

การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ Low-cost Data Logger Development for Modern Agriculture

ภูมิพัฒน์ คำคำ^{1*} ธาปนา นามประดิษฐ์² ลักณา เพิ่มพูล² และบุญส่ง พลสัมฤทธิ์³
Phumiphat Kakham^{1*} Thapana Nampradit² Lukkana Poempool²
and Boonsong Polsumrit³

บทคัดย่อ

เครื่องมือบันทึกข้อมูลมีความจำเป็นสำหรับการทำการเกษตรสมัยใหม่เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเกษตรกรจำเป็นต้องทราบตัวแปรและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณแสงสว่าง เพื่อนำมาใช้ในการดูแลรักษาพืช แต่เนื่องจากเครื่องมือบันทึกข้อมูลที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดมักมีราคาแพง และขาดความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด ที่มีความเหมาะสมและเพียงพอในการใช้งานสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยโมดูลเอสดีการ์ด โมดูลนาฬิกาตามเวลาจริง และจอภาพผลึกเหลว เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโดว ซึ่งมีต้นทุนประมาณ 1,165 บาท การเขียนเฟิร์มแวร์และส่วนการตั้งค่าใช้งานของเครื่องบันทึกข้อมูลสามารถทำผ่านโปรแกรมอาดูอินโดวดี การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล และเซนเซอร์ตรวจวัดแสงแบบแอนะล็อก เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศในแปลงเกษตรในช่วงระยะเวลา 2 เดือน พบว่าเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลราย 5 นาที และบันทึกไฟล์แบบวันต่อวันได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้เครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้บอร์ดอาดูอินโดวยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น เซนเซอร์น้ำฝน เซนเซอร์วัดระดับน้ำ และเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแจ้งเตือนสภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อพืช รวมไปถึงการเพิ่มฟังก์ชันการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติได้

คำสำคัญ: เครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด การเกษตรสมัยใหม่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูอินโดว

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

² สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

³ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

* Corresponding author e-mail: phumiphat@techno.rru.ac.th

Received: 6 May 2021, Revised: 10 June 2021, Accepted: 8 July 2021

Abstract

Data loggers are really essential for modern agriculture, since agriculturists need to know environmental factors and variables, such as temperature, humidity and light intensity, for taking care of their plants. Because the data loggers available in the market are usually costly and inflexible to use, we proposed the development of low-cost data logger, which is suitable and sufficient for modern agriculture. The developed data logger consists of an SD card module, a real-time clock module, and a liquid-crystal display connected to an Arduino Due microcontroller board, which cost roughly 1,165 THB in total. In addition, firmware implementation and setting up for the data logger can be performed via Arduino IDE. The experimentation of the data logger incorporated with a digital temperature and humidity sensor, and an analog light intensity sensor to measure weather conditions on a farm land for 2 months showed that the developed data logger can be used to record the data every 5 minutes and store them into separate files for each day as designed. In addition, Arduino based data logger can be integrated with other environmental sensors such as rain detection sensors, water level sensors, and soil moisture sensors. This capability leads to additional applications including hazardous weather warning and automatic watering system.

Keywords: Low-cost data logger, Modern agriculture, Microcontroller, Arduino

บทนำ

การจัดการการผลิตสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ มีความจำเป็นต้องยกระดับและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตให้มากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ทรัพยากรให้ได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า เกษตรกรยุคใหม่จึงนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงธรรมชาติ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ข้อมูลจำนวนมากต้องถูกบันทึกและจัดเก็บอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ต่อไปได้ เครื่องบันทึกข้อมูลเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานดังกล่าว เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ได้โดยอัตโนมัติ ปริมาณทางฟิสิกส์ที่ต้องการวัดจะถูกเซนเซอร์แปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เครื่องบันทึกข้อมูลจะจำแนกระดับของสัญญาณทางไฟฟ้าง่ายๆ ก่อนที่จะจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลข (Okwudibe and Akinloye, 2017) แม้ว่าจะมีการผลิตเครื่องบันทึกข้อมูลออกมาให้เลือกใช้งานเป็นจำนวนมาก (Wilson *et al.*, 2020) แต่เครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาดยังมีราคาแพงและขาดความยืดหยุ่นในการใช้งานเฉพาะด้าน โดยเฉพาะสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ซึ่งต้องการอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย ราคาประหยัด และปรับแต่งการใช้งานได้ตามความต้องการ

