สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

Coordinate Measuring Machine

หัวหน้าโครงการ	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช
ตำแหน่ง	รองศาสตราจารย์
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ร่วมโครงการ	นายรณน เจียรตระกูล
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่วิจัย
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TA
165.5
พ282ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 84483
วัน,เดือน,ปี 13 ต.ค. 2551

b 11 ธ.ค. 61
l.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสรุป

โครงการวิจัย

เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

Coordinate Measuring Machine

หัวหน้าโครงการ	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช
ตำแหน่ง	รองศาสตราจารย์
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ร่วมโครงการ	นายรณน เจียรตระกูล
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่วิจัย
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
2. พัฒนาโปรแกรมควบคุมและการแสดงผล

หลักการและเหตุผล

เนื่องจากการวัดขนาดชิ้นงานโดยอาศัยเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Coordinate Measuring Machine, CMM) เป็นกรรมวิธีที่มีการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในระดับสูง มีราคาแพง จึงเป็นอุปสรรคในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยแนวทางในการสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นี้ จะต้องมีการพัฒนาในด้านโครงสร้างของเครื่องจักรและการเขียนโปรแกรม ซึ่งต้องอาศัยความรู้และความชำนาญในการเขียนโปรแกรมวัดขนาดชิ้นงาน ดังนั้นทางภาควิชาจึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้น โดยการสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้นำเสนอเป็นงานวิจัยที่พัฒนาทั้งตัวเครื่องและชุดโปรแกรมควบคุม ที่สามารถแสดงผลการวัดเป็นพิกัดทั้ง 3 แนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยนี้จะสามารถนำมาใช้ในการวัดขนาดของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงความรู้ใหม่ๆ ที่จะได้จากโครงการวิจัยนี้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต และจะสามารถให้ความรู้กับผู้ที่สนใจได้

แนวทางการดำเนินงาน

1. การวางแผนการดำเนินงาน

1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดเบื้องต้นของโครงการ การวางแผนวัสดุที่จะใช้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ

1.2 ออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

1.3 ออกแบบทางด้านซอฟแวร์

1.4 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์

1.5 ดำเนินการสร้างฮาร์ดแวร์

1.6 ดำเนินการสร้างซอฟท์แวร์

1.7 ดำเนินการด้านการควบคุมการทำงาน

1.8 ทดลองและสรุปผลการทำงาน

แผนการทำงานในการดำเนินการของเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์แบ่งออกเป็นสามส่วน คือ การหาวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ เพื่อสะดวกในการทำงานได้มีการทำเป็นแผนภูมิเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ

ด้านวัสดุอุปกรณ์ ได้แบ่งออกเป็นการศึกษา การจัดซื้อและจัดสร้าง และนำอุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้มาสร้างเป็นเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ด้านซอฟท์แวร์ แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษาและสร้างรูปแบบของโปรแกรม การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมและการทดลองโปรแกรมร่วมกับเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เป็นเครื่องที่ได้รับความนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเช่นโรงงานผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์ หรือโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นโรงงานที่ต้องการความแม่นยำและถูกต้องในการผลิตชิ้นส่วนสูง โดยเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ นั้นจะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบขนาดของชิ้นงานที่ทำการผลิตว่าได้ตามมาตรฐานที่ถูกต้องตามที่ได้ตามที่ออกแบบอย่างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ เครื่องวัดพิกัด 3 มิตินั้น จะมีความละเอียดกว่าเครื่องวัดอื่นๆ เช่น เวอร์เนีย หรือไมโครมิเตอร์ และจะสามารถวัดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนดีกว่า

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน คือ แกน x , y , z โดยความสามารถในการเคลื่อนที่นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องวัดซึ่งสามารถวัดขนาดงานที่มีขนาดเล็กๆอย่างเช่น ลายของแผ่นปริ๊นท์ จนไปถึงสามารถวัดชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ๆ อย่างเช่น เสื้อสูบของรถยนต์หรือโครงสร้างของรถยนต์

การเคลื่อนที่ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ มีการเคลื่อนที่อยู่ 2 แบบ

1. แบบระบบการเคลื่อนที่ด้วยตลับลูกปืน
2. แบบระบบการเคลื่อนที่ด้วยแรงลม (Air Bearing)

โดยระบบการเคลื่อนที่ด้วยตลับลูกปืนนั้นจะมีความถูกต้องน้อยกว่าระบบการเคลื่อนที่ด้วยแรงลม (Air Bearing) ประมาณ 5-20 ไมครอน โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดและรุ่นของเครื่องวัดพิกัด

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

เนื่องจากเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงและไวต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการติดตั้งและใช้งานจะต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ

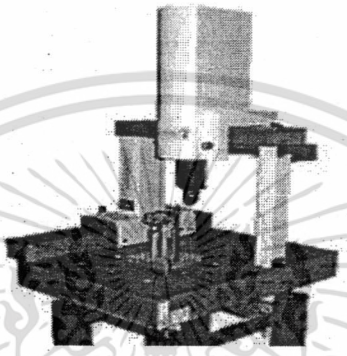
1. ห้องจะต้องมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส บวกลบได้ 1 องศา
2. อุณหภูมิจะต้องคงที่ ภายในเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องไม่แกว่งมากกว่า 1 องศาเซลเซียส
3. การกระจายของอุณหภูมิจะต้องไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียสต่อเมตร
4. ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องจะต้องอยู่ระหว่าง 55 – 65 %
5. การสั่นสะเทือนของพื้นห้องที่ความถี่ น้อยกว่า 10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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. Manual floating CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ด้วยแรงของผู้ใช้เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1

