

ผลกระทบของระบบปรับตั้งต่อประสิทธิภาพของ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

The effect of adjustment system to the electronic balance performance

จิตตกานต์ อินเที่ยง^{1*}Jittakant Intiang^{1*}

รับบทความ: 17 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ: 6 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 18 กรกฎาคม 2565

10

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอผลกระทบของระบบปรับตั้งที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ในงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่มีความสามารถสูงสุด 520 กรัม ค่าความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ที่ได้รับการปรับตั้งแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ การปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในและการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอกตามวิธีการสอบเทียบ EURAMET cg-18 จากผลการสอบเทียบในหัวข้อค่าผิดพลาดของการอ่านค่า (Error of indication) ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะค่าความผิดพลาดเชิงเส้น (Linearity deviation) ของเครื่องชั่งน้ำหนักพบว่าผลการสอบเทียบในหัวข้อดังกล่าวสำหรับการปรับตั้งทั้ง 2 แบบมีค่า E_n number แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $|E_n| > 1$ โดยเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟความเป็นเชิงเส้น (Linearity graph) ของทั้ง 2 เงื่อนไขพบว่าค่าความผิดพลาดเชิงเส้นของทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่าต่างกันแต่น้อยกว่าค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต ± 0.4 มิลลิกรัม แต่เมื่อพิจารณาค่าความชัน (Slope) ที่แสดงถึงคุณลักษณะค่าความไว (Sensitivity) พบว่าในกรณีปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในมีค่าความชัน (Slope) 4.00×10^{-6} และเมื่อทำการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอกค่าความชัน (Slope) มีค่าลดลงเป็น 5.97×10^{-7} ซึ่งแสดงว่าระบบปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในของเครื่องชั่งตัวอย่างนี้มีค่าผิดพลาดจนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครื่องชั่ง

Abstract

This research aims to present the impact of the adjustment system on the performance of electronic balance. In this research, the electronic balance with a maximum capacity 520 g and readability 0.1 mg has been adjusted differently; internal built-in weight adjustment system and external weight adjustment system according to EURAMET cg-18 calibration method. The calibration results of both conditions in the topic of the error of indication test, which is associated with linearity deviation characteristics of the electronic balance, showed that the E_n number for this topic were significantly different, $|E_n| > 1$. Based on the linearity graph of both conditions, the linearity deviation of both conditions were different but still less than the value specified by the manufacturer; ± 0.4 mg. However, when considering the slope that represents the sensitivity characteristic, it was found that in case of adjusting with an internal weight with a slope of 4.00×10^{-6} and when adjusted with an external weight, the slope value was reduced to 5.97×10^{-7} , indicating that the internal weight adjustment system of this electronic balance experienced an error that affected the performance of the electronic balance.

คำสำคัญ: เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ระบบปรับตั้ง ความเป็นเชิงเส้น ความไว

Keywords: Electronic balance, Adjustment system, Linearity, Sensitivity

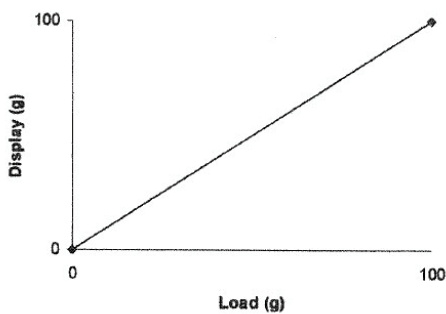
¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