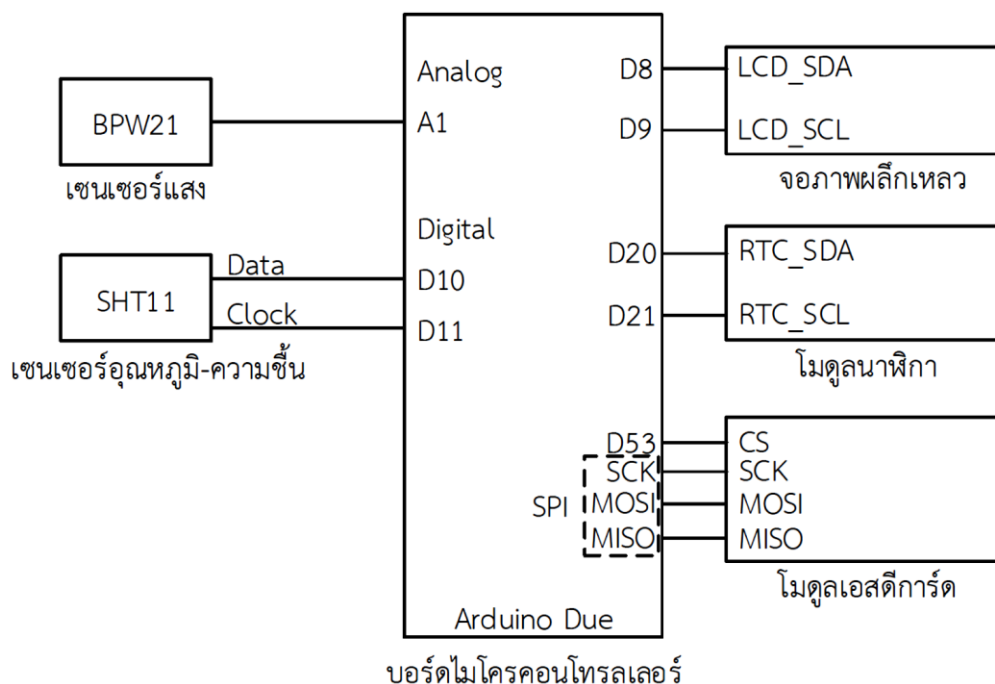
ด้วยพัฒนาการทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบัน ยังผลให้นักวิจัยสามารถพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีคุณลักษณะเพียงพอต่อการใช้งาน ราคาประหยัด และสร้างขึ้นได้ง่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ระบบบันทึกข้อมูลพลังความดันของน้ำในดินราคาประหยัดที่พัฒนาด้วยบอร์ดอาดุยโน Uno R3 (Thalheimer, 2013) ระบบบันทึกข้อมูลรถยนต์แบบเรียลไทม์โดยใช้ GPS และ GSM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4520 (Thet *et al.*, 2015) การออกแบบการเก็บและควบคุมข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM cortex ประสิทธิภาพสูง (Madhukeshwara and Dharshini, 2015) เครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานแบบอัตโนมัติประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATmega1280 (อิษณิน และคณะ, 2558) ระบบบันทึกข้อมูลแบบสแตนด์อโลนโดยใช้โปรโตคอล SPI และ I²C สำหรับงานอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Satheesh *et al.*, 2016) การออกแบบเครื่องบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 (Tamil Vathana and Janarthanan, 2017) ระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศผ่านระบบสื่อสารไร้สายซิกบี (Zigbee) ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโน Uno R3 (เกรียงไกร และคณะ, 2560) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบสแตนด์อโลนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Hadi *et al.*, 2018) ระบบเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศในบริเวณชายฝั่งทะเลที่พัฒนาด้วยบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) (ภูมินทร์ และคณะ, 2561) เป็นต้น แต่การพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลและเครื่องบันทึกข้อมูลที่ผ่านมา ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (analog to digital converter: ADC) ขนาดความละเอียดไม่เกิน 10 บิต ซึ่งอาจจะไม่ละเอียดเพียงพอสำหรับการวัดค่าปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีจำนวนช่องต่อสัญญาณไม่มากพอ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนดิว (Arduino due) ที่มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาดความละเอียด 12 บิต โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับบันทึกข้อมูลทางการเกษตรสมัยใหม่ และเป็นแนวทางในการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนดิว โมดูลเอสดีการ์ด (SD card) โมดูลนาฬิกา (real-time clock) และจอภาพผลึกเหลว (liquid-crystal display) ผังวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องแสดงดังภาพที่ 1 โมดูลเอสดีการ์ดเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดุยโนดิวผ่านทางโปรโตคอล SPI (serial peripheral interface) โดยการเชื่อมต่อขาสัญญาณ CS SCK MOSI และ MISO เข้ากับพอร์ต D53 และพอร์ต SPI ของอาดุยโนดิว ตามลำดับ ส่วนโมดูลนาฬิกาและจอภาพผลึกเหลวเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดุยโนดิวผ่านทางโปรโตคอล I²C (inter-integrated circuit) โดยการเชื่อมต่อขาสัญญาณ SDA และ SCL เข้ากับพอร์ต D20 และ D21 สำหรับโมดูลนาฬิกา และพอร์ต D8 และ D9 สำหรับจอภาพผลึกเหลว ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกได้จำนวน 12 พอร์ต (พอร์ตแอนะล็อกหมายเลข A0-A11) และสามารถ