2. CNC CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ด้วยแรงของ มอเตอร์ (motor) โดยควบคุมผ่ายทางตัวควบคุม (Joy stick) สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วตั้งแต่ 0 – 430 mm/s ทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ไปวัดงานได้ โดยอัตโนมัติแรงที่ใช้ในการแตะชิ้นงานจะคงที่ ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าแบบ Manual floating CMM ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ชนิด Manual floating CMM

รูปที่ 2 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ชนิด CNC CMM

ระบบการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จะขึ้นกับส่วนประกอบดังนี้คือ

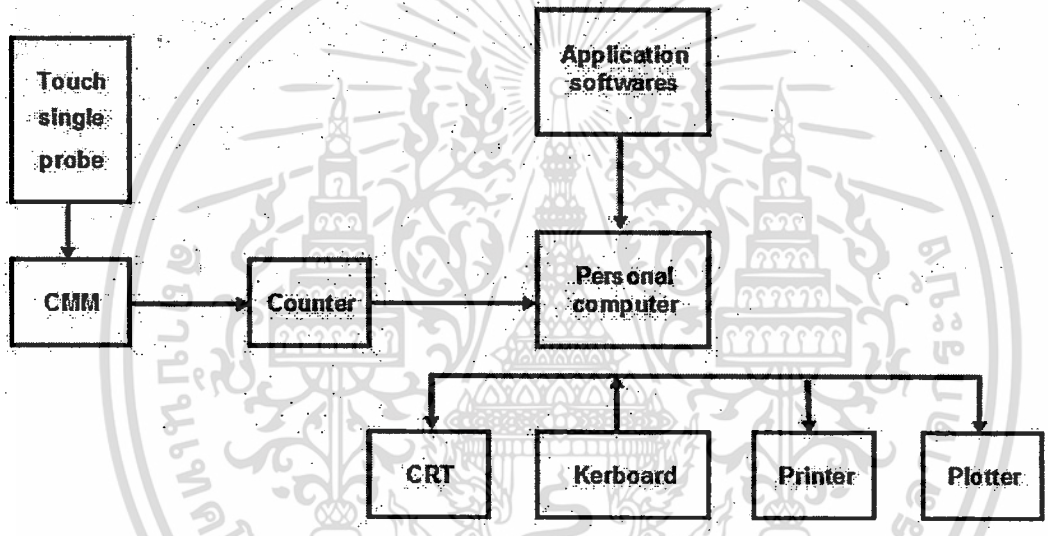
1. ตัวเครื่องวัด 3 แกน
2. ตัวควบคุม (Controller)
3. ตัวรับสัญญาณ
4. การ์ดอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรม

6. อุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องพิมพ์ หรือ เครื่องวาดเส้น (Plotter)

จากรูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของระบบการวัด (Organization of the Measuring System) ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ได้ดีขึ้นขั้นตอนแรกคือเมื่อหัวรับสัญญาณแตะถูกชิ้นงาน ตัวควบคุมจะทำการบันทึกตำแหน่งนั้นไว้จำนวนจุดที่ทำการแตะขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงาน เช่น วงกลมจะต้องทำการแตะอย่างน้อย 3 จุด,ทรงกระบอกจะต้องทำการแตะอย่างน้อย 5 จุด เป็นต้น เมื่อได้จุดครบตามที่ต้องการคอมพิวเตอร์ก็จะทำการประมวลผลตามลักษณะของชิ้นงาน เช่น วงกลมก็จะให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, คู่ลำดับของจุดศูนย์กลาง และค่าความกลม (ในกรณีที่วัดมากกว่า 3 จุด) แล้วจึงส่งผลการวัดไปยังเครื่องพิมพ์และรูปกราฟิกไปยัง เครื่องลากเส้น (Plotter)



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของระบบการวัด (Organization of the Measuring System)

2.2 ชนิดของตัวรับสัญญาณ การรับสัญญาณของ CMM มี 5 วิธี คือ

2.2.1 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

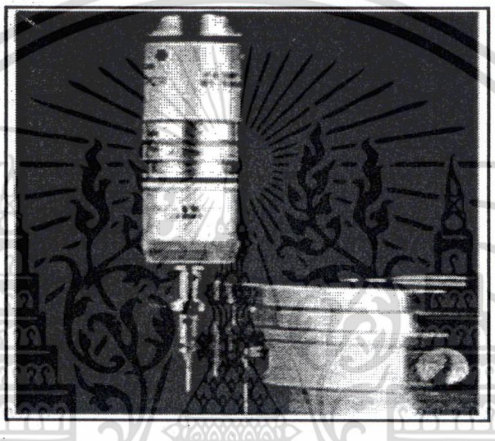
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. Universal probe เป็นหัววัดที่มีปลายเป็นทรงกลมเหมือนกับแบบ Ball-point-probe แต่สามารถเปลี่ยนมุมในการวัดได้ทำให้วัดด้านข้างได้ด้วยปลายหัววัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2,3,5,6,10 mm

