การพัฒนาระบบควบคุมการปรับตั้งเครื่องชั่งอัตโนมัติ

Development of automatic calibration system for electronic balances

5

จิตตกานต์ อินเที่ยง[1*], วิชิต ศิริโชติ[2**], สมโภชน์ บุญสนิท[1**]
Jittakant Intiang[1*], Wichit Sirichote[2**], Sompote Boonsanit[1**]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการปรับปรุงพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระบบปรับตั้งภายใน (Internal calibration) แบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) ให้กลายเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในโดยอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างระบบตรวจวัด (Sensor) สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ และเวลา และระบบควบคุมการทำงาน (Microcontroller) มาประกอบกัน และเขียนโปรแกรมควบคุมการสื่อสารระหว่างระบบควบคุมการทำงานกับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ด้วยภาษาซีผ่านการเชื่อมต่อแบบ RS232 เพื่อใช้กระตุ้นการทำงานระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ในงานวิจัยนี้สามารถกำหนดเงื่อนไขการปรับตั้งได้ 2 รูปแบบ คือ เมื่ออุณหภูมิหรือเวลาเปลี่ยนแปลง ระบบควบคุมการทำงานจะส่งคำสั่งกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในไปยังเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องเชื่อมต่อแบบ RS232 ของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยมีการตอบสนองต่อคำสั่งที่ป้อนเข้าไปทำการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในเมื่ออุณหภูมิหรือเวลาเปลี่ยนแปลงไปตามที่กำหนดไว้

Abstract

This research is aimed to develop the automatic internal calibration system of the electronic balance with inherent internal calibration function. The sensor system (temperature, humidity, atmospheric pressure, time ect.) and the microcontroller system will be assembled together. The communication between this assembled system and the electronic balance will be programmed with C language program via RS232 interface port for activating the internal calibration system of the electronic balance. In this research, the internal calibration system will be activated when each of these two conditions is changed from the setting value: the environmental temperature or the time. The microcontroller system will send the command to activate the internal calibration system of the electronic balance via RS232 port. The preliminary experiment shows that the electronic balance used in this research responses to the command by activating the internal calibration system when the parameters changed according to the setting conditions.

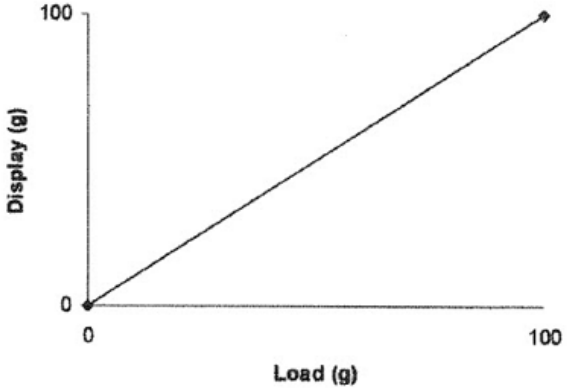
คำสำคัญ : ระบบปรับตั้งภายใน อัตโนมัติ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์
Keywords : Internal calibration, Automatic, Electronic balance

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองความสามารถห้องปฏิบัติการและรับรองผลิตภัณฑ์
[2] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
* E-mail address: jittakant@dss.go.th
** Corresponding author e-mail address: wichit.sirichote@gmail.com, snboonsanit@yahoo.com

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมหลายด้าน โดยเฉพาะในทางการแพทย์ อาหาร และปิโตรเคมี ซึ่งมีความต้องการค่าน้ำหนักที่มีความถูกต้องแม่นยำอย่างสูงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต และความปลอดภัยของประชาชน เครื่องชั่งน้ำหนักที่นิยมใช้กันเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์เพราะใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และดูแลรักษาง่าย นอกจากนี้ยังมีค่าความละเอียดในการอ่านค่าน้ำหนักได้สูง แต่ความถูกต้องแม่นยำของค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เครื่องชั่งติดตั้งอยู่และขณะใช้งานเครื่องชั่ง เช่น ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศของสภาวะแวดล้อมขณะทำการชั่งน้ำหนัก เป็นต้น ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องชั่งจึงได้มีการพัฒนาระบบที่ทำหน้าที่ปรับค่าความถูกต้องของเครื่องชั่งให้เหมาะสมสอดคล้องตามสภาวะแวดล้อมที่เครื่องชั่งใช้งานอยู่ ส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่ได้จากการชั่งมีค่าถูกต้องแม่นยำอยู่ตลอดเวลา ระบบที่ทำหน้าที่นี้ถูกเรียกว่าระบบปรับตั้งเครื่องชั่ง

การปรับตั้งเครื่องชั่ง หมายถึง การปรับให้เครื่องชั่งอ่านค่าน้ำหนักได้ถูกต้องหรือใกล้เคียงค่าน้ำหนักจริงของวัตถุที่นำมาชั่งมากที่สุด โดยให้เครื่องชั่งรับรู้ค่าน้ำหนักที่ถูกต้องและบันทึกลงในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่น้ำหนักที่ชั่งมีค่าเป็นศูนย์ ตำแหน่งที่มีค่าน้ำหนักที่ระบุอื่นใดอีกตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะรูปกราฟที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้ง [1]

