สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน

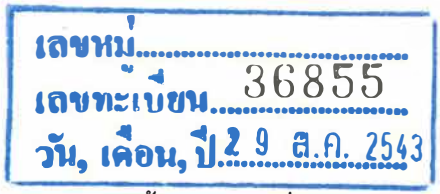
3 AXES CNC MILLING MACHINE

โดย

นายกรกิจ เงาเบญจกุล 39014007
นายณัฐพร เวียงอินทร์ 39014163

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน

3 AXES CNC MILLING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายกรกิจ เงาเบญจกุล
2. นายณัฐพร เวียงอินทร์

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน

นายกรกิจ เงาเบญจกุล
นายณัฐพร เวียงอินทร์
อาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกนที่ใช้สเตปมอเตอร์ในการทำงานในรูปแบบของการควบคุมวงเปิด และใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานได้โดยตรง โดยสามารถออกแบบชิ้นงานได้ทั้งการเขียนโปรแกรมและการจำลองรูปแบบ เพื่อการใช้งานที่สะดวกขึ้น เหมาะสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาก่อน จากผลงานที่ได้ทำขึ้นจะได้เครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกนที่มีราคาไม่แพง ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำแต่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

The objective of this thesis is creating 3-axes CNC milling machine by using step motor in open-loop control and also directly operating via microcomputer. Designed work can be write by programming and simulating for convenience and suitability to beginner. From the result of work, we acquired 3-axis CNC milling machine that is not expensive, low operating cost, and perform machining job efficiently.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญรูป	II
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี	3
2.1.1 พัฒนาการของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี	3
2.1.2 เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี	5
2.1.3 ระบบควบคุมเครื่องจักรกลด้วยตัวเลข	6
2.1.4 ระบบควบคุมซีเอ็นซี	19
2.1.5 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ สำหรับ CNC	23
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสเตปมอเตอร์	26
2.2.1 นิยามของสเตปมอเตอร์	26
2.2.2 การทำงานของสเตปมอเตอร์	26
2.2.3 คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์	26
2.2.4 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป	26
2.2.5 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	28
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51	29
2.3.1 คุณสมบัติของ MCS-51	29
2.3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51	30
2.3.3 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51	33
2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมเดลไฟ (Delphi)	35
2.4.1 สิ่งแวดล้อมในการพัฒนาแอปพลิเคชั่นของเดลไฟ	35
2.4.2 การใช้คอมโพเนนต์เบื้องต้น	39
2.4.3 คอมโพเนนต์ทีคอมพอร์ต (TComPort Component)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบส่วนโครงสร้าง	42
บทที่ 4 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	45
4.1 วงจรขับสเตปมอเตอร์	45
4.1.1 ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม	45
4.1.2 ส่วนขับสเตปมอเตอร์	49
4.2 วงจรรับส่งข้อมูล	51
4.3 วงจรควบคุม	52
บทที่ 5 การออกแบบโปรแกรม	56
5.1 การทำงานในโหมดการโปรแกรมรหัสจี	58
5.1.1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับรหัสจี	58
5.1.2 การแปลงคำสั่งรหัสจีเป็นภาพเสมือนการกัดจริง	61
5.1.3 การจัดการไฟล์ข้อมูล	62
5.2 การทำงานในโหมดการวาดภาพชิ้นงาน	69
5.2.1 รายละเอียดการวาดภาพชิ้นงาน	70
5.2.2 การแปลงภาพเป็นรหัสจี	72
5.2.3 การจัดการเกี่ยวกับไฟล์	72
5.3 โหมดการเคลื่อนที่แบบกำหนดเอง	73
5.3.1 โหมดการเคลื่อนที่พร้อมกด	75
5.3.2 โหมดการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า	75
5.4 โหมดการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบมา	78
5.5 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์	78
5.5.1 การทำงานหลัก	80
5.5.2 การเคลื่อนที่แบบพร้อมกด	80
5.5.3 การเคลื่อนที่แบบตั้งค่า	80
5.5.4 การทำงานแบบการกัดชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	85
บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป	88

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 เครื่องกลึง NC แบบ 2 แกนและ 3 แกน 6
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเครื่องจักรกล CNC 7
รูปที่ 2.3 เครื่องกลึง NC 7
รูปที่ 2.4 เครื่องกลึงเอ็นซีแบบ 2 แกน 9
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ตัดเฉือนของเครื่องมือตัด 9
รูปที่ 2.6 Diagram ระบบขับป้อน 10
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง 11
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบลักษณะสร้างและขนาดของมอเตอร์
กระแสตรงกับมอเตอร์กระแสสลับแบบเฟส 12
รูปที่ 2.9 การขับป้อนของโต๊ะงาน 12
รูปที่ 2.10 ลักษณะสร้างภายในของชุดบอลล์สกรู 13
รูปที่ 2.11 การวัดตำแหน่งโดยตรง 14
รูปที่ 2.12 การวัดตำแหน่งทางอ้อม 15
รูปที่ 2.13 การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ 16
รูปที่ 2.14 การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง 17
รูปที่ 2.15 เพลางานของเครื่องกลึง 17
รูปที่ 2.16 หัวจับงานกลึง 18
รูปที่ 2.17 ชุดยันศูนย์ท้ายแท่นและแท่นประคองงานกลึง 18
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในงานกลึง 19
รูปที่ 2.19 อินเสิร์ตแบบถอดเปลี่ยนได้รูปทรงต่าง ๆ 19
รูปที่ 2.20 ระบบ NC 20
รูปที่ 2.21 ระบบ CNC 20
รูปที่ 2.22 หน้าที่การทำงานของเครื่องจักรกล 23
รูปที่ 2.23 การเคลื่อนที่แบบ Linear Interpolation 24
รูปที่ 2.24 Contour approximation using line segments 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 2.25 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเตปมอเตอร์ 26
รูปที่ 2.26 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ 27
รูปที่ 2.27 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์
ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุลย์ 28
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส
และแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45° 28
รูป 2.29 แสดงขาของ MCS-51 30
รูปที่ 2.30 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมเดลไฟ 36
รูปที่ 2.31 แสดงเมนู 36
รูปที่ 2.32 แสดง Speedbar 36
รูปที่ 2.33 แสดง Component Palette 37
รูปที่ 2.34 แสดงหน้าต่าง Object Inspector 37
รูปที่ 2.35 แสดงหน้าต่างฟอร์ม 38
รูปที่ 2.36 แสดงส่วน Code Editor 39

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องกัดซีเอ็นซี 42
รูปที่ 3.2 แสดงชุดเฟืองทด 43

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของ L297 45
รูปที่ 4.2 แสดงขาของ L297 46
รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อขา SYNC 48
รูปที่ 4.4 แสดงลำดับเฟสในโหมดครึ่งสเตป 48
รูปที่ 4.5 แสดงลำดับเฟสในโหมดสองเฟส 48
รูปที่ 4.6 แสดงลำดับเฟสในโหมดหนึ่งเฟส 49
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการขับแบบไบโพลาร์ 49
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการควบคุมสเตปมอเตอร์ 50
รูปที่ 4.9 แสดงขาของ MAX232 51
รูปที่ 4.10 แสดงขาของ MCS-51 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.11 แสดงวงจรควบคุม 1 แกน 53
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรควบคุม 3 แกน 55

บทที่ 5

รูปที่ 5.1 แสดงส่วนการเลือกโหมดการออกแบบชิ้นงาน 56
รูปที่ 5.2 แสดงส่วนการเลือกโหมดการกัดชิ้นงาน 57
รูปที่ 5.3 แสดงส่วนการเลือกส่วนเพิ่มเติมต่างๆ 57
รูปที่ 5.4 แสดงโหมดการโปรแกรมรหัสจี 58
รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G00 59
รูปที่ 5.6 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G01 60
รูปที่ 5.7 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G02 60
รูปที่ 5.8 แสดงภาพเสมือน 2 มิติ (Simulate) ของโปรแกรมทดสอบ 62
รูปที่ 5.9 แสดงเมนูการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูล 62
รูปที่ 5.10 แผนภาพการจัดการไฟล์ 63
รูปที่ 5.11 แสดงเมนูการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูล 64
รูปที่ 5.12 แสดงหน้าจอโปรแกรมหลังจากการสร้างไฟล์ใหม่ 64
รูปที่ 5.13 แผนภาพการสร้างไฟล์ใหม่ 65
รูปที่ 5.14 แผนภาพการเปิดไฟล์ 66
รูปที่ 5.15 แผนภาพการบันทึกไฟล์ 67
รูปที่ 5.16 แผนภาพการปิดไฟล์ 68
รูปที่ 5.17 แผนภาพการปิดโปรแกรม 69
รูปที่ 5.18 แสดงโหมดการวาดภาพชิ้นงาน 70
รูปที่ 5.19 แสดงแถบกำหนดความลึก 71
รูปที่ 5.20 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Linear Interpolation 72
รูปที่ 5.21 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Circular Interpolation 72
รูปที่ 5.22 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Pocket Milling 72
รูปที่ 5.23 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Circle / Ring Milling 72
รูปที่ 5.24 แสดงหน้าจอโปรแกรมการเคลื่อนแบบกำหนดเอง 73
รูปที่ 5.25 แผนภาพการทำงานในโหมดการทำงานแบบกำหนดเอง 74
รูปที่ 5.26 แผนภาพการทำงานแบบกำหนดเองในโหมดเคลื่อนที่พร้อมกด 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.27 แผนภาพการเคลื่อนที่แบบกำหนดเองกำหนดเองในโหมดตั้งค่า 77
รูปที่ 5.28 แสดงหน้าจอการทำงานโหมดการกัดชิ้นงาน 78
รูปที่ 5.29 แผนภาพแสดงการทำงานในโหมดการกัดชิ้นงาน 79
รูปที่ 5.30 แผนภาพแสดงการทำงานหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ 82
รูปที่ 5.31 แผนภาพแสดงการทำงานการเคลื่อนที่แบบพร้อมกด 83
รูปที่ 5.32 แผนภาพแสดงการทำงานการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า 84
รูปที่ 5.33 แผนภาพแสดงการทำงานการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบไว้ 84

บทที่ 6

รูปที่ 6.1 แสดงรหัสจีที่ใช้ในการกัดทดสอบ 86
รูปที่ 6.2 แสดงรูปที่เกิดจากการป้อนรหัสจีในรูปที่ 6.1 87
รูปที่ 6.3 แสดงรูปที่เกิดจากการกัดจริง 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องจักรกลทั่วไป กับเครื่องจักรกลเอ็นซี	4
ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ของ L297	46
ตารางที่ 6.1 แสดงการเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน	85
ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบความถูกต้องของการเคลื่อนที่ ในแต่ละแกน	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้เจริญเติบโตไปเป็นอย่างมาก เครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆจากต่างประเทศเข้ามาใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง โรงงานที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีเงินลงทุนไม่สูงมากนัก อาจไม่สามารถนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีผู้ที่พยายามพัฒนาเทคโนโลยีของเราให้ทัดเทียมกับต่างประเทศ ผสมผสานไปกับการลดต้นทุนเพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีเหล่านั้นได้อย่างแพร่หลาย

เครื่องกัดในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม ในปัจจุบันยังใช้คนควบคุมอยู่ ซึ่งทำให้เกิดข้อผิดพลาด ล่าช้า และผลิตได้ในจำนวนที่ไม่มากเพียงพอกับการเติบโตของอุตสาหกรรมด้านนี้

ในการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลทั่วไป ช่างควบคุมเครื่องจะใช้มือหมุนเพื่อควบคุมแท่นจับยึดชิ้นงานเข้าหาใบมีดหมุน เพื่อกัดให้เป็นรูปที่ต้องการ ลักษณะเช่นนี้ช่างควบคุมจะต้องคอยเฝ้าดูชิ้นงาน,ตำแหน่งและความลึกของใบมีดอยู่ตลอดเวลา การทำงานช่างควบคุมจะต้องคอยเลื่อนแท่นขึ้นลงตลอดเวลา เพื่อตรวจสอบรูปทรงของชิ้นงาน เมื่อได้รูปทรงที่ต้องการแล้ว ช่างจะหยุดหมุนมือหมุน แท่นวัตถุก็จะหยุดเคลื่อนที่ ในภาษาทางเทคนิคเรียกการทำงานเหล่านี้ว่า **การควบคุม** (Control) และตำแหน่งของแท่นจับยึดชิ้นงานก็จะ**ถูกควบคุม** (Controlled)

นอกเหนือจากการควบคุมตำแหน่งแท่นจับยึดชิ้นงานแล้ว ช่างควบคุมยังต้องควบคุมอัตราป้อน และความเร็วรอบของใบมีดกัด (Spindle) ซึ่งขึ้นกับชนิดของชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน ขนาดของใบมีด และลักษณะงานที่ต้องการ เพื่อให้ได้งานตามรูปร่างที่ต้องการอย่างแท้จริง

เมื่อการควบคุมเกิดปัญหาและความยุ่งยากขึ้นมากมายเช่นนี้ จึงมีการเปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC) ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลสมัยใหม่ ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีราคาสูงตามไปด้วย

ในปี ค.ศ. 1948 นักวิทยาศาสตร์ของสถาบัน MIT (Massachusetts Institute of Technology) ได้ริเริ่มทำโครงการพัฒนาเครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนจากกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา (U.S. Air Force)

เครื่องจักรระบบเอ็นซีเครื่องแรกคือ CINCINNATIC HYDROTEL VERTICAL-SPINDLE MACHINE และนำออกใช้งานในปี ค.ศ. 1957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในประเทศไทยนั้น เริ่มต้นโดยการนำเข้าเครื่องจักรเก่าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างต่ำ เพื่อการเริ่มต้นศึกษาถึงความสามารถของเครื่องจักรนั้นๆ เครื่องส่วนใหญ่ที่นำเข้าจะเป็นเครื่องที่ใช้ระบบเอ็นซี (NC) ในการควบคุม และในเวลาต่อมาก็เริ่มนำเข้าเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี จนถึงปัจจุบัน ในเวลาปัจจุบันเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบเอ็นซีในสมัยก่อนก็เริ่มประสบปัญหาคือ ใช้งานไม่ได้ในส่วนของการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงมีบุคคลหลายๆ กลุ่มเริ่มให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาส่วนควบคุมเครื่องจักรดังกล่าว ให้สามารถควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้งานได้ทัดเทียมกับเครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี ซึ่งมีราคาแตกต่างกันมาก

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ประกอบด้วย

1. สร้างเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน บนพื้นฐานไมโครคอมพิวเตอร์โดยมีโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งาน
2. สามารถนำเครื่องจักรที่ได้ไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในเรื่องเครื่องจักรกลซีเอ็นซี
3. สามารถใช้เครื่องจักรที่ได้กัดงานจริงได้ในบางชนิดของชิ้นงาน
4. สามารถนำหลักการและโปรแกรมไปประยุกต์ใช้กับ เครื่องจักรกลทั่วไปที่มีอยู่แล้วให้ใช้งานได้ทัดเทียมกับเครื่องจักรซีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

2.1.1 พัฒนาการของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

- **ความหมายของเอ็นซีและซีเอ็นซี**

เอ็นซี (NC) ย่อมาจากคำว่า Numeric Control หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยระบบตัวเลขและตัวอักษร ซึ่งคำจำกัดความนี้ได้จากประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆตลอดจนการทำงานอื่นๆ ของเครื่องจักรกล จะถูกควบคุมโดยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (pulse) ของกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณออกอื่นๆ ที่จะไปกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อทำให้เครื่องจักรกลทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

ซีเอ็นซี (CNC) ซึ่งย่อมาจากคำว่า Computerized Numeric Control ระบบควบคุมเอ็นซีจะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซี และประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล

- **ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลเอ็นซีกับเครื่องจักรกลทั่วไป**

ความแตกต่างในการใช้เครื่องจักรกลเอ็นซี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลที่ใช้ทั่วไปก็คือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกระทำเพียงครั้งเดียว กล่าวคือจะกระทำในขั้นตอนการวางแผนและการสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้น โปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล สำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ โดยสามารถทำการผลิตซ้ำๆกันกี่ครั้งก็ได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 ตารางเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องจักรกลทั่วไปกับเครื่องจักรกลเอ็นซี

	รายละเอียด		เครื่องจักรกลทั่วไป	เครื่องจักรกลเอ็นซี
1	การป้อนโปรแกรม		ไม่มี	มี
2	การจับยึดชิ้นงาน	ขั้น	มือ	มือ
3	การจับยึดเครื่องมือตัด	เตรียม	มือ	มือ หรือชุดควบคุม
4	การตั้งจุดอ้างอิง	งาน	มือ	มือ
5	การตั้งความเร็วรอบ		มือ	ระบบควบคุม
6	การเลื่อนแท่นเลื่อน	ขั้น	มือหมุน	ระบบควบคุม
7	การเปรียบเทียบระยะ	ตัด	สายตา	ระบบควบคุม
8	การตรวจสอบขนาด	เฉือน	เครื่องมือวัด	ใช้เวลาน้อยกว่า

- **ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี**

ระบบเอ็นซีเป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบเอ็นซี ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี ก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุม นั่นคือคอมพิวเตอร์เมื่อนำระบบซีเอ็นซีไปควบคุมเครื่องจักรกล ความสามารถในการทำงานต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีดังนี้

1. การแสดงภาพจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบทางจอภาพ
2. ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้น สามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก
3. การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรโดยตรง
4. สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้
5. ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น
6. มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง
7. มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับการคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน เป็นต้น

- **ข้อดีและข้อเสียของจักรกลซีเอ็นซี**

ข้อดีของเครื่องจักรกล CNC เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติประเภทอื่นๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มีความยืดหยุ่นสูง การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบและอัตราป้อนที่ใช้ในการผลิต
3. ใช้เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า
4. สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ง่ายกว่า
5. การปรับแต่งเครื่องจักรกระทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ
6. หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่มีทักษะและประสบการณ์สูง
7. ช่างควบคุมเครื่องมีเวลาว่างจากการควบคุมเครื่อง สามารถที่จะจัดเตรียมงานอื่นๆล่วงหน้าได้
8. การตรวจสอบคุณภาพ ไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้น

2.1.2 **เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี**

- **การทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี**

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีหรือซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือ โดยพื้นฐานแล้วเครื่องจักรกลเอ็นซีจะทำการผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไป เช่น เครื่องกลึงเอ็นซี ก็จะทำงานเหมือนกับเครื่องกลึงทั่วไป เพียงแต่ว่าระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆ แทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตามจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะให้ทำอะไร และจะต้องบอกเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ นั่นคือ จะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือเทปแม่เหล็กก็ได้ (magnetic tape) ก็ได้

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องจากเครื่องจักรกลเอ็นซีจะมีการเคลื่อนที่ 2 แนวแกน ก็จะมีมอเตอร์ป้อน 2 ตัว

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมที่มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่

ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ ช่างควบคุมเครื่องอาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะรู้ว่าจะต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไป

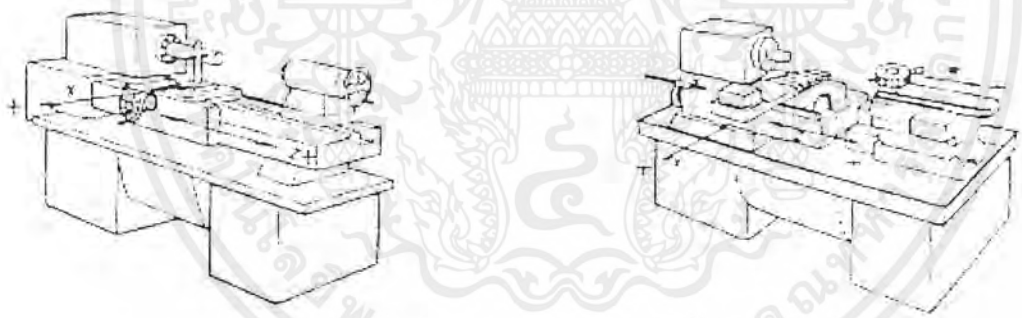
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกเป็นระยะเท่าใด แต่ระบบควบคุมเอ็นซีมองไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จะสามารถของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี่เรียกว่า **ระบบวัดขนาด** (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Linear Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้รู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว

จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรงและขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป ทำให้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และก็มีปริมาณความต้องการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ

- **เครื่องกลึงเอ็นซี** (NC Latch Machines)

เครื่องกลึงเอ็นซีส่วนใหญ่จะมีแนวการเคลื่อนที่เพียง 2 แนวแกนเท่านั้น ลักษณะการออกแบบส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกลึง ดังแสดงในรูปที่2.1



ก. แบบ 2 แกน ข. แบบ 3 แกน

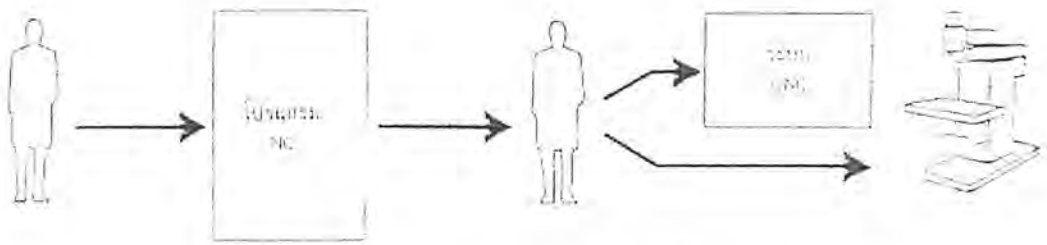
รูปที่ 2.1 เครื่องกลึง NC แบบ 2 แกนและ 3 แกน

2.1.3 ระบบควบคุมเครื่องจักรกลด้วยตัวเลข

เครื่องจักรกลเอ็นซีจะประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่อยู่ 2 ส่วน คือ

1. **เครื่องจักรกล** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัดเฉือนชิ้นงานตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้
2. **ระบบเอ็นซี** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการตัดเฉือนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

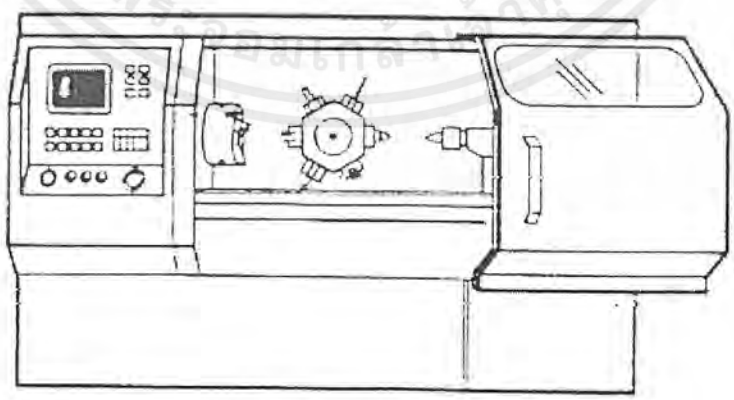


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเครื่องจักรกล CNC

ข้อมูลเดิมที่อธิบายรายละเอียดของขั้นตอนที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน จะถูกป้อนเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องจักรกลก่อน ในรูปแบบของโปรแกรมเอ็นซี ซึ่งถูกจัดเตรียมโดยช่างเขียนโปรแกรม ช่างควบคุมเครื่องอาจเป็นผู้ป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุม ซึ่งอาจป้อนด้วยมือผ่านแป้นพิมพ์โดยตรง หรือใช้แถบกระดาษเจาะรู (Punched tape) ก็ได้ หลังจากนั้น ก็จะเดินเครื่องทดลองโปรแกรม และสังเกตสภาวะการตัดเฉือนชิ้นงานในแต่ละขั้นตอน บ่อยครั้งที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องจัดเตรียมโปรแกรม หรือเขียนโปรแกรมด้วยตัวเอง หรือแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือนสูงสุด ดังนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องมีความรู้ทั้งระบบควบคุมของเครื่องจักรกลและการเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วย

- **องค์ประกอบของเครื่องจักรกลที่ควบคุมได้**

องค์ประกอบหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานและองค์ประกอบอื่นๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมด้วยวิธีการควบคุมแบบต่างๆกัน



รูปที่ 2.3 เครื่องกลึง NC

ช่างชำนาญงานที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีหรือซีเอ็นซี จะต้องมีความคุ้นเคยกับการทำงานและขีดจำกัดและขีดจำกัดในการทำงานของ เครื่องจักรกลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็นซีเป็นอย่างดี ช่างจะใช้วิธีการทำงานแบบง่ายๆ โดยการจับยึดงานเข้ากับโต๊ะงานและคาดว่าจะได้วิธีการตัดเฉือนที่ดีที่สุดไม่ได้ ในทางตรงกันข้ามช่างจะต้องรู้ว่าองค์ประกอบส่วนใดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่สามารถควบคุมได้และมีวิธีการควบคุมอย่างไร องค์ประกอบของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซีที่สามารถควบคุมได้ และจะกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่

- แนวแกนป้อน (Feed axes)
- การขับป้อน (Feed drives)
- อุปกรณ์วัดขนาด (Measuring devices)
- เพลางาน (Work Spindle)
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Working holding devices)

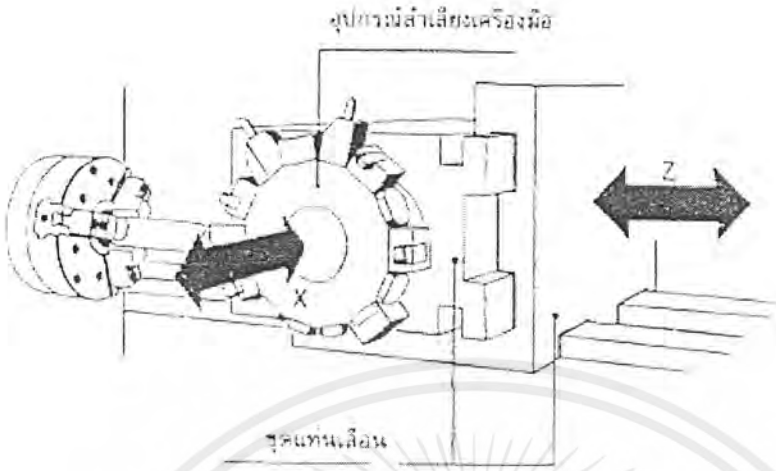
1) **แนวแกนป้อน** (Feed axes)

ในการกล่าวถึงเครื่องจักรกลซีเอ็นซีบ่อยครั้งที่เราจะได้ยินคำว่า **แนวแกน** (Axes) ซึ่งหมายแนวการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของเครื่องจักรกล เช่น โต๊ะงานเพลาหัวเครื่องอุปกรณ์ลำเลียงเครื่องมือ (Tool carries) เป็นต้น

สำหรับเครื่องจักรกลทั่วไป การเคลื่อนที่ในแนวแกนต่างๆ จะเกิดจากการหมุนหรือ หรือยกป้อนอัตโนมัติ (Feed levers)

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีแนวแกนป้อมรวนกันอยู่หลายแนวแกนทำให้สามารถตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปต่างๆที่ต้องการได้ การกำหนดแนวแกนต่างๆของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะกำหนดมาตรฐานสากลภายใต้หัวเรื่อง Coordinate axes and direction of movement for numerically controlled machinery ซึ่งจะกำหนดแนวแกนเหล่านี้โดยใช้ตัวอักษร x, y และ z ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

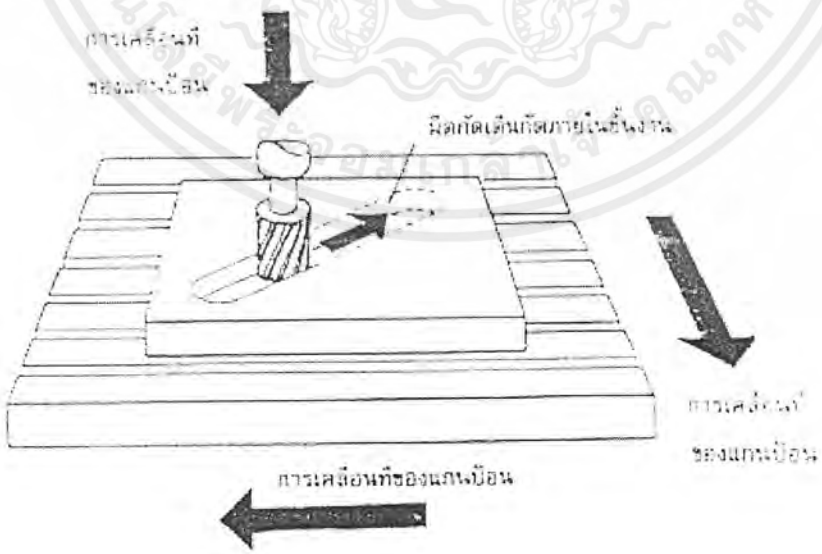


รูปที่ 2.4 เครื่องกลึงเอ็นซีแบบ 2 แกน

เครื่องกลึงจะมีแนวการป้อนอยู่ 2 แนวแกน คือ แกน X และ แกน Z ทั้งสองแนวแกนจะอยู่ที่ชุดแท่นเลื่อน (Compound Slide) ซึ่งมีอุปกรณ์ลำเลียงเครื่องมือ (Tool Carrier) ติดตั้งอยู่ ลักษณะเช่นนี้ทำให้สามารถกลึงชิ้นงานที่มีรูปร่างต่างๆกันได้ตามต้องการ

2) **การขับป้อน** (Feed drives)

