

การวิเคราะห์ทางเดินคมตัดสำหรับเครื่องแกะสลัก
TOOL PATH ANALYSIS FOR ENGRAVING MACHINE

เจริญ มิตราวะกิน
CHAROEN MITRAVAKIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-110-1

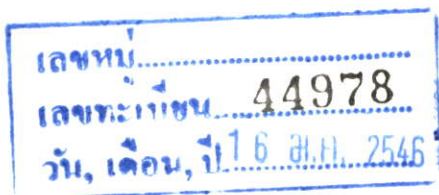
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ทางเดินคมตัดสำหรับเครื่องแกะสลัก

TOOL PATH ANALYSIS FOR ENGRAVING MACHINE

เจริญ มิตราวะกิน

CHAROEN MITRAVAKIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-119-1

TOOL PATH ANALYSIS FOR ENGRAVING MACHINE

CHAROEN MITRAVAKIN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT THE DEGREE OF
MASTER ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-324-119-1

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ทางเดินคมตัดสำหรับเครื่องแกะสลัก
นักศึกษา	นายเจริญ มิตราวะกิน
รหัสประจำตัว	43061422
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินคมตัดที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมเครื่องแกะสลัก โดยอาศัยฐานข้อมูลที่ได้จากการออกแบบในโปรแกรมออโตแคดที่เป็นมาตรฐานของ ASCII Drawing Interchange File (DXF) และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมออโตแคดในการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินและควบคุมชุดขับเคลื่อน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยการจำลองเส้นทางเดินเพื่อตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนบนคอมพิวเตอร์ก่อนทำการกัดชิ้นงานจริง สำหรับในส่วนของการขับเคลื่อนจะแปลงข้อมูลตำแหน่งเป็นความถี่นำไปใช้ในการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ โดยผลการทดลองได้ทำเป็นลักษณะเอนกประสงค์คือสามารถนำไปประยุกต์กับเครื่องมือเครื่องจักร ที่มีความต้องการควบคุมตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ 2 แกน นำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วส่งไปควบคุมชุดขับเคลื่อนผลลัพธ์ที่ได้คือระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ต้นจนจบลดลง

Thesis Title	Tool Path Analysis for Engraving Machine
Student	Mr. Charoen Mitravakin
Student ID.	43061422
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Suphan Kulpanich

ABSTRACT

The aim of this thesis is analyzing the optimize tool path for applying to control the engraving machine by based on designed database in AutoCAD being standard of ASCII Drawing Interchange File (DXF). The software is developed with AutoCAD to analyze search path and control actuators. The simulation of path is used for checking direction path on personal computer before milling actual materiel. In part of the motor drive, position data will be translated into frequency of pulse supplied to control stepping motor. The analyzed data is sent to control actuators then the results which reduce all time of movement are gotten. This research performs a generic model to control position and direction of 2-axis movement for many applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ในทุก ๆ ด้านจาก รศ. สุพรรณ กุลพณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ประภาส อุคคกิมพันธ์ รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจปัญหานั้น

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ ๆ ของผู้วิจัยที่ให้อำลัใจอย่างใกล้ชิด และอดทนในการรอคอยการสำเร็จการศึกษาของผู้วิจัย

ขอขอบคุณนายวิชัย ยิ้มสุขไพฑูรย์เพื่อนรักผู้วางชนมระหว่างที่ผู้วิจัยได้ทำการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ที่เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมา พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้กำลังใจ การจัดพิมพ์ การแก้ไข และการตรวจสอบรายงานจนสำเร็จลุล่วง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เจริญ มิตราวะคิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 แนวคิดที่ใช้และขอบเขตในงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 พื้นฐานของเครื่องแกะสลัก.....	4
2.1 ส่วนประกอบของเครื่องแกะสลัก.....	4
2.2 การทำงานของเครื่องแกะสลัก.....	6
2.2.1 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ.....	6
2.2.1.1 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด.....	6
2.2.1.2 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง.....	7
2.2.1.3 การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งหรือตามเส้นขอบรูป.....	8
2.2.2 รูปแบบการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งของเครื่องมือ.....	9
2.2.2.1 แบบกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์.....	9
2.2.2.2 แบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม.....	9
2.2.3 รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ.....	10
2.3 โครงสร้างของระบบควบคุม.....	11
2.3.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์.....	11
2.3.2 ส่วนของโปรแกรม.....	12
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างส่วนโปรแกรม.....	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1 ส่วนโปรแกรมสำหรับควบคุมเครื่องแกะสลัก.....	16
3.1.1 โปรแกรมส่วนการรับข้อมูลชิ้นงาน.....	16
3.1.1.1 เส้นตรง.....	17
3.1.1.2 เส้นโค้ง.....	18
3.1.1.3 วงกลม.....	20
3.1.1.4 เส้นต่อเนื่อง.....	21
3.1.2 การแปลงข้อมูลภาพชิ้นงานเป็นข้อมูลตำแหน่ง.....	26
3.1.2.1 การหาจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่อง.....	28
3.1.2.2 การคำนวณหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะ.....	28
3.1.2.3 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนโค้งของเส้น ต่อเนื่อง.....	29
3.1.3 การแปลงข้อมูลตำแหน่งเป็นความถี่.....	33
3.1.3.1 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วของการเคลื่อนที่เส้นตรง.....	36
3.1.3.2 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวโค้ง.....	37
3.1.4 โปรแกรมส่วนการวิเคราะห์เส้นทางเดิน.....	39
3.2 โปรแกรมส่วนจำลองการทำงาน.....	39
3.3 โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	39
บทที่ 4 การประยุกต์โปรแกรมวาดแบบและวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัด.....	42
4.1 การประยุกต์โปรแกรมวาดแบบ.....	42
4.1.1 การออกแบบตัวอักษร.....	42
4.1.2 การออกแบบภาพ.....	46
4.1.3 การออกแบบเส้นทางเดินคมตัด.....	46
4.2 การวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัด.....	49
4.2.1 งานเดินขอบ.....	49
4.2.2 งานแกะสลัก.....	57
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	63

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 การทดสอบด้วยการจำลองการทำงาน.....	63
5.2 การทดสอบด้วยการแกะสลัก.....	65
5.2.1 งานเดินขอบ.....	66
5.2.2 งานแกะสลัก.....	68
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	73
6.2 ข้อเสนอแนะ	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก ก.	76
ภาคผนวก ข.	78
ภาคผนวก ค.	79
ประวัติผู้เขียน.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้น.....	28
5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์กับที่ได้วิเคราะห์.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโตะงาน บอลล์สกรู และการขับป้อนโตะงาน.....	5
2.2 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	6
2.3 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด.....	7
2.4 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง.....	7
2.5 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งหรือตามเส้นขอบรูป.....	8
2.6 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์และส่วนเพิ่ม.....	9
2.7 การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์กับการกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม.....	10
2.8 แสดงลักษณะการสร้างชิ้นงาน.....	10
2.9 แสดงภาพรวมของการควบคุมเครื่องแกะสลัก.....	11
2.10 แสดงภาพของคมตัด.....	11
2.11 พื้นที่การทำงานของเครื่องแกะสลัก.....	12
3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม.....	15
3.2 รูปแบบการเก็บส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพในโปรแกรมวาดแบบอัตโนมัติ.....	16
3.3 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นตรงของโปรแกรมวาดแบบ.....	17
3.4 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นตรง.....	18
3.5 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นโค้งของโปรแกรมวาดแบบ.....	19
3.6 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นโค้ง.....	19
3.7 รูปแบบการเก็บข้อมูลวงกลมของโปรแกรมวาดแบบ.....	20
3.8 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลวงกลม.....	20
3.9 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่องของโปรแกรมวาดแบบ.....	21
3.10 แสดงการคำนวณหาค่าความนูน (BULGE) ของส่วนโค้ง.....	22
3.11 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่อง.....	24
3.12 แสดงภาพเส้นโค้งเฉพาะ.....	29
3.13 การคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งของเส้นต่อเนื่อง.....	30
3.14 บล็อกไดอะแกรมของวิธีคูเอิลมอดูล์สปริสเกลตึงในกาสร้างเคราะห้ความถี่.....	33
3.15 แสดงการประยุกต์เทคนิคคูเอิลมอดูล์.....	35
3.16 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชันเส้นตรงเชิงความเร็ว.....	36
3.17 แสดงการประมาณส่วนของวงกลมด้วยเส้นตรง.....	38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 เมนูที่ใช้ในการควบคุม.....	40
4.1 การออกแบบตัวอักษรในโปรแกรมออโตแคด.....	42
4.2 การเก็บข้อมูลตัวอักษรของไฟล์ DXF.....	43
4.3 ขั้นตอนการสร้างตัวอักษร.....	44
4.4 แสดงภาพตัวอักษรและเส้นทางเดินที่ได้จากการประยุกต์โปรแกรมออโตแคด.....	45
4.5 รูปแบบการแกะสลักหรือการกัด.....	46
4.6 แสดงค่าออฟเซตในแนวแกน X และ Y ที่เกิดจากเส้นทางเดินและเครื่องมือ.....	47
4.7 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้จากการออกแบบ.....	48
4.8 แสดงเส้นทางเดินเหมือนภาพต้นแบบ.....	49
4.9 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์งานเดินขอบ.....	53
4.10 ข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากการออกแบบ.....	54
4.11 แสดงเส้นทางเดินที่ได้ทำการวิเคราะห์.....	55
4.12 ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์.....	56
4.13 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้วิเคราะห์ของแบบ 1 วัตถุ.....	57
4.14 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้จากการออกแบบของแบบ 2 วัตถุ.....	58
4.15 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์งานแกะสลัก.....	59
4.16 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้วิเคราะห์ของแบบ 2 วัตถุ.....	61
5.1 ภาพที่ออกแบบทดสอบการจำลองการทำงาน.....	63
5.2 ภาพที่ได้จากการจำลองการทำงาน.....	64
5.3 แสดงการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเครื่องแกะสลัก.....	65
5.4 แสดงหัวกัดและการกัดวัสดุ.....	65
5.5 ภาพที่ออกแบบในงานเดินขอบ.....	66
5.6 แสดงผลของงานเดินขอบและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพ.....	66
5.7 ตัวอักษรที่ออกแบบในงานเดินขอบ.....	67
5.8 แสดงผลของงานเดินขอบและเส้นทางเดินตามข้อมูลตัวอักษร.....	67
5.9 ภาพที่ออกแบบในงานแกะสลักแบบ 1 วัตถุ.....	68
5.10 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพแบบ 1 วัตถุ.....	68
5.11 ภาพที่ออกแบบในงานแกะสลักแบบ 2 วัตถุ.....	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพแบบ 2 วัตถุ.....	69
5.13 ตัวอักษรที่ออกแบบในงานแกะสลัก.....	70
5.14 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางเดินตามข้อมูลตัวอักษร.....	70
5.15 ข้อความที่ออกแบบในงานแกะสลัก.....	71
5.16 แสดงผลของงานแกะสลักตามข้อความ.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยในส่วนของภาคอุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมากมีความต้องการที่จะปรับปรุงการผลิตให้ดีขึ้นทั้งด้านคุณภาพและปริมาณของชิ้นงาน ซึ่งแต่เดิมการผลิตจะใช้เครื่องจักรที่มีความจำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือในการทำงาน ทำให้ความสามารถในการสร้างชิ้นงานขึ้นมามีปัจจัยอยู่หลายอย่างและอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับฝีมือและประสบการณ์ของช่างแต่ละคน ด้วยประสิทธิภาพในการทำงานของช่างแต่ละคนที่ไม่เท่ากัน ความเหนื่อยล้าในการทำงาน ทำให้ไม่สามารถสร้างชิ้นงานที่เหมือนกันในปริมาณมากๆ ได้และชิ้นงานที่ได้อาจมีมาตรฐานที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องตัดสตีกเกอร์ เครื่องแกะสลัก ฯลฯ เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีมาตรฐานเดียวกันและปริมาณมากๆ ได้ สามารถสร้างชิ้นงานได้ง่ายขึ้นไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือที่มีความชำนาญมากนักในการทำงาน ในส่วนของการควบคุมเมื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมนั้นจะต้องทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับ โปรแกรมวาดแบบเพื่อให้เครื่องมือ เครื่องจักรทำงานตามภาพต้นแบบที่ต้องการได้ ซึ่งปัจจุบันนี้โปรแกรมวาดแบบมีอยู่หลายโปรแกรมด้วยกันเช่น Cadkey GenerricCAD FastCAD CorelDraw AutoCAD โปรแกรมวาดแบบที่เป็นมาตรฐานทั่วไปจะเก็บข้อมูลจากภาพที่วาดในรูปแบบที่สามารถนำไปเชื่อมต่อกับโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานอื่นๆ ได้ โดยแต่ละโปรแกรมจะให้ข้อมูลที่แตกต่างกันในงานวิจัยนี้ได้เลือกโปรแกรมออโตแคดมาเป็นส่วนออกแบบชิ้นงานเนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความยืดหยุ่นของโปรแกรมสูง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการออกแบบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลเอกสาร (Text File) ที่เป็นมาตรฐานของ ASCII Drawing Interchange File (DXF) เนื่องจากความสามารถของโปรแกรมออโตแคดไม่เอื้ออำนวยทางการควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ โดยในส่วนข้อมูลภาพนั้นการเก็บข้อมูลจะเรียงลำดับก่อนหลังของการวาดภาพของผู้ออกแบบซึ่งการนำข้อมูลส่วนนี้ไปควบคุมเครื่องจักรโดยตรง อาจทำให้ไม่มีความต่อเนื่อง ส่วนข้อมูลตัวอักษรนั้นข้อมูลที่ได้ไม่มีค่าตำแหน่งของรูปร่างตัวอักษรจึงไม่สามารถนำไปควบคุมเครื่องจักรได้ และในส่วนของเส้นทางเดินของเครื่องมือ เช่น หัวกัด คัดเตอร์ คมตัด เส้นทางเดินที่ได้มาจากโปรแกรมวาดแบบนั้นมักไม่ต่อเนื่องไม่สม่ำเสมอ เส้นทางเดินไม่เหมาะสมซึ่งจะเห็นว่าปัญหาข้างต้นทำให้เครื่องมือ เครื่องจักรต้องใช้เวลาานสิ้นเปลืองพลังงานและต้นทุนในการผลิต ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยศึกษาจึงได้ทำการศึกษาหาแนวทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เครื่องจักรที่เหมาะสมเพื่อให้ระยะเวลาในการทำงานลดลง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ความมุ่งหมายในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะหาเส้นทางเดินของเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เครื่องจักรในส่วนที่ไม่มีความจำเป็นหรือส่วนที่เครื่องมือไม่สัมผัสชิ้นงาน โดยแนวทางที่ได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กในการควบคุมช่วยประหยัดต้นทุนและนอกจากนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาใช้กับอุตสาหกรรมได้อีกต่อไป

1.3 แนวคิดที่ใช้และขอบเขตในงานวิจัย

การสร้างชิ้นงานใดๆ ขึ้นมานั้นมีปัจจัยอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่นผู้ควบคุม วิธีการควบคุม วัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ฯลฯ ในส่วนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในส่วนของการควบคุมซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินของเครื่องมือที่เหมาะสมมีระยะทางในส่วนที่เครื่องมือไม่สัมผัสชิ้นงานเป็นหลักในการพิจารณาโดยอาศัยทฤษฎีเวกเตอร์และกราฟ ช่วยให้ระยะเวลาในการทำงานของเครื่องแคะสลักลดลง

ขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสมแล้วนำไปใช้ควบคุมเครื่องแคะสลักที่สร้างขึ้น โดยทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมออตโตแคด การออกแบบซอฟต์แวร์เริ่มตั้งแต่การรับข้อมูลจากโปรแกรมวาดแบบ การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์เส้นทางเดิน การจำลองการทำงานและการควบคุมชุดขับเคลื่อนแล้วทำการทดสอบด้วยการแคะสลักหรือกัดชิ้นงานจริง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ควบคุมการทำงานแบบ 2 แกนต่าง ๆ ได้เพียงแต่พัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็นความต้องการเฉพาะของแต่ละงานนั้นๆ ขึ้นมา

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

ในส่วนงานวิจัยนี้จะทำการหาเส้นทางเดินที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการกัดชิ้นงาน โดยจะต้องมีการประยุกต์การทำงานของโปรแกรมวาดแบบร่วมกับพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแคะสลักที่สร้างขึ้นได้ ขั้นตอนของการศึกษาที่ใช้มีดังนี้

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมวาดแบบต่างๆ มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อกันเพื่อจะนำข้อมูลไปใช้ในการควบคุม
2. ทำการศึกษาพื้นฐานของเครื่องแคะสลักและสร้างเครื่องแคะสลักขึ้นแล้วทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้คอมพิวเตอร์สามารถควบคุมเครื่องแคะสลักได้ เช่น ควบคุมให้เครื่องแคะสลักเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆ ในระนาบได้

3. พัฒนาโปรแกรมให้รองรับองค์ประกอบภาพต่างๆ จากโปรแกรมวาดแบบเช่น เส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม เส้นต่อเนื่อง เพื่อให้เครื่องแกะสลักสามารถเคลื่อนที่ตามภาพต้นแบบได้
4. ทำการศึกษาแนวทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องแกะสลัก และหาแนวทางที่ทำให้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ลดลง
5. พัฒนาโปรแกรมในการจำลองเส้นทางเดินของเครื่องแกะสลักเพื่อตรวจสอบทิศทางการเดินบนคอมพิวเตอร์ก่อนทำการแกะสลักหรือกัคชันงานจริง
6. ทำการกัคชันงานจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเส้นทางเดินและแนวทางที่ได้นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวหลักในการประมวลผลสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องแกะสลัก ก่อนที่จะทำการควบคุมจะต้องศึกษาพื้นฐานของเครื่องแกะสลักจากนั้นออกแบบสร้างส่วนโปรแกรมในการควบคุมเพื่อให้เครื่องแกะสลักทำงานตามภาพต้นแบบได้อย่างถูกต้อง ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 2

พื้นฐานของเครื่องแกะสลัก

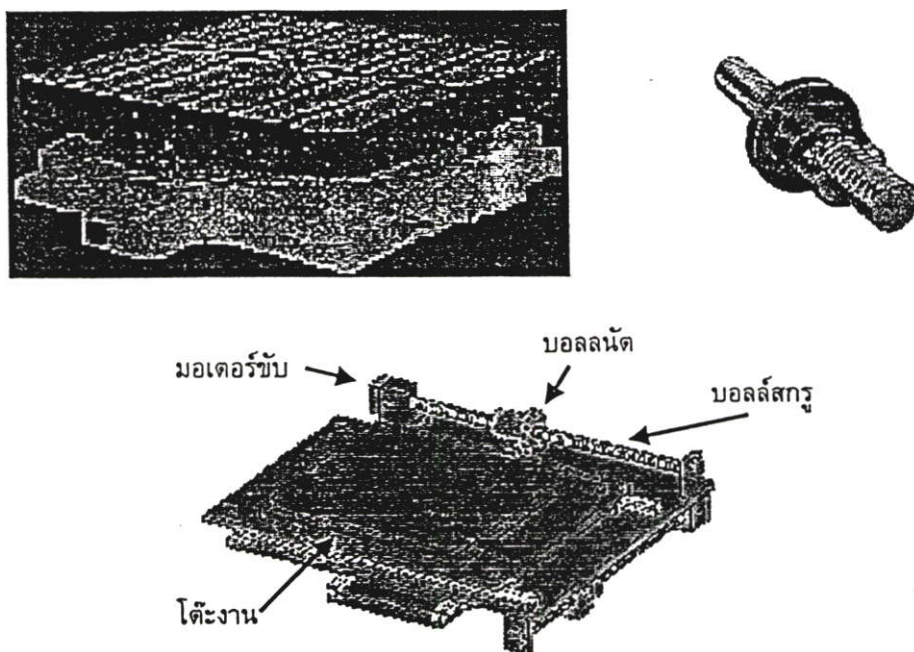
เครื่องแกะสลักที่สร้างขึ้นนี้ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานทำให้มีความสะดวกในการทำงาน สามารถสร้างชิ้นงานในลักษณะต่างๆ และสร้างชิ้นงานที่เหมือนๆ กันได้โดยง่าย เป็นการประหยัดเวลาการทำงานและช่วยลดเวลาในการผลิต มีความถูกต้องแม่นยำในการทำงานสูงและมีราคาถูกเนื่องจากใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งมีขนาดเล็กในการควบคุม ดังนั้นจำเป็นต้องทราบถึงส่วนประกอบและหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องแกะสลักซึ่งมีดังนี้

2.1 ส่วนประกอบของเครื่องแกะสลัก

เครื่องแกะสลักนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันโดยส่วนแรกจะเป็นส่วนของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานตามต้องการออกมาและอีกส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน เป็นส่วนที่รับข้อมูล ทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสมและควบคุมให้เครื่องแกะสลักผลิตชิ้นงานต่างๆ ขึ้นมาซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป ในส่วนการเคลื่อนที่ของเครื่องแกะสลักจะอาศัยมอเตอร์เป็นตัวขับให้เคลื่อนที่ได้

เครื่องแกะสลักจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

โต๊ะสำหรับจับยึดชิ้นงานเป็น โต๊ะที่นำชิ้นงานที่จะทำการแกะสลักไปจับยึดไว้บนนั้น โดยการจับยึดชิ้นงานนั้นจุดสำคัญจะอยู่ที่การกำหนดตำแหน่งชิ้นงานบน โต๊ะงานที่ถูกต้องและรวดเร็ว ควรเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถอดและใส่ชิ้นงานได้รวดเร็วและสามารถบังคับตำแหน่งในการทำงานของชิ้นงานซ้ำๆ ได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรงเสมอ พร้อมทั้งยังสามารถเลื่อนไปมาตามแนวแกนได้อย่างถูกต้องแม่นยำโดยอาศัยกำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าป้อนขับให้โต๊ะเลื่อนส่งผ่านกำลังขับจากมอเตอร์ผ่าน ไปยังบอลส์สกรู ซึ่งมีลักษณะเป็นสกรูกับนัตที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลมเมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรูนัตก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรู พาแทนเลื่อนและ โต๊ะงานเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน ในนัตเป็นเหล็กชุบแข็งเจียรในผิวเรียบมันเพื่อเป็นการลดความฝืดและเพิ่มความถูกต้องในการเคลื่อนที่ และยังประกอบด้วยลูกบอลจำนวนมากหมุนวนอยู่ตลอดภายในทำให้ความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังพาแทนเลื่อนมีน้อยมากและนัตยังออกแบบสำหรับลดระยะคลอนเพื่อให้การเคลื่อนที่ของพาแทนเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูง ดังนั้นการควบคุมโต๊ะให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการคือ การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางและความเร็วที่ถูกต้องและแม่นยำ



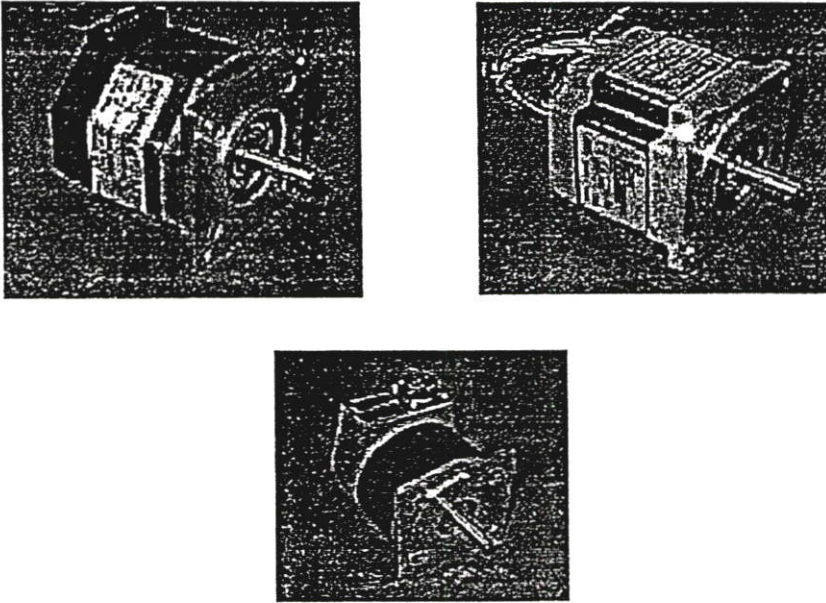
รูปที่ 2.1 แสดงโต๊ะงาน บอลล์สกรู และการขับป้อนโต๊ะงาน

โดยทั่วไประบบขับป้อนจะใช้มอเตอร์ในการหมุนขับและควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมให้หมุนในทิศทางที่ต้องการและหมุนในความเร็วใดๆ ที่ต้องการ หรือควบคุมให้หยุดได้ มอเตอร์ที่ใช้ในระบบป้อนขับมี 3 ชนิดด้วยกันคือ

มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีคือเป็นมอเตอร์ที่สามารถปรับอัตราป้อนได้อย่างละเอียดและมีวงจรควบคุมไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือเมื่อต้องการกำลังขับสูงมอเตอร์จะมีขนาดใหญ่และเมื่อความเร็วรอบสูงๆ แรงบิดจะลดลง ดังนั้นจะใช้กับเครื่องจักรกลขนาดกลางและเล็ก

มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping Motor) เป็นมอเตอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่องโดยการแปลงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นกับความสามารถของมอเตอร์ในการแบ่งขั้นการหมุนตามจำนวนคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระบบ ในมอเตอร์แบบนี้แรงบิดจะลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลเล็กๆ เช่น พล็อตเตอร์

มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor) มอเตอร์ชนิดนี้จะใช้วงจรควบคุมที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่า 2 ชนิดข้างต้น แต่ในขนาดที่เท่ากันจะมีแรงบิดสูงกว่าจะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดสูงและขนาดของมอเตอร์จะไม่ใหญ่มากนัก



รูปที่ 2.2 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ

2.2 การทำงานของเครื่องแกะสลัก

การทำงานของเครื่องแกะสลักจะมีการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือให้อยู่ในระนาบพิกัดแกน X แกน Y และแกน Z โดยเครื่องมือและชิ้นงานวางอยู่บนแท่นจะต้องเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนมีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear Interpolation) การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ คอมพิวเตอร์ในระบบจะทำการคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆ ที่ต่อกันในแนวเส้นตรงระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือ 2 ตำแหน่ง

2. การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง (Circular Interpolation) การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ คอมพิวเตอร์จะคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆ ที่ต่อกันเป็นเส้นโค้งตามขนาดรัศมีที่กำหนดระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือที่กำหนดไว้ 2 ตำแหน่ง

ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะต้องประกอบด้วย

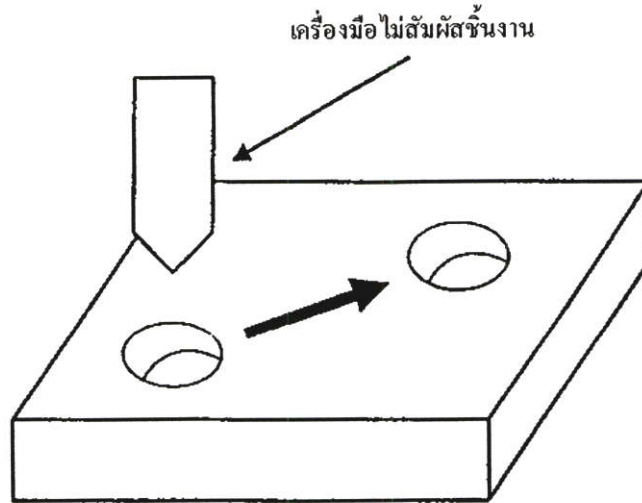
2.2.1 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ลักษณะของการควบคุมการเคลื่อนที่มี 3 แบบคือ

2.2.1.1 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด

โดยหลักการของการควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุดคือจะต้องควบคุมการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องมือจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยเทียบตำแหน่งในพิกัดเดียวกัน และไม่สนใจว่าจะไปตามแนวทางใด ด้วยแนวทางเท่าใดในลักษณะการเคลื่อนที่เร็ว (Rapid traverse) โดยที่เครื่องมือต้องไม่สัมผัสชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.3 การควบคุมแกนแต่ละแกนจะไม่ขึ้นแก่กันดังนั้นการ

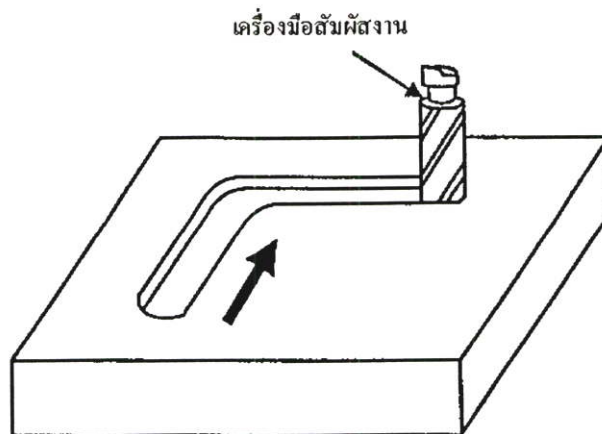
โปรแกรมการเคลื่อนที่สามารถที่จะเขียนแบบเรียงลำดับการทำงานที่ละแกน หรือเขียนแบบทำงานหลายๆ แนวแกนพร้อมๆ กัน การโปรแกรมงานส่วนใหญ่มักจะใช้วิธีที่ทำให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยปกติจะใช้การควบคุมแบบจุดต่อจุดกับงานเจาะ (drilling) งานคว้าน (boring) งานตอกหมุด (riveting) งานเชื่อมจุด (spot welding) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด

