

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8๖

ของ

นายวันชัย ชินชูศักดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 7 ๖

เรื่องที่ 2

การออกแบบและสร้างเครื่องสอบเทียบระยะสเกลอัตโนมัติ

ผู้ร่วมดำเนินการ

นายพีระวัฒน์ สมนึก

นักวิทยาศาสตร์ 6 ๖

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ  
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อนำมาจัดตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ของ

นายวันชัย ชินชูศักดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เลขหมู่ ๑๗ ฟ๖  
๑๑ 8  
เลขทะเบียน 13915  
วันที่ 25/๑๑/49

เรื่องที่ 2

การออกแบบและสร้างเครื่องสอบเทียบระยะสเกลอัตโนมัติ

ผู้ร่วมดำเนินการ

นายพีระวัฒน์ สมนึก

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องมือสอบเทียบด้านความยาวและมิติ ระยะสเกลแบบอัตราโนมิติ ซึ่งสามารถทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดความยาวประเภทขีดสเกล โดยอัตราโนมิติ เครื่องมือสอบเทียบนี้ใช้หลักการเปรียบเทียบความถูกต้องกับลิเนียร์สเกล(linear scale) ที่มีความแม่นยำสูง มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร พร้อมด้วยกล้องไมโครสโคปชนิดกำลังขยายสูง ระบบของเครื่องมือสอบเทียบจะจดจำภาพเก็บไว้ที่หน่วยความจำคอมพิวเตอร์และบอกตำแหน่งของระยะขีดสเกล เมื่อเลื่อนตำแหน่งกล้องให้ตรงกับขีดสเกลที่วัด เครื่องจะทำการบันทึกผลเองโดยอัตราโนมิติ โดยประมวลผลจากตำแหน่งขีดสเกลกับค่าที่อ่านได้จากลิเนียร์สเกลพร้อมออกรายงานด้วยคอมพิวเตอร์ เครื่องสอบเทียบด้านความยาวและมิติระยะสเกลแบบอัตราโนมิติ ที่ระยะ 1000 มิลลิเมตร ความไม่แน่นอนในการวัด  $\pm 0.005$  มิลลิเมตร

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญตาราง	III
สารบัญรูป	IV
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 แนวความคิดที่ใช้	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
<b>บทที่ 2 หลักการสอบเทียบระยะสเกล</b>	3
2.1 การวัดแบบสมบูรณ์(absolute measurement)	3
2.1.1 การสอบเทียบระยะสเกลด้วยชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	4
2.2 การวัดแบบเปรียบเทียบ(comparison measurement)	6
2.2.1 การเปรียบเทียบตามแนวยาว(longitudinal comparator)	6
2.2.2 การวัดเปรียบเทียบตามแนวขวาง(transverse comparator)	6
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่อง</b>	8
3.1 ออกแบบและเขียนแบบแทนเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	8
3.2 หล่อแทนเครื่อง	9
3.3 การขัดแต่งผิวและเจาะแทนเครื่อง	9
3.4 การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์	10
<b>บทที่ 4 ผลการสอบเทียบ</b>	11
4.1 ผลการสอบเทียบระยะสเกล	13
4.2 ผลการสอบเทียบความตรง	14
<b>บทที่ 5 สรุป</b>	15
เอกสารอ้างอิง	16
กิตติกรรมประกาศ	17
ภาคผนวก	18
ภาคผนวก ก	19
ภาคผนวก ข	24

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ผก.1 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอน	21
ผก.2 ข้อมูลสอบเทียบระยะสเกล	22
ผก.3 ข้อมูลการวัดความตรงการเคลื่อนที่ของถั่ง	23

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การวัดขีดสเกลแบบสัมบูรณ์ด้วยชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	3
2.2 แผนผังการทำงานของเครื่องเลเซอร์อินเฟอโรมิเตอร์	4
2.3 การติดตั้งเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์กับเครื่องมือสอบเทียบระยะสเกล	5
2.4 การวัดสเกลแบบเปรียบเทียบตามแนวยาว	6
2.5 การเปรียบเทียบสเกลตามแนวขวางโดยวาง micrometer microscope และสเกลขนานกัน	7
2.6 การเปรียบเทียบสเกลตามแนวขวางโดยวาง micrometer microscope ตั้งฉากกับสเกล	7
3.1 เครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติออกแบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	8
3.2 แบบชิ้นส่วนประกอบเครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ	8
3.3 การขันตลับหมึกแทนเครื่องมือวัดระยะสเกลอัตโนมัติ	9
3.4 การเจาะแทนเครื่องมือวัดระยะสเกลอัตโนมัติ	10
3.5 ติดตั้งส่วนประกอบเข้ากับแทนเครื่องมือวัดระยะสเกล	10
3.6 การติดตั้งกล่องซีซีดีและมอเตอร์เครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ	11
3.7 การปรับตั้งส่วนประกอบเครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ	11
3.8 การติดตั้งส่วนควบคุมมอเตอร์	11
3.9 แสดงการติดตั้งเครื่องส่วนที่ประกอบเสร็จแล้วพร้อมใช้งาน	12
4.1 ค่าแก้การสอบเทียบลิเนียร์สเกลทั้งไปและกลับ	13
4.2 ความเป็นเชิงเส้นของลิเนียร์สเกลทั้งไปและกลับ	13
4.3 กราฟแสดง least squares fit method แนวการเคลื่อนที่ของกล่อง	14
4.4 กราฟแสดงค่าความตรงแนวการเคลื่อนที่ของกล่อง	14
ผข.1 หน้าที่ท่านนายกรัฐมนตรีเยี่ยมชมโครงการวิจัย	24
ผข.2 หน้าที่ท่านรองนายกรัฐมนตรีเยี่ยมชมโครงการวิจัย	24
ผข.3 อดีตนายกรัฐมนตรีฯ รมต.กระทรวงวิทย์ฯ เยี่ยมชมโครงการวิจัย	24

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หน่วยของการวัดความยาวมีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งได้มีการกำหนดนิยามของหน่วยเมตรไว้ว่า “ระยะทางที่แสงเดินทางในสุญญากาศในเวลา  $1/299\,792\,458$  วินาที” ที่ความเร็วแสงเท่ากับ  $299\,792\,458$  เมตร/วินาที เป็นข้อตกลงร่วมกันของการประชุมทั่วไปของ CGPM (General Conference of Weights and Measures) ครั้งที่ 17 เมื่อเดือนตุลาคม 2526 ในทางปฏิบัติการวัดความยาว เช่น สเกลมาตรฐาน (line scale) หรือ แท่งเทียบมาตรฐาน (gauge block) ใช้หลักการวัดด้วยเครื่องมือวัด (measuring instruments) หรือ เครื่องกล (measuring machines) ซึ่งล้วนแต่สอบเทียบด้วยการใช้ความยาวคลื่นแสงของแสงเลเซอร์หรือแหล่งกำเนิดแสงจากการประจวบคองของก๊าซต่างๆ ได้แก่ หลอดคริปทอน 86 (Kr 86 lamp) เป็นต้น ความสอบกลับได้ (traceability) เป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในระบบการวัดและสอบเทียบเครื่องมือวัดทางด้านความยาวและมิติ โดยเฉพาะเครื่องมือประเภทที่เป็นขีดสเกลมิใช้กันอยู่ทั่วไป เครื่องมือวัดเหล่านี้ต้องได้รับการสอบเทียบตามกำหนดเวลา ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดภายในประเทศ ต้องให้บริการสอบเทียบเครื่องมือวัดประเภทนี้เป็นจำนวนมากในแต่ละปีแต่การให้บริการแก่อุตสาหกรรมในปัจจุบันไม่เพียงพอ เกิดความล่าช้า ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ ผู้วิจัยจึงเน้นการออกแบบที่นำระบบการวัดแบบอัตโนมัติมาใช้ในงานสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในงานสอบเทียบให้สามารถให้บริการได้เร็วขึ้น ทำงานได้อย่างต่อเนื่องในระยเวลานานและลดความไม่แน่นอนของการสอบเทียบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของคน (human error)

