สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบซอฟท์แวร์เพื่อการใช้งานเครื่องมือกลควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

A Software System for Operating CNC Machine by Personal Computer

นางสาวสุธาทิพย์ จิวัธยากูล

Miss. SUTHATIP CHIWATTAYAKUL

T019341

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์

ADVISOR

ASSISTANT PROFESSOR DR.RUTTIKORN VARAKULSIRIPUNTH

เลขหมู่
เลขทะเบียน 19341
วัน, เดือน, ป ส.ค. 253

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-8158-66-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบซอฟท์แวร์เพื่อการใช้งานเครื่องมือกลควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
ผู้วิจัย	นางสาวสุธาทิพย์ จิวัธยากูล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2536

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำเครื่องจักรกลมาใช้ในขบวนการผลิต ที่มีการทำงานภายใต้การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีโปรแกรมซอฟท์แวร์ของเครื่องคอยออกคำสั่งให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์บังคับส่วนประกอบของเครื่องจักรกล ให้ทำงานเป็นขั้นตอนที่กำหนดไว้ตามความต้องการ โปรแกรมซอฟท์แวร์ดังกล่าวนี้จะเป็นการโปรแกรมระบบควบคุมเชิงตัวเลขที่มีรูปแบบพิเศษแตกต่างไปจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป ทำให้การเขียนโปรแกรมประเภทนี้ให้กับเครื่องจักรกลโดยตรงเพื่อการผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้าง หรือรูปร่างยุ่งยากนั้นเป็นไปด้วยความลำบากต้องอาศัยความชำนาญสูง ตลอดจนต้องใช้เวลาและความพยายามอย่างมากในการแก้ไขโปรแกรม เมื่อเกิดความผิดพลาดได้ชิ้นงานไม่ตรงตามความต้องการ

บทความวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางแก้ไขด้วยการนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มาเป็นส่วนสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่องจักรกล โดยการวิจัยและพัฒนาสร้างระบบซอฟท์แวร์ที่ออกแบบภาพชิ้นงานขั้นต้นด้วยโปรแกรมวาดแบบ ที่ผู้ใช้สามารถสร้างต้นแบบของชิ้นงานได้ตามความต้องการ หลังจากนั้นระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัยจะทำการแปลงข้อมูลภาพกราฟฟิกของชิ้นงานให้เป็นข้อมูลระบบเชิงตัวเลข แล้วนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานควบคุมเครื่องจักรกลต่อไป โดยโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นได้จะมีรูปแบบเหมือนโปรแกรมควบคุมเครื่องจักรกลโดยปกติทุกประการ และจะทำการส่งโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นนี้ให้กับส่วนควบคุมของเครื่องจักรกลโดยตรง ผ่านทางพอร์ตสื่อสารมาตรฐานสากล RS 232C ภายหลังการผลิตแต่ละครั้งถ้าได้ชิ้นงานไม่ตรงตามความต้องการก็สามารถแก้ไขที่ต้นแบบภาพชิ้นงาน หรือตัวแปรต่างๆได้โดยตรงที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แล้วทำการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานควบคุมส่งให้เครื่องจักรกลใหม่ได้ ด้วยวิธีการเช่นนี้จะทำให้สะดวกต่อการใช้งานและเกิดความรวดเร็วในการผลิตชิ้นงาน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของการใช้งานเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้สูงขึ้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Software System for Operating CNC machine by Personal Computer
Author	Miss. Suthatip Chiwattayakul
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Ruttikorn Varakulsiripunth
Graduate Level	Master of Engineering in Electrical Engineering
Academic Year	1993

Abstract

Nowadays, the automatic electronic controlled machines are widely introduced into production processing in various industries. The processing movements of the machine are depended on electronic circuits which controlled by programming software. This programming software is based on numerical control (NC) system which has a very special structure when comparing with others computer programming languages. Therefore, it is very hard and necessary to have a higher skills in order to build this kind of control program for the processing of products that have very complicated structures or patterns. Moreover, it is also difficult to correct or improve such programming software when the production's results are not satisfied.

In our research, we have presented an approach to overcome these problems by applying a personal computer as a controlling part of the machine. We have researched and developed a software system which users can design the desired prototype of products by using a graphic drawing program. Our software system will change the graphic data into numerical data and compile them into numerical control program for the machine. This compiled program will have the same structure with the above-mentioned machine's control program. The compiled control program will be sent directly to the control parts of machine via the standard communication port RS 232C. Whenever, the production's results are not satisfied, we can improve easily by correcting the graphic prototype of product or some parameters directly at personal computer and then compiling into control program and sending to the machine again. According to this procedure, it is very convenient and saves time for production. Also, we will achieve a high performance and quality of using these automatic machines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	2
Abstract	3
สารบัญ	4
บทที่ 1 บทนำ	11
1.1 ที่มาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	11
1.2 ขั้นตอนการออกแบบซอฟท์แวร์ของระบบ	12
1.2.1 ส่วนของการรับข้อมูล	13
1.2.2 ส่วนของการวิเคราะห์ การสร้าง และการแปลงข้อมูล	13
1.2.3 ส่วนของการส่งข้อมูล	14
1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	14
บทที่ 2 พื้นฐานของเครื่อง CNC	16
2.1 บทนำ	16
2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง CNC โดยทั่วไป	17
2.2.1 ส่วนของคำสั่งที่อยู่ในรูปโปรแกรมสั่งงาน	19
2.2.2 ส่วนควบคุม	22
2.2.3 ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน	22
2.3 การทำงานของเครื่อง CNC	23
2.3.1 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ	24
2.3.1.1 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด	24
2.3.1.2 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง	25
2.3.1.3 การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นรูปโค้งหรือเส้นต่อเนื่อง	26
2.3.2 รูปแบบการวัดระยะทางการเคลื่อนตำแหน่งของเครื่องมือ	26
2.3.2.1 แบบกำหนดตำแหน่งสมบูรณ์	27
2.3.2.2 แบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม	27
2.3.3 รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ	28
2.3.4 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน	28
2.4 คำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในโปรแกรมสั่งงาน	29
2.4.1 คำสั่งให้เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว	29
2.4.2 คำสั่งให้ตัดตามแนวเส้นตรง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 คำสั่งตัดตามแนวเส้นโค้งในทิศตามเข็มนาฬิกา 31
2.4.4 คำสั่งตัดตามแนวเส้นโค้งในทิศทวนเข็มนาฬิกา 31
2.5 การประยุกต์ใช้ซอฟท์แวร์ช่วยสร้างโปรแกรมสั่งงาน 33
2.5.1 ส่วนการกำหนดข้อมูลให้กับซอฟท์แวร์ 33
2.5.2 ส่วนการแปลงข้อมูล 34
2.6 วิธีการสร้างโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC 34
2.6.1 ตัวอย่างการสร้างโปรแกรมสั่งงาน 34
2.6.2 โครงสร้างของโปรแกรมสั่งงาน 51
2.7 สรุป 52
บทที่ 3 การสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลภาพของโปรแกรมวาดแบบ 53
3.1 บทนำ 53
3.2 รูปแบบข้อมูลของโปรแกรมวาดแบบ 54
3.2.1 เส้นตรง 55
3.2.2 เส้นโค้ง 58
3.2.3 วงกลม 61
3.2.4 เส้นต่อเนื่อง 64
3.3 การสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลภาพชิ้นงาน 71
3.3.1 ขั้นตอนการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น 72
3.3.1.1 การหาจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่อง 74
3.3.1.2 การคำนวณหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะ 74
3.3.1.3 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนโค้งของเส้นต่อเนื่อง 75
3.3.1.4 การคำนวณหารจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อมูลภาพวงกลม 78
3.3.2 การเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้น 80
3.4 สรุป 83
บทที่ 4 การสร้างชุดคำสั่งลำดับที่ 2 เพื่อการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC 85
4.1 บทนำ 85
4.2 การกำหนดลำดับการทำงานของอุปกรณ์เครื่อง CNC 86
4.2.1 การคำนวณหาลำดับการทำงานของใบมีด 86
4.2.1.1 การคำนวณหาตำแหน่งการเซาะรอบในและรอบนอกของเส้นขอบภาพชิ้นงาน 87
4.2.1.2 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นตรงต่อกับเส้นตรง 94
4.2.1.3 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งหรือเส้นโค้งต่อกับเส้นตรง 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 4 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง 101
4.3 รูปแบบของชุดคำสั่งลำดับที่ 2 104
4.4 การเรียงชุดคำสั่งลำดับที่ 2 104
4.5 สรุป 106
บทที่ 5 การเตรียมข้อมูลจากรูปแบบของการผลิตชิ้นงาน 108
5.1 บทนำ 108
5.2 แบบงานเจาะ 108
5.3 แบบงานกัด 110
5.3.1 งานเซาะร่อง 110
5.3.2 งานเดินขอบ 112
5.3.3 งานบ่าดหน้า 113
5.3.4 งานกัดหลุม 114
5.3.4.1 แบบซิกแซก 114
5.3.4.2 แบบวงกลม 119
5.4 การ offset เครื่องมือ 123
5.5 สรุป 124
บทที่ 6 การสร้างซอฟท์แวร์เพื่อแปลงข้อมูลภาพชิ้นงานเป็นโปรแกรมสั่งงาน 125
6.1 บทนำ 125
6.2 โครงสร้างของซอฟท์แวร์ 125
6.2.1 ส่วนรับข้อมูล 128
6.2.2 ส่วนคำนวณ 132
6.2.3 ส่วนการแปลงโปรแกรมสั่งงาน 132
6.2.3.1 ส่วนหัวโปรแกรม 133
6.2.3.2 ส่วนโครงสร้างของภาพ 133
6.2.3.3 ส่วนปิดท้ายโปรแกรม 136
6.2.4 ส่วนทดสอบข้อมูล 137
6.3 การใช้งานซอฟท์แวร์ 137
6.4 ตัวอย่างการแปลงรูปภาพชิ้นงานเป็นโปรแกรมสั่งงาน 141
6.4.1 ตัวอย่างงานเจาะ 142
6.4.2 ตัวอย่างงานเซาะร่อง 145
6.4.3 ตัวอย่างงานเดินขอบ 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.4 ตัวอย่างงานกัดหลุม 154
6.5 สรุป 164
บทที่ 7 การทดสอบโปรแกรมสั่งงานกับเครื่องกัด 165
7.1 บทนำ 165
7.2 การเชื่อมต่อเครื่องกัดกับเครื่อง PC 165
7.3 ขั้นตอนการส่งโปรแกรมสั่งงาน 167
7.3.1 การเตรียมเครื่อง CNC ให้พร้อมสำหรับการรับข้อมูล 167
7.3.1.1 ขั้นตอนการตั้งเครื่องให้สามารถรับข้อมูลผ่านสายนำสัญญาณ 167
7.3.1.2 ขั้นตอนการรับข้อมูลเข้า 168
7.3.2 การส่งโปรแกรมสั่งงานด้วยโปรแกรม QMODEM 169
7.3.3 การสั่งให้เครื่อง CNC ทำงาน 169
7.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมสั่งงาน 169
7.4.1 การทดสอบตัวอย่างโปรแกรมสั่งงาน 169
7.4.2 ผลการทดลอง 173
7.5 สรุป 173
บทที่ 8 บทสรุป 175
8.1 สรุปผลและวิเคราะห์การทำงานของซอฟท์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกัด 175
8.2 ข้อเสนอแนะ 176

กิตติกรรมประกาศ 177
หนังสืออ้างอิง 178
ภาคผนวก ก. 180
ภาคผนวก ข. 184
ภาคผนวก ค. 195
ภาคผนวก ง. 210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 Block diagram ของระบบ 12
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาระบบซอฟท์แวร์ของงานวิทยานิพนธ์ 15
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับระบบ NC และ CNC 16
รูปที่ 2.2 การควบคุมเครื่องจักรในระบบ CNC ทั่วไป 17
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องจักรในระบบ CNC 18
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของเครื่อง CNC โดยทั่วไป 18
รูปที่ 2.5 การสร้างและป้อนโปรแกรมชุดคำสั่งให้กับเครื่องจักร CNC 21
รูปที่ 2.6 การส่งสัญญาณควบคุมจาก MCU ไปยังส่วนเครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆของเครื่อง CNC 23
รูปที่ 2.7 ระบบพิกัดของ NC machine tool 24
รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบ Point To Point 25
รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบ Straight Cut 25
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่แบบ Contour 26
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์และส่วนเพิ่ม 27
รูปที่ 2.12 การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์กับการกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม 27
รูปที่ 2.13 ลักษณะการสร้างชิ้นงาน 28
รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของคำสั่ง G00 30
รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของคำสั่ง G01 30
รูปที่ 2.16 แสดงการทำงานของคำสั่ง G02 31
รูปที่ 2.17 แสดงการทำงานของคำสั่ง G03 32
รูปที่ 2.18 แสดงคำสั่งของ Spindle speed และ Feed rate 32
รูปที่ 2.19 แสดงข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างโปรแกรมสั่งงาน 33
รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งเส้นทางเดินของเครื่องมือ 34
รูปที่ 2.21 แบบภาพชิ้นงาน 35
รูปที่ 2.22 แบบชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแล้ว 36
รูปที่ 2.23 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง I กับเส้นโค้ง A 37
รูปที่ 2.24 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง A กับเส้นโค้ง B 38
รูปที่ 2.25 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง B กับเส้นโค้ง C 39
รูปที่ 2.26 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง C กับเส้นโค้ง D 40
รูปที่ 2.27 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง D กับเส้นโค้ง E 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง E กับเส้นโค้ง F 42
รูปที่ 2.29 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง F กับเส้นโค้ง G 43
รูปที่ 2.30 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง G กับเส้นโค้ง H 44
รูปที่ 2.31 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง H กับเส้นโค้ง I 45
รูปที่ 2.32 แสดงตำแหน่งของใบมีดที่คำนวณได้ 46
รูปที่ 3.1 รูปแบบการเก็บส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพในโปรแกรมวาดแบบ AutoCAD 54
รูปที่ 3.2 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นตรงของโปรแกรมวาดแบบ 56
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นตรง 57
รูปที่ 3.4 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นโค้งของโปรแกรมวาดแบบ 59
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นโค้ง 60
รูปที่ 3.6 รูปแบบการเก็บข้อมูลวงกลมของโปรแกรมวาดแบบ 61
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลภาพวงกลม 62
รูปที่ 3.8 การแบ่งข้อมูลภาพวงกลมออกเป็น 4 เส้นที่มีขนาดเท่ากัน 63
รูปที่ 3.9 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่องของโปรแกรมวาดแบบ 66
รูปที่ 3.10 รูปแสดงการคำนวณหาค่าความนูน (BULGE) ของส่วนโค้ง 67
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่อง 70
รูปที่ 3.12 แสดงภาพเส้นโค้งโดยเฉพาะ 74
รูปที่ 3.13 รูปการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลางของส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่อง 76
รูปที่ 3.14 วิธีการคำนวณหาจุด (X_S,Y_S) และ (X_E,Y_E) ให้คำสั่งเริ่มต้น ARC จากข้อมูลภาพวงกลม 79
รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้น 83
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของการเซาะร่องแบบภายนอกและภายใน 88
รูปที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์เส้นทางภายนอกและภายในของขอบชิ้นงาน 89
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเส้น OA กับ OB 89
รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของใบมีดเทียบกับเส้น OA และ OB 91
รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งของใบมีดเทียบกับทิศทางของการเคลื่อนที่ 93
รูปที่ 4.6 ลักษณะของเส้นทางเดินของใบมีดกรณีเส้นตรงต่อกับเส้นตรง 95
รูปที่ 4.7 ลักษณะของเส้นทางเดินของใบมีดกรณีเส้นตรงต่อกับเส้นโค้ง 98
รูปที่ 4.8 แสดงการนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณในลักษณะเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง 101
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างแบบของชิ้นงานและเส้นทางเดินของใบมีด 105
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างแบบชิ้นงานและเส้นทางเดินของใบมีดกรณีไม่ตัดกัน 106
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างงานเจาะ 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 แบบงานเซาะร่อง 111
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างงานเซาะร่องรูปตัวอักษร H 111
รูปที่ 5.4 แบบชิ้นงานเดินขอบ 112
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างงานเดินขอบภายในขอบภาพชิ้นงาน 113
รูปที่ 5.6 รูปชิ้นงานแบบสี่เหลี่ยมที่ใช้กับงานปาดหน้า 114
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างแบบภาพชิ้นงานที่ใช้กับการกัดหลุม 115
รูปที่ 5.8 แบบชิ้นงานที่นำไปสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซก 117
รูปที่ 5.9 แสดงการกัดหลุมแบบซิกแซก 118
รูปที่ 5.10 แสดงการลบขอบของชิ้นงานที่ได้จากการกัดหลุมแบบซิกแซก 119
รูปที่ 5.11 แสดงตำแหน่งของใบมีดำหรับการกัดหลุมแบบวงกลม 120
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างแบบชิ้นงานที่นำไปสร้างการกัดหลุมแบบวงกลม 122
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบวงกลม 123
รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการออกแบบซอฟท์แวร์ (Flow Chart) 126
รูปที่ 6.2 รูปแบบของเมนูของโปรแกรม 130
รูปที่ 6.3 Block diagram ของเมนูโปรแกรม 131
รูปที่ 6.4 โครงสร้างของโปรแกรมสั่งงานของงานวิจัยนี้ 136
รูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างการใส่ข้อมูลลงในเมนู 138
รูปที่ 6.6 แสดงขั้นตอนขณะที่ซอฟท์แวร์กำลังทำการคำนวณ 139
รูปที่ 6.7 แสดงผลของโปรแกรมสั่งงานที่ได้ 140
รูปที่ 6.8 แสดงรูปแบบของชิ้นงานที่ได้หลังจากการคำนวณ 140
รูปที่ 6.9 แสดงส่วนของการเลือกส่งโปรแกรมสั่งงานไปยังเครื่อง CNC 141
รูปที่ 7.1 ลักษณะของเครื่อง CNC แบบ VERTICAL MILLING MACHINE 166
รูปที่ 7.2 แสดงการเชื่อมต่อเครื่อง PC กับเครื่อง CNC ผ่านพอร์ต RS-232C 166
รูปที่ 7.3 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานของงานเจาะจากโปรแกรมสั่งงาน O0001 และ O0002 170
รูปที่ 7.4 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานแบบเซาะร่องของโปรแกรมสั่งงาน O0003 170
รูปที่ 7.5 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานแบบเซาะร่องของโปรแกรมสั่งงาน O0004 171
รูปที่ 7.6 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซก 171
รูปที่ 7.7 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบวงกลมของโปรแกรม O0008 172
รูปที่ 7.8 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานปาดหน้า 172
รูปที่ 7.9 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบวงกลม 173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

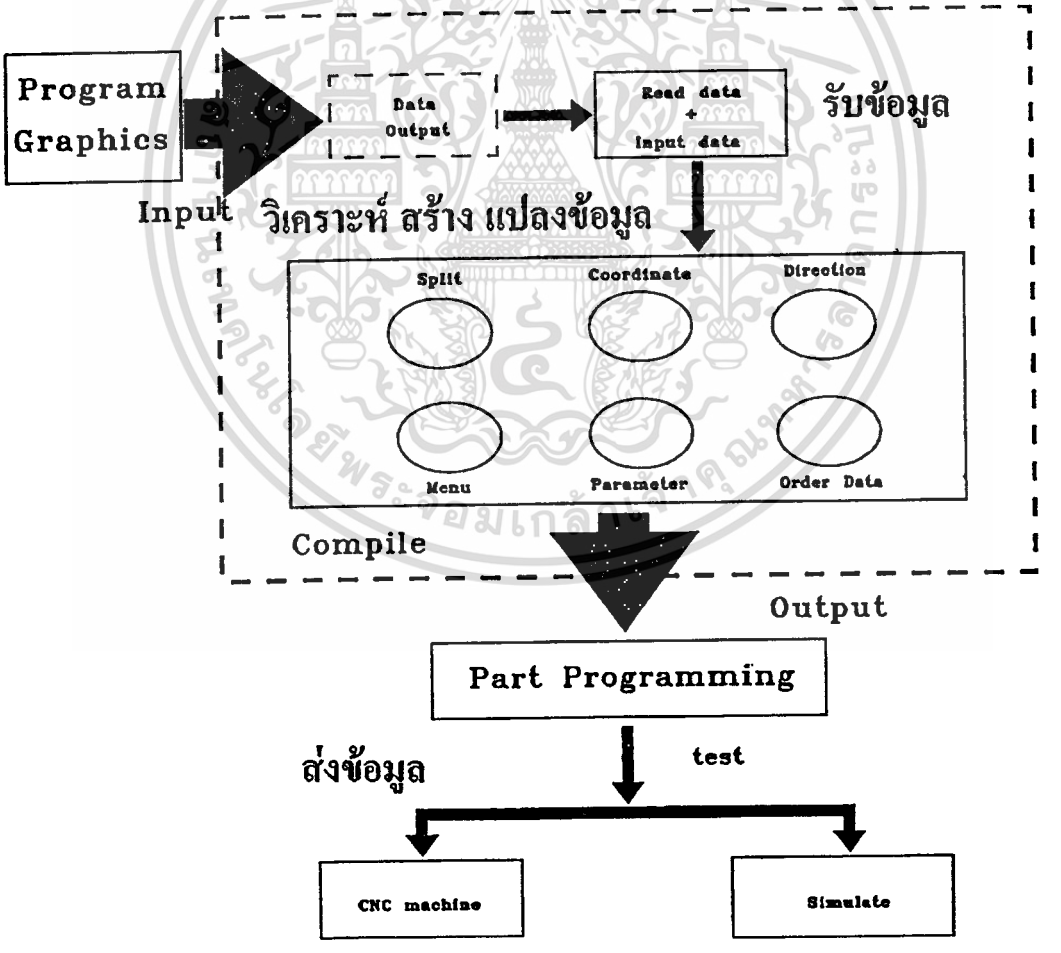
โรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้มีการนำเครื่องจักรการผลิตที่ทำงานภายใต้การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติมาใช้มากขึ้น ซึ่งอุปกรณ์หลักของระบบควบคุมแบบอัตโนมัตินี้ได้แก่ คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมซอฟท์แวร์คอยออกคำสั่งให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ขบวนการผลิตเช่นนี้เรียกว่าการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์กับโรงงานอุตสาหกรรม (Computer Integrated Manufacturing หรือในชื่อย่อว่า CIM) จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบ CIM โดยทั่วไปทำให้ทราบว่า โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรนั้นจะเป็นโปรแกรมระบบควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control Program หรือเรียกย่อว่า NC Program) เช่น การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเคลื่อนที่ การกำหนดความเร็ว การกำหนดเวลา เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมระบบควบคุมเชิงตัวเลขนี้จะถูกสร้างขึ้นด้วยระบบคอมพิวเตอร์และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อบังคับให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องจักรทำการเคลื่อนส่วนต่างๆของเครื่องจักรให้ทำงานตามต้องการ ด้วยเหตุผลที่ส่วนสำคัญของระบบอยู่ที่คอมพิวเตอร์ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกวิธีการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรเช่นนี้ว่า Computerized Numerical Control หรือ "CNC" และเป็นที่นิยมโดยทั่วไปในการเรียกเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบ CNC ว่า "เครื่อง CNC"

เนื่องจากโปรแกรมควบคุมเป็นระบบเชิงตัวเลขดังกล่าว ซึ่งทำความเข้าใจได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นผู้ที่จะใช้งานเครื่อง CNC จึงต้องมีการฝึกฝนเป็นพิเศษและอาศัยความชำนาญในการแก้ไขโปรแกรมระบบเชิงตัวเลขนี้ เพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าว บทความวิจัยนี้จึงได้เสนอการวิจัยและพัฒนาระบบซอฟท์แวร์สร้างโปรแกรมสั่งงานของระบบเชิงตัวเลขให้กับเครื่อง โดยระบบซอฟท์แวร์ที่วิจัยและพัฒนาขึ้นนี้จะนำข้อมูลจากการออกแบบจำลองภาพของชิ้นงานที่ต้องการผลิตด้วยระบบโปรแกรมกราฟิกหรือโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานทั่วไป ซอฟท์แวร์ของระบบจะเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นส่วนองค์ประกอบของภาพให้เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงาน และทำการส่งโปรแกรมดังกล่าวไปยังเครื่อง CNC เพื่อให้เครื่อง CNC ทำงานตามขั้นตอนจนกระทั่งได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ด้วยวิธีการนี้จะทำให้การใช้งานเครื่อง CNC สะดวกรวดเร็วและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานให้สูงขึ้น สำหรับการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอทฤษฎีการทำงาน การใช้งาน และการนำโปรแกรมไปทดลองใช้กับเครื่อง Vertical Milling Machine ซึ่งเป็นของบริษัท Fanuc รุ่น CM-3 ได้ผลการทดลองใช้งานเป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขั้นตอนการออกแบบซอฟท์แวร์ของระบบ

ในการวิจัยเพื่อกำหนดโครงสร้างของซอฟท์แวร์เพื่อการใช้งานกับเครื่อง CNC ของวิทยานิพนธ์นี้ จะพิจารณาจากการรับและส่งข้อมูลเป็นสำคัญดัง Block diagram ในรูปที่ 1.1 เนื่องจากข้อมูลแต่ละส่วนที่รับเข้ามาไม่ว่าจะเป็นข้อมูลจากแบบที่วาด หรือค่าคงที่ต่างๆ ไม่สามารถที่จะส่งไปสั่งเครื่อง CNC ให้ทำงานได้โดยตรง จะต้องทำการแปลงข้อมูลให้เป็นภาษาของเครื่อง CNC จึงจะนำไปใช้บังคับการทำงานของเครื่อง CNC ได้ ระบบซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถดัดแปลงนำไปใช้กับเครื่อง CNC แบบต่างๆได้ เนื่องจากใช้หลักเกณฑ์เดียวกันในการแปลงข้อมูล ในส่วนนี้เป็นผลงานวิจัยสำคัญส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์นี้ รายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อๆไป



รูปที่ 1.1 Block diagram ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสำหรับการออกแบบระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1) ส่วนของการรับข้อมูล

2) ส่วนของการวิเคราะห์ การสร้าง และการแปลงข้อมูล

3) ส่วนของการส่งข้อมูล

ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

1.2.1 ส่วนของการรับข้อมูล

เราได้วิจัยและออกแบบให้ซอฟท์แวร์ส่วนนี้สามารถรับข้อมูลประเภทตัวแปรที่เป็น พารามิเตอร์จำเป็นต่อการกำหนดการทำงานของเครื่องจักร CNC ตลอดจนการรับและการแปลงข้อมูลที่ได้จากการวาดแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (เช่น โปรแกรมประเภท CAD : Computer Aided Design) เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวาดแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะถูกส่งออกมาในรูปของแฟ้มเอกสาร (Text File ภายใต้ชื่อแฟ้ม DXF) ซึ่งเป็นข้อมูลตัวอักษรหรืออักขระตามรหัสมาตรฐานของ American Standard Code for Information Interchange (หรือที่เรียกว่า ASCII Code) จึงจำเป็นต้องมีการแปลงรหัสตัวอักษรของข้อมูลภาพให้เป็นรหัสตัวเลขของโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC เสียก่อน ซึ่งในส่วนของการแปลงข้อมูลนี้ จะต้องอาศัยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ ทางด้านกราฟ เวคเตอร์ และพีชคณิต รหัสตัวเลขที่ได้จากการแปลงนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นข้อมูลสำหรับโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC

1.2.2 ส่วนของการวิเคราะห์ การสร้าง และการแปลงข้อมูล

ซอฟท์แวร์ในส่วนนี้จะนำข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการแปลงของส่วนการรับข้อมูล มาวิเคราะห์เพื่อสร้างข้อมูลสำหรับโปรแกรมสั่งงานเครื่องจักร CNC โดยมีการจัดลำดับการทำงานของส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร CNC ตามความเหมาะสม ให้มีการทำงานต่อเนื่องกัน ไม่ซ้ำซ้อน และประหยัดเวลา จนได้ชิ้นงานถูกต้องตามต้องการดังนั้นการออกแบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัยในส่วนนี้จึงได้คำนึงถึงการทำงานตามลำดับขั้นตอนดังนี้

ก) การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง CNC ในส่วนที่ต้องการนำไปใช้งาน

ข) การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านกราฟิกรวมถึงการสร้างข้อมูลเพื่อการนำไปใช้งาน

ค) นำข้อมูลที่สร้างขึ้นมาทำการหาตำแหน่งเส้นทางเดินของใบมีดแล้วแปลงข้อมูลนี้ให้เป็นโปรแกรมสั่งงานที่สามารถสั่งงานได้โดยตรงกับเครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ส่วนของการส่งข้อมูล

เป็นส่วนที่ใช้ในการนำเสนอผลของการทำงาน ในรูปของการแสดงโปรแกรมสั่งงานที่แปลงได้เป็นรูปกราฟิกที่ใช้ทดสอบการทำงานของโปรแกรมสั่งงาน และทำการทดสอบโดยส่งโปรแกรมสั่งงานผ่านสายนำสัญญาณ RS-232C ไปยังเครื่อง CNC เพื่อทดสอบว่าสามารถทำงานได้จริงหรือไม่

1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

สำหรับรายละเอียดในการค้นคว้าวิจัยจะได้นำเสนอตามขั้นตอนดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานของเครื่อง CNC ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่อง CNC การทำงานของเครื่อง CNC รวมไปถึงตัวอย่างการออกแบบโปรแกรมสั่งงานโดยปกติ

บทที่ 3 กล่าวถึงการนำข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบมาใช้งานเพื่อสร้างเป็นชุดคำสั่งเริ่มต้น

บทที่ 4 กล่าวถึงการนำชุดคำสั่งเริ่มต้นมาสร้างเป็นชุดคำสั่งลำดับที่ 2 โดยในบทนี้ได้แสดงลักษณะของการคำนวณหาเส้นทางเดินของใบมีด

บทที่ 5 กล่าวถึงการเตรียมข้อมูลจากรูปแบบของการผลิตชิ้นงานและการ offset เครื่องมือต่างๆ

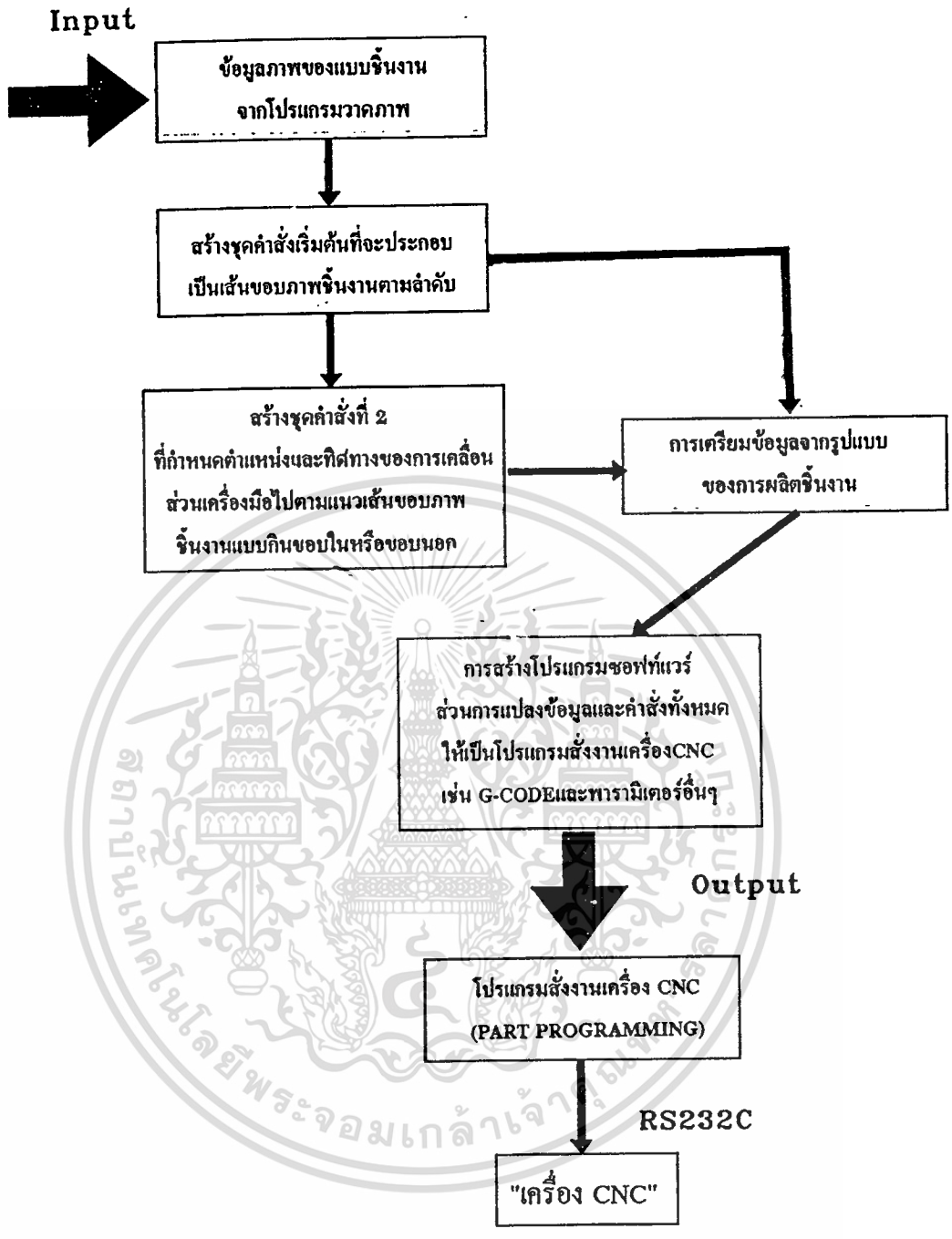
บทที่ 6 กล่าวถึงการสร้างโปรแกรมซอฟท์แวร์ ที่อธิบายถึงลักษณะของการแปลงชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ให้เป็นโปรแกรมสั่งงาน

บทที่ 7 กล่าวถึงผลการทดลองซึ่งทำการทดสอบกับเครื่องกัด (Milling machine) โดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ต RS232C ด้วยโปรแกรม QMODEM

บทที่ 8 กล่าวถึงข้อสรุปของงานวิจัยโดยได้ทำการวิเคราะห์ถึงผลที่ได้และให้ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปพัฒนาต่อไป

ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาระบบซอฟท์แวร์ของงานวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

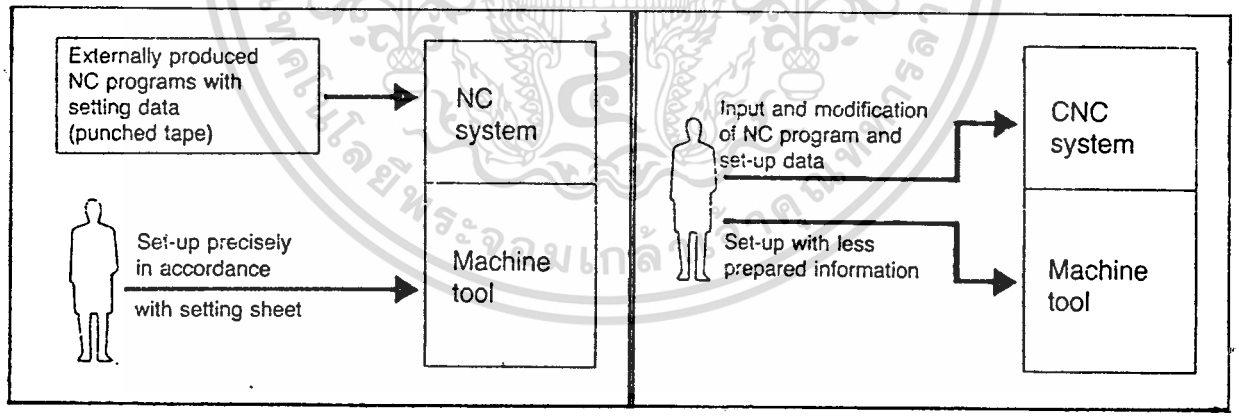
บทที่ 2

พื้นฐานของเครื่อง CNC

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานโดยทั่วไปของเครื่อง CNC ซึ่งเป็นส่วนที่วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเพื่อนำมาเป็นส่วนประกอบสำคัญของงานวิจัยและพัฒนานี้ โดยจะอธิบายให้ทราบเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่อง CNC โดยพื้นฐาน เพื่อเป็นการเตรียมความเข้าใจก่อนที่จะเข้าสู่เนื้อหาสำคัญของงานวิจัยในบทต่อๆ ไป

โรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับระบบเครื่องกลมาควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในขบวนการผลิตสินค้า เพื่อให้ขบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งในด้านความเร็ว คุณภาพสินค้า และการลดต้นทุน ระบบควบคุมเครื่องจักรในระยะเริ่มแรกนั้นเป็นการใช้โปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control Program) เพื่อการสั่งงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการบังคับให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ แต่การป้อนข้อมูลในรูปของโปรแกรมให้กับวงจรควบคุมนั้นจะต้องใช้พนักงานบุคคล (operator) เป็นผู้กระทำ



(ก) ระบบ NC (ข) ระบบ CNC

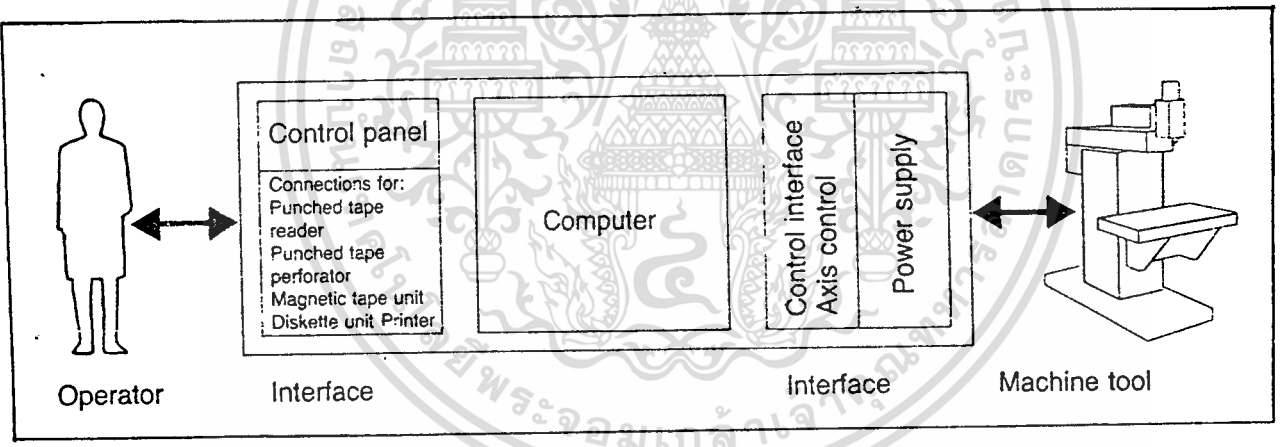
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับระบบ NC และ CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เช่นการป้อนผ่านทางเครื่องอ่านโปรแกรมด้วยเทปกระดาษ (punched tape) ดังแสดงในรูป 2.1 (ก) เป็นต้น ในลักษณะเช่นนี้การแก้ไขเพิ่มเติมโปรแกรมที่ป้อนเข้าสู่ส่วนการควบคุมเครื่องจักรแล้วนั้นจะกระทำโดยตรงไม่ได้ จะต้องแก้ไขและสร้างโปรแกรมด้วยเทปกระดาษใหม่ แล้วทำการป้อนโปรแกรมที่แก้ไขแล้วนั้นเข้าสู่ระบบควบคุมของเครื่องจักรทุกครั้ง จะเห็นได้ว่าการใช้งานจะไม่คล่องตัวเท่าที่ควร จึงได้มีการพัฒนานำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาร่วมในการควบคุมที่อัตโนมัติขึ้น นั่นคือเครื่องจักร CNC (Computerized Numerical Control)

เครื่องจักรในระบบ CNC เป็นการควบคุมที่นำคอมพิวเตอร์มาใช้ช่วยในการสั่งงาน ดังแสดงในรูป 2.1 (ข) ทำให้สามารถสร้าง แก้ไขปรับปรุงและป้อนโปรแกรมเข้าสู่วงจรควบคุมได้โดยตรง และยังสามารถต่อเข้ากับเครื่องอ่านโปรแกรมจากเทปกระดาษในระบบเก่าได้อีกด้วย นอกจากนั้นสามารถทำการแก้ไขโปรแกรมหลังจากป้อนโปรแกรมเข้าสู่เครื่องจักรแล้ว ทำให้เกิดความคล่องตัวต่อผู้ใช้ ที่สามารถควบคุมแก้ไขการทำงานของเครื่องจักรได้รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ เพราะในระบบเช่นนี้ผู้ใช้ (operator) จะเป็นผู้ควบคุมเครื่องจักรและแก้ไขโปรแกรมไปพร้อมกันโดยตรงแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การควบคุมเครื่องจักรในระบบ CNC ทั่วไป

2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง CNC โดยทั่วไป

เครื่องจักรในระบบ CNC มีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญแบ่งเป็น 3 ส่วนดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.3 คือ

ก) ส่วนของคำสั่งที่อยู่ในรูปโปรแกรมสั่งงาน (Part programming)

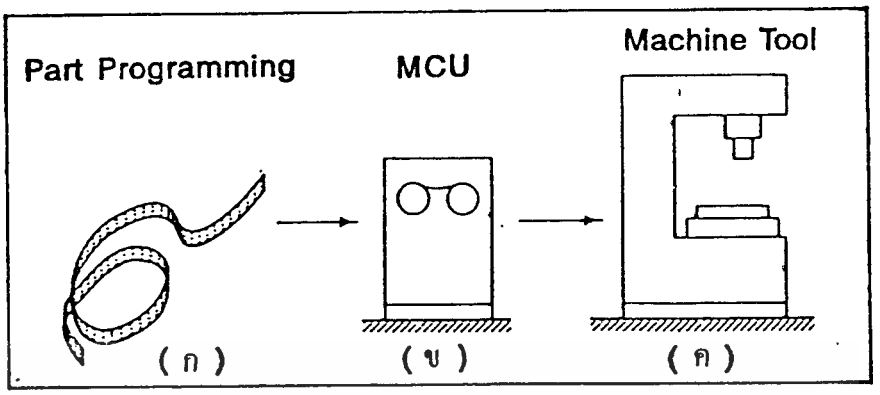
ข) ส่วนควบคุม (Machine Control Unit : MCU)

ค) ส่วนเครื่องมือที่ใช้ผลิตชิ้นงาน (Machine Tool)

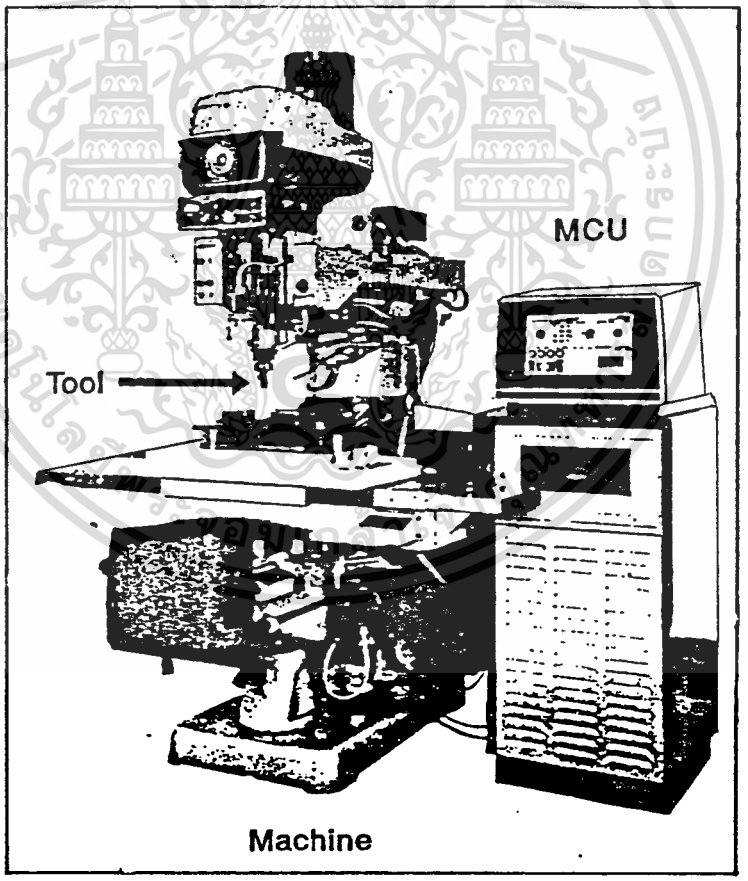
รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นตัวอย่างจริงของเครื่อง CNC โดยทั่วไป รายละเอียดโดยย่อของส่วนต่างๆมีดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องจักรในระบบ CNC



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของเครื่อง CNC โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ส่วนของคำสั่งที่อยู่ในรูปโปรแกรมสั่งงาน

โปรแกรมสั่งงานนี้คือคำสั่งแต่ละขั้นตอนเพื่อบอกให้เครื่องจักรทำงาน โดยการเขียนคำสั่งนี้จะเขียนในรูปของตัวเลขหรือสัญญลักษณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีรูปแบบดังนี้

N0000 G00 XYZABC0.00 H00 F00 S00 M00 ;

N แทนอันดับของขั้นตอนการสั่งงาน (Sequence number) ใช้ในการแสดงลำดับการทำงานก่อน-หลัง

G แทนการทำงานของเครื่องมือ (Preparatory function) เป็นรหัสคำสั่งที่ใช้กำหนดวิธีการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เช่น G01 เป็นการกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง เป็นต้น ในชุดคำสั่งหนึ่งๆ สามารถที่จะใช้รหัส G ได้มากกว่าหนึ่งรหัส เราเรียกคำสั่งส่วนนี้ว่ารหัสคำสั่ง G (G-codes) สำหรับคำสั่งพื้นฐานจะได้อธิบายรายละเอียดต่อไปในข้อ 2.4 ส่วนรหัสคำสั่งทั่วไป แสดงในภาคผนวก ง.

X,Y,Z,A,B,C แทนตำแหน่งเคลื่อนที่ของแกน X,Y,Z ถ้ากำหนดขนาดเป็นนิ้วสามารถใช้จุดทศนิยมได้ 4 ตำแหน่ง กำหนดขนาดเป็นมิลลิเมตรสามารถใช้ทศนิยมได้ 3 ตำแหน่ง ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้ว่าจะใช้แบบกำหนดตำแหน่งสมบูรณ์หรือแบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม ดังจะได้อธิบายรายละเอียดในข้อ 2.3.2

H แทน การเลือกใช้เครื่องมือ (Tool function)

F แทน ความเร็วในการป้อนชิ้นงาน (Feed rate)

S แทน ความเร็วในการหมุนของใบมีด (Spindle speed)

M แทน Miscellaneous function เป็นข้อกำหนดการทำงานเพิ่มเติม หรือกำหนดการใช้งานอุปกรณ์เสริมอื่นๆให้กับเครื่อง เพื่อให้การผลิตชิ้นงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น รหัส M03 เป็นการสั่งให้เพลา (spindle) หมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นต้น เราเรียกคำสั่งส่วนนี้ว่ารหัสคำสั่ง M (M-codes) รหัสคำสั่งนี้แสดงตารางในภาคผนวก ง.

; แทน การจบชุดคำสั่งงาน (End of block)

โปรแกรมสั่งงานนี้จะถูกสร้างขึ้นเรียงลำดับคำสั่งตามลำดับที่ต้องการควบคุม ให้ส่วนเครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆของเครื่องจักร CNC ทำงานผลิตชิ้นงาน การสร้างและป้อนโปรแกรมสั่งงานนี้โดยปกติทำได้ 3 วิธีคือ

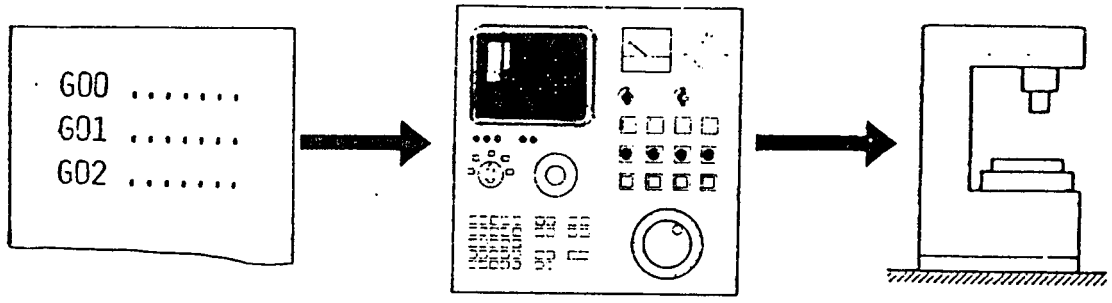
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) การสร้างและป้อนโดยตรงที่คอมพิวเตอร์ส่วนควบคุม (MCU) ของเครื่องจักร มักจะใช้กับกรณีเป็นโปรแกรมสั่งงานง่ายๆที่ไม่ซับซ้อน เราเรียกวิธีการนี้ว่า "Manual Programming" ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก)

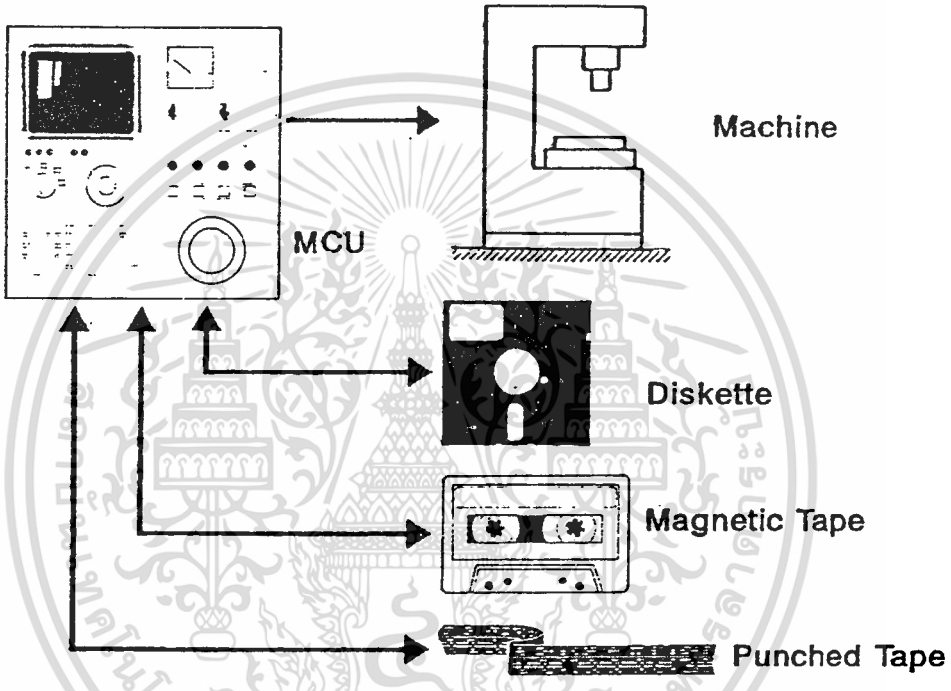
(ข) การสร้างโปรแกรมสั่งงานจากอุปกรณ์อื่น แล้วทำการบันทึกโปรแกรมเหล่านั้นในรูปของเทปกระดาษ (Punched Tape) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) หรือแผ่นดิสก์ (Diskette) หลังจากนั้นก็ทำการผ่านเครื่องอ่านเพื่อป้อนข้อมูลเข้าสู่ส่วนควบคุม (MCU) ของเครื่องจักร เหมาะสำหรับกรณีโปรแกรมมีความยุ่งยากซับซ้อน เราเรียกวิธีการนี้ว่า "External Programming" ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข)

(ค) การสร้างโปรแกรมสั่งงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Perscnal Computer : PC) แล้วทำการส่งป้อนเข้าเครื่อง MCU โดยตรงผ่านพอร์ตการสื่อสารมาตรฐาน RS 232C เราเรียกวิธีการ นี้ว่า "Computer Programming" ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ค) วิธีการนี้จะอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้มาก เพราะสามารถทำการแก้ไขปรับปรุงส่วนคำสั่งได้โดยตรงที่เครื่อง PC ทำให้ทันต่อเหตุการณ์ และเกิดความรวดเร็วในการผลิตชิ้นงานตามความต้องการ ซึ่งงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ในส่วนนี้ โดยการสร้างภาพชิ้นงานด้วยโปรแกรมวาดแบบที่เครื่อง PC แล้วทำการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นโปรแกรมสั่งงานส่งให้ MCU ของเครื่องจักรต่อไป

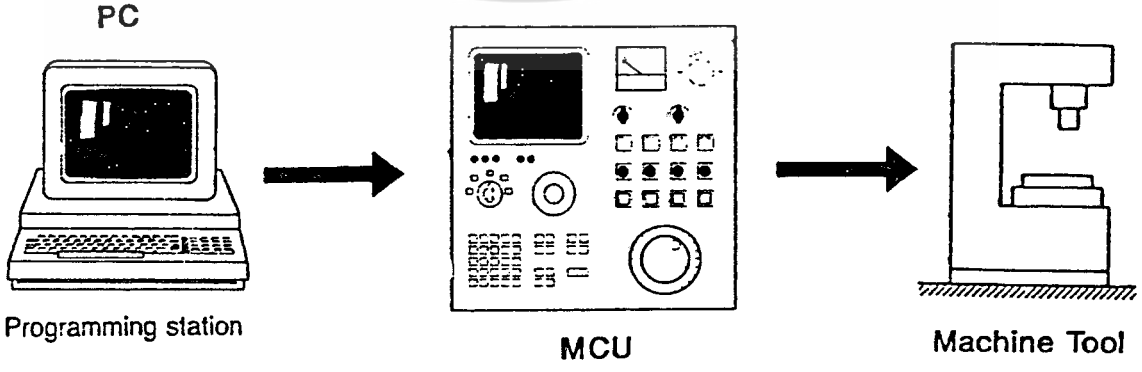
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การโปรแกรมโดยตรงที่ MCU (Manual Programming)



(ข) การอ่านโปรแกรมจากภายนอกที่ถูกสร้างและเก็บบันทึกไว้ในรูปของเทปกระดาษ เทปแม่เหล็ก หรือแผ่นดิสก์ (External Programming)



(ค) การโปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแล้วส่งให้ MCU (Computer Programming)

รูปที่ 2.5 การสร้างและป้อนโปรแกรมชุดคำสั่งให้กับเครื่องจักร CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ส่วนควบคุม (MCU)

ส่วนนี้จะเป็นฮาร์ดแวร์ที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่อ่านและตีความคำสั่งจากนั้นก็แยกคำสั่งออกเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมเครื่องมืออีกทีหนึ่ง ซึ่งหากเป็นระบบ NC ชนิดเก่า ส่วนนี้จะประกอบด้วย เครื่องอ่านเทป ส่วนที่เก็บข้อมูลชั่วคราวในลักษณะเป็น บัฟเฟอร์ (Buffer) และมีช่องสำหรับส่งสัญญาณออกไปควบคุม นอกจากนี้ยังมีช่องที่รับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback) จากเครื่องมือเข้ามาด้วย แต่หากเป็นเครื่องสมัยใหม่ส่วนนี้จะเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ ส่วนหลักๆ ของหน่วยควบคุมมีรายละเอียดดังนี้

(ก) เครื่องอ่านข้อมูลหรือส่วนรับข้อมูล จะเป็นส่วนที่อ่านข้อมูลจากโปรแกรมที่ถูกเก็บไว้ในรูปเทปกระดาษ เทปแม่เหล็ก แผ่นดิสก์ หรือการส่งโดยตรงมาจากเครื่องภายนอก คำสั่งจากโปรแกรมจะถูกแปลงแล้วเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ โดยคำสั่งที่อ่านเข้ามาแต่ละส่วนจะเป็นการสั่งให้ทำงานตามขั้นตอน เช่น เลื่อนฐานวางชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วเจาะรู 1 รู เป็นต้น

(ข) ช่องส่งสัญญาณควบคุม (Signal Output Channel) ส่วนนี้จะติดกับอุปกรณ์ควบคุม เช่น Servo Moter ฯลฯ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆ โดยผลของการทำงานอาจมีการตรวจสอบแล้วส่งผลย้อนกลับมาเข้าทาง Feedback Channel

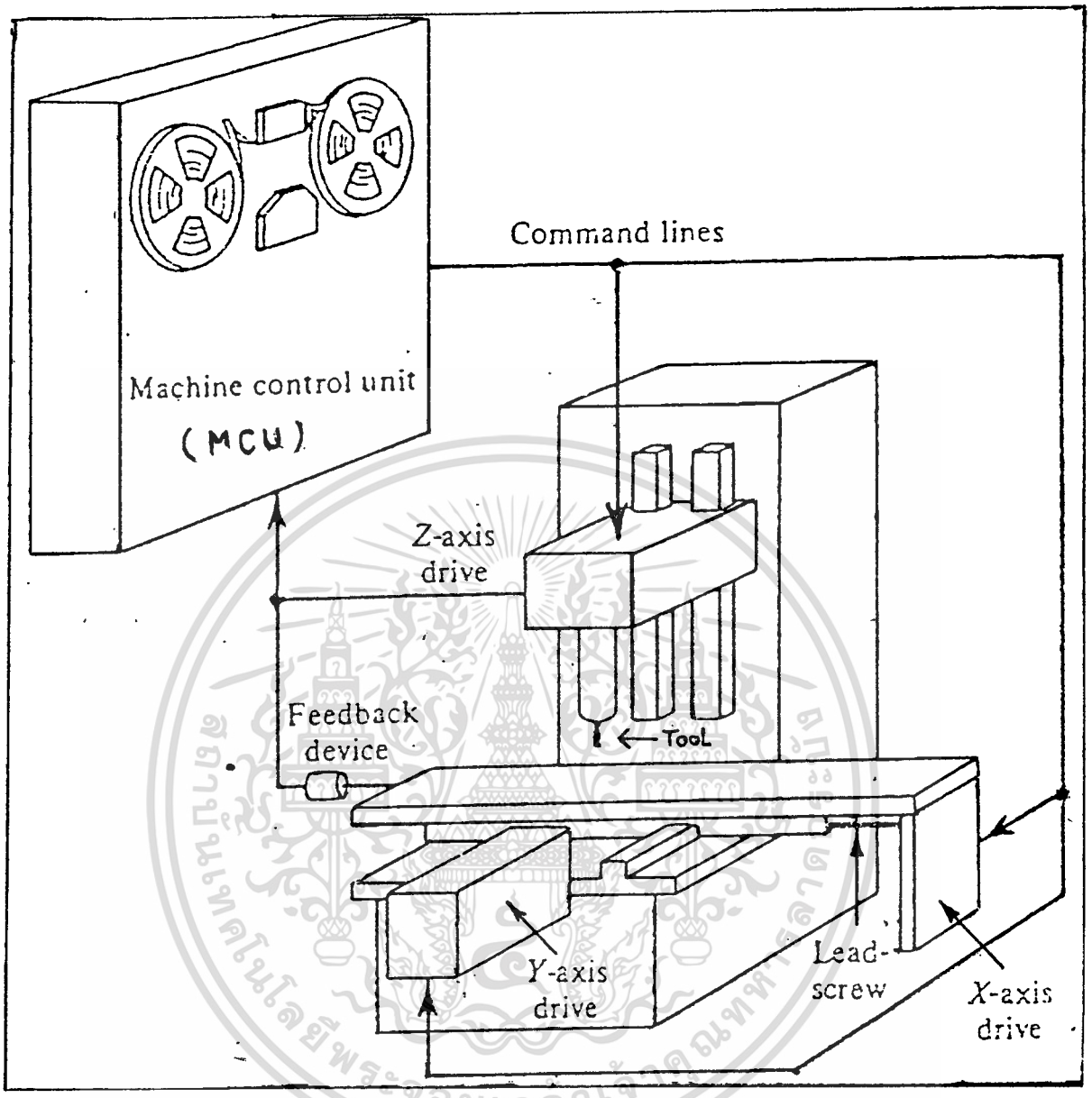
(ค) Sequence Controls ทำหน้าที่จัดลำดับการทำงานของส่วนต่างๆ ของหน่วยควบคุม เช่น เมื่ออ่านข้อมูลจากเทปก็จะต้องนำข้อมูลไปเก็บในบัฟเฟอร์ แล้วส่งไปควบคุมอุปกรณ์ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีแผงควบคุม (Control Panel) ซึ่งประกอบด้วยสวิตซ์ต่างๆ ซึ่งผู้ควบคุมจะใช้ในการปิด-เปิดเครื่อง ฯลฯ

2.2.3 ส่วนเครื่องมือที่ใช้ผลิตชิ้นงาน

เครื่องมือ (Tool) ส่วนนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานให้ได้รูปแบบต่างๆที่ต้องการ ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องมือตัดเจาะต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์ซึ่งไปขับเคลื่อนส่วนต่างๆ เช่น มอเตอร์ ฯลฯ ถ้าเป็นงานที่ง่ายๆ เครื่องมือก็อาจจะมีเพียงสว่านสำหรับเจาะรู แต่ถ้าเป็นงานซับซ้อนเครื่องมือในส่วนนี้ก็อาจประกอบด้วยส่วนต่างๆหลายส่วน เพื่อทำหน้าที่ตัด เจาะ กลึง ฯลฯ ลักษณะของเครื่องมือและการติดต่อสื่อสารข้อมูลเพื่อรับคำสั่งจาก MCU แสดงดังรูป 2.6 โดย MCU จะทำหน้าที่อ่านข้อมูล ข้อมูลจะถูกแปลให้เป็นคำสั่งควบคุม ทำให้ตัวขับทำงานขับแท่นจับงานหรือจับตัวกัดให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การส่งสัญญาณควบคุมจาก MCU ไปยังส่วนเครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆของเครื่องจักร CNC

2.3 การทำงานของเครื่อง CNC

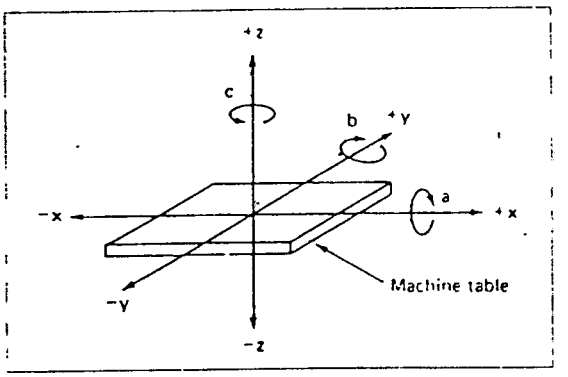
การทำงานของเครื่อง CNC จะมีการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือให้อยู่ในระบบพิกัดแกน X แกน Y และแกน Z ดังรูป 2.7 โดยเครื่องมือและชิ้นงานที่วางอยู่บนแท่น (Machine table) จะต้องเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ซึ่งลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะต้องประกอบด้วย

(ก) ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

(ข) รูปแบบการวัดระยะทางการเคลื่อนตำแหน่งของเครื่องมือ

(ค) รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.7 ระบบพิกัดของ NC machine tool

2.3.1 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

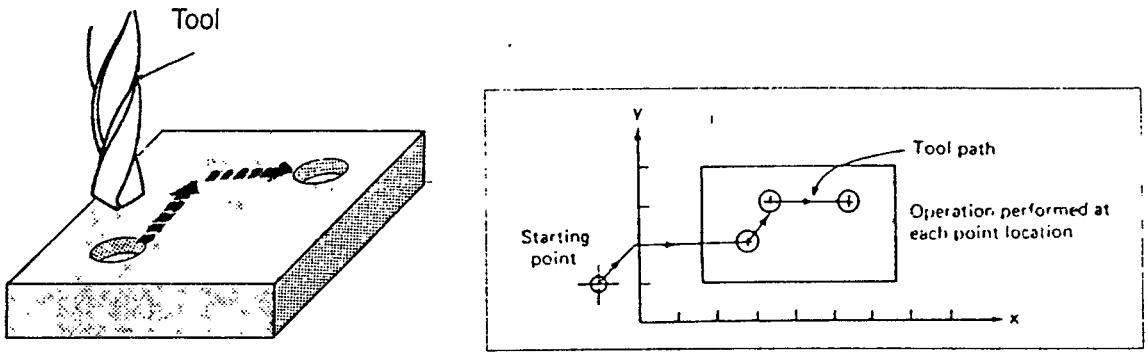
ลักษณะของการควบคุมการเคลื่อนที่มี 3 แบบคือ

2.3.1.1 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด

(Point-To-Point positioning control : PTP)

โดยหลักการของการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ PTP คือ จะต้องควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องมือจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยเทียบตำแหน่งในพิกัดเดียวกัน และไม่สนใจว่าจะไปตามแนวทางใด ด้วยแนวทางเท่าใด ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งลักษณะนี้จะใช้ระบบ NC แบบ PTP ในการควบคุมการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระนาบ XY หรือเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและหมุนไปด้วย การควบคุมแกนแต่ละแกนจะไม่ขึ้นแก่กัน ดังนั้นการโปรแกรมการเคลื่อนที่สามารถที่จะเขียนแบบเรียงลำดับการทำงานทีละแกน หรือเขียนแบบทำงานพร้อมกันทั้ง 3 แกนก็ได้ การโปรแกรมงานส่วนใหญ่มักจะใช้วิธีที่ทำให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยปกติจะใช้การควบคุมแบบ PTP กับ งานเจาะ (drilling) งานคว้าน (boring) งานตอกหมุด (riveting) งานเชื่อมจุด (spot welding) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

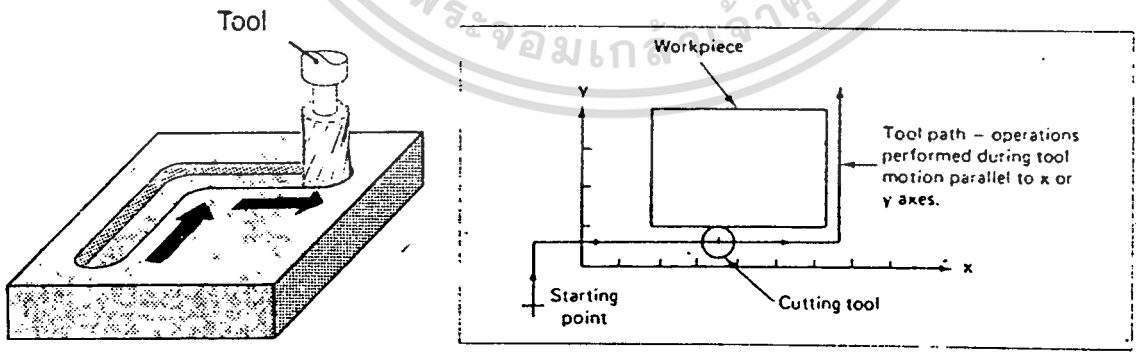


รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบ Point To Point

2.3.1.2 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง

(Straight-Cut positioning systems)

ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรงเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ให้ขนานไปกับแกนหลักแกนหนึ่งด้วยอัตราการควบคุมที่เหมาะสม วิธีนี้เหมาะสำหรับงานกัด (milling) ที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมเนื่องจากระบบการควบคุมชนิดนี้ไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ได้มากกว่าหนึ่งแกนในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 2.9 ดังนั้นจะตัดเป็นรูปโค้งไม่ได้ เครื่อง NC ที่สามารถเคลื่อนที่ตัดตรงได้ก็สามารถที่จะเคลื่อนที่แบบ PTP ได้



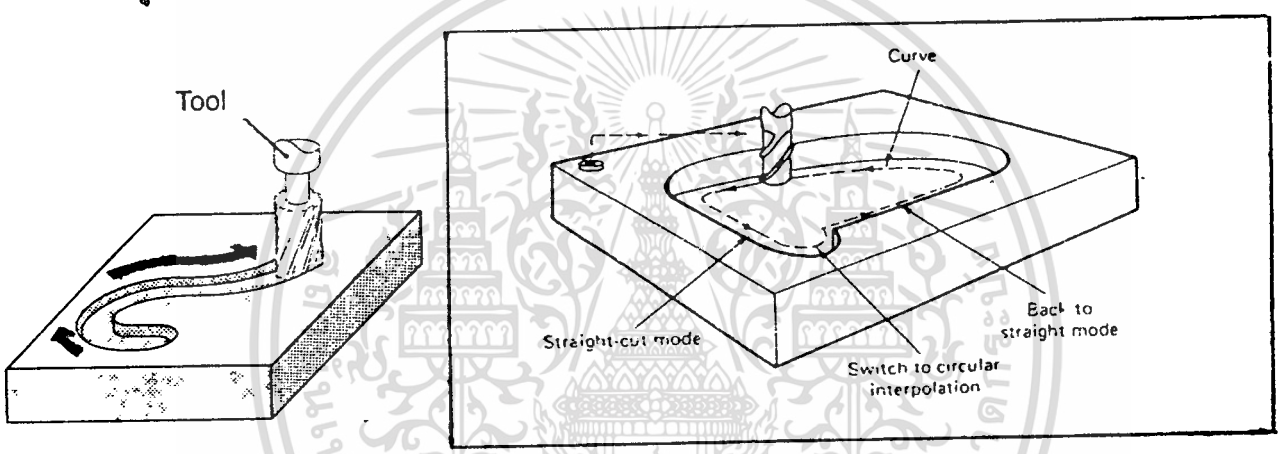
รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบ Straight Cut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นรูปโค้งหรือเส้นต่อเนื่อง

(Contouring, or Continuous path CNC systems)

ระบบการเคลื่อนที่แบบ contour เป็นเทคโนโลยีระดับสูง เป็นระบบที่มีความคล่องตัวสูงแต่เข้าใจยากกับกลไกของการทำงานของเครื่อง CNC สามารถควบคุมเส้นทางเดินได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทำการคำนวณหาจุดของเส้นทางได้ นอกจากจะควบคุมการเคลื่อนที่แบบ PTP และแบบตัดตรงได้แล้ว ยังสามารถควบคุมการเคลื่อนที่เป็นวงกลม หรือเส้นโค้งของวงกลมได้ สำหรับการโปรแกรมการทำงานการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งจะต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง ระบบ contour สามารถโปรแกรมการเคลื่อนที่ได้ถึง 4-5 แกน ลักษณะของการเคลื่อนที่แบบ contour แสดงดังรูปที่ 2.10

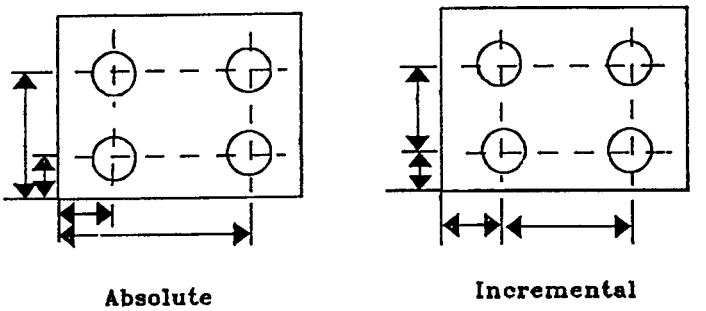


รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่แบบ Contour

2.8.2 รูปแบบการวัดระยะทางการเคลื่อนตำแหน่งของเครื่องมือ

ลักษณะของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แบบ ที่กล่าวมาแล้วจะต้องมีการกำหนดลักษณะของการวัดระยะทางในแต่ละเส้นทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่ไป เพื่อสะดวกในการนำข้อมูลนั้นไปโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่องจักร ซึ่งการกำหนดรูปแบบของระยะทางมี 2 แบบคือ แบบกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ (Absolute positioning) กับแบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม (Incremental positioning) ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์และส่วนเพิ่ม

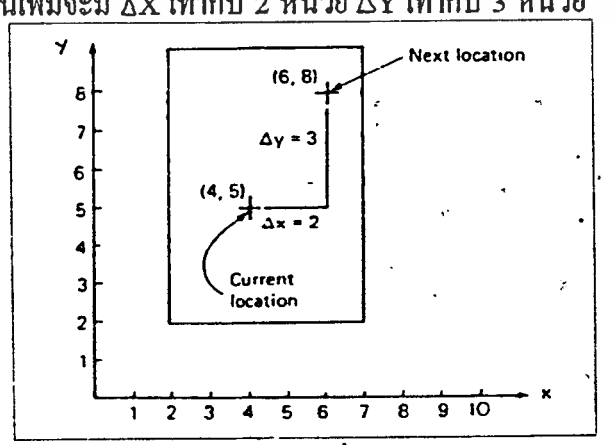
2.3.2.1 แบบกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์

การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ หมายถึงการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องมือโดยอ้างอิงจุดศูนย์ (0,0) เช่น ต้องการเจาะรูที่ตำแหน่ง (6,8) ดังนั้นจะต้องเคลื่อนที่เครื่องมือในแนวแกน +X เป็นระยะทาง 6 หน่วย และในแนวแกน +Y เป็นระยะทาง 8 หน่วย ก็จะได้ตำแหน่งที่ต้องการ

2.3.2.2 แบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม

การกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม หมายถึงการกำหนดตำแหน่งของเครื่องมือโดยอ้างอิงกับตำแหน่งสุดท้ายที่เคลื่อนที่ไป เช่น ต้องการเจาะรูที่ตำแหน่ง (6,8) และตำแหน่งสุดท้ายอยู่ที่ (4,5) ดังนั้นจะต้องเคลื่อนที่เครื่องมือในแนวแกน +X เป็นระยะทาง 2 หน่วย และในแนวแกน +Y เป็นระยะทาง 3 หน่วย ก็จะได้ตำแหน่งที่ต้องการ

ทั้ง 2 แบบแสดงดังรูป 2.12 โดยตำแหน่งสัมบูรณ์อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 6 หน่วย Y เท่ากับ 8 หน่วย ส่วนตำแหน่งส่วนเพิ่มจะมี ΔX เท่ากับ 2 หน่วย ΔY เท่ากับ 3 หน่วย

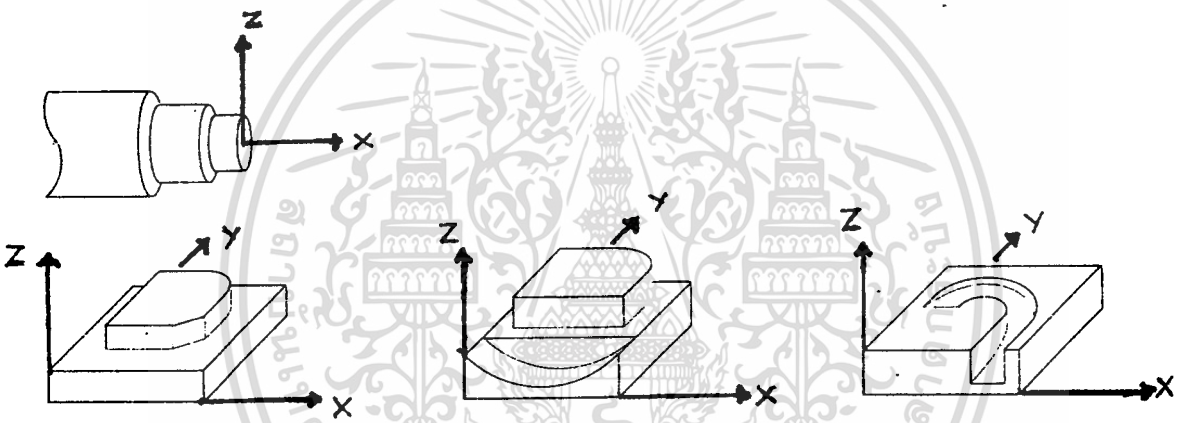


รูปที่ 2.12 การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์กับการกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ

การทำงานของเครื่องมือสามารถทำงานแบบ 2 มิติ แบบ 2 1/2 มิติ และแบบ 3 มิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การทำงานแบบ 2 มิติคือการสร้างชิ้นงานให้อยู่ในระนาบเดียว มีการควบคุมการทำงานเพียง 2 แกน ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในระนาบ XY ส่วนแกน Z เป็นการกำหนดค่าที่แน่นอน เช่น ความลึก สำหรับการทำงานแบบ 2 1/2 มิติ จะคล้ายกับแบบ 2 มิติ แต่เพิ่มในส่วนแกน Z ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เปลี่ยนแปลงพร้อมกันทั้ง 3 แกน ส่วนการทำงานแบบ 3 มิติ จะเป็นการสร้างชิ้นงานโดยที่แกนทั้ง 3 ทำงานพร้อมกัน



ก. แบบ 2 มิติ ข. แบบ 2 1/2 มิติ ค. 3 มิติ

รูปที่ 2.13 ลักษณะการสร้างชิ้นงาน

ด้วยลักษณะการสร้างชิ้นงานดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากสามารถนำไปใช้ได้กับงานกัดยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเจาะซึ่งถือว่าเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ 2 มิติ เมื่อความลึกในการเจาะคงที่ ถ้าความลึกไม่คงที่ก็จะเป็นงานแบบ 2 1/2 มิติ ส่วนงานเดินขอบสามารถสร้างชิ้นงานได้ทุกรูปแบบ ส่วนงานกัดเป็นแอ่งหลุมจะเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ 2 1/2 มิติ

2.3.4 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน

การใช้งานเครื่อง CNC จะต้องคำนึงถึงขั้นตอนของการทำงานเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบขั้นตอนการใช้งาน ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ขั้นตอนการวางแผน

หลังจากการวาดแบบผู้วาดแบบต้องทำการวางแผนว่าจะต้องทำส่วนไหนก่อนหลังเพื่อให้ได้งานตามที่ได้ออกแบบไว้

(ข) ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสั่งงาน

เป็นการเขียนคำสั่งนำมาเรียงลำดับขั้นตอนการทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้

(ค) ขั้นตอนการเตรียมเทป

เป็นการนำข้อมูลสั่งงานลงเทปซึ่งอาจจะเป็นเทปกระดาษ หรือถ้าใช้คอมพิวเตอร์ก็จะเป็นการเก็บข้อมูลสั่งงานไว้ในหน่วยความจำ

(ง) ขั้นตอนการตรวจสอบชุดคำสั่ง

การตรวจสอบชุดคำสั่งสามารถตรวจสอบการทำงานกับเครื่อง CNC ได้โดยใช้วัสดุอื่นทดสอบ ถ้าเป็นการใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการสั่งงาน ในรูปแบบของการจำลองภาพ (Simulate) ก็สามารถนำมาทำการทดสอบการ ทำงานนี้ได้ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ทำงานจริง

(จ) ขั้นตอนการผลิต

จะหมายถึงตั้งแต่การเตรียมชิ้นงาน เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อพร้อมที่จะทำงานได้ ซึ่งหลังจากเดินเครื่องแล้ว เครื่อง CNC จะทำงานโดยอัตโนมัติตามขั้นตอนการสั่งงานที่ได้ออกแบบไว้

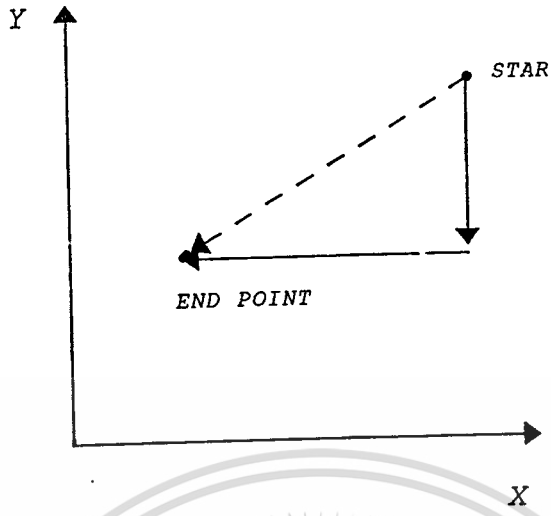
2.4 คำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในโปรแกรมสั่งงาน

คำสั่งพื้นฐานในโปรแกรมสั่งงานที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของการเคลื่อนส่วนเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆของเครื่องCNC ได้แก่ คำสั่ง G-code ดังที่ได้กล่าวมาในข้อ 2.2.1 คำสั่ง G-code ที่เป็นพื้นฐานนี้จะมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้

2.4.1 คำสั่งให้เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว (Rapid Traverse)

จะใช้รหัส G00 แทน เป็นการสั่งให้เครื่องมือเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเป็นเส้นตรงโดยไม่กินเนื้อของชิ้นงาน ค่าที่เขียนตามหลังคำสั่งนี้เป็นการบอกตำแหน่งที่ต้องการจะเคลื่อนที่ไป เช่น G00 X10.00 Y10.00 เมื่อวัดระยะทางแบบคิดตำแหน่งสัมบูรณ์ คำสั่งนี้แสดงได้ดังรูป 2.14

