

# การออกแบบและพัฒนาตัวรับสัญญาณแบบสัมผัสชนิดเคลื่อนที่ อิสระได้ 2 แกนของเครื่องวัด 3 แกน

## A Design and Development of a 2 Degree of Freedom Touch Signal Probe for 3-axis Coordinate Measuring Machines.

มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ศราวิน ทักษิกรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้เสนอ การออกแบบและพัฒนาตัวรับสัญญาณแบบสัมผัสชนิดเคลื่อนที่อิสระได้ 2 แกนของเครื่องวัด 3 แกน โดยทำการสร้างตัวรับสัญญาณที่สามารถเคลื่อนที่อิสระได้ 2 แกน จากการใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ 2 ตัว ให้ตัวรับสัญญาณรับสัญญาณจากการสัมผัส ใช้การวัดแบบจุด ต่อ จุด ตัวรับสัญญาณจะรับสัญญาณเมื่อแกนรับสัญญาณมีการเคลื่อนที่ในทิศทางใดๆเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง และศึกษาหาความถูกต้อง ค่าความเชื่อถือได้และค่าความไวของตัวรับสัญญาณ ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบกับ Check Master ที่ตำแหน่งศูนย์เท่ากับ 3.15 ไมโครเมตร และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.55 ไมโครเมตร

### Abstract

This research describes a design and development of a 2-degree of freedom touch signal probe for coordinate measuring machines. The touch-trigger signal probe is driven in 2-degree of freedom by 2 stepping motors with microcomputer controlled. The probe is used for point-to-point measurement. The detected signal is generated from the displacement of the stylus tip in any directions from its neutral position. The accuracy, reliability and sensitivity are included in this study. The average of error is 3.15 micrometer and the standard deviation is 11.55 micrometer from checking by the check master at the zero position.

### 1.บทนำ

เครื่องวัด 3 แกนเป็นเครื่องมือวัดที่มีค่าResolution ระหว่าง 0.0002-0.001 มิลลิเมตร ใช้ในการควบคุมคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนในโรงงานอุตสาหกรรมประเภท

อุตสาหกรรมยานยนต์ และ เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเครื่องจะตรวจดูว่าชิ้นส่วนที่ผลิต ได้ขนาดและตำแหน่งตามที่แบบเขียนเอาไว้หรือไม่ ทำหน้าที่คล้ายกับไมโครมิเตอร์, เวอร์เนีย, ไสเกจ แต่มีข้อได้เปรียบกว่า

มาก เพราะสามารถ วัดชิ้นงาน 3 มิติที่มีรูปร่างซับซ้อนซับซ้อนได้ และยังสามารถคำนวณค่าที่เกิดความคลาดได้ในทันทีอีกด้วย เช่น ค่าความร่วมศูนย์, ค่าความตั้งฉาก, ค่าความขนาน เป็นต้น

ตัวรับสัญญาณทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ มีความสำคัญมากต่อค่าที่ได้ในการวัด ดังนั้นเพื่อศึกษาการทำงานและปัจจัยของผลกระทบที่ทำให้เกิดความผิดพลาดจึงได้สร้างตัวรับสัญญาณขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา

เมื่อหัวรับสัญญาณสัมผัสวัตถุชิ้นงาน จุดนั้นจะถูกส่งไปเพื่อประมวลผล ถ้าชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนก็จะต้องเปลี่ยนทิศทางของหัวรับสัญญาณเพื่อให้สัมผัสถึงจุดนั้น การเปลี่ยนทิศทางจะต้องสอบเทียบ (Calibrate) ทุกครั้ง จึงเกิดแนวความคิดที่จะติดตัวรับสัญญาณเข้ากับสเตปปีงมอเตอร์ เพื่อให้เกิดมุมที่แน่นอน เมื่อสอบเทียบไปแล้วสามารถเรียกกลับมาใช้ใหม่ได้

## 2. เครื่องวัด 3 แกน

เครื่องวัด 3 แกน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Manual floating CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงของผู้ใช้เครื่อง