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ควรได้รับการปรับตั้งในกรณีต่อไปนี้ เช่น เมื่อทำการติดตั้งเครื่องชั่งเป็นครั้งแรก มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่วางเครื่องชั่ง มีการปรับระดับเครื่องชั่งใหม่ หรือสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาวะที่ทำการปรับตั้งในตอนแรก

ในการปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์นั้นปัจจุบันพบว่าวิธีทั่วไปที่นิยมใช้ในการปรับตั้งเครื่องชั่งมีด้วยกัน 2 วิธี คือการปรับตั้งภายใน และการปรับตั้งภายนอก

1) การปรับตั้งภายใน (Internal calibration) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ภายในเครื่องชั่งหรือที่เรียกว่า built-in calibration weight

2) การปรับตั้งภายนอก (External calibration) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจากภายนอกมาทำการวางบนเครื่องชั่งเพื่อให้เครื่องชั่งจำค่าน้ำหนักแล้วทำการปรับตั้ง ตามปกติจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า Capacity ของเครื่องชั่ง

สำหรับการปรับตั้งแบบภายในนั้นผู้ผลิตจะทำการติดตั้งตุ้มน้ำหนักปรับตั้งไว้ภายในเครื่อง ซึ่งตุ้มน้ำหนักเหล่านี้จะถูกกระตุ้นให้ทำงานสำหรับปรับตั้งเครื่องชั่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบ manual ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องชั่งเลือกคำสั่งปรับตั้งเครื่องชั่งเอง และแบบอัตโนมัติที่เริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด เช่น เปลี่ยนแปลงไป 1^{o}C หรือครบกำหนดระยะเวลาตามที่ผู้ผลิตกำหนด [2] ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานที่มีเฉพาะเครื่องชั่งรุ่นที่มีการปรับตั้งภายในเท่านั้น

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature fluctuations) นั้นส่งผลต่อการชั่งน้ำหนักเนื่องจากวัสดุที่ใช้ประกอบเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่ออุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ยกตัวอย่างเช่น โลหะเกิดการขยายตัวเมื่อถูกทำให้ร้อน ความแรงของก้อนแม่เหล็กถาวรใน Electrodynamic converter ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิโดยที่สนามแม่เหล็กมีค่าอ่อนลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทำให้การชดเชยค่าน้ำหนักนั้นมีความต้องการกระแสเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักเดียวกันที่อุณหภูมิมาตรฐาน ส่งผลให้ค่าที่แสดงมีค่ามากกว่าความเป็นจริง

ดังนั้น จึงได้มีการสร้างเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ใน Weighing cell เพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิของระบบแม่เหล็กถาวร ผลการวัดที่ได้จะไปชดเชยค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากอุณหภูมิ ผลการชดเชยถูกคำนวณด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์จากค่าอุณหภูมิที่วัดได้และเพิ่มเข้าไปกับค่าน้ำหนักที่วัดได้ก่อนแสดงผลบนหน้าจอ เนื่องจากเครื่องชั่งแต่ละเครื่องมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปไม่เหมือนกัน เครื่องชั่งแต่ละตัวก็จะถูกทำการชดเชยระหว่างการผลิตเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปสำหรับแต่ละเครื่อง จากข้อมูลผลการชั่งน้ำหนักในขั้นตอนนี้สามารถทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการแก้ค่าได้ ค่านี้ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อให้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อชดเชยค่าที่ได้จากการชั่ง ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ค่าผิดพลาดจากการชั่งเนื่องจากอุณหภูมิมีชื่อเรียกว่า Temperature coefficient of the sensitivity (TC) ซึ่งกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่า Sensitivity ต่อผลต่างของอุณหภูมิ ยกตัวอย่าง เครื่องชั่งที่มีค่า TC สูงสุด 0.0001%/^{o}C หมายความว่า ค่า Sensitivity ของเครื่องชั่งมีค่าเปลี่ยนไปแค่ 1 ในล้าน เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1^{o}C ตัวอย่างในกรณีที่ไม่มีการปรับตั้งแบบอัตโนมัติ เครื่องชั่งถูกปรับตั้งในตอนเช้า

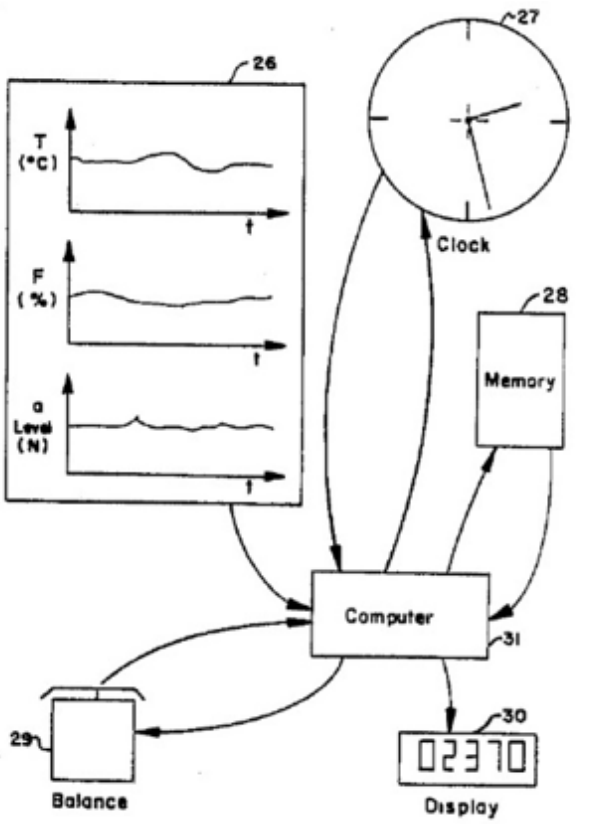
ในตอนบ่ายมีการชั่งวัตถุ m=100 g แต่ระหว่างนั้นอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการมีค่าเพิ่มขึ้น $\Delta T=5^{o}C$ ค่าเบี่ยงเบนมากสุดของผลการชั่งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพิจารณาได้ดังนี้