### 1.2 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องมือสอบเทียบระยะสเกลแบบอัตโนมัติซึ่งสามารถทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดความยาวประเภทขีดสเกลได้อย่างอัตโนมัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดประเภทนี้จะใช้ลิเนียร์สเกล (linear scale) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบมาตรฐานกล้องวิดีโอ (video camera) ที่มีกำลังขยายไม่น้อยกว่า 10 เท่า ส่งขยายดูขีดสเกล และเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากลิเนียร์สเกลที่มีความละเอียดของการวัด 0.001 มิลลิเมตร ในขณะที่ความละเอียดของเครื่องมือวัดความยาวแบบขีดสเกลโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.5 มิลลิเมตรระบบอัตโนมัติจะทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของขีดสเกล โดยเมื่อเลื่อนตำแหน่งกล้องขยายให้ตรงกับขีดสเกลบันทึกค่าที่อ่านได้จากลิเนียร์สเกลและประมวลผลการสอบเทียบโดยเปรียบเทียบระยะที่อ่านได้จากการอ่านขีดสเกลและระยะที่อ่านจากลิเนียร์สเกล

โดยได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)  
ด้วยงบประมาณ 500,000 บาท(ห้าแสนบาทถ้วน)

### 1.3 ขอบเขต

เป็นเครื่องมือสอบเทียบด้านความยาวและมิติระยะสเกลอัตโนมัติสเกลที่ระยะ 1000 มิลลิเมตร ที่ค่าความไม่แน่นอนไม่มากกว่า  $\pm 0.005$  มิลลิเมตร

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เป็นแนวทางในการศึกษาความสอบกลับได้ทางด้านความยาวและมิติ
- 1.4.2 เป็นการนำความรู้เกี่ยวกับมาตรวิทยาไปพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์
- 1.4.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการสอบเทียบด้านความยาวและมิติ
- 1.4.4 เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ให้เกิดการพัฒนาทางด้านการวัด สอบเทียบให้กับ  
ภาคอุตสาหกรรม



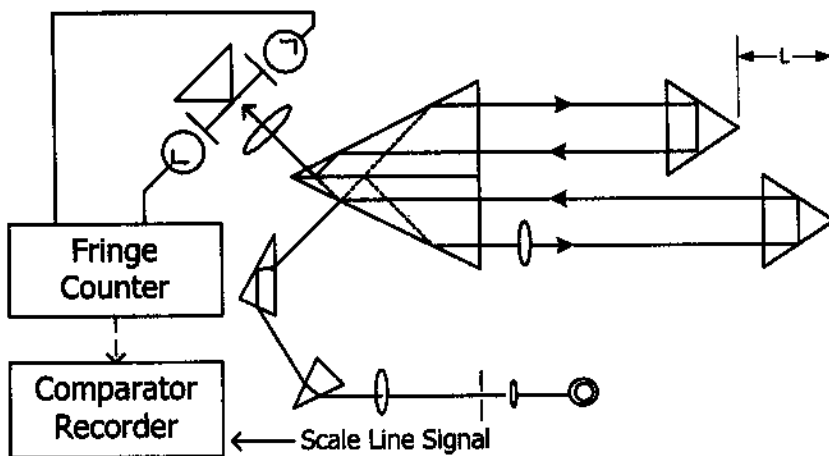
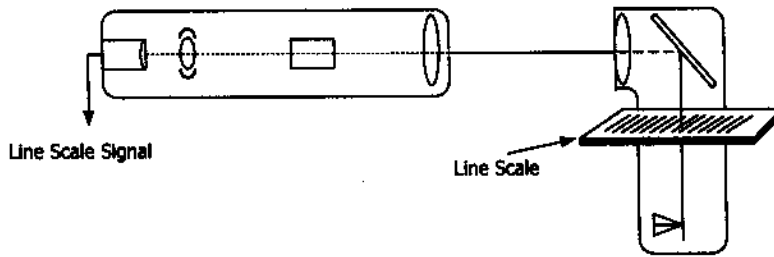
## บทที่ 2

### หลักการสอบเทียบระยะสเกล

หลักการเครื่องสอบเทียบระยะสเกลใช้หลักการเปรียบเทียบระยะสเกลที่ต้องการสอบเทียบกับสเกลมาตรฐาน การสอบเทียบระยะสเกลโดยทั่วไปมี 2 แบบด้วยกัน ดังนี้

- **การวัดแบบสัมบูรณ์ (absolute measurement)** เป็นวิธีการวัดระยะขีดสเกลด้วยการใช้หลักการแทรกสอดทางแสงของแสงเลเซอร์ ประกอบด้วยตัวตรวจจับทางแสงชุดโฟโตดีเทคเตอร์ที่เป็นตัวบอกตำแหน่งขีดสเกล
- **การวัดแบบเปรียบเทียบ (comparison measurement)** เป็นวิธีการวัดระยะขีดสเกลด้วยการเปรียบเทียบขีดสเกลของสเกลมาตรฐานกับขีดสเกลของสเกลที่ต้องการจะวัด

#### 2.1 การวัดแบบสัมบูรณ์ (absolute measurement)



รูปที่ 2.1 การวัดขีดสเกลแบบสัมบูรณ์ด้วยชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

การวัดขีดสเกลแบบสัมบูรณ์นี้เป็นวิธีการวัดด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ถ้าแสงสี  
 เขียว-นီออน เลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตรใช้การนับแถบมืดสว่างหรือฟรินจ์(fringe) ที่  
 เกิดจากการแทรกสอดทางแสงและตรวจจับขีดสเกลด้วยชุดโฟโต้ดีเทคเตอร์ มีความแม่นยำถึง  $\pm 0.2$   
 ไมโครเมตร

### 2.1.1 การสอบเทียบระยะสเกลด้วยชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

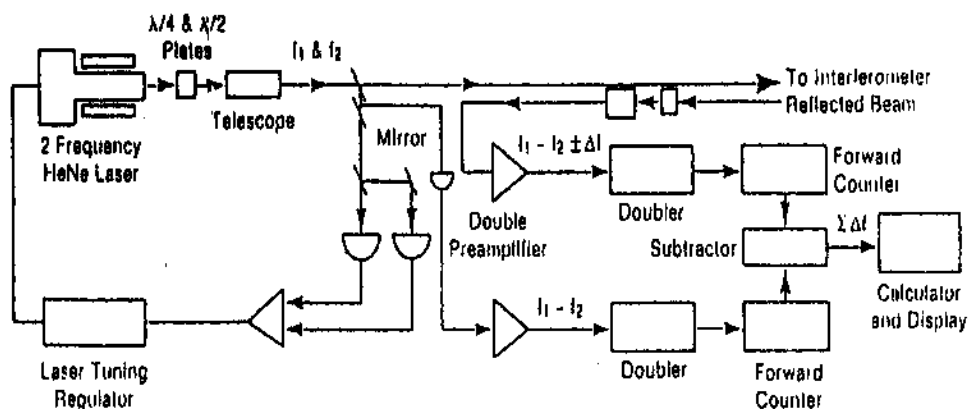
หลักการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบสเกลอัตโนมัตินี้ใช้วิธีการเปรียบเทียบมาตรฐานกับ  
 ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (laser interferometer) ซึ่งมีความแม่นยำ  $0.5 \times 10^{-8}$  ซึ่งเครื่องมือสอบ  
 เทียบระยะสเกลอัตโนมัตินี้ใช้ลิเนียร์สเกล(linear scale) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการบอกค่าความ  
 ถูกต้องให้กับสเกลต่างๆ ดังนั้นการสอบเทียบชุดลิเนียร์สเกลซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อ่านได้ละเอียดถึง  
 0.001 มม. และมีความแม่นยำจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูงอย่างเลเซอร์  
 อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ดังแผนผังการทำงานในรูปที่ 2.2 การสอบเทียบแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1.1.1 เตรียมอุปกรณ์ชุดวัดระยะของเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Excel 1100A)