2. CNC CMM แกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ด้วยแรงของ Servo motor โดยควบคุมผ่านทาง Joy stick

การเคลื่อนที่ของเครื่องวัด 3 แกน มีการเคลื่อนที่อยู่ 2 ระบบ คือระบบเคลื่อนที่ด้วยคัลลิกบปิน และระบบที่เคลื่อนที่ด้วย Air Bearing ใช้แรงดันลม 0.4 Mpa ระบบที่ใช้คัลลิกบปินจะมีค่าความถูกต้องน้อยกว่าระบบที่เคลื่อนที่ด้วย Air Bearing ประมาณ 5-20 ไมครอน ขึ้นอยู่กับขนาดและรุ่นของเครื่อง รูปที่ 1

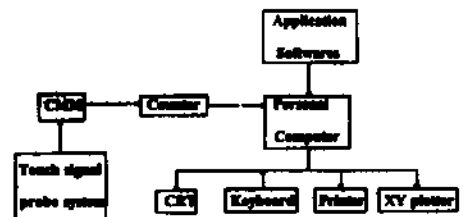
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัด 3 แกน มีดังนี้  
รูปที่ 2

1. ตัวเครื่องวัด 3 แกน
2. ตัวคอนโทรลเลอร์ หรือ ตัวคาร์เตอร์
3. ตัวรับสัญญาณ
4. เครื่องคอมพิวเตอร์และ โปรแกรม

## 5. อุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องพิมพ์หรือพล็อตเตอร์



รูปที่ 1 เครื่องวัด 3 แกน



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของเครื่องวัด 3 แกน

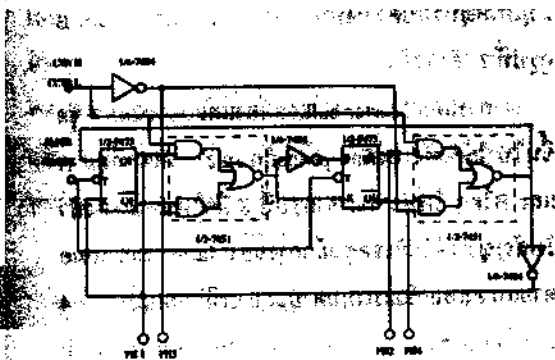
## 3. สเตปปีงมอเตอร์

ตัวรับสัญญาณจะใช้สเตปปีงมอเตอร์เป็นตัวกำหนดทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ ให้เคลื่อนที่อิสระได้ 2 ทิศทาง สเตปปีงมอเตอร์คือมอเตอร์ที่สามารถแบ่งมุมที่แน่นอนในการเคลื่อนที่ และกำหนดความเร็วตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับวงจรดิจิทัล ซึ่งใช้ในการควบคุมการจัดลำดับการกระตุ้น สามารถใช้ควบคู่กับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในที่นี้จะใช้มอเตอร์ 4 เฟสของ NMB รุ่น PM42L-048-NEA6 หมุนสเตป ละ 7.5 องศา กระตุ้นแบบ 2 เฟส จากแหล่งจ่ายไฟ DC 5 V. การกระตุ้นสเตปปีงมอเตอร์มีอยู่ 3 วิธีคือ กระตุ้นแบบ 1 เฟส, 2 เฟส และแบบครึ่งสเตป การจับตัวรับสัญญาณจะใช้การกระตุ้นแบบ 2 เฟส เพราะเป็นการกระตุ้นที่ให้ทอร์กมากที่สุดทั้งในขณะที่เคลื่อนที่และ

หุคหนึ่ง(รูปที่3)การจัดลำดับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส  
จะใช้วงจรดิจิทัล ตามรูปที่ 4

สัญญาณนาฬิกา	0	1	2	3	4	5	6	7	8
เฟสที่ 1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
เฟสที่ 2	0	1	1	0	0	1	1	0	1
เฟสที่ 3	1	0	1	1	0	1	0	1	1
เฟสที่ 4	0	1	0	1	1	0	1	1	0

