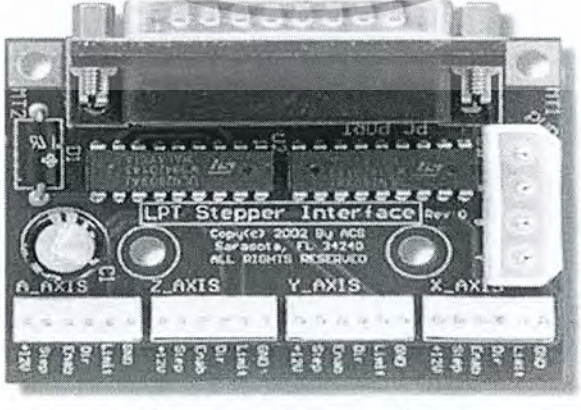


รูปที่ 3.6 วงจรสมบูรณ์ของชุดเชื่อมต่อ

รายละเอียดของการเชื่อมต่อในการใช้งาน

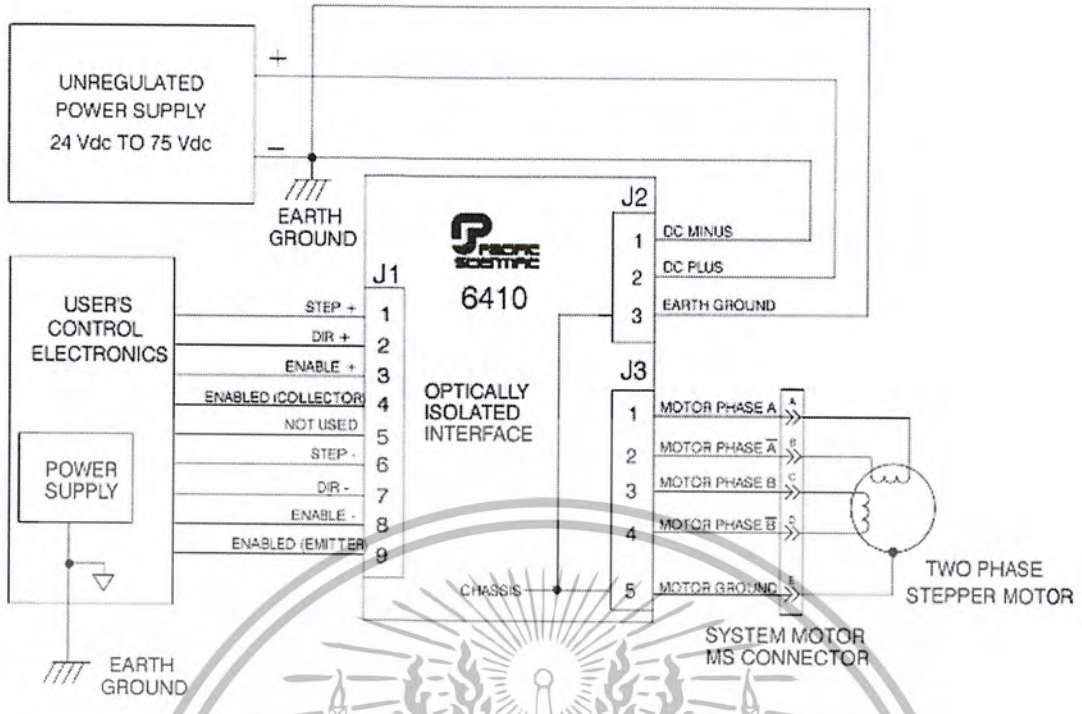
#1 - X Enable/Disable	#7 - Y Direction	#13 - Y Limit Input
#2 - X Step	#8 - Z Direction	#14 - Y Enable/Disable
#3 - Y Step	#9 - A Direction	#15 - X Limit Input
#4 - Z Step	#10- A Limit Input	#16 - Z Enable/Disable
#5 - A Step	#11- No Connection	#17 - A Enable/Disable
#6 - X Direction	#12- Z Limit Input	#18 - #25 - Ground

อุปกรณ์ชุดเชื่อมต่อในการควบคุม



รูปที่ 3.7 รายละเอียดของชุดเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้ง **Drive Motor**

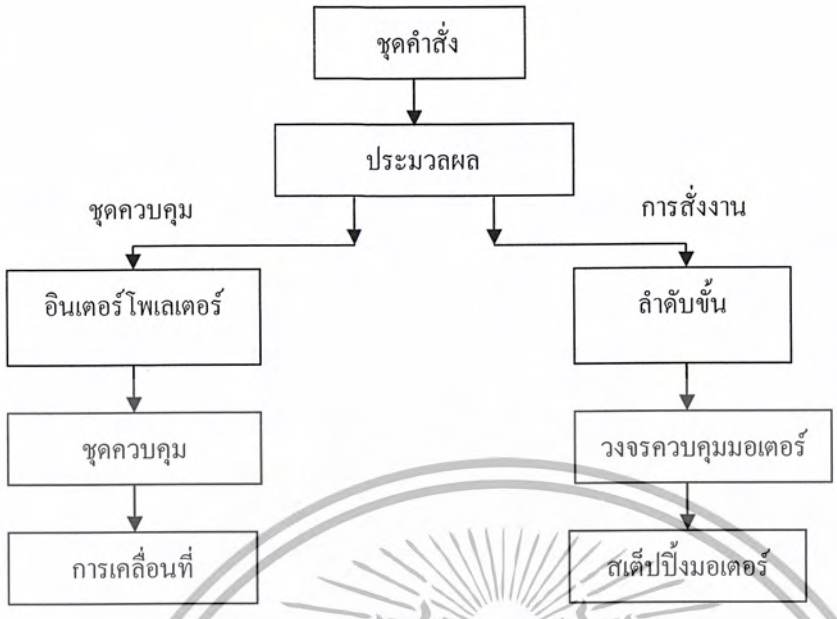
3.2.4 การออกแบบซอฟท์แวร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโปรแกรมที่ใช้งานในการสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติ
3. ออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติ
4. ทดลองและประเมินผล

ในการเขียนโปรแกรมการทำงานเพื่อควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติ จะใช้โปรแกรมวิชวลเบสิค เวอร์ชัน6.0 ในการเขียนโดยโปรแกรมจำการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่แกน X แกน Y และที่หัวจับชิ้นงาน โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านพอร์ตปริ้นเตอร์ของคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เครื่องแกะสลักสามมิติเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ตามต้องการ

จากการศึกษาระบบการทำงาน และอุปกรณ์ที่จำเป็นในการควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติ ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติ ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 หลักการทำงานชุดควบคุมของเครื่องแกะสลักสามมิติ

กลุ่มคำ (NC word) ที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของชุดโปรแกรม

N...: ตัวเลขแสดงลำดับการทำงาน (Block sequence number)

G...: ฟังก์ชั่นการดำเนินการ (Preparatory function)

X...: มิติการเคลื่อนที่หลักของแกน X (Primary X motion dimension)

Z...: มิติการเคลื่อนที่หลักของแกน Z (Primary Z motion dimension)

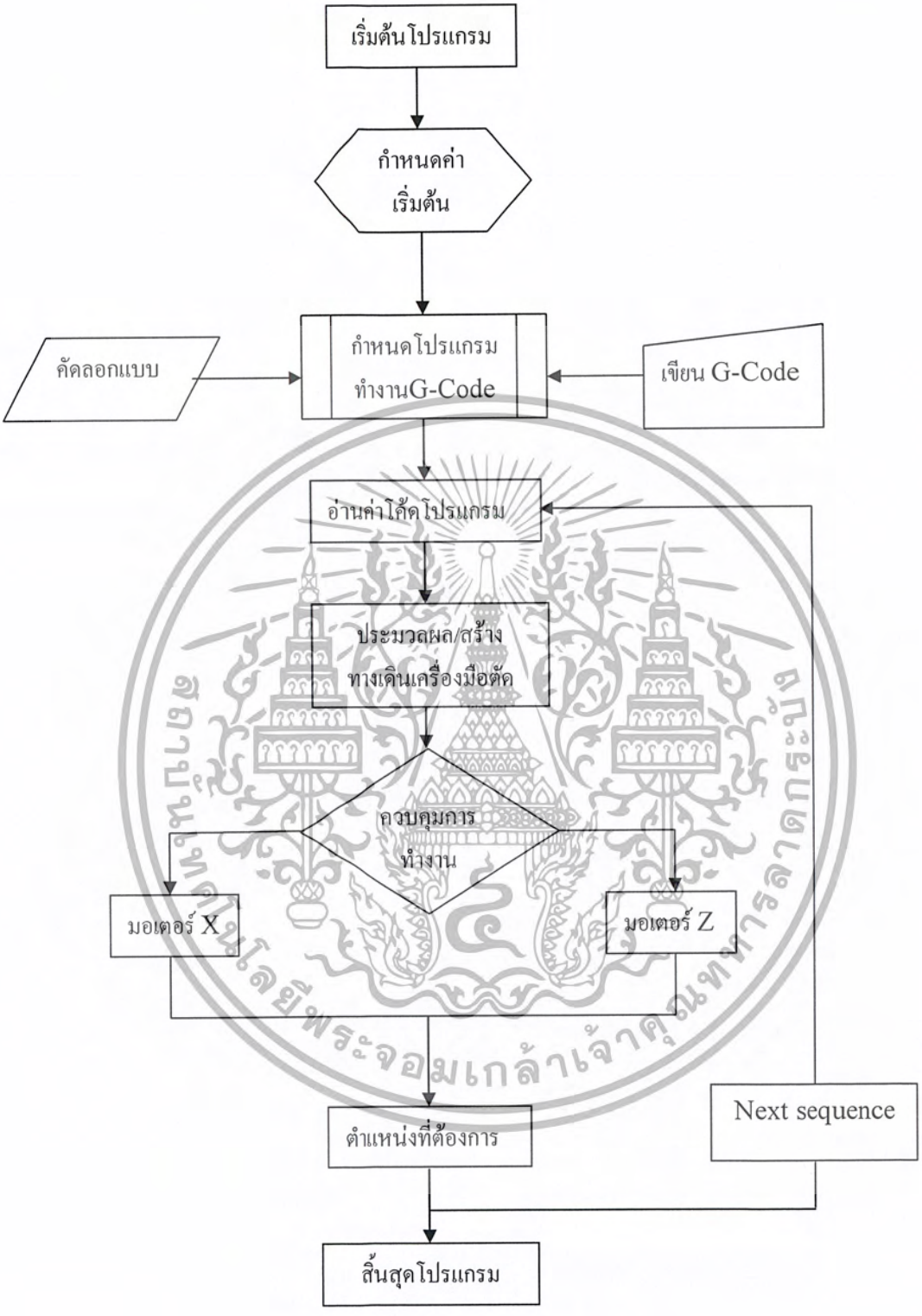
I...: พารามิเตอร์ในการอินเตอร์โพเลชันที่ขนานกับแกน X (Interpolation parameter parallel X)

K...: พารามิเตอร์ในการอินเตอร์โพเลชันที่ขนานกับแกน Z (Interpolation parameter parallel Z)

F...: อัตราป้อน (Feed word)

S...: แกนหมุนชิ้นงาน (Spindle speed word)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 หลักการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 รายละเอียดการทำงาน

การทำงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ

การทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายเป็นส่วนหลักๆดังนี้

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นซึ่งเป็นการป้อนอินพุตให้กับโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้และเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพควรศึกษารายละเอียดของเครื่องก่อนซึ่งประกอบไปด้วย การกำหนดศูนย์อ้างอิงของชิ้นงาน ค่าอัตราการป้อน ค่าความเร็วรอบ เป็นต้น

2. การกำหนดโปรแกรมเพื่อการทำงาน เป็นการป้อนโค้ดให้กับโปรแกรมซึ่งสามารถกระทำได้สองวิธี คือ การเขียน G-Code ขึ้นเอง และได้จากการคัดลอกแบบซึ่งการคัดลอกแบบนี้เป็นการแปลงพื้นผิวของชิ้นงานให้เป็นโค้ดโดยการนำหัวอ่านไปสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงานต้นแบบแล้วเลื่อนสัมผัสชิ้นงานจนทั่วพื้นผิวชิ้นงานค่าความละเอียดที่อ่านได้นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดในการเคลื่อนที่ของเครื่อง ซึ่งระหว่างการสัมผัสชิ้นงานนั้นโปรแกรมก็จะทำการเก็บค่าตำแหน่งของชิ้นงานไว้แล้วนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นโค้ด

3. การอ่านค่าโค้ดโปรแกรม ขั้นตอนการอ่านค่าตลอดจนการเก็บค่าเพื่อการคำนวณต่างๆจะใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งหลักการอ่านค่าจะเป็นการคัดลอกค่าข้อมูลบรรทัดต่อบรรทัดแล้วนำค่าในบรรทัดนั้นไปสแกนหาค่าที่ต้องการซึ่งรูปแบบของบรรทัดก็จะเป็นลักษณะเฉพาะตามผู้ออกแบบไว้ ฉะนั้นการเขียนโปรแกรมก็ต้องสอดคล้องกัน

4. การประมวลผลและสร้างทางเดินของเครื่องมือตัด การทำงานในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณหาตำแหน่งและระยะทางในการเคลื่อนที่ไปตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งจะใช้สูตรทางคณิตสาสตร์ในการคำนวณ (Interpolation) ที่ได้กล่าวไว้แล้วในทฤษฎีและการคำนวณในบทที่ 2

5. ส่วนการควบคุมการทำงานนั้นจะเป็นชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Drive Motor) ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ซึ่งชุดควบคุมนี้จะรับอินพุตจากคอมพิวเตอร์ (Parallel Port) ที่เป็นตัวสร้างสัญญาณในการควบคุมผ่านชุดเชื่อมต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ผลการทดลองที่ได้จากการปฏิบัติงานของการทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องของเครื่องแกะสลักสามมิติ สามารถสามารถแสดงผลได้ ดังนี้

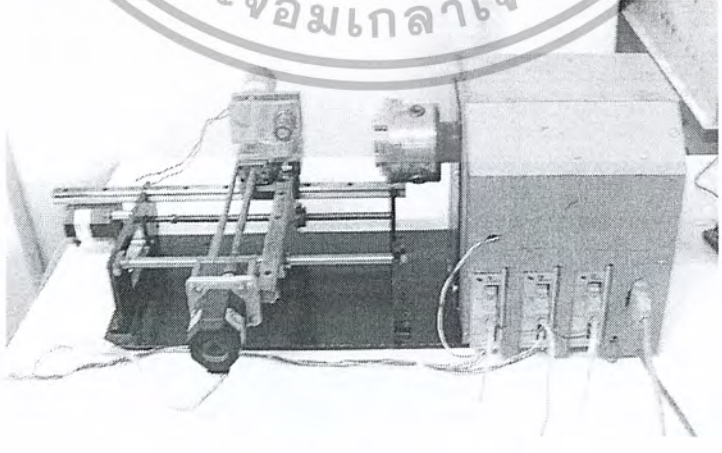
4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

การดำเนินการทางด้านฮาร์ดแวร์นั้น เป็นการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยทำการสร้างส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างของเครื่อง และจัดซื้อชิ้นส่วนมาตรฐานมาประกอบเข้าด้วยกันในกระบวนการสุดท้ายของงานด้านฮาร์ดแวร์

โครงสร้างและองค์ประกอบของเครื่องแกะสลักสามมิติ

ลักษณะของเครื่องแกะสลักสามมิติมีรายละเอียด ดังนี้

- ขนาดของเครื่องแกะสลักสามมิติ มีขนาด กว้างXยาวXสูง เท่ากับ 270X710X350 มิลลิเมตร
- หัวจับชิ้นงานเป็นแบบ 3 จับ
- พูลเลย์ที่ใช้เป็นแบบร่องฟัน
- การเคลื่อนที่ในแนวแกนX มีระยะการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร และแนวแกน Z มีระยะการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร
- อุปกรณ์ขับเคลื่อนในแนวแกนทั้งสอง และหมุนหัวจับ ขับเคลื่อนโดยสเต็ปปิงมอเตอร์ 1.8 องศา
- มอเตอร์ขับในการตัดชิ้นงาน ใช้ ดีซี.มอเตอร์ จำนวนรอบในการหมุน 3400 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.1 เครื่องแกะสลักสามมิติ

