



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิต  
ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM

นายสิงห์แก้ว ป็อกเท็ง  
นายสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ  
นายคมพันธ์ ชมสมุทร

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับการอุดหนุนงบประมาณในการดำเนินการ

ปี พ.ศ. 2549

|                                     |
|-------------------------------------|
| งานห้องสมุดกลางเทคโน                |
| จำแนกวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ |
| ว.ที่ - 5 ส.ค. 2552                 |
| เลขทะเบียน 000125                   |
| เลขที่ ๖๔.                          |

## การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิต ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM

สิงห์แก้ว ป็อกเท้ง<sup>1\*</sup> สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ<sup>2</sup> คมพันธ์ ชมสมุทร<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถนนพหลโยธิน เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์: 0-2913-2424 ต่อ 175 โทรสาร: 0-2913-2424 ต่อ 175

Email : psingkaew2003@yahoo.com\*

**คำสำคัญ :** คอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและงานผลิต, เครื่องจักรกลอัตโนมัติ

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถด้านการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM จำนวน 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม A และ B ซึ่งเป็นโปรแกรมด้าน CAD/CAM ที่นิยมใช้ในประเทศไทย แต่มีราคาโปรแกรมที่แตกต่างกัน โดยทดลองการทำงานของโปรแกรมกับการทำงานแบบลาบเส้น 2 มิติ จำนวน 3 ลักษณะงาน เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแปลงข้อมูล (Postprocessor) เป็น NC Code เวลาในการกัดงานและ ความแม่นยำของชิ้นงานที่ผลิต การวิจัยนี้ทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันทุกประการ

ผลการวิจัยและทดสอบข้อมูลทางสถิติปรากฏว่า การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโปรแกรม AutoCAD 2002 เข้าสู่โปรแกรม A และ B มีความสมบูรณ์ 100% จำนวนบรรทัด NC Code ที่ผ่านการ CAM และการแปลงข้อมูลจากโปรแกรม A และ โปรแกรม B ไม่มีความแตกต่างกัน เวลาในการตัดเฉือนด้วยการกัดงานปรากฏว่าโปรแกรม A และโปรแกรม B ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนความแม่นยำของขนาดที่ได้จากลักษณะงานทั้ง 3 พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือนด้วย NC Code จากโปรแกรม A และโปรแกรม B ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## สารบัญ

|                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                          | ค    |
| สารบัญ                                            | ง    |
| คำอธิบายคำสำคัญ                                   | จ    |
| <b>บทที่</b>                                      |      |
| 1. บทนำ                                           | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ                        | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ                              | 1    |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน                              | 2    |
| 1.5 เครื่องมือที่ใช้                              | 3    |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                     | 3    |
| 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                             | 4    |
| 2.1 คำนำ                                          | 4    |
| 2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD / CAM) | 4    |
| 2.2.1 ระบบ CAD / CAM ในงานอุตสาหกรรม              | 4    |
| 2.2.2 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD)    | 6    |
| 2.2.3 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต (CAM)      | 6    |
| 2.2.4 ประเภทของซอฟต์แวร์ CAD/CAM                  | 7    |
| 2.2.5 การเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วย CAD / CAM         | 8    |
| 2.2.6 มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูล                  | 9    |
| 2.3 เครื่องจักรอัตโนมัติ                          | 9    |
| 2.3.1 ความหมายของซีเอ็นซี                         | 9    |
| 2.3.2 เครื่องกัดเอ็นซี (NC Milling Machines)      | 10   |
| 2.3.3 ชนิดของการควบคุม (Control Modes)            | 10   |
| 2.3.4 ความเร็วรอบและอัตราป้อน                     | 14   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                           | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.4 เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM)                                            | 15   |
| 2.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องวัดพิกัด (CMM)                                              | 15   |
| 2.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย                                                                 | 15   |
| 2.5.1 ความหมายของสถิติ                                                                    | 16   |
| 2.5.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)                                                  | 16   |
| 2.5.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Test of Statistical Hypotheses)                           | 17   |
| 2.5.4 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร<br>เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน | 18   |
| 2.5.5 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราความแปรปรวน 2 ประชากร                                 | 20   |
| 3. การดำเนินงานและวิธีการวิจัย                                                            |      |
| 3.1 บทนำ                                                                                  | 22   |
| 3.2 แผนการดำเนินงาน                                                                       | 22   |
| 3.2.1 ศึกษาข้อมูลในงานวิจัย                                                               | 24   |
| 3.2.2 ออกแบบรูปงาน                                                                        | 24   |
| 3.2.3 เขียนรูปตามแบบงาน                                                                   | 25   |
| 3.2.4 ทำการ Interface File                                                                | 27   |
| 3.2.5 ปฏิบัติการ CAM ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์                                               | 27   |
| 3.2.6 ทำการแปลงรหัสคำสั่ง (Postprocessor)                                                 | 27   |
| 3.2.7 ตรวจสอบจำนวนบรรทัดของ NC Code                                                       | 28   |
| 3.2.8 เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัย                                                       | 28   |
| 3.2.9 กัดงานด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ                                                       | 31   |
| 3.2.10 ตรวจสอบและวัดขนาดรูปที่กัด                                                         | 32   |
| 3.2.11 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล                                                      | 36   |
| 3.2.12 สรุปผลการวิจัย                                                                     | 37   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                         | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4. ผลการทดลอง                                                                           |      |
| 4.1 จำนวนบรรทัด NC Code                                                                 | 38   |
| 4.2 เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการกัดงาน                                                    | 41   |
| 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้ง                                                       | 48   |
| 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ                                                          | 55   |
| 5.2 ผลการทดลอง                                                                          | 55   |
| 5.2.1 ค่าเฉลี่ยของจำนวนบรรทัด NC Code ที่ทำการ Postprocessor<br>จากโปรแกรม CAD / CAM 94 | 55   |
| 5.2.2 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรใช้ในการกัดงาน                                            | 55   |
| 5.2.3 ค่าเฉลี่ยของขนาดที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Coordinate Measuring<br>Machine (CMM)  | 56   |
| 5.2.4 สรุปผลการทดลอง                                                                    | 56   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                                                          | 56   |
| บรรณานุกรม                                                                              | 57   |
| ภาคผนวก                                                                                 | 58   |
| - แบบงานที่ใช้ในการเขียนทดลอง                                                           | 59   |
| - แบบแสดงจุดและขนาดที่ทำการวัด                                                          | 62   |
| - ใบรับรองการวัดจาก บริษัท Mahr S.E.A. Co., Ltd.                                        | 65   |
| - เอกสารรับรองความเที่ยงตรงของเครื่องจักรอัตโนมัติ                                      | 66   |
| - ตารางมาตรฐาน ความเร็วรอบและความเร็วตัดของเอ็นมิล                                      | 69   |

## คำอธิบายคำสำคัญ

|                |   |                                                        |
|----------------|---|--------------------------------------------------------|
| CAD            | = | คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ                             |
| CAM            | = | คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต                               |
| CAD / CAM      | = | คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต                   |
| Interface File | = | การส่งผ่าน (ถ่ายโอน) ข้อมูลระหว่างโปรแกรม              |
| Postprocessor  | = | การเปลี่ยนแฟ้มภาษา APT ไปเป็นภาษาเฉพาะของเครื่อง CNC   |
| APT            | = | ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานด้านการควบคุมเครื่องจักร CNC |
| CNC            | = | เครื่องจักรกลอัตโนมัติ                                 |
| CMM            | = | เครื่องมือวัดละเอียดสำหรับวัดพิภค                      |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในงานอุตสาหกรรมมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต เทคโนโลยีสมัยใหม่จึงเข้ามามีบทบาทในกระบวนการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตก็คือ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต (CAD/CAM) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้าน CAD/CAM ที่มีใช้ในวงการอุตสาหกรรมมีอยู่หลายโปรแกรม เช่น Unigraphics , Mastercam Catia , Smartcam และ Cimatron เป็นต้น แต่ละโปรแกรมจะมีลักษณะการใช้งานคล้ายกัน การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการ ประสิทธิภาพและความเคยชินของผู้ใช้ โดยแต่ละโปรแกรมจะมีประสิทธิภาพและความสามารถต่างกันออกไป ราคาของโปรแกรมก็มีราคาแตกต่างกันไป ซึ่งผู้ใช้งานและผู้ประกอบการนั้นไม่สามารถรู้ว่าแต่ละโปรแกรมเหล่านั้นมีความสามารถแตกต่างกันอย่างไร การศึกษาการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต จึงมีส่วนสำคัญต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้โปรแกรมให้ได้ประโยชน์สูงสุดและนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อการศึกษาการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิตในด้านการกัดงาน 2 มิติเป็นลายเส้นโค้ง

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจแก่ผู้ที่ต้องการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย คือ ทองเหลือง ขนาดกว้าง 60 mm ยาว 60 mm หนา 12 mm

1.3.2 ใช้ดอก END MILL ขนาด  $\varnothing$  2 mm ในการกัดงาน

1.3.3 กลุ่มตัวอย่างในการเขียนแบบมีจำนวน 10 คน แบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ผู้มีพื้นฐานในการเขียนแบบจำนวน 5 คน

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนแบบและออกแบบลายเส้นคือโปรแกรม AutoCad 2002

1.3.5 ใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) ในการกัดชิ้นงานจำนวน 2 เครื่อง คือ เครื่องกัดอัตโนมัติยี่ห้อ EMCO และ เครื่องกัดอัตโนมัติยี่ห้อ HAAS รุ่น VF - 3

1.3.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต ที่ใช้คือโปรแกรม A และ โปรแกรม B โดยโปรแกรม A เป็นโปรแกรมที่ใช้กันแพร่หลายและมีราคาไม่แพงมากนัก สำหรับ โปรแกรม B เป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกันแต่มีราคาที่สูงกว่า

1.3.7 รูปที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ลักษณะ คือ รูปกระจิง รูปดอกจอก และรูปเลขเก้าไทย โดยทดสอบกัดลักษณะงานละ 20 ชิ้น/โปรแกรม/เครื่องกัด

1.3.8 ในการกัดชิ้นงานจะกระทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ดังนี้

- กัดในแนว 2 แกนครึ่ง (2 ½ - D)
- ความลึกที่กัดลงไปคือ 0.5 mm
- ไม่ใช้สารหล่อเย็นในการกัดงาน
- เครื่องมือตัด (END Mill) 1 ตัวใช้กัดชิ้นงาน 5 ชิ้น
- เครื่อง EMCO ใช้ความเร็วรอบ 2000 rpm อัตราป้อน 36 mm / min
- เครื่อง HAAS ใช้ความเร็วรอบ 5600 rpm อัตราป้อน 81 mm / min
- เครื่องมือตัดที่ใช้ คือ Flat End mill HSS CO8% ชนิด 2 กมัดัด  
ขนาด 2 mm
- ความยาวการจับ Tool เท่ากัน

1.3.9 ในการวิจัยนี้จะทำการวิจัยเปรียบเทียบขนาดเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นโค้ง

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและศึกษาโปรแกรมที่จะใช้ในการวิจัย

1.4.2 ออกแบบลวดลายที่จะใช้ในการวิจัย

1.4.3 จัดหาบุคลากรเขียนแบบ

1.4.4 ให้ผู้ร่วมวิจัยเขียนรูปที่ได้ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรม AutoCad 2002

1.4.5 ตรวจสอบขนาดรูปที่ผู้ร่วมวิจัยเขียน

1.4.6 เตรียมชิ้นงานที่จะใช้ให้มีขนาดกว้าง 60 mm ยาว 60 mmหนา 12 mm

1.4.7 Interface รูปที่ผู้ร่วมวิจัยทั้ง 10 คนเขียนเข้าสู่โปรแกรม A และ โปรแกรม B

1.4.8 ทำการ CAM และ Postprocessor File ที่ทำการ Interface แล้วเข้าสู่เครื่องกัดเพื่อทำการกัดชิ้นงาน

1.4.9 วัดขนาดของส่วนโค้งชิ้นงานที่ทำการกัดเสร็จแล้วตามที่จุดที่กำหนด

1.4.10 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

1.4.11 สรุปผลการวิจัย

## 1.5 เครื่องมือที่ใช้

1.5.1 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling )

1.5.2 เครื่องมือวัด 3 แกน ( Coordinate Measuring Machine หรือ CMM )

1.5.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดสถานะของเครื่องดังนี้

1.5.3.1 มีหน่วยประมวลผลตั้งแต่ 2.00 GHz ขึ้นไป

1.5.3.2 มีฮาร์ดดิสก์ความจุไม่น้อยกว่า 40 GB

1.5.3.3 มีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 512 MB

1.5.4 software โปรแกรมการเขียนแบบ และ โปรแกรม CAD/CAM

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM ในด้านการกัดงาน 2 มิติ เป็นลายเส้นโค้ง

1.6.2 มีแนวทางในการตัดสินใจให้แก่ผู้ที่ต้องการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต

1.6.3 ผู้วิจัยมีทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิตเพิ่มขึ้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

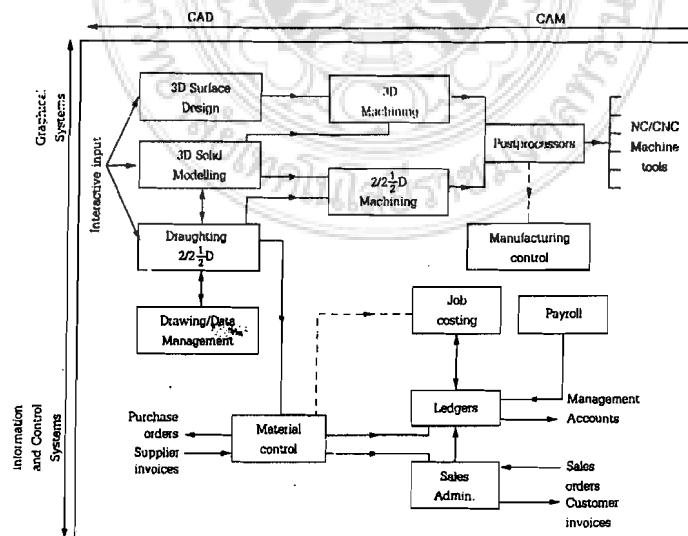
#### 2.1 คำนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยการศึกษาการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต

#### 2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD / CAM)

##### 2.2.1 ระบบ CAD/CAM ในงานอุตสาหกรรม

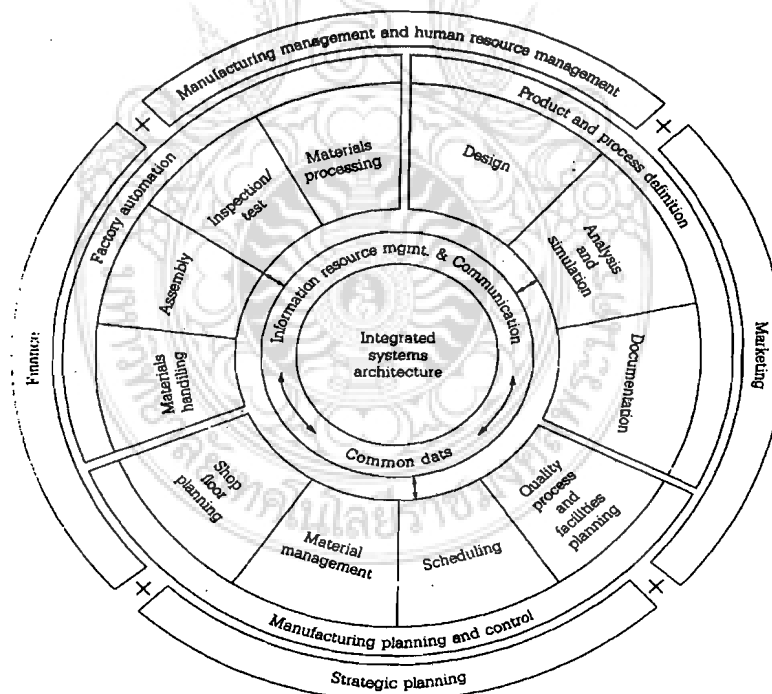
งานอุตสาหกรรมเป็นงานที่ต้องมีการแข่งขัน ผู้ที่จะอยู่ในแนวหน้าได้จะต้องมีการผลิตสินค้าออกมาทันต่อความต้องการของตลาด สินค้าต้องมีคุณภาพดีและราคาถูก กระบวนการผลิตทันสมัย การประยุกต์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) เป็นอีกแนวทางหนึ่งช่วยให้การผลิตสินค้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพลักษณะของการนำคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) ช่วยในการผลิตสินค้า แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การใช้ CAD / CAM ในกระบวนการผลิตสินค้า

จากรูปที่ 2.1 ส่วนของระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) ที่เข้ามาช่วย คือ ในส่วนของ CAD ช่วยในการออกแบบวิเคราะห์ แล้วจึงวาดภาพอัตโนมัติ จากนั้นข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) จะถูกส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) เพื่อวางแผนการผลิตและให้ข้อมูลในการตั้งชื่อวัสดุ รวมทั้งวางแผนการผลิต การวางแผนการใช้วัสดุ แล้วจึงเริ่มผลิตโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) จะไปช่วยในการควบคุมเครื่องจักรในการผลิตตัดควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม เมื่อได้สินค้าแล้วจะทำการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพจะมีความถูกต้องและแม่นยำสูง

กระบวนการตั้งแต่การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ (CAD) การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิต (CAM) การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวางแผนการผลิต (Computer Aided Process Planning : CAPP) การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพ (Computer Aided Quality Control : CAQ) เราเรียกว่า การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ร่วมกับการผลิต (Computer Integrated Manufacturing : CIM)



รูปที่ 2.2 การใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับการผลิต

การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยออกแบบและช่วยผลิต (CAD/CAM) มีองค์ประกอบที่สำคัญ

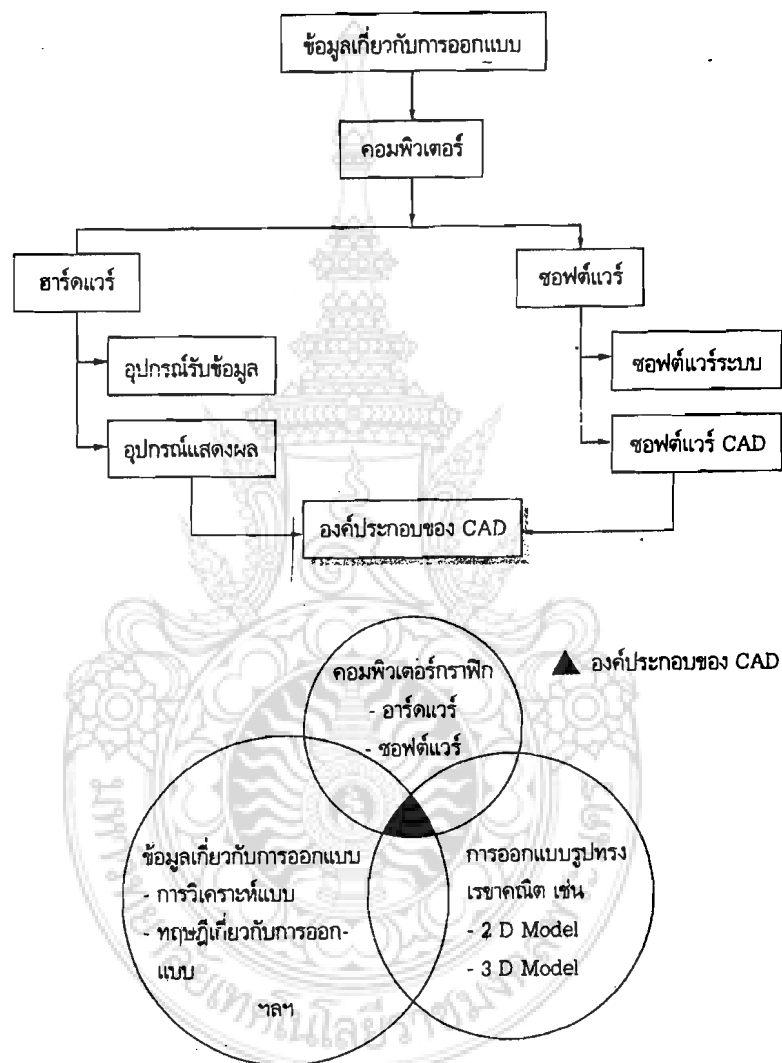
ดังนี้

## 2.2.2 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD)

2.2.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบ (Design Tool)

