



บทความวิชาการ

การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสเกล

Scale Vernier Caliper Calibration

ศิริศร มิตรานนท์^{1*} และ ชัชวาล พรพัฒน์กุล²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

²สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2219-3861 E-mail: chatchaval@ptwit.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ กล่าวถึงความไม่แน่นอนขยายในระบบการวัดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสเกลที่มีค่าความละเอียด ± 0.05 มม. โดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS B7507:1997) เป็นแนวทางในการสอบเทียบ 3 ขั้นตอนในย่านการวัดตั้งแต่ 5.00 มม. – 150.00 มม. ผลการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสเกลด้วยแท่งความยาวมาตรฐาน เกรด 0 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ขนาด 100.00 มม. $+1.4$ ไมโครเมตร ปรากฏว่าไม่สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสเกลได้ แต่สามารถหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมที่เกิดจากระบบการวัดตามแนวทางมาตรฐาน EA-4/02 ได้ ในบทความนี้ จึงนำเสนอการหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ซึ่งพบว่าที่ย่านการวัดสูงสุด 150.00 มม. มีความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ ± 0.06 มม. ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

คำสำคัญ: เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสเกล การสอบเทียบ ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ความไม่แน่นอนขยาย

Abstract

This paper discusses the expanded uncertainty in the measurement system of the scale vernier caliper which has ± 0.05 mm resolution. Japanese Industrial Standard (JIS B7507: 1997) is employed for 3 steps calibration in the range beginning from 5.00 mm to 150.00 mm. The result of calibration with a Gauge Block, Grade 0 which has $+1.4 \mu\text{m}$ maximum error in range of 100.00 mm

shows that the error cannot be found while the combined standard uncertainty of measurement can be found with the EA-4/02 guideline. Consequently, the total combined uncertainty calculation is presented in this paper. It is found that the expanded uncertainty in the measurement system at the maximum range of 150.00 mm is ± 0.06 mm is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k=2$, providing a level of confidence is 95% approximately.

Keywords: scale vernier caliper, calibration, combined standard uncertainty, expanded uncertainty

1. คำนำ

มาตรวิทยาทางด้านมิติในประเทศไทยประกอบด้วย 8 ส่วนด้วยกัน[1]ดังนี้ 1.การวัดความยาวคลื่น ซึ่งถือเป็นมาตรฐานปฐมภูมิ โดยที่ทุกส่วนของการวัดทางด้านมิติจะต้องถูกสอบเทียบด้วยการวัดความยาวคลื่นซึ่งเป็นหน่วยวัดมาตรฐาน (SI-Unit) เรียกว่า ไอโอดีนสเตบิลไลซ์ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ (Iodine Stabilized He-Ne Laser) มีความยาวคลื่นของแสงสีแดง $\lambda = 633$ นาโนเมตร และความยาวคลื่นของแสงสีเขียว $\lambda = 543$ นาโนเมตร ซึ่งมีความเสถียรของความยาวคลื่นในระดับ ± 1 นาโนเมตร 2.การวัดความยาวโดยการใช่แท่งความยาวมาตรฐาน (Gauge Block) มีอยู่ 4 เกรดด้วยกันคือ เกรด k เกรด 0 เกรด 1 และ เกรด 2 การสอบเทียบแท่งความยาวมาตรฐาน เกรด k จะต้องสอบเทียบด้วย ไอโอดีนสเตบิลไลซ์ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ แต่ถ้าเป็นแท่งความยาวมาตรฐาน เกรด

0-2 สามารถใช้เครื่องเปรียบเทียบเทียบผล (Gauge Block Comparator) เป็นเครื่องมือในการสอบเทียบ 3.การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง เช่น การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของวงแหวนชนิด Ring gauge, Plug gauge, Thread gauge, Bore gauge, Taper gauge, Snap gauge, Spline gauge 4.การวัดมุม (Angular) 5. การวัดความเรียบผิว (Surface Texture) 6. การวัดรูปแบบ (Form) เช่น Dial gauge 7. การวัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine: CMM) 8.การวัด Line Scale ส่วนมากจะเป็นไม้บรรทัดแก้วที่มีความละเอียดสูง ติดตั้งในเครื่องจักร CNC

