

## ประสิทธิภาพของตัวเข้ารหัสแบบหมุนเพื่อเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็ก

## Performance of rotary encoder for steel ruler calibration

วสิน ชมโฉม<sup>a,b</sup>, วิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ<sup>a,\*</sup>Wasin Chomshom<sup>a,b</sup>, Wiwat Wongkokua<sup>a,\*</sup><sup>a</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900<sup>b</sup>สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ คลองหลวง ปทุมธานี 12120<sup>a</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand<sup>b</sup>National Institute of Metrology (Thailand), Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

\*Corresponding author. E-mail address: wiwat.w@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวเข้ารหัสแบบหมุน โดยการจัดสร้างเครื่องมือสำหรับเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่มีองค์ประกอบหลักคือใช้ตัวเข้ารหัสแบบหมุนมาเป็นตัวอ่านค่าความยาว ซึ่งมีระบบวงเลื่อนที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ใช้สเต็ปมอเตอร์ในการบังคับการเคลื่อนที่ และใช้การตรวจจับเส้นสเกลบนบรรทัดเหล็กด้วยกล้องจุลทรรศน์ มีระบบคั่นหาระยะทางระหว่างเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการเทียบมาตรฐานแสดงเป็นค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าแก้ และความไม่แน่นอน อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องมือเทียบมาตรฐานที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น เพื่อคำนวณค่าสัดส่วน  $E_n$  จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบหมุนมีความสามารถเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กได้เนื่องจากมีค่าสัดส่วน  $E_n$  น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงผลการวัดสอดคล้องกับค่าอ้างอิง

**คำสำคัญ:** เครื่องมือเทียบมาตรฐานด้านความยาว, ตัวเข้ารหัสแบบหมุน, บรรทัดเหล็ก

## Abstract

This research aims to study the performance of the rotary encoder. A semi-automatic instrument was fabricated based on a rotary encoder for length scale reading. The translation state system was linear type motivated by a stepping motor. The scale lines of a steel ruler can be detected by a microscope. The distance between the adjacent lines can be calculated by the software. The measurement results were reported as errors or corrections with associated uncertainties. Moreover, we compared the measurement results with the linear encoder instrument to compare the  $E_n$  ratios. From the results, the instrument based on the rotary encoder was enabled to calibrate a steel ruler because the  $E_n$  ratios less than one that indicates the measurement results correspond to the reference values.