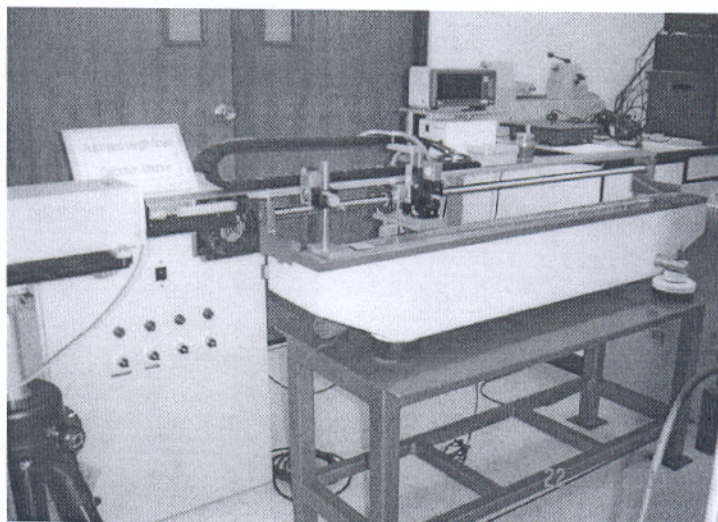
2.1.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์รีโทรรีเฟลคเตอร์(Retroreflector) บนแท่นเครื่องมือสอบเทียบสเกล  
 อัตโนมัติ

2.1.1.3 ปรับตั้งรีโทรรีเฟลคเตอร์(Retroreflector) ของเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ที่  
 ติดตั้งอยู่บนเครื่องมือสอบเทียบสเกลอัตโนมัติให้อยู่ในแนวเดียวกัน

2.1.1.4 เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือสอบเทียบสเกลอัตโนมัติตำแหน่งต่างๆ กับค่าที่  
 อ่านได้จากเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์



รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของเครื่องเลเซอร์อินเฟอโรมิเตอร์



รูปที่ 2.3 การติดตั้งเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์กับเครื่องมือ  
สอบเทียบระยะสเกล

เป็นชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นี้ใช้หลักการทำงานแบบซีแมน สปลิต เลเซอร์ (Zeeman Split Laser) โดยอะตอมของฮีเลียม-นีออนจะถูกกระทำภายใต้แรงจากสนามแม่เหล็กตามแนวยาวภายในอะตอมนีออนจะเกิดการสปลิตไปในระดับพลังงานต่าง ๆ ระดับ ( $\Delta m = \pm 1$ ) ทำให้แสงเลเซอร์สปลิตออกมาโดยมีความถี่ 2 ความถี่ เป็น  $f_1$  และ  $f_2$  ความถี่ประมาณ 1.8 เมกะเฮิร์ตซ์ และมี การโพลาไรเซชัน (Polarization) ทั้งทางซ้ายและขวาเป็นวงกลมและลำแสงทั้งสองจะถูกแยกโดยตัว แยกลำแสงหรือบีมสปลิตเตอร์ (Beam splitter) ที่มีความไวต่อแสงที่มีการโพลาไรเซชัน (Polarization) และจะยอมให้แสงความถี่เดียวเท่านั้นผ่านไปยังชุดกระจกสะท้อนกลับ (Corner Reflector mirror) ที่สามารถเคลื่อนที่ไป ณ ที่ตำแหน่งใดๆ ได้ที่เปลี่ยนไป ( $\Delta s$ ) ด้วยความเร็ว ( $v$ ) และ เป็นสาเหตุของการเกิดความถี่ที่เปลี่ยนแปลงดังสมการข้างล่างนี้

$$\Delta F_1 = \pm F_1 - \frac{v}{c}$$

เมื่อ  $\Delta F_1$  : เป็นความถี่ในขณะลำแสงเดินทางสะท้อนกลับ

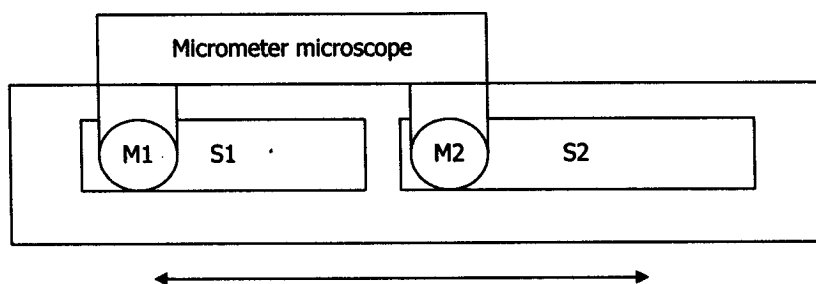
ดังนั้นสามารถอ่านค่าของความถี่ต่างด้วยตัวตรวจจับทางแสง (Photodetector) ใ้ร่วมกับ เครื่องนับความถี่ จากรูปที่ 2.2 ประกอบ ผลต่างของความถี่จะเป็น  $F_1 + \Delta F_1 - \frac{v}{c}$  เมื่อลำแสงทั้งสอง กลับมารวมกันอีกครั้งซึ่งเป็นผลทำให้สร้างความถี่ต่างระหว่างความถี่ที่เห็นที่ได้จากตัวตรวจจับทาง

แสงจริงเปรียบเทียบกับชุดตรวจจับทางแสงอ้างอิง(Reference Photodetector) ซึ่งคู่ได้จากตัว  
 ซับแทร็คเตอร์(Subtractor) และถูกสะสมในหน่วยความจำแถบมืดสว่างหรือฟริงก์(Fringe-counter  
 register) จากจำนวนฟริงก์ที่นับได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะขจัด  $\Delta s$  เมื่อมีการเคลื่อนกระจก  
 สะท้อนและสามารถที่จะเปลี่ยนกลับค่าความยาวคลื่น ไปเป็นระยะทางในรูปของหน่วยเมตรก็ได้

## 2.2 การวัดแบบเปรียบเทียบ(comparison measurement)

การวัดขีดสเกลด้วยวิธีแบบเปรียบเทียบ โดยใช้หลักการวัดความสัมพันธ์ทั้งสองระหว่าง  
 ขีดสเกลมาตรฐานกับขีดสเกลที่ต้องการจะวัด ด้วยการยึดจับกล้องไมโครสโคปบนแท่นและ  
 เปรียบเทียบกันจุดต่อจุดเพื่อหาค่าผลต่างของความผิดพลาด การวัดวิธีนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบดังนี้