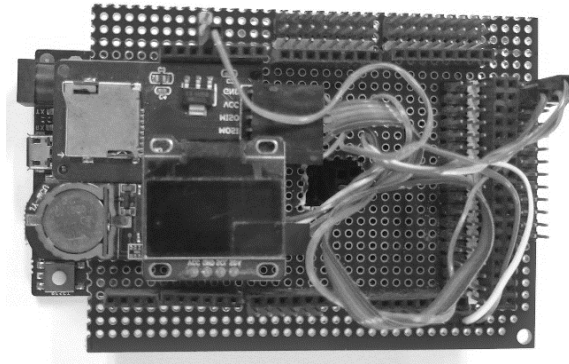
รับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดดิจิทัลหรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนและควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้จำนวน 46 พอร์ต (พอร์ตหมายเลข D2-D7 D10-D19 D23-D52) การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลดำเนินการขึ้นโดยต่อเซนเซอร์แสงที่พอร์ตแอนะล็อก A1 และเซนเซอร์อุณหภูมิ-ความชื้นที่พอร์ตดิจิทัล D10 และ D11



ภาพที่ 1 แผนภาพส่วนประกอบของเครื่องบันทึกข้อมูล

1. อุปกรณ์ประกอบเครื่องบันทึกข้อมูล

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโนคิวนำมาใช้พัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูล ประกอบด้วยช่องต่อสัญญาณแบบดิจิทัล จำนวน 53 พอร์ต และช่องต่อแบบแอนะล็อก จำนวน 12 พอร์ต บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียดขนาด 12 บิต และรองรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 3.3 โวลต์ ข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บพร้อมเวลาจะถูกบันทึกลงเอสดีการ์ดในรูปแบบ FAT16 หรือ FAT32 ผ่านทางโมดูลเอสดีการ์ด วันและเวลาที่ได้รับจากโมดูลนาฬิกาซึ่งใช้ชิป DS3231 มีความแม่นยำ ± 2 ppm หรือในระยะเวลา 1 ปี นาฬิกาจะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 นาที ภายในชิป DS3231 มีวงจรวัดอุณหภูมิซึ่งจะถูกนำมาคำนวณเพื่อชดเชยความถี่ของคริสตัล (crystal) ที่อาจคลาดเคลื่อนไปเนื่องจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม นอกจากนั้นบนบอร์ดยังมีแบตเตอรี่สำรองพลังงานเพื่อรักษาวินาทีและเวลาให้เป็นปัจจุบัน