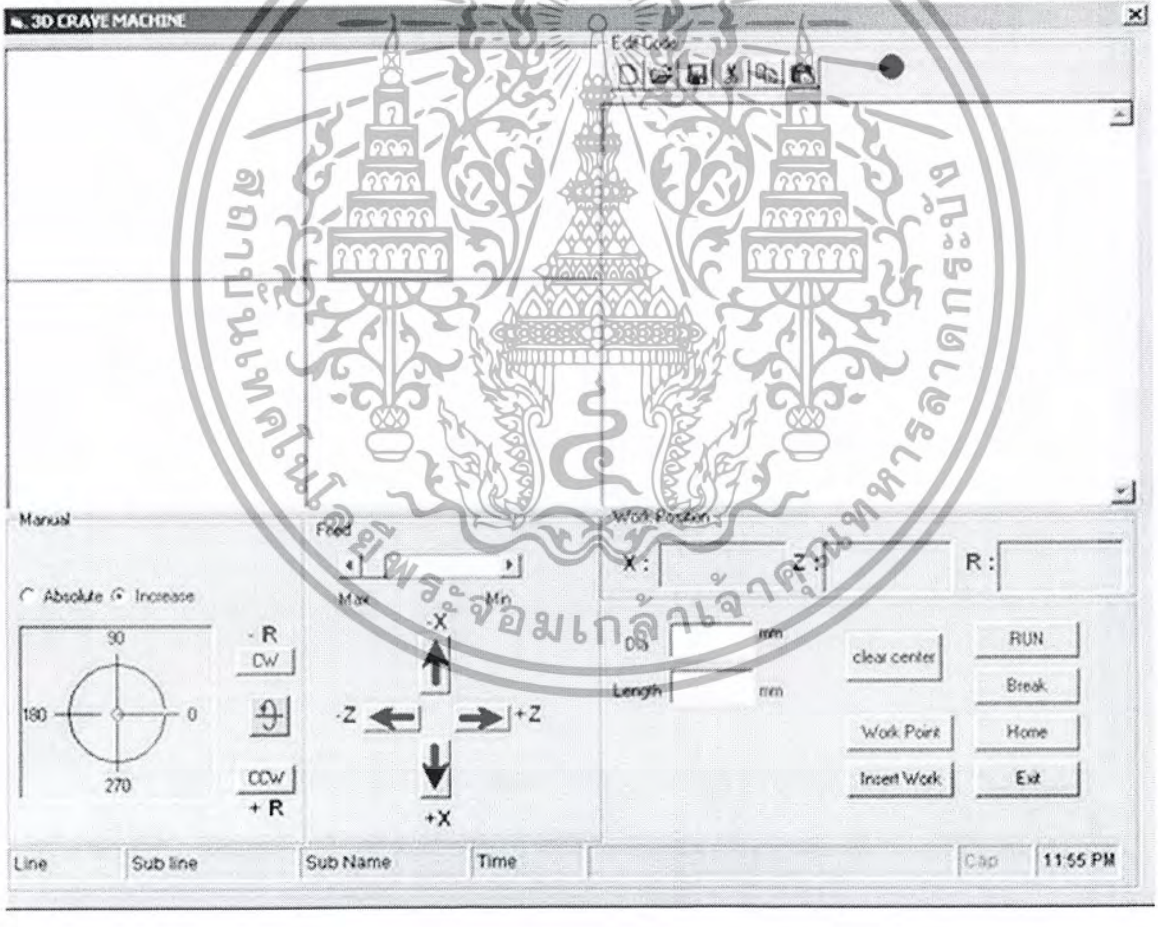
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินงานด้านซอฟแวร์

การดำเนินการทางด้าน Software เป็นการออกแบบโปรแกรมเพื่อให้สามารถควบคุมสั่งการให้เครื่องแกะสลักสามมิติทำงานได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0

4.2.1 รายละเอียดโปรแกรมสำหรับการควบคุมเครื่อง

โปรแกรมนี้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติให้สามารถทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยโปรแกรมนี้จะส่งสัญญาณควบคุมผ่านพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ไปควบคุมมอเตอร์ให้ขับบอลสกรูและหัวจับชิ้นงานให้ได้งานตามวัตถุประสงค์ การเคลื่อนที่ใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งการทำงานออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้ง่าย และง่ายต่อการเข้าใจ และรวมทุกคำสั่งไว้ที่เมนูหลัก เพื่อความรวดเร็วในการใช้งาน สามารถทำการเปิดและบันทึกโค้ดโปรแกรมที่ได้จากการเขียนได้ การแสดงผลเป็นภาพกราฟฟิกในทุกๆขั้นตอนการทำงาน เพื่อสามารถให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่ายขึ้น รูปแบบของโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบของโปรแกรมควบคุมเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่างๆ ที่ปรากฏ มีรายละเอียด ดังนี้

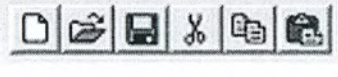
1. พื้นที่แสดงผล เป็นพื้นที่ว่างเพื่อแสดงผลของโค้ดโปรแกรมที่ได้ตามตำแหน่งของมีด แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 พื้นที่แสดงผลการของโค้ด

2. พื้นที่สำหรับเขียนโค้ดโปรแกรม เป็นพื้นที่ไว้สำหรับเขียนข้อมูลโค้ดโปรแกรม ดังแสดงในรูป 4.4

รูปที่ 4.4 พื้นที่สำหรับเขียนโค้ด

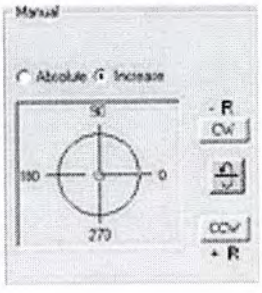
3. เมนูหลัก เป็นส่วนอำนวยความสะดวกในการเปิดและบันทึกคำสั่งของโปรแกรม ดังแสดงในรูป 4.5



รูปที่ 4.5 เมนูหลัก

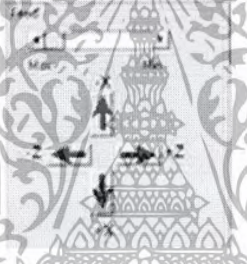
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พื้นที่แสดงการหมุนของหัวจับ เพื่อแสดงทิศทางการหมุนของหัวจับ มีสองทิศทางคือ ทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พื้นที่แสดงการหมุนของหัวจับ

5. พื้นที่ควบคุมการเคลื่อนที่ เป็นพื้นที่ที่เลื่อนแกน X และ แกน Z ด้วยปุ่มที่แสดงไว้ในพื้นที่นี้ และสามารถเลื่อนปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่4.7 พื้นที่การควบคุมการเคลื่อนที่

6. พื้นที่บอกตำแหน่งปัจจุบัน เป็นพื้นที่แสดงตำแหน่งของแต่ละแกนในปัจจุบัน แสดงค่าด้วยตัวเลขในแต่ละช่องของแต่ละแกน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

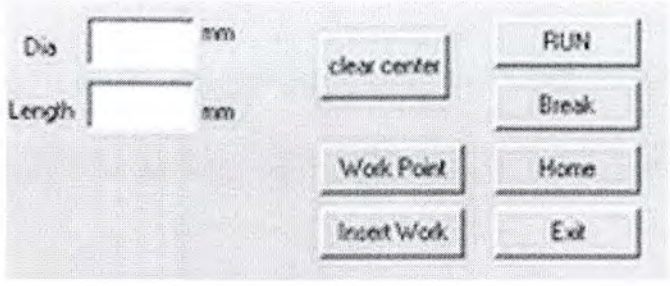
รูปที่ 4.8 พื้นที่บอกตำแหน่งแต่ละแกน

7. พื้นที่บอกตำแหน่งปัจจุบันของโปรแกรม พื้นที่นี้จะบอกตำแหน่งบรรทัดของคำสั่งของโปรแกรมขณะที่โปรแกรมอ่านบรรทัดนั้นอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 พื้นที่บอกตำแหน่งคำสั่งโปรแกรม

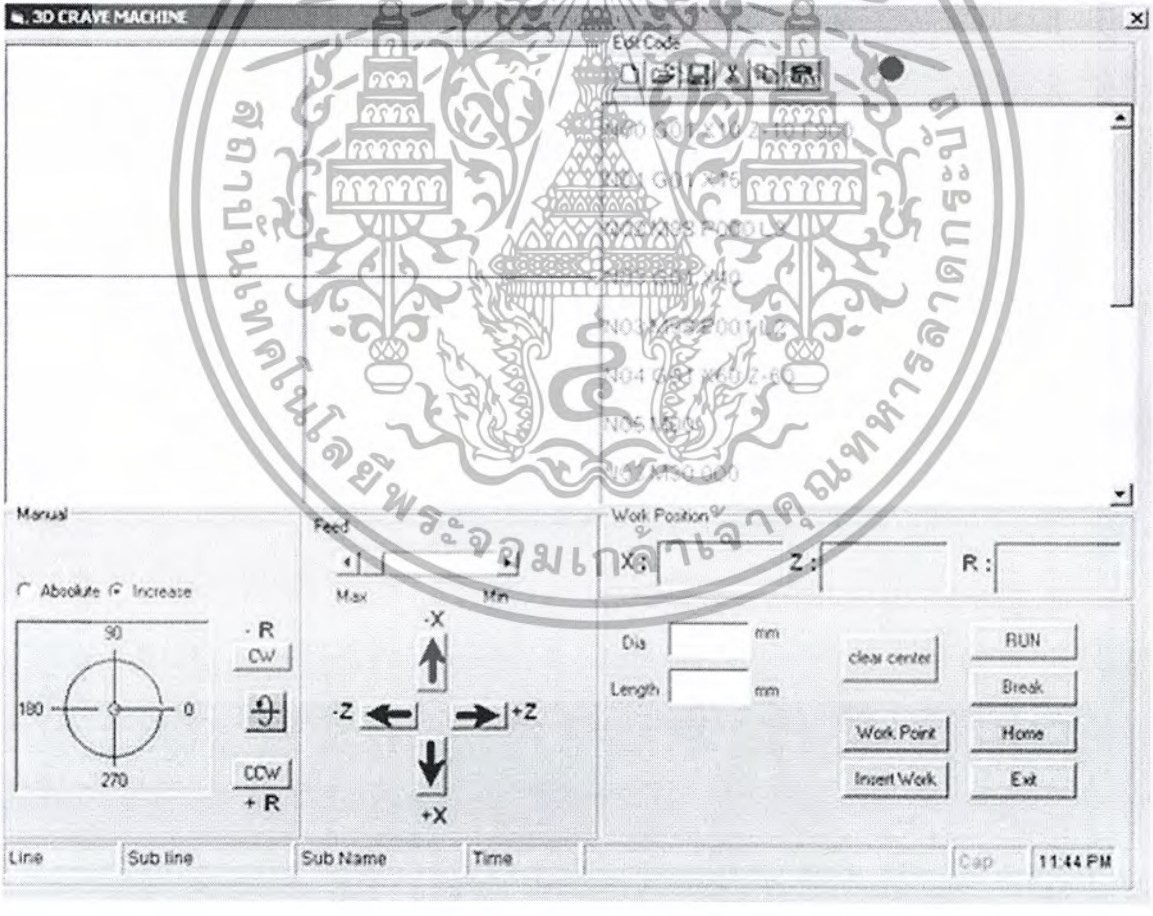
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. พื้นที่ควบคุมการทำงาน เป็นพื้นที่ที่บรรจุปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ การสั่งงานจะอยู่ในส่วนของพื้นที่นี้ แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่4.10 พื้นที่ควบคุมการทำงาน

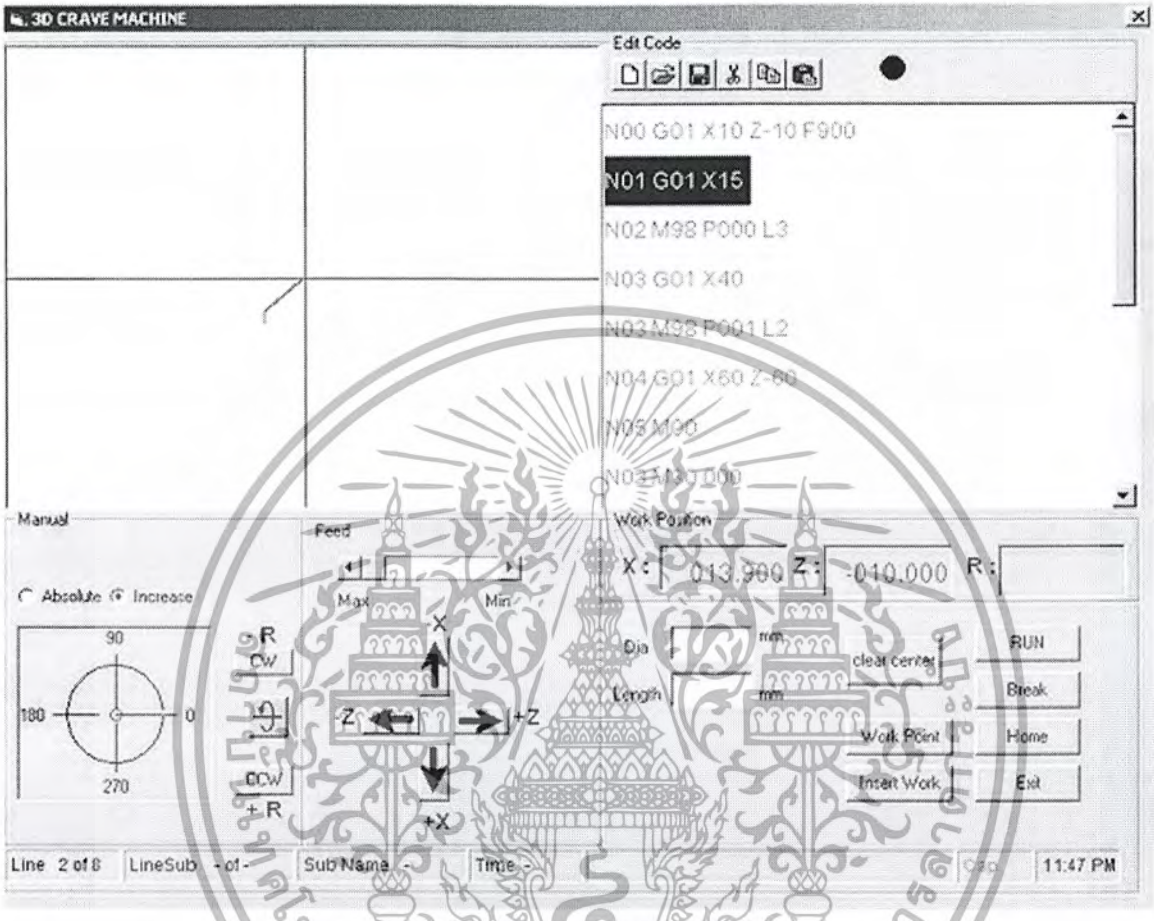
4.2.1.1 การใส่โค้ดลงในโปรแกรม การเขียนโค้ดโปรแกรมเพื่อสั่งให้เครื่องแกะสลักสามมิติทำงานได้ตามต้องการ โดยสามารถพิมพ์ลงในพื้นที่สำหรับเขียนโปรแกรมได้โดยตรง เช่น N00 G01 X-5 Z-25 F900 เป็นต้น



รูปที่ 4.11 แสดงวิธีการเขียนโค้ดโปรแกรมการสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การเริ่มโปรแกรม เมื่อเขียนโค้ดโปรแกรมเสร็จแล้ว จากนั้นจะทำการเริ่มต้นโปรแกรมเพื่อให้เครื่องทำการตัดชิ้นงานจริง โดยใช้เมาส์กดไปที่ปุ่ม RUN จากนั้นโปรแกรมจะทำการอ่านโค้ดโปรแกรมทั้งหมด และจะแสดงผลการเคลื่อนที่ของมีดในพื้นที่แสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 4.12



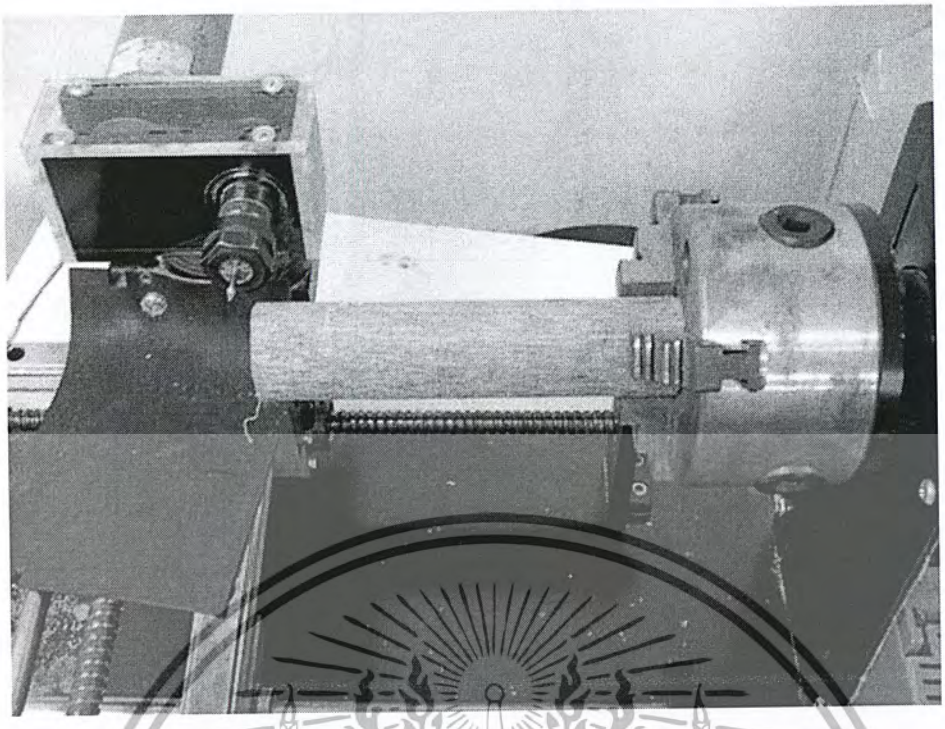
รูปที่ 4.12 การเริ่มต้นของโปรแกรม

4.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน

การขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องแกะสลักสามมิติ มีขั้นตอนการทำงานที่สามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

1. จับชิ้นงานไม้ที่ได้เตรียมไว้ จับกับหัวจับชิ้นงานดังรูปที่ 4.13
2. เขียนหรือเปิด G- Code โปรแกรมที่ได้เตรียมไว้แล้วใส่ในพื้นที่สำหรับเขียนโปรแกรม
3. กดปุ่มต่างๆ ในพื้นที่ควบคุมการเคลื่อนที่ เพื่อปรับให้ปลายมีดสัมผัสกับขอบปลายชิ้นงาน ดังรูป 4.14
4. เปิดสวิทช์เพื่อให้มีดกัดหมุน เพื่อเตรียมทำการตัดชิ้นงาน
5. กดปุ่ม RUN เพื่อสั่งให้โปรแกรมอ่านคำสั่ง G-Code จนบรรทัดสุดท้ายของโปรแกรม
6. จะได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.15