2.2.3.2 การสร้างรูปทรงเลขาคณิต (Geometric Modeling)

2.2.3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ (Computer Graphics)



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ

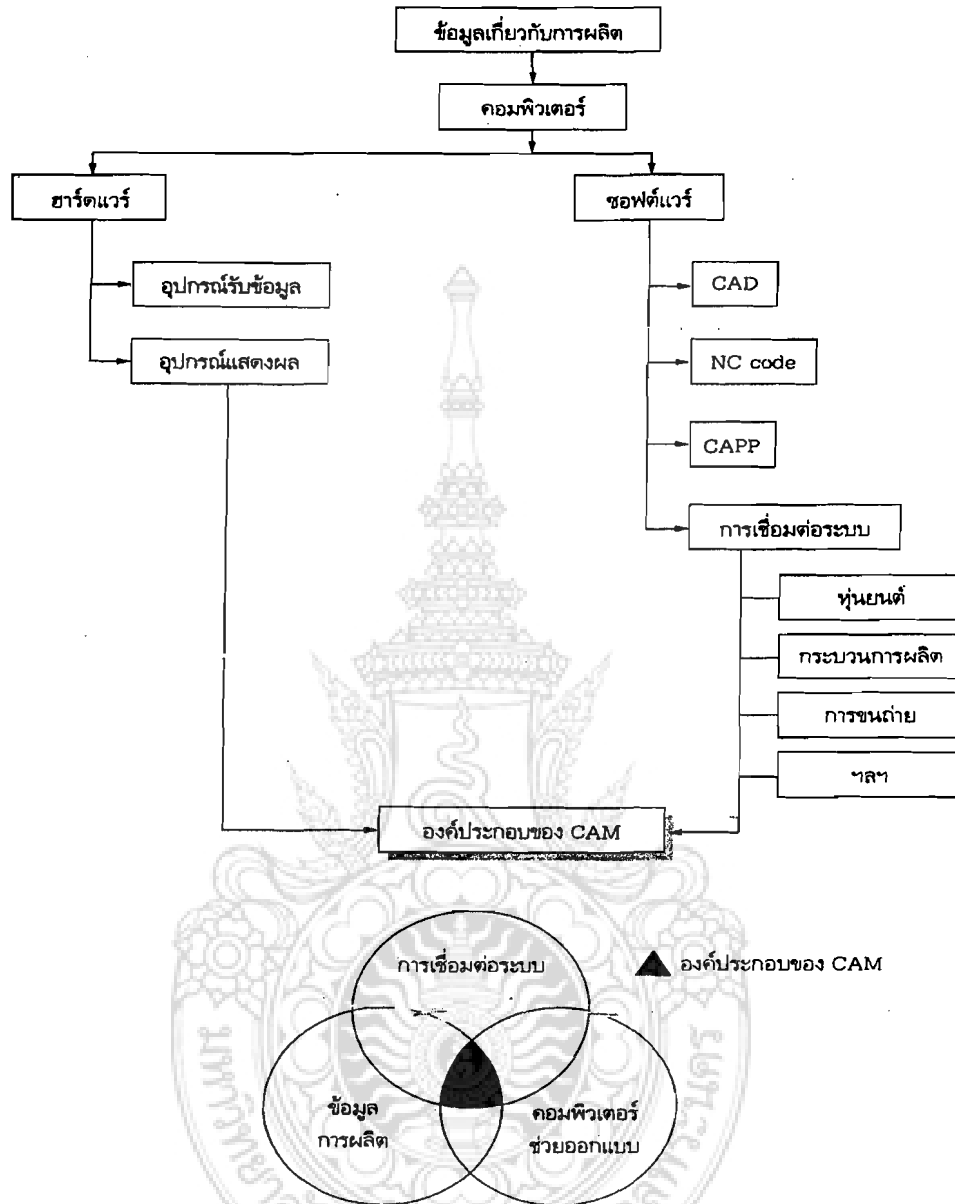
## 2.2.3 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต (CAM)

2.2.5.1 คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD)

2.2.5.2 ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต (Manufacturing tools)

2.2.5.3 การเชื่อมต่อระบบ (Network)

เราสามารถแสดงความสัมพันธ์องค์ประกอบของ CAM ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต

2.2.4 ประเภทของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.5.1 ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) ในตัวเดียวกัน ตัวอย่างเช่น Pro/ENGINEER, Catia, Unigraphics ,SDRC เป็นต้น ข้อดีของซอฟต์แวร์ประเภทนี้ คือ ไม่ต้องผ่านตัวแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลมาตรฐาน (Neutral File Format) เช่น IGES (Initial Graphics Exchange Standard), STEP (Standard for Exchange of

Product Information) สามารถนำข้อมูลของ CAD Model ไปใช้งานในส่วนของ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) ได้เลย แต่มีข้อเสียคือมักจะมีราคาสูง

2.2.5.2 ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) เพียงตัวเดียว ตัวอย่างเช่น MasterCAM, SurfCAM, Virtual Gibbs เป็นต้น ข้อดีคือราคาถูก ข้อเสียคือมีโอกาสของการผิดพลาดที่เกิดจากการส่งและรับข้อมูลเนื่องจากต้องมีการแปลงเป็นข้อมูลมาตรฐาน เพราะไม่มีส่วนของการสร้าง CAD Model จะอาศัยการรับ CAD Model จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ตัวอื่น

## 2.2.5 การเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM)

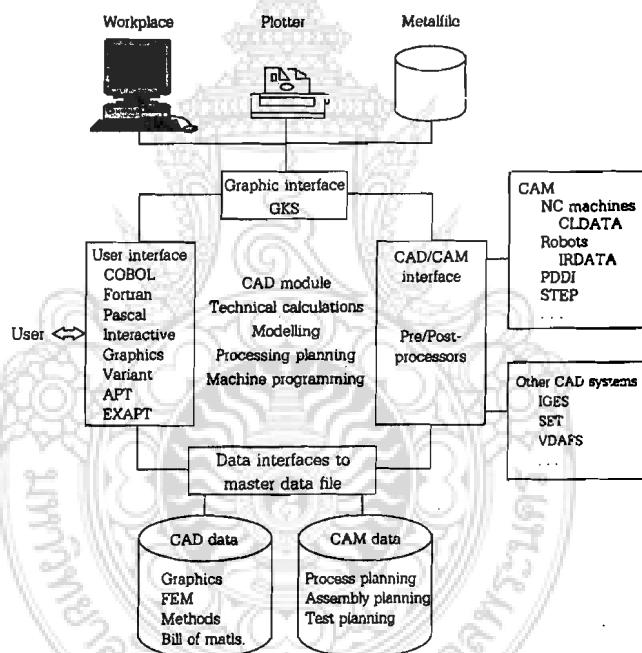
การนำระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) มาใช้ในการเขียนโปรแกรมเอ็นซีนี้จะเริ่มต้นจากการสร้างรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD) หลังจากนั้นก็จะเป็นการเลือกใช้เครื่องมือตัดและข้อมูลของการตัดเฉือนที่เหมาะสมกับเครื่องมือตัดแต่ละชนิด ซึ่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) นั้นเราสามารถที่จะกำหนดข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ได้ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนของการกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานและการเลือกใช้เครื่องมือตัดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดทางเดินของเครื่องมือตัด (Tool Path) เพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน โดยในขั้นตอนนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) จะมีวิธีการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Simulation) เพื่อให้เราสามารถมองเห็นภาพจนได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการขึ้นรูปชิ้นงานอีกด้วย

ขั้นตอนสุดท้ายของการเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) คือการแปลงทางเดินของเครื่องมือตัดไปเป็นรหัสเอ็นซี (NC Code) โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า Postprocessor ทั้งนี้เนื่องจากรูปทรงของชิ้นงานที่สร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) นี้ถูกเขียนขึ้นจากภาษาคอมพิวเตอร์ เช่น ภาษา APT ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงให้เป็นรหัสคำสั่งที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรเอ็นซี ยกตัวอย่างรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมเครื่องจักรเอ็นซี เช่น G, M, S เป็นต้น เมื่อได้โปรแกรมเอ็นซีที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมเอ็นซีนี้จะถูกส่งโดยผ่านสายส่งข้อมูล เช่น RS - 232 - C

ไปยังเครื่องจักรซีเอ็นซีเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป โดยในขั้นตอนนี้เราเรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยผลิต (CAM)

### 2.2.6 มาตรฐานของการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Data Exchange Standard)

การที่จะทำระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันระหว่างโปรแกรมแต่ละระบบ หรือระหว่างบริษัทที่ทำการผลิตระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) ด้วยกัน ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนข้อมูล เช่น ในบริษัทแห่งหนึ่งอาจใช้ข้อมูลร่วมกันระหว่างฝ่ายออกแบบ (CAD) กับแผนกผลิต (CAM) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 การแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบ คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM)

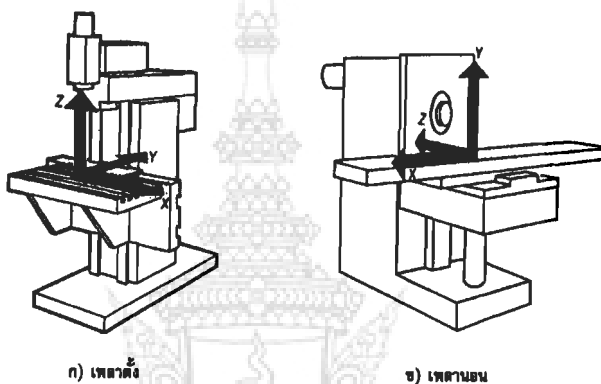
## 2.3 เครื่องจักรอัตโนมัติ

### 2.3.1 ความหมายของซีเอ็นซี

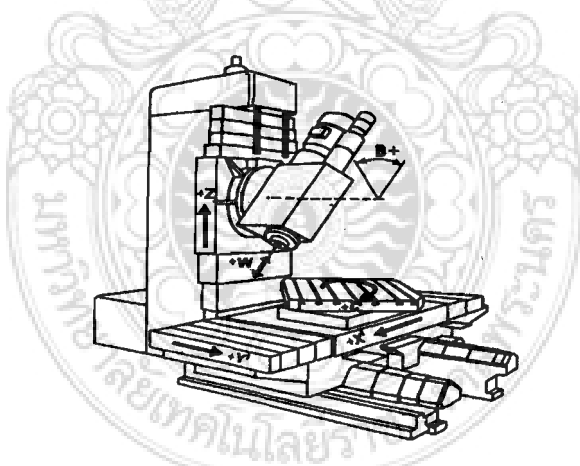
CNC ย่อมาจากคำว่า Computerized Numerical Control ระบบควบคุมซีเอ็นซีนี้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปภายในระบบ ทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซี และประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล

### 2.3.2 เครื่องกัดเอ็นซี (NC Milling Machines)

เครื่องกัดเอ็นซีเป็นเครื่องจักรกลประเภทหนึ่งที่มีขอบข่ายการทำงานค่อนข้างกว้าง กล่าวคือ นอกจากจะสามารถทำงานกัดเช่นเดียวกับเครื่องกัดทั่วไปแล้ว ยังสามารถทำงานอื่น ๆ เช่น เจาะรู ทำเกลียว คว้านรู ได้อีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องกัดเอ็นซีจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องกัดเอ็นซีเพลาตั้งและเครื่องกัดเอ็นซีเพลาอน ซึ่งขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งของเพลาหัวเครื่อง เครื่องกัดเอ็นซีจะมีแนวแกนการควบคุมตั้งแต่ 3 แกน 4 แกน 5 แกน และมากกว่า



รูปที่ 2.6 เครื่องกัดเอ็นซีแบบ 3 แกน



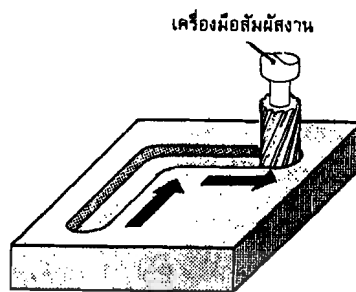
รูปที่ 2.7 เครื่องกัดเอ็นซีแบบ 5 แกน ที่เอียงเพลาได้และมีโต๊ะงานหมุน

### 2.3.3 ชนิดของการควบคุม (Control modes)

ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนที่ทำงานของแท่นเลื่อนต่าง ๆ ในเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี จะมีการเคลื่อนที่อยู่ 2 ลักษณะ คือ

2.3.3.1 การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear Interpolation หรือ Straight – Line Interpolation) การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ ระบบซีเอ็นซีจะคำนวณหาตำแหน่งจุดต่าง ๆ ที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ในแนวเส้นตรง ระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือ 2 ตำแหน่ง ในขณะที่เครื่องมือเคลื่อนที่จาก





รูปที่ 2.9 การควบคุมแบบเส้นตรง

3) การควบคุมตามเส้นขอบรูป (Contouring Controls) การควบคุมแบบนี้จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแบบเคลื่อนที่เร็วได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ขนานกับแนวแกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามค่าอัตราป้อนได้
- ควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใด ๆ บนชิ้นงานที่กำหนดในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งตามค่าอัตราป้อนได้



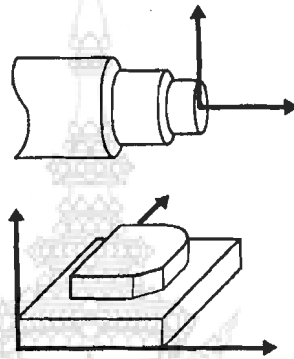
รูปที่ 2.10 การควบคุมเส้นขอบรูป

การควบคุมเส้นขอบรูปนี้ ยังสามารถแยกย่อยได้อีกเป็น 3 ระดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบควบคุม คือ ความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือได้ 2 หรือ 3 แกน พร้อม ๆ กัน โดยไม่คำนึงถึงว่าเครื่องจักรซีเอ็นซีนั้น ๆ จะมีกี่แนวแกน จุดสำคัญจะอยู่ที่ว่าจะสามารถควบคุมแนวแกนป้อนได้พร้อม ๆ กันกี่แนว ระดับความสามารถทั้งสามระดับของระบบควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

1) การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกน (2D Contouring Control) ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (Plane) ที่กำหนดเฉพาะได้ 2 แนวแกนพร้อม ๆ กัน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวเส้นตรงและเส้นโค้ง แต่จะไม่สามารถ

เปลี่ยนระนาบในการทำงานได้ นั่นหมายความว่า 2 แนวแกนที่เคลื่อนที่พร้อมกันกันได้นั้น จะถูกกำหนดตายตัวจากบริษัทผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแนวแกนได้

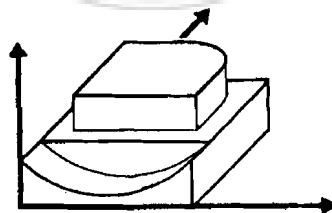
ถ้าเครื่องจักรกลซีเอ็นซีนั้นมี 3 แนวแกน และระบบควบคุมเป็นแบบการควบคุมตามเส้นขอบรูป 2 แกนแล้ว แนวแกนที่ 3 จะถูกควบคุมเป็นอิสระจาก 2 แนวแกนข้างต้น เช่น เครื่องกัด (Milling Machine) จะใช้แนวแกนหนึ่งสำหรับการเคลื่อนที่ป้อนกินลึก ส่วนอีก 2 แนวแกนจะใช้สำหรับการเดินกัดตามเส้นขอบรูป เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกน

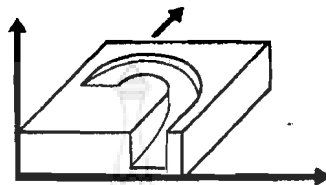
2) การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกนครึ่ง (2 ½ - D Contouring Control) ระบบควบคุมแบบนี้จะควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งบนระนาบใด ๆ ที่ต้องการได้ แต่จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้เพียง 2 แนวแกนพร้อมกันเท่านั้น

สำหรับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มี 3 แนวแกน คือ X, Y และ Z แนวแกนคู่ใดคู่หนึ่ง คือ X / Y หรือ Y / Z หรือ X / Z จะสามารถควบคุมให้เคลื่อนที่พร้อมกันได้ นั่นหมายความว่า สำหรับเครื่องกัด การเคลื่อนที่ป้อนกินลึก (In-Feed) สามารถทำในแนวแกนใด ๆ ได้ทั้ง 3 แนวแกน ส่วนอีก 2 แนวแกนที่เหลือจะใช้สำหรับเดินกัดตามเส้นขอบรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 2 แกนครึ่ง

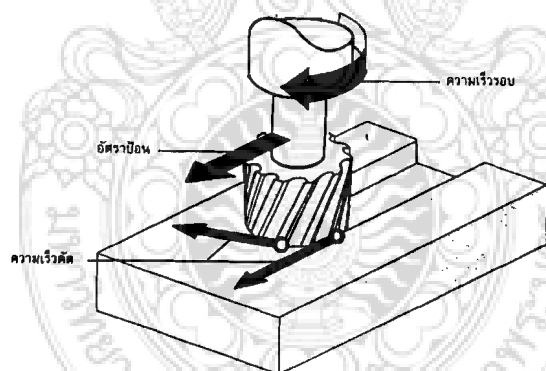
3) การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 3 แกน (3 – D Contouring Control) ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมเครื่องมือให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและแนวเส้นโค้งได้พร้อมกันทั้ง 3 แกน เป็นลักษณะ 3 มิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การควบคุมตามเส้นขอบรูปแบบ 3 แกน

การควบคุมตามเส้นขอบรูปจะสามารถใช้เป็นการควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรงได้ และการควบคุมการตัดเฉือนแนวเส้นตรงจะใช้เป็นการควบคุมแบบจุดต่อจุดได้ แต่ในทางกลับกันจะกระทำไม่ได้

#### 2.3.4 ความเร็วรอบและอัตราป้อน



รูปที่ 2.15 ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และอัตราป้อน

##### 2.3.5.1 ความเร็วรอบของมิลกัด

สามารถป้อนค่าในโปรแกรมเอ็นซีได้ดังนี้

- 1) ป้อนเป็นค่าความเร็วรอบโดยตรง หน่วยเป็น จำนวนรอบต่อนาที (r.p.m.)
- 2) ป้อนเป็นหมายเลขรหัส (Code Number) ซึ่งจะถูกแปลงเป็นขั้นความเร็วรอบต่าง ๆ กันที่ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนของเครื่องจักรมีให้เลือกใช้ได้ภายหลัง

ค่าความเร็วรอบที่เลือกใช้จะเป็นตัวกำหนดค่าความเร็วตัดในงานกัดด้วย ดังรูปที่ 2.24 ความเร็วตัดจะมีค่าเท่ากับความเร็วรอบของมิลกัด การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วตัดนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมิลกัดด้วย