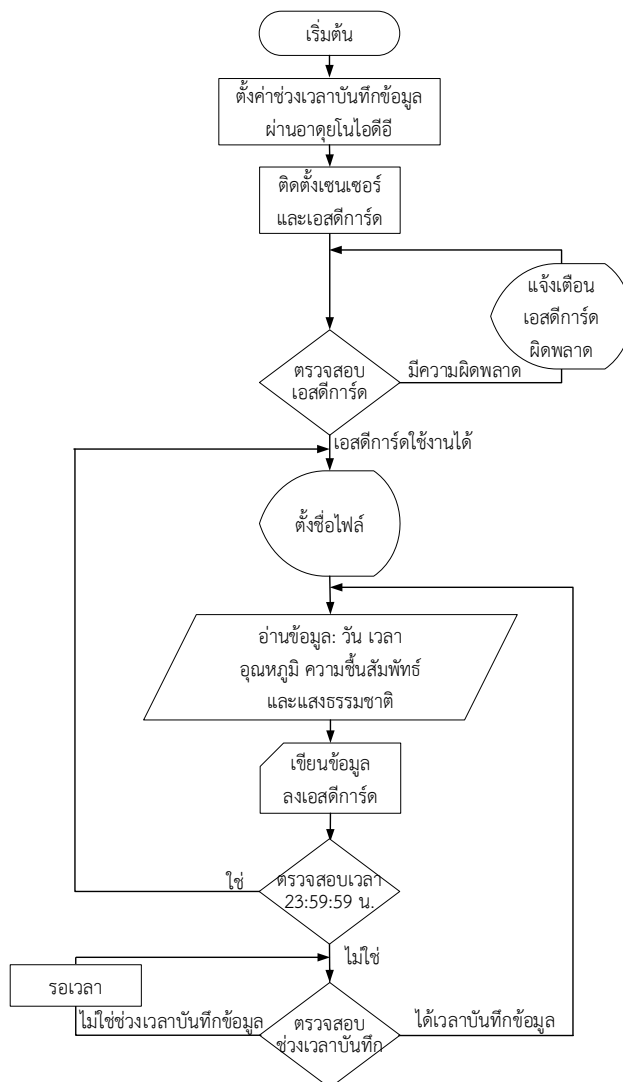
ภาพที่ 2 เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น

2. รายละเอียดด้านเฟิร์มแวร์

เฟิร์มแวร์ประกอบด้วยชุดคำสั่งเพื่อควบคุมบอร์ดอาδυโนดิวให้อ่านข้อมูลจากพอร์ตซึ่งเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ และส่วนของชุดคำสั่งที่บันทึกข้อมูลลงบนเอสดีการ์ดตามเวลาที่กำหนด เซนเซอร์ชนิดดิจิทัลจะส่งสัญญาณด้วยแรงดันไฟฟ้าเป็นสองระดับคือ low และ high ซึ่งบอร์ดอาδυโนดิวจะสามารถรับรู้และแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขได้อย่างแม่นยำ ส่วนเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกจะให้ค่าข้อมูลในรูปของแรงดันไฟฟ้า ค่าดังกล่าวจะผ่านตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 12 บิต เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขก่อนที่จะนำไปใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากพอร์ตแอนะล็อก (V_0) กับข้อมูลเชิงตัวเลขที่สามารถนำไปใช้งานได้ (V_{ADC}) เป็นดังสมการ (1)