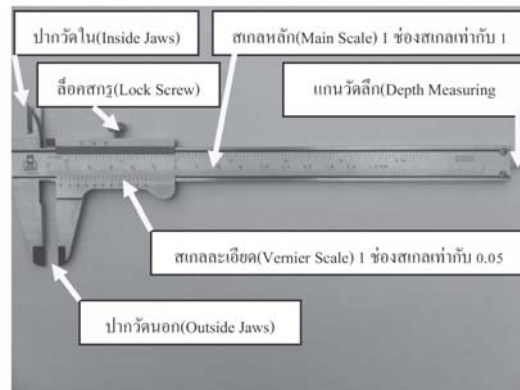
เครื่องมือวัดความยาวจะต้องเป็นระบบหน่วยวัดสากล คือ เมตร (Metre: m) และเครื่องมือวัดนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะใช้วัด เช่น ไม้บรรทัด เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์ และCMM เป็นต้น ในบทความนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการสอบเทียบเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกลที่ใช้ในงานที่ต้องการควบคุมคุณภาพในการผลิต ในการสอบเทียบเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล ค่าความละเอียด 0.05 มม. จะใช้แท่งความยาวมาตรฐานเกรด 0 ของศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 100.00 มม.+ 1.4 ไมโครเมตร แต่ไม่สามารถประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A ได้ เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองในการวัดตลอดช่วงการวัด 3 ครั้งจะอ่านค่าได้เท่ากัน จึงไม่สามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ แต่สามารถประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B ได้โดยเป็นการประเมินด้วยการตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์ อาศัยพื้นฐานจากข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในการสอบเทียบครั้งนี้ซึ่งเป็นการค้นพบที่แปรที่แปรได้ในแต่ละแหล่งของความไม่แน่นอน จำนวน 8 ค่าด้วยกัน แล้วนำมาหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมโดยการหาจากรากที่สองที่เป็นผลบวกของความแปรปรวนรวม จากนั้นคำนวณหาตัวประกอบครอบคลุมของความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมและสุดท้ายก็จะได้ความไม่แน่นอนขยายของระบบการวัดของเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล

2. หลักการใช้งานเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล [2]

2.1 โครงสร้างของเวอร์เนียคาลิเปอร์

เวอร์เนียคาลิเปอร์ใช้ในการวัดความยาวหรือขนาด โดยเลื่อนปากวัดทั้งสองให้สัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการ

วัด อ่านค่าจากสเกลหลักและสเกลละเอียดร่วมกัน สามารถวัดได้ 4 แบบ คือ วัดนอก วัดใน วัดลึกและวัดแบบขั้นบันได รูปที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล ส่วนที่เป็นปากวัดด้านซ้ายจะอยู่กับที่ ส่วนปากวัดด้านขวาสามารถเลื่อนได้ตามขนาดของชิ้นงาน ก่อนเริ่มวัดจะต้องปรับตั้ง “0” ก่อนทุกครั้งโดยเลื่อนปากวัดทั้งสองให้มาชิดสนิทกัน และผิวของปากวัดจะต้องสะอาด ชิด 0 ของสเกลละเอียดจะต้องตรงกับขีด 0 ของสเกลหลักเสมอจึงจะนำไปใช้งาน



รูปที่ 1 โครงสร้างเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล

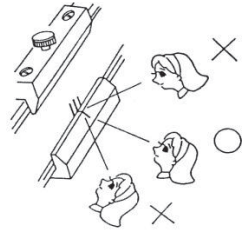
พิสัย	ความละเอียด	ความถูกต้อง	ความเรียบ	ความขนาน
0-150	0.05/0.02	$\pm 0.05/0.03$	0.01	± 0.03
0-200	0.05/0.02	$\pm 0.05/0.03$	0.03	± 0.03
0-300	0.05/0.02	$\pm 0.05/0.03$	0.03	± 0.03
0-600	0.05	± 0.1	0.03	± 0.03
0-1000	0.05	± 0.15	0.03	± 0.03

หมายเหตุ หน่วยเป็น มม. ที่ 20°C

2.2 การอ่านเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกล

ตำแหน่งของสายตาในการอ่านค่าเวอร์เนียคาลิเปอร์ต้องอยู่ในแนวตรง ถ้าอ่านค่าเอียงไปด้านใดด้านหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2 จะทำให้การอ่านค่าเกิดความผิดพลาดได้ (Parallax error) ในการตรวจสอบการอ่านค่าในลักษณะนี้ จะทำได้โดยการเปลี่ยนผู้อ่านแต่ใช้อุปกรณ์เดิม เงื่อนไขเดิม

เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกลจะมีความละเอียดตามมาตรฐาน JIS มีด้วยกัน 3 แบบคือ 0.02 มม. 0.05 มม. 0.10 มม.(กรณีแบบดิจิตอลและแบบหน้าปัดนาฬิกาจะมีความละเอียด 0.01 มม.)