2.2.1.2 การควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง

การควบคุมการเคลื่อนที่ชนิดนี้สามารถใช้ควบคุมการเคลื่อนที่แบบเคลื่อนที่เร็วและยังสามารถใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในแนวขนานกับแนวแกนของเครื่องจักรกล ตามค่าอัตราป้อนที่ต้องการแต่จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ครั้งละ 1 แนวแกนเท่านั้น การเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะถูกควบคุมด้วยอัตราป้อนและความยาวในการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.4 ระบบการควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรงนี้จะใช้กับเครื่องกัดและเครื่องกลึงแบบง่าย ๆ

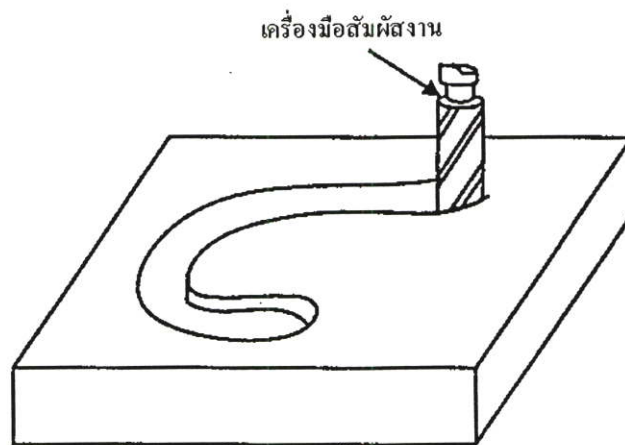


รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่แบบตัดตรง

2.2.1.3 การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งหรือตามเส้นขอบรูป

การควบคุมแบบนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ทำงานได้ดังนี้

1. ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแบบเคลื่อนที่เร็วได้
2. ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ขนานกับแนวแกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามค่าอัตราป้อนได้
3. ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆ บนชิ้นงานที่กำหนดในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งตามค่าอัตราป้อนได้



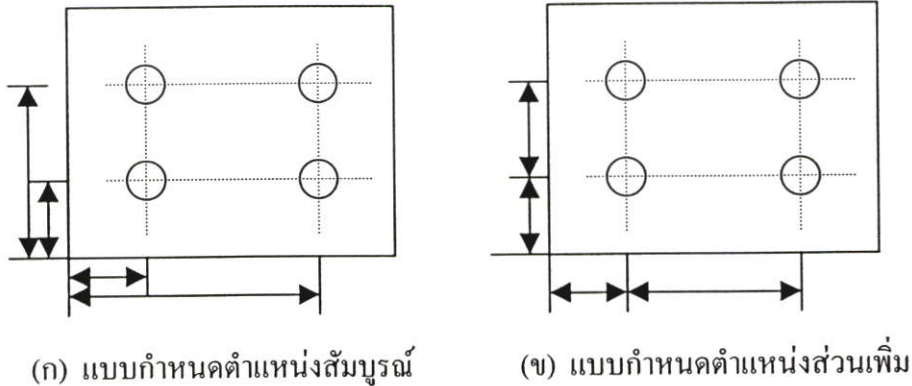
รูปที่ 2.5 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งหรือตามเส้นขอบรูป

การควบคุมตามเส้นขอบรูปนี้ยังแบ่งได้อีกเป็น 3 ระดับขึ้นกับความสามารถของระบบควบคุม คือความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือได้ 2 หรือ 3 แกนพร้อมๆ กันระดับการควบคุมทั้ง 3 ระดับเป็นดังนี้

1. การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกน ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในระนาบ (Plane) ที่กำหนดเฉพาะได้ 2 แนวแกนพร้อมๆ กันทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแนวเส้นตรงและเส้นโค้ง แต่จะไม่สามารถเปลี่ยนระนาบในการทำงาน
2. การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกนครึ่ง ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งบนระนาบใดๆ ที่ต้องการได้ แต่จะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ใน 2 แนวแกนพร้อมกันเท่านั้น
3. การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 3 แกน ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งได้พร้อมๆ กันทั้ง 3 แนวแกนเป็นลักษณะ 3 มิติได้

2.2.2 รูปแบบการวัดระยะทางการเคลื่อนตำแหน่งของเครื่องมือ

ลักษณะของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้วจะต้องมีการกำหนดลักษณะของการวัดระยะทางในแต่ละเส้นทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่ไป เพื่อสะดวกในการนำข้อมูลนั้นไปโปรแกรมสั่งงานให้กับเครื่องจักร ซึ่งการกำหนดรูปแบบของระยะทางมี 2 แบบคือ แบบกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ (Absolute positioning) กับแบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม (Incremental positioning) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์และส่วนเพิ่ม

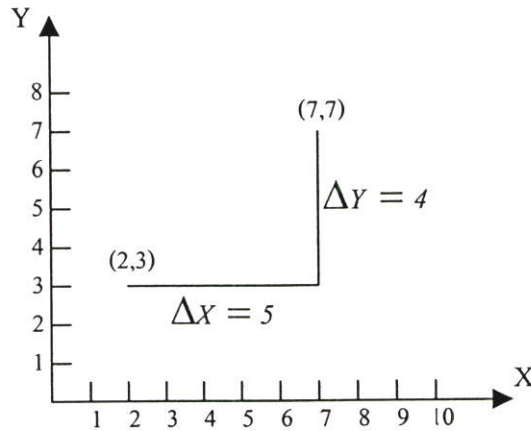
2.2.2.1 แบบกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์

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

2.2.2.2 แบบกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม

การกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม หมายถึงการกำหนดตำแหน่ง ของเครื่องมือโดยอ้างอิงจุดสุดท้ายที่เคลื่อนที่ไป เช่น ต้องการเจาะรูที่ตำแหน่ง (7,7) และตำแหน่งสุดท้ายอยู่ที่ (2,3) ดังนั้นจะต้องเคลื่อนที่เครื่องมือในแนวแกน +X เป็นระยะทาง 5 หน่วยและ ในแนวแกน +Y เป็นระยะทาง 4 หน่วย ก็จะได้ตำแหน่งที่ต้องการ

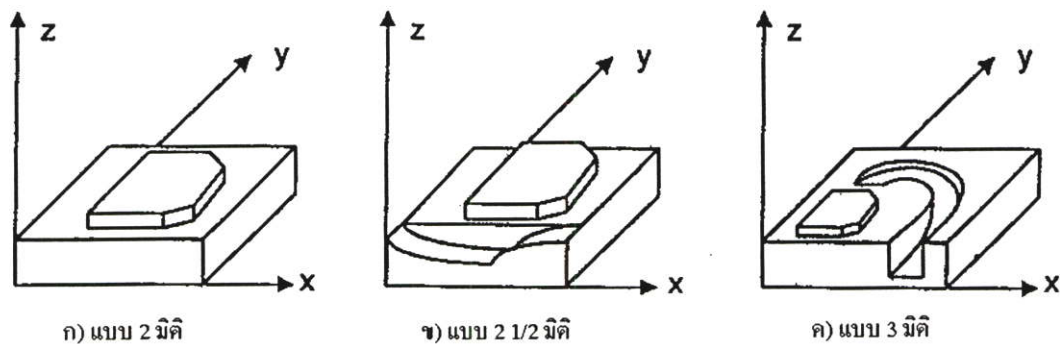
ทั้ง 2 แบบแสดงดังรูป 2.7 โดยตำแหน่งสัมบูรณ์อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 7 หน่วย Y เท่ากับ 7 หน่วย ส่วนตำแหน่งส่วนเพิ่มจะมี ΔX เท่ากับ 5 หน่วย ΔY เท่ากับ 4 หน่วย



รูปที่ 2.7 การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์กับการกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม

2.2.3 รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ

การทำงานของเครื่องมือสามารถทำงานแบบ 2 มิติ แบบ $2\frac{1}{2}$ มิติ และแบบ 3 มิติได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การทำงานแบบ 2 มิติคือการสร้างชิ้นงานให้อยู่ในระนาบเดียวกันมีการควบคุมการทำงานเพียง 2 แกน ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในระนาบ XY ส่วนแกน Z เป็นการกำหนดค่าที่แน่นอนเช่น ความลึก สำหรับการทำงานแบบ $2\frac{1}{2}$ มิติจะคล้ายกับแบบ 2 มิติแต่เพิ่มในส่วนแกน Z ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เปลี่ยนแปลงพร้อมกันทั้ง 3 แกน ส่วนการทำงานแบบ 3 มิติ จะเป็นการสร้างชิ้นงานพร้อมกันทั้ง 3 แกน

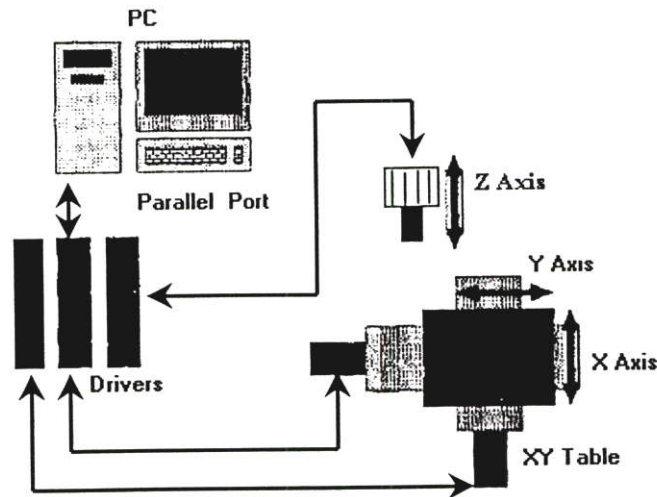


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการสร้างชิ้นงาน

ด้วยลักษณะการสร้างชิ้นงานดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากสามารถนำไปใช้ได้กับงานกัดยัง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเจาะซึ่งถือว่าการสร้างชิ้นงานแบบ 2 มิติ เมื่อความลึกในการเจาะคงที่ ถ้าความลึกไม่คงที่จะเป็นงานแบบ $2\frac{1}{2}$ มิติ ส่วนงานเดินขอบสามารถสร้างชิ้นงานได้ทุกรูปแบบ ส่วนงานกัดเป็นแอ่งหลุมจะเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ $2\frac{1}{2}$ มิติ

2.3 โครงสร้างของระบบควบคุม

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวหลักในการประมวลผลสำหรับทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัดและควบคุมเครื่องแกะสลักดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงภาพรวมของการควบคุมเครื่องแกะสลัก

จากรูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของระบบที่นำมาใช้ในการควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

2.3.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

- มอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม

เครื่องแกะสลักในงานวิจัยนี้ได้ใช้มอเตอร์แบบขั้นเป็นตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 แกน โดยมอเตอร์ทั้ง 2 แกนที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในระนาบ XY มีพิกัดเดียวกันคือเป็นมอเตอร์ 5 เฟส มีความคมชัดหรือความละเอียด 0.72° /สเตป และเมื่อทำการต่อเข้ากับแท่นเลื่อนของเครื่องแกะสลัก 1 สเตปเคลื่อนที่ได้ 0.005 ม.ม. ส่วนในแนวตั้งนั้นเป็นมอเตอร์ 5 เฟส มีความละเอียด 0.72° /สเตป เช่นเดียวกัน แต่เมื่อทำการต่อเข้ากับเครื่องแกะสลักแล้ว 1 สเตปเคลื่อนที่ได้ 0.001 ม.ม. ส่วนชุดขับเคลื่อนก็เป็นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ 5 เฟสทั้ง 3 ชุด และในส่วนของการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นั้นจะทำการเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน การนำพอร์ตขนานไปใช้งานแสดงในภาคผนวก ก. และทำการควบคุมแบบวงรอบเปิดเนื่องจากความสามารถของมอเตอร์แบบขั้นในการทำงานแบบวงรอบเปิดให้ความเชื่อถือทางตำแหน่งได้ดีและสามารถควบคุมได้ง่าย

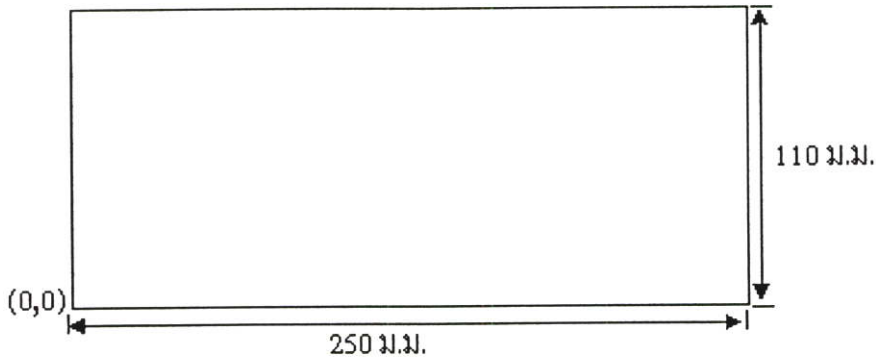
- คมตัดหรือหัวกัด



รูปที่ 2.10 แสดงภาพของคมตัด

จากรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของคมตัดที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน โดยที่ d แทนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคมตัด ซึ่งจะนำค่าในส่วนนี้ไปใช้ในการสร้างชิ้นงานและใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสม

- พื้นที่การทำงาน



รูปที่ 2.11 พื้นที่การทำงานของเครื่องแกะสลัก

จากรูปที่ 2.11 พื้นฐานทางกลของเครื่องแกะสลักมีพื้นที่การทำงานกว้าง 110 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และมีจุดอ้างอิง(0,0) อยู่ที่มุมล่างซ้ายเนื่องด้วยเป็นข้อกำหนดจากโปรแกรมวาดแบบออโตแคด ส่วนลักษณะการสร้างชิ้นงานของงานวิจัยนี้เป็นแบบ 2 มิติคือมีความลึกในการแกะสลักคงที่

2.3.2 ส่วนของโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลักทั้งหมดซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในบทต่อไปและส่วนที่ใช้ติดต่อกับพอร์ตนาน โดยที่งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการควบคุม และเนื่องด้วยความสามารถของวิซวลเบสิกไม่มีคำสั่งที่ใช้สำหรับติดต่อกับพอร์ตนานโดยตรง ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไปโดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Library) ซึ่งเป็นการนำฟังก์ชันที่ติดต่อกับพอร์ตนานจากภาษาอื่นมาเขียน DLL ปัจจุบันนี้มีผู้ทำการพัฒนาโปรแกรมส่วนนี้มากมายโดยสามารถหาข้อมูลได้ตามแหล่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตและบริษัทต่างๆ ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้คัดลอกไฟล์ inpout32.dll จากผู้ที่ทำการพัฒนาไว้แล้ว (กฤษดา ใจเย็นและชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. 2543) ใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิต ซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98 ไปเก็บไว้ที่ไดเรกทอรี SYSTEM ซึ่งอยู่ภายในไดเรกทอรีที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์

