Journal of Industrial Technology and Innovation 2(2) (2023) 250017

เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

Weighing and counting device for Automatic display

รณชัย มรกตศรีวรรณ[1*], วชิรปัญญา ปัญญาว่อง[2] และ สาคร แถวโนนงิ้ว[3,*]

Ronnachai Morrakotsriwan[1*], Wachirapunya Punyawong[2] and Sakron Taeanonjiew[3*]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น ถ.ศรีจันทร์ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

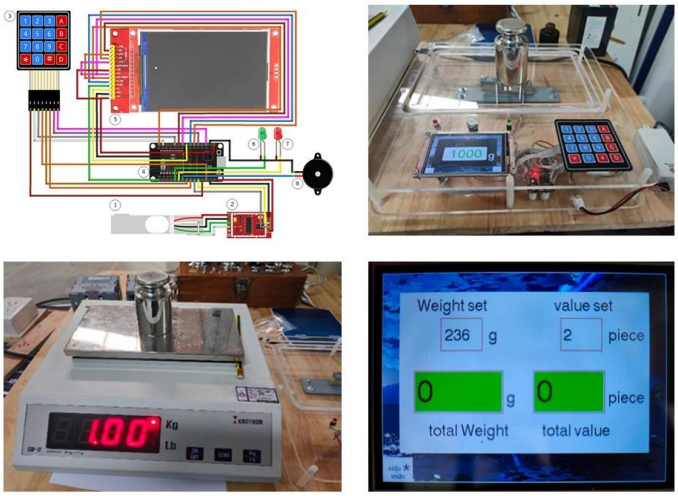
*ผู้ติดต่อ: E-mail ronachaimo@kktech.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 094-3859996, เบอร์โทรสาร 043 - 222064

*Corresponding author E-mail: ronachaimo@kktech.ac.th, sakornth@kktech.ac.th

https://doi.org/10.55674/snrujiti.v2i2. 250017

Received: 24-6-2023 Revised: 28-08-2023 Accepted: 28-08-2023 Available online: 29-08-2023

บทคัดย่อ



โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ เพื่อช่วยในการนับและระบุจำนวนของวัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและมีความหลากหลายในหน่วยงาน การออกแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง โหลดเซลล์เพื่อรับน้ำหนักของวัตถุและอุปกรณ์ขยายสัญญาณไฟฟ้า HX711 ให้มีค่าเป็นสัญญาณ Digital 24 Bit ส่วนที่สอง ส่วนควบคุมระบบซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำการประมวลผลและควบคุมการแสดงผล และปุ่มคีย์ป้อนน้ำหนักมาตรฐานของอุปกรณ์ และส่วนที่สาม ส่วนการแสดงผลจากการชั่งและการนับจำนวนอุปกรณ์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติมีความผิดพลาดสูงสุดเพียง 0.2% และสามารถทำการแจ้งเตือนอย่างแม่นยำซึ่งแสดงว่าโครงการวิจัยนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์, เครื่องชั่งน้ำหนัก, ESP32, โหลดเซลล์

Abstract

The Purposes of this research were to design and develop the Equipment number counting weighing machine in store, materials and equipment are constantly shrinking in size, especially nuts and screws, so counting is very necessary. Thus, we have design and develop for to weigh and counting the number of devices in the store helps to count the number of devices. We designed by divided it to 3 parts: Part 1 the load cell converts the pressure into electrical signals HX711 serves to receive the signal from the load cell and convert the value to high precision digital 24Bit signal. Part 2 the ESP32 receives the value from the HX711 signal amplifier to process it. Part 3 display results from weighing and counting equipment. Efficiency of weighing and counting automatic display devices with a maximum error of only 0.2% of weighing and counting devices and accurate alarms show that this research can work efficiently.