$$\Delta R = (TC \cdot \Delta T)m = (0.0001\%/℃ \cdot 5℃)100g$$
$$= 0.0005\% \cdot 100\ g = 0.5\ mg$$

แต่ถ้าเครื่องชั่งมีระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติ แม้เครื่องชั่งนี้จะถูกติดตั้งภายใน Production room ที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่า $20^{o}C$ ค่าเบี่ยงเบนของค่า Sensitivity ก็ยังคงมีค่าน้อยกว่า 0.00015% เครื่องชั่งที่ไม่มีการปรับตั้งแบบอัตโนมัติและถึงจะมีค่า Temperature coefficient เพียงแค่ $0.0001\%/^{o}C$ ก็ยังคงมีค่าเบี่ยงเบนได้ถึง 0.002% ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า [3]

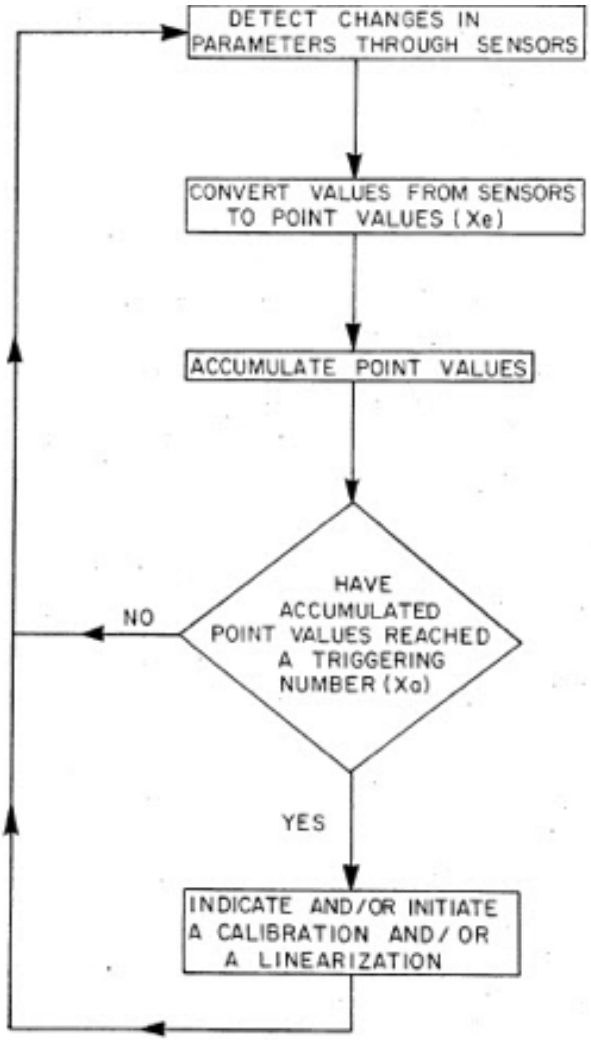
นอกจากสาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิแล้วการย้ายเครื่องชั่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งก็ส่งผลต่อความถูกต้องน่าเชื่อถือของค่าน้ำหนักเช่นกัน เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักไม่ได้วัดค่ามวลของวัตถุแต่จริง ๆ แล้ววัดค่าแรงที่กระทำต่อวัตถุที่นำมาชั่ง แรงกระทำนี้ขึ้นอยู่กับอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการชั่ง ซึ่งอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกนี้ (โดยประมาณ $9.8\ m/s^2$) ไม่ได้มีค่าคงที่เท่ากันทั่วโลก แต่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งโดยเฉพาะตำแหน่งละติจูดและความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเครื่องชั่งน้ำหนักถูกเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่สูงกว่าเดิม 1 ชั้น จะมีระยะห่างจากตำแหน่งศูนย์กลางของโลกออกไปอีก 3 เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ ½ ในล้านของระยะทางเดิม ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะมีค่าลดลงไป 1 ในล้านของค่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับระดับชั้นที่ต่ำกว่า เนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าลดลงเป็นอัตราส่วนของระยะทางยกกำลังสอง ถ้าชั่งวัตถุ 200 g ค่าน้ำหนักจะลดลงไป 1 ในล้าน ซึ่งเท่ากับ 0.2 mg ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงควรมีแนวทางแก้ไขผลกระทบอันนี้ การแก้ไขก่อนทำการขนส่งเครื่องชั่งน้ำหนักนั้นเป็นไปไม่ได้เนื่องจากยังไม่ทราบค่าอัตราเร่งโน้มถ่วงที่แท้จริงของตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องชั่ง แต่ถึงแม้จะทราบค่าแล้วเครื่องชั่งน้ำหนักก็อาจถูกนำไปใช้สำหรับการชั่ง ณ ตำแหน่งเฉพาะซึ่งแม้จะเป็นภายในตึกเดียวกันก็ตามแต่คนละชั้น ซึ่งผลกระทบนี้สามารถรับรู้ได้สำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบวิเคราะห์ (Analytical balance) ในการแก้ไขสถานการณ์ที่กล่าวมา เครื่องชั่งน้ำหนักถูกติดตั้งอุปกรณ์สำหรับปรับตั้งไว้ซึ่งทำให้สามารถแก้ไขค่า Sensitivity (slope) ของ Characteristic curve ของเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความต้องการผลการชั่งถูกต้อง ณ ตำแหน่งที่ทำการชั่งน้ำหนักนั้น เมื่อทำการกระตุ้นคำสั่งปรับตั้งของเครื่องชั่ง เครื่องชั่งจะทำการชั่งตุ้มน้ำหนักอ้างอิงภายในข้างใต้จานชั่งน้ำหนักด้วยการทำงานของมอเตอร์ ผลจากการทำการปรับตั้งการชั่งน้ำหนักซึ่งเปลี่ยนไปตามสถานที่ ระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการคำนวณค่าแฟกเตอร์ (Calibration factor) และเก็บบันทึกค่านี้ไว้จนกระทั่งมีการปรับตั้งใหม่ เมื่อมีค่าแฟกเตอร์นี้แล้วทำให้สามารถตั้งค่า Sensitivity ของเครื่องชั่งได้อย่างถูกต้อง ผลการชั่งน้ำหนักภายหลังการปรับตั้งจะมีความสัมพันธ์กับค่า Slope ที่ถูกต้องของ Characteristic curve ดังนั้นวิธีแก้ไขทำได้โดยสอบเทียบเครื่องชั่งทุกครั้งที่มีการย้ายตำแหน่ง และใช้เครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ [4]

สำหรับระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัตินี้ได้มีการพัฒนาขึ้นมาแล้วแต่เป็นแบบที่ติดตั้งมาภายในโครงสร้างเครื่องชั่ง [5] โดยระบบปรับตั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบผลต่างของค่าสภาวะแวดล้อมที่วัดได้กับผลการวัดที่ผ่านมาก่อนหน้านั้นกับขอบเขตที่กำหนดไว้ ถ้าเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ระบบปรับตั้งจะถูกกระตุ้นให้ทำงาน โดยตัวแปรที่ตรวจสอบได้แก่ค่าอุณหภูมิ ความชื้น และเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Block diagram ของระบบปรับตั้งอัตโนมัติแบบ Embodiment [5]

นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นวิธีการสำหรับพิจารณาความจำเป็นในการปรับตั้งเครื่องชั่งโดยทำการแปลงค่าที่วัดได้จากตัวตรวจวัด (sensors) ให้เป็นค่าดิจิตอล และเก็บรวบรวมค่าเหล่านี้ไว้เพื่อนำไปเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ในส่วนกระตุ้นคำสั่งการทำงานฟังก์ชันปรับตั้งเครื่องชั่ง ถ้าค่าที่เก็บรวบรวมไว้เกินค่าอ้างอิงระบบจะไปกระตุ้นการทำงานของฟังก์ชันดังกล่าว [6] ดังแสดงในรูปที่ 3



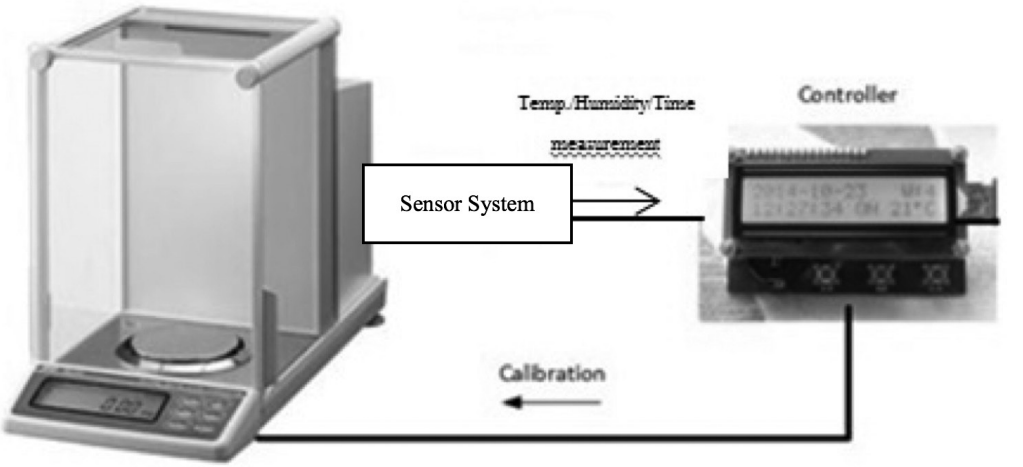
รูปที่ 3 แผนผังของคำสั่งควบคุมการทำงานของระบบปรับตั้งอัตโนมัติแบบ Embodiment [6]

สำหรับระบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) ผู้ใช้งานเครื่องชั่งจะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมอย่างเพียงพอและมีความรู้ความเข้าใจในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมว่าส่งผลต่อค่าความถูกต้องของเครื่องชั่งเป็นเท่าใด เพื่อนำไปใช้ประกอบในการตัดสินใจว่าควรทำการปรับตั้งเครื่องชั่งเมื่อใด ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ใช้งานเครื่องชั่งส่วนใหญ่ขาดความรู้ความเข้าใจทางเทคนิคในการประเมินผลกระทบ และไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมไว้ หรือถ้ามีก็ต้องใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ส่งผลให้เกิดความล่าช้าและไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงาน ดังนั้นผู้ใช้งานบางรายจึงตัดสินใจทำการปรับตั้งเครื่องชั่งก่อนการใช้งานทุกครั้งเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ซึ่งบางครั้งอาจไม่มีความจำเป็นต้องทำการปรับตั้งเครื่องชั่งก็ได้ การปรับตั้งเครื่องชั่งบ่อยเกินความจำเป็นนี้ส่งผลให้เครื่องชั่งมีการทำงานเพิ่มขึ้น กลไกปรับตั้งภายในเกิดการสึกหรอง่ายขึ้น ส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องชั่งลดลง นอกจากนี้ผู้ใช้งานเครื่องชั่งบางรายเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าทำการปรับตั้งเพียงครั้งเดียวก็สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งวัน ทำให้ผู้ใช้งานไม่ได้ทำการปรับตั้งเครื่องชั่งในเวลาที่เหมาะสมส่งผลให้ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักมีค่าผิดพลาดโดยที่ผู้ใช้งานไม่ทราบ ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องชั่งจึงได้ทำการพัฒนาระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อลดปัญหาความยุ่งยากที่เกิดขึ้นต่อผู้ใช้งาน โดยที่ผู้ใช้งานเครื่องชั่งไม่ต้องกังวลกับการเปลี่ยนแปลงไปของสภาวะแวดล้อมเนื่องจากเครื่องชั่งสามารถทำการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมและทำการปรับตั้งเองโดยอัตโนมัติ ทำให้สามารถลดความกังวลของผู้ใช้งาน เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และยืดอายุการใช้งานเครื่องชั่งจากการปรับตั้งเครื่องชั่งบ่อยเกินความจำเป็น แต่เครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัตินี้มีราคาสูงขึ้นทำให้ผู้ใช้งานมีต้นทุนสูงขึ้นจากการซื้อเครื่องชั่งดังกล่าว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการปรับปรุงพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระบบปรับตั้งภายใน (Internal calibration) แบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) ให้กลายเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในโดยอัตโนมัติ เพื่อทดแทนการซื้อเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติใหม่ที่มีราคาสูงกว่า ทำให้ประเทศไทยสามารถประหยัดเงินตราต่างประเทศในการที่จะต้องซื้อเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องชั่งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) อยู่แล้ว ดังนั้นสามารถนำระบบจากงานวิจัยนี้ไปใช้ร่วมด้วย เพื่อทดแทนการซื้อเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติใหม่ที่มีราคาสูงกว่าในการทำให้ผลการชั่งน้ำหนักมีความถูกต้องแม่นยำ เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้นต่อผลิตภัณฑ์ หรือผลการวิเคราะห์ทดสอบที่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การมาตรฐานแห่งชาติ ด้านมาตรวิทยา ในการที่ไปเพิ่มขีดความสามารถในการวัดให้เกิดการยอมรับในระดับสากลและสนับสนุนกิจกรรมด้านการมาตรฐานของประเทศ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจ เช่น สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยได้รับการยอมรับจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากคุณภาพเป็นไปตามที่กำหนดจากผลการวัดที่ถูกต้อง ทำให้สามารถส่งออกสินค้านำรายได้เข้าประเทศ สำหรับผลกระทบทางสังคมส่งผลให้คุณภาพชีวิตของคนในสังคมดีขึ้น โดยเฉพาะผลการชั่งน้ำหนักในอุตสาหกรรมอาหารและยา ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

แนวทางในการสร้างระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัตินี้ประกอบไปด้วยระบบตรวจสอบภาวะ (Sensor system) ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ/ความชื้น/เวลา และระบบควบคุมคำสั่งการทำงานของเครื่องชั่ง (Controller) ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของภาวะต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสมและตามความแปรปรวนที่เป็นจริง



รูปที่ 4 การทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ

ของสภาวะแวดล้อมในการทำงาน เช่น อุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±2°C ความชื้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±10%RH ระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นต้น รูปที่ 4 แสดงการทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมา โดยตัว Sensor system จะทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาว่าเกินขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าค่าที่วัดได้เกินขอบเขตที่กำหนดไว้ ตัว Controller จะทำการส่งสัญญาณไปที่ตัวเครื่องชั่งผ่านช่องเชื่อมต่อสัญญาณเพื่อทำการกระตุ้นฟังก์ชันการปรับตั้งภายในที่มีอยู่ของเครื่องชั่ง

