การโปรแกรมและการจำลองภาพการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี
PROGRAMMING AND GRAPHICS SIMULATION OF CNC LATHE MACHINE

T031015

ว่าที่ร้อยตรี วิชัย ศิวรานนท์
SECOND LT. WICHAI SIVARANON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-191-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกลาเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 31015
วัน, เดือน, ปี 8 ก.ย. 2541

PROGRAMMING AND GRAPHICS SIMULATION OF CNC LATHE MACHINE

SECOND LT. WICHAI SIVARANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN COMPUTER SCIENCE
AND INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1998

ISBN 974-622-191-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การโปรแกรมและการจำลองภาพการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี
นักศึกษา	ว่าที่ร้อยตรี วิชัย ศิวรานนท์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการนำเอาเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่มีการควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์มาใช้ในขบวนการผลิตมากขึ้น โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์นี้ทำการบังคับส่วนต่าง ๆของเครื่องจักรกลให้ทำงานเป็นไปตามขั้นตอนของโปรแกรมที่ออกแบบไว้ โปรแกรมดังกล่าวนี้เป็นโปรแกรมระบบควบคุมเชิงตัวเลขที่มีรูปแบบพิเศษ ไม่เหมือนกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป ทำให้การเขียนโปรแกรมประเภทนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องใช้เวลาและการฝึกฝนเป็นอย่างมาก

วิทยานิพนธ์นี้ จึงได้เสนอแนวทางแก้ไขด้วยการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มาจำลองภาพกราฟฟิกของการทำงานของเครื่องจักรกล เพื่อให้เห็นการทำงานที่คล้ายกับการทำงานของเครื่องจักรกล โดยการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่คล้ายกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อใช้การศึกษา ฝึกหัดทักษะและเพิ่มพูนความชำนาญในการเขียนโปรแกรมระบบควบคุมเชิงตัวเลข โดยได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบบตอบโต้กับระบบได้ ไม่ต้องเขียนโปรแกรมเหมือนกับการเขียนโปรแกรมทั่วไป เพียงแต่ใส่ค่าต่าง ๆตามที่ต้องการ ระบบก็จะทำการเขียนโปรแกรมให้โดยอัตโนมัติ หลังจากนั้นก็สามารถจำลองภาพการทำงานของโปรแกรมให้เห็นได้ทันที ด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถทราบการทำงานของโปรแกรมได้ว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Programming and Graphics Simulation of CNC Lathe Machine
Student	Second Lt. Wichai Sivaranon
Thesis Advisor	Mr. Kawin Sontipuampoon
Level of Study	Master of Science Program in Computer Science and Information Technology
Department	Mathematics and Computer Science Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1998

ABSTRACT

Recently, the automatic electronics control machines have been widely used in many industries. The movement of machine is controlled by a program which is designed for the very specific job and It is depend on the electronics circuit. The program is a numerical control system which is very specific and special format. It is not a general computer program then it is very difficult to write this program and it take a very long time to practice it.

My research have presented an approach to solve the problems by using a personal computer to simulate a computer graphic as the automatic electronics control machine working. My research and software development is designed as a Computer Aid Instruction for the users to practice the numerical control program writing by using online interactive mode. They do not need to write a program as the other programming. The system want to entry some data in the data fields then it generate a numerical control program for you. You can run the program to simulate the tool path that it is right or wrong cutting tool path. According to this software, it is very convenient and save the costs and time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้โดยความช่วยเหลือของอาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่าง ๆ ของการวิจัยด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณพนักงานบริษัท N. R. INDUSTRIES CO., LTD. ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เนื่องจากทุนการวิจัยนี้บางส่วนได้รับการอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ว่าที่ร้อยตรี วิชัย ศิวรานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VI
สารบัญภาพ..... VII
บทที่
1. บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1
ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..... 2
ขอบเขตของการวิจัย..... 2
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
2. เครื่องจักรกลอัตโนมัติ..... 4
บทนำ..... 4
ระบบการทำงานของเครื่องจักรกล..... 6
ระบบพิกัดของเครื่องจักรกล..... 7
ระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล..... 7
ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล..... 10
3. การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี..... 13
บทนำ..... 13
การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี..... 23
4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 45
เวกเตอร์..... 45
ตรีโกณมิติ..... 48
เรขาคณิตวิเคราะห์..... 51
การคำนวนหาจุดตัดของเส้นต่าง ๆ..... 53
การคำนวนหาตำแหน่งทางเดินของใบมีดตัด..... 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. การออกแบบและพัฒนาโปแกรม	71
การออกแบบโปรแกรม	71
การพัฒนาโปรแกรม	82
6. การทดสอบโปรแกรมและผลการทดลอง	83
การทดสอบโปรแกรม	83
ผลการทดลอง	85
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	93
สรุปผลการวิจัย	93
ข้อเสนอแนะ	95
บรรณานุกรม	96
ภาคผนวก	97
ความหมายของรหัสเอ็นซี	97
ประวัติผู้เขียน	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ความหมายของตัวแปรของคำสั่ง G02 และ G03 26
2. ความหมายตัวแปรของรหัสเอ็นซี 39
3. ค่าพิสัยตัวแปรของรหัสเอ็นซี 40
4. ความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมส่วนของการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี 93
5. ฟังก์ชันที่ยังใช้งานได้ไม่ดีหรือยังไม่สามารถใช้งานได้ 94
6. ราคาของซอฟท์แวร์ที่มีลักษณะเดียวกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น 94
7. ความหมายของรหัส G 98
8. ความหมายของรหัส M 101
9. ความหมายของรหัส T 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1. เครื่องจักรกลซีเอ็นซีชนิดต่าง ๆ 5
2. แสดงระบบการทำงานเครื่องจักรกลเอ็นซี 6
3. แสดงระบบการทำงานเครื่องจักรกลซีเอ็นซี 7
4. ระบบพิกัดของเครื่องจักรกล 8
5. การเคลื่อนที่ระบบอินครีเมนทัล 9
6. การเคลื่อนที่ระบบแอบโซลูท 10
7. ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบโพซิชันนิง 11
8. ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง 12
9. ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบคอนทัวริง 12
10. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงขนานกับแกน 14
11. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงไม่ขนานกับแกน 15
12. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นโค้ง 15
13. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาขนานกับแกน 16
14. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาไม่ขนานกับแกน 17
15. อัตราการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด 17
16. ระบบพิกัดของภาพวาดชิ้นงาน เครื่องจักรกลซีเอ็นซีและเครื่องมือกล 18
17. จุดศูนย์และมิติที่หน้าปากจับของชิ้นงาน 19
18. จุดศูนย์และมิติที่หน้าชิ้นงาน 19
19. การโปรแกรมแบบเส้นผ่าศูนย์กลาง 20
20. การโปรแกรมแบบรัศมี 21
21. ทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีดและการหมุนของสปินเดิล 22
22. ใบมีดตัด 22
23. การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G00 23
24. การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G01 24
25. อินเทอร์โพเลชันเส้นโค้ง 25
26. การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G02 26
27. ทิศทางการเคลื่อนที่ของความเร็ว 28
28. อัตราการเคลื่อนที่ต่อนาที 28
29. อัตราเร่งและอัตราหน่วง 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30.	เส้นทางเดินของใบมีดที่มุม	30
31.	การทำงานของฟังก์ชัน G28 และ G29	31
32.	การกำหนดระบบพิกัดโดยตรงสำหรับ G92	33
33.	การเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูท	34
34.	การเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล	34
35.	ระบบพิกัดของวินโดว์	37
36.	การทำงานระหว่างโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย	38
37.	ชุดคำสั่งของภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซี	38
38.	การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยฟังก์ชัน G77 โดยขนานกับแกน	42
39.	การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยฟังก์ชัน G77 โดยไม่ขนานกับแกน	42
40.	การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งขนานกับแกน X	43
41.	การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งไม่ขนานกับแกน X	44
42.	เวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B ทำมุม θ	46
43.	ผลคูณของเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B	47
44.	กราฟของอนุพันธ์เชิงเวกเตอร์ที่ $t = t_0$	48
45.	สามเหลี่ยมมุมฉาก	49
46.	สามเหลี่ยมคล้าย	50
47.	เส้นตรงในระบบพิกัด XY	51
48.	วงกลมในระบบพิกัด XY	53
49.	เส้นตรงสองเส้นตัดกัน	54
50.	เส้นตรงตัดกับวงกลม	55
51.	วงกลมตัดกับวงกลม	56
52.	เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงขนานกับแกน X	58
53.	เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงขนานกับแกน Y	59
54.	เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y	61
55.	เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงขนานกับแกน X	63
56.	เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงขนานกับแกน Y	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

57. เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y 67
58. เส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง 68
59. ภาพเฉพาะส่วนของวงกลมตัดกัน 2 วง 69
60. แผนผังโปรแกรม 72
61. แสดงวินโดว์หลัก 84
62. การปิดช่องใส่ข้อมูลที่ไม่จำเป็น 85
63. แสดงข้อความผิดพลาด 86
64. แสดงรูปแบบของชุดคำสั่ง 86
65. การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง 87
66. ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง 88
67. การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง 89
68. ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง 90
69. การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบรูปฟันปลา 91
70. ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบรูปฟันปลา 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม ได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในขบวนการผลิต เครื่องจักรกลอัตโนมัติก็เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจากเครื่องจักรกลสามารถทำงานได้ถูกต้อง รวดเร็ว และเป็นการลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้เพราะว่าเครื่องจักรกลเหล่านี้ถูกควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นคำสั่งควบคุมคอมพิวเตอร์เหล่านั้น โปรแกรมต่าง ๆเหล่านี้เป็นโปรแกรมเฉพาะวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องจักรกลอัตโนมัติเท่านั้น ซึ่งจะอาศัยเทคนิคการโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลข ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไปโดยสิ้นเชิง ด้วยเหตุนี้เองทำให้โปรแกรมนี้ยากต่อการทำความเข้าใจและการเขียนโปรแกรม

ระบบการจำลองภาพกราฟฟิกการทำงานของเครื่องจักรกล ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จะเป็นซอฟแวร์โปรแกรมที่ทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมนี้มาก่อนสามารถทำความเข้าใจกับรูปแบบโครงสร้างของโปรแกรมได้ง่าย เนื่องจากระบบจะเก็บรูปแบบของโปรแกรมเอาไว้ในฐานข้อมูล เพื่อให้ซอฟแวร์โปรแกรมนี้มีความฉลาดสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ ทำการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมอัตโนมัติและสามารถจำลองภาพการทำงานของโปรแกรมได้คล้ายกับการทำงานของเครื่องจักรกลจริงทันที

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เพื่อทำการจำลองภาพการทำงานของเครื่องจักรกลเหล่านั้น ด้วยซอฟแวร์โปรแกรมกราฟฟิกบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลว่าสามารถใช้แทนการศึกษาและฝึกหัดกับเครื่องจักรกลเหล่านั้นได้อย่างไรและมีปัญหาอย่างไร
2. เพื่อต้องการลดงบประมาณ ถ้าสามารถนำซอฟท์แวร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับสถาบันการศึกษา ที่มีหลักสูตรการเรียนการสอนเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมเชิงตัวเลข แทนการนำเข้าเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

3. เพื่อต้องการลดต้นทุนการผลิตและเวลา ในการฝึกหัดการเขียนโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลข ถ้าสามารถนำซอฟท์แวร์นี้ไปใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม แทนการฝึกหัดและการเขียนโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลขกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

<u>ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย</u>

ในขบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ขั้นตอนที่สำคัญของขบวนการนี้คือการเขียนโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลข ผู้เขียนโปรแกรมนี้จะต้องดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ขนาดและสัดส่วนที่จะนำไปผลิตชิ้นงานจากแบบวิศวกรรม การที่จะแสดงขนาดและสัดส่วนให้แก่ระบบคอมพิวเตอร์นั้น แบบวิศวกรรมจะต้องถูกนิยามในรูปอนุกรมของจุด เส้นตรงและเส้นโค้ง นั่นคือนิยามอยู่ในรูปเรขาคณิตตามลักษณะผิวหน้าของชิ้นงาน และขบวนการควบคุมเชิงตัวเลขจะใช้ระบบคู่ลำดับ เพื่อสร้างรูปเรขาคณิตเหล่านั้น [1] รูปทรงเรขาคณิตเหล่านี้สามารถใช้เรขาคณิตวิเคราะห์ในการคำนวนหาเส้นทางเดินของใบมีดได้ นอกจากนั้นการควบคุมเชิงตัวเลขยังประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์สาขาอื่น ๆอีกมากมาย เช่น สมการเชิงอนุพันธ์ แคลคูลัส เมทริกซ์ เวกเตอร์และความสัมพันธ์ทางด้านตรีโกณมิติ

<u>ขอบเขตของการวิจัย</u>

เนื่องจากการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษา เรียนรู้และฝึกหัดการเขียนโปรแกรมรหัสจีโค้ดเป็นจุดม่งหมายหลัก ดังนั้นจึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัย เพื่อทำการออกแบบซอฟแวร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ง่ายต่อการเรียนรู้และเข้าใจการเขียนโปรแกรม ดังนี้

1. การใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ต้องใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
2. การจำลองภาพ ต้องสามารถจำลองภาพได้เหมือนจริง ในอัตราส่วนที่ถูกต้อง
3. สามารถใช้ฟังก์ชันต่าง ๆตามมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมเอ็นซีได้ทั้งหมด
4. ไม่มีการชดเชยระยะใด ๆ
5. ไม่สามารถกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆได้เหมือนกับเครื่องจักรกล
6. โปรแกรมรหัสเอ็นซีที่ได้อาจจะไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องจักรกลได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. รายละเอียดทางด้านฮาร์ดแวร์
   1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้
      - ไอบีเอ็ม พีซีหรือเทียบเท่าตั้งแต่ 486 ขึ้นไป
      - หน่วยความจำอย่างน้อย 16 เมกกะไบท์
      - จอภาพวีจีเอ ความละเอียดอย่างน้อย 480X640
   1.2 เครื่องจักรกลซีเอ็นซี FANUC 10T-MODEL A
2. รายละเอียดทางด้านซอฟท์แวร์
   2.1 เครื่องมือหรือภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม
      - Centura Team Developer V1.1.0
      - BorlandC V3.0
   2.2 ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์
      - SQLBase V6.1.0
   2.3 ระบบปฏิบัติการ
      - Microsoft Windows 95 (Thai Edition)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติและทำการพัฒนาซอฟท์แวร์การจำลองภาพการทำงานของเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาซอฟท์แวร์ต่อไป
2. สามารถช่วยลดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องจักรกลอัตโนมัติ โดยการใช้ซอฟท์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือในการฝึกหัดเขียนโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลขเบื้องต้นในสถาบันการศึกษา
3. สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและเวลา โดยการนำเอาซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในโรงงานอุสาหกรรม เพื่อเครื่องมือฝึกหัดและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการจำลองภาพตรวจสอบความผิดพลาดก่อนนำไปใช้งานกับเครื่องจักรกล
4. เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยสำหรับผู้ที่สนใจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

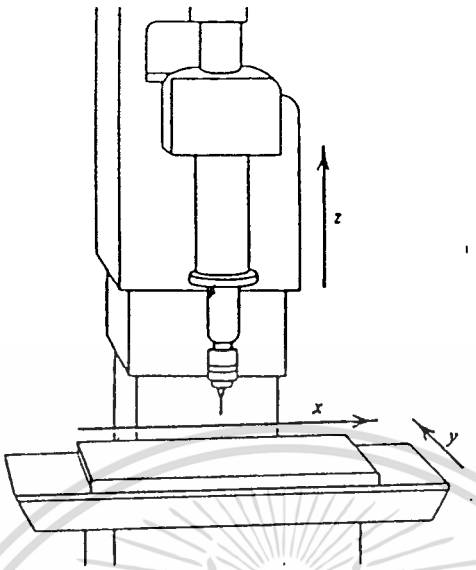
บทที่ 2
เครื่องจักรกลอัตโนมัติ

บทนำ

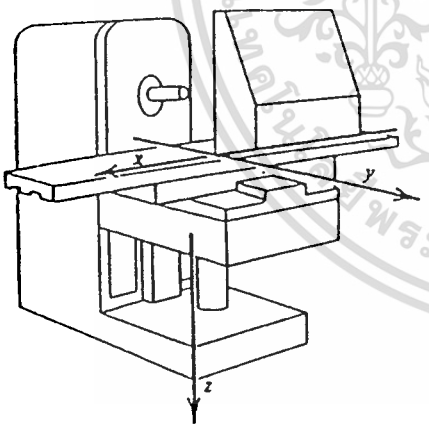
มีการแข่งขันกันทางด้านธุรกิจอุตสาหกรรมสูง มาตั้งแต่หลายทศวรรษก่อนหน้านี้แล้ว จนกระทั่งถึงปัจจุบันก็ยิ่งมีการแข่งขันกันรุนแรงมากขึ้น หากผู้ใดสามารถชิงความได้เปรียบในเชิงธุรกิจมาไว้ได้มากกว่าผู้อื่น ผู้นั้นก็จะสามารถยืนอยู่ในธุรกิจนั้น ๆได้ ปัจจัยต่าง ๆที่นักธุรกิจนำมาใช้ในปัจจุบันมีมากมาย ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ การลดต้นทุนการผลิต ในระยะแรก ๆโรงงานอุตสาหกรรมทำการลดต้นทุนการผลิตด้วยวิธี ผลิตให้มีปริมาณมากขึ้น ด้วยแรงงานเท่าเดิม วิธีนี้มีข้อเสียคือ อาจทำให้สินค้าคงคลังมีมากขึ้น นอกจากนั้นอาจทำให้สินค้าเสียหายมากและด้อยคุณภาพ เนื่องจากต้องเร่งรีบทำการผลิต ด้วยวิธีนี้จึงเป็นการเพิ่มผลผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ ต่อมาได้มีการนำเอาเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการผลิต แต่ก็ยังต้องใช้แรงงานมนุษย์ในการควบคุมเครื่องจักรอย่างใกล้ชิด ทำให้การผลิตก็ยังถูกจำกัดด้วยขีดความสามารถของมนุษย์นั่นเอง ด้วยเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีผู้คิดค้นนำเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักร ควบคุมการทำงานทุกขั้นตอนของเครื่องจักร จนสามารถทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมเชิงตัวเลข จนได้ชื่อว่า เอ็นซี สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง หลังจากนั้นมีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการผลิต รวมทั้งควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลเหล่านี้ด้วย ทำให้เกิดการควบคุมเชิงตัวเลขในรูปใหม่คือ ซีเอ็นซี ตัวกลางที่ทำให้เครื่องจักรกลสามารถทำงานได้อย่างคล่องตัวก็คือ โปรแกรม กล่าวคือเครื่องจักรกลเครื่องหนึ่ง ๆ สามารถทำงานได้หลาย ๆอย่างตามโปรแกรมที่เขียนไว้ ด้วยเหตุนี้ทำให้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่

นอกจากนี้เครื่องจักรกลยังแบ่งออกเป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน ดังตัวอย่างในรูปที่ 1

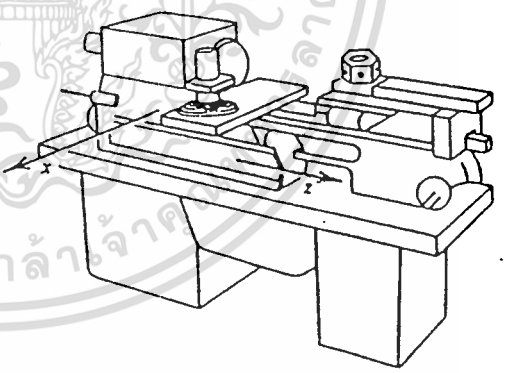
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องเจาะ



เครื่องกัด



เครื่องกลึง

รูปที่ 1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

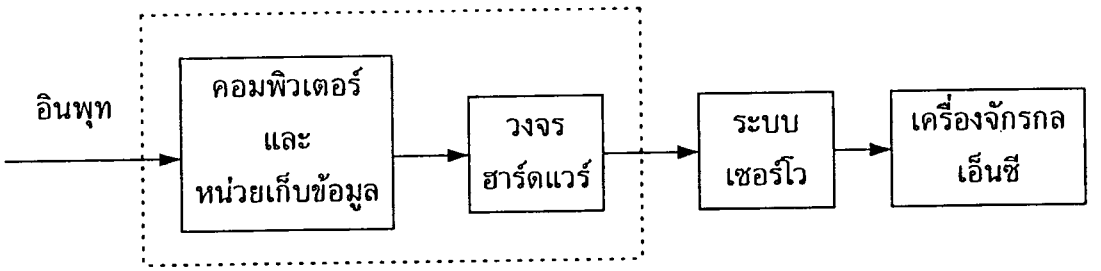
ระบบการทำงานของเครื่องจักรกล

การควบคุมเชิงตัวเลขไม่ใช่ชนิดหนึ่งของเครื่องมือกล แต่เป็นเทคนิคเพื่อการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้การควบคุมเชิงตัวเลขจึงถูกประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลหลายประเภท เช่น เครื่องจักรกลเพื่อการประกอบ เครื่องตรวจสอบ เครื่องตัดโลหะ และอื่น ๆ โดยจะมีการทำงานดังรูปที่ 2 ซึ่งตัวกลางอินพุทจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลคำสั่งเข้ามาแล้วส่งต่อไปยังหน่วยควบคุมเครื่องจักร จากนั้นจะทำการถอดรหัส แล้วประมวลผลตามโปรแกรมอินพุทและส่งคำสั่งออกไปควบคุมการทำงานของเครื่องมือกล ระบบเอ็นซีหลายระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ส่งถ่ายสถานะของเครื่องจักรกลกลับไปยังหน่วยควบคุมเรียกว่า การป้อนกลับ จึงสามารถทำให้ตัวควบคุมทำงานได้เหมาะสมกับคำสั่งอินพุท

รูปที่ 2 แสดงระบบการทำงานเครื่องจักรกลเอ็นซี

เมื่อได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยควบคุม ซึ่งก็คือเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ตัวกลางอินพุทและหน่วยควบคุมเครื่องจักรกล จะถูกแทนด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด ดังรูปที่ 3 หน่วยควบคุมเครื่องจักรกลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการโปรแกรมหรือซอฟแวร์และส่วนที่ทำการปฏิบัติงานการควบคุมหรือวงจรฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงระบบการทำงานเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

ระบบพิกัดของเครื่องจักรกล

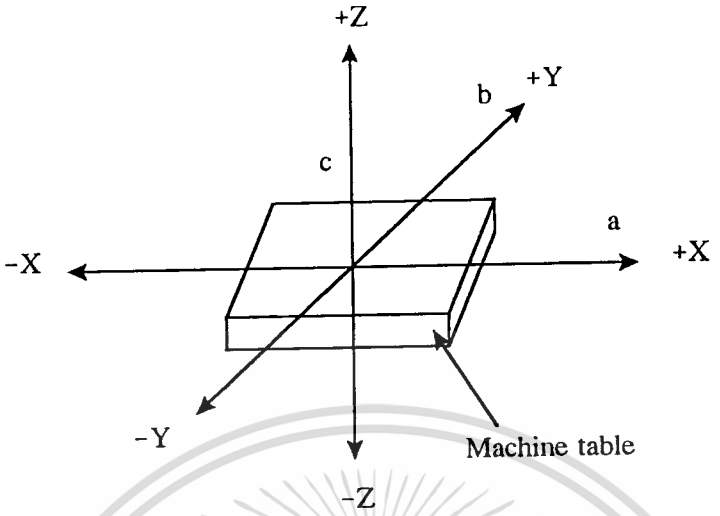
ระบบพิกัดของเครื่องจักรกลจะมีลักษณะเดียวกันกับระบบพิกัดทางคณิตศาสตร์ สามารถมีได้ทั้งสองมิติ สามมิติ แต่ระบบพิกัดของเครื่องจักรกลอาจมี 2 1/2 มิติได้ หมายถึงระบบ 2 แกน แต่มีแกนที่เพิ่มขึ้นมาและสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้สำหรับแกนนี้ แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าพร้อมกับแกนที่ 1 และ 2 ดังรูปที่ 4

ระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล

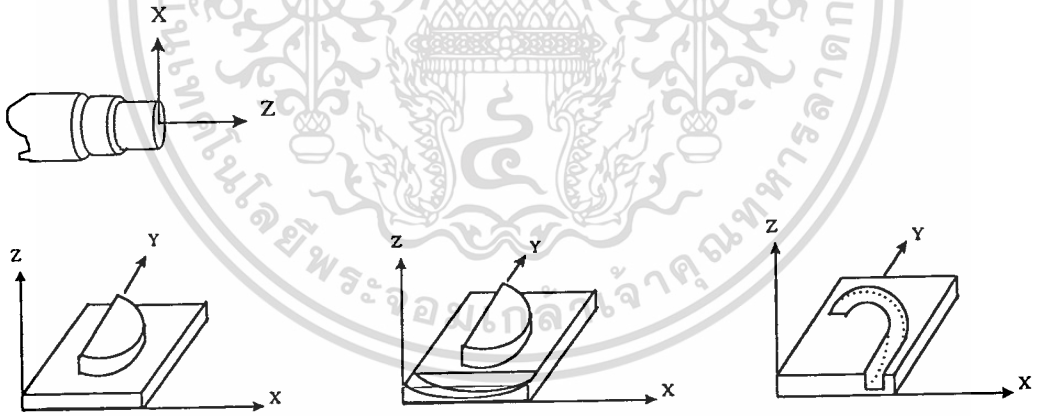
การเคลื่อนที่ของระบบซีเอ็นซี เครื่องมือกลจะเคลื่อนที่ตามโปรแกรมที่เขียนขึ้น โดยการเคลื่อนที่นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. ระบบอินครีเมนทัล การเคลื่อนที่ในระบบอินครีเมนทัล จะเป็นไปในลักษณะของการเพิ่มค่าจากตำแหน่งปัจจุบันออกไปไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานหรือใบมีดตัด ดังนั้นการเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล จำเป็นจะต้องเข้าใจสัดส่วนของชิ้นงานและการเคลื่อนที่ระบบอินครีเมนทัลด้วย การคำนวนในระบบอินครีเมนทัล จะเริ่มจากตำแหน่งที่ตั้งเดิมของใบมีดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าของแกนต่าง ๆ ในระบบพิกัด

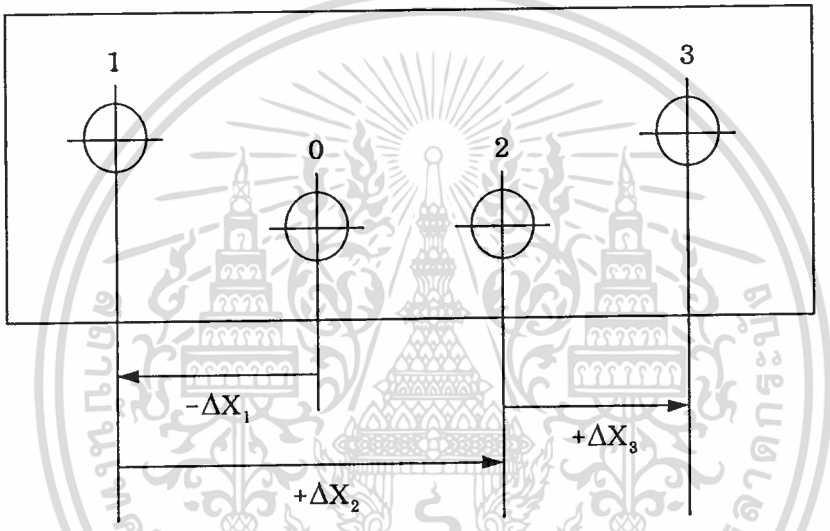


ระบบพิกัด 2 มิติ ระบบพิกัด 2 1/2 มิติ ระบบพิกัด 3 มิติ

รูปที่ 4 ระบบพิกัดของเครื่องจักรกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

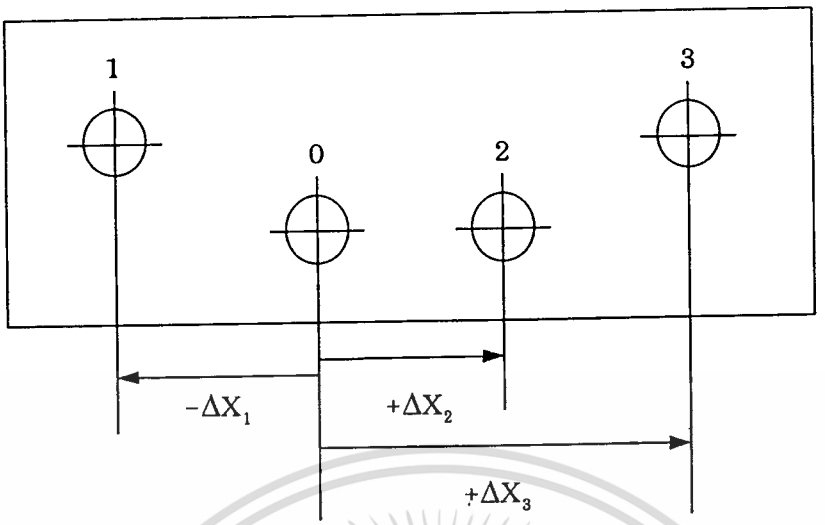
ไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการ สามารถใช้เครื่องหมายบวกและลบ กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ได้ด้วย กล่าวคือ ถ้าต้องการให้ไปทางขวาตามแนวแกน X ก็กำหนดเป็นเครื่องหมายบวกจากตำแหน่งปัจจุบัน แต่ถ้าต้องการให้ไปทางซ้ายตามแนวแกน X ก็กำหนดเป็นลบจากตำแหน่งปัจจุบัน จากรูปที่ 5 ถ้าต้องการเจาะรูชิ้นงาน 4 รู แล้วต้องการให้รูในตำแหน่งที่ 0 เป็นจุดเริ่มต้น หลังจากนั้นไปทำการเจาะรูยังตำแหน่งที่ 1 ด้วยระยะทาง $-\Delta X_1$ แล้วไปทำการเจาะรูยังตำแหน่งที่ 2 ด้วยระยะทาง $+\Delta X_2$ และทำการเจาะรูสุดท้ายที่ตำแหน่งที่ 3 ด้วยระยะทาง $+\Delta X_3$