* e-mail address: jittakant@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมหลายด้าน โดยเฉพาะในทางการแพทย์ อาหาร และปิโตรเคมี ซึ่งมีความต้องการค่าน้ำหนักที่มีความถูกต้องแม่นยำอย่างสูงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต และความปลอดภัยของประชาชน เครื่องชั่งน้ำหนักที่นิยมใช้กันเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์เพราะใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และดูแลรักษาง่าย นอกจากนี้ ยังมีค่าความละเอียดในการอ่านค่าน้ำหนักได้สูง แต่ความถูกต้องแม่นยำของค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เครื่องชั่งติดตั้งอยู่และขณะใช้งานเครื่องชั่ง เช่น ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศของสภาวะแวดล้อมขณะทำการชั่งน้ำหนัก เป็นต้น ดังนั้น ผู้ผลิตเครื่องชั่งจึงได้มีการพัฒนาระบบที่ทำหน้าที่ปรับค่าความถูกต้องของเครื่องชั่งให้เหมาะสมสอดคล้องตามสภาวะแวดล้อมที่เครื่องชั่งใช้งานอยู่ ส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่ได้จากการชั่งมีความถูกต้องแม่นยำอยู่ตลอดเวลา ระบบที่ทำหน้าที่นี้ถูกเรียกว่าระบบปรับตั้งเครื่องชั่ง

การปรับตั้งเครื่องชั่ง หมายถึง การปรับให้เครื่องชั่งอ่านค่าน้ำหนักได้ถูกต้องหรือใกล้เคียงค่าน้ำหนักจริงของวัตถุที่นำมาชั่งมากที่สุด โดยให้เครื่องชั่งรับรู้ค่าน้ำหนักที่ถูกต้องและบันทึกลงในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่น้ำหนักที่ชั่งมีค่าเป็นศูนย์ ตำแหน่งที่มีค่าน้ำหนักที่ระบุอื่นใดอีกตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้ง [1]

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ควรได้รับการปรับตั้งในกรณีต่อไปนี้ เช่น เมื่อทำการติดตั้งเครื่องชั่งเป็นครั้งแรก มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่วางเครื่องชั่ง มีการปรับระดับเครื่องชั่งใหม่ หรือสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาวะที่ทำการปรับตั้งในตอนแรก ค่าผิดพลาดจากการชั่งเนื่องจากอุณหภูมิมีชื่อเรียกว่า Temperature

coefficient of the sensitivity (TC) ซึ่งกำหนดให้เป็น การเปลี่ยนแปลงค่าความไว (Sensitivity) ต่อผลต่างของอุณหภูมิ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องชั่งที่มีค่า TC สูงสุด $0.0001\%/^{\circ}\text{C}$ หมายความว่าค่าความไว (Sensitivity) ของเครื่องชั่งมีค่าเปลี่ยนไปแค่ 1 ในล้าน เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1°C [2] นอกจากสาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิ แล้วการย้ายเครื่องชั่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งก็ส่งผลต่อความถูกต้องน่าเชื่อถือของค่าน้ำหนักเช่นกัน เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักไม่ได้วัดค่ามวลของวัตถุแต่จริง ๆ แล้ววัดค่าแรงที่กระทำต่อวัตถุที่นำมาชั่ง แรงกระทำนี้ขึ้นอยู่กับอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการชั่ง ซึ่งอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกนี้ (โดยประมาณ 9.8 m/s^2) ไม่ได้มีค่าคงที่เท่ากันทั่วโลก แต่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง โดยเฉพาะตำแหน่งละติจูดและความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ยกตัวอย่าง เมื่อเครื่องชั่งน้ำหนักถูกเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่สูงกว่าเดิม 1 ชั้น จะมีระยะห่างจากตำแหน่งศูนย์กลางของโลกออกไปอีก 3 เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ในล้านของระยะทางเดิม ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะมีค่าลดลงไป 1 ในล้านของค่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับระดับชั้นที่ต่ำกว่า เนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าลดลงเป็นอัตราส่วนของระยะทางยกกำลังสอง ถ้าชั่งวัตถุ 200 g ค่าน้ำหนักจะลดลงไป 1 ในล้าน ซึ่งเท่ากับ 0.2 mg ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงควรมีแนวทางแก้ไขผลกระทบอันนี้ การแก้ไขก่อนทำการขนส่งเครื่องชั่งน้ำหนักนั้นเป็นไปได้เนื่องจากยังไม่ทราบค่าอัตราเร่งโน้มถ่วงที่แท้จริงของตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องชั่ง แต่ถึงแม้จะทราบค่าแล้วเครื่องชั่งน้ำหนักก็อาจถูกนำไปใช้สำหรับการชั่ง ณ ตำแหน่งเฉพาะซึ่งแม้จะเป็นภายในตึกเดียวกันก็ตามแต่คนละชั้นซึ่งผลกระทบนี้สามารถรับรู้ได้สำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบวิเคราะห์ (Analytical balance) ในการแก้ไขสถานการณ์ที่กล่าวมา เครื่องชั่งน้ำหนักถูกติดตั้งอุปกรณ์สำหรับปรับตั้งไว้ซึ่งทำให้สามารถแก้ไขค่าความไว (Sensitivity) หรือ slope ของ Characteristic curve ของเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความต้องการผลการชั่งถูกต้อง ณ ตำแหน่งที่ทำการชั่งน้ำหนักนั้น เมื่อทำการกระตุ้นคำสั่งปรับตั้งของเครื่องชั่งเครื่องชั่งจะทำการชั่งตุ้มน้ำหนักอ้างอิงภายในข้างใต้จานชั่งน้ำหนักด้วยการทำงานของมอเตอร์ ผลจากการทำการปรับตั้งการชั่งน้ำหนักซึ่งเปลี่ยนไปตามสถานที่ ระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการคำนวณค่าแฟกเตอร์ (Calibration factor) และเก็บบันทึกค่านี้ไว้จนกระทั่งมีการปรับตั้งใหม่เมื่อมีค่าแฟกเตอร์นี้แล้วทำให้สามารถตั้งค่าความไว (Sensitivity) ของเครื่องชั่งได้อย่างถูกต้อง ผลการชั่งน้ำหนักภายหลังการปรับตั้งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน (Slope) ที่ถูกต้องของ Characteristic curve ดังนั้น วิธีแก้ไขทำได้โดยสอบเทียบเครื่องชั่งทุกครั้งที่มีการย้ายตำแหน่ง และใช้เครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ [3]