กล่าวคือ ถ้าความเร็วรอบมีค่าสูงและมีดกัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโต จะเป็นผลให้ความเร็วตัดมีค่าสูงด้วย ในการป้อนค่าความเร็วรอบ จะต้องมั่นใจว่าได้กำหนดทิศทางการหมุนของเพลามีดกัดไว้ถูกต้องด้วย

#### 2.3.5.2 อัตราป้อน

อัตราป้อนเป็นการเคลื่อนที่ของมีดกัดในทิศทางทำงานตัดเฉือน (รูปที่ 2.25) โดยทั่วไปอัตราป้อนจะกำหนดเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อนาที นอกจากนี้ยังอาจกำหนดอัตราป้อนเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อรอบการหมุนของมีดกัด หรือต่อฟันมีดกัดได้

### 2.4 เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM)

#### 2.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องวัดพิกัด (CMM)

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้วัดระยะทางจะถูกเรียกชื่อว่า เครื่องวัดพิกัด (CMM) สามารถวัดได้พร้อมๆกันทั้ง 3 ระนาบ แบบคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate) ปกติจะประกอบไปด้วยแกนที่ขยับเคลื่อนได้ 3 แกนตั้งฉากซึ่งกันและกัน คือ แกน x,y,และz โดยมากแล้ว แกน z หรือ แกน y ( จะเรียกว่าRAM) จะถูกรองรับอีก 2 แกน ที่เหลือ โต๊ะแกน (RAM) จะนำเอาระบบโพรบ (หัวตรวจสอบ)ซึ่งประกอบด้วยตัวรับสัญญาณแบบสัมผัสหรือแบบไม่สัมผัส (ใช้แสง)

ค่าสเกลวัดในแต่ละแกนนั้นเป็นแบบดิจิทัลค่าความละเอียดในการวัดสูง (เช่น 0.1 ไมครอน) อย่างไรก็ตามเครื่องวัดพิกัดที่ใช้มากที่สุดจะออกแบบเป็นแบบ Bridge - Type และแนวนอน (Horizontal – Arm)โดยเครื่องวัดพิกัด (CMM) จัดหมวดหมู่ได้ดังนี้

- เครื่องวัดทำงานโดยมือในแต่ละแกนหรือหัวตรวจสอบ
- เครื่องวัดขยับเคลื่อนโดยมอเตอร์ขับเคลื่อนและทำงานโดยมือบังคับ (Joysticks)
- เครื่องวัดขยับเคลื่อนโดยมอเตอร์ขับเคลื่อนและควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC Mode)

คุณลักษณะพื้นฐานของ CMM ก็คือการวัดด้านการควบคุมด้วยมือด้วย หัววัดจุดต่อจุด โดยใช้หัววัด Stylus กับหัวสัมผัสทับทิมทรงกลมและในขณะที่มีหัววัดสัมผัสชิ้นงานนั้นในแต่ละแกน X, Y, Z ก็จะอ่านสเกลที่เคลื่อนไปเพื่ออ่านค่า ณ จุดศูนย์กลางของหัววัดแล้วส่งค่าข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมการวัดอยู่

## 2.5 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

### 2.5.1 ความหมายของสถิติ

คำว่าสถิติ (Statistics) มีรากศัพท์มาจากคำว่า State มีความหมายขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้ โดยความหมายแรกจะเน้นในเรื่องของข้อมูล ซึ่งหมายถึงตัวเลขที่ได้จากการเก็บรวบรวมขึ้นโดยวิธีการทางสถิติเพื่อวัตถุประสงค์โดยเฉพาะ และได้ทำการประมวลผลข้อมูลขั้นต้น เช่น ทำการอธิบายตัวเลขในเชิงข้อความหรือในเชิงตัวเลข เช่น อธิบายในเชิงบรรยายหรือร้อยละ หรืออธิบายโดยการนำเสนอเป็นรูปภาพหรือกราฟในรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับนักธุรกิจสถิติอาจจะหมายถึง ตัวเลขที่แสดงปริมาณการขายสินค้าหรือบริการและตัวเลขที่แสดงกำไรในการดำเนินธุรกิจในรอบ 1 ปี เป็นต้น สำหรับนักบริหารการศึกษา สถิติอาจจะหมายถึง ตัวเลขที่แสดงจำนวนนักศึกษาในแต่ละปี หรือตัวเลขแสดงคะแนนสอบ เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่าคำว่าสถิติมีความหมายหลากหลายมาก

สถิติในความหมายที่สอง จะหมายถึงศาสตร์ที่ว่าด้วยหลักการและระเบียบวิธีการทางสถิติทั้งหมด ซึ่งเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดข้อมูลเป็นหมวดหมู่ การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลความหมายและการสรุปผลข้อมูล เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล เนื่องจากบางครั้งหากได้ทำการศึกษาข้อมูลบางอย่าง เมื่อต้องการหาข้อสรุปหรือต้องการตัดสินใจจากข้อมูลนั้น หากได้นำหลักและทฤษฎีทางด้านสถิติมาช่วยในการพิจารณา จะทำให้การตัดสินใจผิดพลาดน้อยและเป็นที่น่าเชื่อถือของคนทั่วไป

### 2.5.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) หรือมัชฌิมเลขคณิต เรียกสั้น ๆ ว่า ค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นการหาค่ากลางของข้อมูลที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นการหาค่ากลางที่ใช้ข้อมูลทุกค่า จึงเป็นค่าที่น่าเชื่อถือ วิธีการหาจะทำโดยการนำเอาข้อมูลทั้งหมดมาหาผลรวม แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าเฉลี่ยมี 2 สัญลักษณ์ โดยถ้าเป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่รวบรวมจากทุกหน่วยในประชากรที่สนใจจะศึกษาจะเรียกว่า ค่าเฉลี่ยประชากร (Population Mean) แทนสัญลักษณ์ด้วยอักษรกรีกคือ  $\mu$  (อ่านว่ามิว) แต่ถ้าเป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่างจะเรียกว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample Mean) แทนสัญลักษณ์ด้วย  $\bar{X}$  (อ่านว่า X บาร์) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

กรณีที่ไม่ได้จัดข้อมูลเป็นหมวดหมู่

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

เมื่อ  $N$  คือจำนวนประชากรทั้งหมด

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{n}$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่สุ่มมาจากประชากร

ดังนั้นจะพบว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรและค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจะคำนวณเหมือนกัน การใช้สัญลักษณ์ต่างกันก็เพื่อแยกความแตกต่างให้ทราบว่า เป็นค่าที่คำนวณจากข้อมูลทั้งหมดหรือคำนวณจากข้อมูลบางส่วน

### 2.5.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ( Tests of Statistical Hypotheses )

#### 2.5.3.1 ความสำคัญของการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เป็นระเบียบวิธีทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจว่าค่าสถิติที่คำนวณจากตัวอย่างนั้นสามารถใช้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากประชากรได้หรือไม่ ตัวอย่าง เช่น ถ้าเราต้องการทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อหนึ่งมีค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานมากกว่า 4 ปีหรือไม่ ในทางปฏิบัติเราอาจไม่สามารถตรวจสอบอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้ทั้งหมดได้ ดังนั้นจะทำการสุ่มตรวจสอบเพียงบางเครื่องเพื่อศึกษาอายุการใช้งาน ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจะต้องผ่านขั้นตอนของการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วจึงสรุปผลออกมาในลักษณะของค่าประชากร คือสรุปผลครอบคลุมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้ทั้งหมด โดยสมมติฐานคือข้อความที่เกี่ยวข้องกับประชากรที่เราสงสัยว่าเป็นจริง ในที่นี้สมมติฐานคือ ค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้มากกว่า 4 ปี ขั้นตอนของการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาข้อสรุปว่าสมมติฐานนี้เป็นจริงหรือไม่จะเรียกว่าการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่สำคัญที่จะกล่าวในบทนี้ ได้แก่ การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร การทดสอบค่าสัดส่วนประชากร การทดสอบผลต่างระหว่างค่าสัดส่วนประชากร การทดสอบค่าความแปรปรวนของประชากร และการทดสอบอัตราส่วนระหว่างค่าความแปรปรวนประชากร โดยการทดสอบสมมติฐานมีความรู้ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การตั้งสมมติฐานในการทดสอบ
2. ความผิดพลาดในการทดสอบกับการกำหนดระดับนัยสำคัญ
3. เกณฑ์ในการยอมรับและการปฏิเสธสมมติฐาน

#### 2.5.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานสามารถดำเนินการตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งสมมติฐานการทดสอบคือ  $H_0$  คู่กับ  $H_1$  โดยตั้งในรูปของสัญลักษณ์หรือข้อความก็ได้
2. กำหนดระดับนัยสำคัญในการทดสอบ
3. เลือกตัวสถิติในการทดสอบที่ตรงกับลักษณะการแจกแจงของค่าสถิติที่ต้องการทดสอบ และหาค่าวิกฤตโดยการเปิดตารางจากการแจกแจงที่ตรงกัน
4. คำนวณค่าสถิติทดสอบตามสูตรที่เลือกในขั้นตอนที่ 3
5. สรุปผลการทดสอบ โดยการ นำค่าสถิติที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 4 ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในขั้นตอนที่ 3 หากค่าสถิติที่คำนวณตกอยู่ในบริเวณการยอมรับ  $H_0$  ก็จะตัดสินใจยอมรับ  $H_0$  แต่ถ้าค่าสถิติคำนวณตกอยู่ในบริเวณการปฏิเสธ  $H_0$  ก็จะตัดสินใจปฏิเสธ  $H_0$

#### 2.5.4 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  จะมีสมมติฐานที่เป็นไปได้ 3 แบบ เช่นเดียวกับกรณีที่ทราบค่าความแปรปรวน  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  คือ

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| แบบที่ 1 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$       |
|          | $H_1: \mu_1 < \mu_2$ หรือ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$       |
| แบบที่ 2 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$       |
|          | $H_1: \mu_1 > \mu_2$ หรือ $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$       |
| แบบที่ 3 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$       |
|          | $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ หรือ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

แต่สถิติที่ใช้ในการทดสอบจะแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ( $n_1$  และ  $n_2 \geq 30$ )

ในกรณีนี้ จะประมาณค่าความแปรปรวนของประชากร  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ด้วยความแปรปรวนของตัวอย่างคือ  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  ตามลำดับ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบ คือ

แบบที่ 1 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< -Z_\alpha$  จากตาราง

แบบที่ 2 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $> Z_\alpha$  จากตาราง

แบบที่ 3 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< -Z_{\alpha/2}$

หรือค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูล ตัวอย่าง  $> Z_{\alpha/2}$  จากตาราง

กรณีที่ 2 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) และทราบค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$

ในกรณีนี้การประมาณค่า  $\sigma^2$  จะคำนวณจากค่า  $S_p^2$  โดย

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

โดย  $T$  จะมีการแจกแจงแบบ  $t$  ด้วยองศาความเป็นอิสระเท่ากับ  $n_1 + n_2 - 2$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบ จะเหมือนกรณีที่ 1 แต่การแจกแจงจะเปลี่ยนจาก  $z$  เป็น  $t$

กรณีที่ 3 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) และทราบค่า  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ในกรณีนี้ จะประมาณค่าความแปรปรวนของประชากร  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ด้วยความแปรปรวนของตัวอย่าง  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  ตามลำดับ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

โดย  $T$  มีการแจกแจงแบบ  $t$  ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ  $V$  กำหนดโดย

$$V = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบจะเหมือนกรณีที่ 1 แต่การแจกแจงจะเปลี่ยนจาก  $z$  เป็น  $t$

### 2.5.5 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราความแปรปรวน 2 ประชากร

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราส่วนความแปรปรวนของ 2 ประชากร หมายถึงการทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของ 2 ประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ควรนำการทดสอบนี้มาใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร โดยในกรณีที่ไม่นำทราบค่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากร และตัวอย่างที่สุ่มมีขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) นั้น จำเป็นต้องทราบก่อนว่าค่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากรเท่ากันหรือไม่ จึงจะสามารถเลือกใช้สถิติทดสอบได้ถูกต้อง ดังนั้นจะสามารถใช้ความรู้ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบสมมติฐานได้ว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากรเท่ากันหรือไม่ เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด  $n_1$  และ  $n_2$  จาก 2 ประชากรอย่างอิสระกัน โดยแต่ละประชากรมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ตามลำดับแล้ว กำหนดให้  $s_1^2$  และ  $s_2^2$  คือความแปรปรวนของตัวอย่างจากตัวอย่างสุ่มขนาด  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ สมมติฐานการทดสอบโดยทั่วไปจะมี 3 รูปแบบ คือ

แบบที่ 1  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 < 1$

แบบที่ 2  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 > 1$

แบบที่ 3  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  หรือ  $H_1: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

โดยที่  $S_1^2 > S_2^2$  และ  $df. = (V_1, V_2) = (n_1 - 1, n_2 - 1)$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของ  
 สมมติฐานแต่ละรูปแบบคือ

แบบที่ 1 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $> f_{1-\alpha}$  จากตาราง

แบบที่ 2 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $> f_{\alpha}$  จากตาราง

แบบที่ 3 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< f_{1-\alpha/2}$

หรือค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูล ตัวอย่าง  $> f_{\alpha/2}$  จากตาราง

เมื่อ  $f_{\alpha/2}$  หมายถึง  $f_{\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$  และ  $f_{1-\alpha/2}$  หมายถึง  $f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$   
 ซึ่งเป็นค่าวิกฤตด้านบนและค่าวิกฤตด้านล่างตามลำดับจากตารางการแจกแจงแบบ  $f$  ตารางที่ ง ใน  
 ภาคผนวก และการหาค่า  $f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$  หาได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)} = \frac{1}{f_{\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}}$$

## บทที่ 3

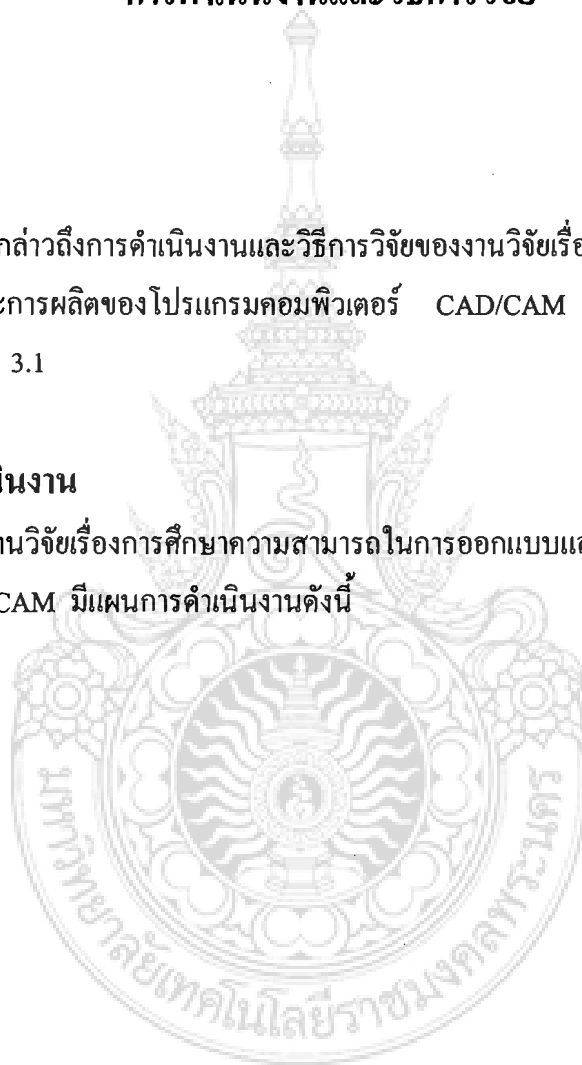
### การดำเนินงานและวิธีการวิจัย

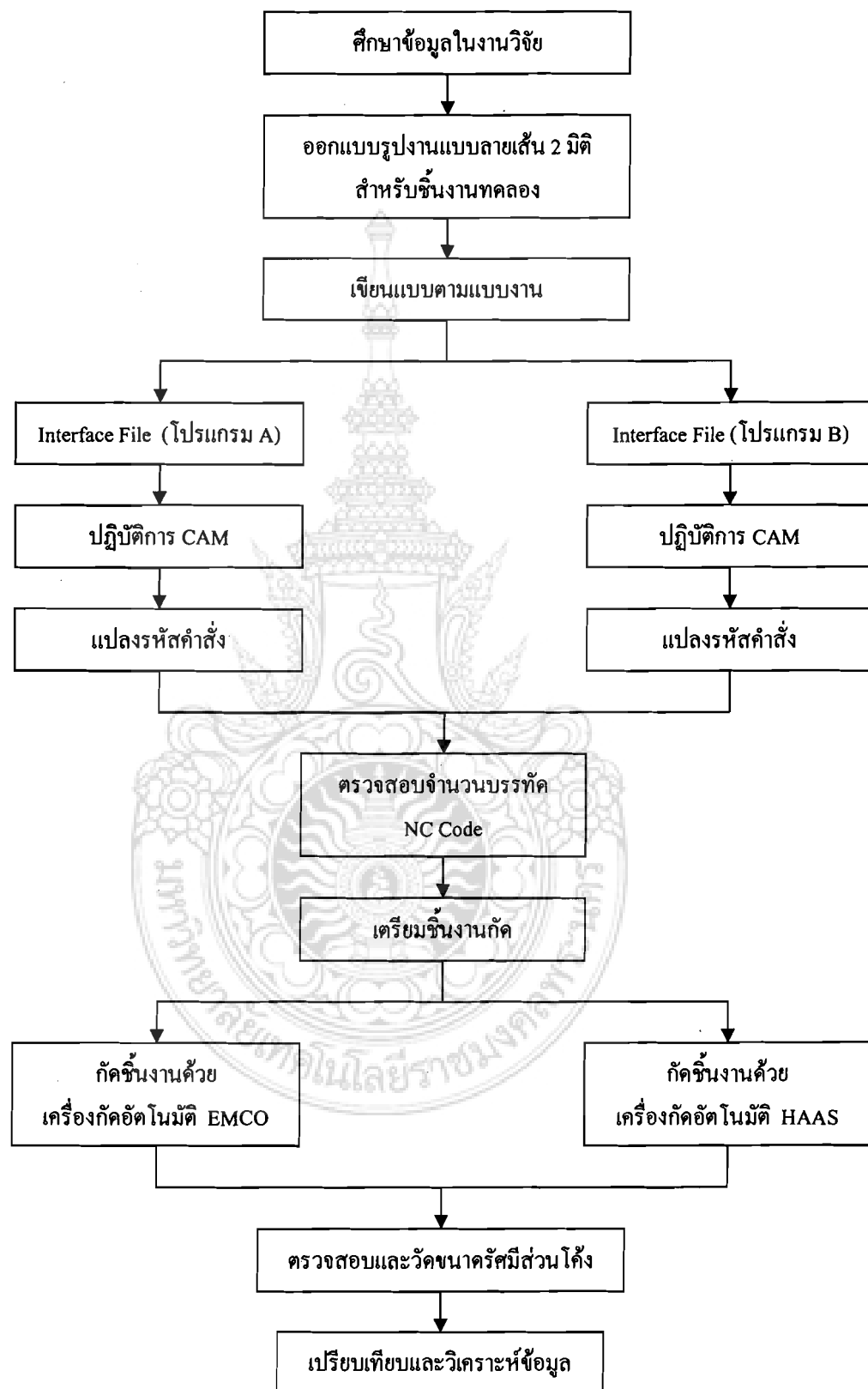
#### 3.1 คำนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานและวิธีการวิจัยของงานวิจัยเรื่องการศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM โดยมีการดำเนินงานและวิธีการวิจัยตามรูปที่ 3.1