รูปที่ 3 การกระตุ้นแบบ 2 เฟส



รูปที่ 4 วงจรดิจิทัลที่ใช้กระตุ้นแบบ 2 เฟส

การควบคุมสเตปป์มอเตอร์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมมอเตอร์คือ ภาษาซี เพราะ เป็นภาษาที่มีความอ่อนตัว และมีประสิทธิภาพในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์สูง ทั้งยังสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว เราจะใช้ Parallel Port (Printer Port) ในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ ซึ่งมีแอดเดรสเท่ากับ 378 รับข้อมูลขนาด 8 บิต คือตั้งแต่บิตที่ 0-7(D0-D7) เทียบกับขาของพอร์ต คือขาที่ 2-9 และขาที่เป็นกราวด์คือขาที่ 18-25

ขาสัญญาณ	ความหมาย
2	ส่งสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นมอเตอร์ในมุม A
3	กำหนดทิศทางการหมุนมอเตอร์ในมุม A
4	ส่งสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นมอเตอร์ในมุม B
5	กำหนดทิศทางการหมุนมอเตอร์ในมุม B

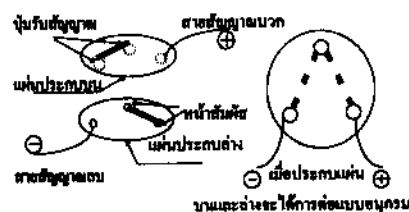
คำสั่งที่สำคัญในการควบคุม คือ output (address,data); ใช้สำหรับส่งข้อมูล, inport (address,data); ใช้สำหรับรับข้อมูล, delay(msec); ใช้

ในการหน่วงเวลาหน่วยเป็นมิลลิวินาที เช่นการส่งให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาจะต้องสั่งให้ บิตที่ 0และ1ทำงาน 1 สเตปเราจะต้องแปลงจากเลขฐาน 2 คือ 0 0 1 1 เป็นเลขฐาน 10 คือ  $(2^3 \times 0) + (2^2 \times 0) + (2^1 \times 1) + (2^0 \times 1) = 3$  ฉะนั้นคำสั่งคือ output(0x378,0x3); ขึ้นด้วยคำสั่ง delay(100); คือหน่วงไว้ 100 ms แล้วสั่งให้หยุดคือ output(0x378,0x2);

#### 4.การออกแบบตัวรับสัญญาณ

ตัวรับสัญญาณเปรียบเสมือนกับสวิทช์แบบปกติปิด ตัวหนึ่งที่สามารถส่งสัญญาณออกไปเมื่อถูกสัมผัสในทิศทางใดๆ ทั้งของแกน XหรือYหรือZ ดังนั้นเราจะต้องทำหน้าสัมผัส 3 ตัว แล้วนำหน้าสัมผัสทั้ง 3 ตัวมาต่ออนุกรมกัน เมื่อหน้าสัมผัสตัวใดตัวหนึ่งเปิดออกสัญญาณก็จะถูกส่งออกไป

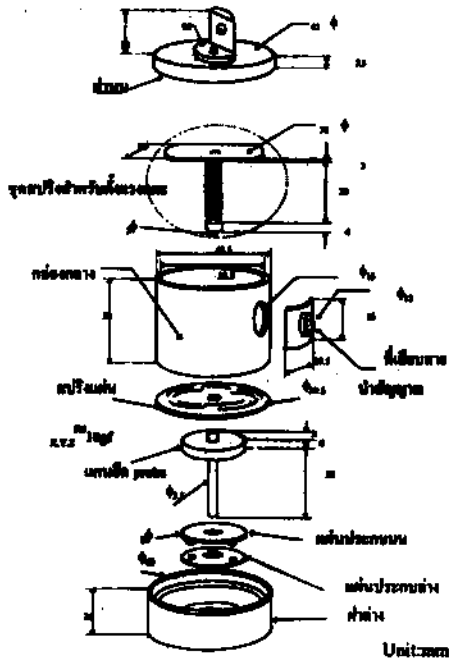
แผ่นรับสัญญาณจะต้องมี 2 แผ่น คือแผ่นรับสัญญาณบนและล่าง ทำจากแผ่นปริ้นท์วงจรไฟฟ้าตัดเป็นรูปวงกลม แผ่นบนทำการเชื่อมติดกับเม็ดลูกปัด 3 เม็ด ทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน ส่วนแผ่นล่างก็ทำเป็นสายวงจรแล้วเชื่อมเข้ากับสายสัญญาณ รูปที่ 5