$$\text{Slope} = (\text{Error of indication}/\text{Balance reading})$$

ในการปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์นั้น ปัจจุบันพบว่าวิธีทั่วไปที่นิยมใช้ในการปรับตั้งเครื่องชั่งมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การปรับตั้งภายใน และการปรับตั้งภายนอก [4]

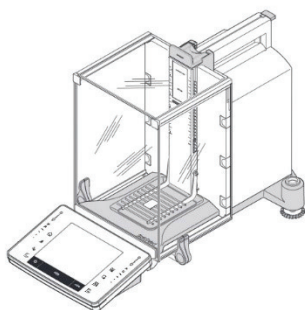
- 1) การปรับตั้งภายใน (Internal calibration) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ภายในเครื่องชั่งหรือที่เรียกว่า Built-in calibration weight ซึ่งผู้ผลิตจะทำการติดตั้งตุ้มน้ำหนักปรับตั้งไว้ภายในเครื่องชั่ง
- 2) การปรับตั้งภายนอก (External calibration) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจากภายนอกมาทำการวางบนเครื่องชั่งเพื่อให้เครื่องชั่งจำค่าน้ำหนักแล้วทำการปรับตั้ง ตามปกติจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า Capacity ของเครื่องชั่ง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอผลกระทบของระบบปรับตั้งที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ในงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่มีค่าความสามารถสูงสุด 520 กรัม ค่าความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ที่ได้รับการปรับตั้งแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ การปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายใน (Internal built-in weight adjustment system) และการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอก (External weight adjustment system) ตามวิธีการสอบเทียบ EURAMET cg-18 ซึ่งผลจากการวิจัยนี้ต้องการสร้างความตระหนักให้ผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถนำผลการสอบเทียบมาวิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดจากระบบปรับตั้งพร้อมทั้งแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่าง

เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีคุณลักษณะแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 เครื่องชั่งตัวอย่าง [5]