#### 3.2 แผนการดำเนินงาน

ในการทำงานวิจัยเรื่องการศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM มีแผนการดำเนินงานดังนี้





รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.2.1 ศึกษาข้อมูลในงานวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินงานนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการวิจัยดังนี้

3.2.1.1 ศึกษาโปรแกรม AutoCAD 2002 โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม และความสามารถของโปรแกรม

3.2.1.2 ศึกษาการ Interface File ของโปรแกรม AutoCAD 2002 เข้าสู่โปรแกรม A และ โปรแกรม B

3.2.1.3 ศึกษาทฤษฎีของเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) และการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC)

3.2.1.4 ศึกษาขั้นตอนการ Postprocessor File จากโปรแกรม A และ โปรแกรม B

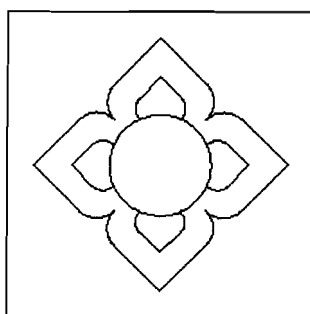
3.2.1.5 ศึกษาทฤษฎีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต

3.2.1.6 ศึกษาสถิติที่ใช้ในการวิจัย

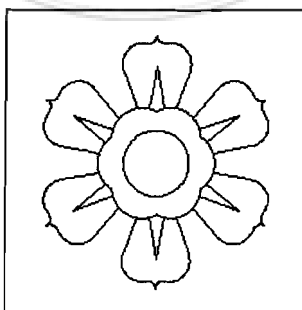
3.2.1.7 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ในการวัดขนาดชิ้นงาน

### 3.2.2 ออกแบบรูปงาน

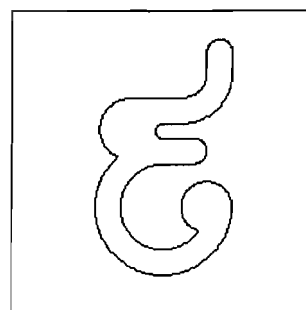
ในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม AutoCAD 2002 ในการออกแบบรูปที่ใช้ในการวิจัยเนื่องจากว่าโปรแกรม AutoCAD 2002 นั้นมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เหตุผลที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้รูปลายไทยในการวิจัย เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ต้องการหาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD /CAM ซึ่งลายไทยเป็นลวดลายที่สวยงามและมีลายเส้นเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง ซึ่งในการก่อกำหนดงานในงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่มีการก่อกำหนดเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง ซึ่งทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าเหมาะสมแก่การนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ลายที่นำมาใช้ในการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.2



ลายกระจัง



ลายดอกจอก



ลายเถาไทย

รูปที่ 3.2 ลักษณะรูปลายไทยที่ใช้ในการวิจัย

จะเห็นว่ารูปทั้ง 3 ลักษณะงาน นั้นจะมีความยากและง่ายแตกต่างกันออกไป โดยลายกระจิงจะเป็นรูปที่เขียนง่ายที่สุดเนื่องจากมีส่วนโค้งน้อย ลายดอกจอกจะมีความยากมากกว่าลายกระจิงเพราะมีโค้งมากกว่าทำให้ต้องใช้ทักษะและเทคนิคในการใช้โปรแกรม AutoCAD มากกว่ารูปกระจิง และรูปเลขเก้าไทยนั้นมีความยากที่สุดเพราะมีส่วนโค้งมากจำเป็นต้องใช้ทักษะในการอ่านแบบงานและการใช้โปรแกรม AutoCAD มาก ซึ่งสาเหตุที่ทางคณะผู้วิจัยใช้ทั้ง 3 ลักษณะงาน ในงานวิจัยนี้ ก็เพราะว่าต้องการให้ลักษณะงานที่ใช้ในงานวิจัยนั้นมีความยากและง่ายในการเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (AutoCAD 2002) แตกต่างกันไป

### 3.2.3 เขียนแบบตามแบบงาน

ในส่วนของขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนผู้ร่วมทดสอบเป็น จำนวน 10 คน โดยได้ทำการแบ่งระดับของผู้ร่วมทดสอบ ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

3.2.3.1 ผู้เชี่ยวชาญในด้านการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์จำนวน 5 คน โดยกำหนดคุณสมบัติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญดังนี้

- ทำงานในด้านเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในด้านงานเขียนแบบชิ้นส่วนเครื่องกลหรือแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2002 หรือเวอร์ชันที่สูงกว่าไม่น้อยกว่า 3 ปี

- ถ้าหากไม่ได้ทำงานทางด้านเขียนแบบจะต้องเป็นอาจารย์ที่สอนการเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย AutoCAD 2002 หรือเวอร์ชันที่สูงกว่าไม่น้อยกว่า 5 ปี

3.2.3.2 ผู้ที่มีพื้นฐานในการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์จำนวน 5 คนโดยกำหนดคุณสมบัติของกลุ่มผู้มีพื้นฐานดังนี้

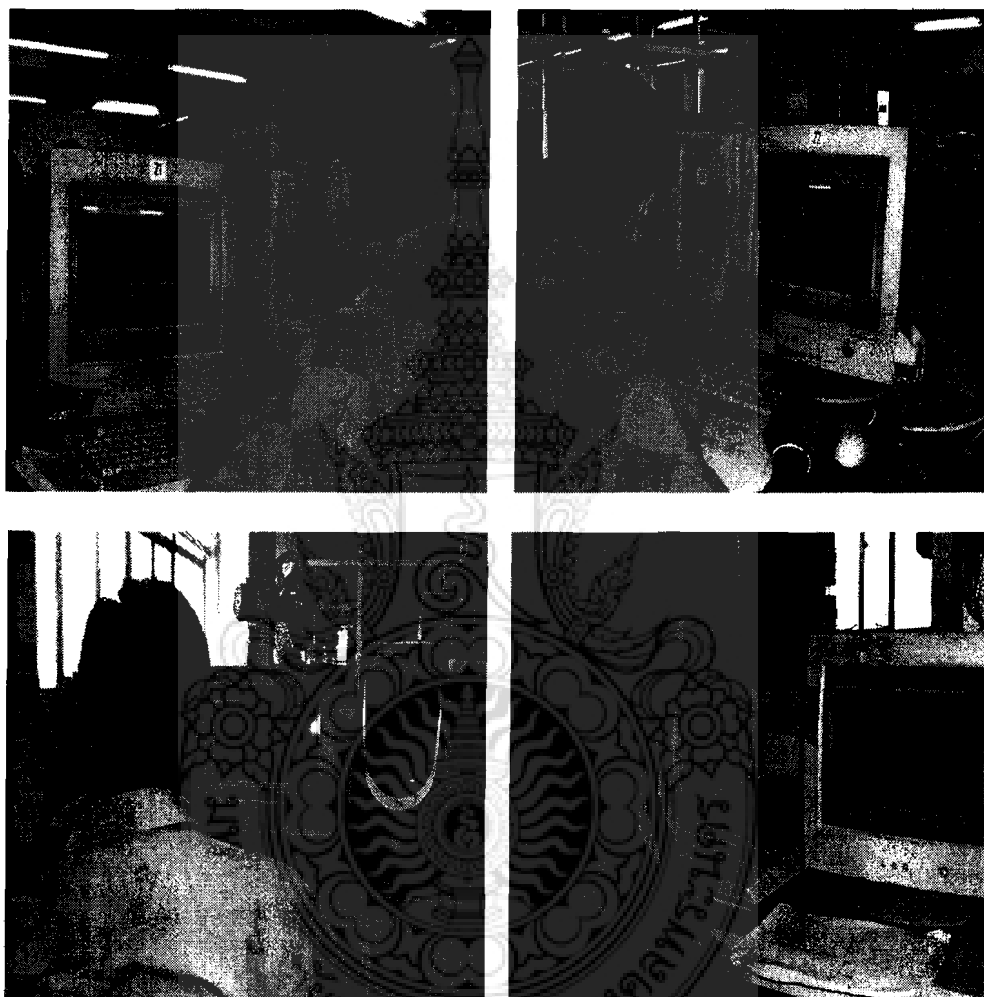
- เป็นนักศึกษาที่ ผ่านการศึกษาไม่น้อยกว่าหนึ่งภาคเรียน ในวิชาการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AutoCAD 2002 หรือเวอร์ชันที่สูงกว่า

เมื่อได้ผู้ร่วมทดสอบครบตามจำนวนแล้ว ทางผู้วิจัยจึงได้ตั้งรหัสของผู้ร่วมทดสอบขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวกในงานวิจัย โดยรหัสแสดงดังต่อไปนี้

X – X – X – XXX – X

- หลักที่ 1 หมายถึง โปรแกรมที่ใช้กักงาน
- หลักที่ 2 หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้กักงาน
- หลักที่ 3 หมายถึง ประเภทของผู้ร่วมทดสอบ
- หลักที่ 4 หมายถึง ชื่อของผู้ร่วมทดสอบ
- หลักที่ 5 หมายถึง รูปที่กักงาน

หลังจากกำหนดรหัสชิ้นงานแล้วทางผู้วิจัยได้นำลายไทยทั้ง 3 ลักษณะงาน ตามที่ได้ออกแบบไว้ นำมาให้ผู้ร่วมทดสอบทำการเขียนด้วยโปรแกรม AutoCAD 2002 ซึ่งแบบงานที่ใช้ในการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์สามารถดูได้ที่ภาคผนวก



รูปที่ 3.3 รูปผู้ร่วมทดสอบขณะทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2002

จากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างรูปถ่ายของผู้ร่วมทดสอบขณะทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2002 โดยทำการทดลองที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล หลังจากผู้ร่วมทดสอบเขียนรูปตามแบบงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยต้องทำการตรวจสอบขนาดของรูปที่ผู้ร่วมทดสอบเขียนขึ้นว่า ถูกต้องครบถ้วนตรงตามที่แบบงานกำหนดหรือไม่ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปและขนาดต่าง ๆ ของรูปที่ผู้ร่วมทั้ง 2 กลุ่มเขียนขึ้นตามแบบงานที่แสดงในภาคผนวก

ความถูกต้องของรูปที่ผู้ร่วมทดสอบมีความสำคัญในงานวิจัยนี้ เนื่องจากว่าหากรูปของผู้ร่วมทดสอบมีขนาดผิดพลาดจากที่แบบงานกำหนดจะส่งผลให้ค่าที่ได้จากการตรวจสอบขนาดผิดไปจากที่คณะผู้วิจัยกำหนด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องทำการตรวจสอบขนาดของรูปทั้ง 3 ตามแบบงานเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด

### 3.2.4 ทำการ Interface File

ขั้นตอนนี้เป็นการนำไฟล์จากโปรแกรม AutoCAD 2002 ทั้ง 30 ไฟล์ของผู้ร่วมทดสอบที่ได้ทำการตรวจสอบแล้วมาทำการ Interface File เข้าสู่โปรแกรม A จำนวน 30 ไฟล์ และ โปรแกรม B จำนวน 30 ไฟล์ ในการ Interface File แต่ละโปรแกรมนั้นจะต้องทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน มีขั้นตอนเหมือนกัน จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดและความถูกต้องของรูปที่ทำการ Interface File ไปยังโปรแกรม A และโปรแกรม B อีกครั้งหนึ่ง

### 3.2.5 ปฏิบัติการ CAM ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและขนาดต่าง ๆ ของงานแล้ว จึงปฏิบัติการ CAM ด้วยโปรแกรม A และโปรแกรม B เงื่อนไขในการทำ CAM นั้น ชิ้นงานเดียวกันจะใช้เงื่อนไขเดียวกันทุกขั้นตอน ในขั้นตอนนี้จะได้ ไฟล์งานรวมทั้งหมด 60 ไฟล์งาน

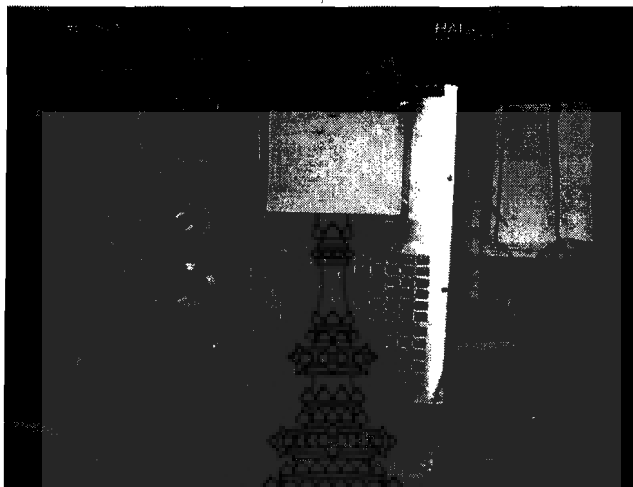


รูปท 3.4 แสดงภาพ Simulate ของโปรแกรม A และ B

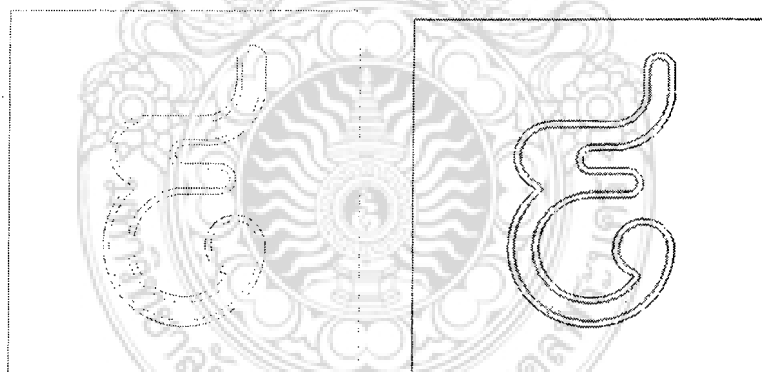
### 3.2.6 ทำการแปลงรหัสคำสั่ง ( Postprocessor)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำไฟล์ที่ได้ทำการ CAM แล้วทั้งจากโปรแกรม A และโปรแกรม B มาทำการ Postprocessor เพื่อให้ไฟล์ที่ได้ทำการ CAM แล้วนั้น ส่งข้อมูลออกมาเป็น

NC Code เพื่อนำมาทำการกัดงาน โดยจะทำการ Postprocessor NC Code ที่ได้จากทั้ง 2 โปรแกรมเข้าเครื่องกัดอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 ทำการ Postprocessor File เข้าเครื่องจักรอัตโนมัติ



รูปที่ 3.6 แสดง Tool paths ของโปรแกรม A และ B

### 3.2.7 ตรวจสอบ จำนวนบรรทัดของ NC Code

นำ NC Code ที่ได้จากการ Postprocessor จากโปรแกรม A และ B แต่ละลักษณะงานมาตรวจสอบและทำการนับจำนวนบรรทัดของ NC Code เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

### 3.2.8 เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุทองเหลือง ขนาด 60 x 60 x 12 mm เป็นวัสดุที่ใช้ในการวิจัย เนื่องจากว่าทองเหลืองเป็นโลหะที่ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมมากที่สุด โลหะหนึ่งในจำพวกโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ซึ่งในขั้นตอนเตรียมชิ้นงานนั้น ต้องตัดทองเหลืองให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการดังรูปที่ 3.4 ทองเหลืองที่ตัดเสร็จแล้วพร้อมที่นำไปกัดให้ได้ขนาด มีลักษณะดังรูปที่ 3.8 จากนั้นจึงนำไปทำการกัดด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติให้มีขนาดตามที่กำหนดดังรูปที่ 3.9 ซึ่งทองเหลืองที่ทำการกัดให้มีขนาดตามที่กำหนด มีลักษณะดังรูปที่ 3.10

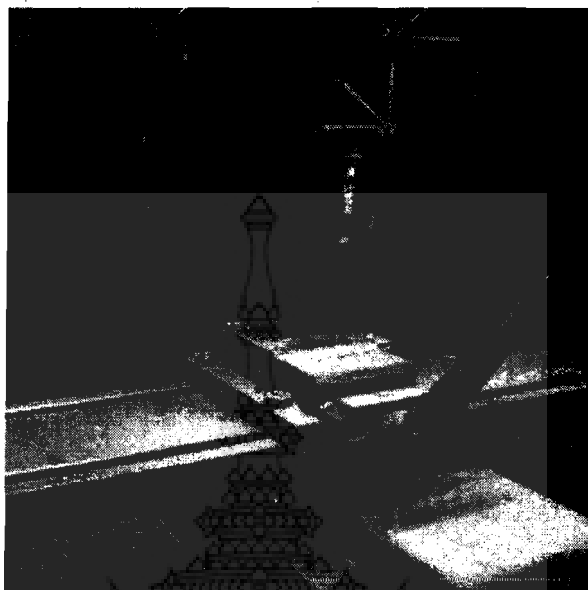


รูปที่ 3.7 ทำการตัดวัสดุทองเหลืองที่ใช้ในการวิจัยด้วยเครื่องเลื่อยอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.4 เนื่องจากทองเหลืองที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวน 120 ชิ้น ดังนั้นผู้วิจัยต้องตัดทองเหลืองด้วยเครื่องเลื่อยแบบอัตโนมัติให้ได้ครบตามจำนวน โดยตัดทองเหลืองให้มีขนาดใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้

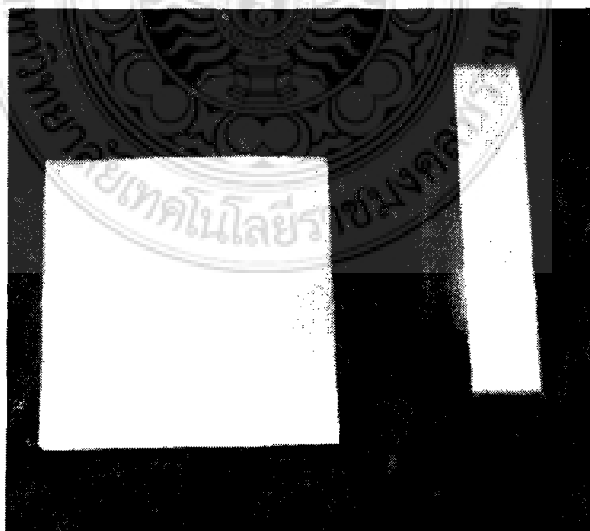


รูปที่ 3.8 ทองเหลืองที่ตัดเสร็จแล้วพร้อมไปทำการกัดขึ้นรูปเพื่อให้ได้ขนาดตามที่กำหนด



รูปที่ 3.9 กัดทองเหลืองด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติให้ได้ตามขนาดที่กำหนด

จากรูปที่ 3.9 เป็นรูปขณะกำลังกัดทองเหลืองด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติเพื่อให้ได้ตามขนาดที่กำหนดคือ 60 x 60 x 12 mm



รูปที่ 3.10 ทองเหลืองที่กัดได้ตามขนาดที่กำหนดพร้อมนำไปใช้ในงานวิจัย

### 3.2.9 กัดงานด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

เมื่อทำการ Postprocessor File เข้าเครื่องกัดอัตโนมัติแล้ว จึงทำการกัดงานโดยเครื่องกัดอัตโนมัติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เครื่อง EMCO จำนวน 60 ชิ้น และ เครื่อง HAAS รุ่น VF - 3 จำนวน 60 ชิ้น ในขณะที่ทำการกัดจะทำการจดบันทึกเวลาที่ใช้ในการกัดชิ้นงานแต่ละชิ้นด้วย