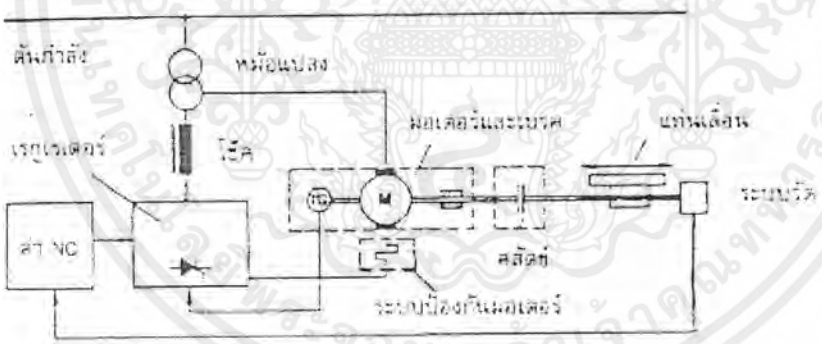
การเคลื่อนที่เรียงลำดับกันหรือพร้อมๆกันอย่างต่อเนื่องของแนวแกนป้อน จะทำให้เกิดการตัดเฉือนของเครื่องมือในชิ้นงาน ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ตัดเฉือนของเครื่องมือตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับป้อนจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ในขณะตัดเฉือนแท่นเลื่อนอาจพาให้ชิ้นงานเคลื่อนที่หรือคมตัดเคลื่อนที่ก็ได้ ระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการหมุนขับและควบคุมการทำงาน ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอก มอเตอร์ชนิดนี้จะสามารถหมุนและเบรคให้หยุดได้ทั้งสองทิศทางขณะตัดเฉือนงาน การเคลื่อนที่ป้อนจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถต้านแรงกระทำจากภายนอกได้ เช่น แรงตัดเฉือน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ระบบขับป้อนจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีความแข็งแกร่งสูง การเคลื่อนที่คงที่และสม่ำเสมอสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนอัตราป้อนได้อย่างรวดเร็วนอกจากนี้ในการทำงานคมตัดอาจที่อหรือการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนอาจถูกกีดขวาง หรือเร่งอัตราป้อนให้เคลื่อนที่เร็วและหยุดโดยทันทีทันใด สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มอเตอร์รับภาระมากเกินไป (Over loading) ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการป้องกัน อุบัติเหตุเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้คลัตช์แบบลูกกลิ้ง (Over running clutch) ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ระบบขับป้อนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือ การเลือกใช้อุปกรณ์ในกระบบขับป้อนให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรและการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพดังแสดงในรูป 2.6



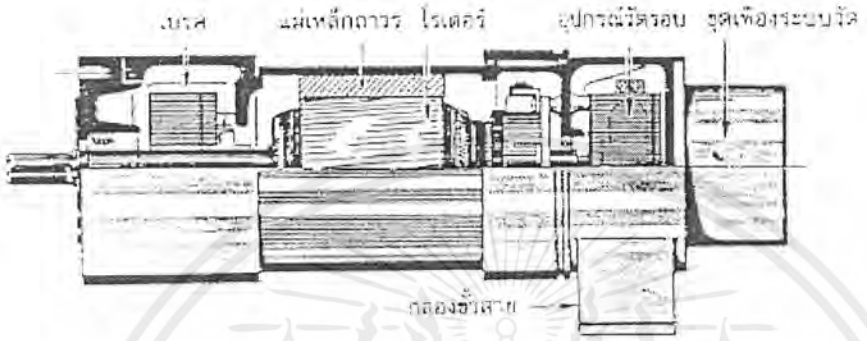
รูปที่ 2.6 Diagram ระบบขับป้อน

2.1) มอเตอร์

เครื่องจักรกลเอ็นซีสมัยใหม่ จะออกแบบใช้ระบบขับป้อนแบบเซอร์โว (Servo drives) ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนและความเร็วรอบได้โดยไม่มีขีดจำกัดของขั้นความเร็ว และอัตราป้อน มอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) <u>มอเตอร์กระแสตรง (DC motors)</u> ลักษณะสร้างของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้เกนเหล็กถาวรที่มี 4,6 หรือ 8 ขั้ว ประกอบด้วยระบบเบรค (Brake) แกนมอเตอร์ (Rotor) อุปกรณ์วัดรอบ (Tachogenerator) และอุปกรณ์วัด (Measuring box) ดังแสดงในรูป 2.7



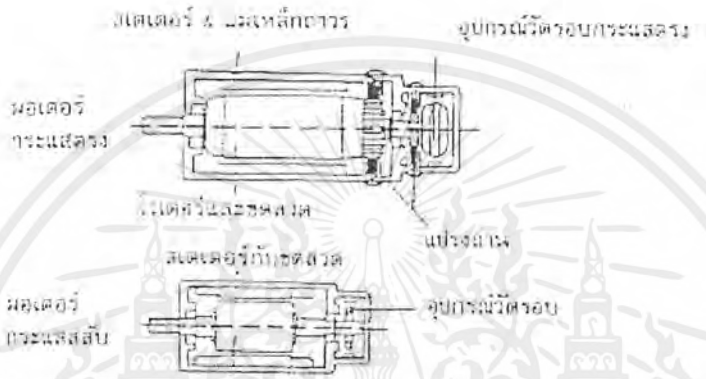
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง

การใช้มอเตอร์กระแสตรง ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนได้ละเอียดและมีวงจรควบคุมที่ไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มอเตอร์ชนิดนี้ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะต้องคอยทำความสะอาดและเปลี่ยนเมื่อแปรงถ่านหมด นอกจากนี้ แปรงถ่านยังทำให้แกนมอเตอร์สึกหรออันเป็นผลทำให้กำลังมอเตอร์ลดลง ข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คือ หากต้องการกำลังขับสูง มอเตอร์ก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย และเมื่อใช้ความเร็วรอบสูง ๆ จะทำให้แรงบิดลดลง ดังนั้น จึงมักใช้กับเครื่องจักรกลเอ็นซีขนาดเล็กและขนาดกลาง

ข) <u>มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping motors)</u> เป็นมอเตอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่องโดยการแปลงคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบให้เป็นการเคลื่อนเชิงมุม การหมุนในแต่ละมุมหรือขั้นที่เปลี่ยนไป 1 ขั้นจะเท่ากับ 1 คลื่นสัญญาณ ดังนั้น ตำแหน่งของเพลาจะถูกกำหนดโดยจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ และความเร็วในการหมุนของเพลาจะวัดเป็นจำนวนขั้นต่อวินาที (Steps per second) ซึ่งจะเท่ากับความถี่ของคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบที่วัดเป็นจำนวนคลื่นสัญญาณต่อวินาที (Pulses per second) ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ในการแบ่งขั้นการหมุนตามจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ แรงบิดของมอเตอร์ชนิดนี้จะลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนแบ่งเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลเล็ก ๆ ที่ไม่ต้องใช้กำลังขับมาก เช่น เครื่องพลอตเตอร์ (Plotter machine) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

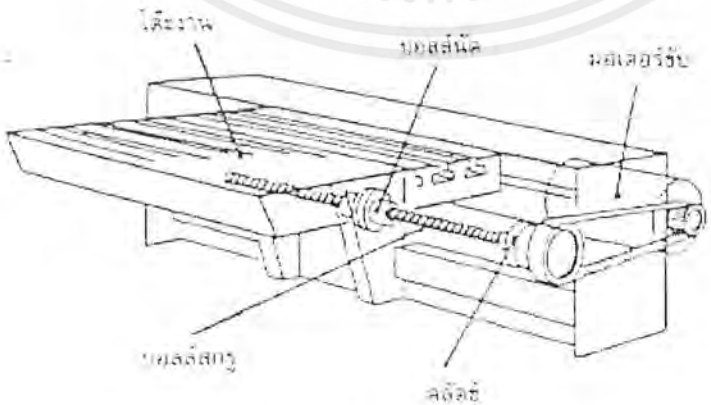
ค) <u>มอเตอร์กระแสสลับ (Altermate-current motors)</u> ส่วนมากจะเป็นมอเตอร์แบบซิงโครนัส (Syncronous motor) ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ทำให้สามารถลดงานบำรุงรักษาได้มาก และมอเตอร์ขนาดเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง จะสามารถให้แรงบิดได้ดีกว่า และมีขนาดเล็กกว่าด้วย ดังแสดงในรูป 2.8 ส่วนข้อเสียของมอเตอร์แบบนี้คือ วงจรควบคุมจะมีความซับซ้อนมากกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบลักษณะสร้างและขนาดของมอเตอร์กระแสตรงกับมอเตอร์กระแสสลับแบบ 3 เฟส

2.2) **บอลล์สกรู** (Ball screws)

หัวใจของระบบขับป้อนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ก็คือ การส่งกำลังขับด้วย บอลล์สกรู ซึ่งจะมีลูกบอลล์ไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา บอลล์สกรูจะประกอบด้วยสกรูกับนัตที่ลักษณะเป็นเกลียวกลม ร่องเกลียวกลมบนสกรูและในนัตจะชุบแข็งและเจียระไนผิวเรียบมันเพื่อลดความฝืด และเพิ่มความเที่ยงในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูป 2.9

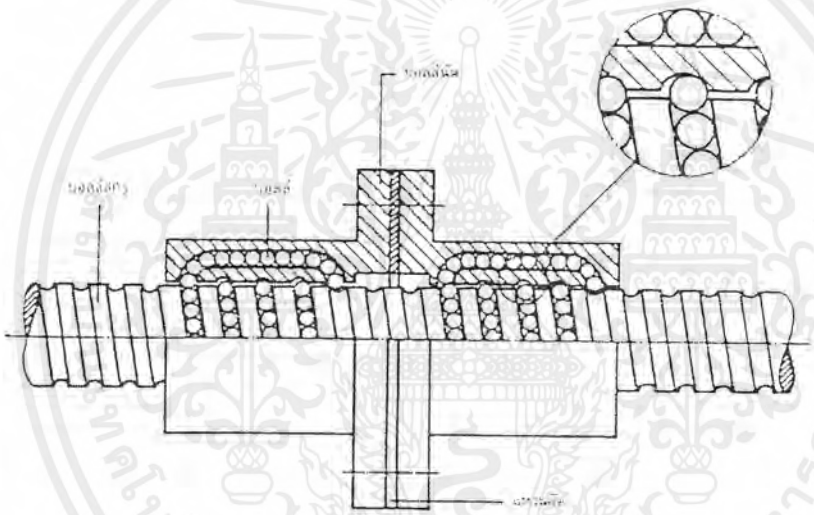


รูปที่ 2.9 การขับป้อนของโต๊ะงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู นัตก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรู พาให้แท่นเลื่อนและโต๊ะงานเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน

ภายในของตัวนัตจะประกอบไปด้วยชุดของลูกบอลล์จำนวนมาก ดังแสดงในรูป 2.10 ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังแท่นเลื่อนจะมีน้อยมาก นัตจะถูกแบ่งออกเป็นสองซีก และ ขันประกอบยึดเข้าด้วยกัน โดยมีการเตรียมอัดแรงไว้ก่อน (Preloaded) ทำให้สามารถลดระยะคลอน (Backlash) ให้เหลือน้อยที่สุดจนแทบจะไม่มีเลยได้ทำให้การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูงสามารถทำงานซ้ำ ๆ กันได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะสร้างภายในของชุดบอลล์สกรู

การต่อกำลังระหว่างมอเตอร์กับบอลล์สกรู จะมีชุดคลัตช์ความฝืดเป็นตัวเชื่อมซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ต่อเป็นกำลังขับแล้ว ยังมีหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงานชนหรือกระแทกกับสิ่งกีดขวางไม่ให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเกิดความเสียหายมากเกินไป กล่าวคือเมื่อมีการชน หรือกระแทกกันขึ้นจนแรงมากถึงค่าหนึ่ง ชุดคลัตช์ก็จะตัดระบบการส่งกำลังขับระหว่างมอเตอร์กับตัวบอลล์สกรูทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) **ระบบวัดขนาด** (Measuring System)

การเคลื่อนที่ยังตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละแนวแกนของแท่นเลื่อน จะถูกส่งไปยังระบบควบคุมโดยระบบวัดขนาด การวัดตำแหน่งของแท่นเลื่อนสามารถที่จะวัดได้ทั้งโดยตรง (Direct Measurement) และโดยทางอ้อม (Indirect Measurement)

3.1) **การวัดตำแหน่งโดยตรง**

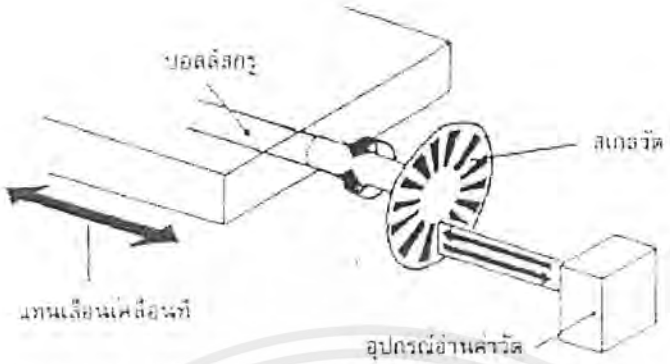
วิธีนี้จะใช้สเกลวัด (Measuring Scale) ยึดติดกับแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงานโดยตรงดังแสดงในรูป 2.11 ข้อดีของวิธีวัดแบบนี้ก็คือ ความไม่เที่ยงตรงของสกรูนำเลื่อน (Leadscerw) ระบบขับจะไม่มีผลกระทบต่อค่าที่อ่านได้ อุปกรณ์อ่านค่าวัด (Measuring valve resolver) จะอ่านข้อมูลในการวัดจากขีดสเกลวัด (Measuring scale grid) และแปลงข้อมูลนี้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งกลับไปยังระบบควบคุม

รูปที่ 2.11 การวัดตำแหน่งโดยตรง

3.2) **การวัดตำแหน่งทางอ้อม**

การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจะได้รับกำลังขับมาจากการหมุนของบอลล์สกรู อุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Resolver) จะบันทึกการเคลื่อนที่หมุนของแผ่นจานสัญญาณ (Pulse disc) ที่ต่อติดอยู่กับบอลล์สกรู และส่งต่อไปยังระบบควบคุมของเครื่อง ระบบควบคุมก็จะใช้สัญญาณที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจากสัญญาณการหมุน (Rotation Pulses) ของแผ่นจานสัญญาณ ดังแสดงในรูป 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การวัดตำแหน่งทางอ้อม

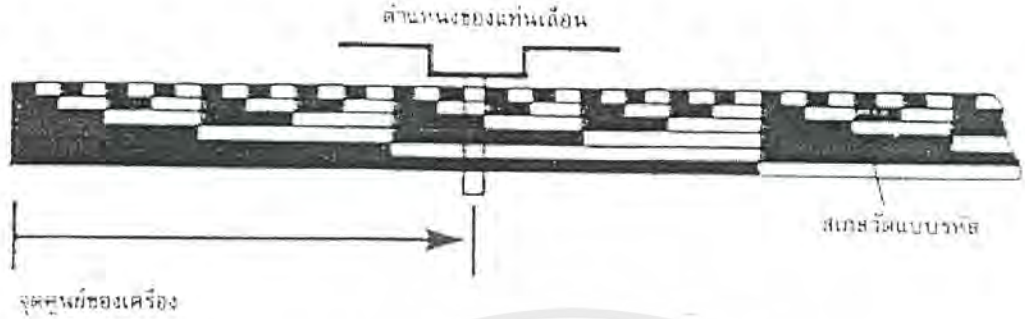
นอกจากการวัดตำแหน่งทางตรงและทางอ้อมแล้ว ในระบบการวัดขนาดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ต้องการให้การวัดตำแหน่งมีความเที่ยงตรงตลอดแนวแกนป้อน จะต้องต่อระบบขับป้อนเข้ากับอุปกรณ์วัดเหมาะสม อุปกรณ์วัดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยสเกลกับอุปกรณ์อ่านค่าวัดที่สามารถอ่านสเกลได้ สเกลที่ใช้ในอุปกรณ์วัดมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ สเกลวัดแบบรหัส (Coded Measuring Scale) กับสเกลวัดแบบช่อง (Division Grid) การใช้สเกลวัดทั้ง 2 ชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการวัดตำแหน่ง วิธีการวัดตำแหน่งที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่ 2 วิธีคือ การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ กับการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง หรือแบบลูกโซ่ ซึ่งมีความแตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3) **การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์**

คำว่า **สัมบูรณ์** (Absolute) ที่ใช้ร่วมกับการวัดตำแหน่งนี้จะหมายความว่า ค่าตำแหน่งต่าง ๆ สามารถวัดได้ตลอดเวลาและเป็นอิสระจากสถานะของเครื่องและระบบควบคุม ทั้งนี้เพราะค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะวัดอ้างอิงจากจุดศูนย์ (Fixed zero datum) เสมอ

การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 2.13 จะใช้สเกลวัดแบบรหัส (Coded Measuring Scale) ซึ่งจะตำแหน่งของแท่นเลื่อนที่ถูกต้องตลอดเวลา โดยอ้างอิงจากตำแหน่งจุดศูนย์ของเครื่อง (Machine zero point) ซึ่งเป็นตำแหน่งศูนย์ที่มีจุดอ้างอิงที่แน่นอนและถาวรของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์

ข้อสำคัญของการใช้วิธีการวัดตำแหน่งแบบนี้ก็คือ ความยาวของช่วงอ่านค่าวัดของสเกลจะต้องยาวกว่าระยะเลื่อนทำงานของแท่นเลื่อนเพื่อให้ระบบควบคุมของเครื่องสามารถอ่านค่าวัดได้ทุกตำแหน่งสเกลนี้จะใช้รหัสเป็นระบบตัวเลขฐานสอง (Binary System)

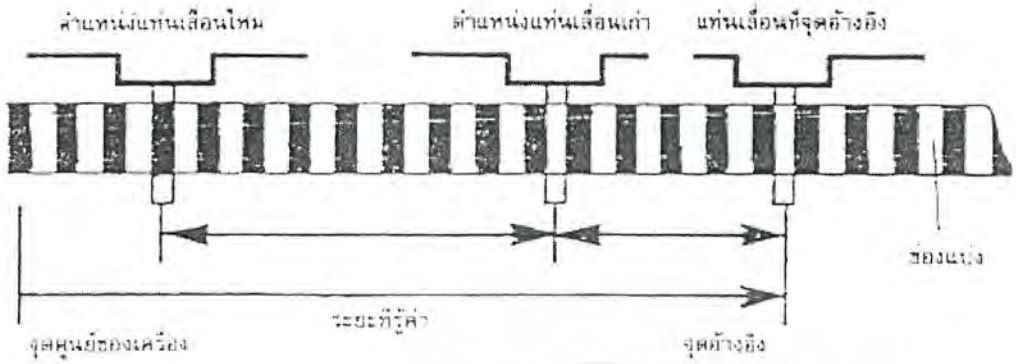
3.4) **การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง**

คำว่า **ต่อเนื่อง** (Incremental) แปลว่า ระยะเลื่อนสั้น ๆ ตามความยาวที่กำหนด ดังนั้นในการวัดตำแหน่งอาจจะเป็นการเพิ่มหรือลดขนาดความยาวในการเคลื่อนที่ที่วัดอยู่ก็ได้ ในระหว่างการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนระบบควบคุมจะทำการนับจำนวนส่วนแบ่ง (Divisions) ที่ตำแหน่งใหม่แตกต่างจากตำแหน่งก่อนหน้านี้

วิธีการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่องที่แสดงในรูป .14 สเกลวัดจะแบ่งเป็นช่อง (Grid) แบบง่าย ๆ โดยที่แต่ละช่องจะมีพื้นที่สว่างกับมืดสลับกันไป เมื่อแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ ช่องนี้ก็จะวิ่งผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Resolver) ซึ่งจะทำหน้าที่นับจำนวนช่องพื้นที่สว่างและมืด จากนั้นก็จะส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมของเครื่อง ระบบควบคุมก็จะนำสัญญาณนี้มาคำนวณหาตำแหน่งสุดท้ายของแท่นเลื่อนที่แตกต่างจากตำแหน่งก่อนหน้านี้ ในทางปฏิบัติที่ต้องการให้วิธีการวัดแบบนี้ทำงานได้อย่างถูกต้อง เมื่อเริ่มเปิดสวิตช์ระบบควบคุมของเครื่องควรจะเลื่อนไปยังจุดที่ทราบค่าระยะห่างจากจุดศูนย์ของเครื่อง จุดนี้จะเรียกว่า “จุดอ้างอิง” (Reference Point) หลังจากที่แท่นเลื่อนในแนวแกนต่าง ๆ เลื่อนไปยังจุดอ้างอิงแล้ว อุปกรณ์อ่านค่าวัดก็จะสามารถทำหน้าที่วัดตำแหน่งด้วยช่องสเกลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

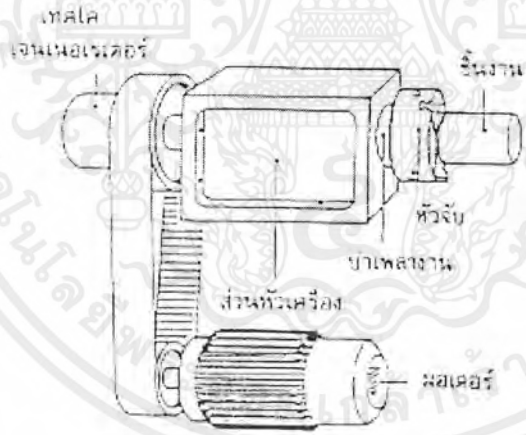
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.14 การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง

4) **เพลางาน** (Work Spindle)

เพลางานเป็นชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบของเครื่องจักรกลที่มีความสำคัญมาก มีหน้าที่หลักในการทำงาน คือจะทำหน้าที่ขับพาให้เครื่องมือ เช่น มีดกลึง ดอกสว่าน เป็นต้น



รูปที่ 2.15 เพลางานของเครื่องกลึง

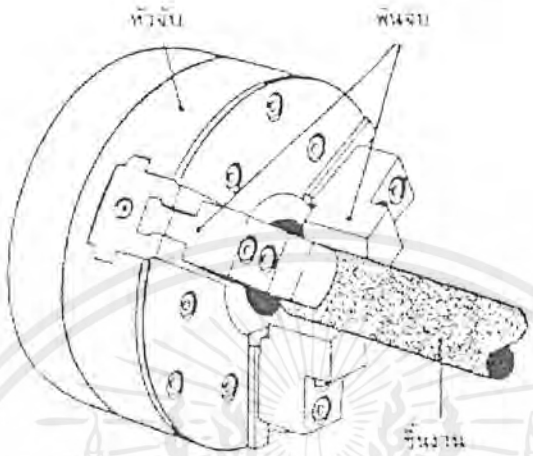
5) **อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน** (Workpiece holding devices)

อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะจัดเตรียมไว้สำหรับยึดชิ้นงานเข้ากับเพลางานในงานกลึง (Latch) สามารถเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบต่าง ๆ กันได้หลายชนิดเช่น

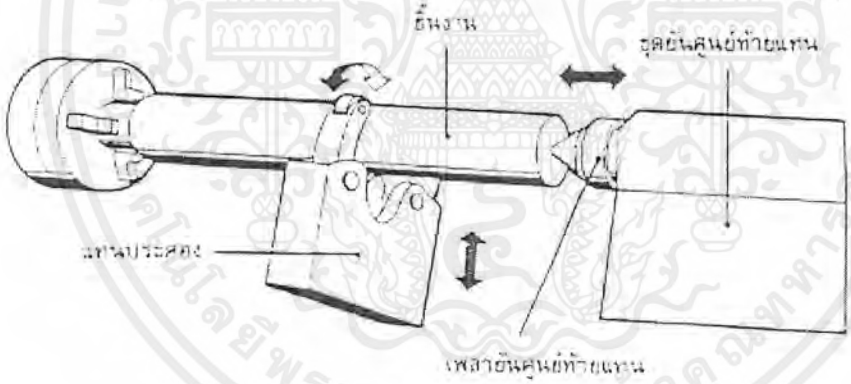
- หัวจับแบบ 2, 3 หรือ 4 ฟันจับ
- หน้าจานจับ สำหรับจับยึดชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36855

- ยันศูนย์สำหรับเพลางานและเพลาของชุดยันศูนย์ท้ายแท่น
- แท่นประคอง



รูปที่ 2.16 หัวจับงานกลึง



รูปที่ 2.17 ชุดยันศูนย์ท้ายแท่นและแท่นประคองงานกลึง

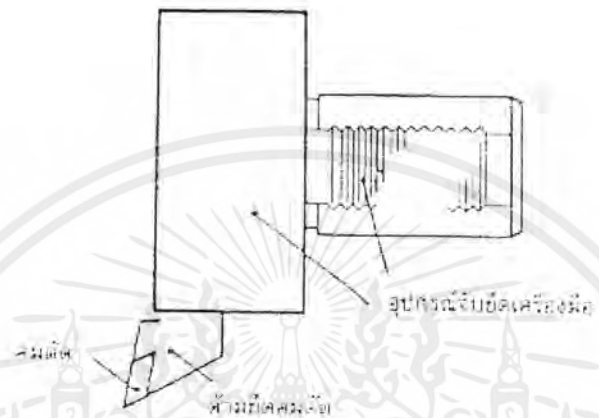
6) เครื่องมือ (Tools)

การทำงานของเครื่องจักรกลโดยทั่วไปจะต้องทำงานควบคู่กับเครื่องมือ (Tools) ซึ่งได้แก่ มีดกลึง ดอกสว่าน เป็นต้น เครื่องมือที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งและเป็นการช่วยเสริมการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีให้สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด

องค์ประกอบของเครื่องมือที่สมบูรณ์สำหรับเครื่องซีเอ็นซี ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ (Tool Holders)
- ด้ามยึดคมตัด (Tool Tip Carrier)
- คมตัด หรืออินเสิร์ต (Insert)



รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในงานกลึง

รูปที่ 2.19 อินเสิร์ตแบบถอดเปลี่ยนได้รูปทรงต่าง ๆ

2.1.4 ระบบควบคุมซีเอ็นซี (CNC Control System)

- **หน้าที่การทำงานที่โปรแกรมได้** (Programmable Functions)

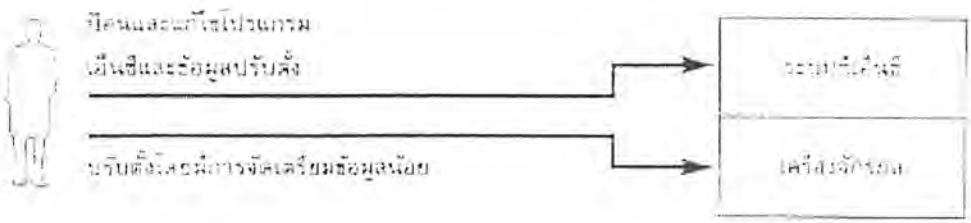
ในปัจจุบัน ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลสมัยใหม่เกือบทั้งหมดจะควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี แต่เนื่องจากยังคงอ้างอิงถึงโปรแกรมเอ็นซี (NC Program) และเทคโนโลยีเอ็นซี (NC Technology) อยู่ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องรู้ถึงความแตกต่างในการทำงานระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเอ็นซี (NC System) ดังแสดงในรูป 2.20 จะมีระบบควบคุมประกอบอยู่กับเครื่องจักรกลซึ่งจะต้องจัดเตรียมโปรแกรมเอ็นซีจากภายนอกก่อน แล้วจึงป้อนเข้าไปในระบบควบคุม โดยอาศัยสื่อข้อมูล (Data Carries) เช่น เทปกระดาษ (Punched Tape) เป็นต้น โปรแกรมเอ็นซีที่ป้อนเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องจะถูกนำไปใช้เพื่อสั่งให้เครื่องเริ่มทำงานและหยุดชั่วคราวได้ แต่จะไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมโดยช่างควบคุมเครื่องได้ ขนาดของเครื่องมือและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะถูกเลือกใช้ในขณะเขียนโปรแกรมไว้ก่อนและกำหนดไว้ในใบปรับตั้ง (Set-Up Sheet) ซึ่งช่างควบคุมเครื่องจะต้องจัดเตรียมและประกอบยึดเครื่องมือ ตลอดจนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานให้ถูกต้องตามข้อมูลที่กำหนดไว้ในในปรับตั้ง

รูปที่ 2.20 ระบบ NC

ระบบซีเอ็นซี (CNC System) จะมีคอมพิวเตอร์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้น ช่างควบคุมเครื่องไม่เพียงแต่จะสามารถใช้โปรแกรมเอ็นซีสั่งให้เครื่องจักรทำงานได้เท่านั้น แต่จะยังสามารถเขียนและป้อนโปรแกรมด้วยตนเอง ตลอดจนการแก้ไขโปรแกรมได้หลังจากป้อนเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องแล้ว ดังแสดงในรูป 2.21



รูปที่ 2.21 ระบบ CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดต่าง ๆ ของเครื่องมือตัดและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน สามารถที่จะเลือกใช้และป้อนเข้าไปในระบบควบคุมซีเอ็นซี ขณะทำการปรับตั้ง และเป็นอิสระจากตัวโปรแกรมเอ็นซี ขนาดต่าง ๆ ของเครื่องมือจะถูกนำไปใช้โดยอัตโนมัติในขณะทำการตัดเฉือน ด้วยเหตุนี้ช่างควบคุมเครื่องจึงไม่จะเป็นต้องมีข้อมูลในการปรับตั้งมากและสามารถที่จะเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้ด้วยตนเอง