การกำหนดค่าในโปรแกรมวิชวลเบสิกเพื่อเรียกใช้งานไฟล์ DLL หรือการประกาศโมดูลมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) _  
As Integer
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, _  
ByVal Value As Integer)
```

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติมเข้าไปและทำการประกาศโมดูลในโปรแกรมวิชวลเบสิกแล้วก็จะสามารถควบคุมเครื่องแกะสลักผ่านทางพอร์ตขนานได้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างส่วนโปรแกรม

การออกแบบส่วนโปรแกรมในการควบคุมเครื่องแกะสลักนั้นผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก ออกแบบการรับข้อมูลชิ้นงาน การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การจำลองการทำงานและออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรมส่วนควบคุมนี้จะมีลักษณะการทำงานของโปรแกรมหดรูปที่ 3.1 โดยสามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็น ส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

1. การรับข้อมูล ในส่วนนี้จะหมายถึงข้อมูลที่โปรแกรมควบคุมเครื่องแกะสลักรับเข้ามาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือสภาพการทำงานของเครื่องแกะสลักซึ่ง ข้อมูลส่วนนี้จะได้จากผู้ใช้ เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคมตัด อัตราป้อนชิ้นงาน และอีกส่วนหนึ่งคือข้อมูลที่ใช้กำหนดรูปทรงของชิ้นงานข้อมูลส่วนนี้จะได้จากแบบมาตรฐานของโปรแกรมวาดแบบออโตแคด ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลมและเส้นต่อเนื่อง

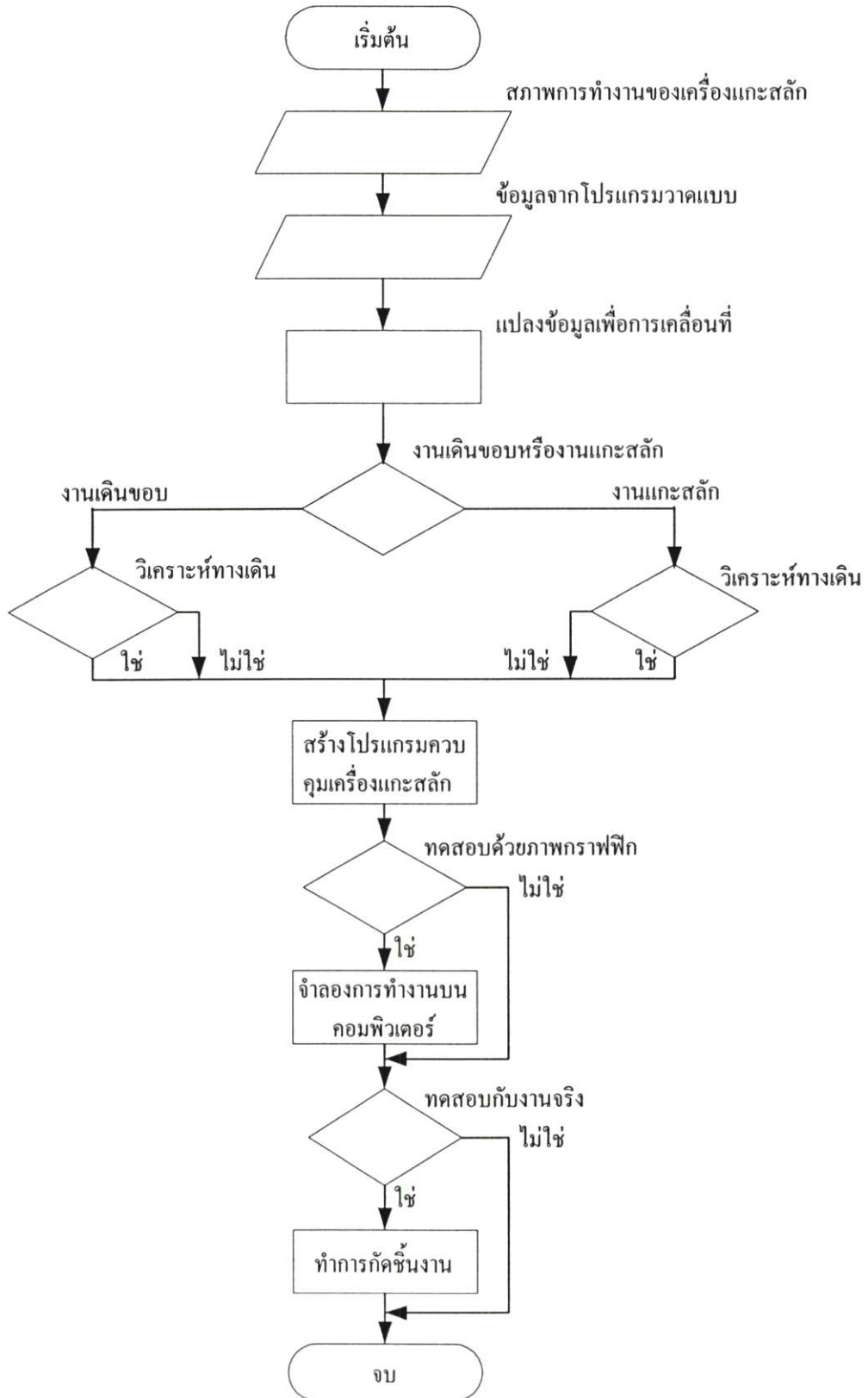
2. การแยกประเภทข้อมูล เป็นส่วนที่จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากแบบชิ้นงานมาทำการแยกแยะ เช่นถ้าข้อมูลอยู่ในรูปเส้นต่อเนื่อง (POLYLINE) คือเส้นที่ต่อเนื่องกันตลอดอาจจะเป็นเส้นโค้งหรือเส้นตรงต่อกับเส้นตรง อาจจะเป็นรูปปิดหรือรูปเปิดก็จะทำการแยกให้เป็นเส้นเดี่ยวต่อกัน เพราะฉะนั้นจะได้เส้นต่อเนื่อง 1 คำสั่งจะสามารถสร้างคำสั่งเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ได้หลายคำสั่ง

3. การแปลงข้อมูลเพื่อการเคลื่อนที่ ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลที่ได้รับการแยกประเภทข้อมูลแล้วมาทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งของเส้นต่างๆทั้งหมดพร้อมที่จะนำไปใช้ควบคุมเครื่องแกะสลัก

4. การวิเคราะห์เส้นทางเดิน ในส่วนงานนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบเส้นทางเดินคมตัดที่ได้วิเคราะห์และไม่ได้วิเคราะห์ จึงได้ออกแบบให้แยกประเภทของงานซึ่งเงื่อนไขในการวิเคราะห์ก็จะแตกต่างกันไป

5. การสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่องแกะสลัก จากข้อมูลที่ได้ในส่วนก่อนหน้าจะนำมาสร้างโปรแกรมสั่งงานเพื่อจะนำไปใช้ควบคุมเครื่องแกะสลัก

6. การทดสอบโปรแกรม ในส่วนนี้จะรวมการทดสอบการวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัดและควบคุมเครื่องแกะสลัก โดยส่วนหนึ่งจะทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ก็จะแสดงด้วยกราฟฟิกบนคอมพิวเตอร์ว่าเป็นชิ้นงานและเส้นทางเดินที่ถูกตัดหรือไม่ ส่วนที่สองจะทำการทดสอบด้วยการทำงานกับเครื่องแกะสลัก โปรแกรมนี้ได้ออกแบบให้สามารถทดสอบกับงานอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยให้ทำตามขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจนกระทั่งจบการทำงาน



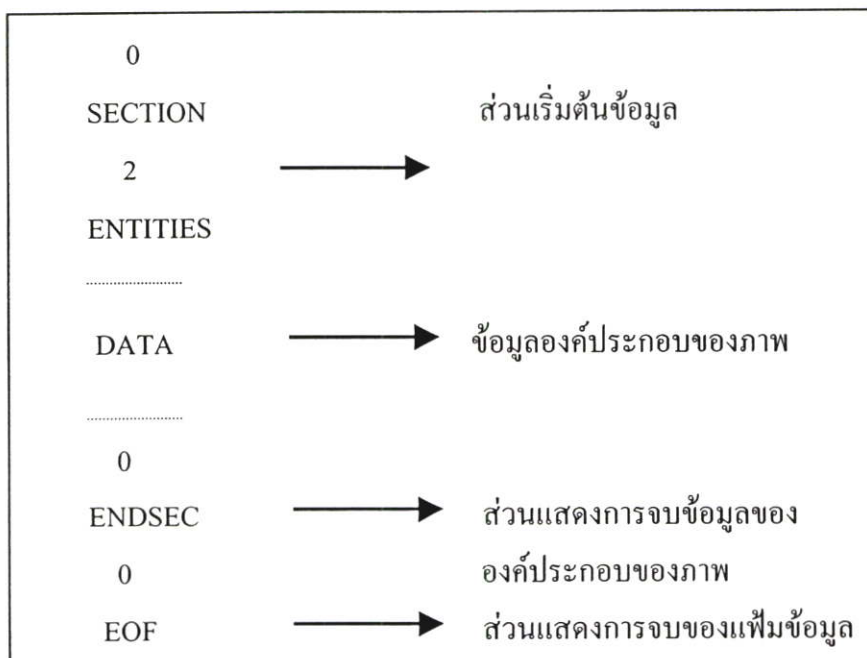
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่ออกแบบในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นส่วนสำคัญดังนี้

3.1 ส่วนโปรแกรมสำหรับควบคุมเครื่องแกะสลัก

3.1.1 โปรแกรมส่วนการรับข้อมูลชิ้นงาน

โปรแกรมวาดแบบที่เป็นมาตรฐานโดยทั่วไปจะมีการเก็บบันทึกข้อมูลจากภาพที่วาดขึ้นในรูปแบบที่สามารถนำไปเชื่อมต่อกับโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานอื่นๆ ได้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลเอกสาร (Text File) ที่เป็นมาตรฐานเรียกว่า ASCII Drawing Interchange File (DXF) แบ่งออกได้เป็น 7 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลทั่วไป (HEADER section) ส่วนแยกข้อมูล (CLASSES section) ส่วนตารางรายชื่อ (TABLE section) ส่วนข้อมูลภาพชุด (BLOCK section) ส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพ (ENTITIES section) ส่วนวัตถุที่ไม่ใช่ภาพ (OBJECT section) และส่วนการจบไฟล์ (EOF section) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพบว่าในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นโปรแกรมสั่งงานควบคุมเครื่องแกะสลักนั้น จะใช้เพียงส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพเท่านั้นเพราะข้อมูลส่วนนี้เป็นโครงสร้างแต่ละส่วนของภาพทั้งหมด ซึ่งสมบูรณ์เพียงพอต่อการนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสั่งงานเครื่องแกะสลักให้ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นจะพิจารณาเฉพาะรูปแบบข้อมูลในส่วนองค์ประกอบของภาพเท่านั้น ลักษณะของการเก็บบันทึกข้อมูลในส่วนนี้จะมีรูปแบบมาตรฐานดังรูปที่ 3.2 ในโปรแกรมออโตแคดสามารถเลือกใช้งานในหน่วยของระบบอังกฤษหรือเมตริก โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้หน่วยเมตริกทำให้หน่วยการวัดมีค่าเป็นมิลลิเมตรทั้งหมด

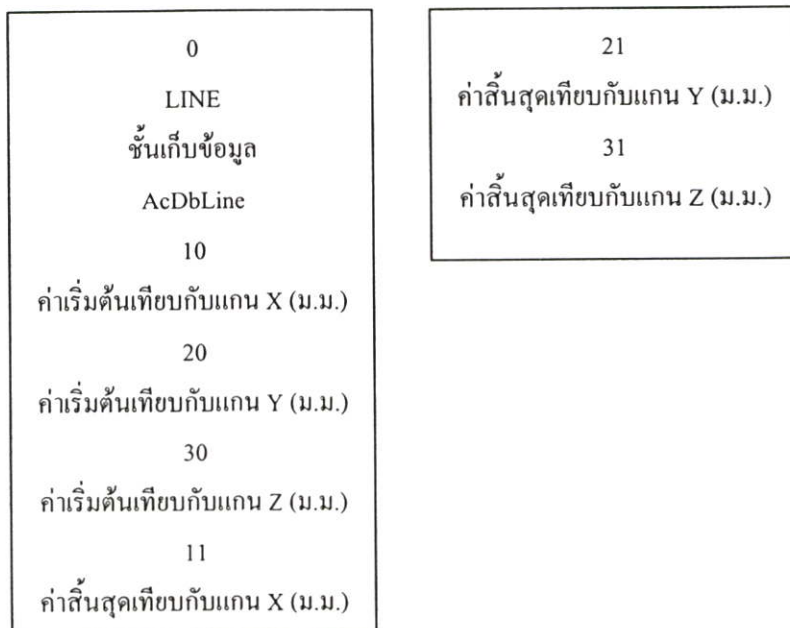


รูปที่ 3.2 รูปแบบการเก็บส่วนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของภาพในโปรแกรมวาดแบบออโตแคด

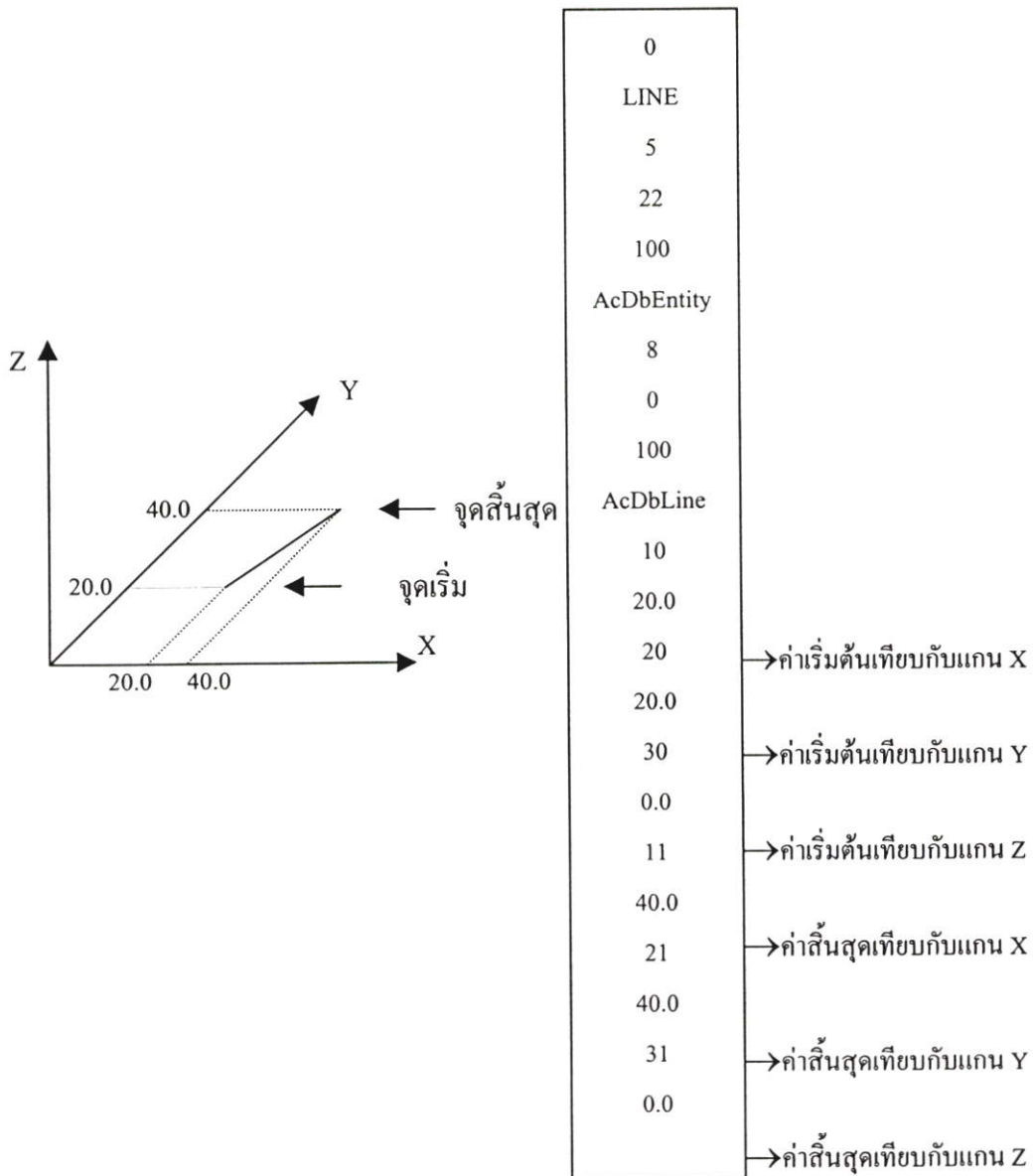
ในบรรทัดที่ 1 จะใช้เลข “0” เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของส่วนข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ “SECTION” ในบรรทัดถัดมา ส่วนบรรทัดที่ 3 จะใช้เลข “2” เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของส่วนองค์ประกอบภาพ ได้แก่ “ENTITIES” ในบรรทัดต่อมา ข้อมูล (DATA) ดังกล่าวจะประกอบด้วยเส้นตรง (LINE) เส้นโค้ง (ARC) วงกลม (CIRCLE) และเส้นต่อเนื่อง (LWPOLYLINE) ปิดท้ายชุดข้อมูลด้วยเลข “0” ตาม ด้วยคำสั่ง “ENDSEC” เพื่อแสดงถึงการจบข้อมูลในส่วนขององค์ประกอบภาพ และทำการปิดไฟล์ด้วยเลข “0” ตาม ด้วยคำสั่ง “EOF” ในบรรทัดสุดท้าย จะเห็นว่ารูปแบบของแฟ้มข้อมูลในโปรแกรมวาดแบบอัตโนมัติจะใช้รหัสตัวเลข (group code) คู่กับค่าตัวแปรหรือคำสั่งที่ตามมา โดยตัวแปรจะอยู่ในรูปของเลขทศนิยมและคำสั่งจะอยู่ในรูปของกลุ่มตัวอักษรหรือเลขจำนวนเต็ม ในลำดับต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในส่วนข้อมูลเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลมและเส้นต่อเนื่องซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแปลงเป็นชุดคำสั่งควบคุมเครื่องแกะสลัก

3.1.1.1 เส้นตรง

ข้อมูลเส้นตรงจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข “0” คู่กับคำสั่ง “LINE” ตามด้วยข้อมูลของเส้น เช่น ชั้นที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (Layer) ข้อมูลองค์ประกอบย่อย จุดเริ่มต้นของเส้นตรงกำหนดด้วยรหัสเลข “10” “20” และ “30” ที่แสดงพิกัดของจุดเริ่มต้นในทิศทางของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ส่วนจุดสิ้นสุดของเส้นตรงกำหนดด้วยรหัสเลข “11” “21” และ “31” ที่แสดงพิกัดของจุดสิ้นสุดในทิศทางของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นตรงของโปรแกรมวาดแบบ



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นตรง

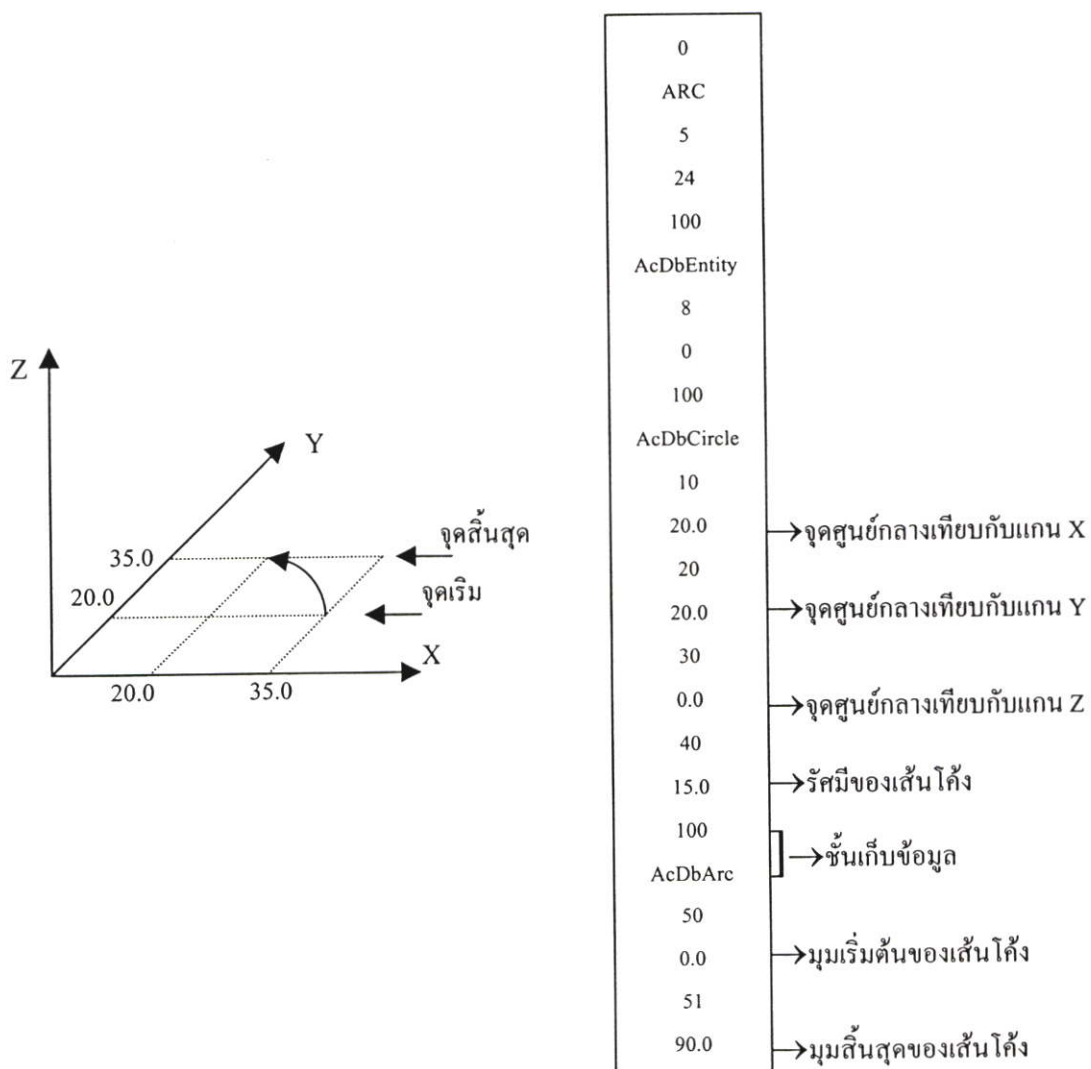
3.1.1.2 เส้นโค้ง

ข้อมูลเส้นโค้งจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข "0" คู่กับคำสั่ง "ARC" ตามด้วยข้อมูลของเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยใช้รหัสเลข "10" "20" และ "30" บอกพิกัดจุดศูนย์กลางของเส้นโค้งบนแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ใช้รหัสเลข "40" บอกขนาดรัศมีของเส้นโค้ง ใช้รหัสเลข "50" บอกขนาดมุมเริ่มต้น และใช้รหัสเลข "51" บอกขนาดของมุมสิ้นสุด ขนาดของมุมทั้งสองจะวัดจากแกน X และกวาดมุมไปในทิศทางวนเข็มนาฬิกา มีหน่วยเป็นองศา ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นโค้งแสดงในรูปที่ 3.6

0
ARC
ชั้นเก็บข้อมูล
AcDbCircle
10
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน X (ม.ม.)
20
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Y (ม.ม.)
30
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Z (ม.ม.)

40
รัศมีของเส้นโค้ง (ม.ม.)
50
มุมเริ่มต้นของเส้นโค้งเทียบกับ
แกน X(องศา)
51
มุมสิ้นสุดของเส้นโค้งเทียบกับ
แกน X(องศา)

รูปที่ 3.5 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นโค้งของโปรแกรมวาดแบบ



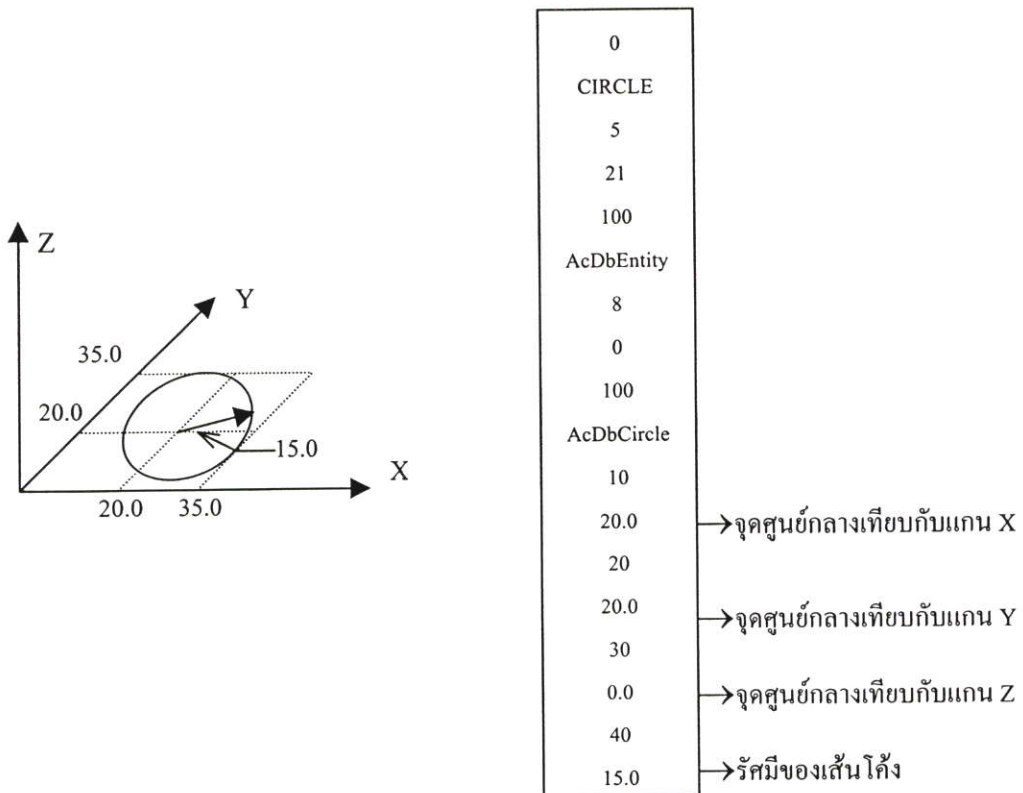
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นโค้ง

3.1.1.3 วงกลม

ข้อมูลวงกลมจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข “0” คู่กับคำสั่ง “CIRCLE” ตามด้วยข้อมูลของภาพวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยใช้รหัสเลข “10” “20” และ “30” แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางกลางของวงกลมในพิกัดของแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับและใช้รหัสเลข “40” แสดงค่าของรัศมีของวงกลม ตัวอย่างการเก็บข้อมูลภาพวงกลมแสดงไว้ในรูปที่ 3.8

0
CIRCLE
ชั้นเก็บข้อมูล
AcDbCircle
10
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน X (ม.ม.)
20
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Y (ม.ม.)
30
จุดศูนย์กลางเทียบกับแกน Z (ม.ม.)
40
รัศมีของวงกลม (ม.ม.)

รูปที่ 3.7 รูปแบบการเก็บข้อมูลวงกลมของโปรแกรมวาดแบบ



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลวงกลม

3.1.1.4 เส้นต่อเนื่อง

เส้นต่อเนื่องในโปรแกรมวาดแบบหมายถึงเส้นองค์ประกอบภาพที่ผู้วาดเพียงแต่ทำการกำหนดจุดตัดหรือจุดเชื่อมต่อของแต่ละเส้น แล้วทำการลากเส้นเชื่อมจุดเหล่านั้นเป็นรูปภาพขึ้นมา โดยแต่ละส่วนของภาพอาจเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ดังนั้นรูปแบบการเก็บบันทึกข้อมูลจากเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่ได้จากเส้นต่อเนื่องจึงแตกต่างไปจากเดิมดังรูปที่ 3.9 ข้อมูลเส้นต่อเนื่องจะเริ่มต้นด้วยรหัสเลข “0” คู่กับคำสั่ง “LWPOLYLINE” ตามด้วยข้อมูลเส้นต่อเนื่อง และใช้รหัสตัวเลข “10” “20” และ “30” บอกจุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเมื่อเทียบกับแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ และใช้รหัสตัวเลข “42” บอกค่าความนูน (Bulge) ของส่วนเส้นตรงหรือส่วนเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 3.10 และเมื่อมีจุดเชื่อมต่อก็จะวนเก็บข้อมูลจนจบดังแสดงในรูปที่ 3.11

0
LWPOLYLINE
ชั้นเก็บข้อมูล
AcDbPolyline
90
จำนวนของจุดเชื่อมต่อ
70
บอกสถานะว่ามีการใช้คำสั่ง closed
- 0 ไม่มีการใช้คำสั่ง closed
- 1 มีการใช้คำสั่ง closed
10
จุดอ้างอิงของจุดเชื่อมต่อเทียบกับแกน X
20
จุดอ้างอิงของจุดเชื่อมต่อเทียบกับแกน Y
30
จุดอ้างอิงของจุดเชื่อมต่อเทียบกับแกน Z
DATA
.....
42
ค่าบัลจ์

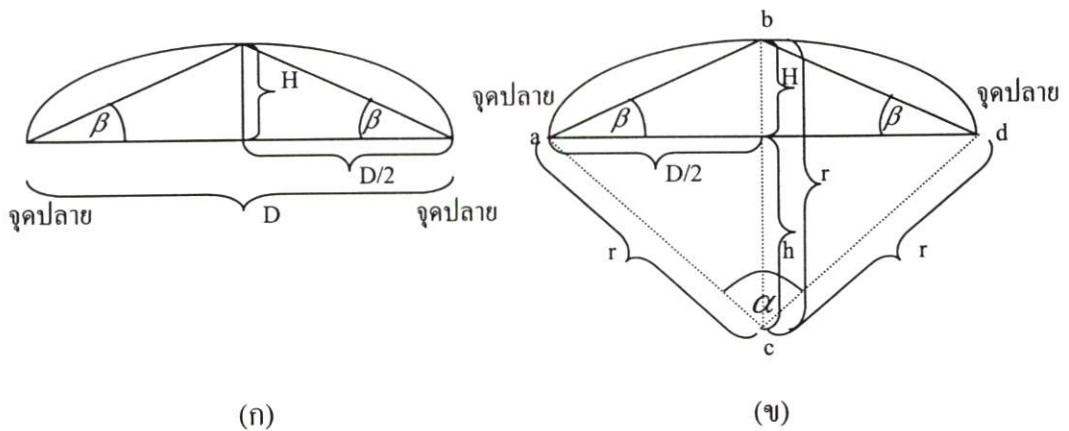
รูปที่ 3.9 รูปแบบการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่องของโปรแกรมวาดแบบ

สำหรับส่วนของเส้นตรงจะมีค่าความนูนเป็นศูนย์เสมอ ส่วนเส้นโค้งจะมีค่าความนูนที่คิดระหว่างจุดปลายทั้งสองของส่วนโค้ง สมมติให้มีความยาวเป็น D และลากเส้นตั้งฉากจากจุดกึ่งกลางของเส้นตรงนี้ไปตัดกับส่วนโค้ง สมมติให้เส้นตั้งฉากนี้มีความยาว H ดังแสดงในรูปที่ 3.10(ก) ถ้าลากเส้นตรงจากจุดปลายทั้งสองไปยังจุดตัดระหว่างส่วนโค้งกับเส้นตั้งฉากจะทำให้เกิดมุม β ดังนั้น ถ้าให้ B เป็นค่าความนูนของส่วนโค้งตามนิยามของโปรแกรมวาดแบบมาตรฐานทั่วไปจะได้

$$B = \tan \beta \quad (3.1)$$

นั่นคือ

$$B = \frac{H}{D/2} = 2H/D \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.10 แสดงการคำนวณหาค่าความนูน (BULGE) ของส่วนโค้ง

ถ้าลากเส้นตั้งฉากดังกล่าวตัดจุดกึ่งกลางของเส้นตรงที่เชื่อมจุดปลายทั้งสองให้มีความยาวทั้งหมดเท่ากับรัศมีของเส้นโค้ง และเชื่อมปลายเส้นตั้งฉากนี้กับจุดปลายทั้งสองของส่วนโค้งซึ่งเส้นทั้งสองจะมีความยาวเท่ากับรัศมีของส่วนโค้งเช่นกันดังรูปที่ 3.10 (ข) ถ้ากำหนดให้ r เป็นรัศมีของส่วนโค้ง จุด c เป็นจุดศูนย์กลางกลาง ของส่วนโค้ง เนื่องจากเส้นตรง bc เป็นเส้นตั้งฉากกับจุดกึ่งกลางของเส้นตรง ad จึงเป็นเส้นแบ่งครึ่ง acd ดังนั้นถ้ากำหนดให้

$$\alpha = \angle acd$$

จะได้

$$\angle acb = \angle dcb = \frac{\alpha}{2} \quad (3.3)$$

และจากรูป 3.10 (ข) กำหนดให้

$$H = r - h \quad (3.4)$$

จากสมการ (3.2) และ (3.4) จะได้

$$\begin{aligned} B &= \frac{r-h}{D/2} \\ &= \frac{r}{D/2} - \frac{h}{D/2} \\ &= \frac{1}{\sin(\alpha/2)} - \frac{1}{\tan(\alpha/2)} \\ &= \frac{1}{\sin(\alpha/2)} - \frac{\cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)} \\ &= \frac{1 - \cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

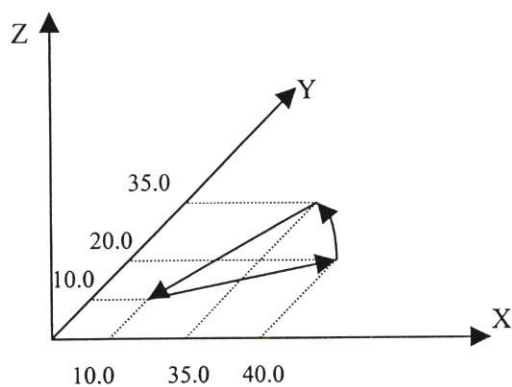
$$B = \tan(\alpha/4) \quad (3.5)$$

ในที่นี้ α จะเป็นมุมที่รองรับส่วนโค้งที่เกิดจากการลากเส้นตรงที่มีความยาวเท่ารัศมีของส่วนโค้ง จากปลายทั้งสองของเส้นโค้งให้ไปจดกันที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง

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

- ก) ถ้าลากเส้นโค้งแบบทวนเข็มนาฬิกาจะมีเครื่องหมาย +
- ข) ถ้าลากเส้นโค้งแบบตามเข็มนาฬิกาจะมีเครื่องหมาย -

ในการสร้างภาพชิ้นงานด้วยคำสั่งเส้นต่อเนื่องในโปรแกรมวาดแบบ การสร้างเส้นแต่ละเส้นจะมีลักษณะต่อเนื่องกันเสมอ ดังนั้นข้อมูลของแต่ละเส้นขององค์ประกอบภาพจะเก็บบันทึกเรียงตามลำดับการสร้างก่อนหลังในโปรแกรมวาดแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก) แบบภาพเส้นต่อเนื่อง

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่อง