รูปที่ 3.11 เครื่องกัดอัตโนมัติ EMCO



รูปที่ 3.12 เครื่องกัดอัตโนมัติ HAAS รุ่น VF - 3

จะทำการกัดงานทั้งสองหน้าเพื่อเป็นการประหยัดวัสดุและสะดวกในการขนย้าย โดยจะทำการกัดงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกันทั้งหมดมีดังนี้

- กัดในแนว 2 แกนครึ่ง (2 ½ - D)
- ความลึกที่กัดลงไปคือ 0.5 mm
- ไม่ใช้สารหล่อเย็นในการกัดงาน
- เครื่องมือตัด 1 ตัวใช้กัดชิ้นงาน 5 ชิ้น
- เครื่อง EMCO ใช้ความเร็วรอบ 2000 rpm อัตราป้อน 36 mm / min
- เครื่อง HAAS ใช้ความเร็วรอบ 5600 rpm อัตราป้อน 81 mm / min
- เครื่องมือตัดที่ใช้ คือ Flat Endmill HSS CO8% 2 คมตัด ขนาด 2 mm

โดยการกัดงานนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ใช้เครื่องกัดอัตโนมัติจากสถานที่ดังต่อไปนี้

- เครื่องกัดอัตโนมัติ EMCO จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- เครื่องกัดอัตโนมัติ HAAS รุ่น VF-3 จาก บริษัท เอ็น ทู เอ็น อินเตอร์

โมลด์ จำกัด



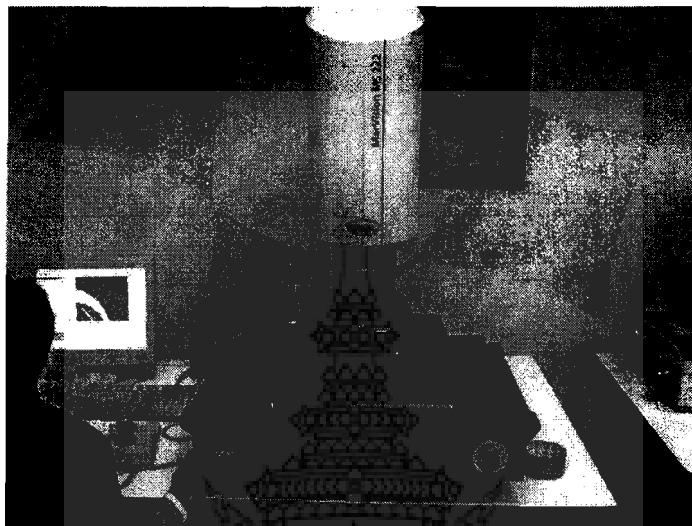
รูปที่ 3.13 เครื่องกัดอัตโนมัติขณะทำการกัดชิ้นงาน

### 3.2.10 ตรวจสอบและวัดขนาดรูปที่กัด

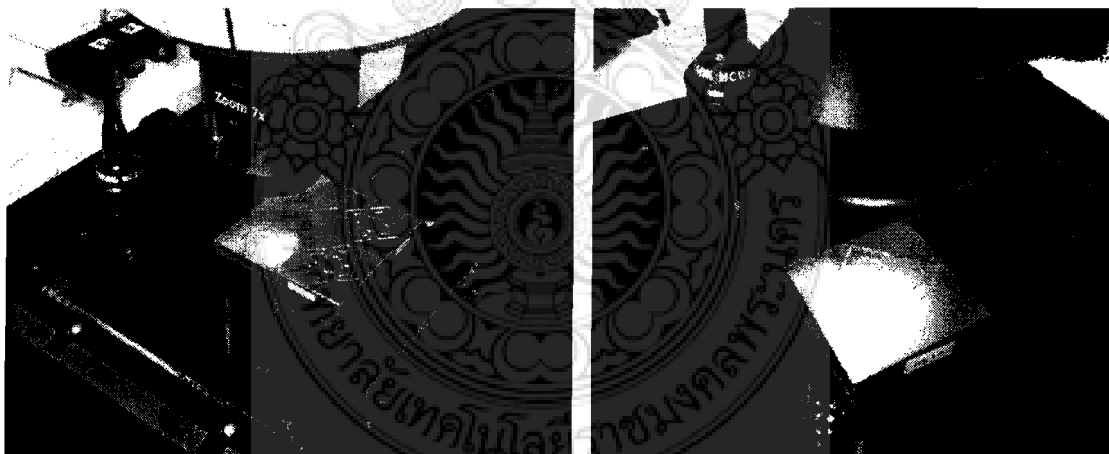
การวัดขนาดของชิ้นงานที่ทำการกัดเสร็จแล้วนั้นใช้เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ในการตรวจสอบและวัดขนาด เนื่องจากงานที่กัดออกมานั้นเป็นการกัดตามลายเส้น (Contour) ดังนั้นเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับการตรวจสอบและวัดขนาด งานที่กัดตามลายเส้น (Contour) ก็คือ เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ดังแสดงในรูปที่ 3.14

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำชิ้นงานที่ทำการกัดเสร็จแล้ว มาทำการวัดขนาดด้วยเครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) แบบไม่สัมผัส ยี่ห้อ Mahr รุ่น MarVision MS 222 ซึ่งจุดที่ทำการวัดขนาดนั้นทางคณะผู้วิจัยได้กำหนดให้วัดเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ส่วนโค้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับขนาดที่ได้กำหนดไว้ ว่าขนาดที่กัดด้วย NC Code ของโปรแกรม A หรือ โปรแกรม B มีขนาดแตกต่างไปจากขนาดที่กำหนดมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.14 เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) แบบไม่สัมผัส

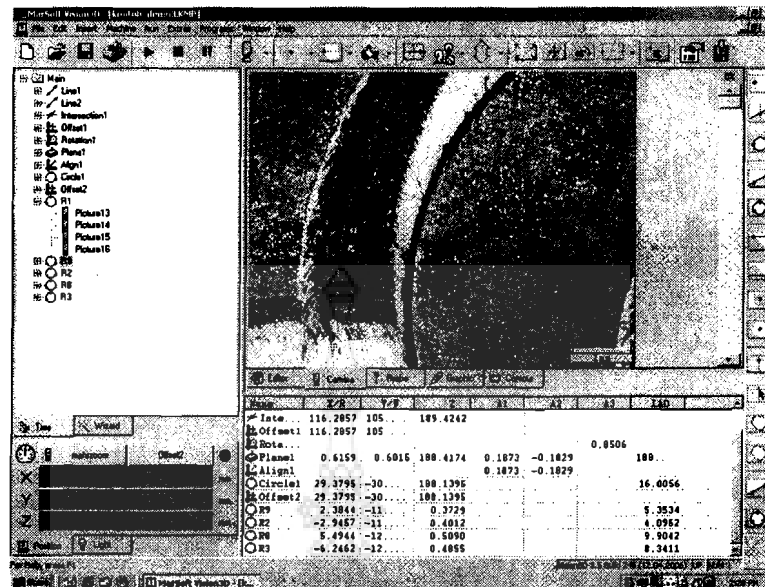


รูปที่ 3.15 ขณะเครื่อง CMM กำลังปรับแสงเพื่อที่จะวัดขนาดชิ้นงาน

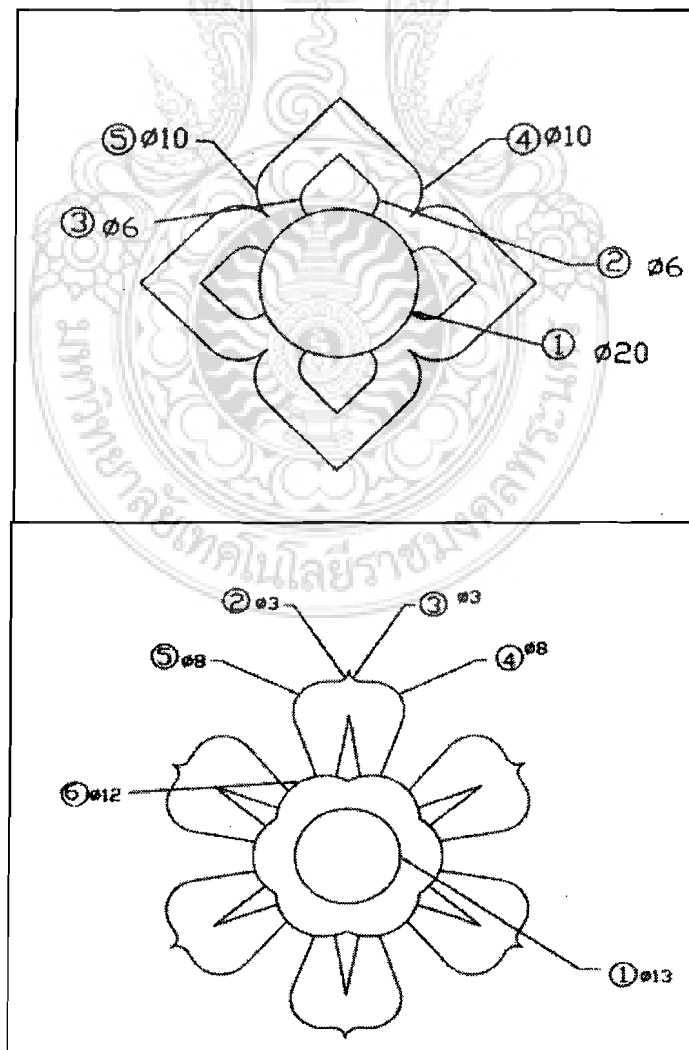
วิธีการตรวจสอบและวัดขนาดมีดังนี้

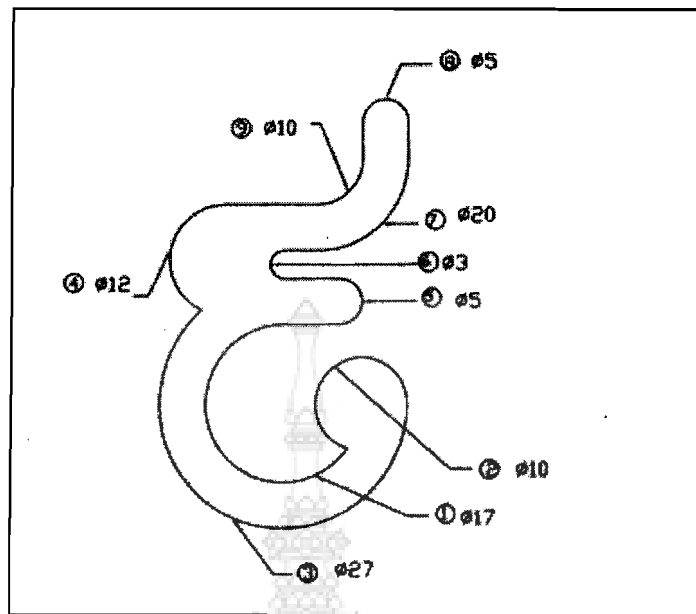
- เขียน Part Program ของชิ้นงานที่ต้องการวัดขนาด
- นำชิ้นงานมาวางที่โต๊ะงาน
- เลือกมุมของชิ้นงานด้วยโปรแกรม Marsoft Vision 3 D เพื่อให้เครื่อง CMM รู้ถึงความกว้างและความยาวของชิ้นงาน
- ปรับระนาบ (Plane) ของชิ้นงาน ด้วยโปรแกรม Marsoft Vision 3D





รูปที่ 3.18 เครื่อง RUN Part Program ที่ได้ทำการเขียนไว้แล้วเพื่อทำการวัดขนาด





รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งจุดวัดตรวจสอบขนาดของชิ้นงานกัก

### 3.2.11 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ผลการทดลองในงานวิจัย คือ เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการกัดงาน ขนาดที่  
 และชิ้นงานได้จริง และจำนวนบรรทัดของ NC Code ทางคณะผู้วิจัยจึงนำผลการทดลองที่กล่าวมาใน  
 ข้างต้นทำการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่ได้นั้น มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาทำ  
 การเปรียบเทียบโดยดูจากแนวโน้มและทดสอบค่าทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบกันในด้านต่าง ๆ  
 ดังต่อไปนี้

#### 3.2.11.1 จำนวนบรรทัด NC Code

เมื่อได้ผลการทดลองในด้านนี้แล้วจึงทำการเฉลี่ยจำนวนบรรทัด NC  
 Code ของโปรแกรม A และ โปรแกรม B จึงนำค่าเฉลี่ยของ NC Code ของแต่ละรูปแต่ละโปรแกรม  
 มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาจำนวนบรรทัดของ NC Code ที่ทำการ Postprocessor จากโปรแกรม  
 ใดมีจำนวนน้อยกว่ากัน

#### 3.2.11.2 เวลาที่เครื่องใช้กัดงาน

ในผลการทดลองนี้ใช้เฉพาะเวลาที่เครื่องจักร HAAS ใช้ในการกัดงาน  
 จะนำเวลาที่ได้จากการใช้ NC Code จากโปรแกรม A และ โปรแกรม B มาเฉลี่ยแล้วนำเวลาที่ได้มา  
 เปรียบเทียบกันและทดสอบค่าทางสถิติ

### 3.2.11.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้งที่วัดได้จริง

ในการวิจัยจะใช้รูปในการทดลองทั้งหมด 3 ลักษณะงาน ซึ่งมีจุดที่ต้องการทำการวัดขนาดทั้งหมด 20 จุด เมื่อได้ผลการวัดขนาดมาแล้วเฉลี่ยค่าของขนาดที่วัดได้แล้วนำค่าเฉลี่ยของขนาดแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกันและทดสอบค่าทางสถิติ

### 3.2.12 สรุปผลการวิจัย

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาแล้ว จึงทำการสรุปข้อมูลที่ได้ออกมาเพื่อทราบถึงผลของการวิจัย ตามที่กำหนดไว้ตามวัตถุประสงค์



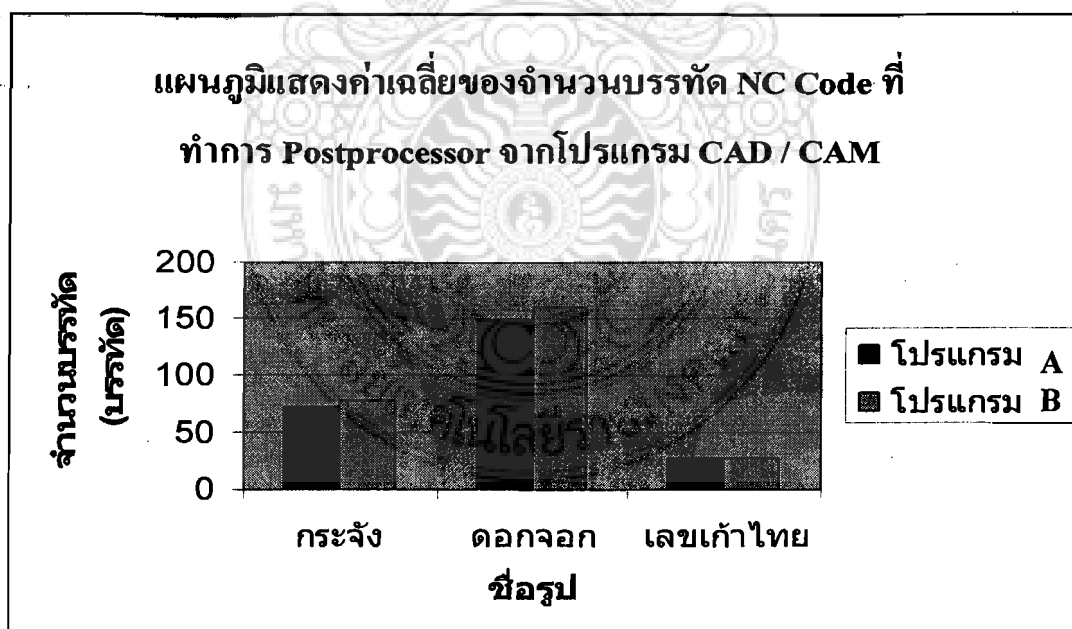
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยเรื่อง การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD / CAM ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

#### 4.1 จำนวนบรรทัดของ NC Code

ในการวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD / CAM ทางผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต (CAD / CAM) จำนวน 2 โปรแกรม ซึ่งเมื่อทำการ Post Processor ออกมาเป็น NC Code เพื่อนำ NC Code นั้นไปกัดงานโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติหือ EMCO และ HAASซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนบรรทัด NC Code ที่ทำการ Postprocessor จากโปรแกรม CAD / CAM

**ตารางที่ 4.1** จำนวนบรรทัดของ NC Code ของรูปที่ทำการ Post Processor จากโปรแกรม A และโปรแกรม B

| จำนวนบรรทัดของ NC Code |     |    |                    |     |    |
|------------------------|-----|----|--------------------|-----|----|
| Post จากโปรแกรม A      |     |    | Post จากโปรแกรม B  |     |    |
| 72                     | 148 | 27 | 76                 | 175 | 28 |
| 72                     | 148 | 27 | 76                 | 159 | 28 |
| 72                     | 148 | 28 | 76                 | 159 | 28 |
| 77                     | 147 | 28 | 75                 | 159 | 29 |
| 72                     | 148 | 27 | 76                 | 159 | 24 |
| 72                     | 148 | 28 | 92                 | 195 | 28 |
| 72                     | 147 | 26 | 76                 | 159 | 24 |
| 72                     | 148 | 27 | 75                 | 158 | 27 |
| 71                     | 148 | 28 | 76                 | 159 | 28 |
| 72                     | 148 | 27 | 75                 | 162 | 27 |
| $\bar{X}_A = 82.5$     |     |    | $\bar{X}_B = 89.6$ |     |    |
| $SD_A = 50.5696$       |     |    | $SD_B = 58.1511$   |     |    |

- ตั้งสมมติฐานงานวิจัยเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

- ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

- สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

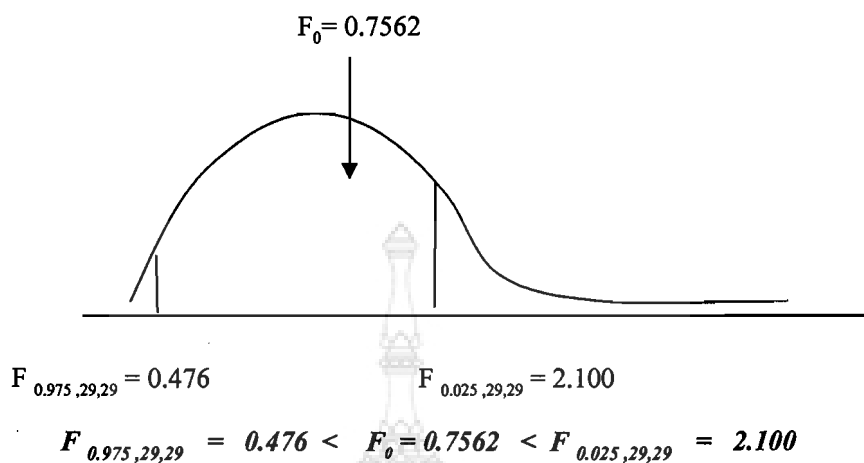
$$F_0 = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

$$F_0 = 0.7562$$

(คำนวณ)

$$F_{0.025, 29, 29} = 2.100, F_{0.975, 29, 29} = 0.476$$

(เปิดตาราง)



ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ตั้งสมมติฐานงานวิจัยเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

5. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6. สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

