สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

นาย ปิติ ปฐวีกร
นาย สมยศ รวีรุ่งโภคิน
นาย อดิสรณ์ กลั่นทอง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....71986
วัน,เดือน,ปี.....7 มิ.ย. 2550

.b.....117 b137A
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COORDINATE MEASURING MACHINE

MR. PITI PATTAWEEGORN

MR. SAMYOS RAWEERUNGPOKIN

MR. ADISORN KLANTHONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHALOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรองรับปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาและปรับปรุงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ
COORDINATE MEASURING MACHINE

นักศึกษา	นาย ปิติ ปฐวีกร	รหัสประจำตัว	47015646
นักศึกษา	นาย สมยศ รวีรุ่งโภคิน	รหัสประจำตัว	47015661
นักศึกษา	นาย อดิสรณ์ กลั่นทอง	รหัสประจำตัว	47015665

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์)

.....

(ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาและปรับปรุงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ
นักศึกษา	นาย ปิติ ปฐวีกร
	นาย สมยศ รวีรุ่งโภคิน
	นาย อดิสรณ์ กลั่นทอง
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์
	ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ (3-Dimension Coordinate Measuring Machine: 3-D CMM) ที่ให้ความละเอียดสูงเพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ให้สามารถทำงานเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ผ่านอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ได้แก่ ชุดหัวรับสัญญาณ, ชุดไดรฟ์มอเตอร์ และชุดวงจรควบคุม เพื่อให้เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ สามารถทำการวัดความเรียบพื้นผิวของชิ้นงานในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (พิกัด X, Y, Z) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสั่งงานและบังคับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ จะใช้การสั่งงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาเฉพาะด้วยโปรแกรมวิชัวล์เบสิก (Visual Basic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Coordinate Measuring Machine
Student	Mr. Piti Pattaweegorn
	Mr. Somyos Raweerungpokin
	Mr. Adisorn Klanthong
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2006
Advisor	Asst. Prof. Dr. Sunpasit Limnararat
	Dr. Sakon Klongboonjit

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to study the 3-Dimension Coordinate Measuring Machine (3-D CMM) which is one of high efficient measuring elements. After that, this 3-D CMM is improved and developed so that it can connect to a computer via its three main components: 1) Contact probe, 2) Drive motor circuit and 3) Main control circuit. To let this 3-D CMM can efficiently measure the roughness of surface of any material in the Cartesian coordinate system (X, Y, Z coordinate), the specific computer program which is developed with the Visual Basic is used to control the movement of it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยคำแนะนำสนับสนุนของอาจารย์เป็นอย่างดีตลอดมา จนโครงงานนี้สำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณ

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ และกำลังใจตลอดในการทำโครงงานนี้

ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ความเอาใจใส่เป็นอย่างดี รวมถึงช่วยในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

อาจารย์รณน เจียรตระกูล อาจารย์เป็นผู้ให้คำแนะนำถึงแนวทางในการทำที่เป็นไปได้ ความช่วยเหลือต่างๆ และคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้ให้โอกาส คำแนะนำ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์เป็นผู้ที่ช่วยคอยควบคุมดูแลเรื่องปริญญานิพนธ์ ให้คำแนะนำในการเขียนปริญญานิพนธ์ และตลอดจนเรื่องค่าใช้จ่ายในการทำโปรเจคในครั้งนี้

ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช เป็นผู้ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องการสร้างตัวฮาร์ดแวร์และการทำงานที่คณะวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข เป็นผู้ที่อำนวยความสะดวกในการมาทำงานที่คณะวิศวกรรมอุตสาหการและสำหรับคอมพิวเตอร์ในการใช้ควบคุมโครงงานปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านๆ ที่มอบวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนที่ให้โอกาสและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบคุณ พี่แตนสำหรับเรื่องการดูแลเอกสารต่างๆ และจัดการให้ในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ พี่เก๋และอี๊ดสำหรับคำแนะนำในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ เพื่อนภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกคนที่มอบกำลังใจ ความผูกพัน ไมตรีและความสนุกสนานตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำสามารถบรรลุเป้าหมายของโครงงานนี้

นาย ปิติ ปฐวีกร

นาย สมยศ รวีรุ่งโภคิน

นาย อดิสรณ์ กลั่นทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 เอนโค๊ดเดอร์ (Encoder)..... 25
2.6.1 อินครีเมนทอล เอ็นโค๊ดเดอร์ (Incremental Encoder)..... 25
2.6.1 แอ๊ปโซลูท เอ็นโค๊ดเดอร์ (Absolute Encoder)..... 26
2.7 การหาค่า Repeatability 27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน..... 28
3.2 การวางแผนโครงงาน..... 28
3.3 การศึกษาข้อมูล..... 29
3.4 การปรับปรุงและการดำเนินงาน..... 30
3.4.1 การปรับปรุงด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)..... 30
3.4.2 ขนาดของโต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ..... 31
3.4.3 การดำเนินงานการด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)..... 31
3.4.4 การดำเนินการด้านโปรแกรม..... 34

บทที่ 4 ผลการทดลองและการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลองด้านฮาร์ดแวร์(เครื่องวัดพิกัด 3มิติ)..... 35
4.2 ระยะทางการเคลื่อนที่ของแผ่นตัวเอ็นโค๊ดเดอร์..... 36
4.2.1 ขั้นตอนการวัดของโปรแกรม..... 36
4.3 ผลการทดลอง..... 47
4.3.1 การหาค่าความผิดพลาด (Error)..... 47
4.3.2 การหาค่าการแตะซ้ำที่ตำแหน่งเดิม (Repeatability)..... 49

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์..... 51
5.2 สาเหตุและแนวทางในการแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง..... 51

หนังสืออ้างอิง..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก หมวดการวัด.....ผก 1

ภาคผนวก ข ตารางของลูกปืน.....ผข 1

ภาคผนวก ค แบบชิ้นส่วนของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ.....ผค 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนาน 21
ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนาน (ต่อ) 22
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน X 47
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน Y 48
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน Z 49
ตารางที่ 4.4 ค่า Repeatability 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3มิติ ชนิด Manual Floating CMM 4
รูปที่ 2.2 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3มิติ ชนิด CNC CMM 5
รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของระบบการวัด (Organization of the Measuring System) 6
รูปที่ 2.4 ตัวรับสัญญาณแบบ TP1 7
รูปที่ 2.5 ตัวรับสัญญาณแบบ TP2 7
รูปที่ 2.6 ตัวรับสัญญาณแบบ Scanning Probe System 8
รูปที่ 2.7 ตัวรับสัญญาณแบบ Auto-Probe-Change System 8
รูปที่ 2.8 ตัวรับสัญญาณแบบ Centering Microscope & CCTV Monitor System 9
รูปที่ 2.9 เครื่องวัดพิกัด 3มิติแบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type) 9
รูปที่ 2.10 เครื่องวัดพิกัด 3มิติแบบบริดจ์ (Bridge Type) 10
รูปที่ 2.11 แบบเครื่องวัดพิกัด 3มิติคอลัมน์ (Column Type) 10
รูปที่ 2.12 เครื่องวัดพิกัด 3มิติแบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type) 11
รูปที่ 2.13 เครื่องวัดพิกัด 3มิติแบบแกนทรี (Gantry Type) 11
รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์ 12
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของมอเตอร์ 12
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ Permanent Magnet Stepping Motor 13
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ Single Stack Variable Reluctance Stepping Motor 14
รูปที่ 2.18 ลักษณะการทำงานของ Single Stack Variable Reluctance Stepping Motor 15
รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานของ Multitask Variable Reluctance Stepping Motor 16
รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในของ Hybrid Stepping Motor 17
รูปที่ 2.21 เส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กใน Hybrid Stepping Motor 18
รูปที่ 2.22 การต่อสัญญาณของพอร์ตขนาน 19
รูปที่ 2.23 โครงสร้าง Incremental Encoder 26
รูปที่ 2.24 โครงสร้างของ Absolute Encoder 26
รูปที่ 2.25 ขั้นตอนการหาค่า Repeatability 27
รูปที่ 3.1 แบบของเครื่องมือวัดพิกัด 3มิติ 30
รูปที่ 3.2 แบบของหัวรับสัญญาณ 30
รูปที่ 3.3 โต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3มิติ 31
รูปที่ 3.4 โครงสร้างเครื่องวัดพิกัด 3มิติ 32
รูปที่ 3.5 หัวรับสัญญาณ 32
รูปที่ 3.6 แผงวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่างๆ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดพิกัด 3มิติ พร้อมอุปกรณ์ต่างๆ 33
รูปที่ 3.8 Flow Chart แสดงขั้นตอนกี่ทำงานของโปรแกรม 34
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องวัดพิกัด พร้อมทั้งอุปกรณ์ต่างๆและโต๊ะวาง 35
รูปที่ 4.2 รูปแบบฟอร์มหน้าจอของโปรแกรมในการวัดพิกัด 36
รูปที่ 4.3 แสดงการเซ็ตค่าศูนย์ที่ แกน X, Y, Z 36
รูปที่ 4.4 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Point 37
รูปที่ 4.5 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Plane 37
รูปที่ 4.6 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Line 38
รูปที่ 4.7 แตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน 38
รูปที่ 4.8 หน้าต่างขึ้นแสดงข้อผิดพลาด 39
รูปที่ 4.9 สามารถกลับไปเลือกรูปแบบการวัดได้อีก 39
รูปที่ 4.10 ยกแกน Z ขึ้นให้พ้นจากความสูงของชิ้นงาน 40
รูปที่ 4.11 เลื่อนแกน X และแกน Y ไปตรงจุดที่ต้องการวัดชิ้นงาน 40
รูปที่ 4.12 เลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน 41
รูปที่ 4.13 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงาน 41
รูปที่ 4.14 ทำจุดที่ 2 ที่ต้องการวัด 42
รูปที่ 4.15 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 2 42
รูปที่ 4.16 ทำจุดที่ 3 ที่ต้องการวัด 43
รูปที่ 4.17 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 3 43
รูปที่ 4.18 ทำจุดที่ 4 ที่ต้องการวัด 44
รูปที่ 4.19 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 4 44
รูปที่ 4.20 สามารถลบค่าที่ Display แสดงไว้ เพื่อทำการวัดครั้งใหม่ ได้ที่ Clear 45
รูปที่ 4.21 ทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน X 45
รูปที่ 4.22 ทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน Y และ Z 46
รูปที่ 4.23 การออกจากโปรแกรมที่ Exit 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

งานอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดมีความสำคัญและจำเป็นมาก สำหรับไว้ทำการตรวจสอบสินค้าหรือเครื่องมือเครื่องจักรเพื่อควบคุมคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานและมีความแม่นยำสูงตามความต้องการ โดยที่เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่งที่ใช้งานทางอุตสาหกรรมที่ช่วยให้ผู้ใช้ทราบถึงพิกัดชิ้นงานที่ถูกต้องและมีความละเอียดมากกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ โดยมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น จึงเห็นว่ามีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ และทำการพัฒนาปรับปรุงเครื่องวัด 3 มิติ ให้มีความถูกต้องแม่นยำเหมาะสมกับการวัดพิกัดของชิ้นงานเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงพิกัดของชิ้นงานที่ต้องการวัดที่แน่นอนตามความต้องการของผู้ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของโครงงาน ได้แก่

1. เพื่อศึกษาในด้านการวัดและระบบการทำงานของเครื่องวัดพิกัดในงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อทำการปรับปรุงเครื่องวัดพิกัดชิ้นงาน 3 มิติ ที่สามารถหาพิกัดชิ้นงานทั้งแกน X, Y, Z
3. เพื่อทำการศึกษาโปรแกรม Visual Basic และนำมาประยุกต์ใช้การรับ - ส่งข้อมูลเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตในการศึกษาครั้งนี้ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. ทำการประกอบและพัฒนาเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine: CMM) ให้สามารถวัดชิ้นงานที่มีขนาดพื้นที่ ความยาว 755 mm ความกว้าง 300 mm และความสูง 210 mm เป็นการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานเท่านั้น
2. ทำการศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อใช้ควบคุมเครื่องวัดพิกัดให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลในการวัดพิกัดและแสดงค่าพิกัดของการวัด
3. การเคลื่อนที่ของการวัดพิกัดด้วยการใช้มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, แกน Y และแกน Z ในการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาข้อมูลหลักการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3มิติ (CMM)
2. ได้ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3มิติ (CMM)
3. ได้เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ขนาดการวัดพื้นที่ ความยาว 755 mm ความกว้าง 300 mm และความสูง 210 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine : CMM)

เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์ หรือโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นโรงงานที่ต้องการความแม่นยำและถูกต้องในการผลิตชิ้นส่วนสูง โดยเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ นั้นจะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบขนาดของชิ้นงานที่ทำการผลิตว่าได้ตามมาตรฐานที่ถูกต้องตามที่ได้ตามที่ออกแบบอย่างที่ต้องการ เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ นั้นจะมีความละเอียดกว่าเครื่องวัดอื่นๆ เช่น เวอร์เนีย หรือไมโครมิเตอร์ และจะสามารถวัดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนดีกว่า

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน คือ แกน X, Y, Z โดยความสามารถในการเคลื่อนที่นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องวัดซึ่งสามารถวัดขนาดงานที่มีขนาดเล็กๆอย่างเช่น ลายของแผ่นปริ๊น จนไปถึงสามารถวัดชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ๆ อย่างเช่น เสื้อสูบของรถยนต์หรือโครงสร้างของรถยนต์

2.1.1 การเคลื่อนที่ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ มีการเคลื่อนที่อยู่ 2 แบบ

1. แบบระบบการเคลื่อนที่ด้วยตลับลูกปืน
2. แบบระบบการเคลื่อนที่ด้วยแรงลม (Air Bearing)

โดยระบบการเคลื่อนที่ด้วยตลับลูกปืนนั้นจะมีความถูกต้องน้อยกว่าระบบการเคลื่อนที่ด้วยแรงลม (Air Bearing) ประมาณ 5-20 μm โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดและรุ่นของเครื่องวัดพิกัด

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine: CMM) เป็นเครื่องมือวัดพิกัดที่จะมีหัวโพรบ (Probe) ที่ถูกใช้งานในส่วนของการที่จะสัมผัสกับพื้นที่ผิวของชิ้นงาน เพื่อจะพิจารณาในส่วนของตำแหน่งที่ต้องการ และพิจารณาความราบเรียบของพื้นที่ผิวของชิ้นงานนี้จากการประมวลผลจากโปรแกรมของเครื่องวัดพิกัดนั้นๆ โดยที่คำนวณจากตำแหน่งพิกัด 3 แกน (X, Y, Z) ของจุดที่ทำการวัดความสามารถในการวัดของเครื่องเครื่องมือวัด จะไม่มีข้อจำกัดสำหรับหัวโพรบ ในการวัดพื้นผิวที่มีการพลิก การกลับตัว ข้อจำกัดทางด้านตำแหน่งและจำนวนความหนาแน่นของจุดที่วัด แม้ว่าบนพื้นผิวที่ทำการวัดจะไม่จุดที่ไม่ต่อเนื่อง ได้แก่ พื้นที่ผิวมีรูหลุมที่เกิดจากอากาศ ด้วยลักษณะทางด้านความสามารถทางการวัดของเครื่องมือวัดพิกัดมีการใช้อย่างกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

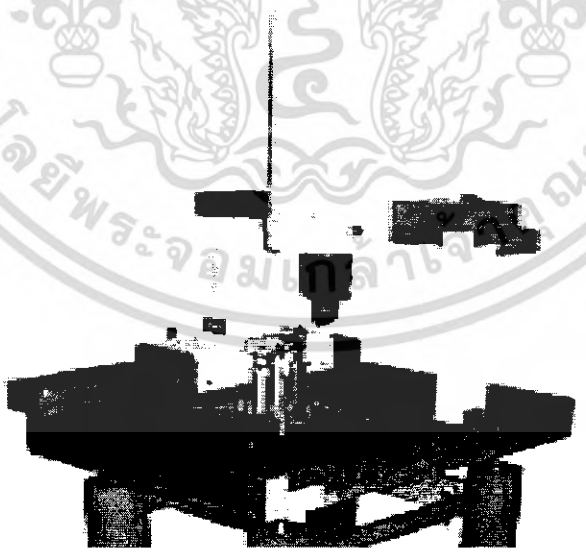
2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

เนื่องจากเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงและไวต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการติดตั้งและใช้งานจะต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ

1. ห้องจะต้องมีอุณหภูมิ 20 °C บวกลบได้ 1 องศา
2. อุณหภูมิจะต้องคงที่ ภายในเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องไม่แกว่งมากกว่า 1 °C
3. การกระจายของอุณหภูมิจะต้องไม่เกิน 0.5 °C/m
4. ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องจะต้องอยู่ระหว่าง 55 – 65 %
5. การสั่นสะเทือนของพื้นห้องที่ความถี่ น้อยกว่า 10 Hz จะต้องมีแอมปลิจูดไม่เกิน 2 μm จากยอดถึงยอด
6. การสั่นสะเทือนของพื้นห้องที่ความถี่ 10 ถึง 50 Hz จะต้องมีความเร่งไม่เกิน 0.004 m/s^2
7. แหล่งจ่ายลมจะต้องสามารถจ่ายลมได้มากกว่า 100 L/min
8. แหล่งจ่ายลมจะต้องสามารถจ่ายลมที่แรงดันระหว่าง 0.5 – 0.9 MPa
9. ลมที่จะเข้าเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จะต้องมีความชื้นน้อยที่สุดที่จะเป็นได้

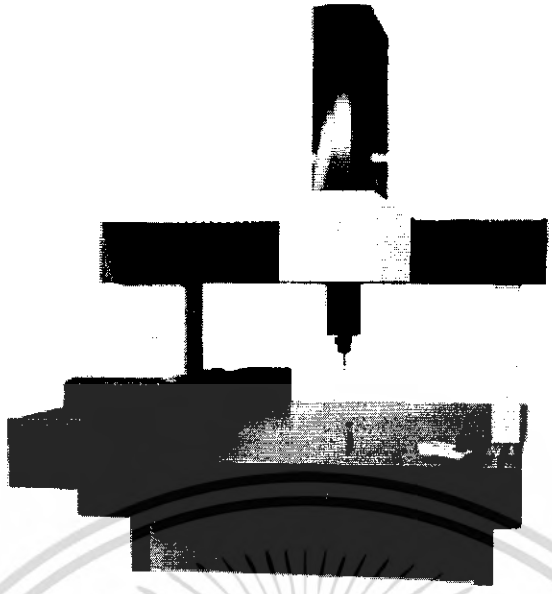
เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. Manual Floating CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ด้วยแรงของผู้ใช้เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.1
2. CNC CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ด้วยแรงของมอเตอร์ (Motor) โดยควบคุมผ่ายทางตัวควบคุม (Joy Stick) สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วตั้งแต่ 0 – 430 mm/s ทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ไปวัดงานได้ โดยอัตโนมัติแรงที่ใช้ในการแตะชิ้นงานจะคงที่ ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าแบบ Manual Floating CMM ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ชนิด Manual Floating CMM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



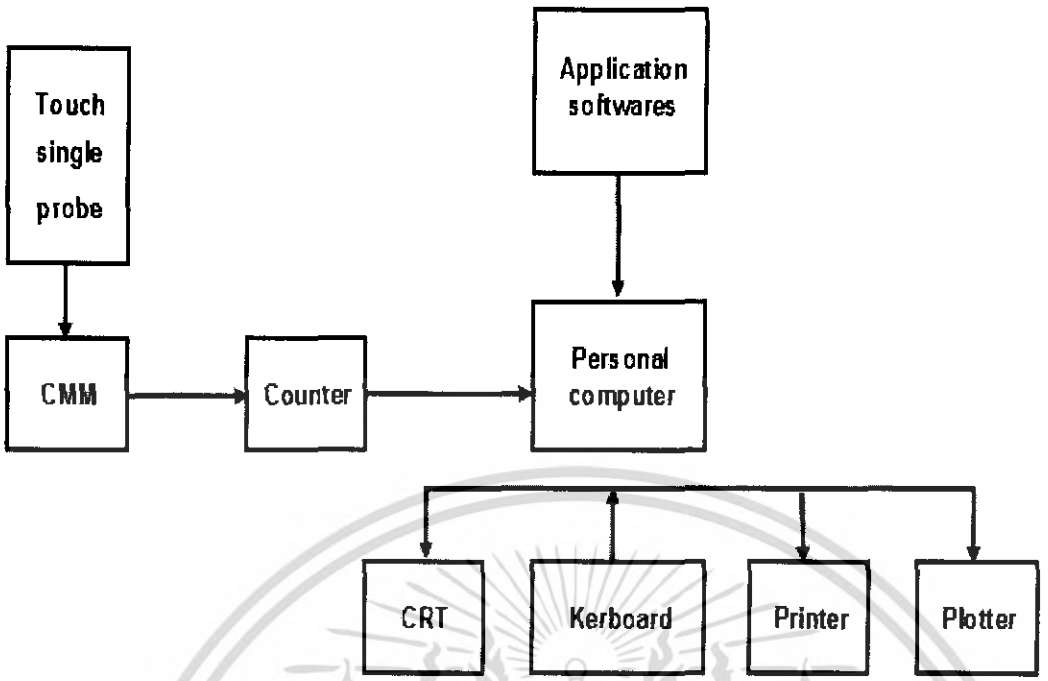
รูปที่ 2.2 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ชนิด CNC CMM

ระบบการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จะขึ้นกับส่วนประกอบดังนี้คือ

1. ตัวเครื่องวัด 3 แกน
2. ตัวควบคุม (Controller)
3. ตัวรับสัญญาณ
4. การ์ดอินเตอร์เฟส
5. เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรม
6. อุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องพิมพ์ (Printer) หรือ เครื่องวาดเส้น (Plotter)

จากรูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของระบบการวัด (Organization of the Measuring System) ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ได้ดีขึ้นขั้นตอนแรกคือเมื่อหัวรับสัญญาณแตะถูกชิ้นงาน ตัวควบคุมจะทำการบันทึกตำแหน่งนั้นไว้ จำนวนจุดที่ทำการแตะขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงาน เช่น วงกลมจะต้องทำการแตะอย่างน้อย 3 จุด,ทรงกระบอกจะต้องทำการแตะอย่างน้อย 5 จุด เป็นต้น เมื่อได้จุดครบตามที่ต้องการคอมพิวเตอร์ก็จะทำการประมวลผลตามลักษณะของชิ้นงาน เช่นวงกลมก็จะให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, คู่ลำดับของจุดศูนย์กลาง และค่าความกลม (ในกรณีที่วัดมากกว่า 3 จุด) แล้วจึงส่งผลการวัดไปยังเครื่องพิมพ์และรูปกราฟิกไปยัง เครื่องวาดเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของระบบการวัด (Organization of the Measuring System)

2.1.3 ชนิดของตัวรับสัญญาณ การรับสัญญาณของ CMM มี 5 วิธี คือ

2.1.3.1 Hard Probe System จะใช้กับเครื่อง Manual Floating CMM เท่านั้น

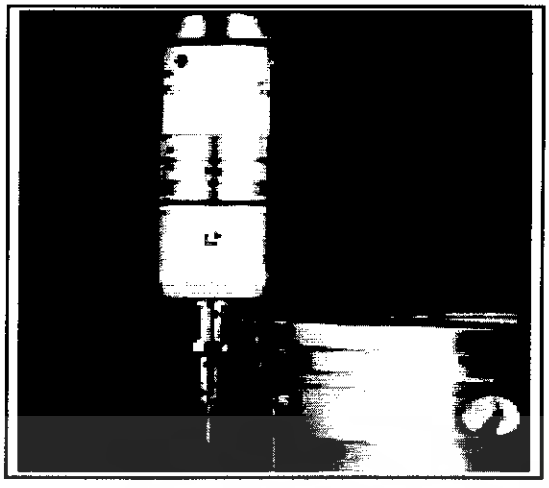
1. Ball-Point-Probe เป็นหัววัดที่มีปลายเป็นทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2 – 10 mm
2. Taper Probe เป็นหัววัดที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย ใช้วัดงานที่เป็นรูเจาะสามารถวัดได้ใน 2 มิติเท่านั้น ซึ่งมีช่วงการวัดรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2 – 56 mm
3. Cylindrical Probe เป็นหัววัดที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ใช้สำหรับวัดงานที่เป็นแผ่นบางใช้วัดงานในมิติเท่านั้น ขนาดของหัววัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3, 5, 6, 10 mm
4. Universal Probe เป็นหัววัดที่มีปลายเป็นทรงกลมเหมือนกับแบบBall-Point-Probe แต่สามารถเปลี่ยนมุมในการวัดได้ทำให้วัดด้านข้างได้ด้วยปลายหัววัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3, 5, 6, 10 mm

2.1.3.2 Touch Signal Probe System

เป็นหัววัดที่รับสัญญาณจากการแตะเมื่อหัววัดมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากแกนนิวทรอล สัญญาณจะส่งผ่านไปยังคอนโทรเลอร์ แบ่งออกได้ 2 แบบ

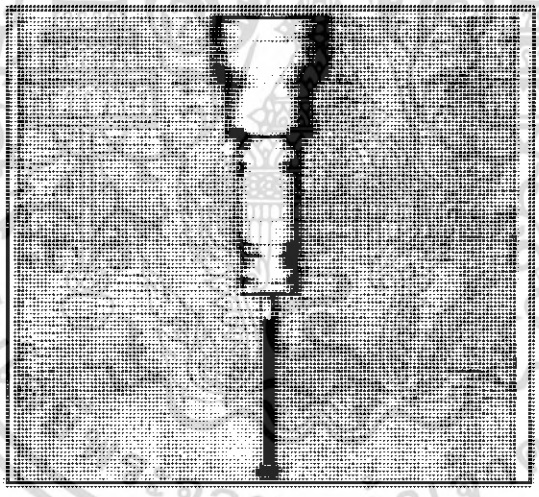
1. TP1 เป็นตัวรับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถลงไปวัดงานที่ลึกๆ ได้ แต่มีข้อดีคือมีความทนทานสูงมักจะไม่ค่อยมีปัญหาสัญญาณค้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวรับสัญญาณแบบ TP1

2. TP2 เป็นตัวสัญญาณที่มีขนาดเล็กสามารถไปวัดงานที่มีความลึกได้ดี ลักษณะการทำงานเหมือนกับ TP1 แต่มักจะพบว่ามีอายุการใช้งานสั้นกว่าทั้งนี้เป็นเพราะมีขนาดเล็กทำให้ยากต่อการผลิต และมีความทนทานน้อยกว่าทั้งนี้ยังมีราคาสูงกว่าแบบ TP1 อีกด้วย ดังแสดงในรูป 2.5

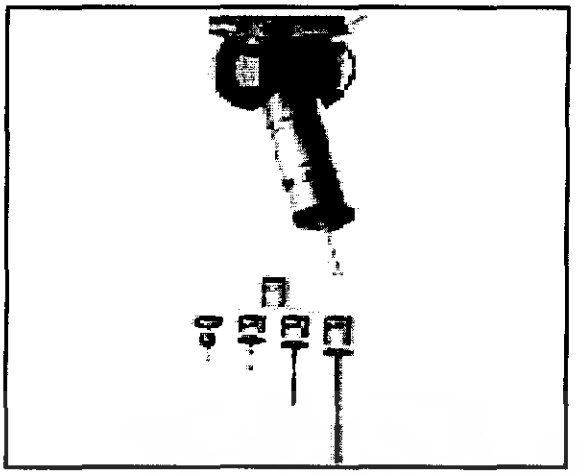


รูปที่ 2.5 ตัวรับสัญญาณแบบ TP2

2.1.3.3 Scanning Probe System

เป็นหัววัดที่จะสามารถวัดเป็นจุด และสามารถวัดแบบต่อเนื่องได้ด้วยหัววัดจะทำการลากไปที่เหมาะกับเส้นขอบนอก (Contour) ของชิ้นงาน ภายในหัววัดจะใช้ลมเป็นตัวลดการเสียดทานในการเคลื่อนที่เนื่องจากหัววัดจะต้องสัมผัสชิ้นงานอยู่เกือบตลอดเวลา จึงมีค่าความถูกต้องสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

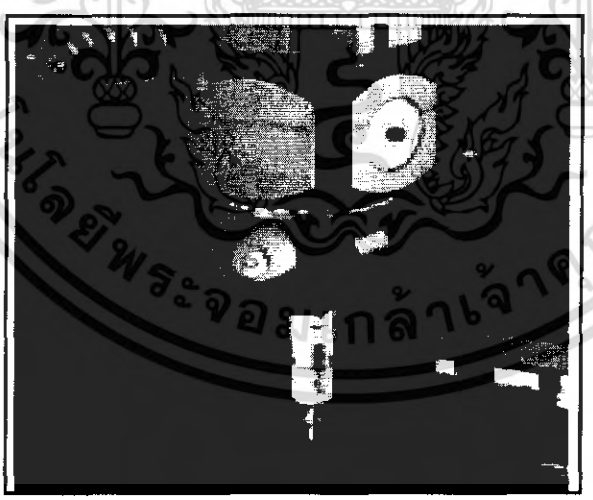
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวรับสัญญาณแบบ Scanning Probe System

2.1.3.4 Auto-Probe-Change System

ในการวัดที่ใช้ระบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์แบบสำหรับการวัดงาน 3 มิติ จะต้องมี Probe PH9A ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนมุมได้โดยอัตโนมัติมีสเตปการหมุนครั้งละ 7.5 องศา หมุนได้ 2 ทิศทางคือ หมุนรอบตัวเองจาก 0 ถึง 180 และ 0 ถึง -180 องศา เรียกว่ามุม B ส่วนมุม A จะเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากหมุนได้ 0 ถึง 90 องศา แต่การที่หัววัดหมุนได้ยังไม่ทำให้เป็นอัตโนมัติที่สมบูรณ์แบบ เพราะบางครั้งจะต้องมีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดของปลายหัววัด (Stylus) จึงต้องใช้ระบบการเปลี่ยนหัวรับสัญญาณอัตโนมัติ (Auto-Probe-Change System) เข้ามาช่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7

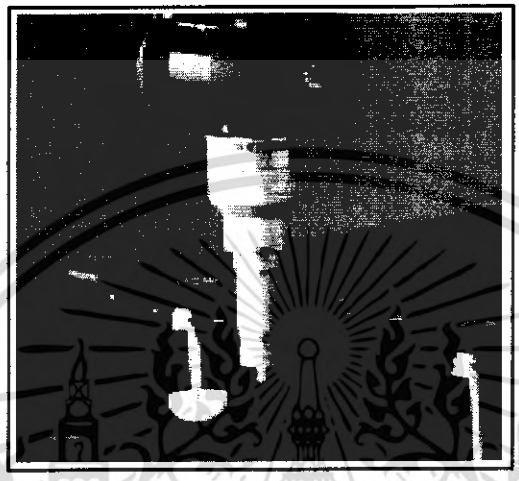


รูปที่ 2.7 ตัวรับสัญญาณแบบ Auto-Probe-Change System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.5 Centering Microscope & CCTV Monitor System

ใช้สำหรับการวัดรูที่มีขนาดเล็ก และชิ้นงานที่อ่อน เช่น ยาง หรือพลาสติก การวัดด้วยการสัมผัสไม่สามารถทำได้ ตัวกล้องจะมีทั้งระบบตาเดียวและสองตามีอัตราส่วนขยายของเลนส์ 10X, 20X, 30X, 50X, 100X จอโทรทัศน์ CCTV Monitor System จะแสดงภาพที่ได้จาก Centering Microscope เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้มี CMM ที่เป็น CNC และต้องการใช้วัดงานที่มีความกว้างมากๆ ซึ่งจะไม่สามารถขึ้นไปนั่งบน CMM เพื่อส่องชิ้นงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

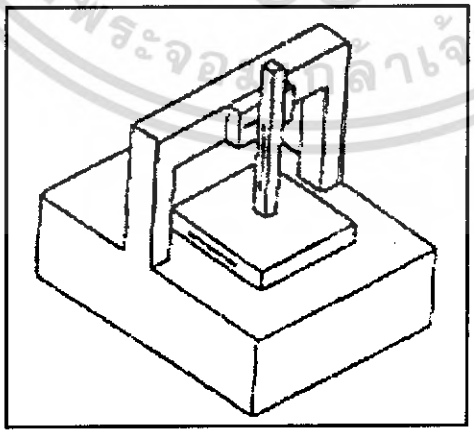


รูปที่ 2.8 ตัวรับสัญญาณแบบ Centering Microscope & CCTV Monitor System

2.1.4 ลักษณะของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine)

2.1.4.1 แบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type)

แบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type) เป็นรูปแบบของเครื่องมือวัดพิกัดที่ใช้สำหรับการวัดที่ต้องการขอบเขตของการวัดที่กว้าง และไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก ในการทำงานสามารถเข้าสู่พื้นที่ที่จะทำการวัดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดรูปแบบอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.9

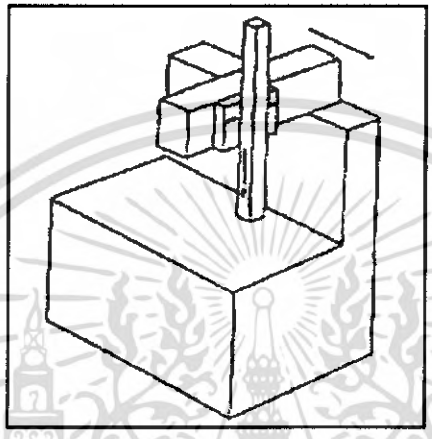


รูปที่ 2.9 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 <u>แบบบริดจ์ (Bridge Type)</u>

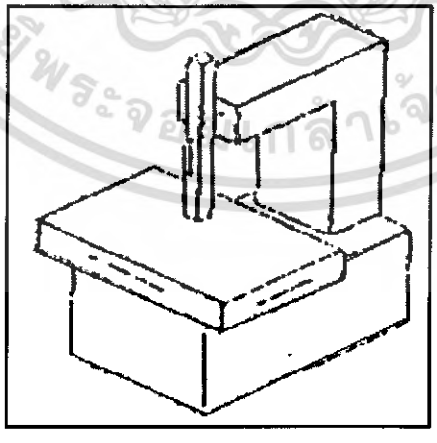
แบบบริดจ์ (Bridge Type) เป็นรูปแบบของเครื่องมือวัดพิกัดที่มีการใช้กว้างขวางมาก เป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดชิ้นงานขนาดปานกลางและต้องการความแม่นยำสูง โดนพื้นฐานแล้วแบบบบริดจ์จะมีแกนที่เคลื่อนที่ได้ โดยที่จุดปลายของแกน Y จะอยู่บนฐาน โดยโครงสร้างของแบบบริดจ์ จะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงที่สุดแต่มีข้อจำกัด เนื่องจากปลายทั้งสองของแกน Y จะต้องมีเนื้อที่ บริเวณที่จะต้องมีเนื้อที่บริเวณที่เหมือนกันมากที่สุด เครื่องมือวัดพิกัดประเภทนี้ นั้นจะสามารถใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ แต่จะทำให้ยากกว่าแบบแคนทิเลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบบริดจ์ (Bridge Type)

2.1.4.3 <u>แบบคอลัมน์ (Column Type)</u>

แบบคอลัมน์ (Column Type) เป็นเครื่องมือวัดพิกัดที่ใช้ในการวัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก โดยสามารถเข้าถึงชิ้นงานเพื่อทำการวัดได้สะดวกและใช้สำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.11

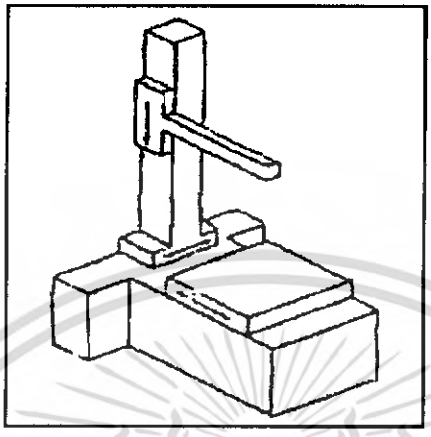


รูปที่ 2.11 แบบเครื่องวัดพิกัด 3 มิติคอลัมน์ (Column Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.4 แบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type)

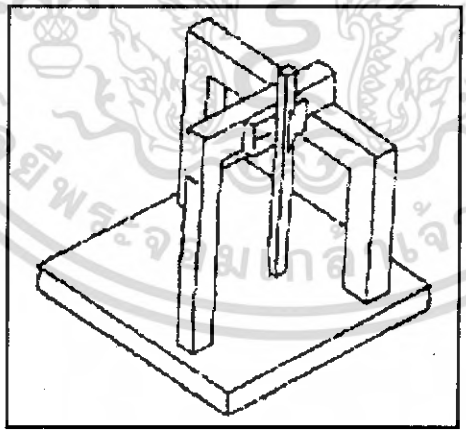
แบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type) มีแขนที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแกน Y แขนนี้ใช้ในการขับหัวโพรบข้อได้เปรียบของรูปทรงของเครื่องมือวัดพิกัด ประเภทนี้ได้แก่ มีขนาดใหญ่แต่ไม่ขัดขวางพื้นที่ในการวัดและสามารถใช้กับการวัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type)

2.1.4.5 แบบแกนทรี (Gantry Type)

แบบแกนทรี (Gantry Type) เป็นเครื่องมือวัดพิกัด ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการวัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มาก นอกจากนี้สามารถทำการวัดชิ้นส่วนในแนวนอนได้ดี และมีความแข็งแรงกว่าแบบแคนทิเลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

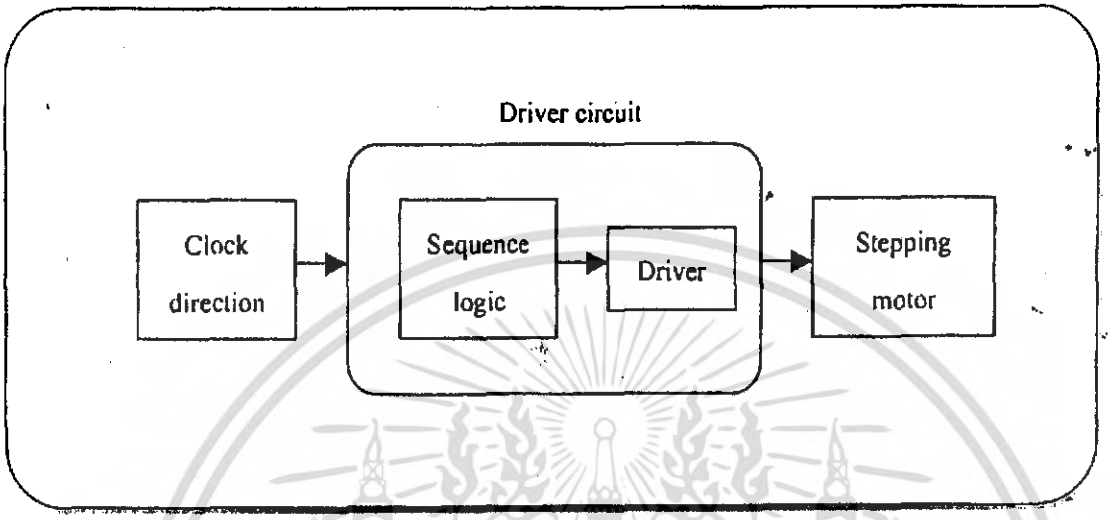


รูปที่ 2.13 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบแกนทรี (Gantry Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

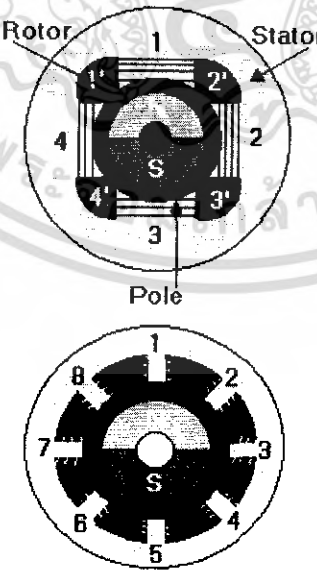
2.2 สเตป มอเตอร์ Stepping Motor

Stepping Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ดังไดอะแกรมแสดงการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์

โครงสร้างการทำงานภายในของสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้นจะมีแกนตัวหมุน (Rotor) เป็นแม่เหล็กถาวร ตรงขั้น 1 และ 5 ซึ่งเป็นชุดขดลวดเดียวกันเมื่อมีกระตุ้นขดลวด 1-2-3-4 จะทำให้ขดลวดหมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งจะควบคุมการหมุนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ สเตปปิ้งมอเตอร์แบ่งตามลักษณะทางโครงสร้างได้ 3 ประเภท คือ

1. Permanent Magnet Stepping Motor (PM Stepping Motor)
2. Variable Reluctance Stepping Motor (VR Stepping Motor)
3. Hybrid Stepping Motor

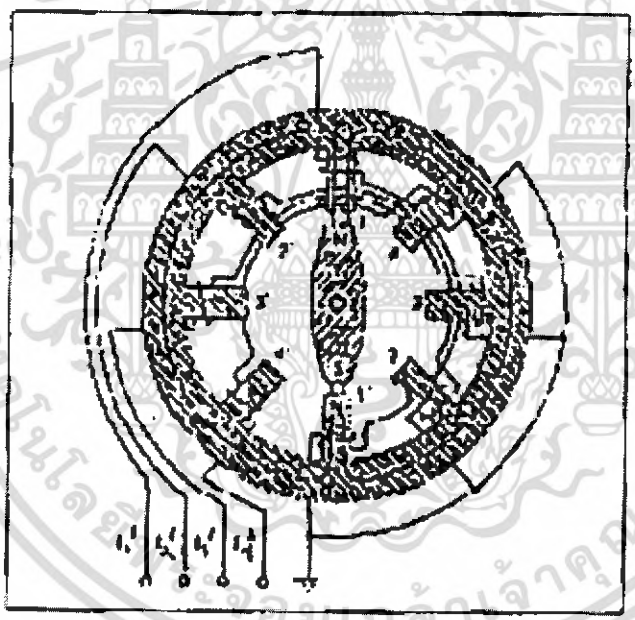
2.2.1.1 Permanent Magnet Stepping Motor (PM Stepping Motor)