2.2.2 Touch signal probe system

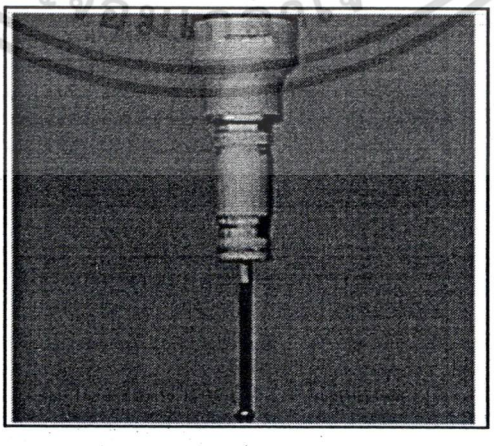
เป็นหัววัดที่รับสัญญาณจากการแตะเมื่อหัววัดมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากแกนนิวทรอล สัญญาณจะส่งผ่านไปยังคอนโทรเลอร์ แบ่งออกได้ 2 แบบ

1. TP1 เป็นตัวรับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถลงไปวัดงานที่ลึกๆได้ แต่มีข้อดีคือมีความทนทานสูงมักจะไม่ค่อยมีปัญหาสัญญาณค้าง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวรับสัญญาณแบบ TP1

2. TP2 เป็นตัวสัญญาณที่มีขนาดเล็กสามารถไปวัดงานที่มีความลึกได้ดี ลักษณะการทำงานเหมือนกับ TP1 แต่มักจะพบว่ามีอายุการใช้งานสั้นกว่าทั้งนี้เป็นเพราะมีขนาดเล็กทำให้ยากต่อการผลิต และมีความทนทานน้อยกว่าทั้งนี้ยังมีราคาสูงกว่าแบบ TP1 อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5

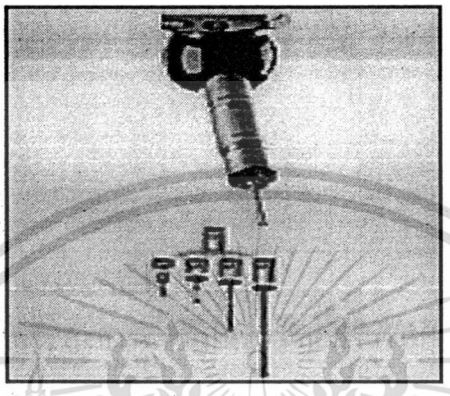


รูปที่ 5 ตัวรับสัญญาณแบบ TP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
84483

2.2.3 Scanning probe system

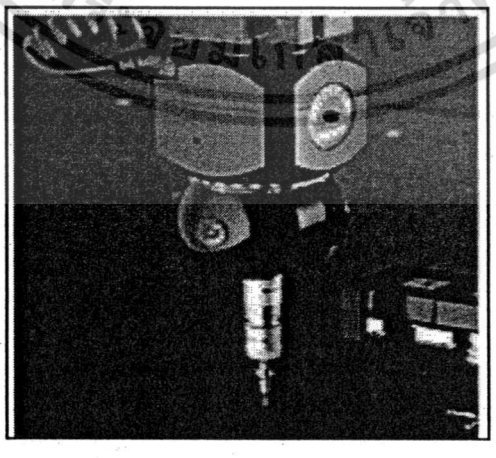
เป็นหัววัดที่จะสามารถวัดเป็นจุด และสามารถวัดแบบต่อเนื่องได้ด้วยหัววัดจะทำการลากไปที่เหมาะกับเส้นขอบนอก (Contour) ของชิ้นงาน ภายในหัววัดจะใช้ลมเป็นตัวลดการเสียดทานในการเคลื่อนที่เนื่องจากหัววัดจะต้องสัมผัสชิ้นงานอยู่เกือบตลอดเวลา จึงมีค่าความถูกต้องสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวรับสัญญาณแบบ Scanning probe system

2.2.4 Auto-probe-change system

ในการวัดที่ใช้ระบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์แบบสำหรับการวัดงาน 3 มิติจะต้องมี 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 7

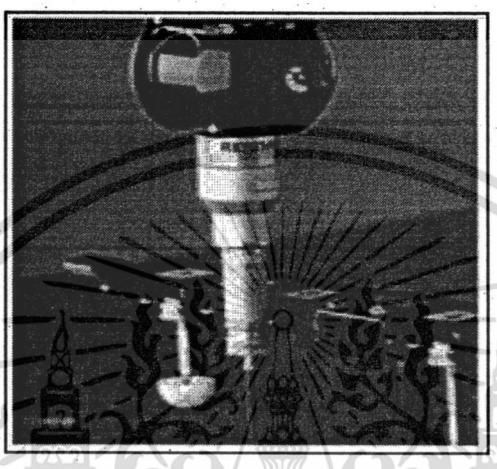


รูปที่ 7 ตัวรับสัญญาณแบบ Auto-probe-change system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 Centering microscope & CCTV monitor system

ใช้สำหรับการวัดรูที่มีขนาดเล็กและชิ้นงานที่อ่อน 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 8

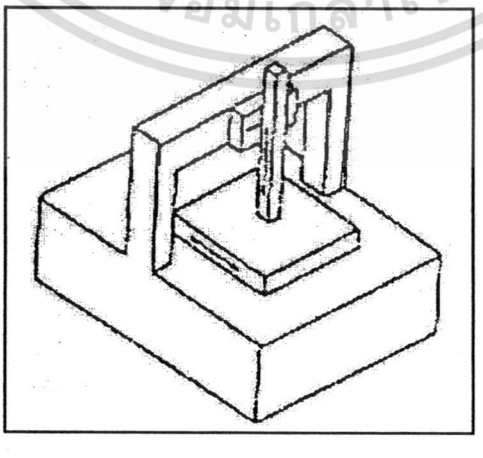


รูปที่ 8 ตัวรับสัญญาณแบบ Centering microscope & CCTV monitor system

2.3 ลักษณะของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine)