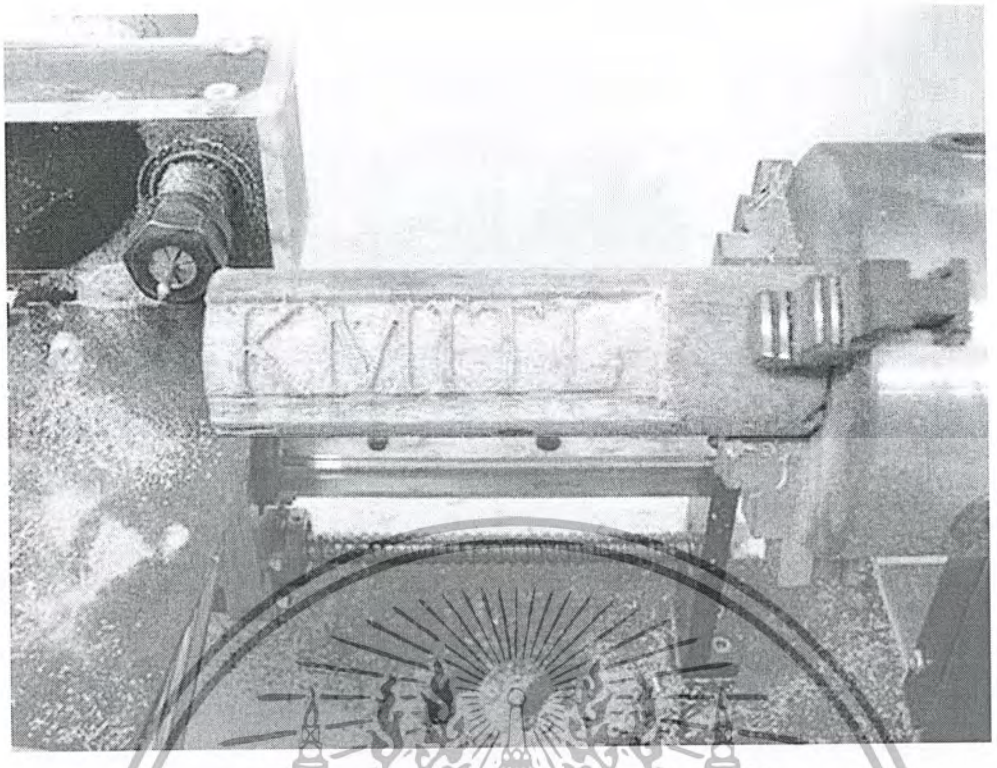
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การจับชิ้นงาน

รูปที่ 4.14 การปรับตำแหน่งมีดให้สัมผัสชิ้นงาน

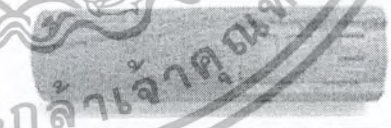
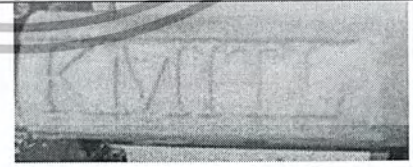
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ชิ้นงานสำเร็จ

4.4 ผลการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน

วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานคือ ไม้ที่ผ่านการกลึงให้กลมแล้ว และG-Code ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปชิ้นงานก่อนขึ้นรูป	ชิ้นงานหลังการขึ้นรูป
	
	

รูปที่ 4.16 ชิ้นงานก่อนและหลังขึ้นรูปชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการทดลองตามที่ได้วางแผนเอาไว้ พบว่าเครื่องแกะสลักสามมิตินี้สามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบ คือ สามารถทำการแกะสลักตัวอักษรและตัดชิ้นงานได้ตามแบบ

5.1.1 สรุปผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

การดำเนินงานด้าน ฮาร์ดแวร์ คือ การศึกษาการทำงานระบบควบคุมเครื่องจักร และสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติขึ้นมาใช้งาน ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ในแนวแกนX และแกน Z เหมือนเครื่องกลึง และควบคุมการเคลื่อนในแนวรัศมีของหัวจับซึ่งกำหนดให้เป็นแกน R ผลจากการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติเป็นไปตามแบบที่ออกไว้ และสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมดผ่านโปรแกรมควบคุมเครื่องแกะสลักสามมิติได้ตามที่วางไว้

5.1.2 สรุปผลการดำเนินงานด้านซอร์ฟแวร์

การดำเนินงานด้าน ซอร์ฟแวร์ คือ การศึกษาการสร้างโปรแกรมในการติดต่อกับเครื่องจักร โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้สามารถรับ G-Code ที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร ทำการเขียนโปรแกรม จดบันทึกโปรแกรมที่เขียนไว้เพื่อเรียกขึ้นมาใช้ใหม่ได้ ควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปในแนวแกนX Y และ R และสามารถแสดงผลการเคลื่อนที่ของตำแหน่งมีดได้ที่พื้นที่แสดงผลของโปรแกรม การเคลื่อนที่ของมีดในระบบแอบโซลูทหรืออินครีเมนทอลสามารถกำหนดได้โดยตรงที่โปรแกรม และหากเกิดข้อผิดพลาดขณะแกะสลักชิ้นงานสามารถหยุดการทำงานได้โดยทันที โปรแกรมจะมีการส่งเสียงเตือนเมื่อทำการแกะสลักชิ้นงานเสร็จ

5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงาน และการทดลองแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่เป็นดังนี้

ส่วน ฮาร์ดแวร์

- ความเที่ยงตรง และแม่นยำ ในการสร้างเครื่องจักรไม่สามารถกระทำได้ตามต้องการ
- การควบคุมอุปกรณ์ในเคลื่อนที่ของแกนเลื่อนนั้นไม่สานมารถเคลื่อนที่ได้พร้อมกัน เนื่องจากขีดจำกัดในการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน

ส่วน ซอร์ฟแวร์

-ขีดจำกัดการรับส่งข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ในการควบคุมไม่สามารถส่งข้อมูลในการสั่งงานได้พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง

ในการศึกษาการสร้างเครื่องแกะสลักสามมิติครั้งนี้ได้พบปัญหาที่เกิดขึ้น และทางกลุ่มมีข้อเสนอแนะดังนี้

