ชตว
CBWM

SOP-LEN-202

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ

เครื่องวัดความยาว ชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ด้วยแบบมาตรา Scale Calibrator

Comparing Flexible Steel Tape Measures With Tensioning Weight Or Sinker With The Scale Calibrator

จัดทำโดย (นายพิชิต สิรินทรโสภณ) หัวหน้าห้องปฏิบัติการ	**ผู้อนุมัติ** (นายจรินทร สุทธนารักษ์) ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
ผู้ทบทวน คณะบริหารวิชาการ TM (นายสาธิต ชูสุวรรณ) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด (นายชาตรี อารีวงศ์) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องชั่ง (นางภัทราภรณ์ สุรสิทธิ์) ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมและพัฒนาเครื่องชั่งตวงวัด	**วันที่มีผลบังคับใช้** 27 ตุลาคม 2557 **จำนวนหน้ารวม** 31 หน้า **ปรับปรุงครั้งที่** 2

1. ขอบเขตการสอบเทียบ

เครื่องวัดที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขในการสอบเทียบตามคู่มือนี้ครอบคลุมเฉพาะเครื่องวัดความยาว ชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง (Flexible steel tape measures with tensioning weight or sinker) **พิกัดกำลัง 0 ถึง 30 เมตร**

2. วัตถุประสงค์

2.1. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนการปฏิบัติในการสอบเทียบเครื่องวัด

2.2. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนในการคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัด

2.3. เพื่อให้เกณฑ์การพิจารณาตัดสินผลการสอบเทียบสอดคล้องและครบถ้วนตามมาตรฐานสากล

2.4. เพื่อให้การรายงานผลการสอบเทียบเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน เนื้อหาสาระครบถ้วนเหมือนกันทั่วประเทศ

2.5. เพื่อให้สามารถตรวจทานถึงแบบมาตราชั้น 1 ของประเทศได้

3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

- กลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด
- ห้องปฏิบัติการเครื่องวัดของศูนย์ชั่งตวงวัดภาคเหนือ, ศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออก และศูนย์ชั่งตวงวัดภาคใต้
- ห้องปฏิบัติการของสำนักงานสาขาชั่งตวงวัดเขต (ถ้ามี)
- ผู้ที่เกี่ยวข้องและเจ้าของเครื่องวัด

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. เตรียมการสภาวะห้องปฏิบัติการให้มีสภาวะอุณหภูมิ 20 ± 3.0 ^{o}C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 15 %
2. จัดเตรียมเครื่องมืออื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อให้ระบบเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องวัดความยาว พร้อมสำหรับการสอบเทียบ
3. ทำการสอบเทียบเครื่องวัดความยาว

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบสภาพเครื่องวัดความยาว ที่นำมาสอบเทียบ
2. ตรวจสอบรายงานผลการสอบเทียบ ตรวจทานผลการคำนวณ ตัดสินใจว่าผลการสอบเทียบผ่านหรือไม่ผ่านการสอบเทียบ

5. แบบมาตรา

5.1 แบบมาตรา scale calibrator

รายละเอียด: สำนักงานกลางชั่งตวงวัดใช้ Linear Encoder ยี่ห้อ HEIDENHAIN รุ่น **LB 382C** (Measuring Standard: Stainless Steel Tape with AURODUR Graduation with Thermal Expansion Efficiency (α_{therm}) 10 x10^{-6} K^{-1}, Accuracy Grade ±μ5m) , Display ยี่ห้อ HEIDENHAIN รุ่น **ND1320**

- หากใช้ Linear Encoder ยี่ห้อ HEIDENHAIN รุ่น LB 382C เพียงท่อนเดียวสามารถใช้ Thermal Expansion Efficiency (α_{therm}) 10 x10^{-6} K^{-1} แต่
- เนื่องจากการในการจัดทำแท่นเครื่องวัดความยาวยาว 6 เมตร (3 เมตร x 2 แท่น) ต้องนำ LB 382C มาต่อกัน 3- 5 ชิ้น ดังนั้นบริษัท HEIDENHAIN กำหนดให้ใช้ Thermal Expansion Efficiency ของแท่นเครื่องวัดความยาวแทนค่า Thermal Expansion Efficiency ของตัว Measuring Standard: Stainless Steel Tape with AURODUR Graduation ซึ่งแท่นเครื่องวัดความยาวจัดทำจากเหล็กหล่อ JISG5501 (1976) FC25 (Cast iron gray) มีค่า Thermal Expansion Efficiency (α_{therm}) เท่ากับ 10.8 x10^{-6} K^{-1} (6.0 x10^{-6}°F^{-1})
- **จัดสร้างโดย:** บริษัท ซี.เอ็น.ซี. รีโทรฟิต แอนด์ เซอร์วิส จำกัด โทร. 02 382 5177
- **หมายเลขแบบมาตรา (Serial No.):** CBWM 0008-54

5.2 แบบมาตราเวอร์เนียไฮเกจ (Vernier Height Gauge)

รายละเอียด : สำนักงานกลางชั่งตวงวัดใช้ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HS-45 Serial No. 604377, พิกัดกำลัง 45 เซนติเมตร ขีดขั้นหมายมาตราต่ำสุด 0.02 มิลลิเมตร

- มีค่า Thermal Expansion Efficiency (α_{therm}) เท่ากับ 18.0 x10^{-6} K^{-1}
- หมายเลขแบบมาตรา 6670-003-001-04 ชว.

6. เครื่องวัดที่ทำการสอบเทียบ

สาขาการวัด	พารามิเตอร์/พิสัย/รายการ L (cm.)	ขีดความสามารถของการวัดและการสอบเทียบ (±)	มาตรฐาน/เทคนิคที่ใช้/วิธี/เครื่องมือที่ใช้
เครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง (Flexible steel tape measures with tensioning weight or sinker)	*0 – 3,000 ซม.*	*(0.13 + 0.00012L) มม.*	*In-house method : SOP-LEN-202 based on OIML R 35-2 : 2011 :*

7. สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

- สภาวะอุณหภูมิ 20 ± 3.0 °C และ
- ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 15 %

8. เครื่องมือและอุปกรณ์

8.1. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อ่านได้ละเอียด 0.1°C และอ่านละเอียด 0.1%

8.2. ถุงมือผ้า

8.3. แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบแบบฟอร์มคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง 10 - 30 เมตร WS-LEN-2020

8.4. เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II หรือ III ขีดขั้นหมายหมายตราตรวจรับรอง (e) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 กรัม

8.5. อุปกรณ์เกี่ยวตุ้มน้ำหนัก

8.6. ตุ้มน้ำหนัก 2 กก., 5 กก. และ 10 กก.

9. รายละเอียดวิธีปฏิบัติ

9.1. เตรียมสภาวะของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามที่กำหนด

9.2. นำเครื่องวัดมาพักอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

9.3. เปิดระบบไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบมาตราอย่างน้อย 30 นาทีก่อนทำการสอบเทียบ

9.4. ก่อนเริ่มดำเนินการสอบเทียบ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์, น้ำหนักลูกดิ่ง เป็นต้น

9.5. กำหนดจุดช่วงความยาวที่ต้องการสอบเทียบ (ประมาณ 20 จุด ต่อเครื่องวัด) ดังนี้

ที่ระยะความยาว	พิกัดกำลัง 10 ถึง 30 เมตร	แบบมาตรา
0 – 40 ซม.	ระยะ 10 ซม.	แบบมาตราเวอร์เนียไฮเกจ
0.4 – 5.0 เมตร	ระยะ 50 ซม.หรือ 1 เมตร	แบบมาตรา Scale Calibrator
มากกว่า 5.0 เมตร	ระยะ 2 เมตร	

9.6. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ช่วงความยาว 0 - 40 เซนติเมตร

9.6.1. ตรวจสอบระดับฐานวางแบบมาตราเวอร์เนียไฮเกจ

9.6.2. นำเครื่องวัดพาดผ่านลูกรอกให้ตึง และให้ปลายสุดของลูกดิ่งสัมผัสตั้งฉากกับฐาน

9.6.3. นำแบบมาตราเวอร์เนียมาวัดความสูงตามที่กำหนด

9.6.4. บันทึกผลการวัดลงในแบบฟอร์ม ในกรณีที่จุดวัดเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างข้อห่วงเกี่ยวกับลูกดิ่งให้ใส่ค่าเท่ากับศูนย์ (0)

9.7. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดความยาว ฯ ความยาวตั้งแต่ 40 เซนติเมตร ถึงพิกัดกำลังสูงสุด (Nominal Length) ของเครื่องวัดความยาวฯ

9.7.1. วางสายแถบโลหะให้ราบไปตามแนวร่องบนแท่นเครื่องแบบมาตรา ปรับจุดเริ่มต้นของสายแถบระยะจุดสุดท้ายก่อนหน้านี้เป็นจุดเริ่มต้นศูนย์ (0) ของแบบมาตรา Scale Calibrator และจับยึดเครื่องวัดด้านตรงข้ามจุดเริ่มต้นให้แน่น

9.7.2. นำอุปกรณ์เกี่ยวตุ้มน้ำหนักมาจับยึดกับส่วนปลายของสายแถบโลหะเพื่อถ่วงน้ำหนักตามที่ระบุจากผู้ผลิตหรือตามตารางข้างล่าง

พิกัดกำลัง (เมตร)	ตุ้มน้ำหนักถ่วง (กก.)
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30	2.0
มากกว่า 30	5.0

9.7.3. ตรวจสอบสายแถบให้ชิดขอบบนของร่องแท่นวางเครื่องวัดแบบมาตราตลอดความยาว

9.7.4. หาค่าเฉลี่ยระยะจุดกึ่งกลางของขีดขั้นหมายมาตรา และป้อนค่าผลการวัดจากระยะจุดสุดท้ายเป็นจุดเริ่มต้น

9.7.5. เลื่อนกล้องส่องเคลื่อนที่ไปยังขีดขั้นหมายมาตราตามจุดที่กำหนดเพื่อหาช่วงความยาวที่ต้องการสอบเทียบ โดยหาจากค่าเฉลี่ยจุดกึ่งกลางของเส้นขีดขั้นหมายมาตราที่ระยะความยาวระบุตามข้อ 9.5 ให้ดำเนินการเช่นเดียวกับจุดแรกจนสุดความยาวของแท่นเครื่องแบบมาตราและบันทึกผลลงในแบบฟอร์ม ทำการเลื่อนชุดเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้นของศูนย์ (0) ของแบบมาตรา scale calibrator