หากพิจารณาถึงภาษาโปรแกรม (Programming Language) และเทคโนโลยีทางด้านการตัดเฉือนของเครื่องจักรกลที่ใช้ในระบบเอ็นซีกับซีเอ็นซีแล้วจะไม่แตกต่างกัน

- **ชนิดของการควบคุม** (Control modes)

ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนต่างๆในเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี จะมีการเคลื่อนอยู่ 2 ลักษณะ คือ

<u>การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง</u>(Linear Interpolation หรือ straight line Interpolation) การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ ระบบซีเอ็นซีจะคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ในแนวเส้นตรงระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือ 2 ตำแหน่งในขณะที่เครื่องมือเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั้น ระบบควบคุมซีเอ็นซีจะตรวจสอบและแก้ไขแนวแกนในการเคลื่อนที่ให้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลาทำให้การเคลื่อนที่ของเครื่องมือไม่ผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนออกจากจุดต่อของเส้นตรงมากกว่าค่าพิกัดความเผื่อของเครื่องที่กำหนดไว้

<u>การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง</u>(Circular Interpolation) ระบบควบคุมซีเอ็นซี จะคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆ ที่กันเป็นเส้นโค้งตามขนาดรัศมีที่กำหนด ระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือที่กำหนดไว้ 2 ตำแหน่ง ระบบควบคุมจะอาศัยจุดเหล่านี้ในการตรวจสอบและแก้ไขแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องมือให้ถูกต้องและอยู่ภายใน พิกัดความเผื่อของเครื่องจักรกลที่กำหนด

ในระบบควบคุมซีเอ็นซีจะแบ่งการควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งสองลักษณะตามลักษณะการเคลื่อนที่ป้อนออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) **การควบคมจุดต่อจุด**(Point to point control)

การควบคุมแบบนี้ จะควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างจุดสองจุดที่โปรแกรมไว้ในลักษณะการเคลื่อนที่เร็ว (Rapid traverse) โดยที่เครื่องมือจะต้องไม่สัมผัสชิ้นงาน

แนวแกนในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบควบคุม กล่าวคือมอเตอร์ขับขอบระบบป้อนอาจจะเริ่มทำงานหลาย ๆ แนวแกนพร้อมกัน หรือทำงานทีละแนวแกน จนกว่าจะเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งของเครื่องมือที่โปรแกรมไว้ ทำให้ไม่สามารถควบคุมทางเดินของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tool Path) ได้ การควบคุมแบบจุดต่อจุดมักจะใช้กับเครื่องเจาะ (Drilling Machine) เครื่องเชื่อมจุด (Spot Machine) เป็นต้น

2) **การควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรง** (Straight-cut control)

การควบคุมชนิดนี้ นอกจากจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือแบบเคลื่อนที่เร็วได้แล้ว ยังสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในแนวขนานกับแนวแกนของเครื่องจักรกล ตามค่าอัตราป้อนที่ต้องการได้อีกด้วย แต่จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ครั้งละ 1 แนวแกนเท่านั้น การเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะถูกควบคุมด้วยอัตราป้อนและความยาวในการเคลื่อนที่ ระบบการควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรงชนิดนี้จะใช้กับเครื่องกัดและเครื่องกลึงแบบง่าย

3) **การควบคุมตามเส้นขอบรูป** (Contouring control)

การควบคุมแบบนี้จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ทำงานได้ดังนี้

- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแบบเคลื่อนที่เร็วได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ขนานกับแนวแกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามค่าอัตราป้อนได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใด ๆ บนชิ้นงานที่กำหนดในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งตามค่าอัตราป้อนได้

- **การควบคุมหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรกล** (Control of Machine function)

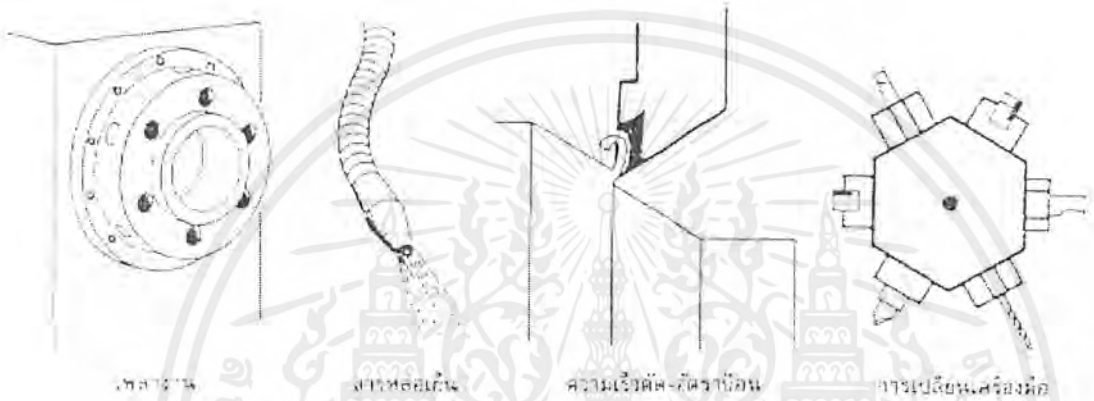
การระบบควบคุมซีเอ็นซีนอกจากจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตามรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานแล้ว ยังสามารถควบคุมหน้าที่การทำงานอื่น ๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนของเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในขณะนั้นได้อีกด้วย จำนวนหน้าที่การทำงานและวิธีการควบคุมจะไม่ขึ้นอยู่กับตัวเครื่องจักรกลเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับชนิดระบบควบคุมอีกด้วย

ตัวอย่างหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ที่จะเป็นจะต้องโปรแกรมเพื่อช่วยในการทำงานดังแสดงในรูป 2.22 มีดังนี้

- การเริ่มหมุนของเพลางาน ทิศทางการหมุนและการเปลี่ยนความเร็วรอบ
- การกำหนดตำแหน่งของเพลางาน
- การเปิดสารหล่อเย็น และความดันของสารหล่อเย็น
- การรักษาอัตราป้อนให้คงที่
- การเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การรักษาความเร็วตัดให้คงที่
- ชุดยันศูนย์ท้ายแท่น (Tail-stock)
- อุปกรณ์ใส่และถอดชิ้นงาน (Loaded and Unloaded)
- แท่นประคองศูนย์ (Steady Rest)
- อุปกรณ์ลำเลียงเศษ (Chip Conveyor)
- Sorter



รูปที่ 2.22 หน้าที่การทำงานของเครื่องจักรกล

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่สามารถใช้ระบบควบคุมสั่งการทำงานในหน้าที่ต่าง ๆ ได้ยิ่งมากเท่าใดก็จะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น

2.1.5 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ สำหรับ CNC (Mathematics theory for CNC)

- **ทฤษฎีทางการคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่** (Feed rate speed)

อัตราการป้อนของคำสั่ง G01, G02, G03 จะถูกกำหนดด้วยตัวเลขหลังคำสั่ง F____ และจะคงค่าเดิมตลอดจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าใหม่ค่าอัตราการป้อนนี้เรียกว่า Tangential speed constant

1) Linear Interpolation

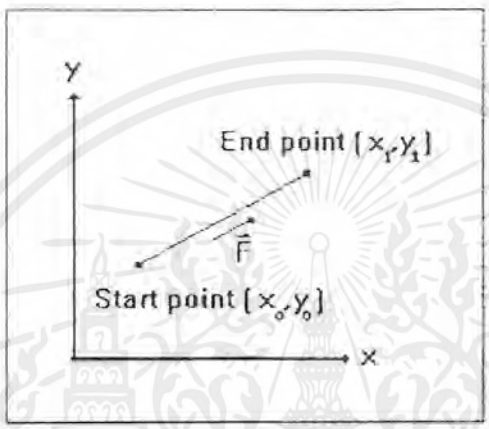
เมื่อมี Straight cut linear interpolation (G01) ส่วนควบคุมจะควบคุมแกนของเครื่องจักร 2 แกนหรือมากกว่านั้นพร้อม ๆ กัน ในส่วนการตัดเชิงมุมส่วนควบคุมจะใช้ข้อมูลที่ได้รับการโปรแกรมเข้ามาเก็บไว้แล้วเพื่อคำนวณ องศาหรือความชันของการตัดชิ้นส่วนของเส้นตรง ความยาวที่เปลี่ยนแปลงจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้ายจะเป็นตัวกำหนด การแบ่งเส้นและความชันของแต่ละแกน เพื่อทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Cutter ให้เคลื่อนที่เหมือนกับ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ในโครงงานนี้กำหนดให้ Linear Interpolation เคลื่อนที่ในระนาบเดียวเท่านั้น

การใช้งานอย่างอื่นของ Linear Interpolation คือใช้ในการประมาณเส้นโค้ง หรือวงกลม (Circular interpolation) ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการประมาณเส้นโค้งในช่วงต่อไป

การคำนวณ Linear Interpolation



รูปที่ 2.23 การเคลื่อนที่แบบ Linear Interpolation

F – อัตราป้อนในแนวการเคลื่อนที่

F_x – อัตราป้อนในแนวแกน X

F_y – อัตราป้อนในแนวแกน Y

$$F_z = \frac{F(\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ในแนวแกน X})}{\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ทั้งหมด}} = \frac{F \times (x_1 - x_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}}$$

$$F_y = \frac{F(\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ในแนวแกน X})}{\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ทั้งหมด}} = \frac{F \times (x_1 - x_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}}$$

2) Circular Interpolation

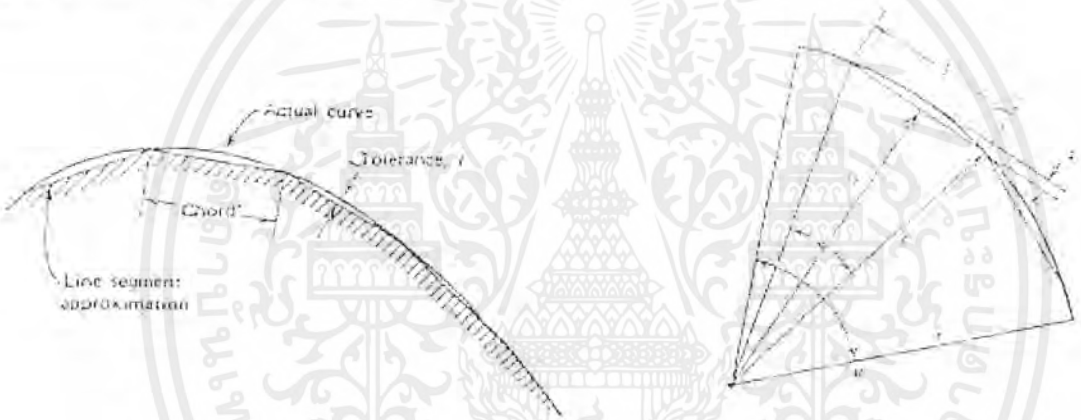
Circular interpolation เป็นความสามารถในการตัดส่วนโค้งของวงกลม, จำนวนที่ตัดแปรผันตามขนาดของส่วนโค้งซึ่งขึ้นอยู่กับ รัศมีของส่วนโค้ง ส่วนควบคุมจะคำนวณทิศทางของ cutter จากข้อมูลที่โปรแกรมมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ต้องการ ได้แก่

1. ทิศทางของการเคลื่อนที่ (CW หรือ CCW) ตรวจสอบได้จาก G code ว่าเป็น G02 หรือ G03
2. จุดเริ่มต้นของส่วนโค้ง (arc) สามารถหาค่าได้จากการอ่านค่าตำแหน่งของแท่นใบมีดขณะนั้น
3. จุดสิ้นสุดของส่วนโค้ง (arc) ได้จากค่าที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามา
4. รัศมีส่วนโค้ง (radius) ได้จากค่าที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามา

หลังจากที่ทราบค่าต่าง ๆ แล้วจะนำมาคำนวณโดนอาศัยหลักการของ Contour approximation using line segment ดังนี้



รูปที่ 2.24 Contour approximation using line segments

หลักการของ Contour approximation using line segment อาศัยหลักของการประมาณค่าส่วนโค้งด้วยเส้นตรง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาความยาวของส่วนโค้งทั้งหมด ($r\theta$)
2. กำหนดความละเอียดในการแบ่งส่วนโค้ง (n)
3. หามุมของเส้นตรงที่เกิดจากการแบ่งส่วนโค้ง

$$\varphi = \theta / n$$

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการแล้วก็ทำการเดินแท่นใบมีดไปตามเส้นตรงนั้น ๆ จะทำให้เกิดการเดินแบบกลึงโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสเตปมอเตอร์

2.2.1 นิยามของสเตปมอเตอร์

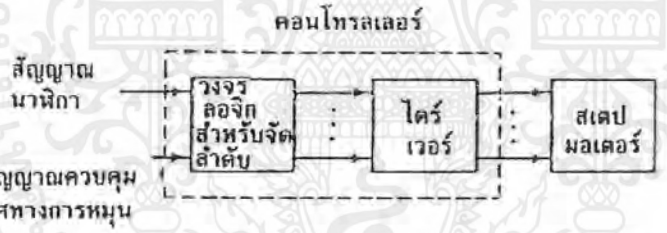
- จะมีเพลาหมุนเป็นสเตป
- ป้อนอินพุตด้วยพัลซ์ที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสเตปไปหนึ่งสเตปในแต่ละพัลซ์
- ขนาดของสเตปขึ้นอยู่กับการออกแบบเสตปมอเตอร์

2.2.2 การทำงานของสเตปมอเตอร์

ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมันในลำดับที่ถูกต้องด้วย วงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ (Sequencer logic) ด้วยกระแสที่พอเพียงโดยวงจรไดร์เวอร์

2.2.3 คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์

แสดงได้ดังในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเตปมอเตอร์

ในรูปที่ 2.25 สเตปมอเตอร์จะทำงานเมื่อเราป้อน

- สัญญาณพัลส์นาฬิกา (Clock pulse)
- อินพุตสำหรับควบคุมทิศทางการหมุน

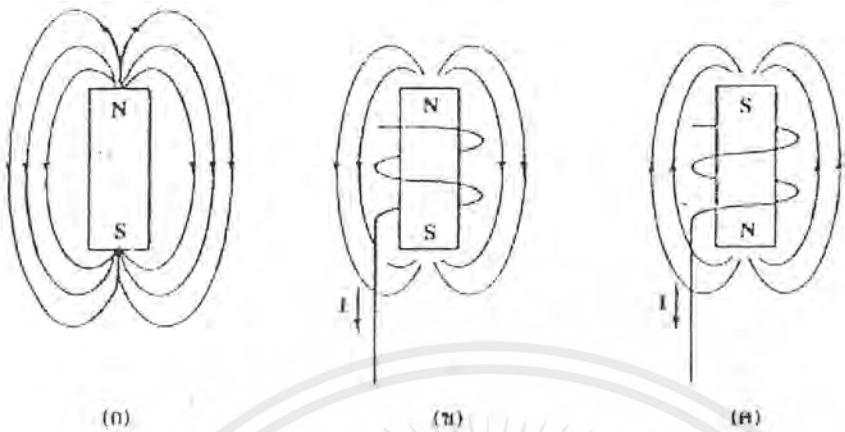
คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์จะอินเตอร์เฟสได้โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์

สเตปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมากเนื่องจากแต่ละอินพุทพัลซ์จะทำให้สเตปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเตปอย่างเที่ยงตรง

2.2.4 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป

ในรูปที่ 2.26 แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

ในรูปที่ 2.26 (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

(ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I

(ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขอลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 2.27 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์มาเจอร์ มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (Stator)

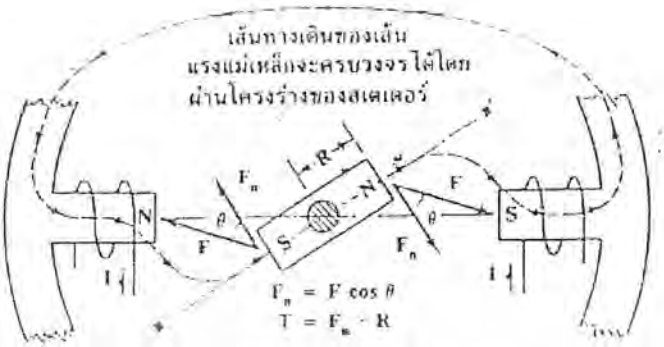
ในรูปที่ 2.27 ตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็กคือ a - a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ

แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรงปกติ

$$F_n = F \cos \theta$$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a')

ทอร์คผลรวม $T = F_n \times R$ (ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์มาเจอร์ a - a' จะอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนขั้วของสเตเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุลย์

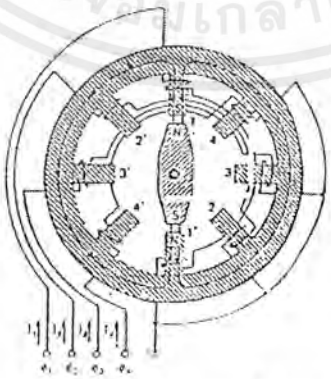
ถ้าหากมีคู่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไปอาร์มาเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการสวิทซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

2.2.5 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรแสดงได้ในรูปที่ 3.49

ในรูปที่ 2.28 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' มันหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟสและแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดของเฟส ϕ_1, ϕ_4, ϕ_3 และ ϕ_2 (1 - 4 –3 - 2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกัน I_1, I_4, I_3 และ I_2 (กระแสแต่ละเฟสจะไหลในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเตป โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45° (360/8)

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์หมายเลข 2 ลำดับการขับขดลวดเฟสของสเตปมอเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180°) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน 180° ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทางเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้ที่ขั้วสเตเตอร์ 1' , 4' , 3' และ 2' ตามลำดับ (ทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 2.28)

2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51

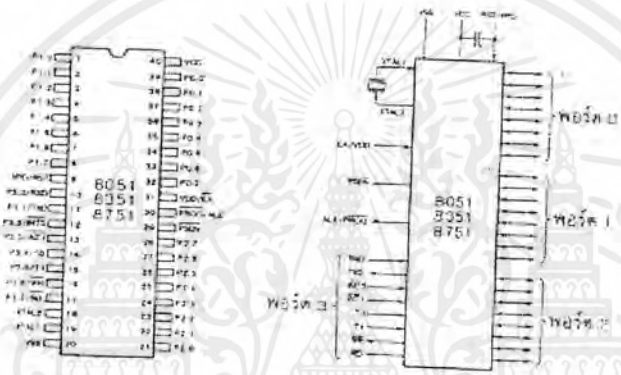
2.3.1 คุณสมบัติของ MCS-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิตแยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิตใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอรัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิตเพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้ในงานควบคุมโดยเฉพาะ

2.3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51



รูป 2.29 แสดงขาของ MCS-51

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ (DC. 5 volt)
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0 – P0.7) แบบ Open Drain Bi-directional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะปล่อยลอย (มีสถานะ high impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสบัสไบท์ต่ำ (A0-A7) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรพูลอัพภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะปล่อยลอย โดยมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะปล่อยลอย นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่งไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสบัสไบท์สูง (A8-A15) โดยมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะปล่อยลอย โดยมีวงจรพูลอัพภายใน นอกจากนี้ยังมีหน้าที่พิเศษต่างๆอีกหลายอย่างดังนี้

ขา P3.0	ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม
ขา P3.1	ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม
ขา P3.2	ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0
ขา P3.3	ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1
ขา P3.4	สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0
ขา P3.5	สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1
ขา P3.6	ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
ขา P3.7	ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาด เมื่อต้องการรีเซตชิป MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเกิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์มเพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc ดังแสดงในรูปที่ 1.2

- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (program strobe enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป
- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL 2 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาท์พุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51

MCS-51 มีพอร์ตสำหรับสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องต่อชิปที่ทำหน้าที่รับหรือส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยเฉพาะเพิ่มแต่อย่างใดเลย การนำ MCS-51 ไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องมีการติดต่อสื่อสารกับวงจรภายนอกอื่นๆ จึงทำให้สะดวกและมีความคล่องตัวสูงมาก

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่มีใน MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมๆกันโดยในการรับข้อมูลจะมีการบัฟเฟอร์ข้อมูลให้ด้วย จึงทำให้ MCS-51 สามารถกำหนดการรับข้อมูลไบต์ที่สองซึ่งส่งถูกส่งตามเข้ามาก่อนที่ไบต์แรกที่ได้รับเข้ามาจะถูกอ่านจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่ใช้สำหรับรับข้อมูล (receive register) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำต่อไป

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51 ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวนสองตัวแต่ละตัวมีชื่อเรียกดังนี้คือ

- รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลใช้รับข้อมูลที่ส่งเข้ามาจากภายนอก
- รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลใช้ส่งข้อมูล (transmit register) ใช้ส่งข้อมูลจาก MCS-51 ออกไปภายนอก

รีจิสเตอร์ทั้งสองมีตำแหน่งเดียวกันในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ คือ ตรงกับตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF (ตำแหน่ง 99H) ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์แต่ละตัว MCS-51 จะทราบเองว่าผู้ใช้ต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์ตัวใดโดยตรวจสอบจากรหัสคำสั่ง ทั้งนี้เพราะในการเขียนข้อมูลไปไว้ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF หมายถึงการโหลดข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลออกไปภายนอก ส่วนการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF จะหมายถึงนำค่าที่รับเข้ามาได้จากภายนอกที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลมาใช้งาน

การใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51 มีความสะดวกและคล่องตัวสูง ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้สามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 ประเภท โดยสามารถกำหนดได้จากค่าของบิตในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON ดังแสดงในรูปที่ 5.1 การใช้งานที่แตกต่างกัน 4 ประเภทนี้มีจุดประสงค์เพื่อความคล่องตัวในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมแต่ละประเภทดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 0 การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 0 ขา RXD จะใช้สำหรับรับและส่งข้อมูล ส่วนขา TXD มีไว้เพื่อใช้สร้างสัญญาณ shift clock เพื่อกำหนดจังหวะในการรับและส่งข้อมูล (ข้อมูลจะถูกรับหรือส่งตามจังหวะของสัญญาณ shift clock) ในโหมดนี้การรับส่งข้อมูลจะเป็นแบบ 8 บิต (บิตข้อมูล 8 บิต) โดยเริ่มรับและส่งบิตต่ำสุดก่อน (LSB first) อัตราการรับส่งข้อมูลในการทำงานโหมด 0 ถูกกำหนดไว้ที่ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 0 จะไม่มีบิตเริ่มต้นของข้อมูล (start bit) และบิตสิ้นสุดของข้อมูล (stop bit) เพราะจังหวะการรับและส่งข้อมูลถูกกำหนดจากสัญญาณ shift clock แล้ว

โหมด 1 การทำงานแบบที่สองหรือการทำงานในโหมด 1 นี้ มีการรับและส่งข้อมูลครั้งละ 10 บิต ข้อมูลจะถูกส่งออกไปภายนอกผ่านทางขา TXD และรับข้อมูลเข้ามาทางขา RXD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (มีค่าเป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต (รับและส่งบิตต่ำสุดก่อน) และบิตสิ้นสุดของข้อมูลอีก 1 บิต (มีค่าเป็น 1 เสมอ) ในขณะทำการรับข้อมูล ค่าในบิตสิ้นสุดของข้อมูลที่รับได้จะไปอยู่ในบิต RB8 ของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมในโหมดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้

โหมด 2 การทำงานแบบที่สามหรือการทำงานในโหมด 2 นี้ มีการรับและส่งข้อมูลครั้งละ 11 บิต ข้อมูลจะถูกส่งออกไปภายนอกผ่านทางขา TXD และรับข้อมูลเข้ามาทางขา RXD ข้อมูลทั้ง 11 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (มีค่าเป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต (รับและส่งบิตต่ำสุดก่อน) ตามด้วยบิตที่ 9 (ต่อจากบิตข้อมูลบิตสุดท้าย) ซึ่งเป็นบิตที่สามารถกำหนดให้มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ได้ (programmable 9th data bit) และบิตสุดท้ายคือบิตสิ้นสุดของข้อมูล (มีค่าเป็น 1 เสมอ)

ในขณะทำการส่งข้อมูล บิตที่ 9 จะได้จากค่าในบิต TB8 ของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON บิตนี้สามารถถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 หรือ 1 อย่างไรก็ได้ ส่วนใหญ่ในการใช้งานจรมักจะใช้บิตนี้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับหรือส่ง (parity bit) โดยจะนำบิต P ในรีจิสเตอร์ PSW ไปไว้ในบิต TB8 ส่วนในขณะรับข้อมูลบิตที่ 9 จะไปปรากฏอยู่ในบิต RB8 ของรีจิสเตอร์ SCON โดยไม่สนใจบิตสิ้นสุดของข้อมูล ค่าอัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลโหมดนี้ถูกกำหนดไว้ที่ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 3 การทำงานแบบสุดท้ายหรือการทำงานในโหมด 3 นี้ มีการรับและส่งข้อมูลครั้งละ 11 บิต ข้อมูลจะถูกส่งออกไปภายนอกผ่านทางขา TXD และรับข้อมูลเข้ามาทางบขา RXD ข้อมูลทั้ง 11 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (มีค่าเป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต (รับและส่งบิตต่ำสุดก่อน) ตามด้วยบิตที่ 9 (ต่อจากบิตข้อมูลบิตสุดท้าย) ซึ่งเป็นบิตที่สามารถกำหนดค่าได้เหมือนโหมด 2 และบิตสุดท้ายคือบิตสิ้นสุดของข้อมูล (มีค่าเป็น 1 เสมอ) อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสามารถเปลี่ยนแปลงได้

การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้ง 4 โหมดนี้ การส่งข้อมูลจะเริ่มทันทีเมื่อมีคำสั่งใดๆ ทีใช้รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF เป็นรีจิสเตอร์ปลายทาง (destination register) เช่น

```
MOV  SBUF, A
```

ส่วนในการรับข้อมูลจะเริ่มต้นโดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ในโหมด 0 เริ่มเมื่อค่าในบิต RI = 0 และบิต REN = 1

ในโหมดอื่นๆ การรับข้อมูลเริ่มเมื่อ MCS-51 ได้รับบิตเริ่มต้นของข้อมูลเข้ามา โดยที่บิต REN ในขณะนั้นต้องมีค่าเป็น 1

2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมเดลไฟ (Delphi)

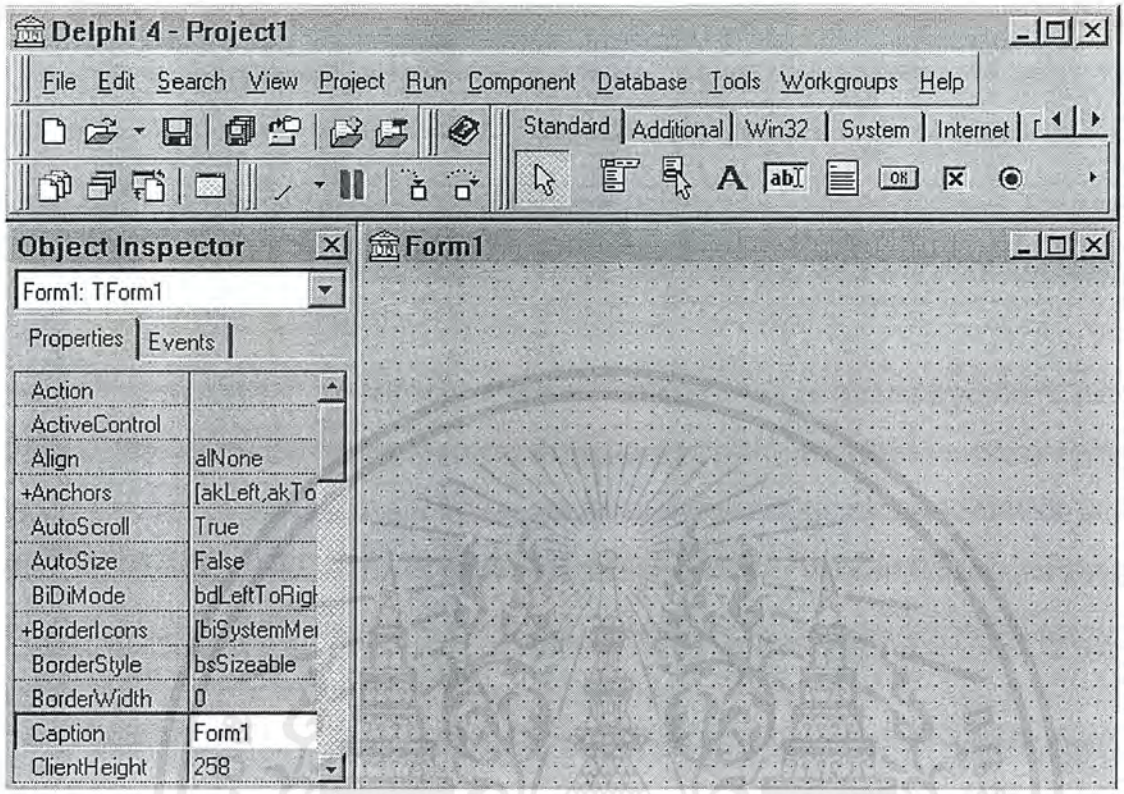
โปรแกรมเดลไฟ เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือพัฒนาแอปพลิเคชั่นบนวินโดว์ ที่มีประสิทธิภาพสูงตัวหนึ่ง ซึ่งสามารถรองรับความสามารถต่างๆที่อยู่ในวินโดว์ได้อย่างครบถ้วน และยังง่ายในการใช้งาน ทำให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชั่นต่างๆ ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้, การเชื่อมโยงฐานข้อมูล ตลอดจนการติดต่อสื่อสานผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยหลักการทำงานมีดังนี้

2.4.1 สิ่งแวดล้อมในการพัฒนาแอปพลิเคชั่นของเดลไฟ

เมื่อทำการเรียกใช้โปรแกรมเดลไฟ จะประกอบด้วยหน้าต่าง 4 หน้าต่างดังนี้

<u>หน้าต่างหลัก (Main Window)</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมเดลไฟ

หน้าต่างหลักเป็นหน้าต่างแรกที่ปรากฏเมื่อเรียกใช้โปรแกรมเดลไฟ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ Menubar, Speedbar และ Component Palette โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เมนู

รูปที่ 2.31 แสดงเมนู

เป็นส่วนหลักที่ใช้ในการทำงานของคำสั่งต่างๆ ซึ่งคำสั่งเกือบทั้งหมดสามารถเรียกใช้ผ่านเมนูได้

- Speedbar

รูปที่ 2.32 แสดง Speedbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยปุ่มของคำสั่งที่ใช้งานบ่อยๆ สำหรับการทำงานของเดลไฟ ผู้ใช้สามารถใช้การเลือกกดเลือกปุ่มต่างๆ เพื่อเรียกคำสั่งเหล่านั้นมาใช้งาน

- Component Palette

รูปที่ 2.33 แสดง Component Palette

ภายใน Component Palette จะมีไอคอนที่แสดงถึงคอมโพเนนต์ต่างๆในเดลไฟ โดยสามารถจัดแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม เช่น กลุ่ม Standard, กลุ่ม Additional ซึ่งในการเลือกใช้ ผู้ใช้ต้องทำการเลือกกลุ่มที่ต้องการใช้ก่อน โดยทำการเลือกที่ชื่อแท็ปนั้นๆ จากนั้นทำการเลือกไอคอนที่ต้องการใช้งาน โดยการคลิ๊กไปที่ตัวไอคอนนั้นมาวางลงบนฟอร์ม ในตำแหน่งที่ต้องการ

<u>หน้าต่าง Object Inspector</u>

Object Inspector เป็นหน้าต่างที่ใช้กำหนดคุณสมบัติ และโพรซีเยอร์ที่ควบคุมเหตุการณ์ (Event) ต่างๆ ของคอมโพเนนต์ โดยภายใน Object Inspector จะประกอบไปด้วยแท็ป 2 แท็ปดังแสดงในรูป 2.7

รูปที่ 2.34 แสดงหน้าต่าง Object Inspector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

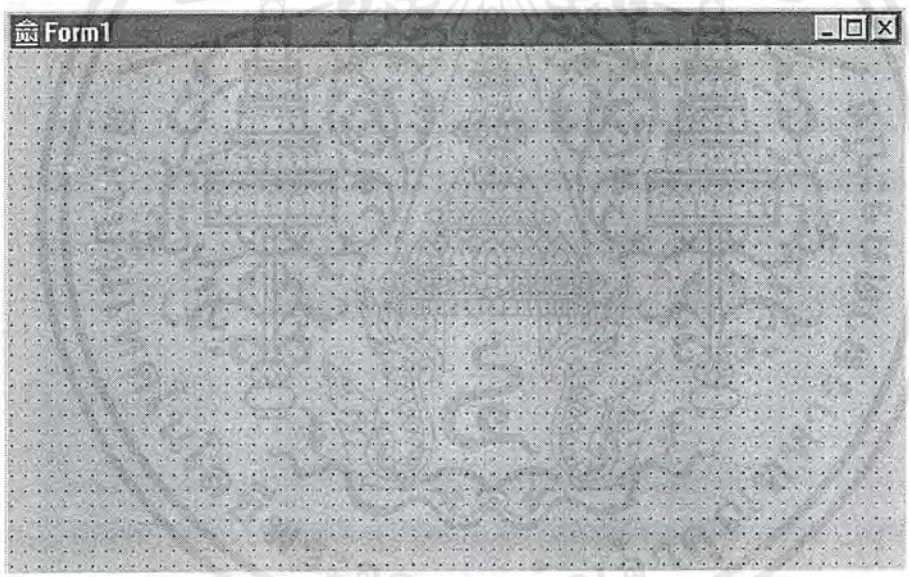
- แท็ป Properties

จะแสดงคุณสมบัติ (Properties) ต่างๆของคอมโพเนนต์ โดยในแท็ปนี้จะประกอบด้วยสองคอลัมน์ คือคอลัมน์ทางซ้าย จะเป็นส่วนแสดงชื่อของคุณสมบัติ และคอลัมน์ทางขวา จะเป็นส่วนแสดงค่าของคุณสมบัตินั้น ซึ่งผู้ใช้สามารถเป็นผู้กำหนดค่าเองได้

- แท็ป Events

เป็นแท็ปที่ใช้กำหนดค่าต่างๆที่จะกระทำก็ต่อเมื่อเกิดเหตุการณ์หนึ่งๆขึ้นกับคอมโพเนนต์ โดยการกำหนดค่าต่างๆสามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมตอบสนองเหตุการณ์ในหน้าต่างๆ Code Editor

หน้าต่างฟอร์ม

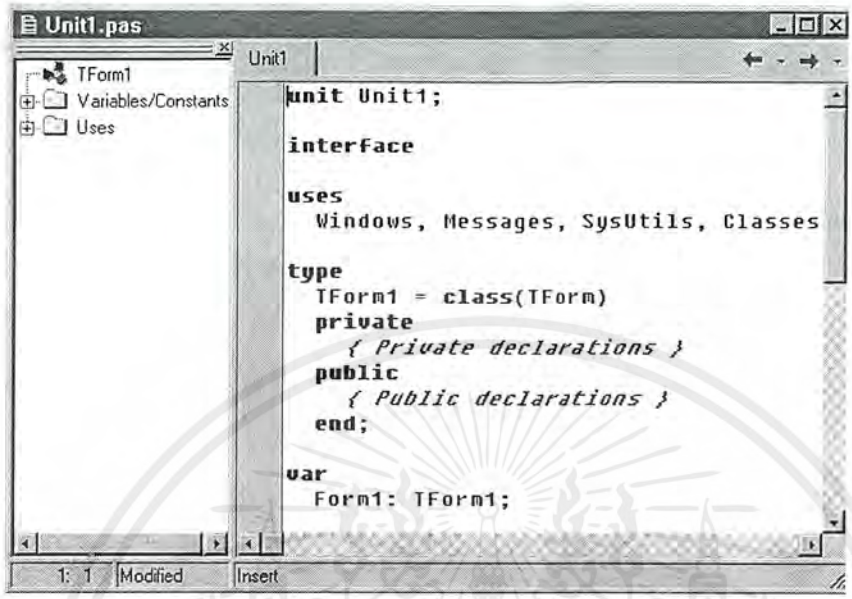


รูปที่ 2.35 แสดงหน้าต่างฟอร์ม

เป็นส่วนที่ใช้ออกแบบส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งสามารถนำคอมโพเนนต์ต่างๆจาก Component Palette มาวางลงบนฟอร์ม โดยสามารถทำการเปลี่ยนขนาด, ย้ายตำแหน่ง, เพิ่ม หรือ ลบ คอมโพเนนต์ออกจากฟอร์มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่าง Code Editor



รูปที่ 2.36 แสดงส่วน Code Editor

Code Editor เป็น Text Editor สำหรับการเขียนโปรแกรมในเดลไฟ เพื่อทำการเชื่อมต่อคอมโพเนนต์ต่างๆ ให้ทำงานร่วมกัน หรืออาจเป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อตอบสนองเหตุการณ์จากแท็ป Event โดยลักษณะคำสั่งที่ใช้จะมีพื้นฐานมาจากภาษาปาสคาล ซึ่งแต่ละแท็ปใน Code Editor จะแสดงถึงโปรแกรมในแต่ละฟอร์ม ดังนั้นจึงสามารถดูโปรแกรมของฟอร์มต่างๆ ได้ จากการคลิ๊กเลือกแท็ป

2.4.2 การใช้คอมโพเนนต์เบื้องต้น

ในที่นี้จะขอพูดถึงคอมโพเนนต์ที่มีการใช้งานในระบบอย่างคร่าวๆ เท่านั้น ซึ่งในระบบนี้ใช้คอมโพเนนต์ต่างๆ ดังนี้

- Standard Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่เป็นมาตราฐานของวินโดว์
- Data Access Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่ใช้ในการเข้าถึงฐานข้อมูล
- Data Control Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่ใช้ควบคุมฐานข้อมูล
- Qreport Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่ใช้สำหรับการทำรายงาน
- Dialogs Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่รวบรวมไดอะล็อกพื้นฐาน ที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชั่น
- TComPort Component เป็นกลุ่มคอมโพเนนต์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมโพเนนต์ต่างๆ ที่กล่าวมาเป็นคอมโพเนนต์มาตรฐานที่มีอยู่ในโปรแกรมเดลไฟทั่วไป ยกเว้นคอมโพเนนต์ TComPort ซึ่งเป็นคอมโพเนนต์ที่สามารถดึงข้อมูล (Download) มาจากอินเตอร์เน็ต ซึ่งถูกพัฒนามาโดยกลุ่มผู้ใช้งานโปรแกรมเดลไฟที่ใช้ในส่วนของการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial Port)

2.4.3 **คอมโพเนนต์ทีคอมพอร์ต** (TComPort Component)

เป็นคอมโพเนนต์ที่ใช้อำนวยความสะดวกในการติดต่อระหว่างแอปพลิเคชั่นบนคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Dejan Crnila นักเขียนโปรแกรมเดลไฟชาวสิงคโปร์

- **พร็อพเพอร์ตี้สำคัญ**

Baudrate	ใช้สำหรับกำหนดอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล
Port	ใช้สำหรับเลือกพอร์ตที่ต้องการจะติดต่อด้วย
ReadBufSize	ใช้สำหรับกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ขาเข้า
WriteBufSize	ใช้สำหรับกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ขาออก
Databits	ใช้สำหรับกำหนดจำนวนบิตของข้อมูลที่จะส่งในครั้งหนึ่งๆ
Parity	ใช้สำหรับกำหนดค่าที่ต้องการในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

- **อีเวนต์สำคัญ**

OnOpen	จะทำงานเมื่อคอมพอร์ตเปิดพอร์ตได้สำเร็จ (โดยใช้เมธอด open)
OnClose	จะทำงานเมื่อคอมพอร์ตถูกปิด
OnRxChar	จะทำงานเมื่อมีตัวอักษรถูกส่งมาถึงบัฟเฟอร์ขาเข้า

- **เมธอดสำคัญ**

Procedure open ใช้เปิดคอร์มพอร์ต

Procedure close ใช้ปิดคอมพอร์ต

function Write(var Buffer; Count: Integer; WaitFor: Boolean): Integer

ทำการเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์ขาออก, Count คือจำนวนไบท์ที่จะส่ง ซึ่งจะค่าที่ส่งกลับมา คือ จำนวนไบต์ที่ถูกเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

function WriteString(Str: String; WaitFor: Boolean): Integer;

ทำงานเช่นเดียวกับเมธอด write แต่ข้อมูลที่ส่งเป็นลักษณะข้อความ

function Read(var Buffer; Count: Integer; WaitFor: Boolean): Integer;

ทำการอ่านข้อมูลจากจำนวนไบท์ที่ถูกส่งเข้ามา

function ReadString(var Str: String; Count: Integer; WaitFor: Boolean): Integer;

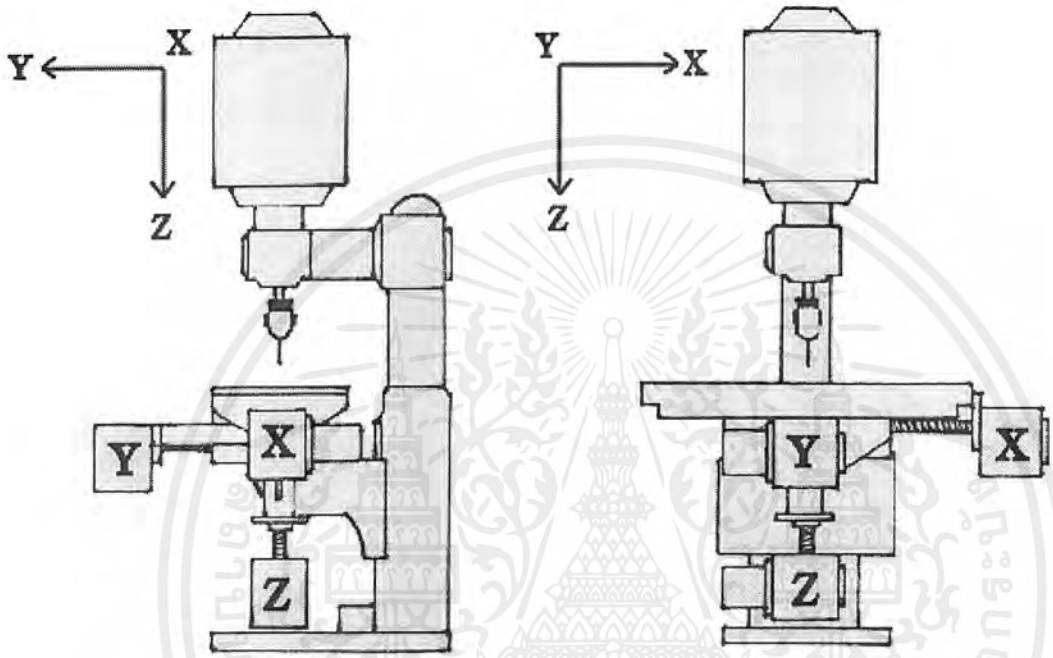
ทำงานเช่นเดียวกับเมธอด read แต่ไบต์จะถูกอ่านเป็นข้อมูลลักษณะข้อความ

procedure ShowPropForm;

แสดงรูปแบบการปรับค่าคอมพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบส่วนโครงสร้าง



3.1ก 3.2 ข

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องกัดซีเอ็นซี

ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกัดจะมีดังนี้

- ส่วน Spindle ในส่วนนี้ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดดังนี้ 380 โวลต์ 3 เฟส 50 เฮิรตซ์ 0.18/0.11 กิโลวัตต์ 0.55/0.4 แอมป์ 2660/1380 รอบต่อนาที ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีดหมุนและอยู่กับที่คอยชิ้นงานเคลื่อนที่เข้ามาหา

- ส่วน แกน X แกน Y และแกน Z ใช้สเตปมอเตอร์แบบเดียวกันมีขนาดดังนี้

6 โวลต์/เฟส 1.2 แอมป์ / เฟส 1.8 องศา / ขั้น

ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน X สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด 180 มิลลิเมตร ในทิศทางซ้าย หรือขวาของรูป 3.1ข

ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน Y สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด 80 มิลลิเมตร ในทิศทางซ้าย หรือขวาของรูป3.1ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน Z สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด 40 มิลลิเมตร ในทิศทางขึ้น หรือลงของรูป 3.1 ทั้ง ก. และ ข.

ในส่วนแกน X แกน Y และแกนZ จะมีชุดเฟืองทดอยู่ซึ่งลักษณะการทดเฟืองจะเป็นลักษณะดังรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าแกนของสเตปมอเตอร์ ต่ออยู่กับเฟืองตัวหนอน และมีการทดเฟืองไปยังแกนเกลียว แกนเกลียวจะสวมอยู่กับบอลสกรูซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่

เมื่อไรสเตปมอเตอร์หมุนแกนเกลียวก็จะหมุน และจากที่บอลสกรูเป็นส่วนที่อยู่กับที่จะทำให้ ชุดทดเฟืองเคลื่อนที่ โดยจะเคลื่อนที่ในทิศทางซ้ายหรือขวาขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของสเตปมอเตอร์ เนื่องจากแท่นที่เป็นส่วนเคลื่อนที่ของแต่ละแกน จะติดอยู่กับชุดเฟืองทดจะทำให้แท่นเคลื่อนที่ตามไปด้วยเมื่อสเตปมอเตอร์หมุน

ความสัมพันธ์ของแรงบิดเมื่อผ่านชุดทดเฟืองคือ

$$T2 = T1 * \text{จำนวนฟันเฟือง}$$

โดย T1 คือ แรงบิดที่สเตปมอเตอร์ หรือ เฟืองตัวหนอน

T2 คือ แรงบิดที่เฟือง หรือ แกนเกลียว

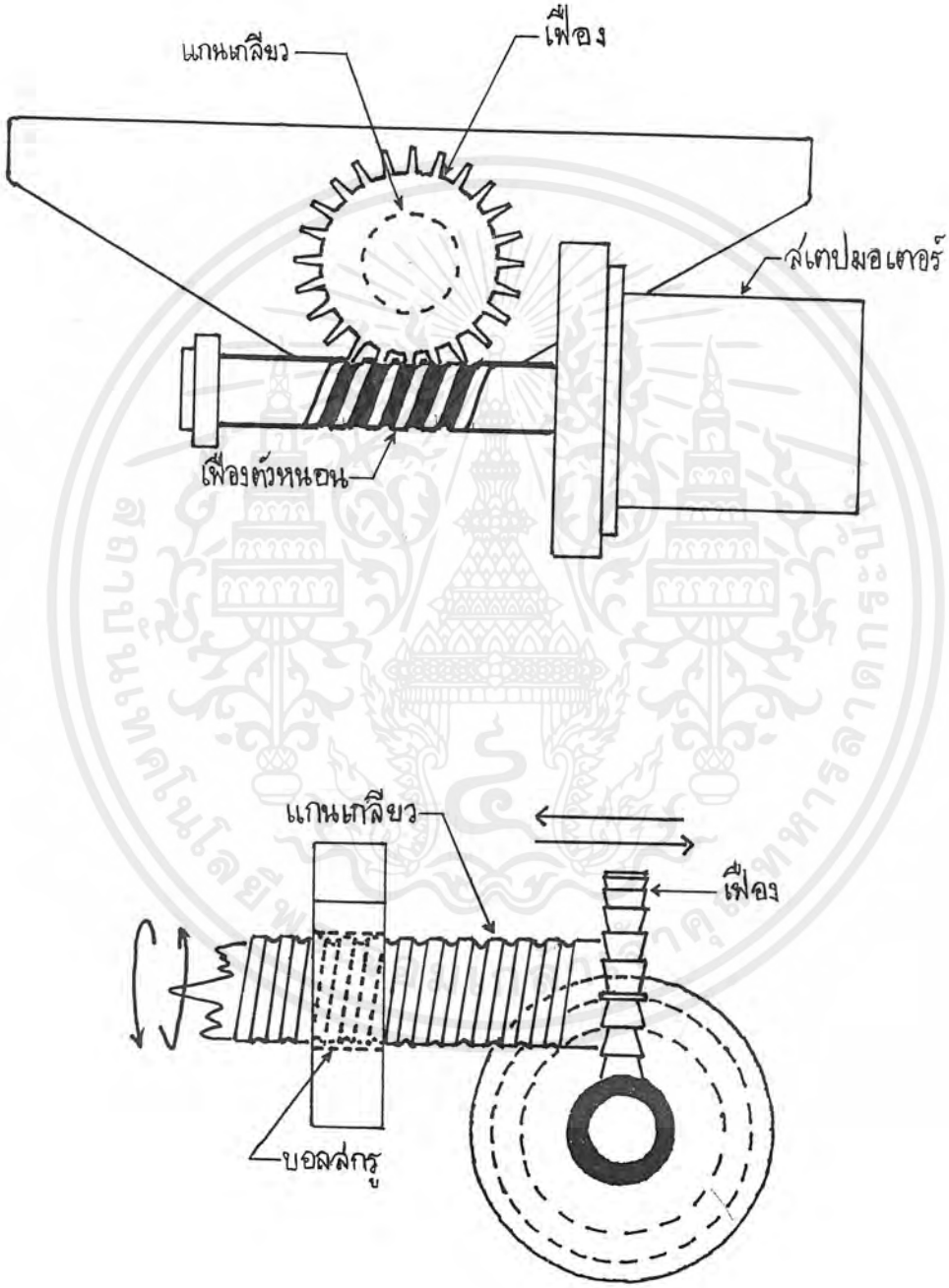
ถ้าเฟืองมีจำนวน n ซี่ เมื่อเฟืองตัวหนอนหมุนไป 1 รอบ เฟืองจะหมุนไป 1 ซี่ นั่นคือ ถ้าเฟืองหมุนไป 1 รอบ เฟืองตัวหนอนจะต้องหมุนไป n รอบ หรือ ถ้าเฟืองหมุนไป 1 รอบ สเตปมอเตอร์ต้องหมุน n รอบ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$S_1 = n \times S_2$$

โดย S_1 เป็นจำนวนรอบของเฟืองตัวหนอน หรือจำนวนรอบของสเตปมอเตอร์

S_2 เป็นจำนวนรอบของเฟืองหรือแกนเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงชุดเฟืองทด

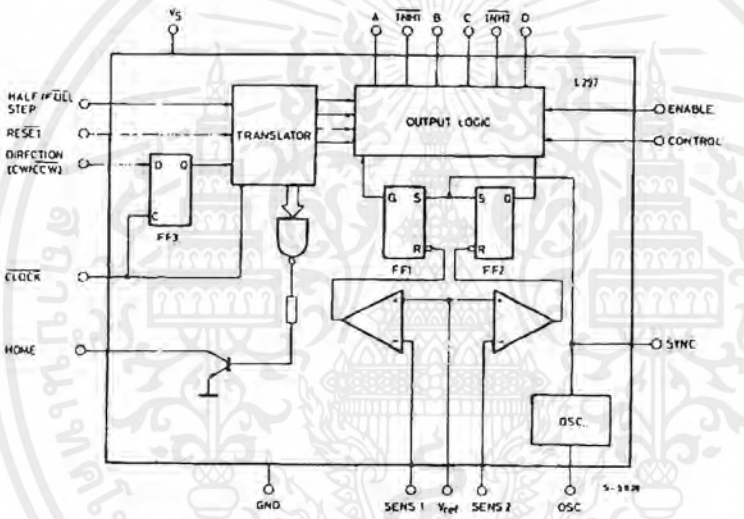
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

4.1 วงจรขับสเตปมอเตอร์

วงจรขับสเตปมอเตอร์จะประกอบด้วย ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม และส่วนขับสเตปมอเตอร์

4.1.1 **ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม** เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของสเตปมอเตอร์ โดยที่ในส่วนนี้ใช้ วงจรรวม(IC)สำเร็จรูปในการควบคุมสเตปมอเตอร์โดยเฉพาะ วงจรรวมที่ใช้คือ L297



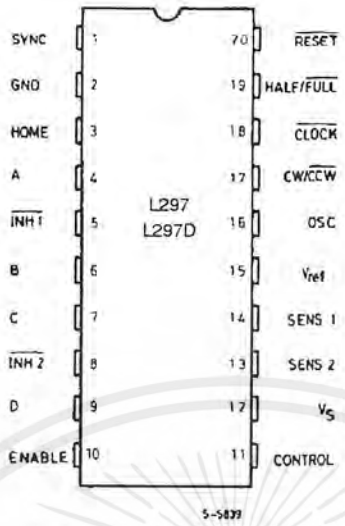
รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของ L297

L297 เป็นวงจรรวมควบคุมสเตปมอเตอร์ โดยสร้างสัญญาณ 4 เฟส สำหรับการขับสเตปมอเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณได้ในโหมดครึ่งจังหวะ (Half Step), หนึ่งเฟส (One Phase) และสองเฟส (Two Phase) และยังมีวงจรควบคุมกระแสในขดลวดด้วย

- **หน้าที่ขาต่างๆของ** L297

ขาต่างๆ ของ L297 มีการจัดวางดังรูปที่ 4.2 และมีหน้าที่ต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงขาของ L297

ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ของ L297

SYNC	ในกรณีการต่อ L297 หลายตัวสามารถต่อขา SYNC ถึงกันได้โดยใช้วงจร RC Network เพียงวงจรเดียว
GND	ขากราวด์
HOME	Output เป็น Open Collector ที่บอกว่า L297 อยู่ที่สถานะเริ่มต้น ABCD=0101
A	สัญญาณเฟส A
INH1	ทำงานในสถานะต่ำเพื่อควบคุมการขับในเฟส AB
B	สัญญาณเฟส B
C	สัญญาณเฟส C
INH2	ทำงานในสถานะต่ำเพื่อควบคุมการขับในเฟส CD
D	สัญญาณเฟส D
ENABLE	L297 จะทำงานได้ ถ้า ENABLE มีสถานะสูง
Control	จะกำหนดวงจร Chopper โดย ถ้ามีสถานะต่ำของวงจร Chopper จะกระทำที่ขา INH1, INH2 ถ้ามีสถานะสูงของวงจร Chopper จะกระทำที่ขาเฟส ABCD
VS	5V Input
$SENS_2$	รับโวลต์เตจที่ส่งมาจากภาคขับของเฟส CD
$SENS_1$	รับโวลต์เตจที่ส่งมาจากภาคขับของเฟส AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{ref}	โวลต์เตจอ้างอิงสำหรับวงจร Chopper
OSC	วงจร RC Network จะต่อเข้าที่ขานี้เพื่อกำหนดอัตรา Chopper (ความถี่ 1/0.69RC)
CW/CCW	กำหนดทิศทาง ตามเข็มหรือทวนเข็ม
CLOCK	สัญญาณนาฬิกา เมื่อพัลส์ = 0 สัญญาณจะเพิ่มขึ้น 1 ครั้ง สัญญาณจะเกิดที่ขอบขาขึ้น
HALF/FULL	เมื่อสถานะสูง จะทำงานในโหมดครึ่งจังหวะ เมื่อสถานะต่ำ
RESET	รีเซต

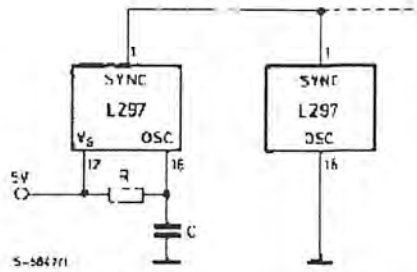
L297จะรับสัญญาณนาฬิกา (STEP CLOCK), ทิศทาง(DIRECTION) และสัญญาณเลือกโหมดการขับ(MODE SIGNAL) จากไมโครคอนโทลเลอร์แล้วจะสร้างสัญญาณ (ABCD) ไปยังส่วนขับมอเตอร์

ฟังก์ชั่นหลักของ L297 คือตัวสร้างสัญญาณ (TRANSLATOR) ซึ่งจะสร้างลำดับเฟส และวงจรตัด (CHOPPER) ซึ่งจะควบคุมกระแสในขดลวดมอเตอร์ ตัวสร้างสัญญาณสามารถลำดับเฟสได้ 3 แบบคือ แบบครึ่งจังหวะ(HALF STEP),หนึ่งเฟส(ONE-PHASE),สองเฟส(TWO-PHASE) โดยเลือกจากขา HALF/FULL และยังมีสัญญาณยับยั้ง 2 สัญญาณได้แก่ INH1, INH2 ที่L297 สร้างขึ้นมาโดยต่อโดยตรงกับส่วนขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อควบคุมกระแสในขดลวด

ตัวสร้างความถี่ (OSCILLLATOR) ในวงจรรวมจะสร้างพัลส์ที่ความถี่ตัด เมื่อไรที่กระแสที่ขดลวดมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ หรือเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในภาคขับมอเตอร์ที่ส่งเข้ามาที่ขา SENS1 หรือ SENS2 เท่ากับค่าที่ตั้งไว้ที่ขา Vref แล้ว ฟลิปฟลอป จะทำงานเกิดการขัดจังหวะของกระแสขับมอเตอร์ จนกระทั่งพัลส์ต่อไปของตัวสร้างความถี่เข้ามา จากการทำงานดังกล่าวกะทำให้กระแสในขดลวดคงที่. การตั้งค่ากระแสของขดลวดสามารถทำโดย แบ่งแรงดันที่ขา Vref

ในการต่อL297หลายตัวต่อกันทำให้เกิดปัญหา กราวด์รบกวน(GROUND NOISE) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้เชื่อมต่อวงจรตัดโดย ต่อขา SYNC เข้าด้วยกันเพราะฉะนั้นจะใช้วงจร RC เพียงวงจรเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

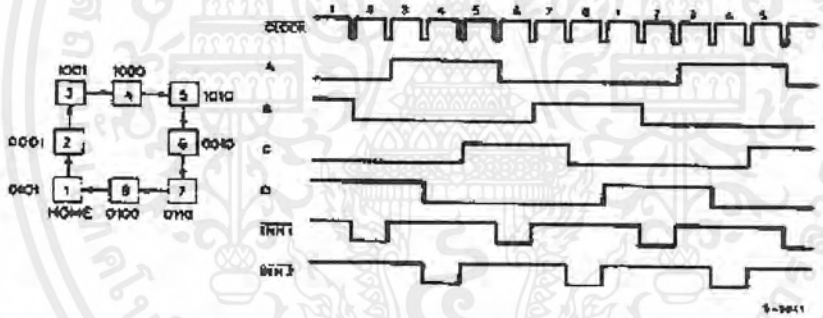


รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อขา SYNC

- **ลำดับเฟสในการขับแบบต่าง**

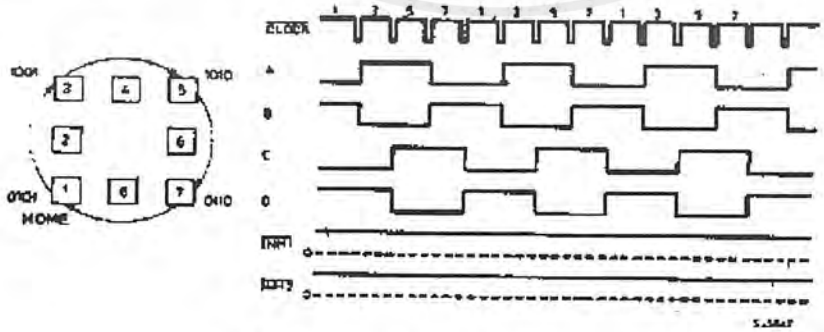
ตัวสร้างสัญญาณของL297สามารถสร้างลำดับเฟสในแบบต่างๆได้แก่ แบบครึ่งจังหวะ หนึ่งเฟส และสองเฟสซึ่งทุกแบบจะทำงานที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณที่ขา CLOCK

