

การพัฒนาเครื่องตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟด้วยเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

The Development of a Coffee Bean Moisture and Temperature Measuring Device by Using Internet of Things

จุฬาวลี มณีเลิศ, พิรุฬห์ แก้วฟุ้งรังษี, ประธาน คำจិនะ และ พรวนา รัตนชูโชค*
Chulawalee Maneelert, Piroon Kaewfoongrunsi, Prathan Comejina,
& Ponwana Rattanachuchok*

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

Submitted 16/04/2024 ; Revised 23/05/2024 ; Accepted 15/06/2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ผู้วิจัยได้พัฒนาต้นแบบเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความชื้น และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดค่าและส่งข้อมูลไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลการวัดค่าผ่านทางระบบสารสนเทศ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดสอบระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นกับเครื่อง EE-KU และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ สามารถตรวจวัดความชื้น และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟได้อย่างถูกต้อง แสดงผลการวัดไปยังแอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และเว็บแอปพลิเคชันของผู้ใช้งานได้ แอปพลิเคชันสามารถเพิ่มระบบผู้ใช้งานได้ มีฐานข้อมูลเก็บข้อมูลจากผู้ขายได้ เมื่อเปรียบเทียบด้านราคาพบว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูกกว่าเครื่องที่มีขายตามท้องตลาดซึ่งไม่สามารถใช้งานแบบออนไลน์ และแสดงผลบนหน้าจอของเครื่องเพียงอย่างเดียว อีกทั้งเครื่องที่พัฒนายังมีขนาดเล็กและเบา พกพาไปใช้ได้สะดวกกว่าเครื่องทั่วไปที่มีขนาดใหญ่และราคาแพงกว่า รวมถึงการซ่อมบำรุงก็เป็นไปได้โดยง่ายเพราะว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ หาซื้อได้ภายในประเทศและมีราคาถูก

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ ความชื้น แอปพลิเคชัน อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: ponwana.r@g.cmr.ac.th

Abstract

This research aimed to develop a device for measuring the moisture and temperature of coffee beans and to test its efficiency. We developed a prototype of the device along with an information system to display the measurement results. The device comprised a moisture sensor and a temperature sensor, which measured the values, transferred the data to a cloud server, and presented the findings through the information system. The differences in test results between the humidity sensor and the EE-KU machine, as well as between the temperature sensor and the digital thermometer (TP101), were not statistically significant at the 0.01 level. The device accurately measured the moisture and temperature of coffee beans and displayed the results on a mobile application installed on mobile devices, as well as a web application accessible to users. This application allows users to create additional user accounts and includes a database for gathering seller information. In terms of cost, the developed device is less expensive than commercially available devices, which cannot be used online and only display the results on the machine's screen. Moreover, the developed device is smaller, lighter, and more portable than commercially available alternatives. Maintenance is also feasible, as the equipment can be easily sourced domestically at a low cost.

Keywords: coffee beans, moisture, application, Internet of Things

บทนำ

ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งเพาะปลูกของกาแฟชั้นดี มีเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟมากถึง 98% ของประชากรทั้งหมดในตำบล หมู่บ้านปางไฮ ทุกหลังคาเรือนในหมู่บ้านปลูกกาแฟเป็นอาชีพหลัก ปัจจุบันมีการจัดตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสด และบริษัทที่ปลูกและรวบรวมสารกาแฟเพื่อส่งขายไปยังโรงคั่วกาแฟ ร้านกาแฟสด และโครงการหลวง กาแฟจึงถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจของหมู่บ้านปางไฮ และตำบลเทพเสด็จ แต่ผลผลิตที่ได้ออกมาพร้อมกันในปริมาณมากทำให้ไม่สามารถจำหน่ายและส่งออกกาแฟดิบได้หมด จึงเกิดสภาวะกาแฟดิบล้นตลาด และเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ได้จำหน่ายมีความชื้น เป็นมอดและเชื้อรา เนื่องจากมอดเจาะผลกาแฟในแหล่งที่ตาก กาแฟที่มีความชื้นสูง หรือมีการเก็บเกี่ยวผลกาแฟที่มีมอดเจาะทำลายอยู่ เมล็ดกาแฟที่ได้จะไม่มีคุณภาพ [1] รวมถึงการลดความชื้นของกาแฟและลาที่ยังไม่เหมาะสม มีผลทำให้ราคากาแฟตกต่ำ เกษตรกรได้รับความเดือดร้อนเป็นประจำทุกปี ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟรายย่อยที่ไม่มีระบบการบริหารจัดการที่เข้มแข็งมากพอ ถึงแม้ด้านการตลาดจะมีผู้รับซื้อในพื้นที่แต่ราคาที่ได้นั้นได้เท่าที่ควร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปรรูป และเก็บรักษาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าว