```

0
LWPOLYLINE
5
24
100
AcDbEntity
8
0
100
AcDbPolyline
90
4 -จำนวนจุดเชื่อมต่อ
70
0 -ไม่มีการใช้คำสั่ง closed
43
0.0
10
10.0
20
10.0
10
40.0
20
20.0
42
1.0 -ค่าความหนา
10
35.0
20
35.0
10
10.0
20
10.0
0
ENDSEC

```

ข้อมูล

(ข) ข้อมูลภาพเส้นต่อเนื่อง

รูปที่ 3.11(ต่อ) ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นต่อเนื่อง

3.1.2 การแปลงข้อมูลภาพชิ้นงานเป็นข้อมูลตำแหน่ง

จากการศึกษาในรายละเอียดของข้อมูลภาพแต่ละส่วนใน โปรแกรมวาดแบบดังกล่าวก่อนหน้านี้พบว่าจะต้องคัดแปลงข้อมูลบางส่วนเสียก่อน แล้วจึงนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลักต่อไป โดยเฉพาะข้อมูลองค์ประกอบของภาพในส่วนของเส้นต่อเนื่องนั้นจะต้องทำการแยกข้อมูลออกเป็นส่วนเส้นตรงและเส้นโค้ง เมื่อได้ข้อมูลองค์ประกอบของภาพที่จำเป็นแล้วก็แปลงให้อยู่ในรูปของชุดคำสั่งสำหรับควบคุมเครื่องแกะสลัก ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้สามารถนำไปใช้ควบคุมเครื่องแกะสลักได้ทันที หรือจะทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินเพื่อความต่อเนื่องของข้อมูลและช่วยลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ก่อนก็ได้

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดชุดคำสั่งเริ่มต้น 3 แบบได้แก่คำสั่งเส้นตรง คำสั่งเส้นโค้ง และคำสั่งวงกลม ประกอบกับตัวแปรในระนาบแกน XY ที่ได้จากข้อมูลองค์ประกอบภาพ ชุดคำสั่งทั้งหมดมีรูปแบบดังนี้

คำสั่งเส้นตรง LINE(X_s, Y_s, X_e, Y_e)

คำสั่งเส้นโค้ง ARC($X_c, Y_c, X_s, Y_s, X_e, Y_e, d$)

คำสั่งวงกลม CIRCLE(X_c, Y_c, r)

โดยที่

- X_s : จุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน X
- Y_s : จุดเริ่มต้นของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน Y
- X_e : จุดสิ้นสุดของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน X
- Y_e : จุดสิ้นสุดของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเทียบกับแกน Y
- X_c : จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งหรือของวงกลมเทียบกับแกน X
- Y_c : จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งหรือของวงกลมเทียบกับแกน Y
- r : รัศมีของวงกลม
- d : ทิศทางของเส้นโค้ง

การกำหนดตัวแปรข้างต้นจะได้จากข้อมูลองค์ประกอบภาพโดยจะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าตำแหน่งต่างๆ และเมื่อได้ชุดคำสั่งเริ่มต้นซึ่งมีค่าตำแหน่งของเส้นต่างๆ ทั้งหมดแล้วก็จะนำข้อมูลหรือชุดคำสั่งเริ่มต้นนี้ไปทำการวิเคราะห์เส้นทางเดิน ดังจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

ขั้นตอนในการสร้างชุดคำสั่งเริ่มต้น

เมื่อทำการโหลดเพิ่มข้อมูลภาพชิ้นงานจาก โปรแกรมวาดแบบซึ่งอยู่ในรูปแฟ้มเอกสาร (Text File ที่มีชื่อเฉพาะเป็น “DXF” ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว) ระบบซอฟต์แวร์ของงานวิจัยจะทำการดึงข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดเฉพาะส่วนขององค์ประกอบภาพ (ENTITIES Section) แล้วนำข้อมูลของ

เส้นต่างๆ มาคำนวณหาค่าตัวแปรของชุดคำสั่งเริ่มต้น ขั้นตอนการอ่านข้อมูลภาพจากส่วนองค์ประกอบภาพมีดังนี้

อัลกอริทึมของการอ่านข้อมูลภาพจากส่วนองค์ประกอบในไฟล์ DXF	
ขั้นตอนที่ 1 :	ตรวจสอบหาส่วน “ENTITIES”
ขั้นตอนที่ 2 :	ตรวจสอบคำสั่งองค์ประกอบภาพในส่วน “ENTITIES” ได้แก่ “LINE” “ARC” “CIRCLE” และ “LWPOLYLINE” แล้วดึงข้อมูลทั้งหมดภายในคำสั่งออกมา
ขั้นตอนที่ 3 :	ทำการอ่านค่าความหมายพร้อมทั้งค่าของตัวแปรที่อยู่ถัดจากรหัสตัวเลขภายใต้คำสั่งในขั้นตอนที่ 2 รหัสตัวเลขหน้าตัวแปรที่จำเป็นในที่นี้ได้แก่ “10” “20” “30” “11” “21” “31” “40” “42” “50” “51” เป็นต้น
ขั้นตอนที่ 4 :	นำตัวแปรที่อ่านค่าได้ไปคำนวณหาค่าตัวแปรให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้น

เมื่อพิจารณาตัวแปรในชุดคำสั่งเริ่มต้นที่ได้จากระนาบ XY จะได้ตามตารางที่ 3.1

จากตารางเปรียบเทียบที่ 3.1 จะพบว่าข้อมูลภาพในส่วนเส้นตรงและวงกลมจะนำไปเป็นตัวแปรของคำสั่งเริ่มต้น LINE และ CIRCLE ได้อย่างสมบูรณ์โดยในส่วนของ CIRCLE นั้นจะกำหนดให้ค่าเริ่มต้นที่ศูนย์กลางและมีทิศวนเข็มนาฬิกาซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป แต่จะมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ดังนี้

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

ตารางที่ 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)	$X_c, Y_c, r, \phi, \theta$	$X_c, Y_c, X_s, Y_s, X_e, Y_e, d$	X_s, Y_s, X_e, Y_e, d
LINE (เส้นต่อเนื่อง)	X_s, Y_s, B	X_s, Y_s, X_e, Y_e	X_e, Y_e
ARC (เส้นต่อเนื่อง)	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

รายละเอียดของการหาหรือคำนวณหาค่าตัวแปรให้กับชุดคำสั่งเริ่มต้นต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 การหาจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่อง

เนื่องจากข้อมูลภายในของข้อมูลเส้นต่อเนื่องจะให้ค่าตัวแปรที่เป็นจุดเริ่มต้นในระนาบ XY คือ (X_s, Y_s) และแต่ละเส้นจะถูกสร้างอย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้นจุดสิ้นสุด (X_e, Y_e) ของแต่ละเส้นตรงในเส้นต่อเนื่องจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นที่ถูกสร้างถัดไป

3.1.2.2 การคำนวณหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะ

จากข้อมูลเส้นโค้งเฉพาะของภาพในระนาบ XY จะได้ตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ก) ดังนี้

X_c, Y_c : จุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง

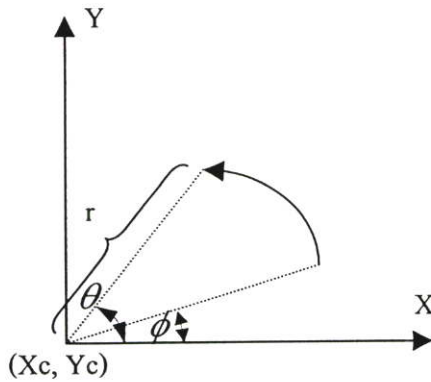
r : รัศมีของเส้นโค้ง

ϕ : มุมเริ่มต้นของจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งเมื่อเทียบกับแกน X

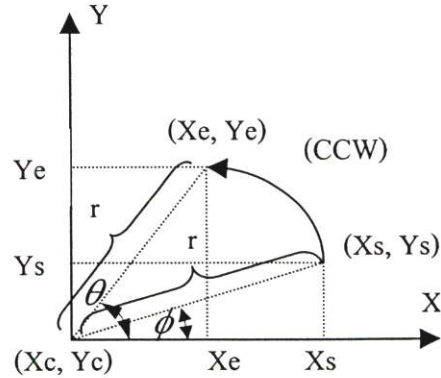
θ : มุมสิ้นสุดของจุดสิ้นสุดของเส้นโค้งเมื่อเทียบกับแกน X

d : CCW (Counter Clockwise) ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ตามคุณสมบัติพิเศษของการสร้างเส้นโค้งเฉพาะของโปรแกรมวาดแบบ)

ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาสำหรับคำสั่งเริ่มต้น ARC คือจุดเริ่มต้น (X_s, Y_s) และจุดสิ้นสุด (X_e, Y_e)



(ก) ข้อมูลภาพเส้นโค้ง



(ข) รูปคำนวณ

รูปที่ 3.12 แสดงภาพเส้นโค้งเฉพาะ

จากรูปที่ 3.12 (ข) และหลักการทางคณิตศาสตร์ ทำให้ทราบค่าของ X_s, Y_s, X_e และ Y_e ดังนี้

$$X_s = X_c + [r \cos(\phi)]$$

$$Y_s = Y_c + [r \sin(\phi)]$$

$$X_e = X_c + [r \cos(\theta)]$$

$$Y_e = Y_c + [r \sin(\theta)]$$

3.1.2.3 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางและจุดสิ้นสุดจากข้อมูลส่วนโค้งของเส้นต่อเนื่อง

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.1.1.4 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 ในทำนองเดียวกันกับการหาจุดสิ้นสุดของส่วนเส้นตรงของเส้นต่อเนื่องในหัวข้อ

3.1.2.1

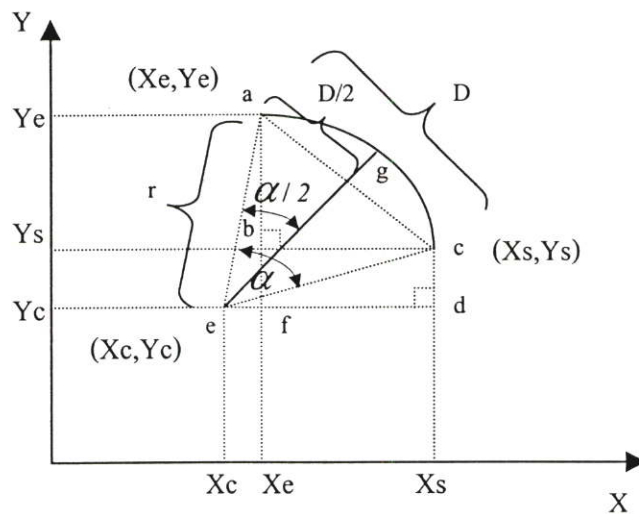
ข) ทิศทางการลากเส้นส่วนโค้ง

ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อเส้นต่อเนื่อง ทิศทางการลากเส้นส่วนโค้ง (d) กำหนดได้ดังนี้

1. ถ้าค่าของ B เป็นลบจะได้ $d=CW$ (ทิศตามเข็มนาฬิกา)
2. ถ้าค่าของ B เป็นบวกจะได้ $d=CCW$ (ทิศทวนเข็มนาฬิกา)

ค) จุดศูนย์กลางของส่วนเส้นโค้ง

โดยอาศัยหลักการและนิยามของตัวแปรตามรูปที่ 3.10 ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1.1.4 สร้างภาพของส่วนเส้นโค้งของเส้นต่อเนื่องบนระนาบ XY เพื่อการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง (X_c, Y_c) ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งของเส้นต่อเนื่อง

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

ดังนั้นจากข้อมูลภาพเรขาคณิตค่า B จึงคำนวณหาค่าของมุม α ได้จาก

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

จากรูปที่ 3.13 และใช้คุณสมบัติของสามเหลี่ยมโดยเราทราบว่า สำหรับสามเหลี่ยม abc ได้

$$D^2 = (X_s - X_e)^2 + (Y_e - Y_s)^2 \quad (3.7)$$

สำหรับสามเหลี่ยม cde ได้

$$r^2 = (X_s - X_c)^2 + (Y_s - Y_c)^2 \quad (3.8)$$

สำหรับสามเหลี่ยม aef ได้

$$r^2 = (X_e - X_c)^2 + (Y_e - Y_c)^2 \quad (3.9)$$

จากข้อมูลภาพเราทราบค่าของจุดเริ่มต้น (X_s, Y_s) และจุดสิ้นสุด (X_e, Y_e) ดังนั้นจากสมการ (3.7) ทำให้สามารถหาค่า D ได้ดังนี้

$$D = [(X_s - X_e)^2 + (Y_e - Y_s)^2]^{1/2} \quad (3.10)$$

และจากสามเหลี่ยม aeg ในรูปที่ 3.13 เราทราบว่า

$$r = [D/2]/\sin(\alpha/2) = D/2\sin(\alpha/2) \quad (3.11)$$

นั่นคือเราสามารถคำนวณหาค่าของรัศมี r ของส่วนโค้งจากข้อมูลของภาพโดยใช้สมการ (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

$$Y_c = \frac{X_s^2 + Y_s^2 - X_e^2 - Y_e^2 - 2(X_s - X_e)X_c}{2(Y_s - Y_e)} \quad (3.12)$$

ในที่นี้ X_s, Y_s และ X_e, Y_e เป็นตัวแปรที่ได้จากข้อมูลภาพดั่งนั้นถ้ากำหนดให้

$$K = \frac{X_s^2 + Y_s^2 - X_e^2 - Y_e^2}{2(Y_s - Y_e)} \quad \text{และ}$$

$$M = (X_s - X_e)/(Y_s - Y_e)$$

จากสมการ (3.12) จะได้ความสัมพันธ์ของ Y_c และ X_c ดังนี้

$$Y_c = K - MX_c \quad (3.13)$$

แทนค่า Y_c ในสมการ (3.8) และทำการแก้สมการหาค่า X_c ได้ดังต่อไปนี้

$$(X_s - X_c)^2 + (Y_s - K + MX_c)^2 = r^2$$

$$X_s^2 - 2X_sX_c + X_c^2 + (Y_s - K)^2 + 2(Y_s - K)MX_c + M^2X_c^2 = r^2$$

$$(1 + M^2)X_c^2 + 2[(Y_s - K)M - X_s]X_c + X_s^2 + (Y_s - K)^2 - r^2 = 0 \quad (3.14)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

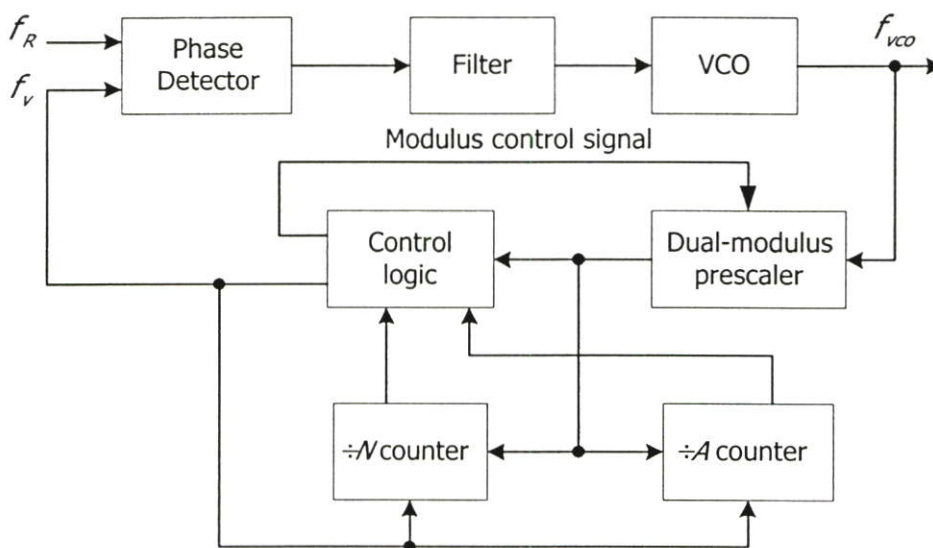
$$X_c = \frac{-[(Y_s - K)M - X_s]}{1 + M^2} \pm \frac{(((Y_s - K)M - X_s)^2 - (1 + M^2)(X_s^2 + (Y_s - K)^2 - r^2))^{1/2}}{1 + M^2} \quad (3.15)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (3.15) จะพบว่าเราสามารถคำนวณค่า X_c ได้จากข้อมูลภาพดังนั้นเมื่อได้ค่า X_c จากสมการ (3.15) จะทำให้ได้ค่า Y_c จากสมการ (3.12)

3.1.3 การแปลงข้อมูลตำแหน่งเป็นความถี่

ข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากการแปลงข้อมูลภาพชิ้นงานนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลักให้เคลื่อนที่ตามภาพต้นแบบ และในส่วนของ การขับเคลื่อนได้ใช้มอเตอร์แบบขั้นเป็นตัวต้นกำลังดังนั้นจำนวนพัลส์และความถี่ของพัลส์จะมีความสำคัญอย่างมากในการเคลื่อนที่ โดยในส่วนการเคลื่อนที่ที่เราจะต้องทำการควบคุมให้ชุดขับเคลื่อนซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ตามหัวข้อที่ 2.3 เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆ บนระนาบได้ตามต้องการโดยผู้วิจัยได้ใช้หลักการคูเอิลมอดูลัสพรีสเกลลิง (Dual Modulus Prescaling) ในการสังเคราะห์ความถี่ของพัลส์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ทำให้เครื่องแกะสลักเคลื่อนที่ตามภาพต้นแบบได้อย่างถูกต้อง

หลักการคูเอิลมอดูลัสพรีสเกลลิงเป็นวิธีที่จะให้สมรรถนะความเร็วสูงในทางป้อนกลับโดยมีสมรรถนะของระบบที่สมบูรณ์ การปรับความถี่และค่าสูงของ f_R จะคงรักษาไว้ถ้ามีการหารด้วยวงจรมอดูลัส N ชุด จุดนี้เป็นข้อได้เปรียบเหนือพรีสเกลลิงที่เจาะจงซึ่งค่า f_R จะลดลงโดยค่าพรีสเกลลิงในคำสั่งเพื่อรักษาความถี่ที่ต้องการ การลดลงของ f_R นี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการเพราะเป็นการทำให้สมรรถภาพของระบบเสื่อมลง



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของวิธีคูเอิลมอดูลัสพรีสเกลลิงในกาสังเคราะห์ความถี่

จากรูปที่ 3.14 พื้นฐานของเทคนิคคูเอิลมอดูลัสได้รวมวงจรมอดูลัสชนิดโปรแกรมได้ความถี่ต่ำด้วยคูเอิลมอดูลัสพรีสเกลลิงไอซี การรวมกันนี้เหมือนกับวงจรมอดูลัสชนิดโปรแกรมได้มีความเร็ว

เท่ากับปริสเกลเลอร์เพราะปริสเกลเลอร์ต้องการหารเพียง 2 ค่าคือ P และ P+X โดยออกแบบให้ความเร็วในการทำงานเปรียบเทียบกับตัวหารที่จะจง การทำงานที่เหมาะสมทำโดยวงจรนับความเร็วค่า 2 ชุดและใช้การควบคุมลอจิกในการเลือกค่า P หรือ P+X โดยปกติค่า X จะเท่ากับ 1 (Arthur.1983)

หลักการการทำงานของเทคนิคคูเอิลมอดูลัสเบื้องต้น ค่าหารรวมของระบบ (N_{total}) นั้นด้วยผลของคูเอิลมอดูลัสปริสเกลลิงเป็นฟังก์ชันของ P และ X ค่า A โปรแกรมลงในวงจรนับหาร $\div A$ และค่า N โปรแกรมลงในวงจรนับหาร $\div N$ เริ่มต้นด้วยการควบคุมลำดับในการนับ โดยควบคุมสัญญาณลอจิกให้เป็นระดับต่ำ(low) ทำให้ปริสเกลเลอร์ถูกหารด้วย P+X จนส่งผลให้วงจรนับ $\div A$ นับค่า A จากที่โปรแกรมไว้ลดลง และทุกๆ ครั้งของ P+X พัลส์จากวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (VCO) ที่ส่งมายังปริสเกลเลอร์ ค่าที่โปรแกรมไว้ในวงจรนับทั้ง $\div A$ และ $\div N$ จะลดลง 1 เพราะฉะนั้นเมื่อ A นับพัลส์ [(P+X)(A) พัลส์จาก VCO] ค่า N ในวงจรนับ $\div N$ จะเป็น (N-A) โดยที่ N เป็นจำนวนที่โปรแกรมลงในวงจรนับ $\div N$ และวงจรนับ $\div A$ จะนับจนกระทั่งถึงศูนย์

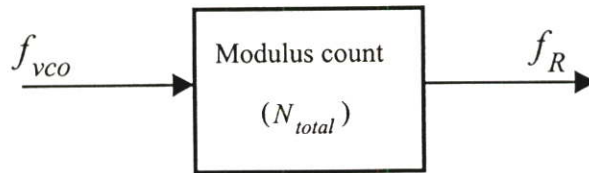
เมื่อค่า A ถูกนับจนเป็นศูนย์วงจรแลทช์จะทริกให้สัญญาณควบคุมลอจิกให้เป็นระดับสูง(high) ปริสเกลเลอร์ถูกหารด้วย P และถูกหารอย่างต่อเนื่องโดยที่ค่า N จะถูกนับลงจากค่า(N-A) ทำให้ได้วงรอบในการนับคือ $N_{total} = (P+X)A + (N-A)P = (N)(P) + XA$ และเมื่อวงจรนับ $\div N$ นับจนถึงศูนย์ วงจรนับทั้ง $\div A$ และ $\div N$ จะเริ่มต้นใหม่อีกครั้งและสัญญาณควบคุมลอจิกจะเป็นสัญญาณระดับต่ำทำให้ปริสเกลเลอร์ถูกหารด้วย P+X อีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นวงรอบในการนับซ้ำอีก ในส่วนนี้ค่า N จะต้องมีมากกว่าค่า A สามารถเขียนสมการของการหารได้ดังนี้

$$N_{total} = (N)(P) + A \quad (3.16)$$

โดยที่ $N \geq A$

ค่าหารรวมของระบบ (N_{total}) จะถูกกำหนดโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (VCO) และความถี่ที่ต้องการซึ่งในปริสเกลลิงกำหนดให้เท่ากับ f_R ดังนั้น

$$N_{total} = \frac{f_{VCO}}{f_R} \quad (3.17)$$



รูปที่ 3.15 แสดงการประยุกต์เทคนิคเคิลมอดูลัส

โดยที่	N_{total}	คือค่าหารรวมที่ต้องโปรแกรม
	f_{vco}	คือความถี่จากคอมพิวเตอรื (H_z)
	f_R	คือความถี่ที่ต้องการ (H_z)

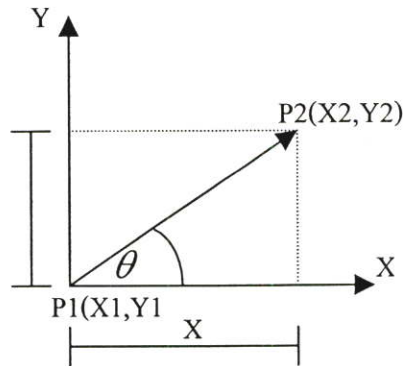
การสร้างพัลส์ให้กับชุดขับเคลื่อนของเครื่องแกะสลักนั้นผู้วิจัยได้อาศัยฐานเวลาของระบบคอมพิวเตอรืมาช่วยในการสังเคราะห์ความถี่ โดยที่คอมพิวเตอรืแต่ละเครื่องนั้นความเร็วในการทำงานอาจไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) ของคอมพิวเตอรืเครื่องนั้นๆ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบฐานเวลาของคอมพิวเตอรืโดยจะกำหนดฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมขึ้นมาหนึ่งฟังก์ชัน เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนจบฟังก์ชัน โดยให้ทำการบวกเลขทีละ 1 ค่าขึ้นเรื่อยๆ จากค่า 0 ถึง 1,000,000 ซึ่งคอมพิวเตอรืแต่ละเครื่องจะใช้เวลาไม่เท่ากัน คอมพิวเตอรืที่ใช้ในงานวิจัยนี้หน่วยประมวลผลกลางมีความเร็ว 300 MHz จากวิธีดังกล่าวทำให้ได้ความถี่ฐาน (f_{vco}) เพื่อนำไปใช้ในงานควบคุม 1 MHz

ในส่วนการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันในแต่ละแกนนั้นจะทำการควบคุมการเคลื่อนที่ให้แก่แต่ละแกนเคลื่อนที่สัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งโดยอาศัยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็น ในการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ดังนี้

3.1.3.1 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วของการเคลื่อนที่เส้นตรง

(Linear Interpolation)

เป็นการคำนวณสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงระหว่างจุดต่อจุดใดๆ ในพิกัด 2 มิติ



รูปที่ 3.16 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชันเส้นตรงเชิงความเร็ว

การเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชันเส้นตรง ถ้า P1 เป็นจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ อยู่ที่พิกัด(X1,Y1) และ P2 เป็นจุดสิ้นสุดการเคลื่อนที่อยู่ที่พิกัด (X2,Y2) ความเร็วในการเคลื่อนที่จาก P1 ไปยัง P2 จะมีค่าเป็น

$$V = \frac{\sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}}{t} \quad (3.18)$$

ถ้า R คือความยาวของเส้นตรงที่ลากจากจุด P1 มาถึง P2 จะได้ว่าความเร็วสัมพัทธ์ของ X,Y ที่ทำให้เกิด V หมายถึงการเคลื่อนที่ของคมตัดในเชิงเส้นตรง จะได้ว่า

$$V_x = \frac{V(X2 - X1)}{R} \quad (3.19)$$

$$V_y = \frac{V(Y2 - Y1)}{R} \quad (3.20)$$

โดยที่ V คือความเร็วของการเคลื่อนที่ของคมตัดที่ต้องการกำหนดในการใช้งาน(มิลลิเมตร/วินาที)
R คือการเคลื่อนที่ของคมตัดเชิงเส้นตรง (มิลลิเมตร)

จากสมการที่ (3.19) และ (3.20) เนื่องด้วยใน ส่วนขับเคลื่อนได้ใช้มอเตอร์แบบขั้นเป็นตัวขับเคลื่อนดังนั้นความเร็วจะสัมพันธ์กับความถี่ของพัลส์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ดังสมการ

$$N = \frac{60f}{s} \quad (3.21)$$

โดยที่	N	คือ ความเร็วรอบที่เพลลา (รอบ/นาที)
	f	คืออัตราเร็วของสเตป (สเตป/นาที)
	s	คือจำนวนสเตปทั้งหมด (สเตป/รอบ)

จากสมการที่ (3.18) และ (3.21) เราสามารถหาค่าความถี่ f_R ที่ต้องการได้ จากนั้นเราก็สามารถหาค่าหารรวมของระบบจากสมการที่ (3.17) นำไปใช้โปรแกรมให้มอเตอร์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งและความเร็วที่ต้องการ

เนื่องจากชุดกลไกขับเคลื่อนของเครื่องแกะสลักทางด้านแกน X และแกน Y จะเกิดการเคลื่อนที่ที่เป็นระยะทางที่แน่นอนค่าหนึ่งทุกๆ 1 สเตปของการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยค่าจริงที่ได้จากชุดกลไกนี้คือ 0.005 ม.ม./สเตป ซึ่งค่านี้เราจะนำมาใช้เป็นตัวทำให้เกิด Overflow ทุกครั้งที่เกิด Overflow มอเตอร์จะต้องมีการเคลื่อนที่ ดังนั้นเมื่อทำการตรวจสอบแล้วพบว่ามีการเกิด Overflow ขึ้นก็ต้องส่งข้อมูลออกไปยังวงจรมอเตอร์ครั้งหนึ่ง ซึ่งก็แล้วแต่ว่าจะเกิด Overflow ขึ้นทางด้านแกน X หรือแกน Y โดยเป็นอิสระต่อกัน

ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากวิธีที่กล่าวมานี้จะทำให้มอเตอร์ทั้งสองแกนเคลื่อนที่ไปอย่างซิงโครไนส์ (Synchronizing) ต่อกันซึ่งทำให้เส้นทางเดินที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ได้เป็นอย่างดี เพราะว่าส่วนของโปรแกรมที่เกี่ยวกับการสร้างความถี่นั้นกระทำอยู่ในรูปเดียวกัน อยู่บนคาบเวลาคงที่หรือความถี่อันเดียวกันและทุกครั้งที่เกิด Overflow ค่าที่เกิด Overflow ไปนั้นถูกนำกลับมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นใหม่ ในส่วนนี้หมายความว่าแต่ละครั้งที่เกิด Overflow นั้นจะไม่เกิดความผิดพลาด (Error) ขึ้น แต่ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นครั้งเดียวที่สเตปสุดท้ายของการเคลื่อนที่ในทิศทางนั้น ๆ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาแล้วจะพบว่ามีความน้อยมากคืออาจจะไม่ถึง 1 สเตปของการเคลื่อนที่

3.1.3.2 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวโค้ง

(Circular Interpolation)

เป็นการคำนวณสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือเป็นวงกลม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณเส้นทางเดินของวงกลมได้แก่

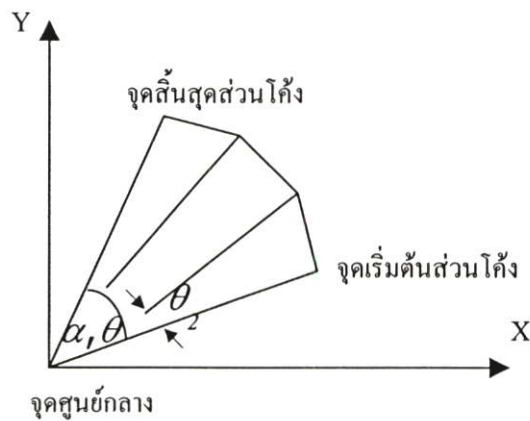
- ทิศทางเคลื่อนที่ว่าตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา (CW/CCW)
- จุดเริ่มต้นของส่วนโค้ง
- จุดสิ้นสุดของส่วนโค้ง

-จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง

เมื่อได้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับส่วนโค้งมาหมดแล้ว จะนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการคำนวณจุดบนเส้นโค้งด้วยการประมาณค่าเส้นตรง

การประมาณรูปวงกลมด้วยเส้นตรง (Linear approximation of a Circle)

เป็นการแบ่งส่วนของส่วนโค้งหรือวงกลมออกเป็นส่วนเล็กๆ เท่ากัน แล้วลากเส้นตรงระหว่างปลายของส่วนโค้งที่แบ่งออกมาเป็นคอร์ด(chord) ที่มีขนาดเท่ากัน โดยที่คอร์ดจะมีความยาวเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.17 แสดงการประมาณส่วนของวงกลมด้วยเส้นตรง

$$\text{จำนวนช่องที่แบ่ง}(n) = \frac{\text{ความยาวของส่วนโค้ง}}{\text{ความยาวของคอร์ด}}$$

$$n = \frac{\alpha * R}{0.01}$$

โดยที่ n จะเป็นเลขจำนวนเต็มทีปัดเศษขึ้นเสมอ

α คือมุมภายในส่วนโค้ง (เรเดียน)

R คือรัศมีของส่วนโค้ง (ม.ม.)

ดังนั้นจะได้องศาที่เปลี่ยนไปในการเคลื่อนที่แต่ละคอร์ด $\theta_2 = \frac{\theta}{n}$

โดยที่ θ_2 คือมุมย่อยของส่วนโค้ง (องศา) และ θ มีหน่วยเป็นองศาด้วย

3.1.4 โปรแกรมส่วนการวิเคราะห์เส้นทางเดิน

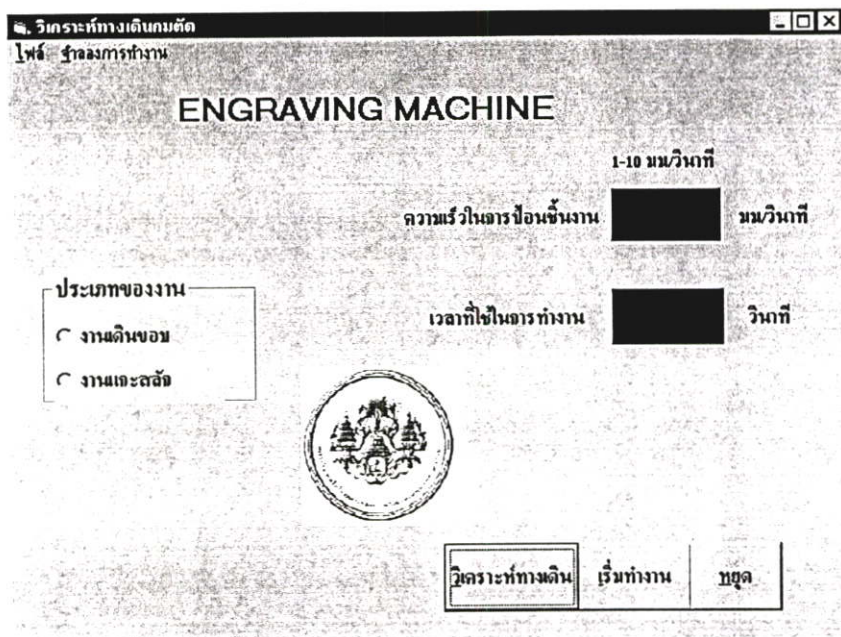
โปรแกรมส่วนนี้ได้ออกแบบให้เห็นถึงการเปรียบเทียบเส้นทางเดินคมตัดระหว่างข้อมูลที่ได้วิเคราะห์กับข้อมูลที่ไม่ได้วิเคราะห์ และแยกประเภทของงานออกเป็นงานเดินขอบและงานแกะสลัก โดยจะมีแนวทางหรือเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางเดินที่ต่างกัน ในส่วนการเปรียบเทียบได้ทำการจับเวลาข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์เริ่มตั้งแต่สั่งงานเครื่องแกะสลักทำงาน โดยจะรวมเวลาในส่วนของกาวิเคราะห์เส้นทางเดินด้วย ส่วนข้อมูลที่ไม่ได้วิเคราะห์เมื่อสั่งงานควบคุมเครื่องแกะสลักก็จะทำการแกะสลักชิ้นงานทันทีโดยไม่ทำการวิเคราะห์เส้นทางเดิน แนวทางที่ใช้ในการพิจารณาจะกล่าวในบทต่อไป

3.2 โปรแกรมส่วนจำลองการทำงาน

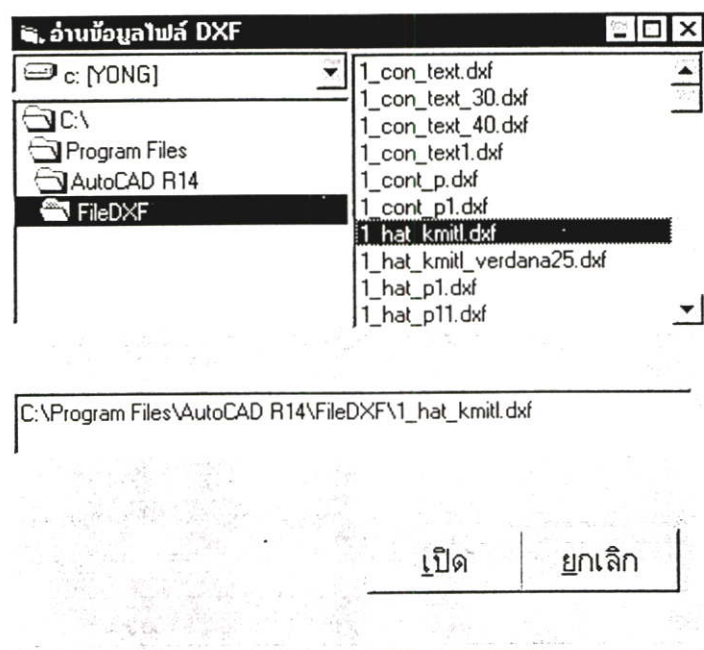
โปรแกรมส่วนนี้ใช้สำหรับตรวจสอบคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนขึ้น ช่วยตรวจสอบเส้นทางเดินทั้งข้อมูลที่วิเคราะห์และไม่ได้วิเคราะห์และรูปชิ้นงานว่ามีความถูกต้องหรือไม่ก่อนที่จะทำการแกะสลักชิ้นงานจริง โดยโปรแกรมส่วนนี้จะสร้างเส้นทางเดินของคมตัดทั้งหมดบนหน้าจอของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ช่วยให้ทำการทดสอบได้ง่ายขึ้นและช่วยประหยัดวัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานด้วย

3.3 โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

เนื่องจากภาววิชาวิศวกรรมเป็นภาษาระดับสูงทำให้ยากต่อการเรียนรู้และพัฒนาส่วนต่างๆในการควบคุมและในส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานก็สามารถพัฒนาขึ้นมาได้ไม่ยากนัก โดยได้ออกแบบรูปแบบ (Form) ที่ใช้ในการควบคุม 3 ฟอรั่มด้วยกัน ประกอบด้วยหน้าจอเริ่มต้นติดต่อกับผู้ใช้งาน การโหลดไฟล์ DXF และการจำลองการทำงานดังรูปที่ 3.18



ก. ฟอรั่มที่ 1 หน้าจอติดต่อ



ข. ฟอรั่มที่ 2 โหลดไฟล์ DXF

รูปที่ 3.18 เมนูที่ใช้ในการควบคุม



ค. ฟอรัมที่ 3 จำลองการทำงาน

รูปที่ 3.18(ต่อ) เมนูที่ใช้ในการควบคุม

ผู้วิจัยได้ออกแบบเมนูให้มีความง่ายและสะดวกในการควบคุม โดยที่ผู้ทำการควบคุมไม่จำเป็นต้องมีความรู้เฉพาะทางมากนัก มีการตรวจจับเวลาในการทำงานเพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์กับเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนในการสร้างชิ้นงานและใช้งาน โปรแกรมดังนี้

- 1) วาดแบบชิ้นงานในโปรแกรมวาดแบบก่อนเก็บไว้ในไฟล์ DXF ของ AutoCAD R.14
- 2) โหลดไฟล์ DXF ที่ต้องการเข้าสู่โปรแกรม โปรแกรมจะเปิดฟอรัม 2 ขึ้นมา
- 3) กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็น เช่น ประเภทของงาน ความเร็วในการป้อนชิ้นงาน
3. ถ้าต้องการทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินให้ทำการสั่งงานโดยกดปุ่มวิเคราะห์ทางเดิน
4. ถ้าต้องการตรวจสอบทิศทางเดินก่อนกดงานจริง ให้เข้าสู่การจำลองการทำงานบนเมนูบาร์ โปรแกรมจะเปิดฟอรัม 3 ขึ้นมา
5. สั่งงานให้เครื่องแกะสลักทำงาน

บทที่ 4

การประยุกต์โปรแกรมวาดแบบและวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัด