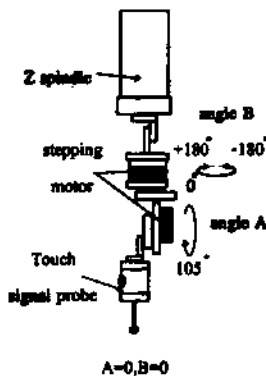
รูปที่ 5 แผ่นรับสัญญาณ

นำแผ่นประกบล่างมายึดกับฝาล่าง และแผ่นประกบนบนมายึดกับแกนรับสัญญาณ แล้วนำมาติดกับสปริงแผ่นๆถูกประกบด้วยกลองกลางกับฝาล่าง สปริงแผ่นจะถูกชุดสปริงสำหรับดึงแรงในการแตะกดเอาไว้ ซึ่งดึงค่าแรงกดจากสกรูที่ผ่าน รูปที่ 6

การปรับมุมของตัวรับสัญญาณ จะใช้สเตปป์มอเตอร์เป็นตัวจับ ให้เคลื่อนที่อิสระได้ 2 ทิศทาง คือ หมุน ซ้าย-ขวา และขึ้นลง เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบ Cylindrical Radius (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 ส่วนประกอบหัวรับสัญญาณ



รูปที่ 7 เทคนิคป้อนเครื่องกับหัวรับสัญญาณ

## 5. ขั้นตอนการทดลอง

### 5.1 การสอบเทียบขนาดหัวรับสัญญาณ

#### (Probe Calibration)

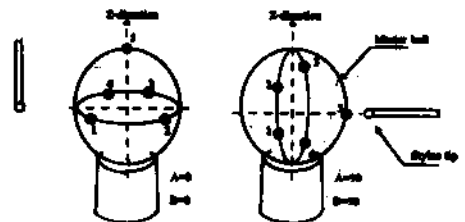
การสอบเทียบหัวรับสัญญาณ คือการหาขนาดและตำแหน่งของหัวรับสัญญาณซึ่งมีขนาดและความยาวต่างกัน จะต้องทำการสอบเทียบใหม่ถ้ามีการถอดหรือเปลี่ยนตำแหน่ง

การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหัวรับสัญญาณจะได้รับออกมาเป็นมาตรฐานเรียกว่า Master Ball ที่นิยมใช้มี 2 ขนาดคือ 25.4 และ 19.05 มิลลิเมตร ทำด้วยเหล็กหรือเซรามิก ทิศทางในการสอบเทียบหัวรับสัญญาณขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะวัด

มุมของหัวรับสัญญาณจะมี 2 มุมคือ

1. มุมที่ขึ้นลงในแนวแกน Z จะเรียกว่ามุม A
2. มุมที่หมุนรอบตัวเองบนระนาบ XY จะเรียกว่ามุม B

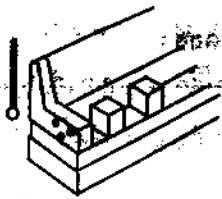
การแตะ Master ball จะต้องแตะอย่างน้อย 4 จุดขึ้นไป ใช้คำสั่ง Define probe ลักษณะการแตะที่มุม A และ B ใดๆ ให้พิจารณาจากรูปที่ 8 คือให้ปลายของหัวรับสัญญาณชี้ไปยังจุดศูนย์กลางของ Master ball เสมอตามแนวแกนแล้วแบ่งมุมตามระนาบที่ชี้ออกเป็น 4 ส่วนโดยประมาณ และจุดสุดท้ายคือจุดด้านหน้าสุดที่หัวรับสัญญาณชี้อยู่นั้น



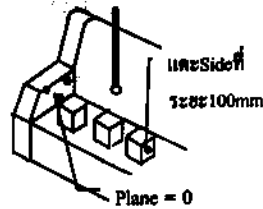
รูปที่ 8 จุดแตะของหัวรับสัญญาณบน Master ball

