

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

วศ
กฟ
อว 6

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

เรื่องที่ 2

เทคนิคการสอบย่อนกัฒมมาตรฐานด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

โดย

นายวันชัย ชินชูศักดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 5

และ

นางสาวเยาวลักษณ์ ล้อมรินทร์

นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ

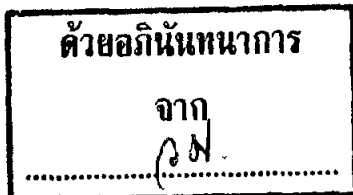
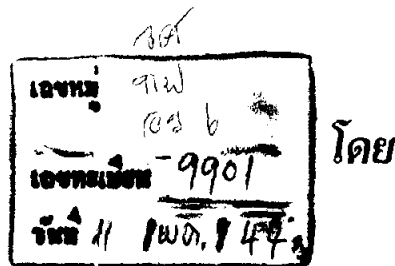
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

เรื่องที่ 2

เทคนิคการสอบย้อนกลับมุมมาตรฐานด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์



นายวันชัย ชินชูศักดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 5

และ

นางสาวเยาวลักษณ์ ด้อมรินทร์

นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	2
1.4 ระยะเวลาของการวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการสอบเทียบ	3
2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	4
2.2 การวัดมุมด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	5
บทที่ 3 วิธีการสอบเทียบ	7
3.1 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการสอบเทียบ	7
3.2 ลำดับขั้นตอนการสอบเทียบ	7
บทที่ 4 ผลการสอบเทียบและการวิเคราะห์ผล	9
4.1 ผลการสอบเทียบ	9
4.2 วิเคราะห์การวัดมุมเอียงหรือเอียงศูนย์กลาง	10
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการสอบเทียบและข้อเสนอแนะ	12
5.1 วิจารณ์ผลการสอบเทียบ	12
5.2 ข้อเสนอแนะ	12
บทที่ 6 สรุปผลการสอบเทียบ	13
กิตติกรรมประกาศ	14
บรรณานุกรม	15
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูล ตารางวิเคราะห์ผล และอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการสอบ	16
ภาคผนวก ข ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมุมมาตรฐาน	21

บทคัดย่อ

เทคนิคการสอบเทียบเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์โดยใช้ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ที่ใช้หลักการแทรกสอดทางแสงของลำแสงเลเซอร์ที่มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง ± 0.01 ฟิลิปดา วัดเปรียบเทียบกับเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ โดยติดตั้งอุปกรณ์ชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และแผ่นกระจกไว้บนเครื่องกำเนิดมุมขนาดเล็กที่มีการออกแบบพิเศษช่วงการวัดมุมขนาด -1000 ถึง $+1000$ ฟิลิปดาใช้เป็นอุปกรณ์สำคัญประกอบการสอบเทียบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเทคนิคนี้ยังใหม่สำหรับห้องปฏิบัติการด้านการวัดมิติ จากผลการสอบเทียบทั้งแกน X และ Y ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ± 5.00 ฟิลิปดา และค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ ± 0.06 ฟิลิปดา

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบขอได้คอลลิมเตอร์หมายเลข 167	9
ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบขอได้คอลลิมเตอร์หมายเลข 168	10
ตารางที่ 3 ตารางผลการสอบเทียบแกน X (167)	16
ตารางที่ 4 ตารางผลการสอบเทียบแกน Y (167)	17
ตารางที่ 5 ตารางผลการสอบเทียบแกน X (168)	18
ตารางที่ 6 ตารางผลการสอบเทียบแกน Y (168)	19
ตารางที่ 7 ตารางค่าความไม่แน่นอน	23

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 หลักการพื้นฐานของ ไมเคลิสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	3
รูปที่ 2 หลักการทำงานของเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ HP5528A	4
รูปที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดมม	5
รูปที่ 4 พื้นฐานหลักการใช้อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์วัดมุม	5
รูปที่ 5 ชุดแองกูลา อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ HP5528A	6
รูปที่ 6 แสดงการสอบเทียบออตโตคอลลิเมตรด้วยชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	6
รูปที่ 7 การติดตั้งชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เพื่อสอบเทียบออตโตคอลลิเมตร	7
รูปที่ 8 แสดงการวัดเชิงศูนย์กลางหรือเอียง	11
รูปที่ 9 ชุดแท่นวางอุปกรณ์หรือชุดกำเนิดมมขนาดเล็ก	20

บทที่ 1

บทนำ

มুমมีการสอบย้อนกลับมาตรฐานไปยังความยาวมาตรฐานเช่นเดียวกันกับการวัดด้านความยาวและมิติ อื่นๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิดด้วยกัน มุมเป็นส่วนหนึ่งของการวัดความยาวและมิติ เช่น โพรแทรกเตอร์ แองกูลาร์คอมบิเนชัน ระดับน้ำ เกจวัดมุม เครื่องวัดความลาดเอียง

งานวิจัยนี้ได้นำเอาการประยุกต์การวัดมุมของชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์มาใช้สอบเทียบเครื่องออดิโกลิมิเตอร์ ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นี้ใช้หลักการแทรกสอดทางแสงของลำแสงเลเซอร์ ตามทฤษฎีการแทรกสอดทางแสงของไมเคลสัน(Michelson Interferometer) ที่มีความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร(แสงสีแดง)เนื่องจากเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง ± 0.01 ฟิลิปดา จะวัดเปรียบเทียบมุมกับเครื่องออดิโกลิมิเตอร์ความแม่นยำเที่ยงตรง ± 0.20 ฟิลิปดา โดยติดตั้งอุปกรณ์ชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และแผ่นกระจกเงาไว้บนแท่นวางที่ออกแบบพิเศษหรือชุดอุปกรณ์กำหนดมุมขนาดเล็ก โดยทั่วไปเครื่องชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์สามารถประยุกต์ใช้กับวัดความยาวและมิติต่างๆ มากมาย เช่น วัดระยะขีดสเกล วัดความเร็ว วัดความตรง ความเรียบของพื้นผิวชิ้นงานวัดมุม และอื่นๆ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