### 2.2.1 การเปรียบเทียบตามแนวยาว(longitudinal comparator)

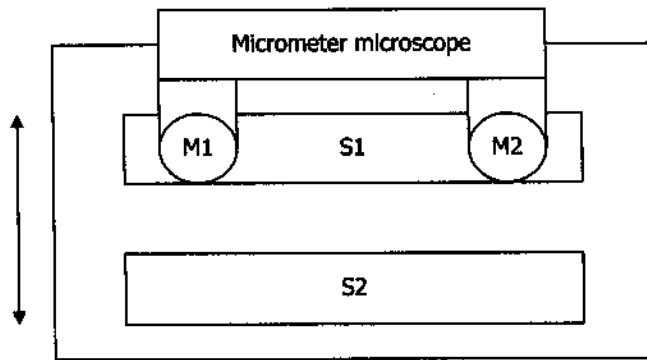


รูปที่ 2.4 การวัดสเกลแบบเปรียบเทียบตามแนวยาว

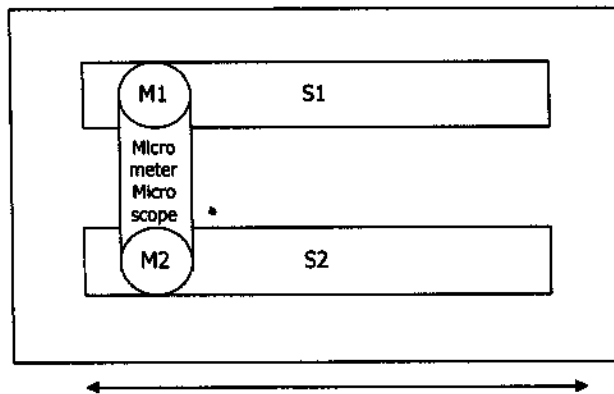
หลักการวัดนี้เป็นดังรูปที่ 2.4 การติดตั้งสเกลมาตรฐาน(S1) ตามแนวยาวอยู่ในแนว  
 เดียวกันกับ สเกลที่ต้องการจะวัด(S2) แล้วปรับตั้ง micrometer microscope โดยให้ทั้ง M1 และ M2  
 อยู่ที่จุดเริ่มต้นเดียวกัน เมื่อเคลื่อนแท่นที่วางขีดสเกล

### 2.2.2 การวัดเปรียบเทียบตามแนวขวาง(transverse comparator)

หลักการวัดนี้เป็นดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามแนวขวางเป็นการวัดเปรียบเทียบระหว่าง  
 สเกลมาตรฐาน(S1) กับ สเกลที่ต้องการจะวัด(S2) วางขนานกันและเปรียบเทียบสเกลด้วย micrometer  
 microscope ในรูปที่ 2.5 เป็นการเปรียบเทียบจุดสองจุด โดยวัดสลับกันระหว่างสเกลมาตรฐาน  
 (S1)กับ สเกลที่ต้องการจะวัด(S2) ที่จุดเดียวกัน ส่วนรูปที่ 2.6 เป็นการเปรียบเทียบแบบจุดต่อจุดไป  
 พร้อมๆกัน เช่นเดียวกับในรูปที่ 2.4 เพียงแตกต่างที่แนวตามยาวกับแนวตามขวางเท่านั้นเอง



**รูปที่ 2.5** การเปรียบเทียบสเกลตามแนวขวางโดยวาง micrometer microscope และสเกลขนานกัน  
การวัดสเกลแบบตามขวางเป็นการเปรียบเทียบสเกลด้วย micrometer microscope  
โดยตรงจุดต่อจุดที่สเกลทั้งสองวางขนานกันในขณะเดียวกัน



**รูปที่ 2.6** การเปรียบเทียบสเกลตามแนวขวางโดยวาง micrometer microscope ตั้งฉากกับสเกล

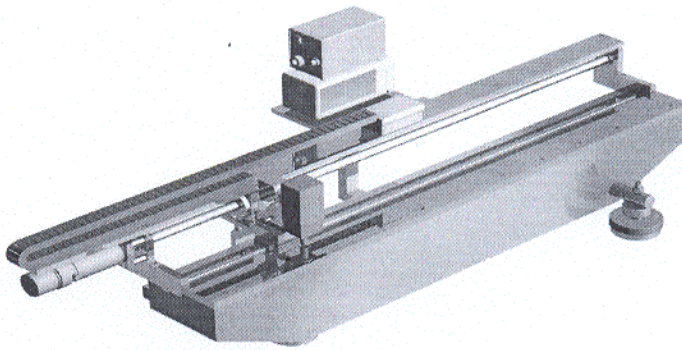
## บทที่ 3

### การออกแบบ และสร้างเครื่อง

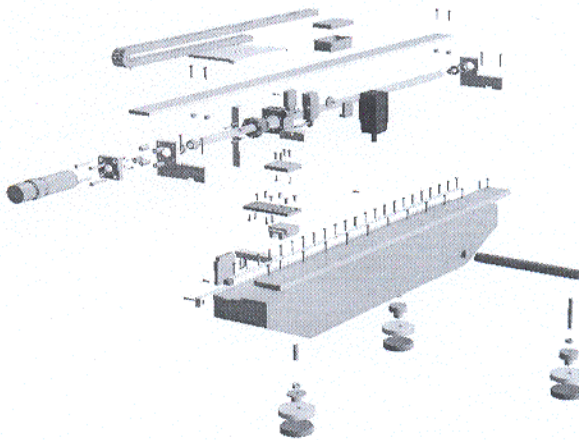
การออกแบบเครื่องมือเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งเพื่อเป็นการประหยัดเวลา ต้นทุนการสร้าง และยังให้ความแม่นยำเที่ยงตรงอีกด้วย ลำดับขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติมี 4 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ออกแบบและเขียนแบบแทนเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 3.2 หล่อแทนเครื่อง
- 3.3 การขัดแต่งผิวและเจาะแทนเครื่อง
- 3.4 ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์

#### 3.1 ออกแบบและเขียนแบบแทนเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติออกแบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 แบบชิ้นส่วนประกอบเครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ

ออกแบบโดยการเขียนแบบเครื่องจักรระยะสเกลอัตโนมัติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรมชื่อ *UNIX GRAPHIC UG* ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้นอกจากจะใช้เขียนโครงสร้างและออกแบบเครื่องมือต่างๆแล้วยังสามารถจำลองการทำงานได้เหมือนจริงสามารถพิจารณาโครงสร้างภายในภายนอก เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบจำลองลักษณะการทำงาน ทำให้พบข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขอย่างสะดวกรวดเร็ว ไม่ต้องเสี่ยงต่อความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นสามารถกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์

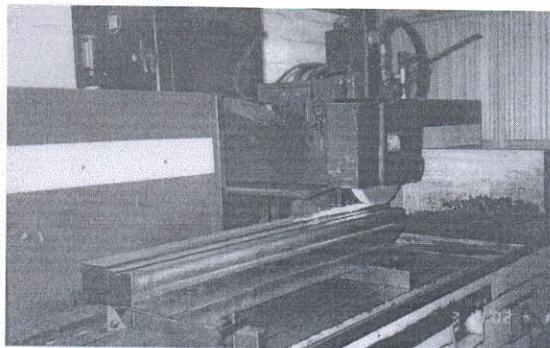
เริ่มต้นที่การออกแบบการรับแรง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อมีการรับน้ำหนักแทนเครื่องซึ่งเป็นส่วนสำคัญก่อน ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นจะออกแบบตำแหน่งวางอุปกรณ์และส่วนประกอบย่อยโดยเน้นความสะดวกในการใช้งานเป็นหลักดังรูปที่ 3.2