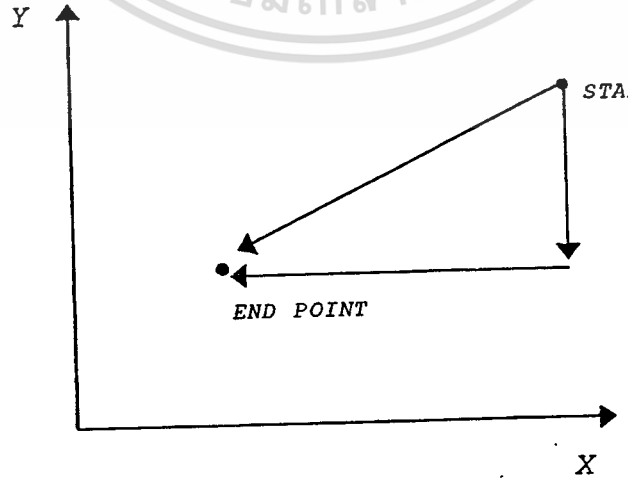
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของคำสั่ง G00

2.4.2 คำสั่งให้ตัดตามแนวเส้นตรง (Linear in Feed)

จะใช้รหัส G01 แทน เป็นการสั่งให้ทำงานแบบเดียวกับ G00 แต่มีการกินเนื้อของชิ้นงานขณะที่เคลื่อนที่ไป โดยความเร็วของการกินชิ้นงานผู้ใช้จะต้องกำหนดให้ว่า ต้องการป้อนชิ้นงานมีความเร็วเป็นเท่าไหร่ในหน่วยของมิลลิเมตรต่อนาทีหรือนิ้วต่อนาที ซึ่งความเร็วในการป้อนชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นชิ้นงาน ขนาดของเครื่องมือ และความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ การทำงานของคำสั่งนี้แสดงได้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของคำสั่ง G01

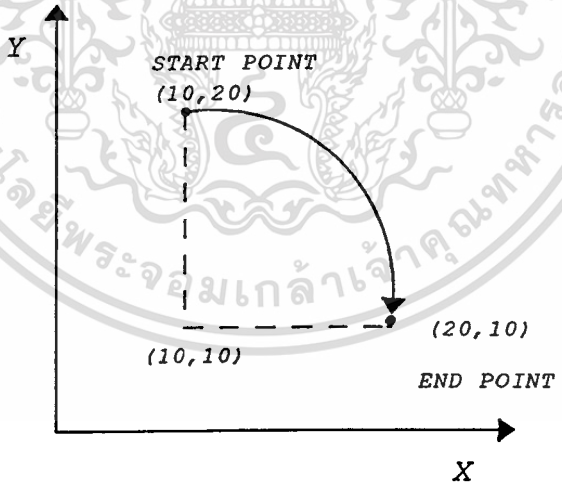
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.4.3 คำสั่งตัดตามแนวเส้นโค้งในทิศตามเข็มนาฬิกา (Arc-Clockwise :CW)

จะใช้รหัส G02 แทน เป็นการสั่งให้เครื่องมือเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีการกินเนื้องานขณะที่เครื่องมือเคลื่อนที่ไปด้วย คำสั่งนี้จะต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ของจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งกับจุดศูนย์กลาง เพราะว่าตำแหน่งที่ตามมาหลังคำสั่งนี้จะต้องบอกถึงความสัมพันธ์ของจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางด้วย เช่น ต้องการแสดงส่วนโค้งที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (10,20) จุดสิ้นสุดอยู่ที่ (20,10) มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (10,10) และมีทิศตามเข็มนาฬิกา เพราะฉะนั้นจะได้คำสั่งที่ใช้แทนการเคลื่อนที่นี้เมื่อวัดระยะทางแบบสัมบูรณ์คือ

G02 X10.00 Y20.00 I0.00 J-10.00 ;

โดยที่คำสั่ง I และ J เป็นลักษณะที่ใช้บอกถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เป็นเส้นโค้งเทียบกับแกน X และแกน Y ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะได้จากการนำพิกัดของจุดศูนย์กลางของแกน X ลบด้วยจุดเริ่มต้นของแกน X จะได้ค่าของ I ส่วนค่าของ J ได้จากพิกัดของจุดศูนย์กลางของแกน Y ลบด้วยจุดเริ่มต้นของแกน Y (การหาความสัมพันธ์ของคำสั่งนี้ใช้มาตรฐานของ ISO) การทำงานของคำสั่งนี้แสดงได้ดังรูป 2.16

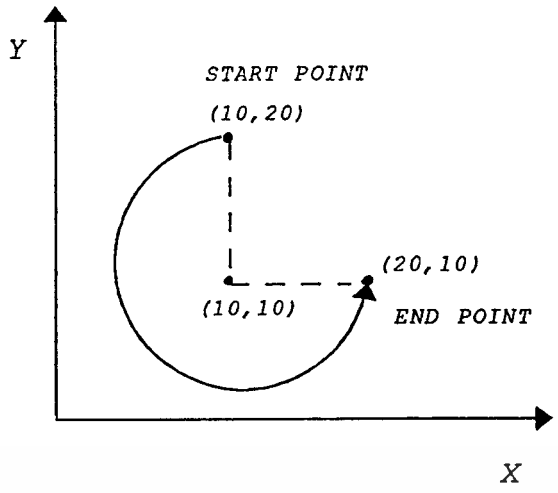


รูปที่ 2.16 แสดงการทำงานของคำสั่ง G02

2.4.4 คำสั่งตัดตามแนวเส้นโค้งในทิศทวนเข็มนาฬิกา (Arc-Counterclockwise :CCW)

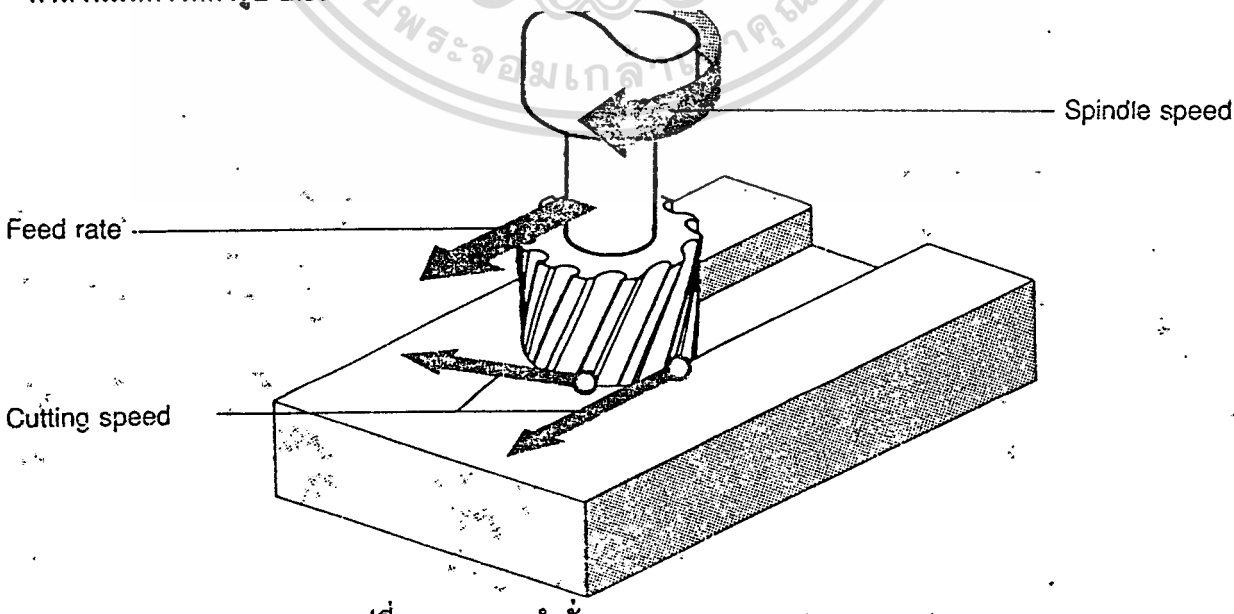
จะใช้รหัส G03 แทน เป็นการสั่งให้เครื่องมือทำงานเหมือนกับคำสั่ง G02 เพียงแต่มีทิศทางในการเคลื่อนที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกา การทำงานของคำสั่งนี้แสดงได้ดังรูป 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.17 แสดงการทำงานของคำสั่ง G03

นอกเหนือจากคำสั่งพื้นฐานที่กล่าวมาแล้วยังต้องกำหนดค่าคงที่ ที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง CNC ถ้าไม่กำหนดให้เครื่องก็ไม่สามารถทำงานได้ คำสั่งนั้นได้แก่ ความเร็วในการป้อนชิ้นงาน ความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ เป็นต้น สำหรับการกำหนดค่าความเร็วของการหมุนของเครื่องมือและความเร็วในการป้อนชิ้นงาน จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน ถ้าวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานมีความแข็งมากจะต้องมีการกำหนดค่าของความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ และค่าของความเร็วในการป้อนชิ้นงานให้มีค่าน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าวัสดุที่ใช้มีความแข็งน้อยจะกำหนดให้ค่าของความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ และค่าของความเร็วในการป้อนชิ้นงานมีค่ามาก ถ้ากำหนดให้ค่าของการป้อนชิ้นงานมากจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตน้อยในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น ลักษณะของคำสั่งนี้แสดงได้ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงคำสั่งของ Spindle speed และ Feed rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การประยุกต์ใช้ซอฟท์แวร์ช่วยสร้างโปรแกรมสั่งงาน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์มาใช้โดยการสร้างซอฟท์แวร์ขึ้นมาช่วยในการสร้างโปรแกรมสั่งงาน เนื่องจากการสร้างโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่อง CNC ทำการผลิตชิ้นงานที่ต้องการมักมีความยุ่งยากทางด้านการคำนวณตำแหน่งของเครื่องมือ ให้เครื่องมืออยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทำให้ขอบของชิ้นงานเสียไป ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้จึงได้นำคอมพิวเตอร์ที่มีซอฟท์แวร์เป็นตัวจัดการข้อมูลภาพและทำการสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานให้เครื่อง CNC ทำงานตามที่ต้องการ ซึ่งการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามา ทำให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้น สามารถแบ่งลักษณะของการทำงานของซอฟท์แวร์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

(ก) ส่วนการกำหนดข้อมูลให้กับซอฟท์แวร์

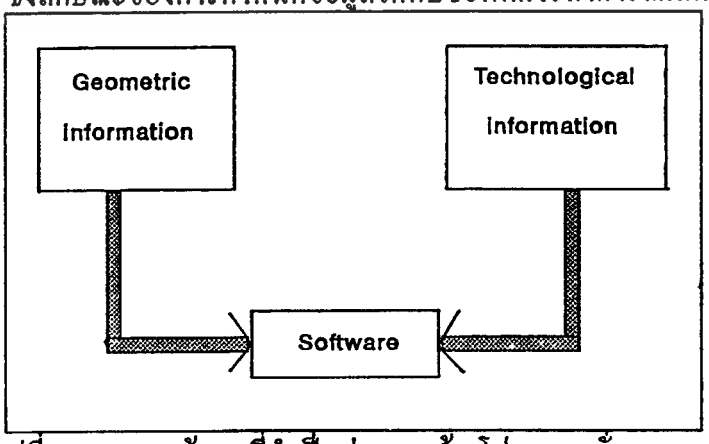
(ข) ส่วนการแปลงข้อมูล

2.5.1 ส่วนการกำหนดข้อมูลให้กับซอฟท์แวร์

โดยข้อมูลนี้ผู้ใช้ซอฟท์แวร์จะเป็นผู้ที่กำหนดข้อมูลในส่วนนี้ให้ ซึ่งลักษณะของข้อมูลในส่วนนี้ได้แก่

(ก) การกำหนดข้อมูลทางโครงสร้างของแบบชิ้นงาน ในที่นี้จะหมายถึงแบบภาพชิ้นงาน (Drawing) ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมการวาดแบบเช่น เส้นตรง เส้นโค้ง เป็นต้น การคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะหาได้จาก ข้อมูลเหล่านี้

(ข) การกำหนดข้อมูลที่เป็นค่าคงที่ต่างๆ ที่เป็นข้อมูลทางเทคนิค เช่น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดความเร็วในการป้อนชิ้นงาน ความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ ความลึกของชิ้นงาน เป็นต้น ผู้กำหนดข้อมูลในส่วนนี้จะต้องคุ้นเคยกับกระบวนการผลิตและมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องนั้นๆ ซึ่งลักษณะของการกำหนดข้อมูลให้กับซอฟท์แวร์สามารถแสดงได้ดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างโปรแกรมสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

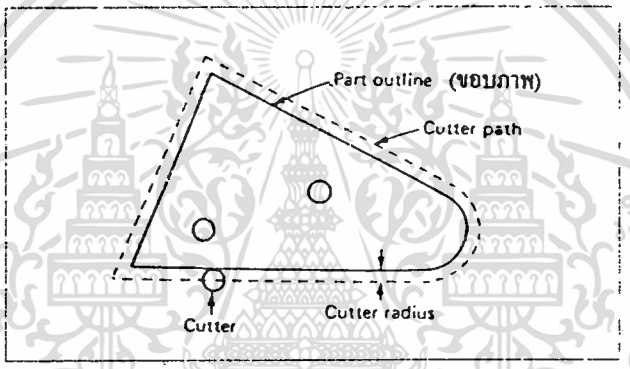
2.5.2 ส่วนการแปลงข้อมูล

สำหรับส่วนนี้จะเป็นการออกแบบซอฟท์แวร์ให้ทำการคำนวณ โดยข้อมูลที่จะนำมาคำนวณเป็นข้อมูลที่กำหนดให้ในแล้วในหัวข้อ 2.5.1 สำหรับลักษณะของการทำงานในส่วนนี้มีดังนี้คือ

(ก) แปลงข้อมูลวาดแบบให้เป็นชุดคำสั่งเริ่มต้นที่สามารถนำไปใช้งานได้

(ข) นำชุดคำสั่งเริ่มต้นมาทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นในการสร้างชิ้นงาน โดยคำนวณว่าจะต้องปรับระยะเท่าใด เพื่อไม่ให้เครื่องมือที่ใช้สร้างชิ้นงานกินเข้าไปในเนื้อของชิ้นงาน เช่น การเคลื่อนที่ของใบมีดในการเซาะขอบของชิ้นงานดังรูปที่ 2.20 จุดศูนย์กลางของเครื่องมือจะไม่ได้อยู่ที่ขอบของชิ้นงานแต่จะต้องอยู่ห่างออกไป

(ค) แปลงชุดคำสั่งที่ได้จากการคำนวณสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC



รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งเส้นทางเดินของเครื่องมือ

2.6 วิธีการสร้างโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC

การออกแบบโปรแกรมสั่งงานโดยปกติผู้ออกแบบอาจจะเป็นผู้ที่ใช้งานกับเครื่อง CNC หรือผู้ที่ออกแบบชิ้นงานหรือเป็นผู้ใช้เครื่อง CNC และเป็นผู้ออกแบบชิ้นงานด้วย ซึ่งลักษณะของการออกแบบโปรแกรมจะมีความแตกต่างกันไป แล้วแต่ลักษณะความสามารถของผู้ออกแบบโปรแกรม แต่รูปแบบของโปรแกรมที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกัน เพียงแต่ความสามารถในการสร้างชิ้นงานของโปรแกรมอาจจะแตกต่างกันแต่ได้ชิ้นงานเหมือนกัน ในส่วนนี้จะได้ยกตัวอย่างการสร้างโปรแกรมสั่งงานจากแบบภาพชิ้นงานและโครงสร้างของโปรแกรมสั่งงาน

2.6.1 ตัวอย่างการสร้างโปรแกรมสั่งงาน

สำหรับตัวอย่างการโปรแกรมแบบชิ้นงานจะเป็นการแสดงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมชุดสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานตามแบบของภาพที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งขั้นตอนที่ได้เป็นการเรียบเรียงการทำงานตามรูปแบบของชิ้นงาน และข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยตนเอง (Manual Programming) ยกตัวอย่างเช่น การสร้างโปรแกรมสั่งงานให้กับแบบชิ้นงานในรูปที่ 2.21 ก่อนอื่นจากแบบภาพดังกล่าวจะต้องมีการกำหนดรูปแบบของชิ้นงานที่จะผลิต ว่าต้องการชิ้นงานด้านนอกหรือด้านในของขอบภาพชิ้นงาน แล้วทำการคำนวณหาตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของใบมีด โดยการที่จะคำนวณได้จะต้องทราบ

(1) ทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีดเมื่อเทียบกับเส้นขอบภาพชิ้นงาน

(2) ขนาดของใบมีดและจำนวนปากของใบมีด (Tooth)

(3) ตำแหน่งเริ่มต้นของใบมีด

(4) ตำแหน่งอ้างอิงของชิ้นงาน

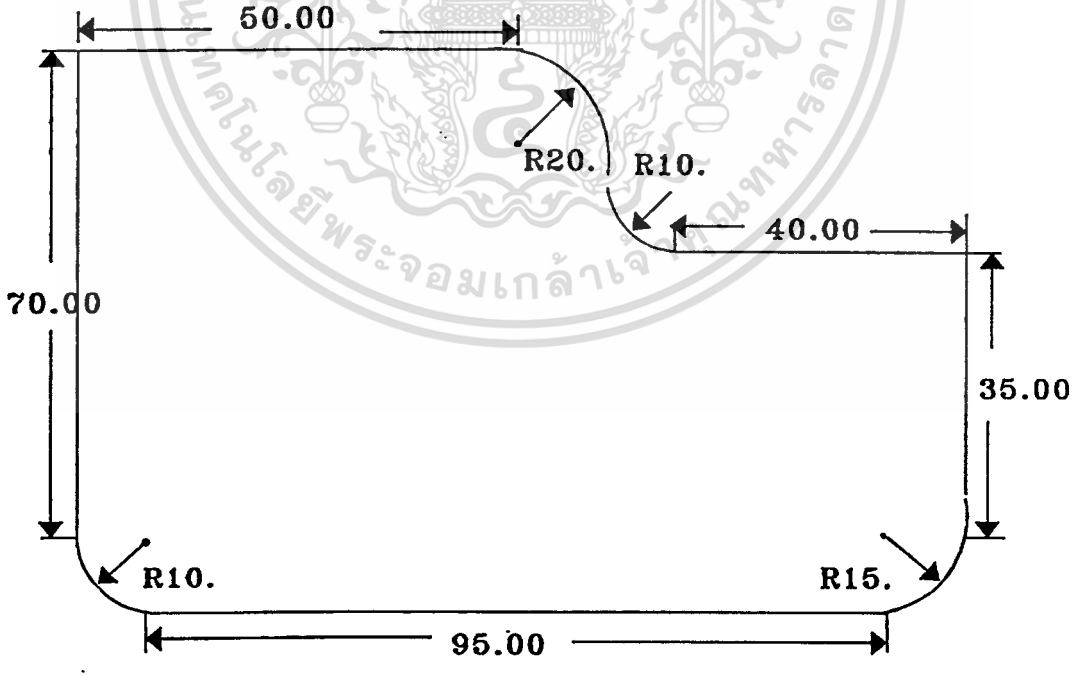
(5) การวัดขนาดของชิ้นงานที่เป็นแบบค่าสัมบูรณ์หรือแบบส่วนเพิ่ม

(6) หน่วยของการวัดเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร

(7) วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน

(8) ความเร็วในการป้อนชิ้นงาน

(9) ความเร็วในการหมุนของใบมีด



รูปที่ 2.21 แบบภาพชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งความเร็วในการป้อนชิ้นงานกับความเร็วในการหมุนของใบมีด จะได้จากการคำนวณเมื่อรู้ว่าวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน ขนาดของใบมีด และจำนวนปากของใบมีด

สำหรับการกำหนดรูปแบบของการทำงานนี้จะขึ้นอยู่กับเทคนิคของผู้เขียนโปรแกรมเอง ว่าต้องการจะทำอย่างไรเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ต้องการโดยที่มีความสูญเสียน้อยที่สุด แต่สามารถทำงานได้เร็วที่สุดด้วย ในที่นี้ได้กำหนดรูปแบบของการทำงานเป็นดังนี้

(1) ทิศทางการเคลื่อนใบมีดเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกา

(2) ใบมีดมีขนาด 10.0 มิลลิเมตร และใบมีดเป็นแบบ 2 ปาก

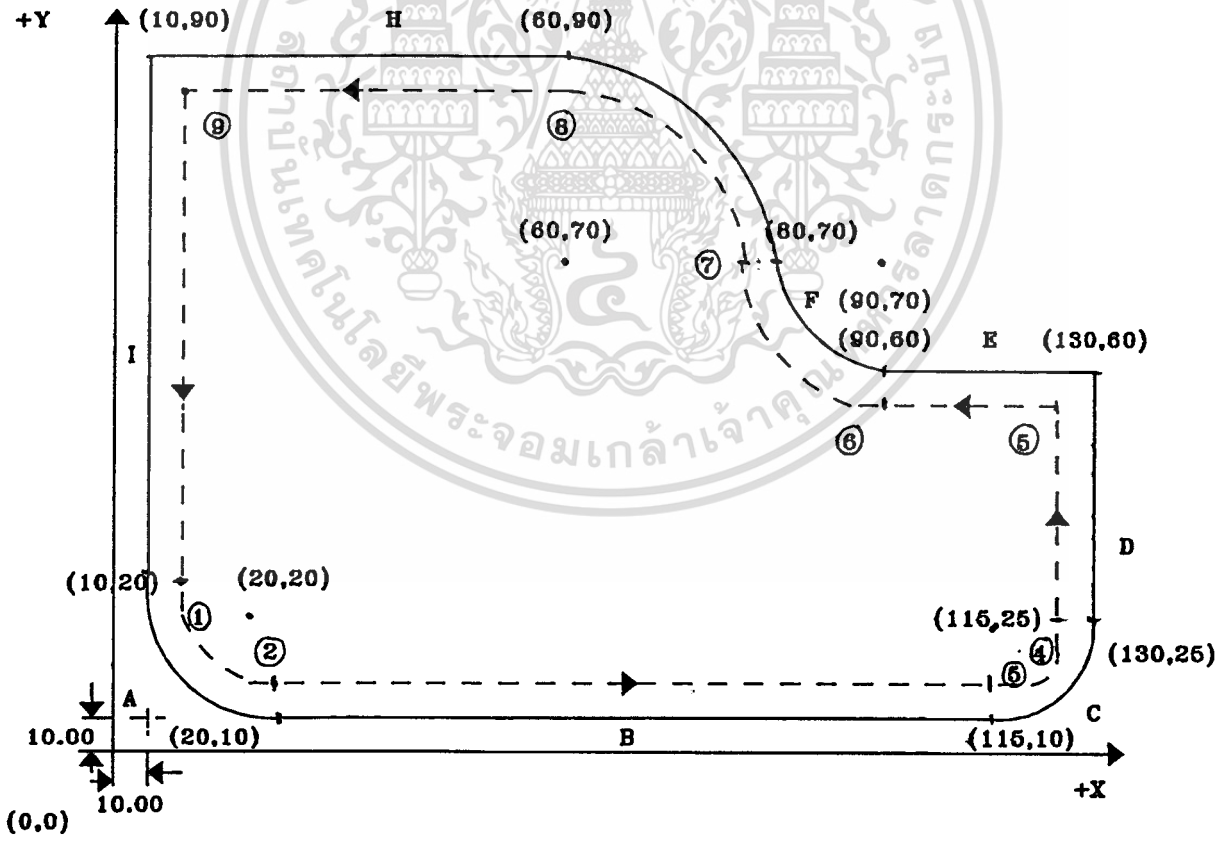
(3) ตำแหน่งเริ่มต้นของใบมีดอยู่ที่ (10.0,10.0)

(4) ตำแหน่งอ้างอิงของชิ้นงานอยู่ที่ (0.0,0.0)

(5) การวัดขนาดเป็นแบบสัมบูรณ์

(6) หน่วยของการวัดเป็นมิลลิเมตร

(7) วัสดุที่ใช้คือเหล็กเหนียว (Mild Steel)



รูปที่ 2.22 แบบชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแล้ว

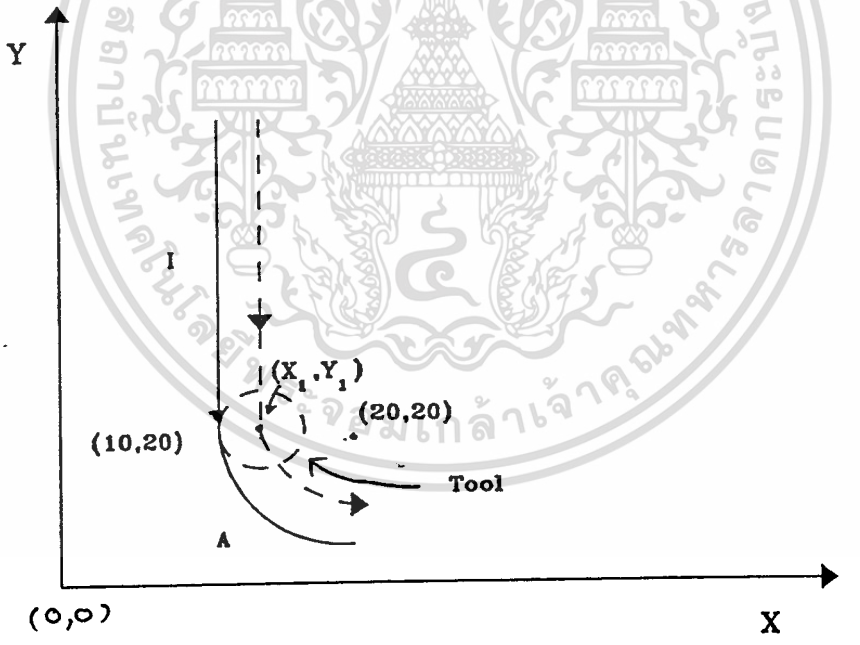
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบภาพชิ้นงานซึ่งแสดงให้เห็นว่าประกอบไปด้วยเส้นตรงและเส้นโค้งรวม 9 เส้น เมื่อพิจารณาให้ทิศทางของเส้นขอบภาพชิ้นงานมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อกำหนดรูปแบบของการทำงานแล้วจะสามารถแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของแบบชิ้นงานกับตำแหน่งอ้างอิงจะได้ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละเส้นได้แสดงตำแหน่งดังรูปที่ 2.22 แต่จะต้องนำส่วนของความสัมพันธ์นี้ไปใช้เพื่อคำนวณหาตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนใบมีด โดยในที่นี้ได้กำหนดชื่อของเส้นที่ประกอบกันเป็นเส้นขอบภาพชิ้นงานเป็น A B C D E F G H และI เรียงจากเส้นที่ใกล้จุดอ้างอิงของชิ้นงานตามทิศทวนเข็มนาฬิกา และให้ตำแหน่งของใบมีดที่ต้องการหาคือตำแหน่งที่ 1 (X_1,Y_1) ตำแหน่งที่ 2 (X_2,Y_2) ตำแหน่งที่ 3 (X_3,Y_3) ตำแหน่งที่ 4 (X_4,Y_4) ตำแหน่งที่ 5 (X_5,Y_5) ตำแหน่งที่ 6 (X_6,Y_6) ตำแหน่งที่ 7 (X_7,Y_7) ตำแหน่งที่ 8 (X_8,Y_8) และตำแหน่งที่ 9 (X_9,Y_9) โดยจะหาได้ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 จะหาได้จากเส้นตรง I กับเส้นโค้ง A ดังรูปที่ 2.23

โดยที่ $X_1 = 10.0 + \Delta x$

$Y_1 = 20.0 + \Delta y$



รูปที่ 2.23 แสดงเส้นตัดกันของเส้นตรง I กับเส้นโค้ง A

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่มีเส้นตรงขนานกับแกน Y (ภาคผนวก ค.)

$$\Delta x = r$$

$$\Delta y = \Delta j - [(R-r)^2-(\Delta i-r)^2]^{1/2}$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของส่วนโค้ง = 10.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X_C - X = 20.0 - 10.0 = 10.0$

$\Delta j = Y_C - Y = 20.0 - 20.0 = 0.0$

เพราะฉะนั้นจะได้

$\Delta x = 5.0$

$\Delta y = -[(10.0-5.0)^2-(10.0-5.0)^2]^{1/2} = 0.0$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 1 คือ

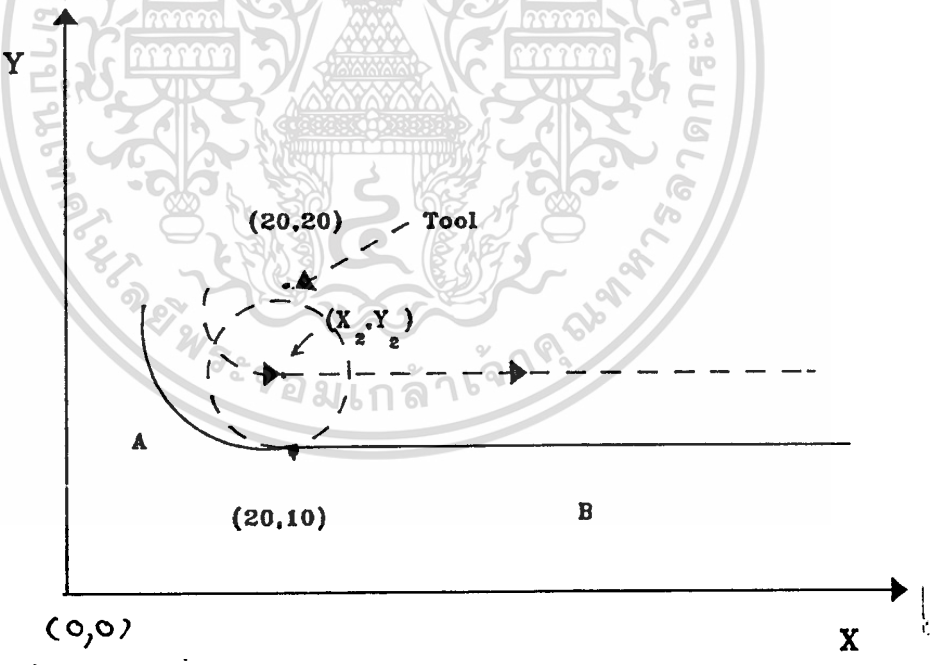
$X_1 = 15.0$

$Y_1 = 20.0$

ตำแหน่งที่ 2 หาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นโค้ง A กับเส้นตรง B ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งจะได้

$X_2 = 20.0 + \Delta x$

$Y_2 = 10.0 + \Delta y$



รูปที่ 2.24 แสดงจุดตัดของเส้นโค้ง A กับเส้นตรง B

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่เส้นตรงขนานกับแกน X (ภาคผนวก ค.)

$\Delta x = \Delta i - [(R-r)^2-(\Delta j-r)^2]^{1/2}$

$\Delta y = r$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของเส้นโค้ง = 10.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X_C - X = 20.0 - 20.0 = 0.0$

$\Delta j = Y_C - Y = 20.0 - 10.0 = 10.0$

เพราะฉะนั้นจะได้

$\Delta x = -[(10.0-5.0)^2-(10.0-5.0)^2]^{1/2}$

$\Delta y = 5.0$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 2 คือ

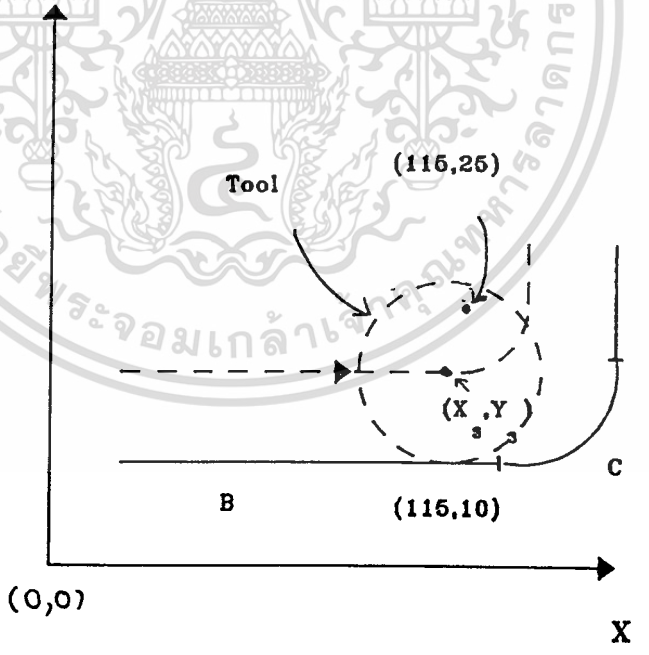
$X_2 = 20.0$

$Y_2 = 15.0$

ตำแหน่งที่ 3 หาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นตรง B กับเส้นโค้ง C ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งจะได้

$X_3 = 115.0 + \Delta x$

$Y_3 = 10.0 + \Delta y$



รูปที่ 2.25 แสดงจุดตัดกันของเส้นตรง B กับเส้นโค้ง C

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่เส้นตรงขนานกับแกน X (ภาคผนวก ค.)

$\Delta x = \Delta i - [(R-r)^2-(\Delta j-r)^2]^{1/2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta y = r$

โดยที่ r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของเส้นโค้ง = 15.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X_C - X = 115.0 - 115.0 = 0.0$

$\Delta j = Y_C - Y = 25.0 - 10.0 = 15.0$

เพราะฉะนั้นจะได้

$\Delta x = -[(15.0-5.0)^2-(15.0-5.0)^2]^{1/2} = 0.0$

$\Delta y = 5.0$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 3 คือ

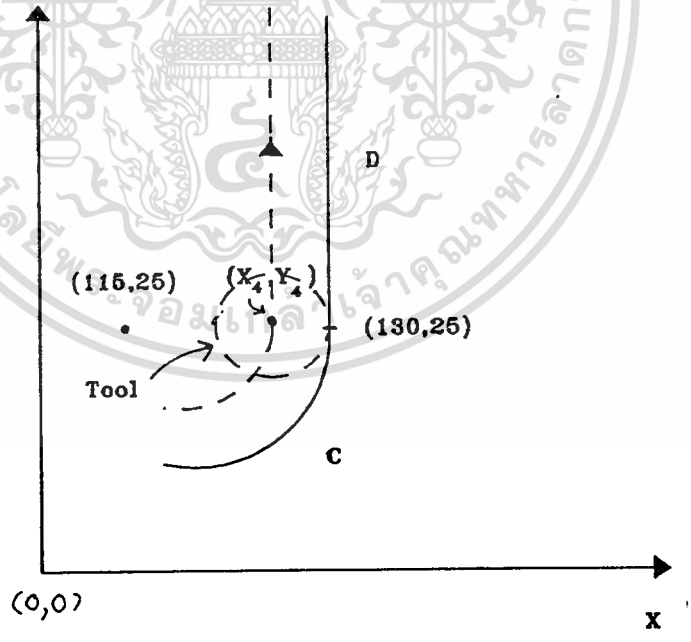
$X_3 = 115.0$

$Y_3 = 15.0$

ตำแหน่งที่ 4 หาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นโค้ง C กับเส้นตรง D ดังรูปที่ 2.26 ซึ่งจะได้

$X_4 = 130.0 - \Delta x$

$Y_4 = 25.0 + \Delta y$



รูปที่ 2.26 แสดงจุดตัดกันของเส้นโค้ง C กับเส้นตรง D

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่เส้นตรงขนานกับแกน Y (ภาคผนวก ค.)

$\Delta x = r$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta y = \Delta j-[(R-r)^2-(\Delta i-r)^2]^{1/2}$$

โดยที่

r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของเส้นโค้ง = 15.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X-X_C = 130.0-115.0 = 15.0$

$\Delta j = Y-Y_C = 25.0-25.0 = 0.0$

เพราะฉะนั้นจะได้

$\Delta x = 5.0$

$\Delta y = -[(15.0-5.0)^2-(15.0-5.0)^2]^{1/2} = 0.0$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 4 คือ

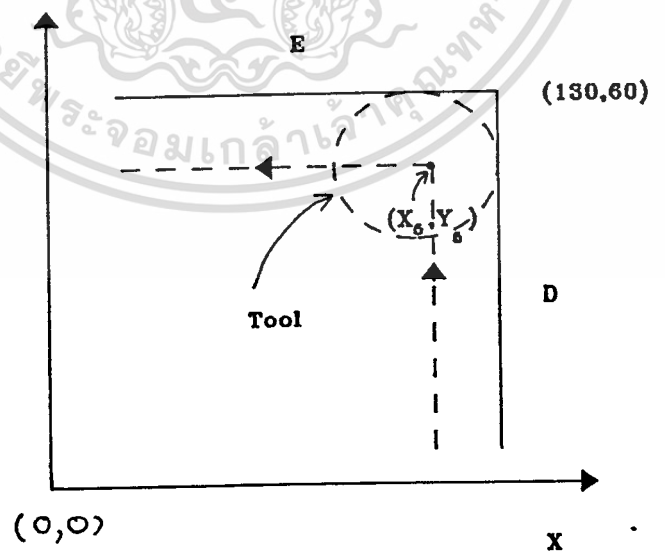
$X_4 = 125.0$

$Y_4 = 25.0$

ตำแหน่งที่ 5 จะหาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นตรง D กับเส้นตรง E ดังรูปที่ 2.27 ซึ่งจะได้

$X_5 = 130.0-\delta x$

$Y_5 = 60.0-\delta y$



รูปที่ 2.27 แสดงจุดตัดกันของเส้นตรง D กับเส้นตรง E

เนื่องจากเส้นตรง D ตั้งฉากกับเส้นตรง E ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta x = r$$

$$\Delta y = r$$

โดยที่ r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 5 คือ

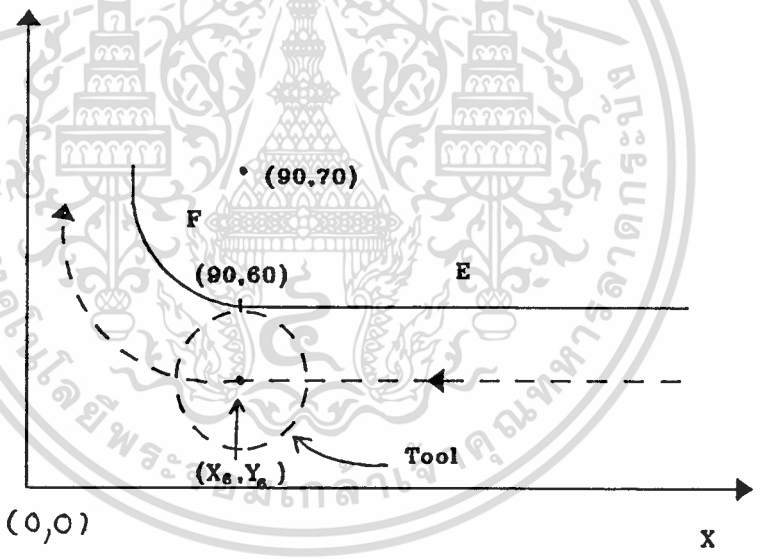
$$X_5 = 125.0$$

$$Y_5 = 55.0$$

ตำแหน่งที่ 6 จะหาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นตรง E กับเส้นโค้ง F ดังรูปที่ 2.28จะได้

$$X_6 = 90.0 + \Delta x$$

$$Y_6 = 60.0 - \Delta y$$



รูปที่ 2.28 แสดงจุดตัดกันของเส้นตรง E กับเส้นโค้ง F

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่มีเส้นตรงขนานกับแกน X (ภาคผนวก ค.)

$$\Delta x = [(R+r)^2-(\Delta j+r)^2]^{1/2} - \Delta i$$

$$\Delta y = r$$

โดยที่

r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของเส้นโค้ง = 10.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X_C - X = 90.0 - 90.0 = 0.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta j = Y_C - Y = 70.0-60.0 = 10.0$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta x = [(10.0+5.0)^2-(10.0+5.0)^2]^{1/2} = 0.0$$

$$\Delta y = 5.0$$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 6 คือ

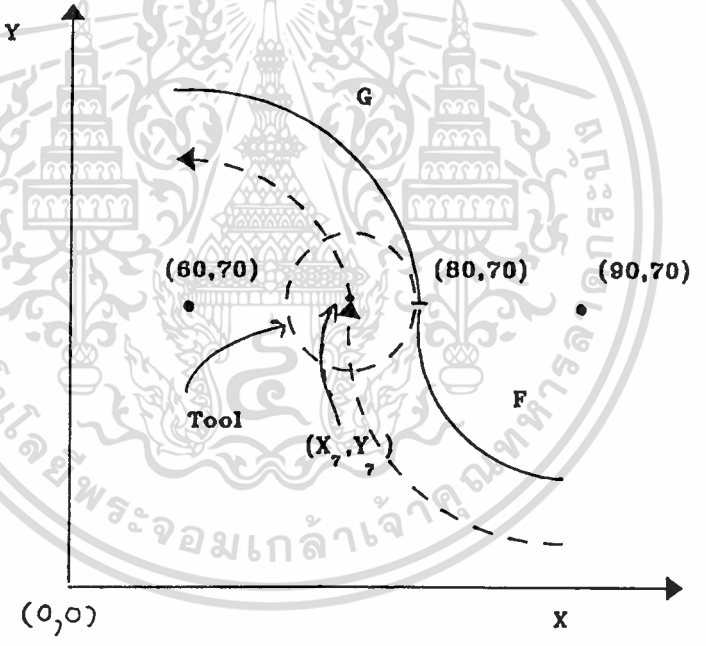
$$X_6 = 90.0$$

$$Y_6 = 55.0$$

ตำแหน่งที่ 7 จะหาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นโค้ง F กับเส้นโค้ง G ดังรูปที่ 2.29ซึ่งจะได้

$$X_7 = 80.0 - \Delta x$$

$$Y_7 = 70.0 + \Delta y$$



รูปที่ 2.29 แสดงจุดตัดของเส้นโค้ง F กับเส้นโค้ง G

จากสูตรเส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง (ภาคผนวก ค.)

$$\Delta x = r \cos(\gamma)$$

$$\Delta y = r \sin(\gamma)$$

โดยที่ r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

γ = มุมที่ได้จากเส้นตรงระหว่างจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งทำกับแกน X

เพราะฉะนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta x = 5.0 \cos(0^{\circ}) = 5.0$

$\Delta y = 5.0 \sin(0^{\circ}) = 0.0$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 7 คือ

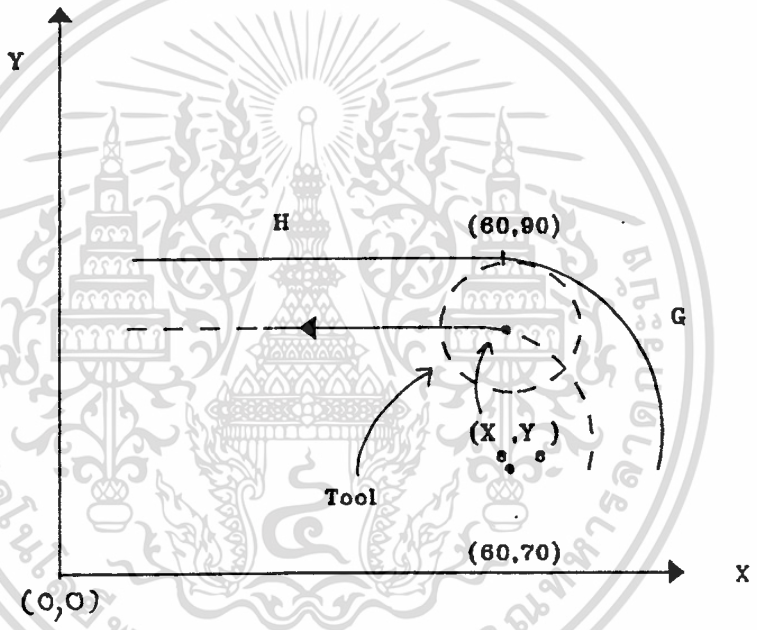
$X_7 = 75.0$

$Y_7 = 70.0$

ตำแหน่งที่ 8 จะหาได้จากความสัมพันธ์ของเส้นโค้ง G กับเส้นตรง H ดังรูปที่ 2.30ซึ่งจะได้

$X_8 = 60.0 + \Delta x$

$Y_8 = 90.0 - \Delta y$



รูปที่ 2.30 แสดงจุดตัดกันของเส้นโค้ง G กับเส้นตรง H

จากสูตรเส้นตรงตัดกับเส้นโค้งที่เส้นตรงขนานกับแกน X (ภาคผนวก ค.)

$\Delta x = \Delta i - [(R-r)^2 - (\Delta j - r)^2]^{1/2}$

$\Delta y = r$

โดยที่

r = รัศมีของใบมีด = 5.0 มิลลิเมตร

R = รัศมีของเส้นโค้ง = 20.0 มิลลิเมตร

$\Delta i = X - X_C = 60.0 - 60.0 = 0.0$

$\Delta j = Y - Y_C = 90.0 - 70.0 = 20.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta x = -[(20.0-5.0)^2-(20.0-5.0)^2]^{1/2} = 0.0$$

$$\Delta y = 5.0$$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 8 คือ

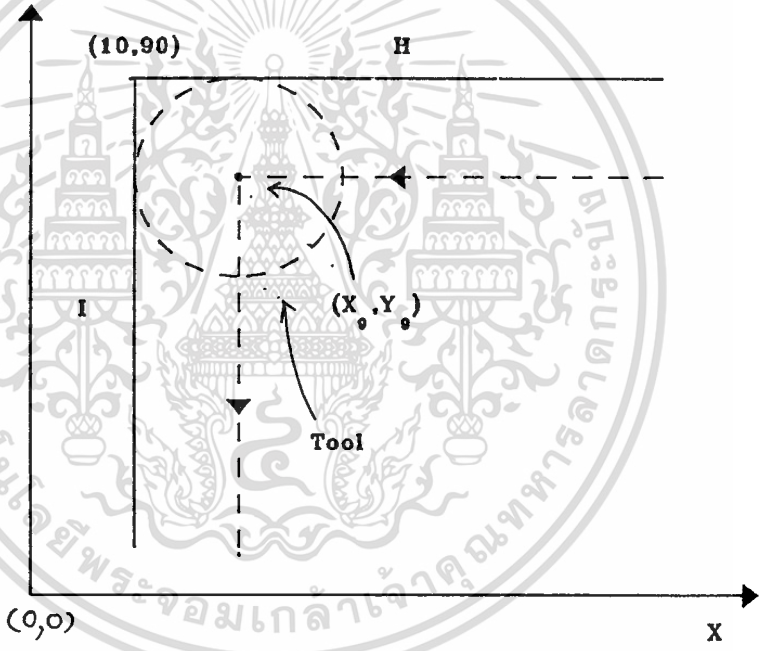
$$X_8 = 60.0$$

$$Y_8 = 85.0$$

ตำแหน่งที่ 9 จะได้จากความสัมพันธ์ของเส้นตรง H กับเส้นตรง I ดังรูปที่ 2.31 ซึ่งจะได้

$$X_9 = 10.0 + \Delta x$$

$$Y_9 = 90.0 - \Delta y$$



รูปที่ 2.31 แสดงจุดตัดกันของเส้นตรง H กับเส้นตรง I

เนื่องจากเส้นตรง H ตั้งฉากกับเส้นตรง I ดังนั้นจะได้

$$\Delta x = r$$

$$\Delta y = r$$

โดยที่ r เป็นรัศมีของใบมีดเท่ากับ 5.0 มิลลิเมตร

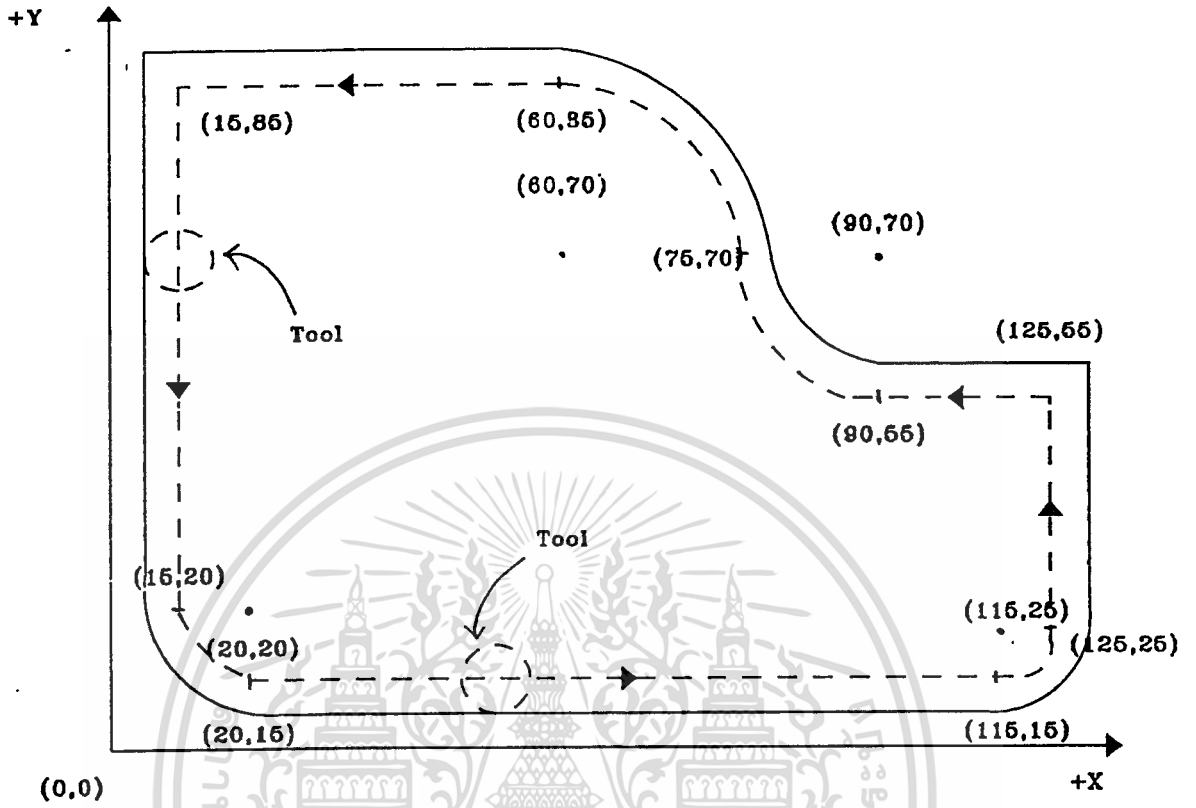
เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่งที่ 9 คือ

$$X_9 = 15.0$$

$$Y_9 = 85.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหาตำแหน่งของใบมีดได้หมดแล้วจะสามารถแสดงตำแหน่งได้ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงตำแหน่งของใบมีดที่คำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการคำนวณหาความเร็วในการป้อนชิ้นงานและความเร็วในการหมุนของใบมีดจะหาได้จาก

$$\text{SPEED (รอบ/นาที)} = \frac{\text{Cutting speed}^* \times 1000}{\pi \times \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด}}$$

$$= \frac{30.0 \times 1000}{(22/7) \times 10.0}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ความเร็วในการหมุนของใบมีดเท่ากับ 954.9 หรือประมาณ 955 รอบต่อนาที

FEED (มม./นาที) = FEED*(มม./ปาก) x จำนวนปากของใบมีด x SPEED (รอบ/นาที)

= 0.25 x 2 x 954.9

เพราะฉะนั้นจะได้ความเร็วในป้อนชิ้นงานเท่ากับ 477.465 หรือประมาณ 477.5 มม.ต่อนาที

เมื่อได้รายละเอียดของแบบของชิ้นงานที่ต้องการแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนโปรแกรมสั่งงาน โดยการเขียนคำสั่งทีละบรรทัดดังนี้

```
N0010 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
```

คำสั่งบรรทัดที่ 10 (N0010) เป็นส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมโดยทั่วไปซึ่งจะต้องกำหนดให้ทุกครั้งก่อนที่จะเขียนโครงสร้างของโปรแกรมส่วนอื่น ในส่วนนี้เป็นการกำหนดให้รู้ว่าโปรแกรมนี้ทำงานในระนาบ XY (G17) มีหน่วยการวัดระยะทางเป็นมิลลิเมตร (G21) บอกเครื่องจักรให้ยกเลิกข้อมูลเดิม เช่น การบวกหรือลบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดในการคำนวณเส้นทางเดิน (G40) ข้อมูลการเจาะ (G80) เป็นต้น การกำหนดให้คิดระยะทางการวัดเป็นแบบสัมบูรณ์ (G90) การยกเลิกข้อมูลเดิมเพื่อความปลอดภัยของเครื่องจักร

---

* ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N020 G92 X0. Y0. Z0. ;

บรรทัดที่ 20 (N0020) เป็นการโปรแกรมตำแหน่งเริ่มต้นให้ไปอยู่ที่ (0,0,0)

N0030 S955 M03 ;

บรรทัดที่ 30 (N0030) เป็นการกำหนดให้อัตราการหมุนของใบมีดเป็น 955 รอบต่อนาที (revolution per minute : rpm) และหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

N0040 G00 X15. Y20. M08 ;

บรรทัดที่40(N0040)เป็นการสั่งงานให้ใบมีดเดินเร็วไปยังตำแหน่ง (15.0,20.0) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ 1 โดยไม่กินเนื้อของชิ้นงาน และเริ่มเปิดน้ำหล่อเย็น

N0050 Z-50. ;

บรรทัดที่ 50 (N0050) เป็นการสั่งให้ใบมีดเคลื่อนที่เป็นระยะ 50 มิลลิเมตร ในทิศทางลบของแกน Z

N0060 G01 Z-52. F477.5 ;

บรรทัดที่ 60 (N0060) เป็นการสั่งให้ใบมีดกินชิ้นงานลึก 2.0 มิลลิเมตร ในทิศทางลบของแกน Z โดยมีความเร็วในการป้อนชิ้นงานเท่ากับ 477.5 มิลลิเมตรต่อนาที

N0070 G03 X20. Y15. I5. ;

บรรทัดที่ 70 (N0070) การให้ป้อนชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N0080 G01 X115. ;

บรรทัดที่ 80 (N0080) เป็นการเคลื่อนใบมีดขณะที่กำลังกินชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่ 3

N0090 G03 X125. Y25. J10. ;

บรรทัดที่ 90 (N0090) เป็นการเคลื่อนใบมีดไปยังตำแหน่งที่ 4

N0100 G01 Y55. ;

บรรทัดที่ 100 (N0100) เป็นการเคลื่อนใบมีดเป็นเส้นโค้ง โดยพิจารณาจุดเริ่มต้นเทียบกับจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง

N0110 X90. ;

บรรทัดที่ 110 (N0110) เป็นการเคลื่อนใบมีดเป็นเส้นตรงไปยังตำแหน่งที่ 6

N0120 G02 X75. Y70. J15. ;

บรรทัดที่ 120 (N0120) เป็นการเคลื่อนใบมีดไปยังตำแหน่งที่ 7 โดยระยะทางแกน X ลดลง ระยะทางแกน Y เพิ่มขึ้น

N0130 G03 X60. Y85. I-15. ;

บรรทัดที่ 130 (N0130) เป็นการเคลื่อนใบมีดไปยังตำแหน่งที่ 8 โดยระยะแกน X ลดลง ระยะแกน Y เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N0140 G01 X15. ;
```

บรรทัดที่ 140 (N0140) เป็นการเคลื่อนใบมีดไปยังตำแหน่งที่ 9

```
N0150 Y20. ;
```

บรรทัดที่ 150 (N0150) เป็นการเคลื่อนใบมีดไปยังตำแหน่งที่ 1

เมื่อเขียนโปรแกรมสั่งงานในส่วนโครงสร้างของแบบครบแล้ว ส่วนต่อไปจะต้องกำหนดให้ใบมีดกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ปิดท้ายของโปรแกรมคำสั่งงาน

```
N0160 Z-45. M09 ;
```

บรรทัดที่ 160 (N0160) เป็นการสั่งให้ใบมีดเคลื่อนที่อยู่เหนือชิ้นงานเป็นระยะ 5 มิลลิเมตร และให้ปิดน้ำหล่อเย็น

```
N0170 G28 Z0. M05 ;
```

บรรทัดที่ 170 (N0170) เป็นการสั่งให้ใบมีดกลับไปยังตำแหน่งอ้างอิงทางแกน Z และยกเลิกการหมุนของใบมีด

```
N0180 X0. Y0. ;
```

บรรทัดที่ 180 (N0180) สั่งให้ใบมีดกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำโปรแกรมแต่ละคำสั่งมารวมกันเป็นโปรแกรมสั่งงานให้เครื่องจักรทำงานได้ดังนี้คือ