ปัญหาการสอบย้อนมาตรฐานด้านมุมในประเทศไทยเรามีอยู่น้อยมากและไม่มีห้องปฏิบัติการด้านมาตรวิทยาใดในประเทศไทยให้ความสนใจอย่างจริงจัง ในขณะที่เดียวกันก็มีผู้มาขอรับบริการเพื่อขอสอบเทียบเครื่องมือวัดในปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกวัน การศึกษาพัฒนาการสอบย้อนกลับมุมมาตรฐานด้วยชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เป็นแนวทางหนึ่งที่ทางห้องปฏิบัติการความยาวและมิติคาดหวังว่าจะเป็นการทำให้แผนภูมิการสอบย้อนกลับมุมมาตรฐานของประเทศสมบูรณ์แบบตามมาตรฐานสากล ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องออดิโกลิมิเตอร์ ชนิดความเที่ยงตรงสูงจึงเป็นการพัฒนาวิธีการวัดค่าความถูกต้องอีกวิธีหนึ่งที่สามารถให้ค่าความถูกต้องสูงและใช้เป็นแนวทางแก้ไขปัญหาการสอบย้อนกลับของห้องปฏิบัติการด้านการวัดความยาวและมิติและพร้อมที่ให้บริการสอบเทียบ เป็นแผนรองรับการนำภาคอุตสาหกรรมของประเทศไปสู่มาตรฐานสากล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีการวัดปริมาณทางด้านความยาวและมิติ การสอบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ/อุปกรณ์วัดมุม
2. เพื่อศึกษาวิธีการถ่ายทอดความถูกต้องให้กับเครื่องมือ/อุปกรณ์วัดมุมในแต่ละระดับชั้นของความถูกต้องจากสูงลงมาระดับต่ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการถ่ายทอดความถูกต้องทางด้านการวัดมุม

1.4 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย

ใช้เวลาในการวิจัย 3 เดือน ตั้งแต่ กรกฎาคม 2540 จนถึง กันยายน 2540

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

รายการดำเนินการ	ช่วงระยะเวลาการดำเนินการวิจัย		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ปีงบประมาณ 2539			
รวบรวมเอกสารทางวิชาการ	←→		
ศึกษาหลักการจากเอกสารอ้างอิง	←→	←→	
ดำเนินการจัดเตรียมอุปกรณ์	←→	←→	
เก็บข้อมูลการศึกษาทดลอง		←→	
เขียนรายงานการศึกษาทดลอง		←→	←→
ตรวจสอบแก้ไขคำผิดและข้อบกพร่องรวมทั้งเพิ่มเติมเนื้อหาให้มีความสมบูรณ์			←→

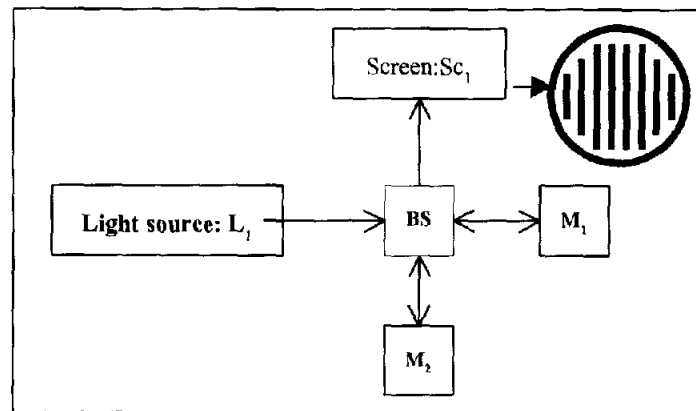
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อลดการนำเข้าและการสอบย้อนกลับเครื่องมือวัดทางด้านมุมของห้องปฏิบัติการในประเทศ จากต่างประเทศและไปยังต่างประเทศตามลำดับ
2. เพื่อเป็นการถ่ายทอดความถูกต้องและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องมือภายในห้องปฏิบัติการเอง
3. เพื่อเผยแพร่ความรู้และเทคนิคการสอบย้อนกลับนี้ให้กับห้องปฏิบัติการในประเทศเป็นกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศ
4. ประยุกต์และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือ/อุปกรณ์วัดมุมให้มีประโยชน์สูงสุด
5. เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การจัดทำเครื่องมือ/อุปกรณ์ทางการสอบเทียบและการวัดทางด้านความยาวและมิติให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นต่อไป

บทที่ 2

หลักการสอบเทียบ

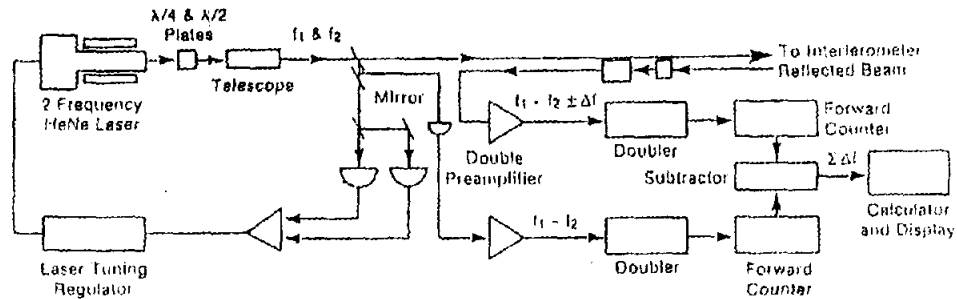
ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์(Laser Interferometer) ที่ใช้สอบเทียบเครื่องออกได้คอลลิมเมเตอร์(Auto collimator)ใช้หลักการแทรกสอดทางแสงของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ และเป็นไปตามทฤษฎีการแทรกสอดทางแสงของไมเคิลสัน(Michelson Interferometer) ดังรูปที่ 1 เป็นเลเซอร์ชนิดฮีเลียม-นีออน (He-Ne Laser) ที่มีความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร(แสงสีแดง) เนื่องจากเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง ± 0.01 ฟิลิปดา จะวัดเปรียบเทียบมุมกับเครื่องออกได้คอลลิมเมเตอร์ โดยติดตั้งอุปกรณ์ชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และแผ่นกระจกเงาไว้บนแท่นวางอุปกรณ์พิเศษหรือชุดกำเนิดมุมขนาดเล็ก โดยทั่วไปเครื่องชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์สามารถประยุกต์ใช้กับวัดความยาวและมิติต่างๆ มากมาย เช่น วัดระยะขีดสเกล วัดความเร็ว วัดความตรง ความเรียบของพื้นผิวชิ้นงานวัดมุม และอื่นๆ