Keywords: Microcontroller, Weighing Scales, ESP32, Load cell

© 2023 Faculty of Industrial Technology reserved

1. บทนำ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการควบคุมได้มีการพัฒนาไปอย่างแพร่หลาย การสร้างพัฒนาเครื่องมือที่มีกลไก การควบคุมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นการต่อยอดมาจากการสร้างเครื่องมือทั่วไปให้มีลักษณะรูปแบบที่น่าสนใจ มีคุณค่า ประโยชน์และประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตมนุษย์มากยิ่งขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ ระบบแสดงผลภายในรถยนต์ โทรศัพท์มือถือ และอื่น ๆ รวมถึงเครื่องชั่งน้ำหนักอีกด้วย [1-2]

เครื่องชั่งน้ำหนักนั้นมีประโยชน์มากในชีวิตประจำวันทั้งการชั่งน้ำหนักมวลกายรวมถึงการชั่งน้ำหนักสิ่งของชิ้นงานต่าง ๆ ในส่วนของแผนกงานในบริษัทนั้นมีอุปกรณ์มากมายหลายชนิดรวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กหรือชิ้นส่วนของเครื่องมือช่างต่าง ๆ เช่น น็อต สกรู [3-4] ล้วนเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและยากต่อการนับ เมื่อมีการเบิกอุปกรณ์ไปใช้งานอาจจะส่งผลกระทบให้แก่เจ้าหน้าที่ภายในห้องสโตร์ เช่น เกิดความสับสนจำนวนอุปกรณ์ไม่ตรงตามจำนวนยอดที่ต้องการเบิกใช้งานหรืออาจทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงานเนื่องจากต้องนับอุปกรณ์นั้น ๆ ที่ละชิ้น ดังนั้น เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์จึงมีความจำเป็นต่อการใช้งานในการเบิก-จ่ายอุปกรณ์ภายในหน่วยงานเป็นอย่างมาก

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ ที่มีความประสิทธิภาพ มีขนาดเล็ก และทำให้ลดภาระการทำงานให้แก่เจ้าหน้าที่ได้เป็นอย่างมาก

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

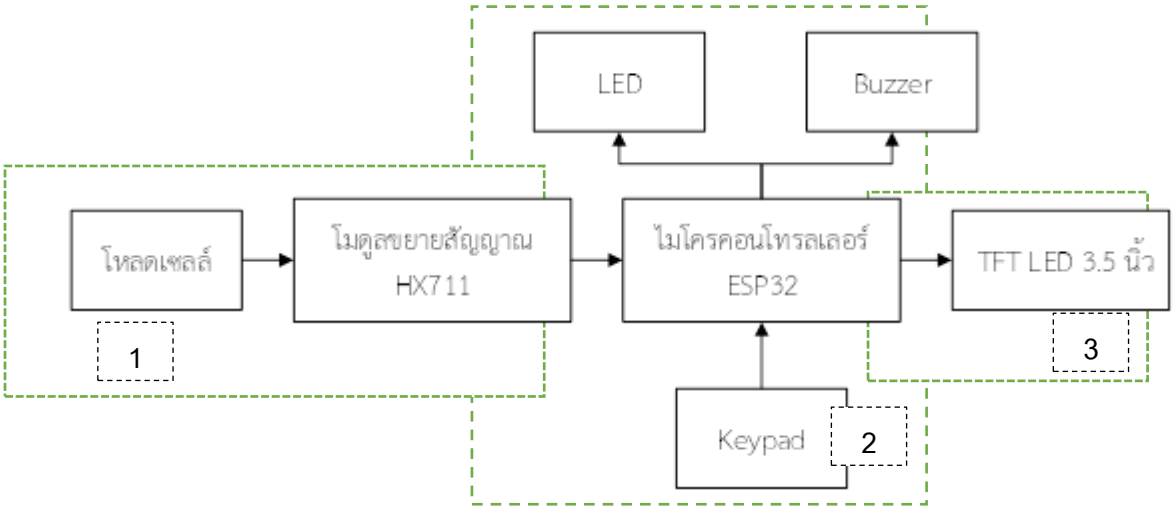
2.2) เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ มีการวิธีการดำเนินงานวิจัยด้วยกัน 2 ด้าน คือ การออกแบบและพัฒนาระบบเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