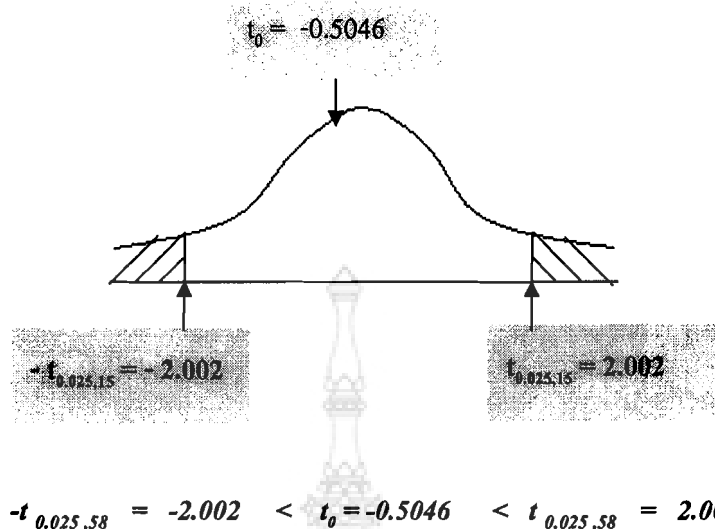
$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$t_0 = -0.5046$$

(คำนวณ)

$$t_{0.025, 58} = 2.002$$

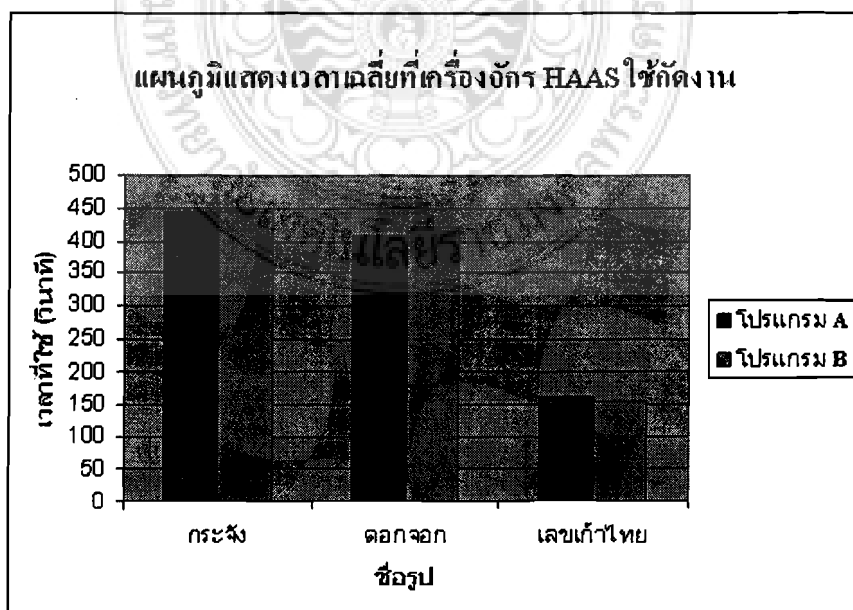
(เปิดตาราง)



ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือจำนวนบรรทัดของ NC Code ที่ได้จากการ Post ระหว่าง โปรแกรม A และโปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.2 เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการกัดงาน

ในการกัดงานโดยใช้เครื่องจักร 2 ยี่ห้อ คือเครื่องกัดอัตโนมัติยี่ห้อ HASS และเครื่องกัดอัตโนมัติยี่ห้อ EMCO และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต CAD / CAM จำนวน 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม A และโปรแกรม B ซึ่งเวลาที่เครื่องจักรใช้กัดงานมีดังนี้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักร HAAS ใช้กัดงาน

ตารางที่ 4.2 ตารางเวลาที่เครื่องเวลาที่เครื่องจักร HAAS ใช้ทำงาน

| เครื่องจักร | เวลาที่ใช้ทำงาน (นาที) |      |      |                      |      |      |
|-------------|------------------------|------|------|----------------------|------|------|
|             | โปรแกรม A              |      |      | โปรแกรม B            |      |      |
| HAAS        | 2.42                   | 6.43 | 4.23 | 2.31                 | 7.07 | 4.29 |
|             | 2.43                   | 6.45 | 4.22 | 2.35                 | 6.45 | 4.2  |
|             | 2.43                   | 6.45 | 4.23 | 2.34                 | 6.59 | 4.17 |
|             | 2.44                   | 7.01 | 4.23 | 2.35                 | 7.18 | 4.24 |
|             | 2.47                   | 6.47 | 4.23 | 2.34                 | 6.57 | 4.23 |
|             | 2.47                   | 6.47 | 4.27 | 2.34                 | 6.59 | 4.24 |
|             | 2.47                   | 6.43 | 4.22 | 2.34                 | 6.59 | 4.23 |
|             | 2.43                   | 6.43 | 4.23 | 2.34                 | 7.01 | 4.23 |
|             | 2.43                   | 6.43 | 4.23 | 2.34                 | 7.01 | 4.23 |
|             | 2.43                   | 6.43 | 4.23 | 2.34                 | 6.59 | 4.23 |
|             | $\bar{X}_A = 4.3913$   |      |      | $\bar{X}_B = 4.4443$ |      |      |
|             | $SD_A = 1.6919$        |      |      | $SD_B = 1.8504$      |      |      |

1. ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

2. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

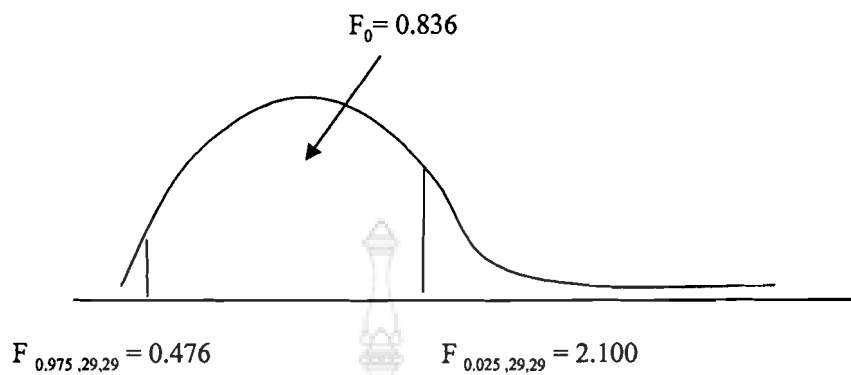
3. สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{1.6919^2}{1.8504^2} = \frac{2.8625}{3.4239} = 0.836$$

(คำนวณ)

$$F_{0.025, 29, 29} = 2.100, F_{0.975, 29, 29} = 0.476$$

(เปิดตาราง)



$$F_{0.975, 29, 29} = 0.476 < F_0 = 0.836 < F_{0.025, 29, 29} = 2.10$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของเวลาที่เครื่องจักร HAAS ใช้  
ก่ดชิ้นงานจากทั้ง 2 โปรแกรม ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

5. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad v = n_1 + n_2 - 2$$

$$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$= \frac{(30 - 1)2.8625 + (30 - 1)3.4239}{(30 + 30) - 2}$$

$$Sp^2 = 3.1432$$

$$Sp = 1.7729$$

แทนค่า  $s_p$  ในสูตร

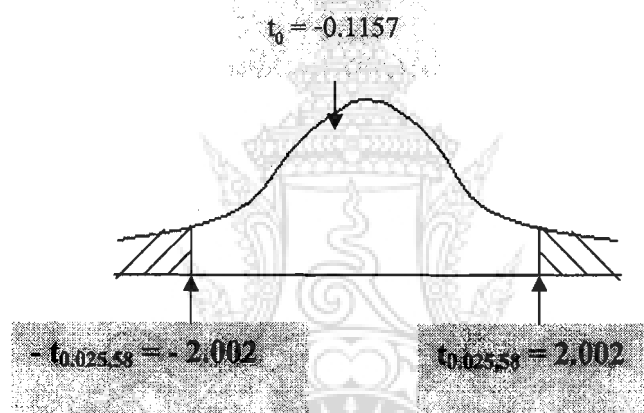
$$t_0 = \frac{4.3913 - 4.4443}{1.7729 \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{30}}} = \frac{-0.053}{0.4577}$$

$$t_0 = -0.1157$$

(คำนวณ)

$$t_{0.025, 58} = 2.002$$

(เปิดตาราง)



$$-t_{0.025, 58} = -2.002 < t_0 = -0.1157 < t_{0.025, 58} = 2.002$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการกักขังงานของเครื่องจักร HAAS ระหว่างโปรแกรม A และโปรแกรม B เมื่อกักขังงานลักษณะเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

**ตารางที่ 4.3** ตารางเวลาที่เครื่องเวลาที่เครื่องจักร EMCO ใช้ทำงาน

| เครื่องจักร | เวลาที่ใช้ทำงาน (นาที) |       |       |                      |       |       |
|-------------|------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|             | โปรแกรม A              |       |       | โปรแกรม B            |       |       |
| EMCO        | 6.13                   | 15.27 | 9.19  | 6.11                 | 15.38 | 11.19 |
|             | 6.09                   | 14.28 | 8.21  | 6.09                 | 15.41 | 9.55  |
|             | 6.11                   | 15.43 | 9.22  | 6.17                 | 15.36 | 10.02 |
|             | 6.10                   | 16.26 | 11.42 | 6.07                 | 16.24 | 10.02 |
|             | 6.12                   | 15.42 | 9.45  | 6.13                 | 15.43 | 10.56 |
|             | 6.01                   | 15.42 | 10.43 | 6.10                 | 15.34 | 10.11 |
|             | 6.23                   | 15.53 | 10.06 | 6.27                 | 15.37 | 10.06 |
|             | 6.07                   | 15.41 | 10.05 | 6.34                 | 16.11 | 10.08 |
|             | 6.12                   | 15.42 | 11.41 | 6.03                 | 16.25 | 10.29 |
|             | 6.12                   | 15.42 | 10.06 | 6.13                 | 16.09 | 10.13 |
|             | $\bar{X}_A = 10.482$   |       |       | $\bar{X}_B = 10.681$ |       |       |
|             | $SD_A = 3.9193$        |       |       | $SD_B = 3.9961$      |       |       |

1. ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

2. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

3. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

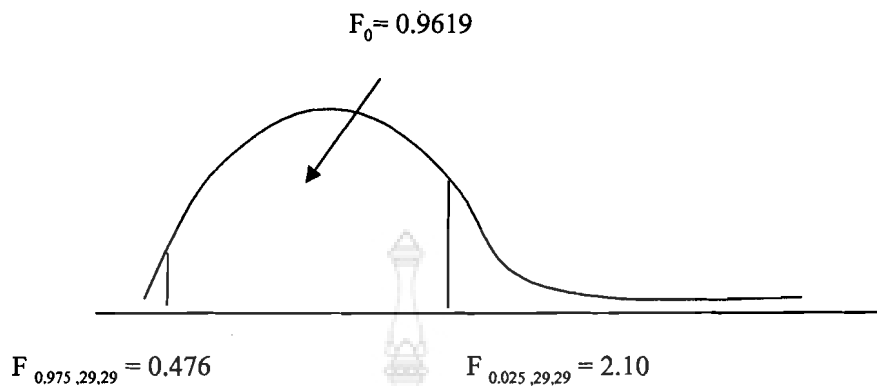
$$F_0 = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{3.9193^2}{3.9961^2} = \frac{15.3609}{15.9688}$$

$$= 0.9619$$

( คำนวณ )

$$F_{0.025, 29, 29} = 2.10, F_{0.975, 29, 29} = 0.476$$

( เปิดตาราง )



$$F_{0.975, 29, 29} = 0.476 < F_0 = 0.9619 < F_{0.025, 29, 29} = 2.10$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของเวลาที่เครื่องจักร EMCO ใช้  
ก่ดชิ้นงานจากทั้ง 2 โปรแกรม ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

5. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$= \frac{(30 - 1)15.3069 + (30 - 1)15.9688}{(30 + 30) - 2}$$

$$s_p^2 = 15.6378$$

$$s_p = 3.9544$$

แทนค่า  $s_p$  ในสูตร

$$t_0 = \frac{10.482 - 10.681}{3.9544 \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{30}}} = \frac{-0.199}{1.0210}$$

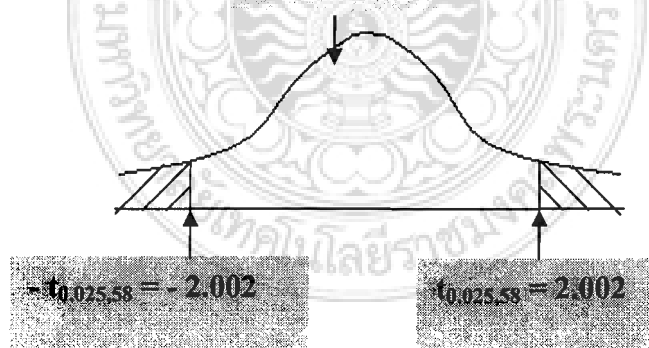
$$t_o = -0.1949$$

( คำนวณ )

$$t_{0.025, 58} = 2.002$$

( เปิดตาราง )

$$t_o = -0.1949$$

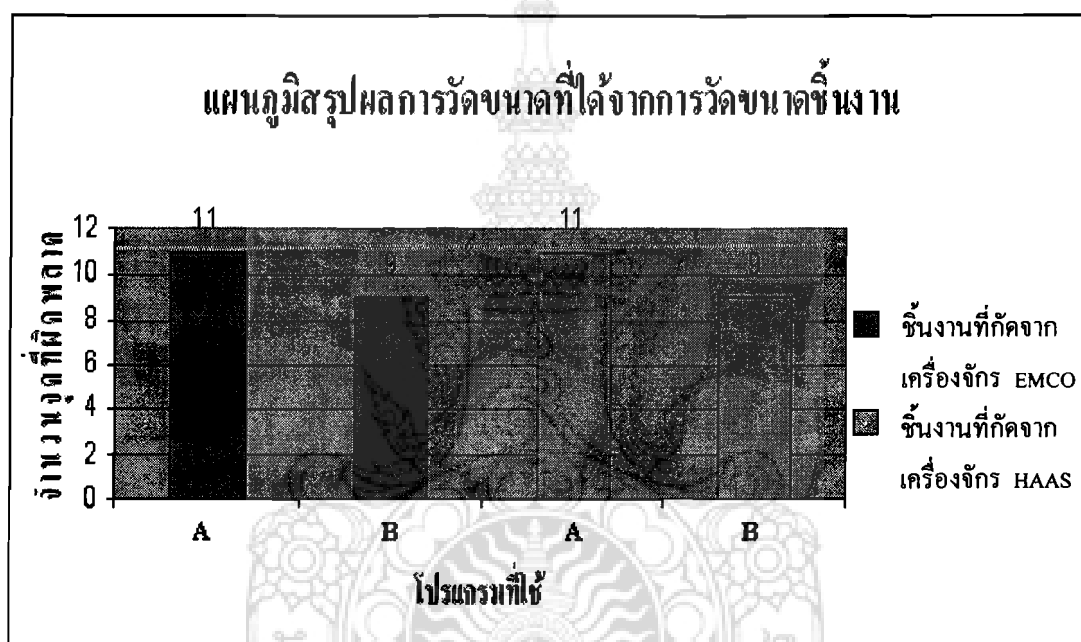


$$-t_{0.025, 58} = -2.002 < t_o = -0.1949 < t_{0.025, 58} = 2.002$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการกักชิ้นงานของเครื่องจักร EMCO ระหว่างโปรแกรม A และ โปรแกรม B เมื่อกักชิ้นงานลักษณะเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้ง

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD-CAM หลังจากได้ข้อมูลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้งจากการกัดชิ้นงานทั้ง 3 ลักษณะงาน ของโปรแกรมทั้ง 2 แล้วมาทำการเฉลี่ย นำมาหาค่าความต่างจากค่าศูนย์ และนำค่าที่ได้คูณด้วย 1000 เพื่อให้หน่วยเป็นไมครอน และดำเนินการทดสอบสมมติฐานดังนี้



รูปที่ 4.3 แผนภูมิสรุปผลการวัดขนาดที่ได้จากการวัดขนาดชิ้นงาน

**ตารางที่ 4.4** ตารางผลต่างของขนาด  $\phi$  ส่วนโค้ง ที่กัดงานด้วยเครื่องจักร HAAS

| เครื่องจักร | ผลต่างของขนาด $\phi$ ส่วนโค้ง ( $\mu\text{m}$ ) |         |                  |         |
|-------------|-------------------------------------------------|---------|------------------|---------|
|             | โปรแกรม A                                       |         | โปรแกรม B        |         |
| HAAS        | -4.86                                           | -46.67  | 3.66             | -61.63  |
|             | -28.97                                          | -47.41  | -36.49           | -184.73 |
|             | -47.15                                          | 88.49   | 102.35           | 58.71   |
|             | -36.65                                          | -53.76  | -15.08           | -95.82  |
|             | -24.77                                          | -30.79  | -24.91           | -71.64  |
|             | -14.08                                          | 48.12   | -20.62           | 41.85   |
|             | -26.19                                          | -44.71  | -18.47           | -16.23  |
|             | -201.58                                         | -253.84 | -314.93          | -133.19 |
|             | -1.52                                           | -322.32 | -30.38           | -16.91  |
|             | -113.4                                          | -89.1   | -89.8            | -78.48  |
|             | $X_A = -62.558$                                 |         | $X_B = -50.137$  |         |
|             | $SD_A = 96.7432$                                |         | $SD_B = 89.7985$ |         |

1. ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

2. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

3. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

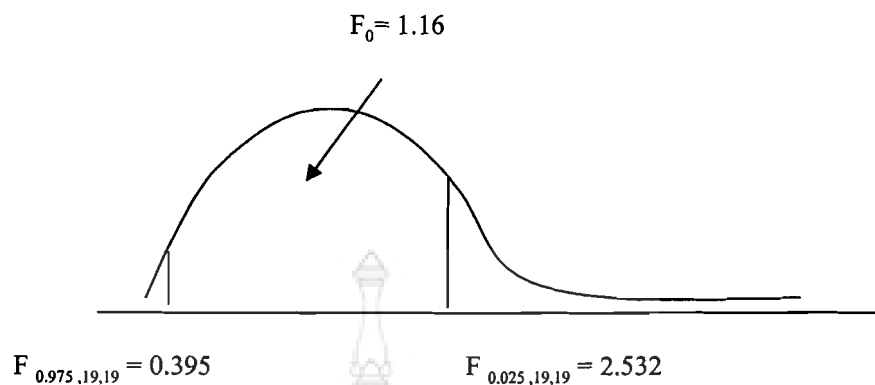
$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{96.7432^2}{89.7985^2} = \frac{9359.2467}{8063.7706}$$

$$= 1.16$$

( คำนวณ )

$$F_{0.025, 19, 19} = 2.532, F_{0.975, 19, 19} = 0.395$$

( เปิดตาราง )



$$F_{0.975, 19, 19} = 0.395 < F_0 = 1.16 < F_{0.025, 19, 19} = 2.532$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของผลต่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้งที่เครื่องจักร HAAS ใช้กัดชิ้นงานจากทั้ง 2 โปรแกรม ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

5. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$= \frac{(20-1)9359.2467 + (20-1)8063.7706}{(20+20)-2}$$

$$Sp^2 = 8711.5086$$

$$Sp = 93.3354$$

แทนค่า  $Sp$  ในสูตร

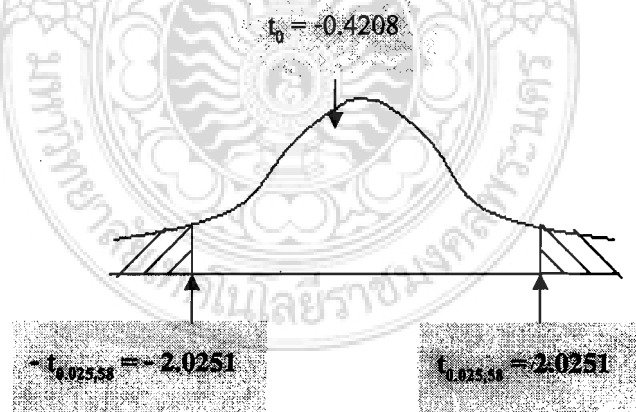
$$t_0 = \frac{-62.558 - (-50.137)}{93.3354 \sqrt{\frac{1}{20} + \frac{1}{20}}} = \frac{-12.421}{29.5152}$$

$$t_0 = -0.4208$$

(คำนวณ)

$$t_{0.025, 38} = 2.0251$$

(เปิดตาราง)



$$-t_{0.025, 38} = -2.0251 < t_0 = -0.4208 < t_{0.025, 38} = 2.0251$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนโค้งที่เกิดจากการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร HAAS ระหว่างโปรแกรม A และโปรแกรม B ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.5 ตารางผลต่างของขนาด Ø ส่วนโค้ง ที่กัดงานด้วยเครื่องจักร EMCO

| เครื่องจักร      | ผลต่างของขนาด Ø ส่วนโค้ง ( μm ) |                  |           |         |
|------------------|---------------------------------|------------------|-----------|---------|
|                  | โปรแกรม A                       |                  | โปรแกรม B |         |
| EMCO             | -17.9                           | -68.92           | 4.32      | -29.68  |
|                  | 24.15                           | -4.38            | 26.44     | -2.44   |
|                  | 13.83                           | -19.02           | 5.92      | 18.5    |
|                  | -50.16                          | 3.18             | -105.2    | 27.09   |
|                  | -84.18                          | -191.82          | 24.99     | -155.2  |
|                  | -28.02                          | -166.31          | -35.02    | -150.2  |
|                  | -83.18                          | -19.22           | -10.54    | -17.62  |
|                  | -89.45                          | -112.81          | -90.37    | -119.03 |
|                  | -13.67                          | -57.02           | -40.72    | -101.79 |
|                  | -14.7                           | -79.7            | -28.72    | -130.7  |
| $X_A = -52.965$  |                                 | $X_B = -45.4985$ |           |         |
| $SD_A = 57.5799$ |                                 | $SD_B = 62.2226$ |           |         |

1. ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

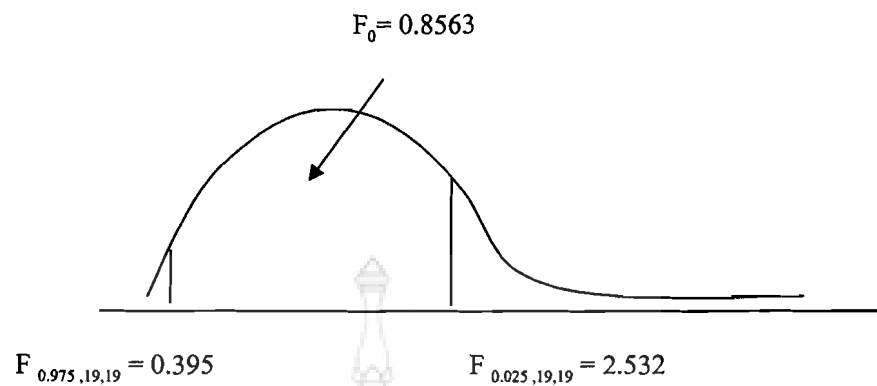
2. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

3. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{57.5799^2}{62.2226^2} = \frac{3315.4448}{3871.6519}$$

$$= 0.8563 \quad (\text{คำนวณ})$$

$$F_{0.025, 19, 19} = 2.532, \quad F_{0.975, 19, 19} = 0.395 \quad (\text{เปิดตาราง})$$



$$F_{0.975, 19, 19} = 0.395 < F_0 = 0.8563 < F_{0.025, 19, 19} = 2.532$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของผลต่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้งที่เครื่องจักร EMCO ใช้กดชิ้นงานจากทั้ง 2 โปรแกรม ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

5. ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6. สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$= \frac{(20 - 1)3315.4448 + (20 - 1)3871.6519}{(20 + 20) - 2}$$

$$S_p^2 = 3593.5483$$

$$S_p = 59.9462$$

แทนค่า  $S_p$  ในสูตร

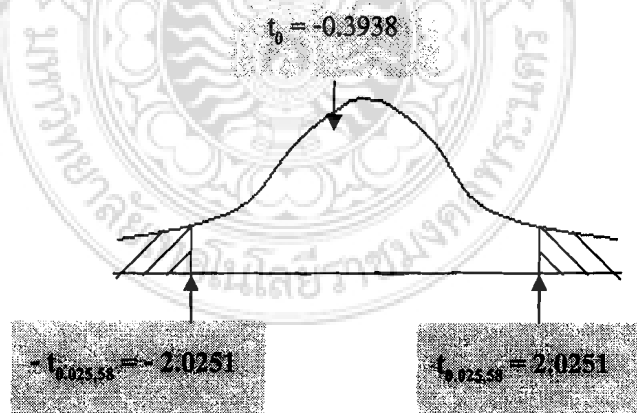
$$t_0 = \frac{-52.9650 - (-45.4985)}{59.9462 \sqrt{\frac{1}{20} + \frac{1}{20}}} = \frac{-7.4665}{18.9566}$$

$$t_0 = -0.3938$$

(คำนวณ)

$$t_{0.025, 38} = 2.0251$$

(เปิดตาราง)



$$-t_{0.025, 38} = -2.0251 < t_0 = -0.3938 < t_{0.025, 38} = 2.0251$$

ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนโค้งที่เกิดจากการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร EMCO ระหว่างโปรแกรม A และโปรแกรม B ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 คำนำ

จากที่ได้ทำการทดลองในด้านต่าง ๆ ของงานวิจัยเรื่อง การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD-CAM แล้วนั้น ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองในด้านต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองไปแล้วว่าผลการทดลองที่ได้นั้นเป็นอย่างไร รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำงานวิจัย และข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อไป

#### 5.2 ผลการทดลอง

##### 5.2.1 ค่าเฉลี่ยของจำนวนบรรทัด NC Code ที่ทำการ Postprocessor จากโปรแกรม

จากผลการทดลองและทดสอบข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ แสดงว่าจำนวนบรรทัด NC Code ที่ Post จากโปรแกรม A และจำนวนบรรทัดที่ Post จากโปรแกรม B จากงานที่มีลักษณะรูปแบบเดียวกันนั้น มีจำนวนบรรทัดที่ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 โปรแกรม

##### 5.2.2 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรใช้ในการกัดงาน

จากผลการทดลองและทดสอบข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ ในด้านเวลาที่ใช้ในการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร HAAS และเครื่องจักร EMCO จากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และโปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน มีผลดังนี้

กัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร HASS ใช้เวลาในการกัดงานจากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และ โปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน ใช้เวลาไม่แตกต่างกัน

กัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร EMCO ใช้เวลาในการกัดงานจากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และ โปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน ใช้เวลาไม่แตกต่างกัน

### 5.2.3 ค่าเฉลี่ยของขนาดที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM)

จากผลการทดลองและทดสอบข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ ในด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนโค้ง โดยเปรียบเทียบในส่วนผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้ง (เทียบกับค่า = 0 ) ผลการวัดขนาดด้วยเครื่อง CMM ของชิ้นงานที่กัดด้วยเครื่องจักร HAAS และเครื่องจักร EMCO จากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และ โปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน มีผลดังนี้

ชิ้นงานกัดด้วยเครื่องจักร HAAS จากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และ โปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน มีขนาดผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้ง ไม่แตกต่างกัน

ชิ้นงานกัดด้วยเครื่องจักร EMCO จากการ CAM ด้วยโปรแกรม A และ โปรแกรม B ในงานลักษณะเดียวกัน มีขนาดผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโค้ง ไม่แตกต่างกัน

### 5.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลของการทดลองด้านต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานแบบลายเส้น 2 มิติ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM ระหว่างโปรแกรม 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม A และ โปรแกรม B เมื่อนำมาทำการ CAM และกัดด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC MILLING) 2 เครื่อง ในชิ้นงานที่มีลักษณะเดียวกัน และภายใต้เงื่อนไขเหมือนกัน จะเห็นว่าความสามารถ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM ทั้ง 2 โปรแกรมที่ใช้แพร่หลายกันอยู่ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป แต่มีราคาของ Software ที่แตกต่างกันมากนั้น มีความสามารถในการผลิตชิ้นงาน ที่ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนางานวิจัยนี้ในครั้งต่อไปควรมีการนำไปทดลองวิจัยในการกัดงานเป็นลักษณะ 3 มิติ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถครอบคลุมทุกด้าน และสอดคล้องกับลักษณะงานจริง ทำให้ผลการวิจัยเป็นที่เชื่อถือมากยิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

ผศ.ชาติ ตระการกุล. เทคโนโลยีซีเอ็นซี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2543

อำนาจ ทองแสน. เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและผลิต (CAD / CAM Technology) กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมไทยญี่ปุ่น, 2542

อำนาจ ทองแสน. ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม CNC สำหรับการควบคุมเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control). กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2544

สัญญา นามิ. เรียนเขียนแบบ AutoCAD กับมืออาชีพ ฉบับ Workshop. นนทบุรี : อินโฟเพรส, 2544

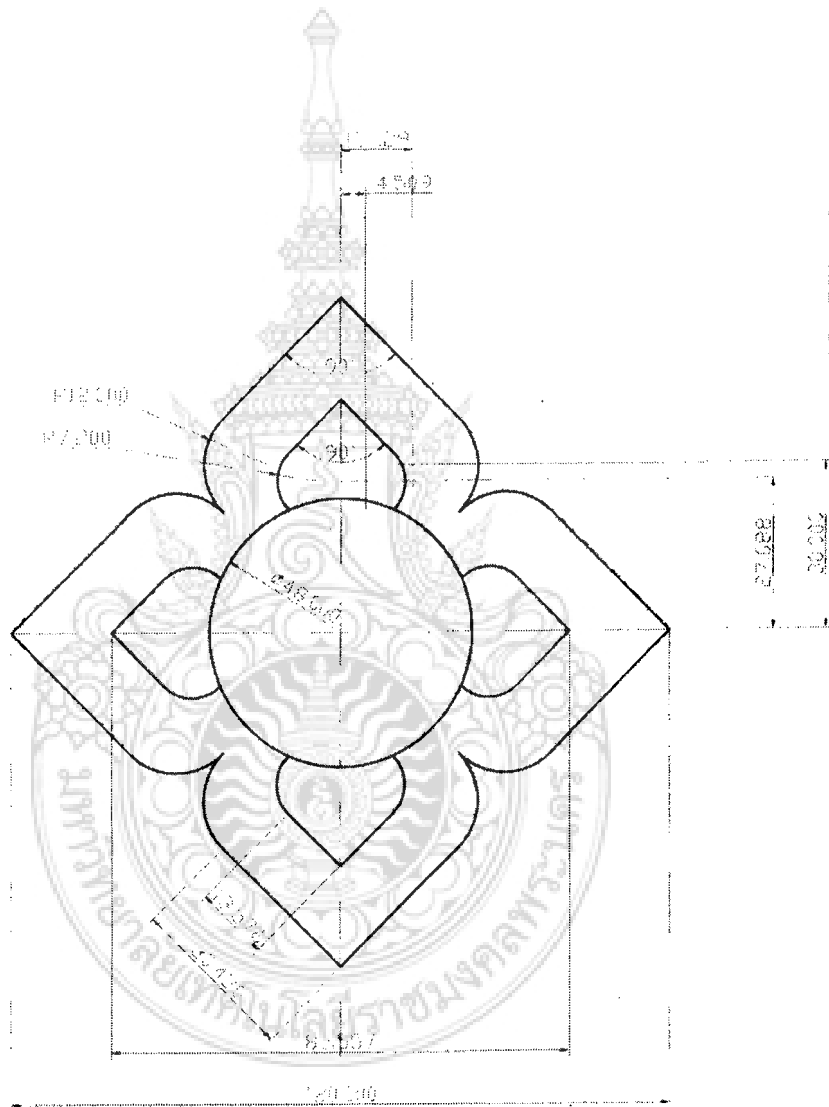
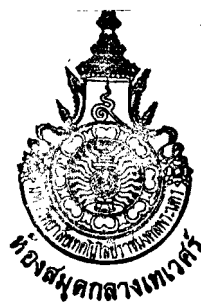
ผศ.ธิดาเคียว มยุรีสุวรรณ. สถิติสำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544

เทคโนโลยี CNC การโปรแกรมและการใช้งานสำหรับเครื่องกลึงและเครื่องกัด กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม



### ภาคผนวก

- แบบงานที่ใช้ในการเขียนทดลอง
- แบบแสดงจุดและขนาดที่ทำการวัดขนาด
- ใบรับรองการวัดจากบริษัท Mahr S.A.E. Co.,Ltd.
- เอกสารรับรองความเที่ยงตรงของเครื่องกััดอัตโนมัติ
- ตารางมาตรฐาน ความเร็วรอบและความเร็วตัดของเอ็นมิล

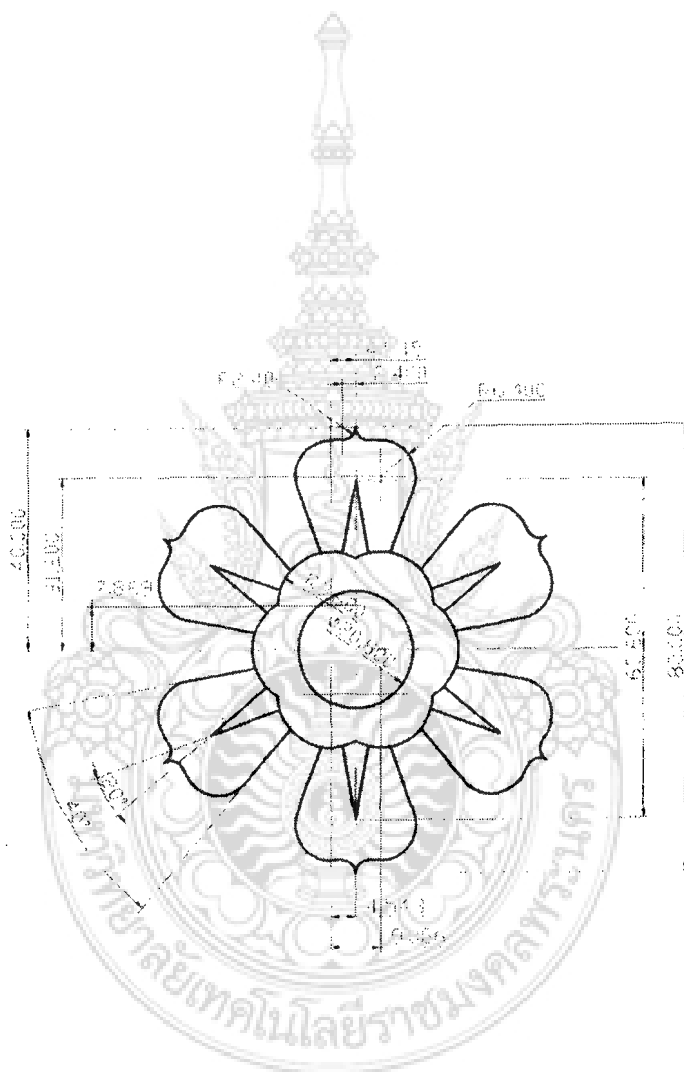


|                                                              |                        |                                |            |                  |              |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------|------------------|--------------|
| Designed by<br>IE-03                                         | Checked by<br>SINGKAEW | Approved by - date<br>SINGKAEW | UNIT<br>MM | Date<br>16/10/48 | Scale<br>2:1 |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี<br>วิทยาเขตพระนครเหนือ |                        |                                | รูปกระจัด  |                  |              |
|                                                              |                        |                                | CHA-001    | Edition<br>-     | Sheet<br>1   |

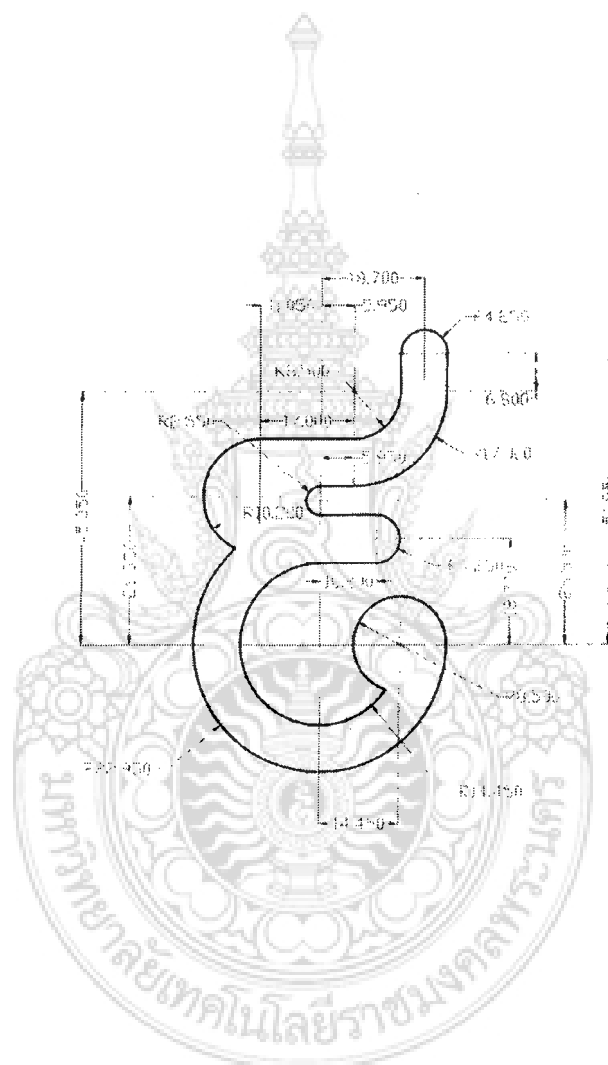
CHA-001

|                |   |
|----------------|---|
| <b>Edition</b> | 1 |
|----------------|---|