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ระบบอินครีเมนทัล

2. ระบบแอบโซลูท การเคลื่อนที่ในระบบแอบโซลูท จะทำการกำหนดจุดอ้างอิงหรือจุดศูนย์เพื่อใช้หาระยะทางไปยังจุดใหม่ที่ต้องการ โดยจะทำการหาระยะทางใหม่จากจุดศูนย์เป็นจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังรูปที่ 6 ระบบการเคลื่อนที่แบบแอบโซลูทจะดีกว่าระบบการเคลื่อนที่แบบอินครีเมนทัลคือ เรื่องความผิดพลาดของตำแหน่ง เนื่องจากระบบการเคลื่อนที่แบบแอบโซลูทจะมีจุดอ้างเพียงจุดเดียว หากมีการผิดพลาดก็จะผิดพลาดเพียงจุดเดียว ไม่มีผลกระทบกับจุดอื่น ๆ แต่ระบบการเคลื่อนที่แบบอินครีเมนทัลจะเปลี่ยนจุดอ้างอิงไปเรื่อย ๆ ดังนั้นหากมีการผิดพลาดเพียงจุดเดียวก็จะทำให้จุดต่อ ๆไปผิดพลาดทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



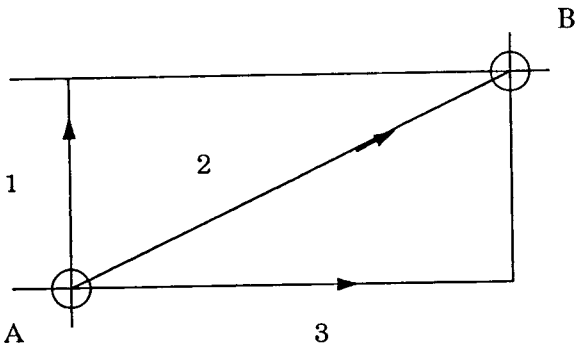
รูปที่ 6 การเคลื่อนที่ระบบแอบโซลูท

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของไบมีดตัด จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถหรือสมรรถนะของเครื่องจักรกลนั้น กล่าวคือระบบควบคุมการเคลื่อนที่จะมีหลายระดับ เริ่มจากระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบง่ายและไม่ซับซ้อน นั่นหมายถึงเครื่องจักรกลนั้นมีความสามารถไม่สูงหรืออาจกล่าวได้ว่ามีขีดความสามารถจำกัด ไปจนถึงระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนหรือเครื่องจักรกลที่มีความสามารถสูง โดยปกติระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ระบบโพซิชันนิง ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบโพซิชันนิง หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าระบบจุดถึงจุด เป็นระบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะควบคุมเครื่องจักรกล ให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้เป็นตัวเลขโดยอัตโนมัติ ดังตัวอย่าง รูปที่ 7 ระบบนี้มักจะใช้กับงานเจาะ งานเชื่อมจุด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

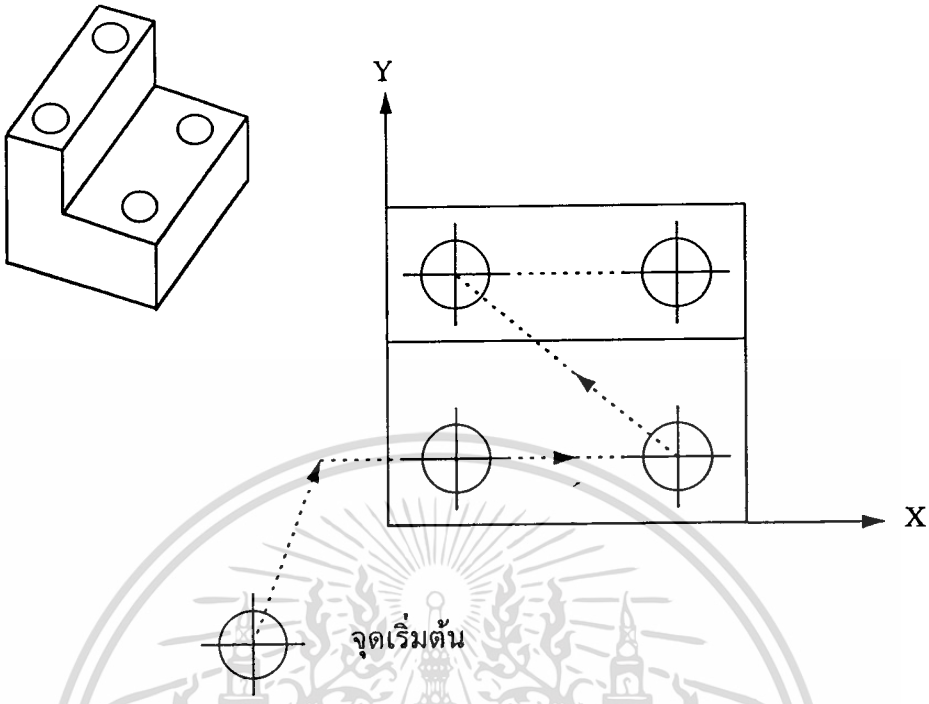


รูปที่ 7 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบโพซิชั่นนิง

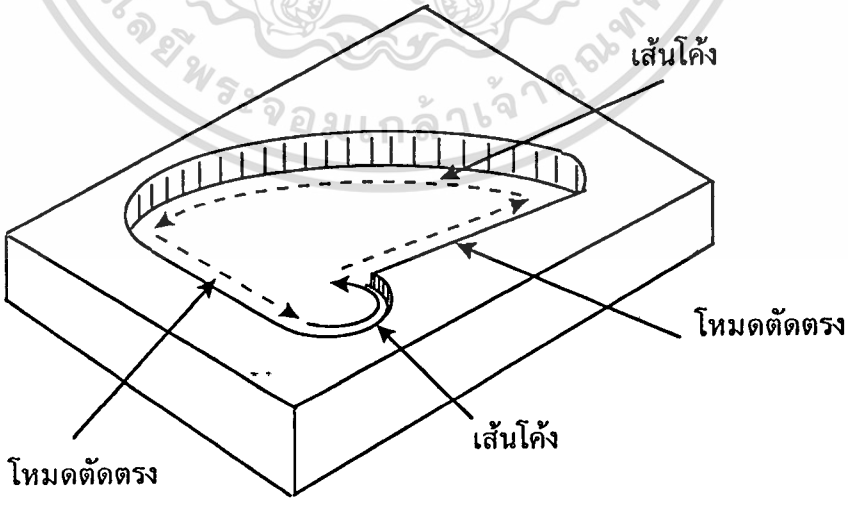
2. ระบบตัดตรง ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรงสามารถทำงานแบบระบบโพซิชันนิงได้ นอกจากนั้นยังสามารถทำงานในลักษณะการกัดไปตามแกนแต่ละแกนได้อีกด้วย กล่าวคือสามารถทำงานได้เฉพาะชิ้นงานที่เป็นสี่เหลี่ยมเท่านั้น ยังไม่สามารถทำงานในลักษณะโค้งได้ ดังรูปที่ 8

3. ระบบคอนทัวริง เป็นระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบคอนทัวริงสามารถทำงานได้ทั้ง 2 แบบข้างต้น ยังสามารถทำงานเป็นเส้นโค้ง วงกลมและรูปร่างต่าง ๆที่สามารถนิยามด้วยคณิตศาสตร์ ได้อีกด้วยและเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง จึงเป็นระบบที่มีแกน 3 แกน หรือมากกว่า ดังรูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง



รูปที่ 9 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบระบบคอนทัวริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี

บทนำ

การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานเครื่องจักรกลนั้น มีหลายแบบและหลายภาษา เช่น ภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซี ภาษาเอพีที ภาษาเอสพีพีแอลและอื่น ๆ

เนื่องจากภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซีเป็นภาษาที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลาย วิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ภาษานี้เพื่อประโยชน์ของผู้ที่จะนำซอฟแวร์นี้ไปใช้มากที่สุด จากตารางฟังก์ชันของการเขียนโปรแกรมในภาคผนวก ก. จะเห็นว่ามีฟังก์ชันต่าง ๆให้เลือกใช้มากมาย แต่สำหรับซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นจะไม่สามารถใช้ฟังก์ชันเหล่านั้นได้ทั้งหมด เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ฟังก์ชันเฉพาะของเครื่องกลึงซีเอ็นซีและเพื่อความง่ายต่อการทำความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีเท่านั้น

นอกจากนั้นการเขียนโปรแกรม รหัสเอ็นซีสำหรับซอฟแวร์ที่ออกแบบนี้ ยังใช้มาตรฐาน ISO และเครื่องกลึงซีเอ็นซี FANUC 10T-MODEL A ซึ่งมี หลักการพื้นฐานดังนี้

การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานของใบมีดตัด

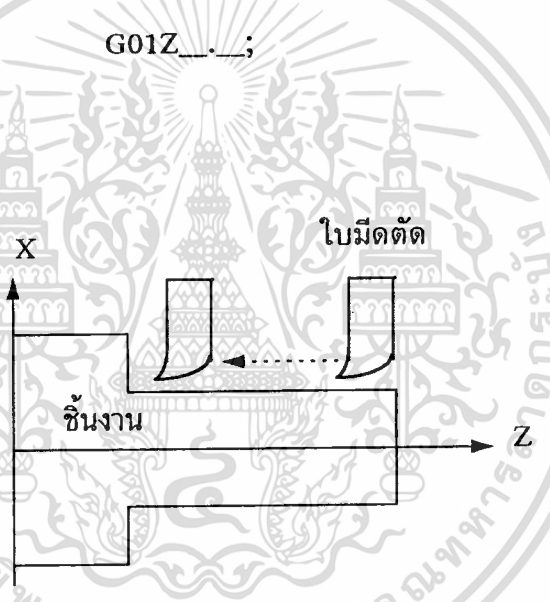
ชิ้นงานที่ได้จากภาพวาดแบบจะมีหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน ด้วยความสามารถของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีฟังก์ชันต่าง ๆให้ใช้มากมาย ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่สำคัญของการเขียนโปรแกรมโดยสรุปเท่านั้นและจะทำการกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไปอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรง

การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงคือ การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเส้นเส้นตรง สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ

1.1 เส้นตรงขนานกับแกน คือ การกัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงขนานกับแกน Z หรือแกน X ดังรูปที่ 10 โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

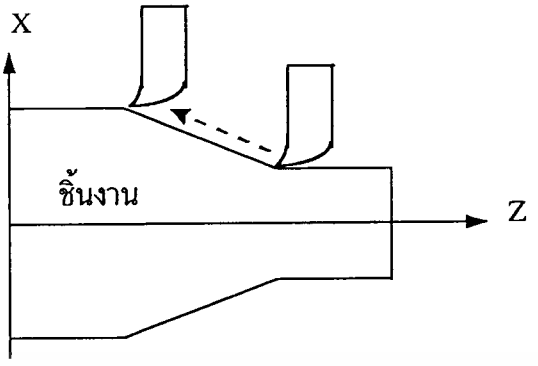


รูปที่ 10 การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงขนานกับแกน

1.2 เส้นตรงไม่ขนานกับแกน (แทปเปอร์) คือ การกัดชิ้นงานเป็นแนวเฉียงกับแกน X และแกน Z ดังรูปที่ 11 โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

G01X__.__Z__.__;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

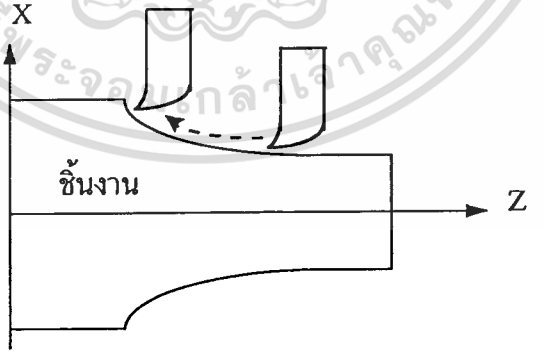


รูปที่ 11 การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นตรงไม่ขนานกับแกน

2. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นเส้นโค้งคือ การเคลื่อนที่เป็นรูปโค้ง ดังรูปที่ 12 โดยมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

G02X__.__Z__.__I__.__K__.__;

G03X__.__Z__.__I__.__K__.__;



รูปที่ 12 การเคลื่อนที่กัดชิ้นเป็นเส้นโค้ง

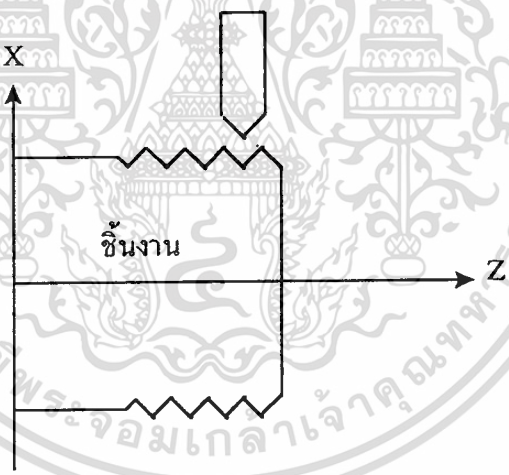
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาหรือการทำเกลียว

การทำเกลียวคือ การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานด้วยใบมีดตัดที่มีลักษณะเป็นลิ่ม จะทำให้ได้ชิ้นงานออกมาในรูปฟันปลา เนื่องจากการหมุนของสปินเดิ้ลทำให้การกัดชิ้นงานได้เป็นเกลียวโดยอัตโนมัติ

3.1 ฟันปลาขนานกับแกนคือ การกัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาขนานกับแกน Z หรือแกน X ดังรูปที่ 13 โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

G33Z__.__F__.__;



รูปที่ 13 การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาขนานกับแกน

3.2 ฟันปลาไม่ขนานกับแกน (แทปเปอร์) คือ การเคลื่อนที่เป็นแนวเฉียงกับแกน X และแกน Z ดังรูปที่ 14 โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

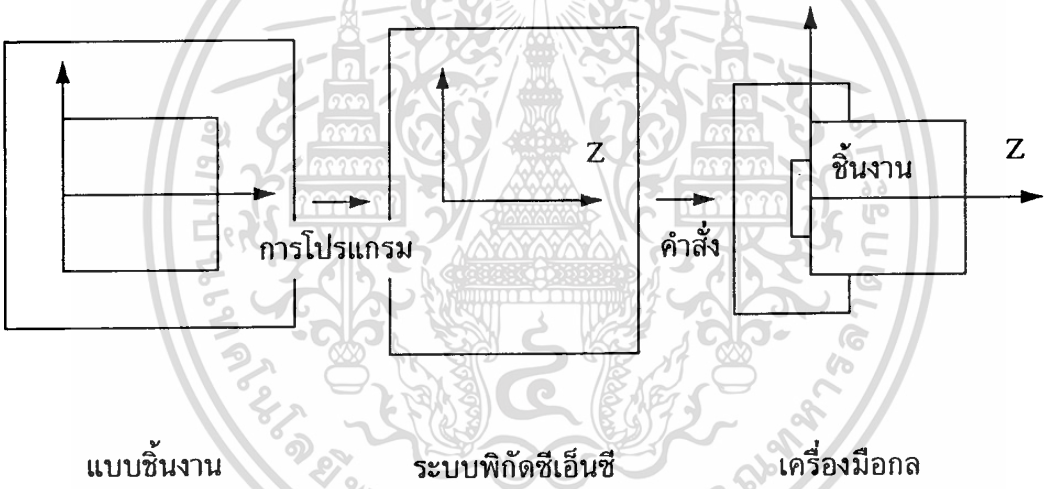
G33X__.__Z__.__F__.__;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพวาดแบบชิ้นงานและการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด

1. จุดอ้างอิง โดยปกติเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะมีการกำหนดจุดอ้างอิงเอาไว้แล้ว เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่จากจุดใด ๆไปยังจุดอ้างอิงนี้ โดยอาจจะเคลื่อนที่ไปเพื่อทำการเปลี่ยนชนิดของใบมีดตัด หรือเพื่อกระทำการอย่างอื่น แต่สามารถกำหนดจุดอ้างอิงเพิ่มเติมได้ในหัวข้อถัดไป

2. ระบบพิกัด ระบบพิกัดของคู่ลำดับที่กำหนดกับภาพวาดชิ้นงานจะต้องสอดคล้องกับระบบพิกัดของเครื่องจักรกลและการเคลื่อนที่ของใบมีดตัด ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ระบบพิกัดของภาพวาดชิ้นงาน เครื่องจักรกลซีเอ็นซีและเครื่องมือกล

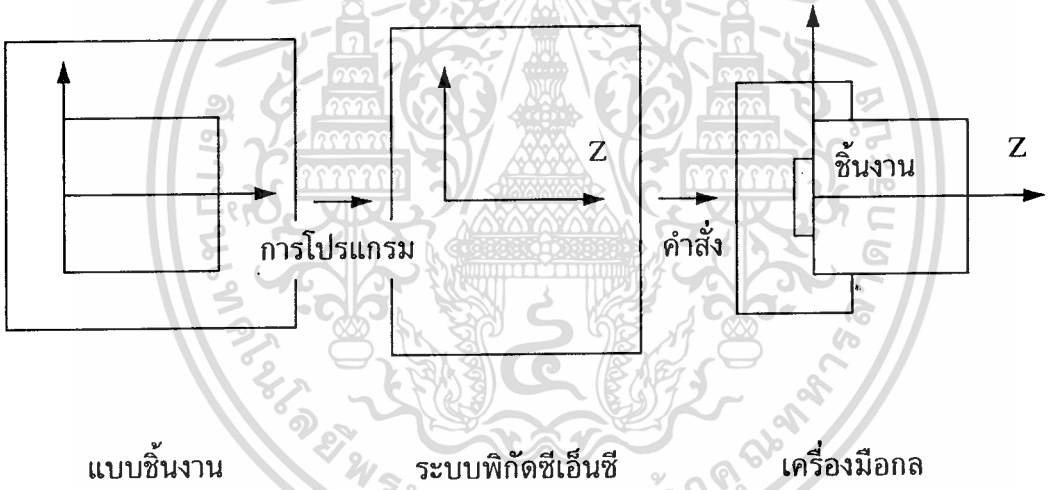
3. จุดศูนย์ ระบบพิกัดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยปกติจะมีจุดศูนย์ 2 แบบคือจุดศูนย์ที่หน้าชิ้นงานดังรูปที่ 17 และจุดศูนย์ที่หน้าปากจับดังรูปที่ 18 แต่สำหรับโปรแกรมที่ออกแบบจะใช้จุดศูนย์ที่หน้าชิ้นงานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพวาดแบบชิ้นงานและการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด

1. จุดอ้างอิง โดยปกติเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะมีการกำหนดจุดอ้างอิงเอาไว้แล้ว เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่จากจุดใด ๆไปยังจุดอ้างอิงนี้ โดยอาจจะเคลื่อนที่ไปเพื่อทำการเปลี่ยนชนิดของใบมีดตัด หรือเพื่อกระทำการอย่างอื่น แต่สามารถกำหนดจุดอ้างอิงเพิ่มเติมได้ในหัวข้อถัดไป

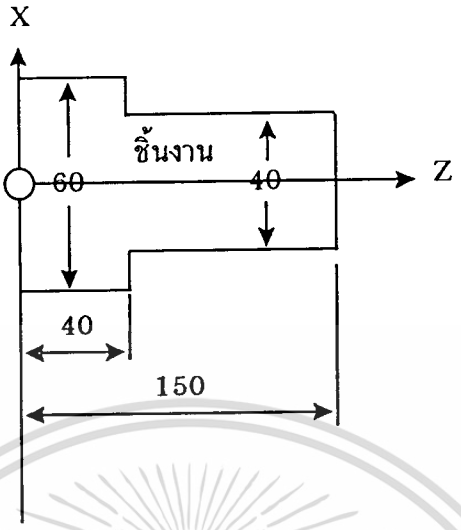
2. ระบบพิกัด ระบบพิกัดของคู่ลำดับที่กำหนดกับภาพวาดชิ้นงานจะต้องสอดคล้องกับระบบพิกัดของเครื่องจักรกลและการเคลื่อนที่ของใบมีดตัด ดังรูปที่ 16



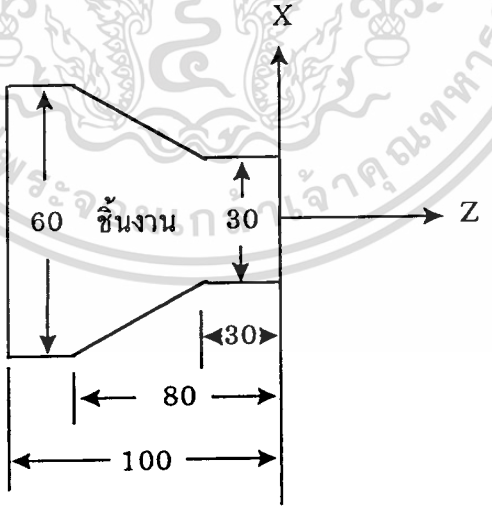
รูปที่ 16 ระบบพิกัดของภาพวาดชิ้นงาน เครื่องจักรกลซีเอ็นซีและเครื่องมือกล

3. จุดศูนย์ ระบบพิกัดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยปกติจะมีจุดศูนย์ 2 แบบคือจุดศูนย์ที่หน้าชิ้นงานดังรูปที่ 17 และจุดศูนย์ที่หน้าปากจับดังรูปที่ 18 แต่สำหรับโปรแกรมที่ออกแบบจะใช้จุดศูนย์ที่หน้าชิ้นงานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 จุดศูนย์และมิติที่หน้าปากจับของชิ้นงาน



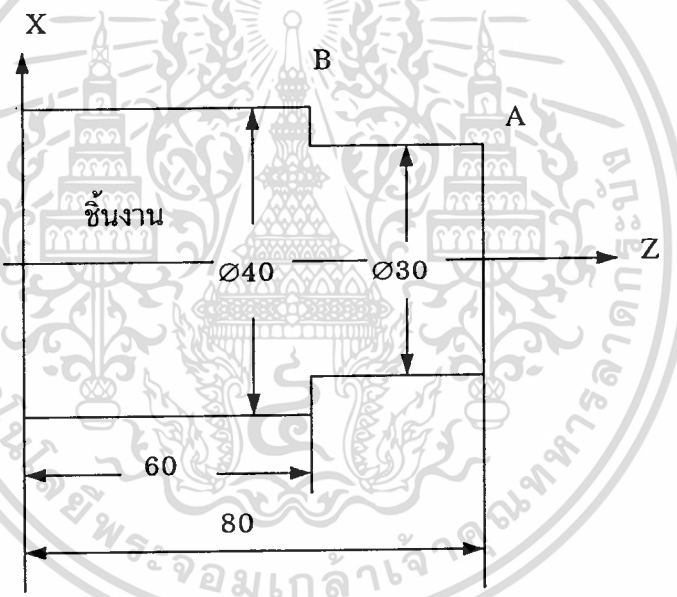
รูปที่ 18 จุดศูนย์และมิติที่หน้าชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การโปรแกรมแบบเส้นผ่าศูนย์กลางและรัศมี

พิกัดของแกน X สามารถกำหนดเป็นขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางหรือขนาดของรัศมีของชิ้นงานได้ในโปรแกรม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแต่ละชนิด

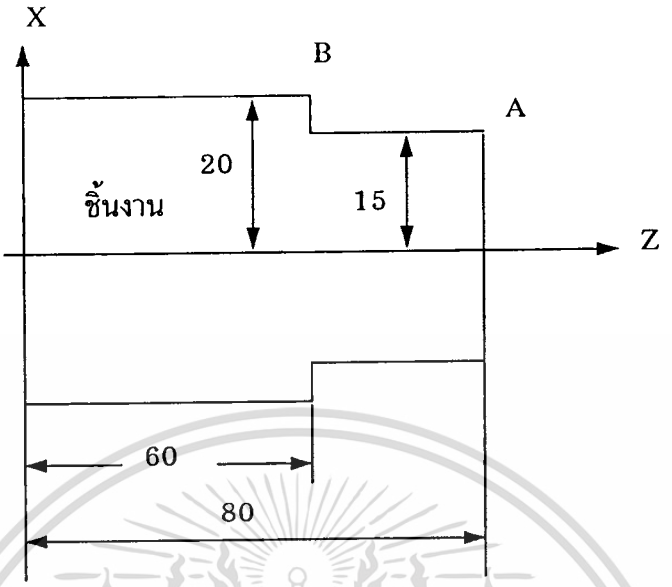
1. การโปรแกรมแบบเส้นผ่าศูนย์กลาง คือ การกำหนดค่าของภาพวาดแบบชิ้นงานเป็นค่าของแกน X ดังรูปที่ 19 ซึ่งมีพิกัดของคู่ลำดับคือ A(30.0,80.0), B(40.0,60.0)



รูปที่ 19 การโปรแกรมแบบเส้นผ่าศูนย์กลาง

2. การโปรแกรมแบบรัศมีคือ การกำหนดระยะทางจากจุดศูนย์กลางของชิ้นงานถึงขอบชิ้นงานหรือรัศมีเป็นค่าของแกน X ดังรูปที่ 20 ซึ่งมีพิกัดของคู่ลำดับคือ A(15.0,80.0), B(20.0,60.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 การโปรแกรมแบบรัศมี

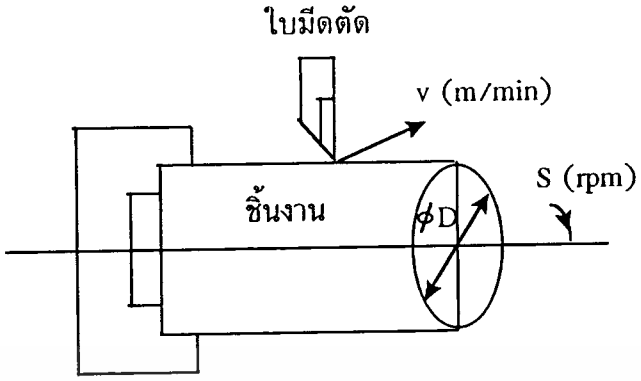
<u>ความเร็วของการกัด–อัตราการหมุนของสปินเดิล</u>

ความเร็วของการกัดมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราการหมุนของสปินเดิล และยังขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานอีกด้วย เช่น มีชิ้นงานขนาด 200 มล. ต้องการกัดชิ้นงานด้วยความเร็ว 300 เมตร/นาที ดังนั้นความเร็วของสปินเดิลจะมีค่าประมาณ 478 รอบ/นาที ซึ่งคำนวนได้จาก

$$S = \frac{1000v}{3.1415D}$$

โดยที่ S คือความเร็วของสปินเดิล, v คือ อัตราเร็วของการกัดชิ้นงาน และ D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันสปินเดิลคือ S478;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 ทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีดและการหมุนของสปินเดิล

<u>เครื่องมือตัดและการชดเชย</u>

1. เครื่องมือตัดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรกล สำหรับโปรแกรมที่ออกแบบนี้กำหนดให้มีเครื่องมือตัดอยู่ 4 ชนิด ดังรูปที่ 22

rough cutting tool	finishing tool	thread cutting tool	grooving tool

รูปที่ 22 ใบมีดตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

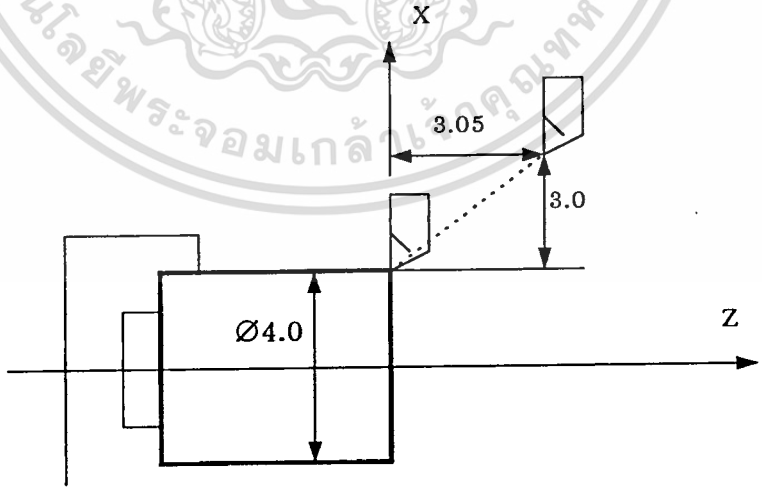
2. การชดเชย โดยปกติเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะต้องมีการชดเชยค่าต่าง ๆ เช่น ระยะความแตกต่างขนาดของเครื่องมือตัดแต่ละชนิด ระยะจุดอ้างอิงหรือระยะทางเดินของการกัดชิ้นงาน และระยะรัศมีของจมูกเครื่องมือตัด เป็นต้น แต่สำหรับซอฟแวร์ที่ออกแบบนี้จะทำการชดเชยให้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นในการกำหนดระยะชดเชย สำหรับโปรแกรมรหัสเอ็นซีกับการจำลองภาพด้วยโปรแกรมนี้

การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี

ฟังก์ชันอินเทอร์โพเลชัน

1. โพซิชันนิง G00 เป็นฟังก์ชันที่ต้องการให้ใบมีดตัดเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีการกัดชิ้นงาน ซึ่งมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้คือ

G00X__.__Z__.__;



รูปที่ 23 การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G00

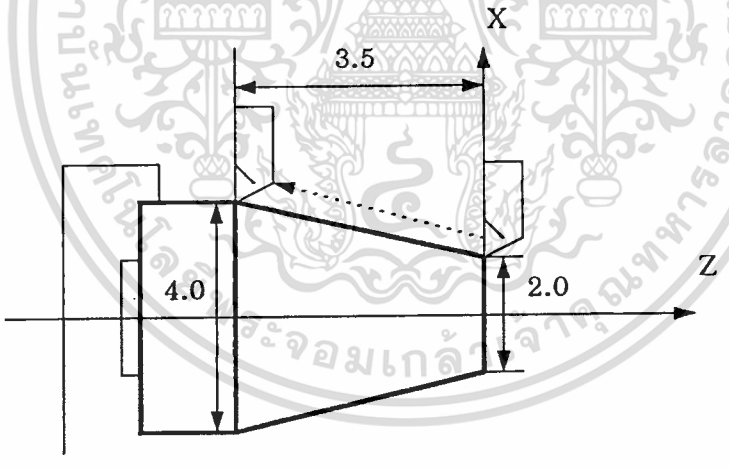
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 23 ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมแบบรัศมีและกำหนดจุดศูนย์ที่หน้าตัดของชิ้นงาน สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้คือ

G00X2.0Z0; (การเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูท)
G00X-3.0Z-3.05; (การเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล)

2. อินเทอร์โพเลชันเส้นตรง G01 เป็นฟังก์ชันที่ต้องการให้ใบมีดตัดเคลื่อนที่จากจุดใดจุดหนึ่งเป็นเส้นตรง จำเป็นต้องกำหนดอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ด้วย เนื่องจากมีการกัดชิ้นงานและชิ้นงานแต่ละชนิดเป็นโลหะที่มีความแข็งไม่เท่ากัน กล่าวคือถ้าโลหะมีความแข็งมากก็ต้องใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ช้าๆ ถ้าหากใช้อัตราเร็วมากเกินไปอาจจะทำให้ใบมีดตัดหักหรือเกิดความเสียหายกับชิ้นงานได้ โดยมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

G01X__.__Z__.__F__.__;



รูปที่ 24 การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G01

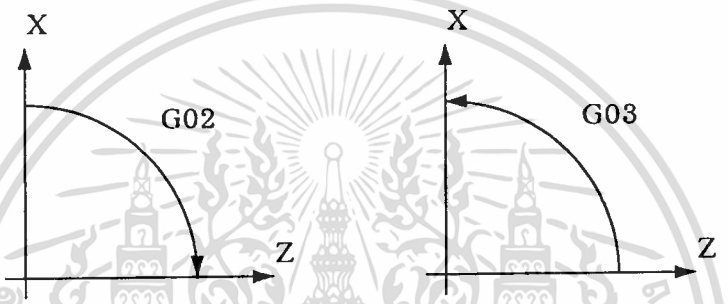
จากรูปที่ 24 ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมแบบเส้นผ่าศูนย์กลางและกำหนดจุดศูนย์ที่หน้าตัดของชิ้นงาน สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G01X4.0Z-3.5F1.5; (การเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูท)

G01X2.0Z-3.5F1.5; (การเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล)

3. อินเทอร์โพเลชันเส้นโค้ง อินเทอร์โพเลชั่นเส้นโค้งแบ่งออกได้ 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่คือ G02 เป็นการเคลื่อนที่ของใบมีดตัดเป็นเส้นโค้งตามเข็มนาฬิกา และ G03 เป็นการเคลื่อนที่ของใบมีดตัดเป็นเส้นโค้งทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 อินเทอร์โพเลชันเส้นโค้ง

ซึ่งทั้ง 2 ฟังก์ชันจะมีรูปแบบของคำสั่งเหมือนกันคือ

G02X__.__Z__.__I__.__K__.__F__.__;

G03X__.__Z__.__I__.__K__.__F__.__;

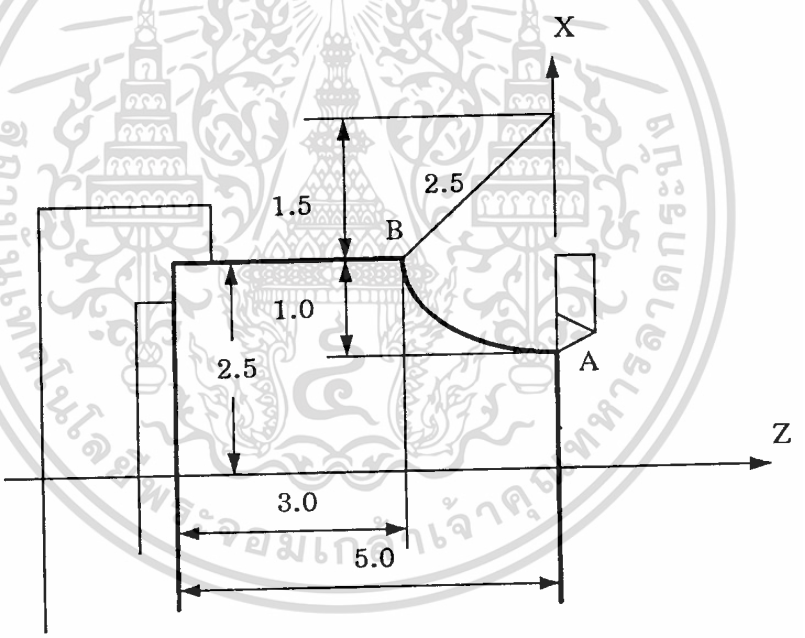
โดยที่ตัวแปรต่าง ๆมีความหมายดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

ตัวแปร	ความหมาย
X,Z	จุดที่ต้องการเคลื่อนที่ไปในระบบพิกัด (ระบบแอบโซลูท)
X,Z	ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ต้องการเคลื่อนที่ไป (ระบบอินครีเมนทัล)
I	ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดศูนย์กลางตามแนวแกน X
K	ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดศูนย์กลางตามแนวแกน Z
F	อัตราเร็วของการเคลื่อนที่

ตารางที่ 1 แสดงความหมายของตัวแปรของคำสั่ง G02 และ G03



รูปที่ 26 การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดด้วยฟังก์ชัน G02

จากรูปที่ 26 ต้องการให้ใบมีดตัดเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B สามารถเขียนคำสั่งในระบบเส้นผ่าศูนย์กลางได้ดังนี้

G02X5.0Z-2.0I2.5F1.2; (การเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูท)

G02X2.0Z-2.0I2.5F1.2; (การเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำเกลียว

การทำเกลียวของเครื่องกลึงซีเอ็นซีมีข้อกำหนดหลายแบบ แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้ เช่น การทำเกลียวทั่วไปที่ไม่ได้กำหนดขนาดของฟันเกลียว การกำหนดขนาดของฟันเกลียวต่อนิ้ว การกำหนดมุมเอียงของฟันเกลียว และอื่น ๆ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดจากคู่มือของเครื่องจักรกลนั้น ๆ สำหรับซอฟแวร์ที่ออกแบบไว้จะสามารถใช้ได้เฉพาะบางฟังก์ชันเท่านั้น เนื่องจากการจำลองภาพในระบบ 2 มิติยุ่งยากต่อการแยกความแตกต่างของลักษณะต่าง ๆเหล่านั้น

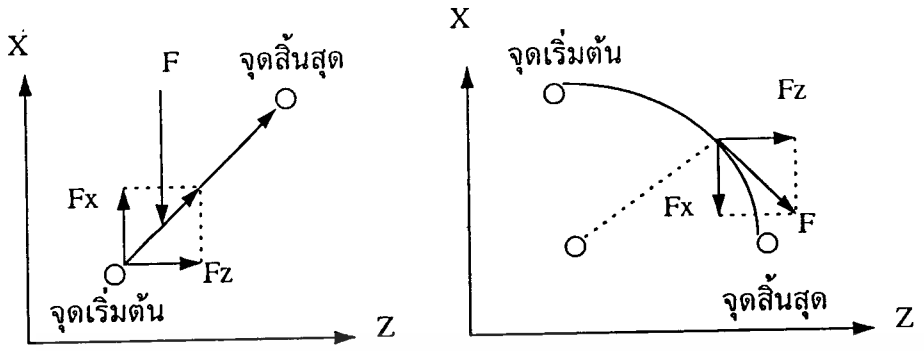
ฟังก์ชั่นอัตราเร็ว

1. การเคลื่อนที่แบบรวดเร็ว คือการเคลื่อนที่จากจุดใดจุดหนึ่งอย่างรวดเร็ว โดยมิได้มีการกัดชิ้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องระบุอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในชุดคำสั่งของ G00 แต่เครื่องจักรกลสามารถที่จะทำการกำหนดอัตราเร็วนี้ได้ใหม่ สำหรับโปรแกรมนี้จะกำหนดอัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ไว้เช่นกัน

2. อัตราเร็วของการกัด อัตราเร็วของการอินเทอร์โพเลชันเส้นตรง G01 และเส้นโค้ง G02, G03 สามารถกำหนดเป็นตัวเลขหลังตัวอักษร F ได้

2.1 การควบคุมค่าของอัตราเร็ว ในการกัดชิ้นงานสามารถทำการควบคุมอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ได้ตามทฤษฎีของเวกเตอร์ในระบบ 2 มิติ

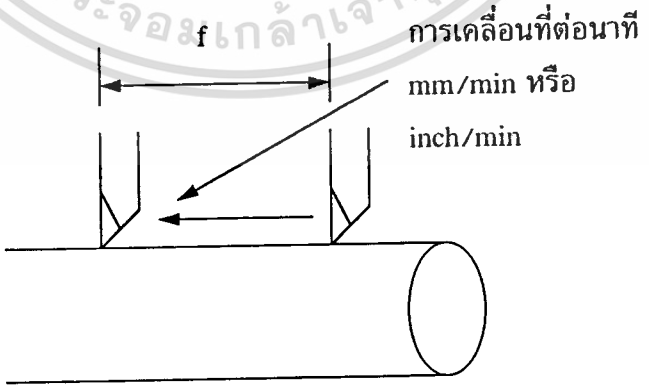
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่ F คือ อัตราเร็วในทิศทาง Tangent
Fx คือ อัตราเร็วในทิศทางแกน X
Fz คือ อัตราเร็วในทิศทางแกน Z

รูปที่ 27 ทิศทางของการเคลื่อนที่ของความเร็ว

2.2 อัตราเร็วต่อนาที G94 เป็นฟังก์ชันสำหรับการกำหนดค่าของอัตราเร็ว F ต่อนาที จะมีผลไปตลอดจนกว่าจะมีการใช้ฟังก์ชัน G95



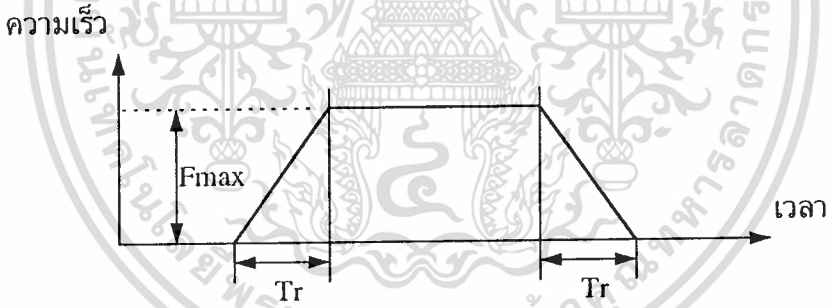
รูปที่ 28 อัตราการเคลื่อนที่ต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อัตราเร็วต่อรอบ G95 เป็นฟังก์ชันสำหรับการกำหนดค่าความเร็วของ F เช่นเดียวกับ G94 แต่จะนับค่าต่อรอบของการหมุนของสปินเดิล

2.4 การกำหนดค่าของอัตราเร็ว เครื่องจักรกลโดยทั่วไปสามารถกำหนดค่าไว้ในหน่วยความจำของเครื่องจักร ดังนั้นหากมีการกำหนดค่าดังกล่าวเอาไว้แล้ว อัตราเร็วที่กำหนดด้วยฟังก์ชัน F จะไม่มีผลกับคำสั่งนั้นๆ แต่หากไม่มีการกำหนดหรือกำหนดเอาไว้เป็น 0 อัตราเร็วจากฟังก์ชัน F จะมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดตามตัวเลขที่กำหนด

3. อัตราเร่งและอัตราหน่วง การเคลื่อนที่ของใบมีดต้องการความเร็วที่สม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจึงต้องมีอัตราเร่งและอัตราหน่วง เพื่อให้อัตราเร็วสม่ำเสมอมากที่สุด ดังรูปที่ 29



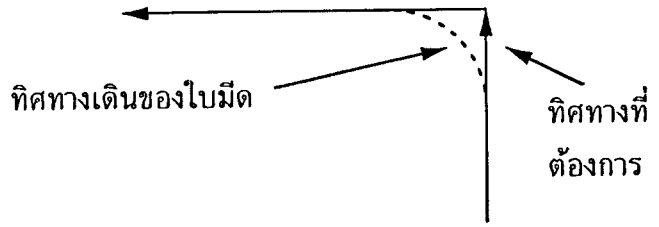
โดยที่ F คือ ความเร็วสูงสุดที่ต้องการ

Tr คือ อัตราเร่งและอัตราหน่วง

รูปที่ 29 อัตราเร่งและอัตราหน่วง

4. คำสั่งความเร็วที่มุมของชิ้นงาน โดยปกติการเคลื่อนที่ของใบมีดตัดเพื่อกัดชิ้นงานที่มุมดังรูปที่ 30 จะมีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง ซึ่งไม่ตรงกับตรงกับความต้องการ ดังนั้นจึงมีฟังก์ชัน G09, G61 และ G64 เพื่อตัดชิ้นงานให้ได้มุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 30 เส้นทางเดินของใบมีดที่มุม

5. Dwell (G04) การเขียนโปรแกรมด้วย G04 สามารถทำการหน่วงเวลาที่เครื่องจักรกลจะทำงานตามโปรแกรมคำสั่งต่อไป ถ้าขณะที่ใช้ G04 มีการใช้ G94 เพื่อให้มีอัตราการเคลื่อนที่เป็นระยะทางต่อนาที G04 ก็จะทำการหน่วงเวลาเป็นนาที แต่หากขณะนั้นมีการใช้ G95 เพื่อกำหนดอัตราเร็วเป็นระยะทางต่อรอบ เครื่องจักรกลก็จะทำการหน่วงเวลา เพื่อให้สปินเดิ้ลหมุนไปจนครบตามจำนวนที่กำหนด แล้วจึงทำคำสั่งต่อไป ซึ่งมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

G94G04X__.__; การหน่วงเวลาเป็นวินาที
G95G04X__.__; การหน่วงรอบของการหมุนมหน่วยเป็น rev.

<u>จุดอ้างอิง</u>

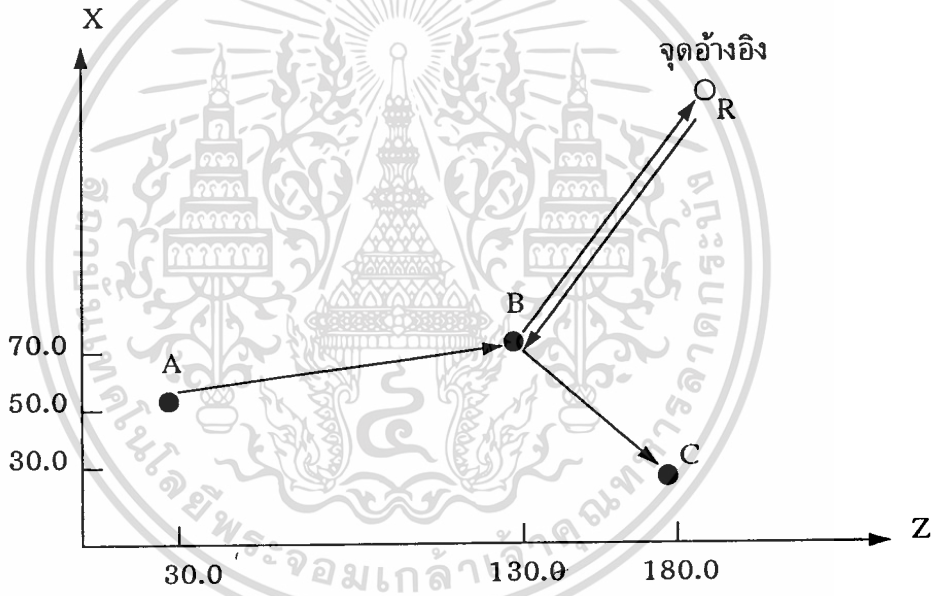
จุดอ้างอิงคือ จุดที่กำหนดเอาไว้อย่างแน่นอนสำหรับเครื่องจักรกล เพื่อที่จะสามารถอ้างถึงและง่ายต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด จุดอ้างอิงควรมีความสัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่องจักรกล และจุดศูนย์ก็มีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดของงาน

1. จุดอ้างอิงย้อนกลับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 การย้อนกลับไปยังจุดอ้างอิงอัตโนมัติ (G28) ฟังก์ชั่นนี้สามารถกำหนดจุดอ้างอิงได้โดยอัตโนมัติ เพื่อที่จะทำงานต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนใบมีดตัด การเคลื่อนที่ของใบมีดจากจุดเดิมไปยังจุดอ้างอิง จะเป็นการเคลื่อนที่แบบรวดเร็ว

1.2 การย้อนกลับจากจุดอ้างอิงอัตโนมัติ (G29) ฟังก์ชันนี้จะทำงานตรงข้ามกับฟังก์ชัน G28 กล่าวคือจะย้อนกลับมายังจุดเดิมก่อนที่จะทำตามฟังก์ชัน G28 และไปยังจุดใหม่ที่กำหนดไว้หลังฟังก์ชัน G29 ดังรูปที่ 31




```
G28X70.0Z130.0;     ( การเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B )
T0202;              ( ทำการเปลี่ยนใบมีดตัดที่จุด R )
G29X30.0Z180.0;     ( การเคลื่อนที่จากจุด B ไปจุด C )
```

รูปที่ 31 การทำงานของฟังก์ชัน G28 และ G29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจสอบจุดย้อนกลับ G27 ฟังก์ชันนี้จะใช้ตรวจสอบการการอ้างถึงจุดอ้างอิงว่าไปถึงจุดดังกล่าวหรือไม่

<u>ระบบพิกัดและค่าพิกัดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี</u>

การเคลื่อนที่ของใบมีดตัดไปยังจุดใดจุดหนึ่ง จุดเหล่านั้นถูกแทนด้วยคู่ลำดับในระบบพิกัดทั้งสิ้น ระบบพิกัดจึงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรกล

1. ระบบพิกัดของเครื่องจักรกล จุดศูนย์ของเครื่องจักรถือว่าเป็นจุดมาตรฐานของเครื่องจักร ซึ่งได้กำหนดเอาไว้ตั้งแต่เริ่มสร้างตำแหน่งของใบมีดตัด เนื่องจากการกำหนดตำแหน่งนี้ต้องให้ใบมีดตัดสามารถรู้จักเสมอ แต่บางครั้งตำแหน่งนี้ใบมีดก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ระบบพิกัดที่มีจุดศูนย์ของเครื่องจักรเป็นจุดศูนย์ของระบบจึงเรียกว่าระบบพิกัดของเครื่องจักรกล ระบบพิกัดนี้จะไม่สามารถกำหนดใหม่ได้ด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น G92 จนกว่าจะปิดเครื่องแล้วเปิดใหม่

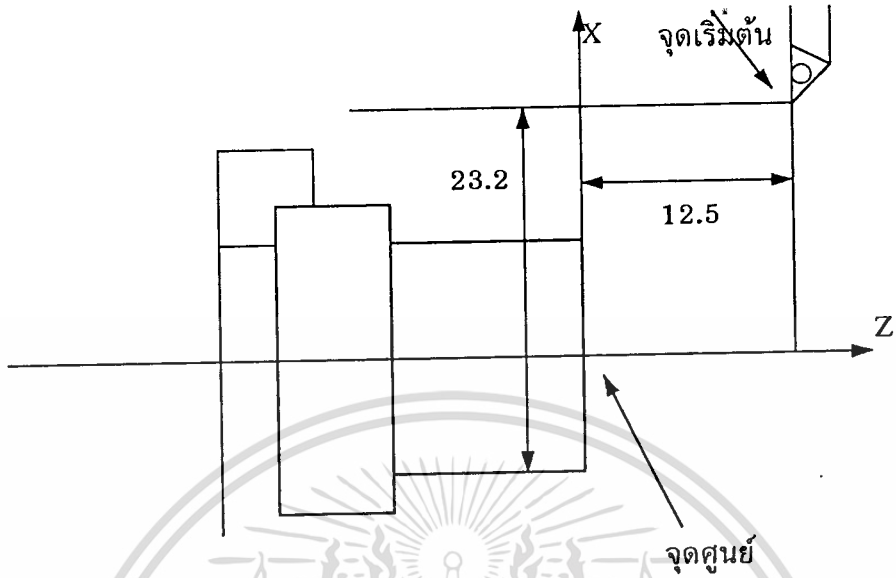
2. ระบบพิกัดของชิ้นงานคือ ระบบที่ใช้สำหรับการกัดชิ้นงาน สามารถกำหนดได้โดยใช้ฟังก์ชัน G ต่าง ๆ

2.1 G92 สามารถกำหนดระบบพิกัดโดยใช้ฟังก์ชันนี้ได้ 2 ลักษณะคือ

2.1.1 การกำหนดจุดโดยตรงหรือการใช้ระบบแอบโซลูท คือ การกำหนดค่าตัวเลข X และ Z หลังฟังก์ชัน G92 ก็จะได้ระบบพิกัดของชิ้นงานเป็นจุดเริ่มต้น ค่าของ X สามารถกำหนดได้ทั้งระบบเส้นผ่าศูนย์กลางและระบบรัศมี จากรูปที่ 32 สามารถเขียนเป็นคำสั่งได้ดังนี้

G90G92X11.6Z12.5; (ระบบรัศมี)
G90G92X23.2Z12.5; (ระบบเส้นผ่าศูนย์กลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 32 การกำหนดระบบพิกัดโดยตรงสำหรับ G92

2.1.2 การกำหนดจุดโดยเลื่อนหรือการใช้ระบบอินครีเมนทัล คือ ค่าของตัวเลขหลังตัวแปร X และ Z จะเลื่อนจากค่าเดิมไปอีกตามค่าที่กำหนด โดยมีรูปแบบดังนี้

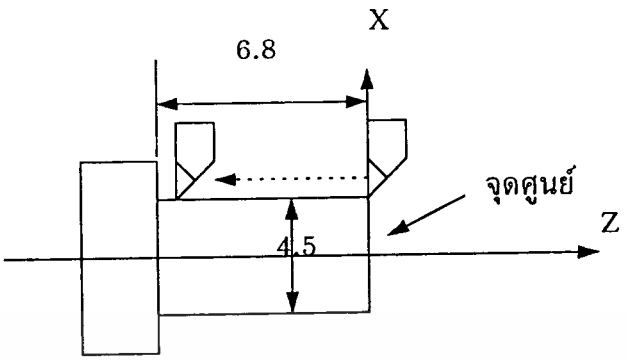
G91G92X__.__Z__.__;

2.2 G54-G59 สามารถกำหนดระบบพิกัดได้ถึง 6 แบบและเลือกใช้ได้ต่าง ๆกัน โดยสามารถกำหนดด้วยฟังก์ชัน G54-G59 และกำหนดด้วยปุ่มควบคุมของเครื่องจักรกล

<u>ค่าพิกัดและมิติ</u>

1. การเขียนโปรแกรมแบบแอบโซลูทและอินครีเมนทัล ตามที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูทคือ การเขียนโปรแกรมโดยกำหนดระยะทางจากจุดศูนย์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเป็นค่าของ X และ Z ดังรูปที่ 33 ส่วนการเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัลคือ การเขียนโปรแกรมโดยกำหนดระยะทางจากจุดสุดท้ายไปยังจุดที่ต้องการจุดใหม่ เป็นค่าของจุด X และ Z ดังรูปที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

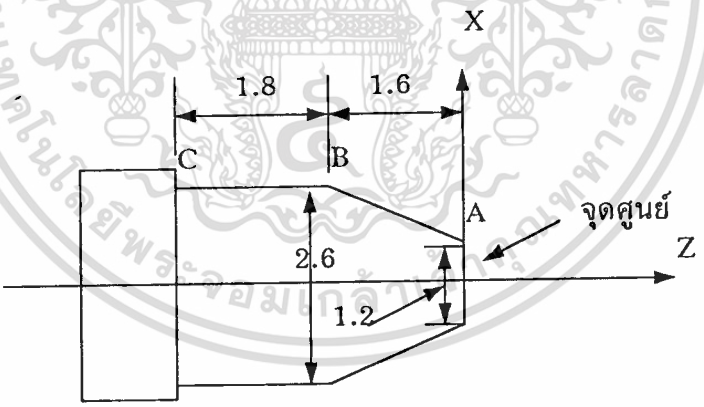


G90;

G01X2.25Z-6.8; (ระบบรัศมี)

G01X4.5Z-6.8; (ระบบเส้นผ่าศูนย์กลาง)

รูปที่ 33 การเขียนโปรแกรมระบบแอบโซลูท



G91;

G01X2.6Z-1.6; (เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B)

G01X2.6Z-1.8; (เคลื่อนที่จากจุด B ไปยังจุด C)

รูปที่ 34 การเขียนโปรแกรมระบบอินครีเมนทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเขียนโปรแกรมระบบรัศมีและเส้นผ่าศูนย์กลาง การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีสามารถกำหนดระยะของแกน X และ Z ได้ 2 แบบ คือ แบบรัศมีเรียกว่าการเขียนโปรแกรมระบบรัศมี แบบเส้นผ่าศูนย์กลางเรียกว่าการเขียนโปรแกรมระบบเส้นผ่าศูนย์กลาง การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีและทดสอบการจำลองภาพกราฟฟิกการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบนี้จะใช้การเขียนโปรแกรมระบบรัศมีเท่านั้น

3. มาตราวัด สามารถกำหนดมาตราวัดของตำแหน่งพิกัดหรือขนาดของชิ้นงาน และระบบการวัดใดๆ เป็น 2 ระบบคือ ระบบอังกฤษ (นิ้ว) และระบบเมตริกซ์ (มิลลิเมตร) ระบบนิ้วสามารถใช้ฟังก์ชัน G20 และระบบมิลลิเมตรสามารถใช้ฟังก์ชัน G21 เป็นฟังก์ชันในการกำหนด เช่นเดียวกันการเขียนโปรแกรมที่ออกแบบไว้นี้สามารถใช้ได้ทั้ง 2 ฟังก์ชัน แต่การจำลองภาพจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนมาตราวัดใดๆ กล่าวคือถ้าจะใช้ระบบใดควรจะใช้ระบบนั้นทั้งโปรแกรมรหัสเอ็นซีที่เขียนขึ้น เนื่องจากถูกจำกัดด้วยขนาดของวินโดว์

<u>ระบบพิกัดและค่าพิกัดของวินโดว์</u>

1. ระบบพิกัดของชิ้นงาน เมื่อกำหนดขนาดของชิ้นงานจากเมนู ซึ่งสามารถกำหนดขนาดรัศมีและความยาวของชิ้นงานเป็นมิลลิเมตร แล้วทำการจำลองภาพ โปรแกรมที่ออกแบบไว้จะทำการวาดขนาดของชิ้นงาน พร้อมทั้งปากจับชิ้นงาน โดยกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเป็นแกน Z และปลายของชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับแกน Z เป็นแกน X ซึ่งถือจุด (0,0) ของแกนทั้ง 2 นี้เป็นจุดศูนย์ของเครื่องมือกล ดังนั้นถ้าต้องการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีให้ใบมีดตัดเคลื่อนที่ไปยังจุดศูนย์หรือที่ตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าชิ้นงาน สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

G00X0Z0;

นอกจากนั้นยังกำหนดขนาด 1 จุดของวินโดว์เป็น 1 มิลลิเมตรของชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อต้องการให้ใบมีดตัดเคลื่อนที่ไปยังเส้นรอบวงด้านบนของวินโดว์สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