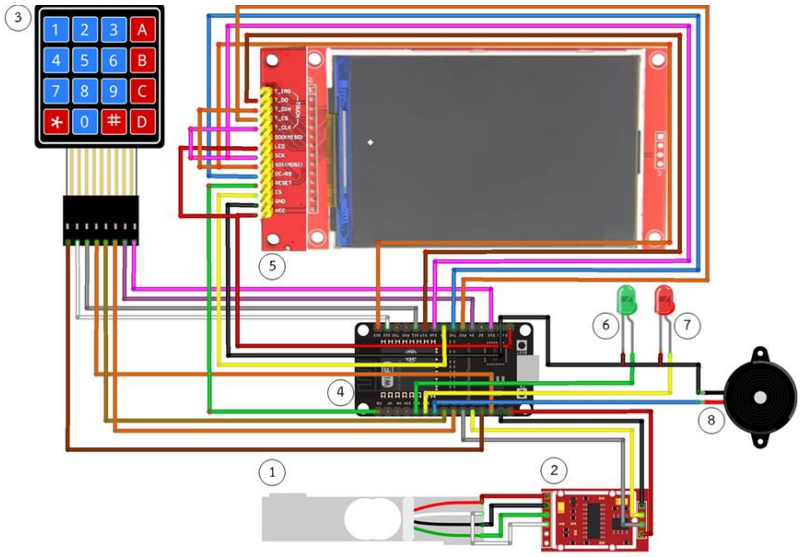
3.1) การออกแบบและพัฒนา

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว สามารถออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงานและดำเนินการออกแบบและโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ 1 ส่วนรับค่าน้ำหนักและแปลงสัญญาณ ส่วนที่ 2 ส่วนการประมวลผล และการกำหนดค่าน้ำหนักพื้นฐานของอุปกรณ์ และส่วนที่ 3 ส่วนการแสดงผลการนับจำนวนอุปกรณ์



ภาพที่ 1 โครงสร้างครื่องชั่งน้ำหนักนับและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