- **การขับแบบครึ่งจังหวะ** โดยให้ขา HALF/FULL มีสถานะสูง



รูปที่ 4.4 แสดงลำดับเฟสในโหมดครึ่งสเตป

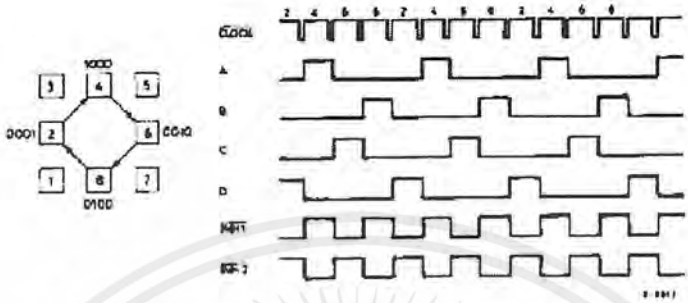
การขับแบบสองเฟส โดยให้ขา HALF/FULL มีสถานะต่ำเมื่อตัวแปลงอยู่ที่สถานะคี่ (1,3,5,7) ในโหมดนี้ INH1, INH2 มีสถานะสูงตลอด



รูปที่ 4.5 แสดงลำดับเฟสในโหมดสองเฟส

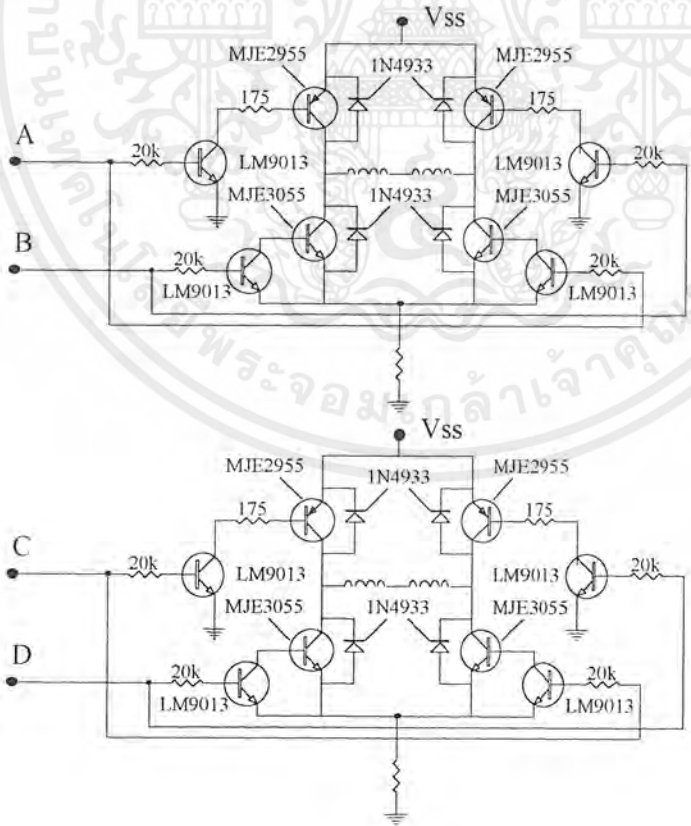
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การขับแบบหนึ่งเฟส** โดยให้ขา HALF/FULL มีสถานะต่ำเมื่อตัวแปลงอยู่ที่สถานะคู่ (2,4,6,8)



รูปที่ 4.6 แสดงลำดับเฟสในโหมดหนึ่งเฟส

4.1.2 **ส่วนขับสเตปมอเตอร์** ในส่วนนี้ได้เลือกการขับแบบ ไบโพลาร์ โดยให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นสวิตช์ รูปแบบของวงจรการขับแบบไบโพลาร์จะเป็นการต่อวงจรแบบบริดจ์ 2 วงจรดังรูป

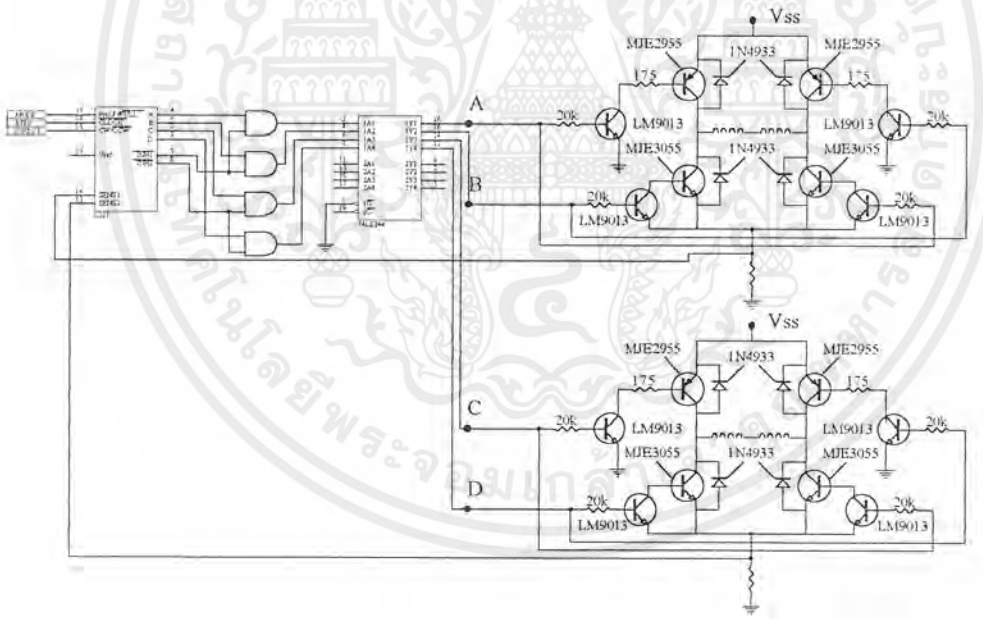


รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการขับแบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับจะทำงานก็ต่อเมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นที่ A B C D สัญญาณที่มากระตุ้นจะมาจากส่วนควบคุม ซึ่งจะกำหนดรูปแบบการขับ เช่นถ้าส่วนควบคุมสร้างสัญญาณเฟสในโหมด ONE PHASE เป็น ABCD = 1000 นั่นคือเฟส A ทำงาน จะทำให้กระแสไหลในทิศทางขวาของวงจรบน หรือถ้าสัญญาณเฟสเป็น ABCD = 0100 เฟส B จะทำงานและกระแสจะไหลในทิศทางซ้ายของวงจรบน หรือถ้าสัญญาณเฟสเป็น ABCD = 0010 เฟส C จะทำงานและกระแสจะไหลในทิศทางขวาของวงจรล่างหรือถ้าสัญญาณเฟสเป็น ABCD = 00001เฟส D จะทำงานและกระแสจะไหลในทิศทางซ้ายของวงจรล่าง ถ้าส่วนควบคุมสร้างสัญญาณเฟสในโหมด TWO PHASE เป็น ABCD = 1010 นั่นคือเฟส A และ C จะทำงานและกระแสจะไหลในทิศทางซ้ายของทั้ง 2 วงจร หรือถ้าสัญญาณเฟสเป็น ABCD = 0101 เฟส B และ C จะทำงานกระแสจะไหลในทิสทางซ้ายของทั้ง 2 วงจร

เมื่อรวมส่วนของส่วนสร้างสัญญาณควบคุม และส่วนขับสเตปมอเตอร์แล้ว ลักษณะของวงจรจะเป็นดังรูป



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการควบคุมสเตปมอเตอร์

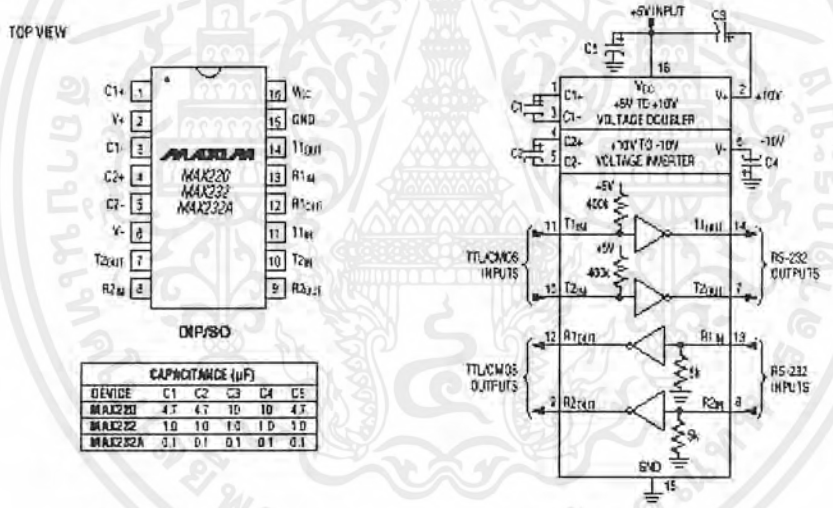
L297 จะรับคำสั่งจากไมโครคอนโทลเลอร์ซึ่งได้แก่ ทิศทาง (DIRECT), สัญญาณ (CLOCK), และรูปแบบการขับ (HALF/FULL) จากนั้น L297ส่งสัญญาณลำดับเฟสไปยังวงจรขับ. เมื่อไรที่แรงดันที่ขา SENS1 หรือ SENS2 มีค่าเท่ากับแรงดันที่ขา Vref แล้ววงจรตัดจะทำงานโดยจะตัดสัญญาณที่ขา INH1 หรือ INH2 และเนื่องจากสัญญาณเฟสต่างๆ (ABCD) ที่ไปยังวงจรขับส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตปมอเตอร์จะต้องผ่านแอนด์เกตก่อน ทำให้สัญญาณที่เฟสต่างๆ (ABCD) ที่ออกจากแอนด์เกตถูกตัดไปด้วย ผลที่ได้คือกระแสในขดลวดจะคงที่ จากวงจรในรูปที่ 4.8 เป็นวงจรขับสเตปมอเตอร์เพียงแกนเดียว แต่เครื่องกัดมีทั้งหมด 3 แกนดังนั้นจึงต้องมีวงจรขับสเตปมอเตอร์ตามรูปที่ 4.8 ทั้งหมด 3 วงจรนั่นเอง

4.2 วงจรรับส่งข้อมูล

ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ และคอมพิวเตอร์ได้เลือกใช้การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม.เนื่องจากสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เป็นมาตราฐาน RS232 (-12V ถึง 12V) แต่สัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบ TTL (0 ถึง 5V)ทำให้ต้องมีตัวแปลงเพื่อแปลงจากมาตราฐาน RS232 ไปเป็น TTL (อินพุต) และจาก TTL ไปเป็นมาตราฐาน RS232 (เอาท์พุต) ซึ่งเลือกใช้วงจรรวมเบอร์ MAX232 มาเป็นตัวแปลง



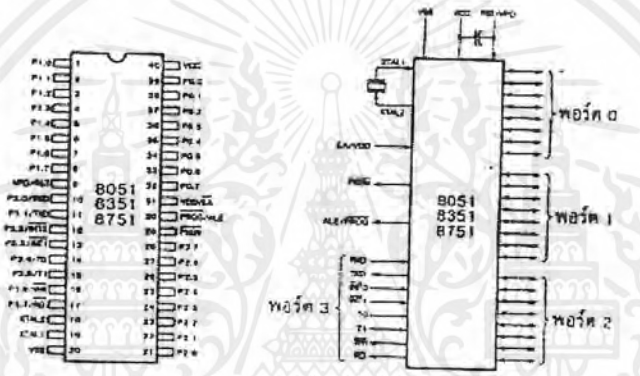
รูปที่ 4.9 แสดงขาของ MAX232

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าสัญญาณจากคอมพิวเตอร์สามารถเข้าที่ขา 13 และออกที่ขา 12 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเข้าที่ขา 8 และออกที่ขา 9 ได้ ในทำนองเดียวกันสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าที่ขา 11 และออกที่ขา 14 ไปยังคอมพิวเตอร์ หรือเข้าที่ขา 10 และออกที่ขา 7 นั่นคือทำให้สามารถเลือกช่องสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรควบคุม

วงจรควบคุมนี้จะเป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์กับวงจรขับสเตปมอเตอร์ โดยจะรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์มาประมวลผลซึ่งจะคำนวณจำนวนสเตปที่จะต้องขับ ทิศทางของการขับ และโหมดการทำงานในการขับสเตปมอเตอร์ จากนั้นจะไปสั่งให้วงจรขับสเตปมอเตอร์ทำงาน วงจรควบคุมที่ใช้จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C52 ซึ่งลักษณะจะเป็นดังรูป

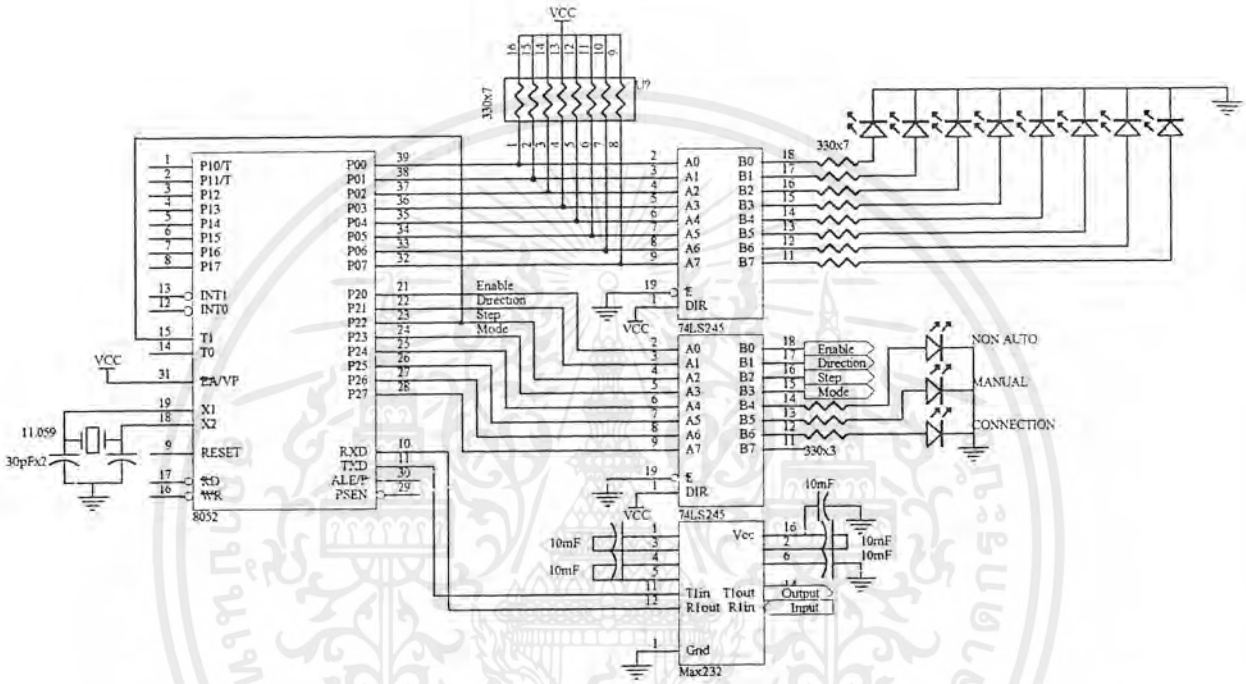


รูปที่ 4.10 แสดงขาของ MCS-51

ข้อมูลที่มาจากคอมพิวเตอร์จะต้องผ่านวงจรรวมเบอร์ MAX232 ที่เป็นตัวแปลงมาตรฐานของสัญญาณก่อนที่จะนำข้อมูลไปประมวลผลแล้วส่งไปให้วงจรขับสเตปมอเตอร์

เมื่อรวมทั้ง 3 วงจรได้แก่ วงจรขับสเตปมอเตอร์ วงจรรับส่งข้อมูล และวงจรควบคุมจะมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรควบคุม 1 แกน

จากรูปจะใช้ พอร์ต 0 เป็นตัวแสดงข้อมูลที่รับเข้ามาจากคอมพิวเตอร์ และใช้ พอร์ต 2 ในการควบคุมวงจรขับสเตปมอเตอร์ โดยแต่ละบิตของพอร์ต 2 จะมีหน้าที่การทำงานดังนี้

บิต 2.0 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรขับสเตปมอเตอร์ให้ทำงานหรือไม่ทำงาน

บิต 2.1 กำหนดทิศทางการขับสเตปมอเตอร์

บิต 2.2 ส่งสัญญาณพัลส์ให้แก่วงจรขับ

บิต 2.3 ส่งสัญญาณเลือกโหมดการขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 2.4 แสดงการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

บิต 2.5 แสดงการทำงานในโหมดการเคลื่อนที่แบบกำหนดเอง

บิต 2.6 แสดงการทำงานในโหมดการเคลื่อนที่พร้อมกด

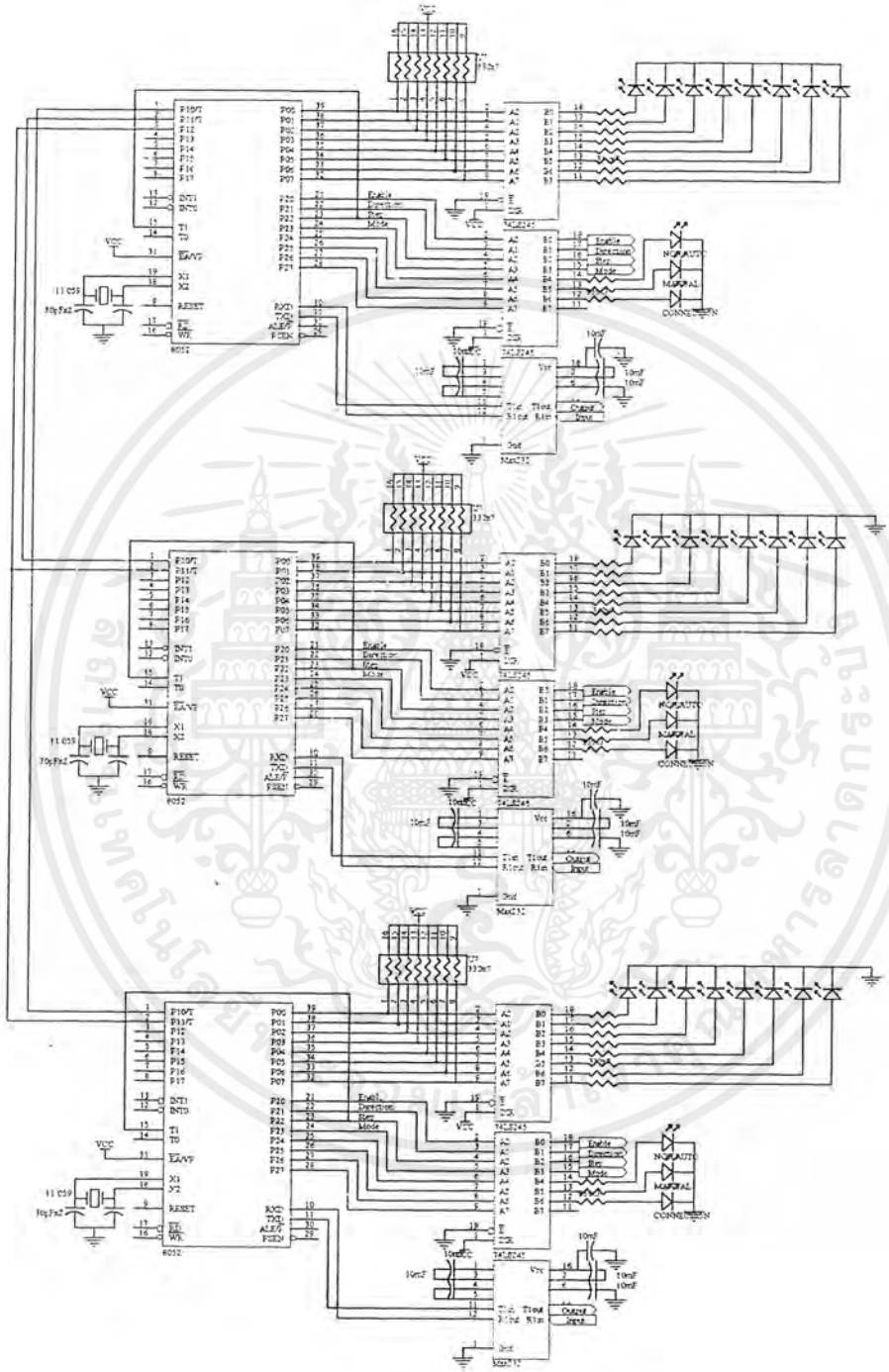
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ TIMER0 ในการสร้างสัญญาณพัลส์โดยผ่านขา P2.2 ไปให้ L297 ในวงจรขับสเตปมอเตอร์เพื่อ L297 จะสร้างสัญญาณเฟสให้แก่ส่วนขับ ส่วน TIMER1 จะทำหน้าที่นับสัญญาณพัลส์ที่ TIMER0 สร้างโดยต่อขาสัญญาณจาก ขา P2.2 ไปยังขา T1 เมื่อ TIMER1 นับครบก็จะสั่งให้ TIMER0 หยุดสร้างสัญญาณพัลส์ และ TIMER1จะหยุดนับ ค่าที่ TIMER1 จะต้องนับนั้นเป็นค่าที่คอมพิวเตอร์ส่งมา

ในส่วนรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ TIMER2 ในการสร้างอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล ซึ่งได้ใช้อัตรา 9600 bts และคอมพิวเตอร์จะต้องใช้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลค่าเดียวกันด้วย นั่นคือใช้อัตรา 9600 bts ข้อมูลที่รับส่งกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องผ่านวงจรแปลงมาตรฐานนั่นคือ Max232 เพื่อแปลงจากมาตรฐานจาก TTL ไปเป็น RS232 หรือจาก RS232 ไปเป็น TTL

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ทางขา RXD และจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ทางขา TXD ซึ่งข้อมูลที่รับเข้ามาจากคอมพิวเตอร์จะเป็น จำนวนพัลส์ ทิศทาง และโหมดการทำงาน ของสเตปมอเตอร์ จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อส่งไปยังวงจรขับสเตปมอเตอร์

จากรูปที่ 4.11 เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมเพียงแกนเดียว และเนื่องจากเครื่องกัดมีทั้งหมด 3 แกน จึงจำเป็นต้องมีวงจรลักษณะนี้ 3 วงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกันเองโดย แกน X จะรับสัญญาณจากแกน Y แกน Z ที่ขา P1.0 และ P1.1 ตามลำดับ และจะส่งสัญญาณไปยังแกน Y แกน Z ที่ขา P1.2 ส่วนแกน Y และ แกน Z จะส่งสัญญาณไปยังแกน X ที่ขา P1.0 และจะรับสัญญาณจากแกน X ที่ขา P1.1 วงจรควบคุมทั้ง 3 แกนจะมีลักษณะดังรูป 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรควบคุม 3 แกน

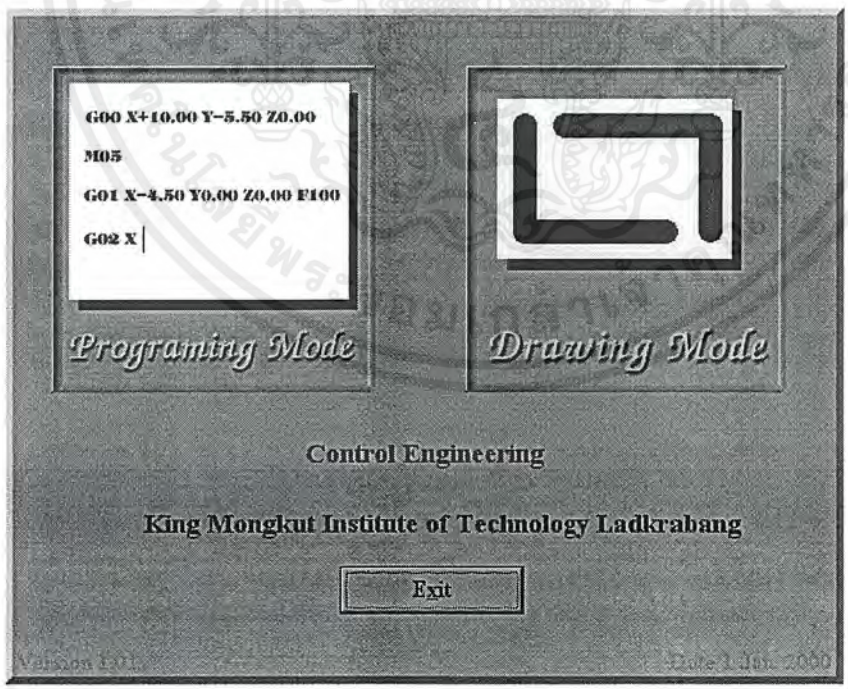
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัด 3 แกนเครื่องนี้ เลือกใช้ภาษาเดลไฟ (Delphi) ในการเขียนโปรแกรม เนื่องจากเป็นโปรแกรมแบบวิชวล (Visual) ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรม โปรแกรมที่ได้มีการใช้งานที่ง่าย เพราะเป็นโปรแกรมที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 (Windows95) ขึ้นไป ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกนั้น ภาษาเดลไฟมีส่วนของการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกซึ่งพัฒนามาโดยผู้ที่ใช้งานคนอื่นๆ ซึ่งสามารถดึงข้อมูล (Download) มาเพิ่มเติมลงไปในภาษาเดลไฟเพื่อใช้งานในส่วนของการติดต่ออุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้เลย

ในโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะประกอบด้วย 2 โหมดการออกแบบชิ้นงาน ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ตามความต้องการและความเชี่ยวชาญในการออกแบบชิ้นงาน ได้แก่

- โหมดการโปรแกรมรหัสจี (G Code Programming)
- โหมดการวาดภาพชิ้นงาน (CAM Programming)

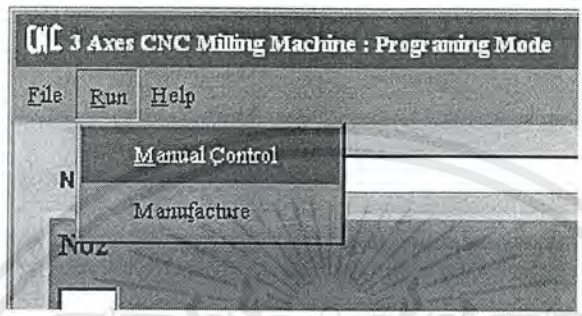


รูปที่ 5.1 แสดงส่วนการเลือกโหมดการออกแบบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการเลื่อนแท่นจับยึดชิ้นงาน และการกัดชิ้นงาน สามารถทำได้ 2 โหมดขึ้นกับการใช้งาน ประกอบด้วย

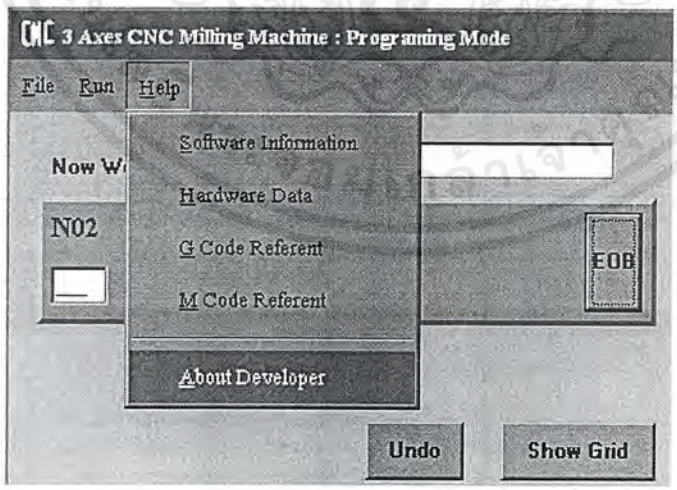
- โหมดการเคลื่อนที่แบบกำหนดเอง (Manual Mode)
- โหมดการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบมา (Manufacturing Mode)



รูปที่ 5.2 แสดงส่วนการเลือกโหมดการกัดชิ้นงาน

และส่วนเพิ่มเติมอื่นๆ ประกอบด้วย

- ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม (Software Information)
- ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างต่างๆ (Hardware Data)
- ตารางแสดงรหัสจีและรหัสเอ็ม (G and M Code Referent)
- ผู้พัฒนาโปรแกรม (About Developer)