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเครื่องชั่งตัวอย่าง

คุณลักษณะ (Specification)	ค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต (Manufacturer value)	หน่วย (Unit)
Maximum capacity	520	g
Readability	0.1	mg
Repeatability (500 g)	0.12	mg
Linearity deviation	0.4	mg
Eccentricity deviation (200 g)	0.4	mg
Sensitivity temperature drift	0.0001	%/°C

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

2.2.1 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานพร้อมใบรับรองการสอบเทียบ สำหรับดำเนินกิจกรรมสอบเทียบเครื่องชั่งซึ่งเป็นชุดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class E2 ขนาด 1 g-500 g ดังแสดงในรูปที่ 3

2.2.2 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานสำหรับปรับตั้งเครื่องชั่งด้วยระบบการปรับตั้งแบบใช้ตุ้มน้ำหนักภายนอกเป็นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานก่อนเดียว Class E2 ขนาด 500 g พร้อมใบรับรองการสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ชุดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class E2 ขนาด 1 g-500 g



รูปที่ 4 ตุ้มน้ำหนักปรับตั้ง Class E2 ขนาด 500 g

2.2.3 อุปกรณ์วัดสภาวะแวดล้อมขณะทำการสอบเทียบ ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความดันบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์วัดสภาวะแวดล้อม

2.2.4 อุปกรณ์ประกอบสำหรับหยิบจับตุ้มน้ำหนัก และทำความสะอาด เช่น ถุงมือผ้า คีมจับตุ้มน้ำหนัก ที่เป่าลมทำความสะอาด เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุปกรณ์ประกอบสำหรับการสอบเทียบ

2.3 สารเคมี

ในงานวิจัยนี้มีการใช้แอลกอฮอล์สำหรับการทำความสะอาดเครื่องชั่งน้ำหนักและบริเวณโดยรอบก่อนดำเนินการสอบเทียบเท่านั้น

2.4 วิธีดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิจัยนี้จะขึ้นตอนการดำเนินงานดังนี้

2.4.1 ทำการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการสอบเทียบตามมาตรฐาน EURAMET cg-18 ใน 3 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อ Repeatability, Error of Indication, Eccentricity และประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับหัวข้อ Error of Indication [6] โดยทำการสอบเทียบ 2 เงื่อนไข คือ ในกรณีที่เครื่องชั่งน้ำหนักได้รับการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายใน และ ในกรณีที่เครื่องชั่งน้ำหนักได้รับการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอก

2.4.2 ทำการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบทั้ง 2 เงื่อนไข โดยนำผลการสอบเทียบในหัวข้อ Error of Indication มาเปรียบเทียบกับสถิติ E_n number [7] ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลการวัดพร้อมค่าความไม่แน่นอนของข้อมูล 2 ชุด เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลการสอบเทียบทั้ง 2 เงื่อนไข

2.4.3 นำข้อมูลในหัวข้อ Error of Indication มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักสอบเทียบกับค่าผิดพลาดของเครื่องชั่ง ณ แต่ละค่าน้ำหนักสอบเทียบ เพื่อพิจารณาค่าความไวจากค่าความชันของเส้นกราฟ และ ค่าความผิดพลาดเชิงเส้น ของทั้ง 2 เงื่อนไข

และเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.4.4 ทำการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการชั่งสำหรับผู้ใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนัก และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าดังกล่าวในกรณีที่มีการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายใน และการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอก

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ตามวิธีการ EURAMET cg-18 ของทั้ง 2 เงื่อนไขในตารางที่ 2 ประกอบด้วยหัวข้อ Repeatability, Error of indication และ Eccentricity deviation