Internet of Things (IoT) หรืออินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ รวมถึงของสิ่งของ ผู้คน ข้อมูลและการบริการ สามารถเชื่อมโยงและสื่อสารกันได้โดยผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การทำงานของ IoT ประกอบด้วย 1) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เฉพาะจุด หรืออุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ โดยต้องมีการบรรจุอุปกรณ์สมองกลฝังตัวอยู่เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล 2) ที่จัดเก็บข้อมูลที่ถูกรับส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ ที่มีการส่งผ่านระบบเครือข่ายมาจัดเก็บไว้ในคลาวด์ 3) ส่วนแสดงผลและควบคุมการทำงานหรือแอปพลิเคชันสำหรับแสดงค่าต่าง ๆ [2] ปัจจุบันมีการนำอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เช่น การผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่และการเกษตรแบบดั้งเดิม เป็นยุคของการเกษตร 4.0 การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสามารถลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลผลิตและคุณภาพได้ [3] ส่วนเว็บแอปพลิเคชันเป็นส่วนแสดงผล ข้อมูล ข่าวสาร สารสนเทศผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เป็นแอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้สำหรับแสดงผลข้อมูล หรือใช้งานผ่านทางอุปกรณ์เคลื่อนที่ ปัจจุบันเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการแสดงข้อมูล หรือสารสนเทศที่ต้องการเพื่อสะดวกในการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครือข่ายเซิร์ฟเวอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ มีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ สำหรับแสดงข้อมูลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ภายในฟาร์ม [4]

ความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้รสชาติของกาแฟเปลี่ยนแปลงไป เช่น รสชาติเปรี้ยวขึ้น ความหวานลดลง รสชาติตอนท้ายลดลง และความหอมของเมล็ดลดลง นอกจากนี้หากความชื้นสูงขึ้น ทำให้เมล็ดกาแฟเสียหาย [5] การซื้อขายผลผลิตโดยเฉพาะเกี่ยวกับเมล็ดพันธุ์การเกษตรเกือบทั้งหมดจะใช้ค่าความชื้นที่เป็นมาตรฐานในการประเมินคุณภาพและเป็นกลไกในการกำหนดราคา เนื่องจากความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นตัวแปรที่สำคัญในการผลิต ความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดพืชเป็นคุณสมบัติที่สำคัญจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเมล็ดพืชนั้น ๆ รวมทั้งใช้เป็นข้อกำหนดในการซื้อขายด้วย ความชื้นที่สูงเกินมาตรฐานจะถูกหักลดน้ำหนักหรือราคาต่อหน่วยลง

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาพัฒนาเป็นระบบตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิของกาแฟ และนำเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟไปใช้ในชุมชน โดยเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดส่งเข้าระบบคลาวด์ และบันทึกลงในฐานข้อมูล นำมาสร้างระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟเพื่อให้คนในชุมชนได้จัดเตรียมวางแผนวิธีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ได้จำหน่ายได้นานขึ้น เนื่องจากมีความชื้นที่เหมาะสมเป็นเมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของกาแฟดิบให้มีมูลค่าสูงขึ้น และยังเป็นส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าของพันธุ์พืชบนพื้นที่สูงอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ และการรับซื้อเมล็ดกาแฟตามมาตรฐานสินค้าเกษตร เกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ พบว่า คุณภาพของเมล็ดกาแฟ คือ ไม่มีกลิ่นผิดปกติ มีสีตรงตามกระบวนการผลิต และมีความชื้นไม่เกิน 12.5% [6] ในการรับซื้อเมล็ดกาแฟความชื้นควรเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรไม่เกิน 12.5%

2. การออกแบบส่วนของอุปกรณ์เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

การออกแบบส่วนของเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ โดยมีการจัดทาระบบชุดเซนเซอร์สำหรับวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ การวัดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟในงานวิจัยนี้ มีการเก็บข้อมูลวัน เวลาที่วัด ครั้งที่ ข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ และข้อมูลผู้ใช้ จากนั้นส่งข้อมูลกลับมายังฐานข้อมูล บันทึกข้อมูล เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ มีองค์ประกอบของอุปกรณ์ดังนี้