### 5.2 การหาค่าแห่งศูนย์ให้กับชิ้นงาน

เมื่อทราบขนาดของหัวรับสัญญาณแล้วขั้นตอนต่อไปก็คือการหาค่าแห่งศูนย์ให้กับชิ้นงานซึ่งในการทดลองนี้ใช้ตัว Check master เป็นตัวมาตรฐาน (รูปที่ 1) ใช้คำสั่งวัด Plane การแตะจะต้องแตะอย่างน้อย 3 จุด หลังจากนั้นจุดต่างๆจะถูกนำมาเชื่อมโยงเข้าหากันเพื่อสร้างระนาบแล้วจึงปรับระนาบนั้นให้เป็นศูนย์ลักษณะการแตะแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การแตะเพื่อหาตำแหน่งศูนย์



รูปที่ 10 จุดแตะสำหรับหาค่า k

### 5.3 การหาค่า Repeatability

ค่า Repeatability คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) "เป็นค่าความเบี่ยงเบนของความคิดพลาดที่เกิดจากการแตะชิ้นงานซ้ำที่จุดเดียวกันหลายๆครั้ง" เมื่อได้ตำแหน่งศูนย์แล้ว ใช้คำสั่ง side และ 1 จุด ที่ตำแหน่งนี้ 20 ครั้ง แล้วคำนวณตามสูตรหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - 1/n[\sum X_i]^2}{n-1}} \quad (1)$$

### 5.4 การหาค่าคงที่ของสปริง (k)

$$F=kx \quad (2)$$

เมื่อ F=แรงที่ทำให้หน้าสัมผัสของวงจรมแยกจากกัน

k=ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของสปริง

x=ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

การหาค่า F หาได้จากการใช้ Force gage และที่ปลายของหัวรับสัญญาณแล้วค้นจนกระทั่งหน้าสัมผัสเปิด อ่านค่า ณ ตำแหน่งนั้น การหาค่าความผิดพลาด(x) จะต้องหาจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางจริงของ probe ที่ยังไม่ได้ชดเชยความผิดพลาดของสปริง คือจะต้อง input ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง probe แทนการ Calibrate ต่อไปและ Check master หาตำแหน่งศูนย์ แล้วไปแตะที่ตำแหน่ง 100mm

สังเกตว่าเราจะต้องทำ Plane ที่ด้านเดียวกับ Side

รูปที่ 10

### 5.5 การหาความสัมพันธ์ของ F และ X

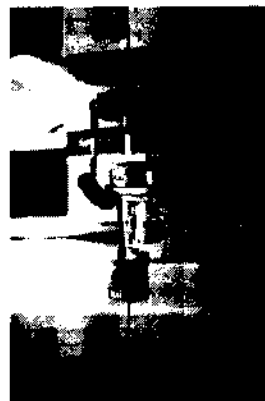
$X \propto F$  มีความหมายว่า เมื่อแรงที่กดลงบนสปริงเปลี่ยน ค่า X ก็จะต้องเปลี่ยนตาม ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงความสัมพันธ์นี้ โดยการเปลี่ยนแรงที่กดบนสปริง แล้วหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนแรกคือ Input เส้นผ่านศูนย์กลางของ Probe ตามขนาดจริง แล้วทำ Plane = 0 และ Side ที่ระยะ 100mm แล้วเพิ่มแรงกดที่สปริง โดยการขันสกรูที่ฝาบน ใช้ Force gage ตรวจสอบว่าได้แรงตามที่ต้องการหรือไม่ ทำการทดลองอีกครั้ง โดยทำที่มุม A=0, B=0 เท่านั้น

### 6. ผลการทดลอง

การทดลองนี้ใช้เครื่องวัด 3 แกนรุ่น Geoboy300 ซึ่งมีค่าความผิดพลาด =  $15 + (20L/1000) \mu m$  คือที่ L=0 จะผิดพลาดได้ 15  $\mu m$  และใช้หัวรับสัญญาณ ดังรูปที่