โครงสร้างภายในของมอเตอร์ 4 เฟสซึ่งแต่ละเฟสจะมีทั้งหมด 8 ขั้ว ส่วนโรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรตรงขั้ว 1 และ 1'ซึ่งเป็นชุดขดลวดเดียวกัน เมื่อมีการกระตุ้นขดลวด 1-4-3-2 จะทำให้ขดลวดหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ โครงสร้างชนิดนี้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดมากนัก สามารถคำนวณมุมได้จากสูตร

$$\theta_s = 360 / N_p$$

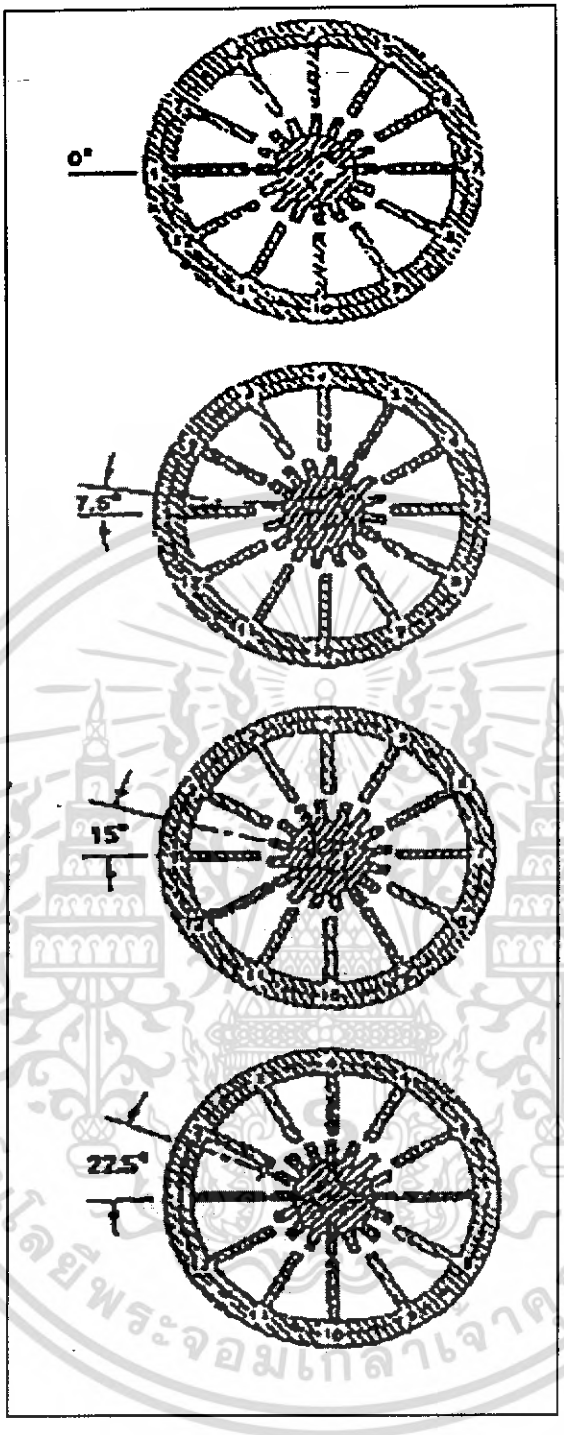
เมื่อ θ_s = มุมระหว่างขั้วของสเตเตอร์

N_p = จำนวนขั้วของสเตเตอร์



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ Permanent Magnet Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ลักษณะการทำงานของ Single Stack Variable Reluctance Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Multitask Variable Reluctance Stepping Motor

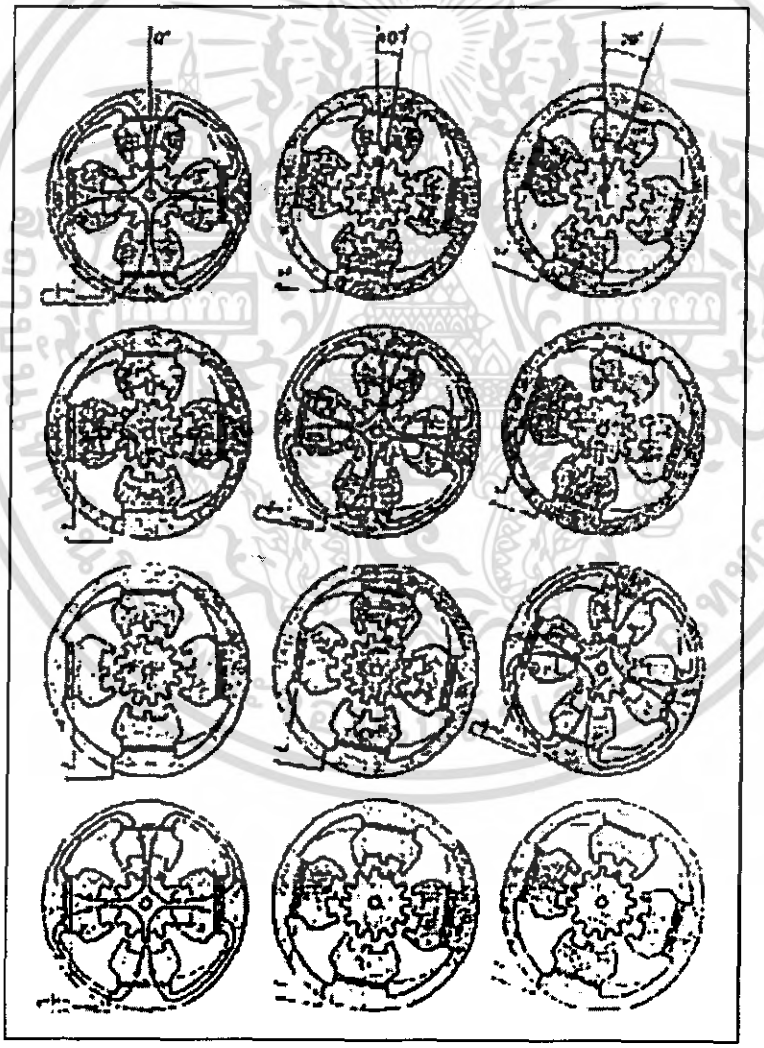
สเตปปิ้งมอเตอร์ที่มีหลายสแตค แต่ละสแตคแทนด้วยเฟส 1 เฟส สแตคที่ตัวโรเตอร์จะมีฟันเรียงเหมือนกันทั้ง 3 สแตค ส่วนสแตคทั้ง 3 ของตัวโรเตอร์จะเรียงเบี่ยงเบนจากกัน ตามจำนวนองศาที่กำหนด จากรูปจะแสดงลักษณะการหมุนของสแตคทั้ง 3 คือ เมื่อกระตุ้นเฟสที่ 1 สแตคที่ 1 จะถูกเหนี่ยวนำที่ 0 องศา เมื่อเฟสที่ 2 ถูกกระตุ้น สแตคที่ 2 จะเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กให้โรเตอร์หมุนไป 10 องศา เมื่อเฟสที่ 3 ถูกเหนี่ยวนำ สแตคที่ 3 ก็จะเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กให้โรเตอร์หมุนไปอีก 10 องศาเป็น 20 องศา สูตร คือ

$$\theta = P_R / N_p$$

เมื่อ θ คือ สเตปต่อองศาของสเตปปิ้งมอเตอร์

P_R คือ มุมระหว่างฟันของโรเตอร์

N_p คือ จำนวนเฟสของมอเตอร์



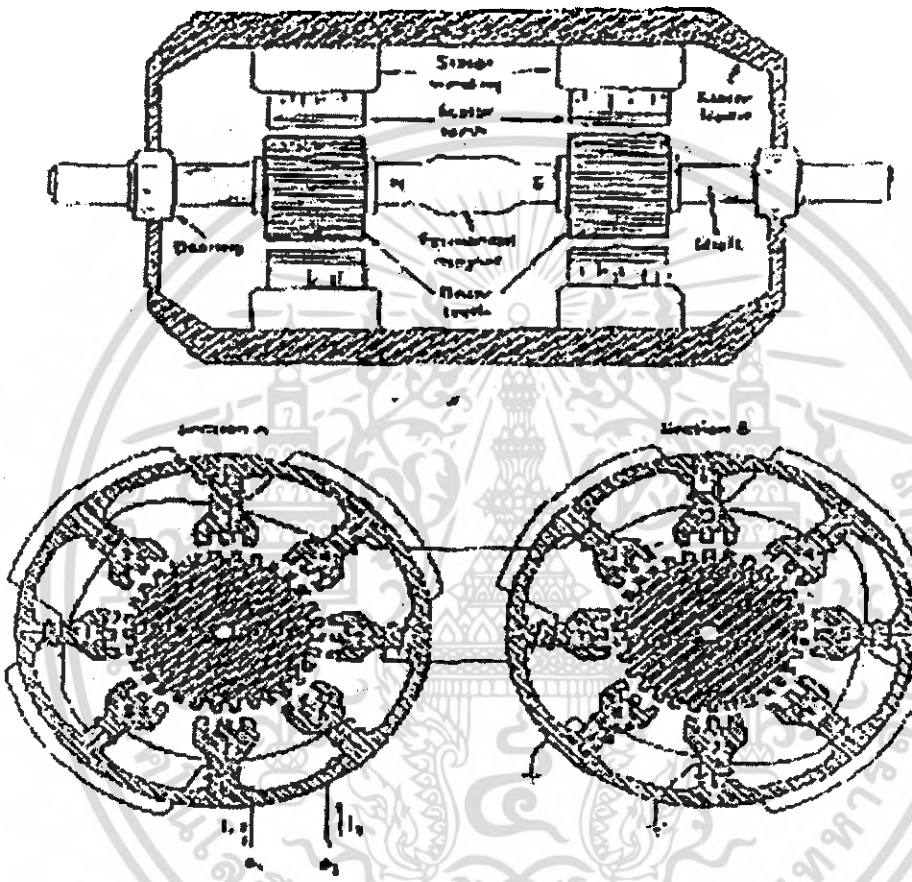
รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานของ Multitask Variable Reluctance Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.1.3 Hybrid Stepping Motor

มอเตอร์ชนิดนี้จะมีหลายสแตค โดยแกนกลางของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ตำแหน่งฟันของสเตเตอร์จะตรงกันทุกสแตค แต่ของโรเตอร์จะเยื้องกันเท่ากับ $180/N_R$ เมื่อ N_R คือ จำนวนฟันของโรเตอร์ จากรูป ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 สแตคจะเยื้องกัน 180/30 = 6 องศา ชุดขดลวดที่สเตเตอร์แยกเป็น 2 ชุดคือ ชุดที่ 1 จะพันรอบขั้วที่ 1, 3, 5, 7 โดยขั้วที่ 1, 5 มีทิศทางของสนามแม่เหล็กเหมือนกัน และขั้วที่ 3, 7 มีทิศทางของสนามแม่เหล็กเดียวกัน

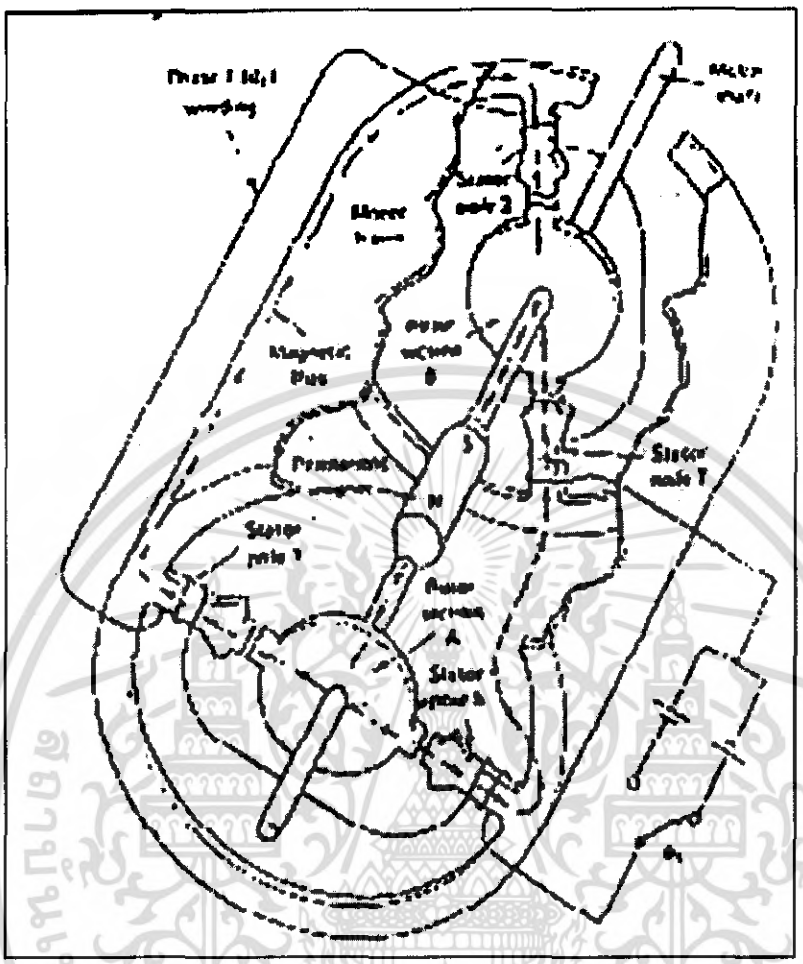


รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในของ Hybrid Stepping Motor

แกนกลางของโรเตอร์ที่ส่วน A จะเป็นขั้วเหนือและส่วน B เป็นขั้วใต้จากรูป เมื่อเฟสที่ 1 ถูกกระตุ้นฟลักซ์จากขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรจะไหลไปยังโรเตอร์ส่วน A ออกที่ขั้ว 1 และ 5 แล้วจึงไหลไปยังโรเตอร์ส่วน B เข้าที่ขั้ว 3 และ 7 แล้วเดินทางต่อไปยังขั้วใต้ของแกนโรเตอร์ ซึ่งจะครบลูป (Loop) ของสนามแม่เหล็ก

71986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กใน Hybrid Stepping Motor

ลำดับการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์จะแสดงในตาราง คือ

- สเตปที่ 1 ป้อนกระแส I_1 + ที่ส่วน A จะมีฟลักซ์แม่เหล็กไหลออกที่ขั้ว 1 และ 5 แล้วไหลไปที่ส่วน B เข้าที่ขั้ว 3 และ 7

- สเตปที่ 2 ป้อนกระแส I_1 + ที่ส่วน A จะมีฟลักซ์แม่เหล็กไหลออกที่ขั้ว 4 และ 8 แล้วไหลไปที่ส่วน B เข้าที่ขั้ว 2 และ 6

- สเตปที่ 3 ป้อนกระแส I_1 + ที่ส่วน A จะมีฟลักซ์แม่เหล็กไหลออกที่ขั้ว 3 และ 7 แล้วไหลไปที่ส่วน B เข้าที่ขั้ว 1 และ 5

- สเตปที่ 4 ป้อนกระแส I_1 + ที่ส่วน A จะมีฟลักซ์แม่เหล็กไหลออกที่ขั้ว 2 และ 6 แล้วไหลไปที่ส่วน B เข้าที่ขั้ว 4 และ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ 1 ฟันจะต้องป้อนสัญลักษณ์ทั้งหมด 4 ครั้ง คือ 1_1 +, 1_1 -, 1_1 -, 1_1 + ตามลำดับ สูตรการคำนวณคือ

$$\theta = 360 / 4 N_R$$

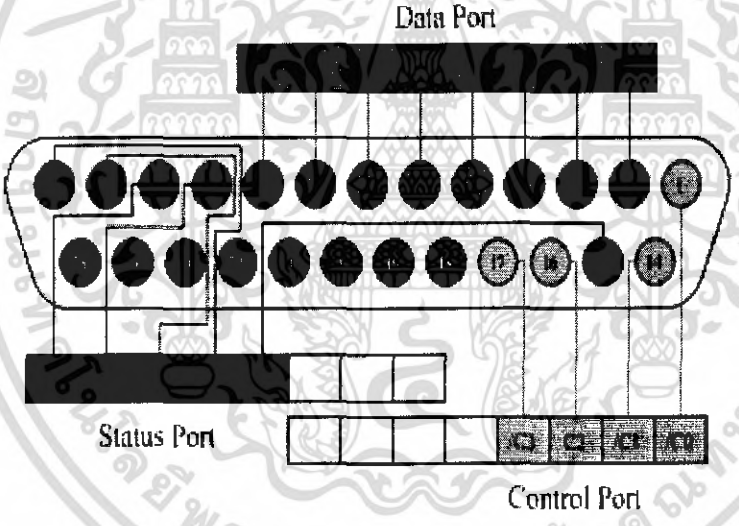
เมื่อ คือ สเตปต่อองศาของสเตปปิ้งมอเตอร์

คือ จำนวนฟันโรเตอร์

2.3 ทฤษฎีพอร์ตขนาน (Parallel Port)

พอร์ตขนานหรือ Parallel Port นั้นเดิมเรียกว่า Printer Port เพราะการใช้งานส่วนใหญ่กับพอร์ตขนาน เป็นการใช้งาน โดยการต่อกับเครื่องพรินเตอร์เป็นหลัก โดยที่พอร์ตขนานนั้น สามารถให้ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลได้รวดเร็วกว่า พอร์ตอนุกรมราว 8 ถึง 10 เท่า และยังสามารถส่งข้อมูลขนาน 8 Bit ออกไปได้โดยตรง

พอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยสัญญาณทั้งหมด 25 เส้นสัญญาณ โดยสัญญาณจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะหน้าที่ของสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะประกอบด้วย



รูปที่ 2.22 การต่อสัญญาณของพอร์ตขนาน

2.3.1 Data Port

Data Port เป็นรีจิสเตอร์เอาท์พุท มีขนาด 8 Bit จะมีอยู่ 8 ขา ตั้งแต่ขาที่ 2 ถึงขาที่ 9 โดยขาที่ได้รับสัญญาณจะเปลี่ยนจากลอจิก 0 เป็นลอจิก 1 โดยมีระดับแรงดันสูงสุดสำหรับลอจิก 0 เท่ากับ 0.5 V และระดับแรงดันต่ำสุดของลอจิก 1 เท่ากับ 2.4 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Status Port

Status Port เป็นรีจิสเตอร์อินพุท มีขนาด 5 Bit ที่อ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถเขียนข้อมูลได้ สถานะของอินพุทจากภายนอกเพื่อส่งค่าไปประมวลผลโดยอยู่ที่ขา 10 -13 และ 15 ลักษณะการทำงานของแต่ละบิตใน Status Port มีดังนี้

Bit7 Busy เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์จะไม่รับข้อมูล

Bit6 nAck เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์พร้อมที่จะทำงาน (Active Low)

Bit5 Paper End เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์ไม่มีกระดาษ

Bit4 Select เมื่อ Active หมายถึงเลือกพรินเตอร์

Bit3 nError เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์เกิดข้อผิดพลาด (Active Low)

Bit2, Bit1, Bit0 ไม่ใช้

2.3.3 Control Port

Control Port เป็นรีจิสเตอร์เอาท์พุท มีขนาด 4 Bit ที่ใช้ในการควบคุมพรินเตอร์ สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปปรากฏที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 1, 14, 16, 17 โดยบิต 0, 1 และ3 จะการสลับสถานะด้วยคือ ถ้าลอจิก 1 ก็ให้ส่งข้อมูลลอจิก 0 ออกไปโดยสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้ลักษณะการทำงานของแต่ละบิตใน Control Port

Bit3 nSelect Printer เมื่อ Active หมายถึงเลือกพรินเตอร์

Bit2 nInitialize เมื่อ Active หมายถึงรีเซตพรินเตอร์

Bit1 nAuto Feed เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์กระทำ Line Feed

Bit0 nStrobe เมื่อ Active หมายถึงการบอกให้พรินเตอร์ทราบว่ามีข้อมูลเข้ามาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนาน

Standard Parallel Port (SPP)			Enhanced Parallel Port (EPP)		Extended Capabilities Port (ECP)	
Single name	Centronics (36-pin)	DB-25 (25-pin)	Single Name	DB-25 (25-pin)	Single name	DB-25 (25-pin)
Strobe	1	1	Write	1	Host CLK	1
Data 0	2	2	Data 0	2	Data 0	2
Data 1	3	3	Data 1	3	Data 1	3
Data 2	4	4	Data 2	4	Data 2	4
Data 3	5	5	Data 3	5	Data 3	5
Data 4	6	6	Data 4	6	Data 4	6
Data 5	7	7	Data 5	7	Data 5	7
Data 6	8	8	Data 6	8	Data 6	8
Data 7	9	9	Data 7	9	Data 7	9
Acknowledge	10	10	Interrupt	10	Periph CLK	10
Busy	11	11	Wait	11	Periph CLK	11
Paper End	12	12	Spare	12	Ack Reverse	12
Select	13	13	Spare	13	X-Flag	13
Auto Line Feed	14	14	Data Strobe	14	Host ACK	14
Error	31	15	Spare	15	Periph Request	15
Initialize Printer	32	16	Reset	16	Reverse Request	16
Select Input	36	17	Address Strobe	17	1284 Active	17
Strobe Return	19	18	Ground	18	Ground	18
Data 0 Return	20	19	Ground	19	Ground	19
Data 1 Return	21	19	Ground	20	Ground	20
Data 2 Return	22	20	Ground	21	Ground	21
Data 3 Return	23	20	Ground	22	Ground	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนาน (ต่อ)

Standard Parallel Port (SPP)			Enhenced Parallel Port (EPP)		Extended Capabilities Port (ECP)	
Single name	Centronics (36-pin)	DB-25 (25-pin)	Single Name	DB-25 (25-pin)	Single name	DB-25 (25-pin)
Data 4 Return	24	21	Ground	23	Ground	23
Data 5 Return	25	21	Ground	24	Ground	24
Data 6 Return	26	22	Ground	25	Ground	25
Data 7 Return	27	22				
Acknowledge Return	28	24				
Busy Return	29	23				
Paper End Return	28	24				
Select Return	28	24				
Auto Line Feed Return	30	25				
Error Return	29	23				
Initialize Printer Return	30	25				
Select Input Return	30	25				
Shield	33	N/C				
N/C	34	N/C				
N/C	35	N/C				

2.4 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์

การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ คือ การทำงานติดต่อร่วมกันระหว่างซีพียูและอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกเหนือจากจะต้องทำงานติดต่อกับ RAM และ ROM แล้วยังต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการส่งข้อมูลอินพุท, เอาท์พุทอีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบมีความสมบูรณ์ขึ้น ในระบบต่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะทำงานต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ ดังเช่น การส่งรับข้อมูลจากซีพียูไปยังส่วนอื่น ๆ เป็นต้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการที่จะโอนย้ายข้อมูลทุกตัวนั้นจะต้องมีแหล่งที่ส่งข้อมูล และแหล่งที่รับข้อมูลสำหรับกระบวนการเหล่านี้จะมีส่วนที่สำคัญคือข้อมูลนั้นเป็น Address หรือว่าเป็น Data จะส่งไปยังจุดไหน ตัวอย่างเช่น ส่งไปยังหน่วยความจำหรืออุปกรณ์อินพุต และจะส่งเมื่อไร การทำงานเหล่านี้โดยทั่วๆ ไป จะต้องมีสัญญาณในการตรวจสอบอุปกรณ์ว่าพร้อมที่จะส่ง/รับข้อมูลหรือไม่ก่อนเสมอ เนื่องจากจุดที่รับและส่งข้อมูล จะต้องมีสัญญาณตรวจสอบความพร้อมอยู่เสมอ เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่เราใช้งานนั้น ๆ เป็นระเบียบ ตัวอย่างเช่น ส่งข้อมูลจากซีพียูไปยังอุปกรณ์รอบข้าง เป็นต้น ซึ่งจุดรับส่งคู่หนึ่ง ๆ อาจจะเป็นระหว่างซีพียูด้วยกัน หรือ ซีพียูกับหน่วยความจำ หรือ ซีพียูกับอุปกรณ์รองข้าง หรือระหว่างอุปกรณ์รอบข้างด้วยกัน หรือ ระหว่างหน่วยความจำกับอุปกรณ์รอบข้าง ก็ได้ สำหรับข้อมูลที่โอนย้ายไปมานั้นจะอยู่ในลักษณะของเลขฐานสอง ตัวอย่างเช่น 01101100_2 ซึ่งเลขแต่ละตัวจะแทนด้วย 1 Bit อาจเป็น 8 Bit หรือ 16 Bit ขึ้นอยู่กับระบบนั้น ๆ ถ้าหากเป็นการต่อจากคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตขนานในสัญญาณที่ส่งมาจะมีระบบแรงดันไฟฟ้า คือ