รูปที่ 1 หลักการพื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

ชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ของไมเคิลสัน (Michelson Interferometer) จากรูปที่ 1 นี้ที่ใช้หลักการแทรกสอดทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light source: L_1) ผ่านชุดบีมสปลิตเตอร์ (Beam splitter : BS) จะทำการแยกลำแสงออกเป็นสองส่วนลำแสงส่วนแรกไปยังกระจกสะท้อนที่ยึดอยู่กับที่ (Fixed mirror: M_1) ลำแสงอีกส่วนหนึ่งไปยังกระจกสะท้อนที่เคลื่อนที่ได้ (Movable mirror: M_2) จากนั้นลำแสงทั้งหมดจะตกบนฉากรับภาพ(Screen : Sc_1) ปรากฏแนวการแทรกสอดเป็นแถบมืดสว่าง(Fringe) สลับกันไปดังรูปที่ 1 (มุมขวาบน) แถบมืดสว่างนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างระหว่างระยะจาก BS กับ M_1 และระยะจาก BS กับ M_2

จากหลักการของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ต่อไปจะกล่าวถึงชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (ของบริษัทอิวเล็คแพ็คการ์ด รุ่น HP5528A) ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีแผนผังการทำงานดังนี้



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ HP5528A

2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นี้ทำแบบหลักการของซีแมน สปลิต เลเซอร์ (Zeeman Split Laser) โดยฮีเลียม-นีออนเลเซอร์จะถูกกระทำภายใต้แรงจากสนามแม่เหล็กในตามแนวยาว อะตอมภายในนีออนจะเกิดการสปลิตไปในระดับพลังงานต่างๆ 2 ระดับ ($\Delta m = \pm 1$) ทำให้เลเซอร์สปลิตออกมาที่มีความถี่ 2 ความถี่ (f_1 และ f_2) ประมาณ 1.8 เมกะเฮิร์ต และมีโพลาไรเซชัน (Polarization) ทั้งทางซ้ายและขวาเป็นวงกลมและสามารถดูความแตกต่างของความถี่ด้วยตัวตรวจจับทางแสง (Photodetector) ใช้ร่วมกับเครื่องนับความถี่ ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย

ลำแสงทั้งสองจะถูกแยกโดยตัวแยกลำแสงหรือบีมสปลิตเตอร์ (Beam splitter) ที่มีความไวต่อแสงที่มีโพลาไรเซชัน และจะยอมให้แสงความถี่เดียวเท่านั้นผ่านไปยังชุดกระจกสะท้อนกลับ (Corner Reflector mirror) ที่สามารถเคลื่อนที่ไป ณ ที่ตำแหน่งใดๆ ได้ที่เปลี่ยนไป (Δs) ด้วยความเร็ว (v) และเป็นสาเหตุของการเกิดความถี่ที่เปลี่ยนแปลงดังสมการที่ (1)

$$\Delta f_1 = \pm f_1 - \frac{v}{c} \quad (1)$$

เมื่อ Δf_1 : เป็นความถี่ในขณะลำแสงเดินทางสะท้อนกลับ

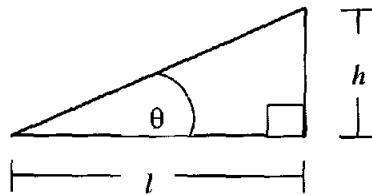
ดังนั้น ผลต่างของความถี่จะเป็น $f_1 + \Delta f_1 - \frac{v}{c}$ จะถูกตรวจจับโดยตัวตรวจจับทางแสง เมื่อลำแสงทั้งสองกลับมารวมกันอีกครั้งซึ่งเป็นผลทำให้สร้างความถี่ต่างระหว่างความถี่ที่เห็นที่ได้จากตัวตรวจจับทางแสงจริงเปรียบเทียบกับชุดตรวจจับทางแสงอ้างอิง (Reference Photodetector) ซึ่งคู่ได้จากตัวขั้วแยกตัว (Subtractor) และถูกสะสมในหน่วยความจำแถบมีดสว่างหรือฟริงก์ (Fringe-counter register) จากจำนวนฟริงก์ที่นับได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะขจัด Δs เมื่อมีการเคลื่อนที่กระจกสะท้อนและสามารถที่จะเปลี่ยนกลับค่าความยาวคลื่น ไปเป็นเมตรก็ได้

2.2 การวัดมุมด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

การวัดมุมด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์มีหลักการแตกต่างไปจากการวัดระยะอยู่ตรงที่จะประกอบด้วยชุดวัดระยะอยู่สองชุดด้วยกัน โดยใช้ชุดกระจกสะท้อนกลับ(Reflector) สองชุดเพื่อว่า F_1 และ F_2 ที่ขนานกันออกไปทำให้ระยะขจัดเชิงมุม(Angular displacement) ของชุดกระจกสะท้อนกลับทำให้เกิดความถี่ต่าง แบบดอปเปลอร์ชิฟต์(Doppler-Shift) เมื่อความถี่ของลำแสงย้อนกลับมาซึ่งจะเป็นผลต่อแกนระยะขจัด(Axial displacement) ดังนั้นจำนวนฟริงจ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะขจัดเชิงมุมเป็น $\sin \theta$