2.3.1 แบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type)

แบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type) เป็นรูปแบบของเครื่องมือวัดพิกัดที่ใช้สำหรับการวัดที่ต้องการขอบเขตของการวัดที่กว้าง และไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก ในการทำงานสามารถเข้าสู่พื้นที่ที่จะทำการวัดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดรูปแบบอื่น ดังแสดงในรูปที่ 9

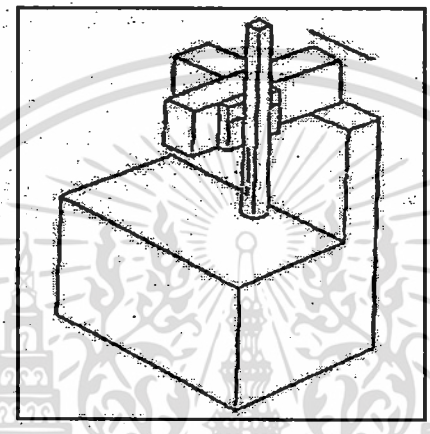


รูปที่ 9 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบแคนทิเลเวอร์ (Cantilever Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 <u>แบบบริดจ์ (Bridge Type)</u>

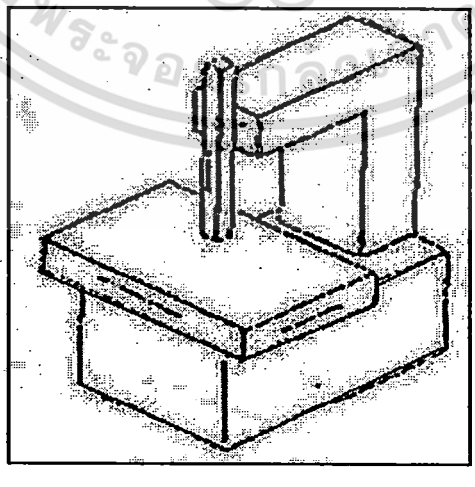
แบบบริดจ์ (Bridge Type) เป็นรูปแบบของเครื่องมือวัดพิกัดที่มีการใช้กว้างขวางมาก เป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดชิ้นงานขนาดปานกลางและต้องการความแม่นยำสูง โดนพื้นฐานแล้วแบบบริจด์จะมีแกนที่เคลื่อนที่ได้โดยที่จุดปลายของแกน Y จะอยู่บนฐาน โดยโครงสร้างของแบบบริดจ์จะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงที่สุดแต่มีข้อจำกัด เนื่องจากปลายทั้งสองของแกน Y จะต้องมีเนื้อที่บริเวณที่จะต้องมีเนื้อที่บริเวณที่เหมือนกันมากที่สุด เครื่องมือวัดพิกัดประเภทนี้ นั้นจะสามารถใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ แต่จะทำให้ยากกว่าแบบแคนทิเลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบบริดจ์ (Bridge Type)

2.3.3 <u>แบบคอลัมน์ (Column Type)</u>

แบบคอลัมน์ (Column Type) เป็นเครื่องมือวัดพิกัดที่ใช้ในการวัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก โดยสามารถเข้าถึงชิ้นงานเพื่อทำการวัดได้สะดวกและใช้สำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง ดังแสดงในรูปที่ 11

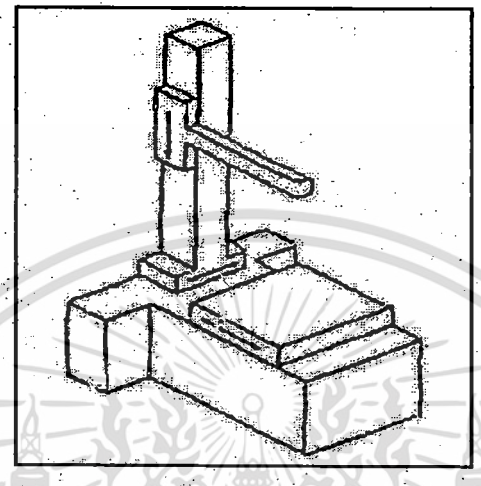


รูปที่ 11 แบบเครื่องวัดพิกัด 3 มิติคอลัมน์ (Column Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 <u>แบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type)</u>

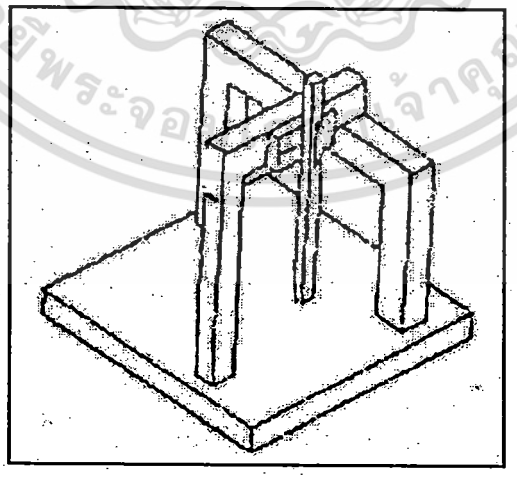
แบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type) มีแขนที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแกน Y แขนนี้ใช้ในการขับหัวโพรบ ข้อได้เปรียบของรูปทรงของเครื่องมือวัดพิกัด ประเภทนี้ได้แก่ มีขนาดใหญ่แต่ไม่ขัดขวางพื้นที่ในการวัดและสามารถใช้กับการวัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบฮอลิซอนทอล (Horizontal Type)