G00X100Z0;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะต้องกำหนดขนาดรัศมีของชิ้นงานเป็น 100 มิลลิเมตร ปกติแล้วชิ้นงานจะเสียเนื้อชิ้นงานไปบางส่วน เนื่องจากถูกปากจับชิ้นงาน จับอยู่ ซึ่งถ้ามีการกำหนดขนาดของชิ้นงานเป็นรัศมี ×ความยาว เท่ากับ 50×180 มิลลิเมตร ส่วนของความยาวจะถูกปากจับชิ้นงานจับอยู่ 20 มิลลิเมตร ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจะต้องระวังเรื่องความยาวนี้ด้วย เนื่องจากจะมีผลกับเครื่องจักรกลเช่นเดียวกัน

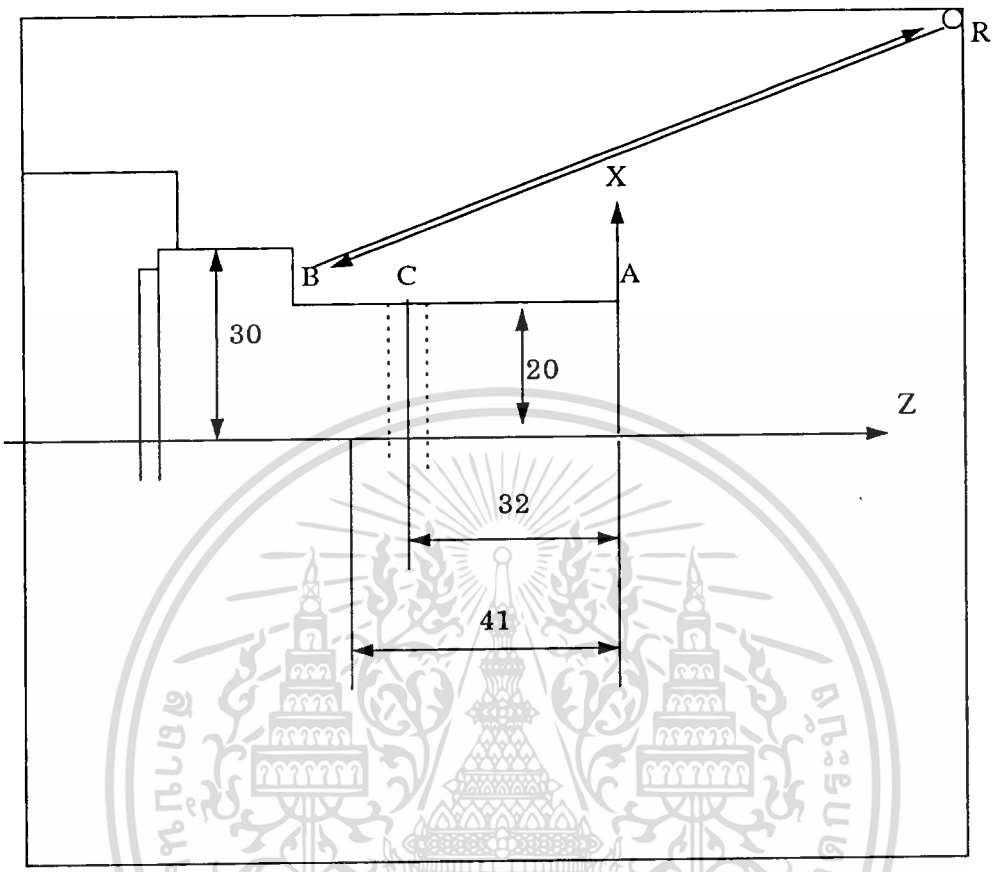
2. ระบบพิกัดของวินโดว์ โปรแกรมจำลองภาพจะกำหนดขนาดของวินโดว์เท่ากับ 500×460 จุด และทำการแบ่งวินโดว์ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้เป็นจุดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน ที่จุด 0×200 เนื่องจากขนาดของวินโดว์จะรวมส่วนหัวของวินโดว์ด้วย จึงไม่ทำการแบ่งครึ่งของวินโดว์จริง ๆได้ จากรูปที่ 35 ถ้าเราต้องการกลึงชิ้นงานให้ได้ขนาดรัศมีเท่ากับ 20 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการตัดเหล็กนั้นออกมา ณ จุด B ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนใบมีดตัด ซึ่งต้องการเปลี่ยนใบมีดตัดที่จุดอ้างอิง R โดยใช้ฟังก์ชัน G28 และ G29 ดังนั้นสามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

```
G90;
G00X20.0Z0;
G28X20.0Z-41.0;    ( การเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B )
T04;               ( ทำการเปลี่ยนใบมีดตัดที่จุด R )
G29X20.0Z-32.0;    ( การเคลื่อนที่จากจุด B ไปจุด C )
```

<u>ส่วนประกอบของโปรแกรม</u>

โปรแกรมรหัสเอ็นซีแบ่งออกเป็นส่วน ๆตามโครงสร้างของของภาษา โดยจะต้องทำการศึกษาจากคู่มือของเครื่องจักรกลนั้น ๆ แต่สำหรับโปรแกรมที่ออกแบบนี้ จะใช้ส่วนที่สำคัญ ๆ ของโครงสร้างภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซีเท่านั้น อาจจะไม่สามารถใช้โปรแกรมรหัสเอ็นซีที่เขียนขึ้นและทำงานได้อย่างถูกต้องจากผลการทดสอบการจำลองภาพด้วยโปรแกรมการจำลองภาพไปใช้กับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีได้ทันที นอกจากนั้นรูปแบบของคำสั่งยังอาจแตกต่างจากโปรแกรมรหัสเอ็นซีทั่วไปบ้างเล็กน้อย เนื่องจากถูกจำกัดด้วยฟังก์ชันของภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรมนี้ขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



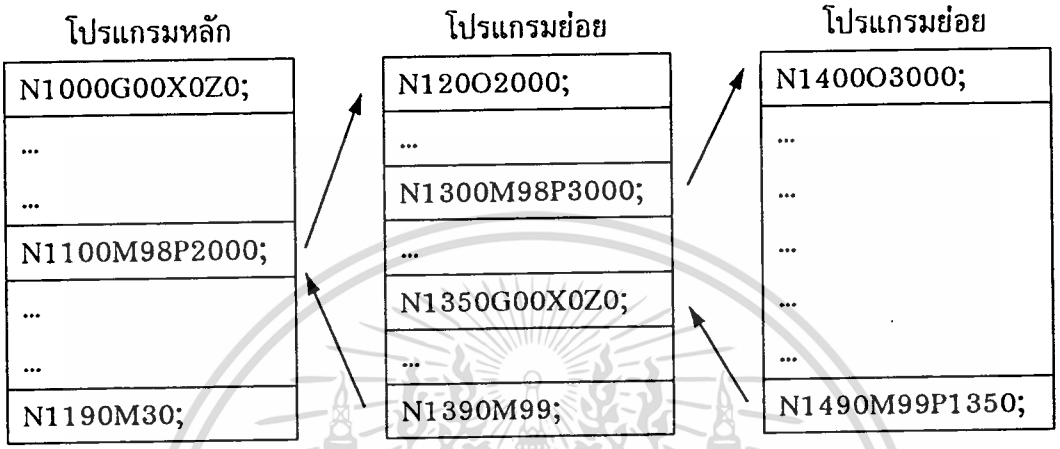
รูปที่ 35 ระบบพิกัดของวินโดว์

1. โปรแกรมหลัก คือโปรแกรมที่ทำการเรียกใช้โปรแกรมอื่น ๆเพื่อการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง โปรแกรมรหัสเอ็นซีสามารถแบ่งออกเป็นโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย เช่นเดียวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่จะมีโครงสร้างของการเรียกโปรแกรมย่อยเพื่อการทำงานแตกต่างจากโปรแกรมทั่วไป โดยจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเองและสามารถกลับมาทำงานยังโปรแกรมหลัก หรือโปรแกรมย่อยอื่น ๆ ที่คำสั่งใดของโปรแกรมก็ได้

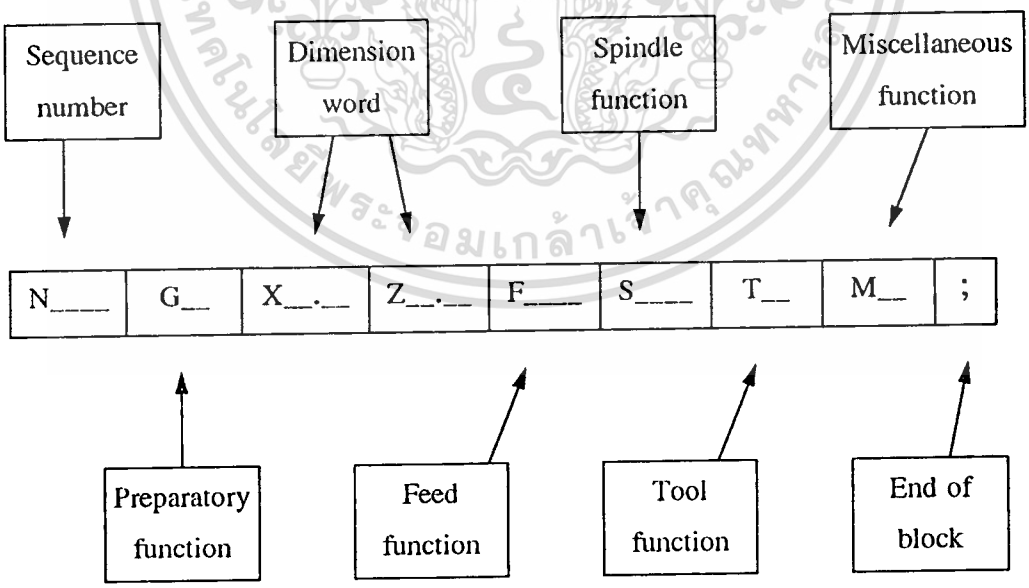
2. โปรแกรมย่อย คือโปรแกรมที่ถูกเรียกใช้งานจากโปรแกรมหลักหรืออาจจะถูกเรียกจากโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่เป็นโปรแกรมหลักในขณะนั้น ๆ จากรูปที่ 36 โปรแกรมหลักจะเรียกใช้โปรแกรมย่อย O2000 และโปรแกรมย่อยนี้จะทำการเรียกใช้ O3000 อีกทีหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อโปรแกรมย่อย O3000 ทำงานจบก็จะกลับมายัง O2000 ที่ N1350 และทำงานต่อไปจนจบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วกลับมายังโปรแกรมหลักที่จุดเดิมที่มีการเรียกใช้ O2000 และทำงานจนจบโปรแกรมหลักตามลำดับ



รูปที่ 36 การทำงานระหว่างโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย



รูปที่ 37 ชุดคำสั่งของภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวแปรและคำสั่ง ชุดคำสั่งจะประกอบไปด้วยคำสั่ง หลาย ๆคำสั่งและเครื่องจบชุดคำสั่ง (;) ดังรูปที่ 37 แต่ละคำสั่งประกอบไปด้วยตัวแปร เครื่องหมาย + หรือ - และตัวเลข เช่น

X-1000

จากรูปที่ 37 เป็นชุดคำสั่งมาตรฐานของโปรแกรมรหัสเอ็นซีเท่านั้น ในชุดคำสั่งแต่ละชุดสามารถใช้ตัวแปรอื่น ๆแทรกเข้าไปได้อีก แล้วแต่รูปแบบของแต่ละฟังก์ชันว่าต้องการตัวแปรชนิดใดบ้าง สามารถดูรายละเอียดรูปแบบของแต่ละฟังก์ชันที่กล่าวมาแล้ว

ตัวแปรคือ ตัวอักษรที่มีความหมายและหน้าที่ในการทำงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ฟังก์ชัน	ตัวแปร	ความหมาย
Program number	O	หมายเลขโปรแกรม
Sequence number	N	หมายเลขลำดับumber
Preparatory function	G	ฟังก์ชันเพื่อการจัดเตรียม
Dimension word	X,Y,Z,A,B,C	ตัวแปรระยะการเคลื่อนที่
	R	รัศมี
	I,K	ตัวแปรระยะการเคลื่อนที่เทียบกับจุดศูนย์กลางของวงกลม
Feed function	F	อัตราการเคลื่อนที่
Spindle speed function	S	อัตราเร็วสปินเดิล
Tool function	T	ฟังก์ชันเครื่องมือ
Miscellaneous function	M	ฟังก์ชันอื่น ๆ
Dwell	P,U,X	เวลาดเวล
Program number designation	P	หมายเลขโปรแกรมย่อย
Repetitive count	L	การทำซ้ำ
Parameter	P,Q,R	ตัวแปรสำหรับการทำซ้ำ

ตารางที่ 2 แสดงความหมายตัวแปรของคำสั่งรหัสเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวแปรและค่าพิสัยของตัวแปร ตัวแปรแต่ละตัวจะต้องมีขนาดจำกัด เนื่องจากทั้งเครื่องจักรกลซีเอ็นซีและขนาดวินโดว์มีขนาดจำกัด จากตารางที่ 3 จะแสดงขนาดที่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องของโปรแกรมรหัสเอ็นซี

ตารางที่ 3

Function	Address	Address range
Program numner	O	1-99
Sequence number	N	1-9999
Preparatory function	G	00-99
Dimension word	X,Z,I,K	999.99 mm
Per minute feed speed	F	0.0001-5000.0000
Per revolution feed speed	F	0.00001-500.00000
Thread cutting lead	F	0.00001-500.00000
Tool function	T	0-99
Spindle function	S	±99999
Miscellaneous function	M	0-99999
Sequence number	P,Q	1-9999
Per second dwell	P,X,U	0-9999
Per rotation dwell	P,X,U	0-9999
Repeated times	L	0-9999

ตารางที่ 3 แสดงค่าพิสัยของตัวแปรของคำสั่งรหัสเอ็นซี

<u>ฟังก์ชันโปรแกรมทำซ้ำอัตโนมัติ</u>

ภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซีมีฟังก์ชันที่สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับการทำซ้ำ โดยใช้เพียงฟังก์ชันเดียวก็สามารถทำงานได้เหมือนกับการทำงานของโปรแกรมย่อย เช่น การกลึงเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มล. ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 80 มล. สามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N100G00X50Z0;

N110G01X50Z-50;

N120G00X50Z0;

N130G00X49Z0;

N140G01X49Z-50;

...

...

...

...

...

N900G01X40Z-50;

แต่ถ้าหากใช้ฟังก์ชันเพื่อการทำงานในลักษณะนี้ สามารถเขียนโปรแกรมนี้เพียงชุดคำสั่งเดียวเท่านั้นคือ

N100G77X40Z-50F200;

1. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวราบของชิ้นงาน (G77)

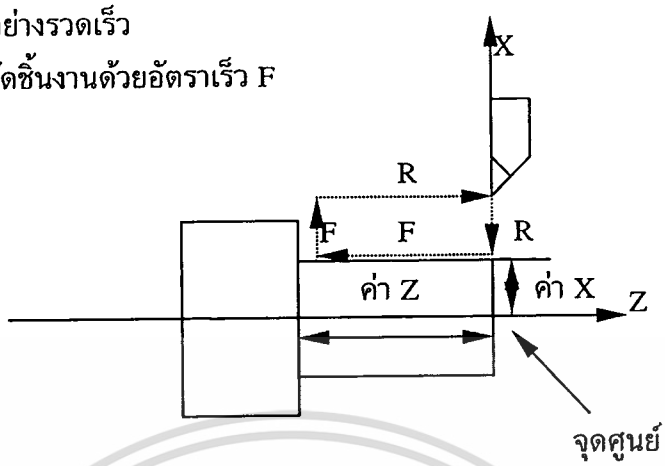
1.1 การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวขนานกับชิ้นงาน สามารถใช้รูปแบบได้ดังนี้

G77X__.__Z__.__F____;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R : การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว

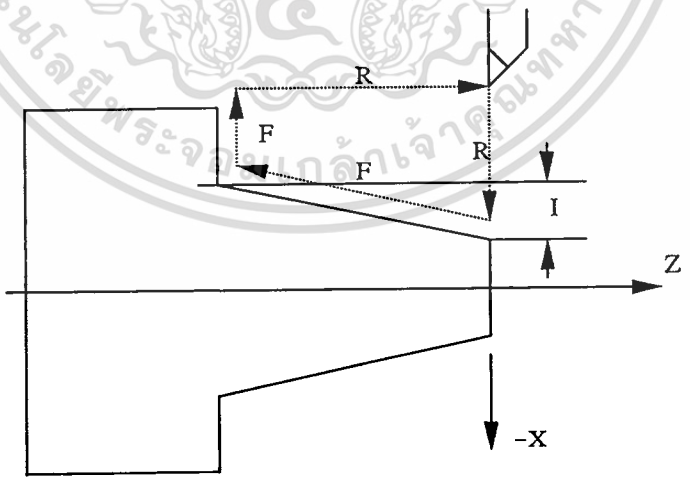
F : การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว F



รูปที่ 38 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยฟังก์ชัน G77

1.2 การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวไม่ขนานกับชิ้นงาน สามารถใช้รูปแบบได้ดังนี้

G77X__._Z__._I__._F____;



รูปที่ 39 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยฟังก์ชัน G77

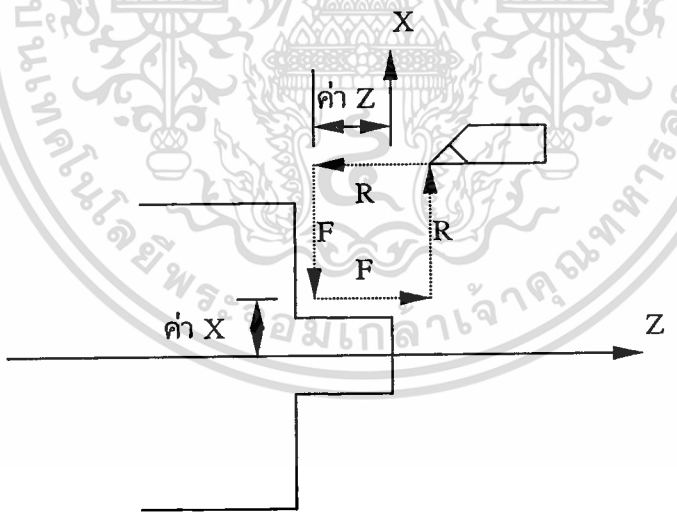
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานเป็นรูปฟันปลาหรือการทำเกลียว (G78) การทำเกลียวก็มีลักษณะการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวราบคือ การทำเกลียวตามแนวราบขนานกับแกนและการทำเกลียวตามแนวราบไม่ขนานกับแกน โดยสามารถใช้คำสั่งได้ดังนี้

G78X__.__Z__.__F__.__Q___; (การทำเกลียวตามแนวราบขนานกับแกน)
G78X__.__Z__.__I__.__F__.__; (การทำเกลียวตามแนวราบไม่ขนานกับแกน)

3. การคลื่อนที่กัดชิ้นงานที่หน้าชิ้นงาน (G79) คือการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวดิ่ง ซึ่งมี 2 ลักษณะเช่นเดียวกันคือ การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวดิ่งขนานกับแกน X และการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานไม่ขนานกับแกน X โดยสามารถเขียนคำสั่งได้ดังรูปแบบต่อไปนี้

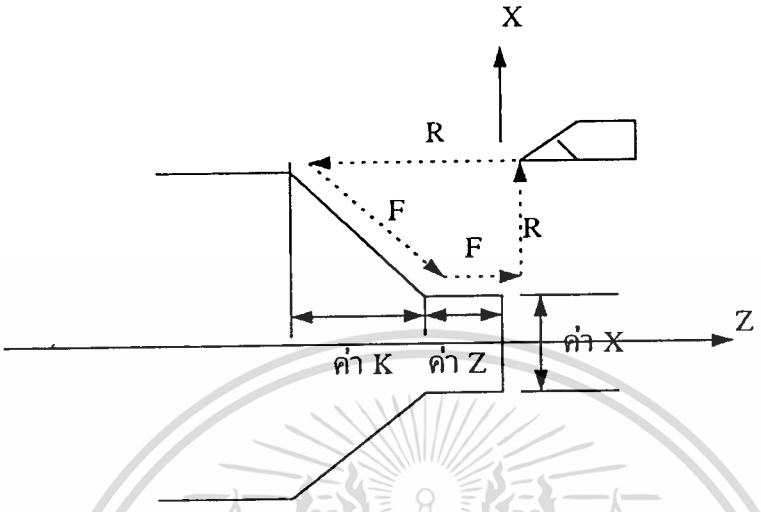
G79X__.__Z__.__F____; (การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวดิ่งขนานกับแกน X)
G79X__.__Z__.__K__.__F____; (การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวดิ่งไม่ขนานกับแกน X)



R : การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว
F : การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว F

รูปที่ 40 การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งขนานกับแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



R : การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว

F : การเคลื่อนที่กัดชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว F

รูปที่ 41 การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งไม่ขนานกับแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เวกเตอร์

เวกเตอร์สามารถเขียนอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ได้ $\vec{A}$ เรียกว่าเวกเตอร์ A ดังนั้นเวกเตอร์สามารถเขียนในรูปของเมตริก 1 แถว หรือ 1 คอลัมน์ ได้เช่น

$$\vec{A} = [a \;\; b] \text{ หรือ } \vec{A} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปส่วนประกอบของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$$

และขนาดของ $\vec{A}$ สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $|\vec{A}|$ ดังนั้น

$$|\vec{A}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย คือ เวกเตอร์ที่มีขนาดหนึ่งหน่วย ถ้า $\bar{u}$ เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาด a ถ้า $a \neq 0$ แล้ว $\bar{u}/a$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีทิศทางเดียวกันกับ $\bar{u}$

ผลคูณสเกลลาร์ของเวกเตอร์

ผลคูณสเกลลาร์ของเวกเตอร์ระหว่างเวกเตอร์ A ($\vec{A}$) และเวกเตอร์ B ($\vec{B}$) เขียนแทนด้วย $\vec{A} \cdot \vec{B}$ จะเท่ากับผลคูณระหว่างขนาดของเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B กับค่าโคซายน์

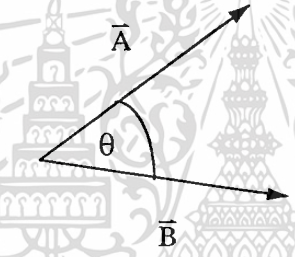
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมุมระหว่างเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B ถ้ากำหนดให้ θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง ดังในรูปที่ 42 จะได้ดังสมการที่ 1 และ 2

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = [a_x\ a_y]\begin{bmatrix} b_x \\ b_y \end{bmatrix} = a_x b_x + a_y b_y \qquad (1)$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta \qquad (2)$$

โดยที่ $0 < \theta < \pi$



รูปที่ 42 เวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B ทำมุม θ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<u>ผลคูณเวกเตอร์ของเวกเตอร์</u>

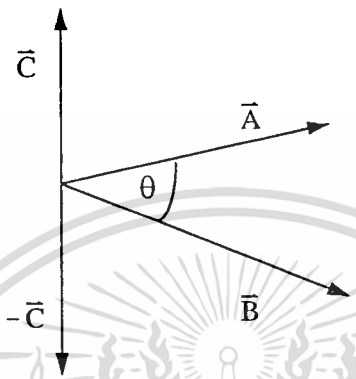
ผลคูณเวกเตอร์ของเวกเตอร์ระหว่างเวกเตอร์ A ($\vec{A}$) และเวกเตอร์ B ($\vec{B}$) เขียนแทนด้วย $\vec{A}\times\vec{B}$ ถ้ากำหนดให้ $\vec{C}$ คือ ผลคูณระหว่าง $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ ดังนั้น $\vec{C}$ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของขนาดเวกเตอร์ A กับขนาดเวกเตอร์ B และค่าซายน์ของมุมระหว่างเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B ดังสมการที่ 3 โดยเวกเตอร์ C จะตั้งฉากกับเวกเตอร์ทั้งสองด้วย ดังรูปที่ 43

$$\vec{C} = \vec{A}\times\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta \qquad (3)$$

โดยที่ $0 < \theta < \pi$ นอกจากนั้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A} \qquad (4)$$



รูปที่ 43 ผลคูณของเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B

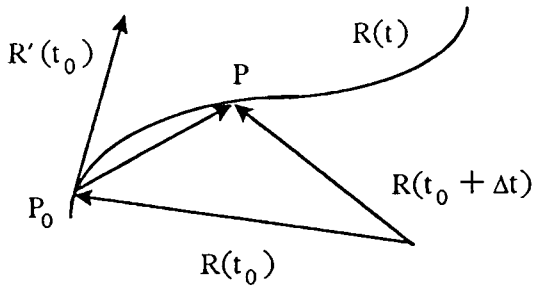
<u>อนุพันธ์ของเวกเตอร์</u>

กำหนดให้ R(t) เป็นฟังก์ชั่นเชิงเวกเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปร t แล้วอนุพันธ์ของ R(t) มีค่าเป็น

$$R'(t) = \frac{dR(t)}{dt} = \lim_{t \to t_0} \frac{R(t) - R(t_0)}{t - t_0} \qquad (5)$$

ถ้ากำหนดให้ $\Delta t = t - t_0$ สามารถเขียนอนุพันธ์ของฟังก์ชั่นเชิงเวกตอร์ที่ $t = t_0$ ได้ดังรูปที่ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 44 กราฟของอนุพันธ์เชิงเวกเตอร์ที่ $t = t_0$

จากสมการที่ 5 และรูปที่ 44 จะได้

$$\frac{dR(t_0)}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta R}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R(t_0+\Delta t)-R(t_0)}{\Delta t} \qquad (6)$$

ถ้ากำหนดให้ $R(t) = x\,\vec{i} + y\,\vec{j}$ โดยที่ $x = x(t)$ และ $y = y(t)$ แล้วจะได้

$$R'(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R(t+\Delta t)-R(t)}{\Delta t}$$

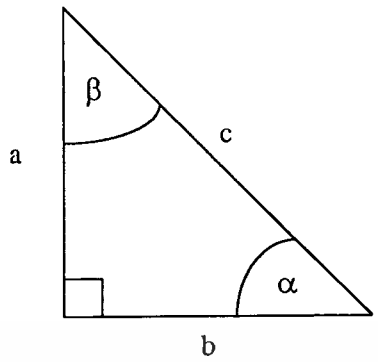
$$= \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{(x(t+\Delta t)-x(t))\vec{i}}{\Delta t} + \frac{(y(t+\Delta t)-y(t)\vec{j}}{\Delta t} \right]$$

$$= \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} \qquad (7)$$

ตรีโกณมิติ

ตรีโกณมิติเป็นทฤษฎีที่ใช้เพื่อเป็นพื้นฐานของทฤษฎีอื่น ๆ เพื่อใช้ในการคำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 45 สามเหลี่ยมมุมฉาก

<u>ทฤษฎีปีธากอรัส</u>

ทฤษฎีปิธากอรัสกล่าวว่า ด้านทแยงของสามเหลี่ยมมุมฉากยกกำลังสอง เท่ากับ ด้านฉากยกกำลังสองบวกกับด้านฐานยกกำลังสอง จากรูปที่ 45 จะได้

$$c^2 = a^2 + b^2 \qquad (8)$$

<u>ทฤษฎีซายน์และโคซายน์</u>

ทฤษฎีซายน์และโคซายน์กล่าวว่า ค่าซายน์ของมุมใด ๆของสามเหลี่ยมมุมฉาก เท่ากับ ด้านตรงข้ามของมุมนั้นหารด้วยด้านตรงข้ามมุมฉาก และค่าโคซายน์ของมุมใด ๆของสามเหลี่ยมมุมฉาก เท่ากับ ด้านประชิดหารด้วยด้านตรงข้ามมุมฉาก จากรูปที่ 45 จะได้

$$\sin(\alpha) = \frac{a}{c} \qquad (9)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{b}{c} \qquad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีแทนเจนท์และโคแทนเจนท์

ทฤษฎีแทนเจนท์และโคแทนเจนท์กล่าวว่า ค่าแทนเจนท์ของมุมใด ๆของสามเหลี่ยมมุมฉาก เท่ากับ ด้านตรงข้ามมุมนั้นหารด้วยด้านประชิดมุม และค่าของโคแทนเจนท์ เท่ากับ ด้านประชิดมุมหารด้วยด้านตรงข้ามของมุมนั้น จากรูปที่ 45 จะได้

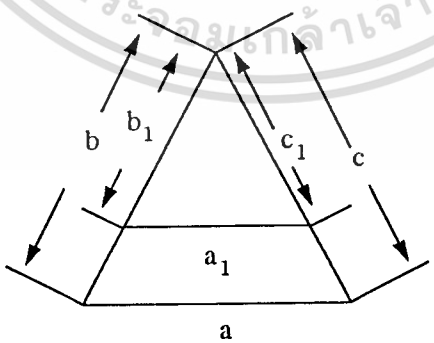
$$\tan(\alpha) = \frac{a}{b} \qquad (11)$$

$$\cot(\alpha) = \frac{b}{a} \qquad (12)$$

ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย

ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายกล่าวว่า ด้านใด ๆของสามเหลี่ยมคล้ายหารด้วยด้านที่คล้ายกับด้านนั้น เท่ากับ ด้านใด ๆอีกด้านหนึ่งหารด้วยด้านที่คล้ายกับด้านนี้ จากรูปที่ 46 จะได้

$$\frac{c}{c_1} = \frac{a}{a_1} = \frac{b}{b_1} \qquad (13)$$



รูปที่ 46 สามเหลี่ยมคล้าย

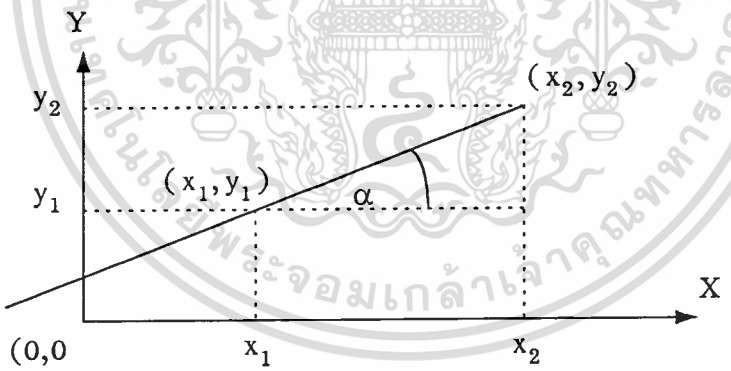
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรขาคณิตวิเคราะห์

เรขาคณิตวิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการคำนวนหาเส้นทางเดินของใบมีดตัด เนื่องจากรูปทรงต่าง ๆของชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือรูปทรงอื่น ๆล้วนเป็นรูปทรงทางเรขาคณิตทั้งสิ้น

สมการเส้นตรง

เส้นตรงประกอบไปด้วยจุดต่าง ๆที่ต่อเนื่องกัน จุดเหล่านั้นมีองค์ประกอบเป็นค่าของ x และ y ซึ่งเป็นค่าของระบบพิกัดตามที่กล่าวมาแล้ว ถ้ากำหนดให้จุด (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นจุดสองจุดใด ๆบนเส้นตรงเส้นหนึ่ง ซึ่งทำมุม α กับแกน X ดังรูปที่ 47



รูปที่ 47 เส้นตรงในระบบพิกัด XY

กำหนดให้ m คือความชันของเส้นตรง

ดังนั้น $m = \tan(\alpha)$

$$= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{เมื่อ } x_2 \neq x_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการเส้นตรง

$$y_2 - y_1 = m(x_2 - x_1)$$

ถ้ากำหนดให้จุด $(x_1, y_1) = (0,b)$ เป็นจุด ๆหนึ่ง ซึ่งตัดแกน Y ดังนั้นจะได้สมการเส้นตรงใด ๆ ดังสมการที่ (14)

$$y = mx + b \qquad (14)$$

<u>สมการวงกลม</u>

วงกลมก็เช่นกันจะประกอบไปด้วยจุดต่าง ๆประกอบกันเป็นวงกลม โดยที่จุดเหล่านั้นจะอยู่ห่างจากจุดตรึงจุดหนึ่งเป็นระยะทางเท่า ๆกัน เรียกจุดตรึงนั้นว่า จุดศูนย์กลาง และเรียกระยะทางระหว่างจุดต่าง ๆกับจุดศูนย์กลางว่า รัศมี ถ้ากำหนดให้จุดศูนย์กลางของวงกลมใด ๆเป็น P(x,y) จุดใด ๆบนวงกลมเป็น $P_1(x_1, y_1)$ และรัศมีเป็น R ดังรูปที่ 48 ระยะทางจากจุดศูนย์กลาง P(x,y) ถึงเส้นรอบวง $P_1(x_1, y_1)$ จะมีค่าเท่ากับรัศมี ดังสมการ

$$R = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \qquad (15)$$

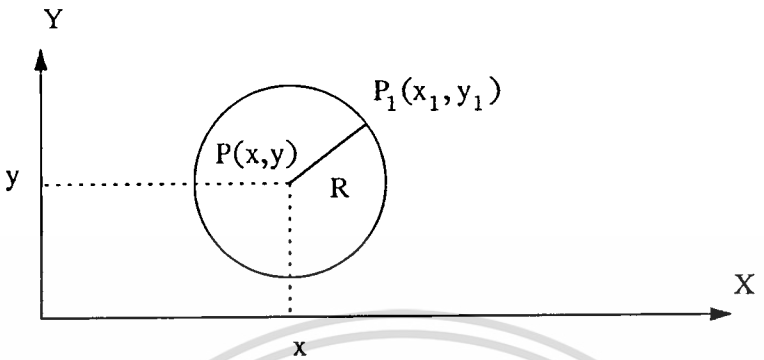
ยกกำลังสองจะได้สมการวงกลมดังนี้

$$R^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \qquad (16)$$

ถ้าวงกลมมีจุดศูนย์กลางที่ (0,0) จะได้สมการวงกลมเป็น

$$y^2 = R^2 - x^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 48 วงกลมในระบบพิกัด XY

การคำนวนหาจุดตัดของเส้นต่าง ๆ

การคำนวนหาจุดตัดเป็นพื้นฐานของการคำนวนหาเส้นทางเดินของใบมีดตัด เนื่องจากใบมีดตัดมีความหนา ทำให้ไม่สามารถใช้เส้นต่าง ๆของรูปทรงเหล่านั้นเป็นเส้นทางเดินของใบมีดตัดได้ทันที อีกทั้งยังต้องมีการชดเชยค่าผิดพลาดต่าง ๆด้วย จุดตัดของเส้นต่าง ๆมีมากมายหลายชนิด แต่ที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการคำนวนหาเส้นทางเดินของใบมีดตัดมีดังนี้คือ

เส้นตรงตัดกับเส้นตรง

สมมุติว่ามีเส้นตรงสองเส้นตัดกันที่จุด P(x,y) มีจุด $P_1(x_1, y_1)$ อยู่บนเส้นตรงที่ 1 และมีจุด $P_2(x_2, y_2)$ อยู่บนเส้นตรงที่ 2 ดังรูปที่ 49 จากสมการที่ (14) แทนค่าจุดจากเส้นตรงทั้งสองจะได้

$$y = m_1 x_1 + b_1 \qquad \text{สำหรับจุด } P_1(x_1, y_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = m_2x_2 + b_2 \qquad \text{สำหรับจุด } P_2(x_2, y_2)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

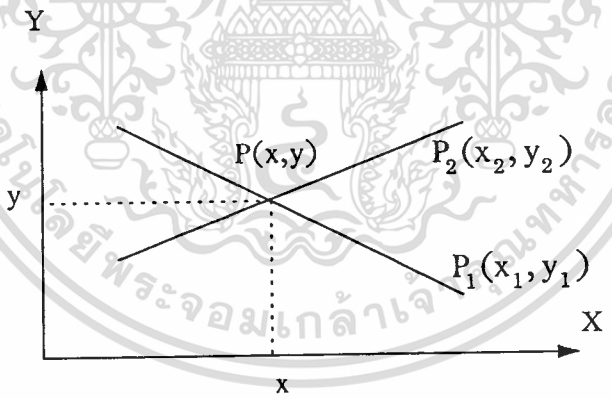
$$m_1x_1 + b_1 = m_2x_2 + b_2$$

ที่จุดตัด P(x,y) จะได้ $x_1 = x_2 = x$

เพราะฉะนั้นจะได้ $$\bar{x} = \frac{(b_2 - b_1)}{(m_1 - m_2)}$$

จะได้สมการเส้นตรงของจุดตัด

$$y = m\frac{(b_2 - b_1)}{(m_1 - m_2)} + b \qquad (17)$$

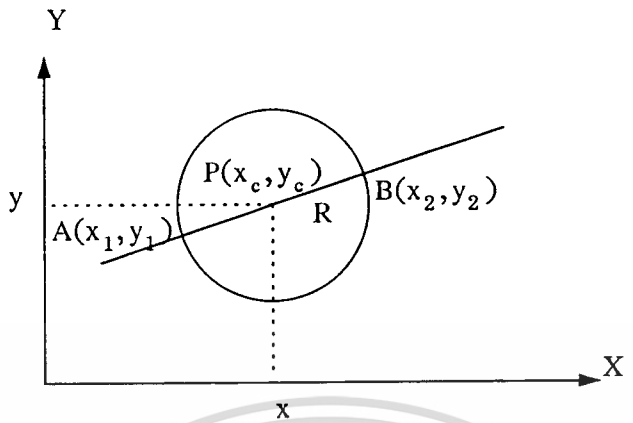


รูปที่ 49 เส้นตรงสองเส้นตัดกัน

<u>เส้นตรงตัดกับเส้นโค้ง</u>

ถ้ากำหนดให้วงกลมวงหนึ่งมีจุดศูนย์กลางเป็น $P(x_c, y_c)$ และมีเส้นตรงตัดกับวงกลมนี้ที่จุด $A(x_1, y_1)$ และจุด $B(x_2, y_2)$ ดังรูปที่ 50

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 50 เส้นตรงตัดกับวงกลม

จากสมการที่ (14) จะได้สมการจุดตัดที่จุด A ดังนี้

$$y_1 = m x_1 + b$$

และจากสมการที่ (16) จะได้

$$R^2 = (x_1 - x_c)^2 + (y_1 - y_c)^2$$

$$y_1 = \pm\sqrt{R^2 - (x - x_1)^2} + y_c$$

ที่จุด $A(x_1,y_1)$ สมการเส้นตรงและสมการเส้นโค้งมีค่า (x,y) เท่ากัน เพราะฉะนั้นจะได้สมการจุดตัดของเส้นตรงกับวงกลมดังนี้

$$y_1 = m x_1 + b$$

$$m x_1 + b = \pm\sqrt{R^2 - (x - x_1)^2} + y_c \qquad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>เส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง</u>

กำหนดให้วงกลมสองวงตัดกันที่จุด $A(x_1,y_1)$ และจุด $B(x_2,y_2)$ จากสมการที่ (16) จะได้

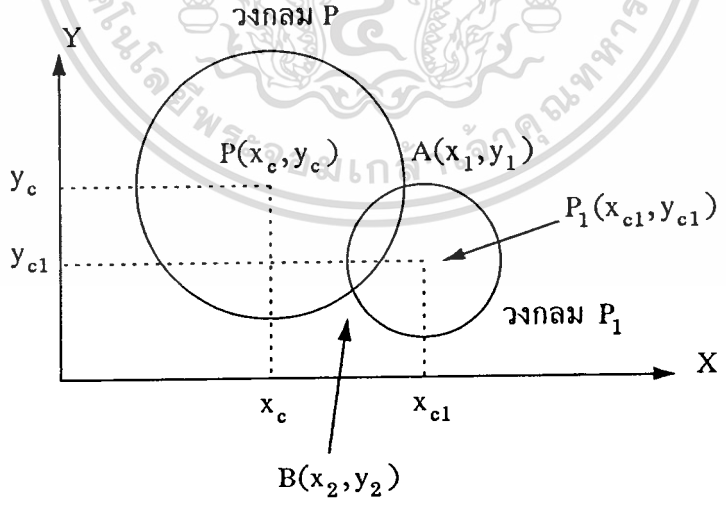
$$R_1^2 = (x_1-x_c)^2+(y_1-y_c)^2 \qquad \text{สำหรับวงกลม P}$$

$$y_1 = \pm\sqrt{R_1^2-(x_1-x_c)^2}+y_c$$

และ

$$R_2^2 = (x_1-x_{c1})^2+(y_1-y_{c1})^2 \qquad \text{สำหรับวงกลม } P_1$$

$$y_1 = \pm\sqrt{R_2^2-(x_1-x_{c1})^2}+y_{c1}$$



รูปที่ 51 วงกลมตัดกับวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้ y_1 ของสมการวงกลมทั้งสองเท่ากัน จึงได้สมการจุดตัดของสมการวงกลมทั้งสองดังนี้

$$\pm\sqrt{R_1^2-(x_1-x_c)^2}+y_c = \pm\sqrt{R_2^2-(x_1-x_{c1})^2}+y_{c1} \qquad (19)$$

การคำนวนหาตำแหน่งทางเดินของใบมีดตัด

การหาตำแหน่งทางเดินของใบมีดตัดเป็นการประยุกต์คณิตศาสตร์ต่าง ๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อใช้ควบคุมทิศทางของใบมีดให้เดินไปตามรูปทรงต่าง ๆของชิ้นงานที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งเส้นทางของโปรแกรมไม่สามารถใช้เป็นเส้นทางเดินของใบมีดได้ เพราะว่าใบมีดตัดนั้นมีความหนา

เส้นตรงตัดกับเส้นตรง

ในระบบพิกัด XY เส้นตรงต่าง ๆจะมีลักษณะดังนี้ เส้นตรงขนานกับแกน X เส้นตรงขนานกับแกน Y และเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y

1. เส้นตรงตัดกับเส้นตรงอีกเส้นหนึ่งที่ขนานกับแกน X กำหนดให้การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกับแกน X แล้วเปลี่ยนทิศทางเป็นเส้นตรงที่ไม่ขนานกับแกน X หรือแกน Y และมาเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อีกครั้งหนึ่งเป็นเส้นตรงขนานกับแกน X ดังรูปที่ 52 ตำแหน่งที่ต้องการคือ A' และ B' กำหนดให้

A' เป็นจุดตัดเทียบกับจุด A

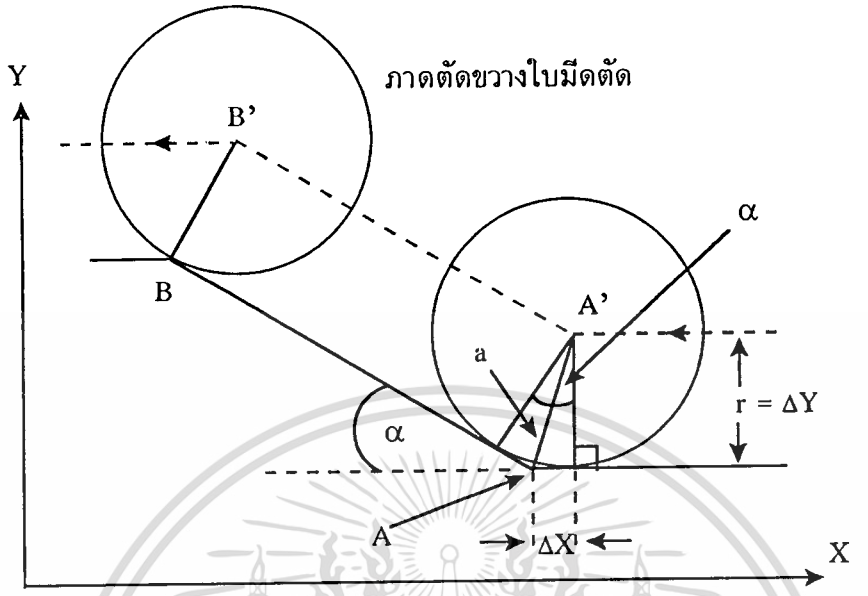
B' เป็นจุดตัดเทียบกับจุด B

a เป็นระยะจาก A ไปยัง A' หรือระยะจาก B ไปยัง B'

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 52 เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงขนานกับแกน X

จากรูปที่ 52 และสมการที่ 11 จะได้

$$\Delta X = r.\tan(\frac{\alpha}{2})$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด A'(x',y') เทียบกับจุด A(x,y) จะได้

$$x' = x + \Delta X = x + r.\tan(\frac{\alpha}{2})$$

$$y' = y + \Delta Y = y + r$$

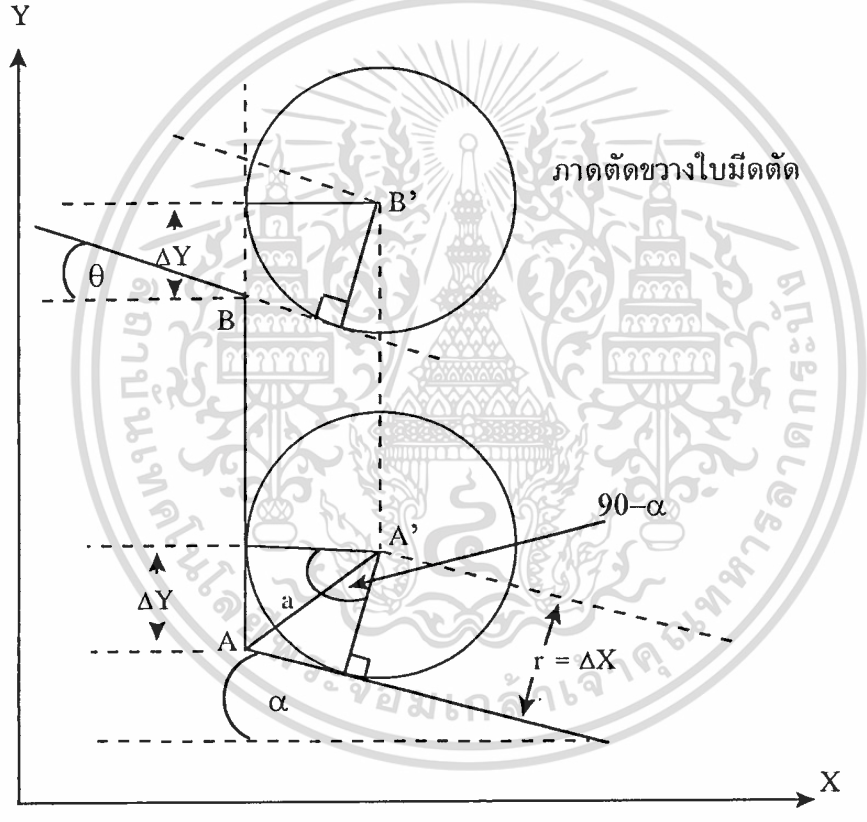
จะได้จุดตัด B'(x',y') เทียบกับจุด B(x,y) จะได้

$$x' = x + \Delta X = x + r.\tan(\frac{\alpha}{2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y' = y + \Delta Y = y + r$$

2. เส้นตรงตัดกับเส้นตรงอีกเส้นหนึ่งที่ขนานกับแกน Y กำหนดให้เส้นทางเดินของใบมีดตัดเคลื่อนที่ไม่ขนานกับแกน X แล้วเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่มาขนานกับแกน Y และเปลี่ยนทิศทางอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งไม่ขนานกับแกน X ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงขนานกับแกน Y

กำหนดให้

A' เป็นจุดตัดเทียบกับจุด A

B' เป็นจุดตัดเทียบกับจุด B

a เป็นระยะจาก A ไปยัง A' หรือระยะจาก B ไปยัง B'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

จากรูปที่ 53 และสมการที่ 11 จะได้

$$\Delta Y = r.\tan(45-\frac{\alpha}{2})$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด A'(x',y') เทียบกับจุด A(x,y)

$$x' = x + \Delta x = x + r$$

$$y' = y + \Delta y = y + r.\tan(45-\frac{\alpha}{2})$$

และจะได้จุดตัด B'(x',y') เทียบกับจุด B(x,y)

$$x' = x + \Delta x = x + r$$

$$y' = y + \Delta y = y + r.\tan(45-\frac{\theta}{2})$$

3. เส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y กรณีนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ เส้นทั้งสองตัดและทำมุมกันน้อยกว่า 180 องศา และเส้นตรงสองเส้นตัดและทำมุมกันมากกว่า 180 องศา ดังรูปที่ 54

กำหนดให้ M' เป็นจุดตัดที่ต้องการเทียบกับ M

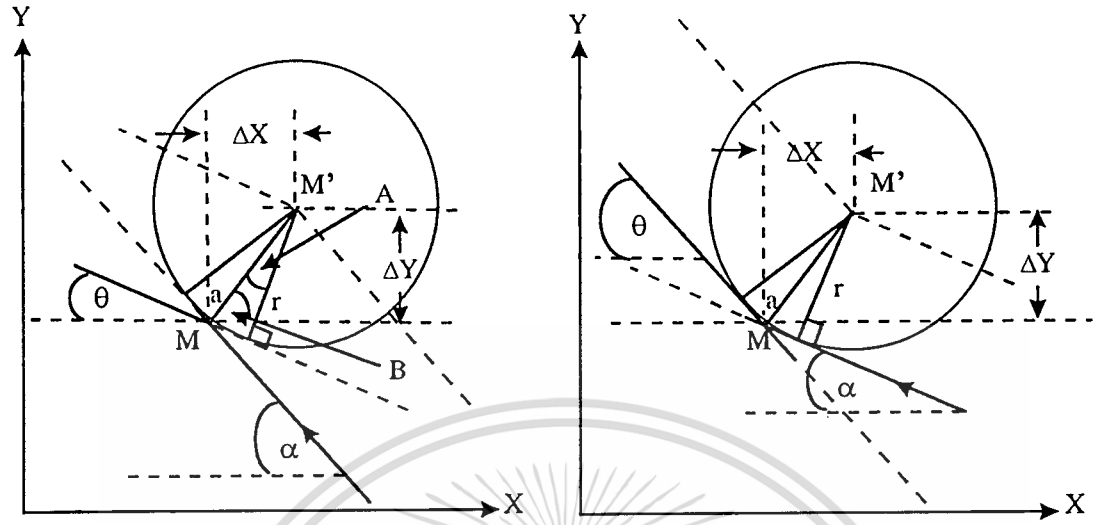
ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

B เป็นมุมระหว่างเส้นตรง MM' กับแกน X

A เป็นมุมระหว่างเส้นตรง MM' กับเส้นตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 54 เส้นทางเดินของใบมีดตัดที่เส้นตรงตัดกับเส้นตรงที่ไม่ขนานกับแกน X และแกน Y

$$\hat{A} = \left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)$$

$$\hat{B} = 90 - \left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)$$

และได้

$$a = \frac{r}{\cos\left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)}$$

$$\Delta X = a.\cos(B)$$

$$= a.\cos\left(90 - \left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)\right)$$

$$= a.\sin\left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)$$

แทนค่า a ลงในสมการจะได้

$$\Delta X = \frac{r}{\cos\left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)} . \sin\left(\frac{\alpha+\theta}{2}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน

$$\Delta Y = a.\sin(B)$$

$$= a.\sin(90-\frac{\alpha+\theta}{2})$$

$$= a.\cos(\frac{\alpha+\theta}{2})$$

แทนค่า a ลงในสมการจะได้

$$\Delta Y = \frac{r}{\cos(\frac{\alpha+\theta}{2})} . \cos(\frac{\alpha+\theta}{2})$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด M'(x',y') เทียบกับจุด M(x,y)

$$x' = x + \Delta X$$

$$= x + \frac{r}{\cos(\frac{\alpha+\theta}{2})} . \sin(\frac{\alpha+\theta}{2})$$

$$y' = y + \Delta Y$$

$$= y + \frac{r}{\cos(\frac{\alpha+\theta}{2})} . \cos(\frac{\alpha+\theta}{2})$$

<u>เส้นตรงตัดกับเส้นโค้ง</u>

เช่นเดียวกันกับเส้นตรงตัดกับเส้นตรง ในระบบพิกัด XY เส้นตรงต่าง ๆจะมีลักษณะดังนี้ เส้นตรงขนานกับแกน X เส้นตรงขนานกับแกน Y และเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เส้นตรงขนานกับแกน X สำหรับกรณีนี้ ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 กรณี คือ จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ภายนอกขอบภาพและจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ภายในขอบภาพ ดังรูปที่ 55 กำหนดให้

M' เป็นจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดเทียบกับจุด M

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

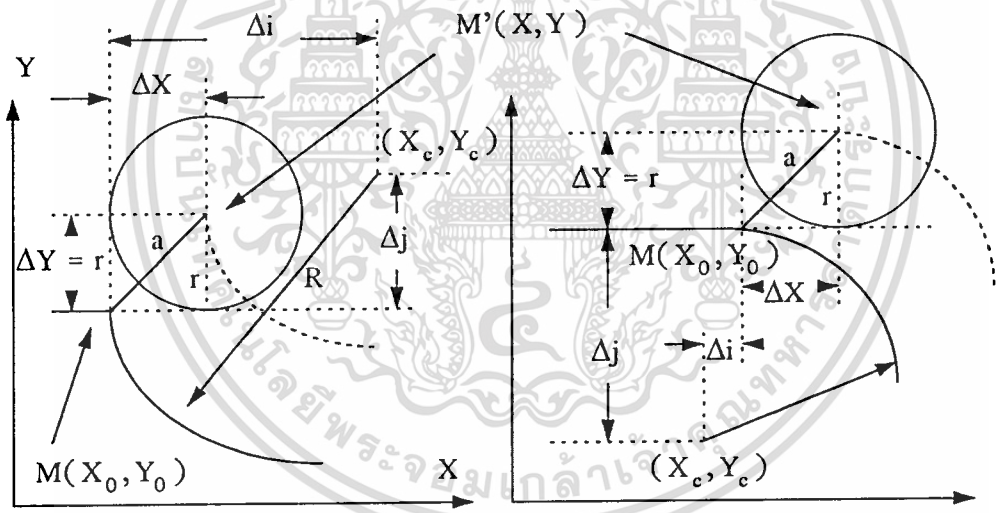
r เป็นรัศมีของใบมีดตัด

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

Δi เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

Δj เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y



(ก) จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่นอกขอบภาพ (ข) จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ในขอบภาพ

รูปที่ 55 เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงขนานกับแกน X

จากรูปที่ 55(ก) จะได้

$$\Delta X = \Delta i - \sqrt{(R-r)^2 - (\Delta j - r)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดที่ M'(X,Y) เทียบกับ $M(X_0, Y_0)$ ดังนี้

$$X = X_0 + \Delta X$$

$$= X_0 + \Delta i - \sqrt{(R-r)^2 - (\Delta j - r)^2}$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y = Y_0 + r$$

และจากรูปที่ 55(ข) จะได้

$$\Delta X = \sqrt{(R-r)^2 - (\Delta j - r)^2} - \Delta i$$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดที่ M'(X,Y) เทียบกับ $M(X_0, Y_0)$ ดังนี้

$$X = X_0 + \Delta X$$

$$= X_0 + \sqrt{(R+r)^2 - (\Delta j + r)^2} - \Delta i$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y = Y_0 + r$$

2. เส้นตรงขนานกับแกน Y สำหรับกรณีนี้ ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 กรณี คือ จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ภายนอกขอบภาพและจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ภายในขอบภาพ ดังรูปที่ 56 กำหนดให้

M' เป็นจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดเทียบกับจุด M

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

r เป็นรัศมีของใบมีดตัด

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

Δi เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

Δj เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 56(ก) จะได้

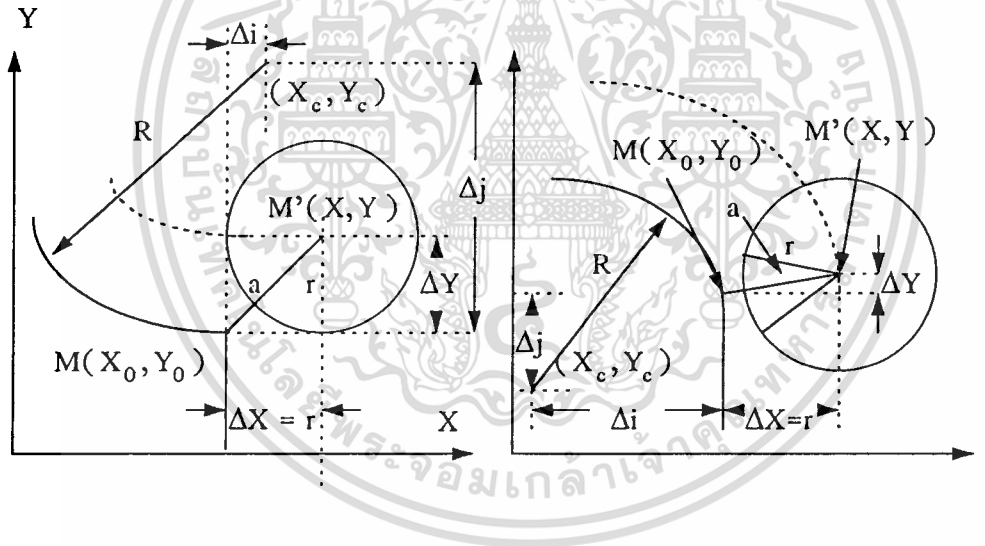
$$\Delta Y = \Delta j - \sqrt{(R-r)^2 - (\Delta i - r)^2}$$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดที่ M'(X,Y) เทียบกับ $M(X_0, Y_0)$ ดังนี้

$$X = X_0 + \Delta X = X_0 + r$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y$$

$$= Y_0 + \Delta j - \sqrt{(R-r)^2 - (\Delta i - r)^2}$$



(ก) จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่นอกขอบภาพ (ข) จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ในขอบภาพ

รูปที่ 56 เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงขนานกับแ Y

และจากรูปที่ 56(ข) จะได้

$$\Delta Y = \sqrt{(R+r)^2 - (\Delta i + r)^2} - \Delta j$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดที่ M'(X,Y) เทียบกับ $M(X_0, Y_0)$ ดังนี้

$$X = X_0 + \Delta X = X_0 + r$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y$$

$$= Y_0 + \sqrt{(R+r)^2 - (\Delta i + r)^2} - \Delta j$$

3. เส้นตรงไม่ขนานกับแกนทั้งสอง ถ้าสังเกตุลักษณะรูปแบบของเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งในระบบพิกัดแล้ว จะเห็นว่ามีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่จะขอยกตัวอย่างเพียงบางลักษณะ เช่น เส้นทางเดินของใบมีดอยู่นอกขอบภาพและเส้นทางเดินของใบมีดอยู่ในขอบภาพเท่านั้น