**Keywords:** Rotary encoder, Scale calibration machine, Steel ruler

## คำนำ

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดด้านความยาวนั้นมียู่มากมายหลายชนิด รวมถึงเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถนำมาใช้ด้วยกันได้ มีทั้งแบบความแม่นยำไปจนถึงความแม่นยำในระดับนาโนเมตร มีทั้งเครื่องมือวัดที่ใช้งานในสภาวะแวดล้อมทั่วไปจนถึงเครื่องมือวัดที่ต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมเป็นอย่างดี โดยราคาของเครื่องมือมีตั้งแต่หลักพันบาทไปจนถึงหลักล้านบาท โดยความแตกต่างมาจากเทคโนโลยีที่นำมาใช้รวมถึงระดับความแม่นยำและความไม่แน่นอนที่วัดได้ บรรทัดเหล็กซึ่งเป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคยเนื่องจากมีราคาถูก (พนัญญา, 2558) การเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือเทียบมาตรฐานที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น (linear encoder) ซึ่งเป็นเครื่องมือเทียบมาตรฐานที่นิยมใช้กันในห้องปฏิบัติการทั่วไป เนื่องจากตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้นเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาสูง (ยุทธนา, 2552) จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือเทียบมาตรฐานที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบหมุน (rotary encoder) เพื่อทำการเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็ก ซึ่งสามารถใช้เทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กเกรด 2 ได้ (Kraiprawes et al., 2008) โดยจะเรียกวิธีการนี้ว่า การเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กด้วยสเกลอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถสืบมาตรฐานไปยังระบบของหน่วยวัดมูลฐาน (SI base units) ในงานวิจัยนี้ได้ประดิษฐ์เครื่องมือเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กโดยใช้ตัวเข้ารหัสแบบหมุน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเทียบมาตรฐาน โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัด และการเปรียบเทียบผลกับเครื่องมือเทียบมาตรฐานที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติที่ประดิษฐ์ขึ้นมานี้มีองค์ประกอบต่างๆ แสดงดัง Fig. 1(A) นำมาใช้ในการเทียบมาตรฐานความยาวของบรรทัดเหล็กหรือตลับเมตร โดยมีองค์ประกอบหลักคือตัวเข้ารหัสแบบหมุนต่อเข้ากับปลายด้านหนึ่งของชุดรางเลื่อนแบบเชิงเส้น ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยสกรูบอล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm มีความยาวตลอดทั้งเส้น 400 mm ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับสเต็ปป์มอเตอร์ ปลายทั้งสองด้านของชุดรางเลื่อนจะมีอะลูมิเนียมยึดหยุ่นได้เชื่อมต่ออยู่ เพื่อให้ทั้งสเต็ปป์มอเตอร์และตัวเข้ารหัสแบบหมุนทำงานไปพร้อมกัน และสามารถทำงานได้เมื่อเกิดการบิดเล็กน้อย ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ CCD มาติดอยู่บนชุดรางเลื่อนเพื่อหาตำแหน่งของเส้นสเกลบนบรรทัดเหล็ก ซึ่งเส้นสเกลของบรรทัดเหล็กจะมีตัวเลขบอกระยะทุกๆ 1 cm ในการขับเคลื่อนชุดรางเลื่อนนี้จะใช้แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ต่อเข้ากับ สเต็ปป์มอเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์ทำงานเป็นขาเข้า พร้อมกับตัวเข้ารหัสแบบหมุนเป็นขาออก ได้ออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ โดย 1 รอบการหมุนของตัวเข้ารหัสจะได้รับสัญญาณ 16,384 พัลส์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวดึงสัญญาณพัลส์ออกมาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ และใช้การเขียนโปรแกรม (Labview) หาความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการกระระยะการเคลื่อนที่ ในรูปแบบฟังก์ชันเส้นตรง เพื่อวิเคราะห์หาสมการ การถดถอย ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดเทียบกับสเกลมาตรฐาน จำนวนสัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเข้ารหัสแบบหมุนจะนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความชันและจุดตัดแกน Y ในสมการเส้นตรงเพื่อใช้ทำนายแนวโน้มจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (วรวิทย์, 2564; อุทิศ, 2558) ก่อนที่จะนำเครื่องมือมาใช้ในการเทียบมาตรฐาน บรรทัดเหล็กจะต้องทำการเทียบมาตรฐานเครื่องมือก่อนโดยใช้สเกลมาตรฐานเป็นตัวอ้างอิง โดยแบ่งช่วงความยาวของการเทียบมาตรฐานเครื่องมือออกเป็นสามช่วง ช่วงแรกเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 mm เริ่มจาก 0.5 mm ถึง 3 mm ช่วงที่สองเพิ่มขึ้นทีละ 3 mm เริ่มจาก 3 mm ถึง 30 mm และช่วงสุดท้ายเพิ่มขึ้นทีละ 30 mm เริ่มจาก 30 mm ถึง 300 mm ทำการวัดซ้ำกัน 3 ครั้ง และประเมินความไม่แน่นอนของเครื่องมือ จากนั้นจึงทำการเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กและรายงานความไม่แน่นอนของการวัด

บรรทัดเหล็กมาตรฐานจะแบ่งออกเป็นสองเกรดตามคุณสมบัติ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (maximum permissible error; MPE) ของผู้ใช้งาน ตาม Equation 1 และ Equation 2 ตามลำดับ การเทียบมาตรฐาน บรรทัดเหล็กจะใช้วิธีมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS B 7516:2005 ที่ระบุมาตรฐานบรรทัดเหล็กไว้ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ จะแบ่งตามค่าของความยาว  $\{L\}$  ในหน่วย mm (Akasaka and Minato-ku, 2005)