1) บอร์ดอาดุยโน (Arduino nodeMCU ESP32) ใช้เป็นตัวควบคุมการประมวลผล โดยมีการรับค่าสัญญาณแอนะล็อกจากเซนเซอร์วัดความชื้น (capacitive soil moisture sensor v2.0) แปลงสัญญาณแอนะล็อกที่เป็นค่าระดับแรงไฟฟ้ากระแสตรงช่วงระดับแรงดันที่ 0 ถึง 3 โวลต์ ให้เป็นค่าข้อมูลตัวเลขแบบดิจิทัล โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) ที่มีความละเอียด 12 บิต ที่อยู่ภายในบอร์ดอาดุยโนซึ่งจะทำให้ได้ค่าข้อมูลตัวเลขดิจิทัลที่แปลงเป็นเลขฐานสิบอยู่ในช่วง 0 - 4,095 เพื่อนำค่าตัวเลขฐานสิบนี้ ไปใช้ในสมการคำนวณค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟดังในสมการที่ (2) พร้อมทั้งบอร์ดอาดุยโนได้อ่านค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Digital temperature temp sensor DS18B20) นำมาประมวลผลเพื่อนำไปแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล (OLED display I2C) พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ เมื่อมีการกดบันทึกข้อมูล

2) เซนเซอร์วัดความชื้น (capacitive soil moisture sensor v2.0) ใช้เซนเซอร์ที่เป็นชนิดเดียวกับการวัดความชื้นในดิน โดยใช้หลักการตรวจสอบประจุของวัตถุ ถ้าวัตถุมีค่าประจุมากแสดงว่าชื้นมาก ให้ค่าออกเป็นค่าแอนะล็อกที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในระดับ 0 ถึง 3 โวลต์ เพื่อนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่อยู่ภายในบอร์ดอาดุยโน

3) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (digital temperature temp sensor DS18B20) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในระดับ 5 โวลต์ โดยสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำสุด -55°C และมากที่สุด $+125^{\circ}\text{C}$ ด้วยความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

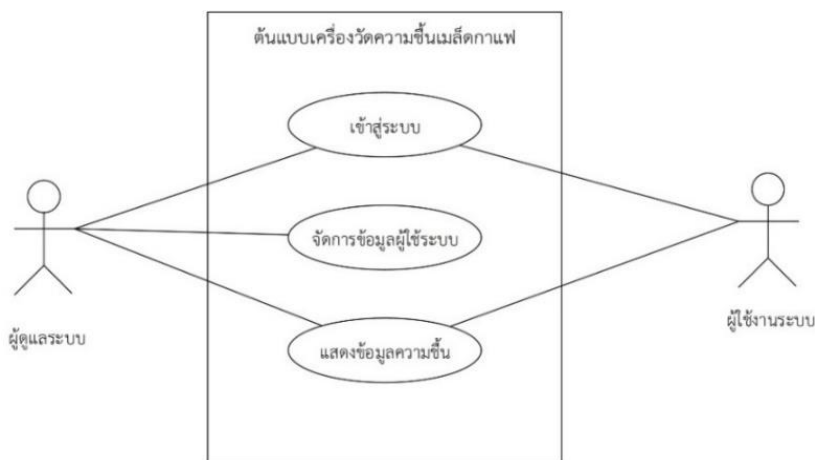
4) ตัวเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Pocket WiFi) ใช้ในการรับส่งข้อมูลของเครื่อง โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ไปยังฐานข้อมูลเพื่อบันทึกค่าที่ได้จากเซนเซอร์

5) จอแสดงผล (OLED display I2C) ใช้จอแสดงผลกราฟิก OLED ขนาด 1.3 นิ้ว รับส่งข้อมูลแบบ I2C สีขาว ความละเอียดในการแสดงผล 128x64 pixel

6) สวิตช์แบบกด (push button switch) ใช้สำหรับยืนยันการบันทึกข้อมูลสำหรับการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิไปยังเซิร์ฟเวอร์

3. วิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

การพัฒนาระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ แผนภาพยูสเคส ไดอะแกรม แสดงรายละเอียดของการทำงานของผู้นดูแลระบบ ซึ่งสามารถล็อกอินเข้าสู่ระบบจัดการข้อมูลผู้ใช้งานระบบ และแสดงข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิ ส่วนผู้ใช้งานทั่วไปสามารถล็อกอินเข้าสู่ระบบ และแสดงข้อมูลความชื้น (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ยูสเคส ไดอะแกรมระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