9.7.6. ระยะความยาวระบุตามข้อ 9.5 ที่เหลือให้ดำเนินการตามข้อ 9.7.1 ถึง 9.7.5 จนถึงความยาวเต็มพิกัดกำลังของเครื่องวัด

9.8. บันทึกอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อสอบเทียบเสร็จสิ้น

9.9. ม้วนสายแถบโลหะเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

9.10. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปทำรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง

10. <u>การคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง</u>

สรุปการคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ได้โดยสังเขปแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ

- การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งเทียบกับแบบมาตราที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกัน
- การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าในการสอบเทียบ

10.1. การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งเทียบกับแบบมาตราที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกัน มีรายละเอียดดังนี้

10.1.1. การหาค่าความยาวของเครื่องวัดชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง L_X โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของขีดขั้นหมายมาตราเริ่มต้นจนถึงจุดกึ่งกลางของขีดขั้นหมายมาตราที่ต้องการวัด จากนั้นนำค่าความยาวที่ได้มาเปรียบเทียบกันค่าความยาวของแบบมาตรา L_S

10.1.2. พิจารณาปรับค่าแก้ไขความยาวของแบบมาตรา L_S

10.1.2.1. เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องปฏิบัติการฯ ไม่เท่ากับ 20 °C จึงต้องทำการปรับค่าแก้ไขความยาวของแบบมาตรา L_S ไปยังสภาวะอ้างอิงอุณหภูมิที่ 20 °C ด้วยค่าแก้ไขเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction; (C_t)) เพื่อแก้ไขค่าความยาวที่เกิดขึ้นกับแบบมาตรามีค่าเท่ากับ

$$C_{ts} = L_S \alpha_S (T - 20)$$

เมื่อ

C_{ts} = ค่าแก้ไขความยาวยืดหดของแบบมาตราเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากสภาวะอ้างอิง (Temperature correction) (mm.)

L_S = ความยาวเฉลี่ยจนถึงจุดกึ่งกลางขีดขั้นหมายของแบบมาตราที่วัดได้ ณ อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ (mm.)

α_S = Coefficient of linear expansion of tape ของเครื่องวัดแบบมาตรา (/°C)
แบบมาตรา scale calibrator α_S เท่ากับ 10.8×10^{-6} /°C
แบบมาตราเวอร์เนีย α_S เท่ากับ 18.0×10^{-6} /°C

T = อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ (°C)

โดยถ้าหากอุณหภูมิขณะสอบเทียบสูงกว่าอุณหภูมิอ้างอิง 20 °C แล้วให้นำค่าค่าแก้ไขเนื่องจากการขยายตัวเชิงเส้นไปลบออกจากค่าความยาวที่วัดได้ ในทางกลับกันหากอุณหภูมิขณะสอบเทียบต่ำกว่าอุณหภูมิอ้างอิง 20 °C แล้วให้นำค่าค่าแก้ไขเนื่องจากการขยายตัวเชิงเส้นไปบวกกับค่าความยาวที่วัดได้

10.1.2.2. หลังจากได้ค่าแก้ไขค่าความยาวของแบบมาตราไปยังอุณหภูมิอ้างอิงแล้ว ให้นำค่าที่ได้ไปแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนของแบบมาตราซึ่งได้มาจากรายงานผลการสอบเทียบแบบมาตรา (Error correction; C_S)

10.1.2.3. ค่าความยาวที่วัดได้ของแบบมาตราหลังจากแก้ไขไปที่อุณหภูมิอ้างอิงและแก้ไขความคลาดเคลื่อนตามที่ระบุในใบรายงายผลการสอบเทียบแล้ว เราจะได้ค่าความยาวที่สภาวะอ้างอิงของแบบมาตราเท่ากับ

$$L_{0S} = L_S - C_{ts} + C_S$$

เมื่อ

L_S = ความยาวเฉลี่ยจนถึงจุดกึ่งกลางขีดขั้นหมายของแบบมาตราที่วัดได้ ณ อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ (mm.)

C_{ts} = ค่าแก้ไขความยาวยืดหดของแบบมาตราเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากสภาวะอ้างอิง (Temperature correction) (mm.)

C_s = ค่าแก้ไขความยาวของแบบมาตราตามใบรายงานผลสอบเทียบ ที่สภาวะอ้างอิง (Error correction) (mm.)

10.1.3. พิจารณาปรับค่าแก้ไขความยาวของเครื่องวัดชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง L_X

10.1.3.1. ในกรณีของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ ขณะที่ทำการสอบเทียบ หากใช้ตุ้มน้ำหนักที่ให้ค่าแรงดึงไม่เท่ากับแรงดึงที่กำหนดไว้บนสายแถบโลหะ ต้องพิจารณาค่าแก้ไขเนื่องจากผลต่างของแรงดึงที่กระทำต่อเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ ดังกล่าวด้วยค่าแก้ไขแรงดึง (Tension Correction; C_P)

$$C_P = \text{Expansion of Tape} \times (P_N - P_0) \times L$$

เมื่อ

C_P = ค่าแก้ไขความยาวของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแรงดึง (Tension Correction; C_P) (mm.)

L = ความยาวของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ (mm.)

Expansion of Tape = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวออกตามยาวของพื้นที่หน้าตัดของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ (/N) มีค่าเท่ากับ เศษหนึ่งส่วนของผลคูณค่า Young's modulus (Y) กับพื้นที่หน้าตัดของสายแถบโลหะ (A)

$$= \frac{1}{Y \times A}$$

P_N = แรงดึงจากน้ำหนักตุ้มถ่วงที่ใช้จริง (N)

P_0 = แรงดึงจากน้ำหนักตุ้มถ่วงอ้างอิงบนเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด (N)

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตกำหนดแรงดึง ในการคำนวณกำหนดให้ค่า C_P เท่ากับศูนย์ (0)

10.1.3.2. ดังนั้นค่าความยาวที่วัดได้ของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ หลังจากปรับค่าไปที่อุณหภูมิอ้างอิงและแก้ไขค่าแรงดึง (ถ้ามี) แล้วเราจะได้ค่าความยาวเท่ากับ

$$L_{0X} = L_X - C_{tX} - C_P$$

เมื่อ

L_X = ความยาวที่แสดงหรืออ่านค่าได้จากเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ ที่กำลังสอบเทียบ (mm.)

C_{tX} = ค่าแก้ไขความยาวยืดหดของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ ที่กำลังสอบเทียบเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากสภาวะอ้างอิง (Temperature Correction) (mm.)

$$C_{tX} = L_S \alpha_X (T - 20)$$

หมายเหตุ : ในกรณีนี้ใช้ค่า L_S แทนค่า L_X ในการคำนวณ

α_X = Coefficient of Linear Expansion of Tape หรือ Thermal Expansion Coefficient ของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ (/°C) ดูใช้ค่าในเอกสารแนบ 2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว (Thermal Expansion Coefficient) ที่ช่วงอุณหภูมิห้อง โดยส่วนใหญ่แล้วใช้ค่า Steel Stainless Martensitic (420/DIN1.4021) เท่ากับ 0.000105 /°C

T = อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ (°C)

C_P = ค่าแก้ไขความยาวของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแรงดึง (Tension Correction; C_P) (mm.)

10.1.4. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของความยาวสายแถบโลหะฯ ช่วงความยาว 0 - 40 เซนติเมตร และความยาวตั้งแต่ 40 เซนติเมตร ถึงพิกัดกำลังสูงสุด (Nominal length) ของเครื่องวัดความยาวฯ ที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C , ด้วยแรงดึงอ้างอิงจากตุ้มน้ำหนัก 2 กก. หรือ 5 กก. จะได้เท่ากับ

$$Error_{ref.} = L_{0X} - L_{0S}$$

$$\begin{aligned} Error_{ref.} &= (L_X - C_{tX} - C_P) - (L_S - C_{ts} + C_S) \\ &= (L_X - L_S) + (C_{tS} - C_{tX}) - (C_S + C_P) \\ &= (L_X - L_S) + L_S(\alpha_S - \alpha_X)(T - 20) - (C_S + C_P) \end{aligned}$$

ตามกฎกระทรวงฯ กำหนดให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะ ฯ เท่ากับ Class II , OIML R35-1 (2007)

$$MPE = \pm(0.3 + 0.2L)$$

เมื่อ L เป็นค่าความยาวมีหน่วยเป็น เมตร

ดังนั้นหากผลการสอบเทียบมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงฯ จะถือว่าผลการสอบเทียบครั้งนั้นไม่ผ่าน และไม่ออกหนังสือรายงายผลการตรวจสอบความเที่ยง

10.2. การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าในการสอบเทียบ ในการพิจารณาแหล่งสาเหตุของค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ เราพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

$$L_{0X} = L_{SLE} + L_{SV} + \delta L_V + \delta L_P + \delta L_{LER} + \delta L_{VR} + \delta L_{\Delta\alpha} + \delta L_{TCer} + \delta L_{T\,Read} + \delta L_{TGradient} + SD_{LE} + SD_V + L_{LE\,Drift} + L_{V\,Drift}$$

ดังนั้นความไม่แน่นอนของการวัด จากสมการการหาค่าปริมาตรของเครื่องวัดความยาว จึงมีค่าเท่ากับ

$$u_c = \sqrt{\begin{array}{l} c^2_{L_{SLE}} \cdot u^2_{L_{SLE}} + c^2_{L_{SV}} \cdot u^2_{L_{SV}} + c^2_{\delta L_V} \cdot u^2_{\delta L_V} + c^2_{\delta L_P} \cdot u^2_{\delta L_P} + c^2_{\delta L_{LER}} \cdot u^2_{\delta L_{LER}} + c^2_{\delta L_{VR}} \cdot u^2_{\delta L_{VR}} + c^2_{\delta L_{\Delta\alpha}} \cdot u^2_{\delta L_{\Delta\alpha}} + c^2_{\delta L_{TCer}} \cdot u^2_{\delta L_{TCer}} \\ + c^2_{\delta L_{T\,Read}} \cdot u^2_{\delta L_{T\,Read}} + c^2_{\delta L_{TGradient}} \cdot u^2_{\delta L_{TGradient}} + c^2_{\sigma LE} \cdot u^2_{\sigma LE} + c^2_{\sigma V} \cdot u^2_{\sigma V} + c^2_{LE\,Drift} \cdot u^2_{LE\,Drift} + c^2_{V\,Drift} \cdot u^2_{V\,Drift} \end{array}}$$