เมื่อนำผลการสอบเทียบในตารางที่ 2 ไปเทียบกับค่าที่กำหนดของผู้ผลิตในตารางที่ 1 พบว่าผลการสอบเทียบทั้ง 3 หัวข้อมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดของผู้ผลิต และเมื่อพิจารณาในส่วนของหัวข้อ Repeatability และ Eccentricity deviation ของทั้ง 2 เงื่อนไขพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับหัวข้อ Error of indication ผลการสอบเทียบสำหรับเครื่องชั่งที่ได้รับการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในแสดงแนวโน้มค่าผิดพลาดมากขึ้น เมื่อน้ำหนักสอบเทียบมีค่ามากขึ้น แต่ค่าความไม่แน่นอนของทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าผิดพลาดของกรณีปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในจะพบว่าเครื่องชั่งตัวอย่างนี้มีค่าผิดพลาดสูงสุดได้ถึง 20 เท่าของค่าความละเอียดเครื่องชั่ง

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักตาม EURAMET cg-18 ของทั้ง 2 เงื่อนไข

Repeatability				
Reading (g)	Internal adjustment		External adjustment	
500	0.055 mg		0.055 mg	
Error of indication				
Reading (g)	Internal adjustment		External adjustment	
	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)
0	0.0000	± 0.000065	0.0000	± 0.000065
50	+ 0.0002	± 0.00011	- 0.0001	± 0.00011
100	+ 0.0002	± 0.00014	- 0.0002	± 0.00013
200	+ 0.0006	± 0.00020	- 0.0002	± 0.00020
250	+ 0.0008	± 0.00026	- 0.0003	± 0.00026

Error of indication				
Reading (g)	Internal adjustment		External adjustment	
	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)
250	+ 0.0008	± 0.00026	- 0.0003	± 0.00026
300	+ 0.0010	± 0.00030	- 0.0004	± 0.00030
350	+ 0.0011	± 0.00036	- 0.0003	± 0.00036
400	+ 0.0016	± 0.00038	- 0.0003	± 0.00038
450	+ 0.0020	± 0.00043	- 0.0001	± 0.00043
500	+ 0.0024	± 0.00045	0.0000	± 0.00045
Eccentricity deviation				
Reading (g)	Internal adjustment		External adjustment	
200	0.2 mg		0.2 mg	

3.2 ผลการเปรียบเทียบ E_n number

ในหัวข้อนี้จะใช้แนวทางของ ISO/IEC 17043 มาเปรียบเทียบผลการสอบเทียบของทั้ง 2 เงื่อนไข ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยผลการเปรียบเทียบ

แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจะนำผลการสอบเทียบในหัวข้อ Error of indication พร้อมค่าความไม่แน่นอนมาเปรียบเทียบกับด้วยสถิติ E_n number ตามสมการที่ 1 พร้อมเกณฑ์การตัดสินดังนี้

$$E_n = \frac{X_I - X_E}{\sqrt{U_I^2 + U_E^2}}$$

โดย: X_I = ค่า Error ของเงื่อนไข Internal Adjustment

X_E = ค่า Error ของเงื่อนไข External Adjustment

U_I = ค่าความไม่แน่นอนที่ 95% ของค่า Error ของเงื่อนไข Internal Adjustment

U_E = ค่าความไม่แน่นอนที่ 95% ของค่า Error ของเงื่อนไข External Adjustment

การพิจารณาค่า E_n number เพื่อสรุปผลการเปรียบเทียบมีหลักเกณฑ์ดังนี้ :

- ผลการเปรียบเทียบผ่านเกณฑ์ ถ้า |E_n| ≤ 1.0 แสดงว่าผลการสอบเทียบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- ผลการเปรียบเทียบไม่ผ่านเกณฑ์ ถ้า |E_n| > 1.0 แสดงว่าผลการสอบเทียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