เมื่ออธิบายในรูปของสามเหลี่ยมมุมฉากมุมขนาดมุมขนาดรูปที่ 3 ประกอบที่เปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงด้านตรงข้ามมุม(θ) ต่อระยะฐาน(l) ของสามเหลี่ยมดังสมการที่ 2

$$\sin \theta = \frac{h}{l} \quad (2)$$



รูปที่ 3 หลักการทำงานเครื่องกำเนิดมุม

พิจารณา $\sin \theta$, Tangent of small angle generator

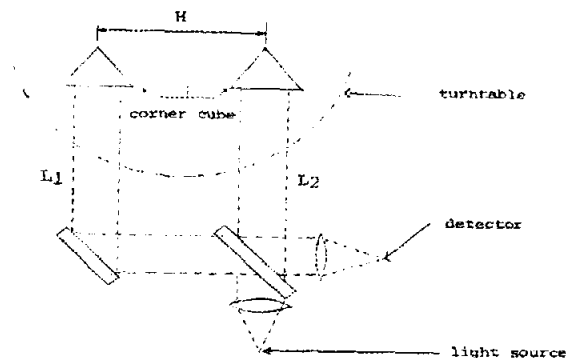
$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (3)$$

$$\sin \theta = \frac{\Delta h}{l} \quad (4)$$

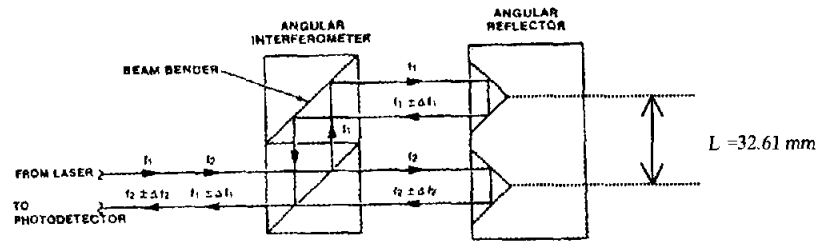
Δf ความถี่ต่างที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นระยะ Δh ทำให้เกิดมุม θ ขึ้น ดังรูปที่ 3

Interferometric Method

ใช้หลักการแทรกสอดทางแสงเพื่อวัดมุม สามารถวัดมุมขนาดเล็ก ๆ และมีช่วงการวัดกว้าง รูปที่ 4



รูปที่ 4 พื้นฐานหลักการใช้อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์วัดมุม



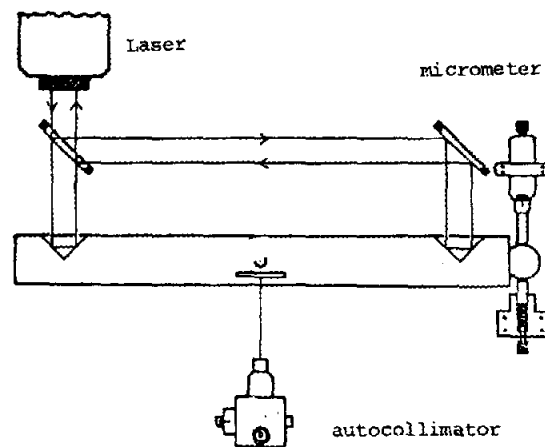
รูปที่ 5 ชุดแองกูลาอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ HP5528A

ตามหลักการของชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นำเอาหลักการมาใช้ในการวัดรูปโดยใช้หลักการวัดแบบอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ในการวัดระยะมาใช้วัดมุม โดยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์จะมีการกำเนิดแสงมี 2 ความถี่ (f_1, f_2) เพียงแต่ชุดวัดระยะจะมีชุด $f_1 \pm \Delta f_1$ กับ $f_2 \pm \Delta f_2$ เพื่อเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาหลักการพื้นฐานของชุดแองกูลาอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์(Angular Interferometer)

$$f_1 \pm \Delta f_1 = h_2 \quad (5)$$

$$f_2 \pm \Delta f_2 = h_1 \quad (6)$$

เมื่อเราจัดชุดสอบเทียบอโต้คอลลิเมเตอร์จากหลักการดังรูปที่ 6 โดยวางชุดแองกูลา รีเฟ็คเตอร์(Angular Reflector) อยู่ด้านตรงข้ามกับ ชุดอโต้คอลลิเมเตอร์ ให้อยู่ในแนวแกน X และ Y วางอยู่บนพื้นระดับ โดยมีค่าคงที่ L เท่ากับ 32.61 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 แสดงการสอบเทียบอโต้คอลลิเมเตอร์ด้วยชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

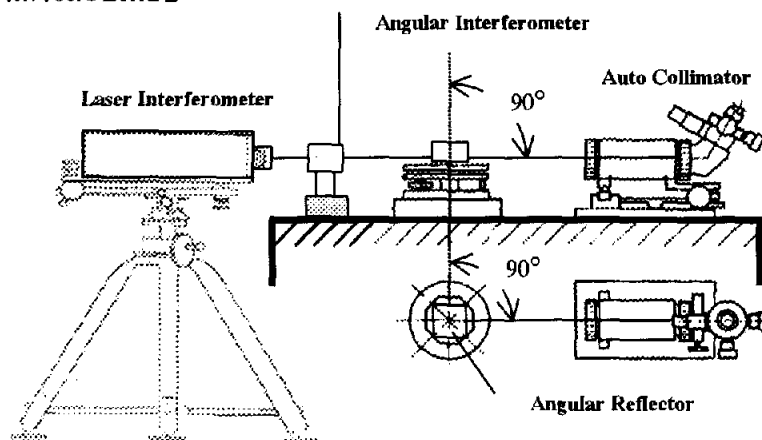
บทที่ 3

วิธีการสอบเทียบ

3.1 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการสอบเทียบ

- 1) ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ HP 5528A ประกอบด้วย
 - Laser Head
 - Angular Interferometer
 - Angular Reflector
 - Angular Base
 - Angular Height Adjuster
 - Angular Measuring Program
- 2) เครื่องชั่งอโต้คอลลิเมเตอร์ 2 เครื่อง(Elcomat 1, S/N: 167,168) พร้อมอุปกรณ์
 - Measurement Display
 - Viewfinder and Mirror
- 3) ชุดแท่นวางอุปกรณ์หรือชุดกำเนิดมุมขนาดเล็ก(Small Angle Generator) ดังรูปที่ 9 ในภาคผนวก ก
- 4) พื้นผิวเรียบมาตรฐาน(Granite plate) เกรด 1 หรือ ดีกว่า