4. พัฒนารูปแบบเครื่องมือตรวจวัด และพัฒนาระบบสารสนเทศแสดงผลการวัด

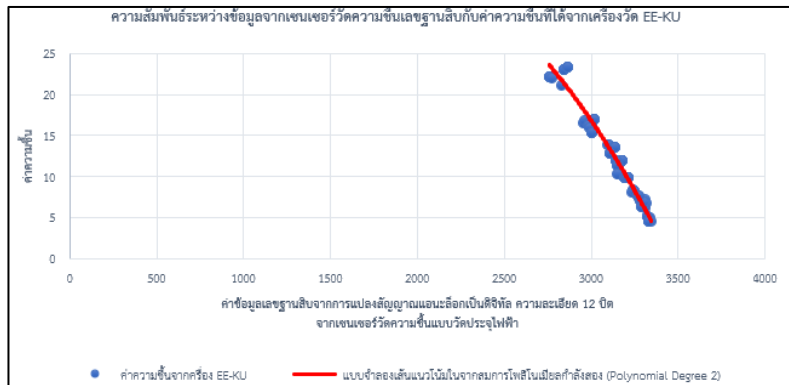
1) พัฒนารูปแบบเครื่องมือตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ เชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ กับบอร์ดตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นเขียนโปรแกรมเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามคำสั่งด้วยภาษาซี ให้เซนเซอร์เริ่มทำการตรวจวัดค่า จากนั้นส่งค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูล MySQL และในขั้นตอนการพัฒนาได้มีการตรวจสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ที่ใช้งาน เพื่อหาความถูกต้องของเซนเซอร์และนำค่าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์มาเปรียบเทียบ โดยเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นกับเครื่อง EE-KU และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101)

1.1) เซนเซอร์วัดความชื้น จากการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นแบบวัดประจุไฟฟ้า (capacitive sensor) ที่มีการส่งค่าออกมาเป็นสัญญาณแอนะล็อกทำให้ไม่สามารถแปลผลเป็นค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟได้ จึงจะต้องมีการหาสมการสำหรับการแปลงค่าสัญญาณแอนะล็อกที่อ่านมาได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นไปเป็นค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัด EE-KU โดยการวัดและบันทึกค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟที่แตกต่างกันจำนวน 92 ค่า (ตารางที่ 1) เป็นการบันทึกค่าข้อมูลตัวเลขแบบดิจิทัล ที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ที่มีความละเอียด 12 บิต นำมาแปลงเป็นเลขฐานสิบอยู่ในช่วง 0 - 4,095 เพื่อนำค่าตัวเลขฐานสิบนี้ไปใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์สมการพหุนามดีกรีสอง เพื่อให้ได้สมการคำนวณค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟดังสมการที่ (2)

ตารางที่ 1 ค่าข้อมูลตัวเลขแบบดิจิทัลที่ได้แปลงเป็นเลขฐานสิบ จากเซนเซอร์วัดความชื้น เปรียบเทียบกับค่าความชื้นจริงที่วัดจากเครื่องมือ EE-KU

ครั้งที่	ค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นเลขฐานสิบ	ค่าความชื้นจากเครื่อง EE-KU
1	3310	6.6
2	3245	8.3
3	3238	8.4
...		...
91	3328	4.5
92	3329	4.5

จากตารางที่ 1 เมื่อนำค่าข้อมูลตัวเลขแบบดิจิทัล ที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ที่มีความละเอียด 12 บิต นำมาแปลงเป็นเลขฐานสิบอยู่ในช่วง 0 - 4,095 กับค่าความชื้นที่ได้จากเครื่องมือ EE-KU นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูล พร้อมทั้งทดลองสร้างแบบจำลองเส้นแนวโน้มในการประมาณค่าจากหลาย ๆ วิธี พบว่าการใช้สมการพหุนามดีกรีสอง (polynomial degree 2) สามารถประมาณค่าข้อมูลได้ดีที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความชื้นจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ผ่านการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบ กับค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟที่วัดได้จากเครื่องมือ EE-KU นั้นมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นเลขฐานสิบกับค่าความชื้นที่ได้จากเครื่องวัด EE-KU

นอกจากนี้ ได้มีการนำค่าข้อมูลค่าเซนเซอร์วัดความชื้นแบบวัดประจุไฟฟ้า การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แบบ 12 บิต เปรียบเทียบกับค่าความชื้นจริงที่วัดจากเครื่องมือ EE-KU นำไปหาค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared) พบว่าค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 99.59% แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่าเซนเซอร์วัดความชื้นแบบวัดประจุไฟฟ้า จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ที่มีความละเอียด 12 บิตกับค่าความชื้นจริงที่วัดจากเครื่องมือ EE-KU มีความสัมพันธ์กัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำหลักการของการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression) [7] โดยการใช้ สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง มาหาสมการเพื่อคำนวณหาค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟที่ถูกต้องและมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องมือ EE-KU ที่มีการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