รูปที่ 2 การอ่านค่าเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่ถูกต้อง

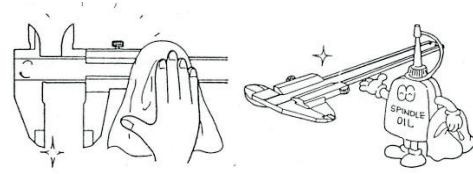
การใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์ Piston-Cylinder ดังแสดงในรูปที่ 3 สามารถอ่านค่าได้ดังนี้ ชิด 0 ของสเกลละเอียดจะชี้ระหว่าง 17 มม. ถึง 18 มม. ของสเกลหลัก เนื่องจากสเกลหลัก 1 ชิดมีค่าเท่ากับ 1 มม. หมายความว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์ Piston-Cylinder จะมีขนาดมากกว่า 17 มม. แต่ไม่เกิน 18 มม. จากนั้นให้สังเกตขีดของสเกลละเอียดโดยเริ่มจากขีด 0 จะเห็นว่ามีขีด 7.5 ของสเกลละเอียดตรงกับสเกลหลักที่ขีด 4.7 โดยที่สเกลละเอียดอื่น ๆ ไม่ตรงกับสเกลหลักเลย จึงสามารถอ่านค่าที่สเกลละเอียดได้อีก 0.75 มม. เนื่องจากสเกลละเอียดมีค่า 1/20 มม. หรือ 0.05 มม. ดังนั้น จึงอ่านค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบสเกลคือ 17 มม. + 0.75 มม. = 17.75 มม.



รูปที่ 3 การอ่านค่าเวอร์เนียคาลิเปอร์

2.3 การใช้งาน การบำรุงรักษาและข้อควรระวัง

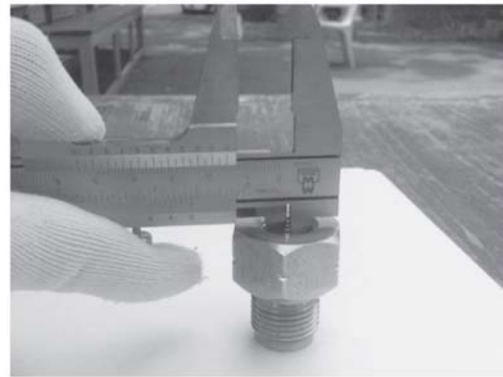
การใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดชิ้นงานที่ถูกต้องนั้น ต้องวัดที่บริเวณกึ่งกลางของปากวัดเช่นในรูปที่ 3 และชิ้นงานต้องขนานกับปากวัด ก่อนและหลังการใช้งานเวอร์เนียคาลิเปอร์ จะต้องทำความสะอาดทุกครั้งโดยใช้ผ้านุ่มเช็ด แต่ถ้าไม่ได้ใช้ทุกวันต้องเคลือบด้วยน้ำมันกันสนิมหรือวาสลินทุกครั้ง เมื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ให้ใช้แอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาดก่อนทุกครั้ง



รูปที่ 4 การบำรุงรักษา

2.4 การประยุกต์ใช้งานเวอร์เนียคาลิเปอร์

รูปที่ 5 เป็นการประยุกต์ใช้งานปากวัดในของเวอร์เนียคาลิเปอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของข้อต่อเกลียว ตรงตามมาตรฐานสากล DIN 3852 หรือ JIS PT หรือมาตรฐานของกลุ่มอุตสาหกรรมเช่น SAE J512



รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้งานของเวอร์เนียคาลิเปอร์

2.5 เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

2.5.1 แท่งความยาวมาตรฐาน

แท่งความยาวมาตรฐานจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 3650:1998 และทำจากวัสดุ เช่น เหล็ก ทังสเตนคาร์ไบด์ และเซรามิก เป็นต้น โดยแบ่งระดับค่าความถูกต้องของแท่งความยาวมาตรฐานเป็นเกรด เริ่มที่เกรดสูงสุดคือ เกรด k, 0, 1 และ เกรด 2 ในการสอบเทียบแท่งความยาวมาตรฐานเป็นการถ่ายค่าความถูกต้องจากเกรดที่สูงไปยังเกรดที่ต่ำกว่าโดยใช้เครื่องเปรียบเทียบผลเป็นตัวอ่านเฉพาะเกรด 0, 1 และ 2 ส่วน เกรด k จะต้องสอบเทียบด้วยเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Gauge Block Interferometer) เท่านั้น

ชุดแท่งความยาวมาตรฐานเกรด 0 จะมีขนาดตั้งแต่ 1.005 – 100.00 มม. ถ้าต้องการสอบเทียบเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่สูงกว่า 100.00 มม. ก็สามารถนำแท่งความยาวมาตรฐานมาต่อกันได้ (Wring Gauge Block) เพื่อให้ได้ขนาดระยะตามที่ต้องการและต้องรวมค่าแก้ (Correction Value) ของแท่งความยาวมาตรฐานทุกชิ้นที่นำมาต่อกัน ผิวของแท่งความยาว

มาตรฐานที่ค่าจะต้องสะอาดไม่มีรอยขีดข่วน เมื่อไม่ใช้งาน จำเป็นต้องใช้วาสลินทาให้ทั่ว



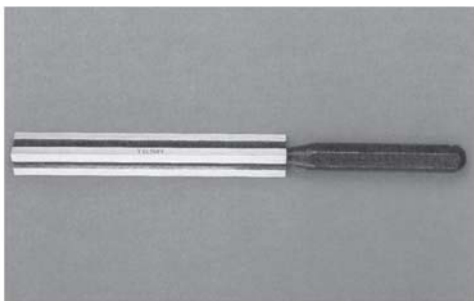
ความยาวที่ถูกต้องของแท่งความยาว
มาตรฐานคือระยะกึ่งกลางจากผิว
ด้านบนถึงด้านล่าง



รูปที่ 6 ชุดแท่งความยาวมาตรฐานเกรด 0

2.5.2 ตัวมาตรฐานความตรง (Triangular Straightness Edge)

ตัวมาตรฐานความตรงใช้วัดความเรียบของปากวัดนอก มีลักษณะแบบใบมีดดังรูปที่ 7 เมื่อจะใช้งานให้ใช้ประกบกับปากวัดนอกแล้วส่องดูว่า มีแสงลอดผ่านปากวัดนอกหรือไม่ โดยประเมินผลด้วยการสังเกตว่า ผ่านหรือไม่ผ่าน แต่ส่วนมากจะใช้วิธีการปิดปากวัดนอกของเวอร์เนียคลิปปเปอร์ให้สนิทแล้วส่องดูกับแสงไฟว่ามีแสงลอดผ่านปากวัดนอกหรือไม่ ซึ่งสามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า



รูปที่ 7 ตัวมาตรฐานความตรง

2.5.3 ไมโครมิเตอร์สอบเทียบปากวัดใน

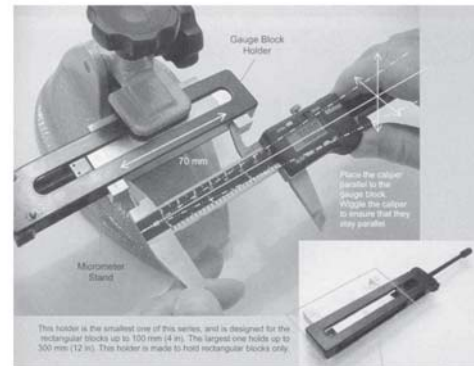
การสอบเทียบปากวัดในของเวอร์เนียคลิปปเปอร์จะใช้ไมโครมิเตอร์เป็นมาตรฐานเนื่องจากไมโครมิเตอร์จะมีความละเอียด 0.001 มม.

ตัวอย่างจากรูปที่ 8 เป็นการสอบเทียบปากวัดในของเวอร์เนียคลิปปเปอร์ที่ 20.00 มม. โดยอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์ครั้งที่ 1 ได้ 19.993 มม. ครั้งที่ 2 ได้ 19.994 มม. ครั้งที่ 3 ได้ 19.992 มม. และมีค่าเฉลี่ย 3 ครั้งเท่ากับ 19.993 มม. ดังนั้น ค่าผิดพลาดของปากวัดในเวอร์เนียคลิปปเปอร์ มีค่าเท่ากับ 20.00 มม. - 19.993 มม. = + 0.007 มม.