```
N0010 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N0020 G92 X0. Y0.0 Z0. ;
N0030 S955 M03 ;
N0040 G00 X15. Y20. M08 ;
N0050 Z-50. ;
N0060 G01 Z-52. F477.5 ;
N0070 G03 X20. Y15. I5. ;
N0080 G01 X115. ;
N0090 G03 X125. Y25. J10. ;
N0100 G01 Y55. ;
N0110 X90. ;
N0120 G02 X75. Y70. J15. ;
N0130 G03 X60. Y85. I-15. ;
N0140 G01 X15. ;
N0150 Y20. ;
N0160 Z-45. M09 ;
N0170 G28 Z0. M05 ;
N0180 X0. Y0. ;
```

2.6.2 โครงสร้างของโปรแกรมสั่งงาน

จากการพิจารณาถึงการออกแบบโปรแกรมสั่งงานพอที่จะสรุปรูปแบบของชุดคำสั่งที่สามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ดังนี้

(ก) ส่วนหัวโปรแกรม

(ข) ส่วนโครงสร้างของภาพ

(ค) ส่วนปิดท้ายโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวโปรแกรม ----> เป็นข้อกำหนดของเครื่อง

โครงสร้างของภาพ ----> ข้อมูลที่ได้จากแบบชิ้นงาน

ส่วนปิดท้ายโปรแกรม ----> เป็นการสั่งให้เครื่องกลับไปที่ตำแหน่งเริ่มต้น

2.7 สรุป

จากตัวอย่างของการคำนวณตำแหน่งของเครื่องมือจะสังเกตุได้ว่า ลักษณะของเส้นที่ตัดกันนั้นมีหลายรูปแบบคือ เส้นตรงต่อกับเส้นตรง เส้นตรงต่อกับเส้นโค้ง เส้นโค้งต่อกับเส้นตรง และเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง ซึ่งจะสามารถทำการคำนวณจากการที่ผู้โปรแกรมกำหนดให้ว่าต้องการให้เครื่องมืออยู่ภายนอกหรือภายใน ดังนั้นเมื่อต้องการสร้างซอฟท์แวร์ให้แปลงข้อมูลวาดแบบเป็นโปรแกรมสั่งงานจึงสร้างซอฟท์แวร์ให้ทำงานเรียนแบบการสร้างโปรแกรมสั่งงานโดยปกติ โดยลักษณะของซอฟท์แวร์จะทำการสร้างโปรแกรมสั่งงานให้มีโครงสร้างเดียวกับการสร้างโดยปกติ ส่วนการคำนวณของซอฟท์แวร์จะได้เสนอต่อไปในบทที่ 3 และบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลภาพของโปรแกรมวาดแบบ

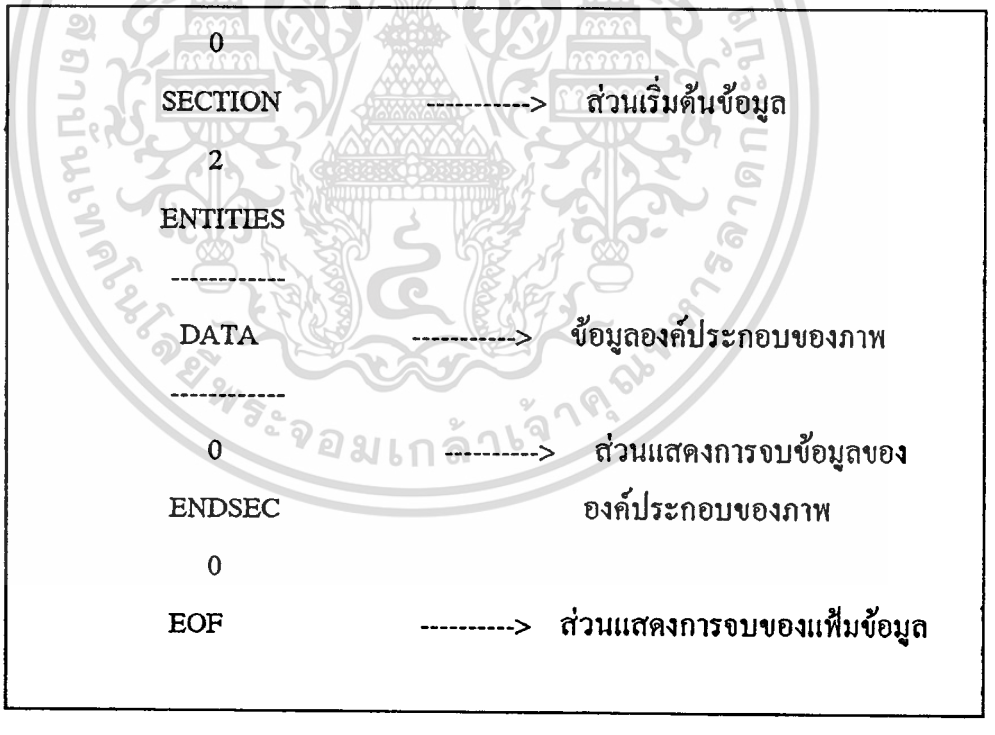
3.1 บทนำ

โดยปกติการออกแบบและการผลิตชิ้นงานของเครื่อง CNC จะเป็นงานที่ทำแยกกัน 2 ฝ่าย โดยฝ่ายออกแบบจะกำหนดรูปแบบของชิ้นงาน ฝ่ายผลิตเป็นผู้นำแบบที่ออกโดยฝ่ายออกแบบไปใช้งาน ซึ่งฝ่ายผลิตจะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบ ไปป้อนเข้าอุปกรณ์ควบคุมการผลิตอีกทีหนึ่ง ซึ่งเป็นงานที่ซ้ำซ้อนอีกทั้งข้อมูลอาจมีโอกาสผิดพลาดได้ ข้อมูลที่กำหนดไว้บนแบบสามารถจะนำไปใช้ในการผลิตได้ทันที หากมีการใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยและมีการใช้ฐานข้อมูลร่วมกันระหว่างฝ่ายออกแบบและฝ่ายผลิต ซึ่งลักษณะการใช้ฐานข้อมูลร่วมกันระหว่างฝ่ายออกแบบ และฝ่ายผลิตจะใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในลักษณะที่เรียกว่า Computer Aided Manufacturing หรือ CAM การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นการศึกษาถึงที่มาของข้อมูลรวมไปถึงการนำไปใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมวาดแบบซึ่งเป็นซอฟท์แวร์ด้านกราฟิก มาช่วยในการออกแบบชิ้นงาน และนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบไปสร้างเป็นชุดคำสั่งเริ่มต้น สำหรับการแปลงไปเป็นรหัสคำสั่ง (G-code) ของโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC ต่อไป เหตุที่งานวิจัยมิได้นำข้อมูลของโปรแกรมวาดแบบไปแปลงเป็นรหัสคำสั่งเครื่อง CNC โดยตรงนั้น เป็นเพราะโปรแกรมวาดแบบโดยทั่วไปจะทำการเก็บบันทึกข้อมูลของเส้นภาพชิ้นงานเป็นเส้นๆตามลำดับการวาดหรือลากเส้นของผู้วาดแบบ ซึ่งอาจจะไม่มีความต่อเนื่อง ถ้านำไปแปลงเป็นรหัสเครื่อง CNC โดยตรงจะทำให้การทำงานของส่วนเครื่องมือของเครื่อง CNC ไม่มีความต่อเนื่องทำให้เสียเวลา นอกจากนั้นรูปแบบข้อมูลของภาพชิ้นงานของโปรแกรมวาดแบบบางส่วน ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับลักษณะการทำงานของเครื่อง CNC ได้โดยตรง เช่นข้อมูลส่วนเส้นโค้ง (ARC) และข้อมูลเส้นต่อเนื่อง (POLYLINE) เป็นต้น จะต้องมีการปรับแต่งให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ดังจะกล่าวโดยละเอียดในลำดับต่อไป สำหรับโปรแกรมวาดแบบนั้นงานวิจัยได้เลือกโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) มาเป็นส่วนการออกแบบภาพชิ้นงานของงานวิจัยนี้ เพราะเป็นโปรแกรมวาดแบบที่กำลังได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ตลอดจนผู้ใช้สามารถศึกษาทำความเข้าใจในการใช้โปรแกรมได้ไม่ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปแบบข้อมูลภาพของโปรแกรมวาดแบบ

โปรแกรมวาดแบบที่เป็นมาตรฐานโดยทั่วไป จะมีการเก็บบันทึกข้อมูลจากภาพที่วาดขึ้น ในรูปแบบที่สามารถนำไปเชื่อมต่อกับโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานอื่นๆได้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแฟ้มเอกสาร (Text File) ที่เป็นมาตรฐานเรียกว่า ASCII Drawing Interchange File (DXF) แบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลทั่วไป (HEADER section) ส่วนตารางรายชื่อ (TABLE section) ส่วนข้อมูลภาพชุด (BLOCKS section) ส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพ (ENTITIES section) และส่วนการจบไฟล์ (EOF section) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพบว่าในการแปลงข้อมูลภาพของโปรแกรมวาดแบบนี้ให้เป็นโปรแกรมสั่งงานของเครื่อง CNC นั้น จะใช้เพียงส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพเท่านั้น เพราะข้อมูลส่วนนี้เป็นโครงสร้างแต่ละส่วนของภาพทั้งหมด ซึ่งสมบูรณ์เพียงพอต่อการนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานเพื่อการควบคุมเครื่อง CNC ให้ทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะรูปแบบของข้อมูลในส่วนองค์ประกอบของภาพเท่านั้น ลักษณะของการเก็บบันทึกข้อมูลในส่วนนี้จะมีรูปแบบ (format) มาตรฐาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบการเก็บส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพในโปรแกรมวาดแบบ AutoCAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยบรรทัดที่ 1 จะใช้เลข "0" เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของส่วนข้อมูลทั้งหมดได้แก่ "SECTION" ในบรรทัดถัดมา ส่วนบรรทัดที่ 3 จะใช้เลข "2" เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของส่วนข้อมูลองค์ประกอบของภาพได้แก่ "ENTITIES" ในบรรทัดต่อๆมา ข้อมูล (DATA) ดังกล่าวจะประกอบด้วย เส้นตรง (LINE) เส้นโค้ง (ARC) วงกลม (CIRCLE) และ เส้นต่อเนื่อง (POLYLINE) ปิดท้ายชุดข้อมูลด้วยเลข "0" ตามด้วยคำสั่ง "ENDSEC" เพื่อแสดงถึงการจบข้อมูลในส่วนขององค์ประกอบภาพ และทำการปิดไฟล์ด้วยเลข "0" ตามด้วยคำสั่ง "EOF" ในบรรทัดสุดท้าย จะเห็นว่ารูปแบบของแฟ้มข้อมูลในโปรแกรมวาดแบบออโตแคดจะใช้รหัสตัวเลข (group code) คู่กับค่าตัวแปรหรือคำสั่ง (group value) รหัสตัวเลขจะถูกกำหนดคงที่เพื่อแสดงถึงชนิดและความหมายของค่าตัวแปรหรือคำสั่งที่ตามมา โดยตัวแปรจะอยู่ในรูปของเลขทศนิยมและคำสั่งจะอยู่ในรูปของกลุ่มอักขระหรือเลขจำนวนเต็ม ในลำดับต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในส่วนข้อมูลเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม และเส้นต่อเนื่อง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแปลงเป็นชุดคำสั่งเครื่อง CNC

3.2.1 เส้นตรง (LINE)

ข้อมูลเส้นตรงจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข "0" คู่กับคำสั่ง "LINE" ตามด้วยข้อมูลของเส้นดังแสดงในรูปที่ 3.2 จุดเริ่มต้นของเส้นตรงกำหนดโดยรหัสเลข "10" "20" และ "30" ที่แสดงพิกัดของจุดเริ่มต้นในทิศทางของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ส่วนจุดสิ้นสุดของเส้นตรงกำหนดโดยรหัสเลข "11" "21" และ "31" ที่แสดงพิกัดของจุดสิ้นสุดในทิศทางของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับดังตัวอย่างในรูปที่ 3.3 เมื่อแปลงข้อมูลเส้นตรงเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC จะได้ตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องมือ (Tool) ทิศทางของการเคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งสุดท้ายของการเคลื่อนที่ เช่นตัวอย่างในรูปที่ 3.3 ถ้าต้องการเลื่อนใบมีดตามแนวเส้นตรงที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (15,30,0) และจุดสิ้นสุดอยู่ที่ (20,45,0) สามารถแปลงข้อมูลภาพนี้เป็นคำสั่งเครื่อง CNC ได้โดยตรง ตามตัวอย่างนี้จะแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานภายใต้การคิดระยะทางแบบสมบูรณ์* ได้ดังนี้

N0010 G00 X15.000 Y30.000 Z0.000 ; คำสั่งเคลื่อนใบมีดไปที่จุดเริ่มต้น

N0010 G01 X20.000 Y45.000 Z0.000 ; คำสั่งเคลื่อนใบมีดไปที่จุดสิ้นสุด

---

* รายละเอียดของการคิดระยะทางแบบสัมบูรณ์และแบบส่วนเพิ่มได้อธิบายไว้ในบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0

LINE

8

ชื่อชั้นเก็บข้อมูล

10

จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน X ------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ X_S)

20

จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน Y ------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Y_S)

30

จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน Z -------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Z_S)

11

จุดสิ้นสุดเทียบกับแกน X -------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ X_E)

21

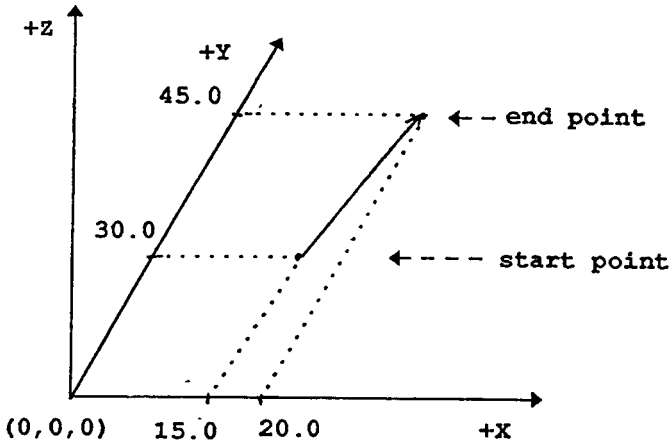
จุดสิ้นสุดเทียบกับแกน Y -------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Y_E)

31

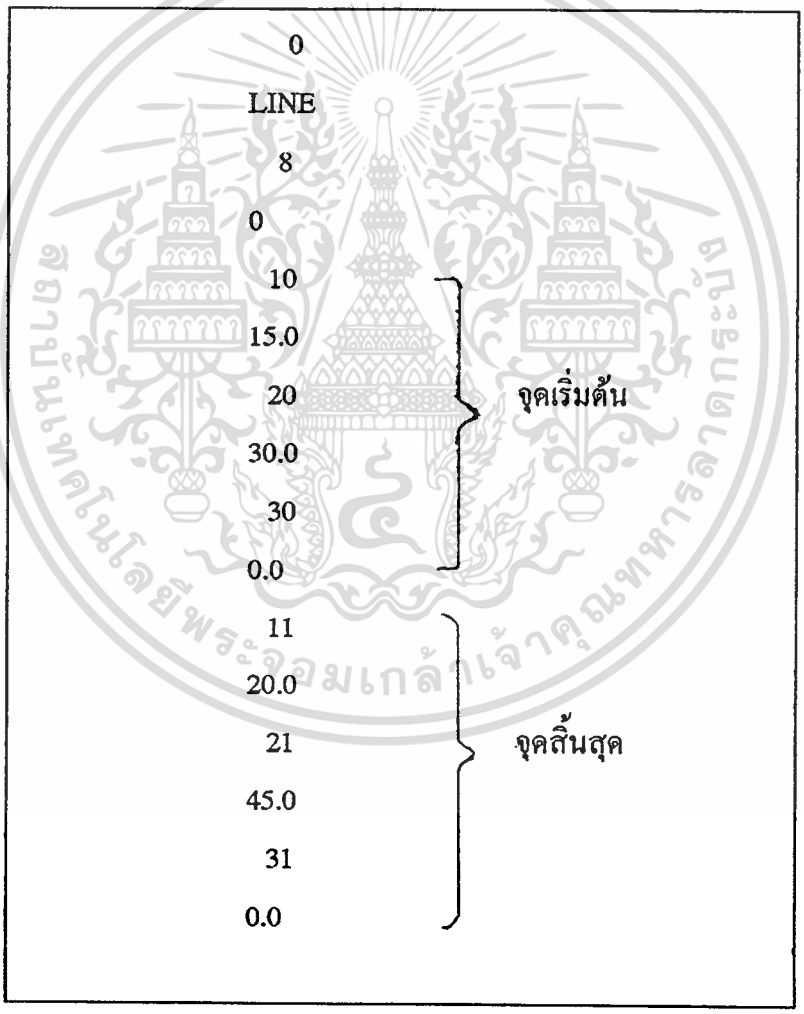
จุดสิ้นสุดเทียบกับแกน Z ------> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Z_E)

รูปที่ 3.2 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นตรงของโปรแกรมวาดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบภาพเส้นตรง



(ข) ข้อมูลภาพเส้นตรง

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เส้นโค้ง (ARC)

ข้อมูลเส้นโค้งจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข "0" คู่กับคำสั่ง "ARC" ตามด้วยข้อมูลเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยใช้รหัสเลข "10" "20" และ "30" บอกพิกัดของจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งบนแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ใช้รหัสเลข "40" บอกขนาดของรัศมีของเส้นโค้งใช้รหัสเลข "50" บอกขนาดของมุมเริ่มต้นและใช้รหัสเลข "51" บอกขนาดของมุมสิ้นสุด ขนาดของมุมทั้งสองจะวัดจากแกน +X และกวาดมุมไปในทิศทวนเข็มนาฬิกามีหน่วยเป็นองศา ตัวอย่างเก็บข้อมูลของเส้นโค้งแสดงในรูปที่ 3.5 ในการแปลงข้อมูลเส้นโค้งเป็นชุดคำสั่งเครื่อง CNC เพื่อบังคับเครื่องมือให้เคลื่อนตามแนวเส้นโค้งนั้นจะต้องทราบตำแหน่งจุดเริ่มต้นเส้นโค้ง จุดสิ้นสุดของเส้นโค้ง และรัศมีของเส้นโค้ง ซึ่งเราสามารถหาได้จากข้อมูลภาพเส้นโค้ง เช่นตัวอย่างรูปที่ 3.6 จากข้อมูลภาพเราทราบว่าเส้นโค้งมีรัศมี 50 หน่วย มีจุดเริ่มต้นทำมุม 0 องศากับแกน +X และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (150,50) ดังนั้นจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งจะอยู่ที่ (150+50,50) นั่นคือจุด (200,50) นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน จุดสิ้นสุดของเส้นโค้งทำมุม 90 องศากับแกน +X ดังนั้นจุดสิ้นสุดของเส้นโค้งจะอยู่ที่ (150,50+50) นั่นคือจุด (150,100) เมื่อให้ข้อมูลจุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด และรัศมีของเส้นโค้ง จะสามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานให้เครื่องมือเคลื่อนไปตามแนวเส้นโค้งในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาได้ดังนี้

N0010 G00 X200.000 Y50.000 ;

ตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องมือ

N0020 G03 X150.000 Y100.000 I-50.000 J0.000 ;

ตำแหน่งเคลื่อนเครื่องมือเป็นเส้นโค้งไปยังตำแหน่งสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0

ARC

8

ชื่อชั้นเก็บข้อมูล

10

จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน X -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ X_C)

20

จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Y -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Y_C)

30

จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Z -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Z_C)

40

รัศมีของเส้นโค้ง -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ r)

50

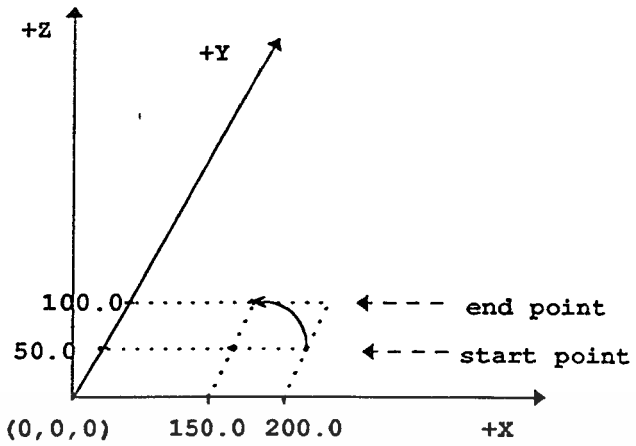
มุมเริ่มต้นของเส้นโค้งเทียบกับแกน +X -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ ϕ)

51

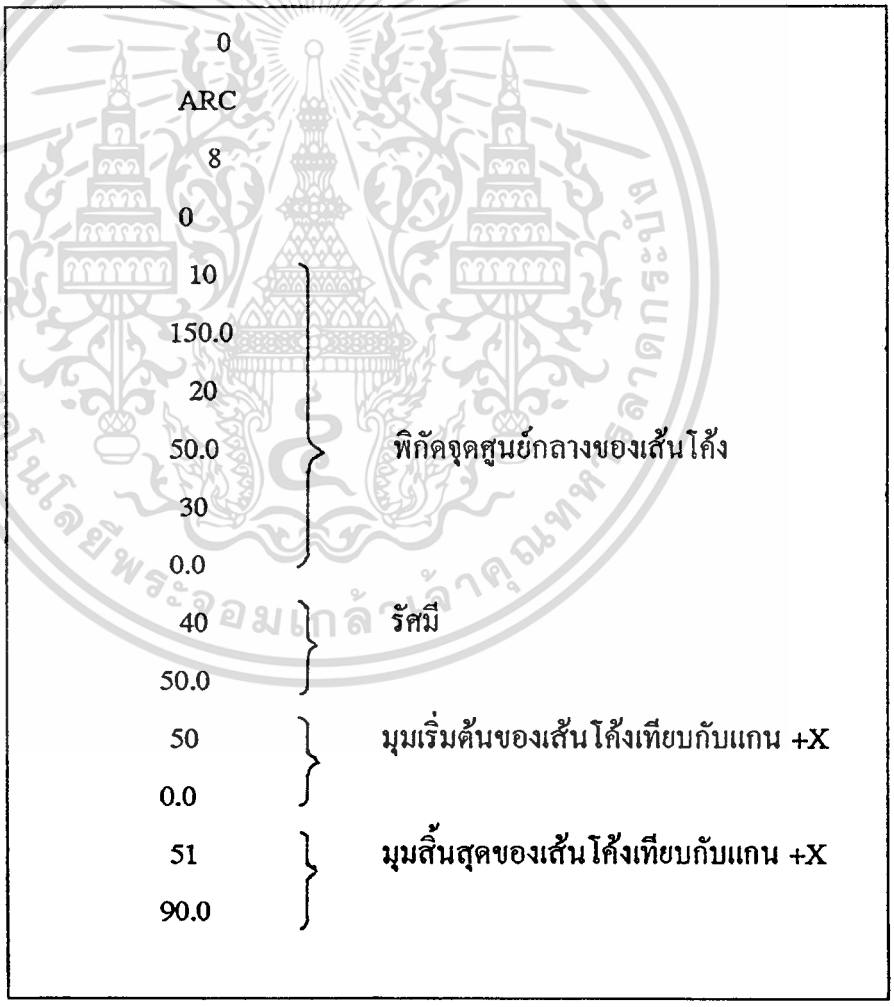
มุมสิ้นสุดของเส้นโค้งเทียบกับแกน +X -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ θ)

รูปที่ 3.4 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นโค้งของโปรแกรมวาดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบภาพเส้นโค้ง



(ข) ข้อมูลภาพเส้นโค้ง

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่งรายละเอียดในการคำนวณหาจุดต่างๆ จากข้อมูลเส้นโค้งจะได้กล่าวในบทที่ 3.3

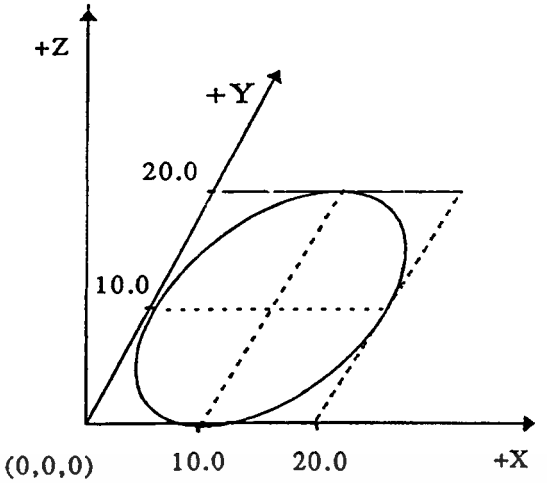
3.2.3 วงกลม (CIRCLE)

ข้อมูลวงกลมจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข "0" คู่กับคำสั่ง "CIRCLE" ตามด้วยข้อมูลของภาพวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยใช้รหัสเลข "10" "20" และ "30" แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของวงกลมในพิกัดของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับและใช้รหัสเลข "40" แสดงค่าของรัศมีของวงกลม ตัวอย่างการเก็บข้อมูลภาพวงกลมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ในการแปลงข้อมูลภาพวงกลมเพื่อการสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานนั้น

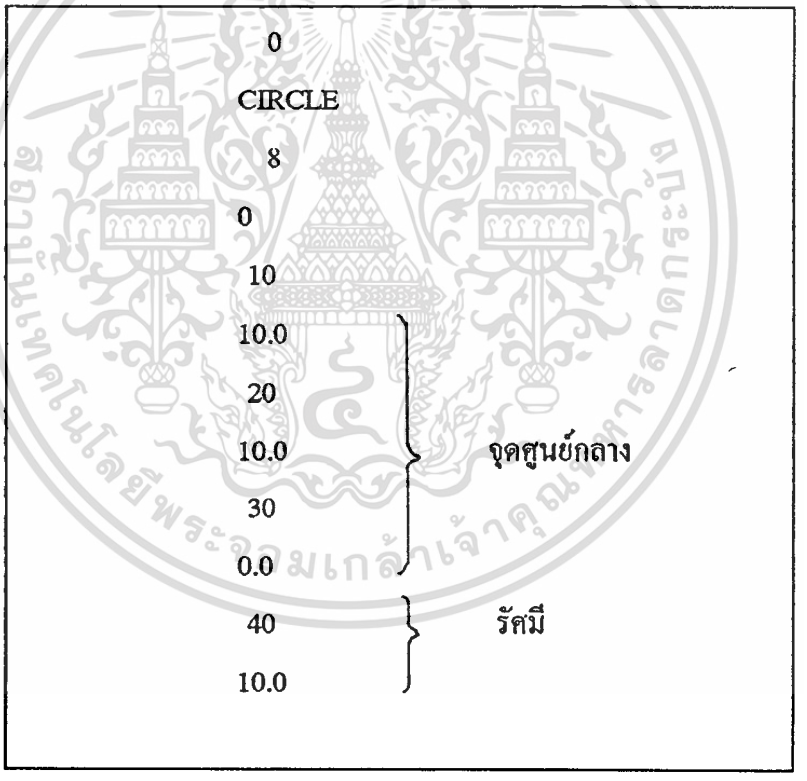
```
0
CIRCLE
8
ชื่อชั้นเก็บข้อมูล
10
ตำแหน่งจุดศูนย์กลางเทียบกับแกน X -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ XC)
20
ตำแหน่งจุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Y -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ YC)
30
ตำแหน่งจุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Z -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ ZC)
40
รัศมีของวงกลม -----> (ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ r)
```

รูปที่ 3.6 รูปแบบการเก็บข้อมูลวงกลมของโปรแกรมวาดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบภาพวงกลม

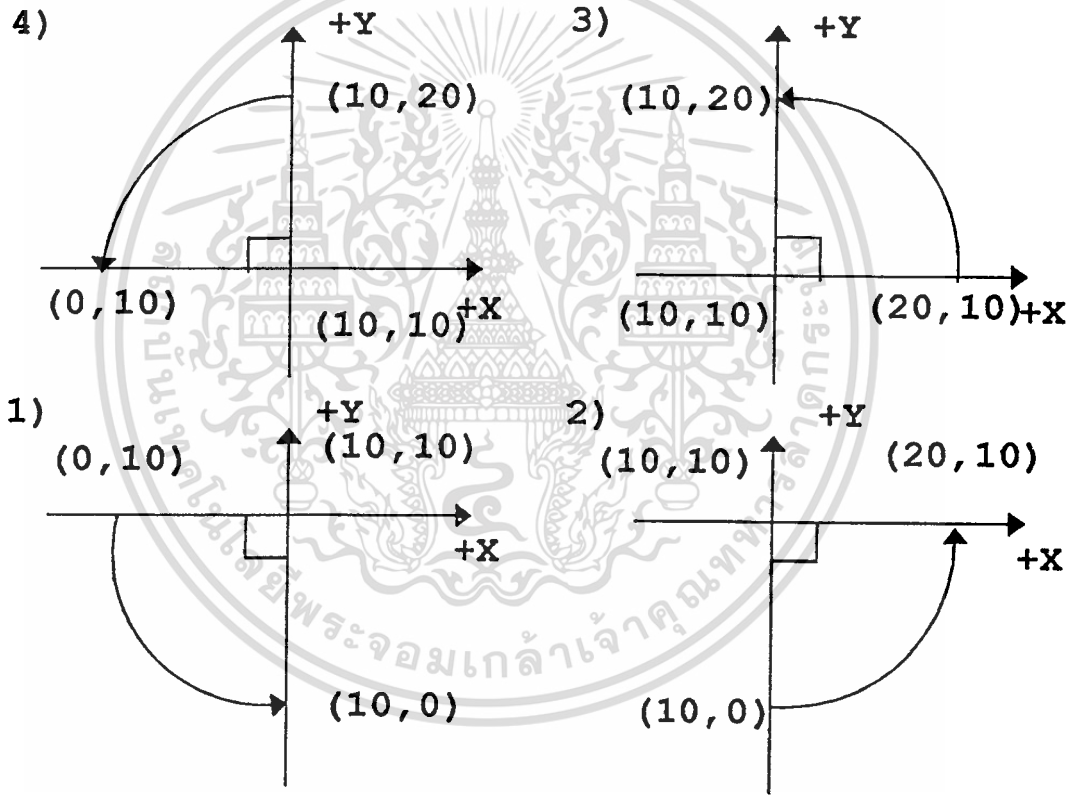


(ข) ข้อมูลภาพวงกลม

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลภาพวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ได้ทำการแยกข้อมูลภาพวงกลมออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน เพื่อสะดวกต่อการสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานให้ส่วนเครื่องมือของเครื่อง CNC เคลื่อนที่เป็นลำดับต่อเนื่องตามแนวเส้นรอบวงของภาพวงกลม เช่นตัวอย่างข้อมูลภาพวงกลมในรูปที่ 3.7 มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (10,10,0) และมีรัศมี 10 หน่วย เมื่อแบ่งภาพวงกลมซึ่งอยู่ในระนาบแกน XY ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกันจะได้เส้นโค้งที่มีรัศมี 10 หน่วย 4 เส้น ที่มีความยาวเท่ากันมีทิศทางของการวาดเส้นทวนเข็มนาฬิกา* ซึ่งเราจะได้จุดโคออดิเนทของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของแต่ละเส้นเมื่อเลื่อนจุดตัดกึ่งกลางของแกน XY ไปที่จุดศูนย์กลางของวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.8 และในการนำข้อมูลของเส้นโค้งสี่ส่วนนี้ไปสร้างโปรแกรมสั่งงานเครื่องนั้นเราได้พิจารณา



รูปที่ 3.8 การแบ่งข้อมูลภาพวงกลมออกเป็น 4 เส้นที่มีขนาดเท่ากัน

ให้มีการเคลื่อนเครื่องมือ (เช่นใบมีด) เป็นลำดับตามแนวเส้นโค้งโดยเริ่มจากจุดที่ใกล้ตำแหน่ง

---

* เป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานที่จะวาดรูปเส้นโค้งจากจุดเริ่มต้นไปจุดปลายทางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เนื่องจากการสร้างมุมเริ่มต้นของจุดเริ่มต้นและมุมสิ้นสุดของจุดสิ้นสุดนั้นจะต้องเปรียบเทียบกับแกน +X เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นของเครื่องมือมากที่สุด สำหรับตัวอย่างนี้จะได้โปรแกรมสั่งงานเครื่องมือดังนี้

N0010 G00 X0.000 Y10.000 ;

ตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องมือ

N0020 G03 X10.000 Y0.000 I10.000 J0.000 ;

สำหรับการเคลื่อนเครื่องมือตามแนวเส้นโค้งที่ 1

N0030 G03 X20.000 Y10.000 I0.000 J10.000 ;

สำหรับการเคลื่อนเครื่องมือตามแนวเส้นโค้งที่ 2

N0040 G03 X10.000 Y20.000 I-10.000 J0.000 ;

สำหรับการเคลื่อนเครื่องมือตามแนวเส้นโค้งที่ 3

N0050 G03 X0.000 Y10.000 I0.000 J-10.000 ;

สำหรับการเคลื่อนเครื่องมือตามแนวเส้นโค้งที่ 4

อนึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณหาจุดต่างๆ จากข้อมูลภาพวงกลมจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.3

3.2.4 เส้นต่อเนื่อง (POLYLINE)

เส้นต่อเนื่องในโปรแกรมวาดแบบหมายถึง เส้นองค์ประกอบภาพที่ผู้วาดเพียงแต่ทำการกำหนดจุดตัดหรือจุดเชื่อมต่อของแต่ละเส้น แล้วทำการลากเส้นเชื่อมจุดเหล่านั้นเป็นรูปภาพของชิ้นงาน โดยเส้นแต่ละส่วนของภาพอาจเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ดังนั้นวิธีการสร้างส่วนเส้นตรงหรือเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องจึงมีวิธีการต่างจากการสร้างเส้นตรงหรือเส้นโค้งโดยตรง ดังได้กล่าวในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้รูปแบบการเก็บบันทึกข้อมูลของเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่ได้จากเส้นต่อเนื่องจึงแตกต่างไปจากเดิมดังนี้ ข้อมูลเส้นต่อเนื่องจะเริ่มต้นด้วยรหัสตัวเลข "0" คู่กับคำสั่ง "POLYLINE" ตามด้วยข้อมูลของเส้นต่อเนื่อง ที่มีการแบ่งเป็นส่วนๆ ตามจุดเชื่อมต่อ (VERTEX) ของเส้นองค์ประกอบภาพแต่ละเส้นโดยเริ่มต้นข้อมูลของแต่ละส่วนด้วยคำสั่ง "VERTEX" ดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ก) ข้อมูลภายใต้คำสั่ง "VERTEX" จะเป็นข้อมูลของเส้นต่อเนื่องในส่วนของเส้นตรงหรือเส้นโค้งโดยใช้รหัสเลข "10" "20" และ "30" บอกจุดเริ่มต้นของเส้นทั้งสองเมื่อเทียบกับแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ และใช้รหัสตัวเลข "42" บอกค่าความนูน (Bulge) ของส่วนเส้นตรงหรือส่วนเส้นโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0

POLYLINE

8

ชื่อชั้นเก็บข้อมูล

66

การเรียงลำดับ

10

จุดอ้างอิงของ VERTEX เทียบกับแกน X

20

จุดอ้างอิงของ VERTEX เทียบกับแกน Y

30

จุดอ้างอิงของ VERTEX เทียบกับแกน Z

70

เส้นต่อเนื่องแบบปิด

.....

DATA (VERTEX)

.....

0

SEQEND

8

ชื่อชั้นเก็บข้อมูล

(ก) ข้อมูลภาพเส้นต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0		
VERTEX		
8		
ชื่อชั้นเก็บข้อมูล		
10		
จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน X	------>	(ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ X_S)
20		
จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน Y	------>	(ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Y_S)
30		
จุดเริ่มต้นเทียบกับแกน Z	------>	(ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ Z_S)
42		
ค่าบัลจ์	------>	(ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญญลักษณ์ B)

(ข) ข้อมูลภาพของเส้นต่อเนื่องในส่วนจุดเชื่อมต่อ (VERTEX) ของแต่ละเส้น

รูปที่ 3.9 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่องของโปรแกรมวาดแบบ

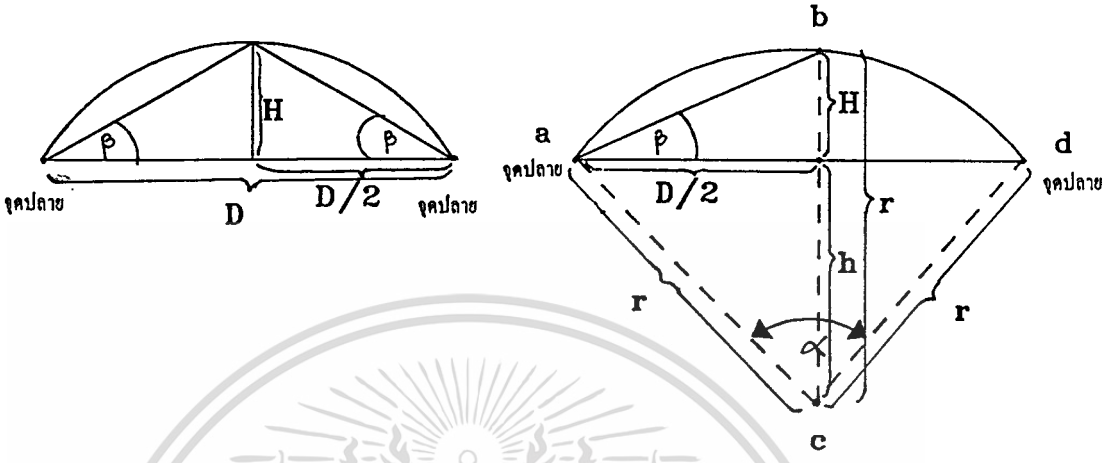
สำหรับส่วนเส้นตรงจะมีค่าความนูนเป็นศูนย์เสมอ ส่วนเส้นโค้งจะมีค่าความนูนที่คิดระหว่างจุดปลายทั้งสองของส่วนโค้งได้ดังนี้ เมื่อลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดปลายทั้งสองของส่วนโค้ง สมมุติให้มีความยาวเป็น D และลากเส้นตั้งฉากจากจุดกึ่งกลางของเส้นตรงนี้ไปตัดกับส่วนโค้ง สมมุติให้เส้นตั้งฉากนี้มีความยาว H ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ก) ถ้าลากเส้นตรงจากจุดปลาย ทั้งสองไปยังจุดตัดระหว่างส่วนโค้งกับเส้นตั้งฉากจะทำให้เกิดมุม β ดังนั้นถ้าให้ B เป็นความนูนของส่วนโค้งตามนิยามของโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานทั่วไปจะได้

$$B = \tan \beta \qquad \text{-----(3.1)}$$

นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = H / (D/2) = 2H/D \qquad \text{-----(3.2)}$$



(ก) (ข)

รูปที่ 3.10 รูปแสดงการคำนวณหาค่าความนูน (BULGE) ของส่วนโค้ง

ถ้าลากเส้นตั้งฉากดังกล่าวตัดจุดกึ่งกลางของเส้นตรงที่เชื่อมจุดปลายทั้งสอง ให้มีความยาวทั้งหมดเท่ากับรัศมีของเส้นโค้ง และเชื่อมปลายเส้นตั้งฉากนี้กับจุดปลายทั้งสองของส่วนโค้ง ซึ่งเส้นทั้งสองจะมีความยาวเท่ากับรัศมีของส่วนโค้งเช่นกัน ดังรูปที่ 3.10 (ข) ถ้ากำหนดให้ r เป็นรัศมีของส่วนโค้ง จุด c เป็นจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง เนื่องจากเส้นตรง bc เป็นเส้นตั้งฉากกับจุดกึ่งกลางของเส้นตรง ad จึงเป็นเส้นแบ่งครึ่งมุม acd ดังนั้นถ้ากำหนดให้

$$\alpha = \text{มุม acd}$$

จะได้

$$\text{มุม acb} = \text{มุม dcb} = \alpha/2 \qquad \text{-----(3.3)}$$

และจากรูป 3.10 (ข) กำหนดให้

$$H = r - h \qquad \text{-----(3.4)}$$

จากสมการ (3.2) และ (3.4) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = \frac{r - h}{D/2}$$

$$= \frac{r}{D/2} - \frac{h}{D/2}$$

$$= \frac{1}{\sin(\alpha/2)} - \frac{1}{\tan(\alpha/2)}$$

$$= \frac{1}{\sin(\alpha/2)} - \frac{\cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)}$$

$$= \frac{1 - \cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$B = \tan(\alpha/4) \qquad \text{-----(3.5)}$$

ในที่นี้ α จะเป็นมุมที่รองรับส่วนโค้งที่เกิดจากการลากเส้นตรงที่มีความยาวเท่ารัศมีของส่วนโค้ง จากปลายทั้งสองของเส้นโค้งให้ไปจดกัน ณ.จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง

ในโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานทั่วไปจะทำการคำนวณหาค่า B จากสมการ (3.2) หรือสมการ (3.5) และเมื่อได้ค่า B แล้วจะมีการกำหนดเครื่องหมาย + และ - ให้กับค่า B เพื่อบอกทิศทางของการลากเส้นโค้งจากจุดเริ่มต้นไปจุดปลายทาง เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งดังนี้

ก) ถ้าลากเส้นโค้งแบบทวนเข็มนาฬิกาจะมีเครื่องหมาย +

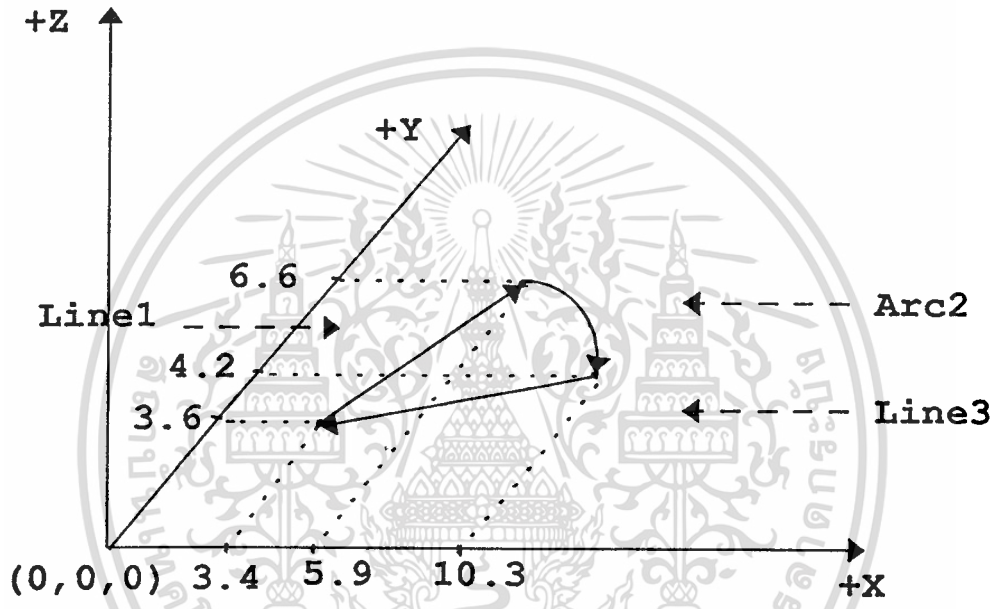
ข) ถ้าลากเส้นโค้งแบบตามเข็มนาฬิกาจะมีเครื่องหมาย -

ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

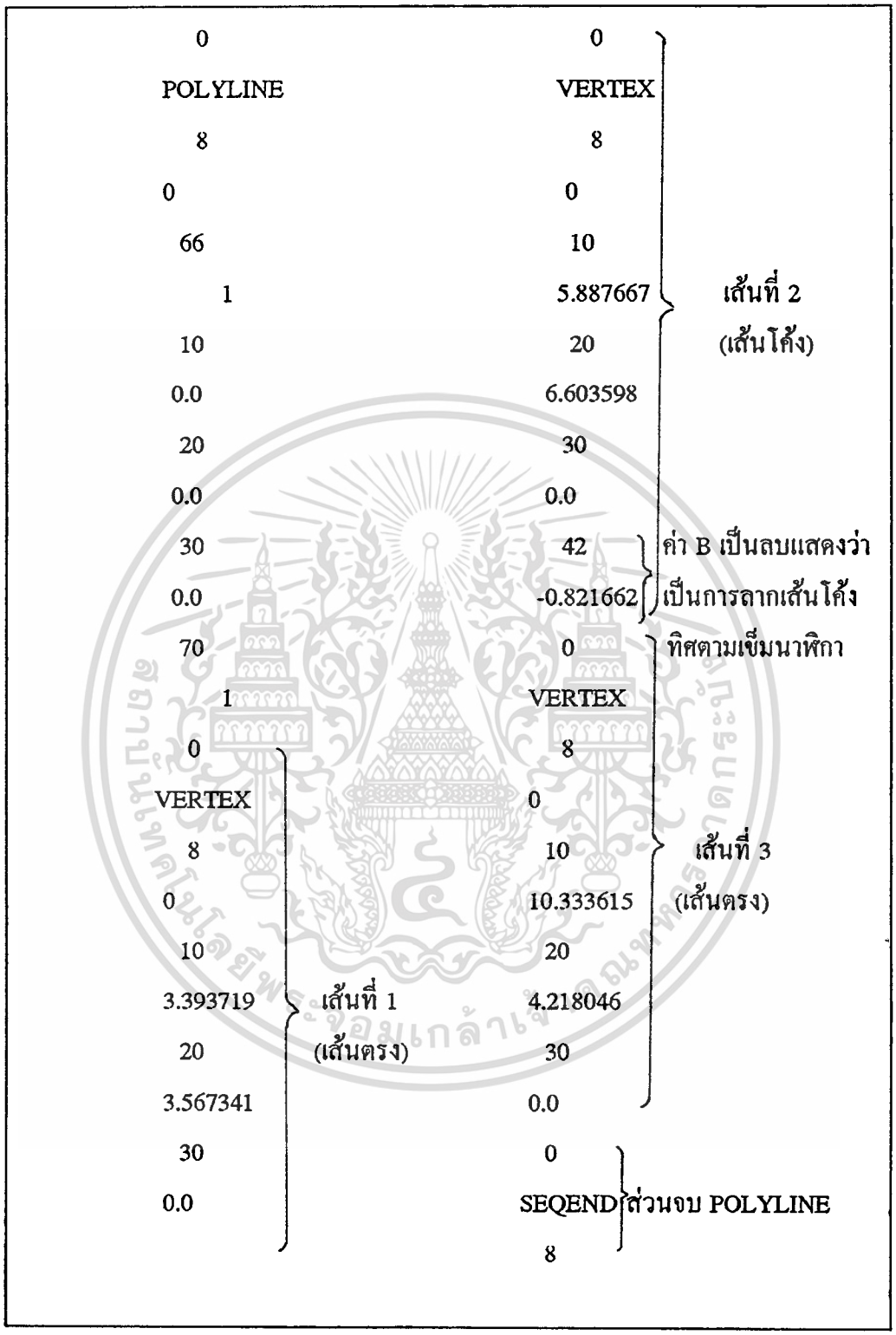
อนึ่งในการสร้างภาพชิ้นงานด้วยคำสั่งเส้นต่อเนื่องในโปรแกรมวาดแบบ เส้นแต่ละเส้นจะถูกสร้างขึ้นในลักษณะต่อเนื่องกันเสมอ ดังนั้นข้อมูลของแต่ละเส้นขององค์ประกอบภาพจะถูกเก็บบันทึกเรียงตามลำดับการถูกสร้างก่อนหลังในโปรแกรมวาดแบบ ดังแสดงในตัวอย่างที่ 3.11

ในการสร้างโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC จากข้อมูลของส่วนเส้นตรงและส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่อง จะมีวิธีการเหมือนที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2



(ก) แบบภาพเส้นต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ข้อมูลภาพเส้นต่อเนื่อง

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลภาพชิ้นงาน

จากการศึกษาในรายละเอียดของข้อมูลภาพแต่ละส่วนในโปรแกรมวาดแบบดังกล่าวมาในข้อ 3.2 พบว่าจะต้องแก้ไขดัดแปลงข้อมูลบางส่วนเสียก่อน แล้วทำการสร้างเป็นชุดคำสั่งเริ่มต้นเพื่อนำไปแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC ต่อไป โดยเฉพาะข้อมูลองค์ประกอบของภาพในส่วนของเส้นต่อเนื่องนั้น จะต้องทำการแยกข้อมูลเป็นส่วนเส้นตรงและเส้นโค้ง เมื่อได้ข้อมูลองค์ประกอบภาพที่จำเป็นแล้วก็แปลงให้อยู่ในรูปของชุดคำสั่งของการสร้างภาพชิ้นงาน ที่มีการเรียงลำดับไปทีละเส้นในทิศทางต่อเนื่องกัน งานวิจัยได้ออกแบบชุดคำสั่งเริ่มต้นนี้ให้สะดวกต่อการนำไปแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC โดยประกอบด้วยคำสั่งและค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

คำสั่ง (ตัวแปรที่ 1, ตัวแปรที่ 2, ...)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดชุดคำสั่งเริ่มต้นทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ คำสั่งส่วนเส้นตรง คำสั่งส่วนเส้นโค้ง และคำสั่งส่วนวงกลม ประกอบกับตัวแปรในระนาบแกน XY ที่ได้จากข้อมูลองค์ประกอบภาพ* ชุดคำสั่งทั้งหมดมีรูปแบบดังนี้

ก) คำสั่งเส้นตรง LINE(X_S,Y_S,X_E,Y_E)

ข) คำสั่งเส้นโค้ง ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d)

ค) คำสั่งวงกลม CIRCLE(X_C,Y_C,r)

โดย X_S : จุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน X

Y_S : จุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน Y

X_E : จุดสิ้นสุดของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน X

Y_E : จุดสิ้นสุดของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน Y

X_C : จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งหรือวงกลมเทียบกับแกน X

Y_C : จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งหรือวงกลมเทียบกับแกน Y

r : รัศมีของวงกลม

d : ทิศทางของเส้นโค้ง

---

* ในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงข้อมูลจากองค์ประกอบภาพของโปรแกรมวาดแบบที่ให้เฉพาะลายเส้นของภาพชิ้นงาน ส่วนความลึกของชิ้นงานในแนวแกน Z จะให้กำหนดจากผู้ใช้ตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดตัวแปรข้างต้นจากตัวแปรของข้อมูลองค์ประกอบภาพ จะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ และเมื่อได้ชุดคำสั่งเริ่มต้นสำหรับกำหนดการสร้างส่วนประกอบของภาพชิ้นงานในแต่ละเส้นแล้ว จะทำการเรียงลำดับของชุดคำสั่งเริ่มต้นให้มีการสร้างส่วนประกอบของภาพชิ้นงานไปทีละเส้นเป็นลำดับต่อเนื่องและในทิศทางเดียวกัน ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

3.3.1 ขั้นตอนการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น

เมื่อทำการโหลดแฟ้มข้อมูลของภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ ซึ่งอยู่ในรูปของแฟ้มเอกสาร (Text File ที่มีชื่อเฉพาะเป็น "DXF" ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว) ระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัยจะทำการดึงข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดเฉพาะในส่วนขององค์ประกอบภาพ (ENTITIES SECTION) แล้วทำการนำข้อมูลของเส้นต่างๆมาคำนวณหาค่าตัวแปรของชุดคำสั่งเริ่มต้น ขั้นตอนการอ่านข้อมูลภาพจากส่วนองค์ประกอบภาพทำดังนี้

อัลกอริทึมของการอ่านข้อมูลภาพจากส่วนองค์ประกอบภาพในไฟล์ DXF
Step:1. ตรวจสอบให้พบ ENTITIES SECTION Step:2. ตรวจสอบคำสั่งองค์ประกอบภาพใน ENTITIES SECTION ได้แก่ "LINE" "ARC" "CIRCLE" และ "VERTEX" ใน POLYLINE แล้วดึงข้อมูลทั้งหมด ภายในคำสั่งนั้นออกมา Step:3. ทำการอ่านความหมายพร้อมทั้งค่าของตัวแปรที่อยู่ถัดจากรหัสตัวเลขภายใต้คำสั่งใน Step:2 รหัสตัวเลขหน้าตัวแปรที่จำเป็นในที่นี้ได้แก่ "10" "20" "30" "11" "21" "31" "40" "42" "50" "51" เป็นต้น Step:4. นำตัวแปรที่อ่านได้ไปคำนวณหาค่าตัวแปรให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้น

เมื่อพิจารณาตัวแปรในชุดคำสั่งเริ่มต้นเปรียบเทียบที่ได้จากข้อมูลภาพชิ้นงานในระนาบ XY เราจะได้ตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้น

คำสั่ง	ตัวแปรที่ได้จากข้อมูลขององค์ประกอบภาพ	ตัวแปรที่ต้องการในชุดคำสั่งเริ่มต้น	ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาเพิ่ม
LINE (โดยเฉพาะ)	X_S,Y_S,X_E,Y_E	X_S,Y_S,X_E,Y_E	ไม่มี
CIRCLE (โดยเฉพาะ)	X_C,Y_C,r	X_C,Y_C,r	ไม่มี
ARC (โดยเฉพาะ)	X_C,Y_C,r,ϕ,θ	$X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d$	X_S,Y_S,X_E,Y_E,d
LINE (POLY)	X_S,Y_S,B	X_S,Y_S,X_E,Y_E	X_E,Y_E
ARC (POLY)	X_S,Y_S,B	$X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d$	X_C,Y_C,X_E,Y_E,d
ARC (CIRCLE)	X_C,Y_C,r	$X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d$	X_S,Y_S,X_E,Y_E,d

จากตารางเปรียบเทียบข้างต้นจะพบว่าข้อมูลภาพในส่วนเส้นตรงและวงกลมจะนำไปเป็นตัวแปรของคำสั่งเริ่มต้น LINE และ CIRCLE ได้อย่างสมบูรณ์แต่

1) จากข้อมูลภาพในส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่องจะต้องคำนวณหา X_E และ Y_E สำหรับคำสั่งเริ่มต้น LINE
2) จากข้อมูลเส้นโค้งโดยเฉพาะจะต้องคำนวณหา X_S Y_S และ X_E Y_E สำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC
3) จากข้อมูลเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องจะต้องคำนวณหา X_C Y_C และ X_E Y_E สำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC
4) จากข้อมูลเส้นโค้งที่ได้จากการแบ่งวงกลมเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน จะต้องคำนวณหา X_S Y_S และ X_E Y_E สำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC

รายละเอียดของการหาหรือคำนวณหาค่าตัวแปรให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้นต่างๆมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 การหาจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่อง

เนื่องจากข้อมูลภายใต้คำสั่ง "VERTEX" ของข้อมูลภาพเส้นต่อเนื่อง จะให้ค่าตัวแปรที่เป็นจุดเริ่มต้นในระนาบ XY คือ(X_S,Y_S) ของแต่ละเส้นที่ถูกสร้างอย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้นจุดสิ้นสุด (X_E,Y_E) ของแต่ละเส้นตรงในเส้นต่อเนื่องจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นที่ถูกสร้างถัดไป

3.3.1.2 การคำนวณหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะ

จากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะของภาพในระนาบ XY จะได้ตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ก) ดังนี้

X_C,Y_C : จุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง

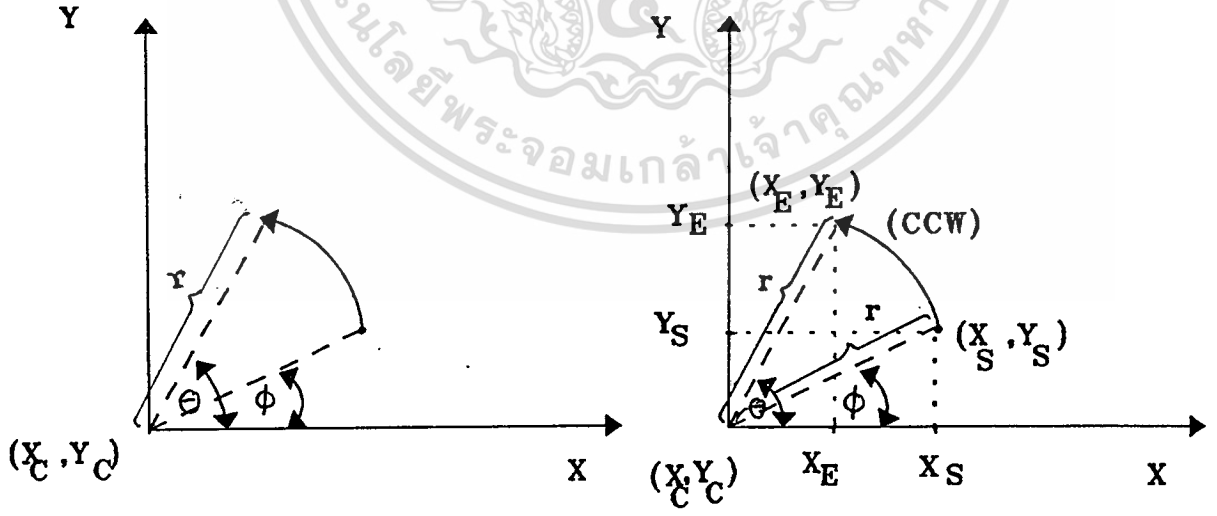
r : รัศมีของเส้นโค้ง

ϕ : มุมเริ่มต้นของจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งเมื่อเทียบกับแกน +X

θ : มุมสิ้นสุดของจุดสิ้นสุดของเส้นโค้งเมื่อเปรียบเทียบกับแกน +X

d : CCW (Countor Clockwise) ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ตามคุณสมบัติพิเศษของการสร้างเส้นโค้งเฉพาะของโปรแกรมวาดแบบ)

ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาสำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC คือ จุดเริ่มต้น (X_S,Y_S) และจุดสิ้นสุด (X_E,Y_E)



(ก) ข้อมูลภาพเส้นโค้ง (ข) รูปคำนวณ

รูปที่ 3.12 แสดงภาพเส้นโค้งเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.12 (ข) และหลักการทางพิชคณิต ทำให้ทราบค่าของ X_S Y_S X_E และ Y_E ดังนี้

$$X_S = X_C + [r \cos(\phi)]$$
$$Y_S = Y_C + [r \sin(\phi)]$$
$$X_E = X_C + [r \cos(\theta)]$$
$$Y_E = Y_C + [r \sin(\theta)]$$

3.3.1.3 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนโค้งของเส้นต่อเนื่อง

ดังที่กล่าวมาในข้อ 3.2.4 จากข้อมูลส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องเราจะทราบตัวแปรในระนาบ XY ดังนี้

X_S,Y_S : จุดเริ่มต้น

B : ค่าความนูนของเส้นโค้ง

ตัวแปรที่จะต้องคำนวณหาสำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC คือจุดสิ้นสุด (X_E,Y_E) และจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง (X_C,Y_C) และทิศทางของการลากเส้นโค้ง (d)

ก) จุดสิ้นสุดของส่วนเส้นโค้ง

จุดสิ้นสุด (X_E,Y_E) ของส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องนั้น กำหนดได้จากจุดเริ่มต้นของเส้นที่ถูกสร้างถัดไป ในทำนองเดียวกับการหาจุดสิ้นสุดของส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่องในข้อ 3.3.1.1

ข) ทิศทางของการลากส่วนเส้นโค้ง

ดังที่ได้กล่าวมาในส่วนท้ายของข้อ 3.2.4 ทิศทางของการลากส่วนเส้นโค้ง (d) กำหนดได้ดังนี้

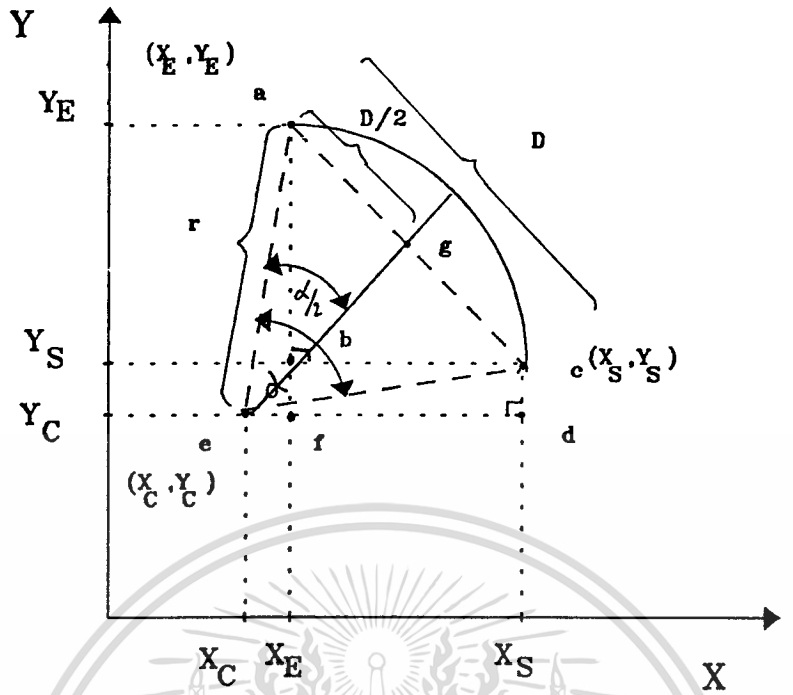
1) ถ้าค่าของ B เป็นลบ จะได้ d = CW (ทิศตามเข็มนาฬิกา)

2) ถ้าค่าของ B เป็นบวก จะได้ d = CCW (ทิศทวนเข็มนาฬิกา)

ค) จุดศูนย์กลางของส่วนเส้นโค้ง

โดยอาศัยหลักการและนิยามของตัวแปรตามรูปที่ 3.10 ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.2.4 สร้างภาพของส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องบนระนาบ XY เพื่อการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง (X_C,Y_C) ได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 รูปการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลางของส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่อง

จากสมการ (3.5) เราทราบว่า $B = \tan(\alpha/4)$ -----(3.5)

ดังนั้นจากข้อมูลภาพเราทราบค่า B จึงคำนวณหาค่าของมุม α ได้จาก

$$\alpha = 4\tan^{-1}(B) \quad \text{-----(3.6)}$$

จากรูปที่ 3.13 และใช้คุณสมบัติของรูปสามเหลี่ยมเราทราบว่า

สำหรับสามเหลี่ยม abc ได้

$$D^2 = (X_S-X_E)^2 + (Y_E-Y_S)^2 \quad \text{-----(3.7)}$$

สำหรับสามเหลี่ยม cde ได้

$$r^2 = (X_S-X_C)^2 + (Y_S-Y_C)^2 \quad \text{-----(3.8)}$$

สำหรับสามเหลี่ยม aef ได้

$$r^2 = (X_E-X_C)^2 + (Y_E-Y_C)^2 \quad \text{-----(3.9)}$$

จากข้อมูลภาพเราทราบค่าของจุดเริ่มต้น (X_S,Y_S) และจุดสิ้นสุด (X_E,Y_E) ดังนั้นจากสมการ (3.7) ทำให้สามารถหาค่า D ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = [(X_S-X_E)^2 + (Y_E-Y_S)^2]^{1/2} \qquad \text{-----(3.10)}$$

และจากสามเหลี่ยม aeg ในรูปที่ 3.13 เราทราบว่า

$$r = [D/2] / \sin(\alpha/2) = D / 2\sin(\alpha/2) \qquad \text{-----(3.11)}$$

นั่นคือเราสามารถคำนวณหาค่าของรัศมี r ของส่วนโค้งได้จากข้อมูลของภาพโดยใช้สมการ (3.6) (3.7) และ (3.11)

นำสมการ (3.9) ลบออกจากสมการ (3.8) จะได้

$$(X_S-X_C)^2 - (X_E-X_C)^2 + (Y_S-Y_C)^2 - (Y_E-Y_C)^2 = 0$$

ใช้กฎผลต่างกำลังสองจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$[(X_S-X_C)-(X_E-X_C)][(X_S-X_C)+(X_E-X_C)]+[(Y_S-Y_C)-(Y_E-Y_C)][(Y_S-Y_C)+(Y_E-Y_C)] = 0$$

$$(X_S-X_E)(X_S+X_E-2X_C) + (Y_S-Y_E)(Y_S+Y_E-2Y_C) = 0$$

$$X_S^2 - X_E^2 - 2(X_S-X_E)X_C + Y_S^2 - Y_E^2 - 2(Y_S-Y_E)Y_C = 0$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$Y_C = \frac{X_S^2 + Y_S^2 - X_E^2 - Y_E^2 - 2(X_S-X_E)X_C}{2(Y_S-Y_E)} \qquad \text{-----(3.12)}$$

ในที่นี้ X_S, Y_S และ X_E, Y_E เป็นตัวแปรที่ได้จากข้อมูลภาพดังนั้นถ้ากำหนดให้

$$K = \frac{X_S^2 + Y_S^2 - X_E^2 - Y_E^2}{2(Y_S-Y_E)} \quad \text{และ}$$

$$M = (X_S-X_E) / (Y_S-Y_E)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.12) จะได้ความสัมพันธ์ของ Y_C และ X_C ดังนี้

$$Y_C = K - MX_C \qquad \text{-----(3.13)}$$

แทนค่า Y_C ในสมการ (3.8) และทำการแก้สมการหาค่า X_C ได้ดังต่อไปนี้

$$(X_S-X_C)^2 + (Y_S-K+MX_C)^2 = r^2$$

$$X_S^2 - 2X_SX_C + X_C^2 + (Y_S-K)^2 + 2(Y_S-K)MX_C + M^2X_C^2 = r^2$$

$$(1+M^2)X_C^2 + 2[(Y_S-K)M-X_S]X_C + X_S^2 + (Y_S-K)^2 - r^2 = 0 \qquad \text{-----(3.14)}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$X_C = \frac{-[(Y_S-K)M-X_S]}{(1-M^2)} \pm \frac{([(Y_S-K)M-X_S]^2-(1-M^2)(X_S^2+(Y_S-K)^2-r^2))^{1/2}}{(1-M^2)} \qquad \text{-----(3.15)}$$

เมื่อพิจารณาสมการ (3.15) จะพบว่าเราสามารถคำนวณค่า X_C ได้จากข้อมูลภาพดังนั้นเมื่อได้ค่า X_C จากสมการ (3.15) จะทำให้ได้ค่า Y_C จากสมการ (3.12)

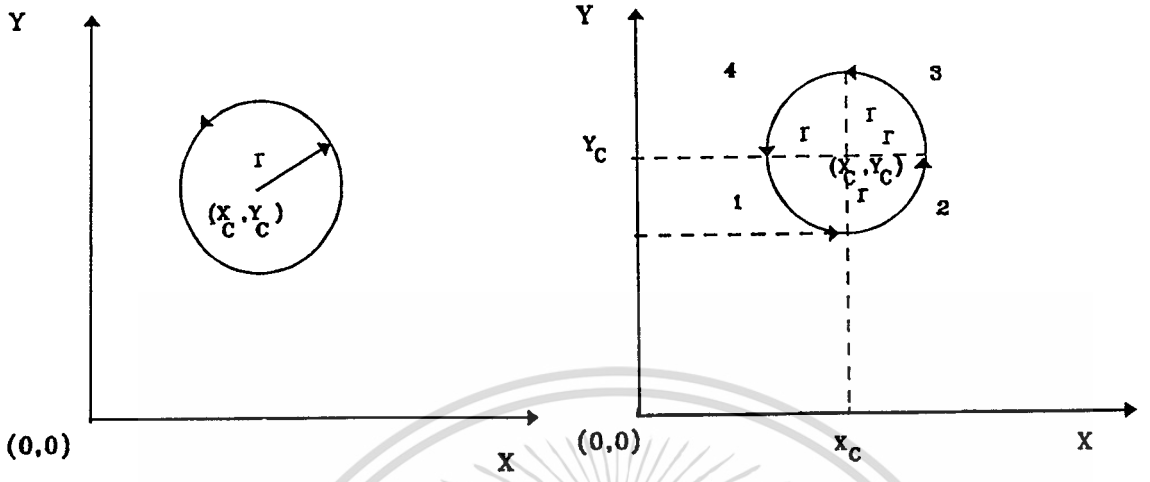
3.3.1.4 การคำนวณหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลภาพวงกลม

การสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d) จากข้อมูลภาพวงกลมบนระนาบ XY นั้น เราจะได้ค่าจุดศูนย์กลาง (X_C,Y_C) และรัศมี r จากข้อมูลภาพวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ก) ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าจุดเริ่มต้น (X_S,Y_S) และจุดสิ้นสุด (X_E,Y_E) ในการคำนวณหานั้นเราจะแบ่งข้อมูลภาพวงกลมบนระนาบ XY ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (ดังได้กล่าวมาแล้วในข้อ 3.2.3) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ข) การวาดภาพวงกลมในโปรแกรมวาดแบบจะมีทิศของการลากเส้นรอบวงไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาเสมอ ทำให้การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นโค้งแต่ละเส้นเป็นไปตามรูปที่ 3.14 (ข) ในที่นี้กำหนดให้เครื่องมือมีตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ที่จุด (0,0) บนระนาบ XY

จากข้อมูลภาพวงกลมเราจะสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น ARC ทั้งหมด 4 คำสั่งสำหรับเส้นโค้งแต่ละเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าตัวแปร (X_S,Y_S) และ (X_E,Y_E) ของเส้นโค้งแต่ละเส้นหาได้จากความสัมพันธ์ของรัศมี r กับจุดศูนย์กลาง (X_C,Y_C) จากรูปที่ 3.14 (ข) ได้ดังนี้



(ก) ข้อมูลภาพวงกลมในระนาบ XY มีทิศการลากเส้นรอบวงทวนเข็มนาฬิกา

(ข) แบ่งวงกลมออกเป็นเส้นโค้ง 4 ส่วน เท่าๆกัน

รูปที่ 3.14 วิธีการคำนวณหาจุด (X_S,Y_S) และ (X_E,Y_E) ให้คำสั่งเริ่มต้น ARC จากข้อมูลภาพวงกลม

สมมุติให้เครื่องมือมีตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ที่ (0,0)

เส้นโค้งเส้นที่ 1 จุดเริ่มต้น $X_S = (X_C-r)$

$Y_S = Y_C$

จุดสิ้นสุด $X_E = X_C$

$Y_E = (Y_C-r)$

เส้นโค้งเส้นที่ 2 จุดเริ่มต้น $X_S = X_C$

$Y_S = (Y_C-r)$

จุดสิ้นสุด $X_E = (X_C+r)$

$Y_E = Y_C$

เส้นโค้งเส้นที่ 3 จุดเริ่มต้น $X_S = (X_C+r)$

$Y_S = Y_C$

จุดสิ้นสุด $X_E = X_C$

$Y_E = (Y_C+r)$

เส้นโค้งเส้นที่ 4 จุดเริ่มต้น $X_S = X_C$

$Y_S = (Y_C+r)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดสิ้นสุด $X_E = (X_C - r)$

$Y_E = Y_C$

3.3.2 การเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้น

เนื่องจากปัญหาของการวาดแบบที่ผู้วาดแบบมีการใช้คำสั่งในการวาดแบบได้อย่างอิสระทำให้ไม่เกิดความต่อเนื่องตัวอย่างดังรูปที่ 3.15 ก) ดังนั้นคำสั่งเริ่มต้นที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบที่จะสามารถนำไปใช้ได้นั้น จึงไม่เรียงกันคือในทิศเดียวกันจุดสิ้นสุดของเส้นที่หนึ่งอาจจะไม่ต่ออยู่กับจุดเริ่มต้นของเส้นที่สองแต่ต่ออยู่กับจุดสิ้นสุดของเส้นที่สองก็ได้ ดังนั้นเมื่อจะนำชุดคำสั่งเริ่มต้นไปใช้ในบทที่4 จึงต้องมีการเรียงตามเส้นที่เป็นองค์ประกอบของภาพเสียก่อน โดยในที่นี้จะหมายถึงการเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้นเพื่อให้รู้ว่าแบบที่วาดนั้นมีลักษณะเป็นอย่างไร มีความสัมพันธ์ของเส้นที่ประกอบกันอย่างไรดังนั้นในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงการนำชุดคำสั่งเริ่มต้น มาเรียงลำดับจนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของภาพ การที่จะประกอบภาพและให้เส้นที่ประกอบนั้นอยู่ในทิศทางเดียวกัน จะต้องหาจุดอ้างอิงเพื่อไว้เปรียบเทียบกับเส้นแต่ละเส้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้จุดกำเนิดเป็นจุดอ้างอิง เพราะฉะนั้นเมื่อได้จุดอ้างอิงแล้วทำการวิเคราะห์จะสังเกตุได้ว่าเส้นแต่ละเส้น จะมีจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงและจุดที่ไกลจุดอ้างอิงมากที่สุดอยู่ในเส้นเดียวกัน เนื่องจากชุดคำสั่งที่เก็บมีลักษณะเป็นเวคเตอร์ (vector) คือเก็บตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้น ดังนั้นจุดที่พิจารณาการเรียงในแต่ละเส้นเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงจึงใช้เฉพาะจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นเท่านั้น ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าจุดเริ่มต้นเป็นจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดแล้ว จุดที่ไกลจุดอ้างอิงมากที่สุดก็จะเป็นจุดสิ้นสุดของเส้น ตัวอย่างดังรูปที่ 3.15 ข)

วิธีการหาจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดของแต่ละเส้น จะทำการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดกำเนิด และจุดสิ้นสุดกับจุดกำเนิด ทำการคำนวณออกมาว่าจุดไหนมีระยะห่างน้อยกว่ากันจุดนั้นจะเป็นจุดที่ใกล้จุดกำเนิดมากที่สุด ถ้าเส้นที่ต้องการหาเป็นเส้นโค้ง เนื่องจากชุดคำสั่งเริ่มต้นกำหนดมาให้ด้วยว่าส่วนโค้งมีทิศทางเป็นอย่างไร ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ในจุดนี้แล้วทิศทางของส่วนโค้งอาจจะเปลี่ยนไปเนื่องจากจุดเริ่มต้นไม่ใช่จุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด ฉะนั้นชุดคำสั่งเริ่มต้นที่เก็บไว้ใหม่จะมีทิศทางหนีออกจากจุดอ้างอิงตลอด เนื่องจากจะพิจารณาพิกัดเป็นแบบ 2 มิติเท่านั้น ทำให้ทิศทางของเส้นจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกากับตามเข็มนาฬิกาเท่านั้นดังรูปที่ 3.15 ค) การที่จะกำหนดให้เส้นมีทิศทางไปทางไหนผู้ใช้จะต้องกำหนดให้ว่าต้องการให้ผลของการทำงานไปทางทิศใด เมื่อกำหนดค่าให้แล้วเส้นแต่ละเส้นจะมีทิศทางและจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียว เมื่อกลับทิศทางเส้นนั้นก็จะมีจุดเริ่มต้นของเส้นเป็นจุดสิ้นสุดของเส้นเดิม เมื่อจบขั้นตอนการหาจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดแล้วจะได้ทิศทางของรูปมี 2 ทิศทาง ดังรูป 3.15 ค) จากชุดคำสั่งเริ่มต้นทั้งหมดที่นำไปเปรียบเทียบหาจุดที่ใกล้จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงมากที่สุดแล้ว จะได้จุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดเพียงจุดเดียว แต่จุดเดียวนี้เป็นจุดที่ประกอบกันเป็นจุดเริ่มต้นของ 2 เส้น เนื่องจากเป็นจุดต่อกัน ดังนั้นจะต้องทำการเลือกว่าจะใช้เส้นไหนเป็นจุดเริ่มต้นของการวาดรูป เมื่อเลือกได้แล้วนำจุดสิ้นสุดของเส้นที่มีจุดเริ่มต้นเป็นจุดเดียวกันมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าของความชัน (slope) เพื่อหาว่าเส้นไหนเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกาและเส้นไหนเป็นทิศตามเข็มนาฬิกา จากรายละเอียดในขั้นต้นสามารถสรุปขั้นตอนการเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้นได้ดังนี้คือ

ก) กำหนดทิศทางเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหาจุดเริ่มต้น

ข) นำตำแหน่งสิ้นสุดของเส้นเริ่มต้นไปเปรียบเทียบกับจุดเริ่มต้นของเส้นอื่นๆ ถ้าตำแหน่งตรงกันแสดงว่าเส้นนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นที่ 2 แล้วนำตำแหน่งสิ้นสุดในเส้นที่ 2 ไปเปรียบเทียบกับเส้นต่อๆไปจนครบทุกเส้น กรณีที่เปรียบเทียบค่ากับตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นไม่พบให้เปรียบเทียบกับตำแหน่งสิ้นสุดของเส้น ถ้าตรงกันเส้นตรงนั้นจะต้องสลับค่าตำแหน่งจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดและทิศทางของเส้นนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย จากตัวอย่างการเปรียบเทียบตำแหน่งของรูปที่ 3.15 ค) ได้ผลดังรูปที่ 3.15 ง) เมื่อกำหนดให้มีทิศทวนเข็มนาฬิกา

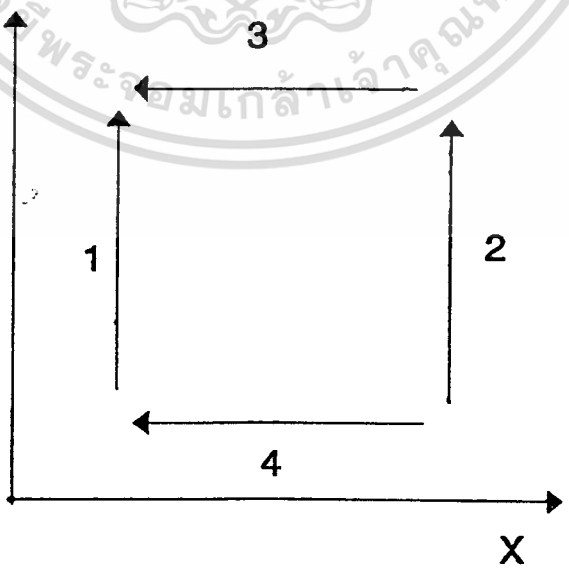
ตัวอย่างขั้นตอนการวาดแบบชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยเส้นตรง 4 เส้นมีการเรียงการวาดคือเส้นตรงเส้นที่ 1 ถึงเส้นตรงเส้นที่ 4 ซึ่งลักษณะของการวาดไม่ต่อเนื่องกัน ดังรูปที่ 3.15 ก) โดยจะได้ชุดคำสั่งเริ่มต้นดังนี้

เส้นตรงเส้นที่ 1 LINE(X_{S1},Y_{S1},X_{E1},Y_{E1})

เส้นตรงเส้นที่ 2 LINE(X_{S2},Y_{S2},X_{E2},Y_{E2})

เส้นตรงเส้นที่ 3 LINE(X_{S3},Y_{S3},X_{E3},Y_{E3})

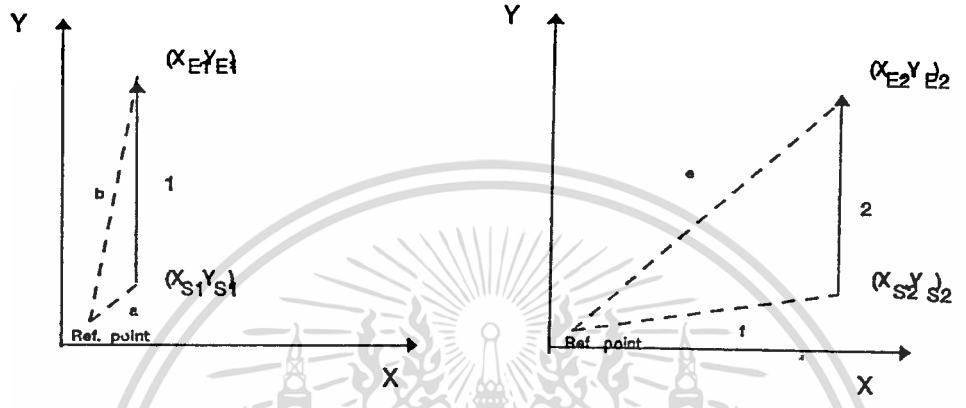
เส้นตรงเส้นที่ 4 LINE(X_{S4},Y_{S4},X_{E4},Y_{E4})



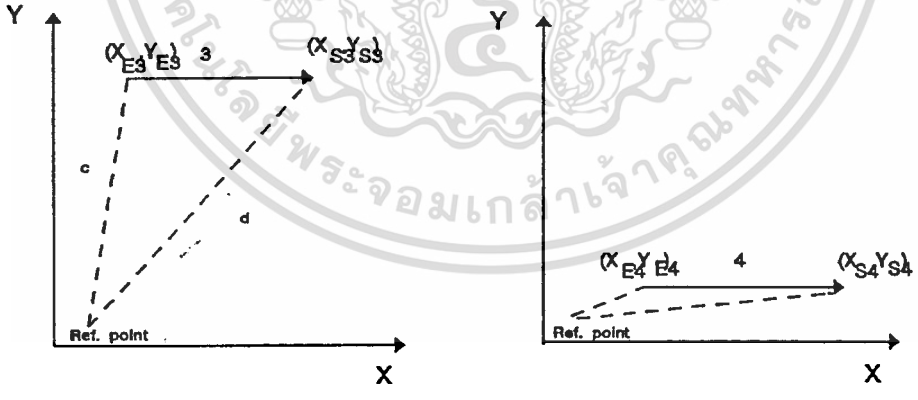
ก) ตัวอย่างขั้นตอนการวาดแบบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดจุดอ้างอิงให้กับแบบของชิ้นงานเพื่อหาตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด การหาจุดที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดจะต้องทำการพิจารณาแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นแบบภาพชิ้นงาน ลักษณะของการพิจารณาดังรูปที่ 3.15 ข1) ถึง ข4)

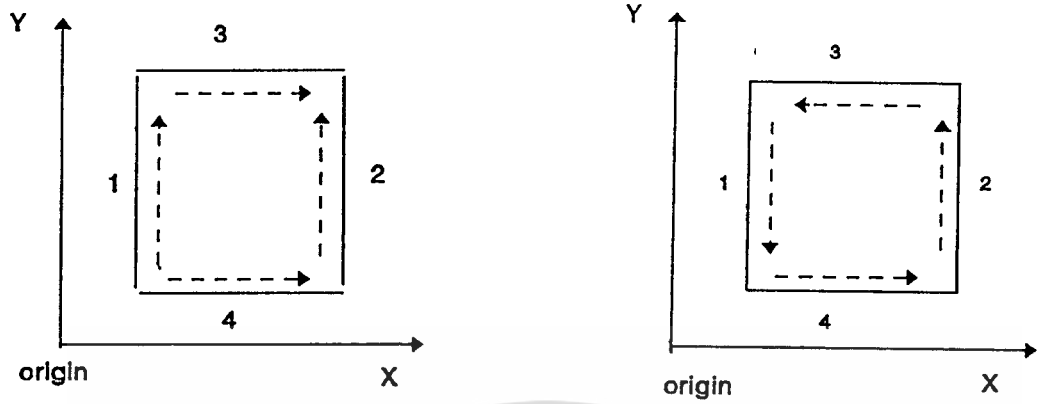


ข1) เปรียบเทียบเส้นที่ 1 กับจุดอ้างอิง ข2) เปรียบเทียบเส้นที่ 2 กับจุดอ้างอิง



ข3) เปรียบเทียบเส้นที่ 3 กับจุดอ้างอิง ข4) เปรียบเทียบเส้นที่ 4 กับจุดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค) พิจารณาทิศทางของเส้นขอบภาพกับจุดเริ่มต้น ง) เมื่อกำหนดทิศทางของเส้นขอบภาพในทิศทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการเรียงชุดคำสั่งเริ่มต้น

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.15 ง) เมื่อกำหนดทิศทางของเส้นรอบภาพจะได้ชุดคำสั่งเริ่มต้นใหม่ที่เทียบกับจุดเริ่มต้นที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดดังนี้

เส้นตรงเส้นที่ 1 (จากรูป 3.15 ก. คือเส้นตรงเส้นที่ 4)

LINE(X_{E4},Y_{E4},X_{S4},Y_{S4})

เส้นตรงเส้นที่ 2 (จากรูป 3.15 ก. คือเส้นตรงเส้นที่ 2)

LINE(X_{S2},Y_{S2},X_{E2},Y_{E2})

เส้นตรงเส้นที่ 3 (จากรูป 3.15 ก. คือเส้นตรงเส้นที่ 3)

LINE(X_{S3},Y_{S3},X_{E3},Y_{E3})

เส้นตรงเส้นที่ 4 (จากรูป 3.15 ก. คือเส้นตรงเส้นที่ 1)

LINE(X_{E1},Y_{E1},X_{S1},Y_{S1})

3.4 สรุป

ส่วนของคำสั่งเริ่มต้นที่ได้มานี้สามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เข้ากับงานที่ต้องการใช้ได้ ไม่ว่าจะเป็นในพิกัด 3 มิติหรือ 2 มิติ ก็จะมีโครงสร้างของการนำไปใช้งานแบบเดียวกัน สำหรับคำสั่งเริ่มต้นนี้สามารถนำไปสร้างโปรแกรมสั่งงานสำหรับงานเจาะและงานเซาะร่องได้เลยเนื่องจากงานประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของใบมีดที่ต้องพิจารณาขนาดของใบมีด ใน

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ต้องการนำชุดคำสั่งเริ่มต้นที่ได้นี้ไปสร้างชิ้นงานที่เครื่อง CNC สามารถทำงานได้มากที่สุดจึงได้นำชุดคำสั่งเริ่มต้นที่ได้นี้ไปใช้ในการคำนวณหาจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของใบมีดเพื่อหาชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนของการคำนวณโดยรายละเอียดได้นำเสนอในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้างชุดคำสั่งลำดับที่ 2 เพื่อการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC

4.1 บทนำ

ในบทที่ 3 เราได้อธิบายถึงการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลภาพชิ้นงาน ได้คำสั่งและตัวแปรสำหรับการสร้างส่วนประกอบของภาพชิ้นงานเป็น 3 แบบคือ

เส้นตรง LINE(X_S,Y_S,X_E,Y_E)

เส้นโค้ง ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d)

วงกลม CIRCLE(X_C,Y_C,r)

ซึ่งคำสั่งเหล่านี้ได้ถูกจัดเรียงลำดับใหม่ให้สร้างส่วนประกอบทีละเส้นอย่างต่อเนื่องกัน แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้จากการออกแบบนี้จะเป็นเพียงแบบภาพในเชิง 2 มิติ ในระนาบแกน XY ที่แสดงให้เห็นเฉพาะเส้นขอบภาพของชิ้นงานที่จะผลิตด้วยเครื่อง CNC พารามิเตอร์ตัวแปรในคำสั่งเริ่มต้นจะบอกเพียงตำแหน่งการเคลื่อนส่วนเครื่องมือการผลิต (TOOL) ของเครื่อง CNC ไปตามแนวเส้นเท่านั้น ดังนั้นก่อนที่จะนำชุดคำสั่งเริ่มต้นนี้ไปแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่อง CNC จะต้องทำการปรับปรุงชุดคำสั่งเหล่านี้โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขั้นตอนและทิศทางการทำงานของเครื่อง ได้แก่ ทางเดินของใบมีดให้เป็นลำดับต่อเนื่องตามภาพชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและได้ชิ้นงานจากการทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน (ดังกล่าวในภาคผนวก ข.) ในการนำส่วนประกอบของภาพชิ้นงานที่เราแยกแยะออกเป็นส่วนๆ โดยไม่คำนึงถึงลำดับการวาดภาพนั้น มาทำการประกอบเป็นรูปภาพชิ้นงานเดิมที่มีการกำหนดทิศทางโดยอาศัยทฤษฎีเวคเตอร์ (vector) และกราฟ (Graph) และให้เส้นต่างๆที่ประกอบเป็นภาพชิ้นงานเดิมนั้น มีการลากเส้นที่ต่อเนื่องจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดต่างๆ และย้อนกลับมาที่จุดเริ่มต้นเดิม เมื่อนำข้อมูลนี้ไปแปลงเป็นชุดคำสั่ง (G-code) ให้กับเครื่อง CNC เครื่องจะทำงานตามขั้นตอนดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกำหนดลำดับการทำงานของอุปกรณ์เครื่อง CNC

ดังที่ได้กล่าวนำมาในบทที่ 2 แล้วว่าเครื่องกัด (Milling Machine) เป็นเครื่องจักรในระบบ CNC ที่มีการทำงานในระบบ 3 มิติคือครบทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกน X แกน Y และแกน Z สามารถทำการเจาะหรือกัดเนื้อวัสดุให้เป็นรูปชิ้นงานหรือเป็นรูโหว่ สามารถทำการเซาะร่องบนผิววัสดุเป็นลวดลายต่างๆ ตลอดจนสามารถแซะหรือขูดเนื้อวัสดุ เพื่อให้เป็นรอยนูนหรือแอ่ง (การทำ Pocket) ตามแบบที่ต้องการได้ เครื่องมือสำคัญที่ทำการเจาะ กัด เซาะหรือแซะ ได้แก่ใบมีด (Cutting tool) นั่นเอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเครื่องกัดเป็นแม่แบบของเครื่อง CNC เพื่อใช้ประกอบการออกแบบระบบซอฟท์แวร์

จากที่อธิบายดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการควบคุมเครื่องจักร CNC ให้ทำการผลิตชิ้นงานตามแบบภาพที่กำหนด ด้วยระบบซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์นั้น จุดสำคัญอยู่ที่การสื่อสารส่วนควบคุมเครื่องมือของเครื่องจักรที่ทำหน้าที่ ตัด กัด เจาะ เซาะ หรือแซะเนื้อวัสดุให้เป็นรูปชิ้นงาน เช่น ใบมีดของเครื่องกัด (Milling Machine) ดอกสว่านของเครื่องเจาะ (Drilling Machine) เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลภาพชิ้นงานมาวิเคราะห์ประกอบกับค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นต่างๆ (offset values) ที่เป็นค่าเฉพาะของเครื่อง CNC เพื่อกำหนดเส้นทางเดินหรือลำดับการทำงานของเครื่องมือของเครื่อง CNC ให้ต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ ในที่นี้จะใช้ใบมีดของเครื่องกัดเป็นตัวแทนของเครื่องมือของเครื่องจักร CNC ที่ทำหน้าที่ผลิตชิ้นงานดังกล่าว

4.2.1 การคำนวณหาลำดับการทำงานของใบมีด

ในการคำนวณหาลำดับการทำงานหรือเส้นทางเดินของใบมีดจากชุดคำสั่งเริ่มต้น จะต้องมีการพิจารณาถึงตำแหน่งเริ่มต้นของใบมีด ซึ่งจะกำหนดจากจุดศูนย์กลางของใบมีด ที่คำนวณจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความหนาของใบมีด การควบคุมใบมีดเพื่องานกัด เซาะ หรือแซะ ลงบนเนื้อวัสดุตามภาพชิ้นงานมี 2 แบบตามจุดประสงค์ของการผลิตชิ้นงาน ได้แก่ การเซาะรอบนอกของเส้นขอบภาพชิ้นงานและการเซาะรอบในของเส้นขอบภาพชิ้นงาน ในการเจาะทั้ง 2 แบบนี้ ใบมีดจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ไปตามลายเส้นของขอบภาพ ซึ่งเราจะต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งของใบมีดให้ต่อเนื่องกันเป็น 3 ลักษณะได้แก่

ก) เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงต่อเนื่องกับแนวเส้นตรง

ข) เคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งต่อเนื่องกับแนวเส้นโค้ง

ค) เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงต่อเนื่องกับแนวเส้นโค้งหรือ
เคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งต่อเนื่องกับแนวเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

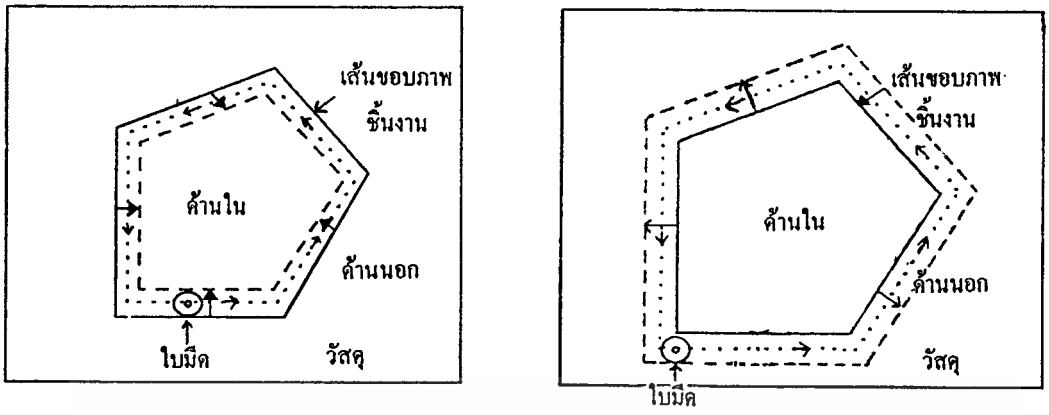
รายละเอียดในการคำนวณจะได้อธิบายในลำดับต่อไป

4.2.1.1 การคำนวณหาตำแหน่งการเซาะรอบในและรอบนอกของเส้นขอบภาพชิ้นงาน

เมื่อเราต้องการเจาะเนื้อวัสดุให้เป็นรูหรือช่องโหว่มีขนาดเท่าชิ้นงานนั้น เนื่องจากใบมีดมีความหนา จึงต้องกำหนดให้ศูนย์กลางของใบมีดมีตำแหน่งของการเจาะห่างจากเส้นขอบชิ้นงานเข้ามาด้านในโดยจะต้องเจาะกินเนื้อวัสดุพอดีกับเส้นขอบภาพชิ้นงาน ดังรูป 4.1 ก) ทั้งนี้จะต้องควบคุมให้ใบมีดทำการเจาะแนวด้านในดังกล่าวนี้ให้คงที่ไปโดยตลอด เรียกวิธีการนี้ว่า "การเซาะร่องรอบในของเส้นขอบภาพชิ้นงาน (Inside Milling)" ในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการตัดวัสดุให้ได้แผ่นวัสดุมีขนาดเท่าแผ่นชิ้นงานจะต้องให้ตำแหน่งศูนย์กลางใบมีดห่างจากเส้นขอบภาพออกไปด้านนอกโดยจะต้องให้การเจาะหรือกินเนื้อวัสดุตามแนวเส้นขอบภาพพอดีโดยตลอด เรียกวิธีการนี้ว่า "การเซาะร่องรอบนอกของเส้นขอบภาพชิ้นงาน (Outside Milling)" ดังรูปที่ 4.1 ข) และในการควบคุมให้ใบมีดทำงานเคลื่อนจุดศูนย์กลางไปตามแนวเส้นประดังรูป 4.1 ก) และ 4.1 ข) ของทั้ง 2 แบบนี้จะต้องกำหนดให้เคลื่อนที่ต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกัน ตามลักษณะของชิ้นงานและคุณสมบัติของเครื่องจักรที่ใช้ ทั้งนี้เพื่อการผลิตที่ประหยัดเวลาและได้ประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้สรุปการเคลื่อนใบมีดเป็น 4 รูปแบบย่อยดังนี้

ก) เซาะร่องรอบในและเคลื่อนตำแหน่งตามเข็มนาฬิกา
ข) เซาะร่องรอบในและเคลื่อนตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกา
ค) เซาะร่องรอบนอกและเคลื่อนตำแหน่งตามเข็มนาฬิกา
ง) เซาะร่องรอบนอกและเคลื่อนตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การเซาะร่องรอบในของเส้นขอบภาพชิ้นงาน เมื่อเซาะร่องแล้วจะได้รูโหว่เท่าที่ต้องการ

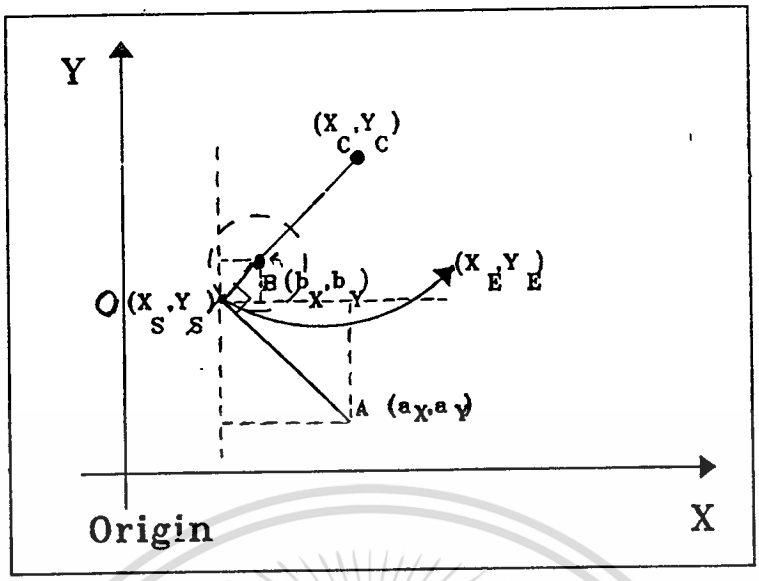
(ข) การเซาะร่องรอบนอกของเส้นขอบภาพชิ้นงานเมื่อเซาะร่องแล้วจะได้ชิ้นงานเท่าที่ต้องการ

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของการเซาะร่องแบบภายนอกและภายใน

การพิจารณาการเดินภายนอกหรือภายในของใบมีดนี้จะนำไปใช้ในการหาจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินในแต่ละเส้นทาง ซึ่งส่วนนี้จะนำไปใช้ต่อไปในการคำนวณหาเส้นทางที่ต่อเนื่องกัน

การหาจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของใบมีดจะต้องทำการพิจารณา เส้นแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นขอบของภาพ โดยการนำชุดคำสั่งเริ่มต้นไปเปรียบเทียบกับข้อมูลโดยรวมที่ว่าต้องการเซาะภายในหรือภายนอกและทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีดไปทางทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกา จะสามารถบอกว่าจุดเริ่มต้นที่ต้องการนั้นอยู่ที่ตำแหน่งใด สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นภาพนั้นจะหาได้จากตำแหน่งเริ่มต้นที่จะเป็นไปได้ก่อน โดยตำแหน่งที่ได้นี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นทางภายนอกหรือภายในของขอบภาพเทียบกับขอบภาพของชิ้นงาน ดังนั้นจะต้องนำตำแหน่งที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบหาตำแหน่งภายในและภายนอกของขอบภาพ ซึ่งจะพิจารณาดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์เส้นทางภายนอกและภายในของขอบชิ้นงาน

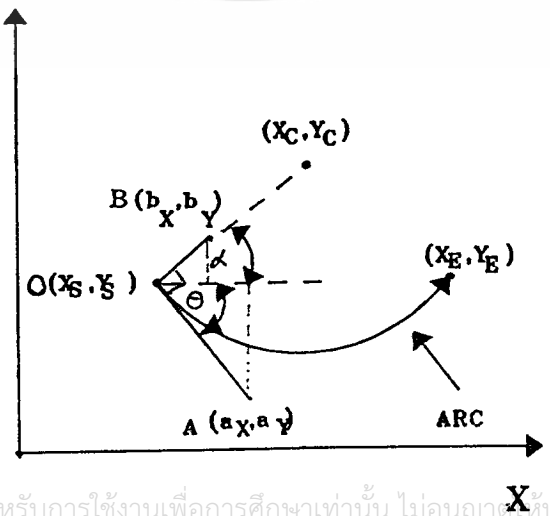
จากรูปที่ 4.2 เส้นขอบภาพในที่นี้จะแทนด้วยเส้นโค้งใดๆ โดยกำหนดให้

1) O เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งมีค่าโคออดิเนทที่ทราบค่าเท่ากับ (X_S,Y_S) OA เป็นเส้นตรงที่ลากสัมผัสกับเส้นโค้งที่จุดเริ่มต้น สมมุติให้จุด A มีโคออดิเนทเป็น (a_X,a_Y) โดยให้มีทิศไปทางเดียวกับการลากเส้นโค้ง

2) OB เป็นเส้นตรงตั้งฉากกับ OA ที่จุดสัมผัส O โดยให้ B เป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนเครื่องมือ มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_S,Y_S) ของเส้นโค้งและมีจุดสิ้นสุดอยู่ที่ (b_X,b_Y)

3) ให้ใบมีดอยู่บนเส้น Normal line โดยที่เส้นรอบวงของใบมีดสัมผัสจุดเริ่มต้น (X_S,Y_S) ของเส้นโค้ง

4) จุดศูนย์กลางของใบมีดอยู่บนเส้น Normal line และมีตำแหน่งอยู่ที่ (b_X,b_Y)



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเส้น OA กับ OB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะได้ $\tan(\theta) = (a_Y-Y_S)/(a_X-X_S)$

$$\tan(\alpha) = (b_Y-Y_S)/(b_X-X_S)$$

โดยที่ $\alpha + \theta = 90^{\circ}$

และ $(a_X-X_S) \neq 0$

$(b_X-X_S) \neq 0$

เพราะฉะนั้นจะได้ $\tan(\theta) = \tan(90^{\circ}-\alpha)$

$= \cot(\alpha)$

$= \sin(\alpha)/\cos(\alpha)$

$= (b_X-X_S)/(b_Y-Y_S)$ -----(4.1)

โดยที่ $(b_Y-Y_S) \neq 0$

เนื่องจากเส้น Normal line ลากตัดจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งเสมอดังนั้นจะได้

$$\tan(\alpha) = (Y_S-Y_C)/(X_S-X_C) \quad \text{-----(4.2)}$$

โดยที่ $(X_S-X_C) \neq 0$

จาก 4.1 และ 4.2 จะได้

$$\tan(\theta) = 1/\tan(\alpha) = (X_S-X_C)/(Y_S-Y_C)$$

โดยที่ $(Y_S-Y_C) \neq 0$

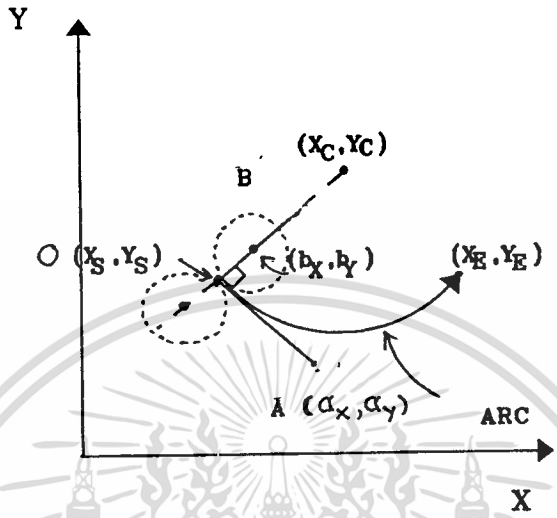
เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 4.1 จะได้

$$b_X = X_S + (b_Y-Y_S)\tan(\theta) \quad \text{-----(4.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$b_Y = Y_S + [(b_X - X_S)/\tan(\Theta)] \qquad \text{-----(4.4)}$$



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของใบมีดเทียบกับเส้น OA และ OB

จากรูปที่ 4.4 ให้ R เป็นรัศมีของใบมีดมีจุดศูนย์กลางของใบมีดอยู่ที่ (b_X,b_Y) ใบมีดอยู่บนเส้น Normal line สัมผัสจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งที่ (X_S,Y_S) เพราะฉะนั้นจะได้

$$(b_X - X_S)^2 + (b_Y - Y_S)^2 = R^2 \qquad \text{-----(4.5)}$$

นำสมการที่ 4.3 แทนลงในสมการที่ 4.5 จะได้

$$[\, X_S + (b_Y - Y_S)\tan(\Theta) - X_S \,]^2 + (b_Y - Y_S)^2 = R^2$$

$$[\, (b_Y - Y_S)\tan(\Theta) \,]^2 + (b_Y - Y_S)^2 = R^2$$

$$(b_Y - Y_S)^2[\tan^2(\Theta)+1] = R^2$$

$$(b_Y - Y_S)^2 = R^2 / \{\tan^2(\Theta)+1\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้

$$b_Y = Y_S \pm [R/[\tan^2(\theta)+1]^{1/2}] \qquad \text{-----(4.6)}$$

นำสมการที่ 4.4 มาแทนในสมการที่ 4.5 จะได้

$$(b_X-X_S)^2 + [\, Y_S-[(b_X-X_S)/\tan(\theta)]-Y_S \,]^2 = R^2$$

$$(b_X-X_S)^2 + [\, -(b_X-X_S)/\tan(\theta) \,]^2 = R^2$$

$$(b_X-X_S)^2[\, 1+(1/\tan^2(\theta)) \,] = R^2$$

$$(b_X-X_S)^2 = R^2/[\, 1+(1/\tan^2(\theta)) \,]$$

$$b_X = X_S \pm R/[\, (1/\tan\theta)(\tan^2(\theta)+1)^{1/2} \,]$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$b_X = X_S \pm [\, (R\tan(\theta))/(\tan^2(\theta)+1)^{1/2} \,] \qquad \text{-----(4.7)}$$

จาก $[\, \tan^2(\theta)+1 \,]^{1/2} = \sec(\theta) = 1/\cos(\theta)$

และ $\tan(\theta)/[(\, \tan^2(\theta)+1 \,)^{1/2}] = \sin(\theta)$

นำไปแทนในสมการที่ 4.6 และ 4.7 เพราะฉะนั้นจะได้

$$b_X = X_S \pm R\sin(\theta) \qquad \text{-----(4.8)}$$

$$b_Y = Y_S \pm R\cos(\theta) \qquad \text{-----(4.9)}$$

จากตำแหน่งของใบมีดที่ได้ในสมการที่ 4.8 และ 4.9 จะสามารถหาตำแหน่งของใบมีดได้ 2 กรณีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

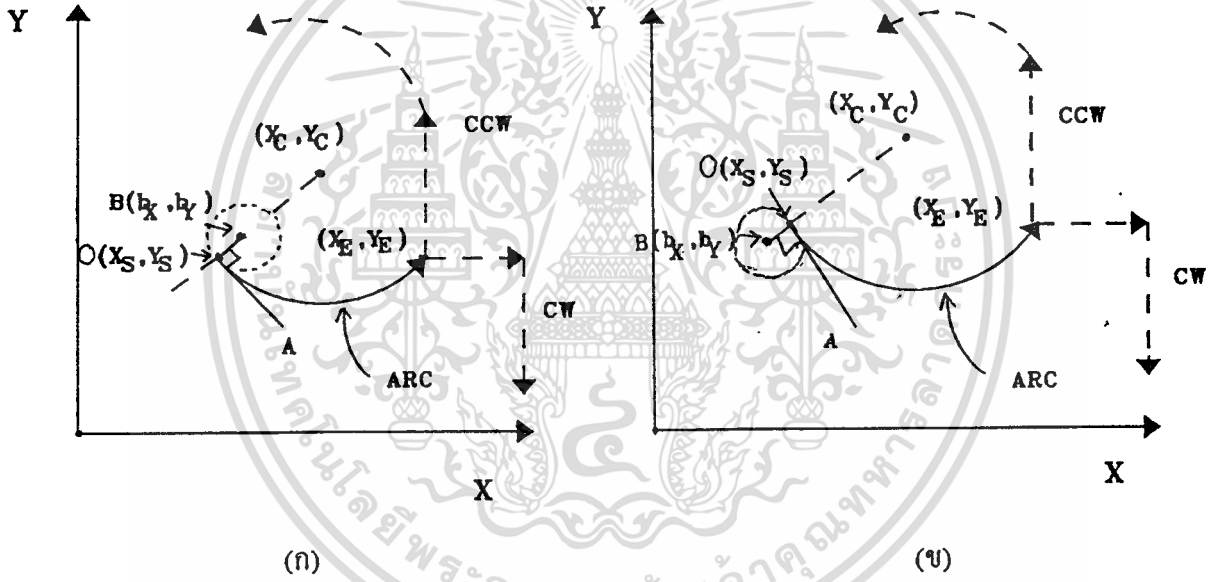
กรณีที่ 1

$$b_X = X_S + R\sin(\theta)$$
$$b_Y = Y_S + R\cos(\theta) \qquad \text{-----(4.10)}$$

กรณีที่ 2

$$b_X = X_S - R\sin(\theta)$$
$$b_Y = Y_S - R\cos(\theta) \qquad \text{-----(4.11)}$$

ซึ่งลักษณะในทั้ง 2 กรณีนี้สามารถนำไปหาตำแหน่งของใบมีดเปรียบเทียบกับชิ้นงานได้อีกเนื่องจากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของใบมีดจะต้องมีการพิจารณาถึงทิศทางของการเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับตำแหน่งของใบมีดเพื่อจะได้รู้ว่าตำแหน่งของใบมีดนั้นอยู่ภายนอกหรือภายในขอบภาพชิ้นงาน โดยการพิจารณาทิศทางร่วมกับตำแหน่งของใบมีดจะพิจารณาดังรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข)



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งของใบมีดเทียบกับทิศทางของการเคลื่อนที่

สำหรับทิศทางของเส้นขอบรูปจะมี 2 ทิศทางคือทิศทางตามเข็มนาฬิกา (CW) และ ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 4.5 (ก) สามารถสรุปตำแหน่งของใบมีดเทียบกับทิศทางได้ดังนี้

กรณีที่ 1 + CCW ====> ตำแหน่งอยู่ภายใน

กรณีที่ 1 + CW ====> ตำแหน่งอยู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 4.5 (ข) สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 2 + CCW ====> ตำแหน่งอยู่ภายนอก
กรณีที่ 2 + CW ====> ตำแหน่งอยู่ภายใน

จากข้อสรุปของตำแหน่งของใบมีดเมื่อผู้ใช้กำหนดให้ว่าต้องการทำงานในทิศทวนเข็มนาฬิกาและให้ตำแหน่งของใบมีดอยู่ภายใน และให้ขนาดของใบมีดก็จะสามารถหาตำแหน่งของใบมีดได้คือ

$$b_X = X_S + R\sin(\Theta)$$
$$b_Y = Y_S + R\cos(\Theta)$$

โดยหาได้จากการนำข้อมูลเริ่มต้นที่ได้จากบทที่ 3 มาใช้ได้แก่ จุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง (X_S,Y_S) กรณีที่เส้นที่พิจารณาเป็นเส้นโค้งจะใช้จุดศูนย์กลางกับจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งหามุมที่ต้องการ ถ้ากรณีที่เส้นที่พิจารณาเป็นเส้นตรงจะใช้จุดเริ่มต้นกับจุดปลายของเส้นตรงหาขนาดของมุมที่ต้องการได้ และค่ารัศมีของใบมีด จะได้จากผู้ใช้กำหนดให้

เมื่อได้จุดเริ่มต้นของตำแหน่งของใบมีดในแต่ละเส้นแล้วจะสามารถนำไปหาความสัมพันธ์ของเส้นต่อไปจนครบ โดยการคำนวณหาจุดที่ตัดกันของเส้น 2 เส้นได้

4.2.1.2 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นตรงต่อกับเส้นตรง

จากการพิจารณาหาจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของใบมีด ในกรณีที่ต้องทำการตัดชิ้นงานให้ได้ตามที่ต้องการนั้น สามารถนำมาทำการคำนวณหาจุดตัดที่ตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น ที่พิจารณาแล้วว่าเป็นเส้นทางเดินของใบมีดในแต่ละเส้นทาง การพิจารณาหาจุดตัดของเส้นทางเดินใบมีดระหว่างเส้นตรงกับเส้นตรงที่เป็นขอบภาพชิ้นงานได้ยกตัวอย่างเส้นตรง G กับเส้นตรง H โดยเส้นตรง G มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_a,Y_a) จุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_b,Y_b) ส่วนเส้นตรง H มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_b,Y_b) และมีจุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_c,Y_c) กำหนดให้เส้นตรงที่ขนานกับเส้นตรง G คือ G/ มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_d,Y_d) และเส้นตรงที่ขนานกับเส้นตรง H คือ H/ มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_i,Y_i) ซึ่งจุดเริ่มต้นของเส้นตรงที่ขนานกันสามารถหาได้จากหัวข้อ 4.2.1.1 สำหรับตำแหน่งที่ต้องการหาคือจุดที่ตัดกันของเส้นตรง G/ กับเส้นตรง H/ กำหนดให้เป็น (X_e,Y_e) แสดงดังรูปที่ 4.6

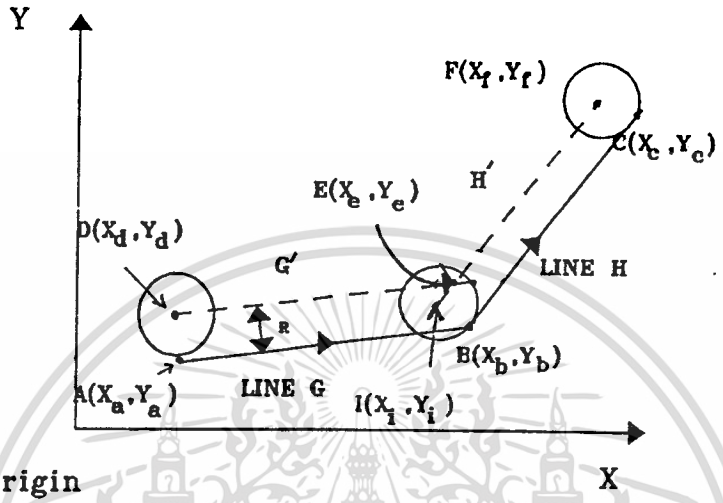
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเส้นตรง G จะได้คำสั่งเริ่มต้นคือ

LINE(X_a,Y_a,X_b,Y_b)

และเส้นตรง H จะได้คำสั่งเริ่มต้นคือ

LINE(X_b,Y_b,X_c,Y_c)



รูปที่ 4.6 ลักษณะของเส้นทางเดินของใบมีดกรณีเส้นตรงต่อกับเส้นตรง

กำหนดให้ m_G คือความชัน (slope) ของเส้นตรง G

m_H คือความชันของเส้นตรง H

สำหรับเส้นตรง G จะได้

$$m_G = (Y_b - Y_a)/(X_b - X_a)$$

โดยที่

$$X_b - X_a \neq 0$$

ค่าความชันของเส้นตรง G/ จะเท่ากับความชันของเส้นตรง G เนื่องจากเป็นเส้นตรงที่ขนานกันดังนั้น จะได้

$$\text{ความชันของเส้นตรง } G/ = (Y_e - Y_d)/(X_e - X_d) = m_G$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$X_e - X_d \neq 0$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$m_G = (Y_b - Y_a)/(X_b - X_a) = (Y_e - Y_d)/(X_e - X_d) \quad \text{----(4.12)}$$

เมื่อพิจารณาเส้นตรง H จะได้

$$m_H = (Y_c - Y_b)/(X_c - X_b)$$

โดยที่

$$X_c - X_b \neq 0$$

ค่าความชันของเส้นตรง H/ จะเท่ากับความชันของเส้นตรง H เนื่องจากเป็นเส้นตรงที่ขนานกันดังนั้นจะได้

$$\text{ค่าความชันของเส้นตรง } H/ = (Y_i - Y_e)/(X_i - X_e) = m_H$$

โดยที่

$$X_i - X_e \neq 0$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$m_H = (Y_c - Y_b)/(X_c - X_b) = (Y_i - Y_e)/(X_i - X_e) \quad \text{-----(4.13)}$$

จากสมการ 4.12

$$m_G = (Y_e - Y_d)/(X_e - X_d)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_e = m_G(X_e - X_d) + Y_d \qquad \text{-----(4.14)}$$

จากสมการ 4.13

$$m_H = (Y_i - Y_e)/(X_i - X_e)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$Y_e = Y_i - m_H(X_i - X_e)$$

$$= m_H(X_e - X_i) + Y_i \qquad \text{-----(4.15)}$$

สมการ 4.14 เท่ากับสมการ 4.15 เพราะฉะนั้นจะได้

$$Y_e = m_G(X_e - X_d) + Y_d = m_H(X_e - X_i) + Y_i \qquad \text{-----(4.16)}$$

จากสมการ 4.16

$$m_G(X_e - X_d) + Y_d = m_H(X_e - X_i) + Y_i$$

$$m_G X_e - m_G X_d + Y_d = m_H X_e - m_H X_i + Y_i$$

$$X_e(m_G - m_H) = m_G X_d - Y_d - m_H X_i + Y_i$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$X_e = \frac{m_G X_d - Y_d - m_H X_i + Y_i}{m_G - m_H} \qquad \text{-----(4.17)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้จุดที่ตำแหน่ง $E(X_e,Y_e)$ เป็นจุดตัดใดๆของเส้นทางเดินของใบมีด ไม่ว่าเส้นตรงนั้นจะประกอบกันในลักษณะใด (ภาคผนวก ข)

4.2.1.3 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งหรือเส้นโค้งต่อกับเส้นตรง

สำหรับการคำนวณหาเส้นทางเดินของใบมีดในลักษณะของเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งหรือเส้นโค้งต่อกับเส้นตรง จะเป็นการหาจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดที่ขนานกับเส้นของขอบภาพในลักษณะเดียวกับการคำนวณหาเส้นทางเดินของใบมีดระหว่างเส้นตรงกับเส้นตรง เนื่องจากรู้จุดเริ่มต้นของแต่ละเส้นที่ขนานกับเส้นที่ประกอบกัน การพิจารณาหาจุดตัดของเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งจะพิจารณาโดยการยกตัวอย่างเส้นตรง A ต่อกับเส้นตรง B ดังรูปที่ 4.7 เส้นตรง A มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_a,Y_a) มีจุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_d,Y_d) และมีเส้นตรง A/ เป็นเส้นตรงที่ขนานกับเส้นตรง A ส่วนเส้นโค้ง B มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_d,Y_d) จุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_h,Y_h) และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X_c,Y_c) มีทิศทางของเส้นโค้งในทิศตามเข็มนาฬิกา มีเส้นโค้ง B/ เป็นเส้นโค้งที่ขนานกับเส้นโค้ง B

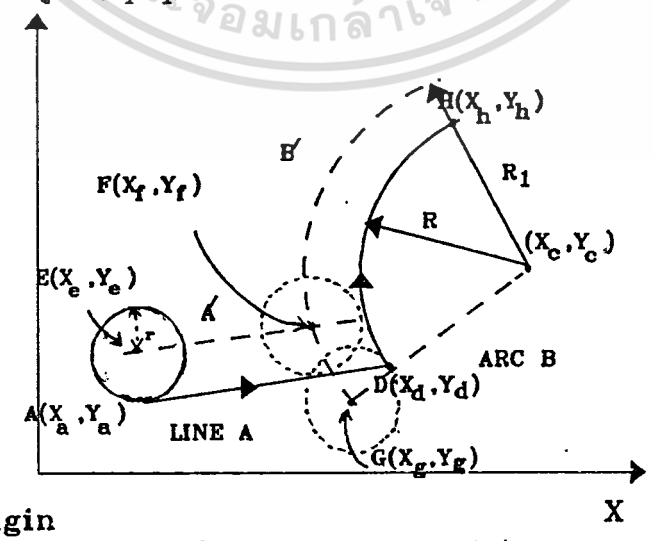
สำหรับเส้นตรง A จะได้คำสั่งเริ่มต้นคือ

LINE(X_a,Y_a,X_d,Y_d)

สำหรับเส้นโค้ง B จะได้คำสั่งเริ่มต้นคือ

ARC(X_c,Y_c,X_d,Y_d,X_h,Y_h,CW)

เส้นตรง A/ มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ $E(X_e,Y_e)$ เส้นโค้ง B/ มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ $G(X_g,Y_g)$ และจุดตัดของเส้นตรง A/ กับเส้นโค้ง B/ อยู่ที่ $F(X_f,Y_f)$



รูปที่ 4.7 ลักษณะของเส้นทางเดินของใบมีดกรณีเส้นตรงต่อกับเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ r เป็นรัศมีของใบมีด

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง B

m เป็นความชันของเส้นตรง A

โดยที่ $R = [(X_d-X_c)^2+(Y_d-Y_c)^2]$

จากรูปที่ 4.7 ได้

$$R_1 = R + r$$

พิจารณาส่วนของเส้นโค้ง B จากสมการวงกลมจะได้

$$(X_f - X_c)^2 + (Y_f - Y_c)^2 = R_1^2 = (R + r)^2 \qquad \text{-----(4.18)}$$

พิจารณาเส้นตรง A จากสมการเส้นตรง $Y = mX + b$ ซึ่ง (X,Y) เป็นตำแหน่งใดๆบนเส้นตรง และมี b เป็นค่าคงที่

โดยที่

$$m = (Y_d - Y_a)/(X_d - X_a) = (Y_f - Y_e)/(X_f - X_e)$$

และ

$$X_d - X_a \neq 0$$

$$X_f - X_e \neq 0$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$Y_f = mX_f - mX_e + Y_e = mX_f + b \qquad \text{-----(4.19)}$$

นำสมการ4.19แทนค่าในสมการ4.18จะได้

$$(X_f - X_c)^2 + ([mX_f + b] - Y_c)^2 = R_1^2$$

$$X_f^2 - 2X_fX_c + X_c^2 + [mX_f + b]^2 - 2[mX_f + b]Y_c + Y_c^2 = R_1^2$$

$$X_f^2 - 2X_fX_c + X_c^2 + [mX_f]^2 + 2mX_fb + b^2 - 2mX_fY_c - 2bY_c + Y_c^2 = R_1^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_f^2(1 + m^2) + 2X_f[\, m(b - Y_c) - X_c \,] + X_c^2 + (b - Y_c)^2 = R_1^2$$

ให้ M เป็นค่าคงที่โดยที่

$$M = b - Y_c$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$X_f^2(1 + m^2) + 2X_f[\, mM - X_c \,] + X_c^2 + M^2 - R_1^2 = 0$$

$$X_f^2 + [\, 2X_f(mM-X_c)/(1+m^2) \,] + [\, X_c^2+M^2-R_1^2 \,]/(1+m^2) = 0 \quad \text{-----(4.20)}$$

จากสมการ QUADRATIC EQUATION นำไปพิจารณาสมการที่4.20จะได้

$$X_f = \frac{-2(mM-X_c)/(1+m^2) \pm [(2(mM-X_c)/(1+m^2))^2 - 4[(X_c^2+M^2-R_1^2)/(1+m^2)]]^{1/2}}{2}$$

$$= [(X_c-mM)/(1+M^2)] \pm [\, [(mM-X_c)/(1+m^2)]^2 - [(X_c^2+M^2-R_1^2)/(1+m^2)] \,]^{1/2}$$

$$= [(X_c-mM)/(1+m^2)] \pm [\, (R_1^2(1+m^2)-(mX_c+M)^2) / (1+m^2)^2 \,]^{1/2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ตำแหน่ง $F(X_f,Y_f)$ คือ

$$X_f = [(X_c-mM)/(1+m^2)] \pm [\, (R_1^2(1+m^2)-(mX_c+M)^2) / (1+m^2)^2 \,]^{1/2}$$

$$Y_f = mX_f + b$$

โดยที่

$$b = -mX_e + Y_e$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 การคำนวณหาเส้นทางโดยเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง

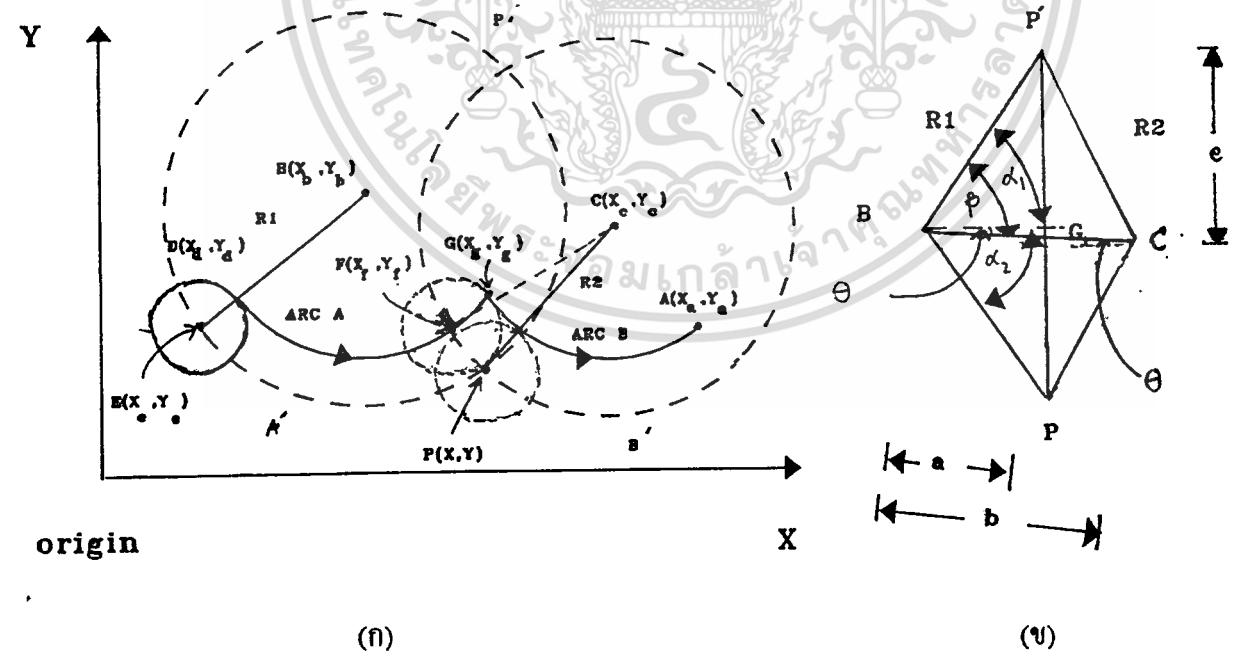
การพิจารณาหาจุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดของเส้นโค้งต่อเนื่องกับเส้นโค้งนั้นจะพิจารณาโดยการยกตัวอย่างเส้นโค้ง A ต่อกับเส้นโค้ง B โดยเส้นโค้ง A มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_d,Y_d) จุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_g,Y_g) และจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X_b,Y_b) ส่วนเส้นโค้ง B มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_g,Y_g) จุดสิ้นสุดอยู่ที่ (X_a,Y_a) และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X_a,Y_a) โดยเส้นโค้ง A/ ขนานกับเส้นโค้ง A และมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_e,Y_e) เส้นโค้ง B/ ขนานกับเส้นโค้ง B และมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_f,Y_f) ดังรูปที่ 4.8 ทั้งเส้นโค้ง A และเส้นโค้ง B มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนจุดตัดของเส้นโค้ง A/ กับเส้นโค้ง B/ ที่ต้องการหาให้อยู่ที่ตำแหน่ง P(X,Y)

สำหรับคำสั่งเริ่มต้นของเส้นโค้ง A คือ

ARC(X_b,Y_b,X_d,Y_d,X_g,Y_g,CCW)

สำหรับคำสั่งเริ่มต้นของเส้นโค้ง B คือ

ARC(X_c,Y_c,X_g,Y_g,X_a,Y_a,CCW)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.8 แสดงการนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณในลักษณะเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาหาตำแหน่ง P(X,Y) จะหาได้ดังนี้

กำหนดให้ R_1 = รัศมีของเส้นโค้ง A'

R_2 = รัศมีของเส้นโค้ง B'

BC = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง A และเส้นโค้ง B

จากรูปที่ 4.8 (ก)

$$R_1^2 = (X_e - X_b)^2 + (Y_e - Y_b)^2$$

$$R_2^2 = (X_f - X_c)^2 + (Y_f - Y_c)^2$$

จากรูป 4.8 (ข) จะได้ความยาว BC = b

$$b = [\,(X_c - X_b)^2 + (Y_c - Y_b)^2\,]^{1/2}$$

$$\text{slope ของ BC} = \tan(\Theta) = (Y_c - Y_b)/(X_c - X_b)$$

เพราะฉะนั้น

$$\Theta = \tan^{-1}[\,(Y_c - Y_b)/(X_c - X_b)\,]$$

โดยที่

$$X_c - X_b \neq 0$$

เพราะว่า

$$\hat{BGP} = \hat{PGC} = 90^{\circ}$$

เพราะฉะนั้นความยาวของ

$$BG = a = (R_1^2 - R_2^2 + b^2)/(2b)$$

$$P/G = c = (R_1^2 - a^2)^{1/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมุม

$$P/\hat{BC} = \beta = \tan^{-1}(c/a)$$

$$P/\hat{BG} = G\hat{BP} = \beta$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\alpha_1 = \beta - \theta$$

$$\alpha_2 = \beta + \theta$$

ดังนั้นจะได้

$$X_{P/} = X_b + R_1\cos(\alpha_1)$$

$$Y_{P/} = Y_b + R_1\sin(\alpha_1)$$

$$X = X_b + R_1\cos(\alpha_2)$$

$$Y = Y_b + R_1\sin(\alpha_2)$$

ซึ่งเมื่อกำหนดเส้นทางตำแหน่งของใบมีดได้แล้ว ยังอาจจะมีปัญหาในกรณีที่เส้นทางที่วิเคราะห์ออกมาไม่ตัดกันในแต่ละเส้นโดยเฉพาะส่วนโค้งทำให้เส้นทางเดินไม่ต่อเนื่อง ในกรณีนี้แก้ปัญหาโดยการสร้างส่วนโค้งขึ้นมาให้ต่อกันระหว่างเส้น โดยการสร้างให้จุดต่อระหว่างเส้นที่ประกอบกันเป็นขอบของภาพเป็นจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งที่สร้างให้ แล้วนำเส้นโค้งนั้นไปหาจุดตัดใหม่ระหว่างเส้นที่ตัดกัน

เส้นทางเดินของใบมีดนี้จะมีทั้งเดินส่วนนอกของชิ้นงานจริง (OUTSIDE) หรือส่วนใน (INSIDE) ซึ่งส่วนนี้จะมีผลในการกำหนดโคดของเครื่อง CNC ให้ทำงานในทิศทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา และทำงานในส่วนนอกหรือส่วนในของชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 รูปแบบของชุดคำสั่งลำดับที่ 2

จะเป็นรูปแบบของคำสั่งที่ได้จากความสัมพันธ์ของตำแหน่งของใบมีดกับทิศทางของการเคลื่อนที่กับคำสั่งเริ่มต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

$$LINE(X_S,Y_S)$$

$$ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,d)$$

$$CIRCLE(X_C,Y_C,r)$$

โดยที่ X_S เป็นจุดเริ่มต้นในแนวแกน X ของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

Y_S เป็นจุดเริ่มต้นในแนวแกน Y ของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

X_C เป็นจุดศูนย์กลางในแนวแกน X ของเส้นโค้งหรือวงกลม

Y_C เป็นจุดศูนย์กลางในแนวแกน Y ของเส้นโค้งหรือวงกลม

d เป็นทิศทางของการลากเส้นโค้งมี 2 ค่าคือ ตามเข็มนาฬิกา (CW) กับทวนเข็มนาฬิกา (CCW)

r เป็นรัศมีของวงกลม

4.4 การเรียงชุดคำสั่งลำดับที่ 2

การพิจารณาในส่วนก่อนหน้านี้จะทำการพิจารณาเส้นขอบของภาพทีละ 2 เส้นที่ต่อเนื่องกัน โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็นเส้นที่ประกอบกันแบบเส้นตรงต่อกับเส้นตรง แบบเส้นตรงต่อกับเส้นโค้ง และแบบเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง เพื่อคำนวณหาจุดตัดของเส้นทางเดินเมื่อได้จุดตัดที่ต้องการแล้วจะต้องมีการเรียงเส้นทางเดินของจุดศูนย์กลางของใบมีด จะใช้ลักษณะการจับเป็นคู่ๆ เช่น จุดตัดของเส้นตรงเส้นที่หนึ่งกับเส้นตรงเส้นที่สอง ตามด้วยจุดตัดของเส้นตรงเส้นที่สองกับส่วนโค้งเส้นที่สาม และก็ตามด้วยจุดตัดจุดต่อๆไปในทิศทางที่ต้องการ ซึ่งอาจจะเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกาหรือทิศตามเข็มนาฬิกา และในลักษณะของการเดินภายในหรือภายนอกขอบของชิ้นงาน โดยที่จุดตัดสุดท้ายจะเป็นจุดตัดจุดที่ต่อกับจุดแรก ดังนั้นจะเห็นว่าการหาเส้นทางเดินของใบมีดเป็นเส้นทางเดินรอบรูปในลักษณะจุดต่อจุด ส่วนการเก็บชุดคำสั่งลำดับที่ 2 จะเป็นการเก็บข้อมูลเฉพาะพิกัดของจุดที่ตัดกันของเส้นทางเดิน โดยมีทิศทางกำกับไว้ด้วย ถ้ากรณีเป็นชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ของส่วนโค้งจะบอกพิกัดของจุดศูนย์กลางไว้ด้วย ลักษณะการเก็บข้อมูลในส่วนนี้จะจำเป็นเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการแปลงข้อมูลเป็นชุดคำสั่งของเครื่องจักร ตัวอย่างเช่น ต้องการชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยเส้นตรงและเส้นโค้งดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 4.9 ก) โดยให้มีเส้นทางเดินของใบมีดในทิศทวนเข็มนาฬิกา เป็นการเดินภายนอกชิ้นงาน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เมื่อนำชุดคำสั่งเริ่มต้นที่ประกอบไปด้วย

LINE(10,10,110,10)

LINE(10,110,110,110)

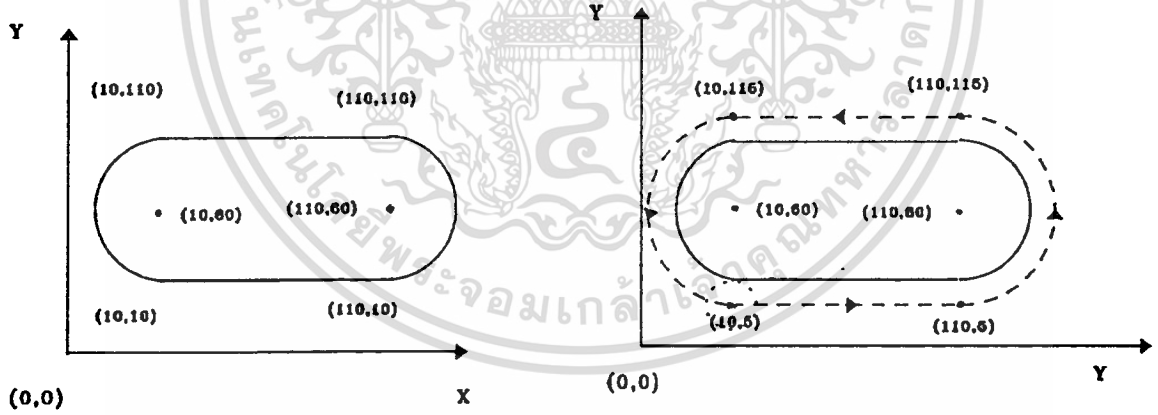
ARC(10,60,10,110,10,10,CCW)

ARC(110,60,110,110,110,10,CW)

ไปคำนวณจะได้เส้นทางเดินของใบมีดดังรูปที่ 4.9 ข) โดยมีจุดเริ่มต้นของทางเดินอยู่ที่ใกล้จุดกำเนิดมากที่สุดคือที่ (10,5)

ลักษณะการเรียงชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ของเส้นทางเดินของใบมีดของตัวอย่างนี้เป็นดังนี้

1) LINE(10,5)
2) ARC(110,60,110,5,CCW)
3) LINE(110,115)
4) ARC(10,60,10,115,CCW)



(ก) แบบของชิ้นงาน (ข) การเรียงเส้นทางเดินของใบมีด

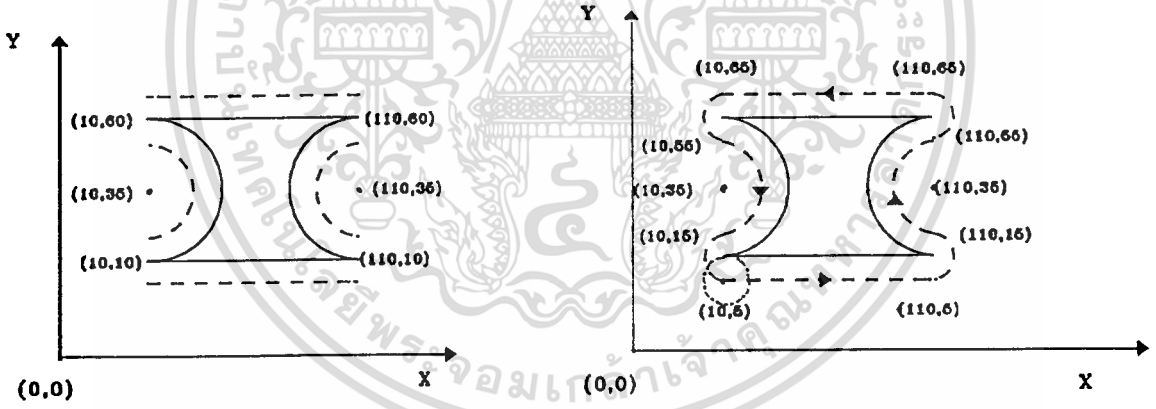
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างแบบของชิ้นงานและเส้นทางเดินของใบมีด

จากการนำชุดคำสั่งเริ่มต้นมาคำนวณ บางกรณีจะเกิดปัญหาคือเส้นทางเดินของใบมีดไม่ตัดกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับจุดตัดของเส้นตรงต่อกับเส้นโค้ง หรือเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง ทำให้ไม่สามารถเรียงเส้นทางเดินของใบมีดได้ สำหรับปัญหานี้ได้ทำการแก้ไขโดยการสร้างส่วนโค้งเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดระหว่างทางเดินทั้งสองเส้นทางให้ ดังตัวอย่างดังรูปที่ 4.10 โดยให้เส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และเป็นการเดินภายนอกขอบของชิ้นงาน จากรูปที่ 4.10 ก) จะเห็นว่าเส้นทางเดินของใบมีดไม่ตัดกัน จึงได้ทำการแก้ปัญหาดังรูปที่ 4.10 ข) ทำให้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 มีการเรียงใหม่คือ

1) LINE(10,5)
2) ARC(110,10,110,5,CCW)
3) ARC(110,35,110,15,CW)
4) ARC(110,60,110,55,CCW)
5) LINE(110,65)
6) ARC(10,60,10,65,CCW)
7) ARC(10,35,10,55,CW)
8) ARC(10,10,10,15,CCW)



(ก) เส้นทางเดินของใบมีดที่ไม่ตัดกัน (ข) เมื่อสร้างส่วนโค้งเชื่อมเส้นทาง

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างแบบชิ้นงานและเส้นทางเดินของใบมีกรณีไม่ตัดกัน

4.5 สรุป

จากตัวอย่างที่นำมาพิจารณาจะเห็นว่าผลที่ได้จากการเรียงชุดคำสั่งลำดับที่ 2 แล้วสามารถที่จะนำชุดคำสั่งที่ได้ไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานให้เครื่องจักรทำงานได้ตามขั้นตอนเลย แต่โปรแกรมสั่งงานที่ได้นี้เป็นส่วนของการสั่งงานเฉพาะโครงสร้างที่ได้จากการวาดแบบเท่านั้น ยังไม่ได้มีการกำหนดค่าการทำงาน (offset) ของเครื่องให้ซึ่งส่วนนี้จะได้อธิบายถึงหลักการในการใส่ข้อกำหนดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของเครื่องจักรและการสร้างรูปแบบของโปรแกรมสั่งงานเพื่อนำไปสร้างเป็นซอฟท์แวร์เพื่อแปลงชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่อง CNC อีกทีหนึ่ง เนื่องจากลักษณะของการทำงานของเครื่องกัดมีหลายลักษณะแล้วแต่การนำชุดคำสั่งไปประยุกต์ใช้ สำหรับงานวิจัยนี้ในบทต่อไปจะนำเสนอหลักการโปรแกรมสั่งงานของเครื่องกัด เพื่อให้ทำงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งเป็นการเรียนรู้ถึงรูปแบบของชิ้นงานที่จะนำชุดคำสั่งที่มีอยู่นี้มาดัดแปลงใช้งานได้อย่างไร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การเตรียมข้อมูลจากรูปแบบของการผลิตชิ้นงาน

5.1 บทนำ

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้นจากข้อมูลองค์ประกอบภาพของโปรแกรมวาดแบบ ซึ่งชุดคำสั่งเริ่มต้นนี้จะให้ตำแหน่งและลำดับของเส้นตรงหรือเส้นโค้งหรือวงกลม ที่จะประกอบเป็นแบบของภาพชิ้นงานที่จะผลิต และในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงการแปลงชุดคำสั่งเริ่มต้นโดยเพิ่มข้อมูลทางด้านการเคลื่อนตำแหน่งของส่วนเครื่องมือการผลิตของเครื่อง CNC ได้แก่การเดินขอบนอกหรือขอบในของเส้นขอบภาพชิ้นงานเป็นลำดับ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา โดยการกำหนดตำแหน่งของการเคลื่อนส่วนเครื่องมือในการผลิตไปยังจุดต่างๆนั้นได้คำนึงถึงขนาดหรือจุดศูนย์กลางของเครื่องมือนั้นด้วย

ขั้นตอนต่อไปที่เราจะต้องทราบก่อนที่จะทำการสร้างโปรแกรมสั่งงานก็คือรูปแบบของการผลิตชิ้นงานตามวัตถุประสงค์ นั่นคือผลที่ได้จากบทที่ 4 เป็นเพียงการสร้างชุดคำสั่งให้ส่วนเครื่องมือเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปตามเส้นขอบภาพชิ้นงาน ในระนาบ 2 มิติคือแกน X และแกน Y ดังนั้นข้อมูลที่ต้องเพิ่มในส่วนนี้ก็คือ การสร้างชุดคำสั่งให้เครื่องมือทำการผลิตชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ นั่นคือการเคลื่อนส่วนเครื่องมือลงบนผิววัสดุในแนวแกน Z เพื่อทำการกัดหรือเจาะเนื้อวัสดุ รูปแบบของการผลิตชิ้นงานในที่นี้ได้แก่

(1) แบบงานเจาะ (Drilling)

(2) แบบงานกัด (Milling)

เมื่อได้ข้อมูลส่วนรูปแบบของการผลิตชิ้นงานตามวัตถุประสงค์แล้ว จึงจะนำผลลัพธ์ทั้งหมดไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเตรียมข้อมูลจากรูปแบบของการผลิตชิ้นงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการวิจัยและพัฒนาระบบซอฟท์แวร์ของวิทยานิพนธ์นี้

5.2 แบบงานเจาะ

การสร้างงานเจาะจะพิจารณาเฉพาะพิกัดของตำแหน่งที่จะเจาะที่ได้จากแบบภาพชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลหรือชุดคำสั่งเริ่มต้นที่สามารถนำมาใช้ได้จะอยู่ในระนาบ XY ซึ่งชุดคำสั่งเริ่มต้นของงานเจาะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCLE(X_C,Y_C,r)

เมื่อต้องการสร้างงานเจาะจะต้องมีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนของความลึก (depth) และขนาดความกว้างของรูที่จะเจาะ ในงานวิจัยนี้สำหรับงานเจาะได้กำหนดว่ารัศมีของแบบภาพชิ้นงานเจาะจะต้องมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด

นำข้อมูลที่ให้นี้มาใช้ร่วมกับชุดคำสั่งเริ่มต้น จะได้ชุดคำสั่งที่สามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานคือ

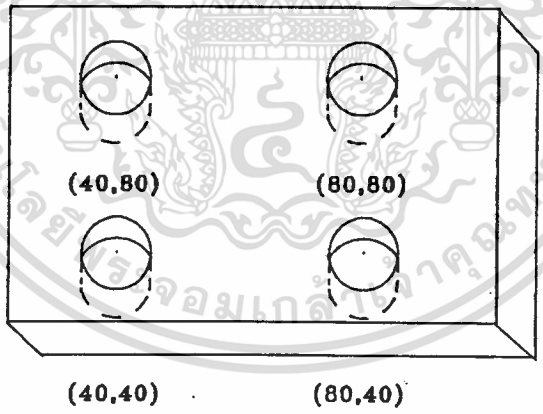
CIRCLE(X_C,Y_C,r,depth)

ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลสำหรับงานเจาะที่ได้ออกแบบชิ้นงานเจาะดังรูปที่ 5.1 จะประกอบด้วยชุดคำสั่งเริ่มต้นคือ CIRCLE(40,40,5)

CIRCLE(40,80,5)

CIRCLE(80,80,5)

CIRCLE(80,40,5)



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างงานเจาะ

โดยกำหนดข้อมูลเพิ่มเติมคือให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และให้เจาะชิ้นงานลึก 4 มิลลิเมตร ดังนั้นจะได้ข้อมูลที่พร้อมจะนำไปแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานดังนี้คือ

CIRCLE(40,40,5,4)

CIRCLE(40,80,5,4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCLE(80,80,5,4)

CIRCLE(80,40,5,4)

5.3 แบบงานกัด

งานกัดจะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ของใบมีดให้มีความต่อเนื่องสัมพันธ์กันจากการวาดแบบชิ้นงานเดียวกัน จะสามารถนำชุดคำสั่งที่ได้ไปสร้างชิ้นงานได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้

(ก) งานเซาะร่อง (Socket milling)

(ข) งานเดินขอบ (Contour milling)

(ค) งานปาดหน้า (Face milling)

(ง) งานกัดหลุม (Pocket milling)

5.3.1 งานเซาะร่อง

งานเซาะร่องเป็นงานกัดอย่างหนึ่งที่ทำงานตามเส้นทางโครงสร้างของแบบซึ่งอาจจะไม่ต่อเนื่องกัน อาจจะเพื่อเป็นการเน้นแบบที่ได้ออกไว้ ตัวอย่างเช่น รูปตัวอักษร สำหรับงานเซาะร่องเป็นงานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานทั่วไป โดยการนำชุดคำสั่งเริ่มต้นมาใช้ได้แก่

LINE(X_S,Y_S,X_E,Y_E)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d)

เมื่อจะนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานต้องกำหนดข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนของความลึก ดังนั้นจะได้ข้อมูลที่พร้อมจะนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานคือ

LINE(X_S,Y_S,X_E,Y_E,depth)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d,depth)

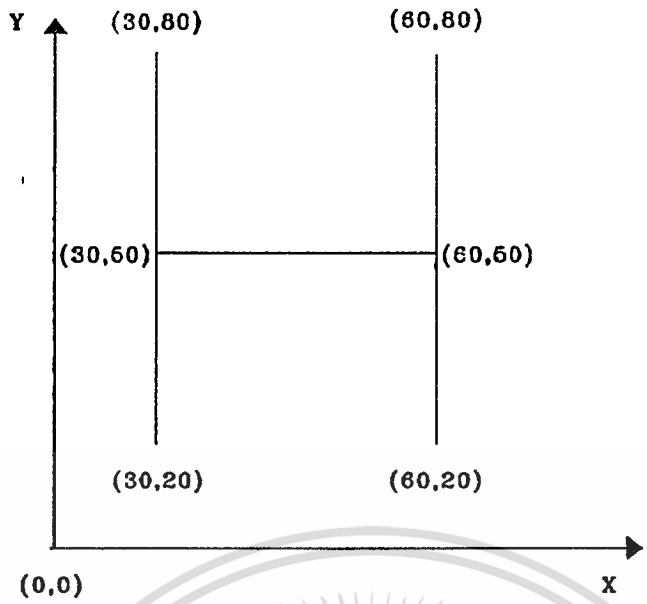
จากตัวอย่างได้ออกแบบรูปตัวอักษร H ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่งเริ่มต้นคือ

LINE(30,80,30,20)

LINE(60,80,60,20)

LINE(30,50,60,50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

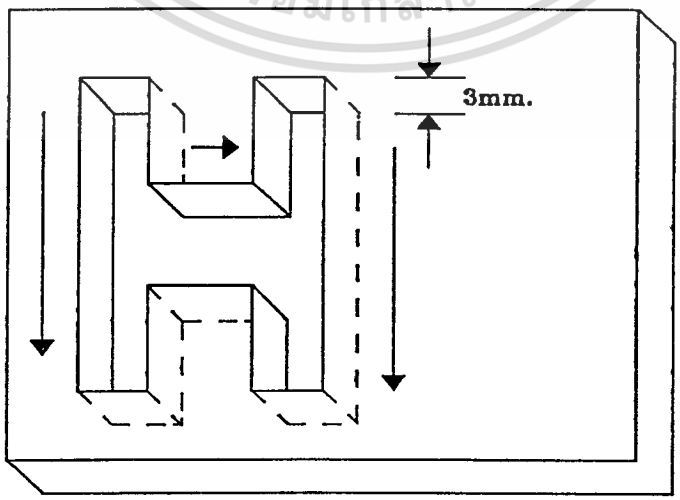


รูปที่ 5.2 แบบงานเซาะร่อง

เมื่อนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานได้กำหนดให้ทำการเซาะร่องลึก 3 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้นจะได้ข้อมูลที่สามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานคือ

```
LINE(30,80,30,20,3)
LINE(60,80,60,20,3)
LINE(30,50,60,50,3)
```

เมื่อนำโปรแกรมสั่งงานไปสร้างชิ้นงานจะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างงานเซาะร่องรูปตัวอักษร H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

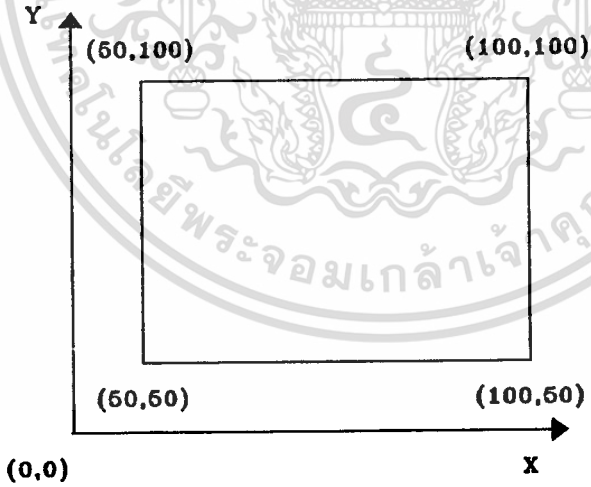
5.3.2 งานเดินขอบ

งานเดินขอบจะมีลักษณะการกัดชิ้นงานคล้ายกับการเซาะร่องแต่มีการนำชุดคำสั่งลำดับที่ 2 มาใช้แทนที่จะใช้ชุดคำสั่งเริ่มต้นเหมือนงานเซาะร่อง เนื่องจากตำแหน่งของใบมีดที่จะใช้กัดชิ้นงานตามแบบภาพชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้จะต้องไม่ทำให้ขอบของชิ้นงานเสียหาย การสร้างชิ้นงานแบบเดินขอบจะต้องมีการกำหนดความลึกของงานกัดเช่นกัน แต่กรณีของงานเดินขอบของงานวิจัยนี้ได้ดัดแปลงให้ทำการกัดชิ้นงานด้วยความลึกที่ละ 1 มิลลิเมตร จนได้ความลึกที่ต้องการเพื่อป้องกันความเสียหายของใบมีดและความเรียบของผิวชิ้นงาน สำหรับชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ที่นำมาใช้กับงานเดินขอบที่กำหนดความลึกแล้วคือ

LINE(X_S,Y_S,depth)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,d,depth)

ได้ยกตัวอย่างงานเดินขอบที่ออกแบบชิ้นงานดังรูปที่ 5.4 ซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่งเริ่มต้นเมื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีดเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกาคือ



รูปที่ 5.4 แบบชิ้นงานเดินขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINE(50,50,100,50)

LINE(100,50,100,100)

LINE(100,100,50,100)

LINE(50,100,50,50)

และได้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 เมื่อกำหนดว่าต้องการชิ้นงานภายนอก คือต้องให้ใบมีดเคลื่อนที่ภายในขอบภาพชิ้นงาน กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และให้ความลึกของงานเดินขอบเท่ากับ 2 มิลลิเมตรดังนี้

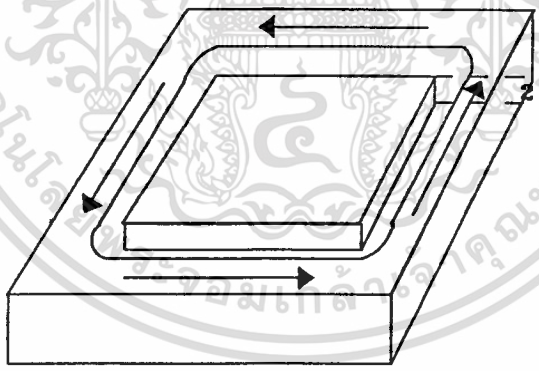
LINE(55,55,2)

LINE(95,55,2)

LINE(95,95,2)

LINE(55,95,2)

เมื่อนำข้อมูลที่เตรียมไว้สำหรับงานเดินขอบนี้ไปสร้างชิ้นงานจะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างงานเดินขอบภายในขอบภาพชิ้นงาน

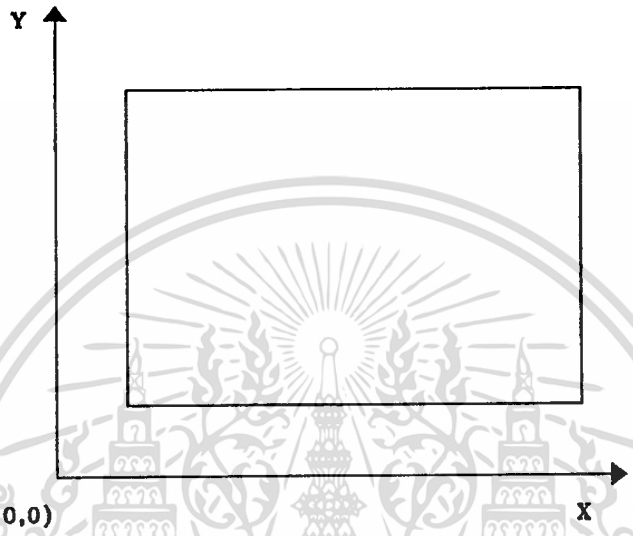
5.3.3 งานปาดหน้า

งานปาดหน้าเป็นลักษณะของการกัดชิ้นงานด้วยความลึกที่เท่ากันทั่วผิวงาน เพื่อให้ผิวงานมีความเรียบหรือเพื่อทำให้วัสดุที่นำมาใช้ทำชิ้นงานมีความหนาเท่าที่ต้องการเสียก่อน ลักษณะของการสร้างชิ้นงานปาดหน้าจะใช้กับชิ้นงานที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 5.6 สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 เฉพาะเส้นตรงกับการกำหนดความลึกให้เป็นข้อมูลที่เตรียมไว้สำหรับการสร้างโปรแกรมสั่งงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINE(X_S,Y_S,depth)

และกำหนดด้วยว่าต้องการกัดผิวงานภายใน ลักษณะของงานปาดหน้าจะมีลักษณะเหมือนงานกัดหลุม (รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ 5.3.4) คือสามารถสร้างชิ้นงานโดยการกัดแบบซิกแซก หรือวงกลมก็ได้ โดยกำหนดให้กัดได้ลึกชั้นละ 1 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันความเสียหายของใบมีด



รูปที่ 5.6 รูปชิ้นงานแบบสี่เหลี่ยมที่ใช้กับงานปาดหน้า

5.3.4 งานกัดหลุม

การสร้างชิ้นงานแบบกัดหลุมเป็นลักษณะของการกัดชิ้นงานให้เป็นแอ่งหลุมลึกลงไป โดยลักษณะของการกัดชิ้นงานของใบมีดสามารถที่จะออกแบบให้ใบมีดกัดได้หลายแบบดังนี้

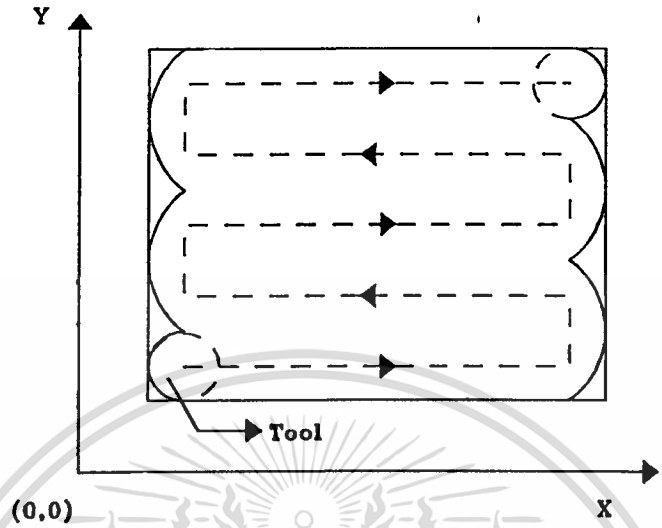
(ก) แบบซิกแซก (Rectangle Pocket)

(ข) แบบวงกลม (Circle Pocket)

5.3.4.1 แบบซิกแซก

การสร้างชิ้นงานแบบกัดหลุมในลักษณะของซิกแซกจะเป็นการกัดเนื้อของชิ้นงานภายในและในแนวขนานกับแกน X และแกน Y โดยตำแหน่งการกัดของใบมีดจะอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ให้เป็นขอบของหลุมตัวอย่างดังรูปที่ 5.7 ความลึกในการกัดแต่ละครั้งจะมีจำกัดดังนั้นเมื่อกัดทั่วผิวงานที่ต้องการแล้วอาจจะยังไม่ได้ความลึกตามที่การก็จะต้องมีการทำซ้ำในส่วนนี้อีก ดังนั้นจะเห็นว่าการทำการกัดหลุมให้เป็นแอ่งลึกจะต้องทำหลายชั้นกว่าจะได้หลุมที่ต้องการ ลักษณะของการกัดแบบนี้มักจะใช้กับงานที่เป็นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างแบบภาพชิ้นงานที่ใช้กับการกัดหลุม

การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นการกัดหลุมแบบซิกแซกจะใช้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 ซึ่งจะประกอบไปด้วยเส้นตรง 4 เส้นดังนี้

LINE(X_{S1},Y_{S1})

LINE(X_{S2},Y_{S2})

LINE(X_{S3},Y_{S3})

LINE(X_{S4},Y_{S4})

เมื่อกำหนดให้กัดซิกแซกในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จะมีการคำนวณหาช่วง (step) ที่ตำแหน่งของใบมีดจะเลื่อนไปดังนี้

$$step(CCW) = +\Delta Y$$

โดยที่

จำนวนรอบ = $(Y_{S4}-Y_{S1})$/(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจำนวนรอบไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเศษเป็นจำนวนเต็ม
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta Y = (Y_{S4}-Y_{S1})/\text{จำนวนรอบ}$$

ถ้ากำหนดให้กัดซิกแซกในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะมีการคำนวณหาช่วงที่ตำแหน่งของใบมีดเลื่อนไปดังนี้

$$step(CW) = +\Delta X$$

โดยที่

$$\text{จำนวนรอบ} = (X_{S4}-X_{S1})/(\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด-1})$$

ถ้าจำนวนรอบไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเศษเป็นจำนวนเต็มเช่นกัน
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta X = (X_{S4}-X_{S1})/\text{จำนวนรอบ}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ข้อมูลที่เตรียมไว้สำหรับการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซกดังนี้

LINE(X_{S1},Y_{S1},step,depth)
LINE(X_{S2},Y_{S2},step,depth)

ถ้าเป็นการกัดหลุมแบบซิกแซกในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะได้

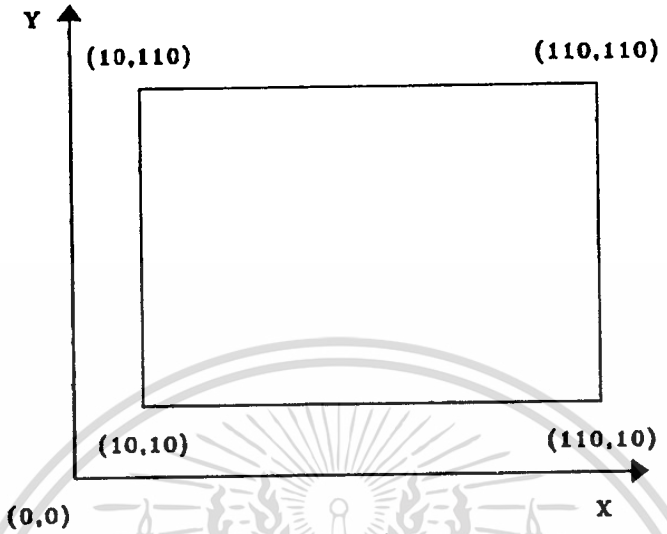
LINE(X_{S1},Y_{S1}+step,step,depth)
LINE(X_{S2},Y_{S2}+step,step,depth)

ถ้าเป็นการกัดหลุมแบบซิกแซกในทิศตามเข็มนาฬิกาจะได้

LINE(X_{S1}+step,Y_{S1},step,depth)
LINE(X_{S2}+step,Y_{S2},step,depth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้กัดหลุมได้ลึกชั้นละ 1 มิลลิเมตรจะทำการกัดจนกว่าจะได้ความลึกที่ต้องการ ยกตัวอย่าง เช่น ต้องการกัดชิ้นงานให้เป็นหลุมแบบซิกแซกด้วยความลึก 2 มิลลิเมตรตามแบบชิ้นงานดังรูปที่ 5.8 เมื่อกำหนดขนาดของใบมีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.8 แบบชิ้นงานที่นำไปสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซก

และกำหนดให้กัดภายใน ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะได้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 คือ

```
LINE(15,15)
LINE(105,15)
LINE(105,105)
LINE(15,105)
```

ซึ่งจะได้ จำนวนรอบ = (105-15)/9

= 10 รอบ

เพราะฉะนั้นจะได้ขนาดของช่วงตำแหน่งของใบมีดดังนี้

step(CCW) = (105-15)/10 = 9 มิลลิเมตร

ดังนั้นเมื่อนำไปเตรียมเป็นข้อมูลเพื่อใช้ผลิตชิ้นงานจะได้ดังนี้

```
LINE(15,15,9,2)
```

โดยการกัดลึกชั้นละ 1 มิลลิเมตร เมื่อนำข้อมูลที่เตรียมไว้มาแจกแจงในชั้นแรกจะได้ดังนี้