จากรูปที่ 57 กำหนดให้

M' เป็นจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดเทียบกับจุด M

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

r เป็นรัศมีของใบมีดตัด

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

Δi เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

Δj เป็นระยะระหว่างจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y

จากรูปที่ 57 ได้

$$\Delta X = r.\sin(\alpha)$$

$$\Delta Y = r.\cos(\alpha)$$

$$\Delta i = R.\sin(\alpha)$$

$$\Delta j = R.\cos(\alpha)$$

จากรูป (ก) (ข) จะได้จุดตัดของทางเดินของใบมีดอยู่

$$X = X_c + \Delta i + \Delta X$$

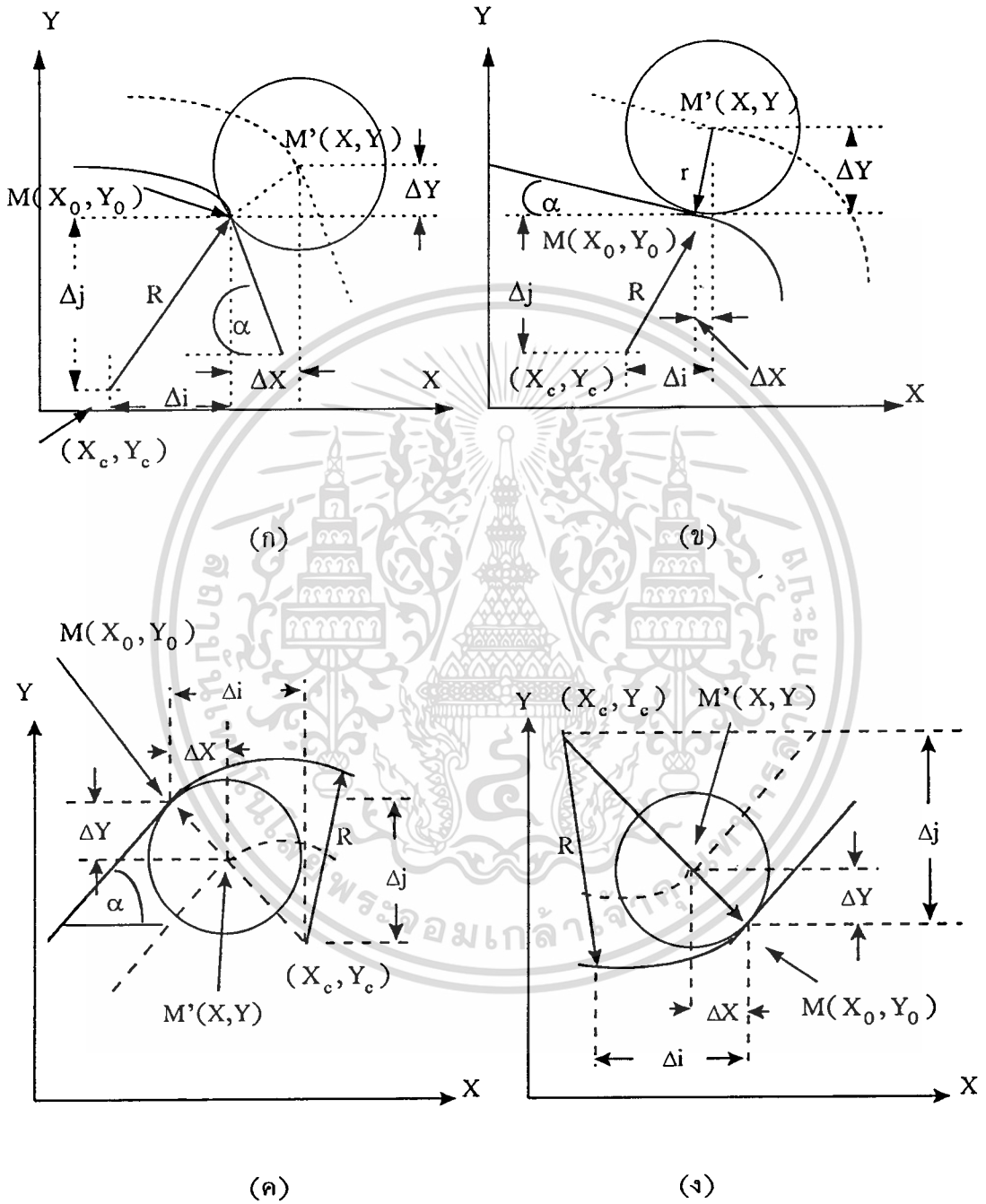
$$Y = Y_c + \Delta j + \Delta Y$$

จากรูป (ค) จะได้จุดตัดของทางเดินของใบมีดอยู่

$$X = X_c - (\Delta i - \Delta X)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = Y_c + (\Delta j - \Delta Y)$$



รูปที่ 57 เส้นตรงตัดกับเส้นโค้งและเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y โดยที่ (ก)(ข) เป็นการแสดงเส้นทางเดินของใบมีดภายนอกขอบภาพ และ (ค)(ง) เป็นการแสดงเส้นทางเดินของใบมีดภายในขอบภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

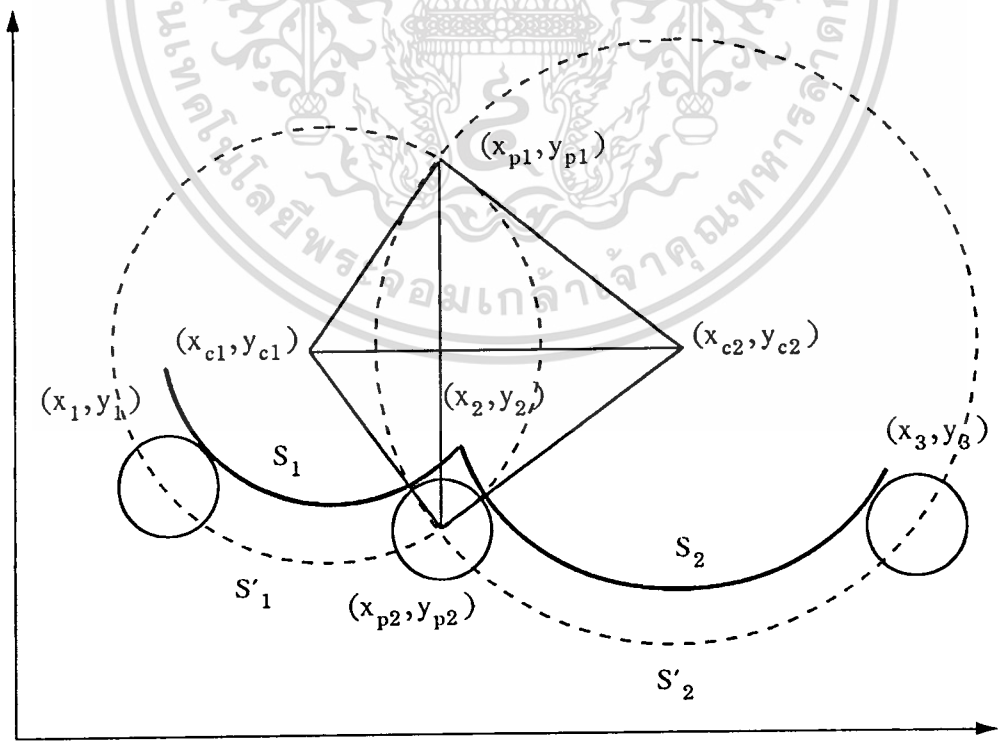
และจากรูป (ง) จะได้

$$X = X_c + (\Delta i - \Delta X)$$

$$Y = Y_c - (\Delta j - \Delta Y)$$

<u>เส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง</u>

สำหรับเส้นทางเดินของใบมีดในลักษณะเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง สามารถพิจารณาได้ดังนี้ จากรูปที่ 58 กำหนดให้



รูปที่ 58 เส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(x_{r1}, y_{r1}) และ (x_{r2}, y_{r2}) เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการกัดชิ้นงานตามเส้นโค้ง S'_1 และ S'_2 ตามลำดับ

r เป็นรัศมีของใบมีดตัด

S'_1 เป็นทางเดินของใบมีดตัดของเส้นโค้ง S_1

S'_2 เป็นทางเดินของใบมีดตัดของเส้นโค้ง S_2

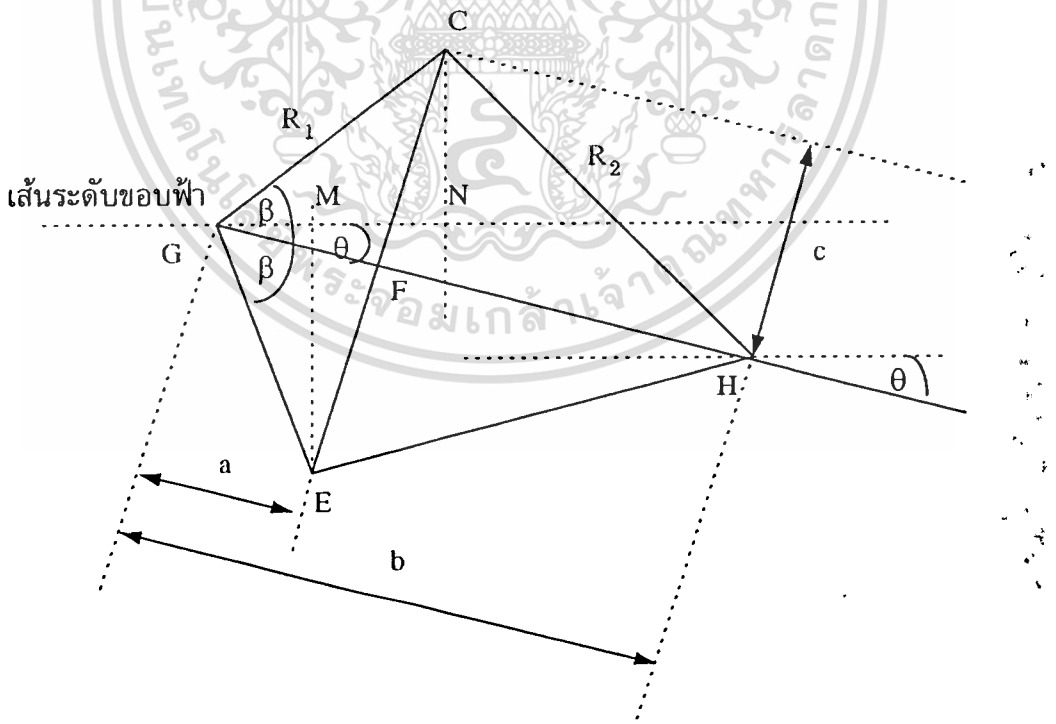
(x_{p1}, y_{p1}) และ (x_{p2}, y_{p2}) เป็นจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัด

จากรูปที่ 58 และสมการวงกลม จะได้รัศมีของเส้นโค้ง S'_1 และ S'_2 มีค่าเท่ากับ

$$R_1^2 = (x_{r1} - x_{c1})^2 + (y_{r1} - y_{c1})^2$$

$$R_2^2 = (x_{r2} - x_{c2})^2 + (y_{r2} - y_{c2})^2$$

จากคุณสมบัติของวงกลม “เมื่อวงกลม 2 วง ตัดกัน จะได้จุดตัด 2 จุด และเส้นตรงที่เชื่อมโยงระหว่างจุดตัดทั้งสองจะถูกแบ่งครึ่งและตั้งฉากกับเส้นที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสอง”



รูปที่ 59 ภาพเฉพาะส่วนของจุดตัดของวงกลม 2 วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 58 และ 59 จะได้ความยาวของ

$$GH = b = \sqrt{(x_{c1}-x_{c2})^2+(y_{c1}-y_{c2})^2}$$

ค่าความชันของ GH $= \tan(\theta) = \frac{y_{c1}-y_{c2}}{x_{c1}-x_{c2}}$

เพราะฉะนั้น $\theta = \tan^{-1}(\frac{y_{c1}-y_{c2}}{x_{c1}-x_{c2}})$ เมื่อ $x_{c1}-x_{c2} \neq 0$

เนื่องจาก $\hat{GFC} = \hat{HFC} = \hat{GME} = \hat{GNC} = 90$ ดังนั้น

จากสามเหลี่ยม GFC จะได้

$$\tan(\beta) = \frac{c}{a}$$

$$\beta = \tan^{-1}(\frac{c}{a})$$

กำหนดให้ $\alpha_1 = \beta - \theta$

$\alpha_2 = \beta + \theta$

ดังนั้นจะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดตัดคือ

$$(x_{p1}, y_{p1}) = (x_{c1} + R_1\cos(\alpha_1), y_{c1} + R_1\cos(\alpha_1))$$

$$(x_{p2}, y_{p2}) = (x_{c1} + R_1\cos(\alpha_2), y_{c1} + R_1\cos(\alpha_2))$$

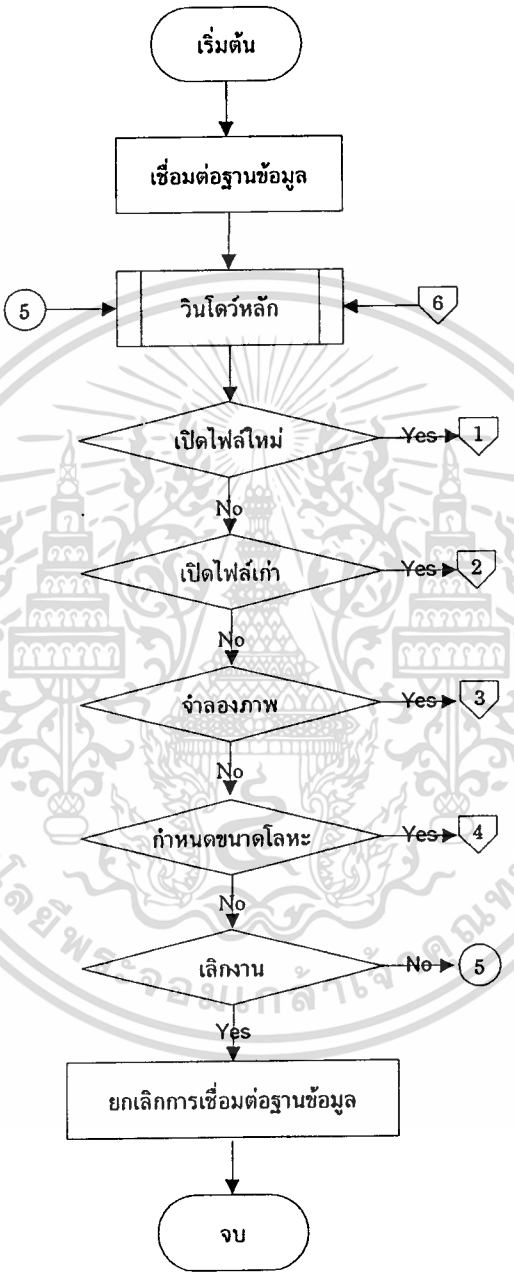
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

<u>การออกแบบโปรแกรม</u>

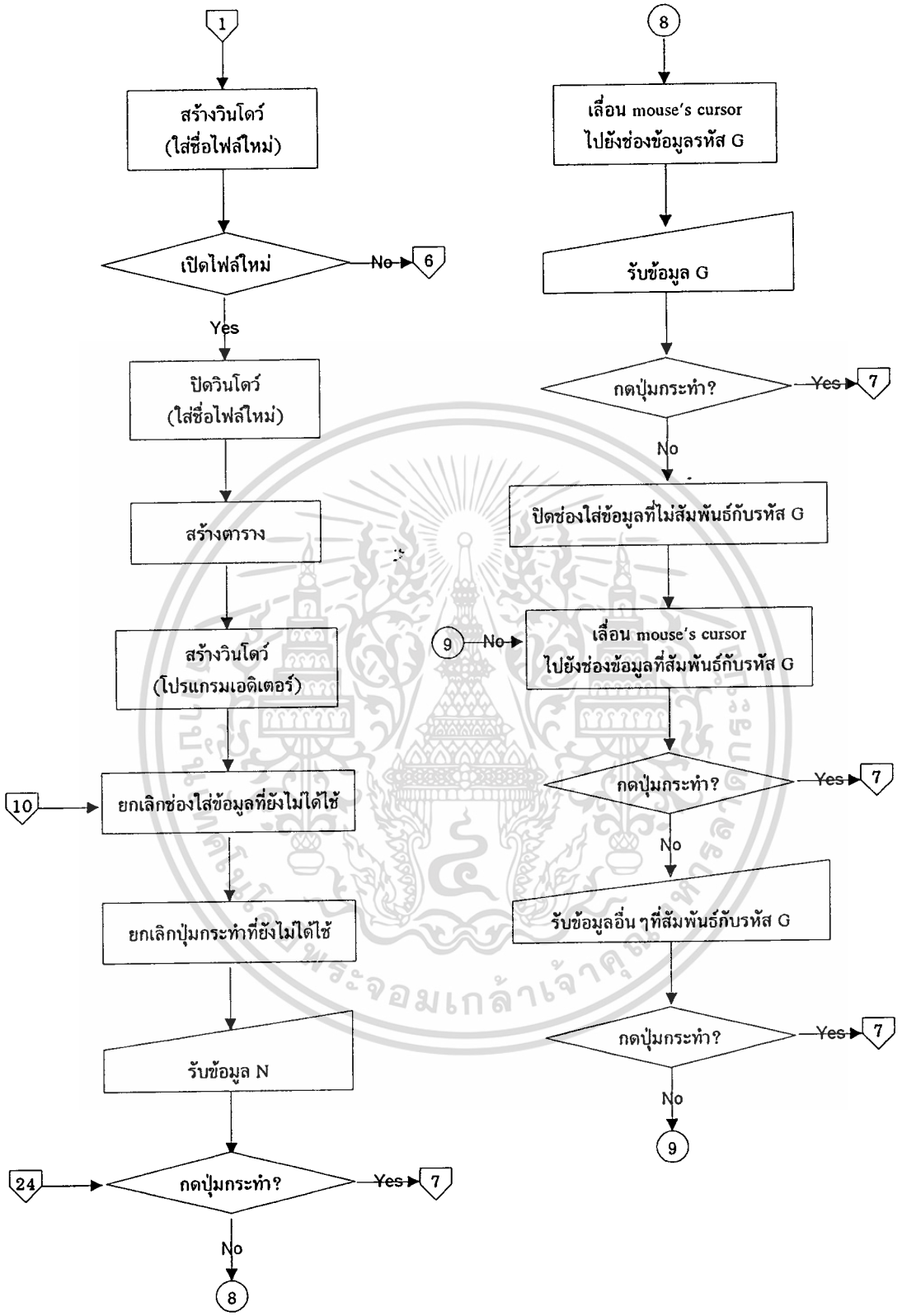
โปรแกรมถูกออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งานตามจุดประสงค์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีและส่วนของการจำลองภาพกราฟฟิก ซึ่งทั้งสองส่วนจะทำงานแบบอิสระต่อกัน กล่าวคือทั้งสองส่วนเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโปรแกรมหลัก ซึ่งมีแผนผังโปรแกรมดังรูปที่ 60 จากแผนผังโปรแกรมจะเห็นว่าเมื่อมีการเริ่มต้นโปรแกรม โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูล เนื่องจากมีการประยุกต์เอาฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์มาเก็บรหัสเอ็นซีที่ทำการเขียนขึ้น หลังจากนั้นจะทำการแสดงโปรแกรมหลัก ในส่วนของโปรแกรมหลักประกอบไปด้วยเมนูต่าง ๆ . สามารถทำงานได้ดังนี้คือ เปิดไฟล์ใหม่ เปิดไฟล์เก่า ทำการจำลองภาพ กำหนดขนาดของโลหะที่จะทำการกลึงหรือเลิกงานและทำการยกเลิกการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล สำหรับการทำงานแบบเปิดไฟล์ใหม่จะมีการทำงานเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเลือกการทำงานแบบนี้แล้ว โปรแกรมจะทำการสร้างวินโดว์ขึ้นมาเพื่อให้ใส่ชื่อโปรแกรมที่ต้องการเก็บข้อมูล หลังจากนั้นจะทำการสร้างตารางไว้เก็บข้อมูลของโปรแกรมรหัสเอ็นซีในฐานข้อมูล แล้วทำการสร้างวินโดว์สำหรับการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีและทำการปิดช่องข้อมูลที่ออกแบบเอาไว้แต่ยังไม่ได้ใช้งานในขณะนี้และเตรียมรับข้อมูลที่ช่องข้อมูล N ในวินโดว์นี้จะประกอบไปด้วยปุ่มการทำงานต่าง ๆ ดังนี้ New จะทำการลบข้อมูลเก่าออกเตรียมรับข้อมูลใหม่ Edit มีไว้สำหรับแก้ไขข้อมูลชุดคำสั่งเก่า Delete จะทำการลบข้อมูลชุดนั้นออกจากโปรแกรม Apply จะทำการเก็บข้อมูลชุดคำสั่งนั้นลงในฐานข้อมูล Save and exit ไว้สำหรับเก็บข้อมูลจากตารางข้อมูลลงในไฟล์ที่สร้างขึ้นใหม่ Exit don't save มีไว้สำหรับไม่ต้องการเก็บข้อมูลลงไฟล์ที่สร้างขึ้นและทำการย้อนกลับไปอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมก่อนมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในตาราง Help สำหรับช่วยผู้ที่ต้องการความช่วยเหลือเกี่ยวกับรูปแบบของรหัส G หลังจากมีการรับข้อมูล N แล้วโปรแกรมจะทำการรอรับข้อมูล G ที่ช่องข้อมูล G เมื่อทำการใส่ข้อมูลรหัส G เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการปิดช่องข้อมูลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับรหัส G นั้น เพื่อความสะดวกของผู้ใช้ที่จำเป็นต้องใส่ข้อมูลตามรูปแบบของรหัส G เท่านั้น หากทำการใส่ข้อมูลไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะทำการแสดงข้อความผิดพลาดและเลื่อนตำแหน่งของตัวชี้ไปยังช่องข้อมูลที่เกิดการผิดพลาดนั้น ๆ สำหรับการเปิดไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



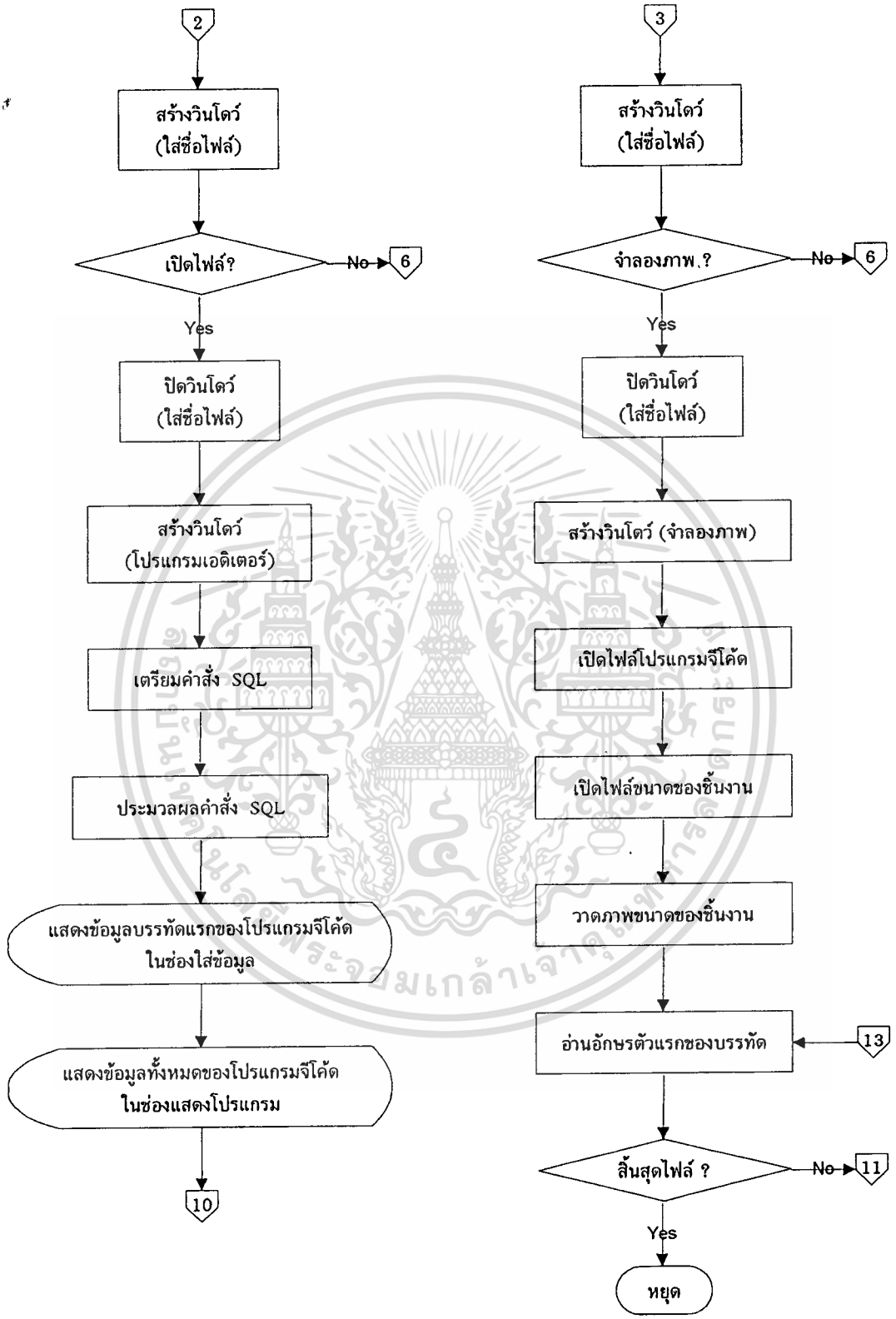
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



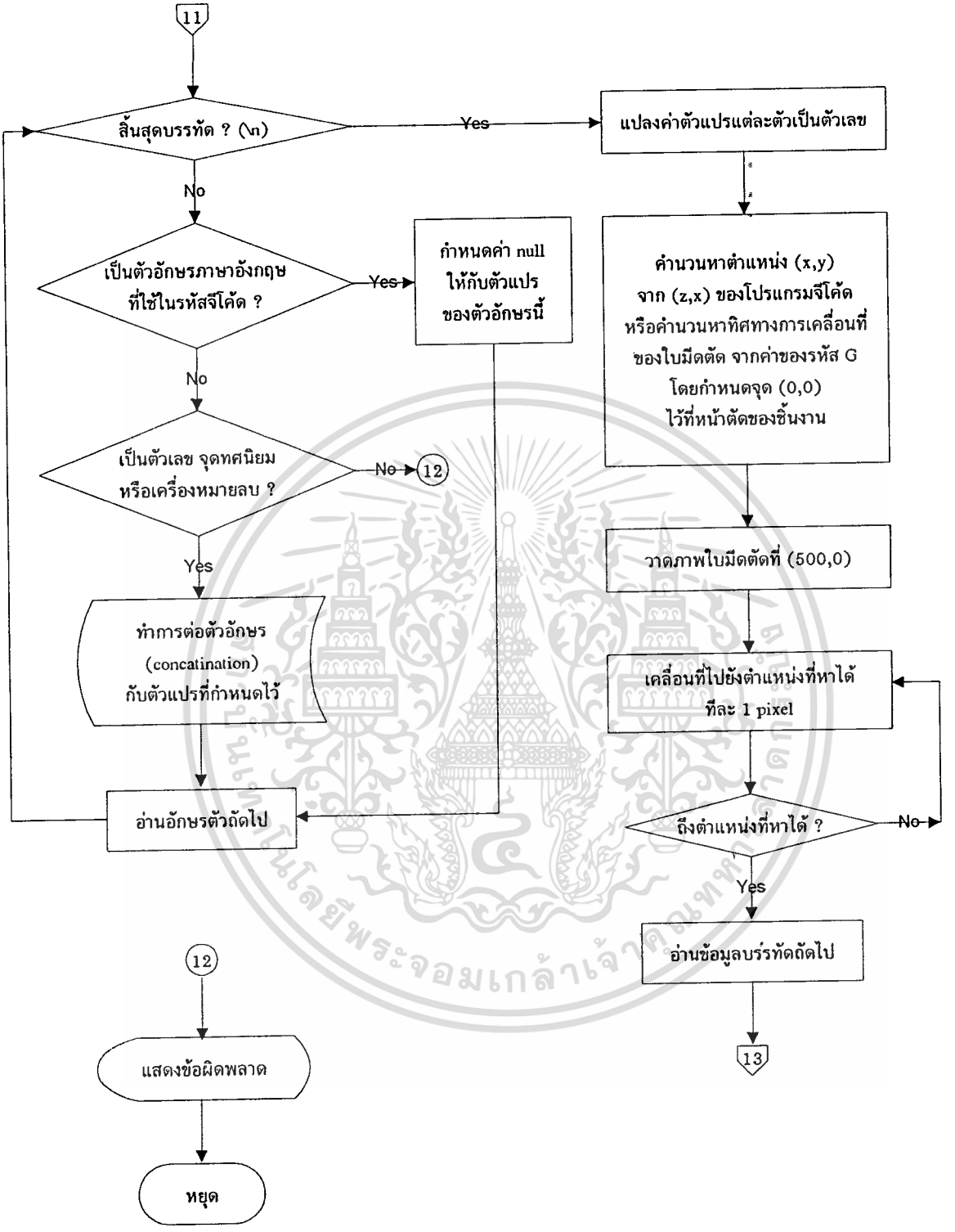
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