รูปที่ 8 ไมโครมิเตอร์สอบเทียบปากวัดใน

ในการสอบเทียบ มีชุดจับแท่งความยาวมาตรฐานเพื่อความสะดวกแสดงรูปที่ 9



รูปที่ 9 ชุดจับแท่งความยาวมาตรฐาน

2.5.4 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อแท่งความยาวมาตรฐาน

การหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแท่งความยาวมาตรฐาน หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t \quad (1)$$

โดยที่ ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ (m)

L คือ ความยาวของแท่งโลหะมาตรฐานที่ระบุไว้ (Nominal Size)

α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of Thermal Expansion)

Δt คือ อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ - 20°C

ตัวอย่างเช่น แท่งความยาวมาตรฐานทำด้วยเหล็กมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว $= 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ที่อุณหภูมิห้อง 30°C จากสมการที่ (1) พบว่า แท่งความยาวมาตรฐานขนาด 1 มิลลิเมตร เปลี่ยนไป 0.000115 มิลลิเมตร และถ้าแท่งความยาวมาตรฐานมีขนาด 25 มิลลิเมตร จะเปลี่ยนไป 0.002875 มิลลิเมตร หมายความว่า ขนาดของแท่งความยาวมาตรฐาน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโลหะ ด้วยเหตุนี้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิอ้างอิงให้มากที่สุด

3. การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสากล

3.1 ขั้นตอนและวิธีการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

แบบสากล[3]

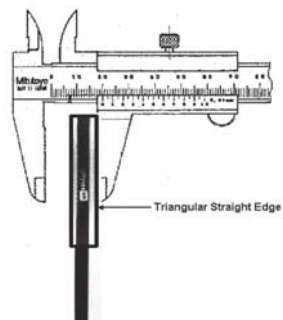
ขั้นตอนการสอบเทียบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS B7507:1993) มี 3 ขั้นตอนดังนี้

- วัดความเรียบของปากวัดนอก
- วัดความขนานของปากวัดนอกและปากวัดใน
- วัดความผิดพลาด

หมายเหตุ บทความนี้จะนำเสนอการสอบเทียบปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบสากลเท่านั้น

3.1.1 การตรวจสอบความเรียบของผิวปากวัดนอก

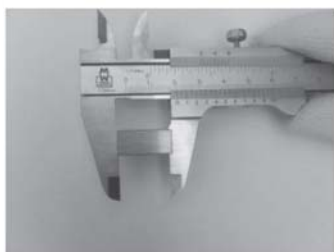
การตรวจสอบจะใช้ตัวมาตรฐานความตรงประกบกับปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วส่องไฟดูว่ามีแสงลอดผ่านหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่าความเรียบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ถ้ามีแสดงว่าผิวของปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ไม่เรียบจะต้องตรวจสอบด้วยเครื่อง Mu-Checker Probe



รูปที่ 10 วัดความเรียบของปากวัดนอก

3.1.2 การวัดค่าความขนานของปากวัดนอก

ในบทความนี้ จะใช้แท่งความยาวมาตรฐานที่ค่าระบุ 25.00 มม. วัดตำแหน่ง บน กลางและล่างของปากวัดนอกดังรูปที่ 11 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดยวัดตำแหน่งละสามครั้ง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 11 การวัดค่าความขนานของปากวัดนอก

3.1.3 การวัดความผิดพลาด

ในบทความนี้ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์พิสัย 0-150 มม. และใช้แท่งความยาวมาตรฐานเกรด 0 ตลอดอ่านการวัด จะได้ผลการสอบเทียบตามตารางที่ 2 จากการวัดสามครั้งพบว่าไม่สามารถหาค่าความผิดพลาดได้เนื่องจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีความละเอียดในการอ่านค่าเพียง 0.05 มม. เท่านั้นจึงไม่สามารถมองเห็นความผิดพลาดในระดับไมครอนได้ ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 มม.