```
LINE(15,15,9,1)
LINE(105,15,9,1)
```

รอบที่ 1 LINE(105,24,9,1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINE(15,24,9,1)

รอบที่ 2 LINE(15,33,9,1)

LINE(105,33,9,1)

รอบที่ 3 LINE(105,42,9,1)

LINE(15,42,9,1)

รอบที่ 4 LINE(15,51,9,1)

LINE(105,51,9,1)

รอบที่ 5 LINE(105,60,9,1)

LINE(15,60,9,1)

รอบที่ 6 LINE(15,69,9,1)

LINE(105,69,9,1)

รอบที่ 7 LINE(105,78,9,1)

LINE(15,78,9,1)

รอบที่ 8 LINE(15,87,9,1)

LINE(105,87,9,1)

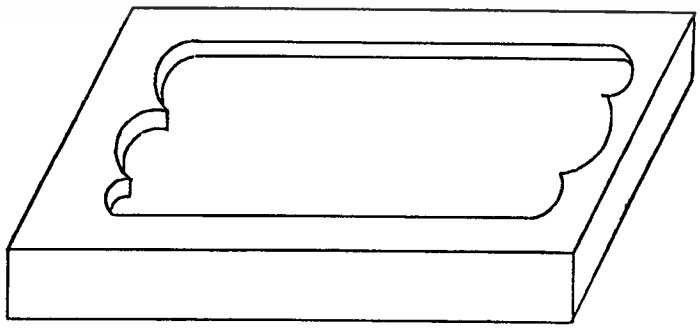
รอบที่ 9 LINE(105,96,9,1)

LINE(15,96,9,1)

รอบที่ 10 LINE(15,105,9,1)

LINE(105,105,9,1)

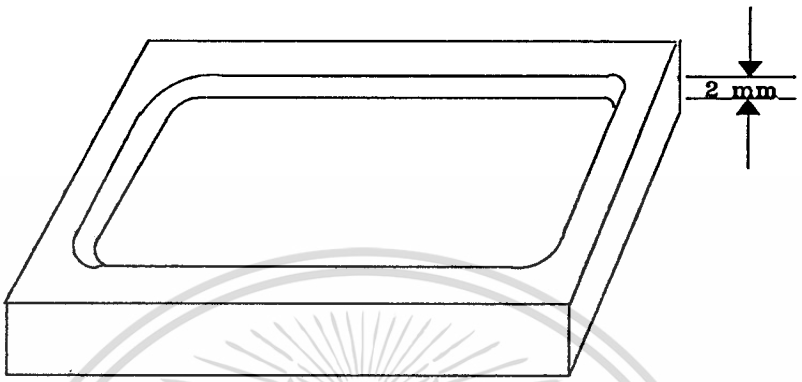
ลักษณะของการกัดหลุมของใบมีดแสดงดังรูปที่ 5.9 สำหรับในชั้นถัดไปจะมีการเตรียมข้อมูลเหมือนกันแต่เปลี่ยนข้อมูลในส่วนของความลึก



รูปที่ 5.9 แสดงการกัดหลุมแบบซิกแซก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตุสำหรับการเลือกการกัดแบบนี้คือไม่สามารถที่จะทำเป็นงานที่ต้องการได้เลยเนื่องจากงานที่ได้ยังเป็นงานที่หยาบขอบของชิ้นงานยังไม่เรียบ เมื่อเวลาที่จะนำไปใช้งานจะต้องทำการกัดละเอียดอีกครั้งหนึ่งเสียก่อน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการกัดหลุมที่กัดขอบชิ้นงานให้ด้วย จากตัวอย่างเดิมเมื่อกัดขอบชิ้นงานแล้วแสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงการลบขอบของชิ้นงานที่ได้จากการกัดหลุมแบบซิกแซก

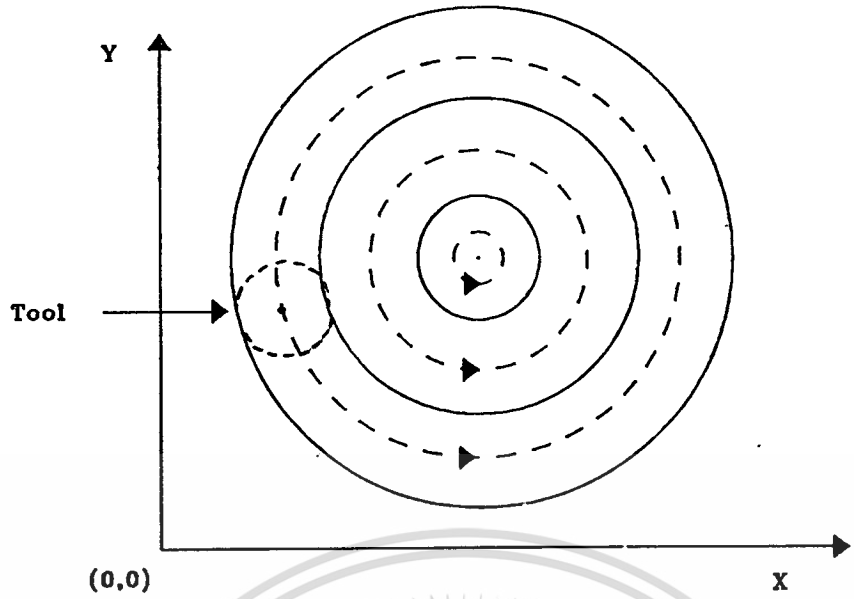
5.3.4.2 แบบวงกลม

การสร้างชิ้นงานให้เป็นหลุมแบบวงกลมเป็นลักษณะของการกัดชิ้นงานให้เป็นแอ่งโดยใช้เทคนิคการกัดตามเส้นทางของแบบแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.11 ทำการกัดวนเป็นวงกลมจนกระทั่งกินเนื้อของชิ้นงานหมดตามที่ต้องการ ลักษณะของการทำงานชิ้นงานแบบนี้มักจะใช้กับแบบชิ้นงานที่เป็นงานวงกลม หรืองานที่เป็นเหลี่ยมได้โดยไม่ต้องทำการกัดละเอียดอีกครั้งหนึ่ง สำหรับชุดคำสั่งที่ใช้กับการสร้างชิ้นงานแบบวงกลมจะเป็นชุดคำสั่งลำดับที่ 2 คือ

LINE(X_S,Y_S,step,depth)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,d,step,depth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงตำแหน่งของใบมีดสำหรับการกัดหลุมแบบวงกลม

เมื่อกำหนดความลึกให้ สามารถที่จะสร้างชิ้นงานให้มีความลึกได้ชั้นละ 1 มิลลิเมตรจนได้ความลึกตามต้องการและสามารถหาช่วงตำแหน่งของใบมีดได้ดังนี้

(ก) กรณีที่เส้นที่ประกอบเป็นภาพชิ้นงานเป็นเส้นตรงที่มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

$$\text{step} = +\Delta X$$

$$\text{จำนวนรอบ} = \frac{[\ X_{S2}\text{-}X_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]}{2 \times (\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด-1})}$$

ถ้าจำนวนรอบที่ได้ไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta X = [\ X_{S2}\text{-}X_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]/\text{จำนวนรอบ}$$

(ข) กรณีที่เส้นที่ประกอบเป็นภาพชิ้นงานเป็นเส้นตรงที่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา

$$\text{step} = +\Delta Y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จำนวนรอบ} = \frac{[\ Y_{S2}\text{-}Y_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]}{2 \times (\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด-1})}$$

ถ้าจำนวนรอบที่ได้ไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta Y = [\ Y_{S2}\text{-}Y_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]/\text{จำนวนรอบ}$$

(ค) กรณีที่เส้นที่ประกอบเป็นภาพชิ้นงานเป็นเส้นโค้งสำหรับงานกัดกลม

$$\text{step} = +\Delta X$$

$$\text{จำนวนรอบ} = \frac{[\ X_{S3}\text{-}X_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]}{2 \times (\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด-1})}$$

ถ้าจำนวนรอบที่ได้ไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\Delta X = [\ X_{S3}\text{-}X_{S1}\text{-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด }]/\text{จำนวนรอบ}$$

สำหรับการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างโปรแกรมสั่งงานของการกัดงานกลมจะคล้ายกับการกัดแบบซิกแซก ได้ยกตัวอย่างของงานกัดหลุมแบบวงกลมโดยใช้แบบของชิ้นงานที่เป็นวงกลมดังรูปที่ 5.12 จากชุดคำสั่งเริ่มต้นจะประกอบด้วยเส้นโค้ง 4 เส้นคือ

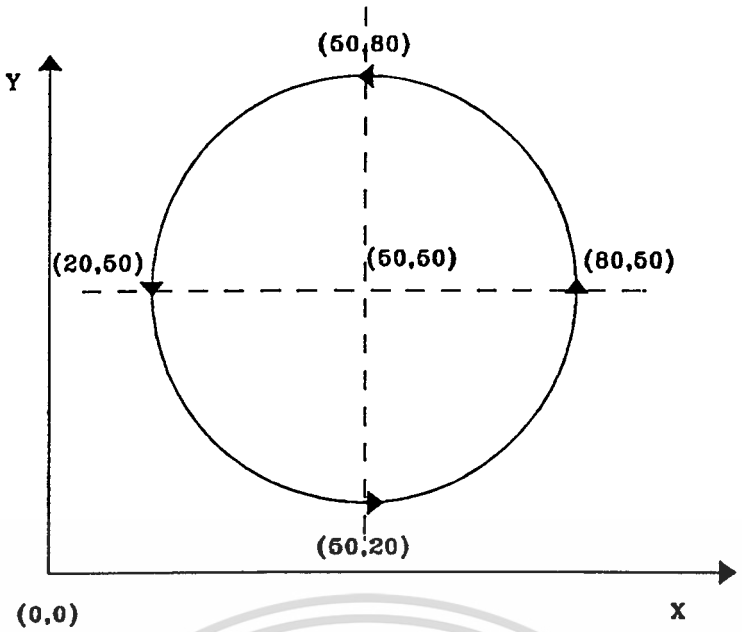
ARC(50,50,20,50,50,20,CCW)

ARC(50,50,50,20,80,50,CCW)

ARC(50,50,80,50,50,80,CCW)

ARC(50,50,50,80,20,50,CCW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ตัวอย่างแบบชิ้นงานที่นำไปสร้างการกัดหลุมแบบวงกลม

และจะได้ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 เมื่อกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดเป็น 10 มิลลิเมตรดังนี้

ARC(50,50,25,50,CCW)

ARC(50,50,50,25,CCW)

ARC(50,50,75,50,CCW)

ARC(50,50,50,75,CCW)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาช่วงของตำแหน่งจะได้ดังนี้

จำนวนรอบ = [75-25-10]/[2x(10-1)]

= 2.222 รอบ

หรือประมาณ 3 รอบและจะได้ช่วงของตำแหน่งของใบมีดคือ

step = [75-25-10]/3

= 13.333 มิลลิเมตร

เมื่อนำมาเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปใช้สร้างโปรแกรมสั่งงานโดยต้องการชิ้นงานที่มีความลึก 2 มิลลิเมตร โดยเตรียมข้อมูลให้ขั้นละ 1 มิลลิเมตรดังนี้

รอบที่ 1 ARC(50,50,25,50,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,50,25,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,75,50,CCW,7.583.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARC(50,50,50,75,CCW,7.583,1)

รอบที่ 2 ARC(50,50,38.333,50,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,50,38.333,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,61.667,50,CCW,7.583.1)

ARC(50,50,50,61.667,CCW,7.583,1)

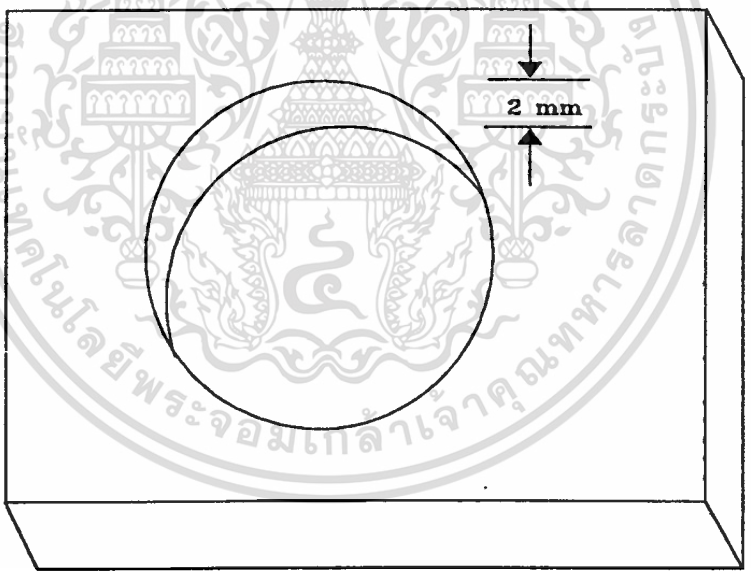
รอบที่ 3 ARC(50,50,51.666,50,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,50,51.666,CCW,7.583,1)

ARC(50,50,48.334,50,CCW,7.583.1)

ARC(50,50,50,48.334,CCW,7.583,1)

และเตรียมข้อมูลในลักษณะเดียวกันเมื่อเตรียมข้อมูลสำหรับความลึกในชั้นที่ 2 โดยผลของการสร้างงานกัดหลุมแบบวงกลมแสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ตัวอย่างการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบวงกลม

5.4 การ offset เครื่องมือ

การ offset เครื่องมือจะหมายถึงการตั้งเครื่องมือให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะทำงานเพื่อการสร้างชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการ offset เครื่องมือให้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) กำหนดตำแหน่งของใบมีด (Tool position) เทียบกับแท่นจับชิ้นงาน ในส่วนนี้ได้กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของใบมีดอยู่ที่ (0,0,0) (zero return)

(ข) กำหนดตำแหน่งอ้างอิงของชิ้นงาน (Reference point) จะกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานนี้อยู่ที่มุมใดมุมหนึ่งของขอบชิ้นงาน

(ค) กำหนดตำแหน่งเหนือผิวชิ้นงานเพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องมือเนื่องจากความผิดพลาดของการกำหนดค่าความเร็วของการป้อนชิ้นงาน ในที่ได้กำหนดระยะที่ใบมีดอยู่เหนือผิวชิ้นงานประมาณ 45 มิลลิเมตร

(ง) กำหนดความเร็วในการป้อนชิ้นงานและความเร็วในการหมุนของใบมีด ในส่วนนี้ซอฟท์แวร์จะคำนวณค่าให้โดยรายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 6.2.1

(จ) กำหนดขนาดของใบมีด การกำหนดขนาดของใบมีดนี้จะหมายถึงการเลือกใช้เครื่องมือโดยในโปรแกรมสั่งงานจะหมายถึง H1 ซึ่งขนาดของ H1 จะกำหนดอยู่ในเครื่อง CNC สำหรับซอฟท์แวร์นี้ไม่ได้นำค่านี้มาใช้งานเนื่องจากผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดได้

5.5 สรุป

เทคนิคการออกแบบโปรแกรมให้ถูกกับเฉพาะงานนั้น ผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ความสามารถในการผลิตชิ้นงานนั้นๆ เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้มักจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามแต่ที่ผู้ผลิตจะทำการผลิตออกมา นอกเหนือจากนั้นคือผู้เขียนโปรแกรมจะต้องมีความชำนาญและมีการดัดแปลงโปรแกรมให้เข้ากับงานแบบอื่นๆได้ ดังนั้นจะเห็นว่าผู้ที่จะผลิตโปรแกรมชิ้นงานได้จะต้องใช้ความสามารถส่วนตัวเป็นอย่างมาก สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พยายามใช้รูปแบบโปรแกรมชิ้นงานเป็นพื้นฐานในการสร้างซอฟท์แวร์เพื่อการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงาน ให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ดังที่ออกแบบไว้ หรืออย่างน้อยที่สุดก็ให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับรายละเอียดในการสร้างซอฟท์แวร์จะกล่าวต่อไปในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การสร้างซอฟท์แวร์เพื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นโปรแกรมสั่งงาน

6.1 บทนำ

จากการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น ชุดคำสั่งลำดับที่ 2 จนกระทั่งถึงการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 บทที่ 4 และบทที่ 5 ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสร้างซอฟท์แวร์เพื่อแปลงข้อมูลที่เตรียมไว้ในบทที่ 5 เป็นโปรแกรมสั่งงานให้เครื่อง CNC ทำการสร้างชิ้นงานตามแบบที่ต้องการ โดยลักษณะของการสร้างชิ้นงานสำหรับงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลที่เตรียมไว้ในบทที่ 5 คือ

งานเจาะ CIRCLE(X_C,Y_C,r,depth)

งานเซาะร่อง LINE(X_S,Y_S,X_E,Y_E,depth)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,X_E,Y_E,d,depth)

งานเดินขอบ LINE(X_S,Y_S,depth)

ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,d,depth)

งานปาดหน้าและงานกัดหลุม

LINE(X_S,Y_S,step,depth)

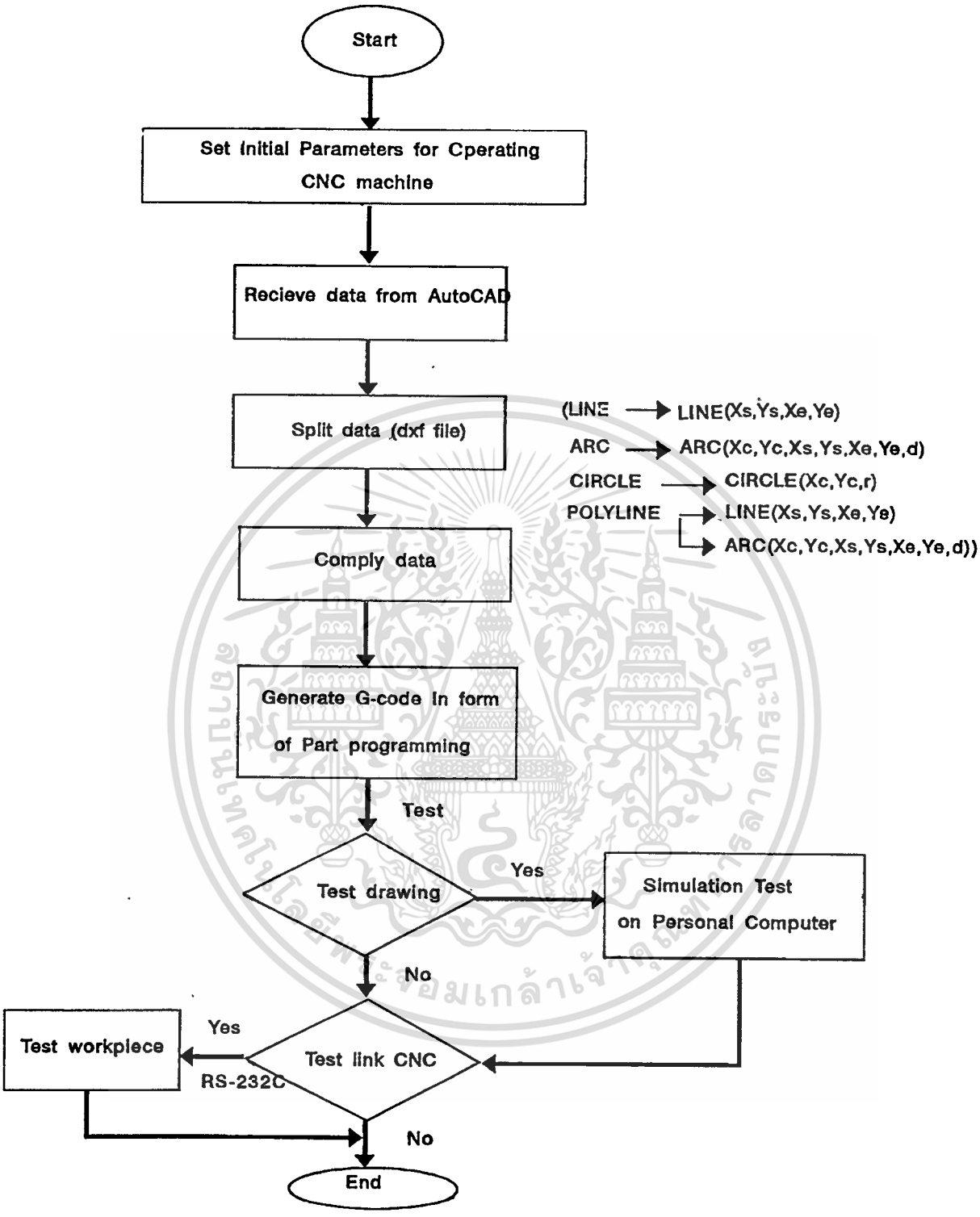
ARC(X_C,Y_C,X_S,Y_S,d,step,depth)

มาแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานเพื่อที่จะทำการผลิตชิ้นงานแต่ละอย่าง

6.2 โครงสร้างของซอฟท์แวร์

สำหรับการออกแบบซอฟท์แวร์ในงานวิจัยนี้จะเน้นให้มีการทำงานภายใต้ระบบกราฟิกเพื่อวัตถุประสงค์ที่ว่าสามารถที่จะทดสอบแบบของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมสั่งงานที่แปลงได้ โดยในส่วนโครงสร้างของซอฟท์แวร์นี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบซึ่งจะอธิบายตามผังงานของการส่งผ่านข้อมูล แสดงผังงานดังรูปที่ 6.1 ซึ่งจะเห็นว่ามีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการออกแบบซอฟท์แวร์ (Flow chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) Set Initial Parameters for Operating CNC machine ในส่วนนี้จะหมายถึงการตั้งเครื่องจักร แต่ในที่นี้จะหมายถึงการกำหนดข้อมูลจำเพาะเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เช่น กำหนดการทำงานของเครื่องจักรเป็นแบบ Absolute หรือขนาดสัมบูรณ์เทียบกับจุดกำเนิด

ข) Recieve data from AutoCAD สำหรับโปรแกรมนี้กำหนดให้ใช้ AutoCAD เป็นโปรแกรมสำหรับการวาดแบบของชิ้นงาน แต่จริงๆแล้วการทำงานของโปรแกรมนี้ไม่จำเป็นจะต้องเจาะจงใช้กับโปรแกรม AutoCAD เท่านั้น สามารถที่จะใช้ได้กับโปรแกรมวาดแบบตัวอื่นๆได้ ถ้าข้อมูลที่จะนำไปใช้ต่อไปเป็นข้อมูลมาตรฐาน Drawing Interchange Files ซึ่งของ AutoCAD เป็น Drawing Interchange DXF Files (DXF)

ค) Split data (DXF file) เป็นส่วนที่จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากแบบชิ้นงานมาทำการแยกแยะ เช่น ถ้าข้อมูลอยู่ในรูปของ POLYLINE คือเส้นต่อเนื่องกันตลอดอาจจะเป็นเส้นโค้งต่อกับเส้นตรงหรือเส้นตรงต่อกับเส้นตรง ก็จะทำการแยกให้เป็นเส้นเดี่ยวต่อกัน เพราะฉะนั้นจะได้ POLYLINE 1 คำสั่งจะสามารถสร้างคำสั่ง Line หรือ Arc ได้หลายคำสั่ง

ง) Comply data จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลที่ได้รับการแยกแยะออกเป็นเส้นๆแล้ว มาทำการคำนวณเพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการ เช่น นำข้อมูลของเส้นแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นรูปมาเรียงกันเพื่อให้เกิดรูป ข้อมูลที่เรียงกันนี้สามารถนำไปสร้างเส้นทางเดินของใบมีดได้ในกรณีของการทำงานกับเครื่องกัด

จ) Generate G-code In form of Part programming จากข้อมูลที่ได้ในส่วนก่อนจะนำมาสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานเพื่อที่จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของเครื่อง CNC

ฉ) Test drawing ส่วนนี้จะรวมการทดสอบโปรแกรมสั่งงานโดยส่วนหนึ่งจะทดสอบด้วยซอฟท์แวร์คือจะแสดงด้วยภาพกราฟิกบนเมนูว่าเป็นชิ้นงานที่ต้องการหรือไม่ ส่วนที่สองจะทำการทดสอบการทำงานกับเครื่อง CNC สำหรับการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องกัด ซอฟท์แวร์นี้ได้ออกแบบให้สามารถทดสอบโปรแกรมสั่งงานได้อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยให้ทำตามขั้นตอนการทำงานของซอฟท์แวร์จนกระทั่งจบการทำงาน

การออกแบบซอฟท์แวร์นี้เน้นให้มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูล ในบางส่วนได้เพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากต่อการทำงาน โดยให้เลือกทำงานในแต่ละส่วนใหม่ตามที่ต้องการ สำหรับขั้นตอนการออกแบบซอฟท์แวร์ทั้งหมดนี้สามารถแยกการทำงานได้เป็น 4 ส่วนคือ

(1) ส่วนรับข้อมูล

(2) ส่วนคำนวณ

(3) ส่วนการแปลงโปรแกรมสั่งงาน

(4) ส่วนทดสอบโปรแกรมสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 ส่วนรับข้อมูล

สำหรับการสร้างส่วนรับข้อมูลจะออกแบบให้มีการรับข้อมูลเข้าตั้งแต่ ชื่อไฟล์จากโปรแกรมวาดแบบ ชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานที่จะสร้างได้ รับข้อมูลเฉพาะสำหรับเลือกทำงานเจาะหรือเลือกทำงานกัด ซึ่งในส่วนของงานกัดก็จะต้องมีการแยกทำอีกว่าจะทำกัดหลุมหรือไม่ ข้อมูลที่รับเข้ามาในแต่ละส่วนสามารถที่จะเรียกขึ้นมาเพื่อทำการแก้ไขได้โดยไม่ต้องออกจากโปรแกรมซอฟท์แวร์เพื่อจะใส่ข้อมูลใหม่ สำหรับซอฟท์แวร์นี้กำหนดให้ผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูลของงานเจาะและงานกัดดังนี้

- สำหรับงานเจาะ (Drilling)

Dimension	: INCH หรือ MILLIMETER
Tool Position (X,Y,Z)	: 0.0,0.0,0.0
Reference Point (X,Y,Z)	: 0.0,0.0,0.0
Drilling feed rate	: 0.00
Drillind spindle speed	: 0.00
Height over object	: 0.00
Cutter diameter	: 0.00
Drilling Depth	: 0.00

หมายเหตุ เนื่องจากเครื่อง CNC ไม่สามารถเปลี่ยนใบมีดได้ขณะที่กำลังทำงาน เพราะฉะนั้นงานเจาะที่ได้จะมีขนาดเดียวเท่านั้น ทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึก

- สำหรับงานกัด (Milling)

Pocket	: YES หรือ NO
(ถ้า YES ผู้ใช้ต้องเลือกแบบ CIR หรือ REC)	
Cutter Direction	: CW หรือ CCW
Dimension	: INCH หรือ MILLIMETER
Cutter Path	: INSIDE หรือ OUTSIDE
Cutter Diameter	: 0.00
Material	: steel หรือ iron หรือ brass หรือ aluminium
Tool Position (X,Y,Z)	: 0.0,0.0,0.0
Reference Point (X,Y,Z)	: 0.0,0.0,0.0
Cutting Depth	: 0.00
Feed Rate	: 0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spindle speed : 0.00

กรณีของงานกัดเมื่อผู้ใช้เลือกใช้ Material ซอฟท์แวร์จะทำการคำนวณค่าของ Feed Rate และ Spindle Speed ให้ การคำนวณหาค่าของ Spindle Speed และ Feed Rate จะนำค่าคงที่จากตารางที่ ง-1 (ภาคผนวก ง.) แทนค่าลงในสมการ

$$\text{Spindle Speed (รอบต่อนาที)} = \frac{1000 \times \text{ความเร็วในการตัด (เมตรต่อนาที)}}{\pi \times \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด (มิลลิเมตร)}}$$

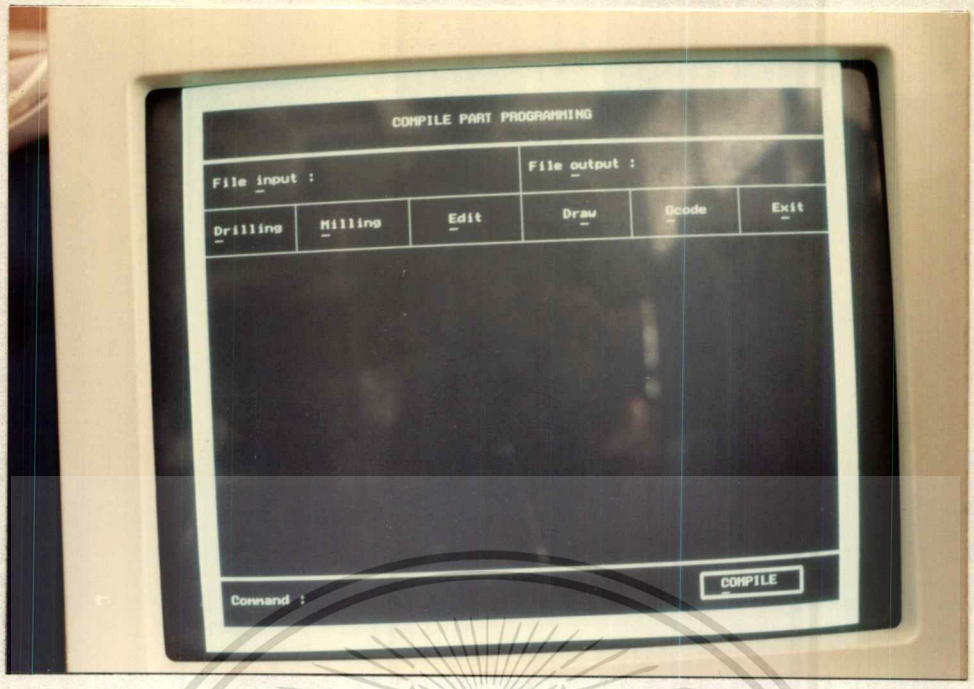
Feed (มิลลิเมตรต่อนาที) = Feed (มิลลิเมตรต่อฟัน) X จำนวนฟันของใบมีด

Feed rate (มิลลิเมตรต่อนาที) = Feed (มิลลิเมตรต่อรอบ) X Spindle Speed (รอบต่อนาที)

โดยวัสดุที่ใช้ทำใบมีดกำหนดให้เป็น High-speed steel (HSS) ค่าของ Spindle speed และ Feed Rate สามารถกำหนดให้กับซอฟท์แวร์ได้โดยตรง โดยไม่ต้องเลือกใช้ Material เนื่องจากการทำงานบางอย่าง Spindle speed และ Feed Rate ที่คำนวณได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ จากการที่เครื่อง CNC ที่ใช้ทดสอบไม่สามารถเปลี่ยนขนาดของใบมีดโดยอัตโนมัติได้ ถ้าจะเปลี่ยนขนาดของใบมีดผู้ใช้จะต้องหยุดการทำงานเพื่อที่จะเปลี่ยนใบมีด ซึ่งจะทำให้การทำงานไม่เป็นแบบโดยอัตโนมัติ สำหรับซอฟท์แวร์ได้กำหนดจำนวนฟันของใบมีดเท่ากับ 2 ฟัน

สำหรับเทคนิคของการออกแบบเมนูเพื่อการรับข้อมูลให้เป็นภาพกราฟิกเพื่อให้เกิดความสะดวกแก่การจำลองรูปที่จะนำไปแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงาน จะมีเทคนิคเป็นการแสดงออกด้วยภาพกราฟิกแต่จะทำให้มีปัญหาทางด้านการแสดงส่วนของภาพและส่วนของการลบภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดส่วนที่จะแสดงเมนูจะคล้ายกับลักษณะของ menu pull down ดังรูปที่ 6.2 แต่ไม่มีการเลื่อนของแถบสว่างจะใช้การเลือกตัวอักษรที่กำหนดให้ เป็นตัวเข้าหาการทำงานในแต่ละส่วนแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 รูปแบบของเมนูของโปรแกรม

โดยส่วนของเมนูได้ออกแบบให้ประกอบไปด้วยข้อมูลเข้าคือ File input ข้อมูลออกคือ File output ส่วนของการใส่ข้อมูลในงานเจาะ (Drilling) งานกัด (Milling) ส่วนของการแก้ไขข้อมูล (Edit) ส่วนแสดงผลของโปรแกรมโดยแสดงเป็นรูปกราฟิก (Draw) กับส่วนแสดงเป็นโปรแกรมสั่งงาน (Gcode) ส่วนการแปลงข้อมูล (COMPILE) และการออกจากโปรแกรม (Exit) โดยที่จะสามารถเรียกการทำงานแต่ละส่วนโดยใช้ Command และเลือกใส่อักษรที่ขีดเส้นใต้ไว้

การแสดงออกหน้าจอคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นจะต้องแสดงเหมือนกับว่าเรากำลังทำงานใน text mode เมื่อเราใส่คำสั่งเป็นอักษรทีละตัวก็จะต้องปรากฏเป็นตัวอักษรทีละตัวในส่วนของ Command เนื่องจากเรากำหนดส่วนนี้ไว้เป็นตัวรับค่า ซึ่งเทคนิคในการทำให้ตัวอักษรเกิดขึ้นพร้อมกับการใส่ตัวอักษรและมีการเลื่อน cursor ซึ่งโดยปกติใน mode กราฟิก ไม่สามารถรับค่าของตัวอักษรผ่านหน้าจอได้ วิธีการก็คือเมื่อเลือกตัวอักษรทีละตัวแล้วให้ทำการตรวจสอบ key ที่ใส่เข้าไปว่าเป็นตัวอักษรไม่ใช่เครื่องหมายอื่น แล้วให้ไปปรากฏในส่วน Command แล้ว cursor จะเลื่อนตำแหน่งไป เมื่อกดอักษรตัวที่สองก็จะทำเช่นเดียวกันแต่ตัวอักษรจะไปปรากฏแทนที่ตำแหน่งของ cursor เมื่อคำสั่งครบตามที่ต้องการแล้วจะทำการตรวจสอบ key ถ้าเคาะ enter จึงทำการส่งคำสั่งไปอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ กรณีที่คำสั่งนั้นผิดสามารถใช้ back space เพื่อแก้ตัวอักษรตัวก่อนหน้าเท่านั้น

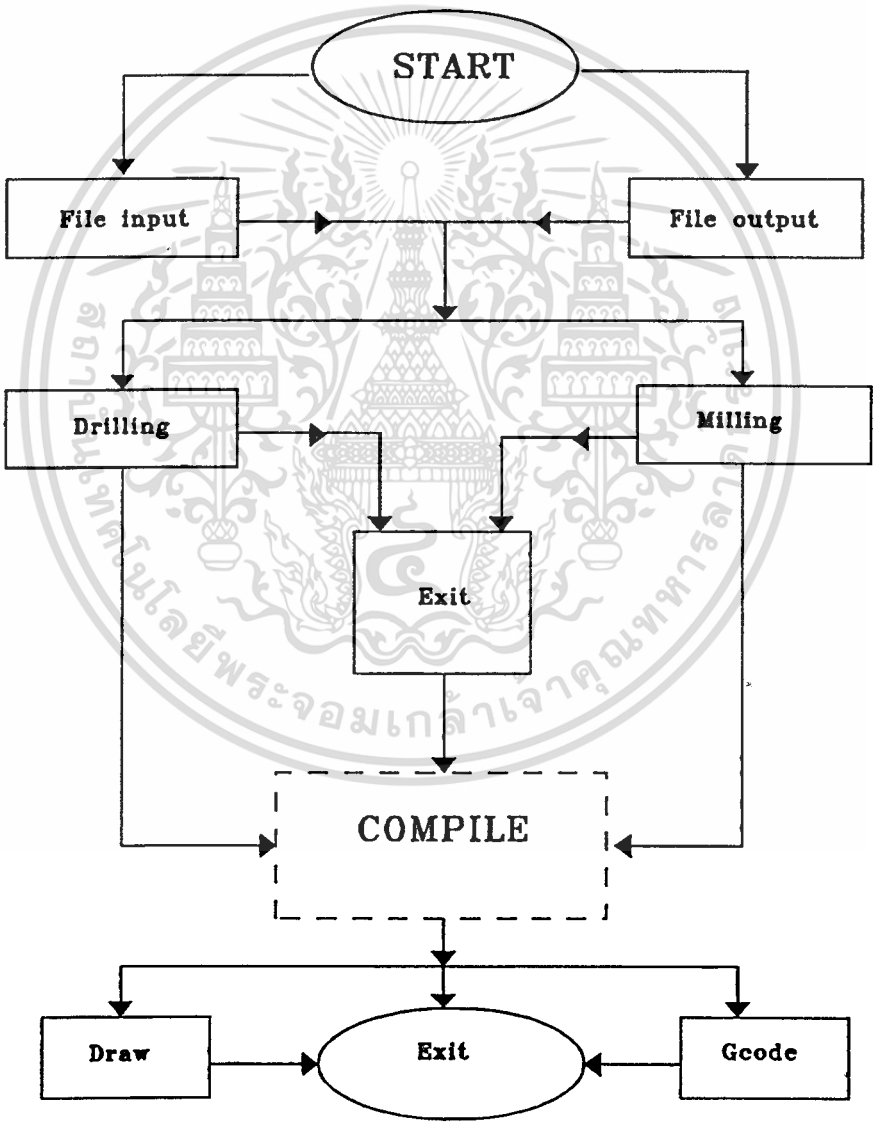
ส่วนการแสดงภาพและการลบภาพจะใช้เทคนิคในการเก็บภาพแล้วนำภาพนั้นมาแสดงเมื่อต้องการแสดง ลบเมื่อต้องการจะแสดงส่วนอื่น โดยที่ลักษณะของการเก็บภาพนั้นจะต้องจองเนื้อที่ของภาพไว้โดยเนื้อที่นี้จะต้องไม่ซ้อนทับกับส่วนที่ใช้แสดงในเมนูหลักคือส่วนที่ไม่ต้องการลบ โดยส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเป็นภาพไม่จำเป็นต้องมีขนาดเดียวกับส่วนที่ต้องการจะลบภาพ

การออกแบบในส่วนของการแก้ไขข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ใส่เข้าไปแล้วอาจจะต้องมีการแก้ไขในส่วนใดส่วนหนึ่งหรือหลายส่วน กรณีที่ชื่อของข้อมูลเข้ากับข้อมูลออกเป็นชื่อเดิมสามารถเรียกเข้าไปแก้ไขได้เลย แต่ถ้าชื่อของข้อมูลเข้าหรือข้อมูลออกเปลี่ยนหรือเปลี่ยนทั้งหมดจะต้องทำการแก้ไขใหม่ในส่วนของ Edit เทคนิคการแก้ไขคือจะทำการลบส่วนที่จะแก้ไขขณะที่เรียกส่วนนั้นมาเพื่อจะแก้ไข

การออกแบบในส่วนของการวาดรูปและส่วนของการแสดงโปรแกรมสั่งงาน จะอธิบายในขั้นตอนต่อไป สำหรับหลักการทำงานของเมนูดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 Block diagram ของเมนูโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ส่วนคำนวณ

สำหรับซอฟท์แวร์นี้ได้ออกแบบการคำนวณสำหรับงานของเครื่องกัด โดยหลักการคำนวณได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ซึ่งจะเน้นในด้านการหาเส้นทางเดินของใบมีดในหลายกรณี เช่น เส้นทางเดินภายนอกหรือภายในของแบบชิ้นงาน เส้นทางเดินของใบมีดในกรณีที่ต้องการทำงานแบบกัดหลุม ซึ่งจะต้องมีการออกแบบเส้นทางเดินของใบมีดว่าควรจะมีเส้นทางอย่างไรจึงจะได้ชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเส้นทางเดินของใบมีดเป็นแบบเดินภายในตามขอบของชิ้นงานจนกระทั่งกินเนื้อของชิ้นงานหมด กรณีที่ต้องการทำ Pocket ที่มีความลึกมากก็จะทำการวนการทำงานไปเรื่อยๆทีละชั้นจนกระทั่งได้ความลึกที่ต้องการ เป็นต้น

การสร้างส่วนคำนวณสำหรับในเมนูนี้ได้ออกแบบไว้ให้อยู่ในส่วนของการ Compile ซึ่งโครงสร้างของหลักการในการคำนวณได้เสนอไปในบทก่อนหน้านี้แล้ว แต่ในส่วนนี้ได้ออกแบบให้ผู้ใช้เลือกที่จะใช้งานทำโปรแกรมได้เป็นส่วนๆ แล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งาน ส่วนนี้จะแสดงให้เห็นว่ามีการทำงานเพียงแต่แสดงให้ว่ากำลังคำนวณอยู่เท่านั้น

6.2.3 ส่วนการแปลงโปรแกรมสั่งงาน

เป็นส่วนที่สร้างขึ้นมาเพื่อแปลงชุดคำสั่งที่เตรียมไว้ในบทที่ 5 เป็นโปรแกรมสั่งงานเฉพาะงานแต่ละอย่าง ส่วนนี้จะไม่แสดงการทำงานแต่จะแสดงผลของการแปลงข้อมูลว่าได้โปรแกรมสั่งงานเป็นอย่างไรทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยการแปลงข้อมูลนี้จะใช้ข้อมูลจากหัวข้อ 6.2.1 ที่กำหนดให้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญสองส่วนคือส่วนกำหนดการทำงานของเครื่องจักรกับส่วนโครงสร้างของภาพ การแปลงข้อมูลนี้จะทำให้ทั้งสองส่วนมีความสัมพันธ์กันทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถจะนำไปใช้สั่งงานเครื่อง CNC ได้ สำหรับการสร้างโปรแกรมสั่งงานจะใช้รูปแบบโครงสร้างของโปรแกรมสั่งงานจากหัวข้อ 2.6.2 ซึ่งประกอบไปด้วย

(ก) ส่วนหัวโปรแกรม

(ข) ส่วนโครงสร้างของภาพ

(ค) ส่วนปิดท้ายโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3.1 ส่วนหัวโปรแกรม

ในส่วนหัวของโปรแกมสั่งงานจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่ใช้กำหนดการทำงานของเครื่อง CNC ซึ่งได้แก่ การกำหนดระนาบของการใช้งานของเครื่องโดยทั่วไปใช้ระนาบ XY ใช้คำสั่ง G17 การยกเลิกการสั่งงานเดิมเนื่องจากการทำงานของเครื่อง CNC ถ้าไม่ทำการยกเลิกคำสั่งเดิมเครื่องจะจำคำสั่งเดิมและทำงานตามนั้น การบอกกับเครื่อง CNC ว่าขณะนี้จะใช้ลักษณะการวัดระยะการเดินของใบมีดเป็นแบบส่วนเพิ่มหรือวัดระยะแบบสมบูรณ์ โดยระยะที่วัดเป็นแบบส่วนเพิ่มจะใช้คำสั่ง G91 และระยะที่วัดเป็นแบบสัมบูรณ์จะใช้คำสั่ง G90 การกำหนดแกนหมุนของใบมีดให้หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะใช้คำสั่ง M03 การกำหนดแกนหมุนของใบมีดในทิศตามเข็มนาฬิกาจะใช้คำสั่ง M04 การเปิดน้ำหล่อเย็น (หรือน้ำหล่อลื่น) ใช้คำสั่ง M08 การปิดน้ำหล่อเย็นใช้คำสั่ง M09 การสั่งให้แกนหยุดหมุนใช้คำสั่ง M05 เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดส่วนหัวของโปรแกรมสั่งงานเพื่อสะดวกในการใช้งานดังนี้

1) กำหนดให้เครื่องมือทำงานอยู่ในระนาบ XY (G17)
2) กำหนดให้เลือกหน่วยของการวัดระยะทางเป็นนิ้ว (G20) หรือเป็นมิลลิเมตร (G21)
3) กำหนดให้ยกเลิกการชดเชยรัศมีของดอกกัด (G40)
4) กำหนดให้ยกเลิกการชดเชยความสูงของดอกกัด (G49)
5) กำหนดให้ยกเลิกการเจาะที่มีการกำหนดจังหวะตายตัว (G80)
6) กำหนดให้โปรแกรมสั่งงานมีการวัดระยะเป็นแบบสัมบูรณ์ (G90)
7) กำหนดระบบแกนเป็น XY ZX และ YZ (G92)
8) กำหนดให้แกนหมุนของใบมีดหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา (M03)
9) กำหนดให้เปิดน้ำหล่อลื่น (M08)

6.2.3.2 ส่วนโครงสร้างของภาพ

ส่วนโครงสร้างของภาพจะเป็นส่วนการแปลงข้อมูลที่ได้จากบทที่ 5 แปลงเป็นโปรแกรมสั่งงานโดยนำคำสั่งพื้นฐาน (ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4) มาสร้าง ซึ่งคำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในการโปรแกรมสั่งงานได้แก่ G00 G01 G02 และ G03 จากข้อมูลที่เตรียมไว้ในบทที่ 5 เป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับงานเฉพาะอย่าง แต่ลักษณะที่ใช้ในการแปลงข้อมูลเหมือนกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กรณีเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงอย่างรวดเร็วโดยไม่กินเนื้อชิ้นงาน

LINE = G00

ตัวอย่างการแปลงคำสั่งพื้นฐานจะใช้ความสัมพันธ์ของเส้นที่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากจุดสิ้นสุดของเส้นแรกจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นถัดไป

ข้อมูลที่เตรียมไว้ดังนี้ LINE(10,20,2)

LINE(30,30,2)

คือต้องการเคลื่อนตำแหน่งของใบมีดโดยไม่กินเนื้อชิ้นงานจาก (10,20) ไปที่ (30,30) ในระดับความลึกเท่ากันคือที่ 2 มิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลนี้แปลงเป็นคำสั่งพื้นฐานได้ดังนี้

G00 X30.0 Y30.0

2) กรณีเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและกินเนื้อชิ้นงาน

LINE = G01

ตัวอย่างการแปลงคำสั่งพื้นฐานโดยใช้ตัวอย่างเดียวกับกรณีที่ 1 สามารถแปลงเป็นคำสั่งพื้นฐานได้ดังนี้

G01 X30.0 Y30.0

3) กรณีเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งและกินเนื้อชิ้นงานในทิศตามเข็มนาฬิกา

ARC = G02

ตัวอย่างการแปลงคำสั่งพื้นฐาน

มีข้อมูลที่เตรียมไว้ดังนี้ ARC(10,10,20,10,CW,2)

LINE(10,20,2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือต้องการเคลื่อนตำแหน่งของใบมีดเป็นเส้นโค้งโดยกินเนื้อชิ้นงานจาก (20,10) ไปที่ (10,20) ในระดับความลึกเท่ากันคือที่ 2 มิลลิเมตรโดยมีจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ที่ (10,10) ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลนี้แปลงเป็นคำสั่งพื้นฐานได้ดังนี้

G02 X10.0 Y20.0 I-10.0 J0.0

4) กรณีเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งและกินเนื้อชิ้นงานในทิศทวนเข็มนาฬิกา

ARC = G03

ตัวอย่างการแปลงคำสั่งพื้นฐาน

มีข้อมูลที่เตรียมไว้ดังนี้ ARC(10,10,20,10,CCW,2)

LINE(10,0,2)

คือต้องการเคลื่อนตำแหน่งของใบมีดเป็นเส้นโค้งโดยกินเนื้อชิ้นงานจาก (20,10) ไปที่ (10,0) ในระดับความลึกเท่ากันคือที่ 2 มิลลิเมตรโดยมีจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งอยู่ที่ (10,10) ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลนี้แปลงเป็นคำสั่งพื้นฐานได้ดังนี้

G03 X10.0 Y0.0 I-10.0 J0.0

สำหรับการแปลงข้อมูลของงานเจาะจะมีลักษณะที่แตกต่างจากที่กล่าวมาแล้ว จากข้อมูลเตรียมไว้คือ

CIRCLE(X_C,Y_C,r,depth)

จะสามารถนำมาแปลงเป็นคำสั่งพื้นฐานได้ 2 คำสั่งดังนี้

G00 X(X_C) Y(Y_C)

G01 Z(depth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3.3 ส่วนปิดท้ายโปรแกรม

ส่วนปิดท้ายโปรแกรมเป็นการกำหนดให้เครื่องมือกลับไปยังตำแหน่งอ้างอิง (G28) เดิม และยกเลิกการทำงานทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้มีการกำหนดในส่วนนี้ดังนี้

1) กำหนดให้ยกเลิกการชดเชยความสูงของดอกกัด (G49)

2) กำหนดให้ปิดน้ำหล่อลื่นเมื่อทำงานเสร็จ (M09)

3) กำหนดให้แกนของใบมีดหยุดหมุน (M05)

4) กำหนดให้เริ่มต้นโปรแกรมสั่งงานใหม่ (M02)

สำหรับรูปแบบของโครงสร้างของโปรแกรมสั่งงานของงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 6.4

```
%
O000_ ;                                  --------- > ชื่อโปรแกรม
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X_ Y_ Z_ ;
N30 G00 S_ M03 ;                         -------- > หัวโปรแกรม
N40 G01 X_ Y_ M08 ;
N50 G00 Z_ ;
N60 G01 Z_ H1 F_ ;
N_  G01 X_ Y_ ;
N_  G02 X_ Y_ I_ J_ ;                    -------- > โครงสร้างของภาพ
N_  G03 X_ Y_ I_ J_ ;
N_  G00 X_ Y_ ;
N190 G00 M09 ;
N200 G28 G49 Z_ ;                        ------- > ปิดท้ายโปรแกรม
N210 G00 X_ Y_ M05 ;
N220 M02 ;
%
```

รูปที่ 6.4 โครงสร้างของโปรแกรมสั่งงานของงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 ส่วนทดสอบข้อมูล

การสร้างส่วนทดสอบโปรแกรมสั่งงานของซอฟท์แวร์นี้ได้ออกแบบให้ทำการทดสอบในรูปของภาพกราฟิก โดยจะแสดงผลว่าได้ตามแบบที่ต้องการหรือไม่ ในส่วนนี้จะรวมไปถึงการแสดงผลของการแปลงข้อมูลเป็นโปรแกรมสั่งงานแล้วด้วย สำหรับการสร้างซอฟท์แวร์ส่วนแสดงภาพกราฟิก ในส่วนนี้เป็นส่วนของข้อมูลที่ทำการคำนวณตำแหน่งแล้วก่อนการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงาน เพราะข้อมูลในส่วนนี้จะมีเฉพาะโครงสร้างของรูปเท่านั้น โดยจะทำการทดสอบทิศทางและการเคลื่อนที่ไปของใบมีดเทียบกับชิ้นงานว่าได้รูปออกมาตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ ปัญหาของการแสดงภาพคือรูปที่ได้ไม่ตรงกับข้อมูลได้แก่ ข้อมูลเป็นวงกลมรูปที่ได้เป็นวงรีเนื่องจากขนาดความกว้างและความยาวของจอภาพไม่เท่ากัน พิกัดเริ่มต้นของจอภาพควรจะอยู่ที่ตำแหน่งขอบล่างซ้ายแต่กลับไปอยู่ที่ขอบบนซ้าย รูปภาพที่แสดงจึงกลับบนเป็นล่างกลับล่างเป็นบน

การแก้ปัญหาเพื่อให้ภาพที่แสดงออกมาเป็นภาพที่ใกล้เคียงความจริงในส่วนของวงกลมหรือส่วนโค้ง จะใช้อัตราการเพิ่มขนาดของมุมเป็นตัวเปลี่ยนแปลงแทนรัศมีของวงกลม แต่ในลักษณะนี้จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของวงกลมจะไปในทิศทางเดียวคือทวนเข็มนาฬิกาโดยขนาดของมุมเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 360 องศา เทียบกับแกน X สำหรับการแสดงภาพกลับหัวสามารถแก้ไขได้โดยนำตำแหน่งของ Y ที่คำนวณได้นำไปหักออกจากค่าที่มากที่สุดของ Y แล้วจึงนำไปวาดจะได้รูปที่เป็นจริง ในส่วนของเส้นตรงจะแก้ปัญหาโดยการนำอัตราส่วนของขนาดของแกน Y หารด้วยขนาดของแกน X ไปคูณกับค่าของ Y ในตำแหน่งที่ต้องการจะวาดรูป

6.3 การใช้งานซอฟท์แวร์

การทำงานของซอฟท์แวร์จะอยู่ภายใต้ระบบกราฟิกทั้งหมดตั้งแต่รับข้อมูล สร้างโปรแกรมสั่งงานจนถึงการทดสอบโปรแกรมสั่งงานนั้น การใช้งานเพื่อจะสร้างโปรแกรมสั่งงานผู้ใช้จะต้องเลือกใช้ในแต่ละรายการที่แสดงบนหน้าจอ แต่จะต้องมีลำดับขั้นตอนการใช้งานดังนี้

ก) ใส่ชื่อข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD โดยผู้ใช้จะต้องเลือก I (Input File) ซึ่งจะอยู่ในส่วนการใส่ข้อมูล ให้ใส่ชื่อในส่วนของ Command เช่น TA1.DXF เป็นต้น โดยปกติไฟล์ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD จะเป็น .DXF

ข) ตั้งชื่อให้กับโปรแกรมสั่งงานที่สร้างเสร็จแล้ว ผู้ใช้จะต้องกำหนดว่าโปรแกรมสั่งงานที่สร้างเสร็จแล้วจะไปเก็บไว้ที่ไฟล์ชื่อว่าอะไร โดยผู้ใช้จะต้องเลือก O (Output File) ให้ใส่ชื่อที่ต้องการในส่วนของ Command เช่น O0001 เป็นต้น

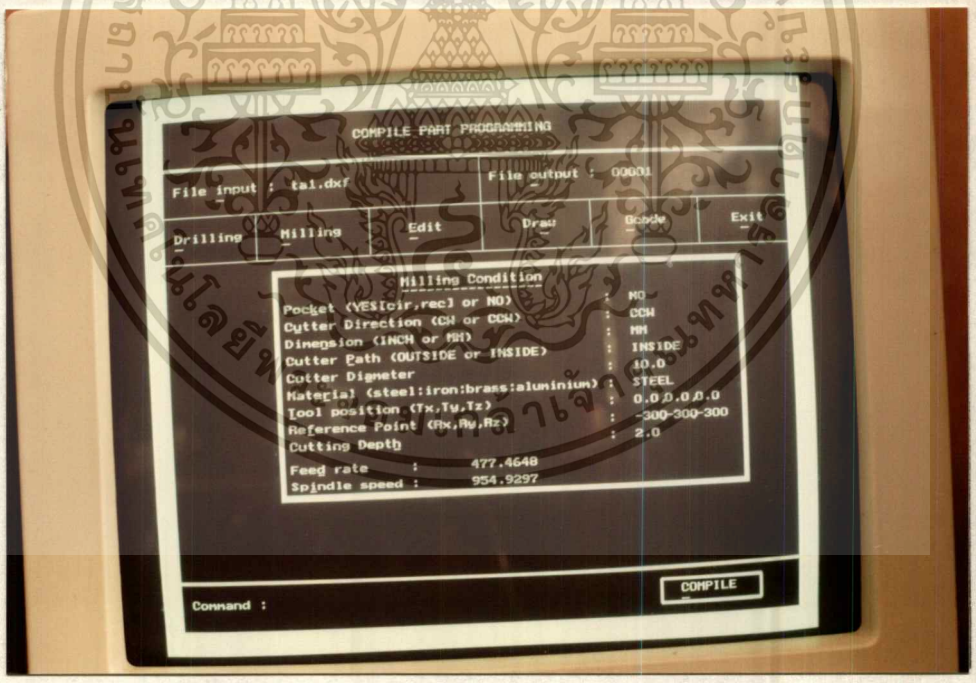
ค) เลือกการทำงานว่าจะทำอะไร เช่น งานเจาะ งานเซาะร่อง หรือว่าจะทำงาน กัดหลุม ในกรณีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวาดแบบไว้ทั้งเจาะและเซาะร่องโปรแกรมจะไม่สามารถทำได้ จะทำให้ได้ทีละอย่างเท่านั้น ในลักษณะนี้ผู้ใช้สามารถจะนำไปดัดแปลงเพื่อจะใช้งานในระดับที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้ โดยผู้วิจัยเสนอให้เก็บการทำงานแต่ละแบบให้อยู่ใน Layer แล้วทำงานทีละขั้นตอน เช่น Layer 0 เก็บแบบงานเจาะ Layer 1 เก็บแบบงานเซาะร่อง Layer 2 เก็บแบบงาน กัดหลุม จนกระทั่งหมดงานที่ต้องการจะสร้าง เมื่อต้องการสร้างโปรแกรมสั่งงานก็ให้สร้างทีละขั้นตอนแล้วเรียงลำดับการทำงานอีกทีหนึ่ง

การเลือกทำงานจะเลือกได้เลยในเมนู เช่น ทำงานเจาะให้เลือก D (Drilling) ทำงานกัดให้เลือก M (Milling) เป็นต้น

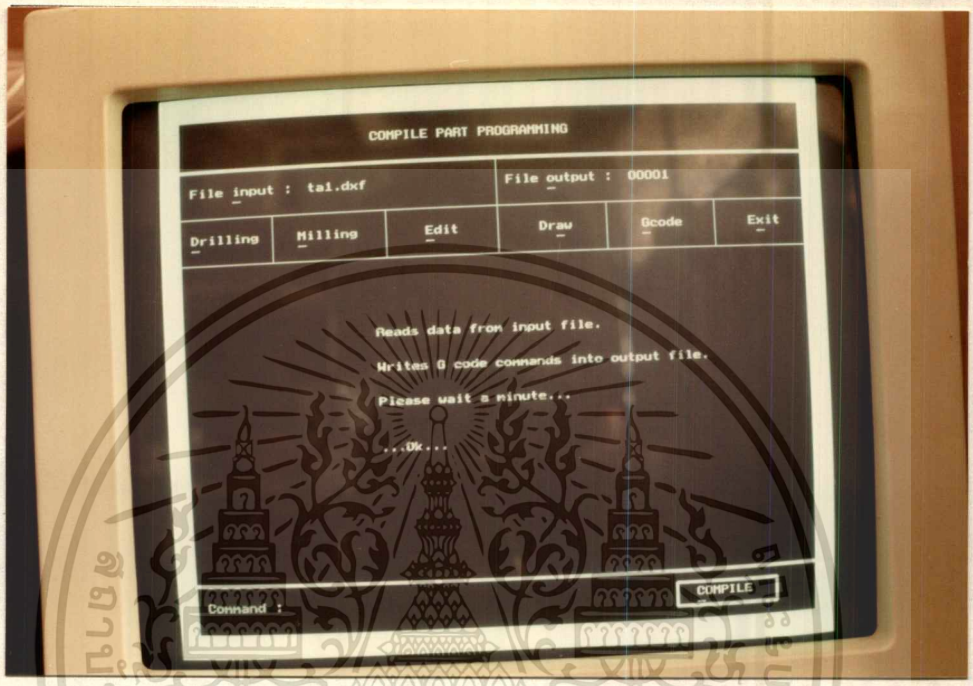
ง) ส่วนต่อไปเป็นส่วนที่ให้ใส่ข้อมูลเฉพาะในงานแต่ละอย่างที่เลือกให้ครบตามที่กำหนดให้ กรณีนี้จะต้องใส่ข้อมูลให้ตรงกับแบบ เช่น งานเจาะก็ต้องเลือกใส่ข้อมูลใน Drilling เพราะว่าซอฟท์แวร์จะสร้างข้อมูลตามแบบที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบเท่านั้น เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วให้กด Esc เพื่อจะให้ออกจากส่วนนี้ไปทำงานในส่วนอื่นต่อไป สำหรับการทำงานตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนนี้ได้แสดงตัวอย่างไว้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างการใส่ข้อมูลลงในเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

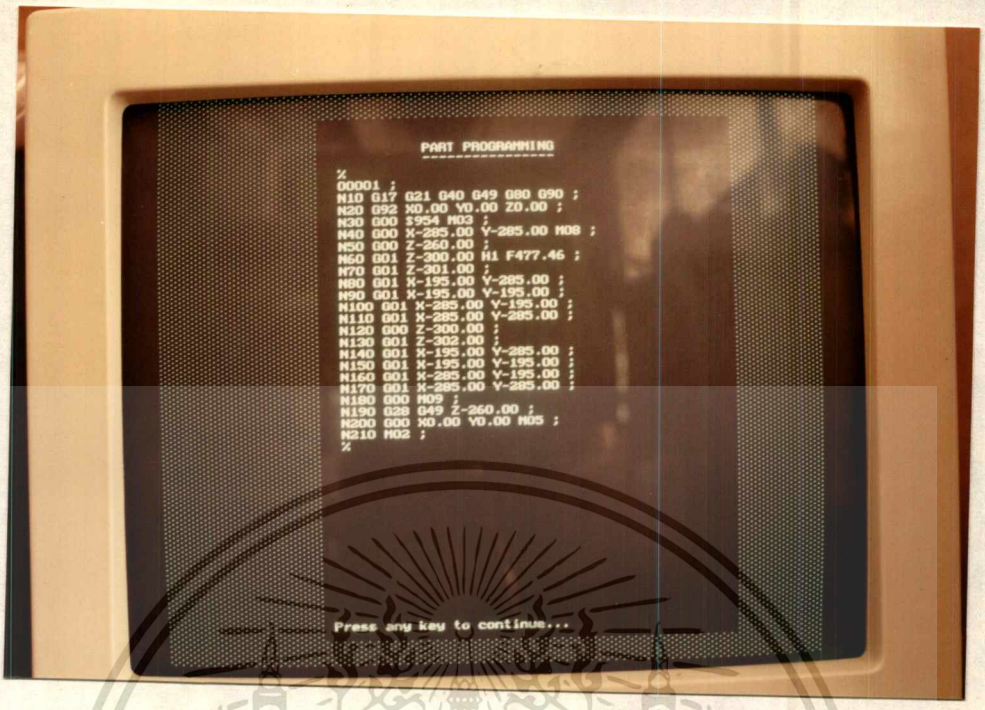
จ) เมื่อใส่ข้อมูลเฉพาะในแต่ละส่วนครบแล้ว ก็ให้ทำการ Compile โดยเลือก C ซอฟท์แวร์จะทำการคำนวณโดยที่ระหว่างที่มีการคำนวณเมนูจะขึ้นว่าให้รอสักครู่ เมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะขึ้นคำว่า Ok.. ดังรูปที่ 6.6 ซึ่งผลที่ได้คือโปรแกรมสั่งงาน



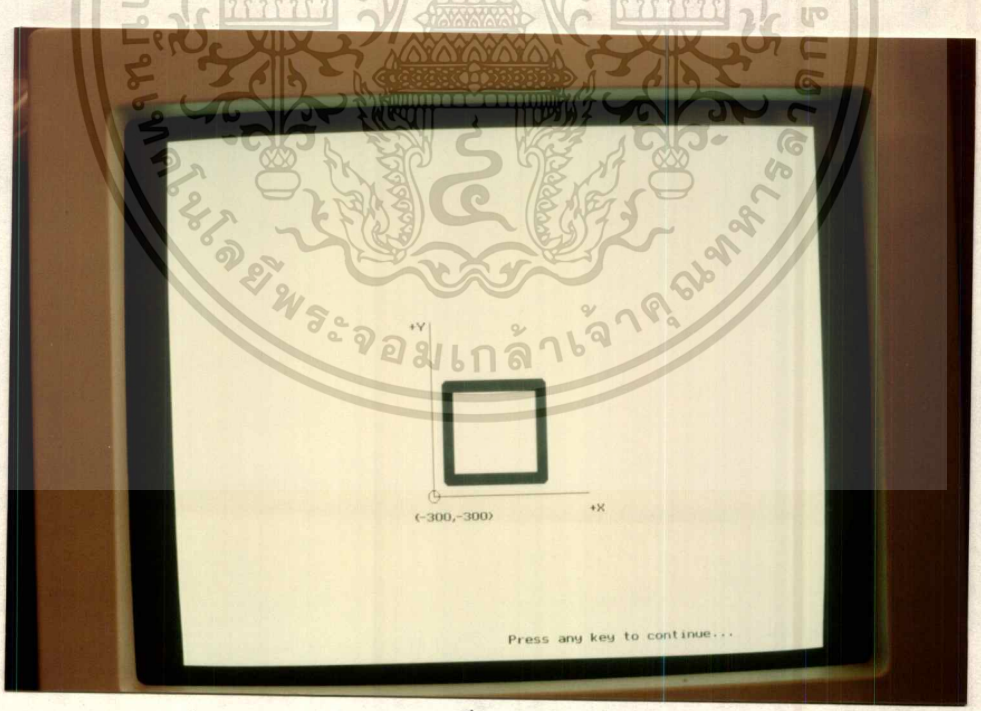
รูปที่ 6.6 แสดงขั้นตอนขณะที่ซอฟท์แวร์กำลังทำการคำนวณ

ฉ) ขั้นตอนต่อไปคือขั้นทดสอบโปรแกรมสั่งงานหรือแสดงโปรแกรมสั่งงานที่ได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถดูผลของการสร้างโปรแกรมสั่งงานได้จากการเลือก G-code ในเมนูตัวอย่างดังรูปที่ 6.7ส่วนนี้จะแสดงโปรแกรมสั่งงานทั้งหมดที่จะส่งไปให้เครื่อง CNC ทำงานได้ หรืออาจจะเลือกดูรูปแบบของงานได้โดยเลือก Draw โปรแกรมก็จะสร้างรูปจากข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมสั่งงานตัวอย่างดังรูปที่ 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงผลของโปรแกรมสั่งงานที่ได้

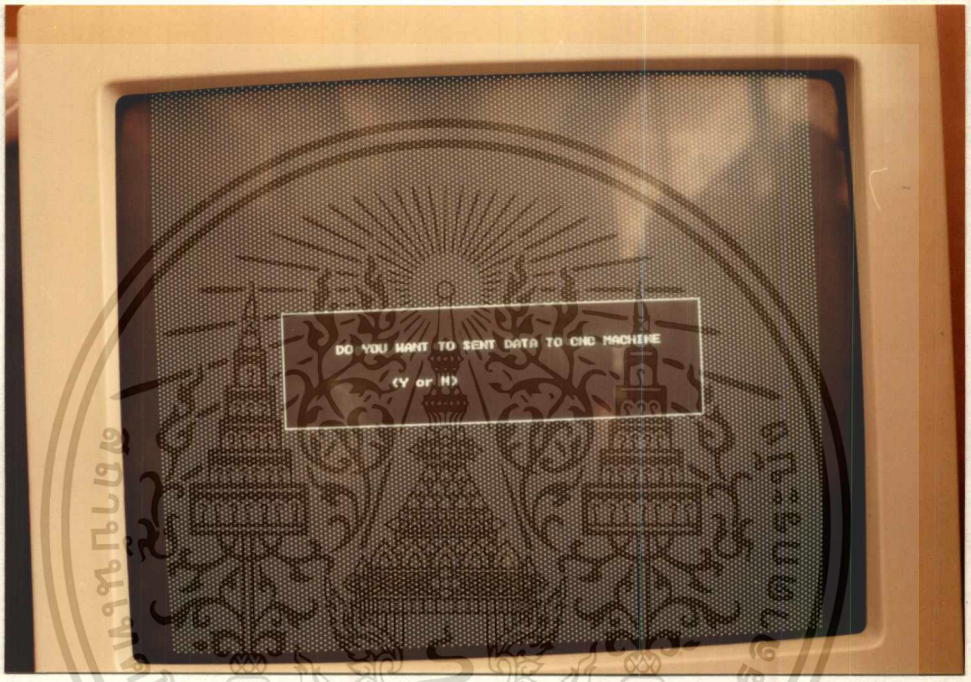


รูปที่ 6.8 แสดงรูปแบบของชิ้นงานที่ได้หลังจากการคำนวณ

ช) ขั้นตอนการส่งโปรแกรมสั่งงานเข้ากับเครื่อง CNC ในส่วนนี้จะทำการส่งข้อมูลโดยผ่านโปรแกรม QMODEM ผ่านสายนำสัญญาน RS 232C ซึ่งรายละเอียดจะได้นำเสนอต่อไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สำหรับการทำงานผู้ใช้สามารถจะเลือกว่าต้องการจะส่งโปรแกรมสั่งงานที่ได้ไปยังเครื่อง CNC หรือไม่ ถ้าต้องการส่งให้เลือก Y (YES) ไม่ต้องการส่งให้เลือก N (NO) ตัวอย่างดังรูปที่ 6.9 ขั้นตอนนี้เป็นส่วนที่อยู่นอกเมนูเมื่อต้องการใช้ส่วนนี้จะต้องออกจากเมนูเสียก่อน ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเลือกใช้ส่วนนี้แล้วไม่สามารถที่จะกลับเข้าไปในเมนูได้อีก



รูปที่ 6.9 แสดงส่วนของการเลือกส่งโปรแกรมสั่งงานไปยังเครื่อง CNC

6.4 ตัวอย่างการแปลงรูปภาพชิ้นงานเป็นโปรแกรมสั่งงาน

สำหรับการทดลองเพื่อการทดสอบซอฟท์แวร์นี้ได้ทำการยกตัวอย่างแบบชิ้นงานในแต่ละแบบแตกต่างกันออกไปดังนี้คือ

ก) งานเจาะ

ข) งานเซาะร่อง

ค) งานเดินขอบ

ง) งานกัดหลุม

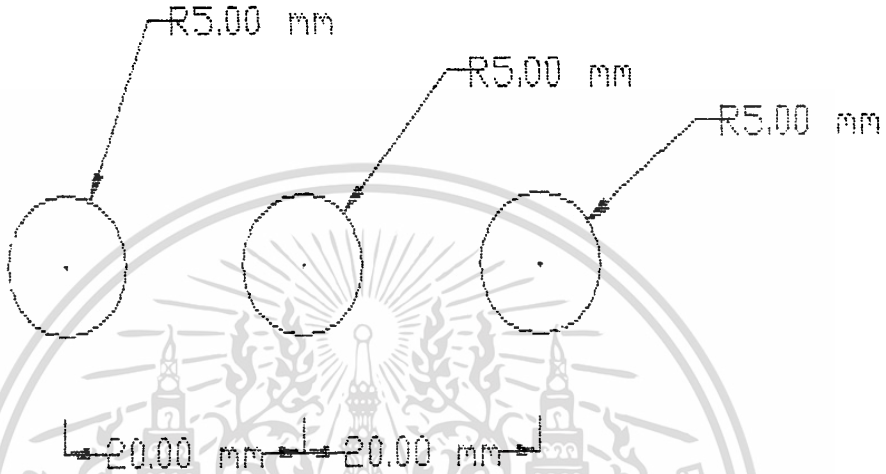
โดยที่แต่ละตัวอย่างจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับแบบของชิ้นงาน ข้อมูลที่กำหนดให้ รวมไปถึงการแสดงผลของการแปลงเป็นโปรแกรมสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.1 ตัวอย่างของงานเจาะ

ตัวอย่างที่ 1

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

Dimension : MM

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Drilling feed rate : 100.0 mm./min

Drilling spindle speed : 1000.0 rev/min

Height over object : 25.0 mm.

Cutter diameter : 10.0 mm.

Drilling depth : 5.0 mm.

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0001 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S1000 M03 ;
 N40 G00 X-275.00 Y-270.00 M08 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N50 G00 Z-275.00 ;

N60 G01 Z-300.00 H1 F100.00 ;

N70 G01 Z-305.00 ;

N80 G00 Z-275.00 ;

N90 G00 X-255.00 Y-270.00 ;

N100 G01 Z-305.00 ;

N110 G00 Z-275.00 ;

N120 G00 X-235.00 Y-270.00 ;

N130 G01 Z-305.00 ;

N140 G00 Z-275.00 ;

N150 G00 M09 ;

N160 G28 G49 Z-275.00 ;

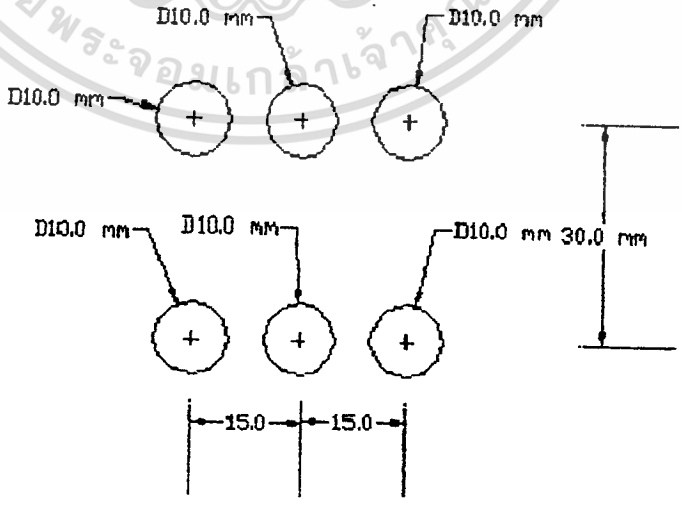
N170 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

N180 M02 ;

%

ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล offset

Dimension : MM

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Drilling feed rate : 100.0 mm./min

Drilling spindle speed : 1000.0 rev/min

Height over object : 25.0 mm.

Cutter diameter : 10.0 mm.

Drilling depth : 5.0 mm.

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0002 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S1000 M03 ;
N40 G00 X-280.00 Y-275.00 M08 ;
N50 G00 Z-275.00 ;
N60 G01 Z-300.00 H1 F100.00 ;
N70 G01 Z-305.00 ;
N80 G00 Z-275.00 ;
N90 G00 X-265.00 Y-275.00 ;
N100 G01 Z-305.00 ;
N110 G00 Z-275.00 ;
N120 G00 X-250.00 Y-275.00 ;
N130 G01 Z-305.00 ;
N140 G00 Z-275.00 ;
N150 G00 X-250.00 Y-245.00 ;
N160 G01 Z-305.00 ;
N170 G00 Z-275.00 ;
N180 G00 X-265.00 Y-245.00 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N190 G01 Z-305.00 ;

N200 G00 Z-275.00 ;

N210 G00 X-280.00 Y-245.00 ;

N220 G01 Z-305.00 ;

N230 G00 Z-275.00 ;

N240 G00 M09 ;

N250 G28 G49 Z-275.00 ;

N260 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

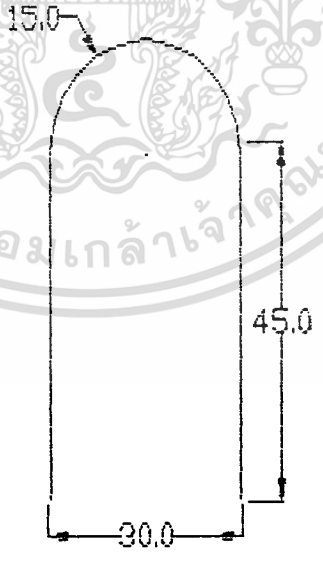
N270 M02 ;

%

6.4.2 งานเซาะร่อง

ตัวอย่างที่ 1

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล offset

Diamension : MM

Cutter diameter : 10.0 mm.

Material : steel

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0003 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S954 M03 ;
N40 G00 X-290.00 Y-245.00 M08 ;
N50 G00 Z-250.00 ;
N60 G01 Z-302.00 H1 F477.46 ;
N70 G01 X-290.00 Y-290.00 ;
N80 G00 Z-295.00 ;
N90 G00 X-260.00 Y-245.00 ;
N100 G01 Z-302.00 ;
N110 G01 X-260.00 Y-290.00 ;
N120 G00 Z-295.00 ;
N130 G00 X-260.00 Y-245.00 ;
N140 G01 Z-302.00 ;
N150 G03 X-290.00 Y-245.00 I-15.00 J0.00 ;
N160 G00 Z-295.00 ;
N170 G00 M09 ;
N180 G28 G49 Z-250.00 ;
N190 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;
```

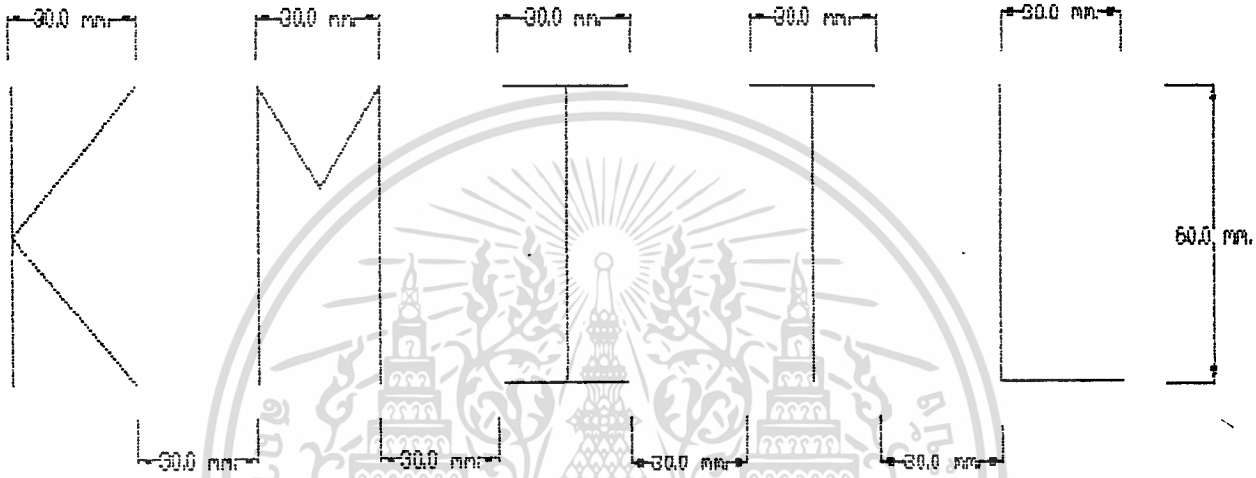
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N200 M02 ;

%

ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

Diamension : MM

Cutter diameter : 10.0 mm.

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

%

O0004 ;

N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;

N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;

N30 G00 S954 M03 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N40 G00 X-290.00 Y-230.00 M08 ;

N50 G00 Z-250.00 ;

N60 G01 Z-302.00 H1 F477.46 ;

N70 G01 X-290.00 Y-290.00 ;

N80 G00 Z-295.00 ;

N90 G00 X-290.00 Y-260.00 ;

N100 G01 Z-302.00 ;

N110 G01 X-260.00 Y-230.00 ;

N120 G00 Z-295.00 ;

N130 G00 X-290.00 Y-260.00 ;

N140 G01 Z-302.00 ;

N150 G01 X-260.00 Y-290.00 ;

N160 G00 Z-295.00 ;

N170 G00 X-230.00 Y-230.00 ;

N180 G01 Z-302.00 ;

N190 G01 X-230.00 Y-290.00 ;

N200 G00 Z-295.00 ;

N210 G00 X-230.00 Y-230.00 ;

N220 G01 Z-302.00 ;

N230 G01 X-215.00 Y-250.00 ;

N240 G00 Z-295.00 ;

N250 G00 X-215.00 Y-250.00 ;

N260 G01 Z-302.00 ;

N270 G01 X-200.00 Y-230.00 ;

N280 G00 Z-295.00 ;

N290 G00 X-200.00 Y-230.00 ;

N300 G01 Z-302.00 ;

N310 G01 X-200.00 Y-290.00 ;

N320 G00 Z-295.00 ;

N330 G00 X-170.00 Y-230.00 ;

N340 G01 Z-302.00 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N350 G01 X-140.00 Y-230.00 ;

N360 G00 Z-295.00 ;

N370 G00 X-155.00 Y-230.00 ;

N380 G01 Z-302.00 ;

N390 G01 X-155.00 Y-290.00 ;

N400 G00 Z-295.00 ;

N410 G00 X-170.00 Y-290.00 ;

N420 G01 Z-302.00 ;

N430 G01 X-140.00 Y-290.00 ;

N440 G00 Z-295.00 ;

N450 G00 X-110.00 Y-230.00 ;

N460 G01 Z-302.00 ;

N470 G01 X-80.00 Y-230.00 ;

N480 G00 Z-295.00 ;

N490 G00 X-95.00 Y-230.00 ;

N500 G01 Z-302.00 ;

N510 G01 X-95.00 Y-290.00 ;

N520 G00 Z-295.00 ;

N530 G00 X-50.00 Y-230.00 ;

N540 G01 Z-302.00 ;

N550 G01 X-50.00 Y-290.00 ;

N560 G00 Z-295.00 ;

N570 G00 X-50.00 Y-290.00 ;

N580 G01 Z-302.00 ;

N590 G01 X-20.00 Y-290.00 ;

N600 G00 Z-295.00 ;

N610 G00 M09 ;

N620 G28 G49 Z-250.00 ;

N630 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

N640 M02 ;

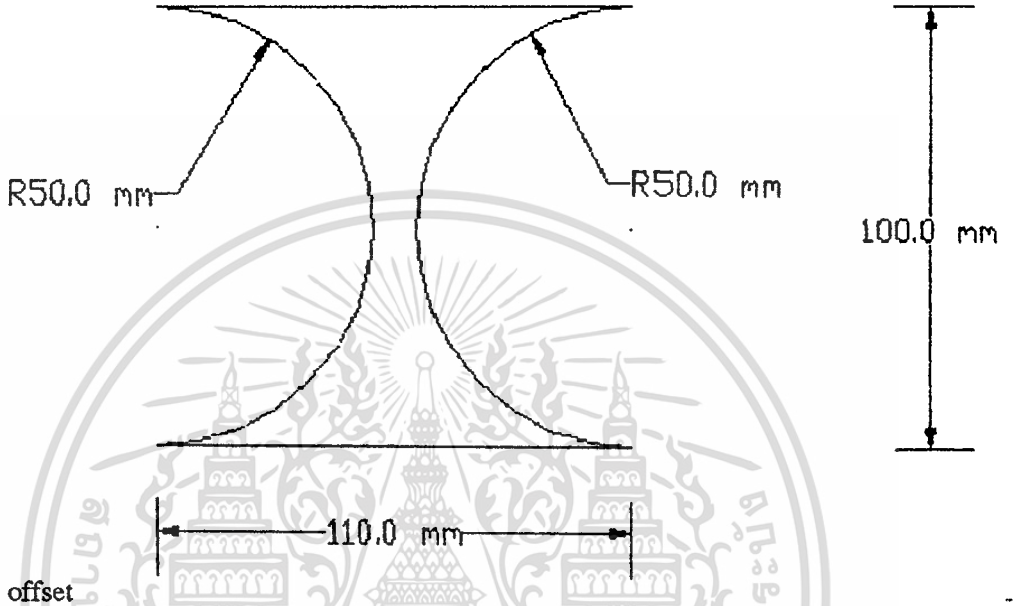
%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.3 งานเดินขอบ

ตัวอย่างที่ 1

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

Pocket : NO

Cutter direction : CCW

Diamension : MM

Cutter path : OUTSIDE

Cutter diameter : 10.0 mm.

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

%

O0005 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;

N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;

N30 G00 S954 M03 ;

N40 G00 X-290.00 Y-285.00 M08 ;

N50 G00 Z-260.00 ;

N60 G01 Z-300.00 H1 F477.46 ;

N70 G01 Z-301.00 ;

N80 G03 X-290.00 Y-295.00 I0.00 J-5.00 ;

N90 G01 X-180.00 Y-295.00 ;

N100 G03 X-180.00 Y-285.00 I0.00 J5.00 ;

N110 G02 X-180.00 Y-195.00 I0.00 J45.00 ;

N120 G03 X-180.00 Y-185.00 I0.00 J5.00 ;

N130 G01 X-290.00 Y-185.00 ;

N140 G03 X-290.00 Y-195.00 I0.00 J-5.00 ;

N150 G02 X-290.00 Y-285.00 I0.00 J-45.00 ;

N160 G00 Z-300.00 ;

N170 G01 Z-302.00 ;

N180 G03 X-290.00 Y-295.00 I0.00 J-5.00 ;

N190 G01 X-180.00 Y-295.00 ;

N200 G03 X-180.00 Y-285.00 I0.00 J5.00 ;

N210 G02 X-180.00 Y-195.00 I0.00 J45.00 ;

N220 G03 X-180.00 Y-185.00 I0.00 J5.00 ;

N230 G01 X-290.00 Y-185.00 ;

N240 G03 X-290.00 Y-195.00 I0.00 J-5.00 ;

N250 G02 X-290.00 Y-285.00 I0.00 J-45.00 ;

N260 G00 M09 ;

N270 G28 G49 Z-260.00 ;

N280 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

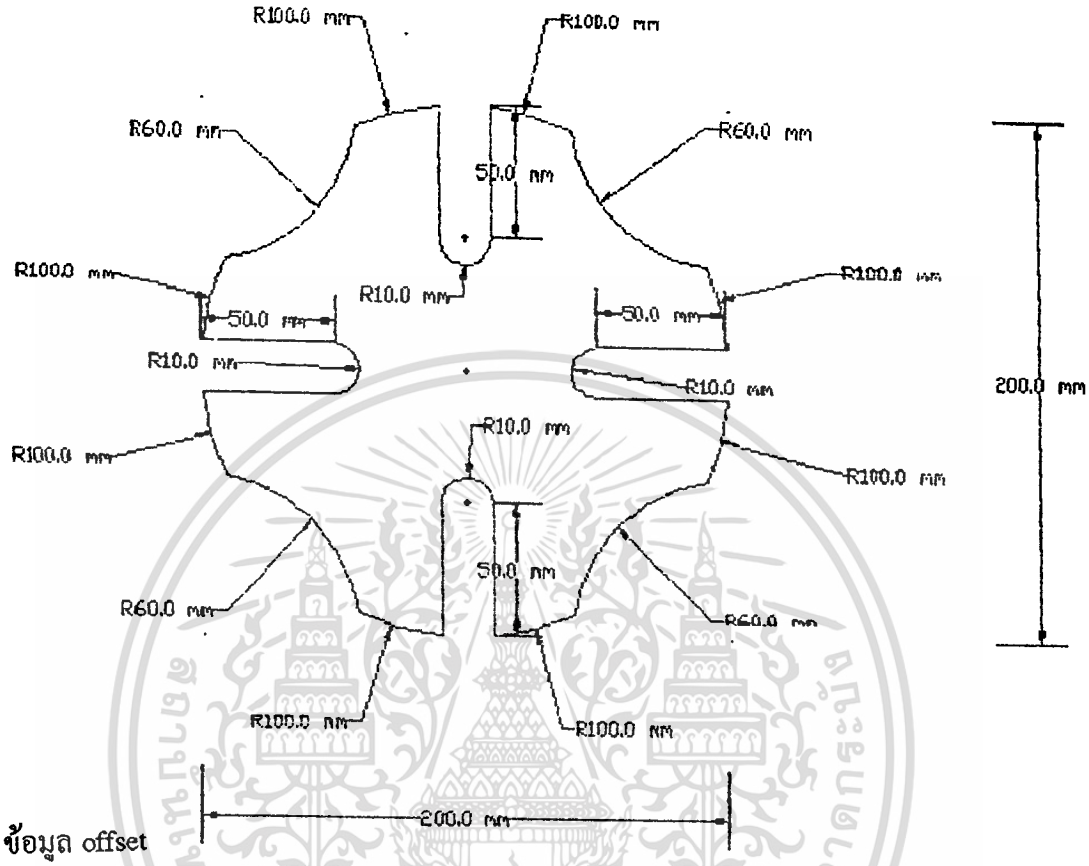
N290 M02 ;

%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

Pocket : NO

Cutter direction : CCW

Diamension : MM

Cutter path : INSIDE

Cutter diameter : 10.0 mm.

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 1.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%
O0006 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S954 M03 ;
N40 G00 X-284.31 Y-295.00 M08 ;
N50 G00 Z-260.00 ;
N60 G01 Z-300.00 H1 F477.46 ;
N70 G01 Z-301.00 ;
N80 G03 X-272.46 Y-328.04 I93.81 J15.00 ;
N90 G02 X-238.55 Y-361.96 I-18.04 J-51.96 ;
N100 G03 X-205.50 Y-373.81 I48.04 J81.96 ;
N110 G01 X-205.00 Y-330.00 ;
N120 G02 X-175.00 Y-330.00 I15.00 J0.00 ;
N130 G01 X-175.00 Y-373.81 ;
N140 G03 X-142.46 Y-361.96 I-15.00 J93.81 ;
N150 G02 X-108.55 Y-328.04 I51.96 J-18.04 ;
N160 G03 X-96.69 Y-295.00 I-81.96 J48.04 ;
N170 G01 X-140.00 Y-295.00 ;
N180 G02 X-140.50 Y-265.00 I0.00 J15.00 ;
N190 G01 X-96.69 Y-265.00 ;
N200 G03 X-108.55 Y-231.96 I-93.81 J-15.00 ;
N210 G02 X-142.46 Y-198.04 I18.04 J51.96 ;
N220 G03 X-175.50 Y-186.19 I-48.04 J-81.96 ;
N230 G01 X-175.00 Y-230.00 ;
N240 G02 X-205.00 Y-230.00 I-15.00 J0.00 ;
N250 G01 X-205.50 Y-186.19 ;
N260 G03 X-238.55 Y-198.04 I15.00 J-93.81 ;
N270 G02 X-272.46 Y-231.96 I-51.96 J18.04 ;
N280 G03 X-284.31 Y-265.00 I81.96 J-48.04 ;
N290 G01 X-240.00 Y-265.00 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N300 G02 X-240.00 Y-295.00 I0.00 J-15.00 ;

N310 G01 X-284.31 Y-295.00 ;

N320 G00 M09;

N330 G28 G49 Z-260.00;

N340 G00 X0.00 Y0.00 M05;

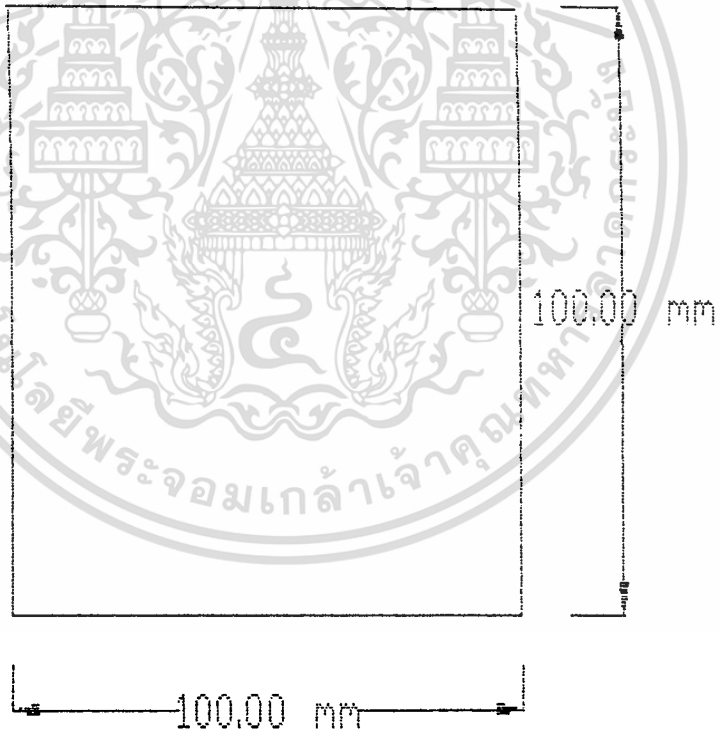
N350 M02;

%

6.4.4 งานกัดหลุม

ตัวอย่างที่ 1

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

- Pocket : YES (REC)

Cutter direction : CCW

Diamension : MM

Cutter path : INSIDE

Cutter diameter : 10.0 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0007 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S954 M03 ;
N40 G00 X-285.00 Y-285.00 M08 ;
N50 G00 Z-260.00 ;
N60 G01 Z-300.00 H1 F477.46 ;
N70 G01 Z-301.00 ;
N80 G01 X-195.00 Y-285.00 ;
N90 G01 X-195.00 Y-276.00 ;
N100 G01 X-285.00 Y-276.00 ;
N110 G01 X-285.00 Y-267.00 ;
N120 G01 X-195.00 Y-267.00 ;
N130 G01 X-195.00 Y-258.00 ;
N140 G01 X-285.00 Y-258.00 ;
N150 G01 X-285.00 Y-249.00 ;
N160 G01 X-195.00 Y-249.00 ;
N170 G01 X-195.00 Y-240.00 ;
N180 G01 X-285.00 Y-240.00 ;
N190 G01 X-285.00 Y-231.00 ;
N200 G01 X-195.00 Y-231.00 ;
N210 G01 X-195.00 Y-222.00 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N220 G01 X-285.00 Y-222.00 ;

N230 G01 X-285.00 Y-213.00 ;

N240 G01 X-195.00 Y-213.00 ;

N250 G01 X-195.00 Y-204.00 ;

N260 G01 X-285.00 Y-204.00 ;

N270 G01 X-285.00 Y-195.00 ;

N280 G01 X-195.00 Y-195.00 ;

N290 G01 X-285.00 Y-285.00 ;

N300 G01 X-195.00 Y-285.00 ;

N310 G01 X-195.00 Y-195.00 ;

N320 G01 X-285.00 Y-195.00 ;

N330 G01 X-285.00 Y-285.00 ;

N340 G00 Z-300.00 ;

N350 G01 Z-302.00 ;

N360 G01 X-195.00 Y-285.00 ;

N370 G01 X-195.00 Y-285.00 ;

N380 G01 X-285.00 Y-276.00 ;

N390 G01 X-285.00 Y-267.00 ;

N400 G01 X-195.00 Y-267.00 ;

N410 G01 X-195.00 Y-258.00 ;

N420 G01 X-285.00 Y-258.00 ;

N430 G01 X-285.00 Y-249.00 ;

N440 G01 X-195.00 Y-249.00 ;

N450 G01 X-195.00 Y-240.00 ;

N460 G01 X-285.00 Y-240.00 ;

N470 G01 X-285.00 Y-231.00 ;

N480 G01 X-195.00 Y-231.00 ;

N490 G01 X-195.00 Y-222.00 ;

N500 G01 X-285.00 Y-222.00 ;

N510 G01 X-285.00 Y-213.00 ;

N520 G01 X-195.00 Y-213.00 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N530 G01 X-195.00 Y-204.00 ;

N540 G01 X-285.00 Y-204.00 ;

N550 G01 X-285.00 Y-195.00 ;

N560 G01 X-195.00 Y-195.00 ;

N570 G01 X-285.00 Y-285.00 ;

N580 G01 X-195.00 Y-285.00 ;

N590 G01 X-195.00 Y-195.00 ;

N600 G01 X-285.00 Y-195.00 ;

N610 G01 X-285.00 Y-285.00 ;

N620 G00 M09 ;

N630 G28 G49 Z-260.00 ;

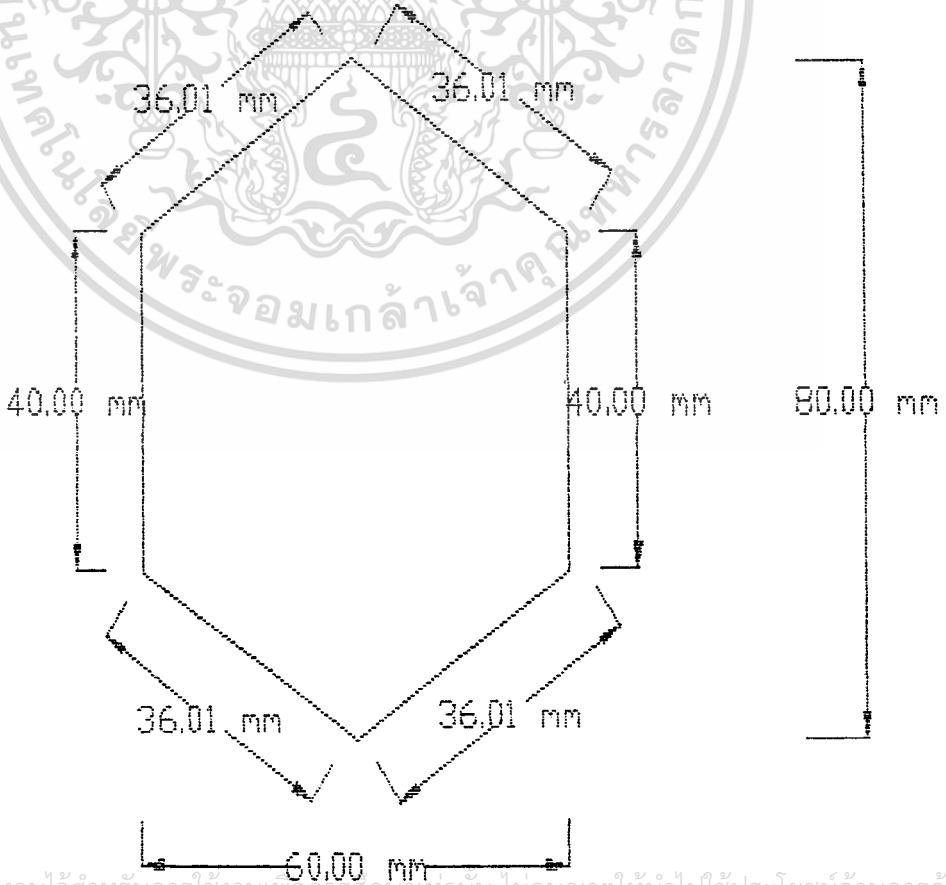
N640 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

N650 M02 ;

%

ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล offset

Pocket : YES (CIR)

Cutter direction : CW

Diamension : MM

Cutter path : INSIDE

Cutter diameter : 10.0 mm.

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0008 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S954 M03 ;
N40 G00 X-285.00 Y-287.32 M08 ;
N50 G00 X-260.00 ;
N60 G01 Z-300.00 H1 F477.46 ;
N70 G01 Z-301.00 ;
N80 G01 X-285.00 Y-252.68 ;
N90 G01 X-260.00 Y-236.01 ;
N100 G01 X-235.00 Y-252.68 ;
N110 G01 X-235.00 Y-287.32 ;
N120 G01 X-260.00 Y-303.99 ;
N130 G01 X-285.00 Y-287.32 ;
N140 G01 X-278.11 Y-283.64 ;
N150 G01 X-278.11 Y-256.36 ;
N160 G01 X-260.00 Y-244.28 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N170 G01 X-241.89 Y-256.36 ;

N180 G01 X-241.89 Y-283.64 ;

N190 G01 X-260.00 Y-295.72 ;

N200 G01 X-278.11 Y-283.64 ;

N210 G01 X-271.23 Y-279.95 ;

N220 G01 X-271.23 Y-260.05 ;

N230 G01 X-260.00 Y-252.56 ;

N240 G01 X-248.77 Y-260.05 ;

N250 G01 X-248.77 Y-279.95 ;

N260 G01 X-260.00 Y-287.44 ;

N270 G01 X-271.23 Y-279.95 ;

N280 G01 X-264.34 Y-276.27 ;

N290 G01 X-264.34 Y-263.73 ;

N300 G01 X-260.00 Y-260.84 ;

N310 G01 X-255.66 Y-263.73 ;

N320 G01 X-255.66 Y-276.27 ;

N330 G01 X-260.00 Y-279.16 ;

N340 G01 X-264.34 Y-276.27 ;

N350 G01 X-285.00 Y-287.32 ;

N360 G00 Z-300.00 ;

N370 G01 Z-302.00 ;

N380 G01 X-285.00 Y-252.68 ;

N390 G01 X-260.00 Y-236.01 ;

N400 G01 X-235.00 Y-252.68 ;

N410 G01 X-235.00 Y-287.32 ;

N420 G01 X-260.00 Y-303.99 ;

N430 G01 X-285.00 Y-287.32 ;

N440 G01 X-278.11 Y-283.64 ;

N450 G01 X-278.11 Y-256.36 ;

N460 G01 X-260.00 Y-244.28 ;

N470 G01 X-241.89 Y-256.36 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N480 G01 X-241.89 Y-283.64 ;

N490 G01 X-260.00 Y-295.72 ;

N500 G01 X-278.11 Y-283.64 ;

N510 G01 X-271.23 Y-279.95 ;

N520 G01 X-271.23 Y-260.05 ;

N530 G01 X-260.00 Y-252.56 ;

N540 G01 X-248.77 Y-260.05 ;

N550 G01 X-248.77 Y-279.95 ;

N560 G01 X-260.00 Y-287.44 ;

N570 G01 X-271.23 Y-279.95 ;

N580 G01 X-264.34 Y-276.27 ;

N590 G01 X-264.34 Y-263.73 ;

N600 G01 X-260.00 Y-260.84 ;

N610 G01 X-255.66 Y-263.73 ;

N620 G01 X-255.66 Y-276.27 ;

N630 G01 X-260.00 Y-279.16 ;

N640 G01 X-264.34 Y-276.27 ;

N650 G01 X-285.00 Y-287.32 ;

N660 G00 M09 ;

N670 G28 G49 Z-260.00 ;

N680 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;

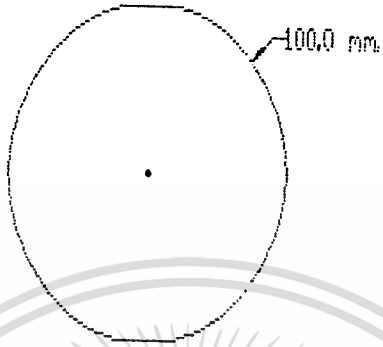
N690 M02 ;

%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3

ข้อมูลแบบภาพชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบ



ข้อมูล offset

Pocket : YES (CIR)

Cutter direction : CCW

Diamension : MM

Cutter path : INSIDE

Cutter diameter : 20.0 mm.

Material : STEEL

Tool position : 0.0,0.0,0.0

Reference point : -300,-300,-300

Cutting depth : 2.0 mm.