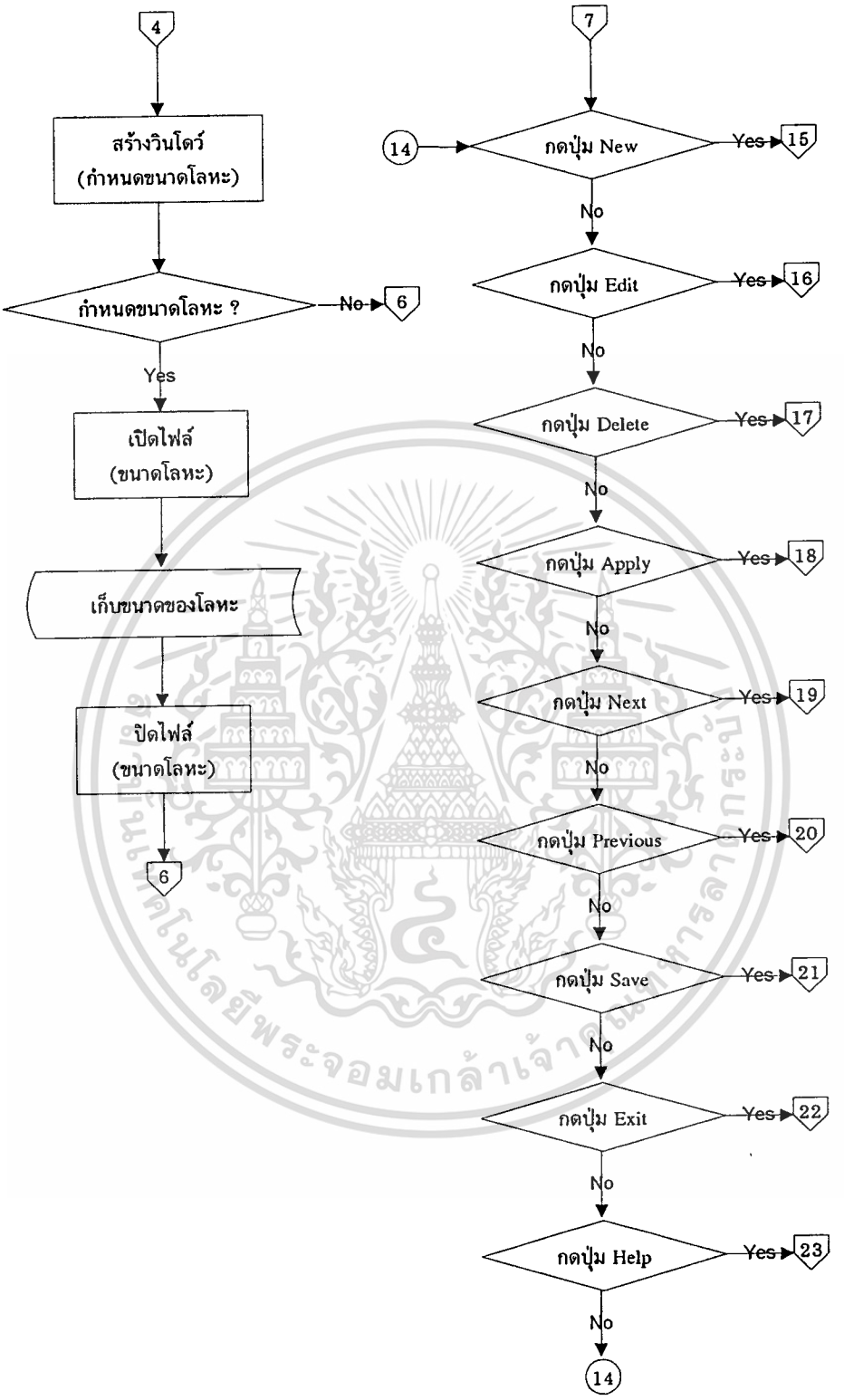
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



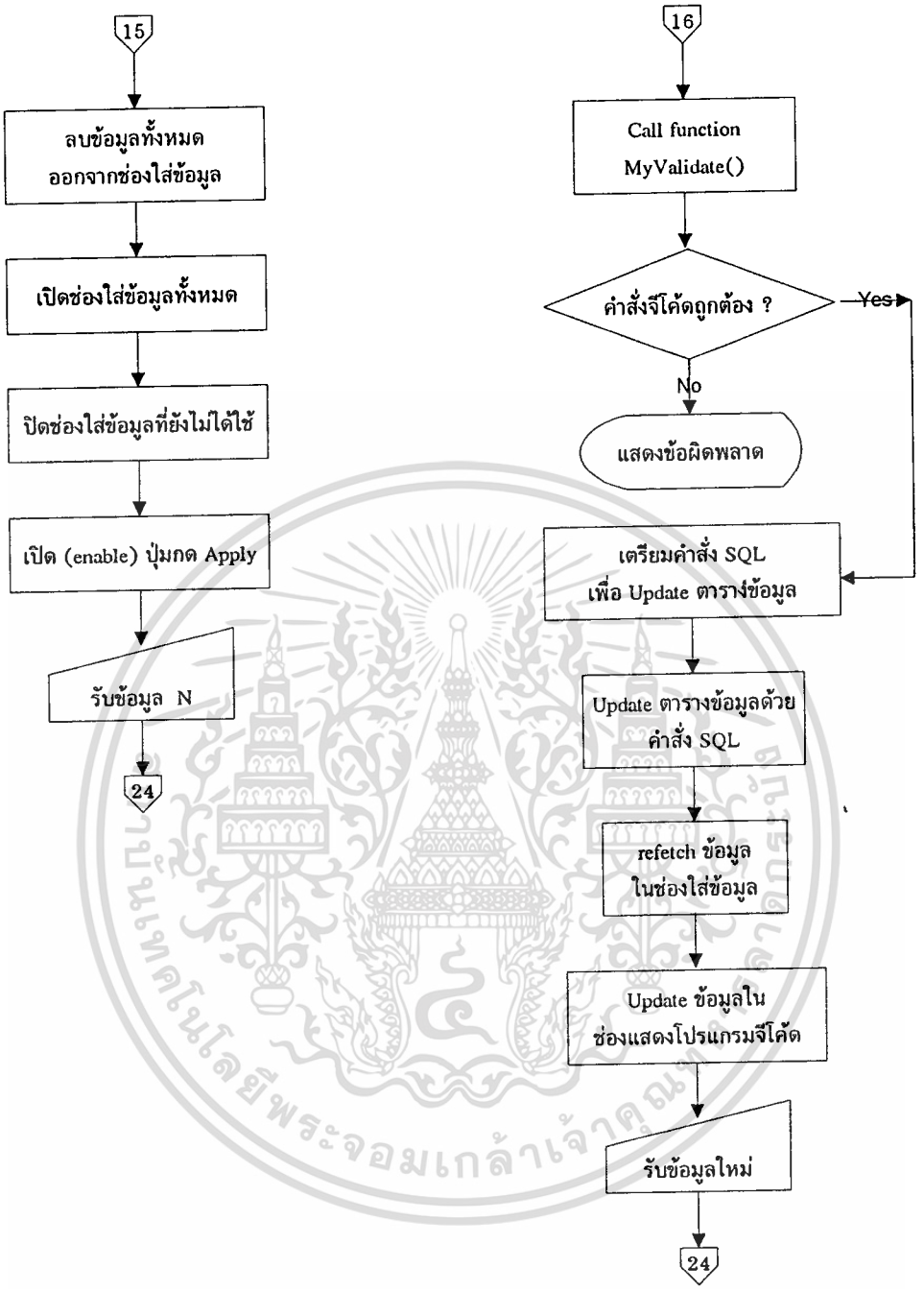
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



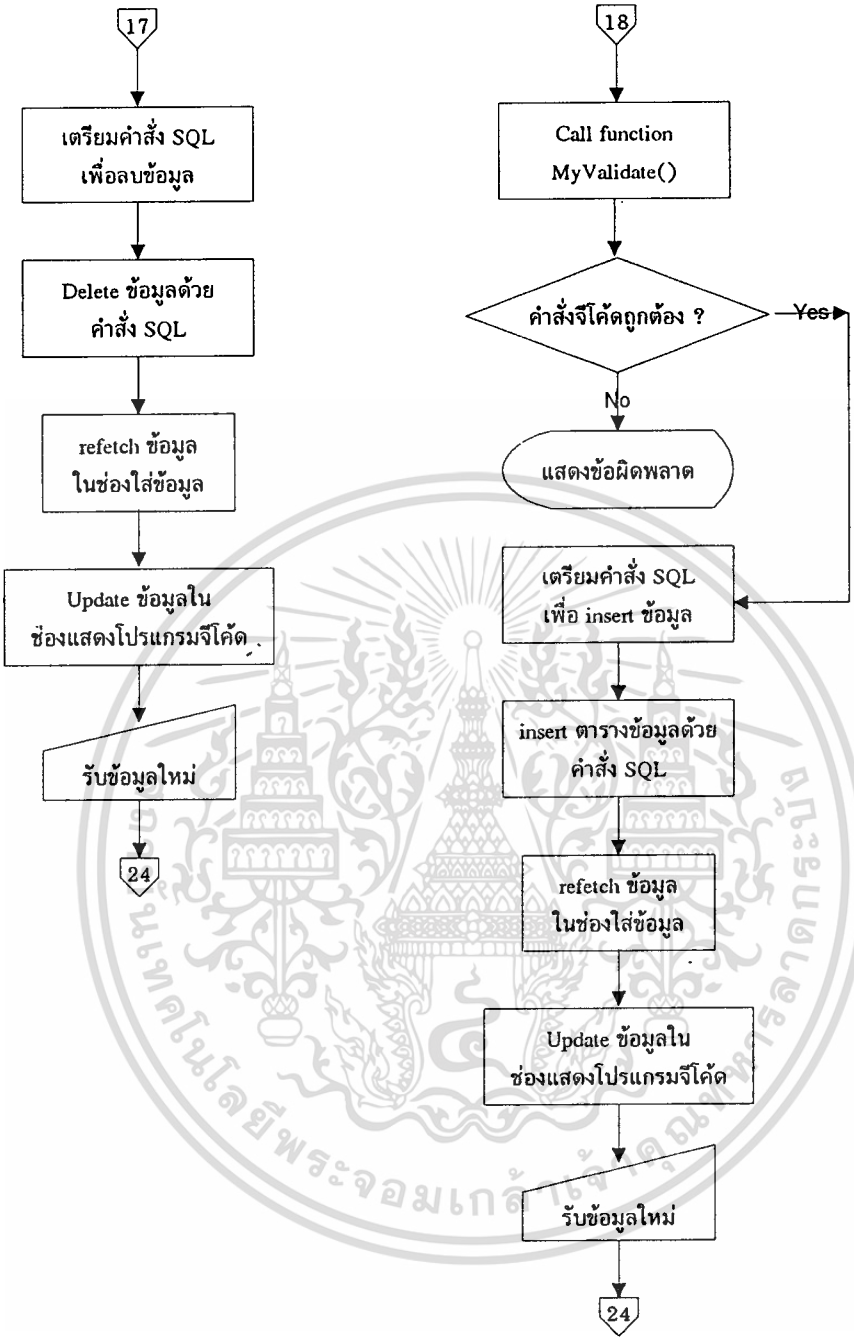
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



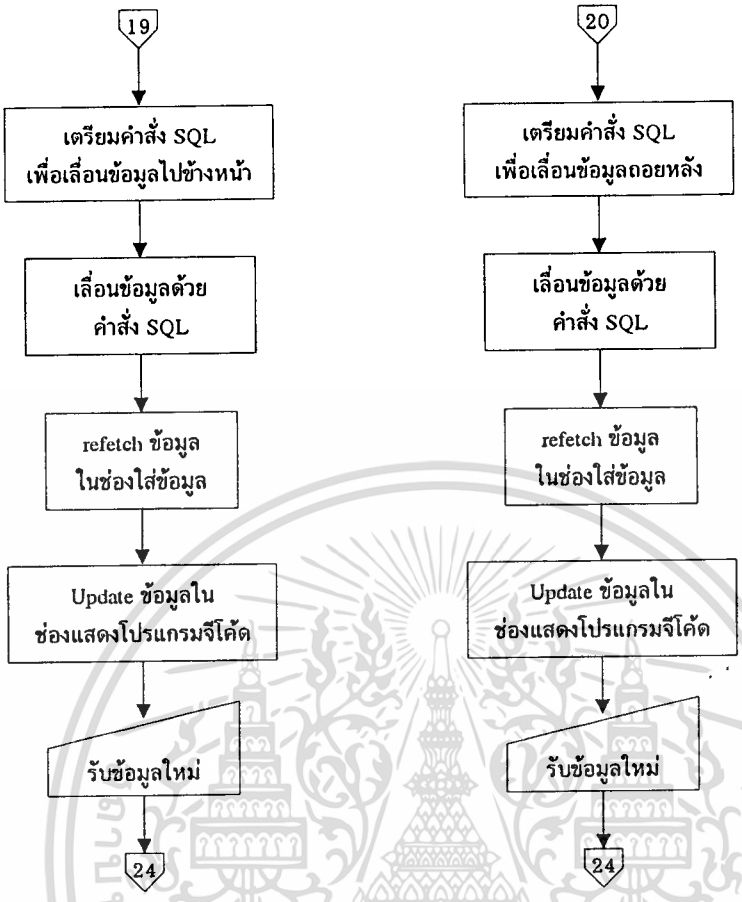
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



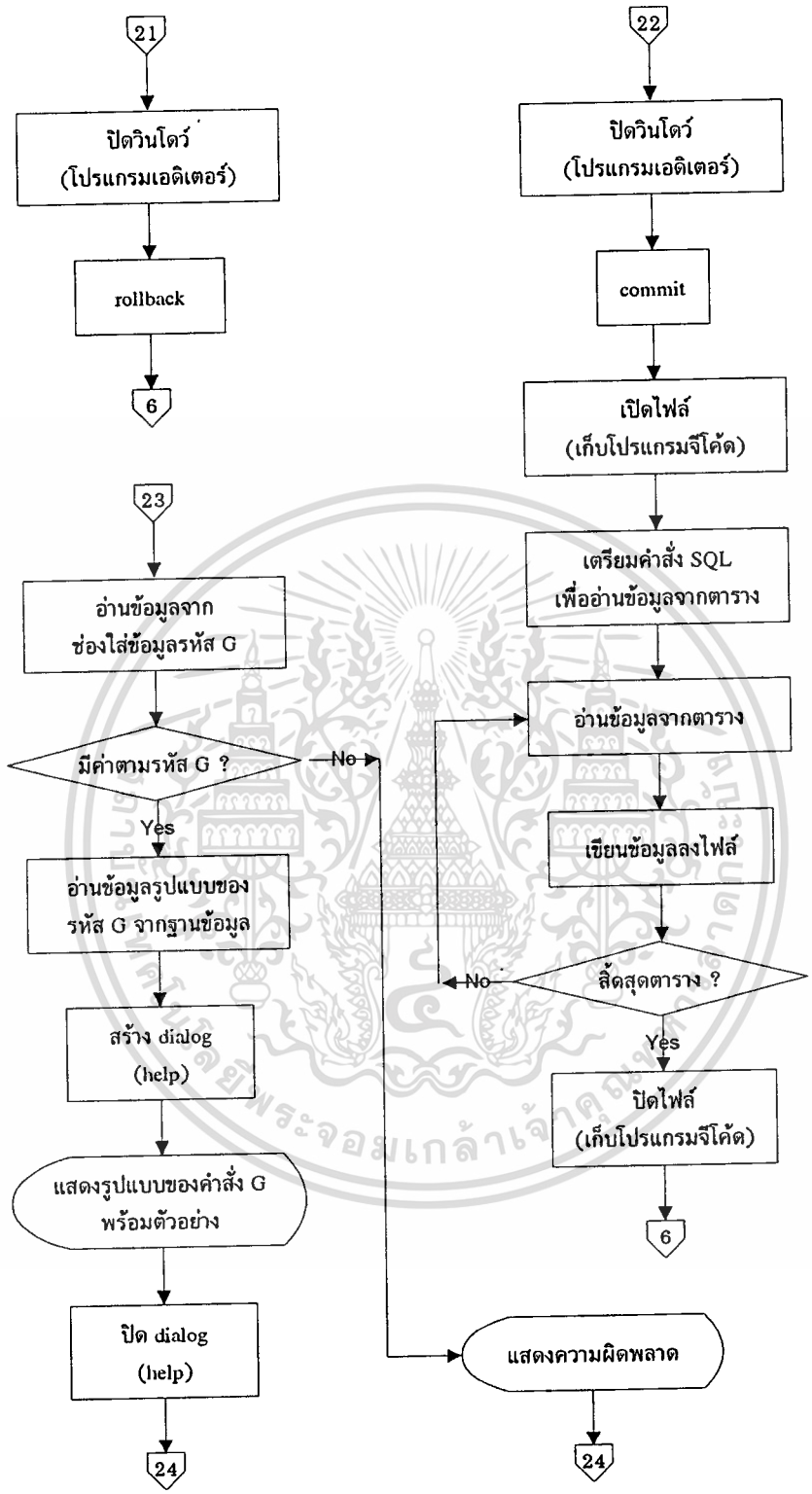
รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 60 แผนผังโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก่า โปรแกรมจะทำการสร้างวินโดว์เช่นเดียวกัน เพื่อให้ใส่ชื่อของโปรแกรมที่ต้องการเปิด หลังจากโปรแกรมนั้นจะทำการอ่านข้อมูลจากตาราง แล้วทำการแสดงโปรแกรมรหัสเอ็นซีในช่องแสดงโปรแกรม ส่วนปุ่มต่าง ๆจะทำงานเหมือนกับการเปิดไฟล์ใหม่ สำหรับการทำงานในส่วนของการจำลองภาพ ก็จะทำการสร้างวินโดว์ให้ใส่ชื่อไฟล์ของโปรแกรมรหัสเอ็นซี ที่ต้องการให้โปรแกรมทำการจำลองภาพการกัดชิ้นงานของใบมีดตัดให้ดู ก่อนทำการจำลองภาพจำเป็นจะต้องมีการกำหนดขนาดของชิ้นงานเสียก่อน โดยสามารถกำหนดในส่วนของการทำงานกำหนดขนาดของโลหะ เมื่อมีการสั่งให้โปรแกรมทำการจำลองภาพตามโปรแกรมรหัสเอ็นซีแล้ว โปรแกรมจะทำการสร้างภาพบิทแมพของปากกาจับและโลหะที่จะทำการกัด จากนั้นจะทำการเปิดไฟล์รหัสโปรแกรมเอ็นซี แล้วทำการอ่านข้อมูลทีละหนึ่งตัวอักษรจนหมดหนึ่งชุดคำสั่งของรหัสเอ็นซี ต่อจากนั้นจะทำการแปลงค่าตัวเลขที่เป็นตัวอักษรให้เป็นตัวเลข เมื่อได้ชุดคำสั่งที่มีค่าของรหัสต่าง ๆแล้ว โปรแกรมจะทำการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ โดยกำหนดไว้ที่จุด $(X_1, Y_1)=(500,0)$ ในระบบพิกัดของวินโดว์ที่สร้างขึ้น หลังจากนั้นจะกำหนดค่าเริ่มต้นของ $(x,y)= (X_1, Y_1)$ แล้วโปรแกรมจะทำการตรวจสอบชนิดของการเคลื่อนที่ หากชุดคำสั่งมีการสั่งให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง โปรแกรมจะกำหนดค่า (X_2, Y_2) ตามตำแหน่งที่ต้องการคือ

X_2 = Z + ความยาวของปากกาจับ + ความยาวของชิ้นงาน

Y_2 = 200 - X - 32

Z คือ ขนาดของแกน Z ตามระบบพิกัดของเครื่องจักรกล

X คือ ขนาดของแกน X ตามระบบพิกัดของเครื่องจักรกล

ต่อจากนั้นทำการคำนวนหาตำแหน่งทางเดินของใบมีดจากจุด (X_1, Y_1) ไปยังจุด (X_2, Y_2) ตามสมการ

$$y = mx + b$$

$$y = (Y_2-Y_1)/(X_2-X_1)x + b$$

ทำการแทนค่า (x,y) ด้วย (X_1, Y_1) จะได้ค่า b และแทนกลับลงไปในสมการเส้นตรงจะได้เส้นทางเดินของใบมีดทุก ๆจุดบนเส้นตรงนี้ แต่ในขณะที่คำนานตำแหน่งได้ในแต่ละจุดก็จะต้องทำการวาดใบมีด ณ จุดนั้น ๆ ในกรณีเดียวกันหากโปรแกรมพบว่ามีการเขียนรหัสเอ็นซีเป็นเส้นโค้ง โปรแกรมก็จะทำการกำหนดจุด (X_1,Y_1) (X_2,Y_2) และทการคำนวนหาตำแหน่งเส้นทางเดินของใบมีดตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(x-h)^2 + (y-k)^2 = r^2$$

h คือ K ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี
k คือ I ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี

ในทำนองเดียวกันแทนค่า (x,y) ด้วย (X_1,Y_1) ก็จะได้ค่า r และแทนลงในสมการก็จะได้ตำแหน่งของเส้นทางเดินเป็นเส้นโค้งตามที่ต้องการ ส่วนการทำเกลียวก็คือการดินทางแบบเส้นตรงหรือเส้นโค้ง แต่มีการทดแทนจุดต่าง ๆบนพื้นที่ของชิ้นงานด้วยสีเดียวกับสีพื้นของวินโดว์

<u>การพัฒนาโปรแกรม</u>

การพัฒนาโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของเอดิเตอร์และส่วนของการจำลองภาพ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในส่วนของเอดิเตอร์ ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมไว้ 2 รูปแบบเพื่อใช้ในการทดสอบความง่ายหรือความพอใจการใช้งานในการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี โดยโปรแกรมแรกเขียนขึ้นในลักษณะของเอดิเตอร์ทั่วไป แต่มีส่วนช่วยเหลือสำหรับช่วยผู้ใช้ให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น แต่ยังเปิดกว้างที่จะเขียนโปรแกรมอย่างไรก็ได้ กล่าวคือสามาถเขียนโปรแกรมตามรูปแบบของโปรแกรมรหัสเอ็นซีหรือผิดรูปแบบก็ได้ อีกโปรแกรมหนึ่งใช้เทคนิคการเขียนโปรแกรมแบบธุรกิจทั่วไป กล่าวคือแบ่งส่วนค่าต่าง ๆที่ใช้ในรูปแบบของรหัสโปรแกรมเอ็นซีออกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ผู้เขียนสามารถเขียนโปรแกรมเฉพาะรูปแบบที่ต้องการและต้องระบุค่าต่าง ๆให้ถูกต้องเท่านั้น สำหรับส่วนของการจำลองภาพสามารถใช้ส่วนของการจำลองภาพเดียวกัน โดยพัฒนาตามที่ออกแบบโปรแกรมเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดสอบโปรแกรมและผลการทดลอง

การทดสอบโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับทดสอบการจำลองภาพการทำงานของโปรแกรมจีโค้ด เป็นโปรแกรมที่สามารถทำงานได้บนไมโครซอฟท์วินโดว์ 95 เวอร์ชันภาษาไทย โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน แต่ละส่วนทำงานแตกต่างกันไปดังนี้

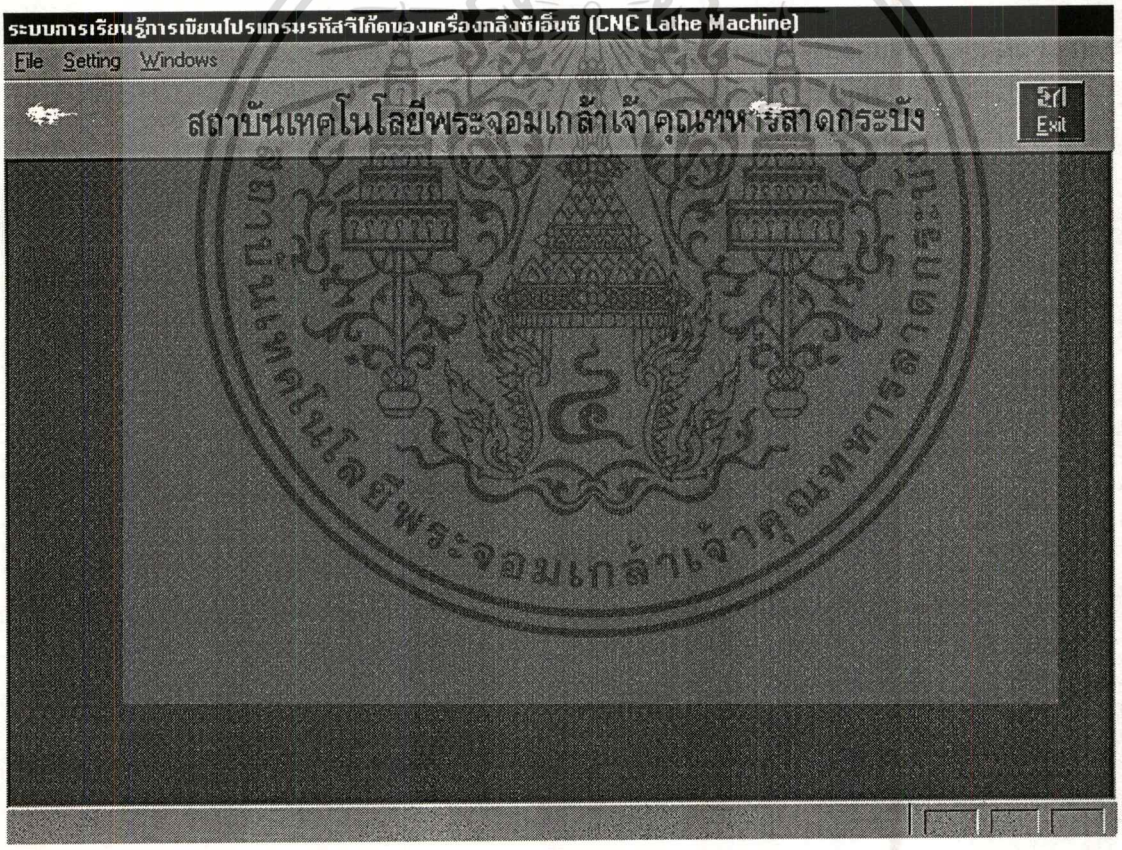
1. วินโดว์หลัก ใช้สำหรับการเปิดและกำหนดไฟล์โปรแกรมจีโค้ด ที่ต้องการทำการเขียนโปรแกรมหรือทำการทดสอบการจำลองภาพของโปรแกรมจีโค้ด นอกจากนั้นยังใช้กำหนดขนาดของชิ้นงานที่ต้องการจะทำการกลึง ดังรูปที่ 61

2. วินโดว์เอดิเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรม ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม โดยออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้เท่านั้น ไม่ใช่เอดิเตอร์ทั่วไป เนื่องจากต้องการความง่ายต่อการเขียนโปรแกรม ง่ายต่อการตรวจสอบความผิดพลาดแบบคำสั่งต่อคำสั่ง โดยอาศัยทฤษฎีของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเทคโนโลยีของเครื่องมือการเขียนโปรแกรมเข้ามาช่วย ดังนั้นการเขียนโปรแกมสามารถทำได้ง่าย โดยการใส่ข้อมูลตัวเลขลงในช่องใส่ข้อมูลแต่ละช่องตามความต้องการ แต่ควรจะทำจากบนลงล่างและซ้ายไปขวา หลังจากใส่ข้อมูลลงในช่อง G แล้วโปรแกรมจะทำการปิดช่องใส่ข้อมูลอื่น ๆที่ไม่เกี่ยวข้องทันทีดังรูปที่ 62 เพื่อให้ทำการใส่ข้อมูลที่ถูกต้องเฉพาะคำสั่งนั้น ๆเท่านั้น กด Alt+A หรือปุ่ม Apply โปรแกรมจะทำตรวจสอบรูปแบบของภาษาจีโค้ด หากทำการใส่ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับคำสั่งนั้นไม่ถูกต้อง โปรแกรมก็จะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ดังรูปที่ 63 หากใส่ข้อมูลถูกต้องโปรแกรมจะทำการแสดงคำสั่งของโปรแกรมจีโค้ดในช่องแสดงคำสั่ง นอกจากนั้นหากไม่ทราบรูปแบบของคำสั่งต่าง ๆสามารถกด F1 หรือกดปุ่ม Help โปรแกรมก็จะแสดงรูปแบบของคำสั่งนั้น ๆดังรูปที่ 64 การใส่ข้อมูลสำหรับชุดคำสั่งต่อไปให้ทำการกดปุ่ม New โปรแกรมจะทำการลบค่าต่าง ๆทั้งหมดและพร้อมรับใหม่ที่ช่อง N หากต้องการแก้ไขชุดคำสั่งใดก็เลื่อนแถบสีน้ำเงินไปที่ชุดคำสั่งนั้น โดยใช้ปุ่มลูกศร เมื่อทำการแก้ไขเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็กดปุ่ม Edit โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนชุดคำสั่งในช่องแสดงชุดคำสั่งให้ หากต้องการลบคำสั่งใดก็เลื่อนแถบสีน้ำเงินไปที่คำสั่งนั้นแล้วกดปุ่ม Delete ให้สังเกตุชุดคำสั่งในช่องแสดงชุดคำสั่งว่าถูกลบไปด้วย เมื่อใส่ข้อมูลจนครบทุกคำสั่งแล้วก็กดปุ่ม Save and exit โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลและทำการสร้างไฟล์สำหรับทำการจำลองภาพด้วย ถ้าไม่ต้องการบันทึกข้อมูลก็กดปุ่ม Don't save and exit