3.2 ลำดับขั้นตอนการสอบเทียบ



รูปที่ 7 การติดตั้งชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เพื่อสอบเทียบอโต้คอลลิเมเตอร์

1. จัดเครื่องมือ โดยให้ความสำคัญต่อ ความฉาก ระดับ และการเชื่อมศูนย์กลาง ของเครื่องมือทั้งหมดที่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ โดยดูการติดตั้งเครื่องจากรายละเอียดปรับตั้งในคู่มือ ดังรูปที่ 5

2. เปิดเครื่องชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ เพื่อวอร์มอัพ (warm up) ไม่น้อยกว่า 1 ชม.
3. ปรับที่ชุดแสดงผลของเครื่องทั้งสองไปที่ศูนย์
4. ให้หมุนหัวไมโครมิเตอร์ของชุดกำเนิดมุมไปในทิศตามเข็มนาฬิกา(clockwise) หรือแนวแกน + (XY) โดยแกน Y ให้จัดวางเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ทำมุมแนวเดียวกับแกน X ให้กำหนดค่ามุมที่ต้องการจะวัดจากเครื่องอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เป็นหลัก แล้วบันทึกค่ามุมที่อ่านได้จากชุดแสดงผลของเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ลงในตารางบันทึกผล
5. ให้หมุนหัวไมโครมิเตอร์ของชุดกำเนิดมุมไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา(Anticlockwise) หรือแนวแกน - (XY) โดยแกน Y ให้จัดวางเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ทำมุมแนวเดียวกับแกน X ให้กำหนดค่ามุมที่ต้องการจะวัดจากเครื่องอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เป็นหลัก แล้วบันทึกค่ามุมที่อ่านได้จากชุดแสดงผลของเครื่องออดิโอคอลลิมิเตอร์ลงในตารางบันทึกผล
6. ทำการวัดซ้ำขั้นตอนที่ 1 จนถึง 5 (จากการสอบเทียบนี้ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง)

บทที่ 4

ผลการสอบเทียบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการสอบเทียบ

ผลการสอบเทียบเป็นไปตามตารางที่ 3, 4, 5 และ 6 ในภาคผนวก ก ส่วนผลการวิเคราะห์
ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบออคอลลิเมเตอร์หมายเลข 167

Angular Interferometer (Arc second)	Readings of Auto Collimator (Arc second)				Uncertainty (Arc second)
	X-Axis		Y-Axis		
	+	-	+	-	
100	97.60	102.80	99.35	99.60	±0.06
200	198.45	204.70	198.40	200.05	±0.06
300	298.30	304.75	298.20	299.55	±0.06
400	396.10	405.25	398.60	399.80	±0.06
500	495.65	505.00	499.45	499.85	±0.06
600	595.65	607.00	600.05	600.10	±0.06
700	694.75	706.75	701.25	700.60	±0.06
800	794.75	805.35	801.30	800.40	±0.06
900	899.05	907.80	901.80	900.70	±0.06
1000	999.25	1008.00	1001.75	1000.80	±0.06

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบออโต้คอลลิเมเตอร์หมายเลข 168

Angular Interferometer (Arc second)	Readings of Auto Collimator (Arc second)				Uncertainty (Arc second)
	X-Axis		Y-Axis		
	+	-	+	-	
100	101.45	101.90	108.50	104.90	±0.06
200	202.35	202.65	212.45	210.10	±0.06
300	303.10	302.90	315.25	314.70	±0.06
400	401.25	402.85	416.90	411.00	±0.06
500	502.70	503.15	516.75	514.50	±0.06
600	603.25	603.25	616.95	613.45	±0.06
700	702.55	703.60	716.50	714.35	±0.06
800	802.75	803.65	816.90	813.85	±0.06
900	902.80	903.40	916.40	912.65	±0.06
1000	1002.75	1003.45	1012.20	1014.65	±0.06

จากผลการสอบเทียบดังตารางที่ 1 และ 2 ประกอบด้วย ค่าความผิดพลาดตารางที่ 3, 4, 5 และ 6 และค่าความไม่แน่นอนดังตารางที่ 7 ของทั้งแกน X และ Y ซึ่งมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 5.00 ฟลิปดา และค่าความไม่แน่นอน ± 0.06 ฟลิปดา โดยลำดับ

4.2 วิเคราะห์การวัดมุมเอียงหรือเอียงศูนย์กลาง

(Eccentricity of angular measurement)

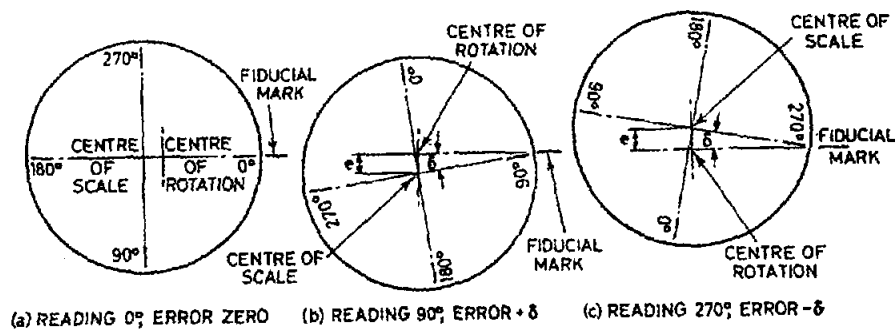
จากรูปที่ 4 ข้อมูลที่อ่านจากการวัดจะถูกต้องจากรูปที่ (b) ข้อมูลที่อ่านได้จากการวัดจะถูกต้องจนกระทั่งอ่านได้ 90 องศา ขึ้นไปซึ่งต้องรวมค่ามุมที่ผิดพลาดไปด้วยคือ $(90^\circ + \delta)$ เช่นเดียวกันกับรูปที่ (c) ที่มุม 270 องศา อ่านค่าต้องได้ $(270^\circ + \delta)$ แต่ในกรณีที่ตำแหน่ง 270 องศา ซึ่งช่วงที่ค่าผิดพลาดจากศูนย์ถึง $(+\delta, -\delta)$ และค่าความผิดพลาดในรูปชายนี้น่ามุมผิดพลาดสูงสุดอยู่ระหว่างค่าคือ