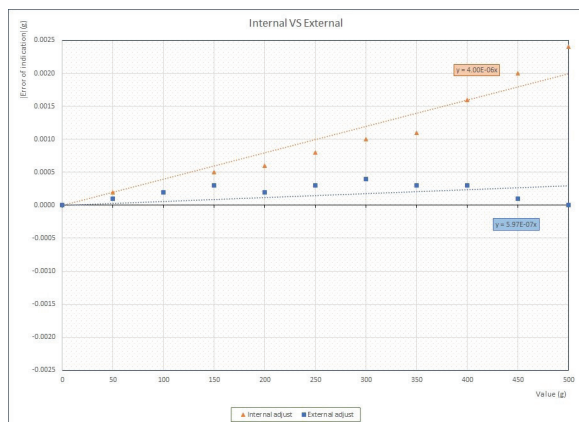
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบ E_n number ระหว่างผลการสอบเทียบของทั้ง 2 เงื่อนไข

Error of indication						
Reading (g)	Internal adjustment		External adjustment		E _n	Result
	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)	Error (g)	Uncertainty at 95% (g)		
0	0.0000	± 0.000065	0.0000	± 0.000065	0.00	Pass
50	+ 0.0002	± 0.00011	- 0.0001	± 0.00011	1.93	Fail
100	+ 0.0002	± 0.00014	- 0.0002	± 0.00013	2.09	Fail
150	+ 0.0005	± 0.00019	- 0.0003	± 0.00019	2.98	Fail
200	+ 0.0006	± 0.00020	- 0.0002	± 0.00020	2.83	Fail
250	+ 0.0008	± 0.00026	- 0.0003	± 0.00026	2.99	Fail
300	+ 0.0010	± 0.00030	- 0.0004	± 0.00030	3.30	Fail
350	+ 0.0011	± 0.00036	- 0.0003	± 0.00036	2.75	Fail
400	+ 0.0016	± 0.00038	- 0.0003	± 0.00038	3.54	Fail
450	+ 0.0020	± 0.00043	- 0.0001	± 0.00043	3.45	Fail
500	+ 0.0024	± 0.00045	0.0000	± 0.00045	3.77	Fail

จากผลการเปรียบเทียบ E_n number ในตารางที่ 3 พบว่าผลการสอบเทียบของทั้ง 2 เจือ้นไขมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตาราง พบว่า ค่าความไม่แน่นอนของทั้ง 2 เจือ้นไขมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้น สาเหตุที่ทำให้ผลการสอบเทียบของทั้ง 2 เจือ้นไขแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมาจากค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งในกรณีปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายในค่าผิดพลาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักสอบเทียบ

3.3 เส้นกราฟความเป็นเชิงเส้น

เมื่อนำข้อมูลในหัวข้อ Error of indication มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักสอบเทียบกับค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาดของเครื่องชั่ง ณ แต่ละค่าน้ำหนักสอบเทียบของทั้ง 2 เจือ้นไข และทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นเพื่อพิจารณาค่าความไวจากค่าความชันของเส้นกราฟ และ ค่าความผิดพลาดเชิงเส้น ของทั้ง 2 เจือ้นไข จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักสอบเทียบกับค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาดของเครื่องชั่ง ณ แต่ละค่าน้ำหนักสอบเทียบในกรณีปรับตั้งเครื่องชั่งทั้ง 2 เจือ้นไข

จากรูปกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 7 สามารถหาค่าความไวจากความชันของเส้นกราฟและค่าความผิดพลาดเชิงเส้นเทียบกับค่าที่กำหนดของผู้ผลิตได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความไวและความผิดพลาดเชิงเส้นของเครื่องชั่งทั้ง 2 เจือ้นไข

Parameters	Internal adjustment	External adjustment
Sensitivity	4.00×10^{-3} mg	5.97×10^{-4} mg
Linearity deviation	0.4 mg	0.3 mg