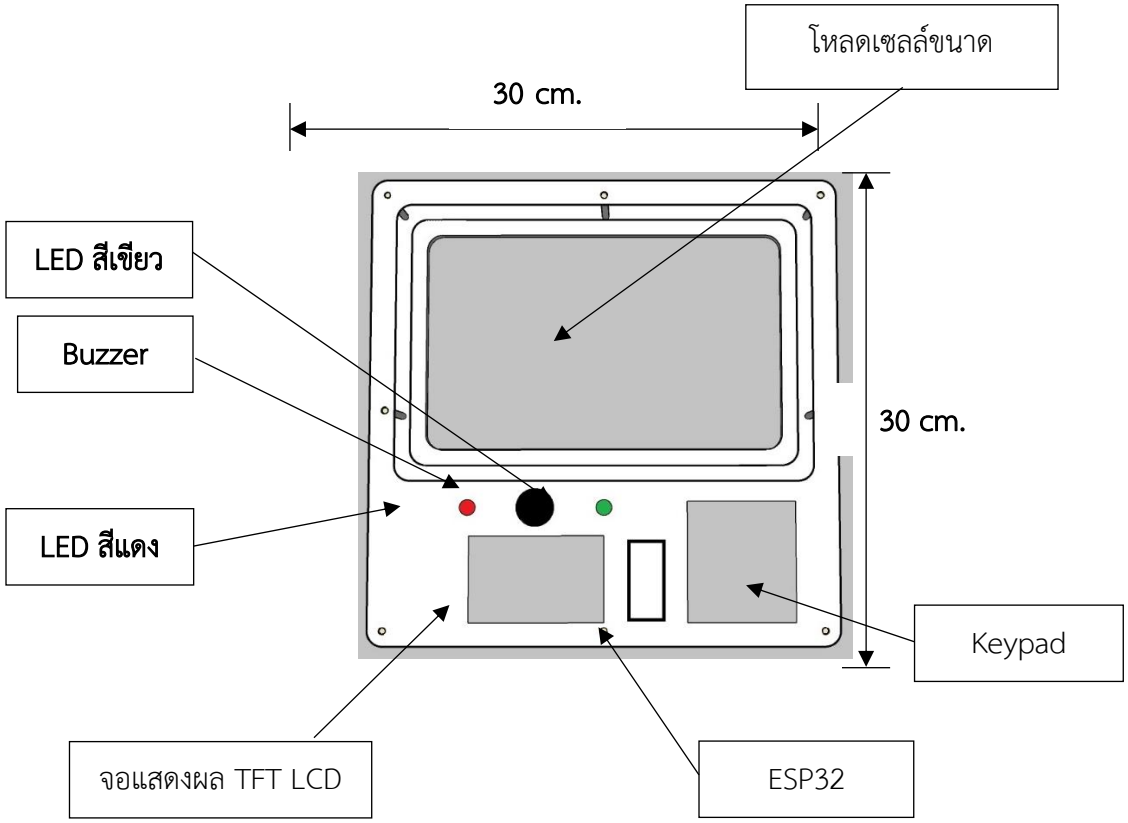
จากการออกแบบโครงสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ เมื่อดำเนินการพัฒนาระบบเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวน โดยมีโมดูลโหลดเซลล์ (หมายเลข 1) [5-6] ที่สามารถรับน้ำหนักไม่เกินขนาด 5000 กรัม ซึ่งจะมีการเปลี่ยนจากแรงกดของน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลล์ เป็นสัญญาณ Digital ขนาด 24Bit ด้วยโมดูลขยายสัญญาณ HX711 (หมายเลข 2) ส่งสัญญาณให้ Microcontroller ESP32 (หมายเลข 4) เพื่อการประมวลผลและควบคุมการแสดงผลการนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลที่จอ TFT LED (หมายเลข 5) ขนาด 3.5 นิ้ว [7]



ภาพที่ 2 วงจรควบคุมของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

เมื่อจะมีการชั่งอุปกรณ์ต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่อุปกรณ์ผ่านทางโมดูล Keypad (หมายเลข 3) เพื่อระบุประเภทอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน หากเมื่อน้ำหนักที่ชั่งได้คงที่จะมีสัญญาณเสียงเตือนด้วยบัสเซอร์ (หมายเลข 8) และมีหลอด LED สีเขียว (หมายเลข 6) เพื่อแสดงสถานะน้ำหนักตรงตามที่กำหนด หลอด LED สีแดงเขียว (หมายเลข 7) เพื่อแสดงสถานะน้ำหนักเกิน และน้ำหนักยังไม่ถึงค่าที่กำหนดที่เป็นมาตรฐาน

การจัดวางอุปกรณ์ของเครื่องชั่งน้ำหนัก ที่จะประกอบการสร้างขึ้นจากแผ่นอะคริลิค กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร มีหน้าจอแสดงผล TFT LCD 3.5 นิ้ว แสดงค่าน้ำหนัก มี Buzzer เพื่อส่งเสียงแจ้งเตือนเมื่อน้ำหนักคงที่ Keypad เพื่อระบุจำนวนอุปกรณ์ ปุ่มตกลง และปุ่มยกเลิก LED สีเขียว เพื่อแสดงสถานะน้ำหนักตรงตามที่กำหนด LED สีแดง เพื่อแสดงสถานะน้ำหนักเกินและน้ำหนักยังไม่ถึงค่าที่กำหนด แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์อุปกรณ์อัตโนมัติ

3.2) การหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ของการชั่งน้ำหนักและนับอุปกรณ์อัตโนมัติ