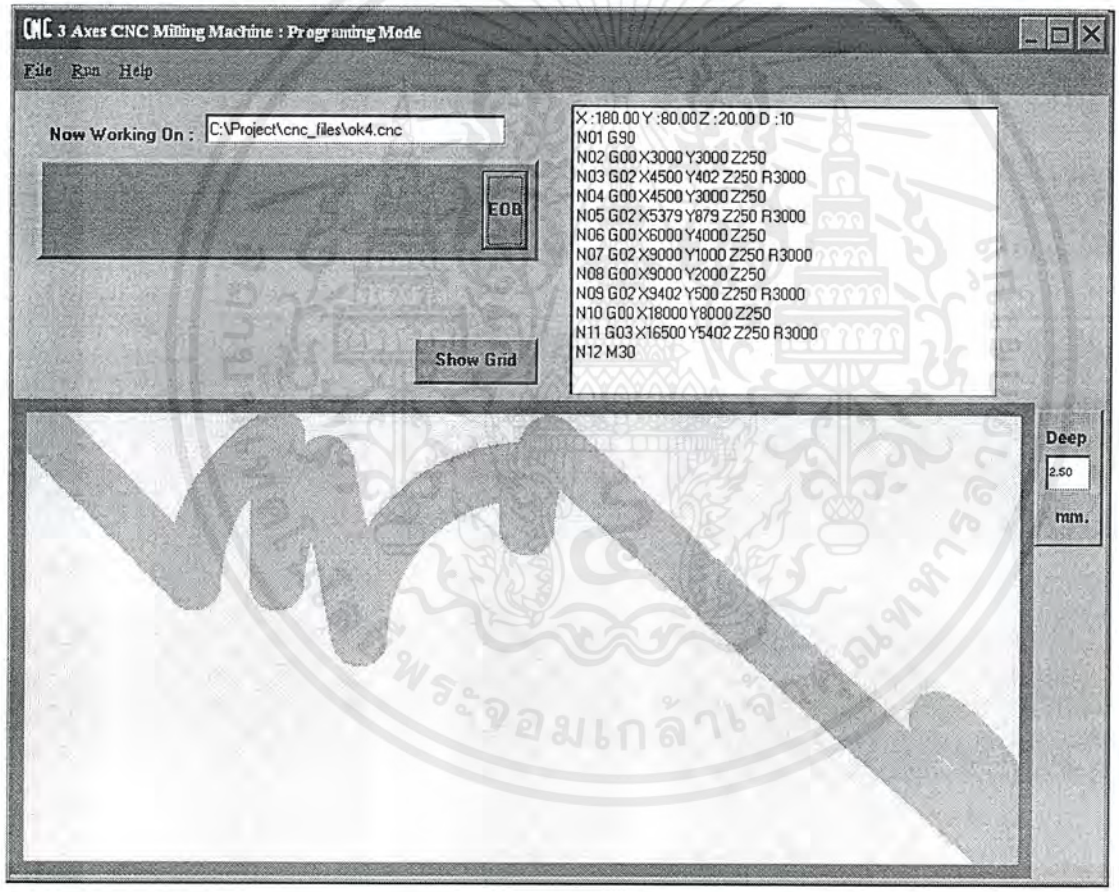
รูปที่ 5.3 แสดงส่วนการเลือกส่วนเพิ่มเติมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การทำงานในโหมดการโปรแกรมรหัสจี (G Code Programming Mode)

ประกอบด้วย

- การรับข้อมูลที่เป็นรหัสจี และรหัสเอ็ม (M Code)ซึ่งเป็นรหัสมาตราฐานที่ใช้กันในงานอุตสาหกรรม ที่ใช้ซีเอ็นซี
- การแปลงคำสั่งรหัสจีเป็นภาพเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทราบได้ว่ารหัสจีที่ออกแบบได้ลักษณะงานคร่าวๆเป็นอย่างไรบ้าง
- การบันทึกข้อมูล (Save), การเรียกใช้ข้อมูล (Load), การแก้ไขข้อมูล (Edit) ในรูปของไฟล์ที่เก็บรหัสจี เป็นไฟล์นามสกุล cnc (*.cnc)



รูปที่ 5.4 แสดงโหมดการโปรแกรมรหัสจี

5.1.1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับรหัสจี

รหัสจีที่เป็นมาตรฐานในงานอุตสาหกรรมทั่วไปมีอยู่มากมาย ตั้งแต่ G00 – G99 แต่สำหรับเครื่องกัด 3 แกนเครื่องนี้ มีรหัสจีที่ใช้งานจริงๆ เพียง 5 รหัส เพราะหลายๆ รหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จี ไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องกัดนี้ได้ และหลายๆ รหัสก็เกิดจากการนำเอารหัสหลักๆ มาผสมกัน

สำหรับรหัสจี และรหัสเอ็มที่ใช้ในเครื่องนี้ประกอบด้วย

G00 : การแทนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็ว (Positioning)

G01 : การแทนที่แนวเส้นตรง (Linear Interpolation)

G02 : การแทนที่แนวส่วนเส้นโค้งตามเข็มนาฬิกา (Circular Interpolation CW (clockwise))

G03 : การแทนที่แนวส่วนเส้นโค้งทวนเข็มนาฬิกา (Circular Interpolation CCW (counterclockwise))

G90 : การกำหนดขนาดแบบสัมบูรณ์ (Absolute Programming Selected)

G91 : การกำหนดขนาดแบบต่อเนื่อง (Incremental Programming Selected)

M30 : สิ้นสุดการทำงาน (End of Program)

<u>G00 การแทนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็ว</u>

G00 เป็นการเลื่อนแท่นจับยึดชิ้นงานโดยไม่มีการกัดเกิดขึ้น การทำงานจะมีการรับค่าตำแหน่งแกน X, แกน Y และแกน Z โดยความเร็วในการเคลื่อนที่จะใช้ความเร็วสูงสุดที่โปรแกรมสามารถสั่งชุดขับเคลื่อนได้ ไม่ต้องใส่ค่าอัตราป้อน (Feed rate)

➢ รูปแบบการป้อนคำสั่ง G00

รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G00

➢ ตัวอย่างการป้อนคำสั่ง G00

- G00 X+3.00 Y-4.00 Z0.00 : เป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงระยะทาง 5 มิลลิเมตร
- G00 X0.00 Y0.00 Z-2.00 : เป็นการเลื่อนลง (ออกห่างจากใบมีด) อีก 2 มิลลิเมตร

<u>G01 การแทนที่แนวเส้นตรง</u>

G01 เป็นการเลื่อนแท่นจับยึดชิ้นงานโดยมีการกัด การทำงานจะมีการรับค่าตำแหน่งแกน X, แกน Y,แกน Z และค่าอัตราป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

➢ รูปแบบการป้อนคำสั่ง G01

รูปที่ 5.6 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G01

➢ ตัวอย่างการป้อนคำสั่ง G01

- G01 X+3.00 Y-4.00 Z0.00 F50 : เป็นการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นร่องในแนวเส้นตรงระยะทาง มิลลิเมตร
- G01 X0.00 Y0.00 Z+2.00 F50 : เป็นการเลื่อนแท่นจับยึดชิ้นงานขึ้น เพื่อเจาะเป็นรู 2 มิลลิเมตร

G02 การแทนที่แนวส่วนเส้นโค้งตามเข็มนาฬิกา

G02 เป็นการกัดชิ้นงานเป็นร่องโค้งในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งในเครื่องกัด 3 แกน เครื่องนี้สามารถกัดได้เพียงเส้นโค้งในระนาบ X-Y คือกัดร่องโค้งได้แต่กัดนูนไม่ได้ และการออกแบบเส้นโค้งทำได้เพียงครั้งละ 90 องศา ($\pi/2$) เท่านั้น เพราะฉะนั้นการกัดเส้นโค้งระยะเกิน90องศา จะต้องแยกออกเป็นการกัดหลายๆ ครั้งแทน การทำงานจะมีการรับค่า แกน X, Y และค่ารัศมีความโค้ง (R)

➢ รูปแบบการป้อนคำสั่ง G02

รูปที่ 5.7 แสดงรูปแบบการป้อนคำสั่ง G02

➢ ตัวอย่างการป้อนคำสั่ง G02

- G02 X+10.00 Y+10.00 R10.00 : เป็นการกัดชิ้นงานเป็นร่องโค้งเป็นรูป ¼ ของวงกลมที่มีรัศมีความโค้ง 10 มิลลิเมตร ในทิศตามเข็มนาฬิกา
- G02 X+5.00 Y-8.33 R10.00 : เป็นการกัดชิ้นงานเป็นร่องโค้งเป็นรูป 1/3 ของวงกลมที่มีรัศมีความโค้ง 10 มิลลิเมตร ในทิศตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G03 การแทนที่แนวส่วนเส้นโค้งทวนเข็มนาฬิกา

G03 การรับข้อมูลและการทำงานเหมือน G02 เพียงแต่การเคลื่อนที่จะเคลื่อนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่านั้น

G90 การกำหนดขนาดแบบสัมบูรณ์

G90 เป็นการเปลี่ยนโหมดการทำงานให้ใช้การกำหนดขนาดโดยอ้างจากจุดอ้างอิงจุดเดียวตลอด สามารถเปลี่ยนโหมดกลับไปกลับมาระหว่าง G90 และ G91 ได้ใน 1 โปรแกรม

G91 การกำหนดขนาดแบบต่อเนื่อง

G91 เป็นการเปลี่ยนโหมดการทำงานให้ใช้การกำหนดขนาดแบบต่อเนื่องโดยเปลี่ยนจุดต้นไปเรื่อยๆ

M30 สิ้นสุดการทำงาน

M30 ใช้ในการจบโปรแกรมการทำงาน เมื่อป้อนคำสั่ง M30 แล้วจะไม่สามารถทำงานต่อได้นอกเสียจากนำคำส่งบรรทัดนี้ออกไปก่อน และทุกครั้งที่ออกแบบชิ้นงานก่อนที่จะมีการบันทึกข้อมูลจำเป็นจะต้องลงท้ายด้วยคำสั่งนี้เสมอ

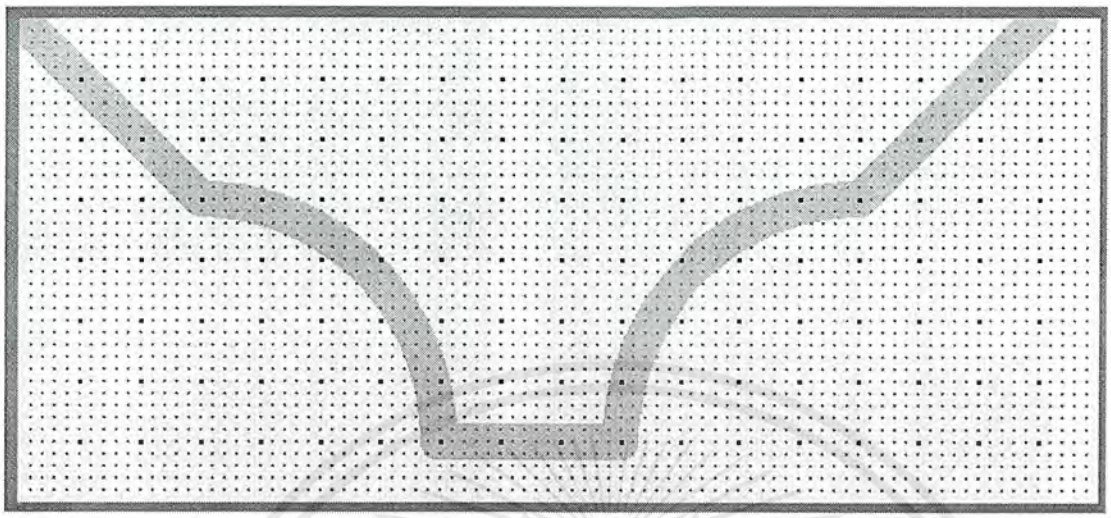
5.1.2 การแปลงคำสั่งรหัสจีเป็นภาพเสมือนการกัดจริง (Simulation)

เป็นลักษณะเด่นประการหนึ่งของโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องกัด 3 แกน เครื่องนี้ ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ยังไม่เชี่ยวชาญในการเขียนโปรแกรมโดยใช้รหัสจี ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเห็นลักษณะของชิ้นงานได้ตลอดเวลาว่าถ้าเขียนรหัสจี บรรทัดใดๆ แล้วมีผลอะไรเกิดขึ้นกับชิ้นงานบ้าง เหมาะสำหรับการฝึกหัดใช้เครื่อง เพราะเมื่อออกแบบไปไม่จำเป็นต้องลองกัดดูก่อนที่จะรู้ว่าสิ่งที่กัดมีผลลัพท์อย่างไรบ้าง

ตัวอย่างภาพเสมือนการกัดจริงของโปรแกรมทดสอบ

```
N01 G90
N02 G00 X3000 Y3000 Z250
N03 G02 X7000 Y7000 Z250 R4000
N04 G00 X10000 Y7000 Z250
N05 G02 X14000 Y3000 Z250 R4000
N06 G00 X17000 Y0 Z250
N07 M30
```

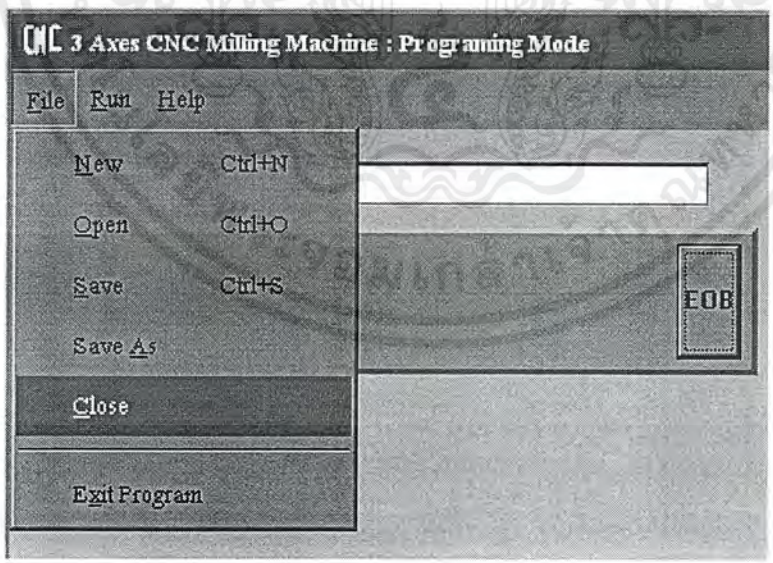
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงภาพเสมือน 2 มิติ (Simulate) ของโปรแกรมทดสอบ

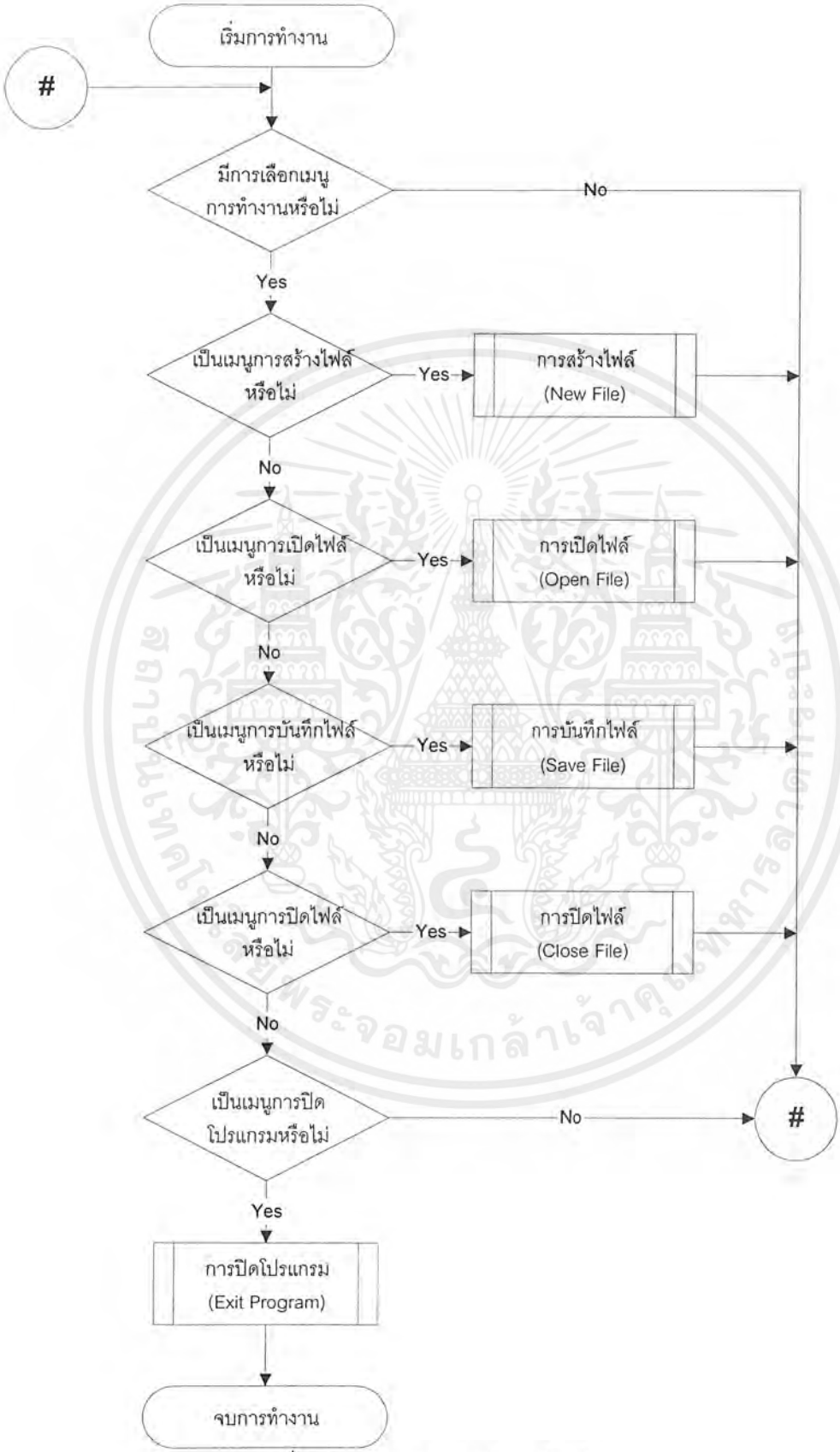
5.1.3 การจัดการไฟล์ข้อมูล

ในโปรแกรมควบคุมเครื่องกัดในโครงงานนี้ได้ออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถสร้างไฟล์ใหม่, เปิดไฟล์, บันทึกไฟล์ และแก้ไขไฟล์ได้ เพื่อเป็นประโยชน์สูงสุดในการปฏิบัติงาน สำหรับการทำงานของการจัดการไฟล์ข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังแผนภาพมนรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 แสดงเมนูการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

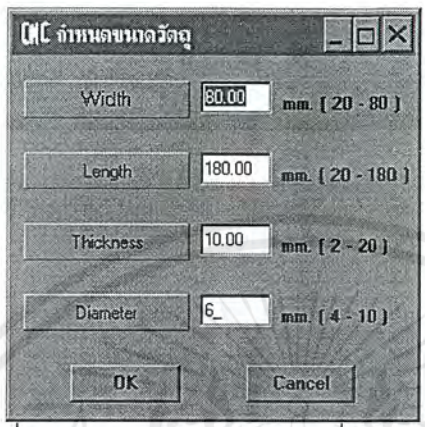


รูปที่ 5.10 แผนภาพการจัดการไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

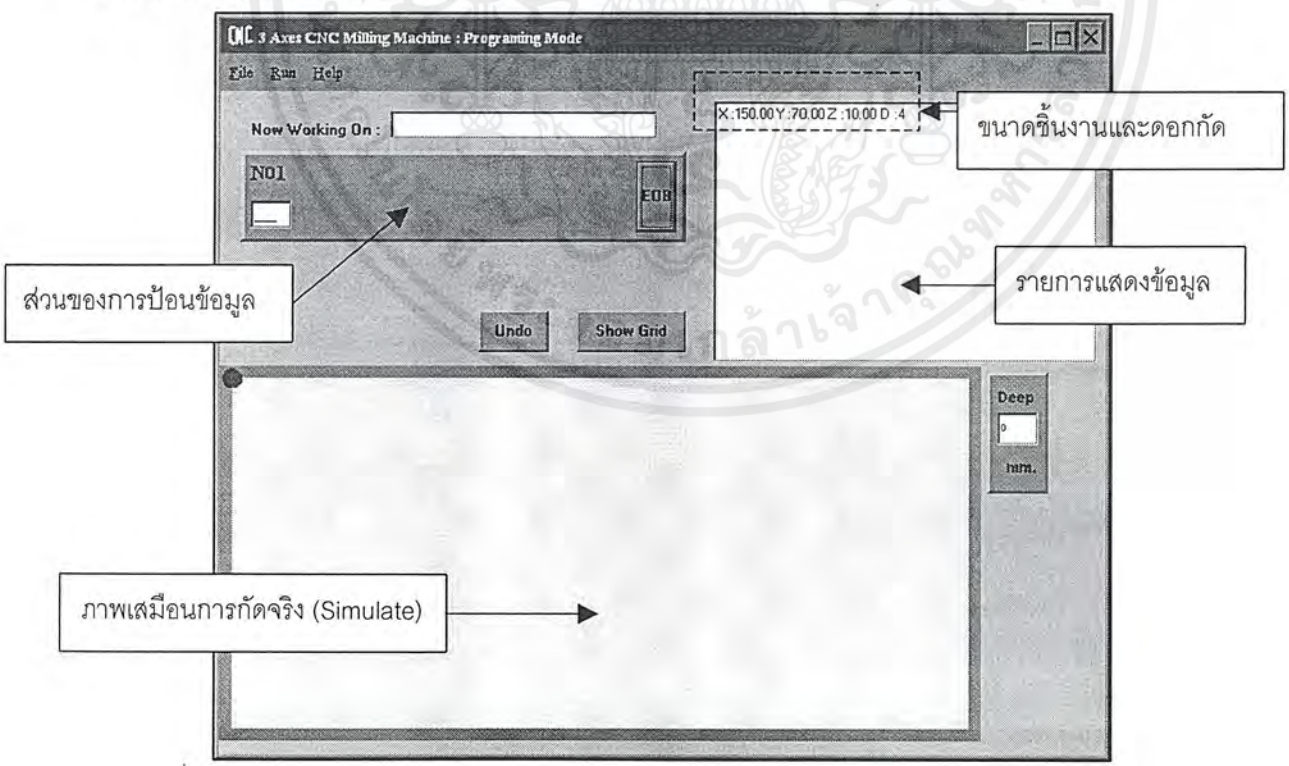
- การสร้างไฟล์ใหม่ (New File)

ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเริ่มออกแบบชิ้นงานจากการเลือกสร้างไฟล์ใหม่ โดยเมื่อเลือกแล้วจะมีการถามขนาดของชิ้นงานที่ต้องการออกแบบ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกัด



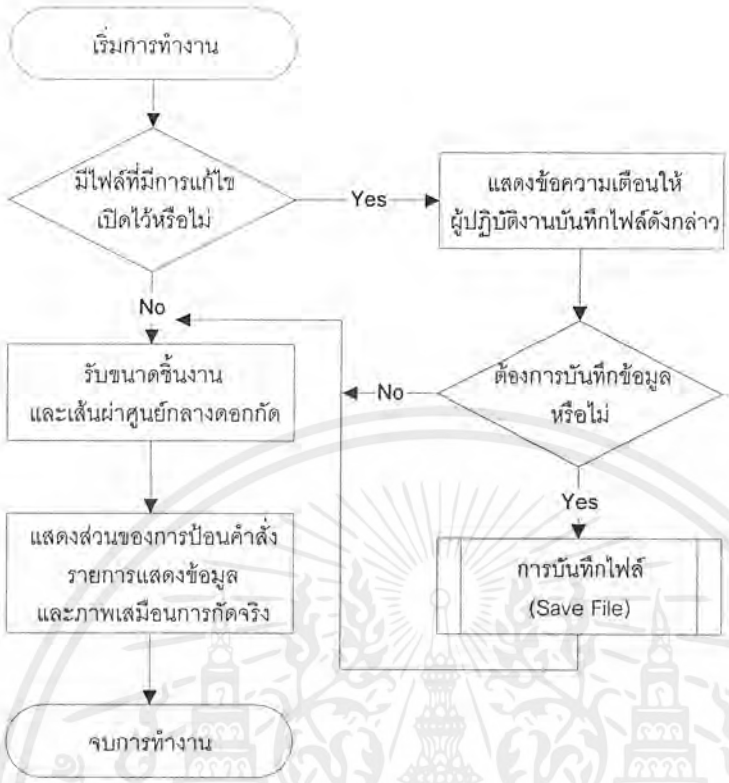
รูปที่ 5.11 แสดงเมนูการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูล

เมื่อป้อนความกว้าง, ยาว และหนาแล้วจะมีการแสดงในส่วนของการป้อนข้อมูล, รายการแสดงข้อมูล และภาพเสมือนการกัดจริง สำหรับการสร้างไฟล์ใหม่สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 แสดงหน้าจอโปรแกรมหลังจากการสร้างไฟล์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แผนภาพการสร้างไฟล์ใหม่

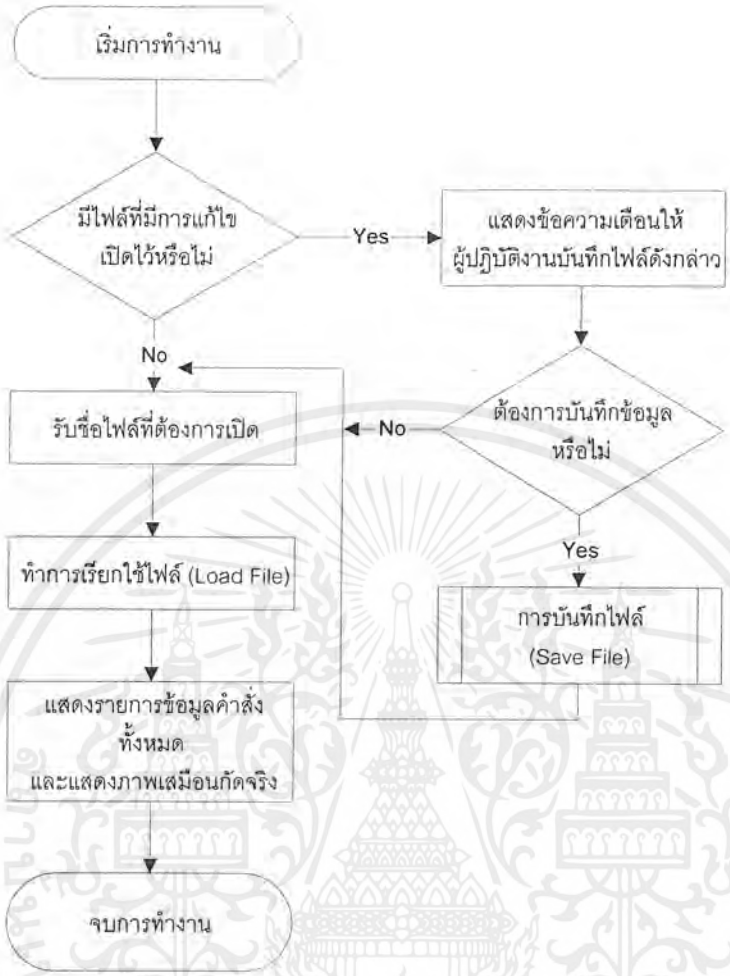
- การเปิดไฟล์ (Open File)

ผู้ปฏิบัติงานสามารถเปิดไฟล์ที่มีอยู่แล้วขึ้นมาตรวจสอบ แก้ไขหรือทำการกัดชิ้นงานได้โดยเมื่อเลือกที่จะเปิดไฟล์จะมีหน้าต่างการเลือกไฟล์ซึ่งจะต้องเป็นไฟล์นามสกุล cnc (*.cnc) เท่านั้น เมื่อเลือกชื่อไฟล์ที่ต้องการจะเปิดแล้วจะปรากฏสิ่งต่างๆคล้ายกับการสร้างไฟล์ใหม่แต่ในส่วนของรายการแสดงข้อมูลบรรทัดสุดท้ายจะมีคำสั่งจบโปรแกรม M30 และในส่วนของภาพเสมือนกัดจริงจะมีภาพการกัดที่สิ้นสุดแล้วอยู่ และจะมีชื่อไฟล์แสดงไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 สำหรับการเปิดไฟล์สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.14

- การแก้ไขไฟล์ (Edit File)

เมื่อเปิดไฟล์ขึ้นมาแล้ว ผู้ปฏิบัติงานสามารถแก้ไขข้อมูลได้ โดยการเลือกที่บรรทัดที่ต้องการแก้ไขแล้วทำการแก้ไข ในส่วนของภาพเสมือนกัดจริงจะทำการวาดภาพใหม่ตามคำสั่งใหม่ที่แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งแต่ต้นจนกว่าจะเจอคำสั่งสิ้นสุดโปรแกรม (M30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