การรายงานค่าผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาว มีค่าความยาวที่อุณหภูมิอ้างอิง ด้วยค่าความไม่แน่นอน ที่ระดับความมั่นใจ 95% (k = 2)

$$L_0 \pm 2u_c \quad \text{มิลลิเมตร}$$

จากปัจจัยข้างบน แบ่งค่าความไม่แน่นอนออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ

10.2.1. ค่าความไม่แน่นอนที่ไม่ขึ้นกับค่าความยาว (Length – independent)

10.2.1.1. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากใบรายงานผลของแบบมาตราเวอร์เนีย ($u_{L_{SV}}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$c_{L_{SV}} = \frac{\partial L_{0X}}{\partial L_{SV}} = 1$$

- ค่าความไม่แน่นอนของเวอร์เนีย (U_{SV}) ได้จากใบรายงานผลของแบบมาตราเวอร์เนีย
- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน Normal distribution

$$u_{L_{SV}} = \frac{U_{SV}}{2} \times 1 \quad \text{mm.}$$

10.2.1.2. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการเบี่ยงเบนในการจัดสร้างและติดตั้งกล้องส่องขีดขั้นหมายมาตรา บนแบบมาตรา scale calibrator ($u_{\delta L_V}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$c_{\delta L_V} = \frac{\partial L_{0X}}{\partial \delta L_V} = 1$$

- ทำให้แกนของกล้องส่องไม่ตั้งฉากกับพื้นที่วางเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ ประเมินให้แกนของกล้องส่องเอียงไป (θ) 0.033 องศา (2 ลิปดา) โดยระยะห่างระหว่าง

กล้องกับพื้นที่วางเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะฯ (h) เท่ากับ 145 มม. ส่งผลให้เกิดระยะเยื้องไป (ΔL)

$$\Delta L = h \tan\theta$$

$$\Delta L = 145 \times \tan 0.03 \ = 0.0759 \text{ mm.}$$

- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน rectangular distribution, type B

$$u_{\delta L_V} = \frac{0.0759}{\sqrt{3}} \times 1 = 0.0438 \text{ mm.}$$

10.2.1.3. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการเคลื่อนตัวของชุดติดตั้งกล้องส่องกับตัวชิ้นงานในแนวขนานตามช่วงความยาวไม่ขนานกันอย่างแท้จริงบนแบบมาตรา scale calibrator ($u_{\delta L_P}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$c_{\delta L_P} = \frac{\partial L_{0X}}{\partial \delta L_P} = 1$$

- จากการติดตั้งรางของชุดเคลื่อนที่ไปซึ่งรองรับกล้องส่อง ประเมินให้การเบี่ยงเบนของรางวัดด้วย dial gauge พบว่าระยะเบี่ยงเบนไม่เกิน ±3 μm
- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน rectangular distribution, type B

$$u_{\delta L_P} = \frac{0.003}{\sqrt{3}} \times 1 = 0.0017 \text{ mm.}$$

10.2.1.4. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากอ่านค่าความยาวของแบบมาตราเวอร์เนีย ซึ่งอ่านได้ละเอียด 0.02 mm. รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน *Rectangular distribution*, type B ($u_{\delta L_{VR}}$)

$$u_{\delta L_{VR}} = \frac{d_V}{2\sqrt{3}} = \frac{0.02}{2\sqrt{3}} = 0.0057735 \text{ mm.}$$

10.2.1.5. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากอ่านค่าความยาวของแบบมาตรา scale calibrator ซึ่งอ่านได้ละเอียด 0.001 mm. รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน rectangular distribution, type B ($u_{\delta L_{LER}}$)

$$u_{\delta L_{LER}} = \frac{d_{LE}}{2\sqrt{3}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.000288 \text{ mm.}$$

10.2.1.6. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการวัดค่าความยาวที่ค่าความยาวเดียวกัน ซ้ำๆ กันบนแบบมาตรา scale calibrator โดยประเมินค่าความไม่แน่นอน แบบ Pooled Standard Deviation ($u_{\sigma LE}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$c_\sigma = \frac{\partial L_{0X}}{\partial \sigma} = 1$$

- ประเมินจากการวัดค่าความยาวที่ค่าความยาวเดียวกัน ซ้ำๆ กัน 10 ครั้งต่อค่าความยาวที่ 1 เมตร 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร โดยเลือกเอาค่าความไม่แน่นอนที่มีค่าสูงสุดใช้ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงผู้ปฏิบัติงานหรือมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ หรือผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ให้ดำเนินการประเมินหาค่าความไม่แน่นอนใหม่ *ทุกเดือนที่ 1 และ เดือนที่ 6 ของแต่ละปี*

ครั้งที่	ค่าความยาวที่ (mm.)				
	1000	2000	3000	4000	5000
1	999.935	1999.854	2999.736	3999.662	4999.544
2	999.930	1999.854	2999.738	3999.660	4999.544
3	999.929	1999.854	2999.738	3999.664	4999.542
4	999.929	1999.855	2999.739	3999.665	4999.542
5	999.930	1999.856	2999.737	3999.665	4999.545
6	999.931	1999.852	2999.739	3999.662	4999.547
7	999.932	1999.850	2999.738	3999.662	4999.542
8	999.929	1999.854	2999.738	3999.663	4999.548
9	999.929	1999.853	2999.737	3999.663	4999.544
10	999.929	1999.853	2999.740	3999.666	4999.543
n	10	10	10	10	10
SD	0.001947	0.0016499	0.001155	0.001814	0.002079
S_P					0.00175816

จากดำเนินการให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยงทดสอบ ได้ค่าความไม่แน่นอน ($u_{\sigma LE}$) เท่ากับ Pooled Standard Deviation เท่ากับ 0.00175816 มม.

$$S_P = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2+(n_3-1)S_3^2+(n_4-1)S_4^2+(n_5-1)S_5^2}{n_1+n_2+n_3+n_4+n_5-5}} = 0.00175816 \text{ mm.}$$

- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน Normal distribution, type A

$$u_{\sigma LE} = S_P \times 1 = 0.00175816 \text{ mm.}$$

10.2.1.7. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการวัดค่าความยาวที่ค่าความยาวเดียวกัน ซ้ำๆ กัน ด้วยแบบมาตราเวอร์เนีย โดยประเมินค่าความไม่แน่นอน แบบ Pooled Standard Deviation ($u_{\sigma V}$)

- ประเมินจากการวัดค่าความยาวที่ค่าความยาวเดียวกัน ซ้ำๆ กัน 10 ครั้งต่อค่าความยาวที่ 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร โดยเลือกเอาค่าความไม่แน่นอนที่มีค่าสูงสุดใช้ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงผู้ปฏิบัติงานหรือมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ หรือผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ให้ดำเนินการประเมินหาค่าความไม่แน่นอนใหม่ *ทุกเดือนที่ 1 และ เดือนที่ 6 ของแต่ละปี*

ครั้งที่	ค่าความยาวที่ (mm.)			
	100	**200**	**300**	**400**
1	99.80		300.30	400.22
2	99.88		300.30	400.20
3	99.82		300.30	400.24
4	99.84		300.32	400.20
5	99.86		300.30	400.22
6	99.86		300.28	400.24
7	99.86		300.30	400.24
8	99.88		300.30	400.22
9	99.88		300.32	400.24
10	99.86		300.34	400.20
n	0.02674987	0	0.016465452	0.017511901
SD	0.00644	0	0.00244	0.00276
S_P				0.020763215

จากดำเนินการให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยงทดสอบ ได้ค่าความไม่แน่นอน ($u_{\sigma V}$) เท่ากับ Pooled Standard Deviation เท่ากับ 0.020763 มม.

$$S_P = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2+(n_3-1)S_3^2+(n_4-1)S_4^2+(n_5-1)S_5^2}{n_1+n_2+n_3+n_4+n_5-5}} = 0.020763 \quad \text{mm.}$$

- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน Normal distribution, type A

  $u_{\sigma V} = S_P \times 1 = 0.020763$ mm.

<u>หมายเหตุ</u> ดำเนินการประเมินหาค่าความไม่แน่นอน แบบ Pooled Standard Deviation $u_{\sigma LE}$ และ $u_{\sigma V}$ ประมาณ 2 ครั้ง/ ปี

10.2.1.8. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการเลื่อนค่า (drift) ของแบบมาตรา scale calibrator($u_{LE\,Drift}$) ประเมินตามมติคณะอนุกรรมการพิจารณารับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบทางกลและเคมี (มติการประชุมครั้งที่ 3-1/2547) มี 3 กรณี

1) กรณีที่ 1 มีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่า Drift ของ Standard น้อยมากๆ เกือบเป็นศูนย์ ค่า Drift ของ Standard อาจกำหนดได้จาก Import uncertainty ที่ 1σ และกำหนดการกระจายแบบ Triangular และ divisor = $\sqrt{6}$ อ้างอิงตาม M3003

2) กรณีที่ 2 มีการสอบเทียบของ Standard ครั้งแรก ไม่รู้ค่า Drift ของ Standard จะมีกำหนดการกระจายแบบ Rectangular ซึ่งจะได้ค่า Drift ของ Standard เท่ากับ Import uncertainty ที่ 2σ และ divisor = $\sqrt{3}$

3) กรณีที่ 3 มีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่า Drift ของ Standard จะมีกำหนดการกระจายแบบ Rectangular ซึ่งจะได้ค่า Drift ของ Standard เท่ากับ ค่าของปีล่าสุด – ค่าของปีก่อนหน้า (จากใบรายงานผลของแบบมาตรา scale calibrator) และ divisor = $\sqrt{3}$

ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากใบรายงานผลของแบบมาตรา scale calibrator ($u_{L_{SLE}}$) มีค่าความไม่แน่นอน เท่ากับ

$$U_{LE} = 0.013 + (1.3\times10^{-6}\times L) \quad mm.$$

$$u_{LE\,Drift} = \frac{U_{LE}}{\sqrt{3}} = \left(\frac{0.013 + (1.3\times10^{-6}\times L)}{\sqrt{3}}\right) = (0.0075 + (0.75\times10^{-6}\times L)) \quad mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

พิจารณาที่ระยะ 5 เมตร

$$u_{LE\,Drift} = 0.0075 + (0.75\times10^{-6}\times5000) = 0.01125 \quad mm.$$

10.2.1.9. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการเลื่อนค่า (drift) ของเวอร์เนีย ($u_{V\,Drift}$) ประเมินแบบมีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่า Drift ของ Standard น้อยมากๆ เกือบเป็นศูนย์ ค่า Drift ของ Standard อาจกำหนดได้จาก Import uncertainty ที่ 1σ และกำหนดการกระจายแบบ Triangular และ divisor = $\sqrt{6}$ อ้างอิงตาม M3003

$$u_{V\,Drift} = \frac{U_V}{2\sqrt{6}} = \left(\frac{0.019}{2\sqrt{6}}\right) = 0.00387836 \quad mm.$$