- พอร์ตอนุกรม (RS-232) มีแรงดัน 3 ถึง 25 VDC
- พอร์ตขนาน มีแรงดัน 5 VDC (TTL) ต่อ 1 Bit

จะเป็นได้ว่าระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ยกมาให้ดูนี้ เราสามารถที่จะควบคุมและนำมาใช้กับอุปกรณ์รองข้าง หรืออุปกรณ์ภายนอกได้ ดังจะยกตัวอย่าง เช่นพอร์ตขนานระดับแรงดันไฟฟ้า 5 VDC สามารถนำมาใช้ในการขับรีเลย์ทรานซิเตอร์, หลอดไฟ LEDให้ทำงานได้โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปควบคุมที่พอร์ตพรินเตอร์ เป็นต้น

2.4.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์

โดยจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่หลังคอมพิวเตอร์ และอยู่ภายในคอมพิวเตอร์ ดังนี้

2.4.1.1 <u>อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่หลังคอมพิวเตอร์</u>

- พอร์ตต่อคีย์บอร์ด หรือ อาจเรียกกันว่า PS/2, Mini-DIN
- พอร์ตต่อเมาส์ หรือ อาจเรียกกันว่า PS/2, Mini-DIN
- พอร์ตต่ออนุกรม อาจเรียกว่า Serial Port, Com Port (Com 1,Com 2) ใช้ในระบบติดต่อสื่อสาร RS-232
- พอร์ตต่อจอยสติก ส่วนมากจะเห็นพอร์ตนี้อยู่ที่ซาวด์การ์ดเป็นส่วนใหญ่
- พอร์ตต่อโมเด็ม โดยตัวเชื่อมโยง (Connector) จะเป็นประเภทเดียวกับสายสัญญาณโทรศัพท์
- พอร์ต USB (Universal Serial Bus) เป็นพอร์ตรุ่นใหม่ที่สามารถพ่วงอุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น เมาส์ คีย์บอร์ด, โมเด็ม,กล้องดิจิตอล เป็นต้น
- พอร์ตเชื่อมต่อระบบเครือข่าย จะพบอยู่กับการ์ดแลน (LAN Card) หรือเรียกว่า พอร์ต RJ-45
- พอร์ต SCSI (Small Computer System Interface) มักใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วสูง

2.4.1.2 <u>อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่ภายในคอมพิวเตอร์</u>

- EIDE (Enhanced Integrated Drive Electronics) สายเชื่อมต่อกับฮาร์ดดิสก์
- SCSI (Small Computer System Interface) โดยมากจะมากับการ์ด ที่เป็นแบบสกัซซี
- ฟลอปปี้ไดร์ฟ คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีไว้สำหรับต่อฟลอปปี้ไดรฟ์
- คอนเน็กเตอร์อนุกรม มี 10 เข็ม อยู่ที่แผงวงจรแมนบอร์ด
- คอนเน็กเตอร์ขนาน มี 26 เข็ม อยู่ที่แผงวงจรแมนบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ระบบที่ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลของคอมพิวเตอร์

- USB (Universal Serial Port) รวมถึง Firewire (IEEE-1348) เป็นระบบใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบใหม่ ที่มีความเร็วสูง อีกทั้งเฉลียวฉลาดมากขึ้น ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก (Hardware) ซึ่ง USB ได้ถูกนำเข้ามาแทน การติดต่อแบบ RS-232 และ Centronics Printer Ports ดังจะเห็นได้จากอุปกรณ์ โมเด็ม หรือ อุปกรณ์ตัวอื่น ๆ เป็นต้น
- Firewire มันได้ถูกออกแบบเพื่อรองรับการสื่อสารสำหรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณภาพเสียง , วีดีโอ รวมถึงขนาดของบล็อกที่มีขนาดใหญ่
- Micro Wire, Interface การติดต่อสื่อสารเป็นแบบ Synchronous Serial เหมาสำหรับใช้ในระยะสั้น ๆ ซึ่ง Microtroller ส่วนใหญ่แล้วจะติดต่อแบบนี้
- Ethernet ใช้ติดต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายหรือที่เรียก ระบบแลน ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อกันไปมาหลาย ๆ เครื่องเป็นระบบที่มีความเร็วสูง และอุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์ มีความซับซ้อนรวมทั้งราคาสูงกว่า ระบบการติดต่อสื่อสารแบบอื่น ๆ ในที่นำมากล่าวทั้งหมดนี้
- Centronics Parallel Printer Port Interface สามารถส่งข้อมูลได้หลายบิต สำหรับการส่งหนึ่งครั้ง ซึ่งมีความเร็วสูงสุด มักจะนิยมใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร ระหว่างซีพี และเครื่องพิมพ์ (Printer) , เครื่องสแกนเนอร์, เครื่องเก็บข้อมูลแบบภายนอก (Data Acquisition Devices) เป็นต้น
- IrDA (Interface Data Association) เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย โดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งใช้ได้ในระยะทางสั้นๆ ในที่สายเคเบิลไม่สามารถติดตั้งได้ หรือ เข้าไปไม่ถึง ดังจะพบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น รีโมททีวีหรือวีดีโอ,เมาส์ หรือ คีย์บอร์ดอินฟราเรด เป็นต้น

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ใช้สำหรับการสื่อสารแบบอนาล็อกในเครื่องมือด้านเครื่องเสียง, เครื่องมือด้านดนตรี (ซินติไซเซอร์ / เปอร์คัตชั่น / เปอร์คัตชั่น / กีตาร์แอฟเฟ็ก) เครื่องมือควบคุมเสียงในโรงภาพยนตร์ (มิกเซอร์ / อีเควอไรเซอร์ / เอฟเฟกต่าง ๆ ซึ่งมันจะใช้กระแสไฟประมาณ 5 mA ที่ความเร็ว 31.5 kbps

2.5 ลิมิตสวิทช์

ลิมิตสวิทช์ก็คล้ายกับสวิตช์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งหลักการทำงานสามารถดูได้ ในตำแหน่งปกติหมายถึงตำแหน่งที่ยังไม่มีอะไรมากระทำปุ่มกดบนลิมิตสวิตช์ขณะทำงานนั้น ซึ่งตำแหน่งนี้หน้าสัมผัสจะต่ออยู่ระหว่างจุด 2 จุด แต่เมื่อมีก้านสูบมากดหรือมีอะไรมากระทำที่ปุ่มกด จะทำให้หน้าสัมผัสต่อระหว่างจุด 2 จุดมาสัมผัสกันก็จะต่อวงจร จะสังเกตได้ว่าหน้าสัมผัสระหว่างจุด นั้น จะเป็นปกติปิด

หน้าสัมผัสในลิมิตสวิตช์มีลักษณะการทำงานอยู่ 2 แบบคือ

1. หน้าสัมผัสชนิดทำงานช้า
2. หน้าสัมผัสชนิดทำงานทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder)

อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device) หรือที่นิยมเรียกขานกันในแวดวงอุตสาหกรรมว่า เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแบบเอซีชนิดที่ควบคุมแบบโคลสลูป ระบบจำเป็นต้องใช้ Encoder เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในระบบควบคุมมอเตอร์ และ Encoder มีหน้าที่ป้อนค่าตำแหน่งกลับมาเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมระยะทาง ดังนั้น การนำ Encoder มาใช้กลับสเตปมอเตอร์จะทำให้ ระบบที่เป็น Open Loop กลายเป็น Close Loop ทันที โดยอุปกรณ์ป้อนกลับ หรือเอนโค้ดเดอร์ (Encoder) แบ่งออกได้ 2 แบบ

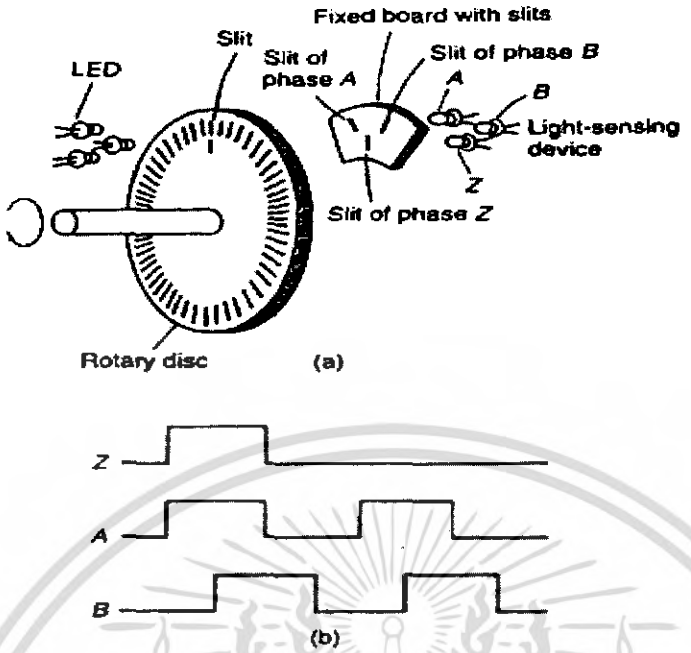
2.6.1 อินครีเมนทอล เอ็นโค้ดเดอร์ (Incremental Encoder)

2.6.2 แอ็ปโซลูท เอ็นโค้ดเดอร์ (Absolute Encoder)

2.6.1 อินครีเมนทอล เอ็นโค้ดเดอร์ (Incremental Encoder)

Incremental Encoder ทำงานโดยอาศัยหลักการอาศัยหลักการออพติคอล บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักว่า Optical Encoder หรือบางกรณีก็จะถูกเรียกว่า Digital Encoder ซึ่งมีลักษณะดังรูป โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆแผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ Incremental Encoder และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A, B และ Z สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโคดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แทรค (Tracks) คือ A, B และ Z ดังรูปพัลส์ที่เกิดจาก แทรค A และ B จะเกิดการเหลื่อมกันมีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ ดังนี้กรณี พัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ Incremental Encoder โดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้กับระบบเซอร์โวที่มีการควบคุมตำแหน่ง เนื่องจากไม่สามารถจำแหน่งเดิมได้กรณีที่มีการปิดเครื่องหรือไฟดับ ซึ่งจะต้องทำการหาจุดอ้างอิงใหม่ทุกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.23

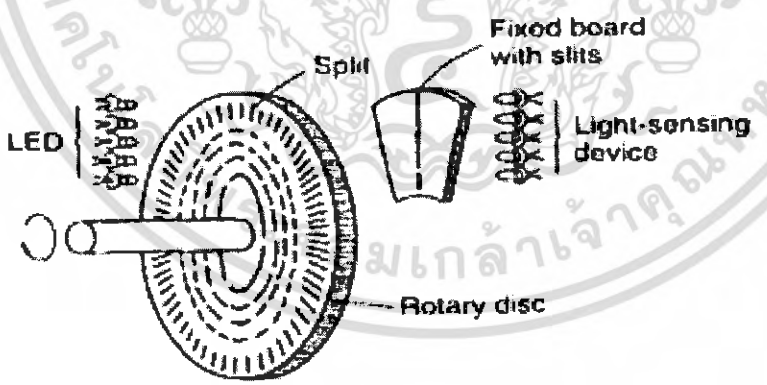
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 โครงสร้าง Incremental Encoder

2.6.2 แอ็บโซลูท เอ็นโค้ดเดอร์ (Absolute Encoder)

Absolute Encoder เป็นดิจิตอลเอนโคดเดอร์ อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการออพติคอล คล้ายกับ Incremental Encoder โดยประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสง และจานเข้ารหัสดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของ Absolute Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Encoder มีโครงสร้างแผ่นดิสก์พิเศษ ซึ่งมีลักษณะเป็น Gray Scales ความละเอียดตำแหน่งของ Absolute Encoder จะขึ้นกับจำนวนบิต Absolute Encoder จะให้ข้อมูลตำแหน่งค่อนข้างละเอียดและสามารถรายงานบอกตำแหน่งได้ทุกๆ จุดที่โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไป ไม่มีปัญหาเรื่องจุดอ้างอิงกรณีที่ไฟดับหรือปิดเครื่อง แต่จะไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม เช่นการสั่นสะเทือนและฝุ่นควัน นอกจากนั้นจานเข้ารหัสยังเปราะและแตกง่าย

2.7 การหาค่า Repeatability

ค่า Repeatability คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นค่าความเบี่ยงเบนของความผิดพลาดที่เกิดจากการแตะชิ้นงานที่จุดเดียวหลายๆ ครั้ง เมื่อได้ตำแหน่งศูนย์แล้วใช้คำสั่งแตะจุด 1 จุดที่ตำแหน่งนี้ 20 ครั้ง แล้วคำนวณตามหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$S = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - 1/N\left(\sum_{i=1}^{n} X_i^2\right)\right)/(N-1)\right]^{1/2}$$

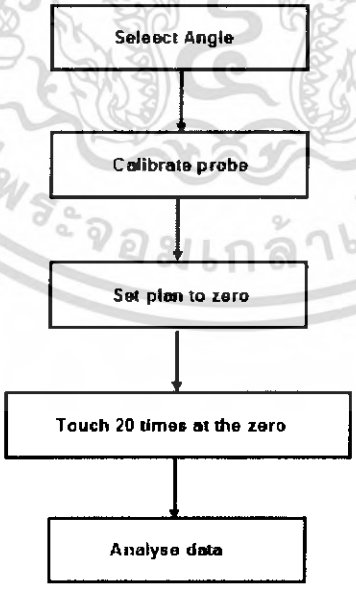
เมื่อ

S = ค่า Repeatability

X = ค่าที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนตัวอย่างการทดลอง

ขั้นตอนการหาค่า Repeatability คือขั้นแรกจะต้องกำหนดมุมที่จะตรวจสอบแล้วทำการสอบเทียบ หลังจากนั้นจึงหาตำแหน่งอ้างอิง แล้วแตะที่ตำแหน่งนั้น 20 ครั้ง



รูปที่ 2.25 ขั้นตอนการหาค่า Repeatability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและเก็บข้อมูลของโครงงาน
2. ทำการวางแผนโครงงาน
3. ทำการศึกษาข้อมูลในด้านต่างๆ
   - ด้านเครื่องมือวัด 3 มิติ
   - ด้านฮาร์ดแวร์
   - ด้านวงจรไฟฟ้า
   - ด้านซอฟท์แวร์
4. ปรับปรุงและดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)
5. ออกแบบและดำเนินงานทางด้านวงจรไฟฟ้าและด้านอินเตอร์เฟสคอมพิวเตอร์
6. ออกแบบและดำเนินงานทางด้านซอฟท์แวร์

3.2 การวางแผนโครงงาน

ก่อนเริ่มลงมือทำโครงงานนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการทำโครงงาน และเป้าหมายที่ชัดเจนให้แน่ชัด ซึ่งมีระยะเวลาการทำโครงงาน โดยรวมทั้งสิ้นประมาณ 1 ปี จะแบ่งออกเป็น 2 เทอม โดยเทอมที่ 1 และเทอมที่ 2 ซึ่งเทอมแรกหรือเทอมที่ 1 นั้นจะเป็นการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆของการทำโครงงาน เช่น การศึกษาข้อมูลด้านเครื่องมือวัด 3 มิติ, ข้อมูลด้านฮาร์ดแวร์, ข้อมูลด้านวงจรไฟฟ้า และข้อมูลการเขียนโปรแกรมซอฟท์แวร์ (Visual Basic) เป็นต้น ซึ่งเมื่อศึกษาข้อมูลทางด้านต่างๆแล้วก็ออกแบบเครื่องมือวัดพิกัด 3มิติ และหัวกดหรือหัวรับสัญญาณนั้นว่าควรจะออกแบบอย่างไรเป็นรูปแบบไหนให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานให้มากที่สุด ส่วนเทอมที่ 2 นั้นจะเป็นการลงมือประกอบเครื่องมือวัด 3 มิติ และชุดหัวรับสัญญาณ โดยจะทำตามแบบที่ออกแบบไว้ ซึ่งการลงมือทำจริงนั้น มีบางส่วนที่อาจมีการปรับปรุงแก้ไข หลังจากที่ทำการสร้างและประกอบส่วนต่างๆได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นส่วนการทดลอง, สรุปผลการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาข้อมูล

แบ่งออกได้เป็นการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ ต่อไปดังนี้

1. ด้านเครื่องมือวัดฟิกัด 3 มิติ

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- หนังสือจากห้องสมุด
- ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ท
- วิทยานิพนธ์และปริญญานิพนธ์ที่เนื้อหาใกล้เคียง
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

2. ด้านฮาร์ดแวร์

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- หัวรับสัญญาณ
- หนังสือจากห้องสมุด
- ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ท
- วิทยานิพนธ์และปริญญานิพนธ์ที่เนื้อหาใกล้เคียง
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

3. ด้านวงจรไฟฟ้า

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- ศึกษาสเตป มอเตอร์ (Stepping Motor)
- ศึกษา พอร์ตขนาน (Parallel Port)
- ศึกษา วงจรอินเตอร์เฟส
- หนังสือจากห้องสมุด
- ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ท
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

4. ด้านซอฟท์แวร์

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- การเขียนโปรแกรม Visual Basic
- วิทยานิพนธ์และปริญญานิพนธ์ที่เนื้อหาใกล้เคียง
- ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ท
- หนังสือจากห้องสมุด
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

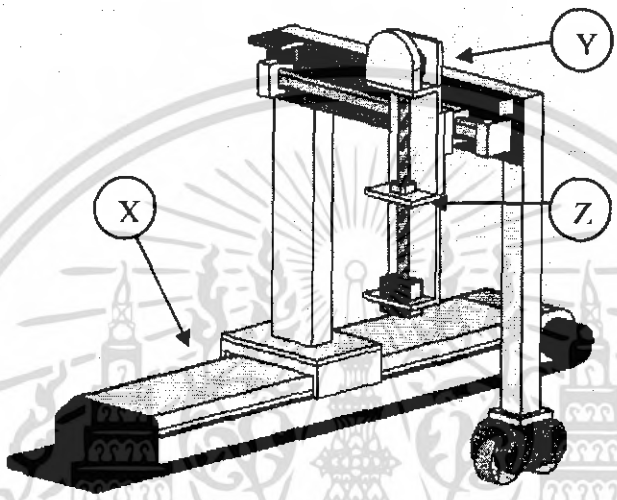
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การปรับปรุงและการดำเนินงาน

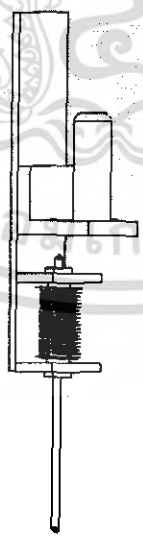
3.4.1 การปรับปรุงด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)

ได้ทำการปรับปรุงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ โดยในเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ส่วนการเคลื่อนในการวัด 3 แกน คือ แกน X, Y, Z โดยที่ใช้การมือบังคับในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนดังแสดงในรูปที่ 3.1
2. ชุดหัวกดหรือหัวรับสัญญาณ ที่ใช้วัดพื้นผิวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แบบของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ

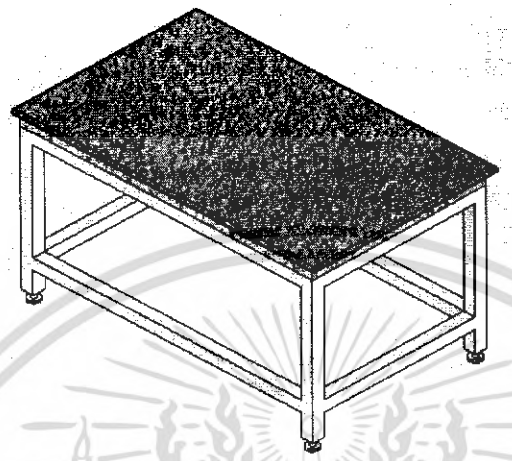


รูปที่ 3.2 แบบของหัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ขนาดของโต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

ได้ทำการออกแบบโต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ โดยมีขนาดความยาว 130 cm ความกว้าง 80 cm ความสูง 80 cm โดยใช้หินแกรนิตเป็นพื้นผิววางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ และจะสามารถปรับระดับความสูงของขาโต๊ะของแต่ละข้างได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



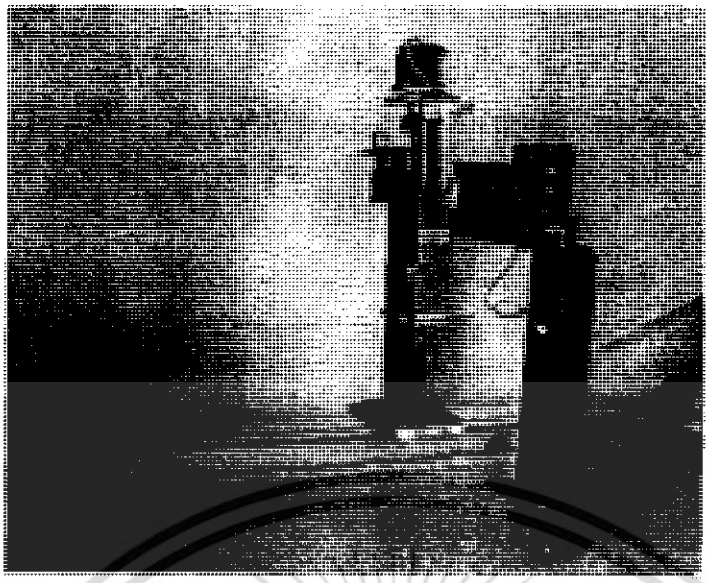
รูปที่ 3.3 โต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