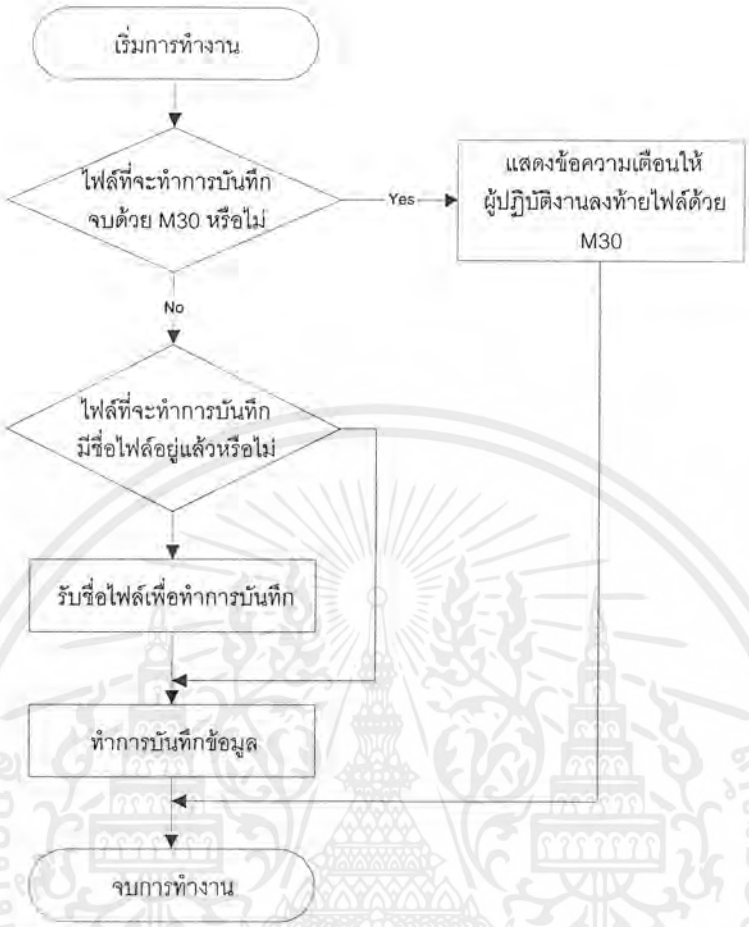


รูปที่ 5.14 แผนภาพการเปิดไฟล์

- การบันทึกไฟล์ (Save File)

เมื่อมีการสร้างไฟล์ใหม่หรือมีการแก้ไขไฟล์เดิมแล้วจะต้องมีการบันทึกข้อมูล ซึ่งจะต้องบันทึกคงเป็นไฟล์นามสกุล Cnc เท่านั้น ในการบันทึกระบบจะเก็บบันทึกเฉพาะส่วนรายการแสดงข้อมูล เพราะในการเปิดไฟล์ครั้งต่อไป โปรแกรมจะใช้ข้อมูลในส่วนนี้วาดภาพเสมือนกัดจริงออกมาจึงไม่ได้มีการเก็บภาพเสมือนจริงเก็บไว้ในไฟล์ ในกรณีเป็นไฟล์ที่สร้างขึ้นมาใหม่การบันทึกผู้ปฏิบัติงานต้องกำหนดชื่อไฟล์ด้วย แต่ในกรณีเป็นการแก้ไขไฟล์ การบันทึกจะกระทำทับลงไปในไฟล์เดิม แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนชื่อหรือไม่ต้องการบันทึกทับไฟล์เดิม ผู้ปฏิบัติงานสามารถเลือกบันทึกเป็นชื่ออื่น (Save As) สำหรับการบันทึกไฟล์สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แผนภาพการบันทึกไฟล์

- <u>การปิดไฟล์ (Close File)</u>

เมื่อผู้ปฏิบัติงานต้องการที่จะปิดงานที่กำลังใช้งานอยู่ ถ้าไฟล์นั้นไม่มีการแก้ไขเลยหลังจากที่เปิดใหม่ จะสามารถปิดไฟล์นั้นได้เลยโดยไม่ต้องบันทึก แต่ถ้ามีการแก้ไขข้อมูลเกิดขึ้น หรือเป็นการปิดไฟล์หลังจากที่สร้างไฟล์นั้นใหม่ โปรแกรมจะถามผู้ปฏิบัติงานก่อนว่าต้องการบันทึกไฟล์นั้นๆก่อนที่จะปิดหรือไม่ ถ้าผู้ใช้ยืนยันว่าไม่ต้องการที่จะบันทึก โปรแกรมจะทำการปิดไฟล์นั้น และยกเลิกการทำงานทั้งหมดเพื่อรอรับคำสั่งต่างๆต่อไป ถ้าผู้ใช้ต้องการบันทึกจะเข้าสู่การทำงานของการบันทึกข้อมูลต่อไปแล้วจึงจะปิดไฟล์นั้นต่อไป สำหรับการปิดไฟล์สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.16

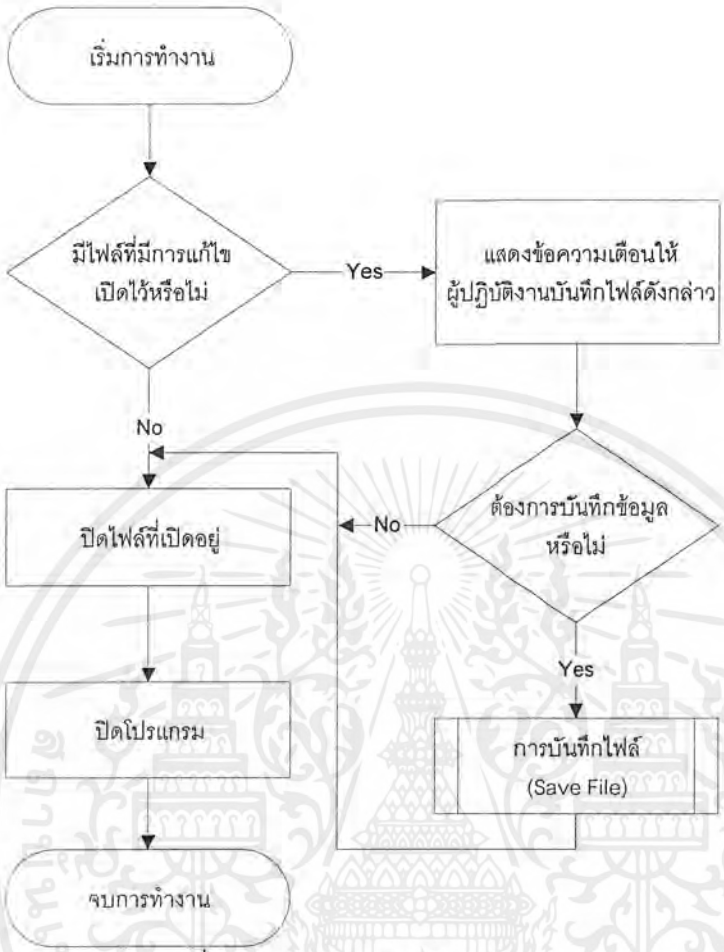
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.16 แผนภาพการปิดไฟล์

- การปิดโปรแกรม (Exit Program)

เมื่อผู้ปฏิบัติงานต้องการที่จะปิดโปรแกรม โปรแกรมจะมีการทำงานต่างๆคล้ายๆ กับการทำการปิดไฟล์แต่เมื่อทำการปิดไฟล์เสร็จแล้ว จะทำการปิดโปรแกรมต่อด้วย สำหรับการปิดโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



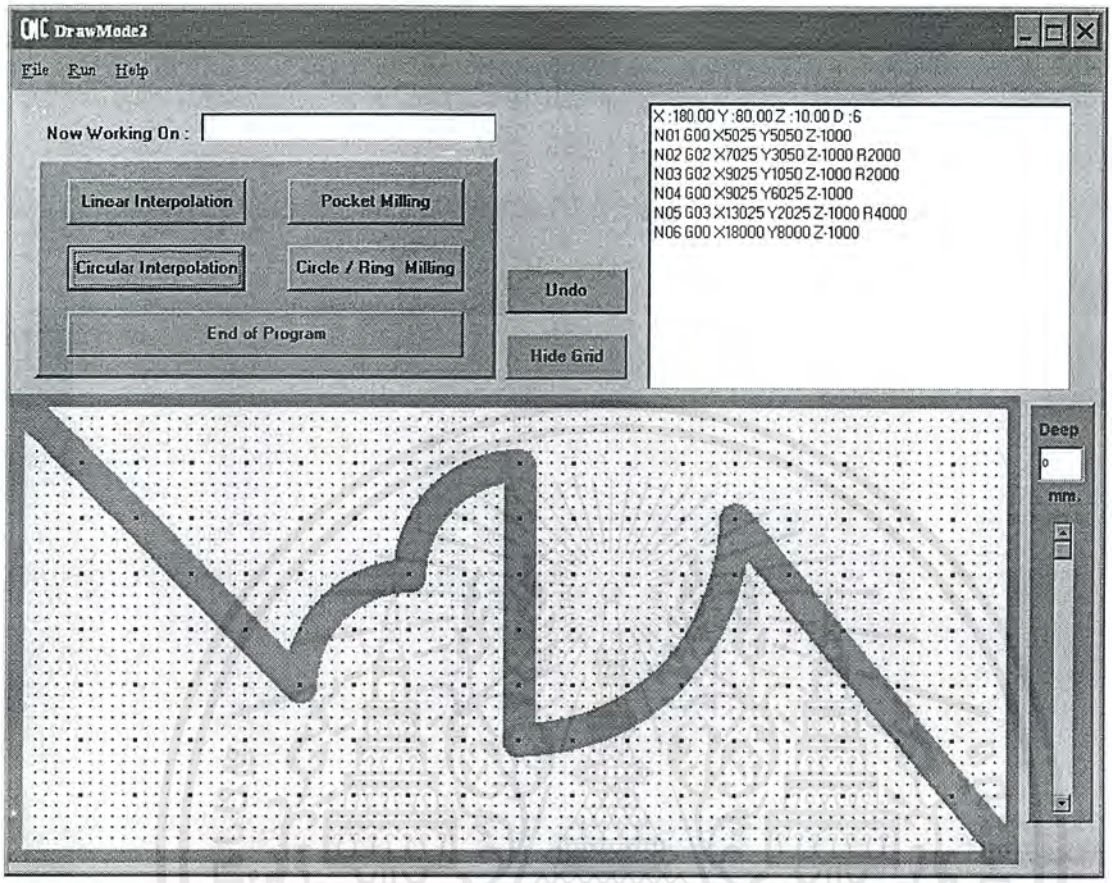
รูปที่ 5.17 แผนภาพการปิดโปรแกรม

5.2 การทำงานในโหมดการวาดภาพชิ้นงาน (CAM Programming Mode)

ประกอบด้วย

- การรับข้อมูลโดยการลากเมาส์วาดเป็นเส้นตรง หรือเลือกสั่งในการกัดรูปร่างเฉพาะ เช่น สี่เหลี่ยม (Pocket), วงกลม, วงแหวน และเส้นโค้ง
- การแปลงภาพเป็นรหัสจีเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ในด้านการโปรแกรมรหัสจีสามารถตรวจสอบได้
- การบันทึกข้อมูล (Save), การเรียกใช้ข้อมูล (Load), การแก้ไขข้อมูล (Edit) ในรูปของไฟล์ที่เก็บรหัสจี เป็นไฟล์นามสกุล cnc (*.cnc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงโหมดการวาดภาพชิ้นงาน

5.2.1 รายละเอียดการวาดภาพชิ้นงาน

ผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีความรู้ด้านรหัสจี สามารถออกแบบชิ้นงานโดยการลากเส้นวาดภาพ กำหนดความลึก หรือเลือกวาดลักษณะพิเศษต่างๆ

การลากเส้นวาดภาพ

เป็นวิธีการเคลื่อนที่เส้นตรงทั้งการเคลื่อนที่เร็ว (G00) และการกัดเส้นตรง (G01) โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถคลิ๊กเมาส์ ณ จุดที่ต้องการให้ดอกกัดเคลื่อนที่ไป บนภาพเสมือนการกัดจริงได้เลย โปรแกรมจะคำนวณค่าพิกัดของจุดนั้นๆ ได้เอง

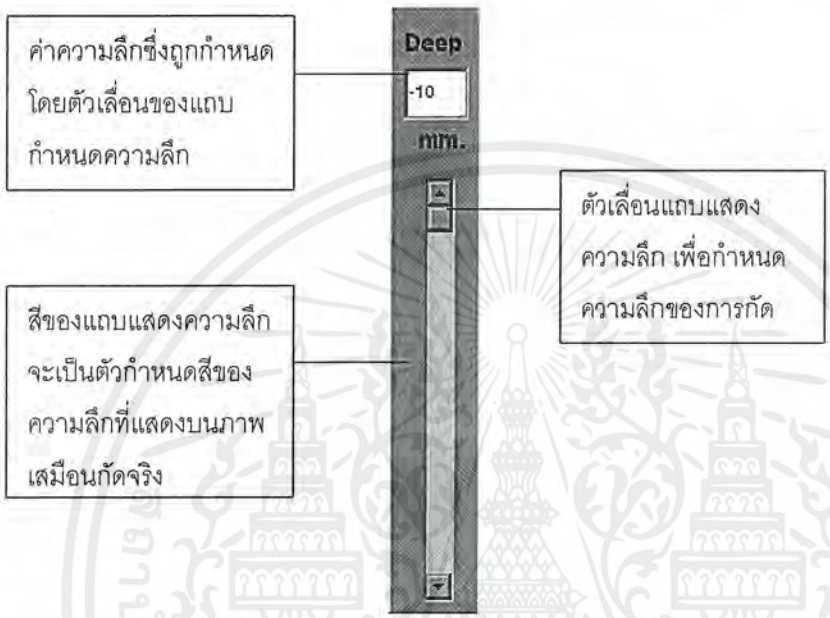
การกำหนดความลึก

ผู้ปฏิบัติงานสามารถเพิ่ม-ลดความลึก (ระยะแกน Z) ของชิ้นงานได้โดยการเลื่อนที่แถบแสดงความลึก ในกรณีการเคลื่อนที่โดยไม่เกิดการกัดจะเสมือนกับการโปรแกรมคำสั่ง G00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ระยะทางเท่าใดก็ได้ตราบเท่าที่ไม่มีการกัดเกิดขึ้น แต่เมื่อมีการกัดเกิดขึ้นการกำหนดความลึก (ระยะแกน Z) จะต้องกระจายระยะทางออกเป็นระยะย่อยๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ไม่สามารถกัดชิ้นงานที่ความลึกมากๆ ได้

ลักษณะของแถบแสดงความลึก ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แสดงแถบกำหนดความลึก

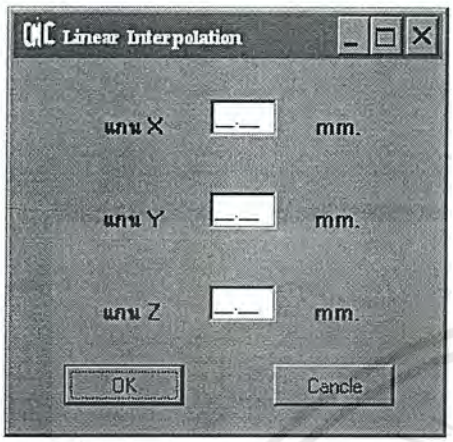
<u>การวาดลักษณะพิเศษ</u>

เพื่อความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ในโปรแกรมควบคุมเครื่องกัดจึงเพิ่มส่วนของการวาดลักษณะพิเศษต่างๆ เนื่องจากในการวาดงานบางลักษณะต้องใช้คำสั่งจำนวนมาก แต่ถ้ามีการวาดลักษณะพิเศษก็จะช่วยย่นระยะเวลาการโปรแกรมของผู้ปฏิบัติงานลงได้ เช่น ในการวาดภาพ 4 เหลี่ยมผืนผ้า 20 X 40 ตารางมิลลิเมตร ด้วยดอกกัดขนาด ∅ 4 มิลลิเมตร อาจจะต้องใช้การวาดภาพด้วยการลากจุดถึง 12 ครั้ง แต่เมื่อใช้การวาดลักษณะพิเศษแล้วสามารถทำงานได้โดยการใส่ความกว้างและความยาวของสี่เหลี่ยมที่ต้องการกัด โปรแกรมจะจัดการแปลงเป็นคำสั่งรหัสจี 12 คำสั่งให้เอง การวาดลักษณะพิเศษประกอบด้วย

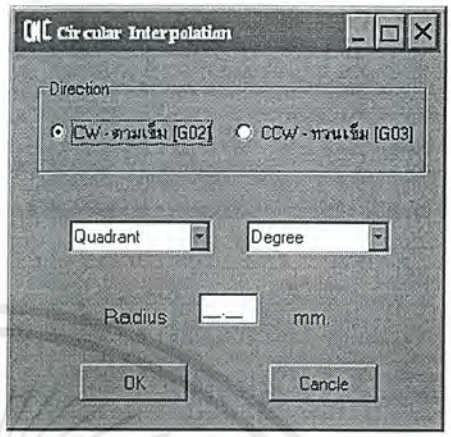
- การกัดเส้นตรง (Linear Interpolation)
- การกัดเส้นโค้ง (Circular Interpolation)
- การกัดสี่เหลี่ยม (Pocket Milling)
- การกัดวงกลมหรือวงแหวน (Circle / Ring Milling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

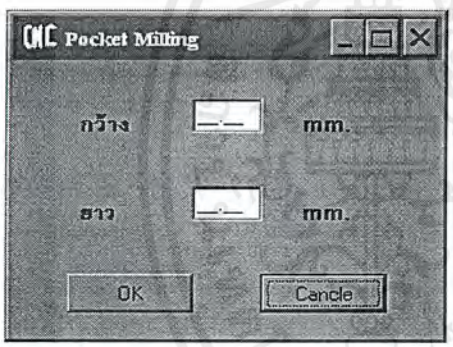
การรับข้อมูลในการวาดลักษณะพิเศษแสดงดังรูปที่ 5.20 ถึง 5.23



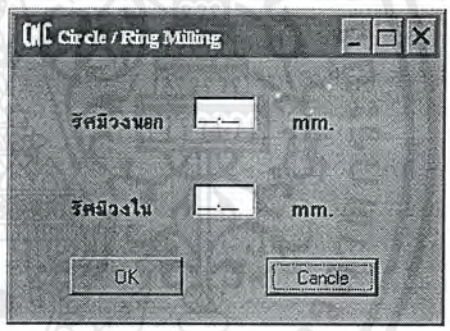
รูปที่ 5.20 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Linear Interpolation



รูปที่ 5.21 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Circular Interpolation



รูปที่ 5.22 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Pocket Milling



รูปที่ 5.23 แสดงการป้อนค่าวาดภาพ Circle / Ring Milling

5.2.2 การแปลงภาพเป็นรหัสจี

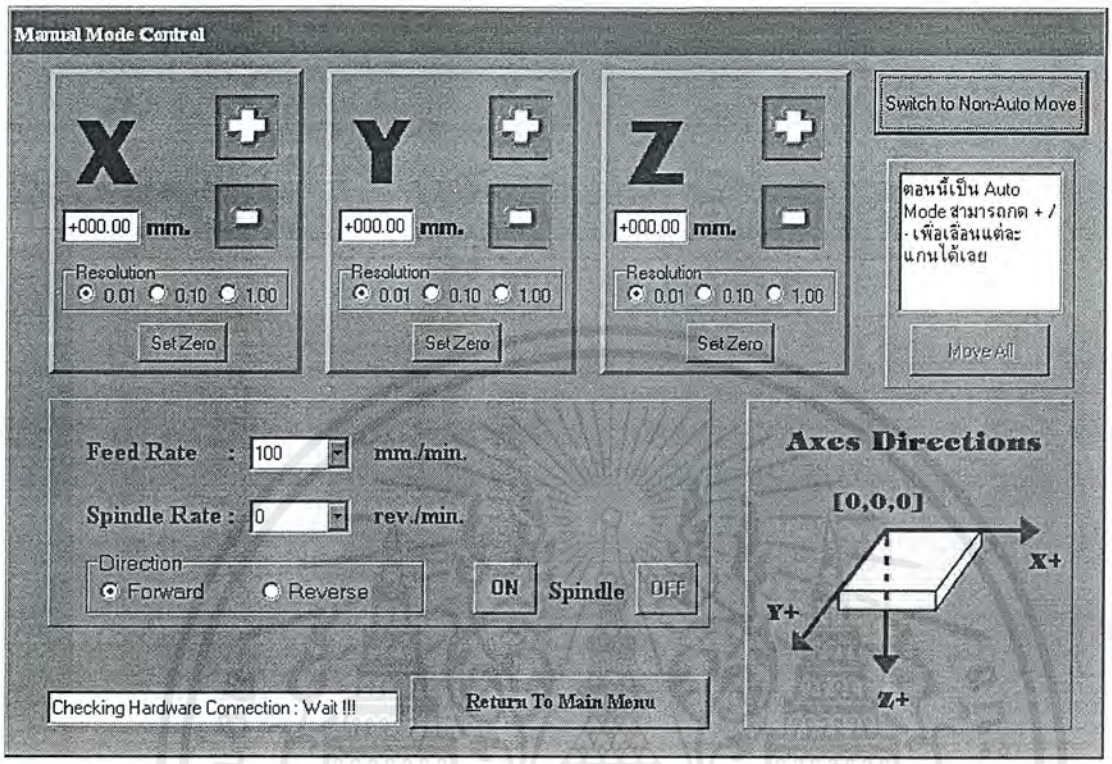
เมื่อมีการวาดภาพเกิดขึ้นทุกๆ ครั้ง โปรแกรมจะทำการแปลงภาพที่วาดนั้นให้เป็นรหัสจี เพื่อประโยชน์ในการแปลงรหัสจีเป็นสัญญาณในการติดต่ออุปกรณ์ภายนอก และช่วยในการบันทึกข้อมูลเพราะไม่สามารถที่จะบันทึกข้อมูลเป็นรูปได้ การแปลงรูปจะแปลงเป็นรหัสจีมาตรฐาน เช่น เส้นตรงจะแปลงได้เป็นรหัส G00 และ G01, เส้นโค้งจะแปลงเป็นรหัส G02 ฯลฯ

5.2.3 การจัดการเกี่ยวกับไฟล์

การทำงานเหมือนกับโหมดการโปรแกรมรหัสจีทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 โหมดการเคลื่อนที่แบบกำหนดเอง (Manual Mode)



รูปที่ 5.24 แสดงหน้าจอโปรแกรมการเคลื่อนแบบกำหนดเอง

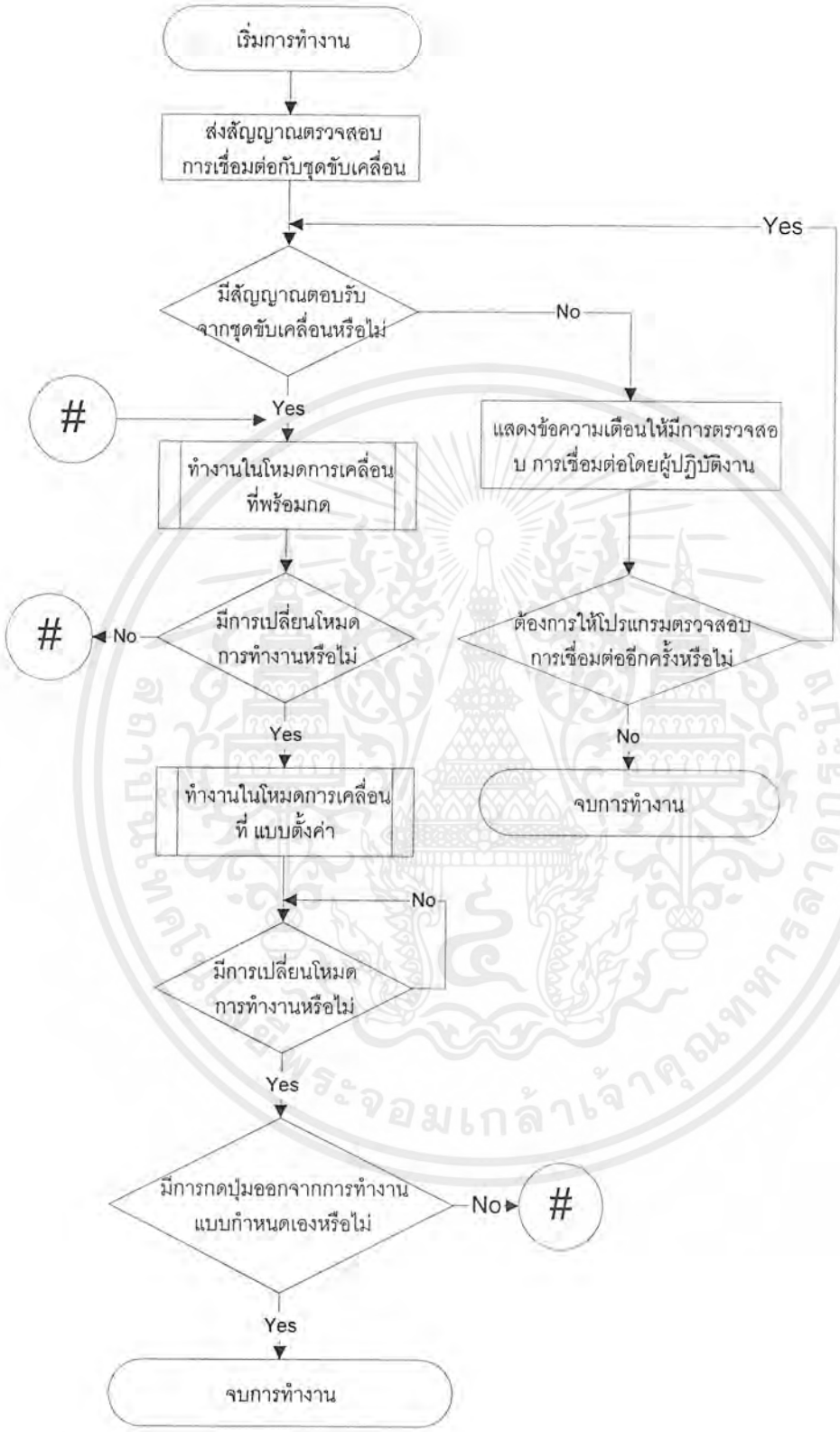
เป็นการเคลื่อนที่โดยการกดปุ่มประจำแกนต่างๆ และผู้ปฏิบัติงานยังสามารถกำหนดอัตราป้อน (Feedrate), ความเร็วดอกกัด (Spindle Speed), ทิศการหมุนของดอกกัด และความละเอียดในการเคลื่อนที่ (Resolution) บนโปรแกรมควบคุม ซึ่งยังสามารถแบ่งย่อยลงไปเป็น 2 โหมดย่อย คือ - โหมดการเคลื่อนที่พร้อมกด (Auto Move Mode)

- โหมดการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า (Non-Auto Move Mode)

โดยสามารถเปลี่ยนโหมดสลับไปมาได้โดยการเลือกที่ปุ่มการเปลี่ยนโหมดในโปรแกรมการควบคุม

สำหรับการทำงานของโหมดการเคลื่อนที่แบบกำหนดเอง และการเลือกโหมดย่อยสามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 แผนภาพการทำงานในโหมดการทำงานแบบกำหนดเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 **โหมดการเคลื่อนที่พร้อมกด** (Auto Move Mode)

เมื่อกดปุ่มให้เคลื่อนที่ในแกน X ไปในทิศทางบวก โปรแกรมก็จะทำการส่งสัญญาณควบคุมออกไปสั่งให้มอเตอร์แกน X หมุนในทิศทางที่เป็นบวก และจะหยุดก็ต่อเมื่อผู้ปฏิบัติงานปล่อยปุ่มแล้ว

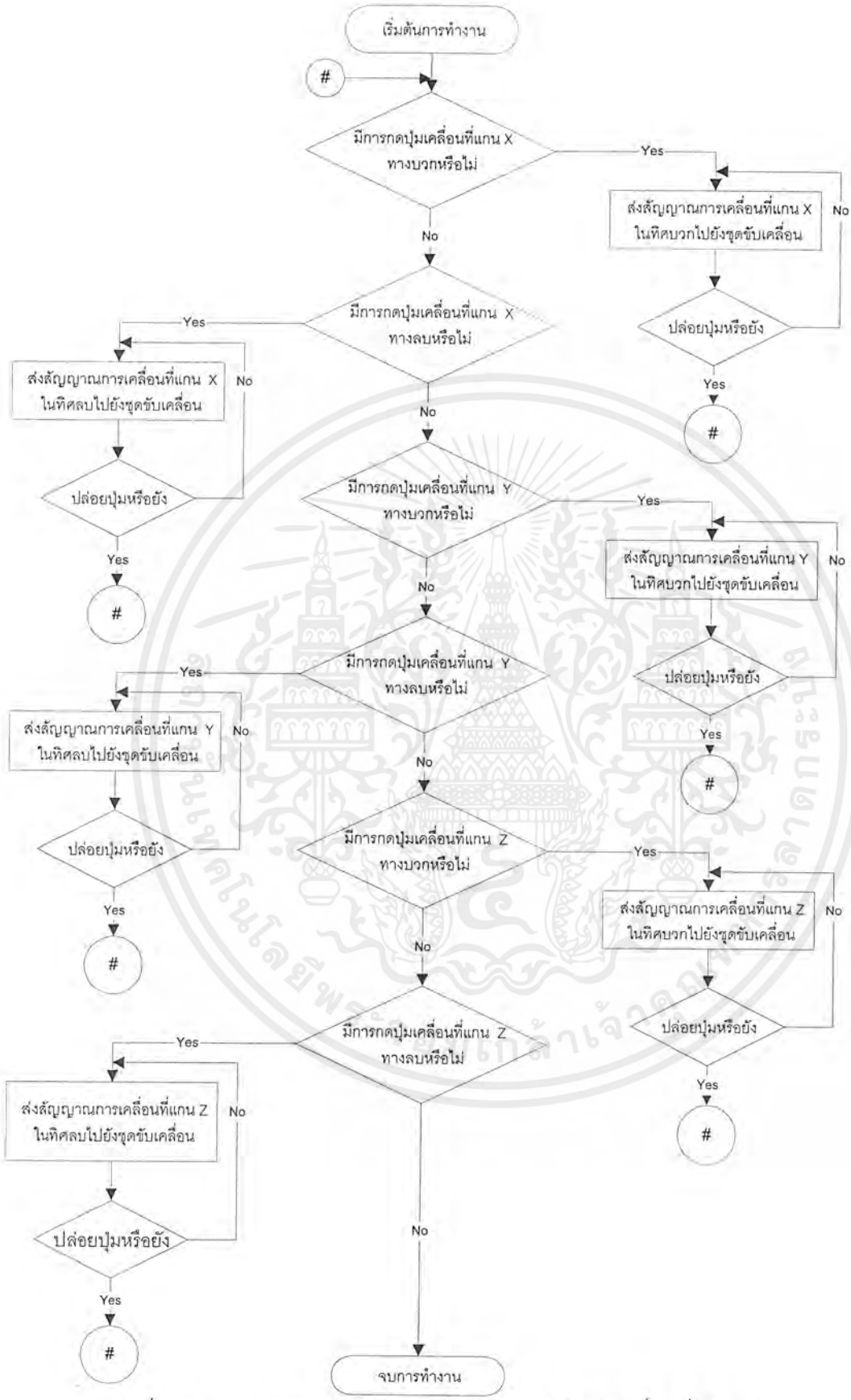
ลักษณะของโปรแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่แบบกำหนดเองในโหมดเคลื่อนที่พร้อมกดสามารถอธิบายดังรูปที่ 5.26