ประสิทธิภาพของการชั่งน้ำหนัก สามารถหาได้จากความคลาดเคลื่อน (Error) หรือ Static Error คือ ผลแตกต่างระหว่างค่าน้ำหนักที่ชั่งได้กับค่าน้ำหนักที่แท้จริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) [8-10] ถ้าค่าที่ชั่งได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากแสดงว่าการชั่งนั้นมีความแม่นยำหรือความถูกต้อง (Accuracy) สูง โดยการชั่งน้ำหนักทุกครั้งมักมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การเข้าใจถึงสาเหตุจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่แน่นอน การคำนวณค่าความผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก สามารถหาได้จากสมการ

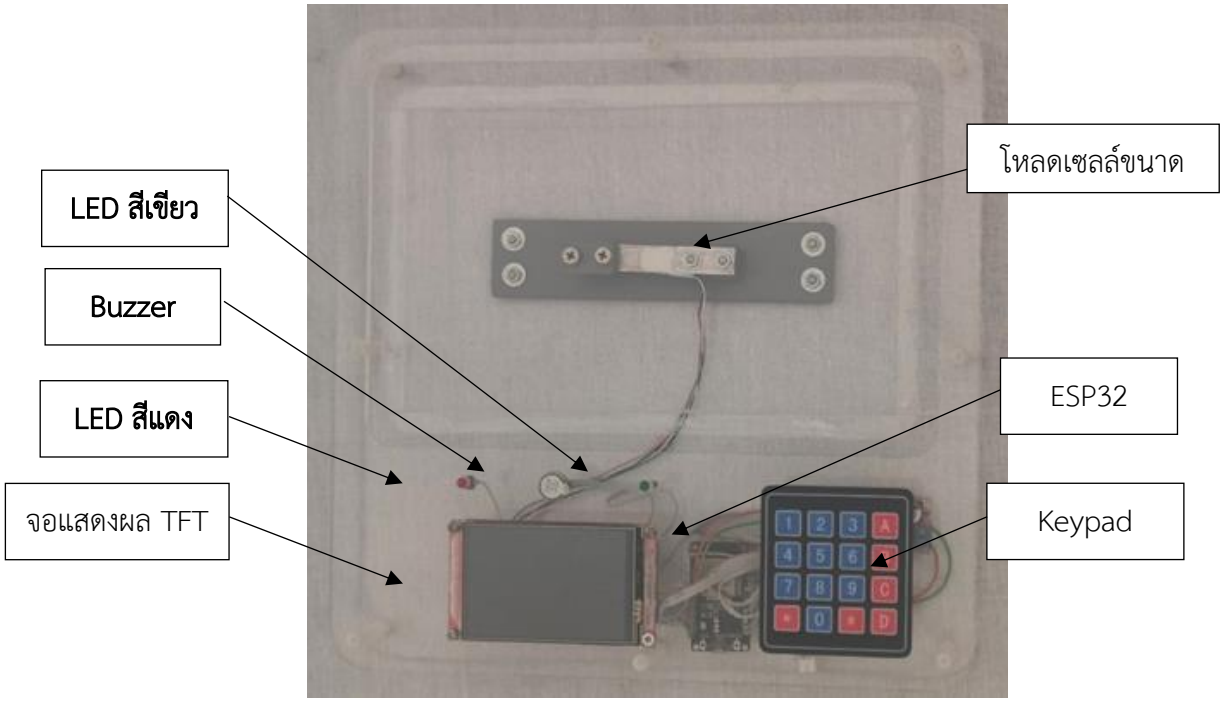
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่งได้-น้ำหนักมาตรฐาน}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน}} \times 100$$

4. ผลการวิจัย

จากวิธีการดำเนินงานวิจัย ได้ทำการทดสอบการใช้งานและหาประสิทธิภาพเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริง ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

ตัวเครื่องสร้างขึ้นจากอะคลิลิค ซึ่งมีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร มีหน้าจอแสดงผล TFT LCD เพื่อแสดงค่าน้ำหนัก และจำนวนอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานประหยัดเวลาในการนับจำนวนอุปกรณ์ สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 5,000 กรัม ภาพที่ 4 ซึ่งเป็นด้านหน้า (ด้านบน) ของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ



ภาพที่ 4 เครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ (ด้านหน้า)

จากภาพที่ 4 ปุ่มคำสั่งทั้งหมดของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์อัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้ ปุ่มกด 0-9 เป็นปุ่มกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้นสำหรับอุปกรณ์แต่ละประเภท ปุ่มกด A เป็นปุ่มเพื่อเริ่มกำหนดจำนวนอุปกรณ์ ปุ่มกด D เป็นปุ่มลบเพื่อแก้ไขจำนวนอุปกรณ์ ปุ่มกด * เป็นปุ่มยกเลิก และ ปุ่มกด # เป็นปุ่มตกลงรับคำสั่ง

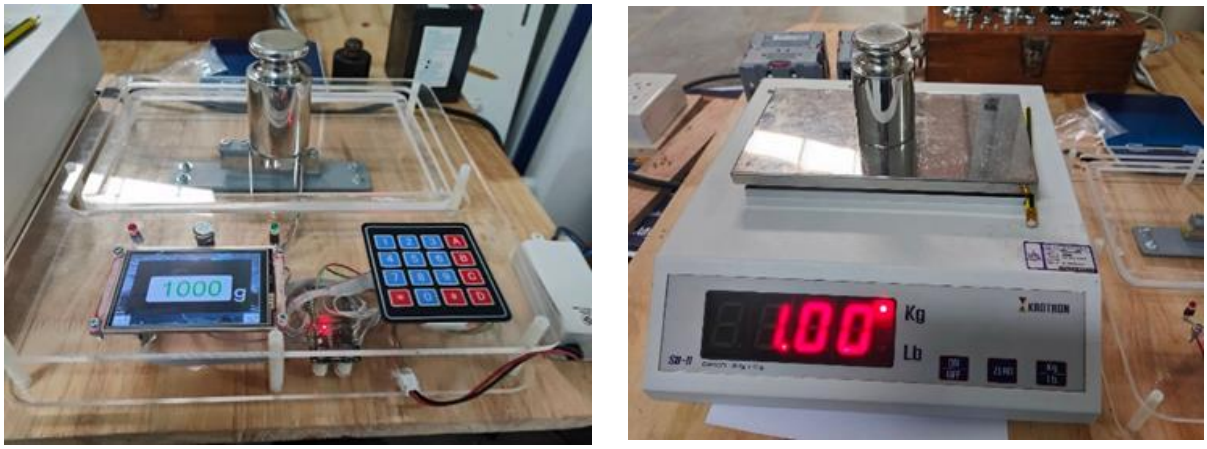
4.2 ผลการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ

ได้ทำการทดสอบการชั่งน้ำหนักเพื่อหาประสิทธิภาพ ตามมาตรฐานการสอบเทียบเครื่องชั่งของสำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ [11] ซึ่งได้ทดสอบการชั่ง 2 วิธี คือ การทดสอบชั่งน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน OIML R111 ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ที่ 1 กรัม 5 กรัม 10 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม

200 กรัม 500 กรัม 1,000 กรัม และ 2,000 กรัม และเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

การทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องชั่งน้ำหนักที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON รุ่น SB-II ที่มีในห้องปฏิบัติการซึ่งทำการสอบเทียบเมื่อ 13 ธันวาคม 2565 ตามมาตรฐานกรมการค้าภายในและครื่องมีการสอบเทียบในทุก 3 เดือน หรืออย่างน้อย 1 ปี ก่อนทำการชั่งน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจากน้ำหนัก 100 กรัม 200 กรัม และ 500 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการชั่งน้ำหนัก เครื่องที่สร้างกับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON รุ่น SB-II

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบชั่งค่าน้ำหนักของลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระหว่างเครื่องชั่งน้ำหนักที่สร้างขึ้นกับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON รุ่น SB-II