ตัวแปรตาม y เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปร คือ สามารถกำหนดให้สมการโพลิโนเมียลกำลังสองเป็นดังสมการที่ (1)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \varepsilon \quad (1)$$

โดยที่ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงจุดตัดแกนและความชัน

ε คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากฟังก์ชันและข้อมูลจริง

โดยทางผู้วิจัยได้กำหนดค่าให้มีค่าเท่ากับ 0

จากสมการที่ (1) เมื่อนำค่าในตารางที่ 1 ไปดำเนินการหาค่าสัมประสิทธิ์ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสองจะได้ดังสมการที่ (2)

$$y = 3.940717033226963 + (x * 0.0448993767314285) + (x^2 * -0.0000126602644038996) \quad (2)$$

โดยที่ y คือ ค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟที่วัดได้

x คือ ค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นซึ่งเป็นค่าตัวเลขจากโมดูล A/D แบบ 12 บิต

เมื่อได้สมการสำหรับการประมาณค่าในสมการที่ (2) จึงนำสมการมาทดลองใช้ในการคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความชื้นจริงที่ได้จากเครื่องมือ EE-KU เพื่อคำนวณหาความผิดพลาดโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เป็นวิธีวัดความแม่นยำ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการประมาณค่า ถ้าได้ค่าต่ำจะมีความแม่นยำสูง มีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์} = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \right) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ At คือ ค่าจริงที่วัดได้
 Ft คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า
 n คือ ค่าจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด

เมื่อนำสมการที่ (3) ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าความชื้นเมล็ดกาแฟจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ผ่านสมการโพลิโนเมียลกำลังสองกับค่าความชื้นจริงที่ได้จากเครื่องมือ EE-KU ดังตารางที่ 2 พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 5.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และหน่วยการวัดความชื้นที่ได้จากการคำนวณเป็นความชื้นสัมพัทธ์ สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดความชื้นของเมล็ดกาแฟได้ สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (ตารางที่ 2) ยังพบว่าในกรณีเมื่อค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือ EE-KU ที่มีค่าน้อยกว่า 5 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชื้นเมล็ดกาแฟจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ผ่านสมการโพลิโนเมียลกำลังสองนั้น จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์สูง เนื่องจากเซนเซอร์วัดความชื้นให้ค่าสัญญาณออกมาเป็นค่าแอนะล็อกที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในระดับ 0 ถึง 3 โวลท์เท่านั้น จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นที่มีค่ามากกับค่าน้อยมีช่วงระดับแรงดันที่ต่างกันไม่มากส่งผลให้การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 12 บิต ไม่เพียงพอในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของระดับแรงดัน ดังนั้นจึงควรเพิ่มความละเอียดจำนวน บิต เป็น 16 บิต เพื่อเพิ่มความละเอียดของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลให้มีค่าอยู่ในช่วง 0–65,535 เพื่อลดค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์สำหรับการวัดค่าความชื้นต่ำ ๆ ได้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ ระหว่างความชื้นเมล็ดกาแฟจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ผ่านสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง กับเครื่องมือวัด EE-KU

ครั้งที่	ค่าจาก A/D	ค่าความชื้น จากเครื่องมือ EE-KU	ค่าที่คำนวณได้จาก โพลิโนเมียลกำลังสอง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาดสัมบูรณ์
1	3310	6.6	5.97	9.56
2	3245	8.3	8.44	1.75
3	3238	8.4	8.71	3.63
...	...	...	...	...
89	3324	5.1	5.42	6.31
90	3327	4.5	5.30	17.87
91	3328	4.5	5.26	16.99

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ ระหว่างความขึ้นเมลิคกาแฟจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ผ่านสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง กับเครื่องมือวัด EE-KU (ต่อ)

ครั้งที่	ค่าจาก A/D	ค่าความชื้นจากเครื่อง EE-KU	ค่าที่คำนวณได้จากโพลีโนเมียลกำลังสอง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์
92	3329	4.5	5.23	16.12
ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์				5.99
ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				4.32

1.2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ค่าที่ได้จากเซนเซอร์เป็นองศาเซลเซียสเช่นเดียวกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (TP101) การทดสอบและเปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (TP101) ที่เป็นเครื่องมือมาตรฐานทั่วไป โดยทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันจำนวน 100 ค่า (ตารางที่ 3) เพื่อใช้ในการหาความคลาดเคลื่อนในการวัดโดยเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) พบว่าได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

$$\% \text{ ความผิดพลาด} = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่ X_t คือ ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์