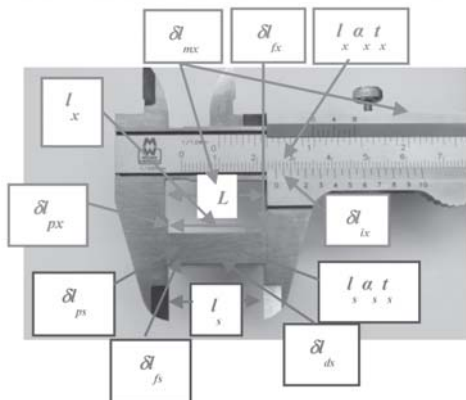
ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบหาค่าความผิดพลาด (มม.)

N Value ค่าระบุ	C_s ค่าแก้	True Value ค่าจริง	Read-Out		
			1	2	3
5	+0.00003	5.00003	5.00	5.00	5.00
25	+0.00001	25.00001	25.00	25.00	25.00
50	+0.00015	50.00015	50.00	50.00	50.00
75	-0.00012	74.99988	75.00	75.00	75.00
100	+0.00014	100.00014	100.00	100.00	100.00
150	+0.00015	150.00015	150.00	150.00	150.00

3.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจะใช้แนวทางของ EA-4/02 แหล่ง(สาเหตุ)ที่มาของค่าความไม่แน่นอนมีดังนี้

- l_s คือ Length of the Gauge Block
- l_x คือ Indication Length of the Vernier
- δl_{ds} คือ Stability of the Gauge Block
- α_x คือ Thermal Expansion of Vernier
- α_s คือ Thermal Expansion of the Gauge Block
- t_x คือ Temperature of the Vernier
- t_s คือ Temperature of the Gauge Block
- δl_{ix} คือ Resolution of the Vernier
- δl_{mx} คือ Mechanical Effect of the Vernier
- δl_{fx} คือ Flatness of the Vernier
- δl_{fs} คือ Flatness of the Gauge Block
- δl_{px} คือ Parallelism of the Vernier
- δl_{ps} คือ Parallelism of the Gauge Block
- δl_{ws} คือ Wring Gauge Block



รูปที่ 14 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอน[4]

3.2.1 เทคนิคการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีสองส่วน คือส่วนที่มาจากแท่งความยาวมาตรฐาน (Standard(s)) และส่วนที่มาจากเครื่องมือวัด (Unknown(x)) ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$Standard(s) = Unknown(x) \text{ หรือ } Gauge\ Block = Vernier$$

หรือจากรูปที่ 14

$$l_s + \delta l_{ds} + \delta l_{ws} + l_s \alpha_s t_s = l_x + \delta l_{ix} + \delta l_{fx} + \delta l_{px} + \delta l_{mx} + l_x \alpha_x t_x \quad (2)$$

และในการคำนวณหา ค่าแก้ (Correction) จะแทนสมการที่

(2) ลงในสมการที่ (3)

$$Correction (C_x) = Standard - Unknown \quad (3)$$

จะได้

$$C_x = l_s - l_x + \delta l_{ds} + \delta l_{ws} - \delta l_{ix} - \delta l_{fx} - \delta l_{px} - \delta l_{mx} + l_s \alpha_s t_s - l_x \alpha_x t_x$$

และเมื่อกำหนดให้ $l_s = l_x : l_0$ จะได้

$$C_x = l_s - l_x + \delta l_{ds} + \delta l_{ws} - \delta l_{ix} - \delta l_{fx} - \delta l_{px} - \delta l_{mx} + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

3.2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (Type A)

ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดซ้ำ $u(l_x)$ หรือ u_A

คือ

$$u(l_x) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าวัดค่าได้เท่ากับทุกค่า ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sigma_{n-1} = 0.00$ มม. และจำนวนครั้งของการวัด $n = 3$ ครั้ง ดังนั้น จากสมการที่ (4) จะได้

$$u(l_x) = \frac{0.00 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.00 \text{ mm}$$

3.2.3 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (Type B)

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงค่าความไม่แน่นอนที่ต้องนำมาประเมินเพื่อหาค่าของความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมและความไม่แน่นอนขยายต่อไป

(1) ค่าความไม่แน่นอนขยายของแท่งความยาวมาตรฐาน $u(l_s)$ หรือ u_{B1} จากใบรับรองการสอบเทียบที่ค่าระบุ 150 มม. ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ($k=2$) มีค่าเท่ากับ $0.1 \mu\text{m} + 1.0 \times 10^{-6} \times l$ หรือมีค่าเท่ากับ 0.00025 mm เมื่อ l คือความยาวของเกจบล็อก 150 มม. และในระดับที่ความเชื่อมั่นประมาณ 68% ($k=1$) จะได้

$$u(l_s) = \frac{\text{Expanded Uncertainty}}{k} = \frac{0.00025 \text{ mm}}{2} = 0.000125 \text{ mm}$$