จากข้อมูลในตารางที่ 4 พบว่าค่าความไว (Sensitivity) ของเครื่องชั่งซึ่งพิจารณาจากค่าความชัน (Slope) ของเส้นกราฟของเครื่องชั่งที่ได้รับการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอกมีค่าลดลงจากการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายใน จากค่า 4.00×10^{-3} เป็น 5.97×10^{-4} ซึ่งค่าความไว (Sensitivity) นี้เป็นค่าที่ผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถพิจารณาความผิดปกติของระบบปรับตั้งได้ โดยเส้นกราฟที่มีค่าความชัน (Slope) มากขึ้นบ่งบอกถึงความผิดปกติของระบบปรับตั้งที่มากขึ้นเช่นกัน ส่วนค่าความผิดพลาดเชิงเส้น (Linearity deviation) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความผิดปกติของระบบการรับน้ำหนักของเครื่องชั่งของทั้ง 2 เจือ้นไขมีค่าต่างกันแต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต 0.4 mg พบว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น เครื่องชั่งเครื่องนี้ได้รับผลกระทบหลักมาจากระบบปรับตั้งที่ผิดพลาด

3.4 ค่าความไม่แน่นอนของผลการชั่งน้ำหนัก

เอกสาร EURAMET cg-18 ซึ่งเป็นวิธีการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักวิธีหนึ่งมีความแตกต่างจากวิธีการสอบเทียบเครื่องชั่งวิธีอื่น ๆ ที่นิยมใช้กัน ในส่วนของข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับผู้ใช้งานเครื่องชั่งที่สามารถนำไปพิจารณาค่าผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก (Error of indication) ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of using the correction value) และ ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่ไม่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of not using the correction value) ได้ โดยผู้ใช้งานเครื่องชั่งควรนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้พิจารณาเทียบกับเกณฑ์การยอมรับได้ของงานเพื่อพิจารณาว่าเครื่องชั่งยังคงมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ต่อหรือไม่ สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมของเครื่องชั่งตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 ในกรณีที่เครื่องชั่งได้รับการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายใน และการปรับตั้งด้วยตุ้มน้ำหนักภายนอก

ตารางที่ 5 ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับผู้ใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักของทั้ง 2 เองโซ

Additional information		
Parameters	Internal adjustment	External adjustment
Error of an indication (g)	$3.6 \times 10^{-6} R$	$-8.8 \times 10^{-7} R$
Uncertainty of weighing results: In case of using the correction value at 95% (g)	$1.4 \times 10^{-4} + 5.8 \times 10^{-6} R$	$1.4 \times 10^{-4} + 3.5 \times 10^{-6} R$
Uncertainty of weighing results: In case of not using the correction value at 95% (g)	$1.4 \times 10^{-4} + 9.4 \times 10^{-6} R$	$1.4 \times 10^{-4} + 4.4 \times 10^{-6} R$

หมายเหตุ : R เป็นตัวแปรอิสระแทนค่าด้วยค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากการชั่งน้ำหนัก

จากข้อมูลในตารางที่ 5 สมมุติว่าเครื่องชั่งตัวอย่างไปชั่งของแล้วค่าที่อ่านได้จากการชั่งน้ำหนัก (R) มีค่า 25.0000 g เมื่อนำค่าดังกล่าวไปแทนค่าในสมการดังกล่าวในตารางที่ 5 จะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับผู้ใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักของทั้ง 2 เองโซ ที่ R = 25.0000 g

Additional information		
Parameters	Internal adjustment	External adjustment
Error of an indication (mg)	0.090	-0.022
Uncertainty of weighing results: In case of using the correction value at 95% (mg)	± 0.29	± 0.23
Uncertainty of weighing results: In case of not using the correction value at 95% (mg)	± 0.38	± 0.25

จากข้อมูลในตารางที่ 6 พบว่า ค่าผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก (Error of indication) ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of using the correction value) และ ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่ไม่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of not using the correction value) ในกรณีที่มีการปรับตั้งด้วยค่าน้ำหนักภายนอกมีค่าลดลงกว่าในกรณีที่มีการปรับตั้งด้วยค่าน้ำหนักภายใน