$$V_0 = \frac{V_{ADC} \times 3300}{2^{12} - 1} \quad (1)$$

ในการบันทึกข้อมูล ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงห่างของเวลาในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่ 1 วินาที ขึ้นไป และข้อมูลจะถูกแยกจัดเก็บลงในไฟล์แบบวันต่อวัน ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกบันทึกลงเอสดีการ์ดเป็นไฟล์นามสกุล .csv ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรมสเปรดชีต เช่น Microsoft excel เพื่อสร้างกราฟสำหรับการนำเสนอหรือนำไปใช้ในการวิเคราะห์ การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการบันทึกสามารถทำได้ผ่านอาδυโน IDE (integrated development environment) ขั้นตอนการตั้งค่า เริ่มต้นด้วยการแก้ไขพารามิเตอร์ในชุดคำสั่งตามที่ต้องการ จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง คอมไพล์ และอัปโหลดเฟิร์มแวร์ไปยังบอร์ดอาδυโนดิวเป็นขั้นตอนสุดท้าย ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลเป็นไปตามผังงาน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผังงานแสดงการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล

3. การทดสอบการรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก

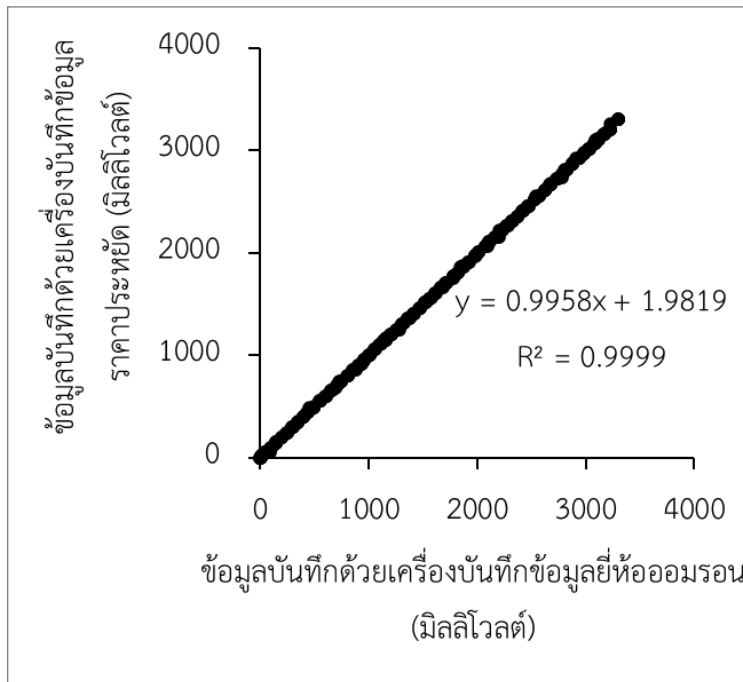
ผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนากับเครื่องบันทึกยี่ห้ออมรอนซึ่งมีราคาสูงกว่า เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก คุณลักษณะของเครื่องบันทึกข้อมูลทั้งสองแสดงเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 1 การทดสอบการรับสัญญาณแบบแอนะล็อกเพื่อเปรียบเทียบเครื่องบันทึกข้อมูลทำได้โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดัน 0 โวลต์ ถึง 3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นย่านการวัดที่ใช้งานจริง โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 มิลลิโวลต์ กำหนดให้บันทึกค่าทุก ๆ 5 วินาที ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลทั้งสองแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 4 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดที่พัฒนาขึ้น สามารถบันทึกข้อมูลแบบแอนะล็อกได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้ออมรอนรุ่น ZR-RX45 โดยมีความใกล้เคียงที่ระดับความสัมพันธ์ร้อยละ 99.99 ($R^2=0.9999$)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

คุณลักษณะ	เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนา	ยี่ห้อออสมรอน รุ่น ZR-RX45
user interface	Arduino IDE	GUI
ADC resolution	12 บิต	16 บิต
measurement range (DC)	0-3.3 โวลต์	0-50 โวลต์
4-20mA current sensor	✓ ¹	✓ ¹
thermocouple input	✓ ²	✓ ¹
RTD input	✓ ²	✓ ¹
digital sensor input	✓ ²	✗ ²
price (exc. vat)	1,165	13x,xxx