สำหรับเกรด 1 :

$$\pm \left( 0.10 + 0.05 \times \frac{\{L\}}{500} \right) \text{ mm} \quad (1)$$

สำหรับเกรด 2 :

$$\pm \left( 0.10 + 0.10 \times \frac{\{L\}}{500} \right) \text{ mm} \quad (2)$$

การเปรียบเทียบผลการวัดจะใช้แบบจำลองทางสถิติ วิธีการประเมินผลที่ใช้กันทั่วไปคือ การคำนวณค่าสัดส่วน  $E_n$  ตาม Equation 3 เมื่อ  $x$  คือ ค่าผลการวัดของเครื่องมือ และ  $U$  คือ ค่าความไม่แน่นอนของการวัด ส่วนตัวห้อย lab และ ref คือ ค่าผลการวัดที่ได้จากตัวเข้ารหัสแบบหมุน และตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น ตามลำดับ

$$E_n = \frac{x_{\text{lab}} - x_{\text{ref}}}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}} \quad (3)$$

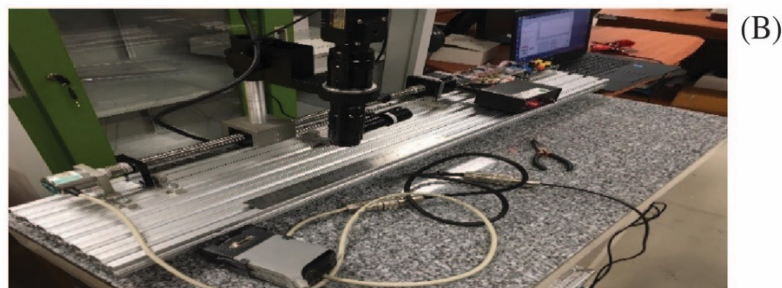
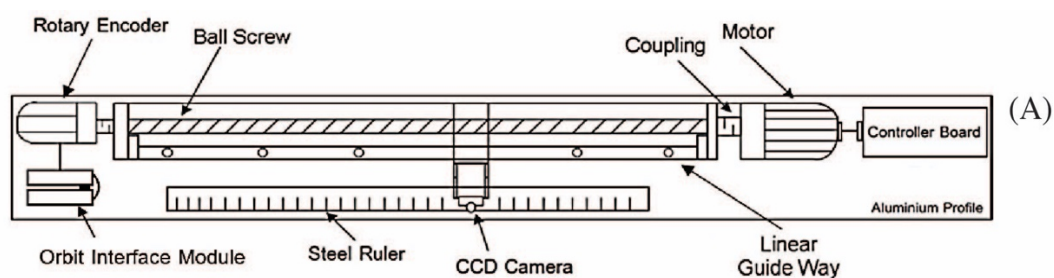


Fig. 1 The scale calibration using rotary encoder: (A) model illustrates; (B) scale calibration machine

## ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

Table 1 Calibration of steel ruler

No.	Nominal Length (mm)	Measurement (mm)	Correction (mm)
1	300.0	300.177	-0.18
2	300.0	300.156	-0.16
3	300.0	300.142	-0.14
4	300.0	300.168	-0.17
5	300.0	300.136	-0.14
6	300.0	300.154	-0.15
7	300.0	300.126	-0.13
8	300.0	300.150	-0.15
9	300.0	300.161	-0.16
10	300.0	300.145	-0.14
Average		300.151	-0.15

จาก Table 1 แสดงผลการเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กที่มีความยาว 300 mm โดยทำการวัดซ้ำสิบครั้ง และคำนวณค่าแก้ไขค่าเฉลี่ยของผลการวัดเท่ากับ 300.151 mm จากค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ของบรรทัดเหล็กเกรด 2 ขนาด 300 mm ซึ่งเท่ากับ  $\pm 0.16$  mm ตามมาตรฐาน JIS B 7516:2005 จะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้เทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กเกรด 2 ได้อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาค่าของความไม่แน่นอนประกอบด้วย