(2) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความคงตัวของแท่งความยาวของมาตรฐาน $u(\delta l_{ds})$ หรือ u_{B2} คือ

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{\text{Stability of Gauge Block}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

หมายเหตุ: จาก ISO3650/JIS B7506

ตารางที่ 3 ความไม่คงตัวหรือความไม่เสถียร

Grade	Maximum Permissible Change in Length per Year
K, 0	$\pm(0.02 \mu\text{m} + 0.25 \times 10^{-6} \times l_p)$
1, 2	$\pm(0.05 \mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} \times l_p)$
NOTE: l_p is expressed in millimeters.	

และจากตารางที่ 3 จะได้

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{0.00002 + (0.25 \times 10^{-6} \times 150)}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.000033 \text{ mm}$$

(3) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการต่อแถบล้อค
 $u(\delta l_{ws})$ หรือ u_{B3} คือ

$$u(\delta l_{ws}) = \frac{\text{Wringing Error}}{\sqrt{3}} = \frac{0.00002}{\sqrt{3}} = 0.000012 \text{ mm} \quad (6)$$

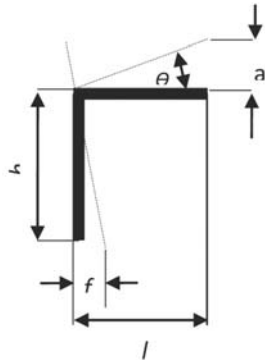
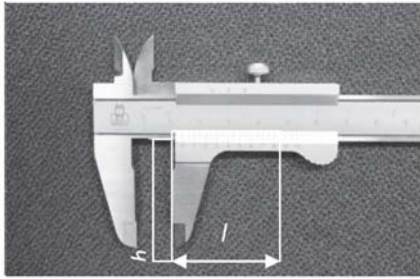
(4) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดหรือ
ความสามารถในการแยกชัด $u(\delta l_{ix})$ หรือ u_{B4} คือ

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Resolution}}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.02886 \text{ mm} \quad (7)$$

(5) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิ $u(\Delta T)$ หรือ u_{B5} คือ

$$u(\Delta T) = c_i \times \frac{u(\Delta T)}{\sqrt{3}} = l_0 \times \alpha \times \left(\frac{u(\Delta T)}{\sqrt{3}} \right) \quad (8)$$

$$= 150 \times 11.5 \times 10^{-6} \times \frac{1}{^\circ\text{C}} \times \left(\frac{3^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \right) = 0.0029 \text{ mm}$$



รูปที่ 15 ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากโครงสร้างบนสเกลหลัก

(6) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความเรียบของ
ปากวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์ $u(\delta l_{px})$ หรือ u_{B6} คือ

$$u(\delta l_{px}) = \frac{\text{Flatness}}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ mm} \quad (9)$$

หมายเหตุ : Flatness of Measure Jaw Vernier Caliper
= 0.005 mm จาก ISO 6906-1984

(7) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความขนานของ
ปากวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์ $u(\delta l_{px})$ หรือ u_{B7} คือ

$$u(\delta l_{px}) = \frac{\text{Parallelism}}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ mm} \quad (10)$$

หมายเหตุ : Parallelism of Measuring Jaw Vernier Caliper
= 0.01 mm จาก ISO 6906-1984

(8) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลกระทบ
ทางด้านโครงสร้างของเวอร์เนียคาลิเปอร์ $u(\delta l_{mx})$
หรือ u_{B8} ดังแสดงในรูปที่ 15 คือ

$$f = h\theta = h \frac{a}{l} \quad (11)$$

ตัวอย่างเช่น ข้อผิดพลาดตรงการเคลื่อนที่ทางตรง
ของสไลเดอร์ (a) = 0.01 มม. ความยาวสูงสุดตลอดช่วงการ
วัด (l) = 150 มม. ทำการวัดชิ้นงานขนาด 50 มม. โดยที่ปาก
วัดนอกมีความยาว (h) = 40 มม.