Feed rate : 477.4648 mm./min

Spindle speed : 954.9297 rev/min

โปรแกรมสั่งงานเครื่อง CNC (Part Programming) ที่ได้จากการแปลงข้อมูลข้างต้นด้วยระบบซอฟท์แวร์ของงานวิจัย

```
%
O0009 ;
N10 G17 G21 G40 G49 G80 G90 ;
N20 G92 X0.00 Y0.00 Z0.00 ;
N30 G00 S954 M03 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N40 G00 X-270.00 Y-280.00 M08 ;

N50 G00 X-260.00 ;

N60 G01 Z-300.00 H1 F477.46 ;

N70 G01 Z-301.00 ;

N80 G03 X-180.00 Y-370.00 I90.00 J0.00 ;

N90 G03 X-90.00 Y-280.00 I0.00 J90.00 ;

N100 G03 X-180.00 Y-190.00 I-90.00 J0.00 ;

N110 G03 X-270.00 Y-280.00 I0.00 J-90.00 ;

N120 G01 X-254.00 Y-380.00 ;

N130 G03 X-180.00 Y-354.00 I74.00 J0.00 ;

N140 G03 X-106.00 Y-280.00 I0.00 J74.00 ;

N150 G03 X-180.00 Y-206.00 I-74.00 J0.00 ;

N160 G03 X-254.00 Y-280.00 I0.00 J-74.00 ;

N170 G01 X-238.00 Y-280.00 ;

N180 G03 X-180.00 Y-388.00 I58.00 J0.00 ;

N190 G03 X-122.00 Y-280.00 I0.00 J58.00 ;

N200 G03 X-180.00 Y-222.00 I-58.00 J0.00 ;

N210 G03 X-238.00 Y-280.00 I0.00 J-58.00 ;

N220 G01 X-222.00 Y-280.00 ;

N230 G03 X-180.00 Y-322.00 I42.00 J0.00 ;

N240 G03 X-138.00 Y-280.00 I0.00 J42.00 ;

N250 G03 X-180.00 Y-238.00 I-42.00 J0.00 ;

N260 G03 X-222.00 Y-280.00 I0.00 J-42.00 ;

N270 G01 X-206.00 Y-280.00 ;

N280 G03 X-180.00 Y-306.00 I26.00 J0.00 ;

N290 G03 X-154.00 Y-280.00 I0.00 J26.00 ;

N300 G03 X-180.00 Y-254.00 I-26.00 J0.00 ;

N310 G03 X-206.00 Y-280.00 I0.00 J-26.00 ;

N320 G01 X-190.00 Y-280.00 ;

N330 G03 X-180.00 Y-290.00 I10.00 J0.00 ;

N340 G03 X-170.00 Y-280.00 I0.00 J10.00 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N350 G03 X-180.00 Y-270.00 I-10.00 J0.00 ;

N360 G03 X-190.00 Y-280.00 I0.00 J-10.00 ;

N370 G01 X-270.00 Y-280.00 ;

N380 G00 Z-300.00 ;

N390 G01 Z-302.00 ;

N400 G03 X-180.00 Y-370.00 I90.00 J0.00 ;

N410 G03 X-90.00 Y-280.00 I0.00 J90.00 ;

N420 G03 X-180.00 Y-190.00 I-90.00 J0.00 ;

N430 G03 X-270.00 Y-280.00 I0.00 J-90.00 ;

N440 G01 X-254.00 Y-380.00 ;

N450 G03 X-180.00 Y-354.00 I74.00 J0.00 ;

N460 G03 X-106.00 Y-280.00 I0.00 J74.00 ;

N470 G03 X-180.00 Y-206.00 I-74.00 J0.00 ;

N480 G03 X-254.00 Y-280.00 I0.00 J-74.00 ;

N490 G01 X-238.00 Y-280.00 ;

N500 G03 X-180.00 Y-338.00 I58.00 J0.00 ;

N510 G03 X-122.00 Y-280.00 I0.00 J58.00 ;

N520 G03 X-180.00 Y-222.00 I-58.00 J0.00 ;

N530 G03 X-238.00 Y-280.00 I0.00 J-58.00 ;

N540 G01 X-222.00 Y-280.00 ;

N550 G03 X-180.00 Y-322.00 I42.00 J0.00 ;

N560 G03 X-138.00 Y-280.00 I0.00 J42.00 ;

N570 G03 X-180.00 Y-238.00 I-42.00 J0.00 ;

N580 G03 X-222.00 Y-280.00 I0.00 J-42.00 ;

N590 G01 X-206.00 Y-280.00 ;

N600 G03 X-180.00 Y-306.00 I26.00 J0.00 ;

N610 G03 X-154.00 Y-280.00 I0.00 J26.00 ;

N620 G03 X-180.00 Y-254.00 I-26.00 J0.00 ;

N630 G03 X-206.00 Y-280.00 I0.00 J-26.00 ;

N640 G01 X-190.00 Y-280.00 ;

N650 G03 X-180.00 Y-290.00 I10.00 J0.00 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N660 G03 X-170.00 Y-280.00 I0.00 J10.00 ;
N670 G03 X-180.00 Y-270.00 I-10.00 J0.00 ;
N680 G03 X-190.00 Y-280.00 I0.00 J-10.00 ;
N690 G01 X-270.00 Y-280.00 ;
N700 G00 M09 ;
N710 G28 G49 Z-260.00 ;
N720 G00 X0.00 Y0.00 M05 ;
N730 M02 ;
%
```

6.5 สรุป

จากการสร้างซอฟท์แวร์เพื่อแปลงข้อมูลวาดแบบให้เป็นโปรแกรมสั่งงาน จะเห็นว่าสามารถที่จะแปลงข้อมูลสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานได้ในระดับหนึ่งที่ยังไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลในระดับต่อไปสามารถที่จะนำไปใช้กับการทำงานที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการดัดแปลงข้อมูลให้เหมาะสมกับการไปใช้งาน เช่น จากตัวอย่างของโปรแกรมนี้ได้ออกแบบให้ใช้กับงานกัดและให้ออกแบบการทำงานอยู่ในระบบ 2 มิติคือแกน XY ในลักษณะเดียวกันนี้สามารถที่จะดัดแปลงให้ใช้ได้กับงานกลึง (Lathe) ได้โดยให้ออกแบบการทำงานอยู่ในระบบ 2 มิติคือแกน XZ เพียงแต่การออกแบบชิ้นงานด้วยโปแกรมวาดแบบข้อมูลที่ได้จะต้องมีความสัมพันธ์ต่อการนำไปใช้สร้างโปรแกรมชุดสั่งงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบโปรแกรมสั่งงานกับเครื่องกัด

7.1 บทนำ

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ สร้างซอฟท์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่อง CNC ด้วยเครื่อง PC โดยระบบซอฟท์แวร์ที่สร้างนี้จะหมายถึงการนำข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบมาดัดแปลงสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่อง CNC รวมถึงการส่งโปรแกรมสั่งงานที่ได้ไปยังเครื่อง CNC โดยตรง สำหรับรายละเอียดในการสร้างโปรแกรมสั่งงานได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 บทที่ 4 บทที่ 5 และบทที่ 6 โดยโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากบทที่ 6 นั้นเรายังไม่สามารถบอกได้ว่าเมื่อนำไปสร้างชิ้นงานแล้วจะได้ชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงส่วนของการทดสอบโปรแกรมสั่งงาน โดยจะทำการทดสอบส่งโปรแกรมที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์ผ่านพอร์ต RS-232C ด้วยโปรแกรมส่งข้อมูล QMODEM ไปยังเครื่องกัด

7.2 การเชื่อมต่อเครื่องกัดกับเครื่อง PC

ส่วนประกอบที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครื่องกัดกับเครื่อง PC มีดังนี้

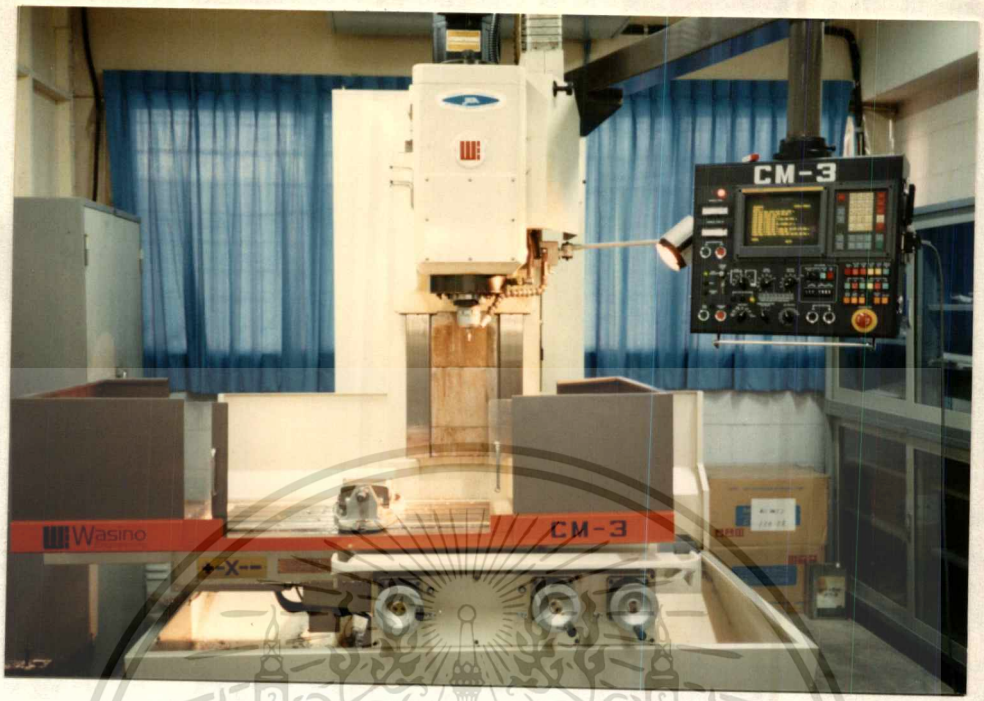
(ก) เครื่องจักร VERTICAL MILLING MACHINE ดังรูปที่ 7.1

(ข) พอร์ต RS-232C และโปรแกรม QMODEM

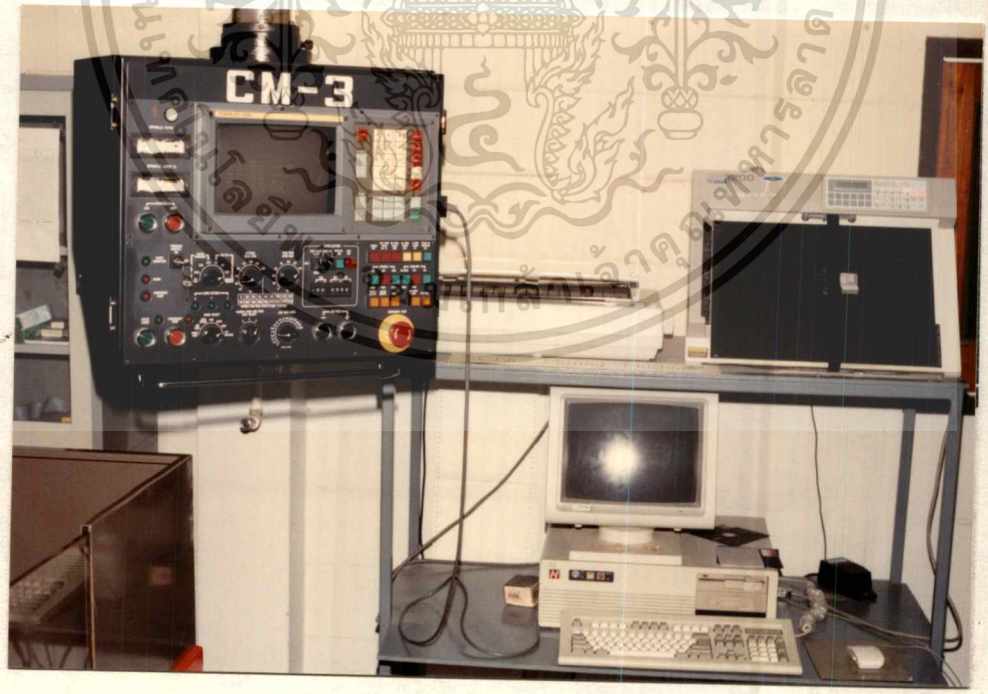
(ค) เครื่อง PC

โดยลักษณะของการเชื่อมต่อกันแสดงดังรูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 ลักษณะของเครื่อง CNC แบบ VERTICAL MILLING MACHINE



รูปที่ 7.2 แสดงการเชื่อมต่อเครื่อง PC กับเครื่อง CNC ผ่านพอร์ต RS-232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ขั้นตอนการส่งโปรแกรมสั่งงาน

เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่อง PC กับเครื่อง CNC ได้แล้วต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในการส่งโปรแกรมสั่งงานผ่านโปรแกรม QMODEM โดยขั้นตอนการส่งโปรแกรมสั่งงานนั้นจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้คือ

(ก) การเตรียมเครื่อง CNC ให้พร้อมสำหรับการรับข้อมูล

(ข) การส่งโปรแกรมสั่งงานด้วยโปรแกรม QMODEM

(ค) การสั่งให้เครื่อง CNC ทำงาน

7.3.1 การเตรียมเครื่อง CNC ให้พร้อมสำหรับการรับข้อมูล

การที่จะสั่งให้เครื่อง CNC สามารถรับข้อมูลจากภายนอก ในที่นี้หมายถึงการรับคำสั่งผ่านสายนำสัญญาณ จะต้องมีการจัดเตรียมเครื่องในส่วนของการตั้งเครื่อง CNC และส่วนการรับข้อมูลเข้าเครื่อง CNC โดยรายละเอียดมีดังนี้

7.3.1.1 ขั้นตอนการตั้งเครื่องให้สามารถรับข้อมูลผ่านสายนำสัญญาณ

การเตรียมเครื่อง CNC ให้พร้อมจะต้องมีการตั้งเครื่องโดยการกำหนดตัวแปร (PARAMETER) ของเครื่อง ซึ่งการกำหนดตัวแปรจะมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้การทำงานอยู่ในโหมด (MODE) ของ MDI (Manual Data Input) เพื่อให้เครื่อง CNC สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขตัวแปรในเครื่องได้ โดยการกำหนดให้ PWE มีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 2 เลือกตัวแปร NO.0002 กำหนดให้มีค่าเป็น 00000001 จะหมายถึงการกำหนดให้ stop bit เป็น 2 บิต

ขั้นตอนที่ 3 เลือกตัวแปร NO.0015 กำหนดให้มีค่าเป็น 10000000 เพื่อไม่ให้รับข้อมูลที่มีชื่อซ้ำกัน

ขั้นตอนที่ 4 เลือกตัวแปร NO.0552 เป็นการกำหนดอัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) แสดงดังตาราง 7.1 สำหรับการทดลองนี้กำหนดอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 6400 บิตต่อวินาที ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปรนี้มีค่าเป็น 11

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดให้ตัวแปรของ ISO มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นการกำหนดว่ารหัสคำสั่งที่ใช้นี้เป็นมาตรฐาน ISO

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดให้ตัวแปรของ I/O มีค่าเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อกำหนดค่าของตัวแปรที่ต้องการครบแล้วให้ตั้งค่าของ PWE กลับเท่ากับ 0 เหมือนเดิม เพื่อให้เครื่องสามารถจำข้อมูลที่กำหนดให้ใหม่ได้จะต้องปิดเครื่อง (OFF) และปิดเครื่อง (ON) ใหม่

ตาราง 7.1 แสดงการกำหนดค่าของ Baud rate

Setting value	Baud rate
1	50
2	100
3	110
4	150
5	200
6	300
7	600
8	1200
9	2400
10	4800
11	9600

7.3.1.2 ขั้นตอนการรับข้อมูลเข้า

การส่งโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่อง CNC นอกจากจะต้องทำให้เครื่อง CNC ยอมรับข้อมูลจากภายนอกแล้วจะต้องมีขั้นตอนของการรับโปรแกรมสั่งงานด้วย การรับข้อมูลเข้ามีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้เครื่อง CNC อยู่ในโหมดของ EDIT เพื่อให้เครื่องพร้อมที่จะรับข้อมูลที่จะเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไข

ขั้นตอนที่ 2 เลือกกดปุ่ม PRGRM เพื่อตั้งชื่อโปรแกรมสั่งงานให้ตรงกับชื่อโปรแกรมที่จะรับเข้าเครื่อง

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งชื่อโปรแกรมสั่งงานให้ใช้ตัวอักษรตัวแรกเป็น O และตามด้วยตัวเลข 4 หลักคือ O0000-O9999

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อตั้งชื่อของโปรแกรมสั่งงานพร้อมแล้วให้กดปุ่ม INPUT ที่หน้าปัดของเครื่อง CNC จะขึ้นตัวอักษร LSK แสดงว่าพร้อมที่จะรับโปรแกรมสั่งงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 การส่งโปรแกรมสั่งงานด้วยโปรแกรม QMODEM

การส่งโปรแกรมสั่งงานสำหรับงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม QMODEM มาช่วยในการส่งข้อมูลจากเครื่อง PC ไปยังเครื่อง CNC โดยโปรแกรม QMODEM จะแทรกอยู่กับโปรแกรมซอฟท์แวร์ เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากการแปลงของโปรแกรมซอฟท์แวร์ (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 6.3) ให้เลือกคำว่า Y (Yes) การทำงานของโปรแกรมจะเข้าไปอยู่ในส่วนของโปรแกรม QMODEM โดยผู้ใช้ทำการเลือกอัตราการส่งข้อมูลของโปรแกรม QMODEM เป็น 6400 บิตต่อวินาที และสั่งให้ส่งข้อมูลแบบ ASCII หลังจากนั้นใช้คำสั่ง Page Up เพื่อเป็นการส่งโปรแกรมสั่งงานนั้นออกไป เมื่อส่งข้อมูลครบแล้วที่เครื่อง CNC จะปรากฏคำว่า INPUT ที่หน้าปัดแทนคำว่า LSK แสดงว่าได้รับข้อมูลที่ส่งมาแล้ว เมื่อได้รับข้อมูลมาครบแล้วโปรแกรมสั่งงานทั้งหมดจะปรากฏบนหน้าจอของเครื่อง CNC พร้อมที่จะรับคำสั่งในการทำงานส่วนต่อไป

7.3.3 การสั่งให้เครื่อง CNC ทำงาน

เมื่อรับโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากเครื่อง PC โดยการส่งของโปรแกรม QMODEM ผ่านพอร์ต RS-232C แล้วเครื่อง CNC ก็พร้อมที่จะทำงานได้เลย เนื่องจากมีการตั้งเครื่องให้อยู่ในตำแหน่งที่เป็นจุดอ้างอิงไว้แล้ว เมื่อตรวจสอบความพร้อมของเครื่องและการวางชิ้นงานแล้วจึงกำหนดให้เครื่องอยู่ในโหมด Auto หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม Cycle start เครื่อง CNC ก็จะทำงานตามโปรแกรมสั่งงานที่ได้ส่งเข้ามาจนได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ

7.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมสั่งงาน

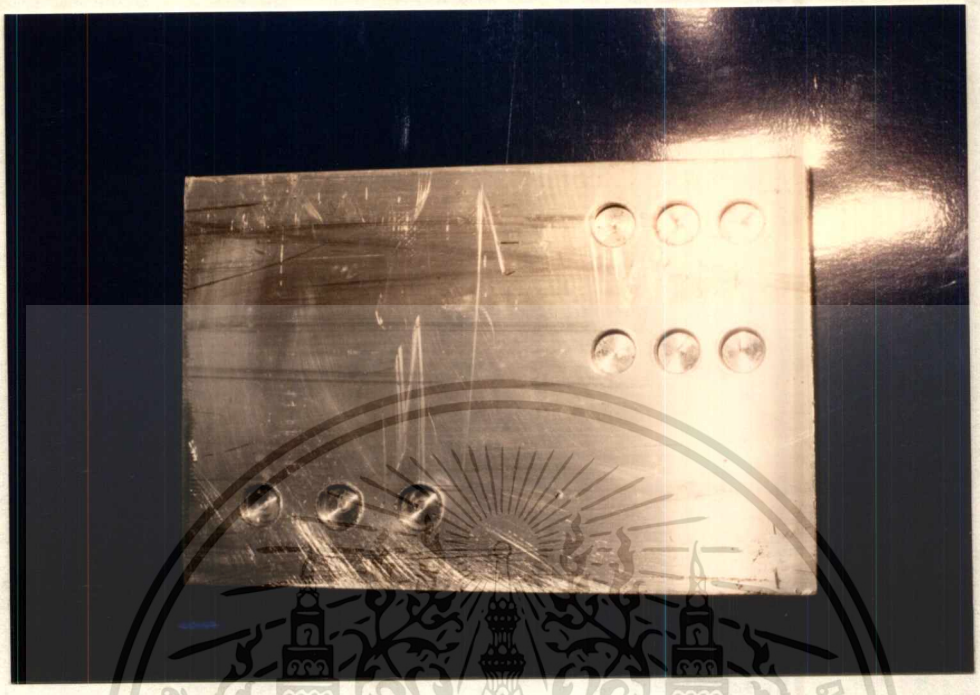
การทดสอบการทำงานของโปรแกรมสั่งงาน จะหมายถึงการนำโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์ ไปทดสอบกับเครื่อง CNC เพื่อเป็นการทดสอบว่าได้ผลการทดลองตามที่ได้ออกแบบชิ้นงานไว้หรือไม่ สำหรับการทดลองนี้จะทดสอบการสร้างชิ้นงานเฉพาะอย่างใน 1 ชิ้นงานคือเลือกที่จะทำงานเจาะหรืองานกัดเท่านั้น

7.4.1 การทดสอบตัวอย่างโปรแกรมสั่งงาน

สำหรับตัวอย่างโปรแกรมสั่งงานที่ใช้ในการทดลองนี้ได้นำรูปแบบของชิ้นงานจากบทที่ 6 มาใช้ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

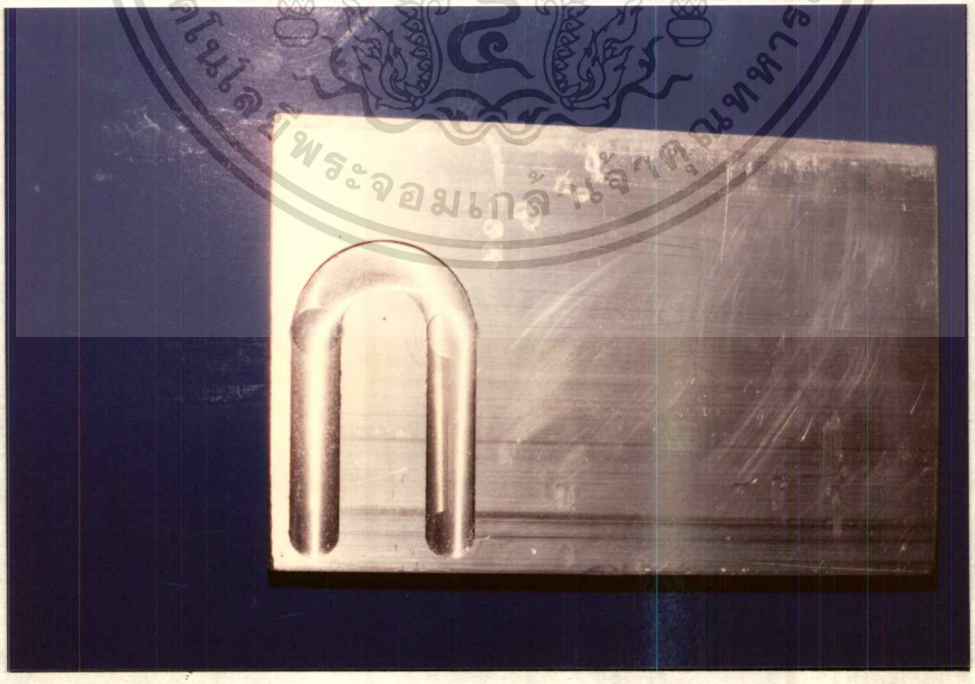
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโปรแกรม O0001 และ O0002 ให้ผลดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานของงานเจาะจากโปรแกรมสั่งงาน O0001 และ O0002

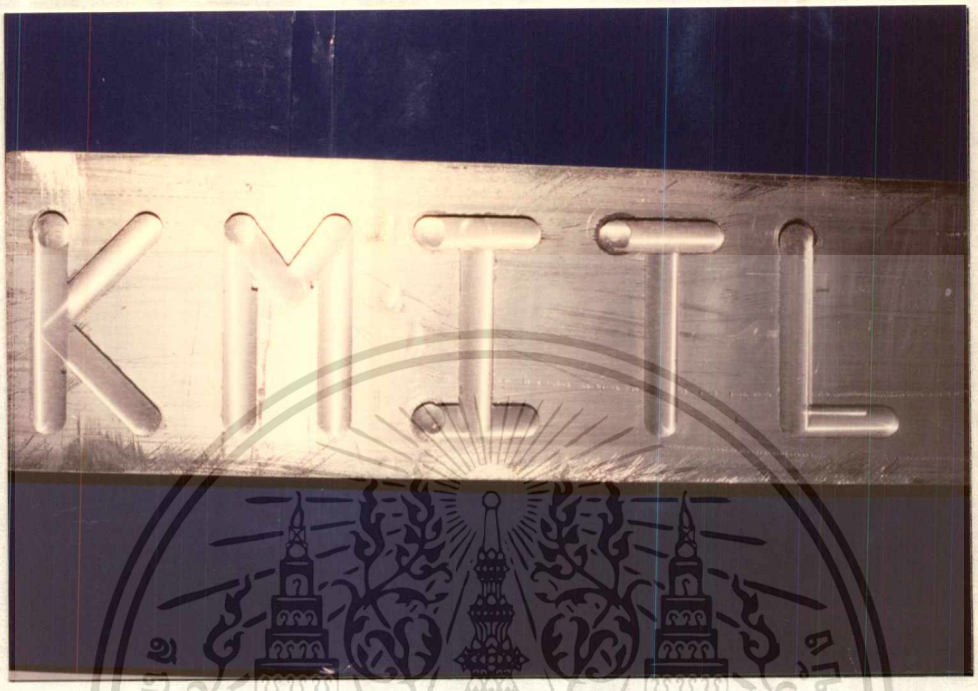
ตัวอย่างโปรแกรม O0003 ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงผลการสร้างชิ้นงานแบบเซาะร่องของโปรแกรมสั่งงาน O0003

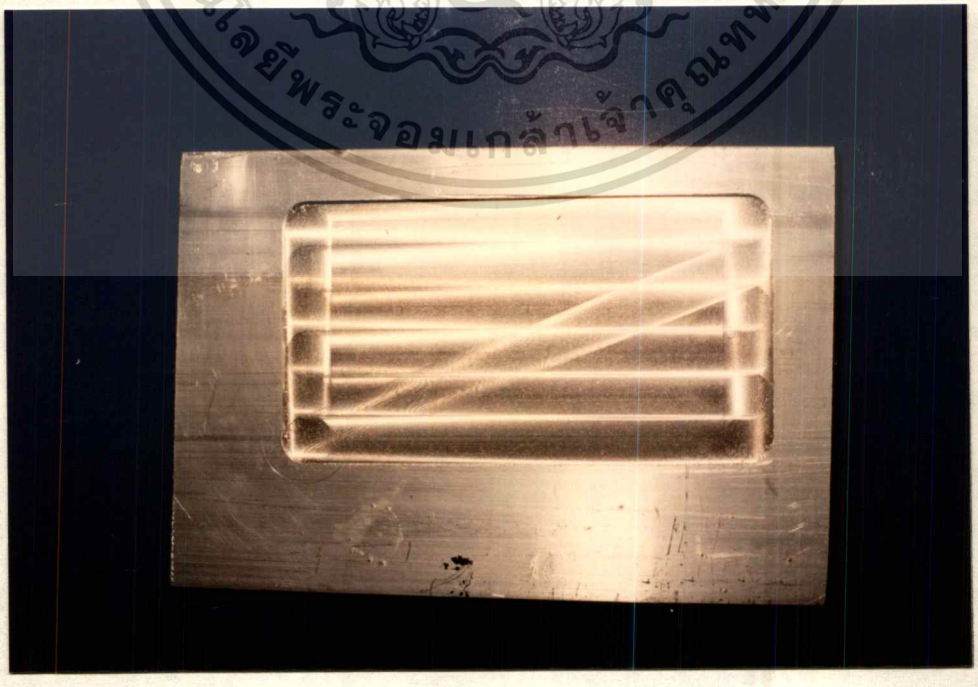
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโปรแกรม O0004 ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานแบบเซาะร่องของโปรแกรมสั่งงาน O0004

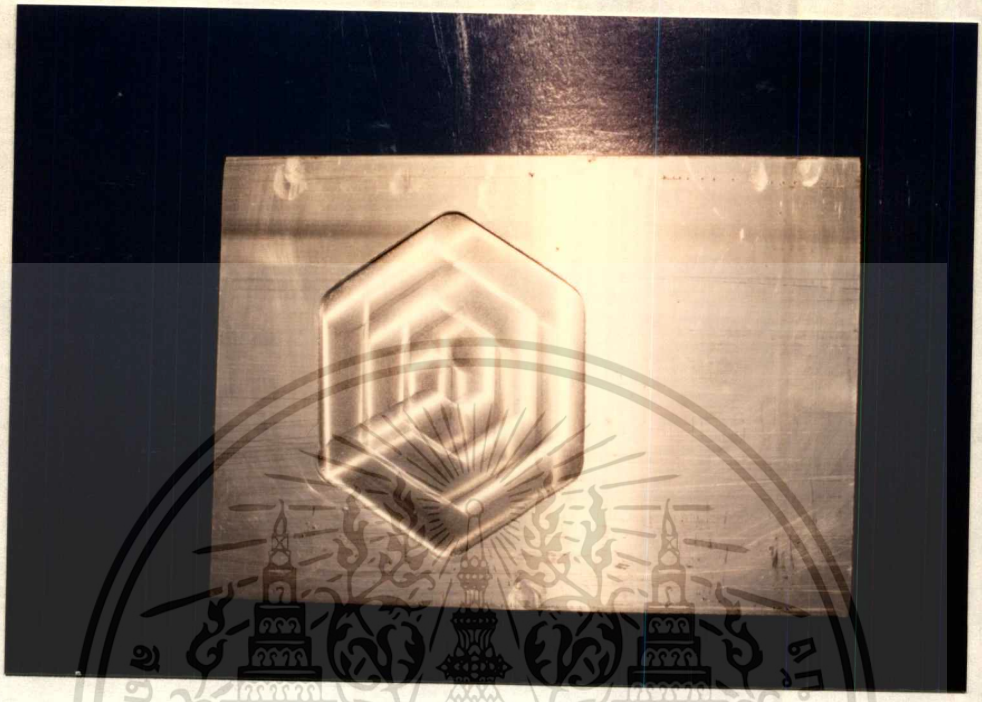
ตัวอย่างการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซก แสดงดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบซิกแซก

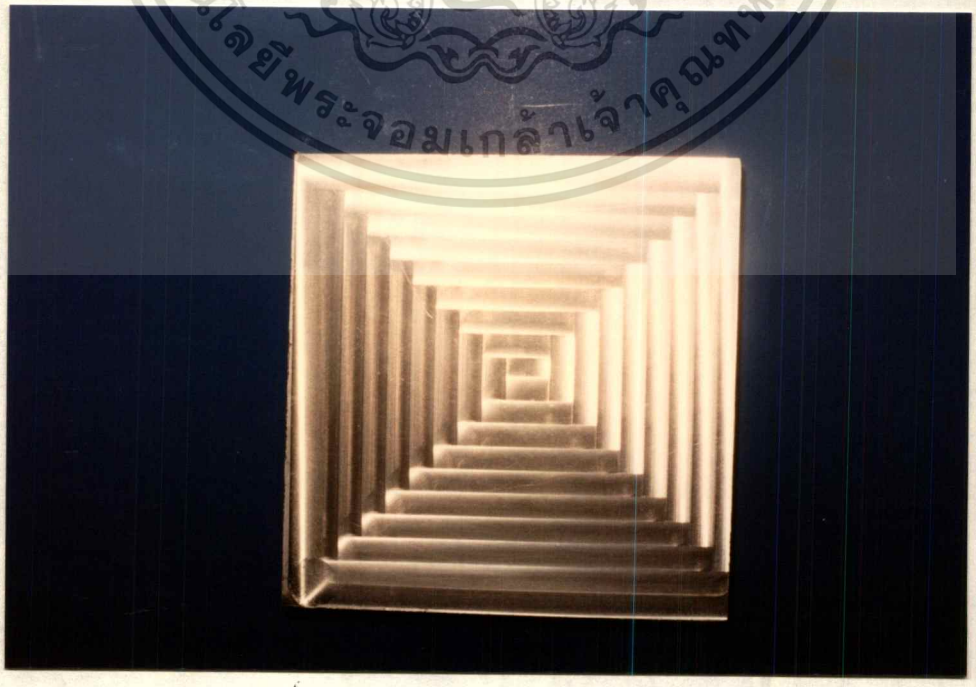
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโปรแกรม O0008 ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบวงกลมของโปรแกรม O0008

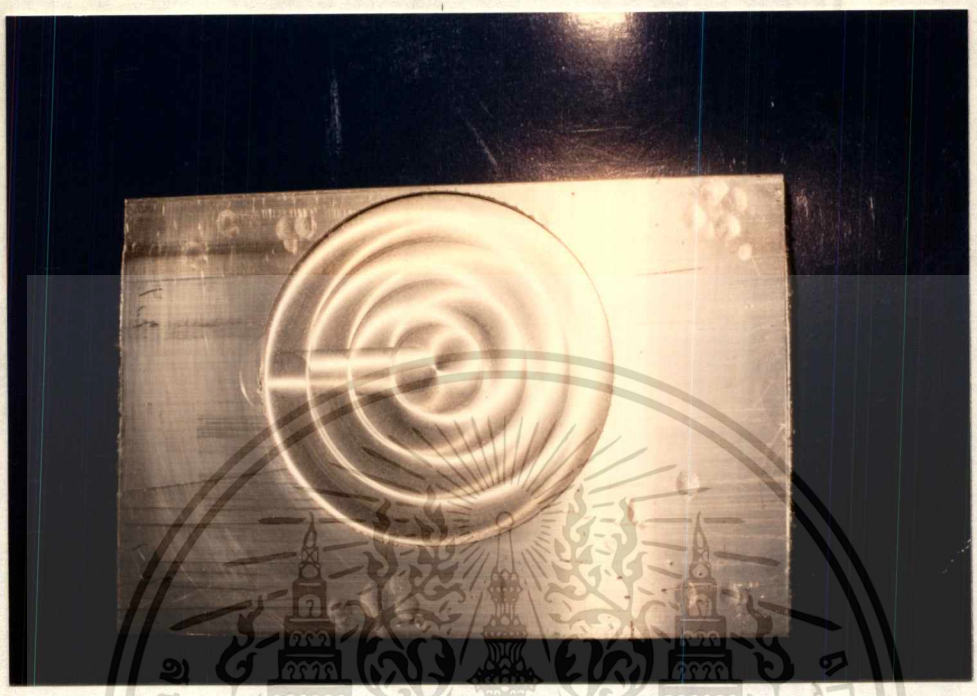
ตัวอย่างของชิ้นงานที่ได้จากการสร้างชิ้นงานแบบปาดหน้าแสดงดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานปาดหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของชิ้นงานที่ได้จากการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบกัดกลมแสดงดังรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.9 แสดงผลของการสร้างชิ้นงานกัดหลุมแบบกัดกลม

7.4.2 ผลการทดลอง

สำหรับโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์เมื่อนำมาทดสอบโดยการส่งโปรแกรมสั่งงานไปยังเครื่องกัดเพื่อให้เครื่องกัดทำการผลิตชิ้นงานตามขั้นตอนของโปรแกรมสั่งงานนั้น ผลที่ได้จะเห็นว่าสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามที่ผู้ใช้โปรแกรมซอฟท์แวร์ต้องการ โดยสามารถผลิตชิ้นงานได้ทั้งงานเจาะและงานกัด ในส่วนของงานกัดจะผลิตชิ้นงานได้หลายแบบได้แก่ งานเซาะร่อง งานเดินขอบ งานปาดหน้า และงานกัดหลุม ซึ่งลักษณะของการสร้างชิ้นงานทั้งหมดนี้เป็นลักษณะที่สามารถดัดแปลงข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบมาใช้ในการสร้างชิ้นงานจริง

7.5 สรุป

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมสั่งงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทดลองผลของโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์ ซึ่งทำให้เห็นว่าโปรแกรมซอฟท์แวร์นี้สามารถสร้างชิ้นงานได้จริง โดยรายละเอียดของการทดสอบนี้ได้เน้นให้เห็นว่าสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องกัดแบบ VERTICAL MILLING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MACHINE เท่านั้น เมื่อต้องการนำโปรแกรมซอฟท์แวร์นี้ไปใช้งานกับเครื่อง CNC ที่เป็นเครื่องกัดแบบอื่นจะต้องทำการทดสอบก่อนว่าสามารถทำงานในรูปแบบเดียวกันได้หรือไม่ กรณีที่ต้องการนำไปใช้กับเครื่อง CNC แบบอื่นจะต้องมีการดัดแปลงการทำงานของโปรแกรมในบางส่วนเช่น การนำข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบในส่วนของการสร้างภาพ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุป

8.1 สรุปผลและวิเคราะห์การทำงานของซอฟท์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกัด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบเพื่อนำมาเป็นข้อมูลให้กับโปรแกรมซอฟท์แวร์ใช้ในการสร้างโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่องกัดนั้น เมื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์มาทดสอบกับเครื่องกัดสามารถนำโปรแกรมสั่งงานที่ได้มาสร้างชิ้นงานได้จริง สำหรับการใช้งานโปรแกรมซอฟท์แวร์นั้นผู้ใช้จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจในการสร้างแบบชิ้นงานรวมถึงการกำหนดข้อมูลให้กับเครื่อง CNC เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นที่กำหนดให้กับโปรแกรมซอฟท์แวร์ เมื่อผู้ใช้มีความเข้าใจในระดับหนึ่งแล้วจะสามารถใช้งานโปรแกรมซอฟท์แวร์ได้มากขึ้น จากการเปรียบเทียบโปรแกรมสั่งงานที่สร้างได้จากซอฟท์แวร์กับโปรแกรมสั่งงานที่สร้างขึ้นใช้เองนั้น มีลักษณะที่แตกต่างกันหลายอย่างได้แก่ สัญญลักษณ์ที่ใช้แทนการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง สำหรับโปรแกรมซอฟท์แวร์จะใช้ I และ J เป็นตัวบอกทิศทางของการเคลื่อนที่ในพิกัดของแกน X และแกน Y ตามลำดับ ส่วนโปรแกรมที่สร้างขึ้นเองมักจะใช้ R เป็นตัวบอกขนาดของรัศมีของการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง ในส่วนของขนาดของโปรแกรมสั่งงานที่ได้จากโปรแกรมซอฟท์แวร์จะมีขนาดใหญ่กว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นเอง โดยผลที่ได้ในการสร้างชิ้นงานไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การใช้โปรแกรมซอฟท์แวร์ช่วยในการสร้างโปรแกรมนั้นมีความสะดวกและประหยัดเวลามากกว่า

เมื่อนำโปรแกรมซอฟท์แวร์นี้ไปเปรียบเทียบกับโปรแกรม CAD/CAM อื่นๆ จะเห็นว่าลักษณะของการใช้งาน ขนาดและความสามารถของโปรแกรมมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากโปรแกรม CAD/CAM อื่นๆ จะสร้างโปรแกรมสำหรับวาดแบบขึ้นเองจึงมีความสะดวกในการนำข้อมูลจากการวาดแบบไปใช้สร้างโปรแกรมสั่งงานได้เลย ทำให้สามารถสร้างโปรแกรมสั่งงานได้หลากหลายกว่า แต่ในลักษณะนี้จะเห็นว่าขนาดของโปรแกรมจะมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการนำไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก ในส่วนของโปรแกรมซอฟท์แวร์นี้ผู้วิจัยเน้นว่าต้องการสร้างขึ้นมาเพื่อใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ PC เพราะต้องการความสะดวก ประหยัด ใช้งานได้ง่าย และมีขนาดเล็ก โดยจะต้องสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายเมื่อต้องการจะปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์ให้มีความสามารถมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าโปรแกรมสั่งงานสามารถทำงานได้ในระดับหนึ่งควรจะต้องทำการพัฒนาให้มีความสามารถที่จะทำงานได้มากกว่านี้ทางด้าน ความสามารถในการอ่านข้อมูลจากแบบภาพชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบ โดยผู้ใช้สามารถนำภาพชุดหลายๆ ภาพชุดมาประกอบกันเป็นแบบภาพชิ้นงาน พัฒนาให้สามารถนำข้อมูลของแบบที่วาดเป็นภาพ 3 มิติมาใช้ให้เป็นประโยชน์ซึ่งจะสามารถทำได้แต่จะต้องกำหนดระนาบที่ใช้งานไว้ด้วย โดยทั่วไปจะกำหนดระนาบใช้งานคือระนาบ XY โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะงานของเครื่อง CNC การพัฒนาโปรแกรมให้สามารถสร้างโปรแกรมสั่งงานให้ทำงานได้ในงานกัดหลุมหรือการกว้านได้หลายๆแบบ เนื่องจากโปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่องานวิจัยกับงานกัดเท่านั้นจึงควรที่จะประยุกต์ให้ใช้ได้กับงานอื่นๆ เช่น งานกลึง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ข้าพเจ้าต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นงานวิจัยที่ต้องใช้ความรู้ในหลายสาขาวิชา ทำให้ต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญและผู้มีความรู้เฉพาะด้านหลายท่าน ถึงกระนั้นก็ยังไม่สามารถทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจกระจ่างได้ การไปดูการทำงานจริงในโรงงานทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นจนสามารถทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ และสามารถเขียนขึ้นเป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่มีอุปการคุณทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล งามวิวิทย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี เทศเจริญ

อาจารย์ ดำหริย์ จันทร์แสงสุก

อาจารย์ กวิน สนธิเพิ่มพูน

คุณณรงค์ บริษัทณรงค์การช่าง

ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่ๆและน้องๆทุกคนที่ช่วยให้การทำงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ รวมไปถึงอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์ ที่ให้ความดูแลและเอาใจใส่ตลอดการเป็นนักศึกษาปริญญาโท ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ.ที่นี้ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล งามวิวิทย์

รองศาสตราจารย์ กิตติ ตีรเศรษฐ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิพัฒน์ เลาหสงคราม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวัฒน์ อัตชู

ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าในครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] GEOMETRY OF ENGINEERING DRAWING; HOOD/PALMERLEE/BAER, FIFTH EDITION, McGRAW-HILL, 1985.

[2] การพัฒนาการใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ/ผลิต; ดร.ดิลก ศรีประไพ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, สัมมนาทางวิชาการเรื่อง "การผลิตสมัยใหม่ในอุตสาหกรรมงานโลหะ, 9-10 พฤศจิกายน 2534.

[3] CNC PART PROGRAMMING: A PRACTICAL GUIDE; DAVID GIBBS, D.A.W. Gibbs,1987.

[4] Introduction to Computer Numerical Control; Barry Leatham-Jones, Pitman, London, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1986.

[5] An Introduction to CNC Machining; DAVID GIBBS, second edition, Cassell Publishers Ltd.,1987.

[6] AutoCAD Instant REFERENCE; George Omura, Authorised Edition, Sybex, 1989.

[7] CAD System in Mechanical and Production Engineering; Peter Ingham, Industrial Press Inc., 1990.

[8] CAD/CAM : Computer-Aided Design and Manufacturing; Mikell P. Groover, Emory W. Zimmers, JR., Prentice/Hall International editions, 1984.

[9] CAE A Survey of standards trends and tools; Stephan A. Ohr, John Wiley and Sons, Inc., 1990.

[10] Programming for Numerical Control Machines;.Roberts & Prentice, McGraw-Hill,Inc,1968.

[11] Machine Tool Practices; Richard R. Kibbe, John E. Neely, Roland O. Meyer, Warren T. White, John Wiley & Sons, 1979.

[12] AutoCAD ฉบับพิศดาร : release 10 ; พ.ต.ประพัฒน์ อุทโยภาศ, ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2534.

[13] CNC Technology and Programming; Steve Krar, Arthur Gill, McGraw-Hill, Inc., 1990.

[14] Computer Numerical Control Programming; Michael Sava, Joseph Pusztai, Prentice-Hall, Inc., 1990.

[15] Computer Graphics : A Programming Approach; Steven Harrington,second edition, McGraw-Hill Book Co.,1987.

[16] Computer Control of Manufacturing Systems; Yoram Koren,International Student Edition, McGraw-Hill Book Company Japan, 1983.

[17] CIM SYSTEM : An Introduction to Computer-Integrated Manufacturing;F.H. Mitchell, Jr., Prentice-Hall, Inc.,1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] การออกแบบและพัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อการเรียนรู้ภาษาเครื่อง CNC; นางสาวสุธาทิพย์ จิวัธยากูล, ผศ. ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14, 7-8 พฤศจิกายน 2534.

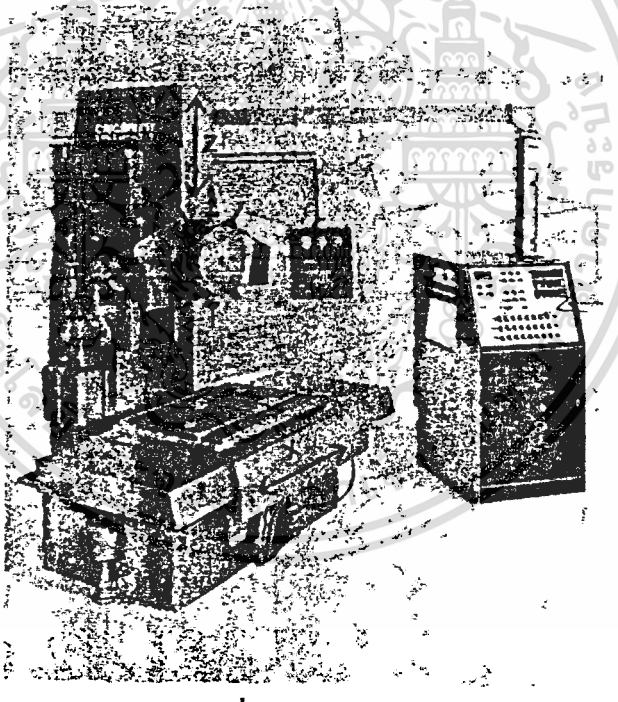
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. รูปแบบการทำงานพื้นฐานของเครื่องจักร CNC (Machine types)

ก1. เครื่องเจาะแบบหมุนแกนเดียว (Single-Spindle Drilling Machine)

ระบบควบคุมที่ง่ายที่สุดแบบหนึ่งของเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบเชิงตัวเลขคือ เครื่องจักรแบบหมุนแกนเดียวดังตัวอย่างจริงในรูป ก1. เครื่องจักรประเภทนี้สามารถโปรแกรมสั่งงานแบบ 3 แกน โดยแต่ละแกนจะทำหน้าที่ดังนี้

- แกน X จะควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่น (table) ให้ไปทางซ้ายหรือขวา
- แกน Y จะควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นในทิศทางเข้าหรือออกจากตัวเครื่อง
- แกน Z จะควบคุมการขึ้นหรือลงของแกนหมุนในการเจาะรูให้ลึกเท่าที่ต้องการ



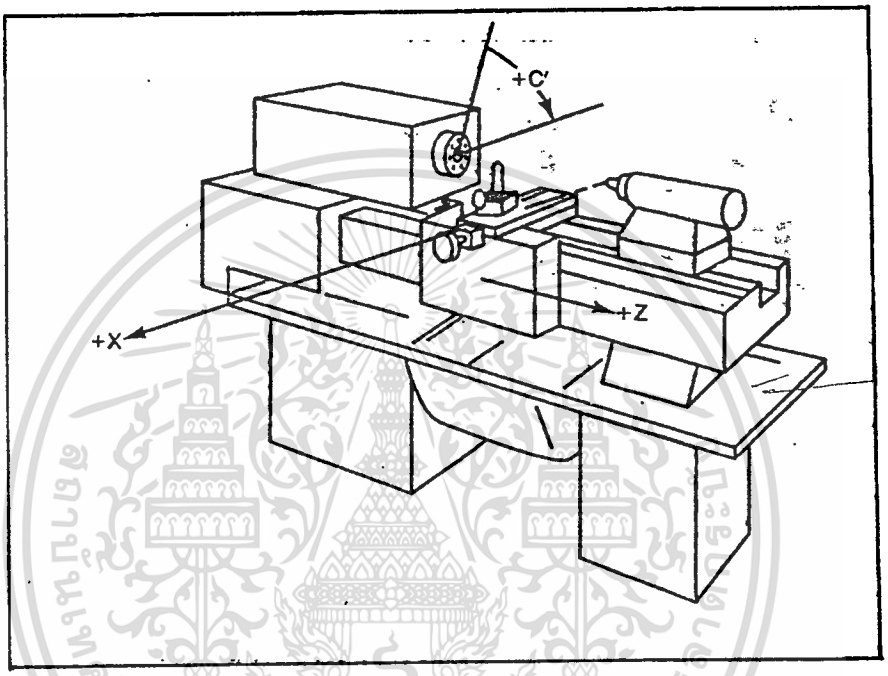
รูป ก1. เครื่องเจาะหมุนแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. เครื่องกลึง (Lathe Machine)

เครื่องกลึงเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิตมาก มีความสามารถในการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะกลม เครื่องกลึงมีลักษณะดังรูป ก2. การโปรแกรมการสั่งงานของเครื่องกลึงจะใช้แบบ 2 แกน ดังนี้

- แกน X จะควบคุมการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของแท่น ที่อยู่ในแนวขวางของเครื่อง
- แกน Z จะควบคุมการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของแท่น เทียบกับใบมีด



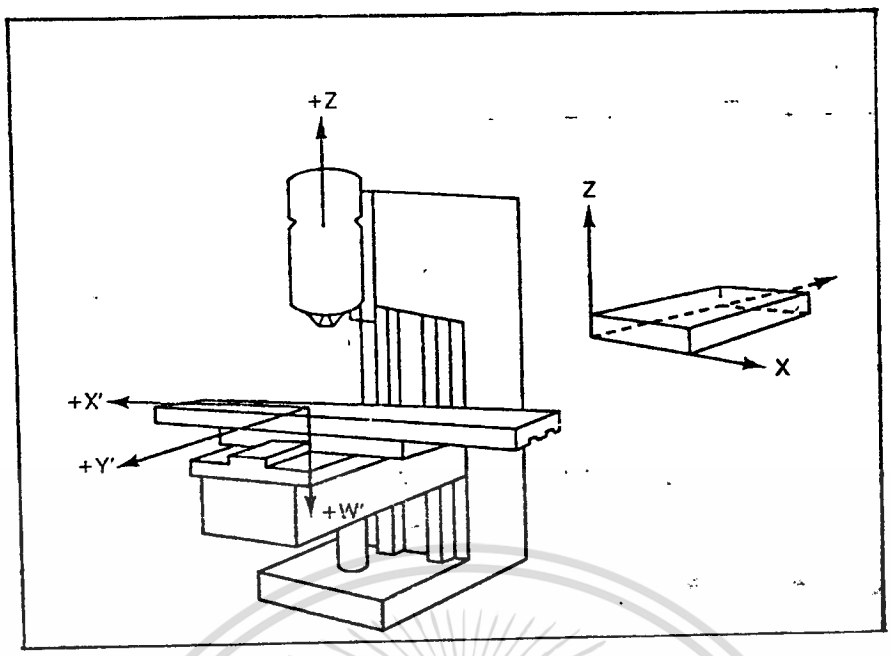
รูป ก2. เครื่องกลึง

ก3. เครื่องกัด (Milling Machine)

เครื่องกัดเป็นเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้หลายอย่างในขบวนการผลิต เครื่องกัดมีลักษณะดังรูป ก3. ความสามารถของเครื่องกัดนอกจากงานกัดแล้วยังสามารถทำงานในด้านการเดินขอบ (contouring) การทำเฟือง (gear cutting) การเจาะ (drilling) การคว้าน (boring) และอื่นๆ โดยเพียงแต่เปลี่ยนใบมีดให้เหมาะกับการใช้งาน สำหรับเครื่องกัดจะโปรแกรมการทำงานด้วยระบบ 3 แกน คือ

- แกน X จะควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นในแนวซ้ายหรือขวา
- แกน Y จะควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นเข้าหรือออกจากกตัวเครื่อง
- แกน Z จะควบคุมการเคลื่อนที่ของใบมีดในแนวตั้งฉากโดยการขึ้นหรือลงขณะที่แกนนี้หมุนไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก3. เครื่องกัด

ก4. Turning Center

Turning Center เป็นเครื่องจักรที่ใช้ระบบควบคุมเชิงตัวเลขและทำงานในลักษณะเดียวกับเครื่องกลึง แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าคือมีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากกว่า นอกจากนั้นยังให้ปริมาณการผลิตที่มากกว่าที่เครื่องกลึงจะทำได้ด้วย ลักษณะการควบคุมการทำงานขั้นพื้นฐานของ Turning Center ใช้เพียง 2 แกนในการสั่งงาน

ก5. Machining Center

ลักษณะของ Machining Center ดังรูป ก4.เป็นเครื่องจักรที่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้มากเครื่องจักรทั่วไป เพราะว่าสามารถควบคุมการปฏิบัติงานของชิ้นงานแบบหนึ่งด้วยการตั้งเครื่องเพียงครั้งเดียว เนื่องจากเครื่อง Machining Center มีรูปแบบของการทำงาน 2 แบบคือ แบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน (horizontal spindle) และแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง (vertical spindle)

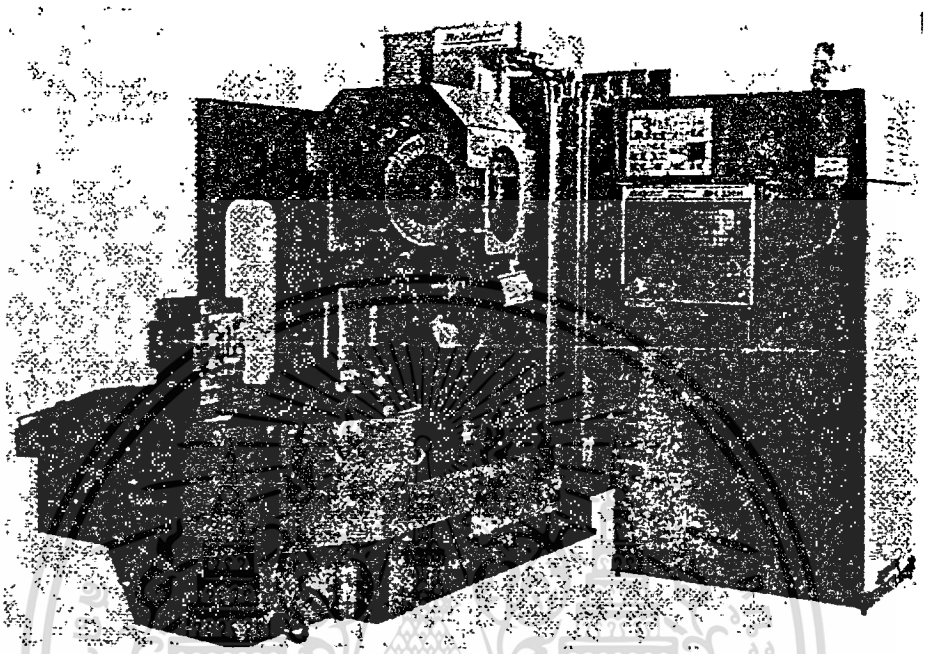
แบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน สามารถโปรแกรมการสั่งงานแบบ 3 แกน คือ

- แกน X ควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นในแนวซ้ายหรือขวา
- แกน Y ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนหมุนในแนวตั้งฉากเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง
- แกน Z ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนหมุนในแนวนอนเป็นการเคลื่อนที่เข้าหรือออก

แบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้งฉาก สามารถโปรแกรมสั่งงานแบบ 3 แกน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แกน X ควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นในแนวซ้ายหรือขวา
- แกน Y ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนหมุนในแนวนอนเป็นการเคลื่อนที่เข้าหรือออก
- แกน Z ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนหมุนในแนวตั้งฉากเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง



รูป ก4. Machining Center

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

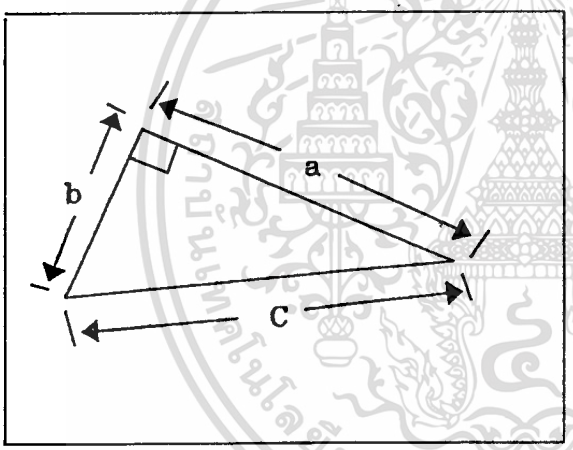
ข. คณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

คณิตศาสตร์พื้นฐานในที่นี้จะหมายถึงเฉพาะคณิตศาสตร์ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ ซึ่งได้แก่ ฟังก์ชันทางเรขาคณิต เวคเตอร์ สมการเส้นตรงและเส้นโค้ง เป็นต้น

ข1. ฟังก์ชันทางเรขาคณิต

ข1.1 ทฤษฎีปีธากอรัส (Pythagorean Theorem)

เป็นทฤษฎีบทที่ว่า ด้านทแยงของสามเหลี่ยมมุมฉากยกกำลังสอง มีค่าเท่ากับด้านฐานยกกำลังสองบวกด้วยอีกด้านหนึ่งยกกำลังสอง ดังนี้



$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$a = (c^2 - b^2)^{1/2}$$

$$b = (c^2 - a^2)^{1/2}$$

$$c = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

ข1.2 ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย (Similar Triangles)

เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงสามเหลี่ยม 2 รูปมีมุมเท่ากันทั้งสามมุม แต่ขนาดของด้านไม่เท่ากัน ซึ่งสามเหลี่ยมลักษณะนี้ถือว่าเป็นสามเหลี่ยมคล้าย โดยจะหาขนาดของด้านสามเหลี่ยมแต่ละด้านได้ดังนี้

$$c_1/c = a_1/a$$

$$a_1/a = b_1/b$$

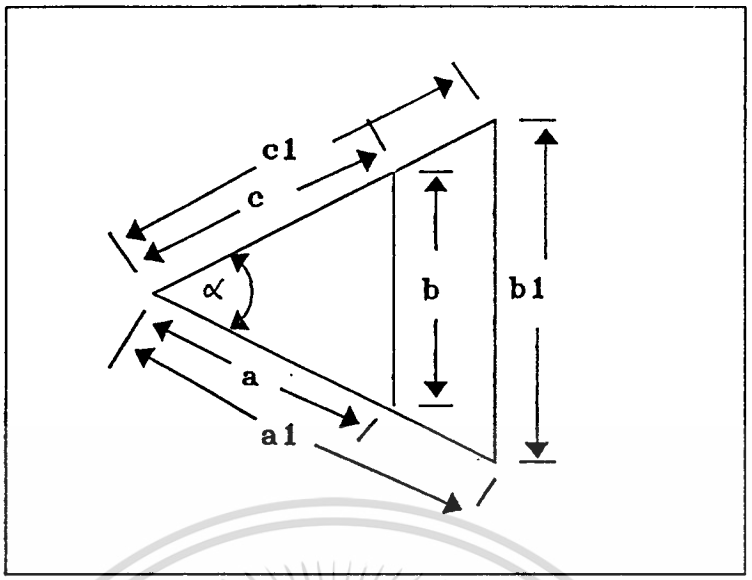
$$b_1/b = c_1/c$$

$$a_1 = a.b_1/b \; ; \; a = a_1.b/b_1$$

$$b_1 = b.c_1/c \; ; \; b = b_1.c/c_1$$

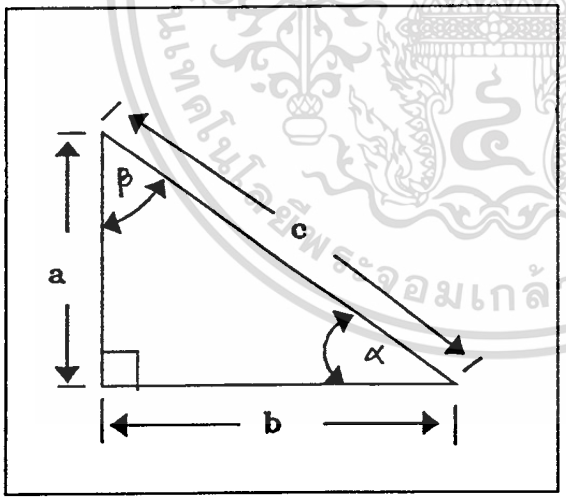
$$c_1 = c.a_1/a \; ; \; c = c_1.a/a_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข1.3 ทฤษฎี sine และ cosine

ทฤษฎี sine และ cosine เป็นการบอกถึงความสัมพันธ์ของมุมที่ประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยจะอ้างถึงสามเหลี่ยมที่มีมุมหนึ่งมุมใดเป็นมุมฉาก สำหรับทฤษฎีของ sine เป็นการบอกค่าของมุมที่มีค่าเท่ากับด้านตรงข้ามมุมหารด้วยด้านตรงข้ามมุมฉาก ส่วนทฤษฎี cosine เป็นการบอกค่าของมุมที่มีค่าเท่ากับด้านชิดมุมหารด้วยด้านตรงข้ามมุมฉาก ดังนี้



$\sin(\alpha) = \cos(\beta)$

$\sin(\alpha) = a/c$

$a = c.\sin(\alpha)$

$c = a/\sin(\alpha)$

$\cos(\alpha) = b/c$

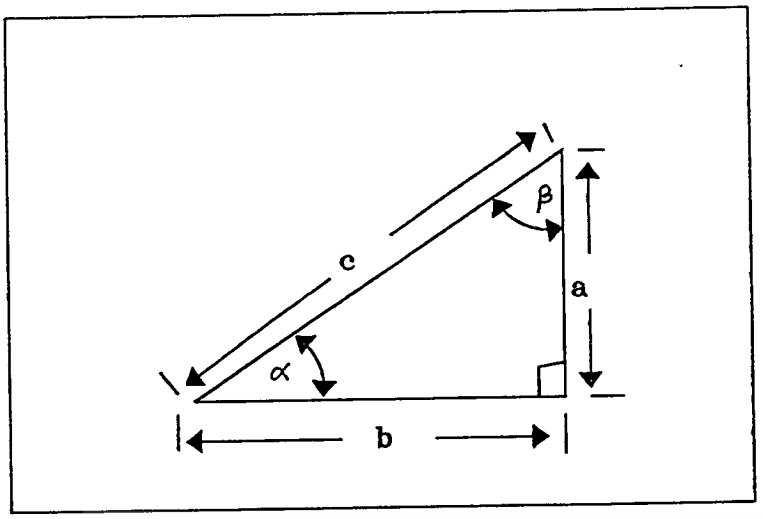
$b = c.\cos(\alpha)$

$c = b/\cos(\alpha)$

ข1.4 ทฤษฎี tangent และ cotangent

ทฤษฎี tangent และ contangent เป็นอีกทฤษฎีหนึ่งที่ใช้ได้กับสามเหลี่ยมที่มีมุมหนึ่งของสามเหลี่ยมเป็นมุมฉาก ทฤษฎี tangent เป็นทฤษฎีที่บอกค่าของความชัน จะมีค่าเท่ากับด้านตรงข้ามมุมหารด้วยด้านประชิดมุม ส่วนทฤษฎี cotangent มีค่ากลับเศษเป็นส่วนกับค่าของ tangent คือมีค่าเท่ากับด้านประชิดมุมหารด้วยด้านตรงข้ามมุมที่พิจารณา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\tan(\alpha) = \cot(\beta)$

$\tan(\alpha) = a/b$

$a = b.\tan(\alpha) \quad b = a/\tan(\alpha)$

$\cot(\alpha) = b/a \quad b = a.\cot(\alpha)$

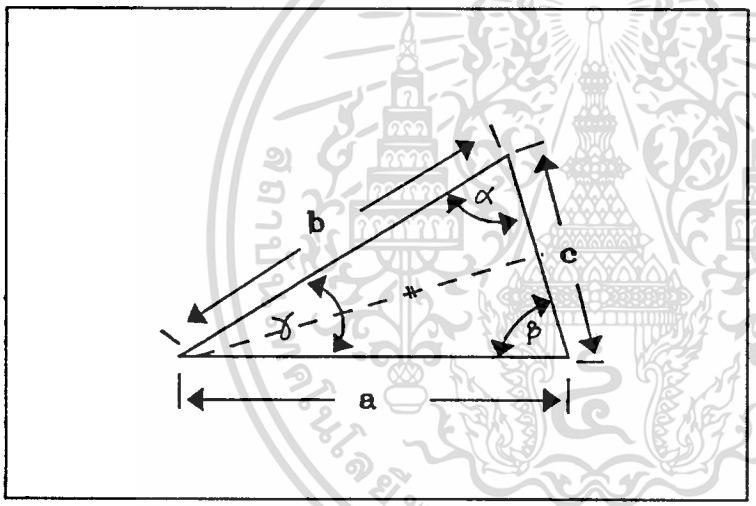
$a = b/\cot(\alpha)$

$\tan(\alpha) = \sin(\alpha)/\cos(\alpha)$

$\cot(\alpha) = \cos(\alpha)/\sin(\alpha)$

ข1.5 ทฤษฎีสามเหลี่ยมทแยง (oblique triangles)

เป็นทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับสามเหลี่ยมที่ไม่มีมุมใดเป็นมุมฉาก สามารถที่จะหาขนาดของด้านที่ประกอบเป็นรูปสามเหลี่ยมได้จากความสัมพันธ์ของ sin กับ cos ในด้านที่เท่ากัน ดังนี้



$\gamma = 180 - (\alpha+\beta)$

$b.\sin(\alpha) = a.\sin(\beta)$

$\sin(\alpha) = (a/b)\sin(\beta)$

$b.\sin(\gamma) = c.\sin(\beta)$

$a = b.\sin(\alpha)/\sin(\beta)$

$b = a.\sin(\beta)/\sin(\alpha)$

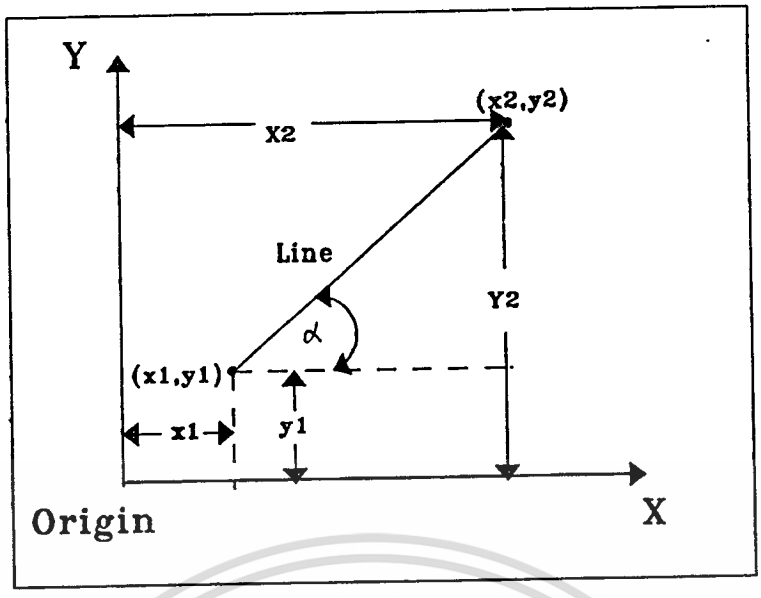
$c = b.\sin(\gamma)/\sin(\beta) = a.\sin(\gamma)/\sin(\alpha)$

ข2. สมการเส้นตรงกับวงกลม

ข2.1 สมการเส้นตรง

เป็นสมการที่บอกความสัมพันธ์ของจุดในตำแหน่ง x และตำแหน่ง y โดยแต่ละจุดนี้จะประกอบกันเป็นเส้นตรง มีขนาดของมุมเป็นตัวกำกับทิศทางของเส้น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$Y = mX + b$$

X และ Y เป็นตำแหน่งใดๆ บนเส้นตรง

$m = \tan(\alpha)$

b เป็นค่าคงที่ใดๆ

ข2.2 สมการวงกลม

เป็นสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของจุดที่ประกอบกันเป็นเส้นกับขนาดของรัศมีของวงกลมดังรูป ซึ่งถ้าจุดศูนย์กลางของวงกลมเป็นจุดกำเนิดในระบบพิกัด จะได้สมการของวงกลมเป็น

$$R^2 = X^2 + Y^2$$

ถ้าจุดศูนย์กลางของวงกลมไม่ได้อยู่ที่จุดกำเนิดในระบบพิกัด แต่ตั้งอยู่ที่จุด $P(X_c,Y_c)$ จะได้สมการของวงกลมเป็น

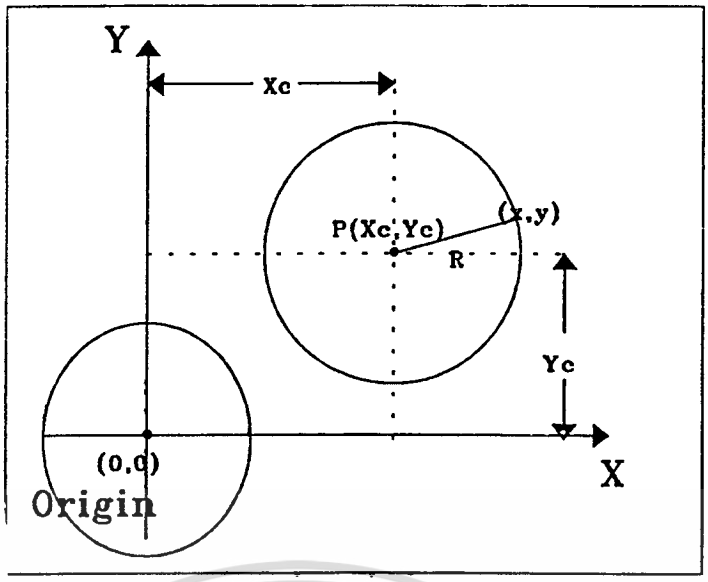
$$R^2 = (X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2$$

โดยที่ R เป็นรัศมีของวงกลม

X เป็นพิกัดในแนวแกน x

Y เป็นพิกัดในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข3. เวคเตอร์ (vector)

ข3.1 ส่วนประกอบของเวคเตอร์ (component form)

$$\vec{A} = A_X\hat{a}_X + A_Y\hat{a}_Y + A_Z\hat{a}_Z$$

และได้ขนาดของเวคเตอร์ A เท่ากับ

$$|\vec{A}| = [\, A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2 \,]^{1/2}$$

และเวคเตอร์หนึ่งหน่วยของเวคเตอร์ A คือ

$$\hat{a}_A = \vec{A} / |\vec{A}|$$

โดยที่ $\vec{A}$ เป็นเวคเตอร์ใดๆ

A_X, A_Y, A_Z เป็นขนาดของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ

$\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$ เป็นเวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่อยู่บนแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ

$\hat{a}_A$ เป็นเวคเตอร์หนึ่งหน่วยของเวคเตอร์

ข3.2 ผลคูณแบบสเกลลา (dot product)

$$\vec{A}.\vec{B} = |\vec{A}|\,|\vec{B}|\cos(\theta)$$

$$\vec{A}.\vec{B} = A_XB_X + A_YB_Y + A_ZB_Z$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{A}.\vec{A} = |\vec{A}|^2 = A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2$$

โดยที่ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นเวคเตอร์ใดๆ

A_X, A_Y, A_Z เป็นขนาดของแกน X แกน Y และแกน Z ของเวคเตอร์ A ตามลำดับ

B_X, B_Y, B_Z เป็นขนาดของแกน X แกน Y และแกน Z ของเวคเตอร์ B ตามลำดับ

θ เป็นมุมระหว่าง $\vec{A}$ และ $\vec{B}$

ข3.3 ผลคูณแบบเวคเตอร์ (cross product)

$$\vec{A} \times \vec{B} = [\vec{A}\,\vec{B}\sin(\theta)]\vec{a}_n$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_X a_x + A_Y a_y + A_Z a_z) \times (B_X a_x + B_Y a_y + B_Z a_z)$$

$$= (A_Y B_Z - A_Z B_Y)a_x + (A_Z B_X - A_X B_Z)a_y + (A_X B_Y - A_Y B_X)a_z$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ A_X & A_Y & A_Z \\ B_X & B_Y & B_Z \end{vmatrix}$$

โดยที่ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นเวคเตอร์ใดๆ

A_X, A_Y, A_Z เป็นขนาดของเวคเตอร์ A ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ

B_X, B_Y, B_Z เป็นขนาดของเวคเตอร์ B ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ

$\vec{a}_x, \vec{a}_y, \vec{a}_z$ เป็นเวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่อยู่บนแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ

$\vec{a}_n$ เป็นเวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากกับเวคเตอร์ A และเวคเตอร์ B

θ เป็นมุมระหว่าง A และ B

ข4. วิธีการหาจุดตัด (Intersection point)

การหาจุดตัดระหว่างเส้นที่พาดผ่านกันนั้นมีหลายรูปแบบ แล้วแต่ลักษณะของเส้นที่มาตัดกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก) จุดตัดระหว่างเส้นตรงกับเส้นตรง

ข) จุดตัดระหว่างเส้นตรงกับเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) จุดตัดระหว่างเส้นโค้งกับเส้นโค้ง

ข4.1 การหาจุดตัดระหว่างเส้นตรงกับเส้นตรง

สมมุติว่ามีเส้นตรง 2 เส้นตัดกันดังรูป ข1. ให้เส้นตรงเส้นที่หนึ่งมีสมการเป็น

$$y_1 = m_1x_1 + b_1 \qquad \text{-----(1)}$$

และสมการเส้นที่ 2 เป็น

$$y_2 = m_2x_2 + b_2 \qquad \text{-----(2)}$$

และสมมุติให้จุดตัดอยู่ที่ P(x,y)
นำพิกัดของจุดตัดไปแทนในสมการที่ (1)

จะได้ $y = m_1x + b_1$ -----(3)

และแทนในสมการที่ (2)

จะได้ $y = m_2x + b_2$ -----(4)

จะได้ว่าสมการที่ (3) = สมการที่ (4)

$$m_1x + b_1 = m_2x + b_2$$

$$x(m_1 - m_2) = b_2 - b_1$$

เพราะฉะนั้นจะได้

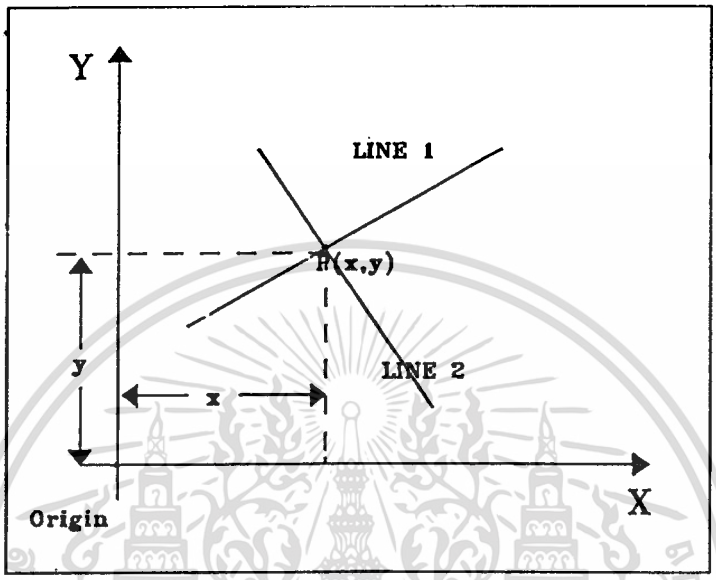
$$\boxed{x = (b_2 - b_1)/(m_1 - m_2)}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = m_1(b_2 - b_1)/(m_1 - m_2) + b_1$$

สมการที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ได้โดยแทนค่าคงที่และค่าความชันก็จะได้จุดตัดของเส้น 2 เส้น



รูป ข1. แสดงเส้นตรงตัดกัน 2 เส้น

ข4.2 การหาจุดตัดระหว่างเส้นตรงกับเส้นโค้ง

ในพิกัดของจุดที่ตัดกันของเส้นตรงกับเส้นโค้งจะต้องสมดุลย์กันทั้งสองสมการดังรูป ข2. สมมุติให้เส้นตรงมีสมการเป็น

$$y_1 = m_1x_1 + b_1 \qquad \text{-----(5)}$$

และสมการเส้นโค้งเป็น

$$r^2 = (x_2 - x_c)^2 + (y_2 - y_c)^2 \qquad \text{-----(6)}$$

โดยกำหนดให้ตัดกันที่จุด P(x,y) นำจุดตัดไปแทนค่าในสมการที่ (5) จะได้

$$y = m_1x + b_1 \qquad \text{-----(7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนในสมการที่ (6) จะได้

$$r^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \qquad \text{-----(8)}$$

พิจารณาในสมการที่ (8) ได้

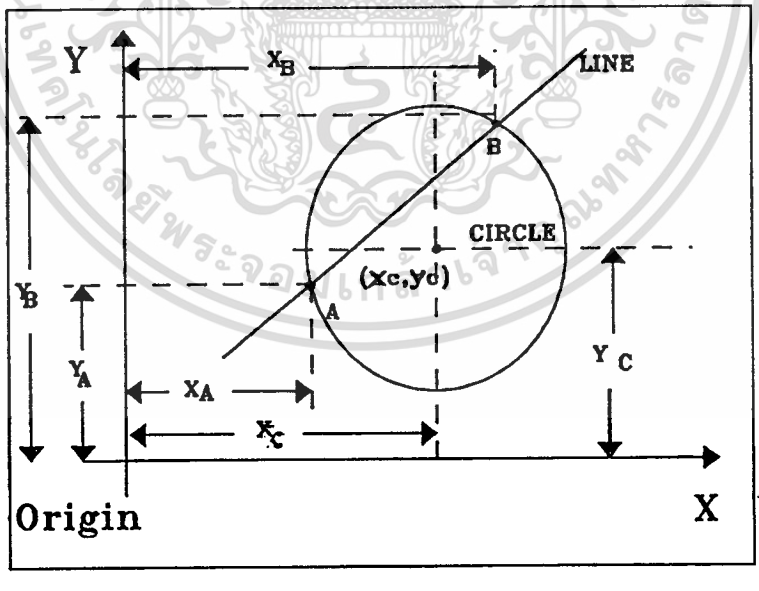
$$(y - y_c)^2 = r^2 - (x - x_c)^2$$

$$y = \pm(r^2 - [x - x_c]^2)^{1/2} + y_c \qquad \text{-----(9)}$$

เทียบกับสมการที่ (7) กับสมการที่ (9) จะได้

$$y = m_1 x + b_1 = \pm(r^2 - [x - x_c]^2)^{1/2} + y_c$$

สมการที่ได้เมื่อนำค่าของตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง ค่าคงที่ และรัศมีของวงกลม มาแทนก็จะได้ตำแหน่งของจุดตัด



รูป ข2. แสดงจุดตัดของเส้นตรงตัดกับเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4.3 การหาจุดตัดระหว่างเส้นโค้งกับเส้นโค้ง

ความสมดุลย์ในสมการวงกลม 2 เส้นตัดกันนั้น เมื่อพิจารณาจะพบว่ามีจุดตัดถึง 2 จุดดังรูปข3. ซึ่งสามารถหาจุดตัดได้ดังนี้

สมมุติให้วงกลมเส้นที่ 1 มีสมการเป็น

$$r_1^2 = (x_1 - x_{c1})^2 + (y_1 - y_{c1})^2 \qquad \text{-----(10)}$$

และให้สมการเส้นที่ 2 เป็น

$$r_2^2 = (x_2 - x_{c2})^2 + (y_2 - y_{c2})^2 \qquad \text{-----(11)}$$

กำหนดให้ P(x,y) เป็นจุดตัด

จากสมการ(10) จะได้

$$r_1^2 = (x - x_{c1})^2 + (y - y_{c1})^2 \qquad \text{----(12)}$$

และสมการ (11)จะได้

$$r_2^2 = (x - x_{c2})^2 + (y - y_{c2})^2 \qquad \text{-----(13)}$$

จากสมการ (12)

$$y = \pm(r_1^2 - [x - x_{c1}]^2)^{1/2} + y_{c1} \qquad \text{-----(14)}$$

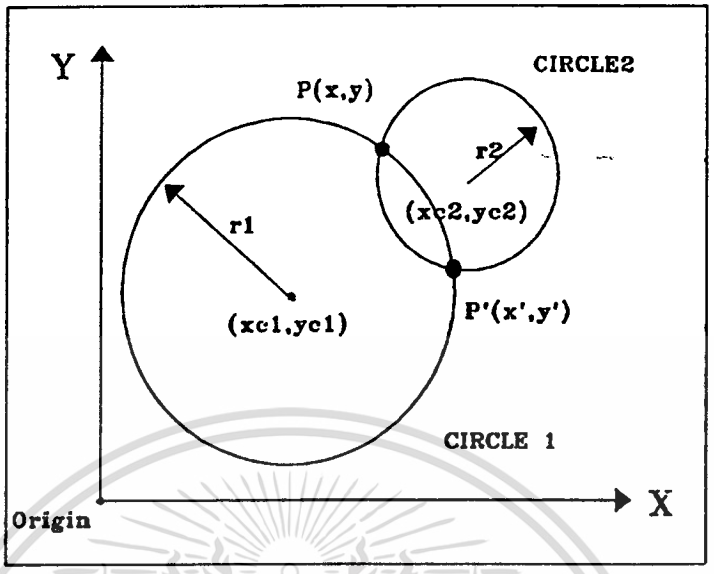
จากสมการ (13)

$$y = \pm(r_2^2 - [x - x_{c2}]^2)^{1/2} + y_{c2} \qquad \text{-----(15)}$$

สมการที่(14) = สมการที่(15)เพราะฉะนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = \pm(r_1^2 - [x-x_{c1}]^2)^{1/2} + y_{c1} \quad = \pm(r_2^2 - [x-x_{c2}]^2)^{1/2} + y_{c2}$$



รูป ข3. แสดงจุดตัดของเส้นโค้ง 2 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค การคำนวณหาจุดตัดของเส้น 2 เส้นเพื่อหาตำแหน่งของใบมีดโดยทั่วไป

ค1 กรณีเส้นตรงตัดเส้นตรง

จากการพิจารณาเพื่อคำนวณหาเส้นทางเดินของใบมีดในลักษณะของเส้นตรงต่อเนื่องกับเส้นตรง ทำให้พบลักษณะของการคำนวณหาจุดตัดที่แตกต่างกันออกไปโดยสามารถแยกพิจารณาได้ 3 แบบคือ

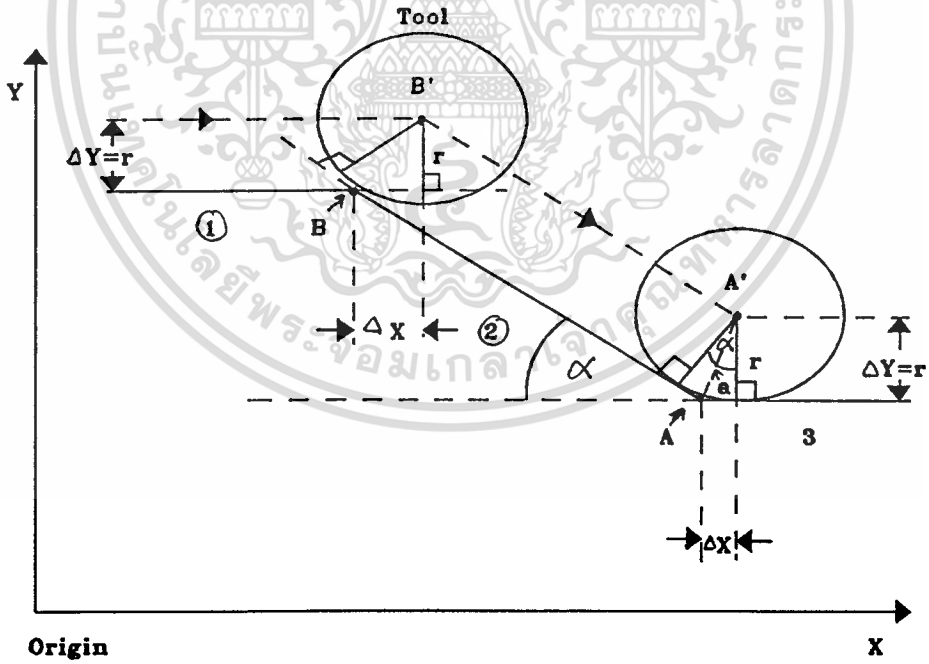
ก) แบบเส้นตรงเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแกน X