2.3.5 <u>แบบแกนทรี (Gantry Type)</u>

แบบแกนทรี (Gantry Type) เป็นเครื่องมือวัดพิกัด ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการวัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มาก นอกจากนี้สามารถทำการวัดชิ้นส่วนในแนวนอนได้ดี และมีความแข็งแรงกว่าแบบแคนทิเลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 13

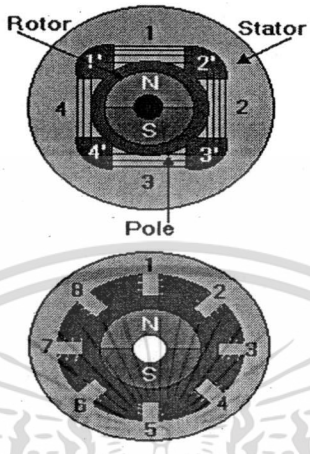


รูปที่ 13 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบแกนทรี (Gantry Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สเตป มอเตอร์ Stepping Motor

Stepping Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 14 โครงสร้างของมอเตอร์

ดังแสดงในรูปที่ 14 โครงสร้างการทำงานภายในของสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้นจะมีแกนตัวหมุน (Rotor) เป็นแม่เหล็กถาวร ตรงขั้น 1 และ 5 ซึ่งเป็นชุดขดลวดเดียวกันเมื่อมีกระตุ้นขดลวด 1-2-3-4 จะทำให้ขดลวดหมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งจะควบคุมการหมุนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็ก

3. การออกแบบและส่วนประกอบ

รายละเอียดของเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์มีโครงสร้างหลักเป็นชุดขับเคลื่อน 3 แกนที่ประกอบกันขึ้นเป็นแกนขับในแนว x , y, z ที่วางตัวเรียงต่อกันและมีชุดเกลียววางอยู่ด้านข้างสำหรับแกน x เป็นฐานสำหรับยึดชุดขับเคลื่อนในแนวแกน y ที่วางตัดไขว้กันและ ชุดเกลียวของแนวแกน z วางตัดแนวตั้งฉากให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ขนาดพื้นที่ในการทำงานเท่ากับ 765×300×210 มิลลิเมตร ติดตั้งชุดสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน x เท่ากับ 0.09 มม. / 1 step ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน y เท่ากับ 0.06 มม. / 1 step ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน z 0.01 มม. / 1 step โดยที่จุดปลายของแกน z ติดตั้งหัววัดขนาดซึ่งมีลิมิตสวิตซ์เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณเมื่อหัววัดขนาดแตะโดนชิ้นงาน พร้อมจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจวัด-ชุดโปรแกรมตรวจวัดเป็นโปรแกรมเขียนขึ้นด้วย Visual Basic ที่สามารถติดต่อกับเครื่องจักรทางพอร์ตขนาน ทำการตรวจวัดโดยการเลื่อนปลายหัวตรวจวัดไปแตะในตำแหน่งที่ต้องการจากนั้นลิมิตสวิตซ์ที่ปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัววัดแกน z จะส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อให้ตรวจนับการเคลื่อนที่ของสเตปมอเตอร์ในขณะนั้นมาแปลงเป็นระยะในแต่ละแนวแกน

3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาและหาข้อมูลการทำงานของเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

3.1.2 ศึกษาและคำนวณจากทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.3 ออกแบบและสร้าง

3.1.4 ทดลองและปรับปรุง

3.2 การออกแบบโครงสร้างหลัก

3.3 วงจรชุดขับสเตปมอเตอร์ทั้ง 3 แนวแกน

3.4 การออกแบบซอฟท์แวร์มีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ศึกษาระบบการทำงานของเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.4.2 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้งานในการสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

3.4.3 ออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

3.4.4 ทดลองและประเมินผล

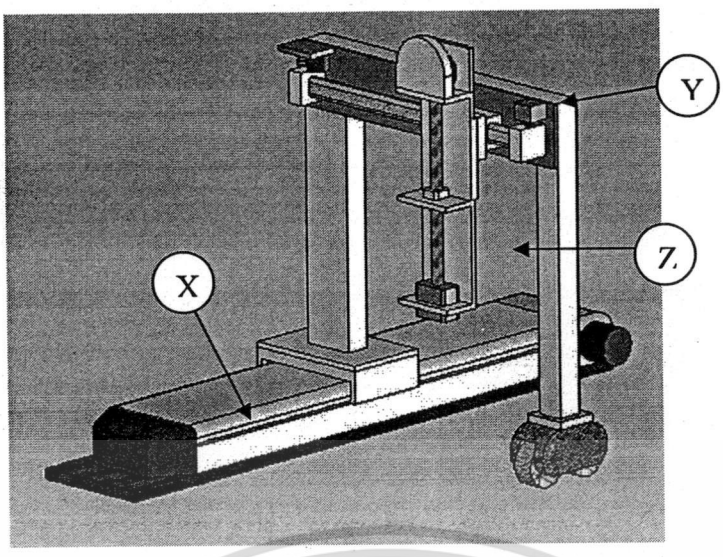
ในการเขียนโปรแกรมการทำงานเพื่อรับผลการวัดจากเครื่อง เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ จะใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเวอร์ชั่น 6 ในการเขียนโดยโปรแกรมจะแสดงพิกัดในแนวแกน x, y, z โดยส่งสัญญาณเป็นคาบเวลาจากพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์เพื่อขับสเตปมอเตอร์ จากนั้นนำจำนวนคาบเวลาที่ใช้ขับมอเตอร์มาคูณกับค่าระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้ใน 1 คาบเวลาและแสดงออกมาเป็นพิกัดที่วัดได้