10.2.2. ค่าความไม่แน่นอนที่ขึ้นกับค่าความยาว (Length – dependent)

10.2.2.1. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของการกระจายอุณหภูมิตลอดช่วงความยาวแบบมาตรา($u_{\delta L_{TGradient}}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$C_{ts} = L_S\alpha_S(T-20)$$

$$\frac{\delta C_{ts}}{\delta\Delta T} = L_S\alpha_S$$

- จากข้อมูลค่าความแตกต่างอุณหภูมิบริเวณผิวของแบบมาตรา Scale Calibrator ระหว่างตำแหน่งหัว กลาง ท้ายของแท่นแบบมาตราโดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 0.5 °C จึงประเมินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดตามแนวความยาวของแท่นแบบมาตรามีค่าเท่ากับ Δt_{bench} = 0.5 °C
- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน rectangular distribution, type B

$$u_{\delta L_{TGradient}} = \frac{0.5}{2\sqrt{3}}\times\alpha\times L = \frac{0.5}{2\sqrt{3}}\times0.0000108\times L = 0.000001558L \quad mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

10.2.2.2. ค่าความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงค่า Coefficient of Linear Expansion ของแบบมาตรา scale calibrator ตลอดความยาว ($u_{\delta L_{\Delta\alpha}}$) เนื่องจากการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการ ในที่นี้ใช้ Coefficient of Linear Expansion ของแท่น

เครื่องวัดความยาวแทนค่า Coefficient of Linear Expansion ของตัว Measuring Standard: Stainless Steel Tape with AURODUR Graduation ซึ่งแท่นเครื่องวัดความยาวจัดทำจากเหล็กหล่อ JIS G5501 (1976) FC25 (Cast iron gray) มีค่า Coefficient of Linear Expansion (α_{therm}) เท่ากับ 10.8 x10^{-6} K^{-1}

- มี Sensitivity Coefficient

$$C_{ts} = L_S \alpha_S (T - 20)$$
$$\frac{\delta C_{ts}}{\delta \Delta\alpha} = L_S \Delta T$$

ประเมินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดตามแนวความยาวของแท่นแบบมาตราภายในห้องปฏิบัติการจากความไม่แน่นอนของการวัดค่าอุณหภูมิอากาศด้วยกัน 2 สาเหตุ

$$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2}$$

1) ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศจากใบรายงานผลการสอบเทียบ

$$U_{Thermo} = 0.43 \ ^0C$$
$$u_{t1} = \frac{U_t}{k} = \frac{0.43}{2} = 0.215 \ ^0C$$

2) ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอ่านได้ละเอียด 0.1 °C

$$u_{t2} = \frac{d_t}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0288 \quad ^\circ C$$

$$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2}$$
$$u_t = \sqrt{0.215^2 + 0.0288^2} = 0.2169 \ ^0C$$

นั้นหมายถึงค่าที่อ่านจากเครื่องวัดอุณหภูมิมีค่าความไม่แน่นอน เท่ากับ ±0.2169 °C คิดในเชิงปริมาณเท่ากับ ΔT = 0.4338 °C

- ประเมินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดตามแนวความยาวของแท่นแบบมาตรา มีค่าเท่ากับ Δt_{bench} = 0.5 °C ส่งผลให้ Coefficient of Linear Expansion เปลี่ยนเท่ากับ

$$\Delta\alpha_S = 0.5 \times 10.8 \times 10^{-6} \ C^{-1} = 5.4 \times 10^{-6} \ C^{-1}$$

- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน rectangular distribution, type B ประเมินหาค่าความไม่แน่นอน

$$u_{\delta L_{\Delta\alpha}} = \frac{\Delta\alpha_S}{\sqrt{3}} \times \Delta T \times L = \frac{5.4 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} \times 0.4338 \times L = 0.00000135L \ mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

10.2.2.3. ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศจากใบรายงานผลการสอบเทียบ ($u_{\delta L_{TCer}}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$C_{ts} = L_S \alpha_S (T - 20)$$
$$\frac{\delta C_{ts}}{\delta T} = L_S \alpha_S$$

- ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศจากใบรายงานผลการสอบเทียบ U_{Tcer}
- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน Normal distribution

$$u_{\delta L_{TCer}} = \frac{U_{Tcer}}{2} \times \alpha_S \times L \quad mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

10.2.2.4. ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอ่านได้ละเอียด 0.1 °C ($u_{\delta L_{TRead}}$)

- มี Sensitivity Coefficient

$$C_{ts} = L_S \alpha_S (T - 20)$$

$$\frac{\delta C_{ts}}{\delta T} = L_S \alpha_S$$

- รูปแบบการกระจายของค่าความไม่แน่นอน *rectangular distribution*

$$u_{\delta L_{TRead}} = \frac{d_T}{2\sqrt{3}} \times \alpha_S \times L \quad mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

10.2.3. ค่าความไม่แน่นอนทั้งขึ้นกับค่าความยาว และไม่ขึ้นกับค่าความยาว

10.2.3.1. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากใบรายงานผลของแบบมาตรา scale calibrator ($u_{L_{SLE}}$) มีค่าความไม่แน่นอน เท่ากับ

$$U_{LE} = 0.013 + (1.3 \times 10^{-6} \times L) \quad mm.$$

ดังนั้นหากมีการสอบเทียบแบบมาตรา scale calibrator ใหม่ ค่าความไม่แน่นอนค่าดังกล่าวนี้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากใช้ k-factor เท่ากับ 2 ค่าความไม่แน่นอนจึงเท่ากับ

$$u_{L_{SLE}} = \frac{U_{LE}}{2} = \left(\frac{0.013 + (1.3 \times 10^{-6} \times L)}{2} \right) = (0.0065 + (0.65 \times 10^{-6} \times L)) \quad mm.$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

ในการรวมค่าความไม่แน่นอน standard uncertainty ให้รวมค่าความไม่แน่นอนที่ไม่ขึ้นกับค่าความยาว (Length – dependent) และค่าความไม่แน่นอนที่ขึ้นกับค่าความยาว (Length – independent) ให้เสร็จสิ้นก่อนรวมกัน

Uncertainty Budget (30 m.)

Symbol	*Source of uncertainty*	*Value ± mm. / ± °C⁻¹*	*Probability distribution*	*Divisor*	*Sensitivity coefficient (c_i)*	*Standard Uncertainty (u_i) (mm.)*
$u_{L_{SLE}}$	*Calibration of Standard Length; Linear Encoder*	*0.013+0.0000013L* *n = จำนวนทบของแท่นแบบมาตรา* *L in mm..*	*Normal*	*2*	*1*	*$(0.0065+0.00000065L_1)+(0.0065+0.00000065L_2)+.....+(0.0065+0.00000065L_n)$* *=0.039+0.0000039L* *(Sounding tape 30 m)*
$u_{L_{SV}}$	*Calibration of Standard Length; Vernier Height Gauge*	*0.019*	*Normal*	*2*	*1*	*0.0095*
$u_{\delta L_V}$	*The tilt of the viewing axis of microscope*	*0.0759*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.0438*
$u_{\delta L_P}$	*The parallelism between the rail guide and the flat surface*	*0.003*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.0017*
$u_{\delta L_{LER}}$	*Linear Encoder Resolution*	*0.001*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.000288*
$u_{\delta L_{VR}}$	*Vernier Height Gauge Resolution*	*0.02*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.0057735*
$u_{\delta L_{\Delta\alpha}}$	*Variation in the coefficient of linear expansion*	$\Delta\alpha_S = 0.5\times\alpha_S\,C^{-1}$ $\alpha_S = 5.4\times10^{-6}C^{-1}$ Δt_{bench} = 0.5 °C	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	$L\Delta T$ $\Delta T = 0.43\,°C$ *(ดูตาราง Uncertainty ข้างล่าง)*	*0.00000135L*
$u_{\delta L_{TCer}}$	*Calibration of temperature:*	*0.43*	*Normal*	*2*	$\alpha_S L$	*0.000002322L*
$u_{\delta L_{T\,Read}}$	*Thermometer resolution*	*0.1*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	$\alpha_S L$	*0.00000031L*
$u_{\delta L_{TGradient}}$	*Non-uniformity of temperature along the comparator*	Δt_{bench} = 0.5 °C	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	$\alpha_S L$	*0.0000001558L*
$u_{\sigma LE}$	*Pooled Standard deviation (Scale Calibrator)*	*0.0017582*	*Normal*	*1*	*1*	*0.0017582*
$u_{\sigma V}$	*Pooled Standard deviation (Vernier Height Gauge)*	*0.02076322*	*Normal*	*1*	*1*	*0.02076322*
$u_{L_{S\,drift}}$	*Drift (Scale Calibrator)*	*0.013+0.0000013L* *(L=5000 mm.)* *= 0.0195*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.01125*

Symbol	*Source of uncertainty*	*Value* $\pm$ *mm. /* $\pm\ ^{o}C^{-1}$	*Probability distribution*	*Divisor*	*Sensitivity coefficient* (c_i)	*Standard Uncertainty* (u_i) *(mm.)*
$u_{L_{V\ drift}}$	*Drift (Vernier Height Gauge)*	*= 0.019*	*Triangular*	$\sqrt{6}$	*1*	*0.00387836*
u	*Combine standard uncertainty*		*Normal*		$\sqrt{0.06438^2 + 0.00000499^2 L^2}$ *L in mm.*	
U	*Expand uncertainty*		*Normal (k=2)*		*0.1288 + 0.0000998L* *L in cm.*	

Uncertainty Budget (ΔT*)*

Symbol	*Source of uncertainty*	*Value* $\pm\ ^{o}C$	*Probability distribution*	*Divisor*	*Sensitivity coefficient* (c_i)	*Standard Uncertainty* (u_i) (^{o}C)
u_{t1}	*Temperature: Calibration of thermometer*	*0.43*	*Normal*	*2*	*1*	*0.215*
u_{t2}	*Thermometer resolution*	*0.1*	*Rectangular*	$\sqrt{3}$	*1*	*0.0288*
$u_{\Delta T}$	*Combine standard uncertainty*		*Normal*			$u_t = \sqrt{0.215^2 + 0.0288^2}$ *0.216*
U(ΔT*)*	*Expand uncertainty*		*Normal (k=2)*			*0.43*

11. ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างการแสดงวิธีการคำนวณในที่นี้เป็นการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง พิกัดกำลัง 30 เมตร ทำด้วยวัสดุโลหะ Stainless Steel

1. เนื่องจากเครื่องวัดความยาวสายแถบโลหะฯ มีพิกัดกำลังความยาวที่แตกต่างกัน แต่ขณะเดียวกันแบบมาตราที่มีสามารถรองรับการสอบเทียบได้ครั้งละ 5 เมตร ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบในกาสอบเทียบในแต่ละครั้งเพื่อสามารถนำค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตราที่ได้รับการสอบเทียบมาคำนวณประเมินผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวสายแถบโลหะที่ความยาวสอบเทียบในขณะนั้น ในตัวอย่างที่ยกมาจะทำกาสอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง พิกัดกำลัง 30 เมตร เป็นช่วงความยาวดังนี้คือ

ช่วงการสอบเทียบ	ช่วงระยะความยาว (ซม.)
1	0-40
2	40-500
3	500-900
4	900-1300
5	1300-1700
6	1700-2100
7	2100-2500
8	2500-3000

2. หลังจากดำเนินการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวสายแถบโลหะและจดบันทึกผลการสอบเทียบ นำกลับมาบันทึกข้อมูลได้ดังใน***ตารางที่ 1***

เราจะแสดงตัวอย่างในการคำนวณ โดยพิจารณาความยาวตำแหน่งที่ 5 เมตร หรือ 500 ซม. เพียงจุดเดียวทั้งนี้เนื่องจาก ณ จุดค่าความยาวอื่นๆ ดำเนินการคำนวณการสอบเทียบเช่นเดียวกัน

ระยะความยาวที่วัดได้ที่ค่าแสดงความยาว 500 ซม. ของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ซึ่งทำการวัด 2 ครั้ง โดยอ่านได้จากแบบมาตราและนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้

ครั้งที่ 1	5000.383 มม.
ครั้งที่ 2	5000.382 มม.
เฉลี่ย	5000.383 มม.

3. ก่อนที่จะสามารหาความคลาดเคลื่อน (Error) ของการสอบเทียบ เนื่องจากที่ค่าความยาว 500.000 ซม. ของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง พิกัดกำลัง 30 เมตร เมื่อเทียบกับแบมาตราแล้วอ่านค่าได้เท่ากับ 500.0383 ซม. เพื่อให้การเปรียบเทียบค่าความยาวที่วัดไปน่าเชื่อถือเป็นค่าความยาวที่สภาวะอ้างอิงเดียวกัน เราจึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ไขค่าความยาวแบบมาตราที่วัดได้ ณ สภาวะอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการฯ ไปยังค่าความยาวที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 °C เท่ากับ

$$L_{0S} = L_S - C_{ts} + C_S$$

เมื่อ $C_{ts} = L_S \alpha_S (T - 20)$

$$L_S - C_{ts} = L_S (1 - \alpha_S (T - 20))$$

แทนค่าเฉลี่ย L_S = 500.0383 ซม. = 5000.383 มม. , α_X = 0.0000108 /°C และอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการฯ เฉลี่ยขณะทำการสอบเทียบเท่ากับ T = 18.4 °C

$$L_S - C_{ts} = 500.0383(1 - 0.0000108(18.4 - 20))$$
$$= 500.0469 \text{ cm.}$$

จากใบรายงานผลการสอบเทียบแบบมาตราเครื่องวัดความยาว 5 เมตร ที่ระยะความยาว 460 ซม. (เนื่องจากในช่วงความยาว 0-40 ซม. แรกสอบเทียบด้วยแบบมาตราเวอร์เนีย และตั้งแต่ 40 ซม. จนถึง ระยะความยาวบนสายแถบโลหะเท่ากับ 500 ซม. ซึ่งเทียบเท่ากับความยาวบนแบบมาตรา Scale Calibrator (เครื่องวัดความยาว 5 เมตร Linear Encoder) เท่ากับ 460 ซม.) มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -0.005 มม.

$$C_s = -0.0005 \text{ cm.}$$

สรุปได้ว่า

$$L_{0S} = 500.0469 - 0.0005 \text{ cm.}$$
$$= 500.0464 \text{ cm.}$$

4. ปรับแก้ไขค่าระยะความยาวที่เครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งแสดงค่าความยาวเท่ากับ 500 ซม. (L_X= 5000.00 มม.) ไปที่ระยะความยาวที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 °Cและแก้ไขค่าแรงดึง (ถ้ามี) เราจะได้ค่าความยาวเท่ากับ

$$L_{0X} = L_X - C_{tX} - C_P$$

เมื่อ $C_{tX} = L_S \alpha_X (T - 20)$

$$C_{tX} = 500.383 \times 0.0000115(18.4 - 20) = -0.0920 \text{ mm.}$$

เนื่องจากถือว่ามีการถ่วงตุ้มน้ำหนักด้วยแรงเท่ากับตุ้มน้ำหนักของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ส่งผลให้เทอม C_P นี้เท่ากับ 0

$$C_P = 0$$

สรุปได้ว่า

$$L_{0X} = 500.00 - (-0.0092) - 0 = 500.0092 \text{ cm.}$$

5. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งเทียบกับแบบมาตราที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกันที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 °C จะได้เท่ากับ

$$\text{Error}_{\text{ref.}} = L_{0X} - L_{0S}$$
$$= 500.0092 - 500.0464 \text{ cm.}$$
$$= -0.0372 \text{ cm.}$$

พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จาการสอบเทียบหลังจากปรับค่าไปเปรียบเทียบที่ค่าความยาวอ้างอิงที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -0.0372 ซม = -0.372 มม. ซึ่งน้อยกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดโดยกฎกระทรวงฯ ที่ค่าความยาวเท่ากับ 5 เมตรกำหนดให้เท่ากับ ±1.3 มม. ถือว่าที่ระยะความยาว 500 ซม.ของเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง ผ่านการสอบเทียบ

ในการคำนวณที่ระยะต่างๆ ก็ดำเนินการคำนวณผลการสอบเทียบเช่นเดียวกันตัวอย่างข้างบนที่ให้ไว้ สรุปได้ดังใน ***ตารางที่ 2*** ทั้งนี้โดยยังยึดหลักเกณฑ์ที่ว่า ผลการสอบเทียบควรได้ความคลาดเคลื่อนไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง ตาม พ.ร.บ. มาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

แบบฟอร์มคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาวสายแถบโลหะ 10-50 เมตร

เลขที่ใบรายงานผล 5555(L)-54 เจ้าของเครื่อง บริษัท Thai Sounding Tape จำกัด P_0 (Newton) 20 $P_{(N)\ (newton)}$ 20

วันที่สอบเทียบ 14 กันยายน 2554 อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C แบบมาตรา Co. of Linear Exp. 0.00001080 /°C 0.000001800 /°C

พิกัดกำลัง 30 เมตร อุณหภูมิห้อง(เริ่ม/เสร็จ) 18.3 18.5 E (Young') kg./ mm² kg. / mm²

ชั้นชั้นมาตรา cl 1.0 มม. อุณหภูมิเฉลี่ย 18.4 °C เครื่องวัดความยาว(Co. of Linear Exp. 0.00001150 /°C

ยี่ห้อ Lufkin ความชื้นสัมพัทธ์(เริ่ม/เสร็จ) 43.8 43.3 E (Young') 21100.0 kg./ mm²

หมายเลข BBB 0003-54 ความชื้นสัมพัทธ์(เฉลี่ย) 43.6 % กว้าง (mm) 12.6 น.น.ลูกตุ้มถ่วง 200.00 (กรัม)

Serial No - หนา (mm) 0.53

No.	ระยะความยาว (cm.)							รูปแบบการวัด											ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ยกึ่งกลาง	หมายเหตุ
	10	15	20	23	25	30	50	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	กึ่งกลาง	กึ่งกลาง	(cm.)	
1	0	0	0	0	0	0	0															0.0000	0.0000	0.000	
2	10	10	10	10	10	10	10															10.0400	10.0500	10.045	ถ้าค่าแหน่งช่องนี้มีค่า
3	20	20	20	20	20	20	20															20.0500	20.0600	20.055	ค่าไม่ได้ให้ใส่ค่า 0.00
4	30	30	30	30	30	30	30															30.1000	30.1300	30.115	
5	40	40	40	40	40	40	40															40.1700	40.1900	40.180	
6	100	100	100	100	100	100	100	100														999.9940	999.9930	999.994	ใส่หน่วย mm.
7	150	200	200	200	200	200	200	200														1999.9010	1999.9000	1999.901	
8	200	300	300	300	300	300	300	300														2999.3390	2999.8160	2999.578	
9	250	400	400	400	400	400	400	400														4000.4260	4000.4250	4000.426	
10	300	500	500	500	500	500	500	500														5000.3830	5000.3820	5000.383	
11	400	700	700	700	700	700	700		700													6999.7830	6999.7850	6999.784	
12	500	900	900	900	900	900	900		900													8999.8780	8999.8780	8999.878	
13	600	1100	1100	1100	1100	1100	1100			1100												10999.7620	10999.7610	10999.762	
14	700	1300	1300	1300	1300	1300	1300			1300												12999.6630	12999.6610	12999.662	
15	800	1500	1500	1500	1500	1500	1500				1500											14999.7270	14999.7260	14999.727	
16	900		1700	1700	1700	1700	1700				1700											16999.7260	16999.7260	16999.726	
17	1000		1900	1900	1900	1900	1900					1900										18999.8350	18999.8360	18999.836	
18			2000	2100	2100	2100	2100					2100										20999.8300	20999.8280	20999.829	
19				2300	2300	2300	2300						2300									22999.9420	22999.9430	22999.94250	
20					2500	2500	2500						2500									24999.9590	24999.9600	24999.95950	
21						2700	2700							2700								27000.0820	27000.0820	27000.08200	
22						2900	2900							2900								29000.1040	29000.1070	29000.10550	
23						3000	3100							3000								30000.1210	30000.1190	30000.12000	
24							3300																		
25							3500																		
26							3700																		
27							3900																		
28							4100																		
29							4300																		
30							4500																		

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ

แบบฟอร์มคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องวัดความยาว 30 เมตร