3.4.3 การดำเนินงานการค้นฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)

โดยสามารถแบ่งขั้นตอนของการดำเนินงานได้ดังนี้

1. จัดสร้างและประกอบตัวโครงสร้างของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ซึ่งจะติดตั้งชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X, Y, Z ดังแสดงในรูปที่ 3.4
   - ทำการประกอบขาตั้งฉาก 1 ข้างเข้ากับแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X
   - ทำการประกอบชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y กับขาตั้งฉากที่ติดตั้งไว้กับแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X
   - ทำการประกอบขาตั้งฉากอีก 1 ข้าง เข้ากับชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y และทำการประกอบชุดล้อเลื่อนที่ขาตั้งฉากเพื่อให้เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X
   - ทำการประกอบชุดการเคลื่อนที่ของแกน Z เข้ากับแป้นเลื่อนของชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y

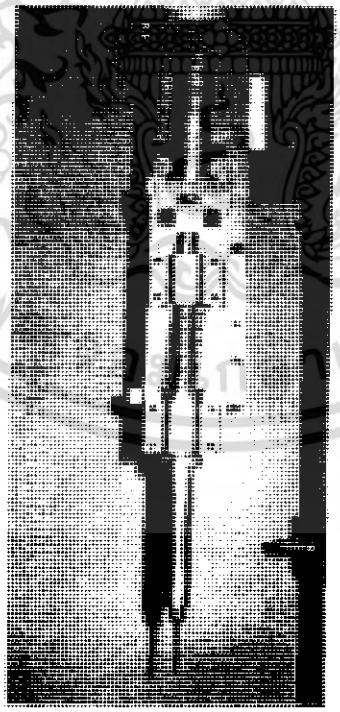
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

2. จัดสร้างและประกอบชุดหัวกดวัดชิ้นงาน หรือชุดหัวรับสัญญาณ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ที่รางเลื่อนของแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 3.5

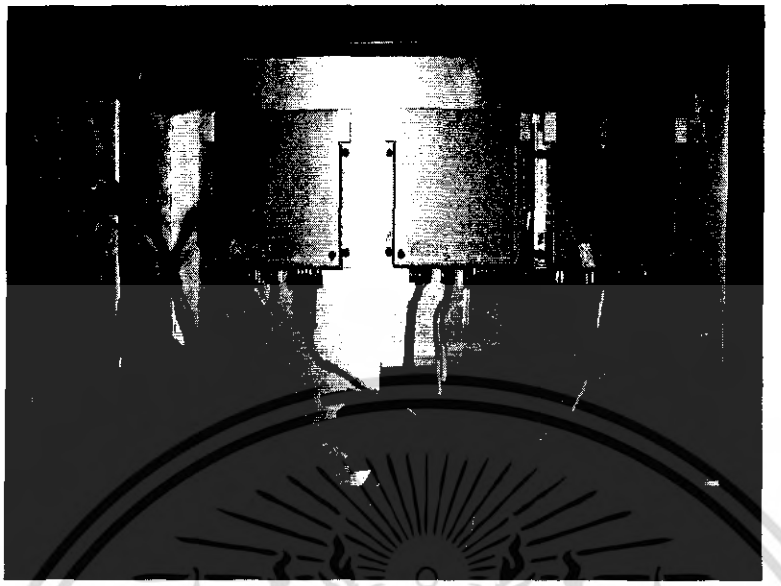
- ทำการประกอบชุดหัวรับสัญญาณ โดยทำการกลึงแท่งแกนหัวกดและประกอบชุดลูกปืนเลื่อนขึ้น-ลง 2 ตัว , สปริง



รูปที่ 3.5 หัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แผงวงจรไฟฟ้าต่างๆ และลิมิตสวิทช์



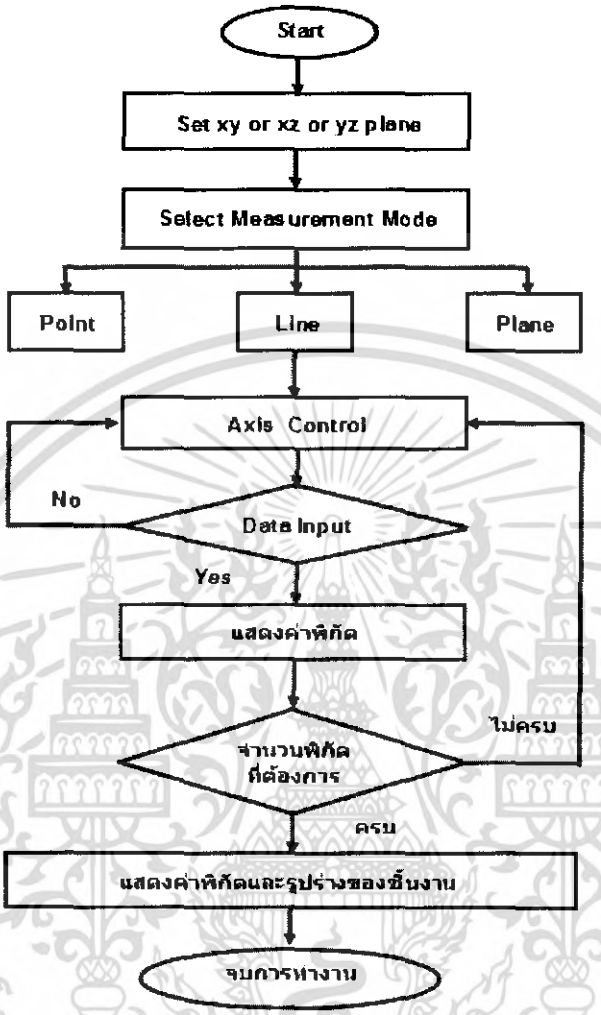
รูปที่ *3.6 แผงวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่างๆ*

รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ พร้อมอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การดำเนินการด้านโปรแกรม

แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการดำเนินงาน

การศึกษาการปรับปรุงเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติสามารถแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ด้าน คือ

- ด้านฮาร์ดแวร์ เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ และพิจารณาถึงความสามารถในการพัฒนาเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ
- ด้านซอฟท์แวร์ เกี่ยวข้องกับการศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างคือโปรแกรม วิชัวล์เบสิก (Visual Basic)

4.1 ผลการทดลองด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)

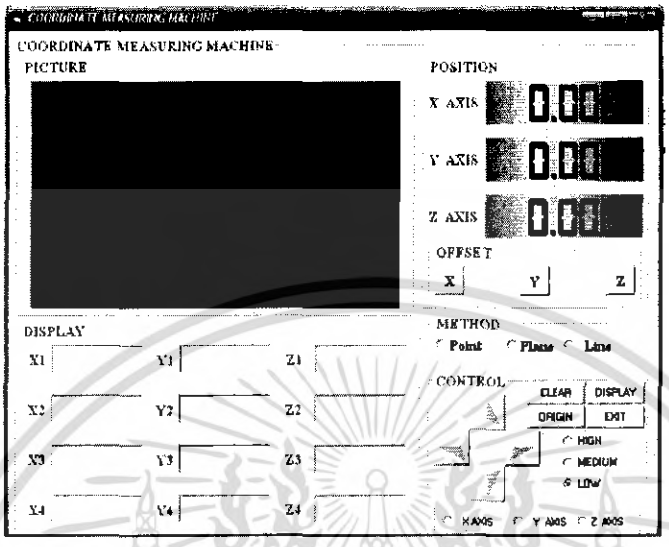
การประกอบชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y, Z และการประกอบหัวรับสัญญาณ อุปกรณ์วงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องและโต๊ะวาง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องวัดพิกัด พร้อมทั้งอุปกรณ์ต่างๆและโต๊ะวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองด้านโปรแกรม

การทดลองด้านโปรแกรมจะเป็นการทดลองในการวัดรูปทรงเรขาคณิต เช่น จุด เส้นตรง ระนาบ การทดลองโปรแกรมเริ่มต้นที่หน้าจอแรก ดังแสดงในรูปที่ 4.2

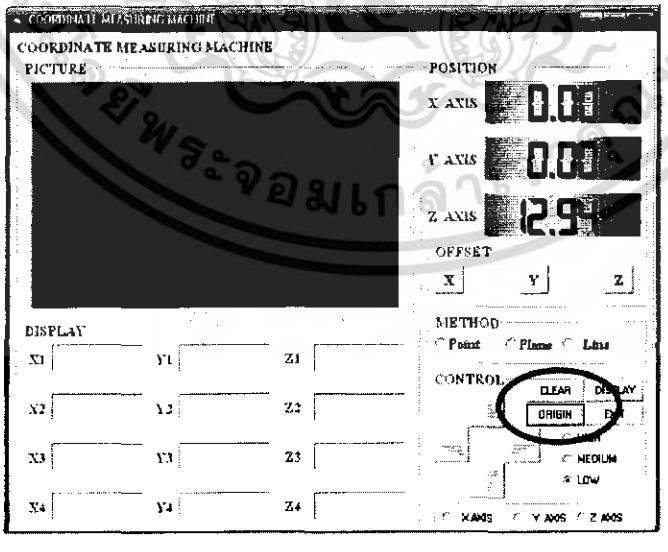


รูปที่ 4.2 รูปแบบฟอร์มหน้าจอของโปรแกรมในการวัดพิกัด

4.2.1 ขั้นตอนการวัดของโปรแกรม

4.2.1.1 ทำการเซ็ตค่าศูนย์ แกน X, Y, Z ที่ Origin

เซ็ตจุดศูนย์ของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ที่ Origin และพอหัวรับสัญญาณถึงจุดศูนย์ (หรือถึงพื้นโต๊ะวาง) แกน Z จะยกตัวขึ้นมาที่ 12.944 mm

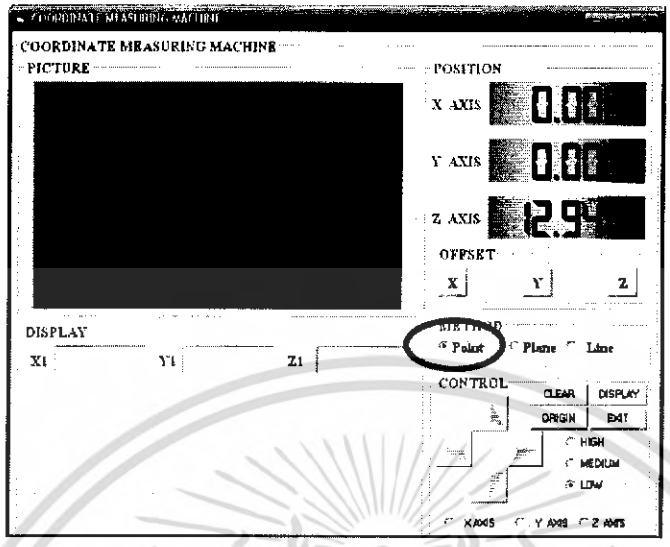


รูปที่ 4.3 แสดงการเซ็ตค่าศูนย์ที่ แกน X, Y, Z ที่ Origin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

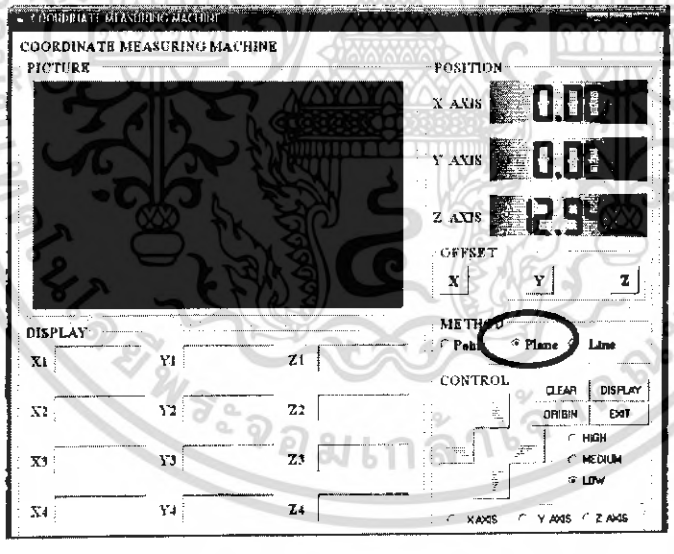
4.2.1.2 <u>เลือกรูปแบบของการเลือกแบบการวัดชิ้นงาน</u>

1. เลือกรูปแบบการวัดแบบ Point



รูปที่ 4.4 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Point

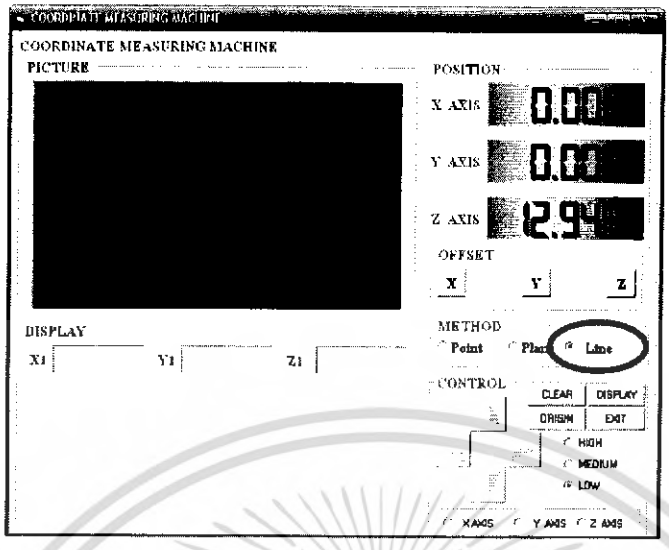
2. เลือกรูปแบบการวัดแบบ Plane



รูปที่ 4.5 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

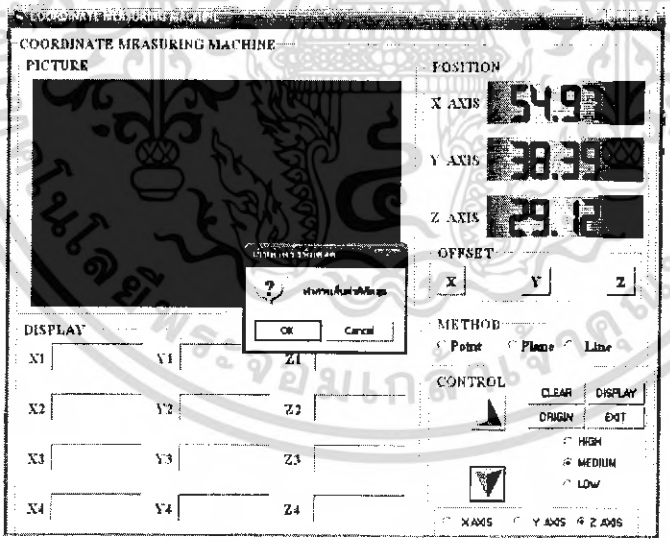
3. เลือกรูปแบบการวัดแบบ Line



รูปที่ 4.6 เลือกรูปแบบการวัดแบบ Line

4.2.1.3 <u>กรณีที่ไม่ได้เลือกรูปแบบการวัด</u>

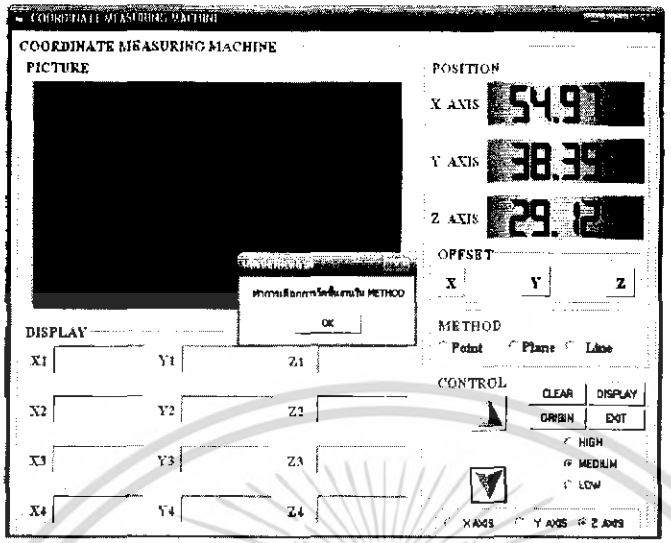
1. แตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 4.7 แตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน

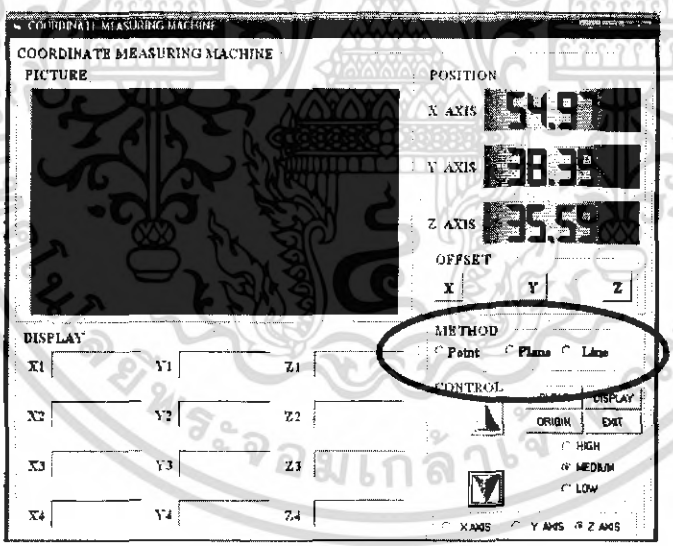
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน้าต่างขึ้นแสดงข้อผิดพลาด ให้กด OK



รูปที่ 4.8 หน้าต่างขึ้นแสดงข้อผิดพลาด

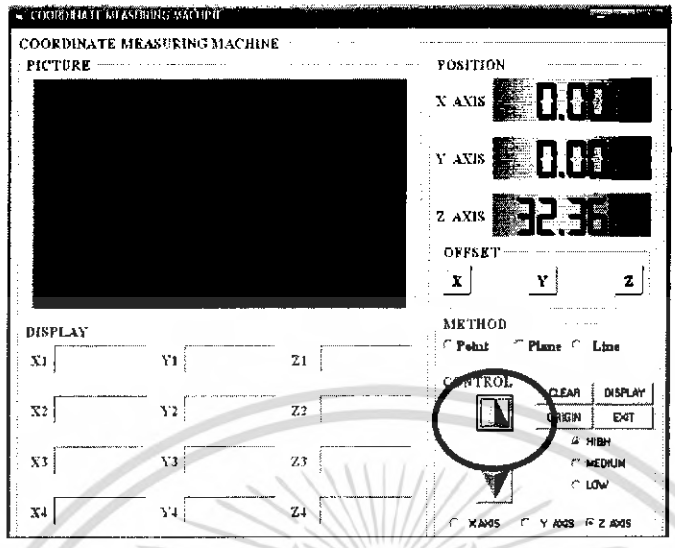
3. สามารถกลับไปเลือกรูปแบบการวัดได้อีกครั้ง



รูปที่ 4.9 สามารถกลับไปเลือกรูปแบบการวัดได้อีก

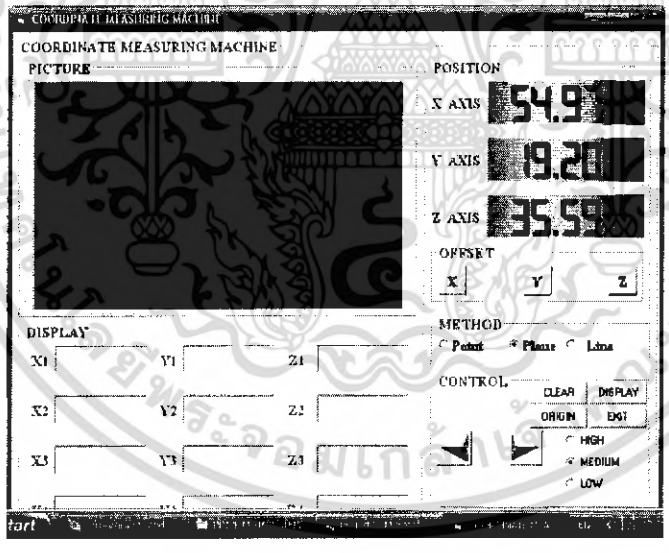
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 ยกแกน Z ขึ้นให้พ้นจากความสูงของชิ้นงานที่ต้องการวัด



รูปที่ 4.10 ยกแกน Z ขึ้นให้พ้นจากความสูงของชิ้นงาน

4.2.1.5 เลื่อนแกน X และแกน Y ไปตรงจุดที่ต้องการวัดชิ้นงาน

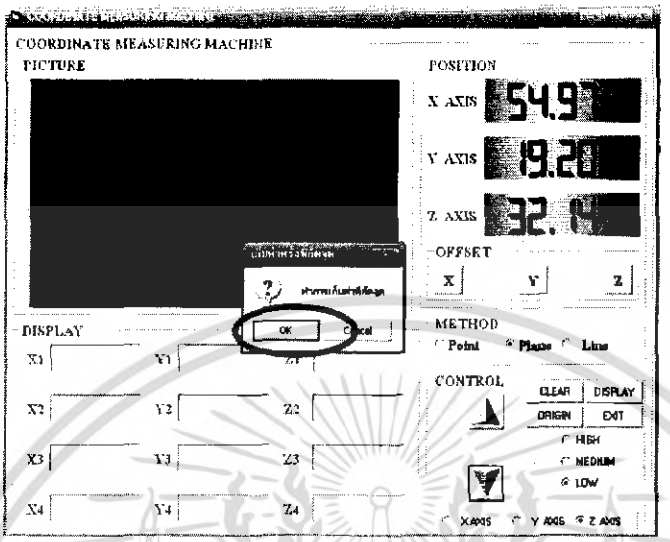


รูปที่ 4.11 เลื่อนแกน X และแกน Y ไปตรงจุดที่ต้องการวัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