การออกแบบภาพและตัวอักษรในโปรแกรมวาดแบบข้อมูลที่ได้จากการออกแบบนั้น บางส่วนไม่สามารถนำไปควบคุมเครื่องแกะสลักได้เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการออกแบบไม่มีค่าตำแหน่ง และข้อมูลเส้นทางเดินคมตัดที่ได้ไม่เหมาะสม ไม่ต่อเนื่องเมื่อนำไปใช้ควบคุมเครื่องแกะสลักต้องใช้เวลาาน จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์โปรแกรมวาดแบบร่วมกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัด ทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมและมีเส้นทางเดินที่เหมาะสม

4.1 การประยุกต์โปรแกรมวาดแบบ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมออโตแคดในการออกแบบชิ้นงานเนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงหลักการสร้างภาพเบื้องต้นรวมถึงการประยุกต์วิธีการสร้างเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสม โดยแบ่งการออกแบบเป็นตัวอักษร ภาพและเส้นทางเดินของคมตัดดังนี้

4.1.1 การออกแบบตัวอักษร

การออกแบบตัวอักษรโดยใช้เครื่องมือมาตรฐานหรือคำสั่งในโปรแกรมออโตแคดนั้นไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างกรอบตัวอักษร ข้อมูลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 การเก็บข้อมูลในแฟ้มเอกสาร (DXF) จะไม่มีค่าตำแหน่งของรูปร่างตัวอักษรทั้งหมด มีเพียงตำแหน่งเริ่มต้น ขนาด ความสูง ความกว้าง และการจัดเรียงเท่านั้น ข้อมูลที่มีอยู่ไม่สามารถนำไปควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักรได้แสดงดังรูปที่ 4.2



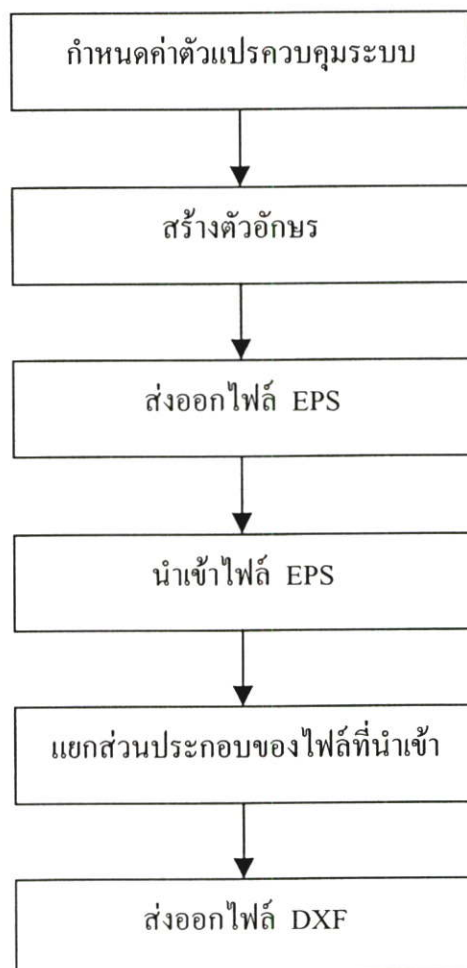
รูปที่ 4.1 การออกแบบตัวอักษรในโปรแกรมออโตแคด

MTEXT
5
22
100
AcDbEntity
8
0
100
AcDbMText
10
40.0 - จุดเริ่มต้นที่แกน X
20
40.0 - จุดเริ่มต้นที่แกน Y
30
0.0 - จุดเริ่มต้นที่แกน Z
40
30.0 - ความสูง
41
5.0 - จำนวนตัวอักษร
71 - จุดที่แทรกข้อมูล
1 - บนซ้าย
72 - ทิศทางการวาด
5 - ซ้ายไปขวา
1 - ตัวอักษรไม่เกิน 250ตัว
\\Technic\b0 i0 c2 p2;KMITL - ข้อมูล
0

รูปที่ 4.2 การเก็บข้อมูลตัวอักษรของไฟล์ DXF

วิธีการเดิมที่ใช้ในการควบคุมจะทำการปรับปรุงบนออโตแคดวาดเป็นภาพตัวอักษรโดยเรียงองค์ประกอบพื้นฐานต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นตัวอักษรแล้วเก็บเป็นฐานข้อมูลไว้ เมื่อจะทำการ

ควบคุมก็ต้องเข้าถึงฐานข้อมูลนั้น วิธีนี้จึงมีความยุ่งยากในการวาดภาพตัวอักษรและต้องทำทุกตัวอักษรซึ่งการทำให้ครอบคลุมทุกชนิด (Font) ของตัวอักษรเป็นเรื่องยากและเสียเวลามาก อีกวิธีหนึ่งคือการใช้เครื่องมือการแยกส่วนประกอบตัวอักษรในโปรแกรมออดอตแคด เพื่อแยกส่วนประกอบตัวอักษรให้เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน เมื่อแยกส่วนแล้วจะมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นขอบตัวอักษรและโครงสร้างภายในจำเป็นต้องลบเส้นโครงสร้างภายในออก วิธีนี้เมื่อเขียนเป็นข้อความยาวจะไม่สะดวกในการลบเส้นภายในทำให้เสียเวลาเป็นอย่างมากและอาจมีการลบลผิดพลาดได้และเส้นขอบตัวอักษรมีลักษณะเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ที่ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้ต้องเสียเวลาในการควบคุมชุดขับเคลื่อน ซึ่งอาจจะต้องเขียนโปรแกรมการจัดเรียงองค์ประกอบอีก โดยผู้วิจัยได้หาวิธีการสร้างตัวอักษรโดยประยุกต์ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมออดอตแคดเอง ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบย่อยที่มีเฉพาะเส้นขอบตัวอักษรและเรียงลำดับต่อเนื่องกันประหยัดเวลาและครอบคลุมทุกชนิดของตัวอักษร ขั้นตอนในการสร้างตัวอักษรมีดังนี้

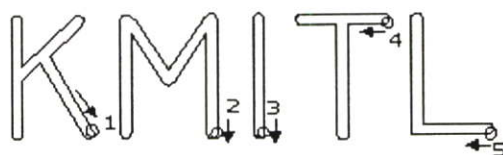


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการสร้างตัวอักษร

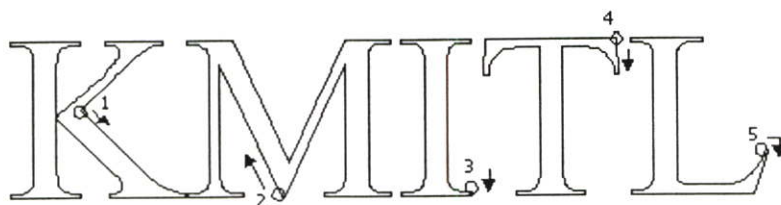
จากรูปที่ 4.3 จะทำการประยุกต์ฟังก์ชันที่มีอยู่มาใช้ในการสร้างตัวอักษร ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการกำหนดค่าตัวแปรควบคุมระบบ Text Fill เท่ากับ 0 เพื่อให้แสดงตัวอักษรเฉพาะเส้นขอบเท่านั้น
2. เขียนตัวอักษรหรือข้อความที่ต้องการด้วยเครื่องมือ หรือคำสั่งที่ เขียนตัวอักษรในโปรแกรม ออโตแคด ภาพตัวอักษรที่ได้จะเหมือนกับรูปที่ 4.1 ยังไม่เป็นเส้นขอบรูปที่ต้องการ
3. ขั้นต่อไปให้ส่งภาพออกไปเป็นไฟล์ Encapsulated PostScript (EPS) เนื่องจากคุณสมบัติของไฟล์ EPS จะเก็บข้อมูลอยู่ในรูปเวกเตอร์
4. นำไฟล์ EPS ที่ส่งออกไปกลับเข้ามาในโปรแกรมออโตแคดอีกครั้ง ซึ่งจะได้ภาพที่มีเฉพาะเส้นขอบตัวอักษรเท่านั้นซึ่งโปรแกรมออโตแคด จะเห็นว่าภาพที่ได้เป็นบล็อกของวัตถุ
5. ทำการแยกส่วนประกอบวัตถุด้วยคำสั่งหรือเครื่องมือพื้นฐาน ทำให้ได้องค์ประกอบของภาพย่อยๆ เรียงต่อเนื่องกันตามขอบตัวอักษร มีลักษณะเป็นเวกเตอร์เรียงต่อกัน
6. จากนั้นทำการแปลงภาพทั้งหมดให้อยู่ในรูปของแฟ้มเอกสารมาตรฐานหรือไฟล์ DXF ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลทางตำแหน่งซึ่งสามารถนำไปใช้ในการควบคุมได้

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมานี้จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบย่อยๆ ที่มีเฉพาะเส้นขอบตัวอักษรและเรียงลำดับต่อเนื่องกันดังรูปที่ 4.4 โดยจุดเริ่มของตัวอักษรเช่นตัวอักษร K ของแต่ละฟอนต์ Technic, Times New Roman จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำการออกแบบฐานข้อมูลไฟล์ EPS ที่เก็บไว้ในโปรแกรมออโตแคด แต่ถ้าเป็นตัวอักษรของฟอนต์ประเภทเดียวกันที่มีขนาดต่างกันก็จะมีทิศทางที่เหมือนกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้มานี้สามารถนำไปทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ได้อีกต่อไป



(ก) ฟอนต์ Technic



(ข) ฟอนต์ Times New Roman

รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัวอักษรและเส้นทางเดินที่ได้จากการประยุกต์โปรแกรมออโตแคด

4.1.2 การออกแบบภาพ

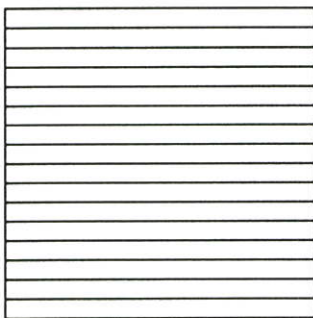
ในส่วนการออกแบบภาพนั้นผู้วิจัยได้ทำการเขียน โปรแกรมรองรับองค์ประกอบพื้นฐานต่างๆ ของภาพซึ่งประกอบด้วยเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลมและเส้นต่อเนื่องไว้แล้ว ทำให้ผู้ออกแบบ สามารถออกแบบชิ้นงานด้วยเครื่องมือมาตรฐานหรือคำสั่งที่มีใน โปรแกรมออโตแคดได้ตาม ต้องการ ส่วนการเก็บข้อมูลของภาพนั้นจะเรียงลำดับก่อนหลังการวาดภาพซึ่งถ้าผู้ออกแบบมีความชำนาญทั้งด้านการออกแบบและการควบคุมเครื่องจักรก็สามารถที่จะออกแบบให้เครื่องจักร ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไม่มากนัก แต่ส่วนใหญ่แล้วผู้ออกแบบมักจะไม่ค่อยคำนึงถึงความสะดวก ในการควบคุมเครื่องจักรแต่จะคำนึงถึงความสะดวกในการออกแบบเป็นหลัก เนื่องจากมีความ เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาหาแนวทางและพัฒนา โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของเส้นทางเดินและช่วยลดระยะเวลาในการ เคลื่อนที่ด้วย

4.1.3 การออกแบบเส้นทางเดินคมตัด

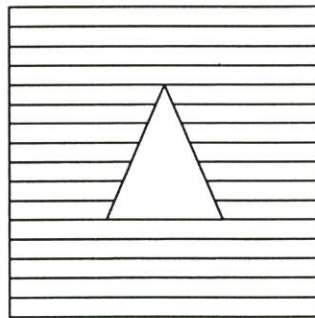
งานแกะสลักหรืองานกัดนั้นแบบชิ้นงานที่ออกแบบจะต้องเป็นรูปปิด ได้แก่วงกลม เส้นต่อ เนื่อง เส้นตรงที่ต่อกันเป็นรูปปิด โดยรูปแบบของการแกะสลักหรือการกัดมี 2 แบบด้วยกันคือ

1. แบบ 1 วัตถุ (1 Object) รูปแบบนี้จะทำการแกะหรือกัดเอาเนื้อวัสดุบริเวณภายในของ แบบชิ้นงานที่ต้องการกัด ดังรูปที่ 4.5 (ก)

2. แบบ 2 วัตถุ (2 Object) รูปแบบนี้จะเป็นการแกะหรือกัดเอาเนื้อวัสดุระหว่างรูปปิด 2 รูป โดยรูปปิดแรกจะเป็นเส้นแบบชิ้นงานที่ต้องการกัดซึ่งเป็นแบบเป้าหมายของการกัดและรูป ปิดที่สองจะเป็นบริเวณขอบเขตของวัสดุที่จะกัดหรือวัตถุคียบก่อนกัดดังรูปที่ 4.5 (ข)



ก. แบบ 1 วัตถุ



ข. แบบ 2 วัตถุ

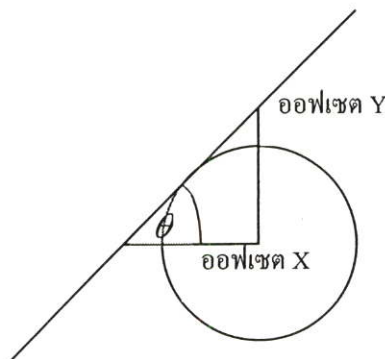
รูปที่ 4.5 รูปแบบการแกะสลักหรือการกัด

การสร้างเส้นทางเดินคมตัด (Tool path) ของทั้ง 2 รูปแบบจะใช้คำสั่ง “Hatch” โดยมีรูปแบบของการทำลายกลายเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานที่มีอยู่ในโปรแกรมออโตแคดมี ลักษณะเป็นเส้นตรงมุมศูนย์องศา

ในการทำลวดลายเส้นตรงมุมศูนย์องศาสร้างเส้นทางเดินคมตัดเพื่อให้ได้เส้นทางเดินที่สมบูรณ์สามารถแกะหรือกัดเนื้องานได้หมด จะต้องมีการกำหนดระยะห่างของเส้นลวดลายเส้นตรงดังสมการข้างล่างนี้

$$\text{ระยะลวดลายเส้นตรง} = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางคมตัด} / 2 \quad (4.1)$$

ก่อนที่จะทำการสร้างลวดลายเส้นตรงให้กับชิ้นงานจำเป็นต้องทำการออฟเซต (Offset) แบบชิ้นงานที่ต้องการแกะสลักก่อนให้เท่าค่าของรัศมีของคมตัดรวมกับค่าออฟเซตเพื่อออกห่างจากแบบชิ้นงานที่ต้องการแกะสลัก โดยทิศทางการออฟเซตของรูปแบบที่ 1 แบบ 1 วัตถุ จะออฟเซตเส้นแบบชิ้นงานที่ต้องการให้มีขนาดเล็กลง และส่วนการออฟเซตของรูปแบบที่ 2 แบบ 2 วัตถุ จะออฟเซตเส้นแบบชิ้นงานที่ต้องการให้โตออก ซึ่งจะได้เส้นออฟเซตที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบชิ้นงานที่ต้องการ โดยที่การออฟเซตนี้จะเป็นการป้องกันไม่ให้คมตัดเข้ากัดบริเวณวัสดุที่ต้องการ ไม่กัดเนื้องานของเส้นรอบรูป การหาค่าออฟเซตแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงค่าออฟเซตในแนวแกน X และ Y ที่เกิดจากเส้นทางเดินและเครื่องมือ

ค่าออฟเซตในแนวแกน X และแนวแกน Y

ค่าออฟเซตจะเป็นค่าที่ใช้บวกเพิ่มหรือลดออกจากแนวเส้นรอบรูปปิดเพื่อให้เครื่องมือเดินอยู่ภายนอกหรือภายในเส้นรอบรูปปิด จากรูปที่ 4.6 จะได้สมการของเส้นออฟเซตดังนี้

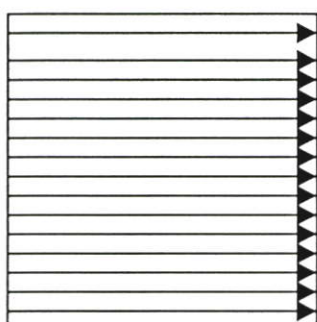
$$X = \frac{R_{tool}}{\sin \theta}$$

$$Y = \frac{R_{tool}}{\cos \theta} \quad (4.2)$$

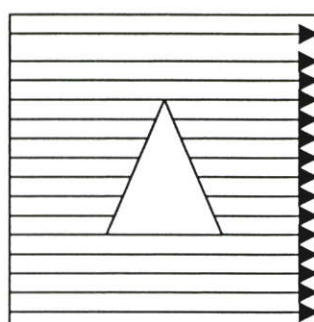
โดยที่ R_{tool} คือรัศมีของคมตัด(ม.ม.)

สรุปขั้นตอนที่ใช้ในการสร้างเส้นทางเดินงานแกะสลักมีดังนี้

1. ทำการออกแบบชิ้นงานที่ต้องการ โดยจะต้องเป็นรูปแบบของรูปปิด
2. จากนั้นทำการออฟเซตชิ้นงานเพื่อไม่ให้คมตัดकिनเนื้องานของเส้นรอบรูป ในส่วนนี้จะพบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคมตัดมีความสำคัญมากตามสมการ (4.2)
3. สร้างลวดลายเส้นตรงมุมศูนย์กลางซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานของโปรแกรมออโตแคด โดยมีระยะลวดลายดังสมการที่ (4.1) เพื่อให้ได้เส้นทางเดินคมตัดที่สามารถแกะหรือกัดเนื้องานได้ทั้งหมดของรูปปิด
4. ถ้ามีหลายรูปปิดจำเป็นต้องสร้างลวดลายที่ละรูปปิดเดิวนั้น เรียงไปจนจบเนื่องจากจะได้สะดวกต่อการนำไปทำการวิเคราะห์เส้นทางเดิน
5. ส่งแบบชิ้นงานทั้งหมดออกเป็นข้อมูลมาตรฐาน DXF พร้อมทั้งจะนำไปทำการควบคุมเครื่องจักรหรือวิเคราะห์ทางเดินที่เหมาะสมได้ต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้จากการออกแบบ

ข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากการออกแบบทางเดินคมตัดดังรูปที่ 4.7 เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ควบคุมเครื่องจักรนั้นมีลักษณะเป็นข้อมูลเส้นตรงซึ่งมีทิศทางเดียว โดยเริ่มจากข้างซ้ายไปข้างขวาและเริ่มจากลำดับข้างบนลงมายังลำดับข้างล่าง ซึ่งพบว่าไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ควบคุม

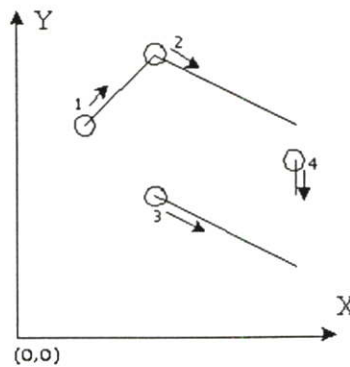
เนื่องด้วยความสามารถของโปรแกรมออโตแคดไม่เอื้ออำนวยทางการควบคุมเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ โดยในส่วนข้อมูลตัวอักษรนั้นข้อมูลที่ได้ไม่มีค่าตำแหน่งของรูปร่างตัวอักษรจึงไม่สามารถนำไปควบคุมเครื่องจักรได้ ส่วนข้อมูลภาพนั้นการเก็บข้อมูลจะเรียงลำดับก่อนหลังของการวาดภาพของผู้ออกแบบ ซึ่งการนำข้อมูลส่วนนี้ไปควบคุมเครื่องจักรโดยตรงอาจทำให้ไม่มีความต่อเนื่อง และในส่วนของเส้นทางเดินของเครื่องมือเส้นทางเดินที่ได้มาจากโปรแกรมวาดแบบนี้มีเส้นทางเดินไม่เหมาะสมซึ่งจะเห็นว่าปัญหาข้างต้นทำให้เครื่องมือเครื่องจักรต้องใช้เวลาานาน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการประยุกต์การสร้างตัวอักษรและวิเคราะห์หาเส้นทางเดินของคมตัดที่เหมาะสมเพื่อจะช่วยเหลือระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องแกะสลัก

4.2 การวิเคราะห์เส้นทางเดินคนตัด

ข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องมือเครื่องจักรโดยตรง ข้อมูลที่ได้มักจะไม่ค่อยต่อเนื่องดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาแนวทางที่จะลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เครื่องจักรลงโดยจะลดระยะทางในส่วนที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานและคำนึงถึงความต่อเนื่องเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้เครื่องมือ เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์เส้นทางเดินในงานวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ประเภทของงานดังนี้

4.2.1 งานเดินขอบ

การวิเคราะห์เส้นทางเดินในส่วนงานเดินขอบจะครอบคลุมทั้งข้อมูลภาพและตัวอักษร และเส้นทางเดินที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะต้องทำให้ชิ้นงานที่ได้เหมือนกับภาพต้นแบบด้วย ปัญหาข้างต้นเกี่ยวกับข้อมูลภาพนั้น ข้อมูลที่ได้จะเรียงลำดับก่อนหลังการวาดภาพของผู้ออกแบบ ในส่วนข้อมูลตัวอักษรเมื่อประยุกต์ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมออโตแคดแล้วจะได้ข้อมูลที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันแต่ยังสามารถหาเส้นทางเดินที่เหมาะสมได้อีก โดยพิจารณารูปที่ 4.8 ซึ่งมีจุดอ้างอิง(0,0) อยู่ที่มุมล่างซ้ายดังนี้



รูปที่ 4.8 แสดงเส้นทางเดินเหมือนภาพต้นแบบ

จากรูปที่ 4.8 ลำดับของเส้นทางเดินจะเรียงลำดับก่อนหลังการวาดภาพของผู้ออกแบบ โดยเริ่มต้นที่ลำดับที่ 1 และต่อเนื่องไปยังลำดับที่ 2 เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่จะเริ่มที่ลำดับที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นจะทำการพิจารณาในส่วนที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานเป็นหลักและคำนึงถึงความต่อเนื่องของข้อมูลคำสั่งสมการต่อไปนี้

$$r = [(Xe_{tu} - Xs_{td})^2 + (Ye_{tu} - Ys_{td})^2]^{1/2} \quad (4.3)$$

- โดยที่ r คือ ระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงาน (ม.ม.)
 Xe_{iu}, Ye_{iu} คือ ตำแหน่งที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงาน (ม.ม.)
 Xs_{id}, Ys_{id} คือตำแหน่งที่คมตัดยกลงสัมผัสชิ้นงาน (ม.ม.)

จากนั้นจะสร้างแนวทางหรือเงื่อนไขขึ้นมาใช้ในการพิจารณาเส้นทางเดินหลายรูปแบบดังนี้

1. เริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิม(ภาพต้นแบบ) เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง จากรูปที่ 4.8 เริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิมนั้นหมายถึงจะพิจารณาจุดเริ่มต้นที่ลำดับที่ 1 โดยจะหาระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานจากจุดอ้างอิง(0,0) ไปยังจุดเริ่มลำดับที่ 1 จากนั้นเมื่อขึ้นเส้นทางใหม่ที่ไม่ต่อเนื่องกันก็จะเปรียบเทียบหาว่าจุดใดที่ใกล้กับจุดอ้างอิงมากที่สุด จากรูปจะเห็นว่าจุดที่ 3 ใกล้จุดอ้างอิงมากกว่าจุดที่ 4 ทำให้ได้ระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 2 ซึ่งเป็นจุดที่คมตัดยกขึ้นมายังจุดที่ 3 จากนั้นถ้ามีข้อมูลหลายลำดับที่ขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะพิจารณาเหมือนกับกรณีที่ขึ้นเส้นทางใหม่ข้างต้น ในรูปที่ 4.8 มีข้อมูลเหลือเพียงลำดับเดียวคือลำดับที่ 4 ทำให้ได้ระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 3 มายังจุดที่ 4 และระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานสุดท้ายคือจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 4 มายังจุดอ้างอิง จากนั้นจะนำระยะทางรวมทั้งหมดที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานไปใช้ในการหาเส้นทางเดินต่อไป
2. เริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิม(ภาพต้นแบบ) เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงาน
 จากรูปที่ 4.8 เริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิมนั้นหมายถึงจะพิจารณาจุดเริ่มต้นที่ลำดับที่ 1 โดยจะหาระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานจากจุดอ้างอิง(0,0) ไปยังจุดเริ่มลำดับที่ 1 จากนั้นเมื่อขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะเปรียบเทียบหาว่าจุดใดที่ใกล้กับจุดที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานมากที่สุด จากรูปจะเห็นว่าจุดที่ 4 ใกล้จุดที่คมตัดยกขึ้นมากกว่าจุดที่ 3 ทำให้ได้ระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 2 ซึ่งเป็นจุดที่คมตัดยกขึ้นมายังจุดที่ 4 จากนั้นถ้ามีข้อมูลหลายลำดับที่ขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะพิจารณาเหมือนกับกรณีที่ขึ้นเส้นทางใหม่ข้างต้น ในรูปที่ 4.8 มีข้อมูลเหลือเพียงลำดับเดียวคือลำดับที่ 3 ทำให้ได้ระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 4 มายังจุดที่ 3 และระยะทางที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานสุดท้ายคือจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 3 มายังจุดอ้างอิง จากนั้นจะนำระยะทางรวมทั้งหมดที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานไปใช้ในการหาเส้นทางเดินต่อไป

3. เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.8 เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิงนั้นหมายถึงจะนำข้อมูลจุดเริ่มต้นทั้ง 4 ลำดับมาหาระยะทางที่ใกล้กับจุดอ้างอิงมากที่สุดซึ่งจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดคือจุดที่ 3 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานจากจุดอ้างอิง(0,0) ไปยังจุดเริ่มลำดับที่ 3 จากนั้นเมื่อขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะเปรียบเทียบหาว่าจุดใดที่ใกล้กับจุดอ้างอิงมากที่สุด จากรูปจะเห็นว่าจุดที่ 1 ใกล้จุดอ้างอิงมากกว่าจุดที่ 2 และจุดที่ 4 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่คมชัดยกขึ้นมายังจุดที่ 1 จากนั้นถ้ามีข้อมูลหลายลำดับที่ขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะพิจารณาเหมือนกับกรณีที่ขึ้นเส้นทางใหม่ข้างต้น ในรูปที่ 4.8 มีข้อมูลเหลือเพียงลำดับเดียวคือลำดับที่ 4 เนื่องจากลำดับที่ 2 ต่อเนื่องจากลำดับที่ 1 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 2 มายังจุดที่ 4 และระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานสุดท้ายคือจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 4 มายังจุดอ้างอิง จากนั้นจะนำระยะทางรวมทั้งหมดที่คมชัดไม่สับสนชันงานไปใช้ในการหาเส้นทางเดินต่อไป

4. เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดที่คมชัดยกขึ้นจากชันงาน

จากรูปที่ 4.8 เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิงนั้นหมายถึงจะนำข้อมูลจุดเริ่มต้นทั้ง 4 ลำดับมาหาระยะทางที่ใกล้กับจุดอ้างอิงมากที่สุดซึ่งจุดที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดคือจุดที่ 3 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานจากจุดอ้างอิง(0,0) ไปยังจุดเริ่มลำดับที่ 3 จากนั้นเมื่อขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะเปรียบเทียบหาว่าจุดใดที่ใกล้กับจุดที่คมชัดยกขึ้นจากชันงานมากที่สุด จากรูปจะเห็นว่าจุดที่ 4 ใกล้จุดที่คมชัดยกขึ้นมากกว่าจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่คมชัดยกขึ้นมายังจุดที่ 4 จากนั้นถ้ามีข้อมูลหลายลำดับที่ขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะพิจารณาเหมือนกับกรณีที่ขึ้นเส้นทางใหม่ข้างต้น โดยจุดที่ 2 จะใกล้กับจุดที่คมชัดยกขึ้นมากกว่าจุดที่ 1 ทำให้ได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานถัดไปจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 4 มายังจุดที่ 2 และถัดไปก็จะได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 2 มายังจุดที่ 1 สุดท้ายจะได้ระยะทางที่คมชัดไม่สับสนชันงานจากจุดสิ้นสุดของลำดับที่ 1 มายังจุดอ้างอิง จากนั้นจะนำระยะทางรวมทั้งหมดที่คมชัดไม่สับสนชันงานไปใช้ในการหาเส้นทางเดินต่อไป

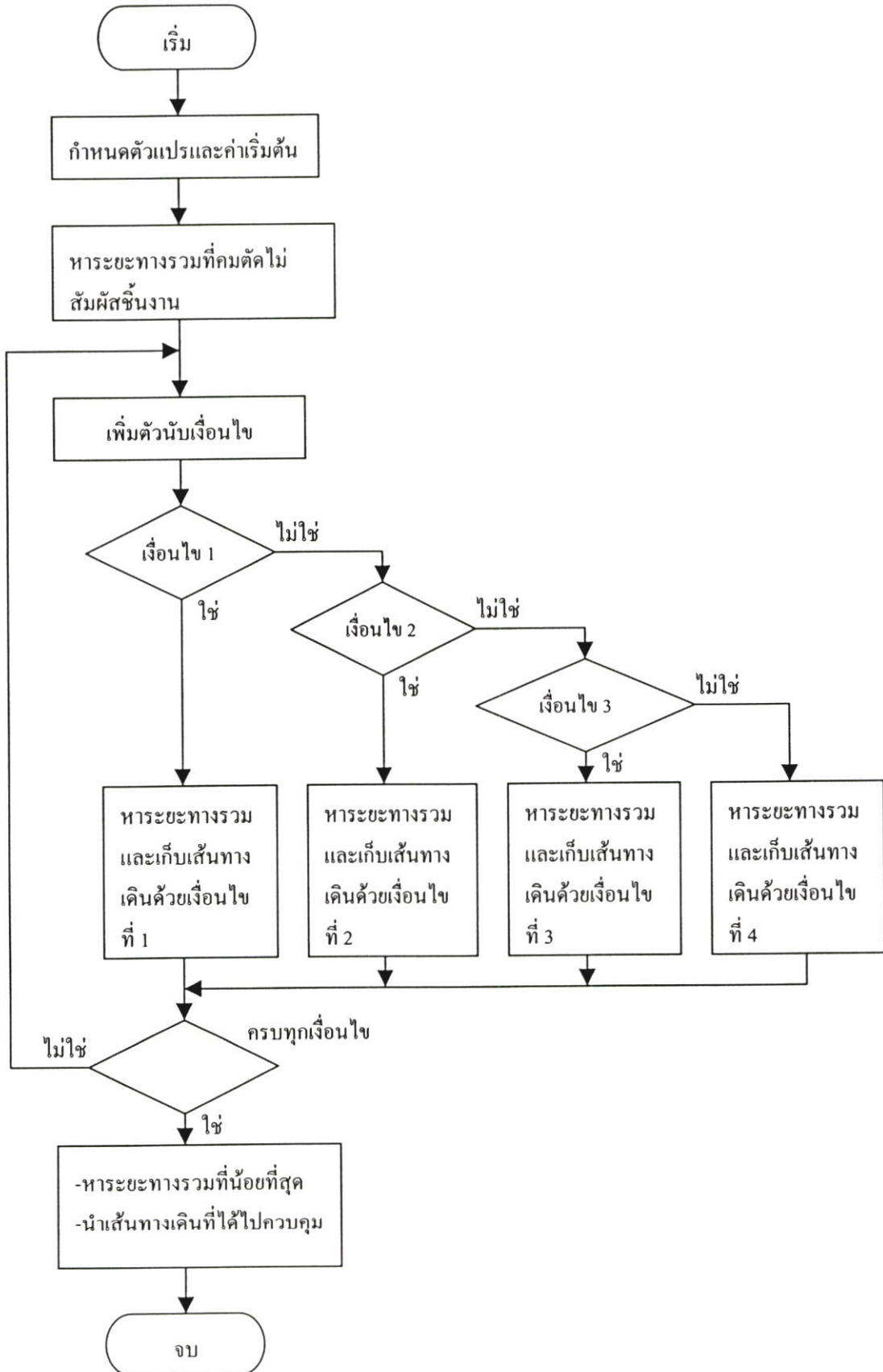
จากรูปแบบข้างต้นจะทำการหาระยะทางรวมที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานดังสมการต่อไปนี้

$$Dis_{total} = \sum_{i=1}^N r_i \quad (4.4)$$

โดยที่ Dis_{total} คือ ระยะทางรวมทั้งหมดที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงาน(ม.ม.)

จากแนวทางหรือเงื่อนไขข้างต้นนี้ระยะทางรวมทั้งหมดที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานของรูปแบบใดที่มีระยะทางน้อยที่สุด ก็จะนำเส้นทางเดินของรูปแบบนั้นไปใช้เป็นเส้นทางเดินให้เครื่องแกะสลัก ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ลง ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบงานเดินขอบแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

1. ขั้นตอนแรกจะต้องทำการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็นและคำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมดที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานจากข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบ เพื่อนำค่าระยะทางรวมที่ได้นี้ไปเป็นค่าอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบค่าที่น้อยที่สุด
2. จากนั้นทำการหาระยะทางรวมที่คมตัดไม่สัมผัสชิ้นงานของแต่ละเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขข้างต้น โดยแต่ละรอบของเงื่อนไขใดก็จะทำการเก็บเส้นทางเดินของแต่ละเงื่อนไขนั้นไว้เพื่อนำไปใช้ในการควบคุม
3. เมื่อหาระยะทางรวมครบทุกเงื่อนไขแล้วจะนำค่าระยะทางรวมที่ได้ของแต่ละเงื่อนไข และค่าอ้างอิงมาทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อหาว่าเงื่อนไขใดที่มีค่าระยะทางรวมน้อยที่สุดซึ่งจะนำเส้นทางเดินที่ได้จากเงื่อนไขนั้นไปใช้ในการควบคุมต่อไป



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์งานเดินขอบ

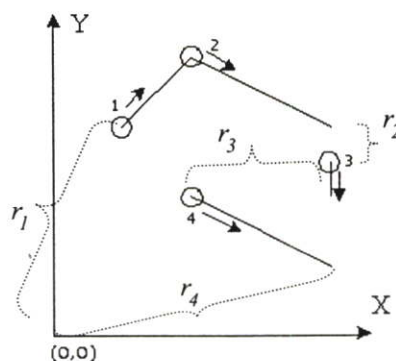
เมื่อได้แนวทางในการวิเคราะห์งานเงินขอบแล้วลำดับต่อไปจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ไม่ได้วิเคราะห์กับข้อมูลที่วิเคราะห์ของรูปที่ 4.8 ข้อมูลมาตรฐานในส่วนองค์ประกอบภาพที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.10

0	100	11
LINE	AcDbLine	40.0
5	10	21
20	20.0	10.0
100	20	31
AcDbEntity	40.0	0.0
8	30	0
0	0.0	LINE
100	11	5
AcDbLine	40.0	26
10	21	100
10.0	30.0	AcDbEntity
20	31	8
30.0	0.0	0
30	0	100
0.0	LINE	AcDbLine
11	5	10
20.0	23	40.0
21	100	20
40.0	AcDbEntity	25.0
31	8	30
0.0	0	0.0
0	100	11
LINE	AcDbLine	40.0
5	10	21
21	20.0	20.0
100	20	31
AcDbEntity	20.0	0.0
8	30	
0	0.0	

รูปที่ 4.10 ข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากการออกแบบ

จากนั้นทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินตามแนวคิดที่ได้นำเสนอโดยพิจารณารูปที่ 4.8 เส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์มีระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงาน 115 ม.ม. แนวทางที่ 1 เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่จุดเริ่มเดิม(ภาพต้นแบบ) เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิงมีระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงาน 115 ม.ม. เช่นเดียวกัน แนวทางที่ 2 เริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิม เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานมีระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงาน 89 ม.ม. แนวทางที่ 3 เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิงมีระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงาน 116 ม.ม. แนวทางที่ 4 เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดอ้างอิง เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานมีระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงาน 146 ม.ม.