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการทดลองนี้พบว่า ระบบปรับตั้งด้วยค่าน้ำหนักภายในของเครื่องชั่งตัวอย่างมีความผิดปกติ ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของระบบปรับตั้งดังกล่าวได้จากการนำข้อมูลในหัวข้อ Error of indication มาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าน้ำหนักสอบเทียบกับค่าผิดพลาด และพิจารณาจากค่าความชันของเส้นตรง หากเส้นกราฟมีค่าความชันมากแสดงว่าระบบปรับตั้งเครื่องชั่งมีความผิดปกติมากเช่นกัน ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องชั่งควรติดต่อให้ผู้ผลิตมาดำเนินการแก้ไขปรับแก้ค่าในระบบดังกล่าว แต่ในระหว่างรอผู้ผลิตมาดำเนินการแก้ไข ผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถแก้ปัญหาเบื้องต้นได้โดยการเปลี่ยนไปใช้ระบบปรับตั้งด้วยค่าน้ำหนักภายนอก ในกรณีที่เครื่องชั่งมีระบบดังกล่าวในเอกสารคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตจะมีการระบุขนาดและ class ที่เหมาะสมสำหรับค่าน้ำหนักที่นำมาใช้ปรับตั้งเครื่องชั่ง ในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อเปลี่ยนการปรับตั้งเครื่องชั่งจากการใช้ค่าน้ำหนักภายในมาเป็นการใช้ค่าน้ำหนักภายนอก พบว่า เส้นกราฟมีค่าความชันลดลงอย่างมาก และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งของทั้ง 2 เองโซ ด้วยสถิติ E_n number พบว่ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าผลการสอบเทียบของทั้ง 2 เองโซ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อคำนวณค่าผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก (Error of indication) ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of using the correction value) และ ค่าความไม่แน่นอนของการชั่งที่ความเชื่อมั่น 95% ในกรณีที่ไม่มีการใช้ค่าปรับแก้จากผลการสอบเทียบ (Uncertainty of weighing results: In case of not using the correction value) ในส่วนของผู้ใช้งานเครื่องชั่ง พบว่า ค่าผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก (Error of indication) มีค่าลดลงเมื่อทำการปรับตั้งเครื่องชั่งด้วยค่าน้ำหนักภายนอก ทำให้เครื่องชั่งมีโอกาสผ่านเกณฑ์การใช้งานที่ผู้ใช้งานเครื่องชั่งกำหนดได้มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน ตลอดจนคณะครูอาจารย์ที่ช่วยประกอบในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่กลุ่มสอบเทียบที่ให้ความแนะนำในการวิเคราะห์ผลการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] จิตตกานต์ อินทรีย์. การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 1). *UP DATE สมท.สาร.* 11(1) มกราคม-มีนาคม 2549, 13-16.
- [2] SCORER, T., M. PERKIN, and M. BUCKLEY. *Measurement Good Practice Guide No.70 : Weighing in the pharmaceutical industry.* Middlesex : NPL, 2004, pp.15-16.
- [3] INTIANG, J., W. SIRICHOTE, and S. BOONSANIT. Development of automatic calibration system for electronic balances. *Bulletin of Applied Science* . 8(8) 2019, 40-47.
- [4] EDWIN, C. M. and K.M.K. FEN. *The Calibration of weights and balances.* Sydney : CSIRO, 2003. pp. 47-48.
- [5] METTLER-TOLEDO. *User manual analytical balances XPE models (11/2016)* [online]. Available from: https://www.mt.com/dam/P5/labtec/02_Analytical_Balances/01_XPE/Documents/06_Quick_Guides/QG_XPE_Analytical_EN.pdf. [viewed 2021-11-10].
- [6] EURAMET. Calibration Guide No. 18. *Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments. version 4.0 (11/2015)* [online]. Available from: https://iris.inrim.it/retrieve/handle/11696/72070/50133/I-CAL-GUI-018_Calibration_Guide_No._18_web.pdf. [viewed 2021-11-10].
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION AND INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (ISO/IEC). ISO/IEC 17043:2010(E). *Conformity assessment-General requirements for proficiency testing.* Geneva, Switzerland : ISO, 2010.