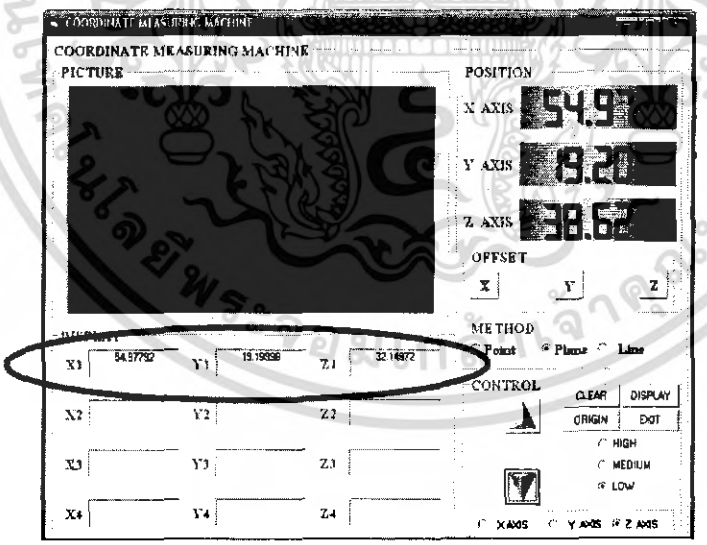
4.2.1.6 <u>เลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน</u>

เลื่อนแกน Z ลงมาจนแตะชิ้นงาน โดยมีสัญญาณไฟที่ลิมิตสวิทช์ และมีหน้าต่างโปรแกรมให้ทำการเก็บค่าของการวัดชิ้นงาน ให้กด OK



รูปที่ 4.12 เลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดพื้นผิวของชิ้นงาน

4.2.1.7 <u>บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงาน</u>

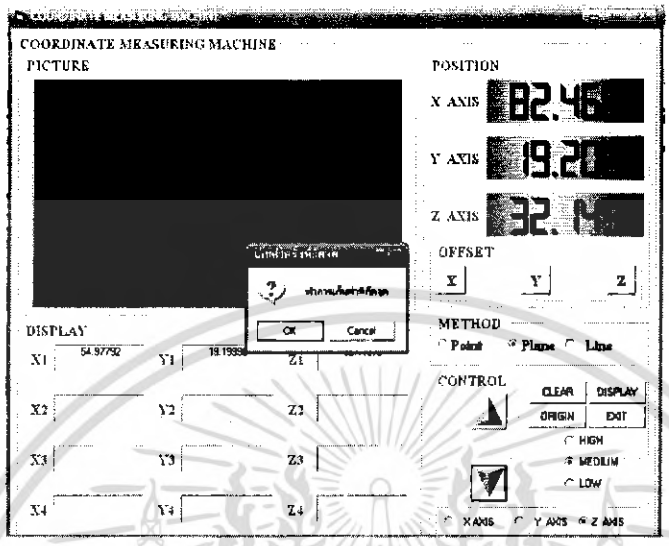


รูปที่ 4.13 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

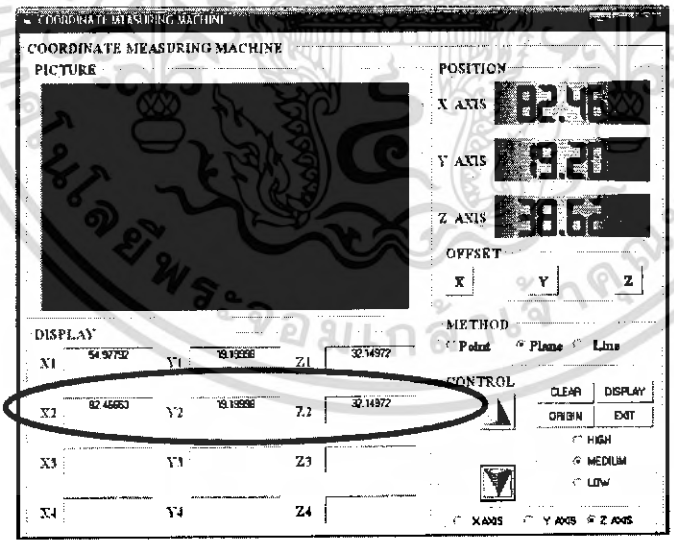
4.2.1.8 ทำการวัดจุดที่ 2 ที่ต้องการวัด

เลื่อนแกน X และแกน Y ไปยังจุดที่ 2 ที่ต้องการวัด แล้วทำการเลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดชิ้นงานที่จุดที่ 2 จนมีสัญญาณไฟขึ้นที่ลิมิตสวิทช์ และมีหน้าต่างโปรแกรมเก็บค่าพิกัดขึ้นมาอีกครั้ง ให้กด OK



รูปที่ 4.14 ทำการวัดจุดที่ 2 ที่ต้องการวัด

4.2.1.9 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 2

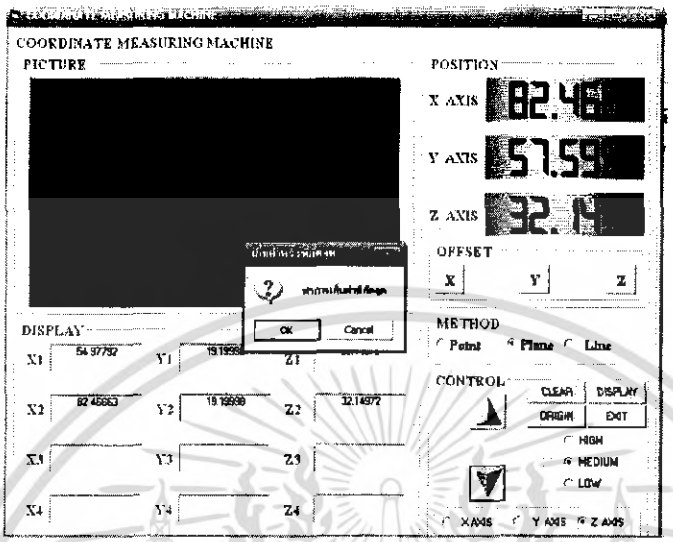


รูปที่ 4.15 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

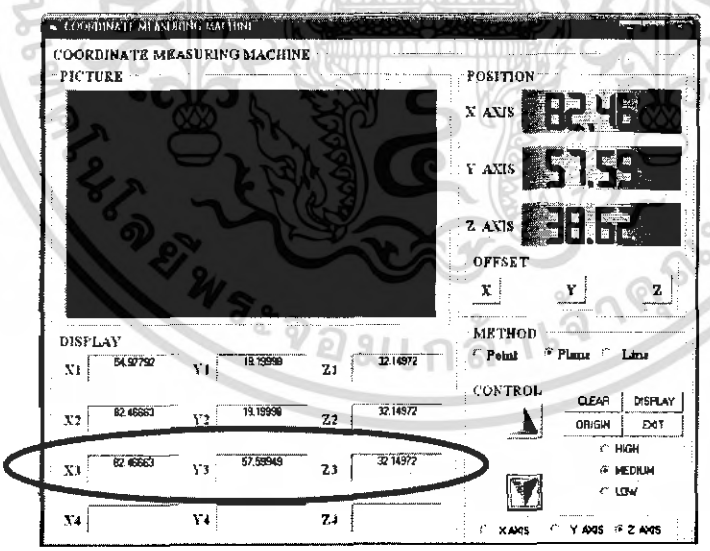
4.2.1.10 ทำการวัดจุดที่ 3 ที่ต้องการวัด

เลื่อนแกน X และแกน Y ไปยังจุดที่ 3 ที่ต้องการวัด แล้วทำการเลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดชิ้นงานที่จุดที่ 3 จนมีสัญญาณไฟขึ้นที่ลิมิตสวิทช์ และมีหน้าต่างโปรแกรมเก็บค่าพิกัดขึ้นมาอีกครั้ง ให้กด OK



รูปที่ 4.16 ทำการวัดจุดที่ 3 ที่ต้องการวัด

4.2.1.11 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 3

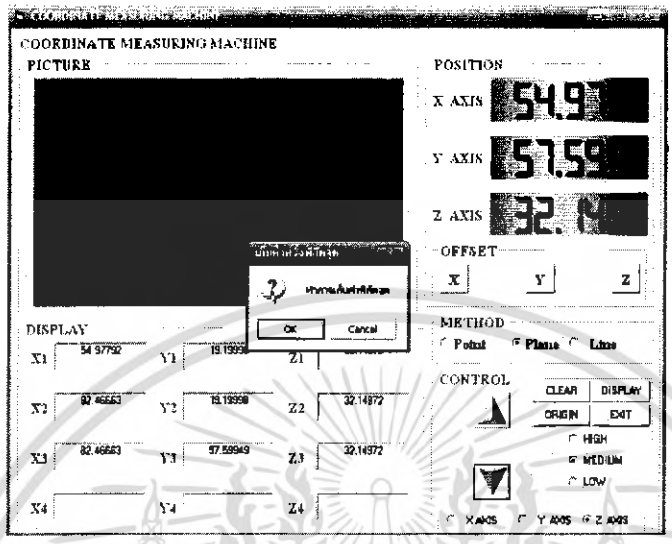


รูปที่ 4.17 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

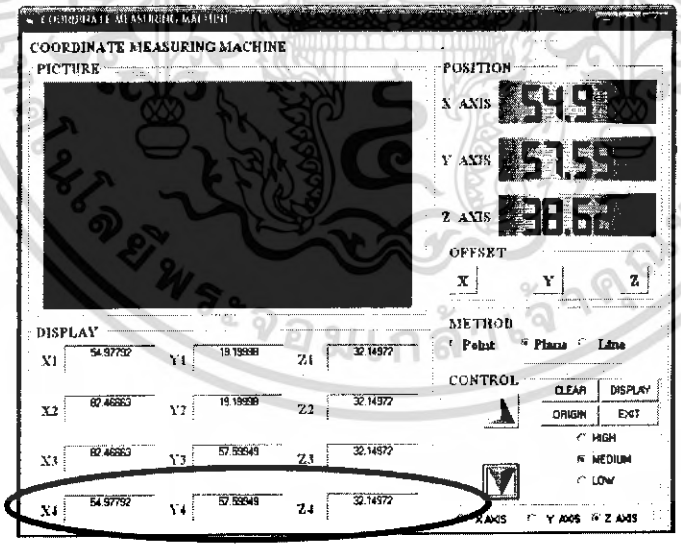
4.2.1.12 <u>ทำการวัดจุดที่ 4 ที่ต้องการวัด</u>

เลื่อนแกน X และแกน Y ไปยังจุดที่ 4 ที่ต้องการวัด แล้วทำการเลื่อนแกน Z ลงมาแตะวัดชิ้นงานที่จุดที่ 4 จนมีสัญญาณไฟขึ้นที่ลิมิตสวิทช์ และมีหน้าต่างโปรแกรมเก็บค่าพิกัดขึ้นมาอีกครั้ง ให้กด OK



รูปที่ 4.18 ทำการวัดจุดที่ 4 ที่ต้องการวัด

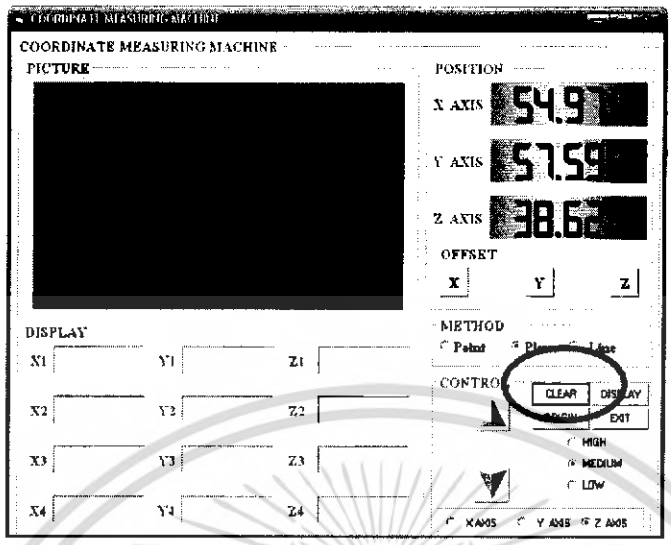
4.2.1.13 <u>บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 4</u>



รูปที่ 4.19 บันทึกค่าการวัดพื้นที่ผิวของชิ้นงานจุดที่ 4

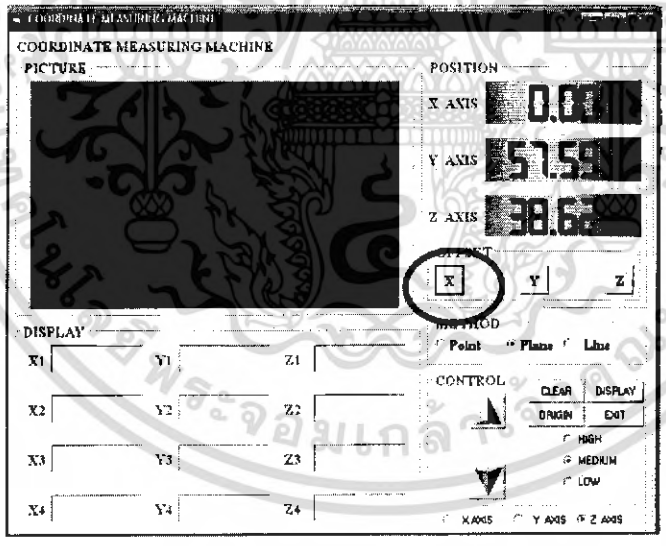
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.14 สามารถลบค่าที่ Display แสดงไว้ เพื่อทำการวัดครั้งใหม่ ได้ที่ Clear



รูปที่ 4.20 สามารถลบค่าที่ Display แสดงไว้ เพื่อทำการวัดครั้งใหม่ ได้ที่ Clear

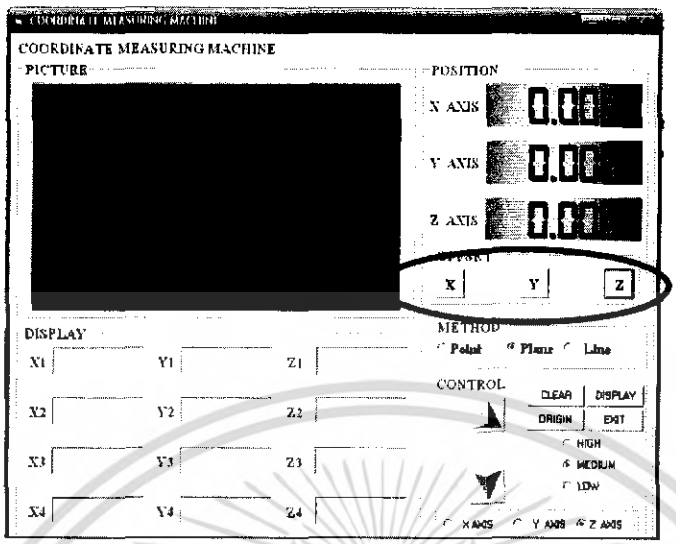
4.2.1.15 สามารถทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน X



รูปที่ 4.21 ทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน X

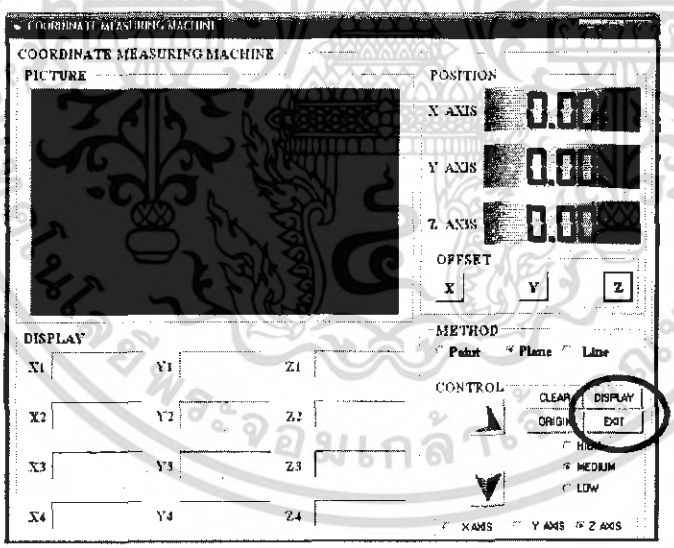
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.16 สามารถทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน Y และ Z



รูปที่ 4.22 ทำการเซ็ตศูนย์ที่แกน Y และ Z

4.2.1.17 การออกจากโปรแกรมที่ Exit



รูปที่ 4.23 การออกจากโปรแกรมที่ Exit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การหาค่าความผิดพลาด (Error)

ในการคำนวณสุ่มตัวอย่างหรือการกำหนดจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลองจะคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$N = \left\{ \left[K / S\left(n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 \right)^{1/2} \right] / \left(\sum x\right) \right\}^2$$

เมื่อ

N = จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลอง

n = จำนวนตัวอย่างการทดลอง

K = ตัวประกอบของความเชื่อมั่น

S = ความคลาดเคลื่อน

x = ค่าที่ได้จากการทดลอง

ถ้าต้องการระดับความเชื่อมั่น 99.7 % และยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ 5 % และที่ระดับความเชื่อมั่น 99.7 % จะได้ค่า K = 3 จากการคำนวณจะได้ค่า N = 10 ทำการทดลองได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน X

ครั้ง	ค่ามาตรฐาน (mm)	ค่าที่วัดได้ (mm)	ความผิดพลาด (ค่าสมบูรณ์)
1	20.00	20.0600	0.0600
2	20.00	19.9754	0.0246
3	20.00	19.9754	0.0246
4	20.00	20.0600	0.0600
5	20.00	19.9754	0.0246
6	20.00	19.9754	0.0246
7	20.00	20.0600	0.0600
8	20.00	20.0600	0.0600
9	20.00	19.8837	0.1163
10	20.00	19.9754	0.0246
Sum of Absolute Deviations			0.4793
Median Absolute Deviations (MAD)			0.0479

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าทำการทดลองโดยใช้การทดลองจำนวน 10 ครั้งของการทดลองที่การเคลื่อนที่วัดตามแนวแกน X นั้นจะได้ค่า MAD = 0.0479 mm

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน Y

ครั้ง	ค่ามาตรฐาน (mm)	ค่าที่วัดได้ (mm)	ความผิดพลาด (ค่าสมบูรณ์)
1	20.00	19.9680	0.0320
2	20.00	20.0320	0.0320
3	20.00	20.1600	0.1600
4	20.00	19.9040	0.0060
5	20.00	20.0320	0.0320
6	20.00	20.0960	0.0960
7	20.00	20.0320	0.0320
8	20.00	19.9040	0.0060
9	20.00	20.0320	0.0320
10	20.00	19.9680	0.0320
Sum of Absolute Deviations			0.4600
Median Absolute Deviations (MAD)			0.0460

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าทำการทดลองโดยใช้การทดลองจำนวน 10 ครั้งของการทดลองที่การเคลื่อนที่วัดตามแนวแกน Y นั้นจะได้ค่า MAD = 0.0460 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองแกน Z

ครั้ง	ค่ามาตรฐาน (mm)	ค่าที่วัดได้ (mm)	ความผิดพลาด (ค่าสมบูรณ์)
1	17.25	17.2965	0.0465
2	17.25	17.2965	0.0465
3	17.25	17.2965	0.0465
4	17.25	17.2803	0.0303
5	17.25	17.2803	0.0303
6	17.25	17.2965	0.0465
7	17.25	17.2803	0.0303
8	17.25	17.2965	0.0465
9	17.25	17.2803	0.0303
10	17.25	17.2965	0.0465
Sum of Absolute Deviations			0.4002
Median Absolute Deviations (MAD)			0.0400

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าทำการทดลองโดยใช้การทดลองจำนวน 10 ครั้งของการทดลองที่การเคลื่อนที่วัดตามแนวแกน Z นั้นจะได้ค่า MAD = 0.0400 mm

4.3.2 การหาค่าการแตะซ้ำที่ตำแหน่งเดิม (Repeatability)

จากสูตร

$$S = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - 1/N\left(\sum_{i=1}^{n} X_i^2\right)\right)/(N-1)\right]^{1/2}$$

ได้ค่า Repeatability ของแกน X, Y, Z ดังนี้

เมื่อ

S = ค่า Repeatability

X = ค่าที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนตัวอย่างการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.4 ค่า Repeatability

ค่า Repeatability	
X =	0.05708
Y =	0.07797
Z =	0.00814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์ ได้

1. การเคลื่อนที่ในการวัดชิ้นงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ โดยการเคลื่อนที่ในการวัดพิกัดของเครื่องวัดพิกัด 3 มิตินั้นเป็นการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน จะทำให้การเคลื่อนที่นั้นด้วยความเร็วคงที่คงและน่าเชื่อถือ

2. การวัดชิ้นงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ การวัดชิ้นงานจากหัวรับสัญญาณจะต้องสายตาในการวัดชิ้นงานตามแกนต่างๆ ด้วยทำให้การวัดชิ้นงานนั้นมีโอกาสที่มีความผิดพลาดได้ โดยมากที่แกน X และแกน Y และหัวรับสัญญาณนั้นมีความสามารถในการพื้นที่ผิวเท่านั้น

5.2 สาเหตุและแนวทางในการแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้เนื่องจาก

1. การหมุนของมอเตอร์ทำให้การเคลื่อนที่ในการวัดทำให้เกิดการสั่นในเวลาการเคลื่อนที่ของการวัดชิ้นงาน ควรปรับปรุงชุดการเคลื่อนที่ของแกน X, แกน Y และแกน Z ให้มีความมั่นคงและแข็งงานยิ่งขึ้น

2. การเคลื่อนที่ในการวัดด้วยการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่นั้น สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ได้แต่ความละเอียดนั้น ถ้าละเอียดมากการเคลื่อนที่นั้นจะเคลื่อนที่ช้ามาก ควรมีการปรับปรุงการหมุนมอเตอร์การขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่ได้ละเอียดและมีการเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