- พัฒนาให้เครื่องแกะสลักสามมิติที่สร้างขึ้นมีการใช้งานที่ปลอดภัยมากขึ้นทั้งด้าน ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ โดยส่วนด้าน ฮาร์ดแวร์ทำการติดตั้งระบบความปลอดภัย ส่วน ซอร์ฟแวร์ทำการสร้างตัวตรวจจับความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเขียน G-Code
- ทำการติดตั้งยันศูนย์ให้เครื่องสามารถกลึงชิ้นงานที่ยาวได้
- ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถรับ G-Code ได้หลายวิธี
- ปรับปรุงเครื่องให้มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. อำนาจ ทองแสน, 2544. ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม CNC . กรุงเทพฯ : เอช.เอ็นกรุ๊ป.
2. จงกล งามวิวิทย์, การควบคุมเชิงตัวเลข.
3. Tien-Chien Chang,Richard A. Wysk and Hsu-Pin Wang,Computer-Aided manufacturing.New Jersey : Prentice-Hall Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอร์สโค้ด

```
'*****************************************************************Sanchai Srianan
Option Explicit
Dim FFSub As Integer, Nub As Integer
Dim ChKOk
Dim FactorX As Integer, n As Integer, nSub As Integer, nn As Integer
Dim WP, A, XX, YY, R As Variant
Dim sec As Long, Step, StepR, StepRR, Dag As Variant, St As Long

Dim Xs, Zs, Xe, Ze, Re, Rs, Ri, Xee, Zee, i, K, Feed, Zwp, Xwp As Variant
Dim DataX, DataZ, DataF, DataI, DataK, DataR As Variant

Private Sub Form_Load()
Picture2.Scale (-375, -280)-(375, 280)
Picture3.Scale (-10, -10)-(10, 10)
Picture2.BackColor = vbWhite
Picture2.ForeColor = vbBlue

Shape2.Move -0.6, -0.6
Option2.Value = True
Option3.Value = True

Picture1.Visible = False
Hsc_Feed.Value = 1
'Toolbar1.Buttons.Item(3).Enabled = False
PortOut &H378, 0
End Sub
Private Sub Form_Activate()
'************************************
Picture2.Line (-375, 0)-(375, 0)
Picture2.Line (0, -280)-(0, 280)
'************************************
Picture3.Line (-6.5, 0)-(6.5, 0)
Picture3.Line (0, -7)-(0, 7)
Picture3.Circle (0, 0), 5
Picture3.CurrentX = 7.5
Picture3.CurrentY = -1
Picture3.Print "0"
Picture3.CurrentX = -10
Picture3.CurrentY = -1
Picture3.Print "180"
Picture3.CurrentX = -1
Picture3.CurrentY = -10
Picture3.Print "90"
Picture3.CurrentX = -1.3
Picture3.CurrentY = 7.5
Picture3.Print "270"
'************************************
Line1.X1 = 0
Line1.Y1 = 0
Line1.X2 = 5
Line1.Y2 = 0
End Sub

Private Sub Hsc_Feed_Change()
Select Case Hsc_Feed.Value
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case 10: sec = 500000
Case 9: sec = 400000
Case 8: sec = 200000
Case 7: sec = 100000
Case 6: sec = 80000
Case 5: sec = 40000
Case 4: sec = 6000
Case 3: sec = 5000
Case 2: sec = 4000
Case 1: sec = 2000
End Select
End Sub

Public Sub Cmd_Break_Click()
Do
DoEvents
Loop Until cmd_Run = False
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Xs = 0: Zs = 0: Xe = 0: Ze = 0: Xee = 0: Zee = 0: i = 0: K = 0: Feed = 0: Zwp = 0: Xwp = 0
Picture2.Cls
Picture2.Line (-375, 0)-(375, 0)
Picture2.Line (0, -200)-(0, 200)
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Picture2.Cls
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Picture2.Line (-375, 0)-(375, 0)
Picture2.Line (0, -200)-(0, 200)
End Sub

Private Sub Cmd_Insert_Work_click()
Dim X, Y As Integer
Picture2.Refresh
Picture1.Visible = True
FactorX = 1
For Y = (200 - ((Val(txt_Diametre(0).Text)) / 2) * 4) To (200 + ((Val(txt_Diametre(0).Text)) / 2) * 4)
Picture2.Line (0, Y)-(Val(txt_Length(1).Text) * 5, Y)
Next Y
Picture1.Move 675, 360
txt_Pos_X(0).Text = 90
txt_Pos_Z(1).Text = 135
Xs = Val(txt_Pos_X(0).Text)
Zs = Val(txt_Pos_Z(1).Text)
End Sub

Private Sub cmd_Work_Point_Click()
Xwp = 50
Zwp = Val(txt_Pos_Z(1).Text)
FactorX = 2
txt_Pos_X(0).Text = (Val(txt_Pos_X(0).Text) - 50) * 2: Xs = Val(txt_Pos_X(0).Text) / 2
txt_Pos_Z(1).Text = 0:                                  Zs = 0
Picture2.Circle (5 * Zwp, 200), 15, vbBlack
Picture2.Line (5 * (Zwp - 3), 200)-(5 * (Zwp + 3), 200), vbBlack
Picture2.Line (5 * Zwp, 200 - 15)-(5 * Zwp, 200 + 15), vbBlack
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Cmd_End_Click()
End
End Sub

Public Sub Compile()
Dim FF As Integer
Dim Count_lineCom, cursorPosCom, ingchrsnumberCom, StartCom, lineCom As Variant
Dim bufferCom As String * 128, FUNC_CDCom As String * 4

lineCom = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINECOUNT, 0, ByVal CLng(0))

Do While Count_lineCom < lineCom
bufferCom = Empty
With Text1
cursorPosCom = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETSEL, 0, ByVal 0&) \ &H10000
ingchrsnumberCom = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINE, Count_lineCom, ByVal bufferCom)
End With
Text3.Text = Left(bufferCom, ingchrsnumberCom)
FUNC_CDCom = Mid(Text3.Text, 5, 4)
StartCom = StartCom + ingchrsnumberCom + 2
Count_lineCom = Count_lineCom + 1
If FUNC_CDCom = "M30 " Then
FF = FF + 1
n = Count_lineCom
GoTo SANCHAI
End If
Loop
SANCHAI:
If FF = 0 Then
Call ERROR("Program without Code to End" & " 'M30' ")
End If
End Sub

Public Sub Cmd_Run_Click()
Dim Start As Long
Dim Line As Integer, Count_line As Integer
Dim currLine As Long, chrsToCurrent As Long, cursorPos As Long, ingchrsnumber As Long
Dim buffer As String * 30, FUNC_CD As String * 4, DataP As String * 3, DataL As String * 3

Call Compile

buffer = Empty
Line = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINECOUNT, 0, ByVal CLng(0))

Do While Count_line < Line
With Text1
cursorPos = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETSEL, 0, ByVal 0&) \ &H10000
ingchrsnumber = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINE, Count_line, ByVal buffer)
Text1.SetFocus: .SelStart = Start: .SelLength = ingchrsnumber

End With
With StatusBar1
.Panels(1).Text = "Line  " & Str(Count_line + 1) & " of " & n
.Panels(2).Text = "LineSub    " & "-" & " of " & "-"
.Panels(3).Text = "Sub Name" & "   " & "-"
.Panels(4).Text = "Time  " & "-"
End With
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text3.Text = Left(buffer, ingchrsnumber)
FUNC_CD = Mid(Text3.Text, 5, 4)
Select Case FUNC_CD
Case Is = "M03 ": DataR = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataR = 0 Then
Re = 0
Else: Re = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
End If
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call M03(Xs, Zs, Rs, Re, Feed)

Case Is = "M04 ": DataR = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataR = 0 Then
Re = 0
Else: Re = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
End If
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call M04(Xs, Zs, Rs, Re, Feed)

Case Is = "M98 ":
If Mid(Text3.Text, 9, 1) = "P" Then
DataP = Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "P") + 1, 3)
DataL = Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "L") + 1, 3)
Else: Call ERROR("Function without target")
End If
Call M98(Count_line, cursorPos, ingchrsnumber, Start, DataP, DataL)
Case Is = "M30 ": Call EndProgram(Count_line, Line)
Case Is = "G00 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataX = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "X") = 0 Then
Xe = Xe
Else: Xe = 0
End If
Else: Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If DataZ = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "Z") = 0 Then
Ze = Ze
Else: Ze = 0
End If
Else: Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
End If
Call G00(Xs, Zs, Xe, Ze, 2000)

Case Is = "G01 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))

If DataX = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "X") = 0 Then
Xe = Xe
Else: Xe = 0
End If
Else: Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
End If

If DataZ = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "Z") = 0 Then
Ze = Ze
Else: Ze = 0
End If
Else: Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
End If

If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G01(Xs, Zs, Xe, Ze, Feed)

Case Is = "G02 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataI = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
DataK = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))

Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
i = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
K = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))

If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 5) <> "" Then
Call ERROR("Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G02(Xs, Zs, Xe, Ze, i, K, Feed)

Case Is = "G03 ":  DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataI = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
DataK = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))

Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
i = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
K = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 5) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G03(Xs, Zs, Xe, Ze, i, K, Feed)

End Select
Start = Start + ingchrsnumber + 2
Count_line = Count_line + 1
Loop
End Sub

Public Sub CompileSub()
Dim Count_lineComSub, cursorPosComSub, ingchrsnumberComSub, StartComSub, lineComSub As
Variant
Dim bufferComSub As String * 128, FUNC_CDComSub As String * 4

lineComSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINECOUNT, 0, ByVal CLng(0))
Count_lineComSub = Nub
Do While Count_lineComSub < lineComSub
bufferComSub = Empty
With Text1
cursorPosComSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETSEL, 0, ByVal 0&) \ &H10000
ingchrsnumberComSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINE, Count_lineComSub, ByVal
bufferComSub)
End With
Text3.Text = Left(bufferComSub, ingchrsnumberComSub)
FUNC_CDComSub = Mid(Text3.Text, 5, 4)
StartComSub = StartComSub + ingchrsnumberComSub + 2
Count_lineComSub = Count_lineComSub + 1
If FUNC_CDComSub = "M99 " Then
FFSub = Count_lineComSub - Nub
GoTo SAN
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Loop
SAN:
If FFSub = 0 Then
Call ERROR("Program without Code to EndSub" & "  'M99' ")
End If
End Sub

Public Sub M98(Count_line As Variant, cursorPos As Variant, ingchrsnumber As Variant, Start As Variant,
DataP As String, DataL As String)

Dim Po As Integer
Dim count_lineSub, cursorPosSub, ingchrsnumberSub, StartSub, lineSub As Variant
Dim count_lineloop, cursorPosloop, ingchrsnumberloop, Startloop As Variant
Dim bufferSub As String * 30, FUNC_CDSub As String * 4, FUNC_P As String * 3, StSub As String

bufferSub = Empty
count_lineSub = Count_line
cursorPosSub = cursorPos
ingchrsnumberSub = ingchrsnumber
StartSub = Start
StartSub = StartSub + ingchrsnumberSub + 2
count_lineSub = count_lineSub + 1

Do
With Text1
cursorPosSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETSEL, 0, ByVal 0&) \ &H10000
ingchrsnumberSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINE, count_lineSub, ByVal bufferSub)
End With
Text3.Text = Left(bufferSub, ingchrsnumberSub) '?????????? ????????????????????
FUNC_CDSub = Mid(Text3.Text, 5, 4) 'check function
FUNC_P = Mid(Text3.Text, 1, 3)
StartSub = StartSub + ingchrsnumberSub + 2
count_lineSub = count_lineSub + 1
Nub = count_lineSub
Loop Until FUNC_P = DataP 'DataP ??????????  Sub Program

Call CompileSub

count_lineloop = count_lineSub
cursorPosloop = cursorPosSub
ingchrsnumberloop = ingchrsnumberSub
Startloop = StartSub
Po = 1

Next98:
Do
With Text1
cursorPosSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETSEL, 0, ByVal 0&) \ &H10000
ingchrsnumberSub = SendMessage(Text1.hWnd, EM_GETLINE, count_lineSub, ByVal bufferSub)
Text1.SetFocus: .SelStart = StartSub: .SelLength = ingchrsnumberSub
End With

With StatusBar1
.Panels(2).Text = "LineSub    " & Po & " of " & FFSub
.Panels(3).Text = "Sub Name" & "   " & DataP
.Panels(4).Text = "Time  " & lineSub + 1 & " of " & DataL
End With
Text3.Text = Left(bufferSub, ingchrsnumberSub)
FUNC_CDSub = Mid(Text3.Text, 5, 4)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case FUNC_CDSub

Case Is = "M03 ": DataR = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataR = 0 Then
Re = 0
Else: Re = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
End If
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call M03(Xs, Zs, Rs, Re, Feed)
Case Is = "M04 ": DataR = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataR = 0 Then
Re = 0
Else: Re = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "R") + 1, 7))
End If
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call M04(Xs, Zs, Rs, Re, Feed)

Case Is = "G00 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))

If DataX = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "X") = 0 Then
Xe = Xe
Else: Xe = 0
End If
Else: Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
End If

If DataZ = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "Z") = 0 Then
Ze = Ze
Else: Ze = 0
End If
Else: Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call G00(Xs, Zs, Xe, Ze, 2000)

Case Is = "G01 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
If DataX = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "X") = 0 Then
Xe = Xe
Else: Xe = 0
End If
Else: Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
End If
If DataZ = 0 Then
If InStr(1, Text3.Text, "Z") = 0 Then
Ze = Ze
Else: Ze = 0
End If
Else: Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
End If
If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 1) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G01(Xs, Zs, Xe, Ze, Feed)

Case Is = "G02 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataI = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
DataK = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
i = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
K = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))

If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 5) <> "" Then
Call ERROR("Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G02(Xs, Zs, Xe, Ze, i, K, Feed)

Case Is = "G03 ": DataX = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
DataZ = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
DataI = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
DataK = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DataF = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
Xe = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "X") + 1, 7))
Ze = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "Z") + 1, 7))
i = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "I") + 1, 7))
K = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "K") + 1, 7))

If DataF = 0 Then
If Feed = 0 Then
Call ERROR("G-Code without Feed")
End If
Feed = Feed
Else:
If Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 5, 5) <> "" Then
Call ERROR("Over Line Procuder")
End If
Feed = Val(Mid(Text3.Text, InStr(1, Text3.Text, "F") + 1, 7))
End If
Call G03(Xs, Zs, Xe, Ze, i, K, Feed)

End Select
Po = Po + 1
StartSub = StartSub + ingchrsnumberSub + 2
count_lineSub = count_lineSub + 1
Loop Until FUNC_CDSub = "M99 "
lineSub = lineSub + 1
If lineSub <= Val(DataL) - 1 Then
count_lineSub = count_lineloop
cursorPosSub = cursorPosloop
ingchrsnumberSub = ingchrsnumberloop
StartSub = Startloop
Po = 1
GoTo Next98
End If
End Sub

Public Sub M03(Xs As Variant, Zs As Variant, Rs As Variant, Re As Variant, Feed As Variant)
sec = ((Feed * 497) / (-9)) + 55523
If Option1.Value = True Then
'**********************************************ABSOLUTE
Do
DoEvents
For Step = 1 To 250
PortOut &H378, 68
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 64
Call Delay(sec)
Next Step
Rs = Rs - 1.8 / (88 / 19)
txt_pos_R(2).Text = Format(Rs, "000.000")
Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
Line1.X2 = ((4 * Cos(Rs / 57)))
Line1.Y2 = ((-4 * Sin(Rs / 57)))
Loop Until Rs <= -Re '* (Rs / 360)
'*****************************************************
End If
If Option2.Value = True Then
'**************************************Increase
Ri = Rs
Do While Ri <= Re
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DoEvents
For StepR = 1 To 250
PortOut &H378, 68
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 64
Call Delay(sec)
Next StepR
Ri = Ri + 1.8 / (88 / 19)
Dag = Dag + 1.8 / (88 / 19)
Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Dag))), vbRed
txt_pos_R(2).Text = Format(Dag, "000.000")
Line1.X2 = ((4.5 * Cos((-Dag) / 57)))
Line1.Y2 = ((-4.5 * Sin((-Dag) / 57)))
Loop
Rs = 0
'*********************************************************
End If
End Sub
Public Sub M04(Xs As Variant, Zs As Variant, Rs As Variant, Re As Variant, Feed As Variant)
sec = ((Feed * 497) / (-9)) + 55523
If Option1.Value = True Then
'*****************************************ABSSOLUTE
Do
DoEvents
For Step = 1 To 250
PortOut &H378, 4
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
Rs = Rs + 1.8 / (88 / 19)
Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
txt_pos_R(2).Text = Format(Rs, "000.000")
Line1.X2 = ((4 * Cos(Rs / 57)))
Line1.Y2 = ((-4 * Sin(Rs / 57)))
Loop Until Rs >= Re
'*********************************************************
End If
If Option2.Value = True Then
'*****************************************Increase
Ri = Rs
Do While Ri <= Re
DoEvents
For StepR = 1 To 250
PortOut &H378, 4
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next StepR
Ri = Ri + 1.8 / (88 / 19)
Dag = Dag + 1.8 / (88 / 19)
Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Dag))), vbRed
txt_pos_R(2).Text = Format(Dag, "000.000")
Line1.X2 = ((4.5 * Cos((Dag) / 57)))
Line1.Y2 = ((-4.5 * Sin((Dag) / 57)))
Loop
Rs = 0
'*********************************************************
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Public Sub G00(Xs As Variant, Zs As Variant, Xe As Variant, Ze As Variant, Secc As Variant)
Dim Xi, Zi, D As Variant
sec = Secc
'*******************************////////////////Zs < Ze   Xs <
Xe//////////////////*********************************
If (Zs <= Ze And Xs <= Xe) Then
Xi = Xs:                Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D <= 0 '**********************Loop X
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*********************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*********************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q1: Do While D >= 0 '**********************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else:
If Xi < Xe Then                                                    '//////////////////???
GoTo PP
Else: GoTo ENDG00
End If
End If
Loop '*********************************?? Loop Z

Do While D < 0 '**********************Loop X
PP:
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*********************************?? Loop X
GoTo Q1
Final:      Zs = Zi: Xs = Xi
End If
End If
'*********************************//////////////Zs > Ze   Xs >
Xe//////////////////**********************************
If (Zs >= Ze And Xs >= Xe) Then
Xi = Xs:                Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe = Xs) > 0 Then
Do While D <= 0 '**********************Loop X
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*********************************?? Loop X

End If
If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D >= 0 '*********************************Loop Z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop Z
End If
If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q2: Do While D >= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else:
If Xi > Xe Then                                    '////////////////////???
GoTo UU
Else: GoTo ENDG00
End If
End If
Loop '*******************************?? Loop Z

Do While D < 0 '*********************Loop X
UU:
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop X
GoTo Q2
Final1:      Zs = Zi: Xs = Xi
End If
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*****************************////////////////Zs > Ze   Xs <
Xe//////////////////*****************************
If (Zs >= Ze And Xs <= Xe) Then
Xi = Xs:                Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop X
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q3: Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec) '////////////////////////
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec) '////////////////////////
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Xi < Xe Then                                                    '//////////////////???
GoTo LL
Else: GoTo ENDG00
End If
End If
Loop '*******************************?? Loop Z

Do While D > 0 '**********************Loop X
LL:
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec) '////////////////////////
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec) '////////////////////////
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop X
GoTo Q3
End If
End If
'*********************************////////////////Zs < Ze   Xs >
Xe//////////////////*********************************
If (Zs <= Ze And Xs >= Xe) Then
Xi = Xs:              Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop X
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q4: Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else:
If Xi > Xe Then                                          '//////////////////???
GoTo MM
Else: GoTo ENDG00
End If
End If
Loop '*******************************?? Loop Z

Do While D > 0 '************************Loop X
MM:
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
'Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: GoTo ENDG00
End If
Loop '*******************************?? Loop X

GoTo Q4
'*****************************************************************************************
End If
End If
ENDG00:    Zs = Round(Zi, 3): Xs = Round(Xi, 3)
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Sub G01(Xs As Variant, Zs As Variant, Xe As Variant, Ze As Variant, Feed As Variant)
Dim Xi, Zi, D As Variant
sec = ((Feed * 497) / (-9)) + 55523
'*****************************////////////////Zs < Ze   Xs <
Xe//////////////////*********************************
If (Zs <= Ze And Xs <= Xe) Then
Xi = Xs:                Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D <= 0 '**********************Loop X
If Xi < Xe Then '////////////////////////////////////////////////////////////////COMPUTER ERROR
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*********************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*********************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q1: Do While D >= 0 '**********************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else:
If Xi < Xe Then                                                    '//////////////////???
GoTo XX
Else: GoTo ENDG01
End If
End If
Loop '*****************************?? Loop Z

Do While D < 0 '**********************Loop X
XX:
If Xi < Xe Then

Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*****************************?? Loop X
GoTo Q1
End If
End If

'*****************************//////////////////Zs > Ze   Xs >
Xe//////////////////*********************************
If (Zs >= Ze And Xs >= Xe) Then
Xi = Xs:              Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D <= 0 '**********************Loop X
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D >= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q2: Do While D >= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else:
If Xi > Xe Then                                                    '//////////////////???
GoTo CC
Else: GoTo ENDG01
End If
End If
Loop '*******************************?? Loop Z

Do While D < 0 '**********************Loop X
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CC:
If Xi > Xe Then

Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop X
GoTo Q2
End If
End If

'*******************************//////////////Zs > Ze  Xs <
Xe//////////////////////*********************************
If (Zs >= Ze And Xs <= Xe) Then
Xi = Xs:              Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop X
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*****************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q3: Do While D <= 0 '*****************************Loop Z
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else:
If Xi < Xe Then                                          '//////////////////////???
GoTo VV
Else: GoTo ENDG01
End If
End If
Loop '*****************************?? Loop Z

Do While D > 0 '***********************Loop X
VV:
If Xi < Xe Then

Xi = Xi + 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Loop '*******************************?? Loop X
GoTo Q3
End If
End If
'*******************************////////////////Zs < Ze   Xs >
Xe//////////////////*********************************
If (Zs <= Ze And Xs >= Xe) Then
Xi = Xs:                Zi = Zs

If Abs(Ze - Zs) = 0 And Abs(Xe - Xs) > 0 Then
Do While D >= 0 '**********************Loop X
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*********************************?? Loop X
End If

If Abs(Xe - Xs) = 0 And Abs(Ze - Zs) > 0 Then
Do While D <= 0 '*********************************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop Z
End If

If Abs(Ze - Zs) <> 0 And Abs(Xe - Xs) <> 0 Then
Q4: Do While D <= 0 '*******************************Loop Z
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
Zi = Round(Zi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else:
If Xi > Xe Then                                                    '////////////////////???
GoTo BB
Else: GoTo ENDG01
End If
End If
Loop '*******************************?? Loop Z

Do While D > 0 '**********************Loop X
BB:
If Xi > Xe Then

Xi = Xi - 0.025
Xi = Round(Xi, 3)
D = (Xi - Xs) * (Ze - Zs) - (Xe - Xs) * (Zi - Zs)
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
If Option3.Value = True Then
Picture2.PSet (5 * Zi, 4 * Xi), vbRed
Else: Picture2.PSet (5 * Zs, 4 * ((Xs) + (Rs))), vbRed
End If
Else: GoTo ENDG01
End If
Loop '*******************************?? Loop X

GoTo Q4
'*****************************************************************************************
End If
End If
ENDG01: Zs = Round(Zi, 3): Xs = Round(Xi, 3)
End Sub


Public Sub G02(Xs As Variant, Zs As Variant, Xe As Variant, Ze As Variant, i As Variant, K As Variant,
Feed As Variant)
Dim Xi, Zi, Xc, Zc, D, R As Variant
sec = ((Feed * 497) / (-9)) + 55523
R = Sqr(i ^ 2 + K ^ 2)

'*************************////////////////////////i <= 0 And K >= 0
////////////////////////////*************************
If (i <= 0 And K >= 0) And (Xs > Xe And Zs > Ze) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Xc = Xs + i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3:
Do While D <= 0 '**********????????????? ??? Y
If Xi >= Xe Then
Xi = Xi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33
End If
Loop '**********?? Loop Y

Do While D > 0 '**********???X ?????
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33
End If
Loop '**********?? Loop X
GoTo Q3
Q33:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'**********//////////i >= 0 And K <= 0
//////////**********
If (i >= 0 And K <= 0) And (Zs < Ze And Xs < Xe) Then

Xc = Xs + i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3A:
Do While D <= 0 '**********????????????? ??? Y
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
Loop '****************************************?? Loop Y

Do While D > 0 '*****************************???X ?????⊥
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33A
End If
Loop '****************************************?? Loop X
GoTo Q3A
Q33A:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'*****************************////////////////////////i >= 0 And K >= 0
////////////////////////////*****************************
If (i >= 0 And K >= 0) And (Zs < Ze And Xs > Xe) Then
Xc = Xs - i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3B:
Do While D <= 0 '*****************************????????????⊥ ??? X
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33B
End If
Loop '****************************************?? Loop X

Do While D > 0 '*****************************??? Y ?????⊥
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33B
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Loop '**************************************?? Loop Y
GoTo Q3B
Q33B:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'*************************////////////////////////i <= 0 And K <= 0
/////////////////////////////*************************
If (i <= 0 And K <= 0) And (Xs < Xe And Zs > Ze) Then
Xc = Xs - i:    Zc = Zs + K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3C:
Do While D <= 0 '*************************???????????? ??? X
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33C
End If
Loop '**************************************?? Loop X

Do While D > 0 '*************************??? Y ?????
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33C
End If
Loop '**************************************?? Loop Y
GoTo Q3C
Q33C:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

End Sub


Public Sub G03(Xs As Variant, Zs As Variant, Xe As Variant, Ze As Variant, i As Variant, K As Variant,
Feed As Variant)
Dim Xi, Zi, Xc, Zc, D, R As Variant
sec = ((Feed * 497) / (-9)) + 55523
R = Sqr(i ^ 2 + K ^ 2)

'*************************////////////////////////i <= 0 And K >= 0
/////////////////////////////*************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If (i <= 0 And K >= 0) And (Xs < Xe And Zs < Ze) Then
Xc = Xs - i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3A: Do While D <= 0 '*****************************???X ?????⊥
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33A
End If
Loop '*************************************?? Loop X
Do While D > 0 '*****************************???????????⊥ ??? Y
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33A
End If
Loop '*************************************?? Loop Y
GoTo Q3A
Q33A:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'*************************////////////////////////i <= 0 And K >= 0
////////////////////////////*************************
If (i >= 0 And K <= 0) And (Xs > Xe And Zs > Ze) Then
Xc = Xs - i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3:
Do While D >= 0 '*************************???????????⊥ ??? Y
If Xi >= Xe Then
Xi = Xi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33
End If
Loop '*************************************?? Loop Y
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Do While D < 0 '*****************************???X ?????⊥
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33
End If
Loop '*************************************?? Loop X
GoTo Q3
Q33:        'Zs = Ze: Xs = Xe
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'*************************////////////////////////i <= 0 And K >= 0
//////////////////////////*************************
If (i <= 0 And K >= 0) And (Xs > Xe And Zs > Ze) Then

Xc = Xs + i:   Zc = Zs - K
Xi = Xs:       Zi = Zs
Q3AB:
Do While D <= 0 '*************************????????????⊥??? Y
If Xi >= Xe Then
Xi = Xi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33AB
End If
Loop '*************************************?? Loop Y

Do While D > 0 '*****************************???X ?????⊥
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33AB
End If
Loop '*************************************?? Loop X
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
GoTo Q3A
Q33AB:          'Zs = Ze: Xs = Xe
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'**************************////////////////////////i >= 0 And K >= 0
////////////////////////////*************************
If (i >= 0 And K >= 0) And (Zs > Ze And Xs < Xe) Then

Xc = Xs + i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3B:
Do While D <= 0 '*****************************???????????? ??? Y
If Xi < Xe Then
Xi = Xi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33B
End If
Loop '*************************************?? Loop Y

Do While D > 0 '*****************************???X ?????
If Zi > Ze Then
Zi = Zi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33B
End If
Loop '*************************************?? Loop X
GoTo Q3B
Q33B:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If

'**************************////////////////////////i >= 0 And K >= 0
////////////////////////////*************************
If (i <= 0 And K <= 0) And (Zs < Ze And Xs > Xe) Then

Xc = Xs + i:    Zc = Zs - K
Xi = Xs:        Zi = Zs
Q3BZ:
Do While D >= 0 '*****************************???????????? ??? X
If Zi < Ze Then
Zi = Zi + 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33BZ
End If
Loop '****************************************?? Loop X

Do While D < 0 '******************************??? Y ?????⊥
If Xi > Xe Then
Xi = Xi - 0.025
D = ((Xi - Xc) ^ 2 + (Zi - Zc) ^ 2) - R ^ 2
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xi, "000.000")
Picture2.PSet (5 * (Zi), 4 * (Xi)), vbRed
Else: GoTo Q33BZ
End If
Loop '****************************************?? Loop Y
GoTo Q3BZ
Q33BZ:
Xs = Xi: Zs = Zi
End If
End Sub


Private Sub cmd_Up_Click()
n = n + 2
Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub
Private Sub cmd_Up_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 1 '2
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0 '0
Call Delay(sec)
Next Step
Xs = Xs - 0.025
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xs, "000.000") '* FactorX
Picture1.Move (((Zs + Zwp) * 5) - 0.2), (((Xs + Xwp) * 4) + 0.2)
End If
Loop
End Sub
Private Sub Cmd_Down_Click()
n = n + 2
Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub
Private Sub cmd_Down_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 17 '34
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 16 '32
Call Delay(sec)
Next Step
Xs = Xs + 0.025
txt_Pos_X(0).Text = Format(Xs, "000.000") '* FactorX
Picture1.Move (((Zs + Zwp) * 5) - 0.2), (((Xs + Xwp) * 4) + 0.2)
End If
Loop
End Sub
Private Sub Cmd_Left_Click()
n = n + 2
Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub
Private Sub Cmd_Left_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 34 '17
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 32 '16
Call Delay(sec)
Next Step
Zs = Zs - 0.025
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zs, "000.000")
Picture1.Move (((Zs + Zwp) * 5) - 0.2), (((Xs + Xwp) * 4) + 0.2)
End If
Loop
End Sub
Private Sub cmd_Rigth_Click()
n = n + 2
Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub
Private Sub cmd_Rigth_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 25
PortOut &H378, 2 '1
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0 '0
Call Delay(sec)
Next Step
Zs = Zs + 0.025
txt_Pos_Z(1).Text = Format(Zs, "000.000")
Picture1.Move (((Zs + Zwp) * 5) - 0.2), (((Xs + Xwp) * 4) + 0.2)
End If
Loop
End Sub
Public Sub cmd_CCW_Click()
n = n + 2

Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub

Public Sub cmd_CCW_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 250
PortOut &H378, 4
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 0
Call Delay(sec)
Next Step
Rs = Rs + 1.8 / (88 / 19)
txt_pos_R(2).Text = Format(Rs, "000.000")
Line1.X2 = ((4 * Cos(Rs / 57)))
Line1.Y2 = ((-4 * Sin(Rs / 57)))
End If
Loop
End Sub

Public Sub cmd_CW_Click()
n = n + 2
Call cmd_Up_MouseDown(Val(n), 0, 0, 0)
End Sub

Public Sub cmd_CW_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Do While DoEvents
If Button Mod 2 <> 0 Then
For Step = 1 To 250
PortOut &H378, 68
Call Delay(sec)
PortOut &H378, 64
Call Delay(sec)
Next Step
Rs = Rs - 1.8 / (88 / 19)
txt_pos_R(2).Text = Format(Rs, "000.000")

Line1.X2 = ((4 * Cos(Rs / 57)))
Line1.Y2 = ((-4 * Sin(Rs / 57)))
End If
Loop
End Sub


Public Sub ERROR(TypeError As String)
Text1.SetFocus: Call SendMessage(Text1.hWnd, EM_SETSEL, Text1.SelStart, ByVal Text1.SelLength)
ChKOk = MsgBox("Expected : Expression " & TypeError, 0 + 16, "Code Error")
If ChKOk = vbOK Then
Call Cmd_Break_Click
End If
End Sub
Public Sub Delay(sec As Long)
DoEvents
For St = 0 To sec
Next St
End Sub
Public Sub EndProgram(Count_line As Variant, Line As Variant)
Dim Q As Integer
For Q = 1 To 3
DoEvents
Shape3.FillColor = vbYellow
Beep
Call Delay(9000000)
Shape3.FillColor = vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

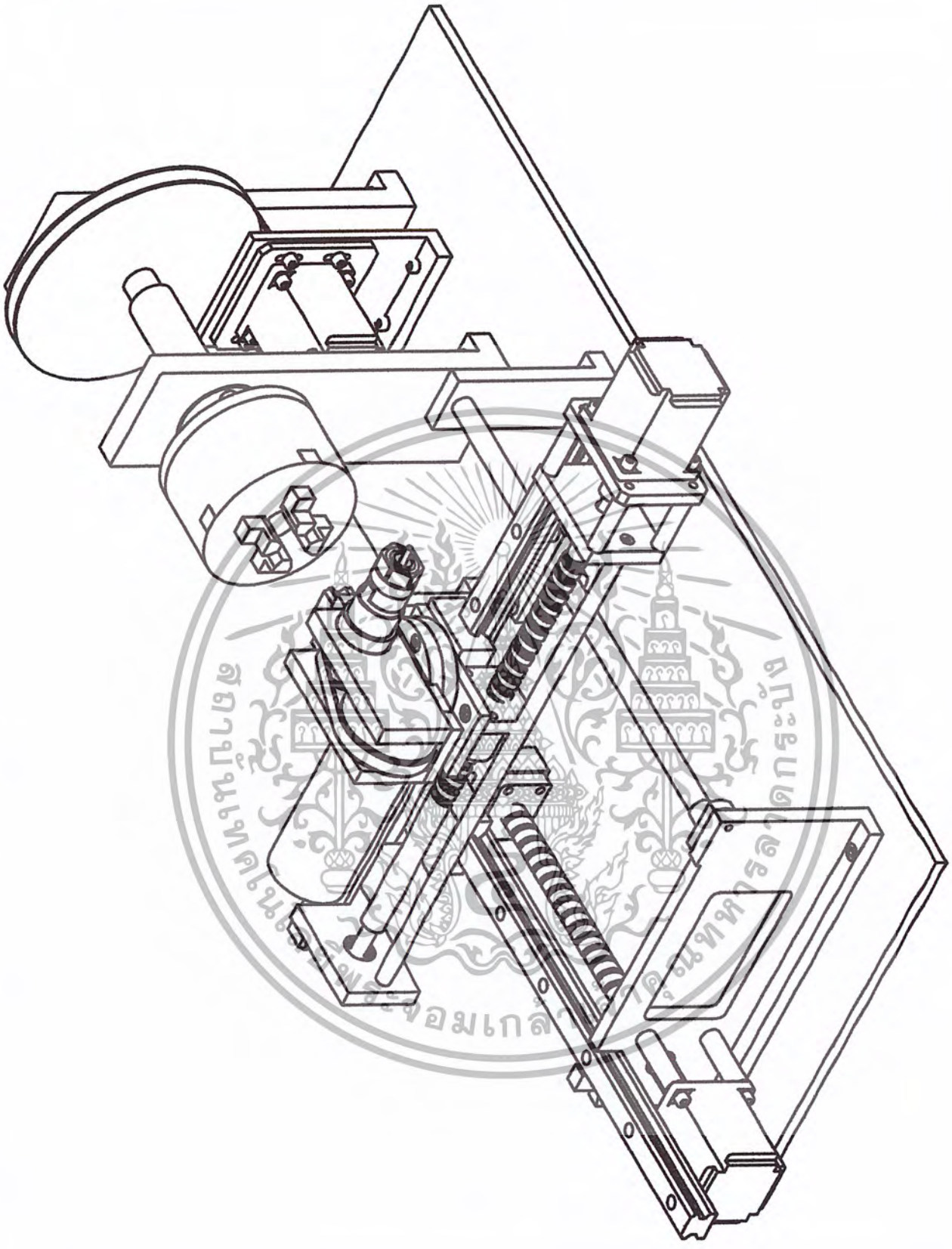
```
Call Delay(9000000)
Next Q
Count_line = Line
End Sub