การปรับปรุงด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)

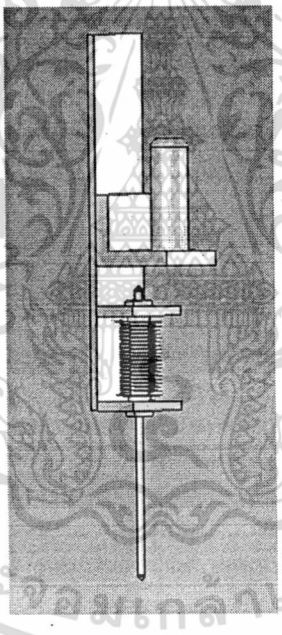
ได้ทำการปรับปรุงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ โดยในเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ส่วนการเคลื่อนในการวัด 3 แกน คือ แกน x , y , z โดยที่ใช้การมือบังคับในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนดังแสดงในรูปที่ 15
2. ชุดหัวกดหรือหัวรับสัญญาณ ที่ใช้วัดพื้นผิวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่15 แบบของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ

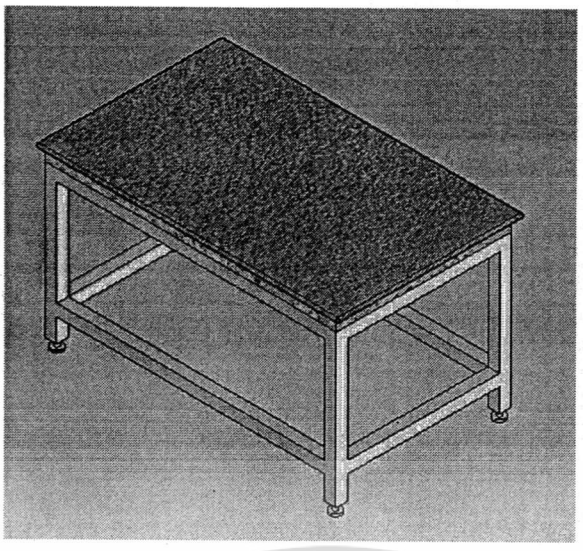


รูปที่ 16 แบบของหัวรับสัญญาณ

ขนาดของโต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

ได้ทำการออกแบบโต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ โดยมีขนาดความยาว 130 เซนติเมตร ความกว้าง 80 เซนติเมตร ความสูง 80 เซนติเมตร โดยใช้หินแกรนิตเป็นพื้นผิววางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ และจะสามารถปรับระดับความสูงของขาโต๊ะของแต่ละข้างได้ ดังแสดงในรูปที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

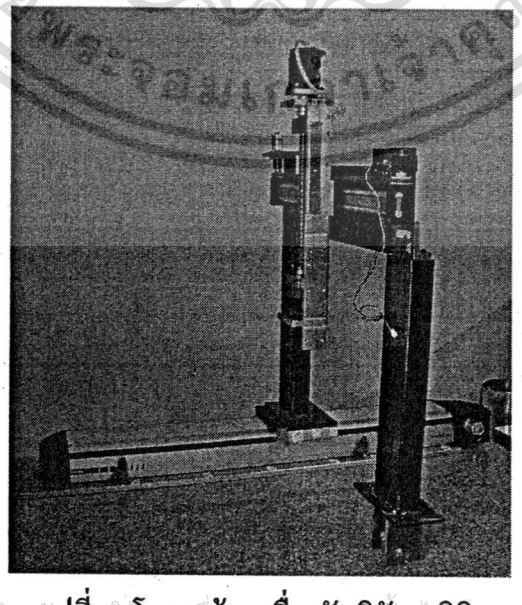


รูปที่ 17 โต๊ะวางเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

การดำเนินงานการด้านฮาร์ดแวร์ (เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ)

โดยสามารถแบ่งขั้นตอนของการดำเนินงานได้ดังนี้

1. จัดสร้างและประกอบตัวโครงสร้างของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ซึ่งจะติดตั้งชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน x , y , z ดังแสดงในรูปที่ 18
   - ทำการประกอบขาตั้งฉาก 1 ข้างเข้ากับแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน x
   - ทำการประกอบชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน y กับขาตั้งฉากที่ติดตั้งไว้กับแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน x
   - ทำการประกอบขาตั้งฉากอีก 1 ข้าง เข้ากับชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน y และทำการประกอบชุดล้อเลื่อนที่ขาตั้งฉากเพื่อให้เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x
   - ทำการประกอบชุดการเคลื่อนที่ของแกน z เข้ากับแป้นเลื่อนของชุดแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน y