$$\delta = e/R \quad (7)$$

ฉะนั้นค่าผิดพลาดของมุมสูงสุดที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ เมื่อเราหมุนที่มุมระหว่าง 90 และ 270 องศา จะเป็น

$$2\delta = 2e/R \quad (8)$$

เมื่อ e : Eccentricity และ R เป็นรัศมีมีความโค้งที่ได้ในขณะอ่าน



รูปที่ 8 แสดงการวัดเชิงศูนย์กลางหรือเอียง

ค่าความผิดพลาดเนื่องจากการจัดวางอุปกรณ์ชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์กับชุดออกไดคอลลีเมเตอร์ทำมุมเอียงทั้งแนวแกน X และ Y ซึ่งวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของมุม δ ขณะเปลี่ยนการวัดในแกน $X \leftrightarrow Y$ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญจะทำให้ผิดพลาดมีค่ามากขึ้นขึ้นอยู่กับวิธีการวางอุปกรณ์ด้วย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการสอบเทียบและข้อเสนอแนะ

5.1 วิจารณ์ผลการสอบเทียบ

พิจารณาจากผลการสอบเทียบจากตารางวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 ค่าผิดพลาดน้อยกว่า ± 5.00 ฟิลิปดา และค่าความไม่แน่นอน ± 0.06 ฟิลิปดา เมื่อเปรียบเทียบกับความแม่นยำของเครื่องออโต้คอลลิเมเตอร์เดิม ± 0.2 ฟิลิปดา จะน้อยกว่าเห็นได้ชัดเจน และค่าความผิดพลาดของเครื่องคอลลิเมเตอร์ทั้งสองเครื่องหมายเลข 167 และ 168 ที่ภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกันได้ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง ± 5.00 ฟิลิปดาเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากเทคนิคการสอบย้อนกลับมุมมาตรฐานนี้ได้นำไปสู่การพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ชุดก้านนิคมขนาดเล็กลงซึ่งเป็นแท่นวางอุปกรณ์พิเศษดังในรูปที่ 9 ในภาคผนวก ก ที่มีความสำคัญอย่างมากคือใช้วางแองกูลาร์เฟดเดอร์ ของชุดอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และกระจกสะท้อนของเครื่องออโต้คอลลิเมเตอร์ เพื่อใช้ประกอบการสอบเทียบเครื่องออโต้คอลลิเมเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพดังผลที่ได้จากตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบที่ 1 และ 2 หากว่าไม่มีอุปกรณ์ดังกล่าวก็ไม่สามารถนำข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้เลย

นอกจากงานวิจัยนี้แล้วทางห้องปฏิบัติการความยาวและมิติ กรมวิทยาศาสตร์บริการจะยังมีการพัฒนาและนำเสนอเทคนิคใหม่ๆในการสอบย้อนกลับมุมมาตรฐานอื่นๆอีก เช่น การสอบเทียบระดับน้ำที่มีความแม่นยำสูงด้วยเครื่อง Small Angle Generator อีกด้วย

บทที่ 6

สรุปผลการสอบเทียบ

จากผลการสอบเทียบนี้ค่าผิดพลาดน้อยกว่า ± 5.00 ฟิลิปดา ค่าความไม่แน่นอน ± 0.06 ฟิลิปดา แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเอาหลักการและวิธีการไปพัฒนาการสอบย้อนกลับมมมาตรฐาน การสอบเทียบมมมาตรฐาน โดยเทคนิคการใช้ชุดเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นับว่ายังเป็นเรื่องใหม่สำหรับห้องปฏิบัติการวัดด้านมิติ ซึ่งผลที่ได้จากการสอบเทียบดังกล่าววิเคราะห์ที่ 1 และ 2 รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์พิเศษดังกล่าวไปแล้วนั้น สามารถเป็นแนวทางให้ห้องปฏิบัติการอื่นๆ ที่สนใจนำไปการถ่ายทอดความถูกต้องให้กับเครื่องมือวัดมมในระดับความแม่นยำสูงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณต่อคณะบุคคลที่ให้ความร่วมมือ ความช่วยเหลือและคำปรึกษา ซึ่ง
ทำให้งานสอบเทียบและเอกสารงานวิจัยนี้สำเร็จลง ได้ดังรายชื่อต่อไปนี้

1. นายวีระ ตูลาสมบัติ (อธิคหวัหน้างานมวลและเชิงกล โครงการมาตรวิทยา)
2. นายไพโรจน์ ราชกิจ (เจ้าหน้าที่ช่างกล 4)

บรรณานุกรม

1. Jong-Chul Park, Lenghts Korea standards research institute, **“Proceedings of workshop on national calibration system and precision measurement technology”**, Volume 2 : Taedok science town, Korea October, 16-29, 1984.
2. Instruction Manual Handbook, LASER MEASUREMENT SYSTEM HP5528A, **“Angular Measurement”** Hewlett Packad Co.,Ltd.
3. Instruction Manual Handbook **“ ELCOMAT 1” Auto Collimator.**
4. **ISO/TAG 4, “Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement”, First Edition, January 1993.**
5. M3003, UKAS, **“The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement”**, First Edition, December 1997.