5.3.2 **โหมดการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า** (Non-Auto Move Mode)

เมื่อผู้ปฏิบัติงานต้องการให้แท่นจับยึดชิ้นงาน เคลื่อนที่ไปที่จุดใดๆ ก็สามารถที่จะตั้งค่าในแต่ละแกนให้ได้ค่าตามที่ต้องการ แล้วจึงกดปุ่มการเคลื่อนที่ทุกแกน (Move All)

ลักษณะของโปรแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่แบบกำหนดเองในโหมดเคลื่อนที่แบบตั้งค่าสามารถอธิบายดังรูปที่ 5.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 แผนภาพการทำงานแบบกำหนดเองในโหมดเคลื่อนที่พร้อมกด

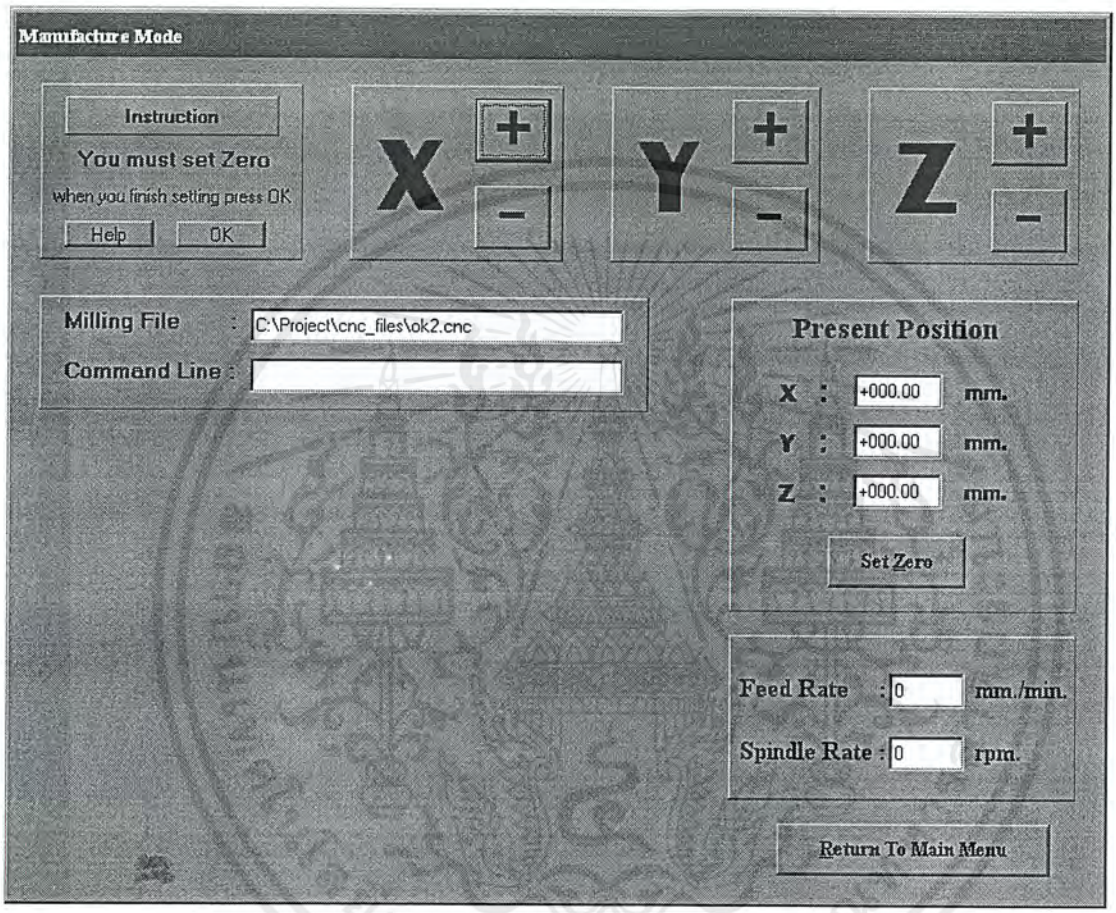
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.27 แผนภาพการเคลื่อนที่แบบกำหนดเองกำหนดเองในโหมดตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 โหมดการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบมา (Manufacturing Mode)

เมื่อผู้ปฏิบัติงานต้องการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบมา อาจจะโดยการโปรแกรมรหัสจี หรือการวาดภาพชิ้นงานก็ได้ ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องใช้งานในส่วนของการการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบมา



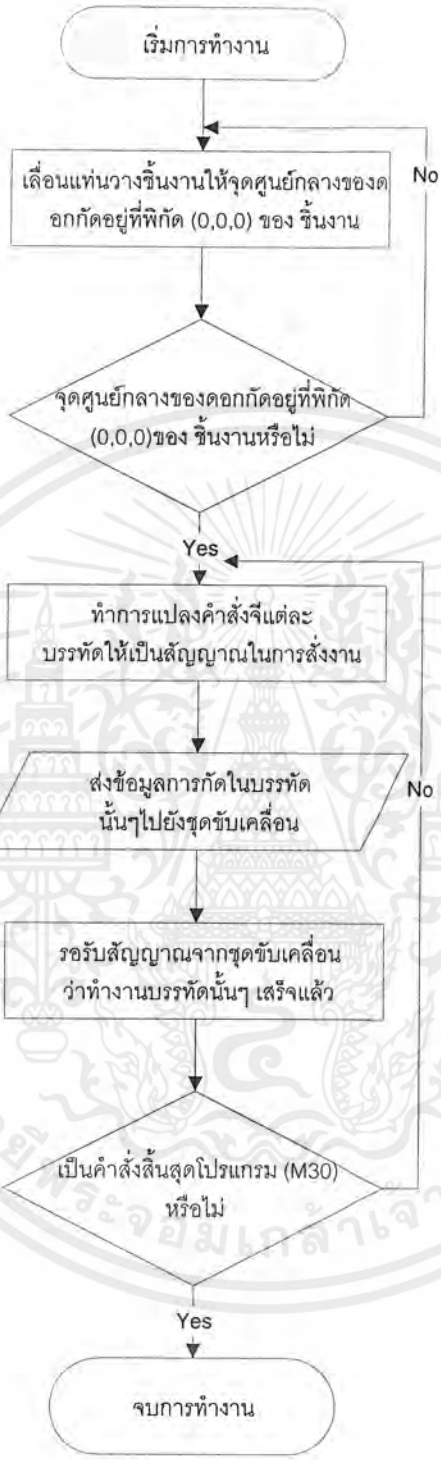
รูปที่ 5.28 แสดงหน้าจอการทำงานโหมดการกัดชิ้นงาน

ก่อนที่จะเข้าสู่โหมดการกัดชิ้นงานโหมดนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลที่มีชื่อไฟล์ นั่นคือไฟล์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ (New File) จะต้องทำการบันทึกข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่โหมดนี้

ในการกัดชิ้นงานจะเริ่มทำการแปลงข้อมูลรหัสจีแต่ละบรรทัดให้เป็นสัญญาณสำหรับส่งให้กับชุดขับเคลื่อนเพื่อกัดชิ้นงานเป็นรูปร่างตามที่ออกแบบในบะะทัดนั้นๆ และจะวนทำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสิ้นสุดโปรแกรม หรือจนกว่าจะเจอ M30 นั่นเอง

การทำงานในโหมดนี้สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 แผนภาพแสดงการทำงานในโหมดการกัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในชุดขับเคลื่อนจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมซึ่งจะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

5.5.1 การทำงานหลัก

ขณะเริ่มแรกไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยกันเองก่อน (แกน Y Z) เมื่อตรวจสอบพบการเชื่อมต่อก็จะตรวจสอบการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และเมื่อตรวจสอบพบการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงานคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เข้ามา ไมโคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบข้อมูลนั้นแล้วดูว่าข้อมูลนั้นสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำอะไร ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะปฏิบัติตามคำสั่งนั้น เมื่อทำงานเสร็จไมโครคอนโทรลเลอร์จะกลับไปรอรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อทำงานคำสั่งต่อไป การทำงานในโหมดนี้สามารถอธิบายได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.30

5.5.2 การเคลื่อนที่แบบพร้อมกด

ขณะเริ่มต้นการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานที่โหมดนี้โดยการทำงานจะเริ่มจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์และตรวจสอบข้อมูลนั้น ถ้าข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลที่สั่งให้แกน X เคลื่อนที่ทางขวา,สั่งให้แกน X เคลื่อนที่ทางซ้าย หรือสั่งให้หยุดการเคลื่อนที่ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ขับสเต็ปมอเตอร์ในทิศทางขวา ซ้าย หรือหยุดขับตามลำดับ แต่ถ้าข้อมูลที่รับเข้ามาจากคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลที่สั่งให้เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นแบบการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า หรือแบบการกัดชิ้นงานตามที่ออกแบบ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกระโดดไปทำงานที่โหมดการทำงานนั้น การทำงานในโหมดนี้สามารถเขียนแผนภาพในรูปที่ 5.31

5.5.3 การเคลื่อนที่แบบตั้งค่า

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ว่าสั่งให้เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นแบบการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกระโดดมาทำงานที่โหมดนี้โดยการทำงานจะเริ่มจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์รอรับข้อมูลที่เป็นแกนที่คอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อด้วย เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใดๆตรวจสอบข้อมูลที่เป็นแกนแล้วตรงกับแกนของตัวเอง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเตรียมรับข้อมูลที่เป็นพารามิเตอร์ในการขับได้แก่ ทิศทางการ และระยะทางการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ จากนั้นจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปแปลงค่าจาก ASCII ไปเป็นค่าจริงแล้งจึงไปสั่งให้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ทำงานตามข้อมูลนั้น เมื่อทำงานเสร็จก็จะกระโดดกลับไปรอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในตอนแรกแต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใดตรวจสอบค่าแกนไม่ตรงกับ ข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่งมาเพื่อต้องการติดต่อด้วย แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นจะรอรับข้อมูลนั้นจนกระทั่งค่าแกนกับข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่งมาตรงกันแล้วจึงทำงานตามที่กล่าวมา การทำงานในโหมดนี้สามารถเขียนแผนภาพได้ดังรูป 5.32

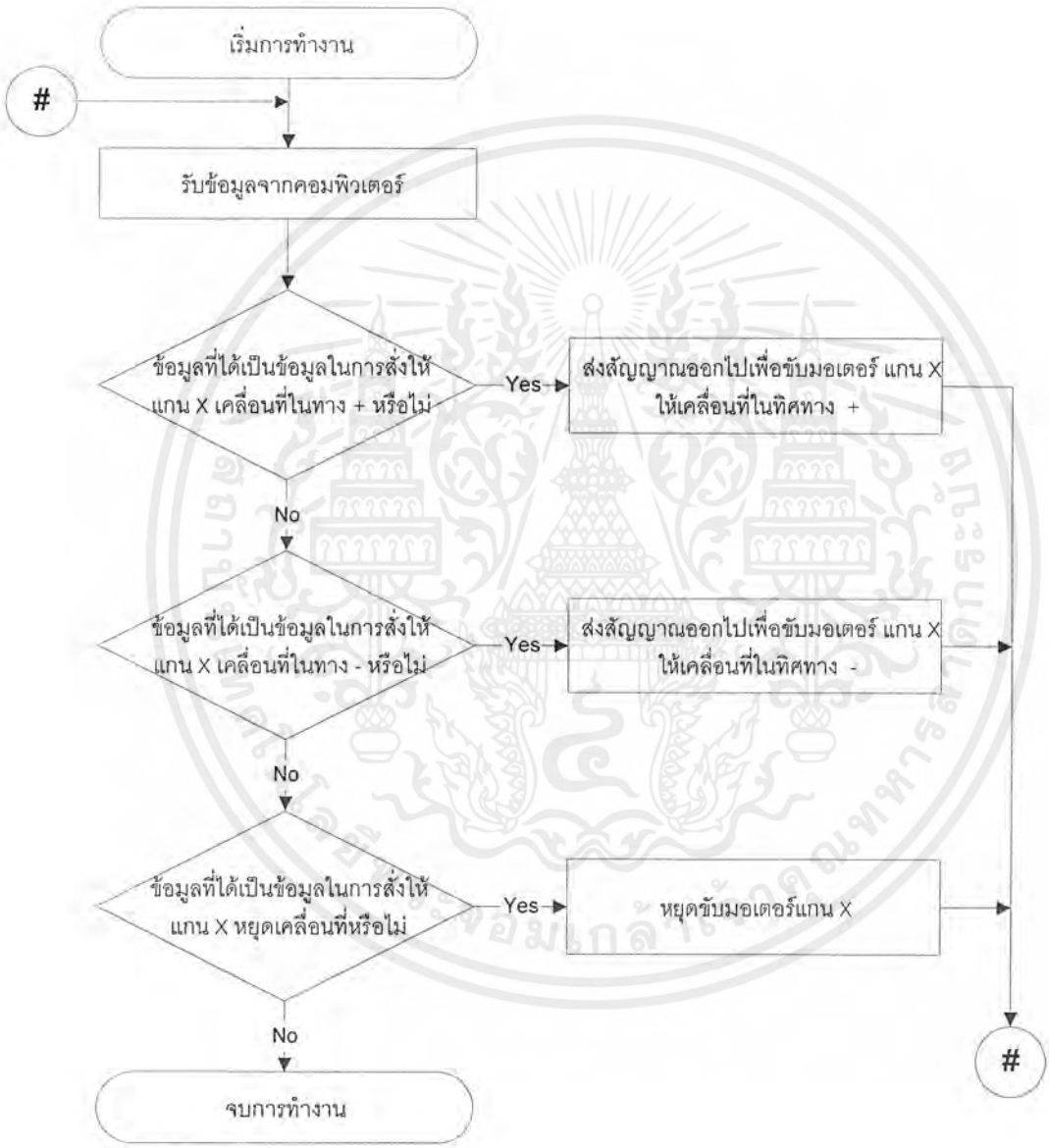
5.5.4 การทำงานแบบการกัดชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ว่าสั่งให้เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นแบบการกัดชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกระโดดมาทำงานที่โหมดนี้โดยการทำงานจะเริ่มจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์รอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แล้วตรวจสอบข้อมูลนั้น ว่าข้อมูลนั้นบอกว่า "คำสั่งหมดแล้ว" หรือไม่ โดยที่ถ้าไม่ใช่ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดมาทำงานในโหมดการเคลื่อนที่แบบตั้งค่าโดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ ทิศทาง และระยะทางการเคลื่อนที่ คือ ข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับเข้ามานั่นเอง เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดการเคลื่อนที่แบบตั้งค่าเสร็จแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปบอกคอมพิวเตอร์ว่าทำงานคำสั่งนี้เสร็จแล้วและจะกลับไปรอรับคำสั่งต่อไป การทำงานจะดำเนินไปเรื่อยจนกระทั่ง ข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับจากคอมพิวเตอร์นั้นบอกว่า "คำสั่งหมดแล้ว" ไมโครคอนโทรลจะกระโดดกลับไปรอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในตอนแรก จากการทำงานที่กล่าวมาในโหมดนี้สามารถเขียนแผนภาพได้ดังรูปที่ 5.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

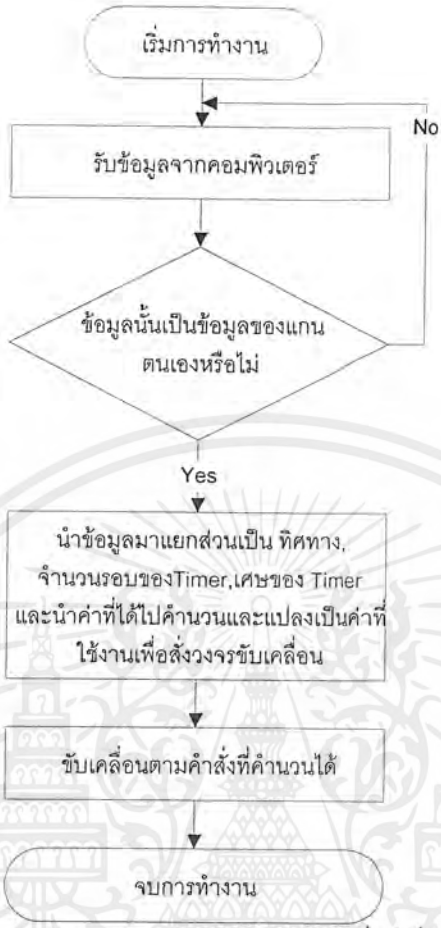
รูปที่ 5.30 แผนภาพแสดงการทำงานหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

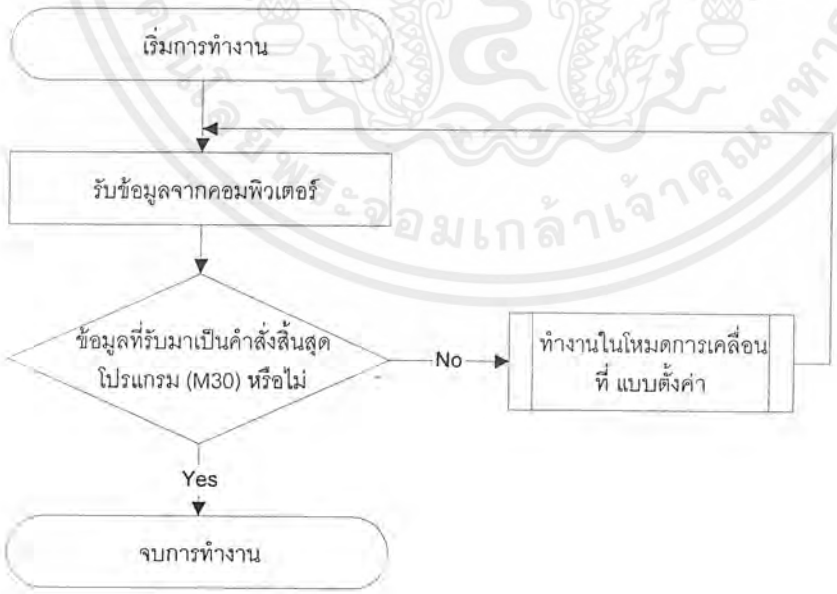


รูปที่ 5.31 แผนภาพแสดงการทำงานการเคลื่อนที่แบบพร้อมกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 แผนภาพแสดงการทำงานการเคลื่อนที่แบบตั้งค่า



รูปที่ 5.33 แผนภาพแสดงการทำงานการกัดชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น

1. การทดลองเคลื่อนที่ในโหมดเคลื่อนที่พร้อมกัด
2. การทดลองเคลื่อนที่ในโหมดเคลื่อนที่แบบตั้งค่า
3. การทดลองการกัดตามแบบที่ออกแบบมา

การทดลองเคลื่อนที่ในโหมดการเคลื่อนที่พร้อมกด

การทดลองทำได้โดยการกดปุ่มการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน แล้วจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ระยะทางสูงที่สุดในแต่ละแกน

ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.1 แสดงการเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน

	X	Y	Z
ระยะทางสูงสุด (มิลลิเมตร)	180	70	40
เวลาที่ใช้ (วินาที)	104	48	58

การทดลองเคลื่อนที่ในโหมดเคลื่อนที่แบบตั้งค่า

การทดลองทำได้โดยการตั้งค่าการเคลื่อนที่ต่างๆ ของแต่ละแกนแล้วกดให้ เครื่องกัดเคลื่อนที่จริงแล้ววัดค่าที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบความถูกต้องของการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน

ค่าที่ตั้งไว้	0.50	1.00	5.00	10.00	20.00	50.00
แกน X	0.50	1.00	5.00	10.10	20.10	50.20
แกน Y	0.50	1.00	5.00	10.10	20.20	50.30
แกน Z	0.50	1.00	5.00	10.00	20.10	-

การทดลองการกัดตามแบบที่ออกแบบมา

ทำการทดลองโดยการออกแบบในโปรแกรมควบคุม แล้วเปรียบเทียบรูปที่ได้จากโปรแกรมกับรูปการกัดจริง (หมายเหตุ : ขอบข่ายของโครงงานไม่ได้มีการจัดทำชุดควบคุมดอกกัด ในการทดลองจึงใช้หัวจับปากกาแล้ววาดภาพบนกระดาษแทน)

รหัสจีที่ใช้กัด

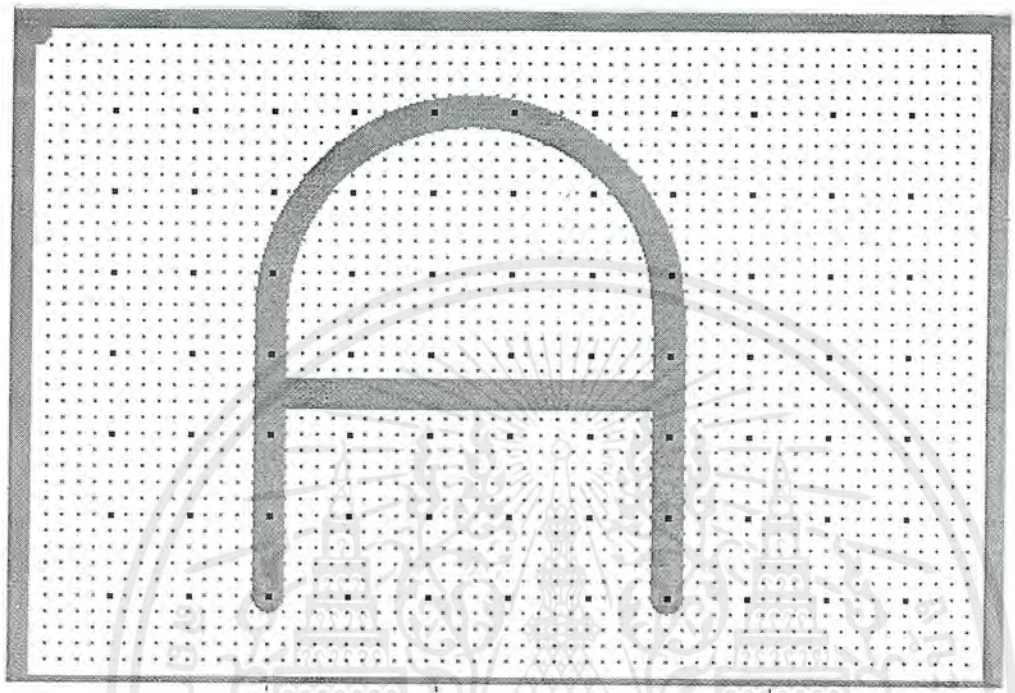
```
X :120.00 Y :80.00 Z :10.00 D :4
N01 G91
N02 G00 X3000 Y7000 Z0
N03 G00 X0 Y0 Z1000
N04 G00 X0 Y-3500 Z0
N05 G02 X2500 Y-2500 Z0 R2500
N06 G02 X2500 Y2500 Z0 R2500
N07 G00 X0 Y3500 Z0
N08 G00 X0 Y-2500 Z0
N09 G00 X-5000 Y0 Z0
N10 M30
```

รูปที่ 6.1 แสดงรหัสจีที่ใช้ในการกัดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

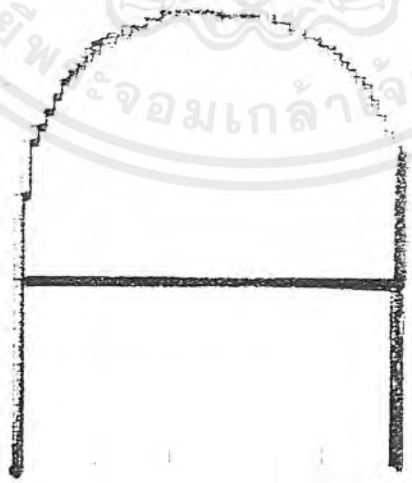
ผลการทดลอง

รูปชิ้นงานที่ออกแบบได้จากโปรแกรม โดยการโปรแกรมในโหมดการโปรแกรมรหัสจี



รูปที่ 6.2 แสดงรูปที่เกิดจากการป้อนรหัสจีในรูปที่ 6.1

รูปชิ้นงานที่ทำได้จริง (ยึดปากกาแตะกับชิ้นงานแล้วเริ่มสั่งงาน)



รูปที่ 6.3 แสดงรูปที่เกิดจากการกัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ปัญหาและแนวทางแก้ปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. เนื่องจากขอบข่ายของโครงงานไม่ได้มีการจัดทำชุดหัวกัด ทำให้ไม่สามารถกัดงานจริงได้ ทำได้เพียงใช้ปากกาเขียนเป็นรูปเท่านั้น ทำให้ไม่ทราบว่าสิ่งที่ออกแบบไปมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยเฉพาะในด้านความลึกของการกัดชิ้นงาน ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้ถ้าไม่มีชุดหัวกัดที่ใช้งานได้
2. ขาดเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงแน่นอน ทำให้ไม่รู้ค่าความละเอียด (กี่ขั้นของสเตปมอเตอร์ ต่อ การเคลื่อนที่ 1 มิลลิเมตร) ที่แน่นอน ทำให้การเคลื่อนที่มีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อย
3. มอเตอร์ที่ใช้เป็นสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียดสูงมากจนเกินไป และยังมีชุดเฟืองที่ทดรอบให้มีความละเอียดสูงขึ้นไปอีก ทำให้การทำงานค่อนข้างจะช้ามาก

แนวทางแก้ปัญหา

1. จัดทำชุดควบคุมชุดหัวกัดให้เสร็จเรียบร้อย เพื่อที่จะได้สามารถกัดชิ้นงานจริงได้ และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมออกแบบและควบคุมชิ้นงาน
2. หาเครื่องมือวัดที่มีความละเอียด และความถูกต้อง เช่น เพื่อวัดค่าความละเอียดได้ถูกต้องที่สุด แล้วนำค่าไปคำนวณในโปรแกรมทำให้ได้การทำงานที่ผิดพลาดน้อยลง
3. เปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็นมอเตอร์ที่มีค่าองศาต่อขั้นของมอเตอร์มากขึ้น หรือ เปลี่ยนชุดเฟืองทดให้ทดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนด้านต่างๆ ตลอดจนช่วยจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาระบบควบคุม ที่ให้คำแนะนำ และชี้แนะตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในภาคที่ให้ปรึกษาเรื่องต่างๆ ที่ไม่เข้าใจ

- หนุ่ม สำหรับทุกเรื่องเกี่ยวกับวงจร, มอเตอร์, เครื่องกล ฯลฯ
- เดียร์, นุ้ย, มิ้ว, มิ้วกี้, อ๋อง ฯลฯ สำหรับเรื่องโปรแกรมเดลไฟ
- เจนนี่, เปิ้ล สำหรับเรื่อง MCS-51
- ปอ ที่ช่วยแปลบทคัดย่อ
- เพื่อนๆ ที่เหลือที่ให้กำลังใจและเสียงหัวเราะตลอดเวลา

ขอขอบคุณน้องๆ ชุมนุมคอมพิวเตอร์ทุกคน โดยเฉพาะน้องบอล,น้องเชน, น้องอร, น้องแอม และน้องอาร์ม ที่ช่วยพิมพ์งานในช่วงเวลาเร่งด่วน และน้องคนอื่นๆ ที่คอยให้กำลังใจและถามไถ่ตลอดและ

ขอขอบคุณ Dejan Crnila ที่เขียนคอมโพเนนต์ดีๆ อย่าง TComPort ให้เราได้นำมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กมลมาศ กำจรกิจการ,"คู่มือพัฒนาโปรแกรมด้วย Delphi 4",บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 2542, 444 หน้า
2. นุกูล กระจาย,"การเขียนโปรแกรมแบบวิชวล Delphi 4",บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2542, 496 หน้า
3. ชาลี ตระกาลกูล, "เทคโนโลยีซีเอนซี", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,2538, 339 หน้า
4. ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวณิช,"คู่มือและการประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2536, 380หน้
5. พิพัฒน์ เลาหสงคราม, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51", ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 299 หน้า
6. นายพิสุทธิ์ อภิชยกุล และ นายอนุรัตน์ ธนะโสธร, "การสร้างต้นแบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องกลึง", ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
7. โยธิน เปรมปราณีรัชต์, "ระบบเซอร์โวและอิเลคทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์", ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 81-84, 2533
8. Kent Reisdorph, "Teach Yourself Borland Delphi4", 918P., 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้