การชั่งน้ำหนัก (ครั้งที่)	100 (กรัม)		200 (กรัม)		500 (กรัม)	
	เครื่อง KROTRON	เครื่องที่สร้าง	เครื่อง KROTRON	เครื่องที่สร้าง	เครื่อง KROTRON	เครื่องที่สร้าง
1	100	100	200	200	500	500
2	100	100	200	200	500	500
3	100	100	200	200	500	500
4	100	100	200	200	500	500
5	100	100	200	200	500	500
6	100	100	200	200	500	500
7	100	100	200	200	500	500
8	100	100	200	200	500	500
9	100	100	200	200	500	500
10	100	100	200	200	500	500
ค่าเฉลี่ย	**100**	**100**	**200**	**200**	**500**	**501**
ร้อยละความผิดพลาด	**0**		**0**		**0.2**	
ร้อยละความผิดพลาดรวม	**0.06**					

ผลการทดสอบการชั่งค่าน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานระหว่างเครื่องชั่งน้ำหนักที่สร้างขึ้น กับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON รุ่น SB-II มีการทดสอบชั่งน้ำหนักที่ 100 กรัม มีค่าความผิดพลาดของการชั่งน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 0 ,การทดสอบชั่งน้ำหนักที่ 200 กรัม มีค่าความผิดพลาดของการชั่งน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 0 และการทดสอบชั่งน้ำหนักที่ 500 กรัมมีค่าความผิดพลาดของการชั่งน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 0.2 และเมื่อคิดคำนวณค่าผิดพลาดการชั่งรวมมีค่าร้อยละ 0.06

การทดสอบหาประสิทธิภาพการนับอุปกรณ์ที่ทำการชั่ง โดยทดสอบกับอุปกรณ์ 3 ประเภท คือ สกรูเกลียวปล่อย ขนาด M4 ยาว 2.5 cm. ฟิวส์หลอดแก้ว ขนาด 6 x 30 mm. และไอซี SN74LS10N ขนาดสูง 4.57 mm. ยาว 19.3 mm. กว้าง 6.35 mm. โดยการกำหนดน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ปุ่มกดของเครื่องชั่งน้ำหนักแสดงดังภาพที่ 7 และทำการทดสอบชั่งและนับวัสดุละ 5 ครั้ง มีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ภาพที่ 7 แสดงผลการชั่งและการนับจำนวนอุปกรณ์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์ โดยทดสอบการนับจำนวนอุปกรณ์

จำนวนอุปกรณ์ (ชิ้น)	สกรู (2 กรัม)		ฟิวส์หลอดแก้ว (2 กรัม)		ไอซี (1 กรัม)	
	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่สร้าง	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่สร้าง	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่สร้าง
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
8	8	8	8	8	8	8
10	10	10	10	10	10	10
ร้อยละความผิดพลาด	**0**		**0**		**0**	
ร้อยละความผิดพลาดรวม			**0**			

จากตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบการนับจำนวนอุปกรณ์ทั้ง 3 ประเภท คือ สกรูเกลียวปล่อยขนาด M4 ยาว 2.5 cm. ฟิวส์หลอดแก้วขนาด 6 x 30 mm. และไอซี SN74LS10N ขนาดสูง 4.57 mm. ยาว 19.3 mm. กว้าง 6.35 mm. โดยทดสอบการนับประเภทละ 5 ครั้ง พบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักสามารถนับจำนวนอุปกรณ์ได้ถูกต้องและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 0

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการการวิจัย

สรุปผลการวิจัยเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ สามารถทำการชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างหลากหลาย ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานของหน่วยงาน การออกแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) ส่วนรับน้ำหนักโหลดเซลล์ และอุปกรณ์ขยายสัญญาณไฟฟ้า HX711 2) ส่วนการประมวลผลและการกำหนดค่าน้ำหนักพื้นฐานของอุปกรณ์ 3) จอแสดงผล TFTLCD ของการชั่งน้ำหนักและแสดงผลการนับจำนวนอุปกรณ์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการชั่งน้ำหนักมีความผิดพลาดสูงสุดที่ 0.2% การนับจำนวนอุปกรณ์และการแจ้งเตือนแม่นยำได้อย่างถูกต้อง