'*************************************////////////////////////////////*****************************
*************
Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As ComctlLib.Button)
Dim filename1 As String
Select Case Button.Index
Case 1
If MsgBox("Do you want to save the changes? ", vbYesNo) = vbYes Then
GoTo save
End If
Text1.Text = ""
Case 2  ' Open Filse

' If MsgBox("Do you want to save the changes?", vbYesNoCancel + vbExclamation) = vbYes Then
'GoTo save
'Else: Exit Sub
'End If
On Error Resume Next
CommonDialog1.FileName = ""
CommonDialog1.Flags = cdlOFNOverwritePrompt
CommonDialog1.ShowOpen
filename1 = CommonDialog1.FileName
Open filename1 For Input As #1
Text1.Text = Input(LOF(1), 1)
Close #1

Case 3  ' Save Filse
save:
On Error Resume Next
CommonDialog1.ShowSave
filename1 = CommonDialog1.FileName
Open filename1 For Output As #1
Print #1, Text1.Text
Close #1
Case 4 'Cut Filse
Clipboard.SetText Text1.SelText
Text1.SelText = ""
Case 5  ' Copy Filse
Clipboard.SetText Text1.SelText
Case 6  ' Paste
Text1.SelText = Clipboard.GetText()
End Select
End Sub
'Private Sub Text1_Change()
'Toolbar1.Buttons.Item(3).Enabled = True
'End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

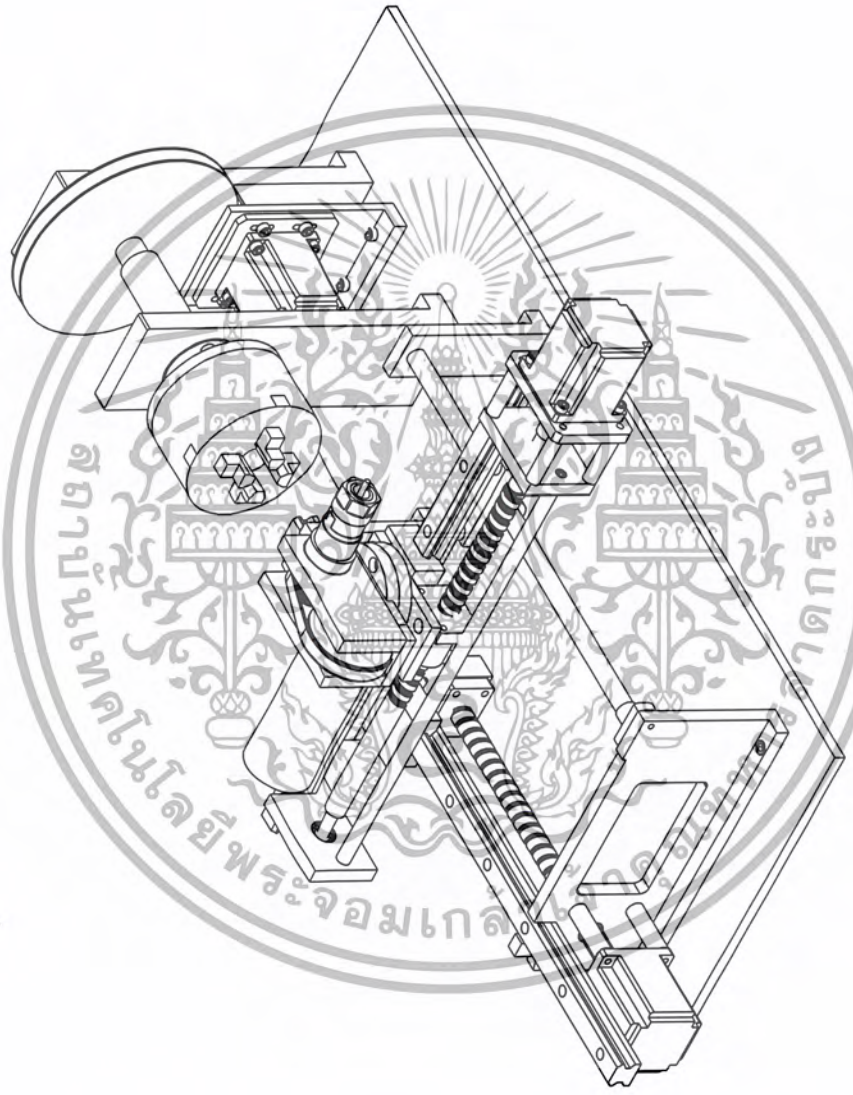
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D carve machin		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 28/02/04	Scale
King mongkut's Institute of Technology Ladgrabang		3D Carve Machine			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



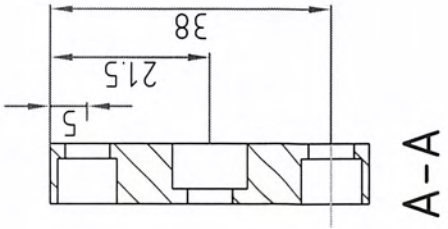
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Crave machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 28/02/04	Scale

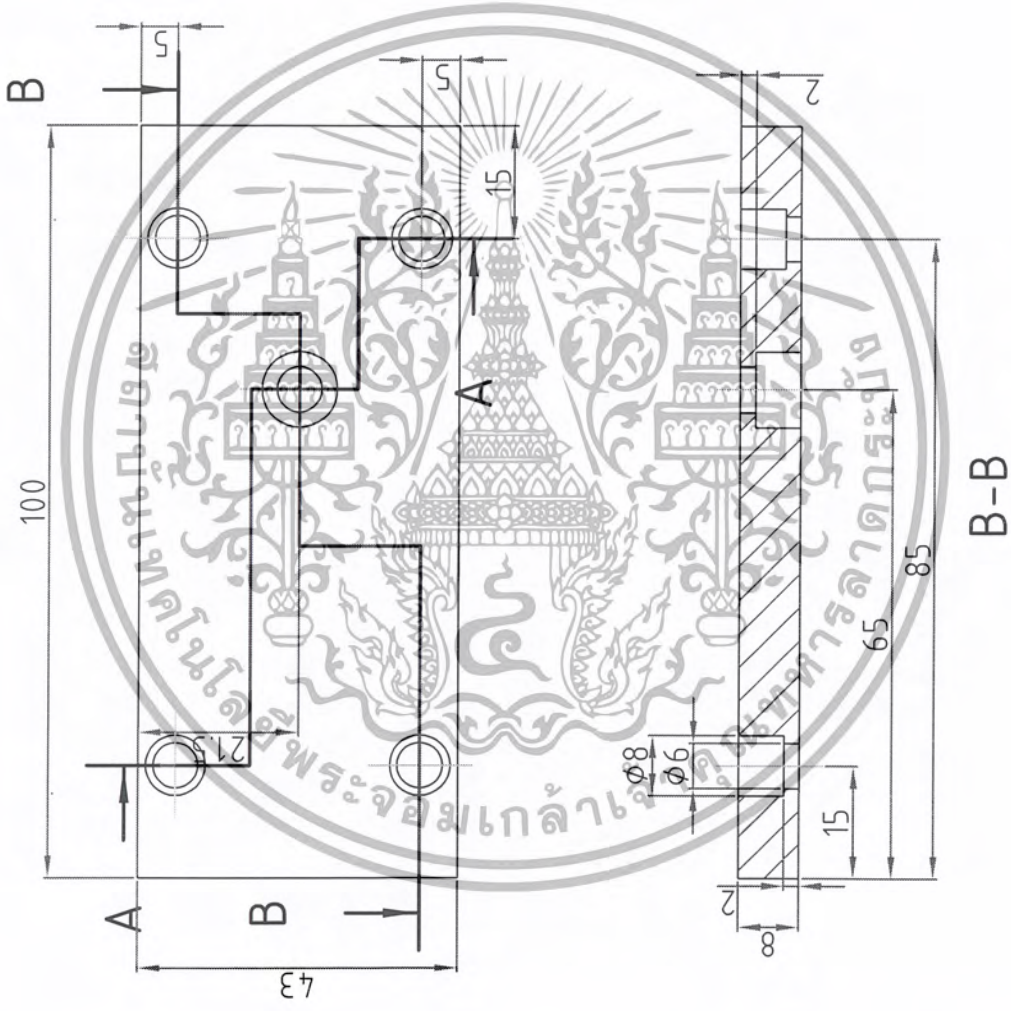
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

King monghut's institute of technology ladkrabang

Edition	Sheet
0	1/1

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

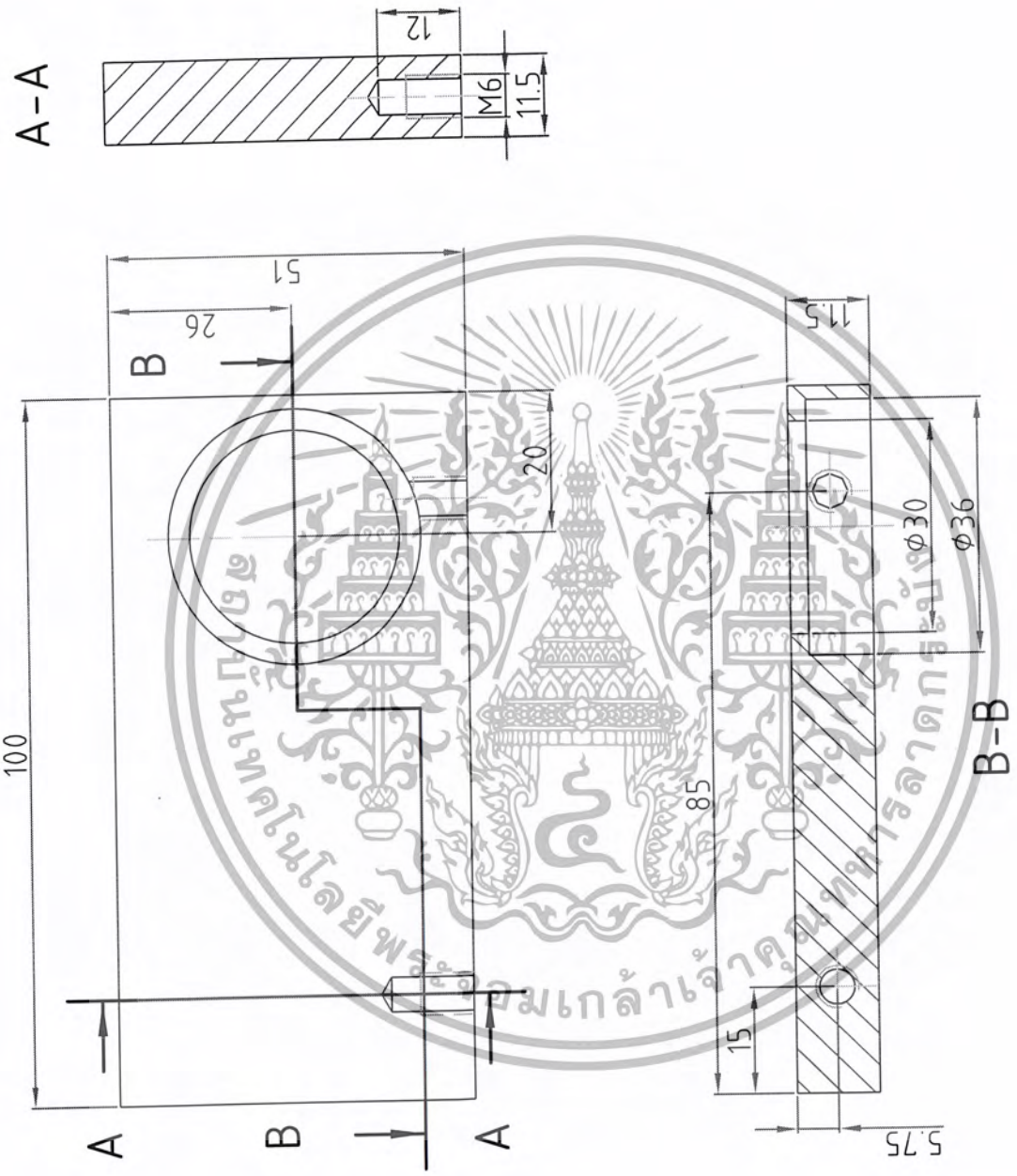




Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 26/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Spindle Base			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