ข) แบบเส้นตรงเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแกน Y

ค) แบบไม่มีเส้นตรงใดขนานกับแกน X และแกน Y

ค1.1 แบบเส้นตรงเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแกน X

การพิจารณาในลักษณะนี้ได้ยกตัวอย่างดังรูป ค1. ในที่นี้ตำแหน่งที่ต้องการคือ B/ และ A/



รูป ค1. แสดงเส้นทางเดินของใบมีดที่เส้นตรงเส้นหนึ่งขนานกับแกน X

จากรูปกำหนดให้

A/ เป็นจุดตัดเทียบกับจุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B/ เป็นจุดตัดเทียบกับจุด B

r เป็นรัศมีของใบมีด

a เป็นระยะจาก A ไปยัง A/ หรือระยะจาก B ไปยัง B/

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

α เป็นมุมระหว่างเส้นตรงเส้นที่ 2 กับแกน X

การคำนวณหาจุดตัดในลักษณะนี้จะได้ว่า เส้นตรงที่ขนานกับแกน X จะมีตำแหน่งของใบมีดอยู่ที่ r ในตำแหน่งของแกน Y ซึ่งก็คือ

$$\Delta y = r$$

พิจารณาที่จุด A และ A/ จะได้

$$r = a.\cos(\alpha/2) \qquad \text{(จากภาคผนวก ข.)}$$

เพราะฉะนั้น

$$a = r/\cos(\alpha/2)$$

และได้

$$x = a.\sin(\alpha/2) \qquad \text{(จากภาคผนวก ข.)}$$

แทนค่า a จะได้

$$\Delta x = [\, r/\cos(\alpha/2) \,].\sin(\alpha/2)$$

$$= r.\tan(\alpha/2)$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด A/(X,Y) เทียบกับจุด $A(X_A,Y_B)$

$$X = X_A + \Delta x = X_A + r.\tan(\alpha/2)$$

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

และได้จุดตัด B/(X,Y) เทียบกับจุด $B(X_B,Y_B)$

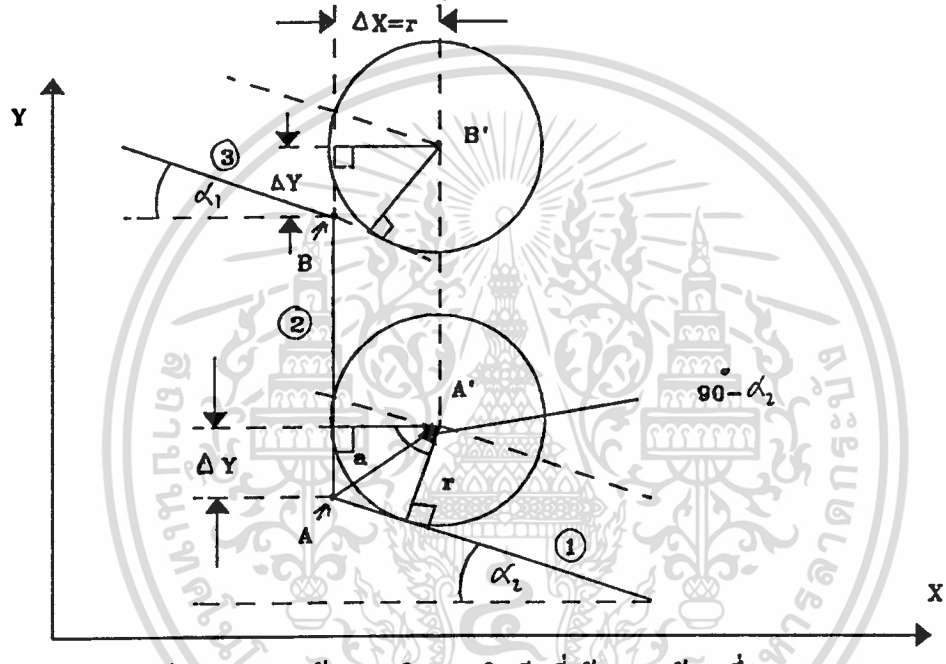
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X = X_B + \Delta x = X_B + r.\tan(\alpha/2)$$

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

ค1.2 แบบเส้นตรงเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแกน Y

การพิจารณาลักษณะนี้ได้ยกตัวอย่างดังรูป ค2. โดยต้องการหาจุดตัดที่ตำแหน่ง A/ และ B/



รูป ค2. แสดงเส้นทางเดินของใบมีดที่เส้นตรงเส้นหนึ่งขนานแกน Y

จากรูปได้กำหนดให้

A/ เป็นจุดตัดเทียบกับจุด A

B/ เป็นจุดตัดเทียบกับจุด B

r เป็นรัศมีของใบมีด

a เป็นระยะห่างจาก A ไปยัง A/

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

α_2 เป็นมุมระหว่างเส้นตรงเส้นที่ 1 กับแกน X

α_1 เป็นมุมระหว่างเส้นตรงเส้นที่ 3 กับแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะนี้เส้นทางเดินของใบมีดของเส้นตรงที่ขนานกับแกน Y จะมีตำแหน่งของใบมีดอยู่ที่ r ในตำแหน่งของแกน X ซึ่งก็คือ

$$\Delta x = r$$

พิจารณาที่จุด A และ A/ จะได้

$$r = a.\cos([90^{\circ} - \alpha_1]/2) \qquad \text{(จากภาคผนวก ข.)}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $a = r/\cos([90^{\circ} - \alpha_1]/2)$

และ $\Delta y = a.\sin([90^{\circ} - \alpha_1]/2)$

แทนค่า a จะได้ $\Delta y = [r/\cos([90^{\circ} - \alpha_1]/2)].\sin([90^{\circ} - \alpha_1]/2)$

$$= r.\tan(45^{\circ} - [\alpha_1/2])$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด A/(X,Y) เทียบกับจุด $A(X_B,Y_B)$

$$X = X_A + \Delta x = X_A + r$$

$$Y = Y_A + \Delta y = Y_A + r.\tan(45^{\circ} - [\alpha_1/2])$$

และได้จุดตัด B/(X,Y) เทียบกับจุด $B(X_B,Y_B)$ จะได้

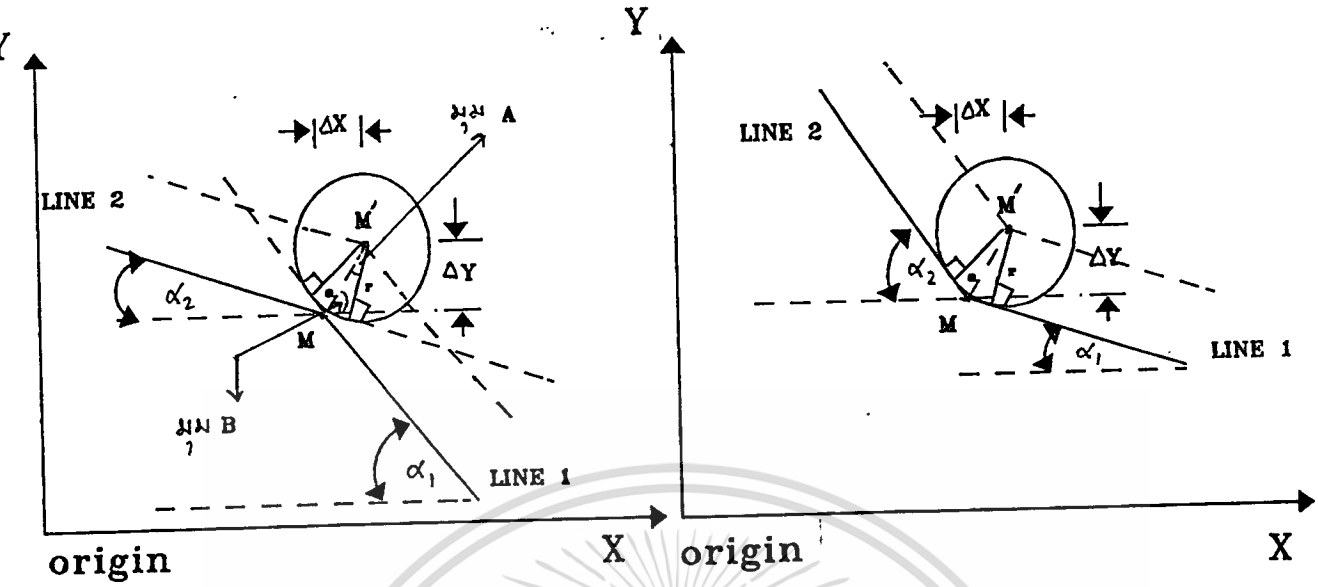
$$X = X_B + \Delta x = X_B + r$$

$$Y = Y_B + \Delta y = Y_B + r.\tan(45^{\circ} - [\alpha_1/2])$$

ค1.3 แบบไม่มีเส้นตรงขนานกับแกน X และแกน Y

สำหรับกรณีนี้ได้ยกตัวอย่างดังรูป ค3. ได้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่มุมระหว่างเส้นตรง 2 เส้นมากกว่า 180 องศาและแบบที่น้อยกว่า 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กรณี α_1 มากกว่า α_2 (ข) กรณี α_1 น้อยกว่า α_2

รูป ค3. แสดงลักษณะของเส้นตรงที่ไม่ขนานแกน X และแกน Y

จากรูปได้กำหนดให้

M/ เป็นจุดตัดที่ต้องการเทียบกับจุด M

r เป็นรัศมีของใบมีด

a เป็นระยะห่างระหว่าง M กับ M/

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

α_1 เป็นมุมระหว่าง LINE 1 กับแกน X

α_2 เป็นมุมระหว่าง LINE 2 กับแกน Y

B เป็นมุมระหว่างเส้นตรง MM/ กับแกน X

A เป็นมุมระหว่างเส้นตรง MM/ กับเส้นตั้งฉากของ LINE 2

กรณีนี้ต้องการหาจุดตัด M/ พิจารณาเฉพาะรูป ค3(ก). จากรูปจะได้

$$\text{มุม A} = (\alpha_1 - \alpha_2)/2$$

$$\text{มุม B} = 90^{\circ} - (\alpha_1 + \alpha_2)/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้ $a = r/\cos([\alpha_1 - \alpha_2]/2)$

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

$$= a.\cos(90^{\circ} - [\alpha_1 + \alpha_2]/2)$$

$$= a.\sin([\alpha_1 + \alpha_2]/2)$$

แทนค่า a ลงในสมการจะได้

$$\Delta x = (r/\cos[(\alpha_1 - \alpha_2)/2]) . \sin([\alpha_1 + \alpha_2]/2)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $\Delta x = r.[\sin([\alpha_1 + \alpha_2]/2) / \cos([\alpha_1 - \alpha_2]/2)]$

ส่วน $\Delta y = a.\sin(B)$

$$= a.\sin(90^{\circ} - [(\alpha_1 + \alpha_2)/2])$$

$$= a.\cos([\alpha_1 + \alpha_2]/2)$$

แทนค่า a จะได้ $\Delta y = (r/\cos([\alpha_1 - \alpha_2]/2)).\cos([\alpha_1 + \alpha_2]/2)$

เพราะฉะนั้นจะได้ $\Delta y = r.[\cos([\alpha_1 + \alpha_2]/2) / \cos([\alpha_1 - \alpha_2]/2)$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัด $M'(X,Y)$ เทียบกับจุด $M(X_M, Y_M)$

$$X = X_M + \Delta x$$

$$= X_M + r.[\sin([\alpha_1 + \alpha_2]/2) / \cos([\alpha_1 - \alpha_2]/2)]$$

$$Y = Y_M + \Delta y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= Y_M + r.[\cos([\alpha_1+\alpha_2]/2) / \cos([\alpha_1-\alpha_2]/2)$

ค2. กรณีเส้นตรงตัดเส้นโค้ง

ลักษณะของเส้นทางโดยเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งหรือเส้นโค้งต่อกับเส้นตรงจะต้องมีการแยกพิจารณาในลักษณะของการทำงานดังนี้

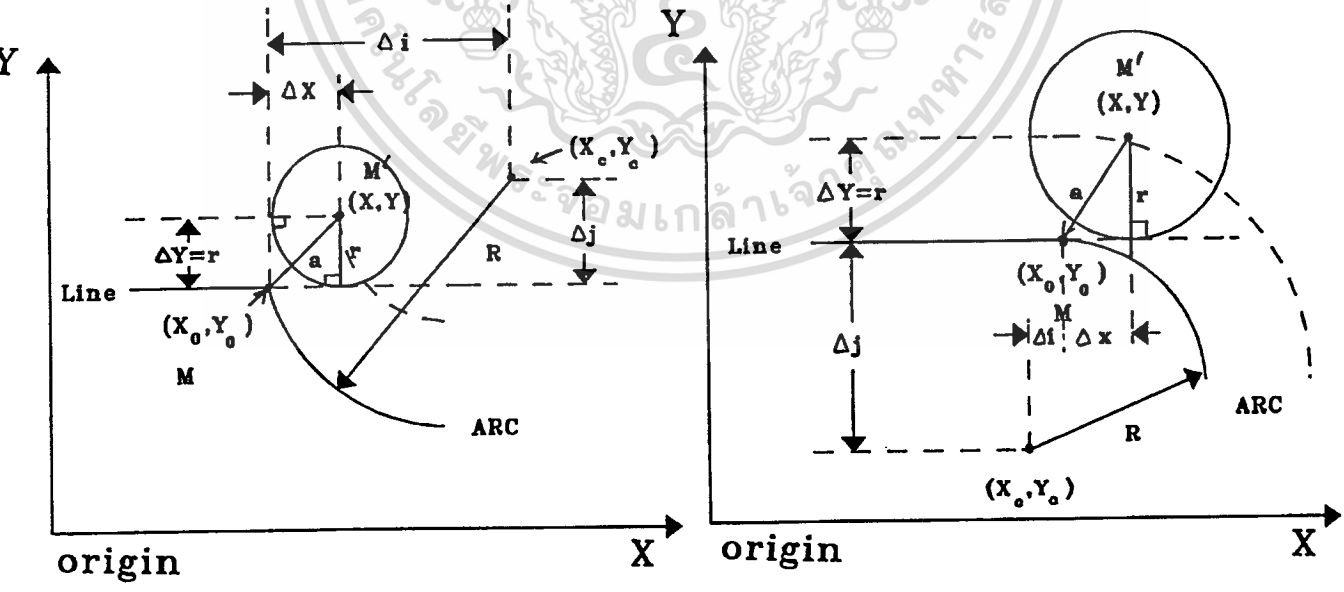
ก) ส่วนของเส้นตรงขนานกับแกน X

ข) ส่วนของเส้นตรงขนานกับแกน Y

ค) ส่วนของเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y

ค2.1 กรณีเส้นตรงขนานกับแกน X

กรณีเส้นตรงขนานกับแกน X สามารถพิจารณาได้ดังรูป ค4. ซึ่งสามารถที่จะแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่นอกขอบของภาพและแบบที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่ภายในขอบของภาพ



(ก) จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่นอกขอบภาพ (ข) จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่ภายในขอบภาพ

รูป ค4. แสดงเส้นตรงต่อกับโค้งในลักษณะเส้นตรงขนานกับแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปประกอบด้วยเส้นตรงและเส้นโค้ง กำหนดให้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดของเส้นตรงกับเส้นโค้งอยู่ที่ M/(X,Y)

จากรูปได้กำหนดให้

M/ เป็นจุดตัดที่ต้องการเทียบกับจุด M

r เป็นรัศมีของใบมีด

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

a เป็นระยะห่างระหว่าง M กับ M/

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

(x_c,y_c) เป็นจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง

Δi เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

Δj เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y

พิจารณารูป ค4.(ก) เนื่องจากส่วนของเส้นตรงขนานกับแกน X ดังนั้นจะได้

$$\Delta y = r$$

และ $$\Delta x = \Delta i - [\,(R-r)^2-(\Delta j-r)^2\,]^{1/2}$$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดอยู่ที่ M/(X,Y) เทียบกับ $M(X_o,Y_o)$

$$X = X_o + \Delta x$$

$$= X_o + \Delta i - [\,(R-r)^2-(\Delta j-r)^2\,]^{1/2}$$

$$Y = Y_o + \Delta y$$

$$= Y_o + r$$

โดยที่ $$\Delta i = x_c - X_o$$

$$\Delta j = y_c - Y_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูป ค4.(ข) จะได้

$$\Delta y = r$$

และ $$\Delta x = [\,(R+r)^2-(\delta j+r)^2\,]^{1/2} - \delta i$$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดอยู่ที่ M/(X,Y) เทียบกับ $M(X_o,Y_o)$

$$X = X_o + \Delta x$$

$$= X_o + [\,(R+r)^2-(\delta j+r)^2\,]^{1/2} - \delta i$$

$$Y = Y_o + \Delta y$$

$$= Y_o + r$$

โดยที่ $$\Delta i = X_o - x_c$$

$$\Delta j = Y_o - y_c$$

ค2.2 กรณีเส้นตรงขนานกับแกน Y

กรณีเส้นตรงขนานกับแกน Y จะสามารถพิจารณาได้ดังรูป ค5. ซึ่งสามารถที่จะแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่นอกขอบของภาพและแบบที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่ภายในขอบของภาพ รูปประกอบด้วยเส้นตรงและเส้นโค้งกำหนดให้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดของเส้นตรงกับเส้นโค้งอยู่ที่ M/(X,Y)

จากรูปได้กำหนดให้

M/ เป็นจุดตัดที่ต้องการเทียบกับจุด M

r เป็นรัศมีของใบมีด

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

a เป็นระยะห่างระหว่าง M กับ M/

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

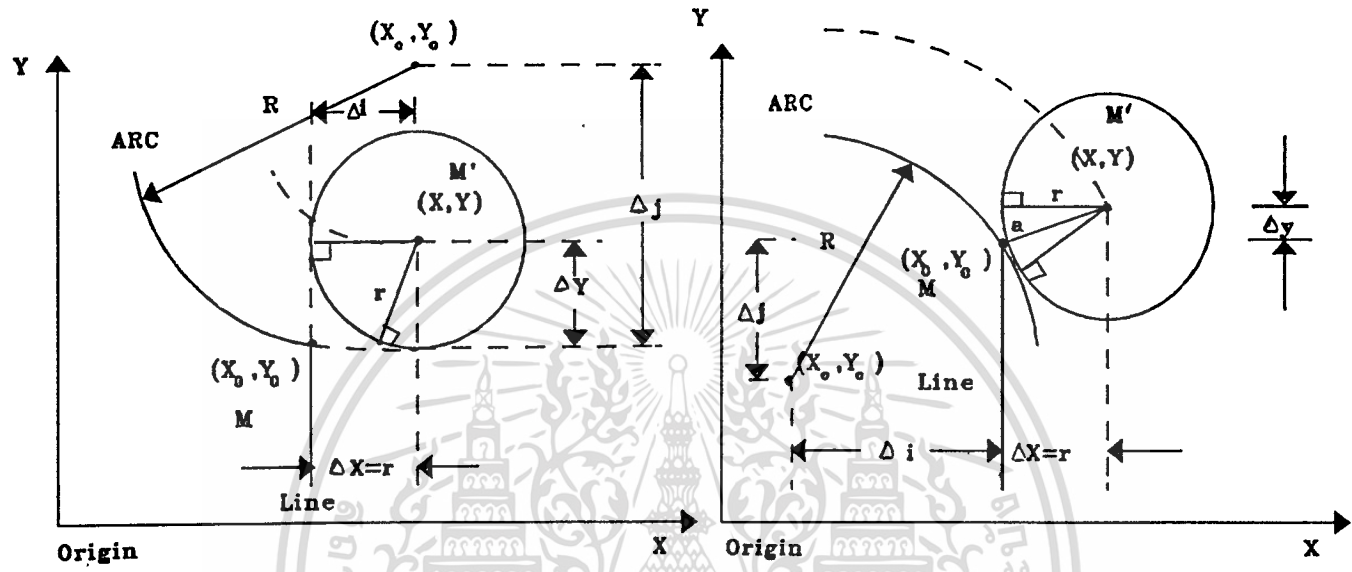
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

(x_c,y_c) เป็นจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง

Δi เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

Δj เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y



(ก) จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่นอกขอบภาพ (ข) จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งอยู่ในขอบภาพ

รูป ค5. แสดงเส้นตรงต่อกับเส้นโค้งในลักษณะเส้นตรงขนานกับแกน Y

พิจารณารูป ค5.(ก) เนื่องจากส่วนของเส้นตรงขนานกับแกน Y ดังนั้นจะได้

$$\Delta x = r$$

และ $$\Delta y = \Delta j - [\,(R-r)^2-(\Delta i-r)^2\,]^{1/2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดอยู่ที่ $M'(X,Y)$ เทียบกับ $M(X_o,Y_o)$

$$X = X_o + \Delta x$$

$$= X_o + r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = Y_o + \Delta y$$

$$= Y_o + \Delta j - [\,(R-r)^2-(\Delta i-r)^2\,]^{1/2}$$

โดยที่ $\Delta i = x_c - X_o$

$$\Delta j = y_c - Y_o$$

ส่วนรูป ค5.(ข) จะได้ $\Delta x = r$

และ $\Delta y = [\,(R+r)^2-(\Delta i+r)^2\,]^{1/2} - \Delta j$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดอยู่ที่ $M'(X,Y)$ เทียบกับ $M(X_o,Y_o)$

$$X = X_o + \Delta x$$

$$= X_o + r$$

$$Y = Y_o + \Delta y$$

$$= Y_o + [\,(R+r)^2-(\Delta i+r)^2\,]^{1/2} - \Delta j$$

โดยที่ $\Delta i = X_o - x_c$

$$\Delta j = Y_o - y_c$$

ค2.3 กรณีเส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y

กรณีที่เส้นตรงไม่ขนานกับแกน X และแกน Y จะพิจารณาดังรูป ค6. สามารถที่จะแยกพิจารณาได้เป็น 4 แบบคือ แบบที่เส้นทางเดินของใบมีดอยู่นอกขอบของภาพและลักษณะของเส้นตรงต่อเส้นโค้งกับลักษณะที่เส้นโค้งต่อกับเส้นตรงดังรูป ค6(ก). และ ค6(ข). กับแบบที่เส้นทางเดินของใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอยู่ภายในขอบของภาพและลักษณะของเส้นตรงต่อเส้นโค้งกับลักษณะที่เส้นโค้งต่อกับเส้นตรงดังรูป ค6(ค). และ ค6(ง). ลักษณะของรูปประกอบด้วยเส้นตรงและเส้นโค้งกำหนดให้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีดของเส้นตรงกับเส้นโค้งอยู่ที่ M/(X,Y)

จากรูปได้กำหนดให้

M/ เป็นจุดตัดที่ต้องการเทียบกับจุด M

r เป็นรัศมีของใบมีด

R เป็นรัศมีของเส้นโค้ง

Δx เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน X

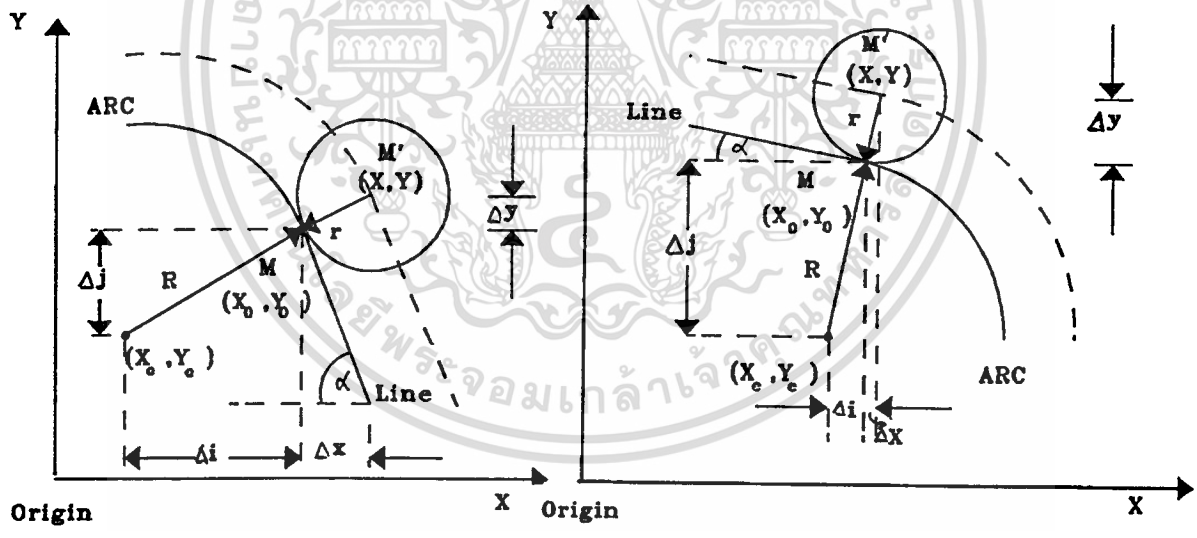
Δy เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดตัดในแนวแกน Y

(x_c,y_c) เป็นจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง

Δi เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน X

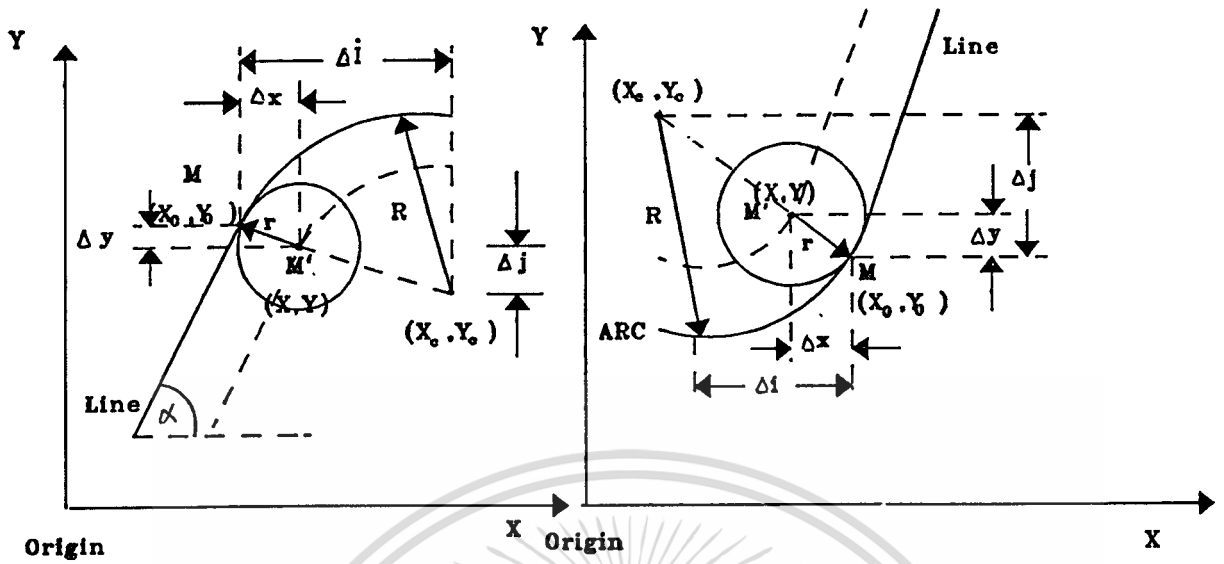
Δj เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งในแนวแกน Y

α เป็นมุมระหว่างเส้นตรงกับแกน X



(ก) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) (ง)

รูป ค6. แสดงเส้นตรงที่ไม่ขนานกับแกน X หรือแกน Y โดยที่รูป ก) กับรูป ข) เป็นแบบเดินภายนอกขอบของภาพ ส่วนรูป ค) และ ง) เป็นแบบเดินภายในขอบของภาพ

จากรูปทั้งหมดจะได้ $\Delta x = r.\sin(\alpha)$

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

และ $\Delta i = R.\sin(\alpha)$

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

จากรูป (ก) และรูป (ข) จะได้จุดตัดของทางเดินของใบมีดอยู่ที่

$$X = X_C + \Delta i + \Delta x$$

$$Y = Y_C + \Delta j + \Delta y$$

และรูป (ค) จะได้จุดตัดของทางเดินของใบมีดอยู่ที่

$$X = X_C - (\Delta i - \Delta x)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = Y_C+(\Delta j - \Delta y)$$

และรูป (ง) จะได้จุดตัดของทางเดินของใบมีดอยู่ที่

$$X = X_C+(\Delta i - \Delta x)$$

$$Y = Y_C-(\Delta j - \Delta y)$$

ค3. กรณีเส้นโค้งตัดกับเส้นโค้ง

สำหรับเส้นทางเดินของใบมีดในลักษณะเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง จะมีหลักการในการพิจารณาดังรูป ค7. จากรูปกำหนดให้

r เป็นรัศมีของใบมีด

R_A เป็นรัศมีของเส้นโค้ง A

R_B เป็นรัศมีของเส้นโค้ง B

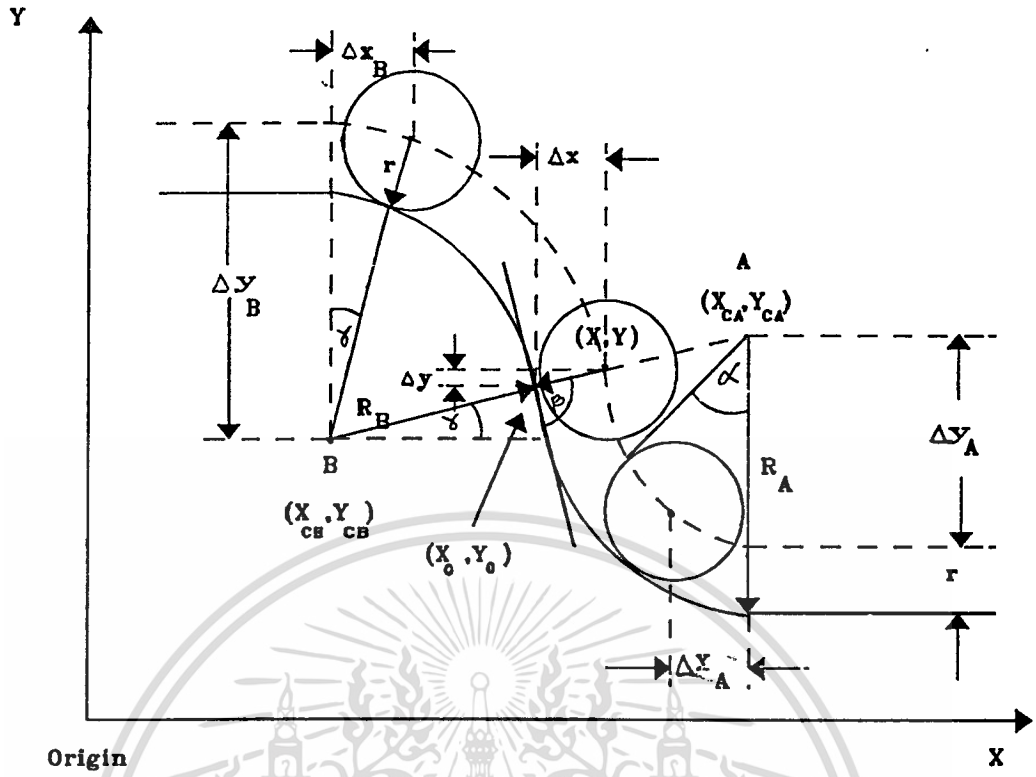
(X_{CA},Y_{CA}) เป็นจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง A

(X_{CB},Y_{CB}) เป็นจุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง B

ΔX เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบ X_o กับจุดตัดในแนวแกน X

ΔY เป็นระยะห่างจากจุดเปรียบเทียบ Y_o กับจุดตัดในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค7. ลักษณะการวิเคราะห์เส้นทางเดินแบบเส้นโค้งต่อกับเส้นโค้ง

จากรูปจะได้ $\Delta x = r.\sin(90^{\circ} - \gamma) = r.\cos(\gamma)$

$\Delta y = r.\cos(90^{\circ} - \gamma) = r.\sin(\gamma)$

จะได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีด เทียบกับจุด B อยู่ที่

$X = x_{CB} + \Delta x$

$Y = y_{CB} + \Delta y$

หรือได้จุดตัดของเส้นทางเดินของใบมีด เทียบกับจุด A อยู่ที่

$X = x_{CA} - \Delta x$

$Y = y_{CA} - \Delta y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ารางที่ ง1. แสดงค่าของ Cutting speed และ Feed rate ของงานกัด

Surface cutting speed (metres/minute)				
Cutting Tool Material	Workpiece Material			
	Al Alloy	Brass	Cast Iron	Mild Steel
HSS	120	75	18	30
Carbide	500	180	120	200

MILLING	FEED RATE (MM/tooth)			
	HSS		SINTERED CARBIDE	
WORKPIECE MATERIAL	END MILLS AND SLOT DRILLS	FACE AND SHELL END MILLS	END MILLS AND SLOT DRILLS	FACE AND SHELL END MILLS
MILD STEEL	0.13	0.25	0.25	0.50
CAST IRON	0.20	0.40	0.25	0.50
BRASS	0.18	0.36	0.15	0.30
AL. ALLOY	0.28	0.56	0.25	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง2. แสดงรหัส G-codes

CODE	FUNCTION (Machining Centers)
G00	Positioning (rapid traverse)
G01	Linear interpolation (cutting feed)
G02	Circular/helical interpolation (cloakwise)
G03	Circular/helical interpolation (counterclockwise)
G04	Dwell cycle
G09	Exact stop, deceleration
G10	Offset value setting by program
G15	Polar coordinates command cancel
G16	Polar coordinates cammand
G17	X-Y plane selection
G18	Z-X plane selection
G19	Y-Z plane selection
G20	Inch data input (G70 on some systems)
G21	Metric data input (G71 on some systems)
G22	Safety zone programming
G23	Programmed crossing through safety zone
G27	Reference point return check
G28	Return to reference point
G29	Return from reference point
G30	Return to 2nd, 3rd, or 4th reference point
G31	Skip function
G33	Thread cutting
G37	Tool length automatic measurement
G38	Cutter diameter compensation vector change
G39	Cutter diameter compensation corner rounding
G40	Cutter diameter compensation cancel
G41	Cutter diameter compensation left
G42	Cutter diameter compensation right
G43	Tool length compensation + direction
G44	Tool length compensation - direction
G45	Tool offset increase
G46	Tool offset decrease
G47	Tool offset double increase
G48	Tool offset double decrease
G49	Tool length compensation cancel
G50	Scaling cancel
G51	Scaling
G50.1	Programmable mirror image cancel
G51.1	Programmable mirror image
G52	Local coordinate system setting
G53	Machine coordinate system selection
G54	Work coordinate system 1 selection
G55	Work coordinate system 2 selection
G56	Work coordinate system 3 selection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CODE	Function (Machining Centers)
G57	Work coordinate system 4 selection
G58	Work coordinate system 5 selection
G59	Work coordinate system 6 selection
G60	Single direction position
G61	Exact stop mode
G62	Automatic corner override mode
G63	Tapping mode
G64	Cutting mode
G65	Transfer to subroutine (macro call)
G68	Coordinate system rotation
G69	Coordinate system rotation cancel
G73	Peck-drilling canned cycle
G74	Counter tapping canned cycle
G76	Fine boring canned cycle
G80	Canned cycle cancel
G81	Drilling/spot drilling canned cycle
G82	Drilling/counter boring canned cycle
G83	Peck drilling canned cycle
G84	Tapping canned cycle
G85	Boring canned cycle
G86	Boring canned cycle
G87	back boring canned cycle
G88	Boring canned cycle
G89	Boring canned cycle
G90	Absolute data input
G91	Incremental data input
G92	Work coordinates change - absolute zero point
G94	Feed per minute
G95	Feed per revolution
G96	Constant surface speed control
G97	Constant surface speed control cancel
G98	Canned cycle - return to Initial level
G99	Canned cycle - return to R-level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ง3. แสดงรหัส M-codes

CODE	Function (Mill)
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
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*-------------------------------------------------------*/
/*  PROGRAM COMPILE PART PROGRAMMING  */
/*-------------------------------------------------------*/

#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
#include <math.h>
#include <graphics.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <bios.h>

#define  ESC 0x1b
#define  Pi 3.141592654
#define  ORDER "N"
#define  RAPID "G00"
#define  LINEAR "G01"
#define  CIR_CLOCK "G02"
#define  CIR_COUNTER "G03"
#define  XYplane "G17"
#define  ZXplane "G18"
#define  YZplane "G19"
#define  IN "G20"
#define  MM "G21"
#define  REF "G28"
#define  COMPEN "G40"
#define  CANCEL "G49"
#define  CAN80 "G80"
#define  ABSOLUTE "G90"
#define  INCREMENT "G91"
#define  PLANE "G92"
#define  START "M02"
#define  Spin_CW "M03"
#define  Spin_OFF "M05"
#define  Cool_ON "M08"
#define  Cool_OFF "M09"
#define  XC "I"
#define  YC "J"
#define  ZC "K"
#define  PX "X"
#define  PY "Y"
#define  PZ "Z"
#define  FEED "F"
#define  MISCELL "M"
#define  SPINDLE "S"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define  TOOL "H1"
#define  step 10

void Line();
void Circle();
void Arc();
void Pline();
void CPline();
void CP();
void Cal();
void Fix();
void NPoint();
void Extra();
void InOutli();
void InOutAr();
void LL();
void LA();
void AA();
void Sort();
void FLA();
void FAA();
void Read();
void Pickup();
void Search();
void InForm();
void LN();
void AN();
void FN();
void SN();
void FirstForm();
void Milling();
void WriteGcode();
void Ddrill();
void PartDrill();
void Part();
void Initialize(void);
void MoveText(int x, int y, int x1, int y1, char NAME[30]);
void FromMenu();
void Drill();
void Mill();
void Char(void);
void draw_image(int x, int y, int x1, int y1);
void DrawWorkpiece(int num);
void edit_menu(void);
void split_data(void);
void material(void);
void draw_Gcode(void);
void Compile();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FILE   *rfpt,*wfpt;
int    nc,ln,cn,an,pn,pn1,num,pls[30],plc[30],ds[50],dc[50],GraphDriver,GraphMode,MaxX,MaxY,MidX,MidY,MaxColors,ErrorCode;
char   cc[30],dir[50][6],pdir[50][6],dac[200][7],dad[200][6],Con[30][6],dim[30],dfeed[20],height[20],same[20],ddepth[20],dspeed[20],
       direct[10],inout[10],dia[10],mat[10],mdepth[10],FNAME[20],ONAME[20],NAME[30],Feed[10],Speed[10],pock[15],bore[15],
       tx[10],ty[10],tz[10],rx[10],ry[10],rz[10],mill,drill,charac[15];
float  lxs[50],lys[50],lxe[50],lye[50],axc[50],ayc[50],axs[50],ays[50], axe[50],aye[50],px[50],py[50],Dx[200],Dy[200],Dz[200],Dxc[200],
       Dyc[200],Dfeed,Height,Ddepth,Mdia,Mdepth,Tx,Ty,Tz,Rx,Ry,Rz,feed, speed,Dspeed;
double cx[50],cy[50],cr[50],cz[50],pxc[50],pyc[50],xend,yend,AspectRatio,ax,ay;
void   *rectan;
unsigned int size;
struct palettetype palette;

void main()
{   char choice,ch;
    int ex,a,m,d;
    float f,f1,f2,ff;
    extern char FNAME[20],ONAME[20],direct[10],inout[10],dim[30],pock[15], bore[15],mill,drill,charac[15];
    extern float Mdia,Mdepth,feed,Dfeed,Height,Ddepth,Rx,Ry,Rz,Tx,Ty,Tz, speed,Dspeed;
    extern int MaxX,MaxY,MidX,MidY,num;
    clrscr();
    Initialize();
    FromMenu();
    ex=1;m=0;d=0;
    do
    {   choice = getch();
      if(choice=='C' || choice=='c')
      {   split_data();
          outtextxy(200,200,"Reads data from file.");delay(1000);
          outtextxy(200,230,"Writes G code commands into output file.");
          outtextxy(200,260,"Please wait a minute...");
          Compile(FNAME,ONAME,dim,direct,inout,pock,bore,Mdia,Mdepth,feed,Dfeed,Dspeed,Height,Ddepth,Rx,Ry,Rz,Tx,Ty,Tz);
           delay(1000);
          outtextxy(200,300,"...Ok..."); }
      if(choice=='I' || choice=='i')
      {   draw_image(140,75,250,90);
          MoveText(130,MaxY-45,140,75,FNAME); }
      if(choice=='O' || choice=='o')
      {   draw_image(MidX+130,75,600,90);
          MoveText(130,MaxY-45,MidX+130,75,ONAME); }
      if(choice=='D' || choice=='d')
      {   if(m!=1)
          { Drill();
            drill='D';
            d = 1;} }
      if(choice=='M' || choice=='m')
      {   if(d!=1)
          { Mill();
            mill='M';
            m = 1;} }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(choice=='E' || choice=='e')
        {     split_data();
              edit_menu();       }
        if(choice=='A' || choice=='a')
        {     DrawWorkpiece(num);
              getch();
              FromMenu();        }
        if(choice=='G' || choice=='g')
        {     draw_Gcode();
              getch();
              FromMenu();        }
        if(choice=='X' || choice=='x')
        {     ex = 0;            }
     }while(ex!=0);
    setfillstyle(WIDE_DOT_FILL,WHITE);
    bar(0,0,MaxX,MaxY);
    setfillstyle(SOLID_FILL,0);
    bar(MidX-200,MidY-50,MidX+200,MidY+50);
    setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
    rectangle(MidX-200,MidY-50,MidX+200,MidY+50);
    outtextxy(MidX-150,MidY-20,"DO YOU WANT TO SENT DATA TO CNC MACHINE");
    outtextxy(MidX-100,MidY+10,"(Y or N)");
    ch = getch();
    if(ch=='Y' || ch=='y')
    {  a = 1;   }
    closegraph();
    if(a==1)
    {  system("qmodem");  }
    textmode(2);
}
void Mill()
{   char cho;
    int ac;
    extern char Feed[10],Speed[10],direct[10],dim[30],inout[10],dia[10],mat[10],mdepth[10],tx[10],ty[10],tz[10],rx[10],ry[10],rz[10],bore[15];
    extern float feed,speed;
    extern int MaxY;

    setcolor(WHITE);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(120,150,570,350);
    setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
    bar(125,155,565,345);

    outtextxy(240,160,"Milling Condition");
    outtextxy(240,168,"----------------");
    outtextxy(130,180,"Pocket (YES[cir,rec] or NO)          : ");
    outtextxy(130,185,"   -                                 ");
    outtextxy(130,195,"Cutter Direction (CW or CCW)         : ");
    outtextxy(130,200,"   -                                 ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(130,210,"Dimension (INCH or MM)  -          : ");
outtextxy(130,215,"   -                          ");
outtextxy(130,225,"Cutter Path (OUTSIDE or INSIDE)     : ");
outtextxy(130,230,"      -                       ");
outtextxy(130,240,"Cutter Diameter                  : ");
outtextxy(130,245,"         -                    ");
outtextxy(130,255,"Material (steel:iron:brass:aluminium) : ");
outtextxy(130,260,"   -                          ");
outtextxy(130,270,"Tool position (Tx,Ty,Tz)         : ");
outtextxy(130,275,"-                             ");
outtextxy(130,285,"Reference Point (Rx,Ry,Rz)       : ");
outtextxy(130,290,"  -                           ");
outtextxy(130,300,"Cutting Depth                    : ");
outtextxy(130,305,"           -                  ");
outtextxy(130,320,"Feed rate    : ");
outtextxy(130,325,"   -          ");
outtextxy(130,335,"Spindle speed : ");
outtextxy(130,340,"  -           ");

if(strncmp(pock,"YES",strlen(pock))==0)
{   outtextxy(460,180,bore);    }
if(strncmp(pock,"NO",strlen(pock))==0)
{   outtextxy(460,180,pock);    }
outtextxy(460,195,direct);
outtextxy(460,210,dim);
outtextxy(460,225,inout);
outtextxy(460,240,dia);
outtextxy(460,255,mat);
outtextxy(460,270,tx);
outtextxy(485,270,",");
outtextxy(490,270,ty);
outtextxy(515,270,",");
outtextxy(520,270,tz);
outtextxy(460,285,rx);
outtextxy(485,285,",");
outtextxy(490,285,ry);
outtextxy(515,285,",");
outtextxy(520,285,rz);
outtextxy(460,300,mdepth);
outtextxy(300,320,Feed);
outtextxy(300,335,Speed);

ac=0;
do
{   cho = getch();
if(cho=='K' || cho=='k')
{   draw_image(460,175,560,190);
    MoveText(130,MaxY-45,460,180,pock);
    if(strncmp(pock,"YES",strlen(pock))==0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {  draw_image(460,220,560,235);
       outtextxy(460,225,"INSIDE");
       strcpy(inout,"INSIDE");
       delay(500);
       draw_image(460,175,560,190);
       MoveText(130,MaxY-45,460,180,bore);  } }
   if(cho=='U' || cho=='u')
  {   draw_image(460,190,560,205);
      MoveText(130,MaxY-45,460,195,direct);  }
  if(cho=='N' || cho=='n')
  {   draw_image(460,205,560,220);
      MoveText(130,MaxY-45,460,210,dim);}
 if(cho=='P' || cho=='p')
 {   draw_image(460,220,560,235);
    MoveText(130,MaxY-45,460,225,inout);}
 if(cho=='A' || cho=='a')
 {   draw_image(460,235,560,250);
    MoveText(130,MaxY-45,460,240,dia);  }
 if(cho=='R' || cho=='r')
 {   draw_image(460,250,560,265);
    draw_image(300,315,500,330);
    draw_image(300,330,500,345);
    MoveText(130,MaxY-45,460,255,mat);
    split_data();
    material();
    gcvt(feed,7,Feed); gcvt(speed,7,Speed);
    outtextxy(300,320,Feed);
    outtextxy(300,335,Speed);  }
  if(cho=='T' || cho=='t')
  {   draw_image(460,265,560,280);
     MoveText(130,MaxY-45,460,270,tx);
     outtextxy(485,270,",");
     MoveText(130,MaxY-45,490,270,ty);
     outtextxy(515,270,",");
     MoveText(130,MaxY-45,520,270,tz);  }
 if(cho=='F' || cho=='f')
 {   draw_image(460,280,560,295);
    MoveText(130,MaxY-45,460,285,rx);
     outtextxy(485,285,",");
     MoveText(130,MaxY-45,490,285,ry);
     outtextxy(515,285,",");
    MoveText(130,MaxY-45,520,285,rz);  }
  if(cho=='H' || cho=='h')
  {   draw_image(460,295,560,310);
     MoveText(130,MaxY-45,460,300,mdepth);  }
  if(cho=='D' || cho=='d')
  {   draw_image(300,315,500,330);
     MoveText(130,MaxY-45,300,320,Feed);
     feed = atof(Feed);  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if(cho=='I' || cho=='i')
    {   draw_image(300,330,500,345);
        MoveText(130,MaxY-45,300,335,Speed);
        speed = atof(Speed); }
    if(cho==ESC)
    {   setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
        bar(120,150,570,350);
        ac = 1;                    }
    }while(ac!=1);
}
void MoveText(x,y,x1,y1,NAME)
int x,y,x1,y1;
char NAME[30];
{   int i,ch,ok,a,b;
    i=0; a=x;b=y;
    setcolor(WHITE);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(x+2,y+2,x,y);
    do
    {   setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
        bar(x+8,y+8,x,y);
        NAME[i] = getch();
        ch = NAME[i];
        if(ch==8)
        {   i=i-1;
            NAME[i] = '';
            ch=NAME[i];
            x=x-8;      }
        if(ch==13)
        {   NAME[i] = '\0';
            outtextxy(x1,y1,NAME);
            setcolor(BLACK);
            outtextxy(a,b,NAME);
            setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
            bar(x+8,y+8,x,y);
            setcolor(WHITE);
            ch = 0; ok = 0;    }
        else
        {   setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
            bar(x+8,y+8,x,y);
            outtextxy(x,y,&ch);
            if(ch==0)
            {   i=i-1; x=x-8;      } }
        x=x+8; i++;
    }while(ok!=0);
    return(NAME);
}
void FromMenu()
{   extern char FNAME[20],ONAME[20];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
extern int MaxX,MaxY,MidX;

setcolor(WHITE);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, NORM_WIDTH);
setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
bar(0,0,MaxX,MaxY);
setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
bar(20,20,MaxX-20,MaxY-20);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, THICK_WIDTH);
moveto(20,60);lineto(MaxX-20,60);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, NORM_WIDTH);
moveto(20,100);lineto(MaxX-20,100);
moveto(20,140);lineto(MaxX-20,140);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, THICK_WIDTH);
moveto(20,MaxY-60);lineto(MaxX-20,MaxY-60);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, NORM_WIDTH);
moveto(MidX,60);lineto(MidX,140);
moveto(MidX/3,100);lineto(MidX/3,140);
moveto(2*MidX/3,100);lineto(2*MidX/3,140);
moveto(4*MidX/3,100);lineto(4*MidX/3,140);
moveto(5*MidX/3,100);lineto(5*MidX/3,140);
setlinestyle(SOLID_LINE,0,THICK_WIDTH);
rectangle(480,MaxY-50,580,MaxY-30);
setlinestyle(SOLID_LINE, 0, NORM_WIDTH);

outtextxy(200,35,"COMPILE PART PROGRAMMING");
outtextxy(30,75,"File input :          ");
outtextxy(30,80,"     _               ");
outtextxy(MidX+10,75,"File output :        ");
outtextxy(MidX+10,80,"     _           ");
outtextxy(30,115,"Drilling");
outtextxy(30,120,"_       ");
outtextxy(130,115,"Milling");
outtextxy(130,120,"_      ");
outtextxy(250,115,"Edit   ");
outtextxy(250,120,"_      ");
outtextxy(360,115,"Draw   ");
outtextxy(360,120,"  _    ");
outtextxy(460,115,"Gcode  ");
outtextxy(460,120,"_      ");
outtextxy(565,115,"Exit   ");
outtextxy(565,120,"  _    ");
outtextxy(30,MaxY-45,"Command : ");
outtextxy(500,MaxY-45,"COMPILE");
outtextxy(500,MaxY-40,"_      ");
outtextxy(140,75,FNAME);
outtextxy(MidX+130,75,ONAME);
}
void Initialize(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{       int  xasp, yasp;
        extern int GraphDriver,GraphMode,MaxX,MaxY,MidX,MidY,MaxColors,ErrorCode;
        extern double AspectRatio;
        extern struct palettetype palette;

        GraphDriver = DETECT;
        initgraph(&GraphDriver, &GraphMode, ".\\BGI");
       ErrorCode = graphresult();
       if ( ErrorCode != grOk )
      {       printf ("Graphics System Error: %s\n", grapherrormsg( ErrorCode));
              exit (1);       }
       getpalette( &palette); MaxColors = getmaxcolor() + 1;
       MaxX   = getmaxx(); MaxY   = getmaxy();
       MidX   = getmaxx()/2; MidY   = getmaxy()/2;
       getaspectratio(&xasp, &yasp);  AspectRatio = (double)xasp / (double)yasp;
}
void DrawWorkpiece(int num)
{       int i,un,u,x,y,R,n,nn,ii,iii,j,in,z1,z2;
        double X,Y,X1,Y1,a,e,m,m1,m2,b,z3,x1,y1,x2,y2,xc,yc,zc,as,zc1,ac,r,arc,da,del,xarc,yarc,a_drawn;
        extern int MaxX,MaxY,ln,an;
        extern double cx[50],cy[50],cr[50];
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200],Mdia,lxs[50],lys[50], lxc[50],lyc[50];
        extern char dac[200][7],dad[200][6],rx[10],ry[10],charac[15];

        setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
        bar(0,0,MaxX,MaxY);
        setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
        bar(5,20,MaxX-5,MaxY-10);

        setcolor(BLACK);
        circle(250,MaxY-150,5);
        outtextxy(230,MaxY-135,"(");
        outtextxy(235,MaxY-135,rx);
        outtextxy(265,MaxY-135,",");
        outtextxy(270,MaxY-135,ry);
        outtextxy(300,MaxY-135,")");
        moveto(250,MaxY-150);
        linerel(150,0);outtextxy(400,MaxY-140,"+X");
        moveto(250,MaxY-150);
        linerel(0,-150);outtextxy(230,MaxY-300,"+Y");
        setcolor(WHITE);
        R = Mdia / 2.0;

  if(strncmp(charac,"CHAR",strlen(charac))==0)
  {  i=0;
          do
          {  moveto(Dx[i]+250.0,MaxY-Dy[i]-150.0);
             for(un=0;un<ln+an;un++)
             { u = un*(2.0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(strncmp(dac[u],"LINE",strlen(dac[u]))==0)
{  X = Dx[i]-ax+Mdia;  Y = Dy[i]-ay+Mdia;
   ++i;
   X1 = Dx[i]-ax+Mdia; Y1 = Dy[i]-ay+Mdia;
   if(Y==Y1)
  {   if(X<X1)
      {   for(a=X;a<=X1;a++)
          {   setcolor(BLACK);
              moveto(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0);
              circle(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0,R);
              setcolor(WHITE);delay(10);   } }
     if(X>X1)
    {  for(a=X;a>=X1;a--)
       {   setcolor(BLACK);
           moveto(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0);
           circle(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0,R);
            setcolor(WHITE);delay(10);   } }  }
if(X==X1)
{   if(Y<Y1)
    {  for(a=Y;a<=Y1;a++)
       {   setcolor(BLACK);
           moveto(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0);
           circle(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0,R);
            setcolor(WHITE);delay(10);   } }
if(Y>Y1)
{  for(a=Y;a>=Y1;a--)
  {   setcolor(BLACK);
      moveto(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0);
      circle(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0,R);
      setcolor(WHITE);delay(10);   } } }
 if(X1=X1 && Y1=Y1)
 {   m = (Y1-Y)/(X1-X);
     b = Y - (m*X);
    if(m>0)
    {  if(X<X1)
       {    a=X;
            do
            {  c = (m*a) + b;
               setcolor(BLACK);
               moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
               circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a+0.1;
               setcolor(WHITE);delay(10);
            }while(a<=X1);
       }
  if(X>X1)
  {    a=X;
       do
       {  c = (m*a) + b;
          setcolor(BLACK);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
                circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a-0.1;
                setcolor(WHITE);delay(10);
              }while(a>=X1);
          } }
        if(m<0)
        {  if(Y1<Y)
           {  a=X;
              do
              {  c = (m*a) + b;
                 setcolor(BLACK);
                 moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
                 circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a+0.5;
                 setcolor(WHITE);delay(10);
              }while(a<=X1);
        }
        if(Y1>Y)
        {  a=X;
           do
           {  c = (m*a) + b;
              setcolor(BLACK);
              moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
              circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a-0.5;
              setcolor(WHITE);delay(10);
           }while(a>=X1);
}   }   }
++i;}
           if(strncmp(dac[u],"ARC",strlen(dac[u]))==0)
           { xc = Dxc[i]-ax+Mdia;  yc = Dyc[i]-ay+Mdia;
             x1 = Dx[i]-ax+Mdia;   y1 = Dy[i]-ay+Mdia;
              ++i;
             x2 = Dx[i]-ax+Mdia; y2 = Dy[i]-ay+Mdia;
             z1 = (x1-xc)*100.0;
             z2 = (y1-yc)*100.0;
             z3 = (abs(z1)+abs(z2))/100.0;
             r = sqrt((x1-xc)*(x1-xc) + (y1-yc)*(y1-yc));
             if((x1-xc)>0 && (y1-yc)>0)
             {   zctas = acos( (x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x2-xc)>0 && (y2-yc)>0)
             {   zctac = acos( (x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x1-xc)<0 && (y1-yc)>0)
             {   zctas = 180.0 - acos( abs(x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x2-xc)<0 && (y2-yc)>0)
             {   zctac = 180.0 - acos( abs(x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x1-xc)<0 && (y1-yc)<0)
             {   zctas = 180.0 + acos( abs(x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x2-xc)<0 && (y2-yc)<0)
             {   zctac = 180.0 + acos( abs(x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
             if((x1-xc)>0 && (y1-yc)<0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {   zetas = 360.0 - acos( (x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
    if((x2-xc)>0 && (y2-yc)<0)
    {   zetac = 360.0 - acos( (x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
    if((y1==yc) && (x1-xc)<0)
    {   zetas = 180.0;   }
    if((y2==yc) && (x2-xc)<0)
    {   zetac = 180.0;   }
    if((x1==xc) && (y1-yc)>0)
    {   zetas = 90.0;    }
    if((x2==xc) && (y2-yc)>0)
    {   zetac = 90.0;    }
    if((x1==xc) && (y1-yc)<0)
    {   zetas = 270.0;   }
    if((x2==xc) && (y2-yc)<0)
    {   zetac = 270.0;   }
    if(strncmp(dad[u],"CCW",strlen(dad[u]))==0)
    {   if((y1==yc) && (x1-xc)>0)
        {   zetas = 0.0;   }
        if((y2==yc) && (x2-xc)>0)
        {   zetac = 360.0; }  }
    if(strncmp(dad[u],"CW",strlen(dad[u]))==0)
    {   if((y1==yc) && (x1-xc)>0)
        {   zetas = 360.0;    }
        if((y2==yc) && (x2-xc)>0)
        {   zetac = 0.0;      }  }
    del = zetac - zetas;
    if(strncmp(dad[u],"CW",strlen(dad[u]))==0)
    {   if(del > 0)
        {  del = del - 360.0;  }  }
          if(strncmp(dad[u],"CCW",strlen(dad[u]))==0)
        {   if(del < 0)
              {  del = 360.0 + del;  }  }
      arc = del * (Pi/180.0);
      da = min(0.01,1/(3.2*z3));
      xarc = x1; yarc = y1;
      if(strncmp(dad[u],"CCW",strlen(dad[u]))==0)
      {   if(arc>0)
          {   a_drawn = 0.0;
              do
              {  xarc = xarc+(yc-yarc)*da;
                 yarc = yarc+(xarc-xc)*da;
                 a_drawn = a_drawn+da;
                 setcolor(BLACK);
                circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
                 setcolor(WHITE);
              }while(a_drawn<=arc);
    }
    else
    {   a_drawn = arc;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        do
        {  xarc = xarc+(yc-yarc)*da;
           yarc = yarc+(xarc-xc)*da;
          a_drawn = a_drawn+da;
          setcolor(BLACK);
          circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
          setcolor(WHITE);
        }while(a_drawn<=0.0);
    } }
    if(strncmp(dad[u],"CW",strlen(dad[u]))==0)
    {   if(arc<0)
      {    a_drawn = arc;
           do
           {  xarc = xarc+(yarc-yc)*da;
              yarc = yarc+(xc-xarc)*da;
              a_drawn = a_drawn+da;
              setcolor(BLACK);
             circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
             setcolor(WHITE);
    }
     else
    {   a_drawn = 0.0;
        do
       {  xarc = xarc+(yarc-yc)*da;
          yarc = yarc+(xc-xarc)*da;
          a_drawn = a_drawn+da;
          setcolor(BLACK);
          circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
          setcolor(WHITE);
        }while(a_drawn<=arc);
  } }++i; } }
  }while(i<num);
}
if(strncmp(charac,"DRAW",strlen(charac))==0)
{  if(cn>0)
   { for(i=0;i<num;i++)
          {  if((strncmp(dac[i],"CIRCLE",strlen(dac[i]))==0)&& (R >= cr[i]))
              {   x = Dxc[i]-ax+Mdia;
                  y = Dyc[i]-ay+Mdia;
                  moveto(x+250,MaxY-(y*0.9)-150);
                  setcolor(BLACK);
                  circle(x+250,MaxY-(y*0.9)-150,R);delay(1000);
                  setcolor(WHITE);
             } } }
        for(i=1;i<num;i++)
        {  if((strncmp(dac[i],"LINE",strlen(dac[i]))==0) || (strncmp(dac[i],"ARC",strlen(dac[i]))==0))
           {  if(i==num-1)
              {  Dx[i+1] = Dx[1];
                 Dy[i+1] = Dy[1]; }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
moveto(Dx[i]+250.0-ay+Mdia,MaxY-Dy[i]-150.0-ay+Mdia);
if(strncmp(dac[i],"LINE",strlen(dac[i]))==0)
{  X = Dx[i]-ax+Mdia;  Y = Dy[i]-ay+Mdia;
   X1 = Dx[i+1]-ax+Mdia; Y1 = Dy[i+1]-ay+Mdia;
   if(Y==Y1)
    {  if(X<X1)
       {  for(a=X;a<=X1;a++)
          {  setcolor(BLACK);
             moveto(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0);
             circle(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0,R);
             setcolor(WHITE);delay(10);  } }
   if(X>X1)
   {  for(a=X;a>=X1;a--)
      {  setcolor(BLACK);
         moveto(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0);
         circle(a+250.0,MaxY-(Y*0.9)-150.0,R);
         setcolor(WHITE);delay(10);  } }  }
   if(X==X1)
   {  if(Y<Y1)
      {  for(a=Y;a<=Y1;a++)
         {  setcolor(BLACK);
            moveto(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0);
            circle(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0,R);
            setcolor(WHITE);delay(10);  }
         }
      if(Y>Y1)
      {  for(a=Y;a>=Y1;a--)
         {  setcolor(BLACK);
            moveto(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0);
            circle(X+250.0,MaxY-(a*0.9)-150.0,R);
            setcolor(WHITE);delay(10);  }
}  }
if(X!=X1 && Y!=Y1)
{  m = (Y1-Y)/(X1-X);
   b = Y - (m*X);
   if(m>0)
   {  if(X<X1)
      {  a=X;
         do
         {  c = (m*a) + b;
            setcolor(BLACK);
            moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
            circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a+0.1;
            setcolor(WHITE);delay(10);
         }while(a<=X1);
}
   if(X>X1)
{  a=X;
   do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {  c = (m*a) + b;
           setcolor(BLACK);
           moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
           circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a-0.1;
           setcolor(WHITE);delay(10);
        }while(a>=X1);
     } }
    if(m<0)
   {  if(Y1<Y)
      {  a=X;
         do
         {  c = (m*a) + b;
            setcolor(BLACK);
            moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
            circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a+0.5;
            setcolor(WHITE);delay(10);
         }while(a<=X1);
      }
      if(Y1>Y)
      {  a=X;
         do
         {  c = (m*a) + b;
            setcolor(BLACK);
            moveto(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0);
            circle(a+250.0,MaxY-(c*0.9)-150.0,R);a=a-0.5;
            setcolor(WHITE);delay(10);
         }while(a>=X1);
}   }   }   }
 if(strncmp(dac[i],"ARC",strlen(dac[i]))==0)
          {    xc = Dxc[i]-ax+Mdia;  yc = Dyc[i]-ay+Mdia;
               x1 = Dx[i]-ax+Mdia;   y1 = Dy[i]-ay+Mdia;
               x2 = Dx[i+1]-ax+Mdia; y2 = Dy[i+1]-ay+Mdia;
               z1 = (x1-xc)*100.0;
               z2 = (y1-yc)*100.0;
               z3 = (abs(z1)+abs(z2))/100.0;
               r = sqrt((x1-xc)*(x1-xc) + (y1-yc)*(y1-yc));
               if((x1-xc)>0 && (y1-yc)>0)
               {   zetas = acos( (x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x2-xc)>0 && (y2-yc)>0)
               {   zetac = acos( (x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x1-xc)<0 && (y1-yc)>0)
               {   zetas = 180.0 - acos( abs(x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x2-xc)<0 && (y2-yc)>0)
               {   zetac = 180.0 - acos( abs(x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x1-xc)<0 && (y1-yc)<0)
               {   zetas = 180.0 + acos( abs(x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x2-xc)<0 && (y2-yc)<0)
               {   zetac = 180.0 + acos( abs(x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
               if((x1-xc)>0 && (y1-yc)<0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {   zetas = 360.0 - acos( (x1-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
        if((x2-xc)>0 && (y2-yc)<0)
        {   zetac = 360.0 - acos( (x2-xc)/r ) * (180.0/Pi); }
        if((y1==yc) && (x1-xc)<0)
        {   zetas = 180.0;   }
        if((y2==yc) && (x2-xc)<0)
        {   zetac = 180.0;   }
        if((x1==xc) && (y1-yc)>0)
       {   zetas = 90.0;    }
       if((x2==xc) && (y2-yc)>0)
      {   zetac = 90.0;    }
      if((x1==xc) && (y1-yc)<0)
      {   zetas = 270.0;   }
      if((x2==xc) && (y2-yc)<0)
     {   zetac = 270.0;   }
     if(strncmp(dad[i],"CCW",strlen(dad[i]))==0)
     {   if((y1==yc) && (x1-xc)>0)
         {   zetas = 0.0;   }
         if((y2==yc) && (x2-xc)>0)
         {   zetac = 360.0; }
     }
      if(strncmp(dad[i],"CW",strlen(dad[i]))==0)
      {    if((y1==yc) && (x1-xc)>0)
           {   zetas = 360.0;    }
           if((y2==yc) && (x2-xc)>0)
           {   zetac = 0.0;      }
}
del = zetac - zetas;
if(strncmp(dad[i],"CW",strlen(dad[i]))==0)
{   if(del > 0)
   {  del = del - 360.0;   }
}
if(strncmp(dad[i],"CCW",strlen(dad[i]))==0)
{   if(del < 0)
    {  del = 360.0 + del;   }
 }
arc = del * (Pi/180.0);
da = min(0.01,1/(3.2*z3));
xarc = x1; yarc = y1;
if(strncmp(dad[i],"CCW",strlen(dad[i]))==0)
{   if(arc>0)
   {    a_drawn = 0.0;
        do
        {  xarc = xarc+(yc-yarc)*da;
           yarc = yarc+(xarc-xc)*da;
           a_drawn = a_drawn+da;
           setcolor(BLACK);
           circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
           setcolor(WHITE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }while(a_drawn<=arc);
        }
        else
        {   a_drawn = arc;
            do
            {  xarc = xarc-(yc-yarc)*da;
               yarc = yarc+(xarc-xc)*da;
               a_drawn = a_drawn+da;
               setcolor(BLACK);
               circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
               setcolor(WHITE);
            }while(a_drawn<=0.0);
        }   }
        if(strncmp(dad[i],"CW",strlen(dad[i]))==0)
        {   if(arc<0)
            {   a_drawn = arc;
                do
                {  xarc = xarc+(yarc-yc)*da;
                   yarc = yarc+(xc-xarc)*da;
                   a_drawn = a_drawn+da;
                   setcolor(BLACK);
                   circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
                   setcolor(WHITE);
                }while(a_drawn<=0.0);
            }
            else
            {   a_drawn = 0.0;
                do
                {  xarc = xarc+(yarc-yc)*da;
                   yarc = yarc+(xc-xarc)*da;
                   a_drawn = a_drawn+da;
                   setcolor(BLACK);
                   circle(xarc+250.0,MaxY-(yarc*0.9)-150.0,R);
                   setcolor(WHITE);
                }while(a_drawn<=arc);
            }   }   }   }   }   }
        setcolor(BLACK);
        outtextxy(MaxX/2,MaxY-30,"Press any key to continue...");
        setcolor(WHITE);
}
void edit_menu(void)
{   int ai;
    char choo;
    extern char FNAME[20],ONAME[20],charac[15];
    extern int MidX,MaxX,MaxY;

    setcolor(WHITE);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(210,150,500,350);
```

เอกสารนี้มีไว้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
bar(215,155,495,345);

outtextxy(270,170,"Edit Condition");
outtextxy(270,178,"-------------");
outtextxy(230,200,"File input      : ");
outtextxy(230,205,"     _          ");
outtextxy(230,225,"File output     : ");
outtextxy(230,230,"     _          ");
outtextxy(230,250,"Drilling        : ");
outtextxy(230,255,"_               ");
outtextxy(230,275,"Milling         : ");
outtextxy(230,280,"_               ");
outtextxy(230,300,"Character       : ");
outtextxy(230,305,"_               ");

outtextxy(400,200,FNAME);
outtextxy(400,225,ONAME);
ai=0;
do
{   choo = getch();
    if(choo=='I' || choo=='i')
    {   draw_image(140,65,MidX-10,90);
        draw_image(400,190,490,210);
        MoveText(130,MaxY-45,400,200,FNAME);
        outtextxy(140,75,FNAME);  }
    if(choo=='O' || choo=='o')
    {   draw_image(MidX+130,65,MaxX-40,90);
        draw_image(400,215,490,235);
        MoveText(130,MaxY-45,400,225,ONAME);
        outtextxy(MidX+130,75,ONAME);  }
    if(choo=='D' || choo=='d')
    {   Drill();
        ai = 1;}
    if(choo=='M' || choo=='m')
    {   Mill();
        ai = 1;    }
   if(choo=='C' || choo=='c')
    {   Char();
        strcpy(charac,"CHAR");
        outtextxy(400,300,"...OK...");
        ai = 1;    }
    if(choo==ESC)
    {   draw_image(210,150,600,350);
        ai = 1;                    }
   }while(ai!=1);
}
void Char(void)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int i,a,m,limit,an,un;
float ax,ay;
char dim[6],start[5],dir[10];
extern FILE *rfp;
extern int ln,an,num;
extern float lxs[50],lys[50],lxc[50],lyc[50],axc[50],ayc[50],axs[50],ays[50], axc[50],ayc[50],speed,feed,Mdepth,Tx,Ty,Tz,Rx,Ry,Rz,Mdia,Dx[200],
        Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
extern char dac[200][7],dad[200][6];

m = speed;
ln = 0; an = 0; num=0; a=0;
if((rfpt = fopen(FNAME,"r"))==NULL)
{ printf("cannot open file : %s\n",FNAME);  }
if((rfpt = fopen(FNAME,"r"))!=NULL)
{ Search();
  Pickup();
  felose(rfpt);
  for(i=ln-1;i>=0;i--)
  {  Dx[num] = lxs[i]; Dy[num] = lys[i];
     strcpy(dac[num],"LINE");
     ++num;
     Dx[num] = lxc[i]; Dy[num] = lyc[i];
     ++num;       }
  for(i=an-1;i>=0;i--)
  {  Dx[num] = axs[i]; Dy[num] = ays[i];
     Dxc[num] = axc[i]; Dyc[num] = ayc[i];
     strcpy(dac[num],"ARC"); strcpy(dad[num],dir[i]);
     ++num;
     Dx[num] = axc[i]; Dy[num] = ayc[i];
     ++num;       }     }
  limit = num;
  wfpt = fopen(ONAME,"w");
  a+=step;i=0;
  strcpy(start,"%");
  if(strncmp(dim,"INCH",strlen(dim))==0)
  {    strcpy(dim,IN);  }
  if(strncmp(dim,"MM",strlen(dim))==0)
  {    strcpy(dim,MM);  }
  fprintf(wfpt,"%s\n",start);
  fprintf(wfpt,"%s ;\n",ONAME);
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s %s %s %s ;\n",ORDER,a,XYplane,dim,COMPEN,CANCEL,CAN80,ABSOLUTE);
  a += step;
  if(strncmp(dim,"MM",strlen(dim))==0)
  { fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,PLANE,PX,Tx,PY,Ty,PZ,Tz);
    a+=step;
    fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,a,RAPID,SPINDLE,m,Spin_CW);
    a+=step;
    fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[0]+Rx,PY,Dy[0]+Ry,Cool_ON);
    a+=step;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,50.0+Rz);
a+=step;
if(strncmp(dac[0],"LINE",strlen(dac[0]))==0)
{ fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth,TOOL,FEED,feed);
  a+=step;i++;
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PX,Dx[1]+Rx,PY,Dy[1]+Ry);
  a+=step;i++;
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
  a+=step;        }
if(strncmp(dac[0],"ARC",strlen(dac[0]))==0)
{ if(strncmp(dad[0],"CCW",strlen(dad[0]))==0)
  {   strcpy(dir,CIR_COUNTER);  }
  if(strncmp(dad[0],"CW",strlen(dad[0]))==0)
  {   strcpy(dir,CIR_CLOCK);  }
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth,TOOL,FEED,feed);
  a+=step;i++;
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,dir,PX,Dx[1]+Rx,PY,Dy[1]+Ry,XC,Dxc[0]-Dx[0],YC,Dyc[0]-Dy[0]);
  a+=step;i++;
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
  a+=step;        }
 do
{  for(an=1;an<ln+an;an++)
   { un = an*(2.0);
     if(strncmp(dac[un],"LINE",strlen(dac[un]))==0)
     {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth);
        a+=step;i++;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
        a+=step;i++;            }
     if(strncmp(dac[un],"ARC",strlen(dac[un]))==0)
     {  if(strncmp(dad[un],"CCW",strlen(dad[un]))==0)
        {   strcpy(dir,CIR_COUNTER);  }
        if(strncmp(dad[un],"CW",strlen(dad[un]))==0)
        {   strcpy(dir,CIR_CLOCK);  }
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth);
        a+=step;i++;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,a,dir,PX,Dx[i]+Rx,PY,
                Dy[i]+Ry,XC,Dxc[i-1]-Dx[i-1],YC,Dyc[i-1]-Dy[i-1]);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
        a+=step;i++;     } }
  }while(i<num);
  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s ;\n",ORDER,a,RAPID,Cool_OFF);
  a+=step;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s%.2f ;\n",ORDER,a,REF,CANCEL,PZ,Rz+50.0);
  a+=step;
 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Tx,PY,Ty,Spin_OFF);
 a+=step;      }
if(strncmp(dim,"INCH",strlen(dim))==0)
{ fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,PLANE,PX,Tx,PY,Ty,PZ,Tz);
  a+=step;
 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,a,RAPID,SPINDLE,m,Spin_CW);
  a+=step;
 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[0]+Rx,PY,Dy[0]+Ry,Cool_ON);
  a+=step;
 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,50.0+Rz);
 a+=step;
 if(strncmp(dac[0],"LINE",strlen(dac[0]))==0)
 {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s %s%.3f %s ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth,TOOL,FEED,feed, Cool_ON);
    a+=step;++i;
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PX,Dx[1]+Rx,PY,Dy[1]+Ry);
    a+=step;++i;
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
   a+=step;       }
 if(strncmp(dac[0],"ARC",strlen(dac[0]))==0)
 {  if(strncmp(dad[0],"CCW",strlen(dad[0]))==0)
  {   strcpy(dir,CIR_COUNTER);  }
   if(strncmp(dad[0],"CW",strlen(dad[0]))==0)
 {   strcpy(dir,CIR_CLOCK);  }
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth,TOOL,FEED,feed);
   a+=step;i++;
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,dir,PX,Dx[1]+Rx,PY,Dy[1]+Ry, XC,Dxc[0]-Dx[0],YC,Dyc[0]-Dy[0]);
   a+=step;i++;
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
   a+=step;       }
 do
 {  for(an=1;an<ln+an;an++)
    {  un = an*2.0;
     if(strncmp(dac[un],"LINE",strlen(dac[un]))==0)
     {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth);
        a+=step;i++;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
        a+=step;i++;       }
     if(strncmp(dac[un],"ARC",strlen(dac[un]))==0)
   .  {  if(strncmp(dad[un],"CCW",strlen(dad[un]))==0)
      {   strcpy(dir,CIR_COUNTER);  }
       if(strncmp(dad[un],"CW",strlen(dad[un]))==0)
      {   strcpy(dir,CIR_CLOCK);  }
       fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Dx[i]+Rx,PY,Dy[i]+Ry);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            a+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,LINEAR,PZ,Rz-Mdepth);
            a+=step;i++;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,a,dir,PX,Dx[i]+Rx, PY,Dy[i]+Ry,XC,Dxc[i-1]-Dx[i-1],
                    YC,Dyc[i-1]-Dy[i-1]);
            a+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,RAPID,PZ,Rz+5.0);
            a+=step;i++;  }  }
        }while(i<num);
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s ;\n",ORDER,a,RAPID,Cool_OFF);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s%.3f ;\n",ORDER,a,REF,CANCEL,PZ,Rz+50.0);
        a+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s ;\n",ORDER,a,RAPID,PX,Tx,PY,Ty,Spin_OFF);
        a+=step;    }
    fprintf(wfpt,"%s%d %s ;\n",ORDER,a,START);
    a+=step;
    fprintf(wfpt,"%s\n",start);
    fclose(wfpt);
}
void draw_Gcode()
{   FILE *dfpt;
    char data[10];
    int t,tt,size,width;
    extern int MaxX,MaxY;
    extern char ONAME[20];

    setcolor(WHITE);
    setfillstyle(WIDE_DOT_FILL,WHITE);
    bar(0,0,MaxX,MaxY);
    setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
    bar(150,20,550,MaxY-20);

    outtextxy(250,40,"PART PROGRAMMING");
    outtextxy(250,48,"----------------");
    dfpt = fopen(ONAME,"r");
    t = 60; tt = 0; width = textwidth("M");
    fscanf(dfpt,"%s",data);
    do
    {  size = strlen(data);
    if(strncmp(data,";",strlen(data))==0 || strncmp(data,"%",strlen(data))==0)
    {  outtextxy(170+(tt*width),t,data);
       t=t+10; tt = 0;
       fscanf(dfpt,"%s",data);
       if(strncmp(data,"%",strlen(data))==0)
       {   outtextxy(170,t,data);
          t = 1000;  }            }
    else
    {  if(t>400)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {   outtextxy(230,MaxY-50,"( getch ... )");
        getch();
        t=60; tt=0;
       draw_image(160,60,500,MaxY-40);}
     outtextxy(170+(tt*width),t,data);
     fscanf(dfpt,"%s",data);
        tt = tt+size+1;        }
   }while(t<1000);
   delay(100);fclose(dfpt);
   outtextxy(160,MaxY-35,"Press any key to continue...");
}
void Drill()
{   char choi;
   int ee,MY;
   extern int MaxY;
   extern char dim[30],tx[10],ty[10],tz[10],rx[10],ry[10],rz[10],dfeed[20],height[20],ddepth[20],dspeed[20];

   MY = MaxY/4;
   setcolor(WHITE);
   setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
   bar(30,MY+30,430,MY+230);
   setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
   bar(35,MY+35,425,MY+225);

   outtextxy(120,MY+40,"Drilling Condition");
   outtextxy(120,MY+48,"-----------------");
   outtextxy(40,MY+60,"Dimension (INCH or MM)        : ");
   outtextxy(40,MY+65,"  -                           ");

   outtextxy(40,MY+75,"Tool position (Tx,Ty,Tz)      : ");
   outtextxy(40,MY+80,"-                             ");
   outtextxy(40,MY+90,"Reference point (Rx,Ry,Rz)    : ");
   outtextxy(40,MY+95,"  -                           ");
   outtextxy(40,MY+105,"Drilling feed rate           : ");
   outtextxy(40,MY+110,"-                            ");
   outtextxy(40,MY+120,"Drilling spindle speed       : ");
   outtextxy(40,MY+125,"          -                  ");
   outtextxy(40,MY+135,"Height over object           : ");
   outtextxy(40,MY+140,"-                            ");
   outtextxy(40,MY+150,"Cutter diameter              : ");
   outtextxy(40,MY+155,"          -                  ");
   outtextxy(40,MY+165,"Drilling depth               : ");
   outtextxy(40,MY+170,"          -                  ");

   outtextxy(330,MY+60,dim);
   outtextxy(330,MY+75,tx);
   outtextxy(355,MY+75,",");
   outtextxy(360,MY+75,ty);
   outtextxy(385,MY+75,",");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(390,MY+75,tz);
outtextxy(330,MY+90,rx);
outtextxy(355,MY+90,",");
outtextxy(360,MY+90,ry);
outtextxy(385,MY+90,",");
outtextxy(390,MY+90,rz);
outtextxy(330,MY+105,dfeed);
outtextxy(330,MY+120,dspeed);
outtextxy(330,MY+135,height);
outtextxy(330,MY+150,dia);
outtextxy(330,MY+165,ddepth);

cc=0;
do
{   choi = getch();
if(choi=='N' || choi=='n')
{   draw_image(330,MY+55,420,MY+70);
    MoveText(130,MaxY-45,330,MY+60,dim); }
if(choi=='T' || choi=='t')
{   draw_image(330,MY+70,420,MY+85);
    MoveText(130,MaxY-45,330,MY+75,tx);
    outtextxy(355,MY+75,",");delay(100);
    MoveText(130,MaxY-45,360,MY+75,ty);
    outtextxy(385,MY+75,",");delay(100);
    MoveText(130,MaxY-45,390,MY+75,tz);  }
if(choi=='F' || choi=='f')
{   draw_image(330,MY+85,420,MY+100);
    MoveText(130,MaxY-45,330,MY+90,rx);
    outtextxy(355,MY+90,",");delay(100);
    MoveText(130,MaxY-45,360,MY+90,ry);
    outtextxy(385,MY+90,",");delay(100);
    MoveText(130,MaxY-45,390,MY+90,rz);  }
if(choi=='D' || choi=='d')
{   draw_image(330,MY+100,420,MY+115);
   MoveText(130,MaxY-45,330,MY+105,dfeed);       }
if(choi=='I' || choi=='i')
{   draw_image(330,MY+115,420,MY+130);
   MoveText(130,MaxY-45,330,MY+120,dspeed);  }
if(choi=='H' || choi=='h')
{   draw_image(330,MY+130,420,MY+145);
   MoveText(130,MaxY-45,330,MY+135,height);     }
if(choi=='A' || choi=='a')
{   draw_imag-(330,MY+145,420,MY+160);
   MoveText(130,MaxY-45,330,MY+150,dia);        }
if(choi=='E' || choi=='e')
{   draw_image(330,MY+160,420,MY+175);
   MoveText(130,MaxY-45,330,MY+165,ddepth);     }
if(choi==ESC)
{   setfillstyle(SOLID_FILL,0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    bar(430,MY+30,500,MY+235);
    draw_image(30,MY+30,429,MY+225);
    bar(30,MY+225,429,MY+235);
    ee=1;                }
   }while(ee!=1);
}
void split_data(void)
{     extern char dfeed[20],height[20],ddepth[20],dia[10],Feed[10],Speed[10], dspeed[20],mat[10],mdepth[10],tx[10],ty[10],tz[10],rx[10],
            ry[10],rz[10];
      extern float Dfeed,Height,Ddepth,Mdia,Mdepth,Tx,Ty,Tz,Rx,Ry,Rz,feed, speed,Dspeed;

      Dfeed = atof(dfeed);
      Dspeed = atof(dspeed);
      Height = atof(height);
      Ddepth = atof(ddepth);
      Mdia = atof(dia);
      Mdepth = atof(mdepth);
      feed = atof(Feed);
      speed = atof(Speed);
      Tx = atof(tx);
      Ty = atof(ty);
      Tz = atof(tz);
      Rx = atof(rx);
      Ry = atof(ry);
      Rz = atof(rz);
}
void material(void)
{     float scs,frev;
      extern char mat[10];
      extern float feed,speed,Mdia;

 if((strncmp(mat,"steel",strlen(mat))==0) || (strncmp(mat,"STEEL",strlen(mat))==0))
 {  scs = 30.0;  frev = 0.25;}
 if((strncmp(mat,"iron",strlen(mat))==0) || (strncmp(mat,"IRON",strlen(mat))==0))
 {  scs = 18.0;  frev = 0.40;}
 if((strncmp(mat,"brass",strlen(mat))==0) || (strncmp(mat,"BRASS",strlen(mat))==0))
 {  scs = 75.0;  frev = 0.36;}
 if((strncmp(mat,"aluminium",strlen(mat))==0) || (strncmp(mat,"ALUMINIUM",strlen(mat))==0))
 {  scs = 120.0; frev = 0.56;}
   speed = (1000 * scs)/(Pi*Mdia);
   feed  = frev * speed * 2.0;
}
void draw_image(int x, int y, int x1, int y1)
{     extern void *rectan;
      extern unsigned int size;

  size = imagesize(x,y,x1,y1);
  rectan = malloc(size);
  getimage(x,y,x1,y1,rectan);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
putimage(x,y,rectan,XOR_PUT);
free(rectan);
}
void Line(x1,y1,x2,y2)
float *x1,*y1,*x2,*y2;
{       extern int err8,nc;
        extern char cc[30];
        err8=1; Read();
        if (nc == 10)
        {  *x1 = atof(cc);
           Read();
           if (nc == 20)
           { *y1 = atof(cc);
             Read();
             if (nc == 30)
             {  Read();
                if (nc == 11)
                { *x2 = atof(cc);
                  Read();
                  if (nc == 21)
                  { *y2 = atof(cc);
                    Read();
                    if (nc == 31)
                    {   Read();
 err8=0;
 } } } }     } }
}
void Circle(cx,cy,cr)
double *cx,*cy,*cr;
{       err8=1; Read();
        if (nc == 10)
        {  *cx = atof(cc);
           Read();
           if (nc == 20)
           {  *cy = atof(cc);
              Read();
              if (nc == 30)
              {  Read();
                 if (nc == 40)
                 { *cr = atof(cc);
    err8=0;
  }
      }   }   }}
 void Arc(xc,yc,xs,ys,xe,ye,d)
 float *xc,*yc,*xs,*ys,*xe,*ye;
 char d[4];
 {       float arcx,arcy,arcr,arcs,arce;
         err8=1; Read();
         if (nc == 10)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {  arcx = atof(cc);
           Read();
           if (nc == 20)
           {  arcy = atof(cc);
              Read();
              if (nc == 30)
              {  Read();
                 if (nc == 40)
                 {  arcr = atof(cc);
                    Read();
                    if (nc == 50)
                    {  arcs = atof(cc);
                       Read();
                       if (nc == 51)
                       {  arce = atof(cc);
  err8=0;
   *xc = arcx; *yc = arcy;
   *xs = arcx + arcr * cos(arcs * Pi/180);
   *ys = arcy + arcr * sin(arcs * Pi/180);
   *xe = arcx + arcr * cos(arce * Pi/180);
   *ye = arcy + arcr * sin(arce * Pi/180);
   strcpy(d,"CCW");
      } } } } } }
}
void Pline(ind1,name,px,py,pxc,pyc,pdir)
int *ind1;
char name[6],pdir[][6];
float px[],py[];
double pxc[],pyc[];
{       float plx1[30],ply1[30],pla1[30];
        int right,loop,ind2,ind3;
        char type[6];
       err8=1; ind2=0; right=0;
       Read();
       if (strncmp(cc,"SEQEND",strlen(cc)) == 0 && nc == 0)
       right=1;
       if (strncmp(cc,"SEQEND",strlen(cc)) != 0 || nc != 0)
       {   if (strncmp(name,"BLOCK",strlen(name)) == 0 && nc == 8)
           right=0;
           if (strncmp(name,"POLY",strlen(name)) == 0 && nc == 8)
              right=0;        }
       if (right==0)
       {    right=1; Read();
           if (nc==66 && atoi(cc) == 1)
           {   Read();Read();Read();Read();
              if (nc != 70 || atoi(cc) != 1)
              strcpy(type,"OPEN");
              if (nc == 70 && atoi(cc) == 1)
              strcpy(type,"CLOSE");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (nc == 70)
           Read();
        if (strncmp(cc,"VERTEX",strlen(cc)) == 0 && nc == 0)
         {  loop=1;
           while (loop==1)
           {   Read();
               right=1;
             if (strncmp(cc,"SEQEND",strlen(cc)) == 0 && nc == 0)
             { right=1; loop=0;    }
             if (strncmp(cc,"SEQEND",strlen(cc)) != 0 || nc != 0)
             {  if (strncmp(name,"BLOCK",strlen(name)) == 0 && nc == 8)
                right=0;
                if (strncmp(name,"POLY",strlen(name)) == 0 && nc == 8)
                  right=0;       }
             if (right==0)
             {  Read();
                if (nc == 10)
                { plx1[ind2] = atof(cc);
                  Read();
                  if (nc == 20)
                  { ply1[ind2] = atof(cc);
                    cnt8=0; Read(); Read();
                    if (nc == 42)
                      pla1[ind2] = atof(cc);
                    if (nc == 0)
                    { pla1[ind2] = 9999;
                      if (strncmp(cc,"SEQEND",strlen(cc)) == 0)
                      loop=0;
                      } ++ind2;
      }}}}}}}
    for (ind3=0; ind3<ind2-1; ++ind3)
    {  if ((pla1[*ind1]) == 9999)
       { px[*ind1] = plx1[ind3];
         py[*ind1] = ply1[ind3];
         pxc[*ind1] = 9999;
         pyc[*ind1] = 9999;
         strcpy(pdir[*ind1],"NONE");    }
      if ((pla1[*ind1]) != 9999)
         { if (pla1[*ind1] < 0) strcpy(pdir[*ind1],"CW");
           if (pla1[*ind1] >= 0) strcpy(pdir[*ind1],"CCW");
            px[*ind1] = plx1[ind3];
            py[*ind1] = ply1[ind3];
            px[*ind1+1] = plx1[ind3+1];
            py[*ind1+1] = ply1[ind3+1];
            CPline(px[*ind1],py[*ind1],&pxc[*ind1],&pyc[*ind1],
                   pla1[*ind1],px[*ind1+1],py[*ind1+1]);
  } ++*ind1;
 }
 if (strncmp(type,"CLOSE",strlen(type)) == 0)
```