### 3.2 การหล่อแทนเครื่อง

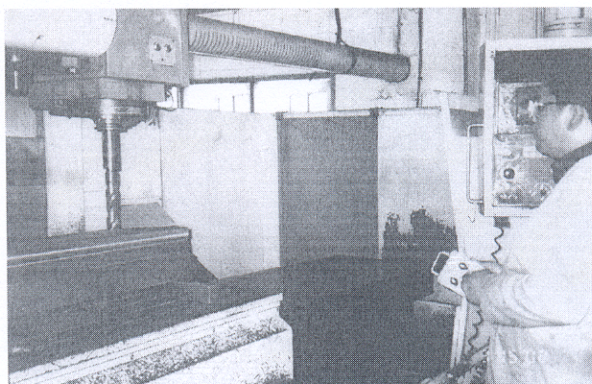
เมื่อออกแบบเสร็จแล้ว พร้อมทั้งจะหล่อแทนเครื่องการเตรียมการหล่อเหล็กก็เริ่มด้วยการตัดโฟมตามแบบแล้วส่งโรงงานเพื่อหล่อเหล็ก ในการหล่อแทนเครื่องเลือกเหล็กชนิด FC – 25 ตามแบบโฟมที่ทำไว้แล้วทำการบ่มเนื้อเหล็กหล่อ (aging) เพื่อให้เกิดเนื้อเหล็กมีความแข็งแรงทนทาน มีเสถียรภาพสูงและไม่ให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงตามสภาวะอุณหภูมิ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าในช่วงเวลาระยะยาว (long term stability) และระยะสั้น (short term stability) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือผลกระทบเนื่องมาจากความเครียดของแทนเครื่องให้น้อยที่สุด

### 3.3 การขัดแต่งผิวและเจาะแทนเครื่อง

จากนั้นทำการแมชชีนแทนเครื่องมือดังรูปที่ 3.3 เจียรไนผิวและเจาะแทนเครื่องมือที่ใช้ในการวางชิ้นส่วนของอุปกรณ์มาตรฐาน ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญที่สุดของเครื่องมือ เช่น ลิเนียร์สเกล ลิเนียร์ไกด์ (linear motion guide )



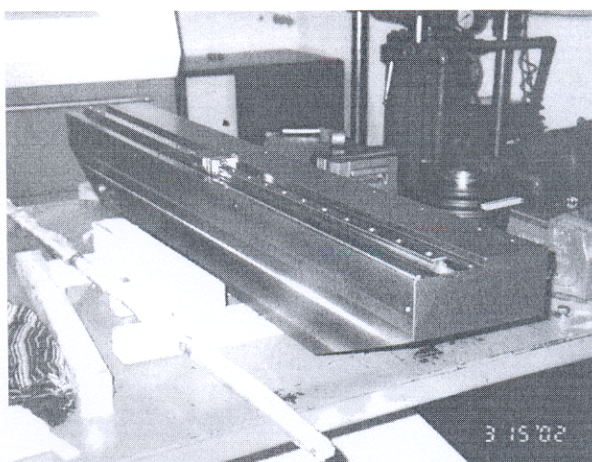
รูปที่ 3.3 การขัดแต่งผิวแทนเครื่องมือจักรระยะสเกลอัตโนมัติ



รูปที่ 3.4 การเจาะแท่นเครื่องมือวักระยะสเกลอัตโนมัติ

### 3.4 การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์

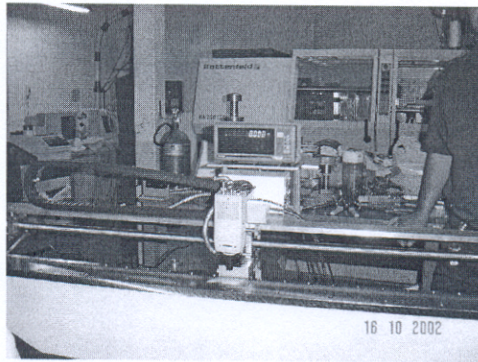
เมื่อจัดแต่งผิวหรือแมชชีนแท่นเครื่องเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไป เป็นการตรวจสอบความผิดพลาดเพื่อให้พร้อมที่จะกำหนดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ได้แก่ ลิเนียร์ไกด์ ชุดควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์ เป็นต้น เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องมือ ดังรูปที่ 3.5



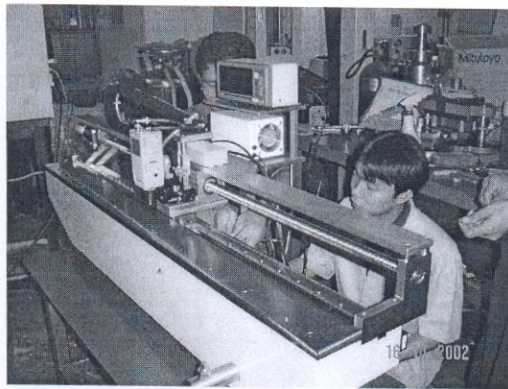
รูปที่ 3.5 ติดตั้งส่วนประกอบเข้ากับแท่นเครื่องมือวักระยะสเกล

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์สำคัญจำพวกลิเนียร์ไกด์แล้ว นำไปพ่นสีแท่นเครื่องเพื่อให้ดูสวยงาม จากนั้นติดตั้งกล่องซีซีดี มอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ และชุดส่องสว่าง ดังรูปที่ 3.6 , 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ

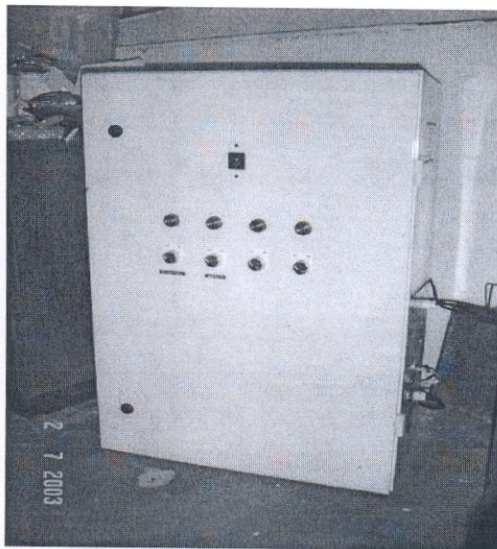




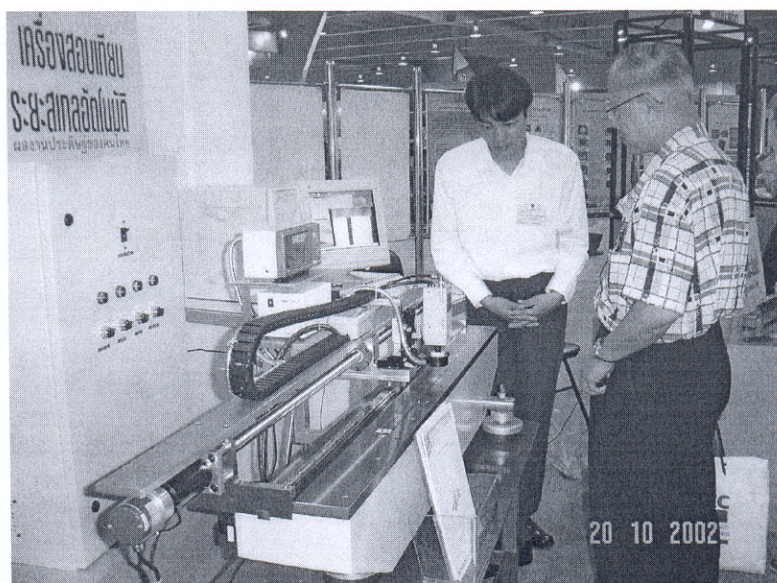
รูปที่ 3.6 การติดตั้งกล่องซีซีดีและมอเตอร์เครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 การปรับตั้งส่วนประกอบเครื่องวัดระยะสเกลอัตโนมัติ