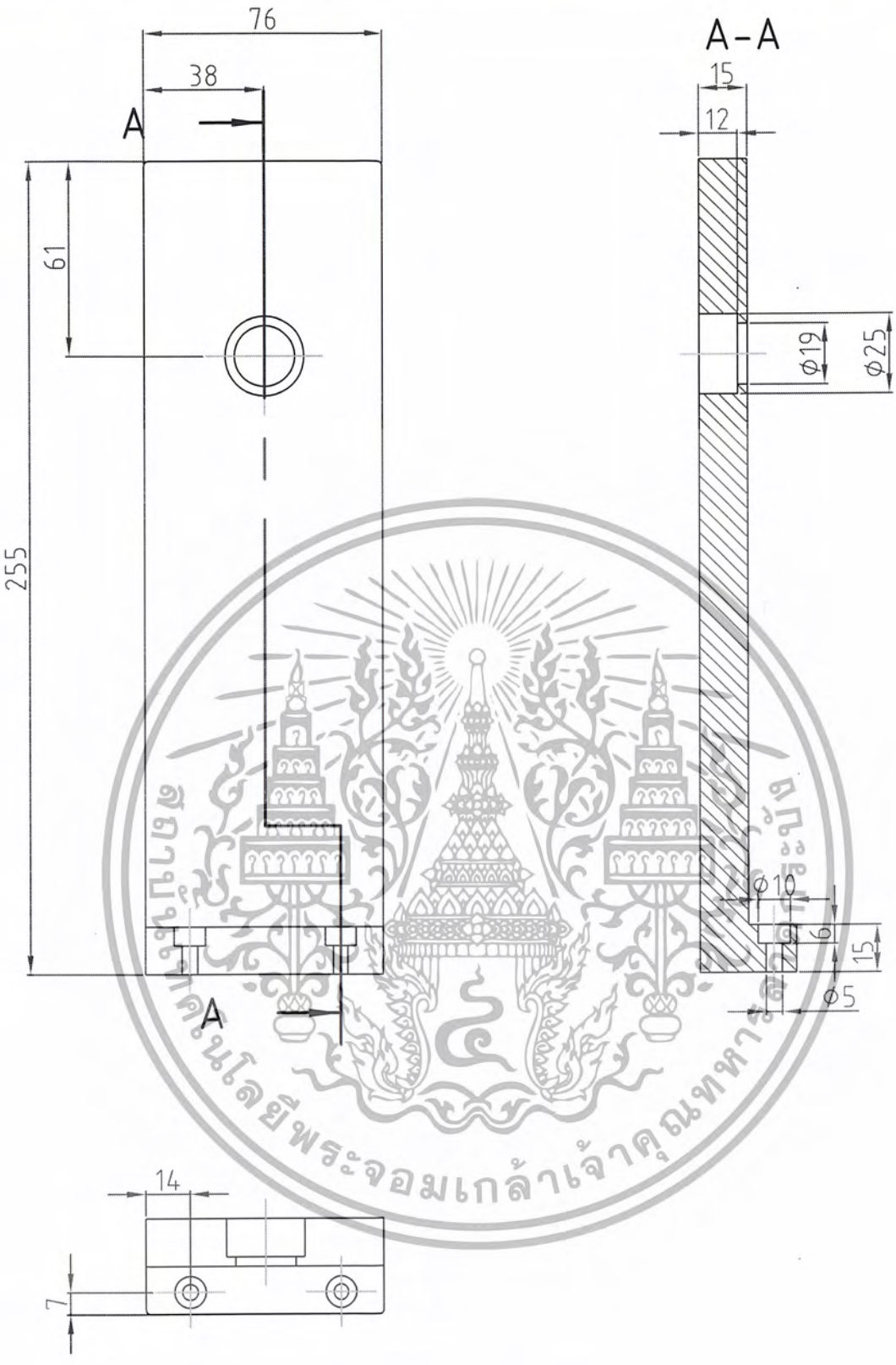
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 26/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Spindle Front Plate			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

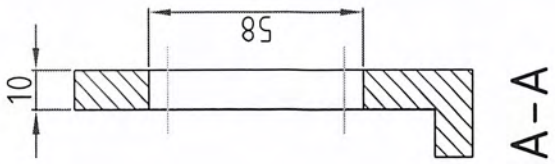
RevNo	Revision note		Date	Signature	Checked



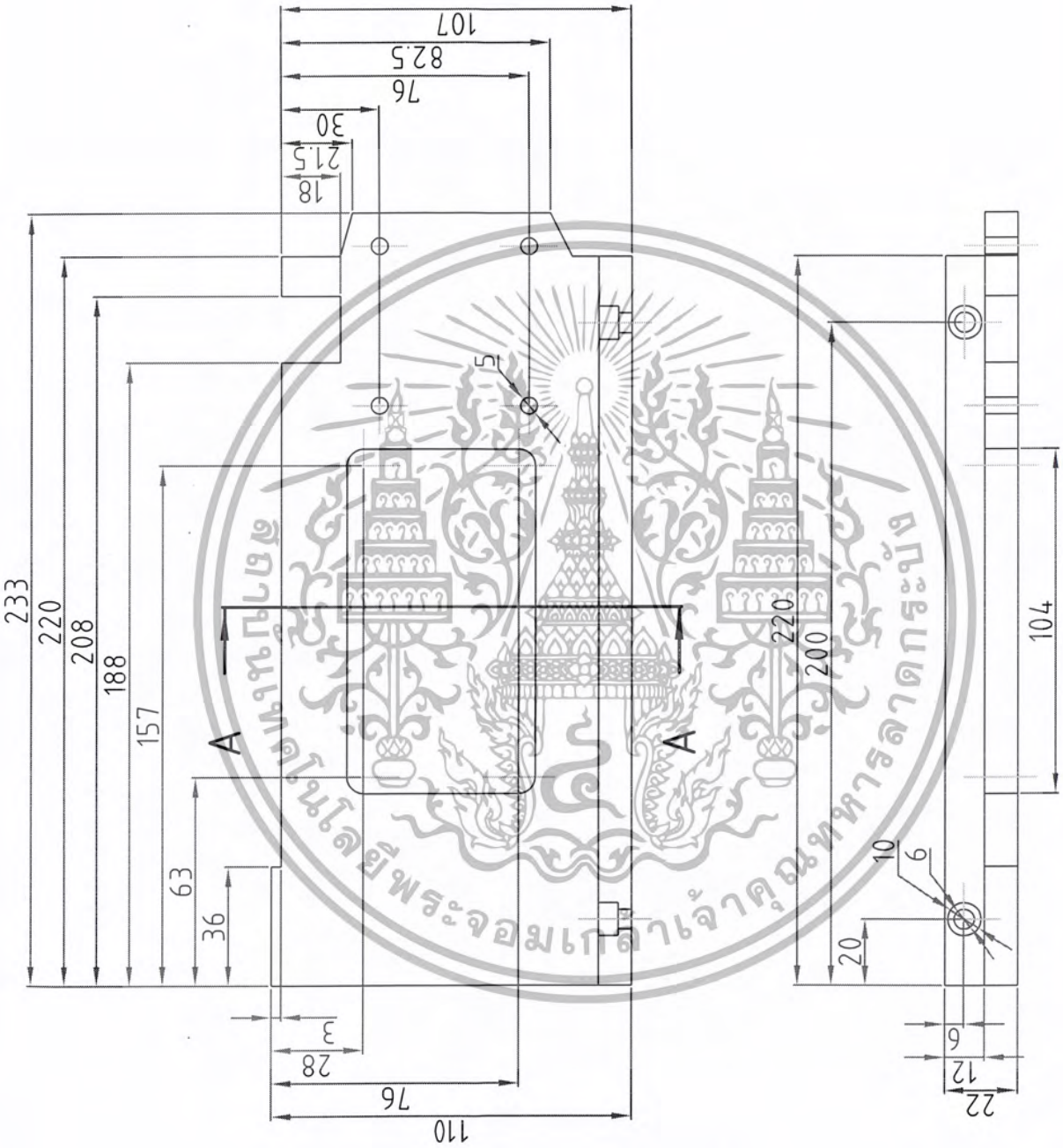
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by 3D curve machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 24/01/04	Scale 1:2
King mongkut's institute of technology ladkrabang		Head Base (back)			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



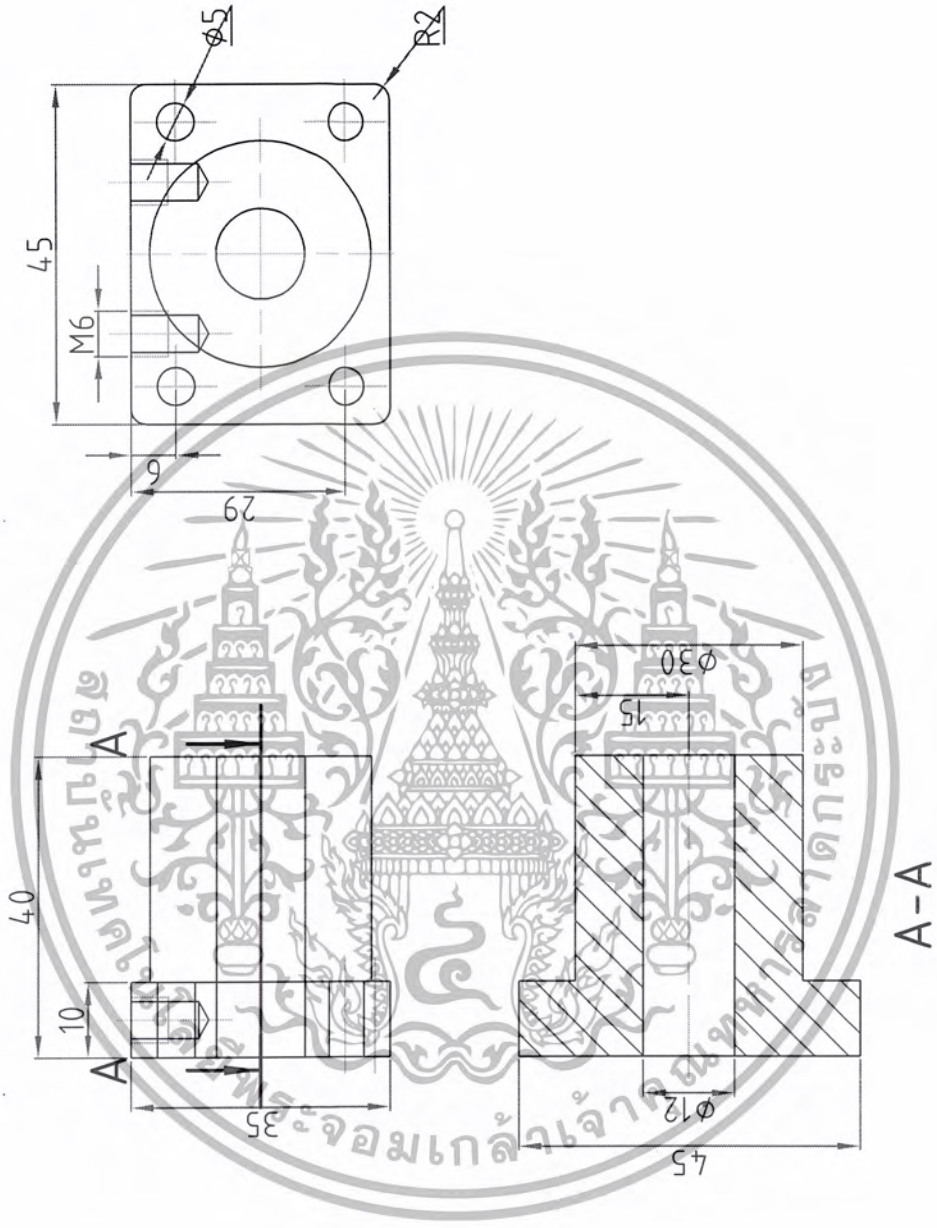
A–A



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 2:1
King monghut's institute of technology ladkrabang					Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

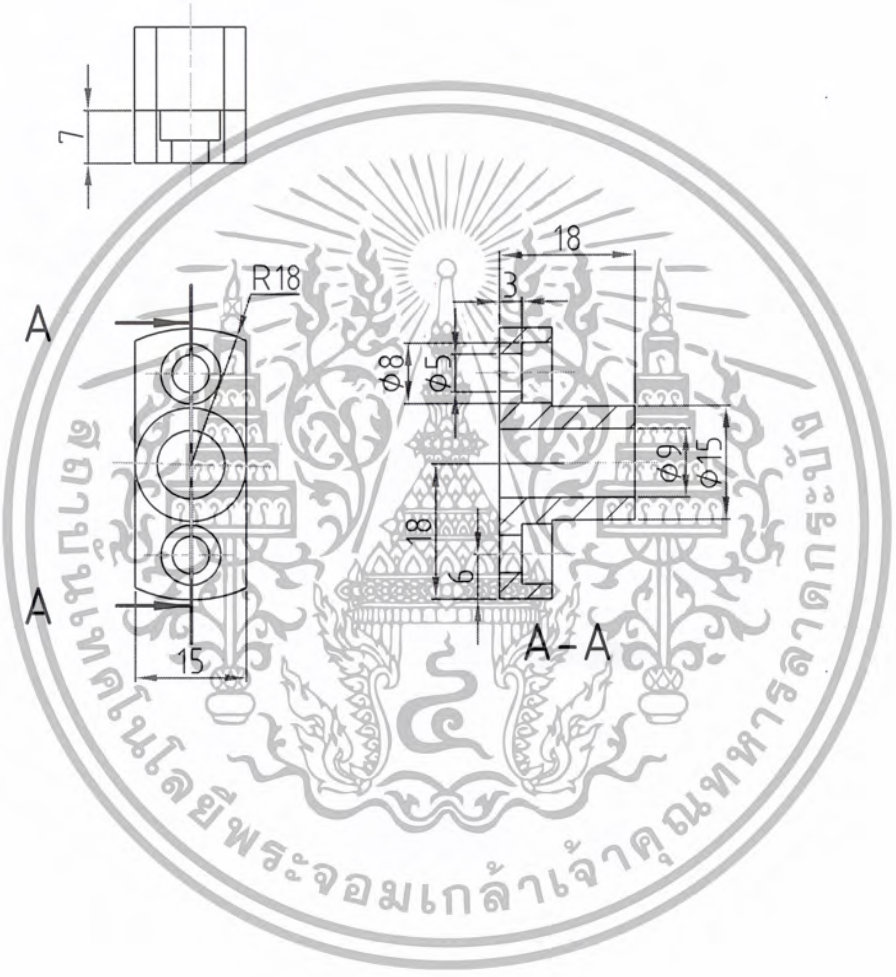
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang			Ball Screw		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