แนวทางที่ให้ระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงานน้อยที่สุดคือแนวทางที่ 2 ทำให้ได้เส้นทางเดินเริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดเริ่มเดิม เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่เริ่มที่ตำแหน่งที่ใกล้จุดที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานดังรูป



รูปที่ 4.11 แสดงเส้นทางเดินที่ได้ทำการวิเคราะห์

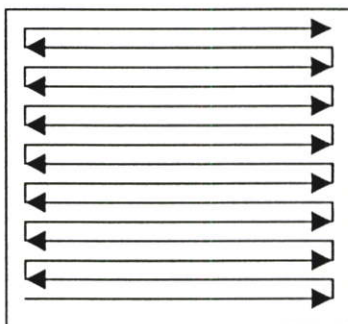
จากแนวคิดที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ลำดับภาพเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขที่ให้ระยะทางรวมที่คมตัดไม้สัมพัทธ์ชิ้นงานที่น้อยที่สุด โดยข้อมูลมาตรฐานในรูปที่ 4.10 ที่ได้จากการออกแบบจะเรียงลำดับก่อนหลังการวาดภาพของผู้ออกแบบ และเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วทำให้ลำดับของข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนนำไปทำการควบคุมจะเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.12 ข้อมูลที่ขีดเส้นใต้เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลมาตรฐานที่ได้จากการออกแบบ และลำดับเส้นทางเดินเปลี่ยนแปลงไปตามรูปที่ 4.11 และเมื่อให้ความเร็วในการป้อนชิ้นงานเท่ากันที่ 5 ม.ม./วินาทีและขนาดคมตัดเท่ากัน ไม่วิเคราะห์ใช้เวลาในการทำงาน 3.95 วินาทีและวิเคราะห์ใช้เวลา 3.29 วินาที ผลจากการวิเคราะห์งานเดินขอบนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เครื่องจักรลง

0	100	11
LINE	AcDbLine	<u>40.0</u>
5	10	21
20	20.0	<u>20.0</u>
100	20	31
AcDbEntity	40.0	<u>0.0</u>
8	30	0
0	0.0	LINE
100	11	5
AcDbLine	40.0	26
10	21	100
10.0	30.0	AcDbEntity
20	31	8
30.0	0.0	0
30	0	100
0.0	LINE	AcDbLine
11	5	10
20.0	23	<u>20.0</u>
21	100	20
40.0	AcDbEntity	<u>20.0</u>
31	8	30
0.0	0	<u>0.0</u>
0	100	11
LINE	AcDbLine	<u>40.0</u>
5	10	21
21	<u>40.0</u>	<u>10.0</u>
100	20	31
AcDbEntity	<u>25.0</u>	<u>0.0</u>
8	30	
0	<u>0.0</u>	

รูปที่ 4.12 ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์

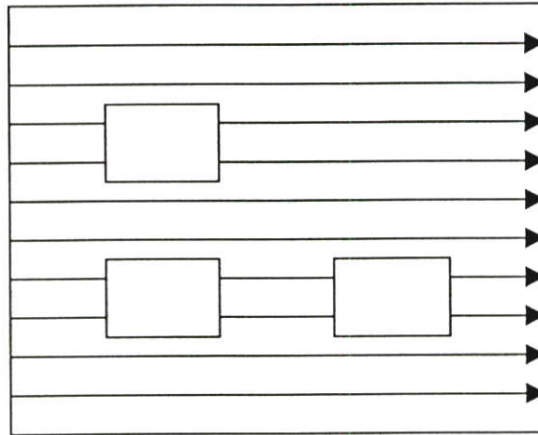
4.2.2 งานแกะสลัก

ส่วนงานแกะสลักนี้จะวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัดที่จะทำการกัดชิ้นงานในรูปปิด ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบเส้นทางเดินหรือข้อมูลที่ได้จากการออกแบบซึ่งเป็นข้อมูลที่ที่ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์ใด ๆ ก่อน โดยได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วคือมีลักษณะเป็นข้อมูลเส้นตรงซึ่งมีทิศทางเดียว โดยเริ่มจากข้างซ้ายไปยังข้างขวาและเริ่มจากลำดับข้างบนลงมายังลำดับข้างล่างดังรูปที่ 4.7 เส้นทางเดินนี้ค่อนข้างที่จะใช้เวลาสิ้นเปลืองในการที่จะกัดชิ้นงานดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสมโดยใช้หลักการพิจารณาต่างจากงานเดินขอบ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการกัดแบบซิกแซกก็จะได้งานที่สมบูรณ์ออกมาและใช้เวลาไม่มากนักดังรูป 4.13 ซึ่งการกัดงานในลักษณะนี้เป็นพื้นฐานทั่วไปโดยเป็นแบบส่วนงานแบบ 1 วัตถุสามารถทำการกัดได้ไม่ยากนัก



รูปที่ 4.13 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้วิเคราะห์ของแบบ 1 วัตถุ

แบบงานจำนวนมากที่ได้จากการออกแบบไม่ได้เป็นแบบ 1 วัตถุ ทำให้การวิเคราะห์หาเส้นทางเดินคมตัดที่เหมาะสมค่อนข้างยุ่งยากและกระบวนการที่ใช้ในการตัดสินใจค่อนข้างสับสน โดยพิจารณารูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นงานแบบ 2 วัตถุ นั้นจะมีข้อมูลรูปปิดหลายรูปทำให้ขาดความต่อเนื่องของข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาเส้นทางเดินที่เหมาะสมโดยมีขั้นตอนในการหาเส้นทางดังรูปที่ 4.15

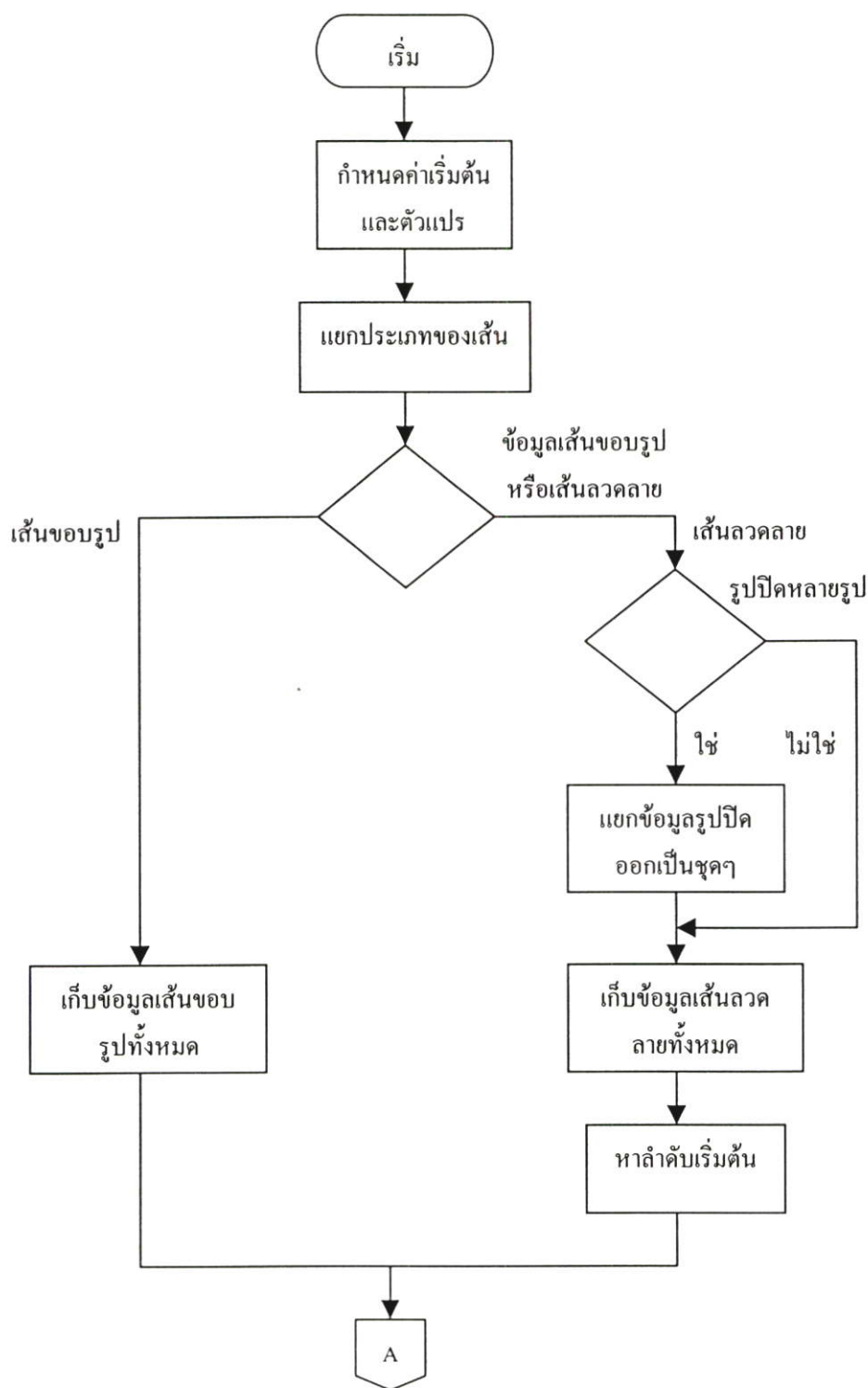


รูปที่ 4.14 เส้นทางเดินคมตัดที่ได้จากการออกแบบของแบบ 2 วัตถุ

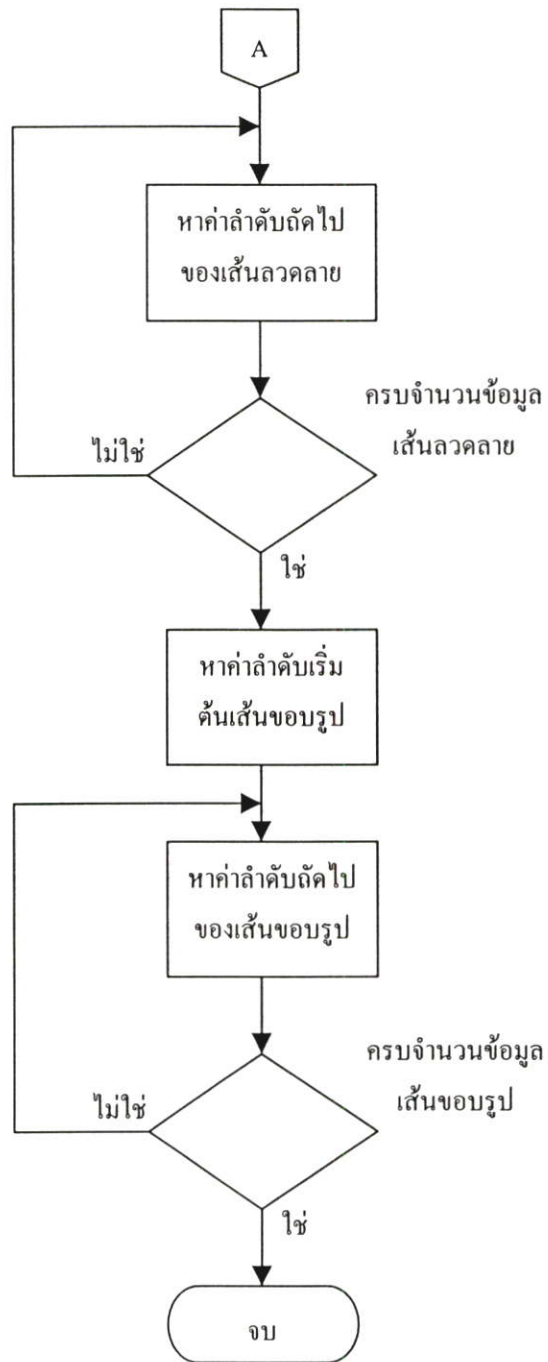
จากรูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการสร้างโปรแกรมในการวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัดของงานแกะสลัก โดยมีลำดับขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเดินดังนี้

1. ทำการแยกเส้นทางเดินหรือประเภทของเวกเตอร์ เนื่องจากข้อมูลมาตรฐานเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของเวกเตอร์ แยกประเภทว่าเป็นข้อมูลเส้นขอบรูปหรือเส้นลวดลายของการแกะสลัก
2. ทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินในส่วนของเส้นลวดลายของการแกะสลักก่อน เริ่มด้วยการตรวจสอบรูปปิดก่อนว่ามีหลายรูปปิดหรือไม่ โดยจะแยกวิเคราะห์ทีละรูปปิดเท่านั้น แต่จะทำการวิเคราะห์เรียงไปจนจบทั้งหมด
3. แนวทางหรือเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นลวดลายของการแกะสลักมีดังนี้
 - เริ่มแรกจะหาลำดับเริ่มต้นก่อนโดยหาลำดับของเส้นที่มีค่าความสูง (Y) ค่าที่สุดของรูปปิดแรกที่ใกล้จุดอ้างอิง (0,0) มากที่สุดและถ้ามีลำดับของเส้นที่มีค่าความสูงเท่ากันหลายค่าก็จะเลือกใช้ค่าที่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่อง ไม่มีการกระโดดข้ามไปมา
 - ในส่วนต่อไปก็จะพิจารณาลำดับของเส้นถัดขึ้นไป 1 ลำดับที่มีค่าความสูงเปลี่ยนไปจากความสูงเดิมหรือหลายลำดับถ้าเส้นในลำดับถัดไปมีความสูงเท่ากัน (เป็นการจำกัดข้อมูลเพื่อจะได้มีความต่อเนื่องของข้อมูล ไม่กระโดดข้ามไปมา) จากนั้นคำนวณหาจุดที่มีระยะทางที่ใกล้กับจุดสุดท้าย (X_e, Y_e) โดยเป็นจุดสุดท้ายของลำดับที่เก็บไว้ก่อนหน้ามากที่สุดตามสมการที่ (4.3) โดยจะพิจารณาทั้งจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดของลำดับเส้น
 - ถ้าจุดสิ้นสุดของลำดับเส้นที่พิจารณาใกล้กว่าจุดเริ่มก็จะทำการกลับหัวท้ายของลำดับเส้น และจะพิจารณาลำดับของเส้นขึ้นเมื่อถึงลำดับบนสุดแล้วก็จะพิจารณาลงสลับกันจนครบลำดับเส้นทั้งหมดในรูปปิด
 - ถ้ามีหลายรูปปิดก็จะพิจารณาในลักษณะเดียวกับข้างบนนี้จนครบทุกรูปปิด
4. เมื่อได้ข้อมูลเส้นลวดลายของการแกะสลักทั้งหมดแล้ว ต่อไปจะทำการวิเคราะห์เส้นทาง

เดินในส่วนของเส้นขอบรูป โดยจะหาค่าเริ่มต้นด้วยเส้นขอบรูปเส้นใดที่ใกล้จุดสุดท้ายของเส้นลวดลายลำดับสุดท้ายมากที่สุดตามสมการที่ (4.3) จากนั้นจะเลือกลำดับที่ต่อเนื่องกันไปจนครบรูปปิด และถ้ายังมีรูปปิดอีกก็จะขึ้นเส้นทางใหม่ที่ใกล้จุดสุดท้ายที่สุดเช่นเดียวกันจนครบข้อมูลเส้นขอบรูปทั้งหมด



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์งานแกะสลัก



รูปที่ 4.15 (ต่อ) ขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์งานแกะสลัก

นอกจากนี้ยังพิจารณาเส้นทางเชื่อมต่อลำดับของทางเดินด้วย การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะพิจารณารูปที่ 4.16(ข) ** ซึ่งถ้าระยะทางในส่วนที่ยกมตัดขึ้นน้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคมตัดข้อมูลการเคลื่อนที่ ก็จะเปลี่ยนจากข้อมูลที่ยกมตัดเป็นข้อมูลที่คมตัดทำการกัดชิ้นงานต่อไป แต่ถ้าระยะทางในส่วนที่ยกมตัดขึ้นมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคมตัดข้อมูลการเคลื่อนที่ก็จะยังคงเป็นข้อมูลที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานเช่นเดิม โดยจะทำการพิจารณาเส้นทางที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานของแบบงานทั้งหมด ในตัวอย่างนี้ถ้าระยะทางที่คมตัดยกขึ้นจากชิ้นงานน้อยกว่า 0.9 มม. ข้อมูลการเคลื่อนที่ก็จะเปลี่ยนเป็นข้อมูลที่คมตัดทำการกัดชิ้นงานต่อไป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการประยุกต์โปรแกรมวาดแบบทั้งข้อมูลตัวอักษร ภาพและเส้นทางเดินของคมตัด เพื่อให้ได้ข้อมูลมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักรได้ แต่ข้อมูลที่ได้นั้นเมื่อนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องมือ เครื่องจักร ต้องใช้เวลาสิ้นเปลืองเนื่องจากมีเส้นทางเดินที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหาเส้นทางเดินที่เหมาะสมและพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาช่วยในการวิเคราะห์เส้นทางเดิน โดยแบ่งงานออกเป็น 2 ประเภทและทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินด้วยแนวทางหรือเงื่อนไขที่ต่างกัน จากรูปที่ได้แสดงมาข้างต้นจะพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้ ซึ่งผลการทดลองจะกล่าวในบทต่อไป

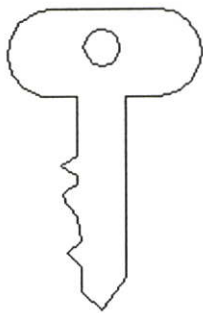
บทที่ 5

ผลการทดลอง

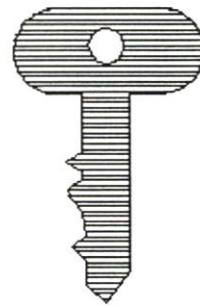
เนื่องด้วยวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัดของเครื่องแกะสลัก โดยจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างเส้นทางเดินที่ได้ทำการวิเคราะห์และไม่ได้ทำการวิเคราะห์ นอกจากนั้นยังออกแบบโปรแกรมให้สามารถทำการจำลองการทำงานเพื่อตรวจสอบทิศทางเดินก่อนว่าถูกต้องหรือไม่ จากนั้นทำการทดสอบด้วยการแกะสลักหรือกัดชิ้นงานจริงเพื่อตรวจสอบว่าแนวทางที่ได้นำเสนอสามารถนำไปใช้กับงานจริงได้ และจะทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำงานระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์และเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ด้วย

5.1 การทดสอบด้วยการจำลองการทำงาน

เมื่อผู้ออกแบบชิ้นงานสร้างชิ้นงานจากโปรแกรมวาดแบบดังรูปที่ 5.1 แล้วแปลงเป็นไฟล์ DXF ก่อนโหลดรูปชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม ลำดับต่อไปสามารถเลือกที่ทำการวิเคราะห์หรือไม่ทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินคมตัด จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยการจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์โปรแกรมจะสร้างเส้นทางเดินคมตัดดังรูปที่ 5.2

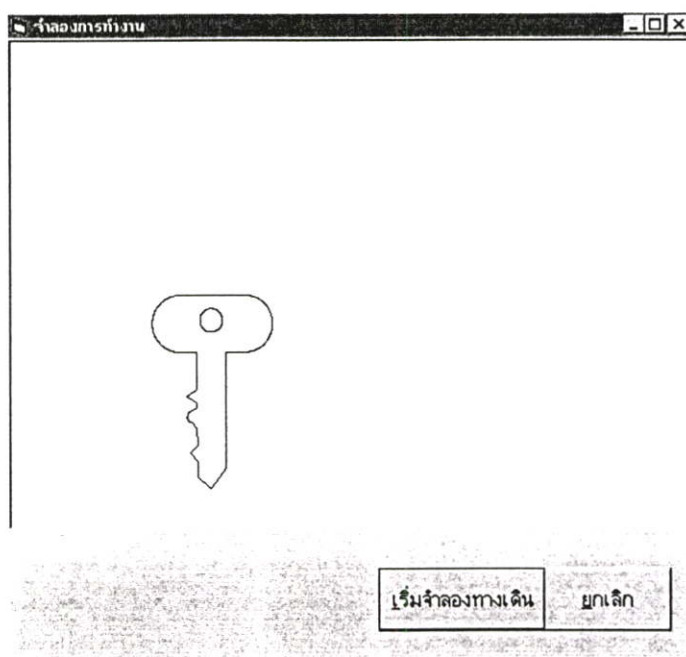


(ก) งานเดินขอบ



(ข) งานแกะสลัก

รูปที่ 5.1 ภาพที่ออกแบบทดสอบการจำลองการทำงาน



(ก) งานเดินขอบ



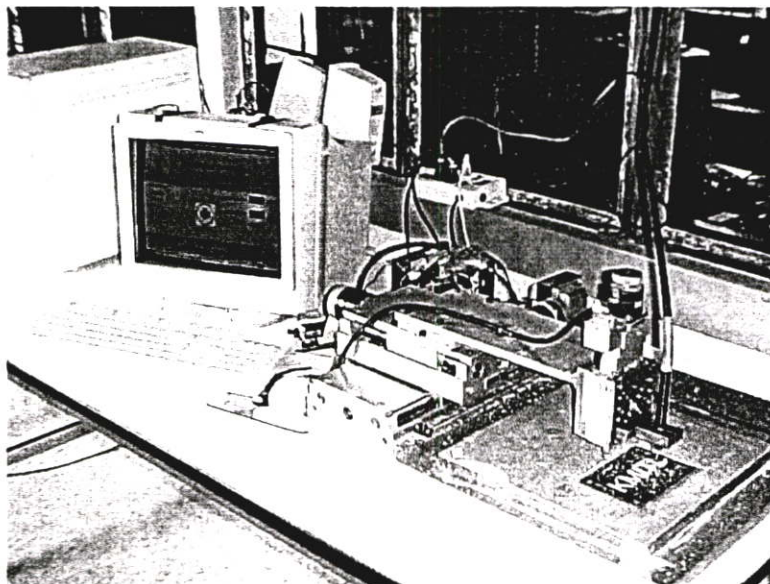
(ข) งานแกะสลัก

รูปที่ 5.2 ภาพที่ได้จากการจำลองการทำงาน

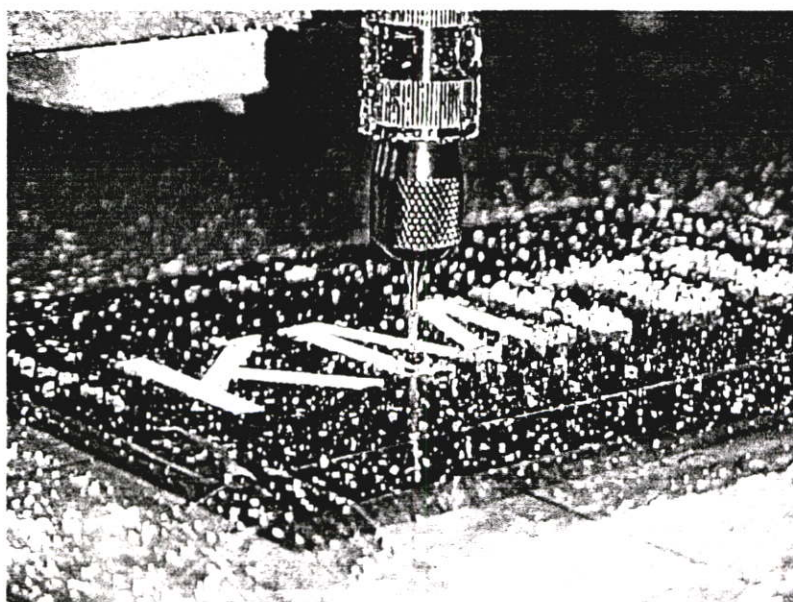
จากรูปที่ 5.2 จะพบว่าภาพที่ได้การจำลองการทำงานมีเส้นทางเดินเหมือนภาพต้นแบบ ดังนั้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองการทำงานนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบทิศทางการเดินก่อนทำการกัดชิ้นงานจริงได้

5.2 การทดสอบด้วยการแกะสลัก

การทดสอบด้วยการแกะสลักหรือกัดชิ้นงานนี้จะทดสอบกับชิ้นงานจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิดที่ใช้ในงานนี้ โดยทำการกัดชิ้นงานบนโต๊ะงานซึ่งมีพื้นที่การทำงานกว้าง 110 ม.ม. ยาว 250 ม.ม. มีจุดอ้างอิง(0,0) อยู่ที่มุมล่างซ้าย และให้ความเร็วในการกัดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคมตัดเท่ากันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเส้นทางเดินของคมตัด การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ในการควบคุม หัวกัดและการกัดวัสดุแสดงดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 แสดงการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเครื่องแกะสลัก

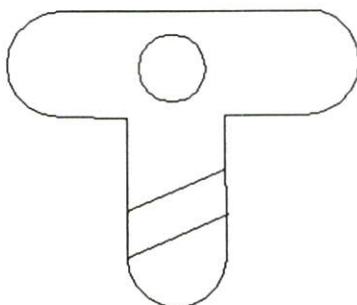


รูปที่ 5.4 แสดงหัวกัดและการกัดวัสดุ

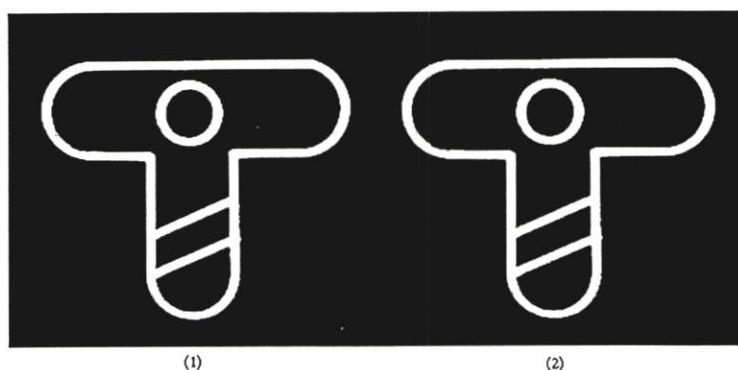
5.2.1 งานเดินขอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นพลาสติกหนา 3 มม. จะทำการกัดลึก 1 มม. โดยใช้ความเร็ว 5 มม./วินาที คมตัดมีลักษณะดังหัวข้อ 2.3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. และยังสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนภาพและตัวอักษรดังนี้

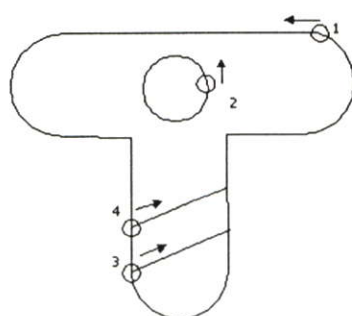
ส่วนภาพ



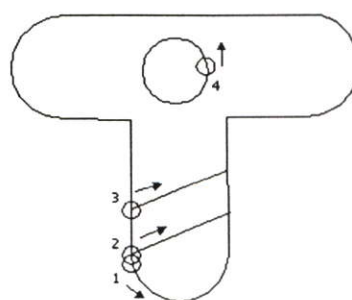
รูปที่ 5.5 ภาพที่ออกแบบในงานเดินขอบ



(ก) ผลของงานเดินขอบตามข้อมูลภาพ



(ข) เส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์



(ค) เส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์

รูปที่ 5.6 แสดงผลของงานเดินขอบและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพ

ส่วนตัวอักษร

kmitl

รูปที่ 5.7 ตัวอักษรที่ออกแบบในงานเดินขอบ (Verdana สูง 30)

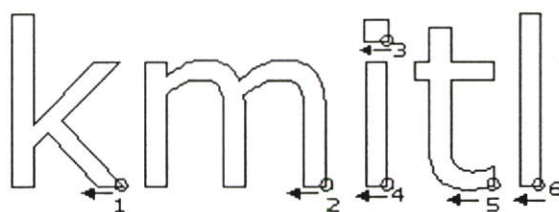


(1)

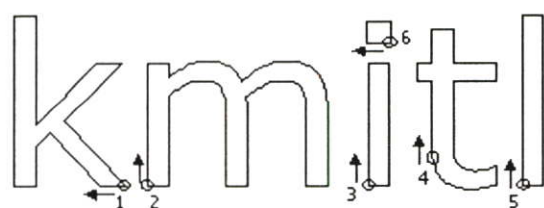


(2)

(ก) ผลของงานเดินขอบตามข้อมูลตัวอักษร



(ข) เส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์



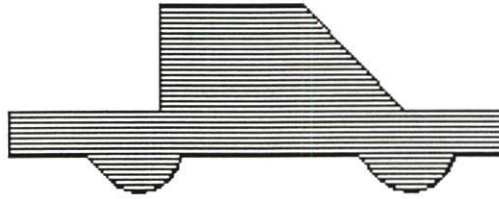
(ค) เส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์

รูปที่ 5.8 แสดงผลของงานเดินขอบและเส้นทางเดินตามข้อมูลตัวอักษร

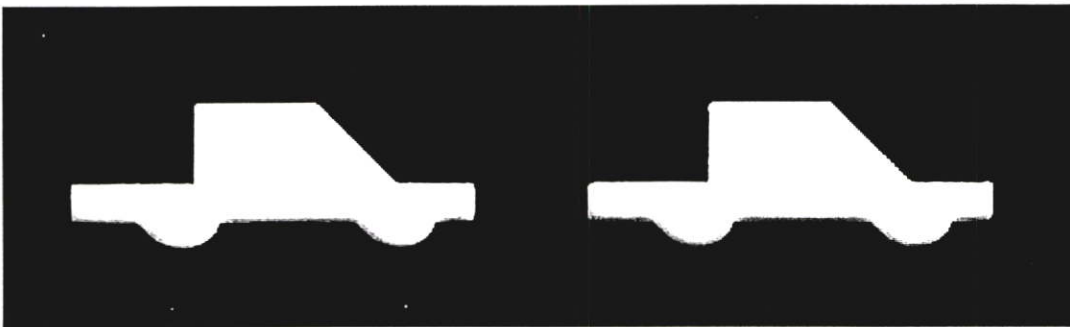
5.2.2 งานแกะสลัก

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นพลาสติกหนา 3 มม. จะทำการกัดลึก 1 มม. โดยใช้ความเร็ว 5 มม./วินาที คมตัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 มม. และยังสามารถแบ่งออกเป็นรูปภาพและตัวอักษรดังนี้

ส่วนภาพ แบบ 1 วัตถุ



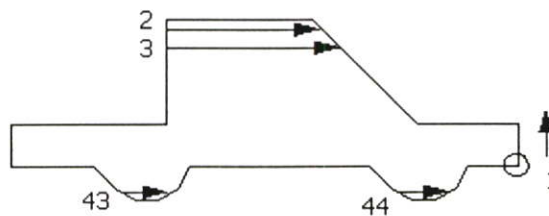
รูปที่ 5.9 ภาพที่ออกแบบในงานแกะสลักแบบ 1 วัตถุ



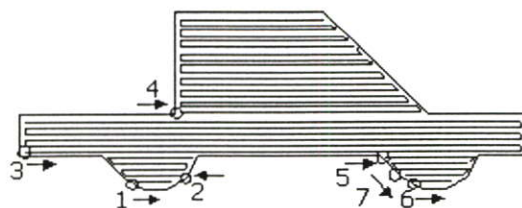
(1)

(2)

(ก) ผลของงานแกะสลักตามข้อมูลภาพ



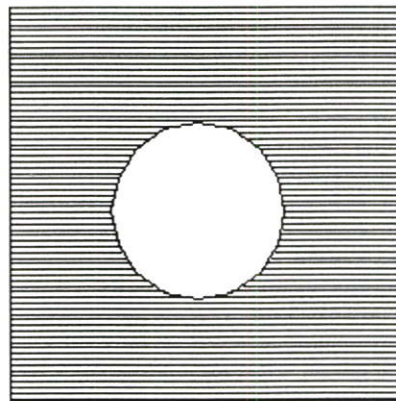
(ข) เส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์



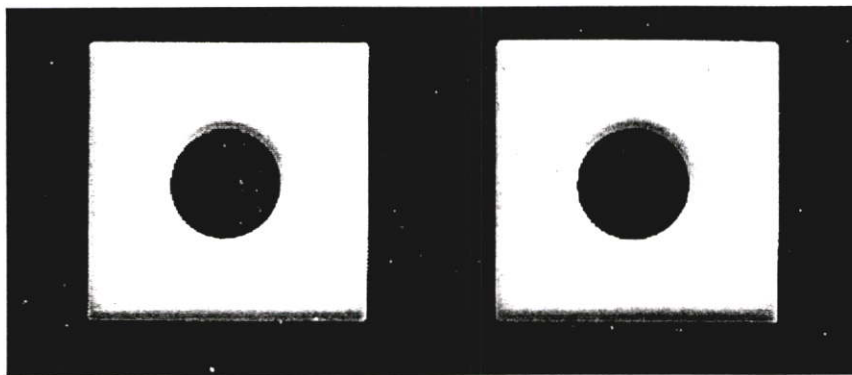
(ค) เส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์

รูปที่ 5.10 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพแบบ 1 วัตถุ

ส่วนภาพ แบบ 2 วัตถุ



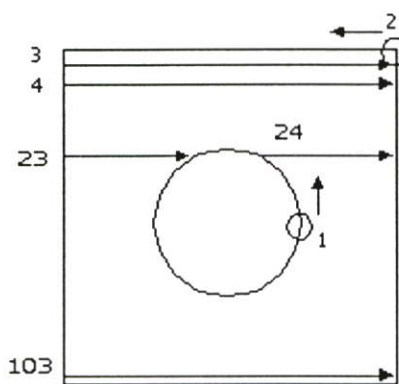
รูปที่ 5.11 ภาพที่ออกแบบในงานแกะสลักแบบ 2 วัตถุ



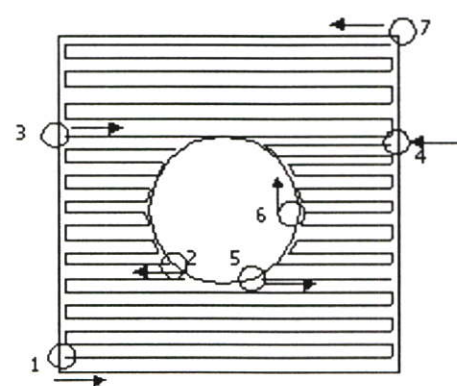
(1)

(2)

(ก) ผลของงานแกะสลักตามข้อมูลภาพ



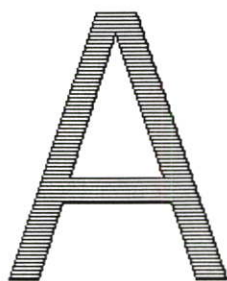
(ข) เส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์



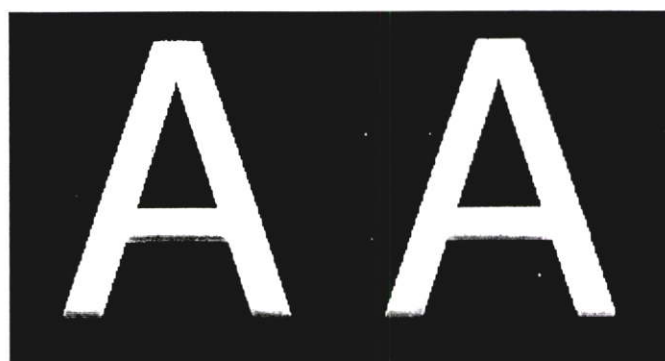
(ค) เส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์

รูปที่ 5.12 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางเดินตามข้อมูลภาพแบบ 2 วัตถุ

ส่วนตัวอักษร



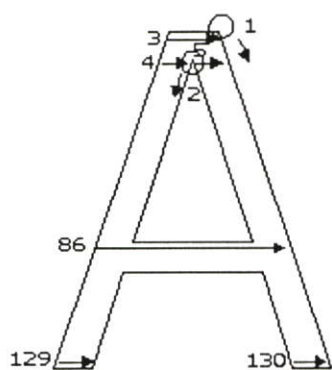
รูปที่ 5.13 ตัวอักษรที่ออกแบบในงานแกะสลัก (Tahoma สูง 35)



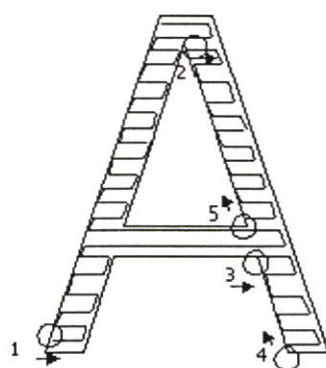
(1)

(2)

(ก) ผลของงานแกะสลักตามข้อมูลตัวอักษร



(ข) เส้นทางการเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์



(ค) เส้นทางการเดินที่ได้วิเคราะห์

รูปที่ 5.14 แสดงผลของงานแกะสลักและเส้นทางการเดินตามข้อมูลตัวอักษร

รูปที่ 5.15 ข้อความที่ออกแบบในงานแกะสลัก (Browallia UPC สูง 25)



(1)



(2)

รูปที่ 5.16 แสดงผลของงานแกะสลักตามข้อความ

ผลการทดลองในส่วนของการเดินขอบในรูปที่ 5.6 และ 5.8 พบว่าเครื่องแกะสลักสามารถสร้างชิ้นงานได้อย่างถูกต้องตามภาพและตัวอักษรที่ได้ออกแบบไว้ โดยเส้นทางเดินจะเริ่มจากจุดที่ 1 แล้วเมื่อทำงานจนครบรูปปิดก็จะขยคมตัดไปยังจุดที่ 2 แล้วจะวนต่อไปยังจุดที่ 3,4 จนจบซึ่งจะพบว่าเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์และเส้นทางเดินที่วิเคราะห์จะแตกต่างกันดังรูป ดังนั้นทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันดังตารางที่ 5.1

ผลการทดลองในส่วนของการแกะสลักจะพบว่าเครื่องแกะสลักสามารถกัดชิ้นงานได้ตามภาพต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ทั้งส่วนข้อมูลภาพและตัวอักษร โดยเส้นทางเดินจะเริ่มจากลำดับที่ 1 เมื่อขึ้นเส้นทางใหม่ก็จะขยคมตัดไปยังจุดที่ 2,3 ตามลำดับ เนื่องด้วยในการกัดเพื่อให้กินเนื้องานได้หมดนั้นจะมีเส้นทางเดินคมตัดจำนวนมากทำให้ยากแก่การแสดงผลเส้นทางเดิน จึงจำเป็นต้องข้ามข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลที่คล้ายกันและเข้าใจได้ง่ายไป โดยจะแสดงผลในส่วนที่มีความสำคัญเท่านั้น และในส่วนภาพผลของการเดินขอบและงานแกะสลักนั้น 1 หมายถึงเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์ 2 หมายถึงเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ ซึ่งเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์และ

เส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์จะแตกต่างกันดังรูป โดยในส่วนเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ที่มีการเชื่อมต่อกับเส้นทางเดินนั้นจะคำนึงถึงระยะห่างของเส้นทางเดินเปรียบเทียบกับขนาดของคมตัดและความแตกต่างระหว่างเส้นทางเดินคมตัดนี้ทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์กับที่ได้วิเคราะห์

รูปที่	เวลาเมื่อไม่วิเคราะห์(นาที)	เวลาเมื่อวิเคราะห์(นาที)	วิเคราะห์เร็วกว่า (%)
5.6	1.9	1.56	17.89
5.8	2.38	2.24	5.88
5.10	7.89	2.5	68.31
5.12	18.12	4.93	72.79
5.14	11.28	2.34	79.25
5.16	28.01	5.24	81.29

จากตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์กับเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ จากผลในตารางจะพบว่าในส่วนงานเดินขบวนนั้นเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์ทั้งข้อมูลภาพและตัวอักษร แต่จะไม่แตกต่างกันมากนักเหมือนกับงานแกะสลัก โดยในส่วนของงานแกะสลักเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์ทั้งข้อมูลภาพและตัวอักษรอยู่มาก เนื่องจากเส้นทางเดินที่ได้มาจากโปรแกรมวาดแบบไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการควบคุม จากผลในตารางสรุปได้ว่าเมื่อทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินจะช่วยให้เวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องแกะสลักลดลง ดังนั้นการวิเคราะห์เส้นทางเดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นทางเดินคมตัดของเครื่องแกะสลักได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลมาตรฐาน (DXF) จากโปรแกรมวาดแบบอัตโนมัติมาเป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลัก ในส่วนข้อมูลภาพนั้นสามารถนำไปใช้ควบคุมได้ทันที ส่วนข้อมูลตัวอักษรไม่สามารถนำไปใช้ควบคุมได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ไม่มีค่าตำแหน่งของรูปร่างตัวอักษรทั้งหมด มีเพียงตำแหน่งเริ่มต้น ขนาดความสูง ความกว้างและการจัดเรียงเท่านั้น ดังนั้นจึงทำการประยุกต์วิธีการสร้างตัวอักษรดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีค่าตำแหน่งที่สามารถนำไปใช้ควบคุมได้ เมื่อได้ข้อมูลที่มีค่าตำแหน่งทั้งหมดแล้วก็จะพิจารณาในส่วนของเส้นทางเดิน โดยเส้นทางเดินที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการควบคุมทั้งข้อมูลภาพ ตัวอักษรและเส้นทางเดินคมตัด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางเดินที่เหมาะสม ช่วยให้เวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องแกะสลักลดลง จากนั้นแปลงข้อมูลที่มีค่าตำแหน่งที่ได้วิเคราะห์หรือไม่วิเคราะห์ไปเป็นสัญญาณควบคุมด้วยหลักการคูเอลมอดูลัสปริสเกลลิงให้มอเตอร์แบบขั้นเคลื่อนที่ตามโปรแกรมที่สั่งงานไว้ได้อย่างถูกต้อง

จากผลการทดลองจะพบว่าเส้นทางเดินที่ได้จากโปรแกรมวาดแบบไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลัก การเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนต้องใช้เวลาาน และในส่วนของเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์จะพบว่าสามารถช่วยลดระยะทางและระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์น้อยหรือมากขึ้นอยู่กับประเภทของงาน ช่วยลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจากผลนี้แสดงให้เห็นว่าแนวคิดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้ในการควบคุมเครื่องแกะสลักได้ โดยสามารถใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการควบคุม ช่วยให้มีความสะดวก ประหยัด ใช้งานได้ง่ายและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาใช้กับเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ในอุตสาหกรรมได้อีกต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการแกะสลักจะพบความแตกต่างระหว่างเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์กับเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ โดยเนื่องงานที่ได้จากการกักของเส้นทางเดินที่ไม่ได้วิเคราะห์จะมีลักษณะเรียบ สม่ำเสมอ แตกต่างกับเส้นทางเดินที่ได้วิเคราะห์ซึ่งจะไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากเมื่อทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินแล้วเส้นทางเดินมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบซิกแซก แต่การหมุนของคมตัดอยู่ในทิศทางเดิมทำให้ได้งานที่ไม่สม่ำเสมอ ในส่วนนี้จำเป็นต้องให้ความเร็วของคมตัด ความเร็วในการป้อนชิ้นงานและประเภทของวัสดุสัมพันธ์กัน (Steve F. Krar et. al. 1998) และดังตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข. เพื่อให้ได้งานที่มีความราบเรียบ สม่ำเสมอ ซึ่งบางครั้งถ้าความเร็วไม่สัมพันธ์กันนั้นอาจทำให้ได้งานที่ไม่มีความเรียบคม ไม่สวยงามหรืออาจทำให้เกิดการละลายตามขอบงานได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ทำให้ไม่สามารถทดลองให้มีลักษณะราบเรียบ สม่ำเสมอได้ และส่วนงานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับเครื่องแกะสลักเท่านั้นจึงควรที่จะประยุกต์ให้ใช้ได้กับงานอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้ควรจะพัฒนาให้ใช้กับงานที่เป็น 3 แกนเพื่อให้สามารถสร้างชิ้นงานได้หลากหลายขึ้น

บรรณานุกรม

- กฤษดา ใจเย็น และชัยวัฒน์ ลิ่มพรจิตรวิไล. 2543. **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตขนาน**. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ
- ฉัททวุฒิ พิษผล และพิชิต สันติกุลานนท์. 2543. **คู่มือเรียน Visual Basic6**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น.
- วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. 2544. “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตร่วมกับโปรแกรมออโตแคด.” **วิศวกรรมสาร**. 54(9) : 71-74.
- ศักดิ์ชัย พิทักษ์เสรีกุล และคณะ. 2540. “การควบคุมชุดขับเคลื่อน 2 แกนโดยใช้ฐานข้อมูลภาพจากซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ.” หน้า 100-105. ใน **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Alen, J. Kalameja. 1998. **The AutoCAD Tutor for Engineering Graphics R14**. USA: Autodesk.
- Arthur, H. Seidman. 1983. **Integrated Circuit Application Handbook**. New York : John Wiley & Sons.
- Cohen, D. 1997. **Algebra And Trigonometry**. 4th ed. Los Angeles: West Publishing.
- Kenjo, T. 1984. **Stepping motors and their microprocessor controls**. Oxford: Clarendon Press.
- Koren, Y. 1983. **Computer Control of Manufacturing Systems**. 4th ed. International student Edition. Japan: McGraw-Hill.
- Steve F. Krar. et. al. 1998. **Machine Tool and Manufacturing Technology**. United States of America : Thomson Publishing .
- Tipsuwarnporn , V. et. al. 2001. “ Precision Control X-Y Table Using Dual Modulus Technique.” 468-471. in **Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems**. Jeju : Cheju National Univ.
- Tipsuwarnporn , V. et. al. 2002. “ Contour text technique based on Autocad for controlling 2-Axis Actuators.” in The 17th **IEEE International Symposium on Intelligent Control**. Vancouver.
- Ulsoy, A. Galip. And Warren R. DeVries. 1989. **Microcomputer Application In Manufacturing**. Singapore : John Wiley & Sons.