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{   if ((pla1[*ind1]) == 9999)
        {   px[*ind1] = plx1[ind2-1];
            py[*ind1] = ply1[ind2-1];
            pxc[*ind1] = 9999;
            pyc[*ind1] = 9999,
            strcpy(pdir[*ind1],"NONE");         }
    if ((pla1[*ind1]) != 9999)
        {   if (pla1[*ind1] < 0)  strcpy(pdir[*ind1],"CW");
            if (pla1[*ind1] >= 0) strcpy(pdir[*ind1],"CCW");
              px[*ind1] = plx1[ind2-1];
              py[*ind1] = ply1[ind2-1];
              px[*ind1+1] = plx1[0];
              py[*ind1+1] = ply1[0];
              CPline(px[*ind1],py[*ind1],&pxc[*ind1],&pyc[*ind1],
                      pla1[*ind1],px[0],py[0]);
    } ++*ind1;
        px[*ind1] = plx1[0];
        py[*ind1] = ply1[0];
        strcpy(pdir[*ind1],"NONE");
    ++*ind1;
}
if (strncmp(type,"OPEN",strlen(type)) == 0)
      {  px[*ind1] = plx1[ind2-1];
         py[*ind1] = ply1[ind2-1];
         strcpy(pdir[*ind1],"NONE");
        ++*ind1;     }
}
void CPline(xs,ys,xc,yc,alpha,xc,yc)
double xs,ys,*xc,*yc,alpha,xc,yc;
{       double x,y,xx,yy,xbar,ybar,lx,square1,chord1,beta,normal,alpha1;
        int result5,result6;

 xbar = (xc + xs)/2;
 ybar = (yc + ys)/2;
 if (alpha == 1 || alpha == -1)
 {   *xc = xbar;  *yc = ybar;   }
 else
 {   if (alpha < 0)
     result5=-1;
     else
     result5=1;
     square1 = ((xc-xs)*(xc-xs)+(yc-ys)*(yc-ys))/4;
     chord1 = sqrt(square1);
     lx = xc-xs;
     if(lx==0.0)
     {   lx = 1E-5;  }
     beta = atan((yc-ys)/lx);
     alpha1 = 2 * atan(alpha);
     normal = fabs(chord1/tan(alpha1));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        x = xbar + normal * cos(beta+Pi/2);
        y = ybar + normal * sin(beta+Pi/2);
        xx = xbar + normal * cos(beta-Pi/2);
        yy = ybar + normal * sin(beta-Pi/2);
        CP(xs,ys,xe,ye,xbar,ybar,x,y,&result6);
   if (result5 == result6)
        {  *xc = x;    *yc = y; }
   if (result5 != result6)
        {  CP(xs,ys,xe,ye,xbar,ybar,xx,yy,&result6);
  if (result5 == result6)
          { *xc = xx; *yc = yy;}
  else
  { puts(error10); }
  }}
return;
}
void Read()
{       extern FILE *rfpt;
        extern int nc;
        extern char cc[30];
        fscanf(rfpt,"%d",&nc);
        fscanf(rfpt,"%s",cc);
 return;
}
void Pickup()
{       int ren,right,skip,n,a;
        char code1[6],d[4];
        extern int nc,err8,err9,ln,cn,an,pn,pn1,pls[30],plc[30];
        extern char cc[30],dir[50][6],pdir[50][6];
        extern float lxs[50],lys[50],lxe[50],lye[50],axc[50],ayc[50],axs[50],ays[50],axe[50],aye[50],px[50],py[50];
        extern double cx[50],cy[50],cr[50],pxc[50],pyc[50];

        err8=0; skip=1; ln=0; cn=0; an=0; pn=0; pn1=0;
        ren = strncmp(cc,"EOF",strlen(cc));
        while (ren!=0)
        {  if (skip!=1) Read();
        if (skip==1) skip=0;
           if (nc==0 && strncmp(cc,"LINE",strlen(cc)) == 0)
           {  Read();
             right=0;
             if (right==0)
             {  Line(&lxs[ln],&lys[ln],&lxe[ln],&lye[ln]);
             if (err8==0)
               {++ln; skip = 1;}          }  }
          if (nc==0 && strncmp(cc,"CIRCLE",strlen(cc)) == 0)
          {  Read();   right=0;
           if (right==0)
             {  Circle(&cx[cn],&cy[cn],&cr[cn]);
             if (err8==0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            {++cn; skip = 1;}
  ] }
        if (nc==0 && strncmp(cc,"ARC",strlen(cc)) == 0)
        { Read();   right=0;
        if (right==0)
          { Arc(&axc[an],&ayc[an],&axs[an],&ays[an],
              &axc[an],&ayc[an],&dir[an]);
        if (err8==0)
            {++an;  skip = 1;}
         } }
        if (nc == 0 && strncmp(cc,"POLYLINE",strlen(cc)) == 0)
        { strcpy(code1,"POLY");
          pls[pn1] = pn;
          Pline(&pn,code1,px,py,pxc,pyc,pdir);
          ple[pn1] = pn-1;
          ++pn1; skip = 1;          }
        ren = strncmp(cc,"EOF",strlen(cc));
        if (err8==1)
        { ren=0;    }
} }
void Search()
{       int chk,skip;
        char end[10];
        chk=1; err9=0; skip=0;
        while (chk==1)
        { if (skip!=1) Read();
        if (skip==1) skip=0;
          if (strncmp(cc,"EOF",strlen(cc)) == 0)
         { chk=0; err9=1;}
         if (err9==0)
          { if (strncmp(cc,"ENTITIES",strlen(cc)) == 0 && nc == 2)
          chk=0;        }
}       }
void InForm()
{       int i,ii,k,l;
        extern int ln,an,pn1,pls[30],ple[30];
        extern float lxs[50],lys[50],lxe[50],lye[50],axc[50],ayc[50],axs[50], ays[50],axe[50],ayc[50],px[50],py[50];
        extern double pxc[50],pyc[50];
        extern char dir[50][6],pdir[50][6];

        if (pn1 >= 0)
        {   for (ii=0; ii<pn1; ++ii)
            { k = pls[ii];   l = ple[ii];
        for (i=k; i<l; ++i)
            { if (pxc[i] == 9999 && pyc[i] == 9999)
              {   lxs[ln] = px[i];   lys[ln] = py[i];
                  lxe[ln] = px[i+1];   lye[ln] = py[i+1];
                  ++ln;       }
              if (pxc[i] != 9999 || pyc[i] != 9999)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            {   axs[an] = px[i];    ays[an] = py[i];
                axc[an] = pxc[i];   ayc[an] = pyc[i];
                strcpy(dir[an],pdir[i]);
                axc[an] = px[i+1];  ayc[an] = py[i+1];
                ++an;
  } } } }
}
void LN()
{       double zero;
        int i,last;
        char nam1[5];
        extern float lxs[50],lys[50],lxc[50],lyc[50],axc[50],ayc[50],axs[50],ays[50],axc[50],ayc[50];
       extern int ln,an;
        extern char dir[50][6];

        if (ln >= 0)
        {  strcpy(nam1,"LINE");
           for (i=0;i<ln;++i)
           {  FN(nam1,&lxs[i],&lys[i],&lxc[i],&lyc[i],"NONE");
              zero=0; last=0;       }
           for (i=1;i<ln;++i)
            { if ((lxs[0]-lxs[i]) <= 1E-5 && (lys[0]-lys[i]) <= 1E-5)
              {   last=i; }
             SN(nam1,&lxs[0],&lys[0],&lxc[0],&lyc[0],&zero,&zero, "NONE",&lxs[i],&lys[i],&lxc[i],&lyc[i],&zero,&zero,"NONE");
      }
      if (last > 0)
      {   i=last;
              SN(nam1,&lxs[1],&lys[1],&lxc[1],&lyc[1],&zero,&zero,"NONE",&lxs[i],&lys[i],&lxc[i],&lyc[i],&zero,&zero,"NONE");
   }      }   }
   void AN()
   {       int i,last;
           char nam1[5];
           if (an >= 0)
           {  strcpy(nam1,"ARC");
              for (i=0;i<an;++i)
              {  FN(nam1,&axs[i],&ays[i],&axc[i],&ayc[i], &dir[i]);
                    last=0;       }
              for (i=1;i<an;i++)
              {  if (fabs(axs[0]-axs[i]) <= 1E-5 && fabs(ays[0]-ays[i]) <= 1E-5)
                 { last=i;}
                 SN(nam1,&axs[0],&ays[0],&axc[0],&ayc[0],
                   &axc[0],&ayc[0],&dir[0],&axs[i],&ays[i],&axc[i],
                   &ayc[i],&axc[i],&ayc[i],&dir[i]);
        }
        if (last > 0)
        {  i=last;
                SN(nam1,&axs[1],&ays[1],&axc[1],&ayc[1],
                  &axc[1],&ayc[1],&dir[1],&axs[i],&ays[i],&axc[i],
                  &ayc[i],&axc[i],&ayc[i],&dir[i]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
} } }
void FN(name,x1,y1,x2,y2,direct1)
float *x1,*y1,*x2,*y2;
char name[5],direct1[5];
{       double xx,yy,d,e;
        int pass;
        pass = 0; d = *x1 * *x1 + *y1 * *y1;
                e = *x2 * *x2 + *y2 * *y2;
        if (d>e)
        {       xx = *x1; yy = *y1; *x1 = *x2; *y1 = *y2; *x2 = xx; *y2 = yy;
                if (strncmp(name,"ARC",strlen(name)) == 0)
                { if (strncmp(direct1,"CCW",strlen(direct1)) == 0)
                  {     strcpy(direct1,"CW");
                        pass = 1;               }
                if (pass==0)
                  { if (strncmp(direct1,"CW",strlen(direct1)) == 0)
                  {     strcpy(direct1,"CCW");
                        pass = 1;               }
  } } }
  return;
}
void SN(name,xs1,ys1,xc1,yc1,xc1,yc1,d1,xs2,ys2,xc2,yc2,xc2,yc2,d2)
char name[5],d1[5],d2[5];
float *xs1,*ys1,*xc1,*yc1,*xc1,*yc1,*xs2,*ys2,*xc2,*yc2,*xc2,*yc2;
{       float xx1,yy1,xx2,yy2,d,e,cx,cy;
        char direct3[5];
        d = *xs1 * *xs1 + *ys1 * *ys1;
        e = *xs2 * *xs2 + *ys2 * *ys2;
        if ( d>e)
        {       xx1 = *xs1; yy1 = *ys1; xx2 = *xc1; yy2 = *yc1;
                *xs1 = *xs2; *ys1 = *ys2; *xc1 = *xc2; *yc1 = *yc2;
                *xs2 = xx1; *ys2 = yy1; *xc2 = xx2; *yc2 = yy2;
                if (strncmp(name,"ARC",strlen(name)) == 0)
              {  cx = *xc1; cy = *yc1; *xc1 = *xc2;
                  *yc1 = *yc2; *xc2 = cx; *yc2 = cy;
                strcpy(direct3,d1);   strcpy(d1,d2);
                strcpy(d2,direct3);             }
  }
  return;
  }
  void FirstForm(num,Con,direct)
  int *num;
  char direct[21],Con[30][6];
  {       int i,k,l,a,b,c,z,f,Q,int1,int2,in1,in2,d,result,m,n,M;
          double A[30],B[30],A1[30],B1[30],C[30],C1[30],m1,m2,m3,m4,m5,m6,xb1,yb1,xb2,yb2,xc,yc,X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4,AA1,BB1,AA2,BB2,AA3,
                BB3,alpha,zeta,dax[30],day[30],daxc[200],dayc[200];
          char D[50][6],dc[50][6],dac[50][6],dd[50][6],vector[21],d1[50][6];
          extern int in,an;
          extern float lxs[50],lys[50],lxe[50],lyc[50],axs[50],ays[50],axc[50],
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ayc[50],axc[50],ayc[50],Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
    extern char dir[50][6],dac[200][7],dad[200][6];

    M = *num;
    X1 = lxs[0]; Y1 = lys[0];
    X2 = lxs[1]; Y2 = lys[1];
    X3 = axs[0]; Y3 = ays[0];
    X4 = axs[1]; Y4 = ays[1];
    if((X1!=X2 && Y1!=Y2) || (X1==X2 && Y1!=Y2) || (X1!=X2 && Y1==Y2))
    { for(z=1;z<ln;z++)
      { AA1 = lxs[1];  BB1 = lys[1];
        AA2 = lxe[1];  BB2 = lye[1];
       if(lxs[0]==lxs[z] && lys[0]==lys[z])
       { lxs[1] = lxs[z];    lys[1] = lys[z];
         lxe[1] = lxe[z];    lye[1] = lye[z];
         lxs[z] = AA1;       lys[z] = BB1;
         lxe[z] = AA2;       lye[z] = BB2;
         X1 = lxs[0];  Y1 = lys[0];
         X2 = lxs[1];  Y2 = lys[1];
} } }
if((X3!=X4 && Y3!=Y4) || (X3==X4 && Y3!=Y4) || (X3!=X4 && Y3==Y4))
    { for(z=1;z<an;z++)
      { AA1 = axs[1]; BB1 = ays[1];
        AA2 = axc[1]; BB2 = ayc[1];
        AA3 = axc[1]; BB3 = ayc[1];
        strcpy(d1,dir[1]);
        if(axs[0]==axs[z] && ays[0]==ays[z])
        { axs[1] = axs[z];  ays[1] = ays[z];
          axc[1] = axc[z];  ayc[1] = ayc[z];
          axc[1] = axc[z];  ayc[1] = ayc[z];
          strcpy(dir[1],dir[z]);
          axs[z] = AA1;  ays[z] = BB1;
          axc[z] = AA2;  ayc[z] = BB2;
          axc[z] = AA3;  ayc[z] = BB3;
          strcpy(dir[z],d1);
          X3 = axs[0];  Y3 = ays[0];
          X4 = axs[1];  Y4 = ays[1];
} } }
    if(((X1!=X2 && Y1!=Y2) && (X3!=X4 && Y3!=Y4)) || (X1!=X3 && Y1!=Y3))
    { for(z=0;z<an;z++)
      { AA1 = axs[0]; BB1 = ays[0];
        AA2 = axc[0]; BB2 = ayc[0];
        AA3 = axc[0]; BB3 = ayc[0];
        strcpy(d1,dir[0]);
        if(X1==axs[z] && Y1==ays[z])
        { axs[0] = axs[z];  ays[0] = ays[z];
          axc[0] = axc[z];  ayc[0] = ayc[z];
          axc[0] = axc[z];  ayc[0] = ayc[z];
          strcpy(dir[0],dir[z]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        axs[z] = AA1;  ays[z] = BB1;
        axc[z] = AA2;  ayc[z] = BB2;
        axc[z] = AA3;  ayc[z] = BB3;
        strcpy(dir[z],d1);
        X3 = axs[0];  Y3 = ays[0];
        X4 = axs[1];  Y4 = ays[1];        }
      if(X1==axc[z] && Y1==ayc[z])
      {  axs[0] = axs[z]; ays[0] = ays[z];
        axc[0] = axc[z]; ayc[0] = ayc[z];
        axc[0] = axc[z]; ayc[0] = ayc[z];
        strcpy(dir[0],dir[z]);
        axs[z] = AA1;  ayc[z] = BB1;
        axc[z] = AA2;  ayc[z] = BB2;
        axc[z] = AA3;  ayc[z] = BB3;
        strcpy(dir[z],d1);
        X3 = axc[0]; Y3 = ayc[0];     }    }
   for(z=0;z<ln;z++)
    {  AA1 = lxs[0];   BB1 = lys[0];
      AA2 = lxe[0];   BB2 = lye[0];
      if(X3==lxs[z] && Y3==lys[z])
      {   lxs[0] = lxs[z];     lys[0] = lys[z];
        lxe[0] = lxe[z];     lye[0] = lye[z];
        lxs[z] = AA1;        lys[z] = BB1;
        lxe[z] = AA2;        lye[z] = BB2;
        X1 = lxs[0];   Y1 = lys[0];
        X2 = lxs[1];   Y2 = lys[1];
   } }  }
   if((lxe[0]-lxs[0])==0.0)
   {    m1 = (lye[0]-lys[0])/1E-4;    }
   if((lxe[0]-lxs[0])!=0.0)
  {    m1 = (lye[0] - lys[0])/(lxe[0] - lxs[0]);   }
  if((lxe[1]-lxs[1])==0.0)
  {    m2 = (lye[1]-lys[1])/1E-4;    }
 if((lxe[1]-lxs[1])!=0.0)
 {    m2 = (lye[1] - lys[1])/(lxe[1] - lxs[1]);   }
   if((axe[0]-axs[0])==0.0)
   {    m3 = (aye[0] - ays[0])/1E-4;   }
   if((axe[0]-axs[0])!=0.0)
   {    m3 = (aye[0] - ays[0])/(axe[0] - axs[0]);   }
   if((axe[1]-axs[1])==0.0)
   {    m4 = (aye[1] - ays[1])/1E-4;   }
   if((axe[1]-axs[1])!=0.0)
   {    m4 = (aye[1] - ays[1])/(axe[1] - axs[1]);   }
   if((((fabs(X1-X2)<=1E-4) && (fabs(Y1-Y2)<=1E-4) &&(X1!=0.0)&&(Y1!=0.0)) || ((fabs(X1-X3)<=1E-4) && (fabs(Y1-Y3)<=1E-4)
      &&(X1!=0.0)&&(Y1!=0.0)))
     {    if(m1>=0 || m2<0 || m3<0)
       { if(((lxe[0] > lxs[0]) && (lxs[0] > lxe[1])) || ((lxe[0] > lxs[0]) && (axs[0] > axe[1])))
         {    Q = 2;   }
         if(((lxe[0] > lxs[0]) && (lxs[0] < lxe[1])) || ((lxe[0] > lxs[0]) && (axs[0] < axe[1])))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {   Q = 4;  }   }
   if(m1>=0 && m2>=0)
   { zeta = atan(m1) * 180/Pi;
   alpha = atan(m2) * 180/Pi;
     Q = 0;    }
   if(m1>=0 && m3>0)
    { zeta = atan(m1) * 180/Pi;
      alpha = atan(m3) * 180/Pi;
     Q = 0;      }
  if(m1>=0 && m2<0)
    { zeta = atan(m1) * 180/Pi;
 if(Q==2)
  {  alpha = 180 - (atan(fabs(m2)) * 180/Pi);  }
 if(Q==4)
      {  alpha = 360 - (atan(fabs(m2)) * 180/Pi);  }    }
 if(m1>=0 && m3<0)
 { zeta = atan(m1) * 180/Pi;
 if(Q==2)
  {  alpha = 180 - (atan(m3) * 180/Pi);  }
 if(Q==4)
      {  alpha = 360 - (atan(m3) * 180/Pi);  }   }
 if(m1<0 && m2>0)
 {  zeta = atan(m1) * 180/Pi;
    alpha = atan(m2) * 180/Pi;
    Q = 4;  }
 if(Q==0)
 {  if(alpha>zeta)
   {  strcpy(vector,"CCW");  }
      if(alpha<=zeta)
      {  strcpy(vector,"CW");   }   }
 if(Q==2)
{  if((alpha-zeta) > 0 && (alpha-zeta) < 180)
  {  strcpy(vector,"CCW");  }
     if((zeta-alpha) > 0 && (zeta-alpha) < 180)
       {  strcpy(vector,"CW");  }      }
 if(Q==4)
 {  if((alpha-zeta) > 180)
    {  strcpy(vector,"CW"); }
   else
       {  strcpy(vector,"CCW");  }      }
     Dx[*num] = lxs[0];  Dy[*num] = lys[0];
      lxs[0] = 9999;   lys[0] = 9999;
      ++*num;
     Dx[*num] = lxe[0];  Dy[*num] = lye[0];
      lxe[0] = 9999;   lye[0] = 9999;
     strcpy(dac[*num],"LINE");     }
  if((fabs(X3-X4) <= 1E-4) && (fabs(Y3-Y4) <= 1E-4) && (X3!=0.0) && (X4!=0.0))
  {  yb1 = (ays[0] + aye[0])/2;
     xb1 = (axs[0] + axe[0])/2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    m5 = (-1)/m3;
    yb2 = (ays[1] + aye[1])/2;
    xb2 = (axs[1] + axe[1])/2;
    if(m4==0.0)
     {  m4 = 1E-5; }
    m6 = (-1)/m4;
   xc = ((m5*xb1)-yb1-(m6*xb2)+yb2)/(m5-m6);
   yc = m5*(xc-xb1)+yb1;
    CP(axs[0],ays[0],axe[0],aye[0],xb1,yb1,xc,yc,&result);
   if(result==1)
  {   strcpy(vector,"CCW");   }
   if(result==-1)
   {   strcpy(vector,"CW");    }
    Dx[*num] = X3;     Dy[*num] = Y3;
    axs[0] = 9999;   ays[0] = 9999;
    ++*num;
    Dx[*num] = axe[0];     Dy[*num] = aye[0];
    axe[0] = 9999;   aye[0] = 9999;
    Dxc[*num] = axc[0];   axc[0] = 0.0;
    Dyc[*num] = ayc[0];   ayc[0] = 0.0;
    strcpy(dad[*num],dir[0]);   strcpy(dir[0],"NONE");
    strcpy(dac[*num],"ARC");       }
  ++*num;
  a=0;
  for(i=0;i<ln;++i)
  {   A[a] = lxs[i], B[a] = lys[i];
     A1[a] = lxe[i], B1[a] = lye[i];
     strcpy(dc[a],"LINE");
++a;       }
  for(k=0;k<an;++k)
  {   A[a] = axs[k]; B[a] = ays[k];
     A1[a] = axe[k]; B1[a] = aye[k];
     C[a] = axc[k]; C1[a] = ayc[k];
     strcpy(D[a],dir[k]);
     strcpy(dc[a],"ARC");
     ++a;     }
  for(l=M+1;l<M+an+ln;++l)
  {   for(b=0;b<a;b++)
     {   if((fabs(Dx[l]-A[b])<=1E-4) && (fabs(Dy[l]-B[b])<=1E-4))
        {   Dx[*num] = A1[b];  Dy[*num] = B1[b];
           A1[b] = 9999;   B1[b] = 9999;
           Dxc[*num] = 0.0;  Dyc[*num] = 0.0;
           strcpy(dac[*num],dc[b]);
           strcpy(dad[*num],"NONE");
           if (strncmp(dc[b],"ARC",strlen(dc[b])) == 0)
           {   Dxc[*num] = C[b];    Dyc[*num] = C1[b];
              strcpy(dad[*num],D[b]);
           }   ++*num;
           if((fabs(Dx[l]-A1[b])<=1E-4) && (fabs(Dy[l]-B1[b])<=1E-4))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            {   Dx[*num] = A[b];  A[b] = 9999;
                Dy[*num] = B[b];  B[b] = 9999;
                Dxc[*num] = 0.0;  Dyc[*num] = 0.0;
                strcpy(dac[*num],dc[b]);
                strcpy(dad[*num],"NONE");
    if(strncmp(dc[b],"ARC",strlen(dc[b])) == 0)
                {   Dxc[*num] = C[b]; Dyc[*num] = C1[b];
     if(strncmp(D[b],"CW",strlen(D[b])) == 0)
                    {   strcpy(dad[*num],"CCW");  }
    else
                    {   strcpy(dad[*num],"CW");  }
  }  ++l;  ++*num;
}  }
        if(((fabs(Dx[l]-A1[b])<=1E-4) && (fabs(Dy[l]-B1[b])<=1E-4))
        {   Dx[*num] = A[b];  A[b] = 9999;
            Dy[*num] = B[b];  B[b] = 9999;
            Dxc[*num] = 0.0;  Dyc[*num] = 0.0;
            strcpy(dac[*num],dc[b]);  strcpy(dad[*num],"NONE");
        if(strncmp(dc[b],"ARC",strlen(dc[b])) == 0)
            {   Dxc[*num] = C[b];  Dyc[*num] = C1[b];
        if(strncmp(D[b],"CW",strlen(D[b])) == 0)
                {   strcpy(dad[*num],"CCW");   }
        else
                {   strcpy(dad[*num],"CW");    }
        }   ++*num;
            if(((fabs(Dx[l]-A[b])<=1E-4) && (fabs(Dy[l]-B[b])<=1E-4))
            {   Dx[*num] = A1[b];   A1[b] = 9999;
                Dy[*num] = B1[b];   B1[b] = 9999;
                Dxc[*num] = 0.0;   Dyc[*num] = 0.0;
                strcpy(dac[*num],dc[b]);
                strcpy(dad[*num],"NONE");
              if(strncmp(dc[b],"ARC",strlen(dc[b])) == 0)
                {   Dxc[*num] = C[b];
                    Dyc[*num] = C1[b];
                    strcpy(dad[*num],D[b]);
                  } ++l; ++*num;
    } } } }
    if(((fabs(Dx[*num-1]-Dx[M])<=1E-4) && (fabs(Dy[*num-1]-Dy[M])<=1E-4))
    {   strcpy(Con,"CLOSE");   }
     for(c=M;c<*num;c++)
    {   dax[c] = Dx[c];   day[c] = Dy[c];
        daxc[c] = Dxc[c];  dayc[c] = Dyc[c];
        strcpy(dac[c],dac[c]);  strcpy(dd[c],dad[c]);     }
    if(strncmp(direct,vector,strlen(direct)) == 0)
      { m = M;
        for(c=M;c<*num;c++)
      {  Dx[m] = dax[c];   Dy[m] = day[c];
         Dxc[m] = daxc[c];  Dyc[m] = dayc[c];
         strcpy(dac[m],dac[c]);     strcpy(dad[m],dd[c]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ++m;        }     }
      if(strncmp(direct,vector,strlen(direct)) != 0)
      {  n = M; daxc[*num] = 0.0;    dayc[*num] = 0.0;
         strcpy(dd[*num],"NONE");    strcpy(dac[*num],"NONE");
         for(c=*num-1;c>=M;c--)
         {  Dx[n] = dax[c];    Dy[n] = day[c];
            Dxc[n] = daxc[c+1];   Dyc[n] = dayc[c+1];
            strcpy(dac[n],dac[c+1]);
            if(strncmp(dac[n],"ARC",strlen(dac[n])) == 0)
            {   if(strncmp(dd[c+1],"CCW",strlen(dd[c+1])) == 0)
                {     strcpy(dad[n],"CW");     }
            if(strncmp(dd[c+1],"CW",strlen(dd[c+1])) == 0)
                {     strcpy(dad[n],"CCW");    }       }
            if(strncmp(dac[n],"LINE",strlen(dac[n])) == 0)
            {   strcpy(dad[n],"NONE");           }
          ++n;
   }  }
   for(f=*num-1;f>M;--f)
      {  Dx[f] = Dx[f-1];
         Dy[f] = Dy[f-1];       }
}
void Cal(dim,up,seek,num,direct1,inout,dia1)
double dia1;
char direct1[],inout[],dim[];
int up,seek,*num;
{       double xc1,yc1,xc2,yc2,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2,x,y,xvar,yvar,xx,yy,x1,y1;
        int i,ii,j,start,end,T,check1,check2,k,a;
        char d1[6],d2[6];
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
        extern char dac[200][7],dad[200][6],Con[30][6];
        extern int ds[50],de[50];

 if (dia1 > 0)
 {  if (strncmp(direct1,"CCW",strlen(direct1)) == 0)
    {  if (strncmp(inout,"OUTSIDE",strlen(inout)) == 0)
                T = -1;
       if (strncmp(inout,"INSIDE",strlen(inout)) == 0)
                T = 1;     }
       if (strncmp(direct1,"CW",strlen(direct1)) == 0)
       {  if (strncmp(inout,"OUTSIDE",strlen(inout)) == 0)
                T = 1;
          if (strncmp(inout,"INSIDE",strlen(inout)) == 0)
                T = -1;    }
          for (ii=up; ii<seek; ++ii)
          {  i=ds[ii]+1; j=de[ii]-1; x=Dx[j];  y=Dy[j];
             xc1=Dxc[j]; yc1=Dyc[j]; xvar=Dx[i]; yvar=Dy[i];
             xc2=Dxc[i]; yc2=Dyc[i]; x1=Dx[i+1]; y1=Dy[i+1];
             strcpy(d1,dad[j]);  strcpy(d2,dad[i]);
             Fix(j,i,&check1,&check2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (strncmp(Con[ii],"CLOSE",strlen(Con[ii])) == 0)
{  xx = xvar; yy = yvar;
   NPoint(j,check1,x,y,xvar,yvar,dia1,T,direct1,&rx1,&ry1,&m1,&c1);
   NPoint(i,check2,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,direct1,&rx2,&ry2,&m2,&c2);
   if (check1 == 1 && check2 == 1)
   {   LL(i,x,xvar,x1,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2);  }
   if ((check1 == 1 && check2 == 2) || (check1 == 2 && check2 == 1))
   {  LA(dim,num,ii,seek,&i,&j,x,y,xvar,yvar,x1,y1,dia1,
            T,rx1,ry1,xc1,yc1,d1,m1,c1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2,m2,c2);}
   if (check1 == 2 && check2 == 2)
   {  AA(num,ii,seek,&i,&j,x,y,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,
            rx1,ry1,Dxc[j],Dyc[j],dad[j],rx2,ry2,Dxc[i],Dyc[i],dad[i]);}
   }
 else
 {  NPoint(i,check2,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,&rx2,&ry2,&m2,&c2);
    Dx[i] = rx2;
    Dy[i] = ry2;     }
 start = i + 1;
 end = j - 1;
 for (i=start; i<=end; ++i)
 {    Fix(i-1,i,&check1,&check2);
      x = xvar;   y = yvar;
      xvar = Dx[i];  yvar = Dy[i];
      x1 = Dx[i+1]; y1 = Dy[i+1];
      xc1 = Dxc[i-1]; yc1 = Dyc[i-1];
      xc2 = Dxc[i]; yc2 = Dyc[i];
      strcpy(d1,dad[i-1]);
      strcpy(d2,dad[i]);
     NPoint(i-1,check1,x,y,xvar,yvar,dia1,T,direct1,&rx1,&ry1,&m1,&c1);
     NPoint(i,check2,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,direct1,&rx2,&ry2,&m2,&c2);
     if (check1 == 1 && check2 == 1)
     {  LL(i,x,xvar,x1,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2);}
     if ((check1 == 1 && check2 == 2) || (check1 == 2 && check2 == 1))
     {  LA(dim,num,ii,seek,&i,&end,x,y,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,rx1,ry1,xc1,yc1,d1,m1,c1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2,m2,c2);}
     if (check1 == 2 && check2 == 2)
     {  AA(num,ii,seek,&i,&end,x,y,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,rx1,ry1,xc1,yc1,d1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2); }     }
   j = end + 1;
   Fix(j-1,j,&check1,&check2);
   if (strncmp(Con[ii],"CLOSE",strlen(Con[ii])) == 0)
   {   xc1 = Dxc[j-1];   yc1 = Dyc[j-1];
       xc2 = Dxc[j];     yc2 = Dyc[j];
       strcpy(d1,dad[j-1]);
       strcpy(d2,dad[j]);
       NPoint(j-1,check1,xvar,yvar,x1,y1,dia1,T,direct1,&rx1,&ry1,&m1,&c1);
       NPoint(j,check2,x1,y1,xx,yy,dia1,T,direct1,&rx2,&ry2,&m2,&c2);
       if (check1 == 1 && check2 == 1)
       {  LL(j,xvar,x1,xx,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2); }
       if ((check1 == 1 && check2 == 2) || (check1 == 2 && check2 == 1))
       {  LA(dim,num,ii,seek,&j,&j,xvar,yvar,x1,y1,xx,yy,dia1,T,rx1,ry1,xc1,yc1,d1,m1,c1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2,m2,c2);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if (check1 == 2 && check2 == 2)
            { AA(num,ii,seek,&j,&j,xvar,yvar,x1,y1,xx,yy,dia1,T, rx1,ry1,xc1,yc1,d1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2); }
          }
          else
            { NPcint(j-1,check1,x1,y1,xvar,yvar,dia1,-T,&rx1,&ry1,&m1,&c1);
              Dx[j] = rx1;
              Dy[j] = ry1;
      }}}
}
void InOutli(xs,ys,xc,yc,dia1,T,rx,ry,m,c)
double xs,ys,xc,yc,dia1,*rx,*ry,*m,*c;
int T;
{     double delx,dely,dela,delb,val1,a,b,a1,b1,s,sa,xi,yj,ai,bj,Q;
      int loop,TT;
      dela = 1; delb = 1; val1 = 1E-5;
      if (fabs(xc-xs) <= 1E-5)
      { Extra(ys,yc,&dely,val1);
        a1 = xs+dela;   b1 = ys;
       *m = 0;  delx = 0;  }
      else
      { *m = (yc - ys)/(xc - xs);
        Extra(xs,xc,&delx,val1);
       dely = delx**m;  b1 = ys + delb;
       a1 = xs - (b1 - ys)**m;     }
      s = sqrt(delx*delx+dely*dely);
      xi = delx/s;   yj = dely/s;
      a = a1 - xs;   b = b1 - ys;
      sa = sqrt(a*a+b*b);   ai = a/sa;
      bj = b/sa;  Q = bj*xi-ai*yj;
      if (Q < 0 )
        TT = -1;
       else
        TT = 1;
      if (T != TT)
      {  ai = -ai;   bj = -bj;     }
      *rx = xs+ai*dia1/2;
      *ry = ys+bj*dia1/2;
      *c  = *ry-*rx**m;
}
void InOutAr(xs,ys,xc,yc,xe,ye,dia1,T,arcpath,rx,ry,m,c)
double xs,ys,xc,yc,xe,ye,dia1,*rx,*ry,*m,*c;
char direct1[7],arcpath[21];
int T;
{     double delx,dely,dela,delb,del,val1,a,b,a1,b1,s,sa,x,y,xi,yj,ai,bj,Q;
      int loop,TT;
      if(strncmp(direct1,arcpath,strlen(direct1))==0)
      {   if(strncmp(direct1,"CW",strlen(direct1))==0)
          {  if(fabs(xc-xs) <= 1E-3)
             { Extra(ys,yc,&del,1E-3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(del>0)
            {  x = xs-1E-3;  y = ys;     }
            if(del<0)
            {  x = xs+1E-3;  y = ys;     }  }
          if(fabs(xc-xs) > 1E-3)
          {  if(fabs(yc-ys) <= 1E-3)
             {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
                if(del>0)
                {  x = xs; y = ys+1E-3;     }
                if(del<0)
                {  x = xs; y = ys-1E-3;     }  }
             else
             {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
                if(del>0)
                {   x = xs-1E-3;  y = ys+1E-3;     }
                if(del<0)
                {   x = xs; y = ys-1E-3;    }   }  }  }
       if(stmcmp(direct1,"CCW",strlen(direct1))==0)
       {  if(fabs(xc-xs) <= 1E-3)
          {  Extra(ys,yc,&del,1E-3);
             if(del>0)
             {  x = xs+1E-3;  y = ys;     }
             if(del<0)
             {  x = xs-1E-3;  y = ys;     }  }
          if(fabs(xc-xs) > 1E-3)
          {  if(fabs(yc-ys) <= 1E-3)
             {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
                if(del>0)
                {  x = xs; y = ys-1E-3;     }
                if(del<0)
                {  x = xs; y = ys+1E-3;     }  }
             else
             {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
                if(del>0)
                {  x = xs; y = ys-1E-3;     }
                if(del<0)
                {  x = xs; y = ys+1E-3;     }  }  }  }
    if(stmcmp(direct1,arcpath,strlen(direct1))!=0)
     {  if(stmcmp(arcpath,"CW",strlen(direct1))==0)
        {  if(fabs(xc-xs)<=1E-3)
           {  if(yc>ys)
              {  x = xs+1E-3;  y = ys;  }
              if(yc<ys)
              {  x = xs-1E-3;  y = ys;  }  }
           if(fabs(xc-xs)>1E-3)
           {  if(fabs(yc-ys)<=1E-3)
              {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
                 if(del>0)
                 {  x = xs;  y = ys-1E-3;  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(del<0)
            {  x = xs;  y = ys+1E-3;   } }
      else
      {   if((xc-xs)>0)
            { x = xs; y = ys + 1E-3;  }
            if((xc-xs)<0)
            { x = xs; y = ys - 1E-3;  }
    } } }
    if(strncmp(arcpath,"CCW",strlen(direct1))==0)
    {   if(fabs(xc-xs)<=1E-3)
        {   if(yc>ys)
          {  x = xs-1E-3; y = ys;    }
          if(yc<ys)
          {  x = xs+1E-3; y = ys;    }
        }
        if(fabs(xc-xs)>1E-3)
        {   if(fabs(yc-ys)<=1E-3)
          {  Extra(xs,xc,&del,1E-3);
            if(del>0)
            {   x = xs;  y = ys + 1E-3; }
            if(del<0)
            {   x = xs;  y = ys - 1E-3; } }
          else
          {  if((xc-xs)>0)
            { x = xs; y = ys - 1E-3;  }
            if((xc-xs)<0)
            { x = xs; y = ys + 1E-3;  }
          }  } } }
val1 = 1E-5;
if (fabs(xc-xs) <= 1E-5)
{  Extra(ys,yc,&delb,val1);
    dela = 0; *m = 0;    }
else
 {  *m = (yc-ys)/(xc-xs);
   Extra(xs,xc,&dela,val1);
   delb = dela**m;      }
a1 = xs + dela;     b1 = ys + delb;
delx = x - xs;      dely = y - ys;
s = sqrt(delx*delx+dely*dely);
xi = delx/s;        yj = dely/s;
a = a1 - xs; b = b1 - ys;  sa = sqrt(a*a+b*b);
ai = a/sa;   bj = b/sa;    Q = bj*xi-ai*yj;
if (Q < 0 )
   TT = -1;
else
   TT = 1;
if (T != TT)
{   ai = -ai;   bj = -bj;      }
*xx = xs+ai*dia1/2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    *ry = ys+bj*dia1/2;
    *c  = *ry-*rx**m;
}
void LL(i,x1,x2,x3,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2)
double x1,x2,x3,rx1,ry1,m1,c1,rx2,ry2,m2,c2;
int i;
{     double xn,yn;
      extern float Dx[200],Dy[200];
      if (fabs(x1-x2) <= 1E-5)
      {   xn = rx1;   yn = m2*xn+c2;      }
      if (fabs(x2-x3) <= 1E-5)
      {   xn = rx2;   yn = m1*xn+c1;      }
      if (fabs(x1-x2) > 1E-5 && fabs(x2-x3) > 1E-5)
      {   xn = (c2-c1)/(m1-m2);
          yn = m1*xn+c1;     }
      Dx[i] = xn;   Dy[i] = yn;
}
void LA(dim,num,ii,seek,i,end,x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,T,
      rx1,ry1,xc1,yc1,d1,m1,c1,rx2,ry2,xc2,yc2,d2,m2,c2)
double x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,rx1,ry1,xc1,yc1,m1,c1,rx2,ry2,xc2,yc2,m2,c2;
char d1[6],d2[6],dim[];
int *num,ii,seek,*i,*end,T;
{     double r,del,xn1,yn1,xn2,yn2,dist1,dist2,A,B,C,D,E;
      int TT,change;
      char d[6];
      extern float Dx[200],Dy[200];

      TT = 1; change=0;
      if (xc1 != 0 && yc1 != 0)
      {  del = x1;  x1 = x3; x3 = del; del = y1; y1 = y3; y3 = del;
         del = rx1; rx1 = rx2; rx2 = del; del = ry1; ry1 = ry2; ry2 = del;
         del = xc1; xc1 = xc2; xc2 = del; del = yc1; yc1 = yc2; yc2 = del;
         del = m1; m1 = m2; m2 = del; del = c1; c1 = c2; c2 = del;
         strcpy(d,d1);  strcpy(d1,d2);  strcpy(d2,d);   change=1;   }
    r = (rx2-xc2)*(rx2-xc2)+(ry2-yc2)*(ry2-yc2);
      if (fabs(x1-x2) <= 1E-5)
       {  xn1 = rx1;
         del = r-(xn1-xc2)*(xn1-xc2);
         if (fabs(del) <= 1E-3)
            del=0;
         if (del < 0)
         {  TT=0; yn1=y2;
            xn2=rx2;   yn2=y2;
            Sort(num,ii,seek,*i);
            FLA(i,end,x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,T,xn1,yn1,
                              xc1,yc1,d1,xn2,yn2,xc2,yc2,d2,change);   }
         if (del >= 0)
         {  xn2=rx1;   del=sqrt(del);
            yn1=yc2+del; yn2=yc2-del;   }   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if (fabs(x1-x2) > 1E-5)
    {  B = (xc2-m1*(c1-yc2))/(1+m1*m1);
       C = r*(1+m1*m1);
       D = (m1*xc2+c1-yc2)*(m1*xc2+c1-yc2);
       E = (1+m1*m1)*(1-m1*m1);
       del = (C-D)/E;
       if (fabs(del) <= 1E-3)    del=0;
       if (del < 0)
       {  TT=0;
       if (change == 0)
         {  xn1 = rx1+x2-x1;
            yn1 = ry1+y2-y1;
            xn2 = rx2; yn2 = ry2;        }
        if (change == 1)
       {  xn1 = rx1;   yn1 = ry1;
          xn2 = rx2;   yn2 = ry2;      }
          Sort(num,ii,seek,*i);
          FLA(i,end,x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,T,xn1,yn1, xc1,yc1,d1,xn2,yn2,xc2,yc2,d2,change);  }
       if (del >= 0)
       {  A = sqrt(del);   xn1 = B+A;
          yn1 = m1*xn1+c1;  xn2 = B-A; yn2 = m1*xn2+c1;   }   }
    if (TT==1)
     {  dist1 = (x2-xn1)*(x2-xn1)+(y2-yn1)*(y2-yn1);
        dist2 = (x2-xn2)*(x2-xn2)+(y2-yn2)*(y2-yn2);
       if(fabs(dist1-dist2)<=1E-5)
       {    dist1 = dist2;  }
       if (dist1 < dist2)
        {  Dx[*i] = xn1;    Dy[*i] = yn1; }
       if (dist1 >= dist2)
        {  Dx[*i] = xn2;    Dy[*i] = yn2;  }   }
}
void AA(num,ii,seek,i,end,x1,y1,xx,yy,x2,y2,dia1,T,xs1,ys1, xc1,yc1,d1,xs2,ys2,xc2,yc2,d2)
double x1,y1,xx,yy,x2,y2,xs1,ys1,xc1,yc1,xs2,ys2,xc2,yc2,dia1;
int *num,ii,seek,*i,*end,T;
char d1[6],d2[6];
{       double r1,r2,rr,a,b,c,m1,del,xa,ya,xb,yb,zeta,beta,alpha,d,e;
        int chk1,chk2;
        extern float Dx[200],Dy[200];
        extern int err9;

       r1 = (xs1-xc1)*(xs1-xc1)+(ys1-yc1)*(ys1-yc1);
       r2 = (xs2-xc2)*(xs2-xc2)+(ys2-yc2)*(ys2-yc2);
        if (fabs(xc1-xc2) <= 1E-4 && fabs(yc1-yc2) <= 1E-4)
        {   Dx[*i] = xs2;    Dy[*i] = ys2;        }
        if (fabs(xc1-xc2) > 1E-4 || fabs(yc1-yc2) > 1E-4)
       {  b = sqrt((xc1-xc2)*(xc1-xc2)+(yc1-yc2)*(yc1-yc2));
          del = sqrt(r1)+sqrt(r2)-b;
          if (fabs(del) <= 1E-5)
             del = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (del < 0)
        { Sort(num,ii,seek,*i);
          FAA(i,end,x1,y1,xc1,yc1,xx,yy,xs1,ys1,d1,dia1, T,xs2,ys2,d2);          }
           if (del >= 0)
        { a = (r1-r2+b*b)/(2*b);
          c = sqrt(fabs(r1-a*a));
          beta = atan(c/a);
          if (fabs(xc2-xc1) <= 1E-5)
          zeta = Pi/2;
          if (fabs(xc2-xc1) > 1E-5)
          { m1 = (yc2-yc1)/(xc2-xc1);
            zeta = atan(m1);              }
          alpha = beta+zeta;   chk1 = 1;
          xa = xc1+sqrt(r1)*cos(alpha);
          ya = yc1+sqrt(r1)*sin(alpha);
          rr = (xc2-xa)*(xc2-xa)+(yc2-ya)*(yc2-ya);
          if (fabs(rr-r2) <= 1E-4)   chk1=0;
          if (fabs(rr-r2) > 1E-4)
          { xa = xc1+sqrt(r1)*cos(Pi+alpha);
            ya = yc1+sqrt(r1)*sin(Pi+alpha);
            rr = (xc2-xa)*(xc2-xa)+(yc2-ya)*(yc2-ya);
            if (fabs(rr-r2) <= 1E-4)   chk1=0;        }
         alpha = zeta-beta;
         chk2 = 1;
          xb = xc1+sqrt(r1)*cos(alpha);
          yb = yc1+sqrt(r1)*sin(alpha);
          rr = (xc2-xb)*(xc2-xb)+(yc2-yb)*(yc2-yb);
          if (fabs(rr-r2) <= 1E-4)  chk2 = 0;
          if (fabs(rr-r2) > 1E-4)
          { xb = xc1+sqrt(r1)*cos(Pi+alpha);
            yb = yc1+sqrt(r1)*sin(Pi+alpha);
            rr = (xc2-xb)*(xc2-xb)+(yc2-yb)*(yc2-yb);
            if (fabs(rr-r2) <= 1E-4)    chk2 = 0;     }
            if (chk1 == 0 && chk2 == 0)
          { d = (xx-xa)*(xx-xa)+(yy-ya)*(yy-ya);
            e = (xx-xb)*(xx-xb)+(yy-yb)*(yy-yb);
            if (d <= e)
            {  Dx[*i] = xa;   Dy[*i] = ya;}
            if (d > e)
            {  Dx[*i] = xb;   Dy[*i] = yb;}    }
            if (chk1 == 1 || chk2 == 1)
             { puts(error15);
    err9=1;      }
}   }}
void FLA(i,end,x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,T,rx1,ry1,rxc1,ryc1,d1,rx2,ry2,rxc2,ryc2,d2,change)
double x1,y1,x2,y2,x3,y3,dia1,rx1,ry1,rxc1,ryc1,rx2,ry2,rxc2,ryc2;
char d1[6],d2[6];
int *i,*end,T,change;
{   double r,del,xn1,yn1,xx,yy,rn,c,zeta;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    char d[6];
    int TT;
    extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
    extern char dac[200][7],dad[200][6];

    r = (rx2-rxc2)*(rx2-rxc2)+(ry2-ryc2)*(ry2-ryc2);
   if (change == 1)
  {  if (strncmp(d2,"CCW",strlen(d2)) == 0)
       strcpy(d,"CW");
     if (strncmp(d2,"CW",strlen(d2)) == 0)
       strcpy(d,"CCW");
     InOutAr(x2,y2,rxc2,ryc2,d,x3,y3,dia1,-T,d2,&rxx,&ryy, &cm,&c);
       rx2 = rxx; ry2 = ryy;    }
   if (fabs(x1-x2) <= 1E-4)
   {  xn1 = x2;    del = sqrt(r);   yn1 = y2 + del;
   if ((yn1 <= y2 && yn1 >= y1) || (yn1 <= y1 && yn1 >= y2))
     {   yn1 = y2 - del;}     }
   if (fabs(x1-x2) > 1E-4)
  {  m = (y2-y1)/(x2-x1);
     zeta = atan(m);
     xn1 = sqrt(r)*cos(zeta)+x2;
     yn1 = sqrt(r)*sin(zeta)+y2;
    if ((xn1 <= x1 && xn1 >= x2 && yn1 <= y1 && yn1 >= y2) ||
     (xn1 <= x2 && xn1 >= x1 && yn1 <= y2 && yn1 >= y1))
     {  xn1 = sqrt(r)*cos(Pi+zeta)+x2;
        yn1 = sqrt(r)*sin(Pi+zeta)+y2;       }   }
    CP(rx1,ry1,xn1,yn1,rx1,ry1,x2,y2,&TT);
    if (change == 0)
    {  if (TT == 1)     strcpy(d,"CCW");
      if (TT == -1)    strcpy(d,"CW");
      Dx[*i] = rx1;
      Dy[*i] = ry1;
      Dx[*i+1] = rx2;
      Dy[*i+1] = ry2;   }
    if (change == 1)
    {  if (TT == 1)     strcpy(d,"CW");
      if (TT == -1)    strcpy(d,"CCW");
      Dx[*i] = rx2;
      Dy[*i] = ry2;
      Dx[*i+1] = rx1;
      Dy[*i+1] = ry1;   }
     Dxc[*i] = x2;
     Dyc[*i] = y2;
     strcpy(dac[*i],"ARC");
     strcpy(dad[*i],d);
     ++*i;   ++*end;
}
void FAA(i,end,x1,y1,xc,yc,x2,y2,rx1,ry1,d1,dia1,T,rx2,ry2,d2)
double x1,y1,xc,yc,x2,y2,rx1,ry1,rx2,ry2,dia1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int *i,*end,T;
char d1[6],d2[6];
{       double rxx,ryy,rm1,rc1;
        char d3[6],d[6];
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
        extern char dac[200][7],dad[200][6];

       if (strncmp(d1,"CCW",strlen(d1)) == 0)
          strcpy(d3,"CW");
      if (strncmp(d1,"CW",strlen(d1)) == 0)
         strcpy(d3,"CCW");
        InOutAr(x2,y2,xc,yc,d3,x1,y1,dia1,-T,d1,&rxx,&ryy,&rm1,&rc1);
        rx1 = rxx;    ry1 = ryy;
      if (strncmp(d1,"CCW",strlen(d1)) == 0 && strncmp(d2,"CCW",strlen(d2)) == 0)
       strcpy(d,"CW");
     if (strncmp(d1,"CW",strlen(d1)) == 0 && strncmp(d2,"CW",strlen(d2)) == 0)
        strcpy(d,"CCW");
        Dx[*i] = rx1; Dy[*i] = ry1;
        Dxc[*i] = x2; Dyc[*i] = y2;
        strcpy(dac[*i],"ARC"); strcpy(dad[*i],d);
        Dx[*i+1] = rx2; Dy[*i+1] = ry2;
        ++*i;   ++*end;
}
void CP(xs1,ys1,xc1,yc1,xs2,ys2,xc2,yc2,result)
double xs1,ys1,xc1,yc1,xs2,ys2,xc2,yc2;
int *result;
{       double Q;
        Q = (xc1-xs1)*(yc2-ys2)-(xc2-xs2)*(yc1-ys1);
        if (Q == 0)
       {   puts(error11);   *result = 0;      }
        if (Q != 0)
        {   if (Q < 0)
          *result = -1;
        else
         *result = 1;
}       }
void Fix(i,j,check1,check2)
int i,j,*check1,*check2;
{       extern char dac[200][7];
        if (strncmp(dac[i],"LINE",strlen(dac[i])) == 0)
        {    *check1 = 1;   }
        if (strncmp(dac[i],"ARC",strlen(dac[i])) == 0)
        {    *check1 = 2;   }
        if (strncmp(dac[j],"LINE",strlen(dac[j])) == 0)
        {    *check2 = 1;   }
        if (strncmp(dac[j],"ARC",strlen(dac[j])) == 0)
        {    *check2 = 2;   }
}
void NPoint(k,select,xvar,yvar,xvar1,yvar1,dia1,T,arcpath,rx,ry,m,c)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
double xvar,yvar,xvar1,yvar1,dia1,*rx,*ry,*m,*c;
int k,T,select;
char arcpath[21];
{       extern float Dxc[200],Dyc[200];
        extern char dad[200][6];

        if (select == 1)
          InOutli(xvar,yvar,xvar1,yvar1,dia1,T,rx,ry,m,c);
       if (select == 2)
          InOutAr(xvar,yvar,Dxc[k],Dyc[k],dad[k],xvar1,yvar1,dia1,T,arcpath,rx,ry,m,c);
}
void Extra(xs,xe,delx,val)
double xs,xe,*delx,val;
{       if (xe-xs < 0)
        *delx = -val;
       if (xe-xs > 0)
        *delx = val;
}
void Sort(num,ii,seek,i)
int *num,ii,seek,i;
{       int k;
        extern int ds[50],de[50];
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200];
        extern char dac[200][7],dad[200][6];

        de[ii] = de[ii] + 1;
        for (k=ii+1; k<seek; ++k)
        {    ds[k] = ds[k] + 1;
           de[k] = de[k] + 1;    }
        for (k=*num; k>i; --k)
        {   Dx[k] = Dx[k-1];
            Dy[k] = Dy[k-1];
            Dxc[k] = Dxc[k-1];
            Dyc[k] = Dyc[k-1];
            strcpy(dac[k],dac[k-1]);
            strcpy(dad[k],dad[k-1]);
  } ++*num;
}
void WriteGcode(ONAME,ind1,poind,n,sen,on,k,ax,ay,dim,Dfeed,Dspeed,Height,feed,Mdepth,Ddepth,Tx,Ty, Tz,Rx,Ry,Rz)
 int ind1,poind,*n,sen,on,k;
float Dfeed,Dspeed,Height,feed,Mdepth,Ddepth,Tx,Ty,Tz,Rx,Ry,Rz;
char dim[15],ONAME[20];
double ax,ay;
{       int tnum,ind,tdrill,tmill,m,M;
        char dim[6],start[5];
        extern FILE *wfpt;
        extern int ln,cn,an;
        extern float speed,Mdia;
        extern char mill,drill;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
extern double cr[50];

tnum = 1; ind = 0; m = speed; M = Dspeed;
if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
    strcpy(dim,IN);
if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
    strcpy(dim,MM);
strcpy(start,"%");
fprintf(wfpt,"%s\n",start);
fprintf(wfpt,"%s ;\n",ONAME);
fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s %s %s ;\n",ORDER,*n,XYplane,dim,COMPEN,CANCEL,CAN80,ABSOLUTE);
 *n+=step;
if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
{  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,*n,PLANE,PX,Tx,PY,Ty,PZ,Tz);
   *n+=step;
    if(mill=='M' && drill!='D')
    {  Height = 40.0;
       fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,SPINDLE,m,Spin_CW);
       *n+=step; }
   if(drill=='D' && mill!='M')
   {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,SPINDLE,M,Spin_CW);
      *n+=step; }  }
if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
{  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,*n,PLANE,PX,Tx,PY,Ty,PZ,Tz);
   *n+=step;
    if(mill=='M' && drill!='D')
   {  Height = 40.0;
      fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,SPINDLE,m,Spin_CW);
      *n+=step; }
   if(drill=='D' && mill!='M')
   {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%d %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,SPINDLE,M,Spin_CW);
      *n+=step; }  }
if ((cn > 0) && (cr[0] <= (Mdia/2.0)) )
{  PartDrill(&ind,n,Dfeed,ax,ay,dim,Height,Ddepth,Rx,Ry,Rz);  }
if ((ln > 0) || (an > 0) || ((cn>0) && (cr[0] > Mdia)) )
{  Milling(ind1,&ind,n,sen,on,k,feed,ax,ay,dim,Height,Mdepth,Rx,Ry,Rz);}
fprintf(wfpt,"%s%d %s %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,Cool_OFF);
*n+=step;
if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
{  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,REF,CANCEL,PZ,Rz+Height);
   *n+=step;
   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Tx,PY,Ty,Spin_OFF);
  *n+=step;}
 if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
 {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,REF,CANCEL,PZ,Rz+Height);
    *n+=step;
    fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Tx,PY,Ty,Spin_OFF);
  *n+=step;}
 fprintf(wfpt,"%s%d %s ;\n",ORDER,*n,START);
```

เอกสารนี้ ... ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        fprintf(wfpt,"%s\n",start);
}
Milling(ind1,ind,n,sen,on,k,feed,ax,ay,dim,Height,Mdepth,Rx,Ry,Rz)
int ind1,*ind,*n,sen,on,k;
float feed,Mdepth,Height,Rx,Ry,Rz;
double ax,ay;
char dim[15];
{       int i,start,end,a,in,o,inx,cn;
        char direct1[21];
        float imageX,imageY,rel,X,Y;
        extern FILE *wfpt;
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200],Mdia;
        extern int ds[50],de[50];
        extern char dac[200][7],dad[200][6],pock[15];

        for (i=*ind; i<ind1; ++i)
        {   start = ds[i];      end = de[i];
            imageX = Dx[start+1]+Rx;
            imageY = Dy[start+1]+Ry;
            if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
            {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dx[start+1]+Rx-ax+Mdia,
                        PY,Dy[start+1]+Ry-ay+Mdia,Cool_ON);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Height+Rz);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz,TOOL,
                FEED,feed);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-1.0);
            }
            if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
            {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dx[start+1]+Rx-ax+Mdia,
                        PY,Dy[start+1]+Ry-ay+Mdia,Cool_ON);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Height+Rz);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz,TOOL,
                    FEED,feed);
                *n+=step;
                fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-1.0);
            }
            *n+=step;
            a = start+1;
            end = sen;
            in = 1;rel = 1.0;o=on;
            for (i=start+1;i<end;++i)
            {   if(i==end-1)
                {   Dx[i+1] = Dx[a];
                    Dy[i+1] = Dy[a];  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(on>1)
        {  cn = (on-1)*(k-1);
           inx = (o*(k-1))-cn;
           if(inx==(i-1))
           {  rel = rel + 1.0;
              if(strncmp(dim,"INCH",strlen(dim))==0)
              {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz);
                 *n+=step;
                 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-rel);
                 *n+=step; }
              if(strncmp(dim,"MM",strlen(dim))==0)
              {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz);
                 *n+=step;
                 fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-rel);
                 *n+=step; }
              --on;
              } ++in;
        }
        if(strncmp(dac[i],"LINE",strlen(dac[i])) == 0)
        {  if(strncmp(dim,"INCH",strlen(dim))==0)
              fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PX,Dx[i+1]+Rx-ax+Mdia,
                      PY,Dy[i+1]+Ry-ay+Mdia);
           if(strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
              fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PX,Dx[i+1]+Rx-ax+Mdia,
                      PY,Dy[i+1]+Ry-ay+Mdia);
        }
        if(strncmp(dac[i],"ARC",strlen(dac[i])) == 0)
        {  if(strncmp(dad[i],"CCW",strlen(dad[i])) == 0)
           {  strcpy(direct1,CIR_COUNTER);  }
           if(strncmp(dad[i],"CW",strlen(dad[i])) == 0)
           {  strcpy(direct1,CIR_CLOCK);    }
           if(strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
           {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,*n,direct1,PX,
                      Dx[i+1]+Rx-ax+Mdia,PY,Dy[i+1]+Ry-ay+Mdia,XC,Dxc[i]-Dx[i],YC,
                      Dyc[i]-Dy[i]);}
           if(strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
           {  fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,*n,direct1,PX,
                      Dx[i+1]+Rx-ax+Mdia,PY,Dy[i+1]+Ry-ay+Mdia,XC,Dxc[i]-Dx[i],YC,
                      Dyc[i]-Dy[i]);}
           } *n+=step;
}  }    }
void Ddrill(num)
int *num;
{     int i,int1,int2,a;
      float A[200],B[200],C[200],D[200];
      extern int an,cn,ds[50],de[50];
      extern double cx[50],cy[50],cr[50],cz[50];
      extern float axc[50],ayc[50],axs[50],ays[50],axc[50],ayc[50],Dx[200],
            Dy[200],Dxc[200],Dyc[200],Mdia;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    extern char dir[50][6],dac[200][7];

    if (cn > 0)
    {  for (i=0; i<cn; ++i)
       {  int1 = cx[i];          int2 = cy[i];
          if(cr[i]>Mdia)
          {  axs[an] = cx[i] + cr[i]; ays[an] = cy[i];
             axe[an] = cx[i]; aye[an] = cy[i] + cr[i];
             axc[an] = cx[i];  ayc[an] = cy[i];
             strcpy(dir[an],"CCW"); ++an;
             axs[an] = cx[i];   ays[an] = cy[i] + cr[i];
             axe[an] = cx[i] - cr[i]; aye[an] = cy[i];
             axc[an] = cx[i];  ayc[an] = cy[i];
             strcpy(dir[an],"CCW"); ++an;
             axs[an] = cx[i] - cr[i]; ays[an] = cy[i];
             axe[an] = cx[i]; aye[an] = cy[i] - cr[i];
             axc[an] = cx[i];  ayc[an] = cy[i];
             strcpy(dir[an],"CCW"); ++an;
             axs[an] = cx[i];   ays[an] = cy[i] - cr[i];
             axe[an] = cx[i] + cr[i]; aye[an] = cy[i];
             axc[an] = cx[i];  ayc[an] = cy[i];
             strcpy(dir[an],"CCW"); ++an; ++*num;    }
          else
          {  if (int1 != 9999 && int2 != 9999)
          {  Dxc[*num] = cx[i]; Dyc[*num] = cy[i];
             Dx[*num] = cr[i];  Dy[*num] = cz[i];
             strcpy(dac[*num],"CIRCLE");
             cx[i] = 9999;  cy[i] = 9999; ++*num;
}    } } }
    for(i=0;i<*num;i++)
    {   A[i] = Dxc[i]; B[i] = Dyc[i];
        C[i] = Dx[i]; D[i] = Dy[i];
    }
    a=0;
    for(i=*num-1;i>=0;i--)
    {  Dxc[a] = A[i];  Dyc[a] = B[i];
       Dx[a] = C[i];  Dy[a] = D[i];
       strcpy(dac[a],"CIRCLE");
      ++a;
    }
}
PartDrill(ind,n,Dfeed,ax,ay,dim,Height,Ddepth,Rx,Ry,Rz)
int *ind,*n;
float Dfeed,Height,Rx,Ry,Rz,Ddepth;
char dim[15];
double ax,ay;
{       int i,start,end;
        extern FILE *wfpt;
        extern float Mdia;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    start = ds[*ind];  end = de[*ind];
    if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
    {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dxc[start]+Rx-ax+Mdia,
                        PY,Dyc[start]+Ry-ay+Mdia);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Height+Rz);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s %s%.3f %s ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz,TOOL,
             FEED,Dfeed,Cool_ON);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-Ddepth);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz+Height);
    }
    if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
    {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dxc[start]+Rx-ax+Mdia,
                        PY,Dyc[start]+Ry-ay+Mdia);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Height+Rz);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s %s%.2f %s ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz,TOOL,
             FEED,Dfeed,Cool_ON);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-Ddepth);
        *n+=step;
        fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz+Height);
    }
    *n+=step;
    for (i=ds[*ind]+1; i<de[*ind]; ++i)
    {   if (strncmp(dim,"INCH",strlen(dim)) == 0)
        {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dxc[i]+Rx-ax+Mdia,PY,
                 Dyc[i]+Ry-ay+Mdia);
            *n+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-Ddepth);
            *n+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.3f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz+Height);   }
        if (strncmp(dim,"MM",strlen(dim)) == 0)
        {   fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PX,Dxc[i]+Rx-ax+Mdia,PY,
                 Dyc[i]+Ry-ay+Mdia);
            *n+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,LINEAR,PZ,Rz-Ddepth);
            *n+=step;
            fprintf(wfpt,"%s%d %s %s%.2f ;\n",ORDER,*n,RAPID,PZ,Rz+Height);}
            *n+=step;
        }
        ++*ind;
}
void Compile(FNAME,ONAME,dim,direct,inout,pock,bore,Mdia,Mdepth,feed,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Dfeed,Dspeed,Height,Ddepth,Rx,Ry,Rz,Tx,Ty,Tz)
char FNAME[20],ONAME[20];
float Rx,Ry,Rz,Tx,Ty,Tz;
float Mdia,Mdepth,feed,Dfeed,Height,Ddepth,Dspeed;
char direct[21],inout[21],dim[15],pock[15],bore[15];
{       char data1[21],data2[21];
        int i,ii,seek,no,T,TT,ren,lo,lin2,ain2,on,zo,up,poind,ind,stat,a,b,k,f,in,e,g,z,sen,B,j,jj,ij,cn,ie;
        float dx[200],dy[200],xc[200],yc[200],DX[200],DY[200],XC[200],YC[200],
            XX[200],XY[200],am,an,A,orderx,ordery;
        char dc[200][6],d[200][6],DC[200][6],D[200][6],str[50];
        extern FILE *rfpt,*wfpt;
        extern int err9,ln,cn,an,pn,pn1,num,ds[50],de[50];
        extern float Dx[200],Dy[200],Dxc[200],Dyc[200],axs[50],ays[50],axe[50], aye[50];
        extern char dac[200][7],dad[200][6],Con[30][6],charac[15];
        extern double ax,ay,cr[50];

        ren=1;lo=1;
        strcpy(charac,"DRAW");
        while (ren == 1)
        {  lo = 0;
           if (lo == 0)
           {  if((rfpt = fopen(FNAME,"r"))==NULL)
              {   printf("cannot open file : %s\n",FNAME);
                  lo = 1;       }
                 if ((rfpt=fopen(FNAME,"r")) != NULL)
                 {   num=0; seek=0; no=step; T=1; TT=1; lo=1;
                     ln=0; cn=0; an=0; pn=0; pn1=0; err9=0; up=0;
                     wfpt = fopen(ONAME,"w");
                     Search();
                     Pickup(); fclose(rfpt);
                     lnForm();
                     if (cn > 0)
                     {  ds[seek] = num;
                        Ddrill(&num);
                        de[seek] = num;
                        strcpy(Con[seek],"NONE");
                        ++seek; TT = 0; ++up;
                        if((Mdia/2) < cr[0])
                         {  num = 0;    }   }
                     if (ln > 0 || an > 0)
                     {  while (T == 1)
                        {   LN0;
                            AN0;
                            ds[seek] = num;
                            FirstForm(&num,Con[seek],direct);
                            de[seek] = num;  ++seek;
                            T = 0; }  }
                     ax = Dx[0];  ay = Dy[0];
                     if (err9 == 0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{  if (T != 1)
      TT = 0;
   if (TT != 1)
{    if(Dfeed!=0.0)
     {   strcpy(pock," ");  }
      am = Mdia;
 if((strncmp(pock,"YES",strlen(pock))==0) ||   (strncmp(pock,"yes",strlen(pock))==0))
 {  zo = 2;
        if(an>0 || ln > 4)
          {   zo = 3; }
       if((strncmp(bore,"CIR",strlen(bore))==0) || (strncmp(bore,"cir",strlen(bore))==0))
           {  k=1;  z=0; e=0;
            Cal(dim,up,seek,&num,direct,inout,Mdia);
            if((strncmp(direct,"CCW",strlen(direct))==0) || (an==4))
            { A = (fabs(Dx[1]-Dx[zo])-am)/(2*(am-1.0));
           gcvt(A,15,str);
           B = atoi(str);
             if(B<A)
             {  B = B+1;  }
             Mdia = (Dx[zo]-Dx[1]-am)/B;   }
            if((strncmp(direct,"CW",strlen(direct))==0) && (an!=4))
            { A = (fabs(Dy[1]-Dy[zo])-am)/(2*(am-1.0));
            gcvt(A,15,str);
            B = atoi(str);
            if(B<A)
             {  B = B+1;  }
             Mdia = (Dy[zo]-Dy[1]-am)/B;
            }
          do
        {   for(a=1;a<=num;a++)
              {  if(a==num)
                 {  dx[k] = Dx[1];  dy[k] = Dy[1];
                   xc[k] = Dxc[1]; yc[k] = Dyc[1];
                   strcpy(d[k],dad[1]); strcpy(dc[k],"LINE"); }
                else
                {  dx[k] = Dx[a]; dy[k] = Dy[a];
                   xc[k] = Dxc[a]; yc[k] = Dyc[a];
                   strcpy(d[k],dad[a]); strcpy(dc[k],dac[a]); }
             ++k;}
               Cal(dim,up,seek,&num,direct,inout,Mdia);
               e++;
            }while(e <= B);
            Mdia = am;
            for(f=1;f<k;f++)
            {  Dx[f] = dx[f]; Dy[f] = dy[f];
               Dxc[f] = xc[f]; Dyc[f] = yc[f];
               strcpy(dad[f],d[f]); strcpy(dac[f],dc[f]); }
            in = k;
            if(Mdepth>1.0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{ do
  { for(a=1;a<k;a++)
    {  dx[in] = Dx[a]; dy[in] = Dy[a];
       xc[in] = Dxc[a]; yc[in] = Dyc[a];
       strcpy(d[in],dad[a]); strcpy(dc[in],dac[a]);
       ++in; }
Mdepth = Mdepth -1.0;
}while(Mdepth>1.0);
}
  on = (in-1)/(k-1);
  num = in;
 for(f=1;f<num;f++)
  {  Dx[f] = dx[f]; Dy[f] = dy[f];
     Dxc[f] = xc[f]; Dyc[f] = yc[f];
     strcpy(dad[f],d[f]); strcpy(dac[f],dc[f]);
  }   }
 if((strncmp(bore,"REC",strlen(bore))==0) ||
     (strncmp(bore,"rec",strlen(bore))==0))
{ Cal(dim,up,seek,&num,direct,inout,Mdia);
  ic = 0;
  for(i=0;i<num;i++)
  { dx[ic] = Dx[i]; dy[ic] = Dy[i];
     ic++; }
   if(strncmp(direct,"CCW",strlen(direct))==0)
   { A = fabs(Dy[1]-Dy[4])/(Mdia-1);
  gcvt(A,15,str);
  B = atoi(str);
  if(B<A)
    { B = B+1; }
    ordery = (Dy[4]-Dy[1])/B;
    j = 1; ij = 0; jj = 1;
    do
    { XX[jj] = Dx[j];
      XY[jj] = Dy[j]+(ordery*ij);
       jj++;
        if(j==2)
        { j = 0;}
       XX[jj] = Dx[j+1];
       XY[jj] = Dy[j+1]+(ordery*ij);
        ++j;++ij;++jj;
    }while((Dy[1]+(ordery*ij))<=Dy[4]);
  }
  if(strncmp(direct,"CW",strlen(direct))==0)
   { A = fabs(Dx[1]-Dx[4])/(Mdia-1);
     gcvt(A,15,str);
     B = atoi(str);
     if(B<A)
     { B = B+1; }
     orderx = (Dx[4]-Dx[1])/B;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        j = 1; ij = 0; jj = 1;
        do
        {  XX[jj] = Dx[j] + (orderx*ij);
           XY[jj] = Dy[j];
           jj++;
           if(j==2)
           {  j = 0;  }
           XX[jj] = Dx[j+1] + (orderx*ij);
           XY[jj] = Dy[j+1];
           ++j;++ij;++jj;
        }while((Dx[1]+(orderx*ij))<=Dx[4]);
     }
     num=jj;en=1;
     for(f=1;f<num;f++)
       {  Dx[en] = XX[f];
          Dy[en] = XY[f];
          strcpy(dac[en],"LINE");
          en++;}
       for(f=1;f<ie;f++)
       {  Dx[en] = dx[f];
          Dy[en] = dy[f];
          strcpy(dac[en],"LINE");
          en++; }
          num=en;k=en;
          if(Mdepth>1.0)
          {  do
          {   for(a=1;a<num;a++)
              { Dx[en] = Dx[a];
                Dy[en] = Dy[a];
                strcpy(dac[en],"LINE");
                en++; }
             Mdepth = Mdepth - 1.0;
          }while(Mdepth>1.0);
       num = en;
     }
     on = (en-1)/(k-1);
     }  }
  if(((strncmp(pock,"NO",strlen(pock))==0) ||
    (strncmp(pock,"no",strlen(pock))==0))
  {   Cal(dim,up,seck,&num,direct,inout,Mdia);
      b=num;k=num;
      if(Mdepth>1.0)
      {  do
        {  for(a=1;a<num;a++)
           {  Dx[b] = Dx[a];  Dy[b] = Dy[a];
              Dxc[b] = Dxc[a]; Dyc[b] = Dyc[a];
              strcpy(dad[b],dad[a]); strcpy(dac[b],dac[a]);
              ++b;  }
           Mdepth = Mdepth - 1.0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }while(Mdepth>1.0);
               num = b;
              }
            on = (b-1)/(k-1);
             }
          sen = num;
        }
        if (err9 == 0)
        {   WriteGcode(ONAME,seek,poind,&no,sen,on,k,ax,ay,dim,Dfeed,Dspeed,Height,
                        feed,Mdepth,Ddepth,Tx,Ty,Tz,Rx,Ry,Rz);
         fclose(wfpt);
        } } }lo=1;
      }ren=0;
}}
```