จากสมการที่(11) จะได้ $f = 0.003 \text{ mm}$ และจะได้

$$u(\delta l_{mx}) = \frac{\text{Mechanical effect}}{\sqrt{3}} = \frac{0.003 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.0017 \text{ mm} \quad (12)$$

3.2.4 ค่าความไม่แน่นอนรวม

ค่าความไม่แน่นอนรวม u_c คือการกระจายความ
น่าจะเป็นแบบปกติที่ความเชื่อมั่นประมาณ 68 % กล่าวคือ

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 + u_{B5}^2 + u_{B6}^2 + u_{B7}^2 + u_{B8}^2}$$

จากค่าที่ได้ในหัวข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 จะได้

$$u_c = 0.0297 \text{ mm}$$

3.2.5 ค่าความไม่แน่นอนขยาย

ในการหาค่าความไม่แน่นอนขยายนั้น จะต้องหา
ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor) k ก่อน โดยหา
ค่าองศาความเป็นอิสระตามแนวทางของ EA-4/02 โดยใช้
สมการของ Welch-Satterwaite Equation ดังนี้

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}} = \frac{0.0297^4}{\left(\frac{\infty}{3-1} \right)^4} = \infty \quad (13)$$

หลังจากนั้น จึงนำค่า v_{eff} ที่คำนวณได้และมีค่า
มากกว่า 100 ไปเทียบหาค่า k จากตารางที่ 4 ผลการเทียบ
ตาราง Student's "t" Distribution ที่ค่าความเชื่อมั่นประมาณ
95% จะได้ค่า $k = 2.00$ ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนขยาย คือ

$$U_{95\%} = k \times u_c = 2 \times 0.0297 = \pm 0.06 \text{ mm} \quad (14)$$

ตารางที่ 4 Student's "t" Distribution

V_{eff}	1	2	3	4	5	6
$t_{95\%}(V)$	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52

V_{eff}	7	8	10	20	100	∞
$t_{95\%}(V)$	2.43	2.37	2.28	2.13	2.00	2.00

ตารางที่ 5 การประเมินค่าความไม่แน่นอน 0.00-150.00 มม.

N	U_c	V_{eff}	k-factor	$\pm U_{95\%}$
5	0.0060317	2481782	2.00	0.01
25	0.0060409	2496885	2.00	0.01
50	0.0060692	2544032	2.00	0.01
75	0.0061160	2623435	2.00	0.02
100	0.0081809	2736553	2.00	0.03
150	0.0297625	3072685	2.00	0.06

ตารางที่ 6 รายงานผลการสอบเทียบ (หน่วยเป็น มม.)

N	$C_x - U_{95\%}$	C_x	$C_x + U_{95\%}$	$\pm U_{95\%}$
5	-0.01	0.00	+0.01	0.01
50	-0.01	0.00	+0.01	0.01
75	-0.02	0.00	+0.02	0.02
100	-0.03	0.00	+0.03	0.03
150	-0.06	0.00	+0.06	0.06

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนและวิธีการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบสเกลด้วยแท่งความยาวมาตรฐานเกรด 0 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ขนาด 150.00 มม. +1.4 ไมโครเมตร พบว่า ที่ย่านการวัด 5.00-50.00 มม. มีค่าความไม่แน่นอนขยาย ± 0.01 มม. ที่ย่านการวัด 75.00 มม. มีค่าความไม่แน่นอนขยาย ± 0.02 มม. ที่ย่านการวัด 100.00 มม. มีค่าความไม่แน่นอนขยาย ± 0.03 มม. และที่ย่านการวัดสูงสุด 150.00 มม. มีค่าความไม่แน่นอนขยาย ± 0.06 มม. ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมที่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากการสอบเทียบ รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูลเพื่อการเขียนบทความในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุสรณ์ ทนหมื่นไวย. *บทเรียนมาตรวิทยา*. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2553, หน้า 28-32
- [2] Richard P H Lee. *Metrology Handbook*. Mitutoyo Institute of Metrology, 2005.
- [3] EA-4/02. *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*. European Co-operation for Accreditation, 1999.
- [4] International Standardization Organization. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement; GUM*. first Edition, 1995.

ประวัติผู้เขียนบทความ

อาจารย์สิริสร มิตรานนท์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-โทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และระดับปริญญาโท วิศวกรรมไฟฟ้า-โทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ Measurement System, Metrology & Calibration, Telecommunication System.



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวาล พรพัฒน์กุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบและอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ Metrology & Calibration, Measurement System, Industrial Process Control System.