3. วินโดว์จำลองภาพ จะแสดงภาพการทำงานของโปรแกรมจีโค้ดที่เขียนขึ้น โดยโปรแกรมจะทำการปิดวินโดว์ทันทีที่สิ้นสุดคำสั่งของโปรแกรมจีโค้ด

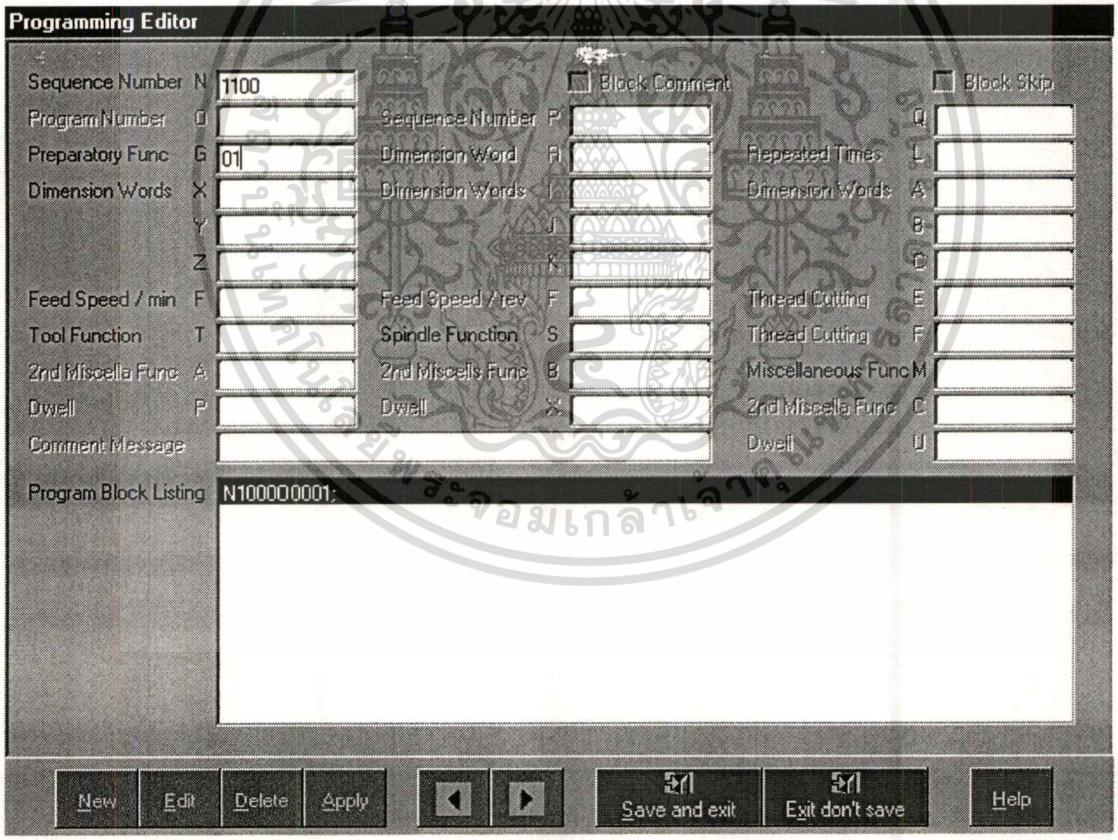


รูปที่ 61 แสดงวินโดว์หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

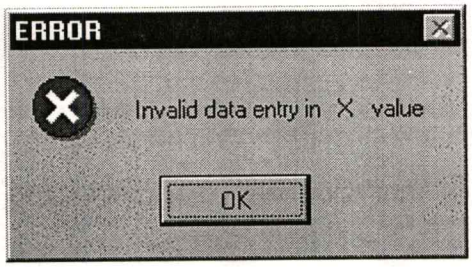
ผลการทดลอง

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อทดสอบการจำลองภาพการทำงานของโปรแกรมจีโค้ดได้กำหนดขนาดตายตัวของวินโดว์เป็น 500X460 จุด มีเส้น y = 200 ของวินโดว์นี้เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานและมีความยาวของปากจับชิ้นงานเป็น 16 จุด กำหนดจุด (0,0) อยู่ที่หน้าตัดชิ้นงาน กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดอ้างอิงอยู่ที่จุด (500,0) และขนาดของเครื่องมือตัดเป็น 16X32 จุด ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงต้องคำนึงถึงขนาดเหล่านี้ด้วย การทดสอบจำลองภาพการทำงานของโปรแกรมจีโค้ด จะทำการทดสอบตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของใบมีดตัด ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

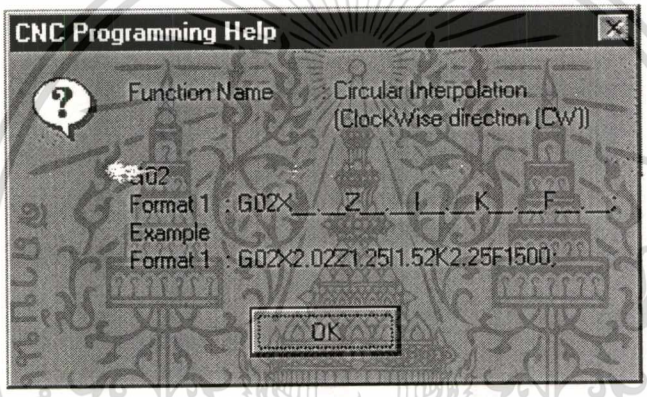


รูปที่ 62 การปิดช่องใส่ข้อมูลที่ไม่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 63 แสดงข้อความผิดพลาด



รูปที่ 64 แสดงรูปแบบของชุดคำสั่ง

1. การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง กำหนดขนาดของชิ้นงานดังนี้ ยาว 80 มิลลิเมตร รัศมี 42 มิลลิเมตร โดยมีส่วนของโปรแกรมจีโค้ดของการเคลื่อนที่แบบแอบโซลูทดังนี้

N1000G90T10;
N1050G50S2000;
N1100G00X19Z0;
N1150G96S120M3
N1200G01X21.126Z-2F0.12;
N1300G01X21.126Z-20F0.12;
N1400G01X33Z-20F0.12;
N1500G01X35.21Z-22.14F0.12;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N1600G01X35.21Z-43F0.12;

N1700G01X40Z-45F0.12;

N1750G01X42.1Z-47F0.12;

N1800G01X42.1Z-60F0.12;

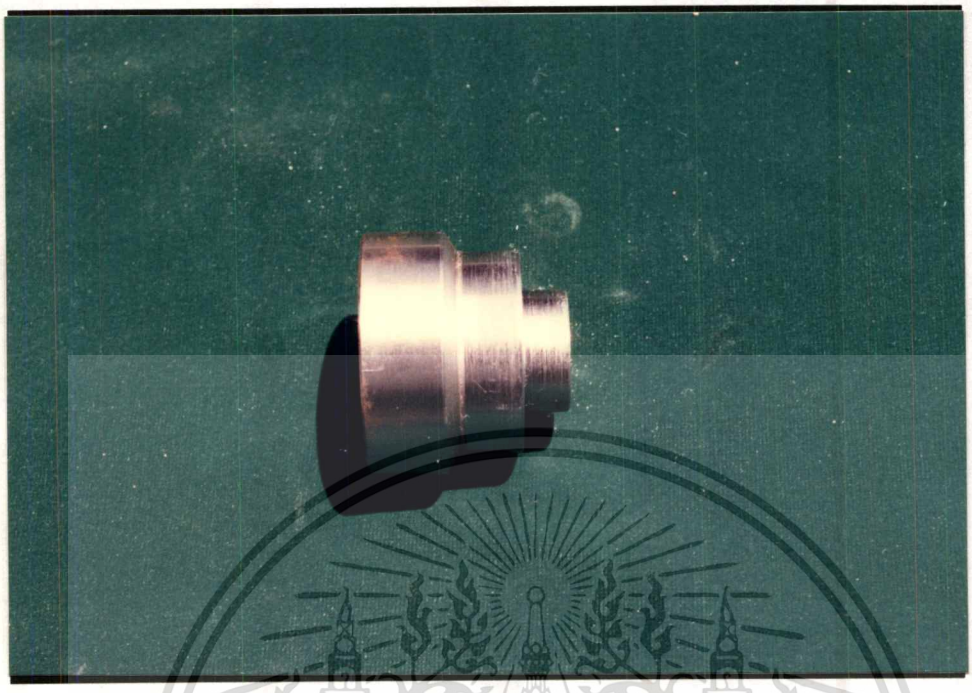
N1900G00X150Z150M5;

N2000M30;

ผลการทดลองจำลองภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นดังรูปที่ 65 และการทดสอบการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการใช้โปรแกรมรหัสเอ็นซีเดียวกันแล้ว จะได้ผลดังรูปที่ 66

รูปที่ 65 การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



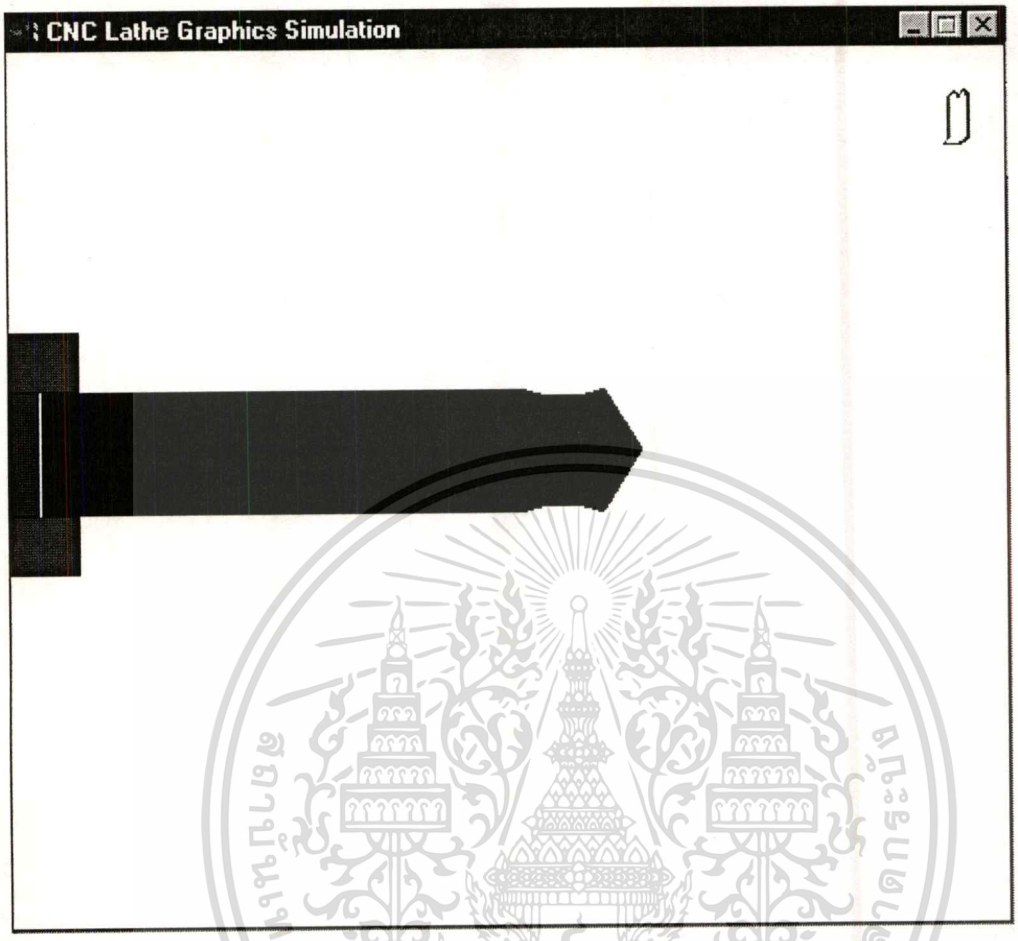
รูปที่ 66 ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

2. การเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง กำหนดขนาดของชิ้นงานดังนี้ ยาว 300 มิลลิเมตร รัศมี 31 มิลลิเมตร โดยมีส่วนของโปรแกรมจีโค้ดของการเคลื่อนที่แบบแอบโซลูทดังนี้

```
N1000G90T10;
N1050G50S1000;
N1100G96S120M3;
N1200G00X0Z0;
N1250G01X31Z-19.142F0.1;
N1300G01X31Z-37.445F0.1;
N1350G02X31Z-59.312I20K-10F.1;
N1900G00X100Z-59.312;
N2000G00X150Z150M5;
```

ผลการทดลองจำลองภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นดังรูปที่ 67 และการทดสอบการกลึงด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นดังรูปที่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 67 การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง

3. การเคลื่อนที่แบบรูปฟันปลา กำหนดขนาดของชิ้นงานดังนี้ ยาว 180 มิลลิเมตร รัศมี 60 มิลลิเมตร โดยมีส่วนของโปรแกรมจีโค้ดของการเคลื่อนที่แบบแอบโซลูทดังนี้

N1000G90T10;
N1020G96M3;
N1050G50S2000;
N1100G00X47.128Z0;
N1200G01X50Z-2.84F.1;
N1300G01X50Z-125F.1;
N1350G01X58Z-125F.1;
N1380G01X60Z-127.64F.1;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N1400G01X60Z1F.1;

N1450G00X50Z1T30;

N1500G33X50Z-92F.1;

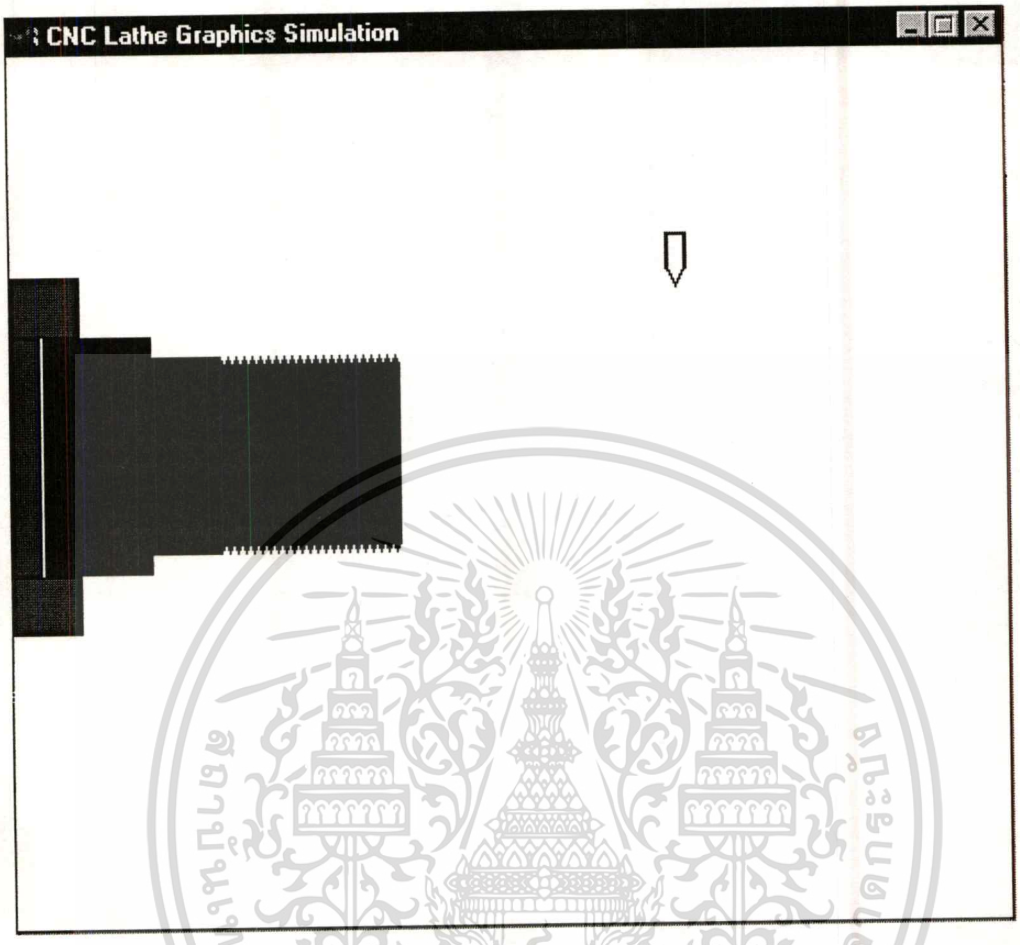
N1700G00X80Z-92M5;

N2000G00X80Z130M30;

ผลการทดลองจำลองภาพเป็นดังรูปที่ 69 และการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นดังรูปที่ 70

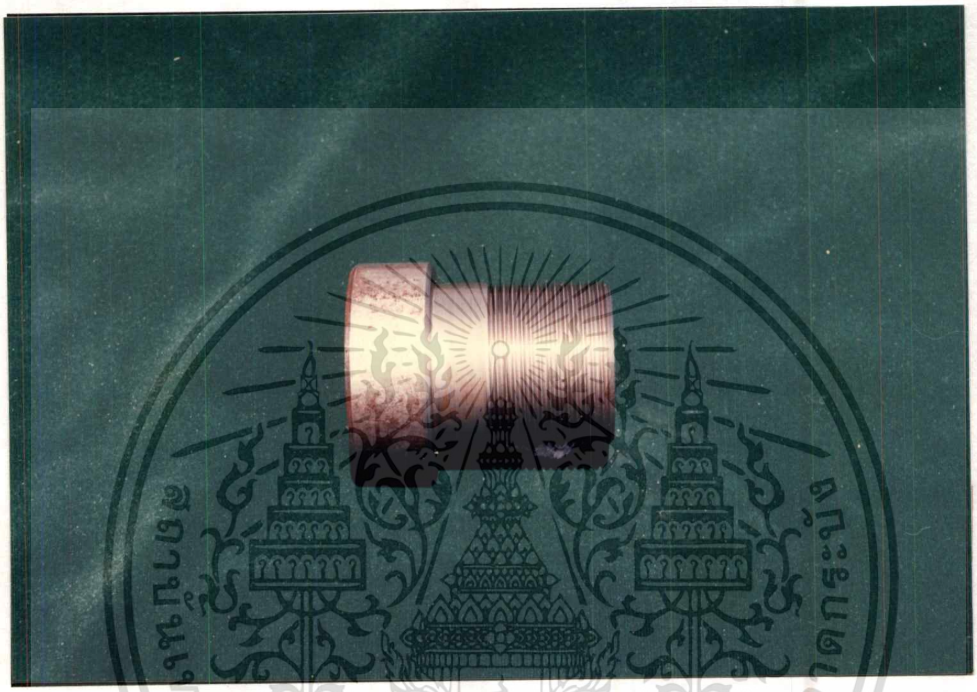
รูปที่ 68 ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 69 การจำลองภาพการเคลื่อนที่แบบรูปฟันปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 70 ผลการกลึงของเครื่องกลึงซีเอ็นซีของการเคลื่อนที่แบบรูปฟันปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

<u>สรุปผลการวิจัย</u>

จากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีและจำลองภาพการเคลื่อนที่ของใบมีดตัด รวมทั้งการกัดชิ้นงานของใบมีดตัด พบว่าโปรแกรมดังกล่าวมีข้อดีข้อเสียสรุปได้ดังนี้

1. ส่วนของการเขียนโปรแกรม ได้ทำการให้ผู้ใช้ทดลองเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีด้วยตนเองและแสดงความพึงพอในการใช้โปรแกรมนี้เปรียบเทียบกับเอดิเตอร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซีทั่วไป ในประเด็นของความยากง่ายในการใช้งาน โดยให้ทำการทดลองใช้งานจำนวน 9 คน และให้แสดงความพึงพอใจในการใช้งานออกมาเป็นคะแนน โดยให้คะแนนความพึงพอใจสูงสุดเป็น 5 สรุปผลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4

โปรแกรมที่ให้ทดลองเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี	เปอร์เซ็นต์ของความพึงพอใจ
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบน ระบบปฏิบัติการวินโดว์	97.78
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการดอส	82.22
โปรแกรมเอดิเตอร์ทั่วไปที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี	24.44

ตารางที่ 4 แสดงความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมส่วนของการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำลองภาพ จากการนำโปรแกรมรหัสเอ็นซีไปทดสอบกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีพบว่ายังมีฟังก์ชันบางฟังก์ชันของการเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซียังใช้งานได้ไม่ดีหรือยังไม่สามารถใช้งานได้ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5

ฟังก์ชัน	ความหมาย
G20	Inch input
G34	Variable lead thread cutting
G35	Circular thread cutting CW
G36	Circular thread cutting CCW
G78	Thread cutting cycle
M08	Coolant ON
M09	Coolant OFF
M98	Go to subroutine
M99	Return form subroutine

ตารางที่ 5 แสดงฟังก์ชันที่ยังใช้งานได้ไม่ดีหรือยังไม่สามารถใช้งานได้

3. ราคา จากการพัฒนาโปรแกรม เพื่อใช้ในการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมรหัสเอ็นซี พร้อมทั้งทำการจำลองภาพการทำงานของใบมีดตัด ทั้งนี้เพื่อช่วยในการลดงบประมาณในการนำเข้าเครื่องจักรกลซีเอ็นซีและซอฟแวร์ในลักษณะเดียวกันกับโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6

โปรแกรม	เอดิเตอร์	การจำลองภาพ	ระบบปฏิบัติการ	ราคา/1ผู้ใช้
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	แบบพิเศษ	2 มิติ	วินโดว์	-
WinEdit	แบบตัวอักษร	-	วินโดว์	US$199
FlashCut 5400	แบบตัวอักษร	2 มิติ	วินโดว์	US$2495
CNC Tutor	แบบตัวอักษร	2 มิติ	ดอส	US$1995

ตารางที่ 6 แสดงราคาของซอฟท์แวร์ที่มีลักษณะเดียวกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นยังมีขีดจำกัดอยู่พอสมควร และยังเป็นเพียงโปรแกรมช่วยสอนระดับเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นหากต้องการนำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้เชิงธุรกิจ ยังต้องทำการพัฒนาเพิ่มเติมอีก เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานตามภาษาโปรแกรมรหัสเอ็นซีในระดับสูงมากขึ้น การสร้างภาพกราฟฟิกให้สมจริงมากขึ้น เช่นอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด การชดเชยขนาดของใบมีด เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถสร้างภาพกราฟฟิกแบบสามมิติ เพื่อที่จะสามารถแสดงความลึกของชิ้นงานที่ถูกใบมีดตัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] จงกล งามวิวิทย์. การควบคุมเชิงตัวเลข. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533.

[2] ทศพร คล้ายอุดม. แคลคูลัสและเรขาคณิตวิเคราะห์ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2528.

[3] สมสวาท สุดสาคร และคนอื่น ๆ. แคลคูลัสและเรขาคณิตวิเคราะห์ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2527.

[4] โฆสิต ชาติคำแหง. การวิเคราะห์เวกเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2528

[5] วิรุฬห์ บุญสมบัติ. แคลคูลัส เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

[6] อนัญญา อภิชาติบุตร. แคลคูลัส เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531

[7] สุธาทิพย์ จิวัธยากูล. ระบบซอฟแวร์เพื่อการใช้งานเครื่องมือกลควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.

[8] สาโรจ พรวิจิตรจินดา. การประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์กับการควบคุมการทำงานของเครื่อง ซี เอ็น ซี. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

[9] Pollack, Herman W. and Terrance Robinson. Computer Numerical Control. United States of America : Prentice-Hall Inc., 1990.

[10] Vickers, G. W., M. Ly and R. G. Oetter. Numerically Controlled Machine Tools. Ellis Horwood Limited, 1990.

[11] Fanuc Ltd. Fanuc 10/11/12/100/110/120 T-A 11TT-A Operation's Manual, 1984

[12] Hearn, Donald and M. Pauline Baker. Computer Graphics. United States of America : Prentice-Hall Inc., 1986.

[13] Mortenson, M. E. Computer Graphics:An Introduction to the Mathematics and Geometry. United States of America : Industrial Press Inc., 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ความหมายของรหัสเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7

ฟังก์ชัน	ความหมาย
G00	Positioning
G01	Linear interpolation
G02	Circular interpolation CW
G03	Circular interpolation CCW
G04	Dwell
G07	Hypothetical axis interpolation
G07.1	Cylindrical interpolation
G09	Exact stop
G10	Data setting
G10.1	PC data setting
G10.3	High-speed machining start
G11	Data setting mode cancel
G11.3	High-speed machining end
G12.1	Polar coordinate interpolation
G13.1	Polar coordinate interpolation cancel
G17	XpYp plane selection Xp : X axis or its parallel axis
G18	ZpXp plane selection Yp : Y axis or its parallel axis
G19	YpZp plane selection Zp : Z axis or its parallel axis
G20	Inch input
G21	Metric input
G22	Store stroke check on
G23	Store stroke check off
G25	Spindle speed fluctuation detection off
G26	Spindle speed fluctuation detection on
G27	Reference point return check
G28	Reference point return
G29	Return from reference point
G30	Return to 2^{nd} , 3^{rd} , 4^{th} reference point

ตารางที่ 7 แสดงความหมายของรหัส G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ความหมาย
G30.1	Floating reference point return
G31	Skip function
G33	Thread cutting
G34	Variable lead thread cutting
G35	Circular thread cutting CW
G36	Circular thread cutting CCW or automatic tool compensation (X axis)
G37	Automatic tool compensation (z axis)
G37.1	Automatic tool compensation #1
G37.2	Automatic tool compensation #2
G37.3	Automatic tool compensation #3
G40	Tool nose radius compensation cancel
G41	Tool nose radius compensation right
G42	Tool nose radius compensation left
G50.1	Programmable mirror image cancel
G50.2	Polygonal turning cancel
G51.1	Programmable mirror image
G51.2	Polygonal turning
G52	Local coordinate system setting
G53	Machine coordinate system selection
G54	Wqrk coordinate system 1 selection
G55	Work coordinate system 2 selection
G56	Work coordinate system 3 selection
G57	Work coordinate system 4 selection
G58	Work coordinate system 5 selection
G59	Work coordinate system 6 selection
G61	Exact stop mode
G62	Automatic corner override

ตารางที่ 7 (ต่อ) แสดงความหมายของรหัส G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ความหมาย
G64	Cutting mode
G65	Macro call
G65.3	High-speed machining call command
G66	Macro modal call A
G66.1	Macro modal call B
G67	Macro modal call A/B cancel
G68	Mirror image for double turrets on
G69	Mirror image for double turrets cancel
G70	Finishing cycle
G71	Stock removal in turning
G72	Stock removal in facing
G73	Pattern repeating
G74	Peck drilling in Z axis
G75	Grooving in X axis
G76	Threading cycle
G77	Cutting cycle A
G78	Thread cutting cycle
G79	Cutting cycle B
G80	Canned cycle for drilling cancel
G81	Drilling cycle, spot boring
G82	Drilling cycle, counter boring
G83	Peck drilling cycle
G83.1	Peck drilling cycle
G84	Tapping cycle
G84.1	Counter tapping cycle
G85	Boring cycle
G86	Boring cycle
G86.1	Fine boring cycle

ตารางที่ 7 (ต่อ) แสดงความหมายของรหัส G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ความหมาย
G87	Back boring cycle
G88	Boring cycle
G89	Boring cycle
G90	Absolute command
G91	Incremental command
G92	Work coordinates change/maximum spindle speed settng
G94	Feed per minute
G95	Feed per revolution
G96	Constant surface speed control
G97	Constant surface speed control
G98	Canned cycle initial level return
G99	Canned cycle R point level return

ตารางที่ 7 (ต่อ) แสดงความหมายของรหัส G

ตารางที่ 8

ฟังก์ชัน	ความหมาย
M00	Program stop
M01	Optional stop
M02	End of program and tape rewind
M03	Spindle start CW
M04	Spindle start CCW
M05	Spindle stop
M06	Tool change
M08	Coolant ON
M09	Coolant OFF

ตารางที่ 8 แสดงความหมายของรหัส M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ความหมาย
M10	Polarity change
M11	Read X-measurement
M12	Read Y-measurement
M13	Read Z-measurement
M19	Spindle orient/stop
M21	Mirror image X
M22	Mirror image Y
M23	Mirror image OFF
M27	Reset register
M30	End of program and memory rewind
M38	Measurement correction to CNC
M41	Low range
M42	High range
M44	Center location measurement
M45	Multisurface center locations
M46	Hole center
M47	Shaft center
M48	Override cancel OFF
M49	Override cancel ON
M98	Go to subroutine
M99	Return from subroutine

ตารางที่ 8 (ต่อ) แสดงความหมายของรหัส M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9

ฟังก์ชั่น	ความหมาย
T10	Rough cutting tool
T20	Finishing tool
T30	Thread cutting
T40	Grooving tool

ตารางที่ 9 แสดงความหมายของรหัส T

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	ว่าที่ร้อยตรี วิชัย ศิวรานนท์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2507
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2531
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การโปรแกรมซีเอ็นซีด้วยการจำลองภาพกราฟฟิกแบบโต้ตอบ
ประสบการณ์ทำงาน	โปรแกรมเมอร์ บริษัท ฮอนด้า แมนูแฟกเจอริง จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 ถึงปี พ.ศ. 2532 โปรแกรมเมอร์ ธนาคารกรุงไทย จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ถึงปี พ.ศ. 2534 วิศวกรระบบคอมพิวเตอร์ บริษัท ยูนิค ซอฟแวร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงปี พ.ศ. 2538 ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัท จักรวาล คอมมูนิเคชัน ซีสเท็มส์ จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้