รูปที่ 3.8 การติดตั้งส่วนควบคุมมอเตอร์



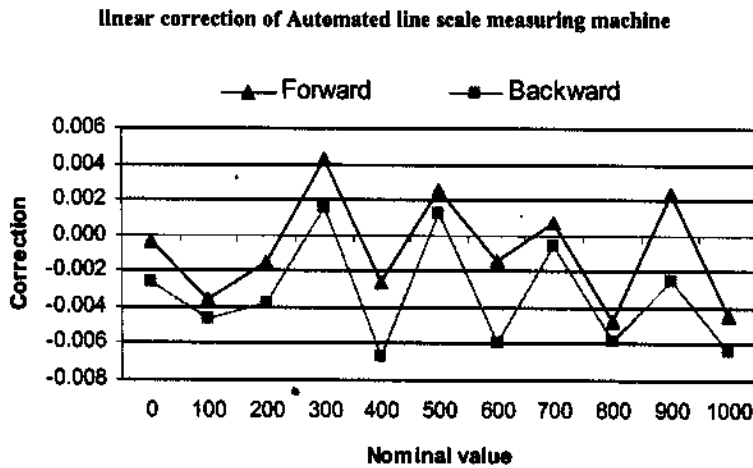
รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งเครื่องส่วนที่ประกอบเสร็จแล้วพร้อมใช้งาน

## บทที่ 4

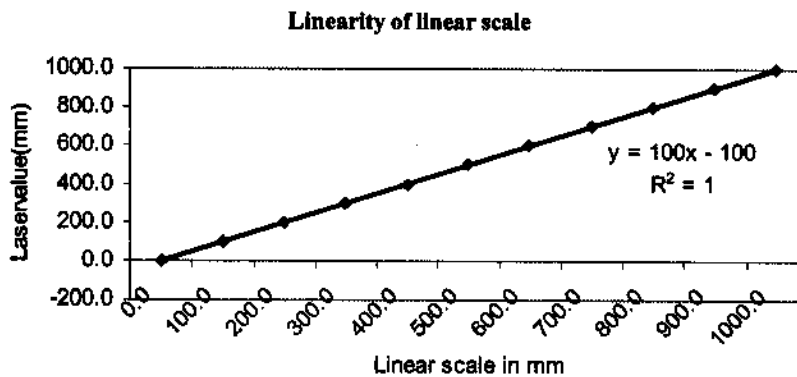
### ผลการสอบเทียบ

#### 4.1 ผลการสอบเทียบระยะสเกล

การสอบเทียบความถูกต้องระยะสเกลด้วยเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นี้ เป็นการวัดเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างชุดลิเนียร์สเกลกับชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ โดยจะวัดตลอดช่วงการใช้งาน 1000 มม. ค่าแก้ไขจากการวัดระยะสเกลทั้งไป(forward)และกลับ(backward) จากกราฟรูปที่ 4.1 ขาไปและขากลับค่าแก้ไขของการสอบเทียบในช่วงนี้ไม่มากกว่า  $\pm 5.0$  ไมโครเมตร ค่าความไม่แน่นอน  $\pm 4.2$  ไมโครเมตรหรือ  $\pm 0.0042$  มิลลิเมตรตั้งข้อมูลในภาคผนวก ก และความ เป็นเชิงเส้น(linear) ดังกราฟรูปที่ 4.2



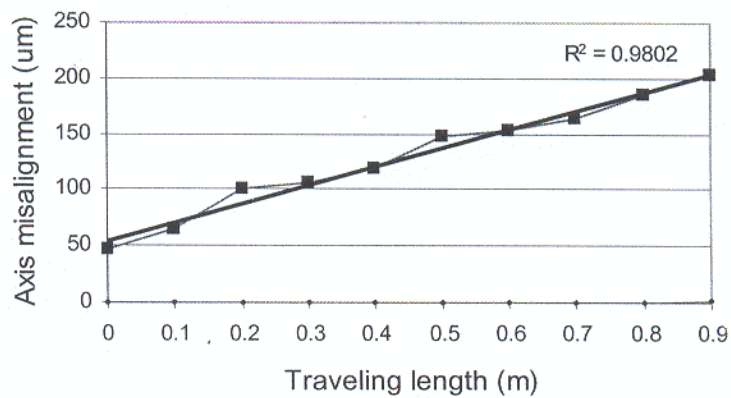
รูปที่ 4.1 ค่าแก้ไขการสอบเทียบลิเนียร์สเกลทั้งไปและกลับ



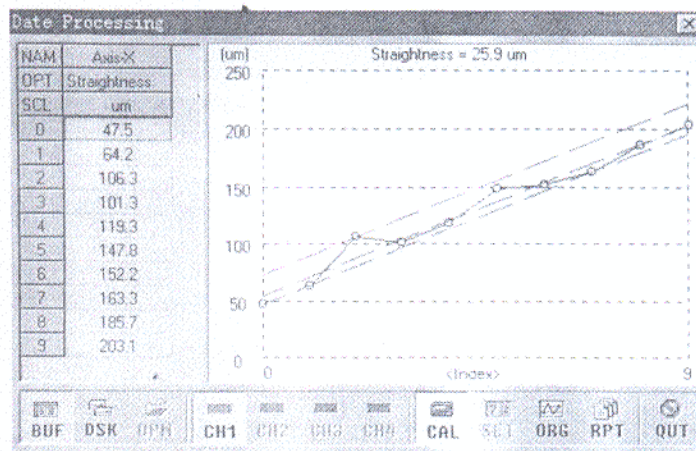
รูปที่ 4.2 ความเป็นเชิงเส้นของลิเนียร์สเกลทั้งไปและกลับ

#### 4.2 การวัดความตรง

ในหัวข้อนี้วัดอุปกรณ์ประสงค์เพื่อตรวจสอบความตรงของแนวการเคลื่อนที่ของชุดกลิ้งขยาย การวัดความตรงด้วยเครื่องเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นี้ ที่ทดสอบความผิดพลาดเนื่องความโค้งงอของ โครงสร้างขณะติดตั้งอุปกรณ์ แนวการเคลื่อนที่ของกลิ้งขยาย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความผิดพลาดรวม และจะถูกนำมาคำนวณผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ least squares fit method จากระยะการวัดที่ 0.9 เมตร(10จุด) รูปที่ 4.7ก และจากการประมวลผลค่าความตรงเท่ากับ 25.9 ไมโครเมตรต่อเมตรรูปที่ 4.7ข



รูปที่ 4.3 กราฟแสดง least squares fit method แนวการเคลื่อนที่ที่กลิ้ง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความตรงแนวการเคลื่อนที่ของกลิ้ง

## บทที่ 5

### สรุป

ผลของการสอบเทียบระยะสเกลอัตโนมัติ ในการสอบเทียบความถูกต้องระยะสเกลช่วง  $\pm 0.005$  มิลลิเมตร ความตรงการเคลื่อนที่ของกล้องเท่ากับ 25.9 ไมโครเมตรซึ่งเป็นผลการวัดหลังการแก้ไขปรับตั้งแล้ว ส่วนความฉากของกล้องกับแท่นเครื่อง และความขนานระหว่างกล้องกับแท่นเครื่องไม่ได้แสดงผลการทดสอบไว้เนื่องจากว่าหลังปรับตั้งแก้ไขการติดตั้งกล้องกับแท่นเครื่องแล้วไม่จำเป็นต้องแสดงค่าอีกเนื่องจากค่าน้อยมากเข้าใกล้ศูนย์ เห็นได้ชัดเจนว่าเครื่องสอบเทียบระยะสเกลอัตโนมัตินี้ สามารถสอบเทียบระยะสเกลได้แก่ บรรทัดเหล็ก ขนาด 1000 มิลลิเมตร ความแม่นยำ  $\pm 0.2$  มิลลิเมตร และ เทปวัดระยะความแม่นยำ  $\pm 0.6$  มิลลิเมตรได้