- Wale, J. D. and Pollock, C. 2001. “ Hybrid stepping motors and drivers. ” **Power Engineering Journal**. 15(1) : 5-12.

ภาคผนวก ก.

การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ต Status) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ต Control) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ต Data) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

ตารางที่ ก.1 แสดงสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน

DB-25	รีจิสเตอร์	ทิศทาง	ตำแหน่งบิต	ชื่อขาสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	Control	Out	$\overline{C0}$	\overline{STROBE}	แอกทีฟ "0" ส่งค่าออกไปเพื่อบอกว่าที่ขาเคาต์มีข้อมูลแล้ว
2-9	Data	Out	D1-D8	DATA1-DATA8	สำหรับพอร์ตขนานมาตรฐานเดิมขานี้ทำหน้าที่เป็นขาส่งข้อมูลเอาต์พุตเท่านั้น สำหรับในปัจจุบันขานี้รับข้อมูลอินพุตได้ด้วย
10	Status	In	S6	nACK	เป็นพัลส์ลอจิก "0" ที่ส่งมาจากเครื่องพิมพ์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้ว
11	Status	In	$\overline{S7}$	\overline{BUSY}	เป็นสัญญาณแจ้งมาจากเครื่องพิมพ์ว่ายังไม่พร้อมรับข้อมูล
12	Status	In	S5	PE	แจ้งกระดาษหมด
13	Status	In	S4	SELECT	แจ้งว่าเครื่องพิมพ์ต่ออยู่
14	Control	Out	$\overline{C1}$	$\overline{AUTO FEED}$	สั่งเครื่องพิมพ์ให้เลื่อนบรรทัด
15	Status	In	S3	\overline{ERROR}	สัญญาณจากเครื่องพิมพ์มายังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงข้อผิดพลาดจากการพิมพ์
16	Control	Out	C2	\overline{INIT}	รีเซ็ตเครื่องพิมพ์โดยให้ลอจิก "0"
17	Control	Out	$\overline{C3}$	$\overline{SELECT - IN}$	ส่งสัญญาณไปยังเครื่องพิมพ์แจ้งว่าต้องการเลือกเครื่องพิมพ์เครื่องนี้
18-25				GND	กราวด์

พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทตัวอื่นๆ คือเมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อกด้วย ตารางที่ ก.2 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งคือแอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data, รีจิสเตอร์ Status และรีจิสเตอร์ Control โดยแอดเดรสนี้มีอยู่ทั้งหมด 3 ชุดสำหรับพอร์ตขนาน 3 ชุดคือ LPT1, LPT2 และ LPT3

ตารางที่ ก.2 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน

ชื่อพอร์ต	LPT1:		LPT2:		LPT3:	
	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
DATA	888	378H	956	3BCH	632	278H
STATUS	889	379H	957	3BDH	633	279H
CONTROL	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าของ Cutting speed และ Feed rate ของงานกัด

Surface cutting speed (Meters/Minute)				
Cutting Tool Material	Workpiece Material			
	AL Alloy	Brass	Cast Iron	Mild Steel
HSS	120	75	18	30
Carbide	500	100	120	200

MILLING	FEED RATE (MILLIMETERS/TOOTH)			
WORKPIECE MATERIAL	HSS		SINTERED CARBIDE	
	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

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

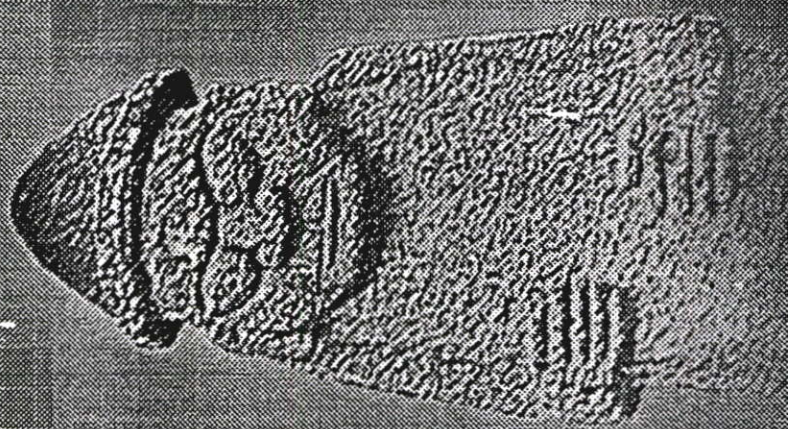
บทความวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการดังต่อไปนี้

- [1] V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and V. Kongratana. “ Precision Control X-Y Table Using Dual Modulus Technique.” Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems. (16th Korea Automation Control Conference) Korea, 2001.
- [2] V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and A. Numsomran. “ Contour Text Technique Based on Autocad for Controlling 2-Axis Acutuators.” The 17th IEEE International Symposium on Intelligent Control. Canada, 2002.

International Conference
on Control, Automation and Systems

ICCAS 2001

October, 17~21, 2001
Cheju National University, Jeju Island, Korea



<http://www.iccas.org>



October, 17~21, 2001
Cheju National University,
Jeju Island, Korea

Welcome Message

Conference Organization

Conference Information

Table of Contents

Author Index

Search This CD-ROM

CD-ROM Help

EXIT



Institute of Control,
Automation and Systems Engineers, Korea

Precision Control X-Y Table Using Dual Modulus Technique

V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and V. Kongratana
 Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand
 Tel:(66-2)-326-7346:Ext. 102, E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th, cmit99@yahoo.com

Abstract: This paper presents the control X-Y table being the precise movement by point-to-point in the x-y plane. The dual modulus technique is used for our system to control the frequency of pulse supplied to the motors. Such technique is used to stop motor of both axes accurately as the desired target point in the same period. Both motors are stepping motor. To improve steps per revolution, we employ ministep form to drive motors. In system, personal computer, using parallel port, is used for computing algorithm in open-loop form to control motors. In experiment, our system applies on the X-Y table for drawing to test system performance.

Keyword: X-Y table, dual modulus, ministep

1. Introduction

Nowadays, the X-Y table is widely used in the machining processes such as a lathe, a milling machine and a x-y plotter. The machines are used for precise operations in the manufacturing field, fast and precise control of the X-Y table is required. In this paper, control technique of stepping motors are designed to allow both rotation and translation motion. Advantage of stepping motor over other types of motor is the possibility of digital and open-loop control. Improvements in electronics and microprocessor technology have significantly contributed to amend the performance and a broader utilization of stepping motor drive. Conventional stepping motors usually have problems about its movement. First, the oscillation occurs during each moving step. Second, the number of steps per revolution is not sufficient for some applications. The ministep is used for improving a resolution and smooth motion so stepping motors are applied more efficiency. The control of X-Y table is the movement by point-to-point in the plane, the problem found is the different movement of distance on both axes. Main objective in our paper is implementation of the dual modulus technique to control the frequency of pulse for the precise movement of motors.

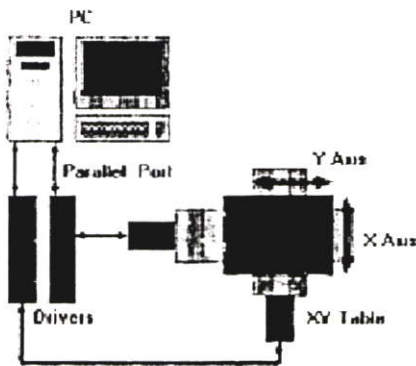


Fig.1. Overview of control X-Y table

Conventional stepping motor is controlled by the microprocessor or microcontroller complicated in the operation. The people who want to use the stepping motor must learn the structure and language of microprocessor or microcontroller. Furthermore, we must know the detail of hardware of the machine, so the people, who don't know or have the participation in the proceed, will be difficult to bring the stepping motor to use or solve the mistake. This paper is used the pattern of controlling stepping motor which is easy and flexible to develop, we can then use more efficiency stepping motor. Overview system shown Fig. 1 is in open-loop form.

2. Principle and Theory

To maintain the stepping motor control rotating continuously as same as the DC motor, the motor shall be supplied pulse continuously.

Mode of excitation

Single-phase Excitation

The single-phase excitation mode for four-phase motors. The shaded parts in table 1.1 represent the excited state, and the white blanks show the phases to which current is not supplied and so are not excited. When a motor revolves clockwise in the excitation sequence of Ph1→Ph2→Ph3 ..., it will revolve counter-clockwise by simply reversing the sequence to Ph3→Ph2→Ph1 ...

Two-phase Excitation

A big characteristic difference between the single-phase exciting and two-phase exciting appears in the transient response. The two phase exciting the oscillation damps more quickly than is the case of the single-phase exciting. The step sequences are shown in the table 1.2.

Half-step mode Excitation

The excitation scheme is a combination of the single-phase and two phase excitation. The two phase excitation is used to suppress oscillation. In another method, the equilibrium position of both the single and two-phase excitations are used for positioning. The half-step mode reduce the step angle to half. The step sequences are shown in table 1.3. This principle is used for control the motor drives, which has the ministep movement by control current coil of motor[1,2,3].

Table 1.1. Excitation sequence in the single-phase operation

Sequence	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4
1	•			
2		•		
3			•	
4				•
5	•			
6		•		
7			•	
8				•

Table 1.2. Excitation sequence in the two-phase operation

Sequence	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4
1	•	•		
2		•	•	
3			•	•
4	•			•
5	•	•		
6		•	•	
7			•	•
8	•			•

Table 1.3. Excitation sequence in the half-step operation

Sequence	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4
1	•			
2	•	•		
3		•		
4		•	•	
5			•	
6			•	•
7				•
8	•			•

The speed of rotation of a stepping motor is given in term of the number of step per second, which is called stepping rate. The term stepping rate can indicate the rotation speed. The relation between the rotation speed and the stepping rate is given by [3]

$$n = \frac{60f}{s} \quad \text{rpm} \quad (1)$$

where n = rotation speed
 f = stepping rate (Hz)
 s = step number

3. Dual Modulus Prescaling

In the equation (1), see that the speed of motor relate the frequency of pulse supplied to motor. Dual modulus prescaling principle is used to synthesize the frequency for motor. Dual modulus prescaling provides a method of achieving high-speed performance in the feedback path without compromising system performance. Frequency tuning resolution and a high value for f_R can be maintained as if only divide by N counters were being used. This is marked advantage over fixed prescaling value in order to maintain the same VCO frequency step capability. A reduction in f_R is, of course undesirable because it corresponds to a degradation in potential performance of the system.

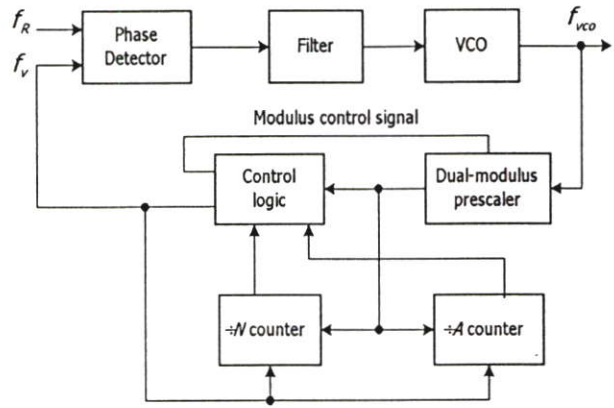


Fig. 2. Block diagram of a dual-modulus prescaling approach to frequency synthesis

Basically, the dual modulus technique as shown in Fig. 2 combines relatively low frequency programmable counters with a dual-modulus prescaling IC, such that the combination behaves like a programmable counter having a speed capability equal to that of the prescaler. Because the prescaler is required to divide by only two values, P and $P + X$, it can be designed for operating speeds comparable to those of fixed dividers. Proper operation is accomplished by configuring the lower speed counters in two sections and employing special decoding/control logic that makes it possible to select the divide value P or $P + X$. The value of X normally made equal to one.

The total system divide value, N_{total} , that results with dual-modulus prescaling is a function of P , X , the value (A) programmed into the $\div A$ counter and the value (N) programmed into the $\div N$ counter[4]. Therefore, by using a prescaler whose divide values are P and $P + 1$ the VCO step size becomes f_R in value and the defining division equation is:

$$N_{total} = (N)(P) + A \quad (2)$$

where $N \geq A$

The value required for N_{total} is dictated by the VCO frequency and step size required, that is :

$$N_{total} = \frac{f_{vco}}{f_R} \quad (3)$$

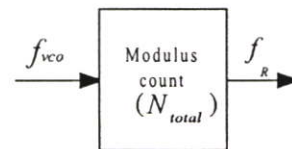


Fig. 3. Applied dual modulus technique

In the Fig. 3, the modulus count programmed into the computer, we synthesized frequency by computer. The point-to-point movement is in the plane as shown in Fig. 4.

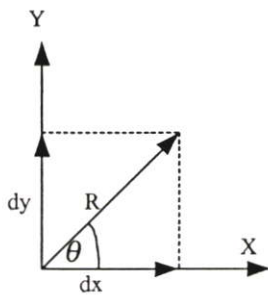


Fig. 4. Movement in the plane

In the Fig. 4, determined the relative speed of x-axis and y-axis motor in the movement at any position. It can be regarded as a linear system being in the equation (4)[5].

$$\begin{aligned}
 V_x &= V_R \cos \theta \\
 V_y &= V_R \sin \theta \\
 \frac{V_x}{dx} &= \frac{V_y}{dy}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

where V_x = speed of x-axis motor
 V_y = speed of y-axis motor
 dx = distance of movement in x-axis
 dy = distance of movement in y-axis

In the equation (4), when we supply pulse to the motor of both axes, the speed of one axis motor is stable and others is changed as following the distance. Therefore, the motor of both axes reach to the desired target point accurately. Frequencies supplied to motors are shown in Fig. 5.

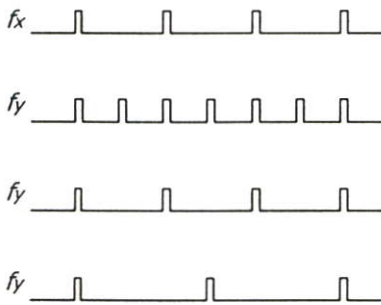


Fig. 5. Frequencies supplied to motors

4. Experimental results

We test the accuracy motor movement by drawing on 13cmx9cm X-Y Table at any position in the plane and measure it in the centimeter's unit. We can get the results as following ;

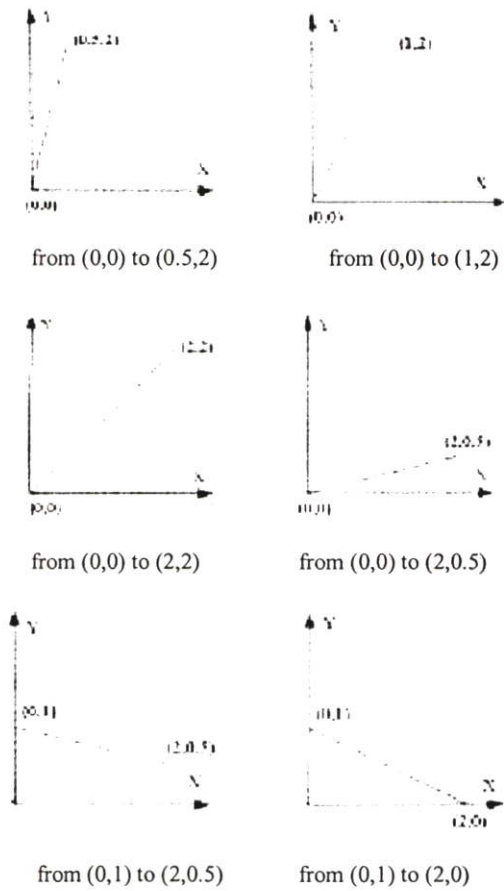


Fig. 6. Movement in the plane

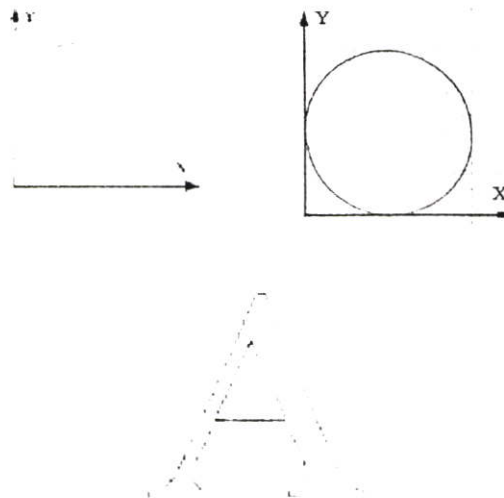


Fig. 7. Applied movements

As the results shown in the Fig. 6, the motors of both axes reach to the desired target point accurately at any position in the plane. The speed of one axis motor is stable and others is changed by the distance. The motors will then stop at the desired target point in the same period. Furthermore, system apply to move the X-Y table as the arc, circle and letter. These results are shown that the dual modulus technique can be used to control X-Y table precisely.

5. Conclusion

In order to control speed of stepping motors of both axes, we use dual modulus technique to control the frequency of pulse. Our system apply to control X-Y table. It is the precise movement by point-to-point and employ to stop motors of both axes at the desired target point in the same period. To improve the number of steps per revolution for movement more accurately as the arc, circle and letter, the ministep is used. Moreover this principle can be used with the X-Y table for x-y plotter, milling and others.

Reference

- [1] J. D. Wale and C. Pollock, "Hybrid stepping motors and drivers" Power Engineering Journal, pp. 5-12Feb.2001
- [2] P.Ukakimaparn, S.Pongswatd, S.Kummool and W.Sriratana, "The Sinusoidal Ministep Drive Technique" KACC2000(Korea Automatic Control Conferenc)Oct.2000
- [3] Takashi Kenjo, Stepping motors and their microprocessor controls, Oxford, 1984
- [4] Authur H. Seidman, Integrated Circuits Applications Handbook, New York, Wiley, 1983
- [5] David Cohen, Algebra And Trigonometry, Los Angeles, 1997

PROCEEDINGS
of the
2002 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM
on
INTELLIGENT CONTROL

27 - 30 October 2002
The Coast Plaza Suite Hotel
Vancouver, Canada

IEEE Catalog Number: 02CH37395
ISBN: 0-7803-7621-8

©2002 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint, republish this material for advertising or promotional purposes, or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Technical inquiries regarding this CD-ROM should be addressed to:

OmniPress
Phone: (608) 246-2600
Fax: (608) 246-4237
E-mail: digital@omniPress.com



Foreword

Committee Information

ISIC 2002 Information

Plenaries and Workshops

Table of Contents

Author Index (view only)

Search this CD-ROM

©2002

CD-ROM Help

EXIT

CONTOUR TEXT TECHNIQUE BASED ON AUTOCAD FOR CONTROLLING 2-AXIS ACTUATORS

V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and A. Numsomran

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand
Tel:(66-2)-326-7346:Ext. 102, E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th, cmit99@yahoo.com

Abstract

This paper presents a research and development of 2-axis actuators which are controlled by using AutoCAD graphic and text database in text file being standard of ASCII Drawing Interchange File (DXF). The graphic data have a position data that can control actuators instantaneously. In text data, contour text technique is improved to get the text data having the position which can apply to control the actuators by applying function of AutoCAD. The database is analyzed for optimizing the path to reduce the time of movement, saving energy in order to reduce budget in manufacturing. Dual modulus pre-scaling is used to translate analyzed data for controlling 2-axis actuators to move as any number of prototype such as circle, square and text accurately.

Keywords

contour text, dual modulus pre-scaling, optimize path.

1. INTRODUCTION

Nowadays, the position control is widely used in the mechanical industries. The position control of machine or actuators that have required the path in Cartesian Coordinate System is applied to use for machines and instruments such as Sticker cutting machine, Photo recorder, X-Y plotter, machinery controlling by computer, etc. Normally, the motor such as DC motor, servo motor or stepping motor which depend on the job is used as power source of machinery for making movement. The control and command method of both motors to move as the required path has the special processing for each type of motor. Especially, method of entering data into control to move as the designed prototype is different in machine and instrument. In case, directly sending of data being a special technology will be useful as plotter and CNC machine. If we will produce a new product or machine, position data knowing of prototype is necessity. The standard drawing program (CAD) has all data in the text file, which is standard of ASCII Drawing Interchange File (DXF). The mentioned data will be used to develop a computer program for machine control.

There are many types of the drawing program such as Cadkey, GenericCAD, FastCAD, AutoCAD, PC-basedCAD and Corel Draw, which provide various data. One of those, AutoCAD is widely used in the design and it is easy to learn. The designed drawing in AutoCAD [1], the graphic database in text file has the position data of shape text but the text database has not one. The contour text technique by applying the function of AutoCAD is improved to get the text data containing the position data being able to control actuators.

In this paper we study the method to control the movement of 2-axis actuators. The stepping motor [2,3] is actuator to move as the prototype in AutoCAD. We study the graphic and text database especially in the creation of the text for getting position data. After we will analyze the position data to search the optimal path for reducing the time of movement. The analyzed data is then processed by mathematical algorithm. Visual basic programming is developed to compute one. In order to move as the prototype correctly, the controlling signal to control 2-axis actuators is generated. In this system computer to control 2-axis actuators is used as open loop form via parallel port.

2. PRINCIPLE AND DATABASE

The principle is applying the data from text file to control operating of machine or 2-axis actuators to move as designed prototype in AutoCAD. In designing procedure, user can draw in various jobs because the researcher has program's fundamental entities of graphic image consisting of LINE, ARC and CIRCLE. The procedure of operation is shown in figure 1.

The data in the part of entity will be used to control motor and to know the type of entity. Starting and ending point on X-axis and Y-axis, radius, starting and ending point of curve are different and depend on a type of entity.

The data shown in figure 2(a) is the position data used to control motor instantaneously. Text data shown in figure 2 (b), which is not the position data of shape text, only consists of the starting position data, height, width and data ordering. The mentioned text data can not be used to control motor. The method able to control actuators is improved by applying AutoCAD that is, drawing the graphic of the text

by contouring various fundamental entity. These entities are included to shape text, then stored in database. when we want to control actuators, database must be accessed. In the mentioned method, it is complicated not only to draw text and cover all of fonts but also to consume long time. The other method is to use tool or command to separate text in AutoCAD into fundamental entities consisting of the edge line of text and inner-structure and also erasing outer-structure line.

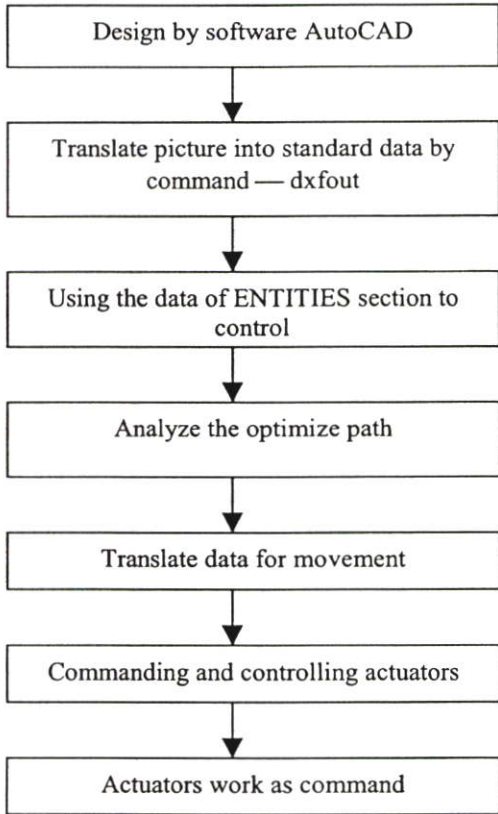


Figure 1: The operation in process.

AcDbLine	AcDbCircle
10	10
0.0	20.0
20	20
0.0	30.0
30	30
0.0	0.0
11	40
40.0	10.0
21	100
40.0	AcDbArc
31	50
0.0	0.0
0	51
	220.0
	0

(a) Line and Arc data of DXF file