หมายเหตุ: - ¹ ต่อตัวต้านทานขนานอินพุต (shunt resistor) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า

- ² ต้องใช้โมดูลแปลงสัญญาณ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบแอนะล็อกที่บันทึกได้

4. การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาถูกนำไปทดสอบในแปลงเกษตรจริงเพื่อเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงธรรมชาติ เครื่องบันทึกข้อมูลทำงานโดยอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 10 วัตต์ และแบตเตอรี่สำรองแบบตะกั่วกรด แรงดัน 12 โวลต์ ความจุ 3 แอมป์ชั่วโมง (Ah) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลในแปลงเกษตร

การทดสอบเก็บข้อมูลใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ-ความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11) แบบดิจิทัลที่มีความละเอียด (resolution) ของอุณหภูมิและความชื้น 0.01 องศาเซลเซียส และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำ (accuracy) ร้อยละ ± 0.4 และ ± 3.0 ตามลำดับ เซนเซอร์แสง (BPW21) แบบแอนะล็อกเป็นโฟโตไดโอด BPW21 ต่อขานด้วยตัวต้านทานขนาด 1.3 กิโลโอห์ม มีความไว (sensitivity) 166 มิลลิโวลต์ต่อลักซ์

ผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดในแปลงเกษตรระหว่างวันที่ 3 พฤศจิกายน 2562 ถึงวันที่ 2 มกราคม 2563 พบว่าเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติได้ตลอดระยะเวลาทดสอบ 2 เดือนอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของข้อมูลที่บันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ซึ่งจัดเก็บในรูปแบบไฟล์นามสกุล .csv แสดงดังภาพที่ 6 ข้อมูลบรรทัดแรกจะแสดงส่วนหัวตารางตามที่กำหนดไว้ ประกอบด้วยเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่อง (millis) ข้อมูลประทับเวลา (stamp หรือ timestamp) ตัวเลขแสดงวันที่ (date) เวลา (time) และข้อมูลที่บันทึก ได้แก่ อุณหภูมิ (temp) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (humid) มีหน่วยเป็นร้อยละ และแรงดันไฟฟ้าที่สอดคล้องกับปริมาณแสงธรรมชาติ (daylight) มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณกลับเป็นปริมาณแสงในหน่วยลักซ์ได้ ในแต่ละบรรทัดถัดมาจะเป็นค่า

ข้อมูลที่สอดคล้องกับส่วนหัวของตาราง โดยที่การจัดเก็บข้อมูลแต่ละครั้งจะใช้หนึ่งบรรทัด ในที่นี้กำหนดช่วงของการเก็บข้อมูลเป็นทุก ๆ 5 นาที ทำให้ข้อมูลจากการทดลองในแต่ละวันมี 288 บรรทัด