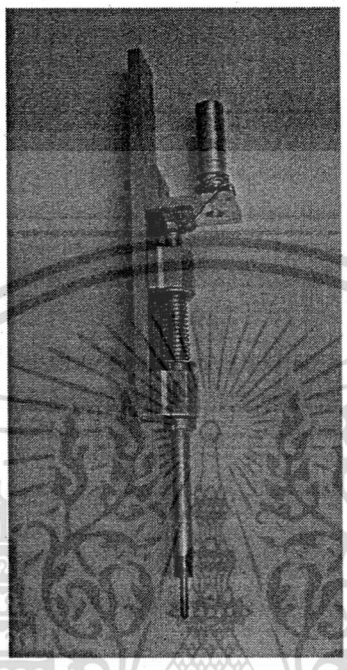


รูปที่ 18 โครงสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

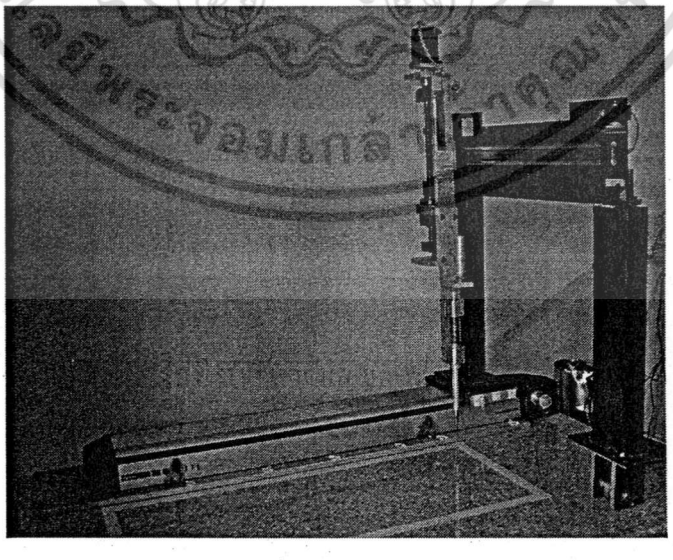
2. จัดสร้างและประกอบชุดหัวกดวัดชิ้นงาน หรือชุดหัวรับสัญญาณ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ที่รางเลื่อนของแกนเลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน z ดังแสดงในรูปที่ 19

- ทำการประกอบชุดหัวรับสัญญาณ โดยทำการกลึงแท่งแกนหัวกดและประกอบชุดลูกปืนเลื่อนขึ้น- ลง 2 ตัว , สปริง



รูปที่ 19 หัวรับสัญญาณ

3. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สเตปมอเตอร์ ลิมิตสวิทช์ และแผงวงจรต่างๆ



รูปที่ 20 เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ พร้อมหัวรับสัญญาณ และอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รายละเอียดการทำงาน

การทำงานของเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์สามารถอธิบายเป็นส่วนหลัก ๆ ดังนี้

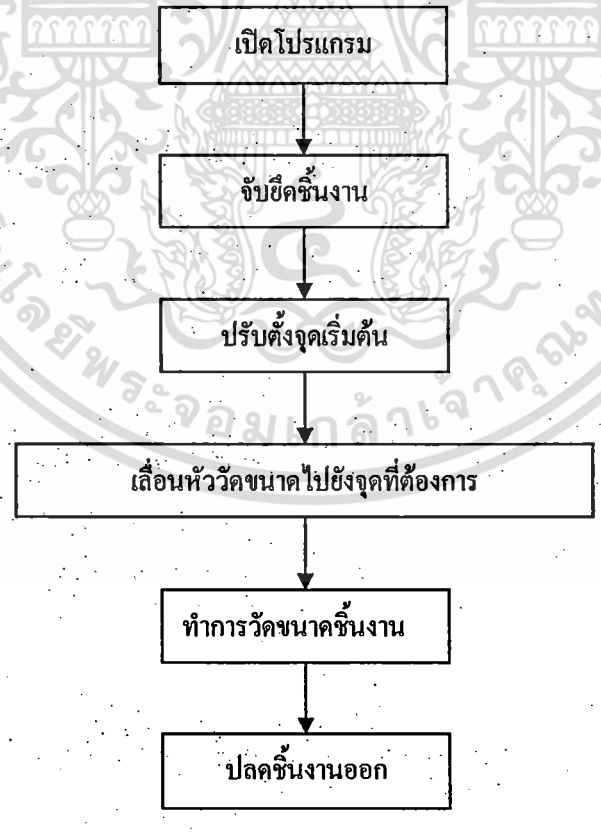
1. เปิดโปรแกรม (เพื่อให้โปรแกรมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพควรศึกษารายละเอียดของเครื่องและโปรแกรมก่อนใช้งาน)

2. จับยึดชิ้นงาน นำชิ้นงานที่ต้องการทำการวัดวางลงบนแท่นของเครื่องและทำการจับยึดชิ้นงาน(เพื่อให้ได้ขนาดที่เที่ยงตรงที่สุด ก่อนการจับยึดชิ้นงานควรทำความสะอาดแท่นวางชิ้นงานเสียก่อน)

3. ทำการปรับตั้งจุดเริ่มต้นและกำหนดศูนย์อ้างอิงของชิ้นงาน

4. หลังจากนั้นทำการขับมอเตอร์เพื่อเลื่อนหัววัดพิกัดไปยังจุดที่ต้องการทำการวัด ทำการวัดขนาดชิ้นงานโดยสั่งงานจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมจะนำจำนวนคาบเวลาที่ใช้ขับมอเตอร์มาคูณกับค่าระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้ใน 1 คาบเวลาและแสดงออกมาเป็นพิกัดที่วัดได้ (ค่าความแม่นยำของผลการวัดที่ได้มานั้น ขึ้นอยู่กับความละเอียดของจำนวนคาบเวลาที่ใช้ขับมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไป 1 รอบ)