ขั้นตอนการดำเนินงาน ประกอบด้วย

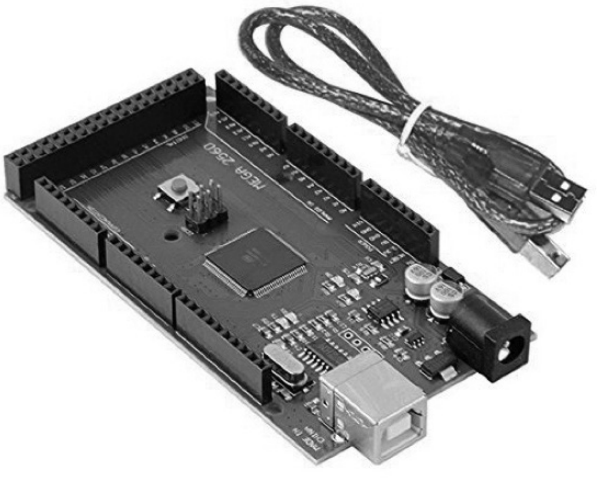
1. สร้างระบบตรวจวัด (Sensor) สำหรับวัดค่าสภาวะแวดล้อม (อุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ) และตัววัดเวลา โดยให้สามารถแสดงค่าวัน วันที่ และเวลาที่ทำการวัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ระบบตรวจวัด (Sensor) สำหรับวัดค่าสภาวะแวดล้อมที่มีการเพิ่มเติมการแสดงค่าวัน วันที่ และเวลา

ระบบตรวจวัด (Sensor) ดังกล่าวมีคุณลักษณะดังนี้

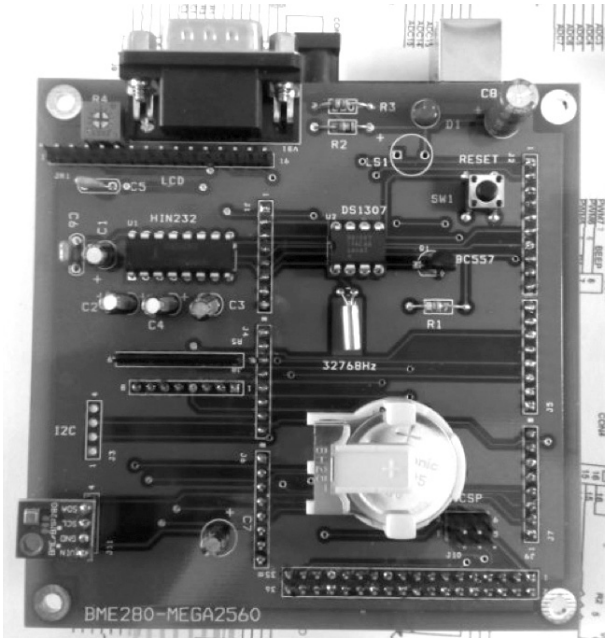
- วัดค่าอุณหภูมิได้ในช่วงตั้งแต่ -40°C ถึง 85°C ความละเอียด 0.1°C
- วัดค่าความชื้นได้ในช่วงตั้งแต่ 0 %RH ถึง 100 %RH ความละเอียด 0.1 %RH
- วัดค่าความดันบรรยากาศได้ในช่วงตั้งแต่ 300 hPa ถึง 1,100 hPa ความละเอียด 0.1 hPa
- วัดเวลาในหน่วยวินาที แบบ real-time ความละเอียด 1 s
- มีช่อง RS232 สำหรับถ่ายโอนข้อมูล
- มีจอ LCD แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ และเวลา
- มีแป้นพิมพ์สำหรับตั้งค่าการทำงาน

2. สร้างระบบควบคุมการทำงาน (Microcontroller) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของฟังก์ชันการปรับตั้งเครื่องชั่งน้ำหนัก และฟังก์ชันอื่น ๆ ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 6



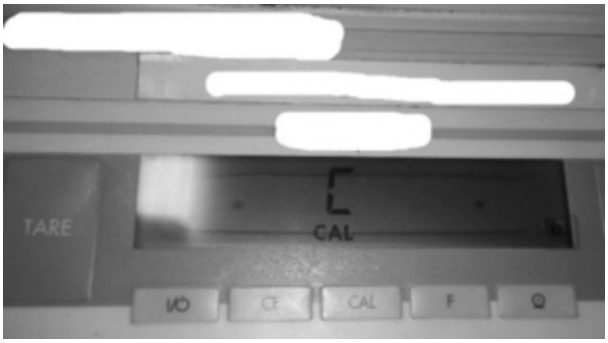
รูปที่ 6 ระบบควบคุมการทำงาน (Microcontroller)

3. ประกอบระบบตรวจวัด (Sensor) กับระบบควบคุมการทำงาน (Microcontroller) เข้าด้วยกันโดยทำการเชื่อมต่อผ่าน I2C port J3, SDA pin และ SCL pin ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดประกอบระหว่างระบบตรวจวัดกับระบบควบคุมการทำงาน

4. ออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานการเชื่อมต่อระหว่างระบบควบคุมการทำงานกับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ด้วยภาษาซี โดยทำการตั้งค่าต่อไปนี้ Port เชื่อมต่อ, Baud rate, Data, Parity, Stop bit เป็นต้น เพื่อใช้สื่อสารกับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิธีการตั้งค่าต่างๆ ปฏิบัติตามคู่มือผู้ผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ โดยในเบื้องต้นจะทำการเขียนโปรแกรมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ PC และทำการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นมา โดยทำการเชื่อมต่อเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 cable ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยในการเชื่อมต่อสื่อสารนี้จะใช้โปรแกรม PC terminal emulator Tera



รูปที่ 9 ผลการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่ง

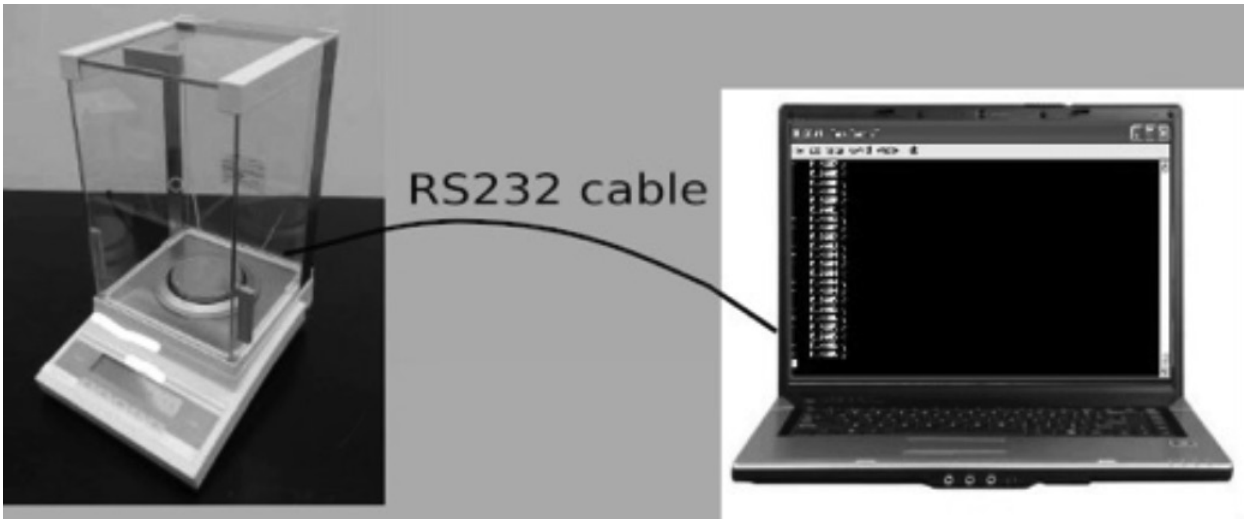
Term v4.92 โดยทำการตั้งค่าในการเชื่อมต่อสื่อสารตามคู่มือผู้ผลิต

5. ตรวจสอบคำสั่งกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งที่เขียนโปรแกรมขึ้นมา จากผลการทดลองพบว่าเครื่องชั่งมีการตอบสนองต่อคำสั่งที่ป้อนเข้าไปโดยทำการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 9

6. ทำการอัดโปรแกรมที่ออกแบบลงในหน่วยประมวลผลของระบบควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อและกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้โดยตรงโดยไม่ผ่านคอมพิวเตอร์

7. สอบเทียบเครื่องชั่งในกรณีที่เครื่องชั่งได้รับการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ

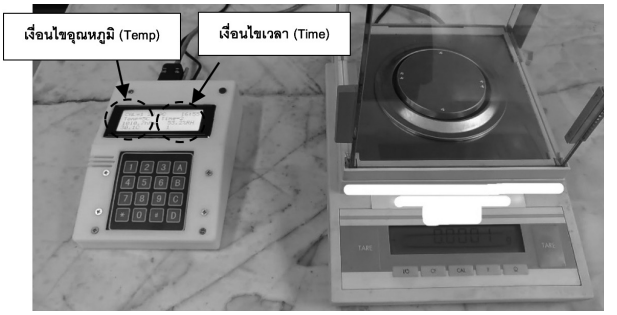
8. เปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งระหว่างการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 8 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องชั่งน้ำหนักกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 cable

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

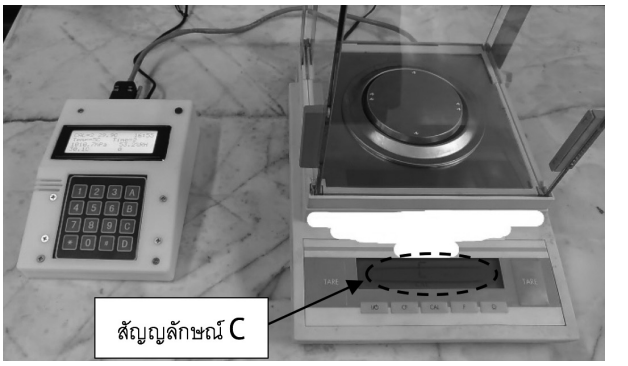
จากการเชื่อมต่อระบบควบคุมการทำงานเข้ากับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อที่เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสื่อสารกับระบบควบคุมการทำงาน โดยตั้งค่า Baud rate, Parity และ Stop bit ให้สอดคล้องกับค่าที่โปรแกรมไว้ในระบบควบคุมการทำงาน และทดลองตั้งค่าเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น Temp = 5°C หรือค่าเวลา เช่น Time = 2 (หน่วยเป็นนาที) ที่แป้นสำหรับตั้งค่า เพื่อไปกระตุ้นคำสั่งระบบปรับตั้งภายใน (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 การเชื่อมต่อระบบควบคุมการทำงานเข้ากับเครื่องชั่งและการตั้งค่าเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลา

จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิหรือเวลามีการเปลี่ยนแปลง ระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งถูกกระตุ้นให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ โดยปรากฏสัญลักษณ์ C บนหน้าจอแสดงผล ซึ่งเป็นการแสดงการทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งดังแสดงในรูปที่ 11

จากนั้นได้ทดลองเชื่อมต่อระบบควบคุมการทำงานที่ได้สร้างขึ้นมานี้กับเครื่องชั่งรุ่นเดียวกันแต่คนละเครื่อง (หมายเลขเครื่องแตกต่างกัน) พบว่าระบบควบคุมการทำงานนี้สามารถสื่อสารและกระตุ้นคำสั่งระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นกัน เนื่องจากว่ามีการตั้งค่าที่เกี่ยวกับฟังก์ชันระบบปรับตั้งเครื่องชั่ง และค่าที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อสื่อสารเหมือนกัน



รูปที่ 11 การแสดงการทำงานของระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่ง

ต่อมาดำเนินการสอบเทียบเครื่องชั่งในกรณีที่เครื่องชั่งได้รับการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ โดยมีผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1

หลังจากนั้นดำเนินการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งระหว่างการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากค่า E_n numbers ซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังนี้ ถ้าค่า $E_n \leq 1.0$ ผลผ่าน แสดงว่าผลการสอบเทียบของทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า $E_n > 1.0$ ผลไม่ผ่าน แสดงว่าผลการสอบเทียบของทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการเปรียบเทียบโดยใช้ค่า E_n numbers ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งในกรณีที่เครื่องชั่งได้รับการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ (Auto)

ค่าที่ระบุ (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
การปรับตั้ง	ค่าแก้ (±ค่าความไม่แน่นอน) : หน่วย g									
Manual	-0.0001 (0.000087)	-0.0001 (0.00011)	-0.0002 (0.00014)	0.0000 (0.00015)	0.0000 (0.00016)	-0.0001 (0.00022)	-0.0001 (0.00022)	0.0000 (0.00026)	+0.0001 (0.00026)	+0.0003 (0.00027)
Auto	-0.0001 (0.00015)	0.0000 (0.00011)	-0.0001 (0.00014)	-0.0001 (0.00015)	0.0000 (0.00015)	-0.0002 (0.00022)	-0.0003 (0.00022)	0.0000 (0.00026)	+0.0001 (0.00026)	+0.0003 (0.00027)

ตารางที่ 2 ค่า E_n numbers ของผลการสอบเทียบระหว่างการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติ (Auto)

ค่าที่ระบุ (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
E_n numbers	0.0	0.6	0.5	0.5	0.0	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการทดลองนี้พบว่าระบบควบคุมการปรับตั้งเครื่องชั่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมานี้ ประกอบด้วยระบบตรวจวัดที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศและเวลา และระบบควบคุมการทำงานที่มีการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานการเชื่อมต่อสื่อสารกับเครื่องชั่ง เพื่อใช้ในการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้โดยอัตโนมัติ โดยที่ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งระหว่างการปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องทำการกระตุ้นระบบ (Manual) และแบบอัตโนมัติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งภายในแบบ Manual เพื่อเปลี่ยนให้เครื่องชั่งสามารถทำการปรับตั้งเครื่องชั่งได้เองแบบอัตโนมัติ โดยสามารถกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการจะใช้เป็นเงื่อนไขในการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้ผ่านแป้นพิมพ์ ทำให้ผู้ใช้งานเครื่องชั่งไม่ต้องซื้อเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติซึ่งมีราคาสูงกว่าเป็นการประหยัดงบประมาณ และยังเพิ่มความถูกต้องแม่นยำให้กับผลการชั่งน้ำหนักอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสมโภชน์ บุญสนิท กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำปรึกษา และขอขอบคุณ สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ (พศ.) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องชั่งสำหรับใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] จิตตกานต์ อินเที่ยง. การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 1). *UPDATE สมท. สาร.* 2549, **11**(1) มกราคม - มีนาคม, 13.

[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] HEINZ, R. and R. ARTHUR. *The New analytical balance AT from METTLER*. Switzerland : Mettler, 1988.

[4] KOCHSIEK, M. Fundamentals of Mass Determination. Greifensee : Mettler-Toledo, 1991, pp. 84, 88.

[5] METTLER INSTRUMENT AG. Method for the automatic calibration of a high-resolution electronic balance. ARTHUR, B. *United States Patent US 4,858,161A*. 1989-08-15.

[6] METTLER INSTRUMENT AG. Method for determining the necessity of adjusting a high-resolution electronic balance. FRITZ F., M. LINUS and R. ARTHUR. *United States Patent US 5,056,050A*. 1991-10-08.