5.2 การอภิปรายผล

การทดสอบชั่งน้ำหนักจะต้องมีร้อยละความผิดพลาดไม่เกิน 0.75 การทดสอบการชั่งน้ำหนัก 3 ค่าน้ำหนัก ทดสอบค่าน้ำหนักละ 10 ครั้ง ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนัก 100 กรัม 200 และกรัม 500 กรัม มีค่าความผิดพลาดของน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON รุ่น SB-II อยู่ที่ร้อยละ 0.06 ซึ่งปรากฏว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.75 และในการทดสอบการใช้งานการนับจำนวนอุปกรณ์ จากการทดสอบชั่งและนับจำนวนอุปกรณ์ทั้ง 3 ประเภท โดยการทดสอบชั่งน้ำหนักประเภทละ 5 ครั้ง ผลการทดสอบปรากฏว่ามีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 0 ซึ่งแสดงว่าเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอุปกรณ์แสดงผลอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานและใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาดังต่อไปนี้

1) เพิ่มฟังก์ชั่นต่าง ๆ ลงบนเครื่องชั่งน้ำหนักนับจำนวนในสโตร์ได้ เช่น การบันทึกข้อมูลเพื่อดูการทำงานย้อนหลัง

2) สามารถลดขนาดของตัวเครื่อง ให้มีขนาดเล็กลง วัสดุเบา และแข็งแรง เพื่อง่ายต่อเก็บรักษา ทำความสะอาด และขนย้าย เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ฉัตรธิวัฒน์ ธรรมานุยุต (2558). **วงจรอิเล็กทรอนิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[2] บุญธรรม ภัทราจารุกุล (2558). **อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น** . กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[3] พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. (2553). **อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[4] กอบเกียรติ สระอุบล (2563). **การพัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduio และ Raspberry Pi**. กรุงเทพมหานคร: อินเตอร์มีเดีย

[5] Sara Santos and Rui Santos (2013). **“ESP32 with Load Cell and HX711 Amplifier (Digital Scale)”**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://randomnerdtutorial.com สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2565.

[6] ปิยะฉัตร ฉัตรตันใจ ชนม์พิสิทธิ์ ยาท้วม และชนกันต์ โคจรนา. (2561). **“โหลดเซลล์ทนแรงดันน้ำสำหรับเครื่องทดสอบการรับแรงเฉือนของดินแบบสามแกน”.** วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า., ปีที่ 16, หน้า. 520–528.

[7] Cybertice. (2564). **“สอนใช้งาน ESP32 จอแสดงผล IL9488 TFT LCD ขนาด 3.5 นิ้ว Color module 480x320 แบบสัมผัส แสดงกราฟิก”.** [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://cybertic.com สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2565.

[8] นวภัทรา และ ทวีพล (2555). **“การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร”.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/ สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2565.

[9] ธัญภพ ศิริมาศเกษม, กฤษติยพงษ์ ขวัญวงษ์, อิษฎา แสงโชติ, ศักดิ์ศรี แก่นสม, ธเนศ ตั้งจิตเจริญเลิศ, อิสรี ศรีคุณ, กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล, ปาริฉัตร แก่นสม และประชารัฐ สัตถาผล. (2560). การพัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์ข้าวสารอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม,** 4(1), 26-34

[10] ปิยชาติ มรกตคันโธ และเขมฤทัย ถามะพัฒน์. (2564).การตรวจสอบวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดชนิดเส้นใยแก้วนำแสง. **วารสารนวัตกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 1(1), 1-19

[11] สำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. (2565). “เครื่องชั่ง”. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.cbwmthai.org/scale.aspx สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2566.