5. ทำการปลดชิ้นงานออกจากเครื่อง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. ผลการดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์

ได้ทำการจัดสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการนำหินแกรนิตมาใช้ทำเป็นแท่นวางชิ้นงาน และจัดทำโครงโต๊ะเพื่อใช้วางแท่นเครื่องจากนั้นนำรางเลื่อนทั้ง 3 แกนที่ประกอบกันมาวางลงบนแท่นหินแกรนิตขนาดพื้นที่ในการทำงานเท่ากับ 765×300×210 มิลลิเมตร โดยที่แกน z ทำการติดตั้งหัววัดขนาดชิ้นงาน และที่แกนของรางเลื่อนทั้ง 3 แนวแกนได้ทำการติดตั้งสเตปมอเตอร์และชุดขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์

2. ผลการดำเนินงานทางด้านซอฟท์แวร์

ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมซึ่งสามารถขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์ทั้ง 3 แนวแกนเพื่อให้สามารถสั่งการเคลื่อนที่ของเครื่องได้จากคอมพิวเตอร์ ติดตั้งชุดขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน x เท่ากับ 0.09 มม. / 1 step ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน y เท่ากับ 0.06 มม. / 1 step ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแกน z 0.01 มม. / 1 step โดยที่จุดปลายของแกน z ติดตั้งหัววัดขนาดซึ่งมีลิมิตสวิตซ์เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณเมื่อหัววัดขนาดแตะโดนชิ้นงาน พร้อมจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจวัด-ชุดโปรแกรมตรวจวัดเป็นโปรแกรมเขียนขึ้นด้วย Visual Basic ที่สามารถติดต่อกับเครื่องจักร ทางพอร์ตขนาน ทำการตรวจวัดโดยการเลื่อนปลายหัวตรวจวัดไปแตะในตำแหน่งที่ต้องการจากนั้นลิมิตสวิตซ์ที่ปลายหัววัดแกน z จะส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อให้ตรวจนับการเคลื่อนที่ของสเตปมอเตอร์ในขณะนั้นมาแปลงเป็นระยะในแต่ละแนวแกนแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองตามที่ได้วางแผนไว้ เครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ คือสามารถวัดขนาดและแสดงผลได้ตามที่ออกแบบไว้

สรุปผลการดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์

การดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์ คือ การศึกษาการทำงานระบบควบคุมเครื่องจักร และสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งเป็นเครื่องที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 แนวแกน ผลการสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องได้ตามที่ออกแบบไว้

สรุปผลการดำเนินงานทางด้านซอฟท์แวร์

การดำเนินงานทางด้านซอฟท์แวร์ คือ การศึกษาการสร้างโปรแกรมในการติดต่อกับเครื่องจักร การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้สามารถวัดพิกัดโดยการขับสเตปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคาบเวลาจากนั้นนำจำนวนคาบเวลาที่ใช้ขับมอเตอร์มาคูณกับค่าระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้ใน 1 คาบเวลาและแสดงออกมาเป็นพิกัดที่วัดได้ และโปรแกรมสามารถทำการตั้งจุดอ้างอิงในการวัดพิกัดได้

วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

<u>ส่วนฮาร์ดแวร์</u>

1. ความเที่ยงตรงและแม่นยำในการสร้างเครื่องจักรยังไม่สามารถทำได้ละเอียดตามที่ต้องการ
2. ความราบรื่นในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากการใช้สเตปมอเตอร์ในการขับเคลื่อน
3. ความละเอียดของสเตปมอเตอร์ที่ใช้ในการวัดพิกัดยังไม่ละเอียดเท่าที่ควร
4. หัววัดพิกัดวัดได้เพียงทิศทางเดียว

<u>ส่วนซอฟท์แวร์</u>

โปรแกรมยังไม่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพทางหน้าจอได้

แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง

ในการศึกษาการสร้างเครื่องวัดขนาดสามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ครั้งนี้ได้พบปัญหาที่เกิดขึ้น แบะทางคณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. พัฒนาโครงสร้างของเครื่องให้รองรับการเคลื่อนที่ของทั้งสามแนวแกน โดยทำให้ทั้งสามแนวแกนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างราบเรียบมากยิ่งขึ้น
2. ใช้สเตปมอเตอร์ในการขับเคลื่อนให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นเพื่อนให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการวัดมากยิ่งขึ้น
3. ทำการปรับปรุงซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการทำงานร่วมกับเครื่องที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยสามารถทำการรับค่าสัญญาณได้อย่างมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น, แสดงผลการวัดได้ละเอียดแม่นยำและสามารถแสดงผลเป็นรูปภาพทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้
4. ทำการปรับปรุงหัววัดพิกัดให้สามารถทำการวัดได้หลายทิศทางและหลายแนวแกนมากยิ่งขึ้น
5. ทำการติดตั้งชุดเอนโคดเดอร์ในการวัดพิกัดเพื่อให้การวัดพิกัดไม่ต้องขึ้นอยู่กับการนับจำนวนพัลส์ที่จ่ายเพื่อขับสเตปมอเตอร์แต่ใช้การนับพัลส์ของเอนโคดเดอร์เข้ามาแทนที่ซึ่งสามารถป้องกันความผิดพลาดในการขับสเตปมอเตอร์ เช่น การสลิป และสามารถทำให้ค่าที่วัดได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้