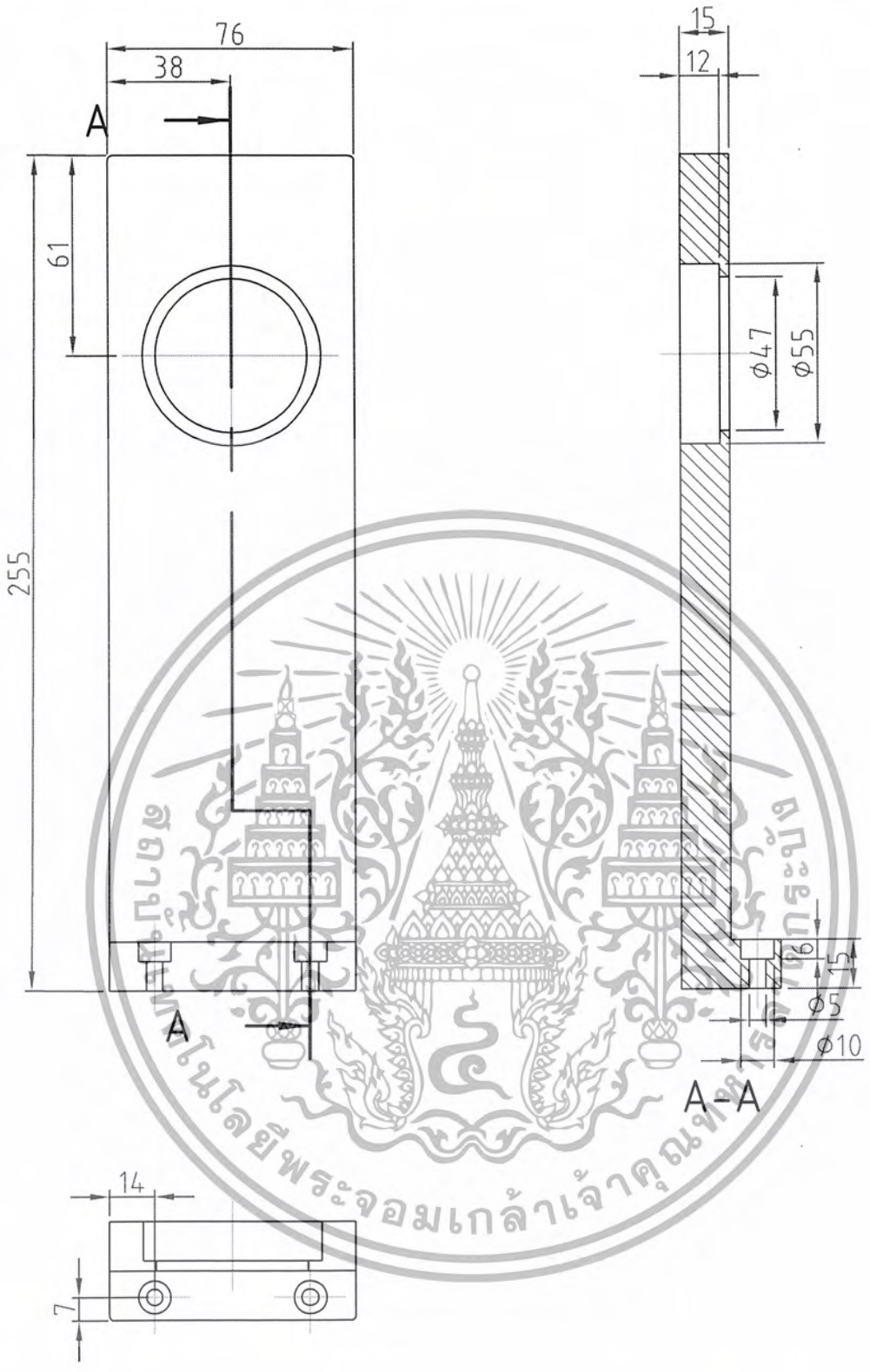
RevNo	Revision note		Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang					Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

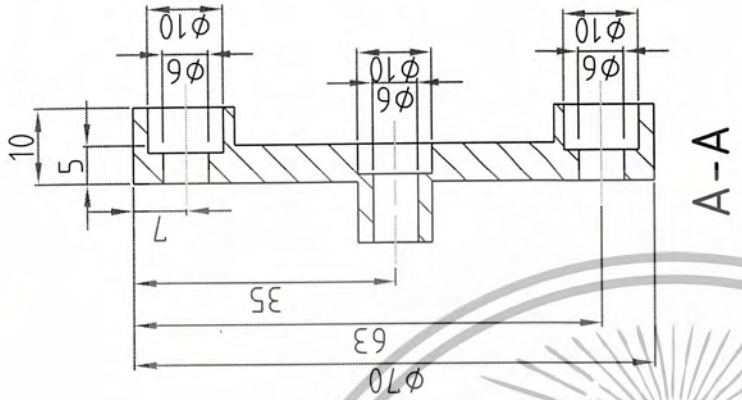
RevNo	Revision note		Date	Signature	Checked

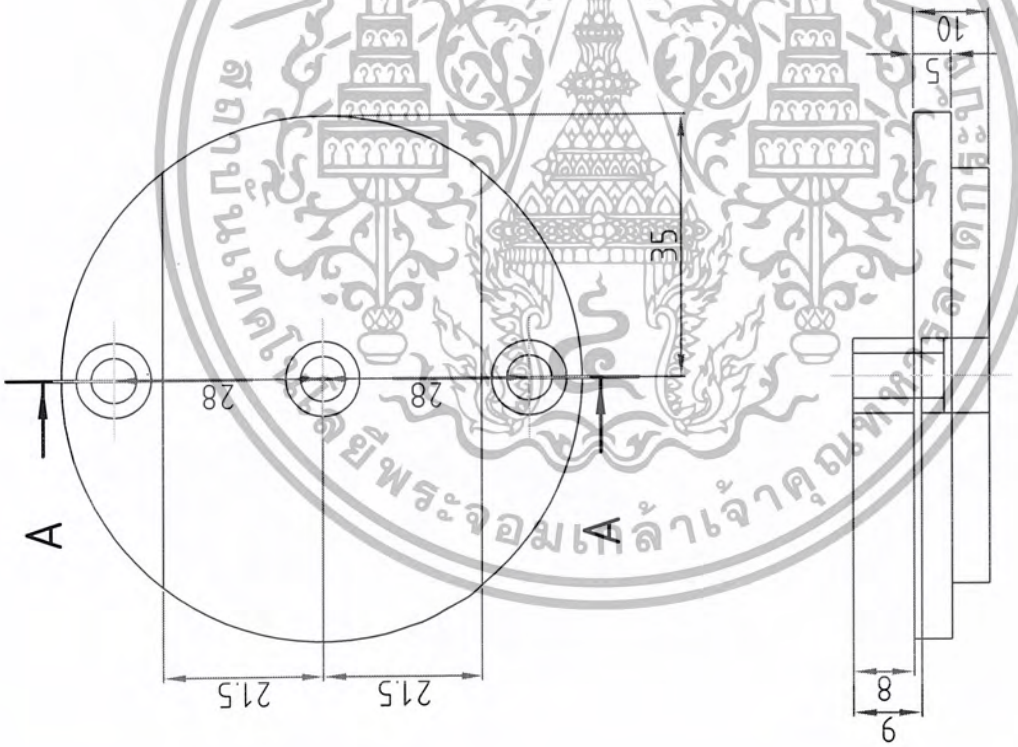


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D curve machine	Checked by C. Polachai	Approved by - date	File name	Date 24/01/04	Scale 2:1
King mongkut's institute of technology ladgrabang		Head Base (front)			
		1		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

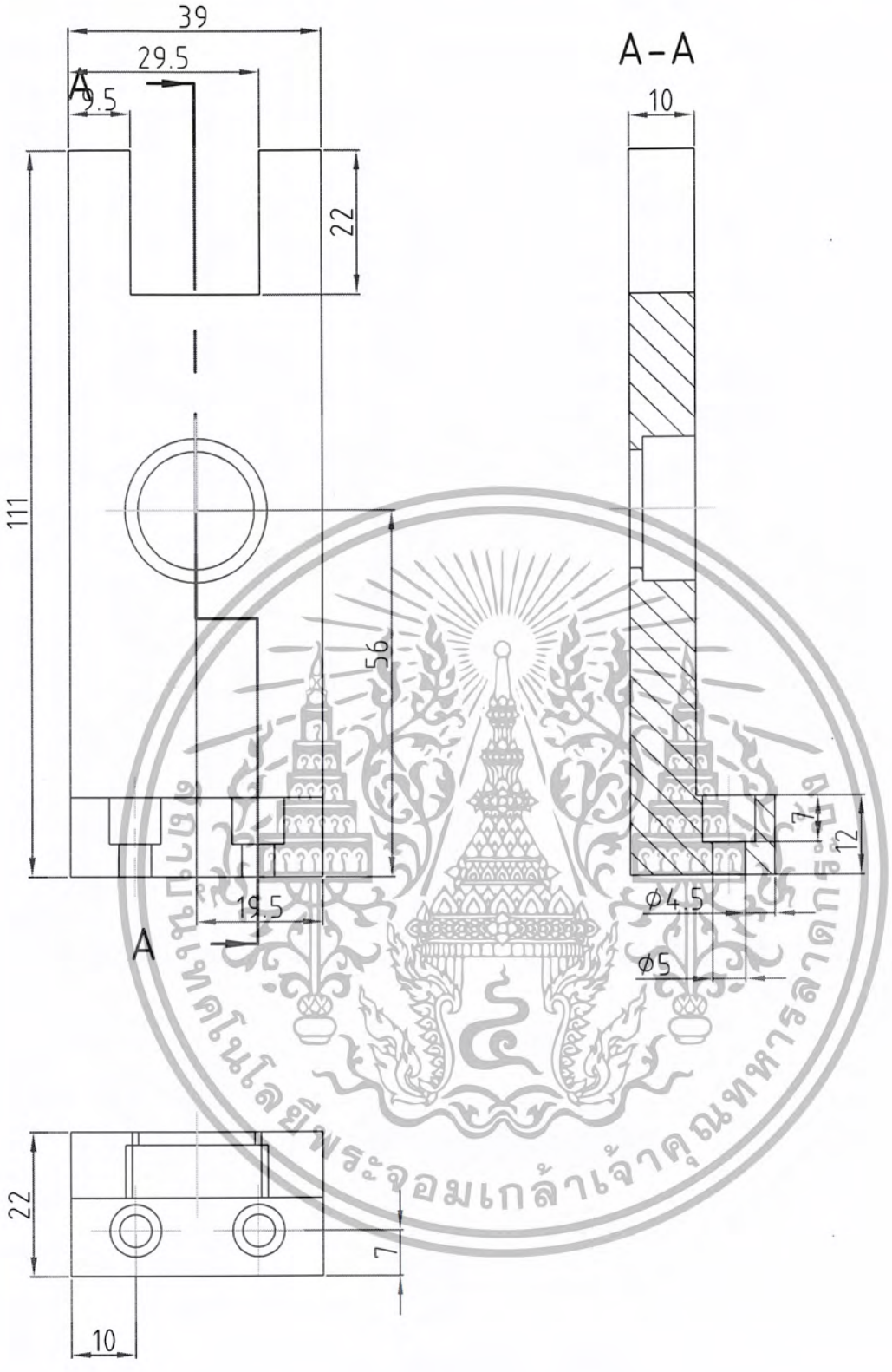




Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 26/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Upper Circle Plate			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

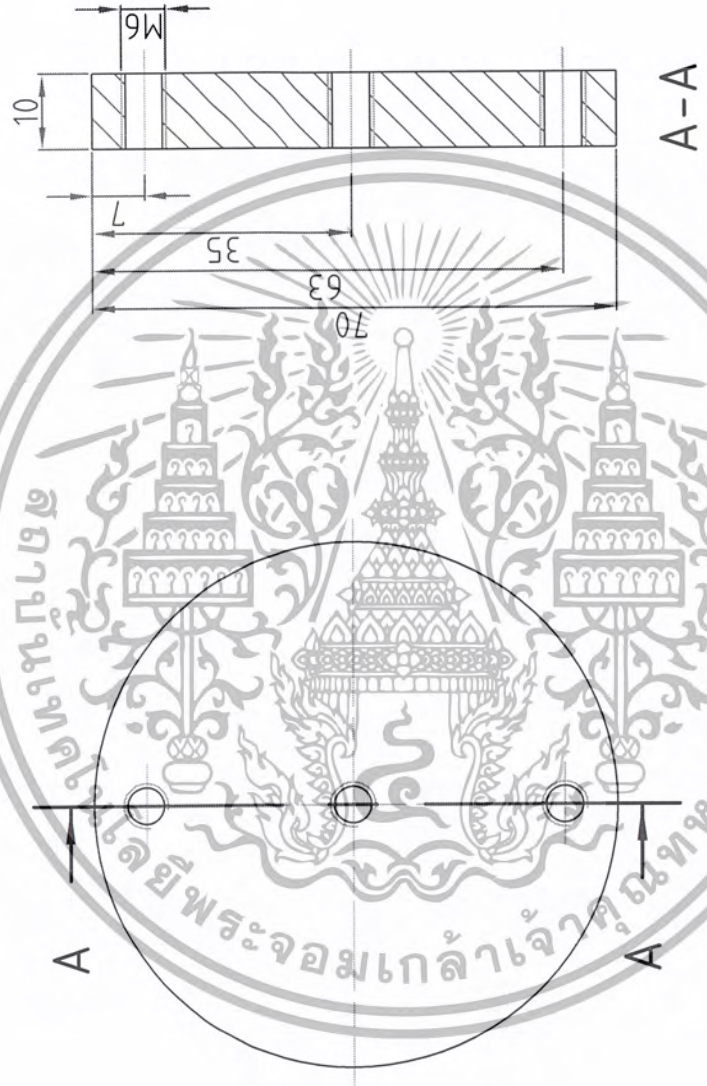
RevNo	Revision note		Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 25/01/04	Scale 1:1
King mongkut's institute of technology ladkrabang			Slide Base		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

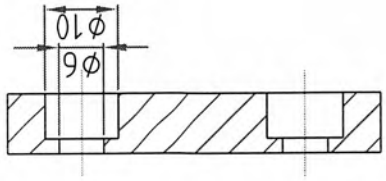


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

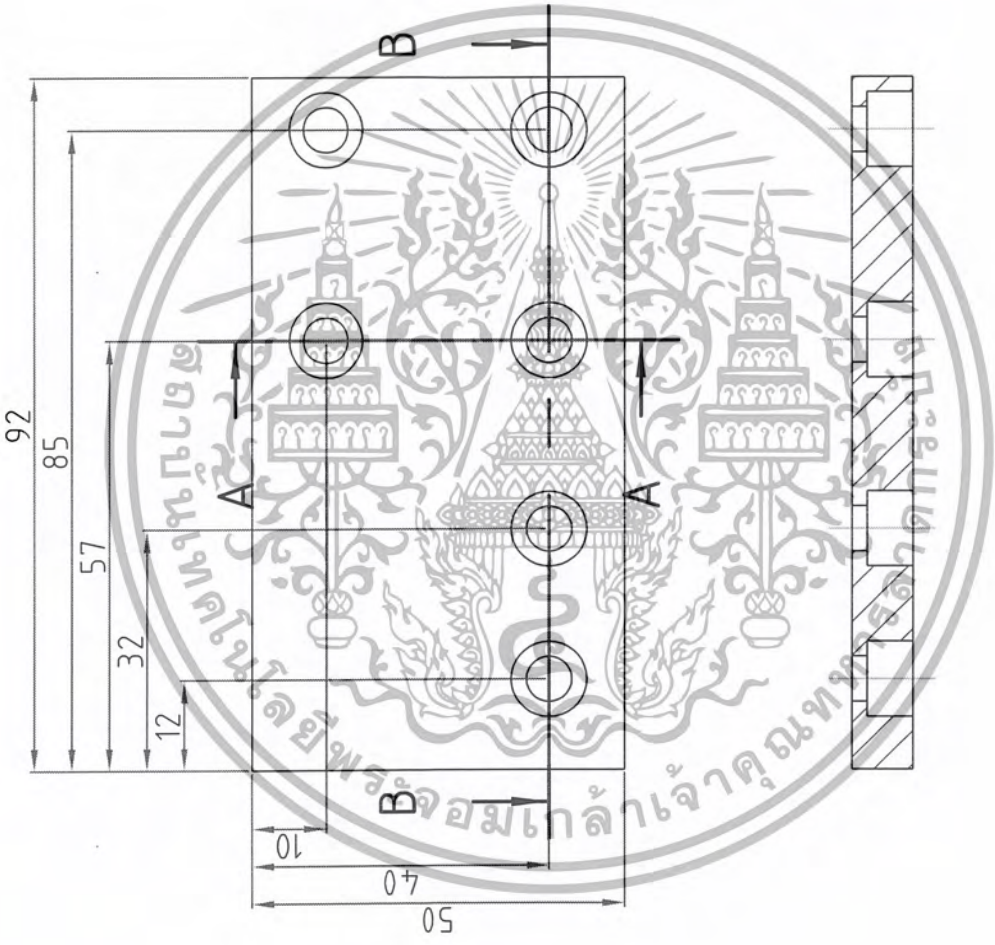
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Lower Circle Plate			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