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูล ตารางวิเคราะห์ผลและอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการสอบเทียบ

ตารางที่ 3 ตารางผลการสอบเทียบแกน X (167)

Date: 14 August 97

Location: Length and Dimensions Laboratory

Calibrating Instrument : Laser Measurement system , 5528A

Calibrated Instrument : Auto Collimator, Elcomat 1, S/N : 167

Ambients: Temperature 20 ± 1 °C and Relative Humidity $55 \pm 5\%$

Axis: X

Angular Interferometer (±)Arc second	Auto Collimator Arc second		Error Arc second	
	+	-	+	-
100	97.60	102.80	2.40	-2.80
200	198.45	204.70	1.55	-4.70
300	298.30	304.75	1.70	-4.75
400	396.10	405.25	3.90	-5.25
500	495.65	505.00	4.35	-5.00
600	595.65	607.00	4.35	-7.00
700	694.75	706.75	5.25	-6.75
800	794.75	805.35	5.25	-5.35
900	899.05	907.80	0.95	-7.80
1000	999.25	1008.00	0.75	-8.00

ตารางที่ 4 ตารางผลการสอบเทียบแกน Y (167)

Date: 17 August 97

Location: Length and Dimensions Laboratory

Calibrating Instrument : Laser Measurement system , 5528A

Calibrated Instrument : Auto Collimator, Elcomat 1, S/N : 167

Ambients: Temperature 20 ± 1 °C and Relative Humidity $55 \pm 5\%$

Axis: Y

Angular Interferometer (±)Arc second	Auto Collimator Arc second		Error Arc second	
	+	-	+	-
100	99.35	99.60	0.65	0.40
200	198.40	200.05	1.60	-0.05
300	298.20	299.55	1.80	0.45
400	398.60	399.80	1.40	0.20
500	499.45	499.85	0.55	0.15
600	600.05	600.10	-0.05	-0.10
700	701.25	700.60	-1.25	-0.60
800	801.30	800.40	-1.30	-0.40
900	901.80	900.70	-1.80	-0.70
1000	1001.75	1000.80	-1.75	-0.80

ตารางที่ 5 ตารางผลการสอบเทียบแกน X (168)

Date: 27 August 97

Location: Length and Dimensions Laboratory

Calibrating Instrument : Laser Measurement system , 5528A

Calibrated Instrument : Auto Collimator, Elcomat 1, S/N : 168

Ambients: Temperature 20 ± 1 °C and Relative Humidity $55 \pm 5\%$

Axis: X

Angular Interferometer (±)Arc second	Auto Collimator Arc second		Error Arc second	
	+	-	+	-
100	101.45	101.90	-1.45	-1.90
200	202.35	202.65	-2.35	-2.65
300	303.10	302.90	-3.10	-2.90
400	401.25	402.85	-1.25	-2.85
500	502.70	503.15	-2.70	-3.15
600	603.25	603.25	-3.25	-3.25
700	702.55	703.60	-2.55	-3.60
800	802.75	803.65	-2.75	-3.65
900	902.80	903.40	-2.80	-3.40
1000	1002.75	1003.45	-2.75	-3.45

ตารางที่ 6 ตารางผลการสอบเทียบแกน Y (168)

Date: 27 August 97

Location: Length and Dimensions Laboratory

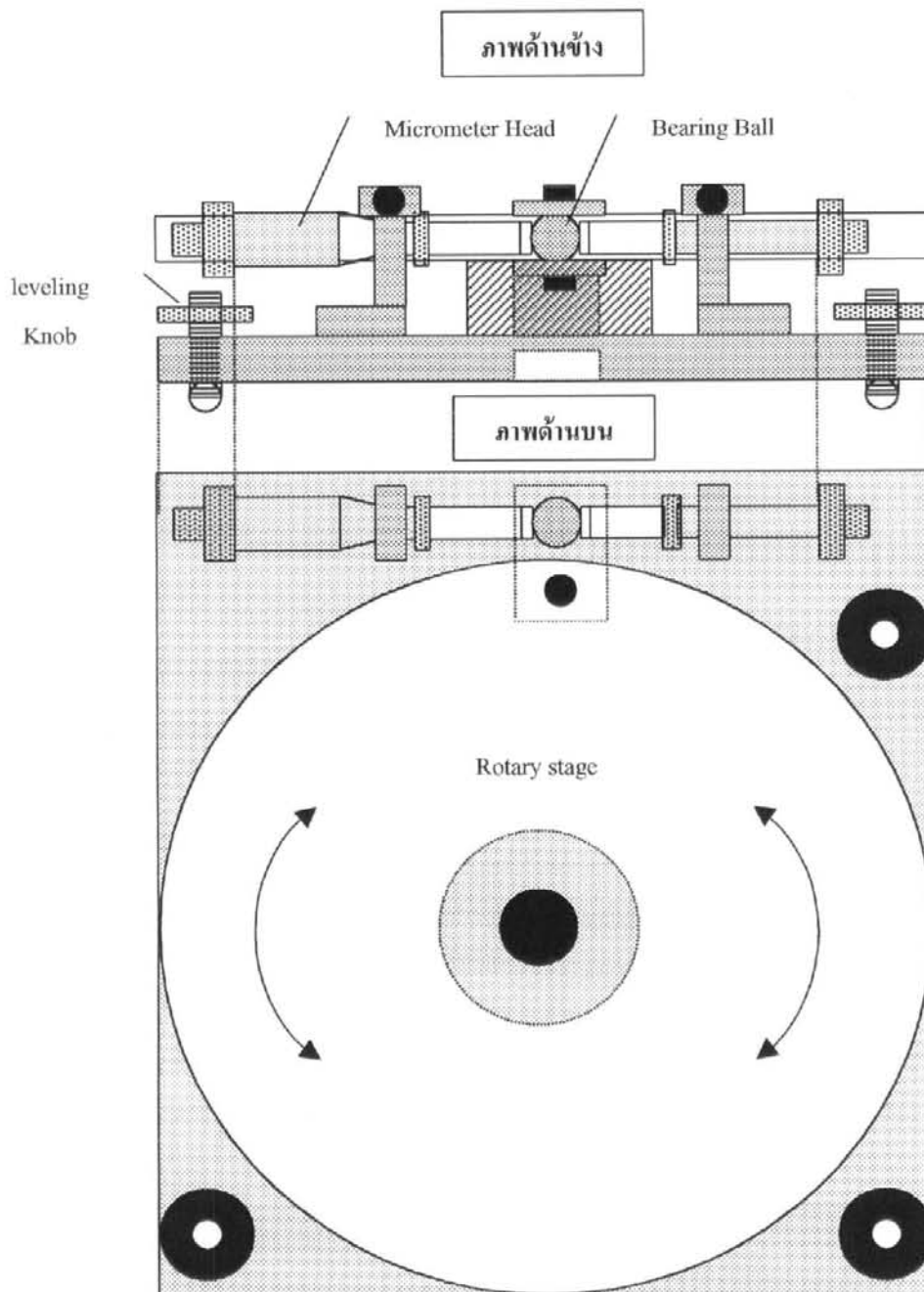
Calibrating Instrument : Laser Measurement system , 5528A