```

AcDbMText
10
10.0
20
50.0
30
0.0
40
20.0
41
5.0
71
1
72
5
1
\fTimesNeRoman|b0|i0|c0|p18;\C2;ABCD
0
  
```

(b) Text data of DXF file

Figure 2: Data of DXF file.

For drawing the long sentence, this method is not convenient to erase inner-structure, which not only must consume long time but also may occur some mistakes from erasing. The edge line of text is minor entities without continuity which very spend to control actuators and also may write program to order entities. The method which results the minor entities with edge line of text and continuous sequence to reduce time and cover all type of fonts shown in figure 2(a) is presented to build the text by applying the function of AutoCAD. When text data contain position data, optimize paths will be then analyzed from ones and the result data is translated to control. Dual modulus pre-scaling [4] is used to transmit signal for controlling both of stepping motor which ones control movement of 2-axis actuators as the designed prototype.

3. CONTOUR TEXT TECHNIQUE

The mentioned method is complicated because the standard tools of AutoCAD have not for changing text data to edge line of text data. Available functions based on are applied having details as following:

1. Specify control system variable Text Fill as 0 for showing only edge line of text.
2. Create the desired text using tools or commands in AutoCAD program.
3. The graphic of text obtained has not edge line of text, then sends the text to Encapsulated Postscript (EPS) file.
4. EPS file brought back is the graphic only contained edge line of text at which EPS file is imported into AutoCAD drawing as block.

- Separate object by commands or standard tools to result minor entities and continuous sequence as edge line of text that look like sequence vectors.
- Translate all graphic into text file being standard (DXF) and the obtained data is the same position data as data shown in figure 2(a) to control actuators.

The data with edge line of text results from the presented technique. Entities for the edge line of text are the minor entity sequence for controlling 2-axis actuators which reduce time and error from not sequence path together with more accuracy.

3.1 Analysis of the optimize path

Analysis searches optimize paths to reduce time of movement of actuators. The graphic from controlling actuators must be the same as prototype. Storing graphic data in AutoCAD has sequence of drawing graphic that may not continue depended on experience of designer and operator. After applying function of AutoCAD, the text data is continuous sequence data but the starting point of each font of text such as Angsana New, Times New Roman is different. To reduce time of movement or the distance of wasting time concerning with tool not touch material must be reduced and continued as shown in figure 3.

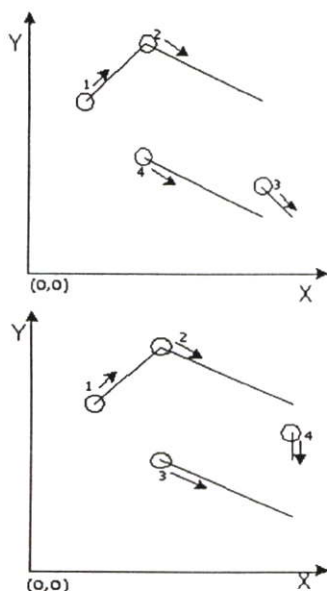


Figure 3: Path as same as prototype.

$$r = \left[(Xe_{tu} - Xs_{td})^2 + (Ye_{tu} - Ys_{td})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

where r is distance of wasting time,
 Xe_{tu}, Ye_{tu} are final point before tool up,
 Xs_{td}, Ys_{td} are new point at tool down.

The conditions are used to consider as following:

- start at original (prototype) point, new path at the nearest reference point.
- start at original point, new path at the nearest final point before tool up.
- start at the nearest reference point, new path at the nearest reference point.
- start at the nearest reference point, new path at the nearest final point before tool up.

Total distance at wasting time is

$$Dis_{total} = \sum_{i=1}^N r_i \quad (2)$$

From the mentioned conditions, each condition resulting the minimum total distance of wasting time is selected to generate the optimize path. This process reduce time of movement that save cost in manufacturing and the dual modulus pre-scaling is used for translating data to control actuators.

4. DUAL MODULUS PRE-SCALING

The movement of actuators in the plane can be divided into 2 parts, 1-axis and 2-axis. In case of 2-axis, both motors reach to the designed target point in the same period [5]. Dual modulus pre-scaling principle is used to synthesize the frequency of pulse fed to motor and also provides a method of achieving high-speed performance in the feedback path without compromising system performance. Frequency tuning resolution and a high value for f_R can be maintained as if only divided by N counters were being used.

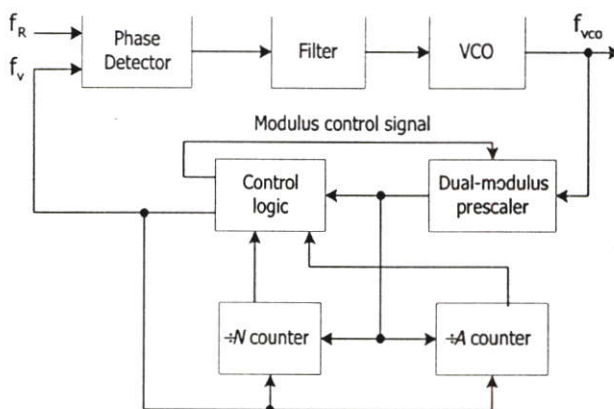


Figure 4: Block diagram of dual-modulus pre-scaling principle to synthesize frequency.

Basically, the dual modulus technique [6] shown in figure 4 combines relatively low frequency programmable counters with a dual modulus pre-scaling IC. All system divide value, N_{total} and that result with dual modulus pre-scaling

is a function of P, X , the value (A) programmed into the $\div A$ counter and the value (N) programmed into the $\div N$ counter. The definition of division equation is

$$N_{total} = (N)(P) + A \quad (3)$$

where $N \geq A$.

The value required for N_{total} is dictated by the VCO frequency and step size required as shown in figure 5, that is

$$N_{total} = \frac{f_{vco}}{f_R} \quad (4)$$

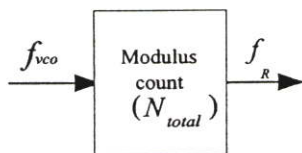


Figure: 5 Applied dual modulus technique.

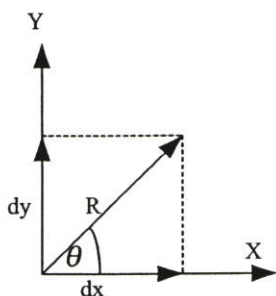


Figure 6: Movement in the plane.

Movement in the plane shown in figure 6 can be considered as a linear system [7].

$$\begin{aligned} V_x &= V_R \cos \theta \\ V_y &= V_R \sin \theta \end{aligned} \quad (5)$$

where V_x is speed of x-axis motor,
 V_y is speed of y-axis motor,
 V_R is Required speed.

Dual modulus pre-scaling is used to approximate the various positions along path. This research developed linear and circular interpolation program to translate position data from analyzed and standard data to control actuators as command.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

Experimental is by drawing on 2-axis actuators having the working area of 130mmx90mm. By which the operation in Cartesian coordinate system, the reference point is at the left bottom of corner.

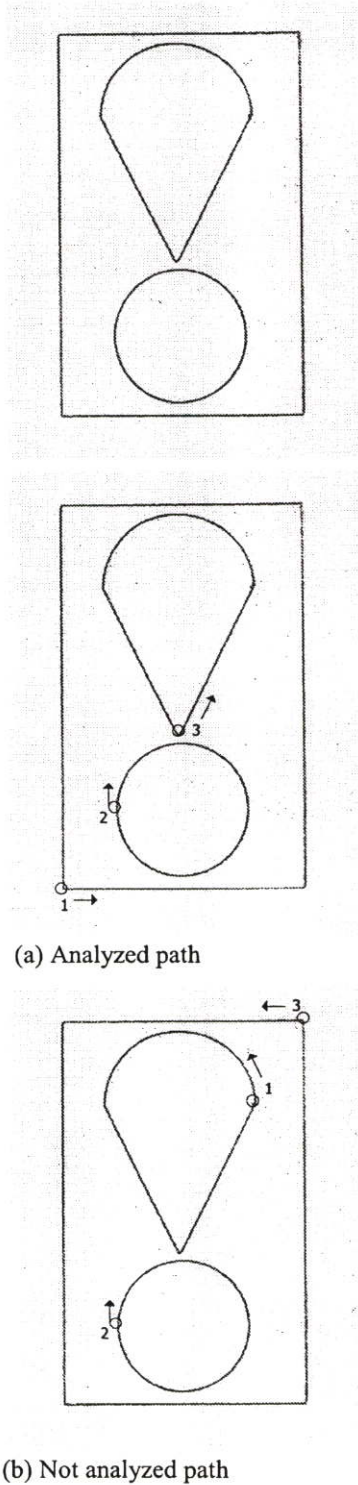
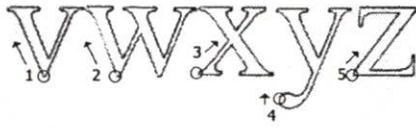
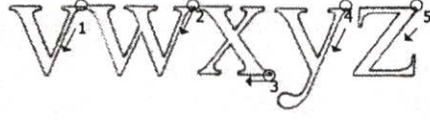


Figure 7: The results of movement as graphic prototype.

VWXYZ



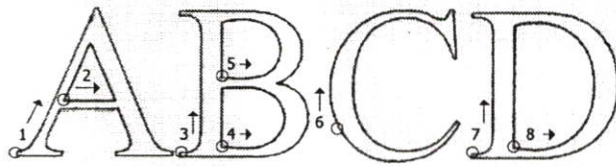
(a) Analyzed path



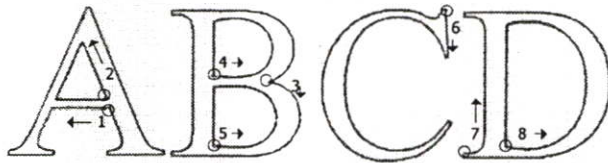
(b) Not analyzed path

1) Angsana New height 13

ABCD



(a) Analyzed path



(b) Not analyzed path

2) Times New Roman height 20

efghij

klmn

opqrstu

3) Times New Roman height 10

4) Tahoma height 12

5) Verdana height 8

Figure 8: The results of movement as text prototype.

Table 1: Shown results of time comparison between analyzed path and not analyzed path.

Figure	7	8				
		1	2	3	4	5
Time of Analysis(s)	73.46	70.96	99.13	70.94	60.25	59.10
Time of not Analysis(s)	94.96	78.88	102.76	71.65	60.58	59.82
Analysis faster than(%)	22.64	10.04	3.53	0.99	0.54	1.20

The results in figure 7 show that actuators move as the designed graphic correctly. Contour text technique shown in figure 8 see that proposed method can be applied to control 2-axis actuators to move as type and size of text correctly as designed prototype in AutoCAD. In analyzing the optimize path, start at point 1 and follow as arrow when reach to point 1 then start at point 2 and repeat loop until the end. The paths are different between analysis and not analysis. Table 1 shows time comparison between analyzed path and not analyzed path at the same speed. These results can reduce time of movement. This process can save energy together with cost reducing in manufacturing and produce work more quantity.

6. CONCLUSION

Database in text file being standard of ASCII Drawing Interchange File (DXF) in AutoCAD for applying to control 2-axis actuators is used in this research. The graphic data can control actuators instantaneously. In text data, the text having position data for controlling actuators results from the improved contour text technique. This technique is convenient and uncomplicated and also covers all fonts of text. Position data is analyzed to search the optimize paths for reducing time of movement that save energy and cost in manufacturing. The dual modulus pre-scaling is used to translate the analyzed data into control signal to control actuators. This experimental results show contour text technique and analysis of the optimize paths applying to control actuators efficiently. Actuators can move as the designed prototype. The various machine can be developed by adding or decreasing the desired function of each work.

REFERENCES

- [1] Alan J. Kalameja. The AutoCAD Tutor for Engineering Graphics R14. Autodesk U.S.A., 1998.
- [2] Takashi Kenjo. Stepping motors and their microprocessor controls. Oxford, 1984.
- [3] J. D. Wale and C. Pollock. Hybrid stepping motors and drivers. Power Engineering Journal. pp. 5- 12 Feb, 2001.
- [4] V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and V. Kongratana. Precision Control X-Y Table Using Dual Modulus Technique. ICCAS (International Conference on Control, Automation and Systems). Korea, 2001.
- [5] A. Galip Ulsoy and Warren R. DeVries. Microcomputer Application In Manufacturing. John Wiley, 1989.
- [6] Authur H. Seidman. Integrated Circuits Applications Handbook. NewYork Wiley, 1983.
- [7] David Cohen. Algebra And Trigonometry. Los Angeles, 1997.

ประวัติผู้เขียน

นายเจริญ มิตรเวคิน เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2541

ปี พ.ศ. 2542 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรออกแบบวงจรบริษัทเอกชน

ปัจจุบันทำงานอิสระ

ขณะศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์จำนวน 2 เรื่อง

ผลงานทางวิชาการ

[1] V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and V. Kongratana.

“ Precision Control X-Y Table Using Dual Modulus Technique.” Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems. (16th Korea Automation Control Conference) Korea, 2001.

[2] V. Tipsuwanporn, C. Mitravakin, P. Ukakimaparn, S. Kulpanich and A. Numsomran.

“ Contour Text Technique Based on Autocad for Controlling 2-Axis Actuators.” The 17th IEEE International Symposium on Intelligent Control. Canada, 2002.