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะแบ่งออกเป็น Type A และ Type B การประเมิน Type A คือ ความไม่แน่นอนมาตรฐาน  $u(x_i)$  ของค่าประมาณอินพุต  $x_i$  ประเมินจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของผลการวัดที่ซ้ำๆ กัน และการประเมิน Type B คือ ความไม่แน่นอนมาตรฐานของค่าประมาณอินพุต ที่ไม่ใช่เป็นผลของการวัดซ้ำๆ กัน สามารถประเมินได้จากการตัดสินใจในเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้พื้นฐานของข้อมูลที่เป็นไปได้ของความแปรผันของ  $x_i$  ซึ่งรวมไปถึงข้อมูลในใบรับรองการเทียบมาตรฐาน ข้อกำหนดจำเพาะของผู้ผลิต ความไม่แน่นอนที่กำหนดไว้ในข้อมูลที่ต้องการจากคู่มือ หรือปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเทียบมาตรฐาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น (เพียร์, 2554; บรรจบ และอัจฉรา, 2549) จากผลการวัดประเมินความไม่แน่นอน Type A ได้เท่ากับ  $4.79 \times 10^{-3}$  mm ส่วนการประเมิน Type B จะมาจากความละเอียดของเครื่องมือวัด มีค่าเท่ากับ  $2.89 \times 10^{-3}$  mm ความละเอียดของบรรทัดเหล็ก มีค่าเท่ากับ  $1.44 \times 10^{-1}$  mm และความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐานที่ได้จากใบรับรองการเทียบมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ  $1.10 \times 10^{-4}$  mm เมื่อนำมาคำนวณหาความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ( $u_c$ ) และหาความไม่แน่นอนขยาย ( $U_c$ ) กับตัวประกอบครอบคลุม ( $k$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.144 mm และ 0.29 mm แสดงดัง Table 2

Table 2 Uncertainty budget of measurements

Quantity ( $X_i$ )	Estimate ( $x_i$ )	Standard Uncertainty $u(x_i)/\text{mm}$	Probability Distribution	Sensitivity Coefficient ( $c_i$ )	Uncertainty Contribution $u(y_i)/\text{mm}$
Repeatability of measurement, $u_{\text{rep}}$	300 mm	$4.79 \times 10^{-3}$	Normal	1	$4.79 \times 10^{-3}$
Readability of machine, $u_{\text{res-std}}$		$2.89 \times 10^{-3}$	Rectangular	1	$2.89 \times 10^{-3}$
Readability of Steel Ruler, $u_{\text{res-uuc}}$		$1.44 \times 10^{-1}$	Rectangular	1	$1.44 \times 10^{-1}$
Uncertainty of standard, $u_{\text{std}}$		$1.10 \times 10^{-4}$	Normal	1	$1.10 \times 10^{-4}$
Measured Length, $u_{\text{ml}}$		Combined uncertainty, $u_c$			0.144
		Expanded uncertainty, $U, k = 2$			0.29

งานวิจัยนี้ไม่จำเป็นต้องประเมินความไม่แน่นอนเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้น เนื่องจากได้ทำในห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรองมาตรฐาน ISO/IEC17025 ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  และ  $50 \pm 10\% \text{ RH}$  จึงทำให้ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยาว และยังมีผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นที่อยู่ในระหว่างการวิจัย คือ  $19.4^\circ\text{C}$  ถึง  $20.2^\circ\text{C}$  และ  $52.0\% \text{ RH}$  ถึง  $56.4\% \text{ RH}$  ตามลำดับ

การเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างตัวเข้ารหัสแบบหมุนกับตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น ในด้านความยาวมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดใกล้เคียงกัน ดังแสดงใน Fig. 2A โดยทำการเปรียบเทียบระยะของบรรทัดเหล็กที่เพิ่มขึ้นทีละ 30 mm เริ่มจาก 30 mm ถึง 300 mm รวมทั้งหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก Equation 3 สามารถนำมาคำนวณค่าสัดส่วน  $E_n$  แสดงใน Fig. 3B ค่าสัดส่วน  $E_n$  ที่มากที่สุดคือ -0.79 โดยมีพิสัยความเผื่อเท่ากับ  $\pm 1$  จึงทำให้ผลการวัดนี้สอดคล้องกับค่าอ้างอิงที่เป็นผลการวัดของตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้น ผลของการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด คือการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ ตามนิยามใน ISO/IEC17043:2010 (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2010)