X_m คือ ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (TP101)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error) อุณหภูมิของเมลิคกาแฟจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ กับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (TP101)

ครั้งที่	ค่าจากเซนเซอร์	ค่าจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (TP101)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
1	25.94	25.10	0.38
2	26.25	26.30	0.23
3	25.50	25.60	0.20
4	25.50	25.70	0.39
...	...	...	...
97	25.75	25.70	0.19
98	25.69	25.40	1.14
99	25.75	25.90	0.58
100	25.81	26.10	1.11
ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด			1.12
ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.82

2) พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ โดยใช้ Mit app inventor ในการพัฒนา โดยเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เก็บไว้มาแสดงผ่านทางแอปพลิเคชันสำหรับติดตั้งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่

3) พัฒนาระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟโดยใช้ภาษา PHP ในการพัฒนา โดยเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เก็บไว้มาแสดงผ่านทางเว็บไซต์

5. ทดสอบการใช้งาน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองใช้งานเครื่องมือวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ โดยทดสอบการทำงานตามฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของระบบให้ใช้งานได้ถูกต้อง แสดงผลการทำงานได้ถูกต้อง

ผลการวิจัย

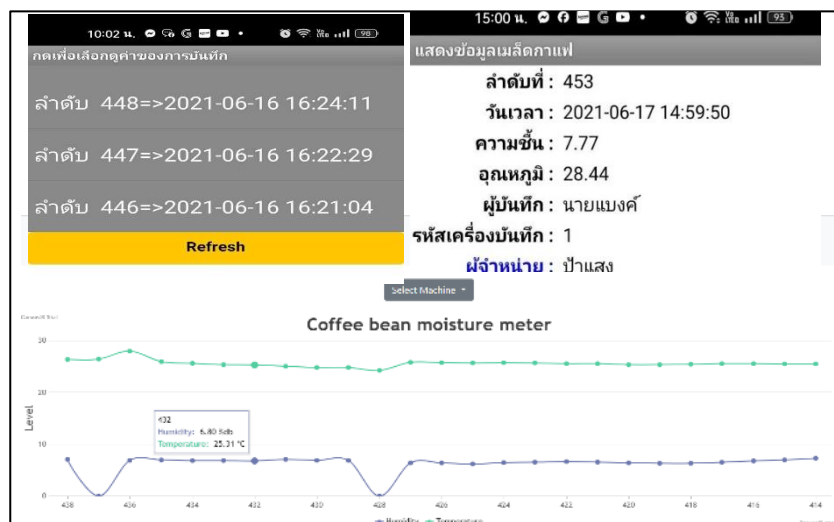
การพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ เครื่องต้นแบบสามารถตรวจวัดความชื้นของเมล็ดกาแฟได้ใกล้เคียงกับเครื่องจากเครื่อง EE-KU โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ที่ 5.99 และค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.32 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง EE-KU และการอ่านค่าอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) ที่เป็นมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 1.12 และค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.82 นอกจากนี้ตัวเครื่องยังสามารถส่งค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟที่วัดได้ไปจัดเก็บไว้ฐานข้อมูลซึ่งเครื่อง EE-KU ไม่สามารถทำได้ สำหรับส่วนประกอบเครื่องวัดความชื้นเมล็ดและอุณหภูมิกาแฟ (ภาพที่ 3) ประกอบด้วย 1) เครื่องวัดความชื้น 2) ช่องรับเมล็ด 3) กรวยเท 4) ฝาปิดเครื่อง 5) สายแบตเตอรี่ คุณสมบัติของเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิมีรายละเอียดดังนี้ 1) การวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ ของตัวอย่างขณะนั้น 2) แสดงค่าอุณหภูมิ ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 °C 3) แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตั้งแต่ 4 ถึง 40 % 4) ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1.0 % 5) ขนาดตัวอย่างเมล็ดกาแฟในการวัดค่า : 100 กรัม 6) พลังงานใช้ 3.7V 1 ก้อน



ภาพที่ 3 เครื่องตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศแสดงค่าวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

ระบบสารสนเทศแสดงค่าวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ประกอบด้วยระบบสารสนเทศที่แสดงผลการตรวจวัดค่าผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน มีการแสดงผลการตรวจวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ มีการแสดงผลทั้งแบบข้อความ และกราฟ และระบบสารสนเทศในรูปแบบของแอปพลิเคชันสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ แสดงผลการตรวจวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ (ภาพที่ 4) โดยข้อมูลแสดงผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน และแสดงด้วยแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเก็บข้อมูลที่ตรวจวัดทั้งหมดในฐานข้อมูล สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง ประวัติการตรวจวัดค่าของข้อมูลได้ตลอดเวลา