เลขที่ใบรายงานผล 5555(L)-54

วันที่สอบเทียบ	14/9/54			อุณหภูมิอ้างอิง	20	°C	
พิกัดกำลัง	30	เมตร		อุณหภูมิห้อง (เริ่ม)	18.3	°C	
ยี่ห้อ	Lufkin	กว้าง (mm)	12.6	อุณหภูมิห้อง (เสร็จ)	18.5	°C	
หมายเลข	BBB 0003-54	หนา (mm)	0.53	อุณหภูมิเฉลี่ย	18.4	°C	
Serial No	-	d (mm.)	1	ความชื้นสัมพัทธ์ (เริ่ม)	43.8	%	
น้ำหนักลูกตุ้มถ่วง	200.00	กรัม		ความชื้นสัมพัทธ์ (เสร็จ)	43.3	%	
เจ้าของเครื่อง	บริษัท Thai Sounding Tape จำกัด			ความชื้นสัมพัทธ์ (เฉลี่ย	43.6	%	

แบบมาตรา	CBWM 008-54		6670-003-001-04 ขา		P_0 (Newton) 20
Co. of Linear Exp.	0.00001080	/°C	0.00001800	/°C	น.น.ที่ระบุบนสายแถบ
E (Young')		kg_f / mm^2		kg_f / mm^2	$P_{(N)\ (newton)}$ 20
ชิ้นงานสอบเทียบ					น.น.ตุ้มถ่วงที่ใช้จริง
Co. of Linear Exp.	0.0000115	/°C			
E (Young')	21100.0	kg_f / mm^2 หรือ N/mm^2			

$$Error_{rel} = (L_X - C_{IX} - C_P) - (L_S - C_{tS} + C_S)$$

$$= (L_X - L_S) + L_S(\alpha_S - \alpha_X)(T - 20) - (C_S + C_P)$$

ตำแหน่งทดสอบ	ระยะความยาว (cm)	ระยะความยาวที่วัดได้ของแบบมาตรา (ซม.) ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย (cm)	แบบมาตรา: แก้ไขความยาวมาที่ 20 °C C_{tS} (mm)	ผลผิดที่ 20 °C จากcer.สสวท/NIMT (mm)	ระยะความยาว ที่ 20 °C (cm)	สายแถบโลหะ: แก้ไขค่ามาที่ 20 °C C_{tX} (mm)	แก้ไขแรงดึง Cp (mm)	ระยะความยาว ที่ 20 °C (cm)	ผลผิด สายแถบโลหะที่ 20 C (mm)	Class I ± (0.1 + 0.1 L) (mm)	Class II กฎกระทรวงฯ ± (0.3 + 0.2 L) (mm)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.100	0.300
2	10	10.0400	10.0500	10.0450	100.4530	0.0000	10.0453	-0.0020	0.000	10.0002	-0.4510	0.110	0.320
3	20	20.0500	20.0600	20.0550	200.5560	0.0000	20.0556	-0.0040	0.000	20.0004	-0.5520	0.120	0.340
4	30	30.1000	30.1300	30.1150	301.1590	0.0000	30.1159	-0.0060	0.000	30.0006	-1.1530	0.130	0.360
5	40	40.1700	40.1900	40.1800	401.8070	0.0000	40.1807	-0.0070	0.000	40.0007	-1.8000	0.140	0.380
6	100	99.9994	99.9993	99.9994	1000.0110	0.020	100.0031	-0.0180	0.000	100.0018	-0.0130	0.200	0.500
7	200	199.9901	199.9900	199.9901	1999.9360	0.016	199.9952	-0.0370	0.000	200.0037	0.0850	0.300	0.700
8	300	299.9339	299.9816	299.9578	2999.6300	0.013	299.9643	-0.0550	0.000	300.0055	0.4120	0.400	0.900
9	400	400.0426	400.0425	400.0426	4000.4950	0.000	400.0495	-0.0740	0.000	400.0074	-0.4210	0.500	1.100
10	500	500.0383	500.0382	500.0383	5000.4690	-0.005	500.0464	-0.0920	0.000	500.0092	-0.3720	0.600	1.300
11	700	699.9783	699.9785	699.9784	6999.9050	0.020	699.9925	-0.1290	0.000	700.0129	0.2040	0.800	1.700
12	900	899.9878	899.9878	899.9878	9000.0340	0.010	900.0044	-0.1660	0.000	900.0166	0.1220	1.000	2.100
13	1100	1099.9762	1099.9761	1099.9762	10999.9520	0.020	1099.9972	-0.2020	0.000	1100.0202	0.2300	1.200	2.500
14	1300	1299.9663	1299.9661	1299.9662	12999.8870	0.010	1299.9897	-0.2390	0.000	1300.0239	0.3420	1.400	2.900
15	1500	1499.9727	1499.9726	1499.9727	14999.9860	0.020	1500.0006	-0.2760	0.000	1500.0276	0.2700	1.600	3.300
16	1700	1699.9726	1699.9726	1699.9726	17000.0200	0.010	1700.0030	-0.3130	0.000	1700.0313	0.2830	1.800	3.700
17	1900	1899.9835	1899.9836	1899.9836	19000.1640	0.020	1900.0184	-0.3500	0.000	1900.0350	0.1660	2.000	4.100
18	2100	2099.9830	2099.9828	2099.9829	21000.1920	0.010	2100.0202	-0.3860	0.000	2100.0386	0.1840	2.200	4.500
19	2300	2299.9942	2299.9943	2299.9943	23000.3400	0.020	2300.0360	-0.4230	0.000	2300.0423	0.0630	2.400	4.900
20	2500	2499.9959	2499.9960	2499.9960	25000.3920	0.010	2500.0402	-0.4600	0.000	2500.0460	0.0580	2.600	5.300
21	2700	2700.0082	2700.0082	2700.0082	27000.5490	0.020	2700.0569	-0.4970	0.000	2700.0497	-0.0720	2.800	5.700
22	2900	2900.0104	2900.0107	2900.0106	29000.6070	0.010	2900.0617	-0.5340	0.000	2900.0534	-0.0830	3.000	6.100
23	3000	3000.0121	3000.0119	3000.0120	30000.6380	-0.001	3000.0637	-0.5520	0.000	3000.0552	-0.0850	3.100	6.300
24	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.100	0.300
25	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.100	0.300
26	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.100	0.300
27	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.100	0.300

ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณสอบเทียบ

12. <u>เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบความเที่ยง</u>

12.1. Scale Accuracy (OIML 35-1: 4.2.1) กำหนดให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการสอบเทียบอย่างมากสุดต้องไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก หรือ Class I สำหรับแบบมาตรา (เมื่อ L เป็นจำนวนเต็มบวก หน่วย เมตร)

Scale Accuracy	Class I (OIML 35-1: 2007)	Class II (OIML 35-1: 2007)	กฎกระทรวงฯ 2546
MPE	± (0.1 + 0.1L) mm.	± (0.3 + 0.2 L) mm.	± (0.3 + 0.2 L) mm.

12.2. ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ไม่เกิน 1/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด *หรือ หากค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเกินกว่าที่กำหนดแต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.4*

12.3. ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ไม่เกิน 2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด *หรือหากค่าผลผิดมีค่าเกิน2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด แต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.4*

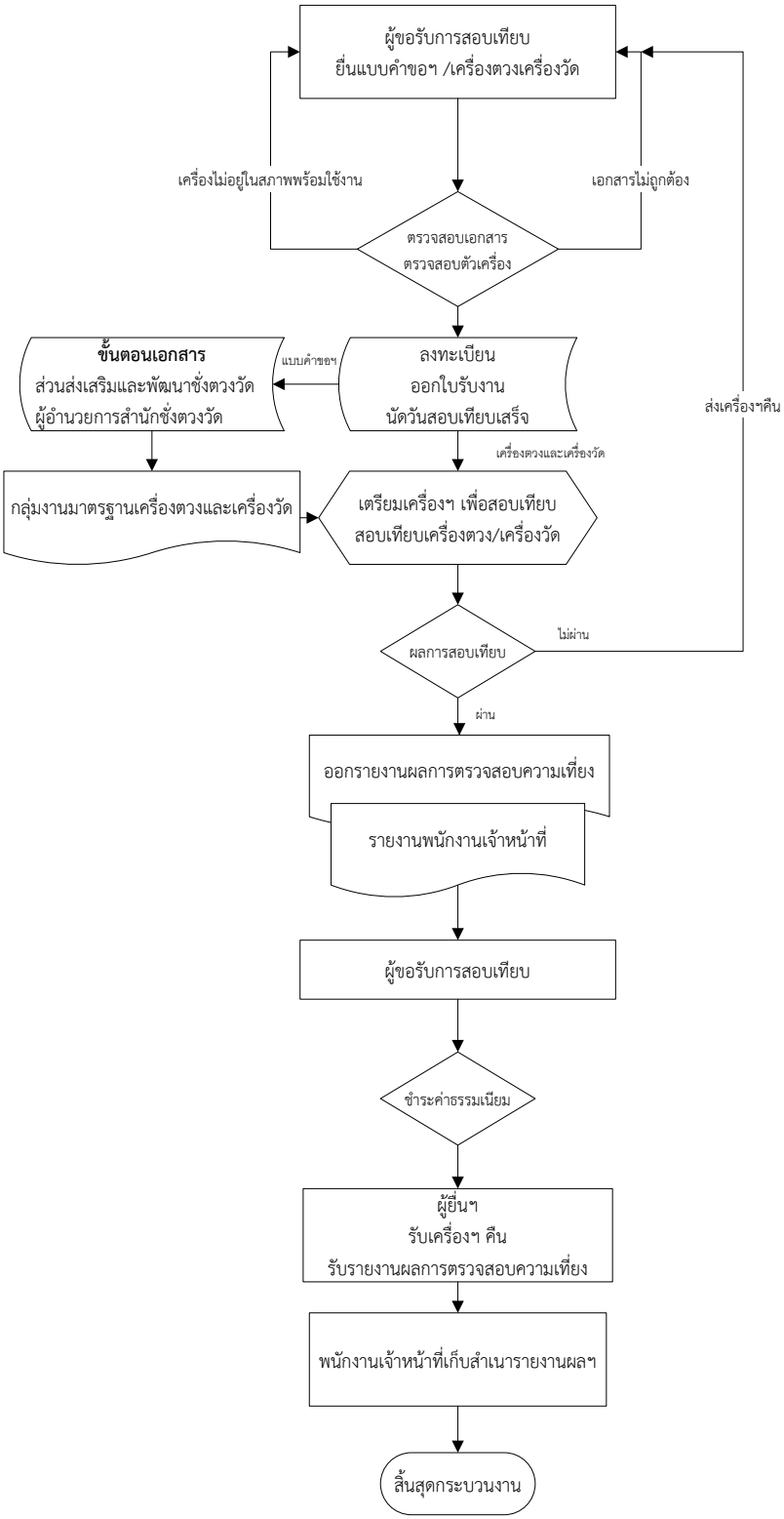
12.4. ผลรวมสัมบูรณ์ของค่าความไม่แน่นอนของการวัด และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ตามที่กำหนดไว้ใน กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2546