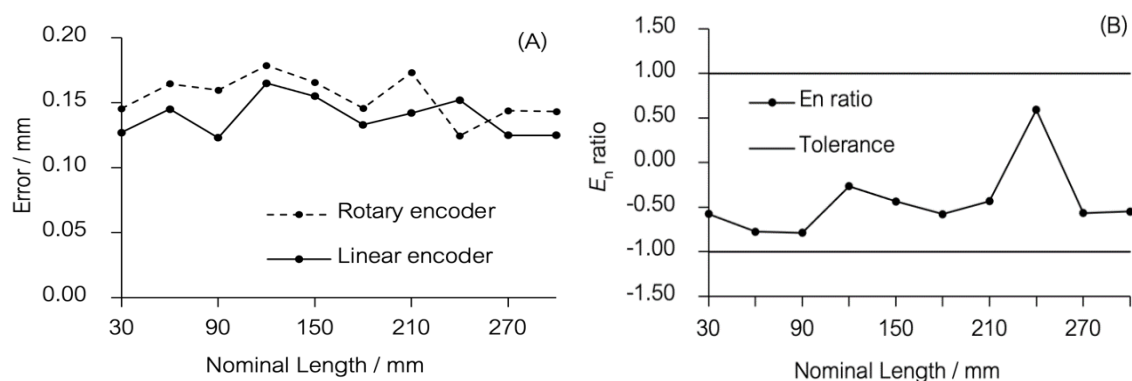


Fig. 2 Comparison of measurement results between rotary encoder and linear encoder: (A) error of measurement results, (B)  $E_n$  ratio

## สรุป

ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการเทียบมาตรฐานของตัวเข้ารหัสแบบหมุนเท่ากับ 0.011 mm เมื่อนำมาเทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กที่มีความยาว 300 mm ได้ค่าความคลาดเคลื่อน 0.15 mm และความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.29 mm เมื่อวัดเปรียบเทียบผลกับตัวเข้ารหัสแบบเชิงเส้นซึ่งเป็นค่าอ้างอิง ได้อัตราส่วน  $E_r$  น้อยกว่า 1 จึงสอดคล้องกับค่าอ้างอิง แสดงให้เห็นว่าตัวเข้ารหัสแบบหมุนมีประสิทธิภาพสามารถใช้เทียบมาตรฐานบรรทัดเหล็กเกรด 2 ได้ตามค่าความถูกต้องของบรรทัดเหล็ก Equation 2

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสนับสนุนงานวิจัยและการนำเสนอผลงาน จากหน่วยปฏิบัติการวิจัยมาตรวิทยาและฟิสิกส์ของอุปกรณ์ (MPIR) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## เอกสารอ้างอิง

- บรรจบ สุขทัต, อัจฉรา เจริญสุข. 2549. ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of measurement). เอกสารประกอบการสอนหลักสูตร The program on measurement standard. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ.
- พนัญญา สมวงษ์. (2558). ระบบสอบเทียบบรรทัดเหล็กในอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพียร โตทำโรง. 2554. ระบบมาตรวิทยา. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปทุมธานี. หน้า 1–17.
- ยุทธนา หงส์อารมณกิจ. 2552. การสอบเทียบไม้บรรทัดเหล็ก. Metrology Info. 11(53): 12–15.
- วรวิทย์ จันทรสุวรรณ. 2564. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม MS Excel. [https://web.rmutp.ac.th/worawith/?page\\_id=8206](https://web.rmutp.ac.th/worawith/?page_id=8206), 27 ตุลาคม 2564.
- สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. 2010. จังหวะของเวลา. Metrology Info. 12(58): 14–16.
- อุทิศ. 2558. การประยุกต์ใช้สูตร excel สำหรับวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น. <http://learning-be.blogspot.com/2015/01/excel.html>, 20 ตุลาคม 2564.
- Akasaka, Minato-ku, Translated. 2005. Metal rules. In: Tokyo: Japanese Industrial Standard (JIS B 7516). Japanese Standards Association. pp. 2–6.
- Kraiprawes, S., Tonmueanwai, A., Tangamchit, P. 2008. Automatic ruler scale calibration using a rotary machine. Department of Control System and Instrumentation Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok, Thailand.