ในขณะนี้การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ตามที่เราต้องการนั้นยังทำงานได้ไม่ดีนักเนื่องระยะเวลาในการพัฒนาโปรแกรมยังไม่เพียงพอ อีกทั้งขาดเครื่องมือและอุปกรณ์เทคโนโลยีทางด้านการวิเคราะห์ภาพ(image processing) เก็บภาพข้อมูล

เนื่องจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการให้เครื่องสอบเทียบระยะสเกลอัตโนมัตินี้เป็นเครื่องต้นแบบอย่างแท้จริง จึงมีเหตุผลบางประการเกี่ยวกับการจัดหาและทำอุปกรณ์บางชิ้นที่มีความเหมาะสมทั้งคุณภาพและราคา เมื่อราคาเปลี่ยนแปลงไปจากงบประมาณที่ตั้งไว้ทำให้โครงการวิจัยนี้ล่าช้าผู้วิจัยและผู้ร่วมได้พยายามที่จะทำโครงการวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะมุ่งมั่นพัฒนาเครื่องสอบเทียบระยะสเกลนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] **EXCEL Instruction manual “distance, straightness, squareness measurement” Excel precision corporation, Edition No.2, July, 2001.**
  - [2] **ISO/TAG 4, “Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement”, First Edition, January 1993.**
-

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยและผู้วิจัยร่วมขอขอบคุณสำนักงานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย ท่านอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ท่านรองอธิบดีฯ ผู้อำนวยการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม หัวหน้ากลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ และเจ้าหน้าที่ๆ เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง ที่ช่วยประสานงานตลอดจนได้ร่วมมือร่วมใจจนงานวิจัยแล้วเสร็จตลอดระยะเวลาโครงการ

ดร.พีรวัฒน์ สมนึก

นายวันชัย ชินชูศักดิ์

ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

### การหาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบระยะสเกล

#### (The uncertainty evaluation of Automated line scale measuring machine calibration)

การสอบเทียบความถูกต้องของระยะสเกลผลที่ได้จะบอกให้รู้ถึงค่าความผิดพลาดซึ่งอยู่ในรูปของค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) จากการประยุกต์ใช้หนังสือ Guide to the expression of uncertainty in measurement [2] หรือ TAG4

การพิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบระยะสเกล โดยนำเอาหลักการทางสถิติมาประยุกต์ เช่น ทฤษฎีความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความแปรปรวน ทฤษฎีการกระจายแบบต่างๆ เช่นแบบปกติ (normal distribution) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular distribution) สามเหลี่ยม (triangular distribution) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์ เช่น เชิงอนุพันธ์ย่อย ลำดับอนุกรม มาใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสอบเทียบทั้งหมด

#### 1) ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty)

ผลของการวัดจะอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ใช้กันอยู่จะเป็นดังต่อไปนี้

#### 2) ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (type A Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ ( $U_A$ ) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยการพิจารณาทางสถิติจากการวัดซ้ำจำนวน  $n$  ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของการวัดเป็นดังนี้

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

เมื่อ

$$S(x_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}$$

$S(x_k)$  : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ  $S(\bar{x}_i)$  : ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้น จะได้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอเป็น

$$U_A = U(x_i) = S(\bar{x}_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} S(x_k)$$

### 3) ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (type B Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี ( $U_B$ ) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยไม่ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยตรง แต่จะใช้การตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังจะกล่าวต่อไปนี้

เราจะได้ค่าความไม่แน่นอนแบบบีในกรณีต่างๆรวมทั้งหมดเป็น

$$U_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + \dots}$$

เมื่อ  $U_{B1}, U_{B2}$  : เป็นค่าความไม่แน่นอนชนิดบีที่ได้จากกรณีต่างๆ

#### 3.1) กำหนดให้ $U_{B1}$ จากใบรับรองผลการสอบเทียบของผู้ผลิต

$$U_{B1} = \pm \frac{U_{STD}}{k}$$

กรณีที่  $U_{STD}$  เป็นค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองของชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์จะถูกหารด้วยตัวประกอบ ( $k$ -factor ในตาราง student's t-distribution)  $k$  ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปของระดับความเชื่อมั่นที่ 68% หรือที่ประมาณ  $1\sigma$  ซึ่งในที่นี้จะให้เป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution)

#### 3.2) พิจารณา $U_{B2}$ จากความละเอียดในการอ่านหรือเรโซลูชัน (resolution)

ความละเอียดในการอ่านของเครื่องมือซึ่งให้เป็นการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ได้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular distribution) ซึ่งมีขีดจำกัดล่าง (lower limit) และขีดจำกัดบน (upper limit) ค่าประมาณของอินพุตที่ได้เป็น

$$U_{B2} = \pm \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{a_w}{2\sqrt{3}}$$

เมื่อ  $a_w$  = เป็นค่าเรโซลูชันหรือเท่ากับ  $2\sigma$  ทำเป็นเซมิเรนจ์ (semi-range)

### 4) ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined Standard Uncertainty: $U_C$ )

เป็นผลรวมของค่าความไม่แน่นอนการสอบเทียบทั้งหมด ทั้งจากชนิดเอและชนิดบี เรียกว่ากฎแห่งการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) และวิธีรากที่สองของผลบวกยกกำลังสอง (root-sum of square)

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

นำค่า  $U_C$  มาพิจารณาเพื่อหาค่าไม่แน่นอนขยาย(expanded uncertainties) เพื่อปรับค่าความไม่แน่นอนในการวัดเข้าสู่ระดับความเชื่อที่ 95% หรือประมาณ  $2\sigma$

$$v_{eff} = \frac{U_C^4}{\sum_{i=1}^N \frac{U_i^4}{v_i}} = \frac{U_C^4}{\frac{U_A^4}{n-1} + \frac{U_{GB}^4}{\infty} + \frac{U_{RES}^4}{\infty}}$$

เมื่อได้ค่า  $v_{eff}$  เป็นองศาอิสระหรือมีค่าเท่ากับ  $n-1$  แล้วนำไปเปิดตาราง student's t-distribution ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เพื่อหาค่า  $k$  ว่าค่าความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบ t-distribution หรือ normal distribution ต่อไป

$$U_r = kU_C$$

ตาราง ผก.1 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอน

Type	Source of uncertainties	(±)Value (mm)	Distribution	Divisor (k)	$c_i$	(±)U (mm)	$v_{eff}$
$U_A$	Repeatability	0.00155	Normal	1	1	0.001551	2
$U_{B1}$	Standard (laser measurement system 1100A )	0.00000005	Normal	$\sqrt{3}$	1	0.00000003	$\infty$
$U_{B2}$	Resolution of laser interferometer	0.00005	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.000029	$\infty$
$U_{B3}$	Resolution of ALSMM	0.0005	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.000289	$\infty$
$U_{B4}$	Temperature variation( $^{\circ}$ C)	0.5	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0002339	0.000135	$\infty$
	Combined uncertainty					0.0001583	
	Expanded uncertainty					0.00421	5.43
	Report uncertainty				$k = 2.66$	4.22	