Calibrated Instrument : Auto Collimator, Elcomat 1, S/N : 168

Ambients: Temperature 20 ± 1 °C and Relative Humidity $55 \pm 5\%$

Axis: Y

Angular Interferometer (±)Arc second	Auto Collimator Arc second		Error Arc second	
	+	-	+	-
100	108.50	104.90	-8.50	-4.90
200	212.45	210.10	-12.45	-10.10
300	315.25	314.70	-15.25	-14.70
400	416.90	411.00	-16.90	-11.00
500	516.75	514.50	-16.75	-14.50
600	616.95	613.45	-16.95	-13.45
700	716.50	714.35	-16.50	-14.35
800	816.90	813.85	-16.90	-13.85
900	916.40	912.65	-16.40	-12.65
1000	1012.20	1014.65	-12.20	-14.65



รูปที่ 9 ชุดแท่นวางอุปกรณ์หรือชุดกำเนิดมุมขนาดเล็ก

ภาคผนวก ข

ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมุมมาตรฐาน

(The uncertainty determining of angle standard calibration)

การสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือทางด้านมุมมาตรฐาน (Angle standard) ผลที่ได้จะบอกให้รู้ถึงค่าความผิดพลาดซึ่งอยู่ในรูปของค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) จากการประยุกต์ใช้ หนังสือ The expression of uncertainty [3] หรือ TAG4

การพิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมุมมาตรฐานชนิดโพลีกอนโดยนำเอาหลักการทางสถิติมาประยุกต์ เช่น ทฤษฎีความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความแปรปรวน ทฤษฎีการกระจายแบบต่างๆ เช่นแบบปกติ (normal distribution) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular distribution) สามเหลี่ยม (triangular distribution) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์ เช่น เริงอนุพันธ์ย่อย ลำดับอนุกรม มาใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสอบเทียบทั้งหมด

1) ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty)

ผลของการวัดจะอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ใช้กันอยู่จะเป็นดังต่อไปนี้

2) ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (type A Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (U_A) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยการพิจารณาทางสถิติ จากการวัดซ้ำจำนวน n ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของการวัดเป็นดังนี้

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

เมื่อ

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

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

ดังนั้น จะได้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอเป็น

$$U_A = U(x_i) = S(\bar{x}_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} S(x_i) \quad (3)$$

3) ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (type B Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (U_B) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยไม่ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยตรง แต่จะใช้การตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังจะกล่าวต่อไปนี้

เราจะได้ค่าความไม่แน่นอนแบบบีในกรณีต่างๆรวมทั้งหมดเป็น

$$U_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + \dots} \quad (4)$$

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

3.1 กำหนดให้ U_{B1} จากใบรับรองผลการสอบเทียบของผู้ผลิต

$$U_{B1} = \pm \frac{U_{STD}}{k} \quad (5)$$

กรณีที่ U_{STD} เป็นค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองของเครื่องออดิโกลิมิเตอร์ จะถูกหารด้วยตัวประกอบ (k -factor ในตาราง student's t-distribution) k ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปของระดับความเชื่อมั่นที่ 68% หรือที่ประมาณ 1σ ซึ่งในที่นี้จะให้เป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution)

3.2 พิจารณา U_{B2} จากความละเอียดในการอ่านหรือเรสโซลูชัน (resolution) ของเครื่องมือ ซึ่งให้เป็นการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ได้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular distribution) ซึ่งมีขีดจำกัดล่าง (lower limit) และขีดจำกัดบน (upper limit) ค่าประมาณของอินพุทที่ได้เป็น

$$U_{B2} = \pm \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{a_w}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

เมื่อ a_w = เป็นค่าเรสโซลูชันหรือเท่ากับ 2δ ทำเป็นเซมิเรนจ์ (semi-range)

4) ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined Standard Uncertainty: U_C)

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

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (7)$$

นำค่า U_C มาพิจารณาเพื่อหาค่าไม่แน่นอนขยาย(expanded uncertainties) เพื่อปรับค่าความไม่แน่นอนในการวัดเข้าสู่ระดับความเชื่อที่ 95% หรือประมาณ 2σ

$$v_{eff} = \frac{U_C^4}{\sum_{i=1}^N \frac{U_i^4}{v_i}} = \frac{U_C^4}{\frac{U_A^4}{n-1} + \frac{U_{AI}^4}{\infty} + \frac{U_{RES}^4}{\infty}} \quad (8)$$

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

$$U_r = kU_C \quad (9)$$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบจะได้ว่า

$$X = \bar{X} \pm U_r \quad (10)$$

ตารางที่ 7 ตารางค่าความไม่แน่นอน

Type	Sources of uncertainty	Value (\pm) (Arc Sec.)	Distribution	Divisor (k)	$U(\pm)$ (Arc Sec)	c_i	v_{eff}
U_A	Repeatability	0	Normal	1	0	1	4
U_{B1}	Standard	0.01	Normal	1.96	0.005	1	∞
U_{B2}	Resolution	0.05	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.029	1	∞
.
U_C	Combined uncertainty		-	-	0.0293	-	-
U_r	Expanded uncertainty		Normal	1.96	0.057	-	∞