สรุป เครื่องวัดต้องให้ผลการสอบเทียบครบทั้ง 4 เงื่อนไขจึงถือว่าผ่านการสอบเทียบ หากผลการสอบเทียบไม่ผ่านเกณฑ์ตัดสินดังกล่าวห้องปฏิบัติการไม่ออกหนังสือรายงายผลการตรวจสอบความเที่ยง

13. <u>แบบฟอร์ม</u>

13.1. แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ WS-LEN-2020

14. ผังแสดงทางเดินงานและเอกสาร



15. <u>เอกสารที่เกี่ยวข้อง</u>

15.1. OPT-LEN-001 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดเวอร์เนียร์ไฮเกจ (Vernier Height Gage)

15.2. OPT-LEN-002 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่อง Linear Encoder (Heidenhain รุ่น LB 382C)

15.3. OPT-LEN-003 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)

15.4. OPT-LEN-004 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดคาลิเปอร์แบบนาฬิกา (Dial Caliper)

15.5. OPT-LEN-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)

15.6. OPT-LEN-006 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดเวอร์เนียร์ไฮเกจ (Vernier Height Gage)

15.7. OPT-LEN-007 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่อง Linear Encoder (Heidenhain รุ่น LB 382C)

เอกสารอ้างอิงในการประกอบจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. ***OIML R 35-1, Edition 2007(E)*** : Material Measures of Length for General Use
2. ***OIML R 35-2, Edition 2011(E)*** : Material Measures of Length for General Use. Part 2: Test methods
3. ***OIML R 35-3, Edition 2011(E)*** : Material Measures of Length for General Use. Part 3: Test report format
4. ***JIS B 7512, Edition 2005***: Steel Tape Measures
5. ***GMP No. 2, Good Measurement Practice for Reading the Center of Graduations when Using a Microscope***, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (NIST)
6. ***GMP No. 8, Good Measurement Practice for Recommended form for Reporting Tape Calibrations***, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (NIST)
7. ***GMP No. 9, Good Measurement Practice for Equations for Metallic Tapes,*** U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (NIST)
8. ***GMP No. 10, Good Measurement Practice for Understanding Factors Affecting Weighing Operations, U.S***. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (NIST) , 2012
9. ***GMP No. 11, Good Measurement Practice for Assignment and Adjustment of Calibration Intervals for Laboratory Standards***, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012
10. ***Calibration of the comparator for long length measures used for the verification/calibration of tape measures with high accuracy***, Elena Dugheanu, OIML Bulletin , Volume XLVIII, No. 4, October 2007
11. ***Measurement Good Practice Guide No. 11 (Issue 2)***, A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement, Stephanie Bell, Centre for Basic, Thermal and Length Metrology, National Physical Laboratory, 2001
12. ***M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 1***, UKAS (United Kingdom Accreditation Service), December 1997.

เอกสารแนบ

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)
2. ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว (Thermal Expansion Coefficient)ที่ช่วงอุณหภูมิห้อง
3. รูปแบบมาตรา Scale Calibrator และแบบมาตราเวอร์เนีย

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

สำนักชั่งตวงวัด
กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

CENTRAL BUREAU OF WEIGHTS & MEASURES

รายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง *(Calibration Report)* 1/1

เลขที่รายงาน *Report Number*	1032(L)-57	**เครื่องวัดความยาว** *Measuring Instrument*	สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง *Sounding Tape*		
วันที่สอบเทียบ *Calibration Date*	14 กันยายน 2557 *September 14, 2014*	**พิกัดกำลัง (เมตร)** *Nominal Value (m)*	30	**ขีดขั้นหมายมาตรา (มม.)** *Scale Interval (mm)*	1
สถานที่สอบเทียบ *Calibration Place*	สำนักชั่งตวงวัด *CBWM, Nonthaburi, TH*	**หมายเลขลำดับการผลิต** *Serial number*	-	**น้ำหนัก sinker (ก.)** *Sinker Weight (g.)*	350
เจ้าของเครื่อง *Owener*	บริษัท พี.เค. โพรเกรสซีฟ เซอร์วิส จำกัด *P.K. PROGRESSIVE SERVICE COMPANY LIMITED* 52,54 ถ.นวมินทร์ 74 แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว กทม. 10230	**เลขลำดับประจำเครื่อง** *CBWM Official Number*	703-0016-57	**ผู้ผลิต** *Maunfacturer*	Nihon Doki

สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ *(Calibration Condition)*

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) *Ambient Temperature (°c)*	20 ± 3	**ความชื้นสัมพัทธ์** *Relative Humidity (%)*	50 ± 15

วิธีการสอบเทียบ *(Calibration Procedure)*

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ เลขที่ SOP-LEN-202 สอบเทียบเครื่องวัดความยาวชนิดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งด้วยแบบมาตรา Scale Calibrator

Based on Standard Operating Procedure No. SOP-LEN-202; Comparing Flexible Steel Tape Measures With Tensioning Weight Or Sinker With The Scale Calibrator.

แบบมาตราอ้างอิง *(Reference Standard)*

แบบมาตราหมายเลข *Reference Standard No.*	พิกัดกำลัง *Capacity (mm.)*	ขีดขั้นหมายหมาตราต่ำสุด *Resolution (mm.)*	เลขที่ใบรายงาน *Certificate No.*
CBWM 0008-54	0 - 5000	0.001	DL-0077-14
6670-003-001-04 ชว.	0 - 450	0.02	*13L3559*

แบบมาตราที่ใช้สอบเทียบสามารถสอบกลับได้ถึงระบบหน่วยสากล (SI Unit) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย)

The standards are traceable to SI Unit maintained at National Institute of Metrology (Thailand), NIMT.

ผลการสอบเทียบ *(Calibration Result)*

ความยาวที่แสดง (ซม.) *Nominal Length (cm)*	ความยาวแก้ไข (มม.) *Correction (mm)*	ความยาวที่แสดง (ซม.) *Nominal Length (cm)*	ความยาวแก้ไข (มม.) *Correction (mm)*	ความยาวที่แสดง (ซม.) *Nominal Length (cm)*	ความยาวแก้ไข (มม.) *Correction (mm)*
0	0.000	900	0.042	3000	-0.061
10	*	1100	0.058		
20	0.198	1300	0.037		
30	0.196	1500	0.025		
40	0.175	1700	-0.039		
100	0.195	1900	-0.028		
200	0.114	2100	-0.012		
300	0.125	2300	0.003		
400	0.134	2500	-0.016		
500	0.118	2700	-0.040		
700	0.040	2900	-0.089		

Length of Sounding Tape = Nominal Length (cm) + Correction (mm)/10

ค่าความไม่แน่นอนของการวัด *(Measurement Uncertainty)* ± (0.13 + 0.000106L) mm.

L: ค่าความยาวของสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งหน่วยเป็นเซนติเมตร (The length value of Sounding Tape, unit as centimeter.)

* ตำแหน่งความยาวนี้ไม่มีข้อมูลสอบเทียบ (There is no available data at this point of length value.)

ค่าความไม่แน่นอนของการวัด *(Measurement Uncertainty)*

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่รายงานอยู่บนพื้นฐานของความไม่แน่นอนมาตรฐานคูณด้วยตัวประกอบครอบคลุม k = 2, ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

The reported uncertainty of measurement is based on a standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor k = 2, providing confidence level approximately 95%.

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง
Person in Charge
นายบุรินทร์ พรมศรี
Mr. Burin Promsri

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ
Head of Laboratory
นายพิชิต สิรินทรโสภณ
Mr. Pichit Sirintarasophon
22 ตุลาคม 2557

SAMPLE

44/100 หมู่ 1 ถ.นนทบุรี 1 ต.บางกระสอ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 44/100 Moo 1 Nonthaburi 1 Rd., Bangkraso, Muang, Nonthaburi 11000
TEL. (662) 547-4343, (662) 547-4345 FAX. (662) 547-4342, (662) 547-4346 E-mail cbwm@cbwmthai.org http://www.cbwmthai.org

2. ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว (Thermal Expansion Coefficient) ที่ช่วงอุณหภูมิห้อง