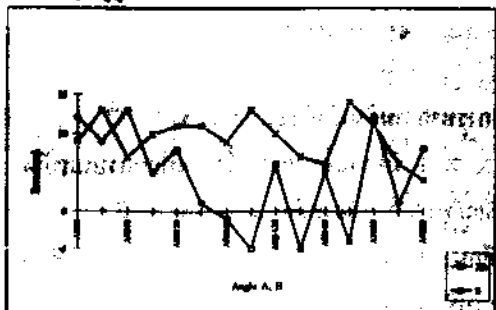
11



รูปที่ 11 หัวรับสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง

### 6.1 ค่า Repeatability

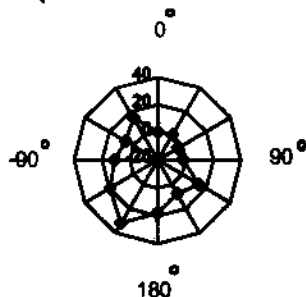
ผลการทดลองของมุมต่างๆได้นำมา Plot ลงบน Control chart โดยทำการทดลองมุมละ 20 ตัวได้ค่า Repeatability รวม จากข้อมูล 15 มุมเท่ากับ  $11.55 \mu\text{m}$  ที่  $F=4\text{gf}$  รูปที่ 12



รูปที่ 12 Control chart of Repeatability

### 6.2 ค่าคงที่ของสปริง

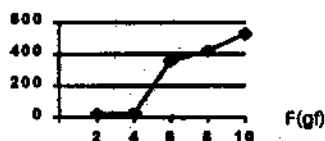
การหาค่าคงที่ของสปริงจะให้มุม  $A=0$  แล้ว เปลี่ยน มุม  $B$  ไปครั้งละ 30 องศา



รูปที่ 13 Radar chart ของค่า k

### 6.3 ความสัมพันธ์ของ F และ x

การทดลองนี้ จะเปลี่ยนค่า F ครั้งละ 2 gf จาก 2 - 10 gf เพื่อหาค่า x ( $\mu\text{m}$ )



F(gf)	2	4	6	8	10
x(μm)	20	22	354	418	527

รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ของ F และ x

### 7.สรุปผลการทดลอง

สาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับสัญญาณของตัวรับสัญญาณ มีดังนี้

1.ค่าคงที่ของสปริงในทิศทางต่างๆมีค่าไม่เท่ากัน ไม่ว่าค่าของ k จะมากหรือน้อยจะไม่มีผลกับค่า error เพราะว่าการ Calibrate probe จะทำการชดเชยค่า error ของสปริง แต่ถ้าค่า k ในทิศทางต่างๆไม่เท่ากันจะทำให้ค่าของการชดเชยจากการ Calibrate probe ผิดพลาดไปด้วย

2.แรงที่ใช้ในการแตะตัวรับสัญญาณไม่คงที่ทำให้ค่า error ที่เกิดจากการแตะที่จุดเดียวกันไม่เท่ากัน

3.ตัวสแตปปีงมอเตอร์มีความสามารถในการรับทอร์กได้ไม่เพียงพอ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงกดของสปริงให้มากขึ้น ค่า error ก็จะมีมากขึ้นด้วยแต่จะต้องมากขึ้นในลักษณะเชิงเส้น แต่จากการทดลองไม่เป็นเช่นนั้น เพราะเวลาที่แตะขึ้นงานค่าสปริงที่แข็งจะทำให้ตัวมอเตอร์มีการหมุนเล็กน้อยก่อนที่จะนำสัมผัสตัวจริงจะเปิด

### 8.เอกสารอ้างอิง

- [1] Catalogue Coordinate Measuring Machine No: MAP.1021 (2) 1994 Mitutoyo Asia Pacific Pte.Ltd.,Singapore.
- [2] Geopak-3 (v5.0) Instruction Manual Nr.011090 1995 Mitutoyo Neuss, Germany.
- [3] H. D. Young "Physics, eighth edition", Addison-Wesley,1992.
- [4] Statpak-3 Instruction Manual Nr.011090 1995 Mitutoyo Neuss, Germany.
- [5] มนตรี เจริญเชิดวงศ์, วิสูตร ขาวภูพิพัฒน์ชัย, วิเชษฐ์ เรืองวงศ์โรจน์, ศรีชัย รุจิวัฒนกุล "สแตปปีงมอเตอร์ โคร์ฟ", ปริญาพนิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ 2535