ภาพที่ 4 ผลการตรวจวัดค่าจากเมล็ดกาแฟแสดงผลทางแอปพลิเคชัน และเว็บเบราว์เซอร์

การพัฒนาเครื่องตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟด้วยเทคโนโลยี
อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ดำเนินทดสอบเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือสำเร็จรูปที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ดพันธุ์ที่มีมาตรฐาน โดยทำการทดลองวัดค่าด้วยเซนเซอร์ วัดความชื้นด้วยเครื่อง EE-KU และวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) ทั้งหมด 10 ครั้ง ใช้เมล็ดกาแฟกะลา 100 กรัม มาทดลองทำการตรวจวัดค่า (ตารางที่ 4) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าที่ได้

ตารางที่ 4 การวัดค่าด้วยเซนเซอร์ การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่อง EE-KU และอุณหภูมิจากเครื่อง TP101 Digital Thermometer

ครั้งที่	ค่าความชื้นจากเซนเซอร์	ค่าความชื้นจากเครื่อง EE-KU	ค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์	ค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101)
1	7.00	6.61	26.10	26.00
2	7.10	6.46	26.00	25.94
3	6.90	7.09	25.60	25.55
4	7.00	6.85	25.70	25.60
5	7.00	6.96	25.80	25.70
6	7.00	7.34	25.80	25.70
7	7.10	6.80	25.70	25.60
8	7.10	7.25	25.40	25.50
9	7.00	6.58	25.90	25.80
10	7.00	7.14	26.10	26.20

การเปรียบเทียบระหว่างการวัดด้วยเครื่อง EE-KU และการวัดด้วยเซนเซอร์ ผลการวัดค่าความชื้นด้วยเครื่อง EE-KU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 และวัดด้วยเซนเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.91 จากการเปรียบเทียบพบว่าผลการวัดค่าความชื้นด้วยเครื่อง EE-KU และการวัดด้วยเซนเซอร์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 5) การเปรียบเทียบระหว่างการวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) และการวัดด้วยเซนเซอร์ ผลการวัดค่าอุณหภูมิเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.81 ตรวจวัดด้วยเซนเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.76 จากการเปรียบเทียบพบว่าผลการวัดค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) และการวัดด้วยเซนเซอร์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่อง EE-KU กับการวัดค่าด้วยเซนเซอร์ และการคำนวณด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) กับการวัดค่าด้วยเซนเซอร์

เครื่องมือ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	ระดับความเป็นอิสระ	ค่าความมีนัยสำคัญ
เครื่อง EE-KU	7.02	0.063	0.101	0.320	1.107	9	0.148
เซนเซอร์วัดความชื้น	6.91	0.299					
เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101)	25.81	0.223	-0.05	0.082	-1.974	9	0.040
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	25.76	0.225					

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ออกแบบมาให้ตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สามารถตรวจวัดและจัดเก็บผลการตรวจวัดบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเมื่อศึกษาการวิจัยและพัฒนาเครื่องตรวจวัดความชื้นเมล็ดกาแฟ พบว่ามีการวิจัยที่มีการสร้างเครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือกไร้สายซึ่งได้ประยุกต์ใช้งาน Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล และแสดงค่าที่วัดได้ที่จอ LCD [8] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ บอร์ดอาดุยโน (Arduino nodeMCU ESP32) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถแสดงผลการตรวจวัดผ่านทางแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดความชื้นเปรียบเทียบกับเครื่อง EE-KU ทำให้ทราบว่าเครื่องมือที่พัฒนา มีความผิดพลาดจากการวัดความชื้น เท่ากับ 5.99 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเครื่อง EE-KU ในด้านความถูกต้อง 94.01% เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) มีความผิดพลาดจากการวัดอุณหภูมิ เท่ากับ 1.12 และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (TP101) ในด้านความถูกต้อง 98.88% และเครื่องมือที่พัฒนามีต้นทุนต่ำกว่าทั้งยังวัดค่าได้ทั้งความชื้นและอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้พัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือกไร้สายมาประยุกต์ใช้งาน ที่มีค่าความถูกต้อง 98.50% สามารถวัดความชื้นบนกองข้าวสูง ๆ ได้อย่างสะดวกและเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานใกล้เคียงกับเครื่องของต่างประเทศที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง รวมถึงการซ่อมบำรุงก็เป็นไปได้โดยง่ายเพราะว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ หาซื้อได้ภายในประเทศและมีราคาถูก [8] เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเฉลี่ยด้วยสถิติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เห็นได้ว่าเครื่องมือที่