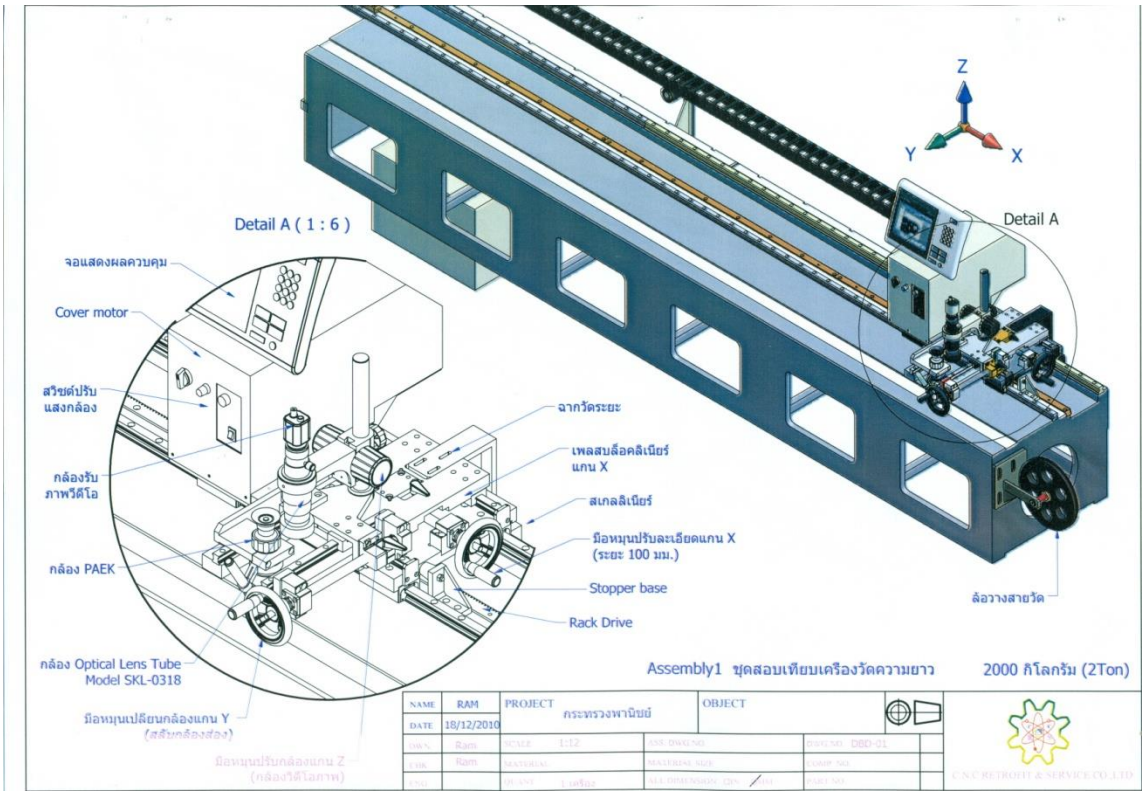
วัสดุ	Thermal expansion coefficient (m/m /°K)	Young Modulus of Elasticity N/mm^2
Aluminum	0.0000222	
Brass	0.0000187	100667 (14.6 x 10^6 psi)
Bronze (92Cu-8Sn)	0.0000182	110,320 (16 x 10^6 psi)
Cast Iron Gray(JIS G5501 (1976) FC25)*	**0.0000108**	**89,635 – 118,594 (13 x 10^6 psi -17. x 10^6 psi)**
Cast Irons ;Gray irons, Grade G1800 Grade G3000 Grade G4000	0.0000114	
Cast Irons ;Ductile irons, Grade 60-40-18 Grade 80-55-06	0.0000112 0.0000106	
Copper	0.0000166	110,320 (16 x 10^6 psi)
Copper, Beryllium 25	0.0000178	
Diamond	0.00000110	1,139,744 (1,140GPa)
Gold	0.00001420	74,466 (10.8 x 10^6 psi)
Hastelloy C	(6.3 in/in/F)	205,471 (29.8 x 10^6 psi)
invar	0.0000015	
Iron, pure	0.0000120	
Iron, cast	0.0000104	
Iron, forged	0.0000113	
Lead	0.0000280	13,790 (2 x 10^6 psi)
Monel	0.0000135	179,270 (26 x 10^6 psi)
Platinum	0.0000090	
Silver	0.0000195	68,950 -75,845 (10 x 10^6 psi – 11 x 10^6 psi)
Steel	0.0000130	
Steel, tape, mild	0.0000116	
Steel, low carbon	0.0000117	206,850 (30 x 10^6 psi)
Stainless Steel Steel Stainless Austenitic (304) Steel Stainless Austenitic (310) Steel Stainless Austenitic (316) Steel Stainless Martensitic (410/DIN1.4006) Steel Stainless Martensitic (420/DIN1.4021)	 0.0000173 0.0000144 0.0000160 0.0000099 0.0000105	 206,953.425 (207 GPa) 199,955 (29 x 10^6 psi) 193,060 (28 x 10^6 psi) 199,955 (29 x 10^6 psi) 199,955 (29 x 10^6 psi)
Tin	0.0000234	41,370 (6 x 10^6 psi)
Zinc	0.0000297	82,740 (12 x 10^6 psi)

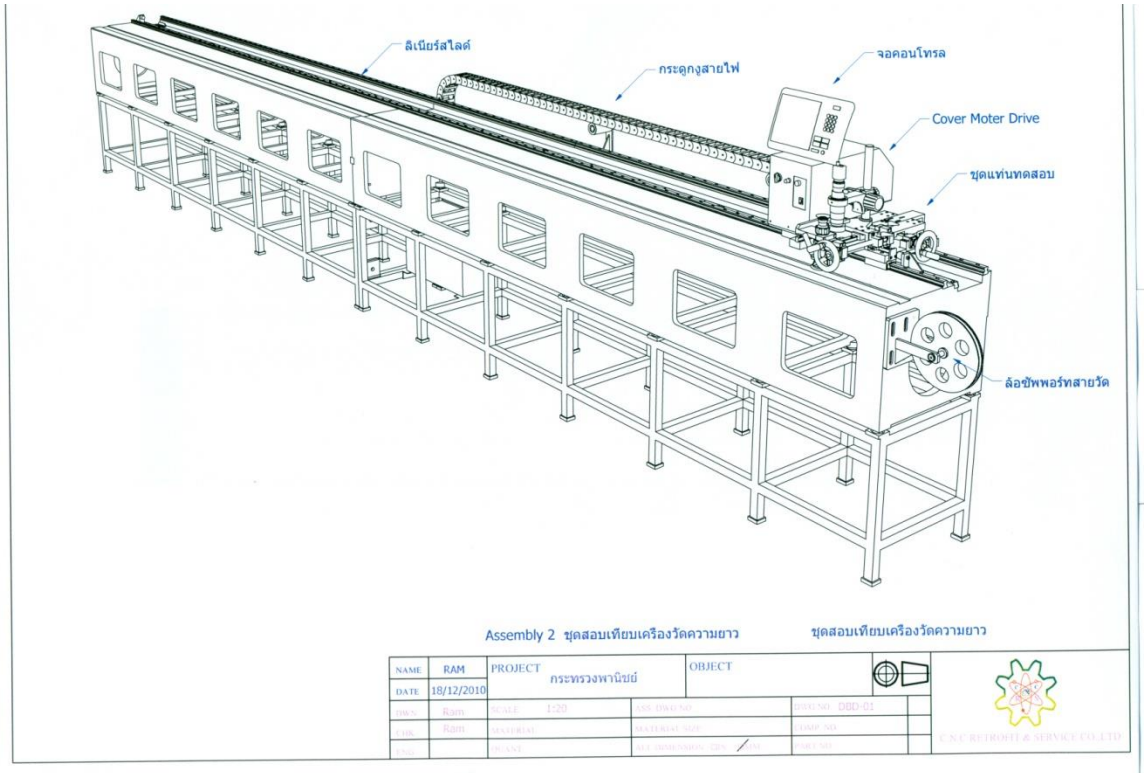
หมายเหตุ 1. ***เทียบเท่า ASTM A48 Gray Iron Casting , Class 35 (Tensile Strength ไม่น้อยกว่า 35 klb/in^2 (35 x 6.89 kPa))**

2. การแปลงหน่วย

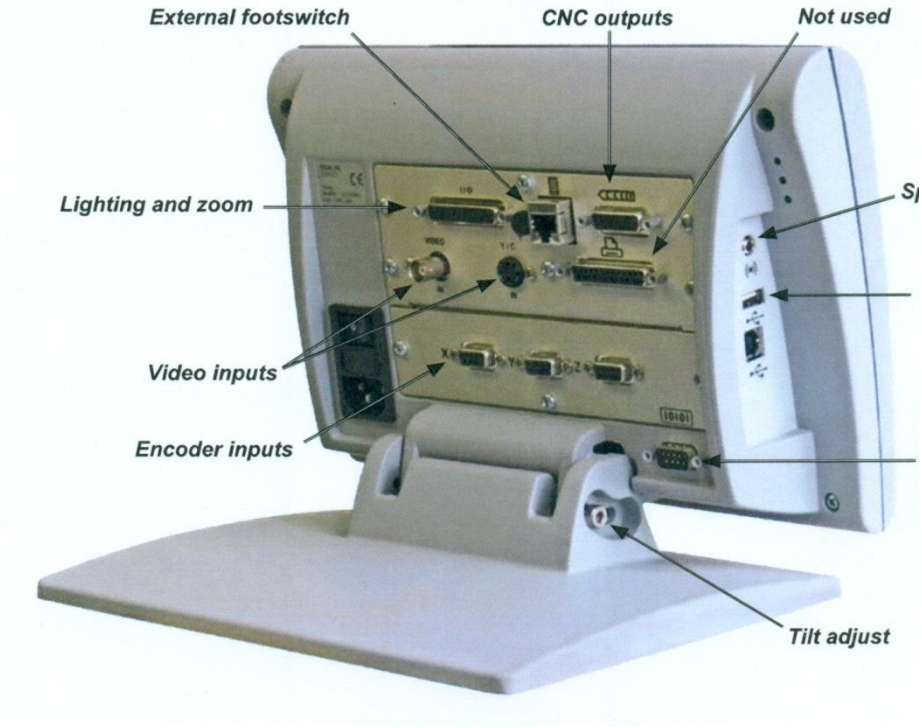
- 1 psi (lb/in^2) = 144 psi$_f$ (lbf/ft^2) = 6,894.8 Pa (N/m^2) = 6.895x10^{-3} N/mm^2
- 1 GPa = 0.145x10^6 psi (lb$_f$/in^2)
- 1 x 10^6 psi = 6.9 GPa
- 1 lb = 4.448 N
- 1 kgf/mm^2 = 9.81 N/mm^2

3. รูปแบบมาตรา Scale Calibrator และแบบมาตรา Height Gauge


Z
Y
X
Detail A (1 : 6)
Detail A
จอแสดงผลควบคุม
Cover motor
สวิชต์ปรับแสงกล้อง
กล้องรับภาพวีดีโอ
กล้อง PAEK
กล้อง Optical Lens Tube Model SKL-0318
มือหมุนปรับกล้องแกน Y
มือหมุนปรับกล้องแกน Z (กล้องวีดีโอภาพ)
ฉากวัดระยะ
เพลสบล็อคลิเนียร์ แกน X
สเกลลิเนียร์
มือหมุนปรับละเอียดแกน X (ระยะ 100 มม.)
Stopper base
Rack Drive
ล้อวางสายวัด
Assembly1 ชุดสอบเทียบเครื่องวัดความยาว 2000 กิโลกรัม (2Ton)
NAME RAM PROJECT กระทรวงพานิชย์ OBJECT
DATE 18/12/2010
DWN Ram SCALE 1:12 DBD-01
CHK Ram
ENG 1 เครื่อง
C.N.C RETROFIT & SERVICE CO.,LTD


ลิเนียร์สไลด์
กระดูกงูสายไฟ
จอคอนโทรล
Cover Moter Drive
ชุดแท่นทดสอบ
ล้อซัพพอร์ทสายวัด
Assembly 2 ชุดสอบเทียบเครื่องวัดความยาว
ชุดสอบเทียบเครื่องวัดความยาว
NAME RAM PROJECT กระทรวงพานิชย์ OBJECT
DATE 18/12/2010
DWN Ram SCALE 1:20 DBD-01
CHK Ram
C.N.C RETROFIT & SERVICE CO.,LTD

Command wide keys
Printing reports and sending data
LCD Screen functions
System functions
Video DRO panel
Auto-enter function
Feature list
Number keys
Contrast threshold adj
enter
finish
cancel
quit
Command buttons
Measure functions
LCD ON/OFF


External footswitch
CNC outputs
Not used
Lighting and zoom
Video inputs
Encoder inputs
Tilt adjust