3. การใช้หัวรับสัญญาณวัดชิ้นงานเป็นการวัดที่ต้องใช้สายตาในเข้ามาใช้จึงทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการวัดพิกัดของชิ้นงานได้ ควรจะมีหัวโพรบที่ใช้ในการวัดที่มีขนาดเล็กและมีมาตรฐานและมีเซ็นเซอร์ตรวจจับเวลาแตะพื้นผิวของชิ้นงาน เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดจากการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล (2546), **Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์**, พิมพ์ครั้งที่ 11, บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด , กรุงเทพ ฯ

ธนพล ฉันจรัสวิชัย (2554), **มือใหม่เริ่มเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic,** พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท วิตตี้ กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพ ฯ

ปานเพชร ชินินทร และขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ (2541), **นิวแมติกอุตสาหกรรม**, พิมพ์ที่ 1 , บริษัทเอช.เอ็น กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพ ฯ

โยธิน เปรมปราณีรัชต์ (2533), **ระบบเซอโวและอิเลคทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์**, พิมพ์ที่ 1

Stepping motor, รวมโครงงานอิเล็กทรอนิกส์ 9 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 95-105

NTN ตลับลูกปืนทั่วไป, บริษัทเอ็นทีเอ็น แบริ่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ

www.9engineer.com

www.thailo.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

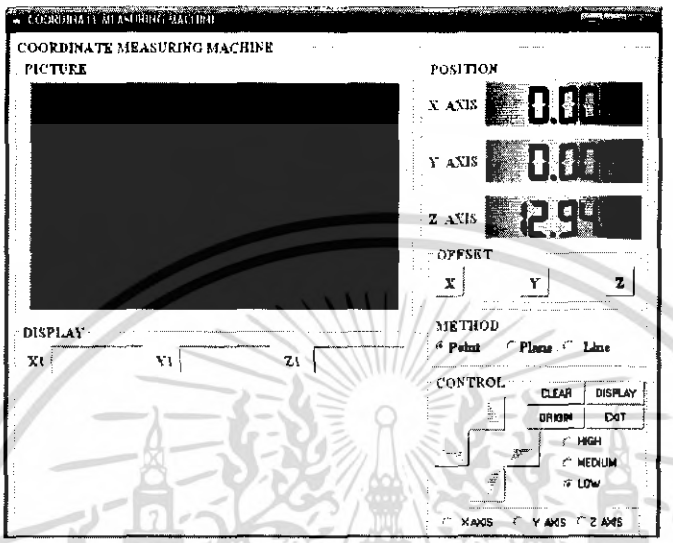
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

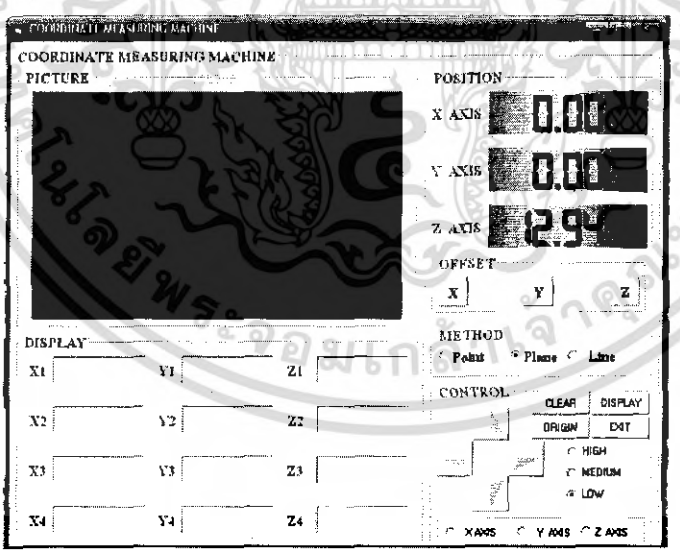
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวดการวัด (Measurement Mode)

1. การวัดจุด (Point) ใช้สำหรับการวัดค่าตามแนวแกน X แกน Y แกน Z ทั้ง 3 แกนที่เดียว หรือ แต่ละแกนก็ได้ จุดที่แสดงค่า คือ ตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางของหัวรับสัญญาณต้องสัมผัสอย่างน้อย 1 จุด

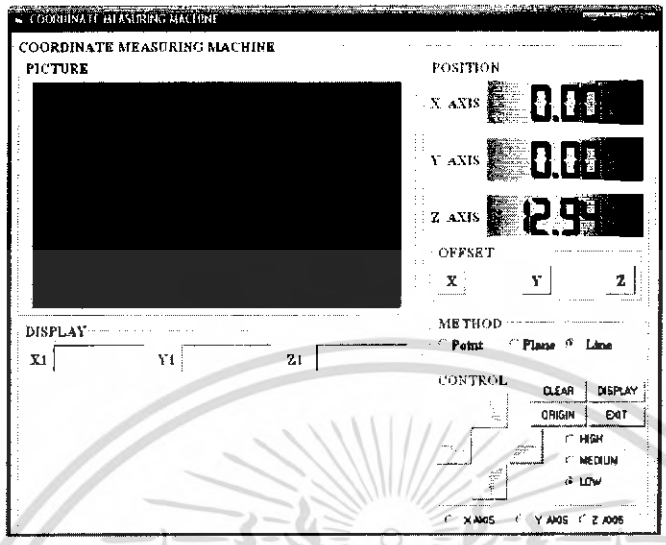


2. การวัดระนาบ (Plane) ใช้สำหรับการวัดระนาบซึ่งจะแสดงค่าระยะตั้งฉากจากระนาบไปยังจุดศูนย์กลางของค่า X, Y, Z ต้องสัมผัสอย่างน้อย 3 จุด สำหรับสามเหลี่ยม และ 4 จุด สำหรับสี่เหลี่ยม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดขอบ (Line) ใช้สำหรับการวัดที่ต้องการค่าตามแนวแกน X หรือแกน Y หรือ แกน Z ต้องสัมผัสอย่างน้อย 3 จุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

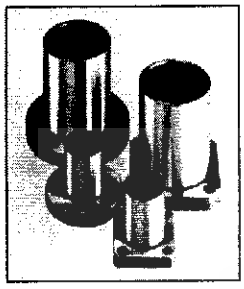
ภาคผนวก ข

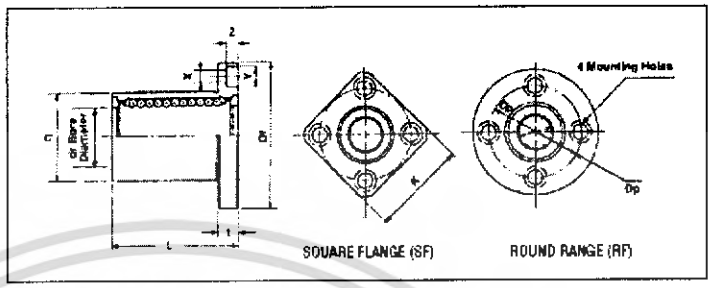
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข.1 มาตรฐานของลีเนียร์ลูกปืนแบบมีหน้าแปลน

FLANGED TYPE LINEAR BEARINGS

Inch and Metric **Recirculating Ball**





- Requires no housing, thus reducing costs
- Requires little installation space
- Ensures high accuracy upon replacement
- Retains excellent rigidity

Material:
Balls: 52100 Chrome Steel
Outer Housing: 52100 Chrome Steel

Ball Retainer: Resin For Low Noise Performance
End Caps: 1018 Steel

Inch Sizes

Boundary Dimensions and Tolerance														Eccentricity	Squareness	Basic Dynamic Load Rating (C kgf)	Basic Static Load Rating (Co kgf)	Shaft Diameter	Part No.* Add Suffix RF or SF
	dr		D		L		Flange												
(inch)	Tolerance (inch)	(inch)	Tolerance (inch)	(inch)	Tolerance (inch)	Df (inch)	K (inch)	f (inch)	Dp (inch)	X (inch)	Y (inch)	Z (inch)	(inch)	(inch)				
.2500	0 -.00040	.5000	0 -.00045	.7500	0 -.008	1.2500	1.0000	0.219	.8750	.1560	.2500	.1410	.0005	.0005	21	27	.2500	PL-4
.3750		.6250	0 -.00050	.8750		1.5000	1.2500	.2500	1.0620	.1875	.2970	.1720			23	32	.3750	PL-6
.5000		.8750		1.2500		1.7500	1.3750	.2500	1.312	.1875	.2970	.1720			52	79	.5000	PL-8
.6250		1.1250		1.5000		2.0000	1.5000	.2500	1.5620	.1875	.2970	.1720			79	120	.6250	PL-10
.7500	0 -.00040	1.2500	0 -.00065	1.6250	0 -.012	2.1875	1.6875	.3125	1.7180	.2187	.3440	.2030	.0006	.0006	88	140	.7500	PL-12
1.0000		1.5625		2.2500		2.5000	2.0000	.3125	2.0310	.2187	.3440	.2030			100	160	1.0000	PL-16
1.2500	0 -.00050	2.0000	0 -.00075	2.6250		3.1250	2.5000	.3750	2.5625	.2812	.4060	.2656	.0008	.0008	160	280	1.2500	PL-20
1.5000		2.3750		3.0000		3.7500	3.0000	.5000	3.0625	.3440	.5000	.3280			220	410	1.5000	PL-24

*Note: To order round flange type use "RF" suffix in part number.
To order square flange type use "SF" suffix in part number.

Example: PL-8RF (Round Flange)
PL-8SF (Square Flange)

Metric Sizes

Boundary Dimensions and Tolerance														Eccentricity	Squareness	Basic Dynamic Load Rating (C kgf)	Basic Static Load Rating (Co kgf)	Shaft Diameter	Part No.* Add Suffix RF or SF
	dr		D		L		Flange												
(mm)	Tolerance (μm)	(mm)	Tolerance (μm)	(mm)	Tolerance (μm)	Df (mm)	K (mm)	f (mm)	Dp (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	(μm)	(μm)				
5	+8 0	12	0 -8	22	0 -200	28	22	5	20	3.5	6	3.1	12	12	21	27	5	MPL-5
8		16		25		32	25	5	24	3.5	6	3.1			27	41	8	MPL-8
12		22	0 -9	32		42	32	6	32	4.5	7.5	4.1			52	79	12	MPL-12
16	+9 -1	26		36		46	35	6	36	4.5	7.5	4.1			59	91	16	MPL-16
20		32	0 -11	45		54	42	8	43	5.5	9	5.1	15	15	88	140	20	MPL-20
25	+11 -1	40		58	0 -300	67	50	8	51	5.5	9	5.1			100	160	25	MPL-25
30		47		68		78	60	10	62	6.6	11	6.1			160	280	30	MPL-30
40	+13 -2	62	0 -13	80		98	75	13	78	9	14	6.1	17	17	220	410	40	MPL-40

*Note: To order round flange type use "RF" suffix in part number.
To order square flange type use "SF" suffix in part number.

Example: MPL-12RF (Round Flange)
MPL-12SF (Square Flange)

Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

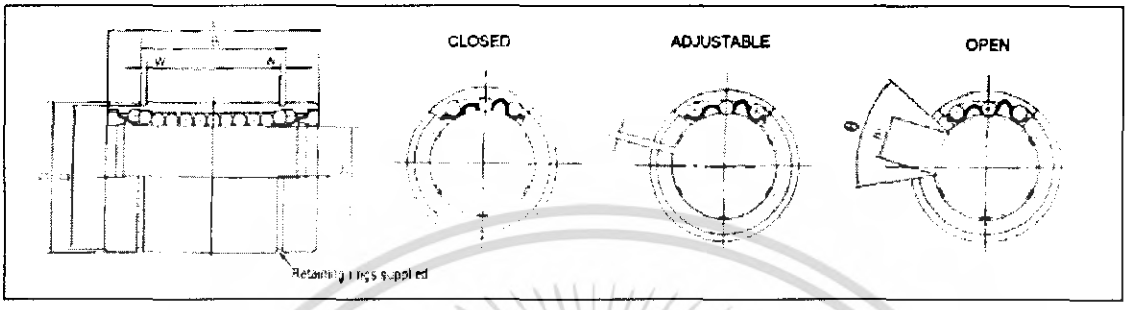
PIC DESIGN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข.2 มาตรฐานของลูกปืนบอลลิเนียร์

RECIRCULATING BALL LINEAR BEARINGS

Inch and Metric **Closed, Adjustable and Open Styles**



Material:
Balls: 52100 Chrome Steel
Outer Housing: 52100 Steel
Ball Retainer: Resin
End Caps: 1018 Steel

Shafting:
Select From AISIC-1060 Steel (PIC Series A10)
or 440C Stainless Steel (PIC Series A12)

Boundary Dimensions and Tolerance (inch sizes)

d (inch)	d Tolerance (inch)	D (inch)	D Tolerance (inch)	L (inch)	L Tolerance (inch)	B (inch)	B Tolerance (inch)	W (inch)	D_1 (inch)	h (inch)	h_1 (inch)	α	Basic Dynamic Load Rating (C lbs)	Basic Static Load Rating (Co lbs)	Nominal Shaft diameter (inch)	Part No.*
.2500	0	.5000	-.00045	.7500		.5312		.0390	.4687	–	–	–	46	80	.250	PL-4**
.3750	-.00040	.6250	0	.8750		.6258		.0390	.5623	–	–	–	51	71	.375	PL-6**
.5000		.8750	-.00060	1.2500	0	.9525	0	.0459	.8209	.06	.340	80°	115	176	.500	PL-8
.625		1.125		1.5000	-.005	1.1075	-.008	.0558	1.0560	.06	.375	80°	174	265	.625	PL-10
.7500	0	1.2500	-.0005	1.8750		1.4657		.0551	1.1795	.08	.437	80°	194	308	.750	PL-12
1.0000	-.00040	1.5625		2.2500		1.7547		.0679	1.4567	.08	.562	80°	220	353	1.000	PL-16
1.2500	0	2.0000	-0	2.6250	0	2.3047	0	.0673	1.8459	.12	.625	80°	353	616	1.250	PL-20
1.5000	-.00050	2.3750	-.00075	3.000	-.012	2.4118	-.012	.0859	2.2089	.12	.750	80°	490	904	1.500	PL-24

*To order: Adjustable bearing — Use No. PA - Size Code. Open bearing — Use No. PO - Size Code.
**Closed Style Only

Boundary Dimensions and Tolerance (metric sizes)

d (mm)	d Tolerance (μm)	D (mm)	D Tolerance (μm)	L (mm)	L Tolerance (μm)	B (mm)	B Tolerance (μm)	W (mm)	D_1 (mm)	h (mm)	h_1 (mm)	α	Basic Dynamic Load Rating (C N)	Basic Static Load Rating (Co N)	Nominal Shaft diameter (mm)	Part No.*
6	+8	19	0	32		14.5		9.9	17.5	1	–		206	265	6	MPL-6
8	0	25	-8	45		20.3		11	15.2	1	–	–	285	402	8	MPL-8
12		37	0	62	0	22.9	0	13	21	1.5	7.5	78°	510	784	12	MPL-12
16	+9	26	-9	36	-300	24.5	-300	13	24.9	1.5	10	78°	578	892	16	MPL-16
20	0	32	0	45		31.5		16	30.3	2	10	60°	862	1370	20	MPL-20
25	+11	40	-11	56		44.1		18.5	37.5	2	12.5	60°	980	1570	25	MPL-25
30	0	47		68	-0	57.1	-0	18.5	44.5	2	12.5	50°	1570	2740	30	MPL-30
40	+13 -2	62	-0 -13	80	-300	80.6	-300	2.15	59	3	15.8	50°	2160	4020	40	MPL-40

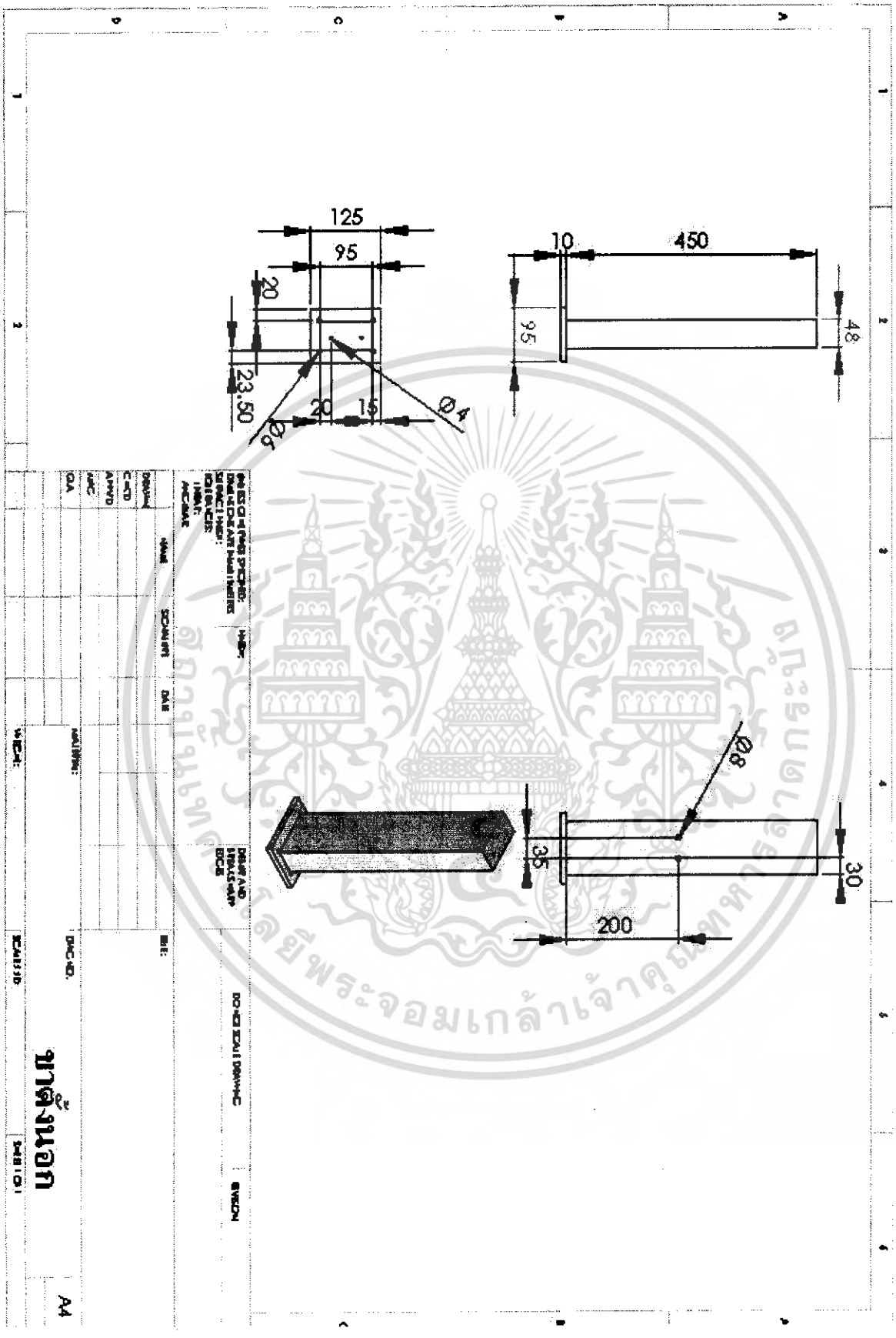
*To order: Adjustable bearing — Use No. MPA - Size Code. Open bearing — Use No. MPO - Size Code.