พัฒนาการออกแบบทั้งส่วนฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ เซนเซอร์ผ่านการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน และทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ ก่อนนำไปใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิจิตรรา คัมวงษ์ และสรวง รุ่งประกายพรรณ [9] ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษาอาหาร ที่มีการประเมินประสิทธิภาพและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและเห็นว่าจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน ก่อนนำไปใช้งาน ส่วนของระบบสารสนเทศที่เป็นเว็บแอปพลิเคชัน และแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่แสดงข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ มีการใช้งานง่าย มีการรับส่งข้อมูลแบบทันที มีรูปแบบการแสดงผลทั้งแบบตาราง และกราฟ สามารถเพิ่มระบบผู้ใช้งาน มีการจัดเก็บฐานข้อมูลผู้ขาย เมื่อเปรียบเทียบราคาเครื่องที่พัฒนามีราคาถูกกว่าที่มีขายตามท้องตลาด เครื่องที่พัฒนาสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ ส่วนเครื่องที่มีขายตามท้องตลาดแสดงผลบนจอของเครื่องอย่างเดียว อีกทั้งเครื่องที่พัฒนายังมีขนาดเล็กและเบา พกพาไปใช้ได้สะดวกกว่าเครื่องทั่วไปที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง รวมถึงการซ่อมบำรุงก็เป็นไปได้โดยง่ายเพราะว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ หาซื้อได้ภายในประเทศและมีราคาถูก ในอนาคตอาจมีการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานอื่น ๆ ที่เป็นที่ยอมรับใช้งานในอนาคตเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาเครื่องมือต่อไป และอาจนำข้อมูลที่ได้จัดเก็บรวบรวมไปใช้ในการออกรายงานได้หลายมิติ เพื่อให้ครอบคลุมกับความต้องการของผู้ใช้งานให้มากขึ้น เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยได้พัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ และระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ เครื่องตรวจวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ ผ่านกระบวนการออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ บอร์ดอาดุยโน (Arduino nodeMCU ESP32) เซนเซอร์วัดความชื้น และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ส่วนของระบบสารสนเทศได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบระบบ จากนั้นพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ โดยกระบวนการพัฒนาได้เปรียบเทียบกับเซนเซอร์วัดความชื้นกับเครื่อง EE-KU และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อเทียบค่าความชื้นกับเครื่อง EE-KU และค่าอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 การทำงานของเครื่องมือถูกต้องมีประสิทธิภาพ สามารถตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ และจัดเก็บข้อมูลที่ตรวจวัดบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ แสดงผลข้อมูลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน และแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ระบบสารสนเทศสามารถแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟในชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยการสนับสนุนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] เยาวลักษณ์ จันทราบาง. (2554). มอดเจาะผลกาแพแมลงศัตรูในแปลงปลูกที่ส่งผลเสียระหว่างเก็บรักษา. *ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว*, 10(4), 5–6.
- [2] ขนิษฐา จิตรกลาง. (2566). พื้นฐาน Internet of Things (IoT). [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://library.wu.ac.th/km/พื้นฐาน-internet-of-things-iots-basic-internet-of-things-iots/> (1 เมษายน 2567).
- [3] Paul, R., Nazir, J. B., & Ahammad, A. (2023). Design and development of a smart agriculture (SA) system with machine learning-based IoT architecture (pp 377–381). In *2023 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD)*. Dhaka: Bangladesh.
- [4] ชนิกานต์ รอดมรณ, มธุรส ผ่านเมือง, และ วีระศักดิ์ จงเลขา. (2564). การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 13(2), 315–329.
- [5] มินทิธิตา แดงเรือ. (2566). เมล็ดกาแฟกับความชื้นตัวร้ายทำลายรสชาติ. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.scilution.co.th/coffee-bean-and-humidity-to-spoil-the-taste/#:~:text=โดยปกติแล้วเมล็ดแล้วควรมีค่าความชื้น> (1 เมษายน 2567).
- [6] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2561). *มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เมล็ดกาแฟอาราบิก้า*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [7] Ostertagová, E. (2012). Modelling using Polynomial Regression. *Procedia Engineering*, 48, 500–506.
- [8] กนกศักดิ์ บุญทัน และประกาศิต ตันตือลงกร. (2558). เครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือกไร้สาย (หน้า 7–12). ใน *การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*.
- [9] วิจิตตรา คุ่มวงษ์, และ สรวง รุ่งประกายพรรณ. (2565). การพัฒนาชุดอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา. *The Thai Bulletin of Pharmaceutical Sciences*, 17(2), 101–118.