A-A

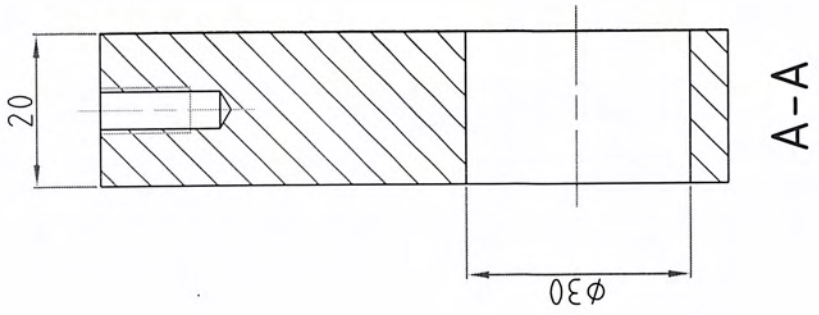


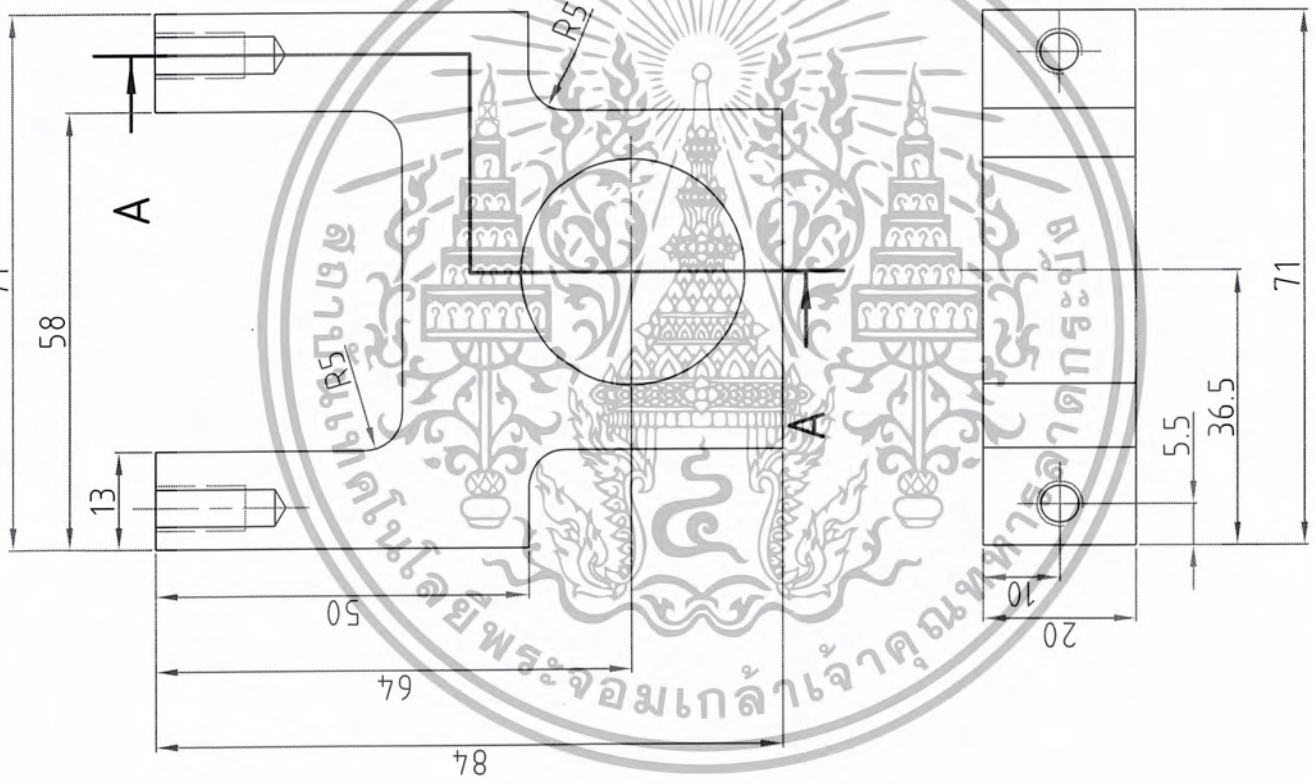
B-B

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine	Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Rectangular Plate		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

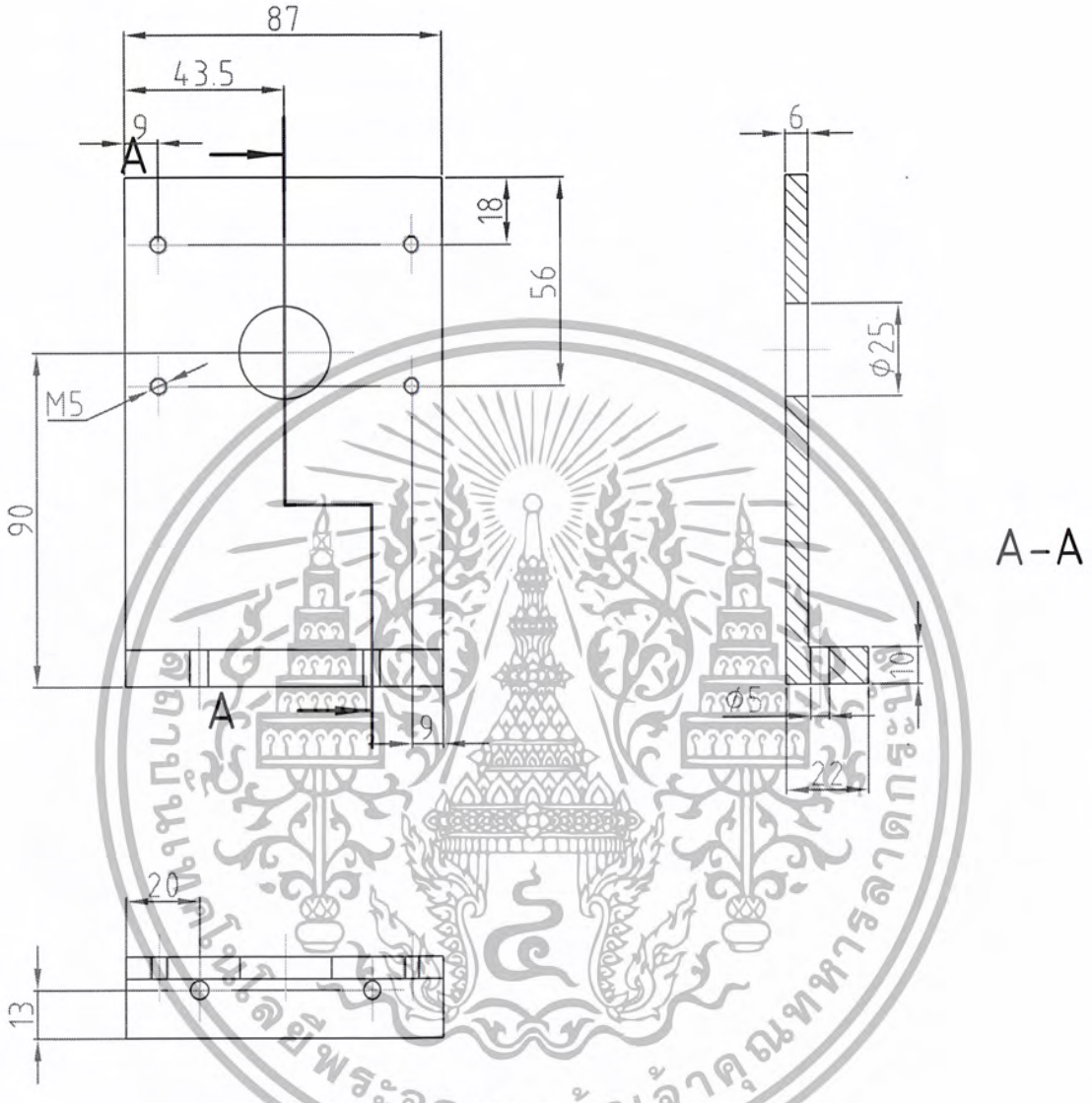




Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang					Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

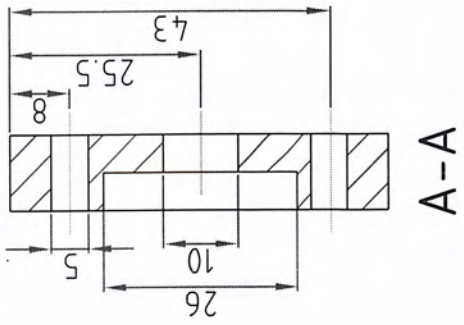
RevNo	Revision note		Date	Signature	Checked

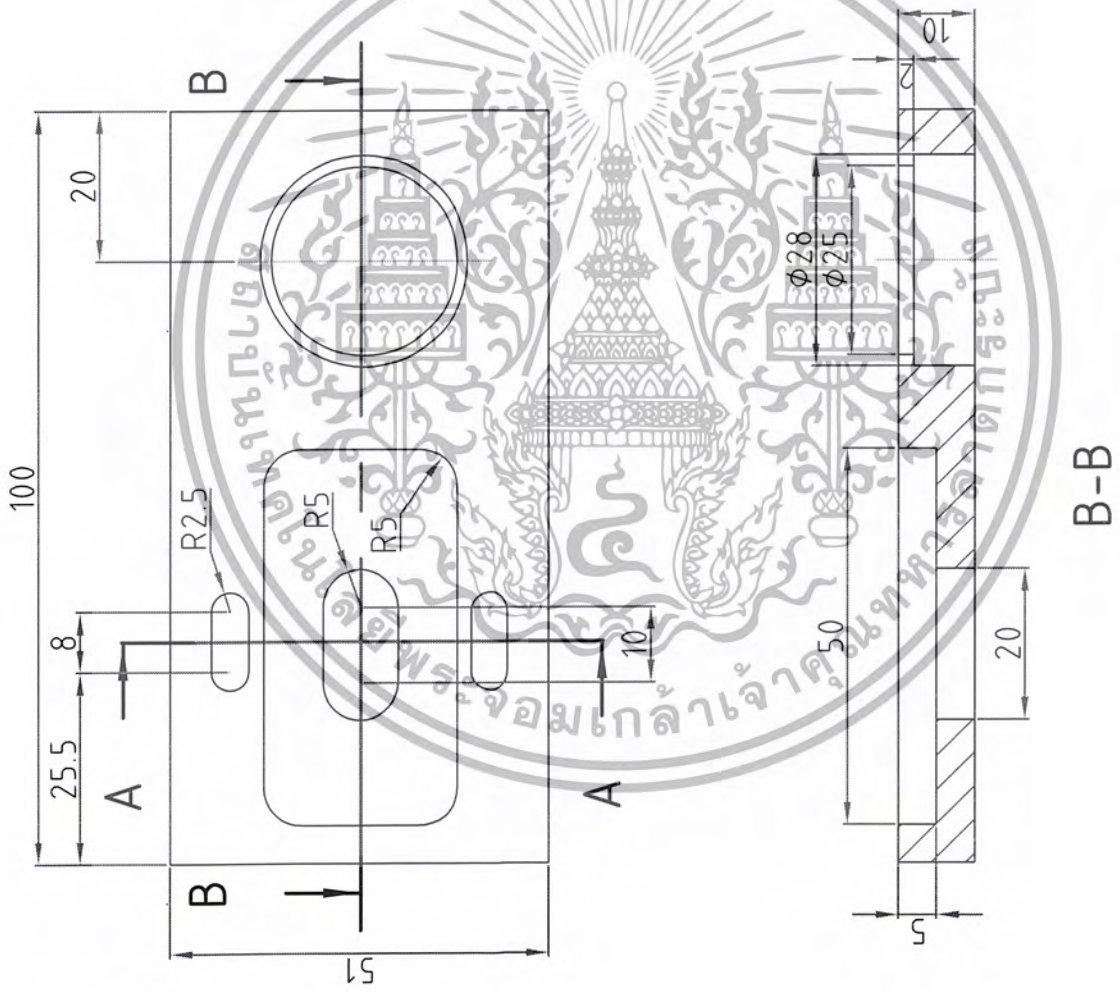


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 2:1
King monghut's institute of technology ladkrabang			Motor Base		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

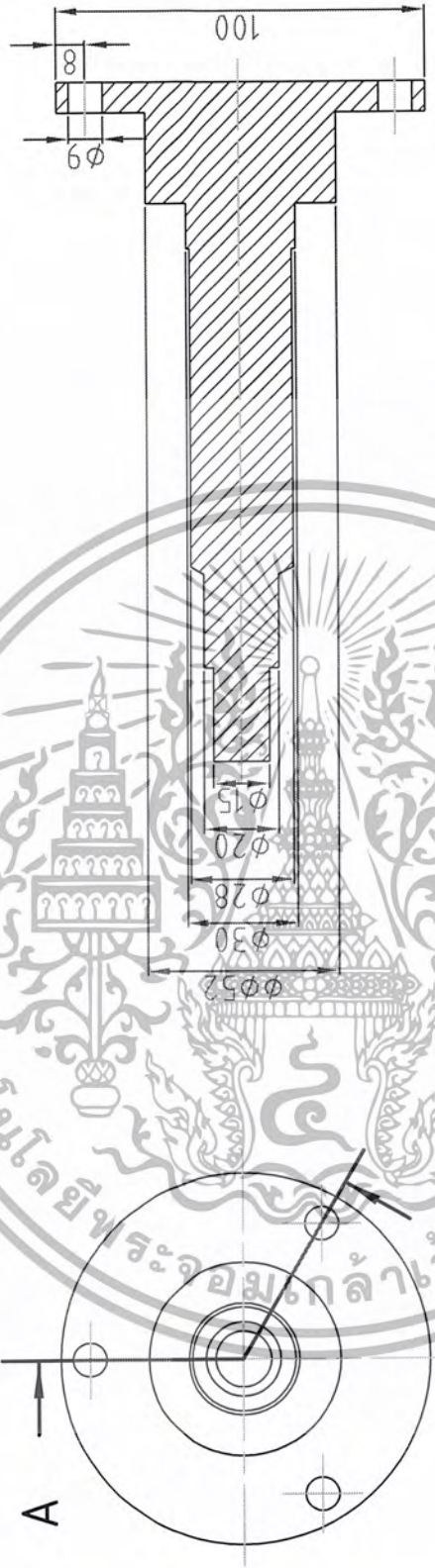




Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine	Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Spindle Back Plate		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

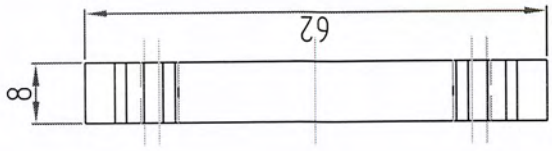
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 25/01/04	Scale 2:1
King mongkut's institute of technology ladkrabang			Shaft		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

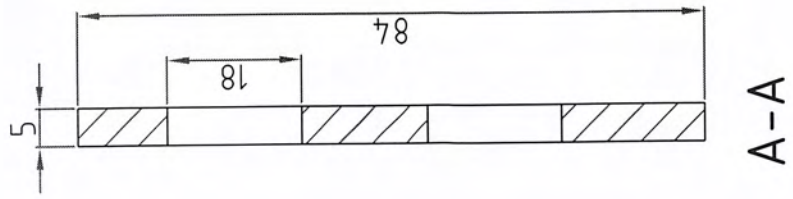
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



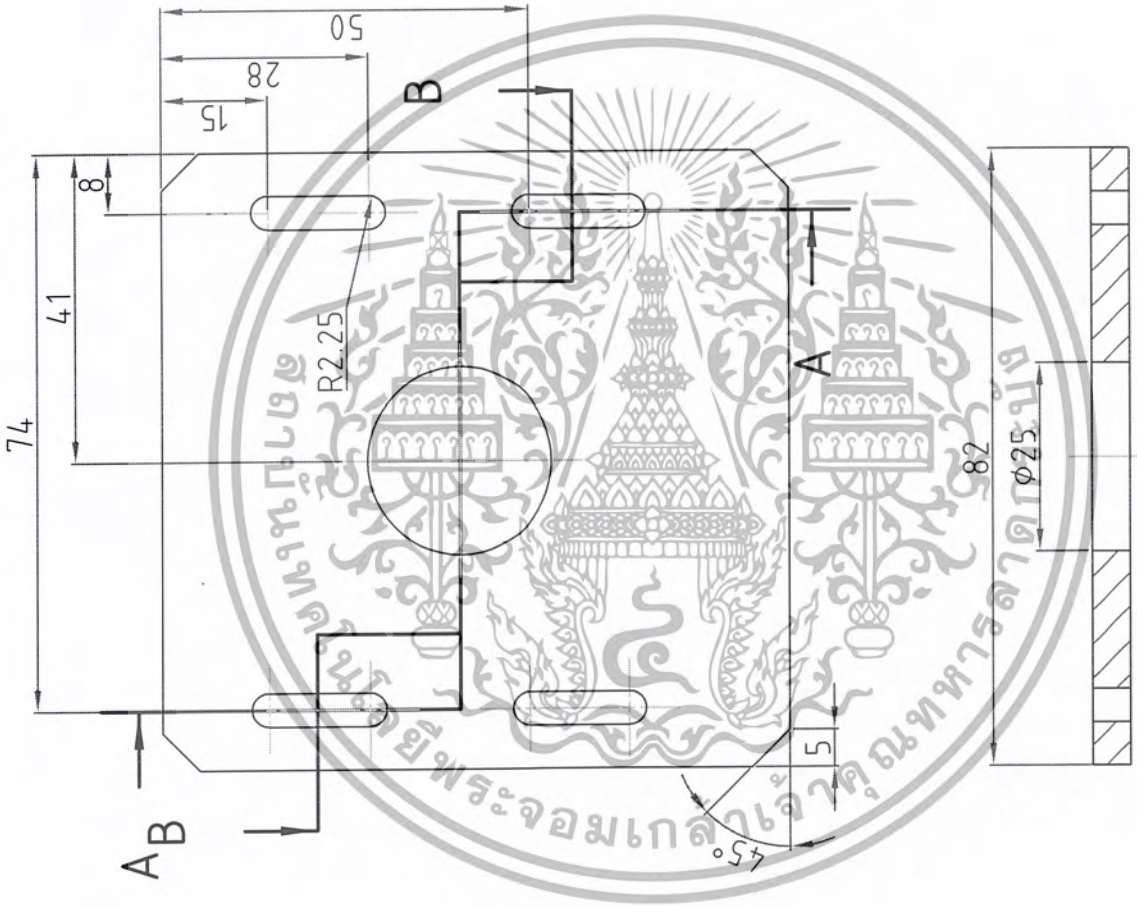
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 25/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Motor Plate			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



A-A



B-B

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 25/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		Motor Support Plate			Edition 0	Sheet 1/1

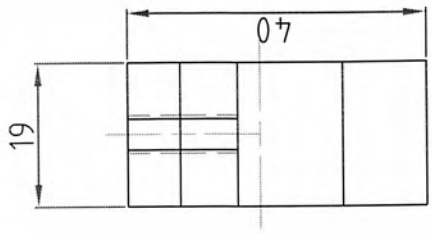
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 26/01/04	Scale 2:1
King monghut's institute of technology ladkrabang			Slide Bar		Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by 3D Carve Machine		Checked by C. Pholachai	Approved by - date	File name	Date 27/01/04	Scale 1:1
King monghut's institute of technology ladkrabang		T Bar			Edition 0	Sheet 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้