PIC DESIGN
Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

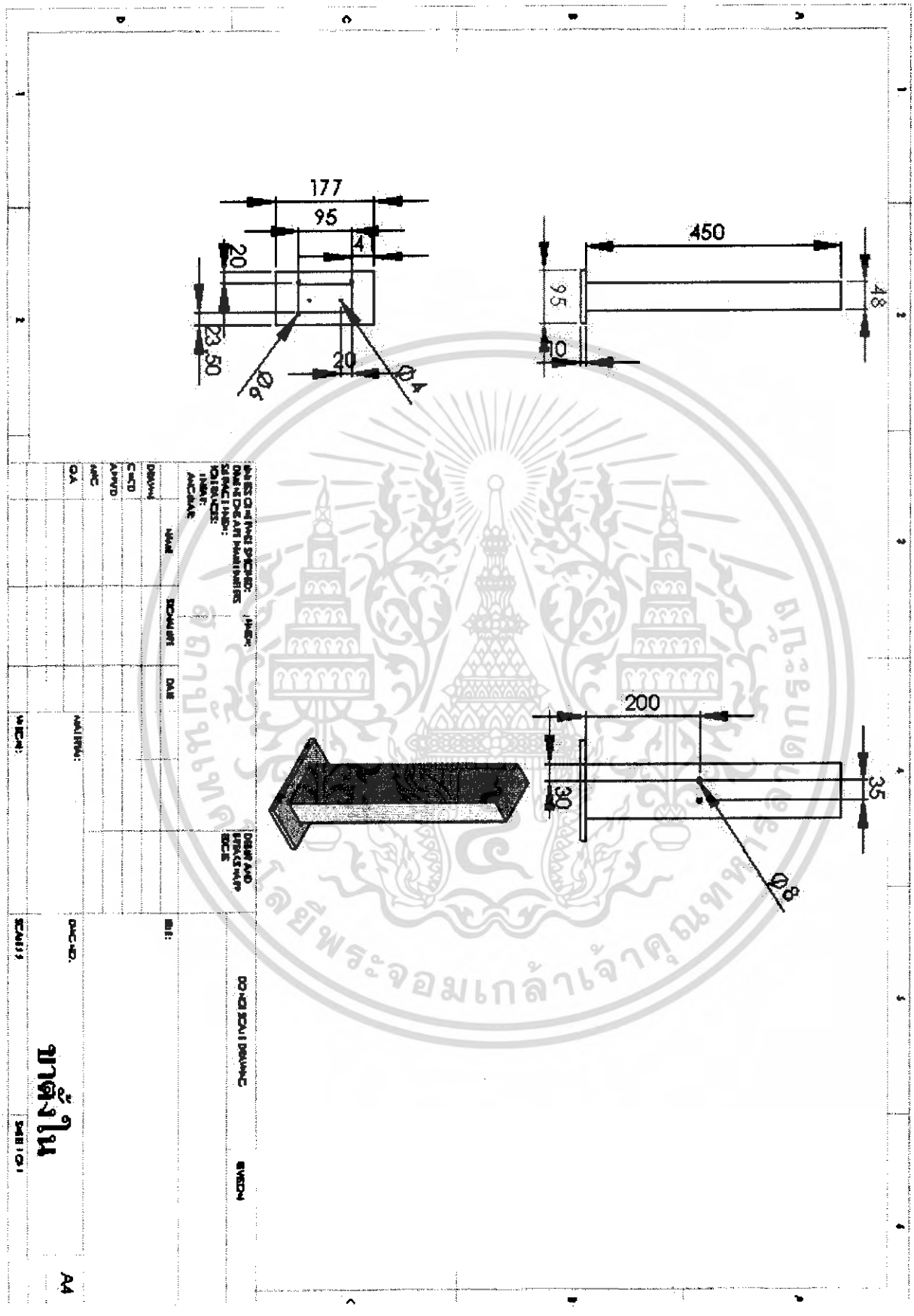
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

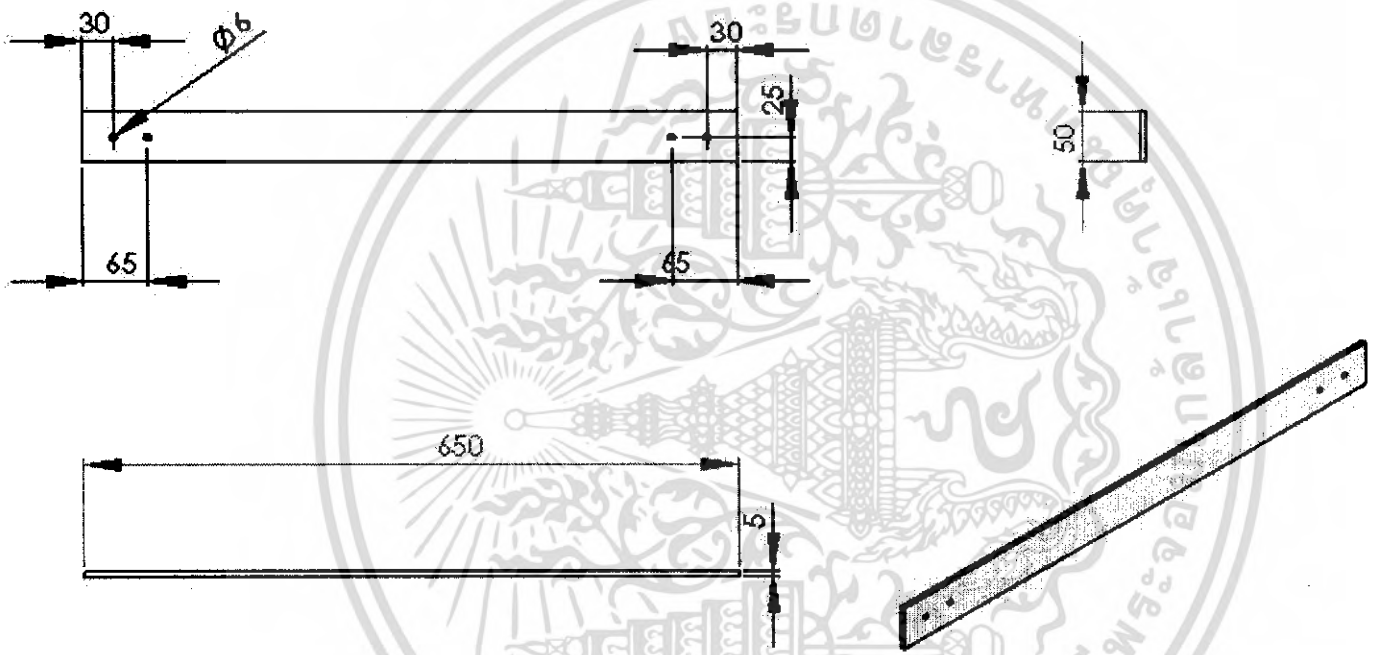
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A.			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

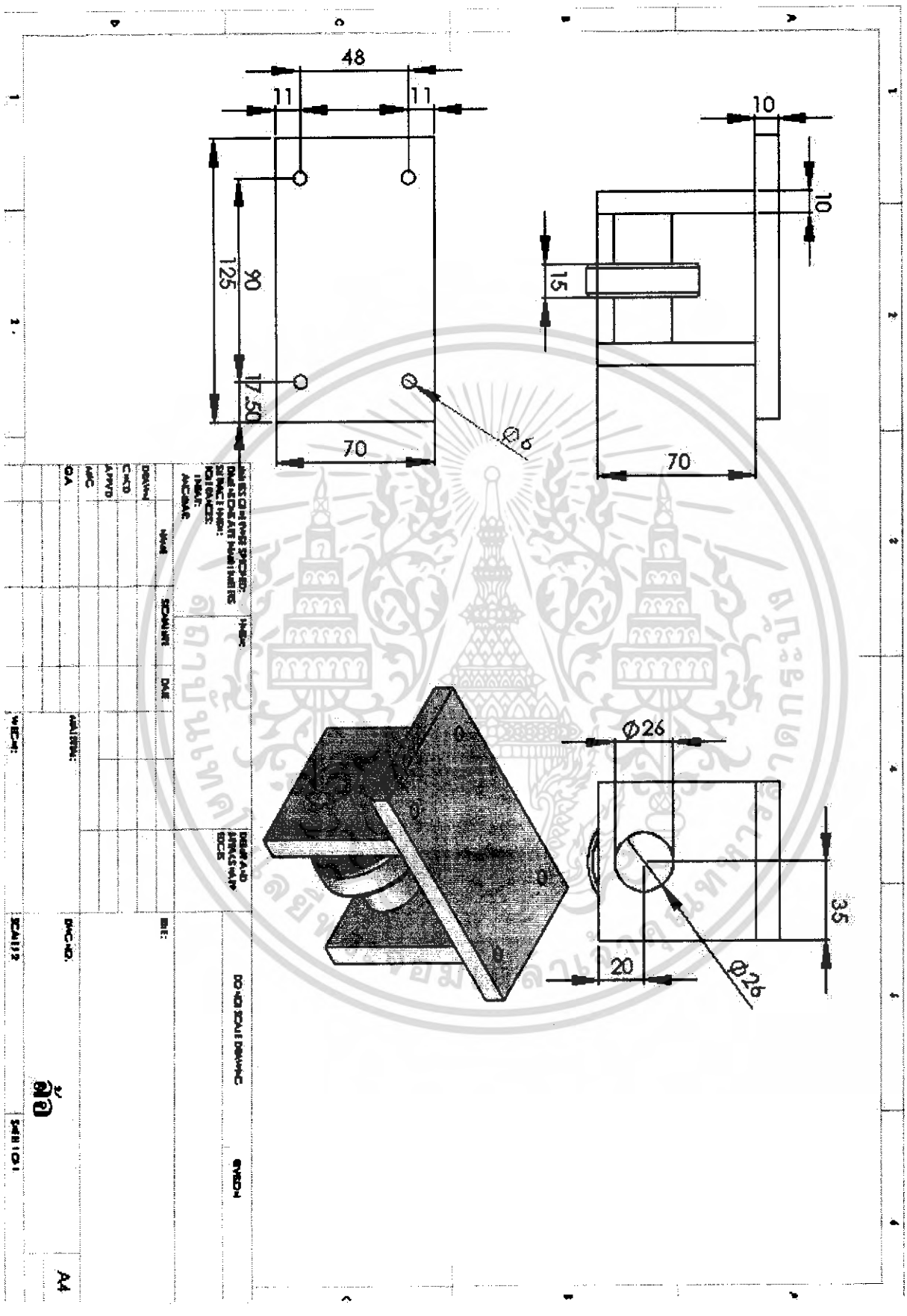
DWG NO. A4

แขนยึดขาตั้ง

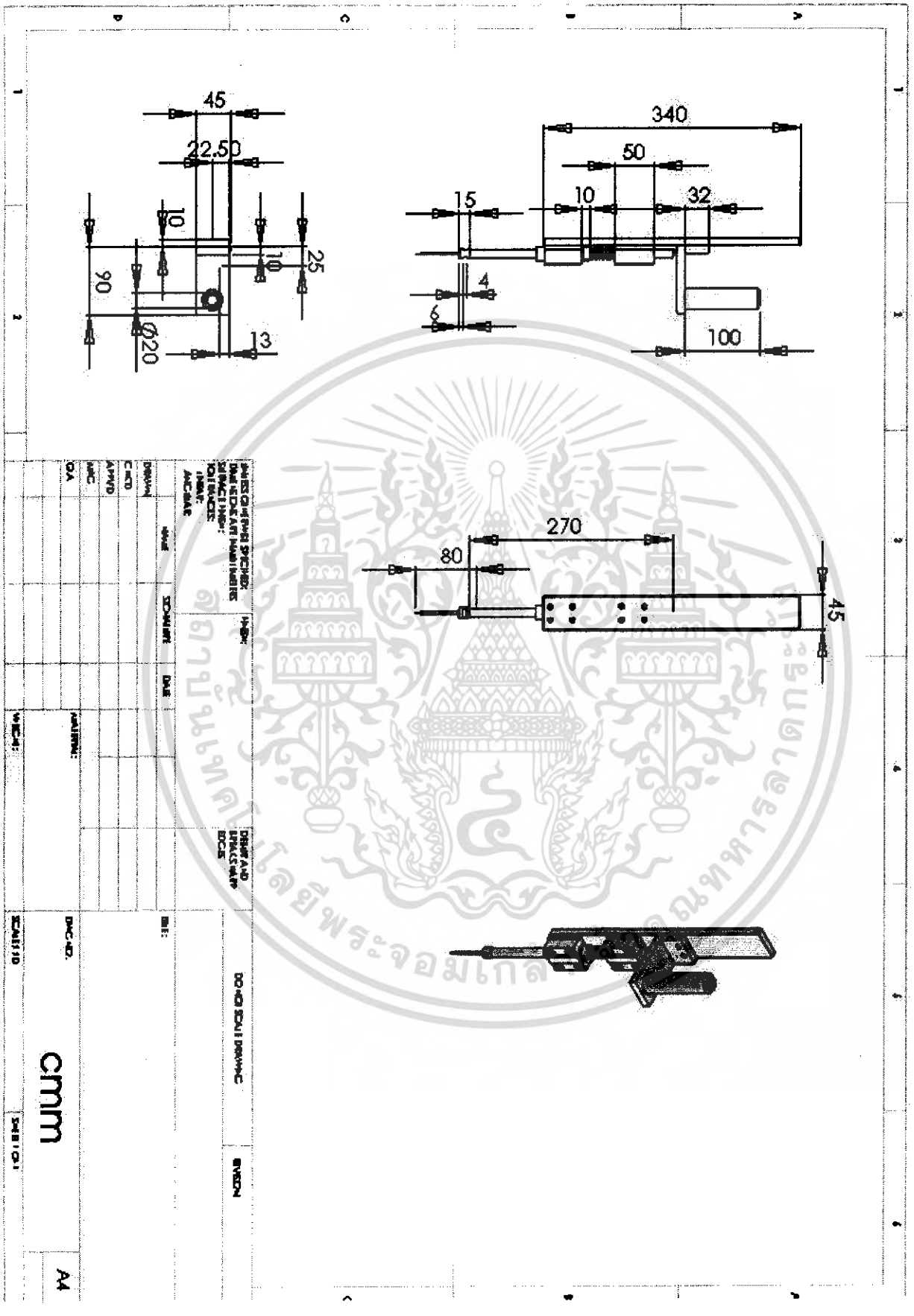
SCALE: 1:1 SHEET 1 OF 1

ภาพ 3

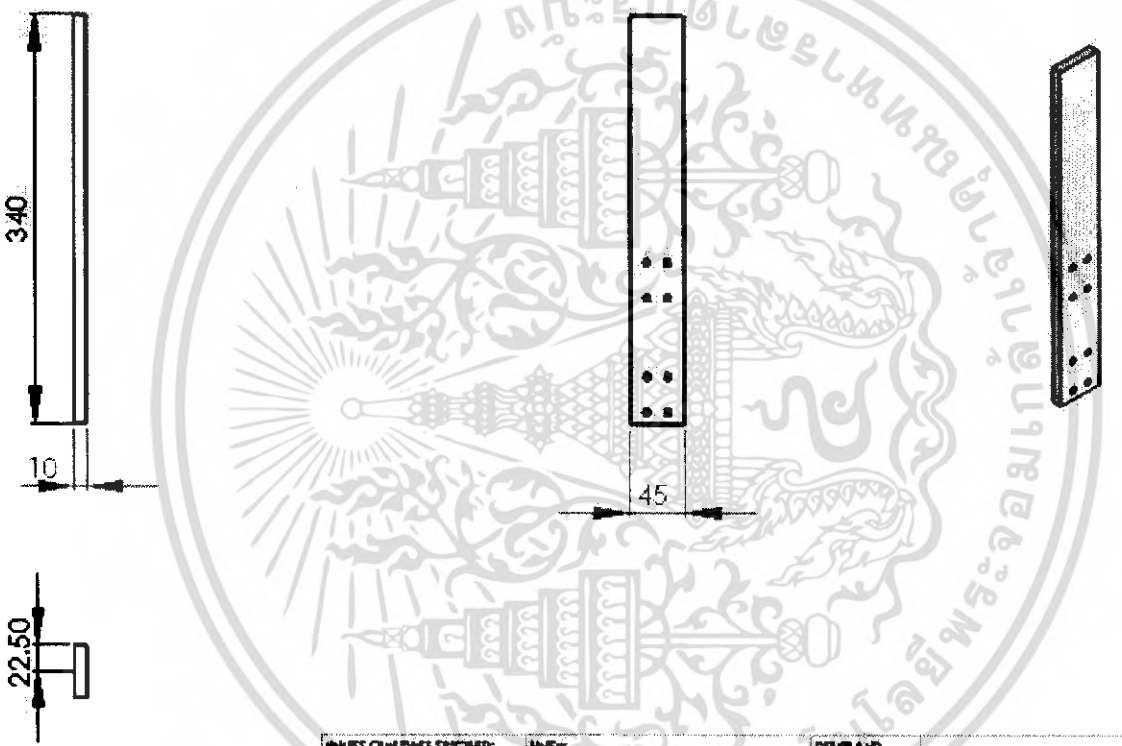
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

MATERIAL:

WEIGHT:

DO NOT SCALE DRAWING

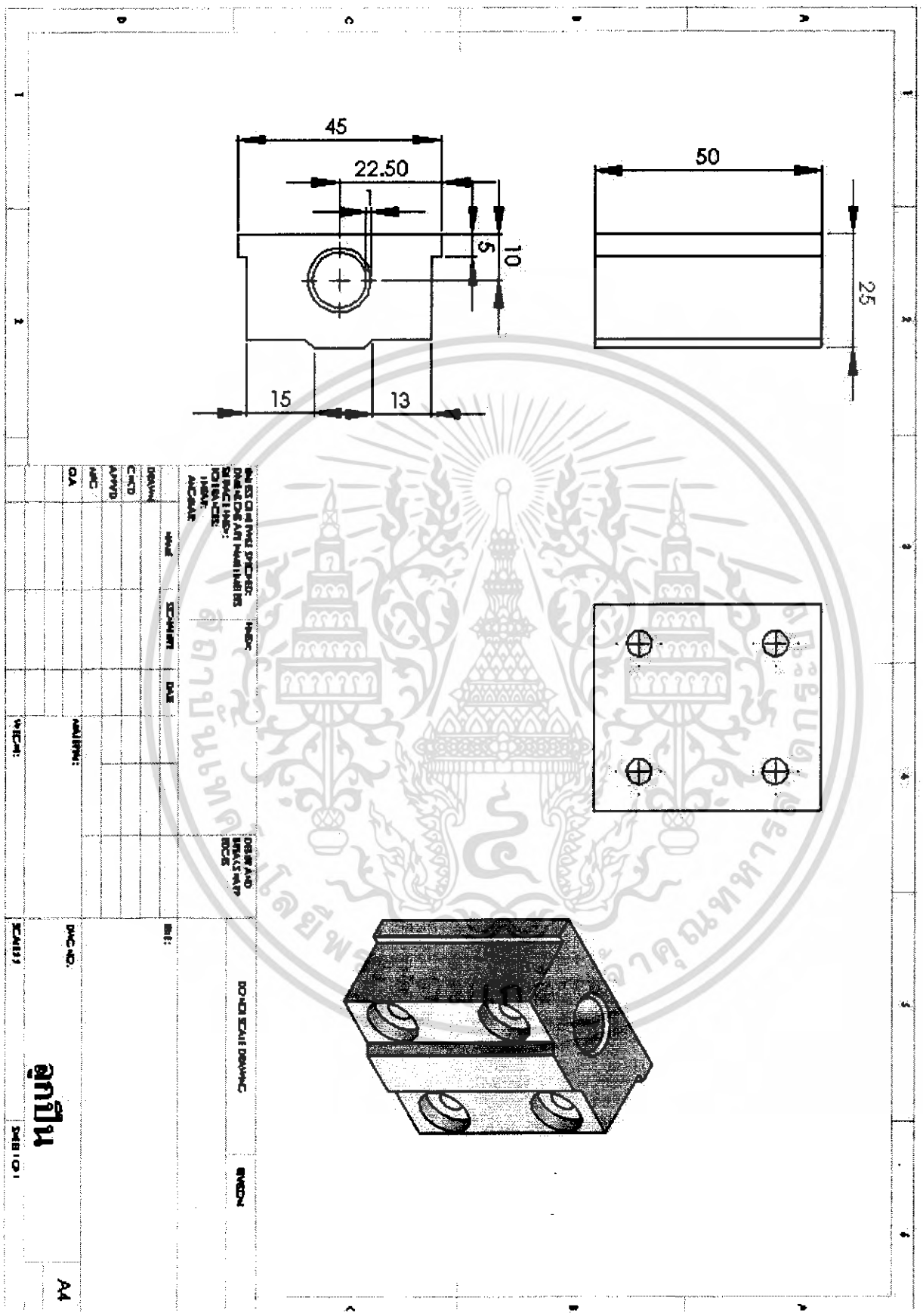
SIZE: A4

DWG NO. body

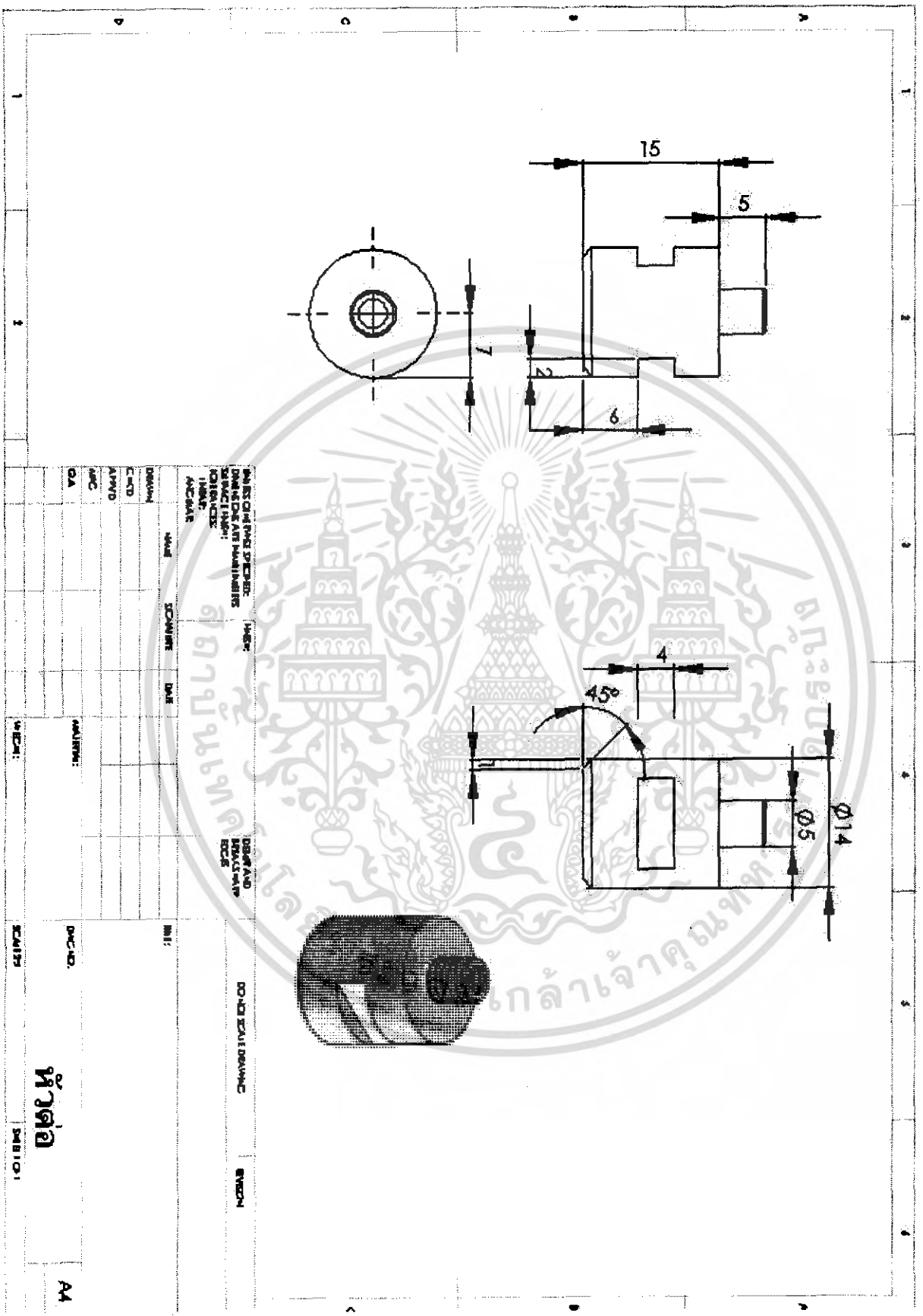
SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

รูปที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้