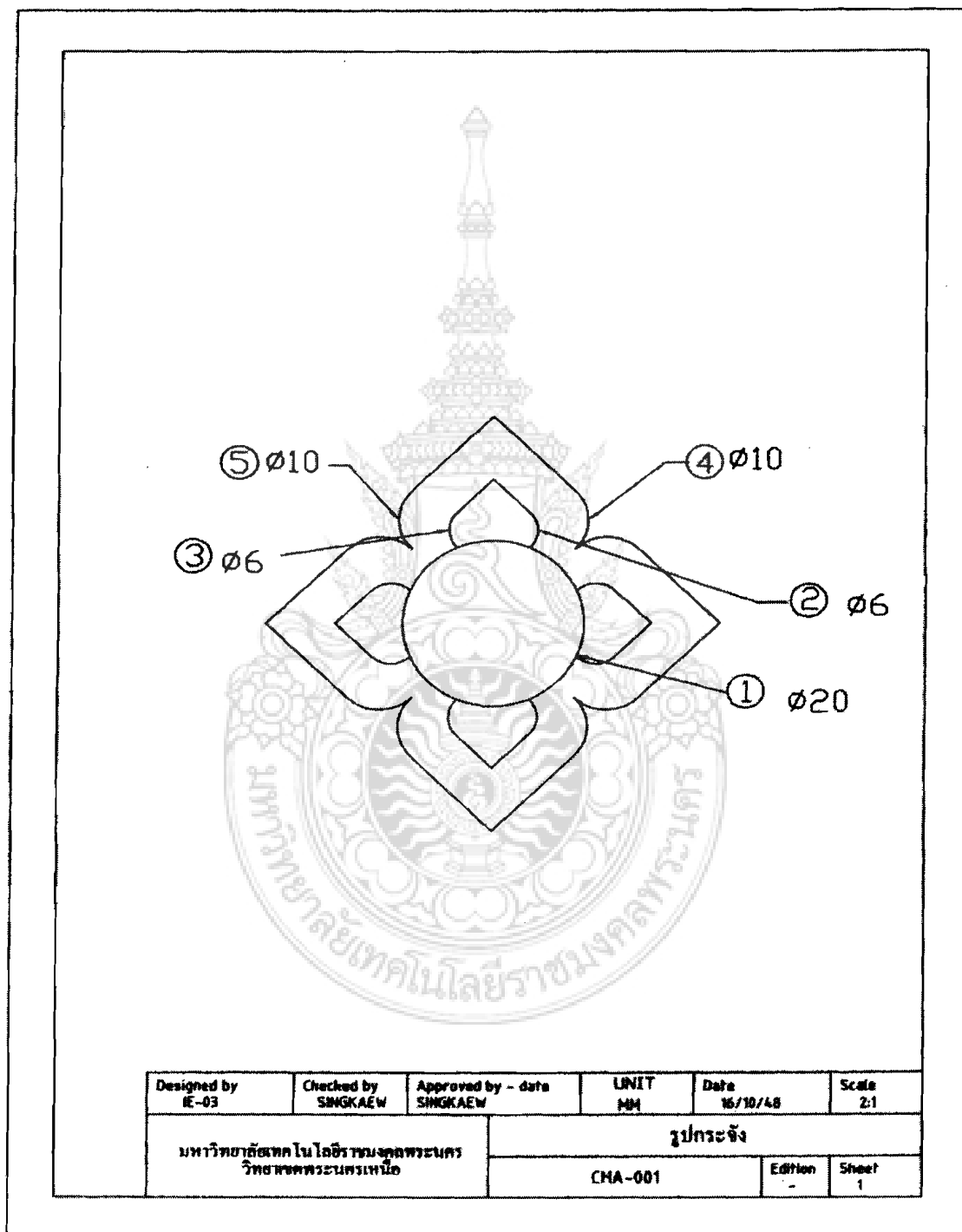
Sheet  
1



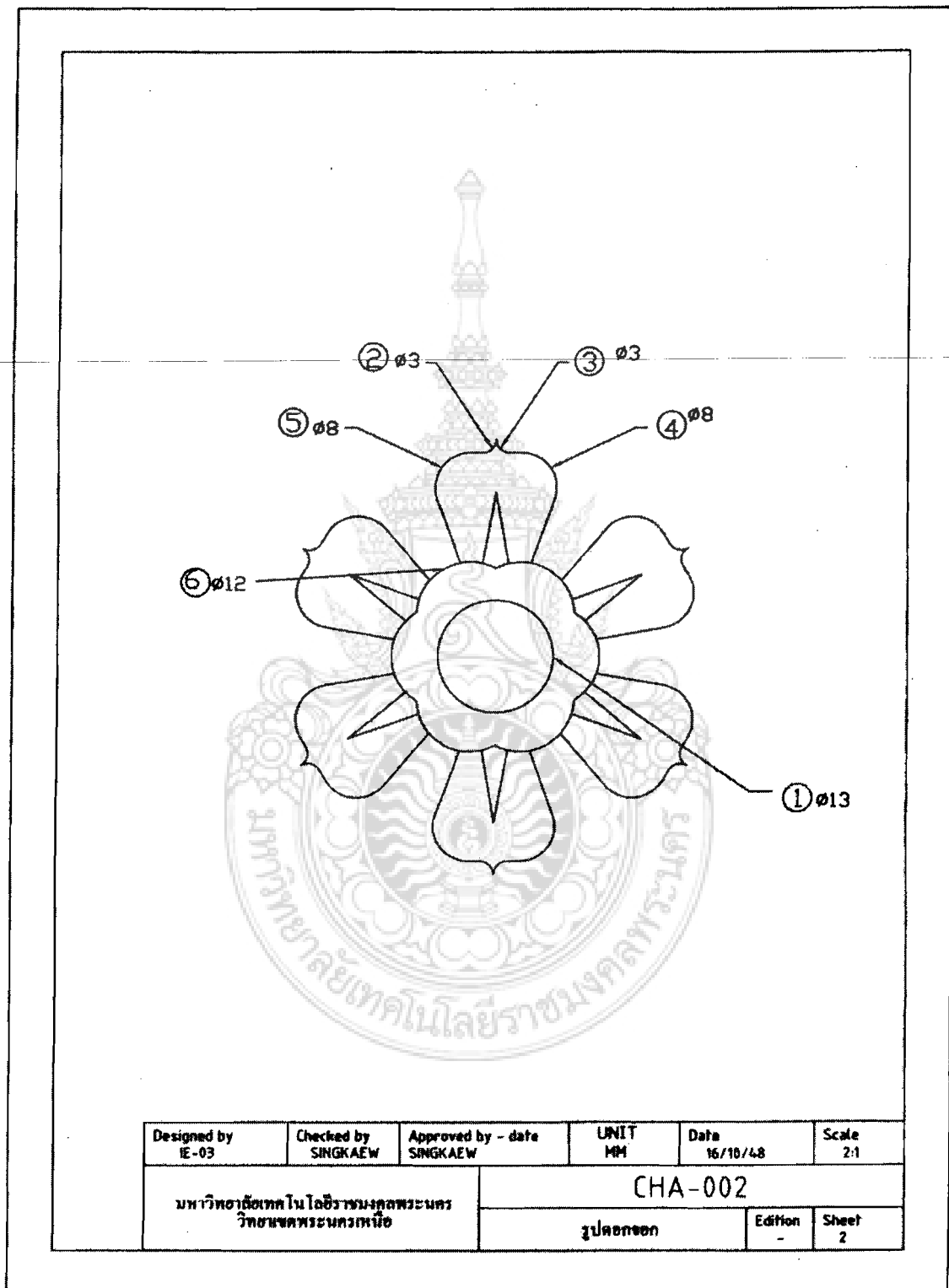
|                                                          |                        |                                |            |                  |              |
|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------|------------------|--------------|
| Designed by<br>IE-03                                     | Checked by<br>SINGKAEW | Approved by - date<br>SINGKAEW | UNIT<br>MM | Date<br>16/10/48 | Scale<br>2:1 |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร<br>วิทยาเขตพระนครเหนือ |                        |                                | รูปดอกจอก  |                  |              |
|                                                          |                        |                                | CHA-002    | Edition<br>-     | Sheet<br>1   |



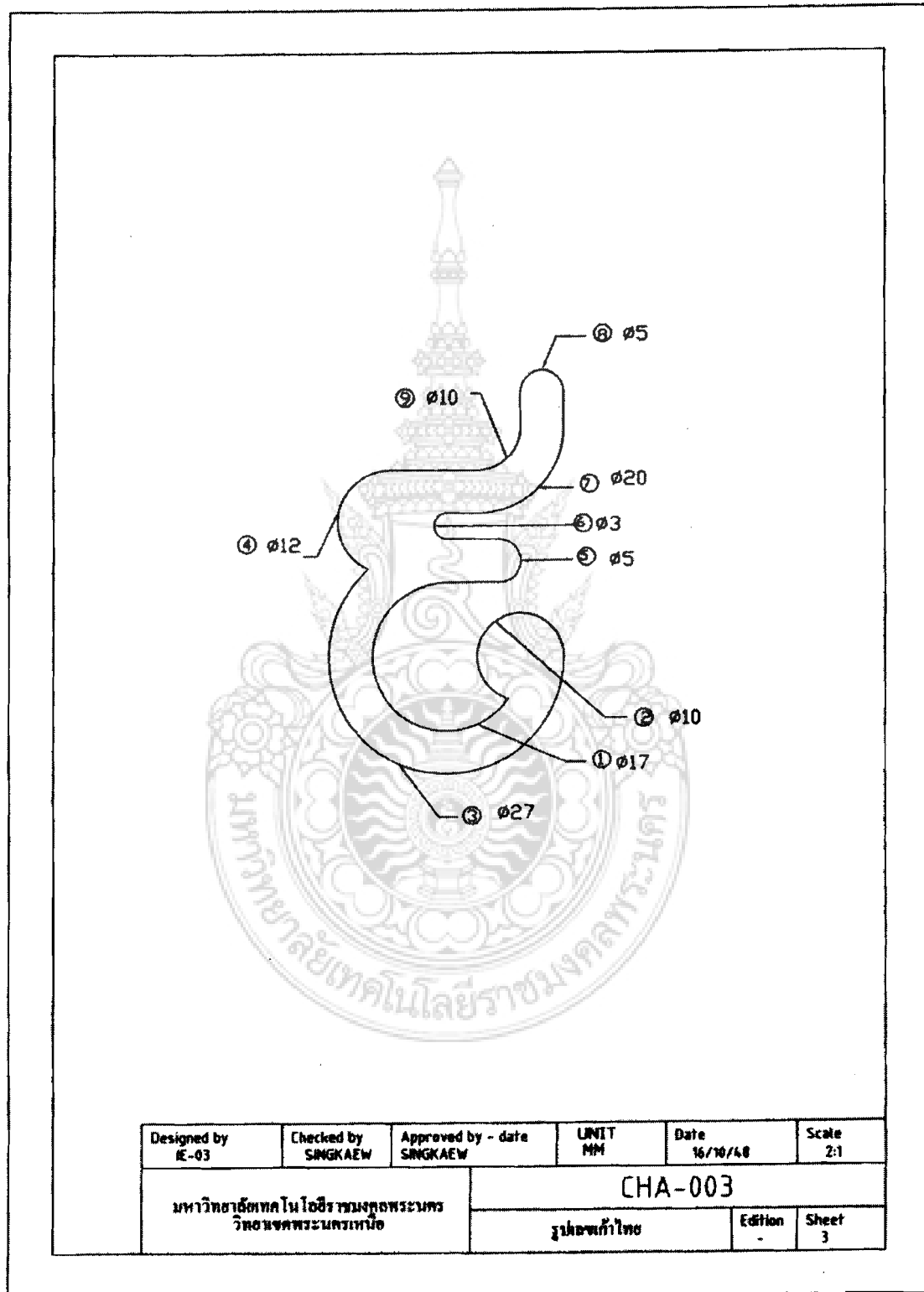
|                                                          |                        |                                |               |                  |              |
|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------|------------------|--------------|
| Designed by<br>IE-03                                     | Checked by<br>SINGKAEW | Approved by - date<br>SINGKAEW | UNIT<br>MM    | Date<br>16/10/48 | Scale<br>2:1 |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร<br>วิทยาเขตพระนครเหนือ |                        |                                | รูปเลขเก้าไทย |                  |              |
|                                                          |                        |                                | CHA-003       | Edition<br>-     | Sheet<br>1   |



แบบงานแสดงจุดที่ทำการวัดขนาดของรูปกระจิง



แบบงานแสดงจุดที่ทำการวัดขนาดของรูปดอกจอก



แบบงานแสดงจุดที่ทำกรวัดขนาดของรูปเลขเก้าไทย

# Mahr

## ใบรับรอง

บริษัท Mahr S.A.E. Co.,Ltd. ขอรับรองว่าได้ใช้เครื่อง Marvision MS 222 ในการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดรัศมีส่วนโค้งของชิ้นงานทดลอง โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการออกแบบและการผลิตของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (CAD/CAM) จำนวน 120 ชิ้นจริง โดยรายละเอียดของเครื่องที่ใช้ในการวัดขนาด มีดังนี้

|                          |                                 |              |
|--------------------------|---------------------------------|--------------|
| Machine Name             | Marvision                       |              |
| Model                    | MS 222                          |              |
| Made in                  | Germany                         |              |
| Resolution               | 0.5 $\mu$ m                     |              |
| Uncertainty              | 3.9+L/100 $\mu$ m               |              |
| Measuring Range          | Single sensor                   | Both sensors |
|                          | X                               | 250 mm       |
|                          | Y                               | 200 mm       |
|                          | Z                               | 200 mm       |
| Max.travel speed         | 150 mm/s                        |              |
| Max. load on glass plate | 10 kg                           |              |
| Weight                   | 260 kg incl. electronic cabinet |              |

# Mahr

**MAHR (S.E.A.)**  
Service Dept.

15. 05. 2549

วัน เดือน ปี

ประทับตรา

ลายเซ็น

**Mahr S.E.A. Co., Ltd.**

719 KPN Tower, 10<sup>th</sup> Floor, Rama 9 Rd., Bangkapi, Huaykwang, Bangkok 10320 Tel: 662-7171050 Fax: 662-7171055

**Malaysia Representative Centre**

No 116, Block A3, Pusat Dagang Setia Jaya, Leisure Commerce Square, Tel: 03-78772060 Fax: 03-78772040

No 9 Jalan PAS K9, 46150 Petaling Jaya, Selangor



Machine Inspection Report  
and  
State-Of-The-Art Ball Bar Test

Model : Haas VF-3  
Serial No. 42575

for H&M 16/2/49



# ISO 230-4:1996(E) Circular Deviation VF3D-42575-1

Operator: AN

Date: 2005-Jul-26 05:20:53

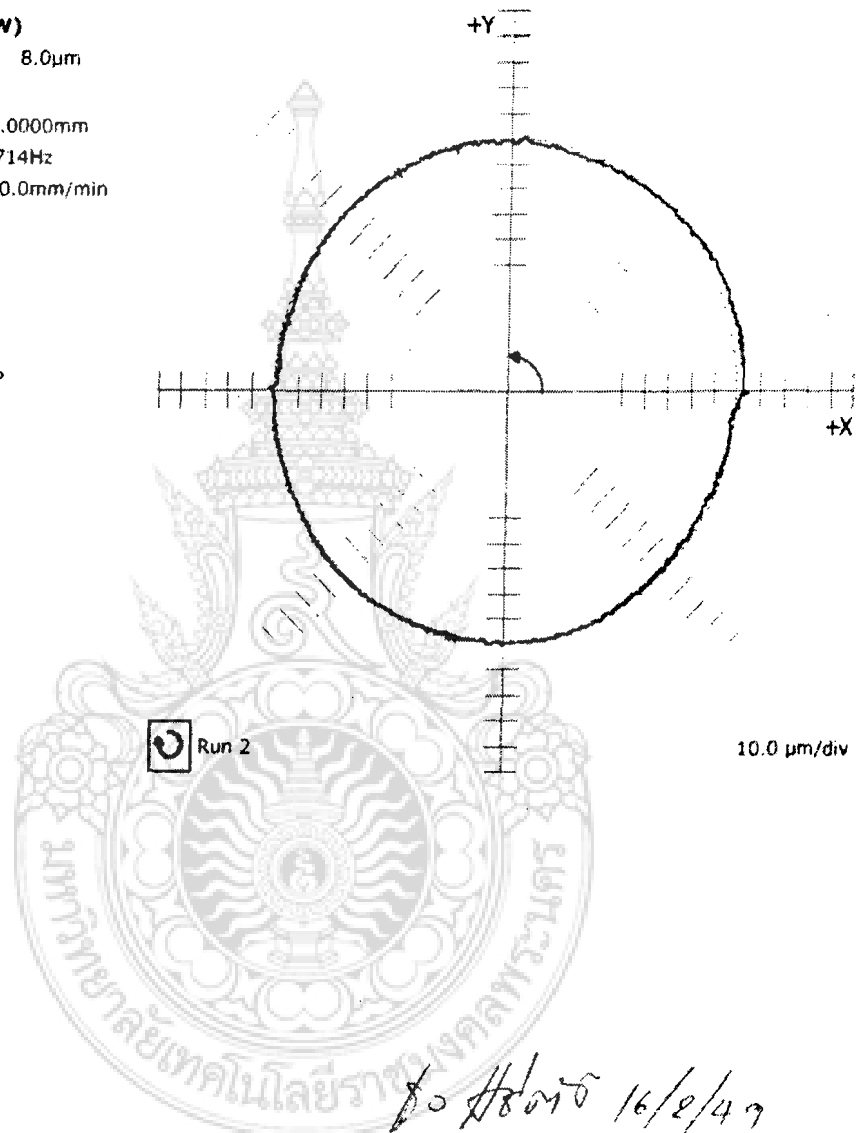
Machine: Quick check  
Instrument: QC10 ballbar

## Circular Deviation (CW)

Value 8.0 $\mu$ m

## Test Parameters

Radius 150.0000mm  
 Sample rate 35.714Hz  
 Feedrate 1270.0mm/min  
 Run direction CW  
 Plane under test XY  
 Test position  
 Start angle 0°  
 End angle 0°  
 Overshoot angle 180°



**EN-EN-EN**  
 NANO NEURON NUMERIC  
 EN TO EN INTERMOLD CO.,LTD.

# Ballbar diagnostics table

## VF3D-42575-1

Operator: AN  
Date: 2005-Jul-26 05:20:53

RENISHAW

Machine: Quick check  
Instrument: QC10 ballbar

| Error                | Magnitude     |           | Independent circularity |       | Ranking |
|----------------------|---------------|-----------|-------------------------|-------|---------|
| Backlash X           | ▷ -3.0        | ◀ -1.7 μm | 3.0 μm                  | (15%) | (2)     |
| Backlash Y           | ▲ -0.1        | ▼ -0.7 μm | 0.7 μm                  | (4%)  | (7)     |
| Reversal spikes X    | ▷ 1.8         | ◀ 2.2 μm  | 2.2 μm                  | (11%) | (3)     |
| Reversal spikes Y    | ▲ 3.2         | ▼ 0.0 μm  | 3.2 μm                  | (16%) | (1)     |
| Lateral play X       | ▷ 0.9         | ◀ -0.3 μm | 0.5 μm                  | (3%)  | (11)    |
| Lateral play Y       | ▲ -0.6        | ▼ 0.2 μm  | 0.3 μm                  | (2%)  | (12)    |
| Cyclic error X       | ↑ 0.3         | ↓ 0.6 μm  | 0.6 μm                  | (3%)  | (10)    |
| Cyclic error Y       | ↑ 0.4         | ↓ 0.7 μm  | 0.7 μm                  | (3%)  | (9)     |
| Servo mismatch       | -0.03 ms      |           | 0.7 μm                  | (4%)  | (8)     |
| Squareness           | 1.7 μm/m      |           | 0.3 μm                  | (1%)  | (13)    |
| Straightness X       | 2.2 μm        |           | 1.1 μm                  | (6%)  | (6)     |
| Straightness Y       | -3.1 μm       |           | 1.5 μm                  | (8%)  | (4)     |
| Scaling mismatch     | 2.7 μm        |           | 1.3 μm                  | (7%)  | (5)     |
| Cyclic pitch X       | 8.0000 mm     |           |                         |       |         |
| Cyclic pitch Y       | 25.4000 mm    |           |                         |       |         |
| Scaling error X      | 196.6 ppm     |           |                         |       |         |
| Scaling error Y      | 187.8 ppm     |           |                         |       |         |
| Calculated feedrate  | 1267.8 mm/min |           |                         |       |         |
| Centre offset X      | -55.8 μm      |           |                         |       |         |
| Centre offset Y      | 3.3 μm        |           |                         |       |         |
| Positional tolerance | 163.4 μm      |           |                         |       |         |
| Best fit radius      | 150.0288 mm   |           |                         |       |         |
| Circularity          | 9.6 μm        |           |                         |       |         |

### Test Parameters

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Radius              | 150.0000mm   |
| Feedrate            | 1270.0mm/min |
| Start/End/Overshoot | 0°/0°/180°   |
| Run sequence        | CCW CW       |
| Test position       |              |
| Sample rate         | 35.714Hz     |

fs 1/8/05 16/8/49

**EN-EN-EN**  
NANO NURON NUMERIC  
EN TO EN INTERMOLD CO., LTD.