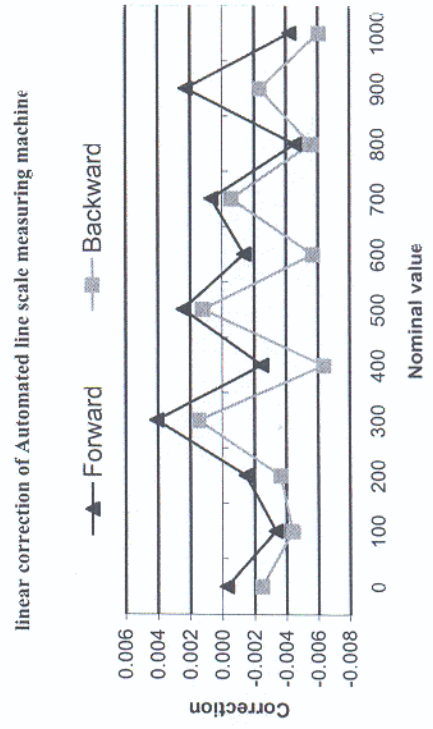
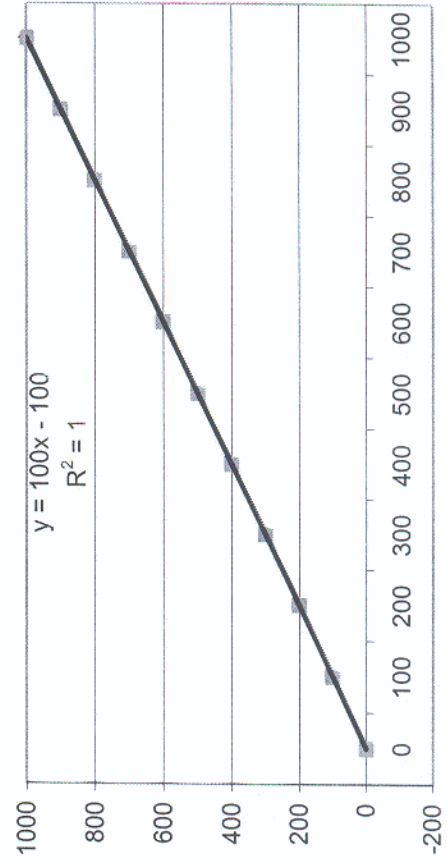
ตารางที่ ผก.2 ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบ

Date: 29 June 2003

Linear error movement Backward & Forward

0.0010 0.0015

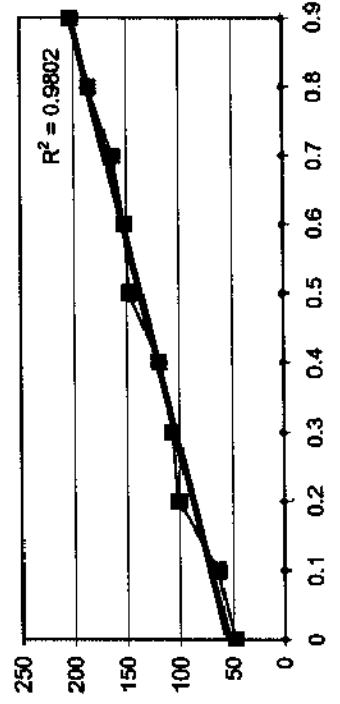
Nominal value	Reading						Mean		Stdev		Correction	
	FW1	FW2	FW3	BW1	BW2	BW3	Fw	BW	Fw	BW	Fw	BW
0	-0.0008	0.0002	-0.0003	-0.0041	-0.0017	-0.002	-0.0003	-0.0026	0.0005	0.0013	-0.0003	-0.0026
100	99.9974	99.9965	99.9955	99.9944	99.9952	99.9965	99.9965	99.9954	0.0010	0.0011	-0.0035	-0.0046
200	199.9987	199.9991	199.9975	199.9946	199.9964	199.9975	199.9984	199.9962	0.0008	0.0015	-0.0016	-0.0038
300	300.0047	300.0041	300.004	300.0014	300.0017	300.0015	300.0043	300.0015	0.0004	0.0002	0.0043	0.0015
400	399.9975	399.997	399.9976	399.9937	399.992	399.9942	399.9974	399.9933	0.0003	0.0012	-0.0026	-0.0067
500	500.0026	500.0026	500.0024	500.0011	500.0013	500.0014	500.0025	500.0013	0.0001	0.0002	0.0025	0.0013
600	599.9984	599.9986	599.9986	599.995	599.994	599.993	599.9985	599.9940	0.0001	0.0010	-0.0015	-0.0060
700	700.0005	700.0008	700.0008	699.9995	699.9991	699.9996	700.0007	699.9994	0.0002	0.0003	0.0007	-0.0006
800	799.9936	799.9960	799.9960	799.993	799.9972	799.9922	799.9952	799.9941	0.0014	0.0027	-0.0048	-0.0059
900	900.0027	900.0022	900.0022	899.9975	899.9973	899.9978	900.0024	899.9975	0.0003	0.0003	0.0024	-0.0025
1000	999.9958	999.9954	999.9954	999.994	999.9934	999.9934	999.9955	999.9936	0.0002	0.0003	-0.0045	-0.0064



ตารางที่ผก. 3 ข้อมูลการวัดความตรงการเคลื่อนที่ของกล้อง

June 29, 2003

m	um	Y=mX+B	Yslope	Ytrue	X	Y	X2	XY	X	Yslope	Ytrue
0	47.5		0.00	47.50	0	47.5	0	0	0	0	47.5
0.1	64.2		17.29	46.91	0.1	64.2	0.01	6.42	0.1	16.52788	47.67212
0.2	101.3		34.58	66.72	0.2	101.3	0.04	20.26	0.2	33.05576	68.24424
0.3	106.3		51.87	54.43	0.3	106.3	0.09	31.89	0.3	49.58364	56.71636
0.4	119.3		69.16	50.14	0.4	119.3	0.16	47.72	0.4	66.11152	53.18848
0.5	147.8		86.44	61.36	0.5	147.8	0.25	73.9	0.5	82.63939	65.16061
0.6	152.2		103.73	48.47	0.6	152.2	0.36	91.32	0.6	99.16727	53.03273
0.7	163.3		121.02	42.28	0.7	163.3	0.49	114.31	0.7	115.6952	47.60485
0.8	165.7		138.31	47.39	0.8	165.7	0.64	148.56	0.8	132.223	53.47697
0.9	203.1		155.60	47.50	0.9	203.1	0.81	182.79	0.9	148.7509	54.34909
DX	DY		24.44		4.5	1290.7	2.85	717.17		148.7509	20.74424
0.9	155.6				sumX	sumY	sumX2	sumXY			
m=	172.8889										
Slope m	-1363.55		-8.25	165.2788							
Intercept b	-451.23		-8.25	54.69455							



## ภาคผนวก ข

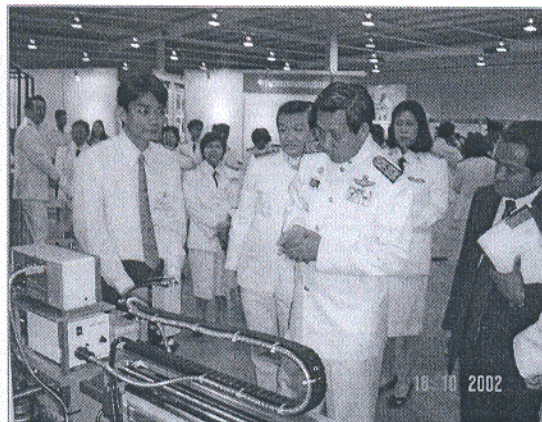
ประมวลภาพการจัดนิทรรศการวันเทคโนโลยีไทยที่เมืองทองธานี โดยมี พล.อ.ท. นายนายกรัฐมนตรี และรมต.กระทรวงวิทย์ฯ ได้มีการสอบถามและให้ความสนใจเป็นอย่างมาก



รูปที่ผข.1 พล.อ.ท. นายนายกรัฐมนตรีเยี่ยมชม โครงการวิจัย



รูปที่ผข.2 พล.อ.ท. นายนายกรัฐมนตรีเยี่ยมชม โครงการวิจัย



รูปที่ผข.3 อธิบดีท่าน รมต.กระทรวงวิทย์ฯ เยี่ยมชม โครงการวิจัย