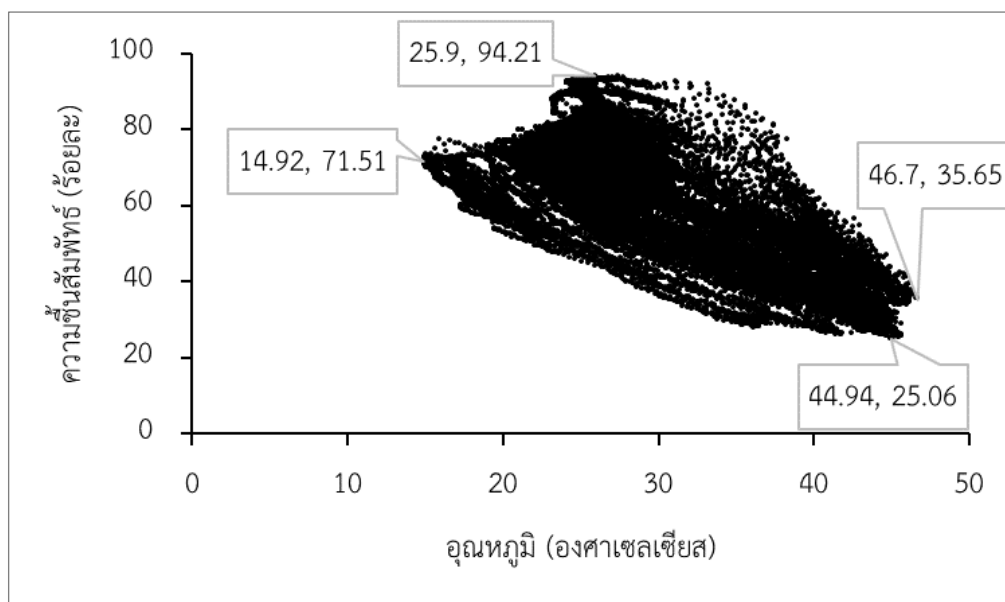
```

millis,stamp,date,time,Temp,Humid,Daylight
59926,1572739200, 2019/11/3, 0:0:0,25.05,81.64,0
359626,1572739500, 2019/11/3, 0:5:0,25.06,81.61,0
659324,1572739800, 2019/11/3, 0:10:0,25.05,81.59,0
959025,1572740100, 2019/11/3, 0:15:0,25.1,82.23,0
1258724,1572740400, 2019/11/3, 0:20:0,25.12,82.1,0
1558423,1572740700, 2019/11/3, 0:25:0,25.12,82.33,0
1858123,1572741000, 2019/11/3, 0:30:0,25.11,82.17,0
2157821,1572741300, 2019/11/3, 0:35:0,25.1,82.14,0
2457523,1572741600, 2019/11/3, 0:40:0,25.04,82.08,0

```

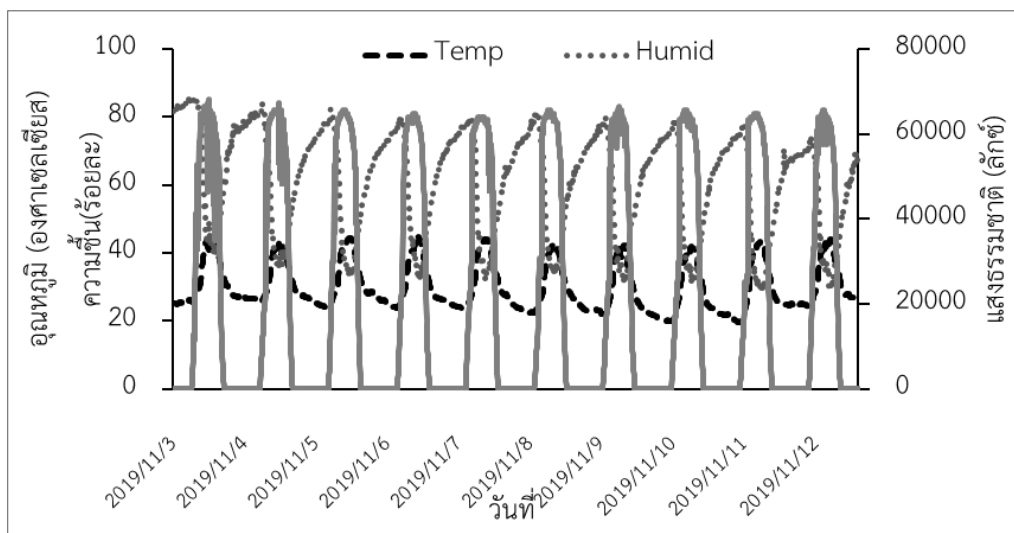
ภาพที่ 6 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล .csv

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 3 พฤศจิกายน 2562 ถึงวันที่ 2 มกราคม 2563 แสดงดังภาพที่ 7 โดยพบว่าอุณหภูมิมีค่าสูงสุดและต่ำสุด 46.7 และ 14.92 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 94.21 และ 25.06 ตามลำดับ

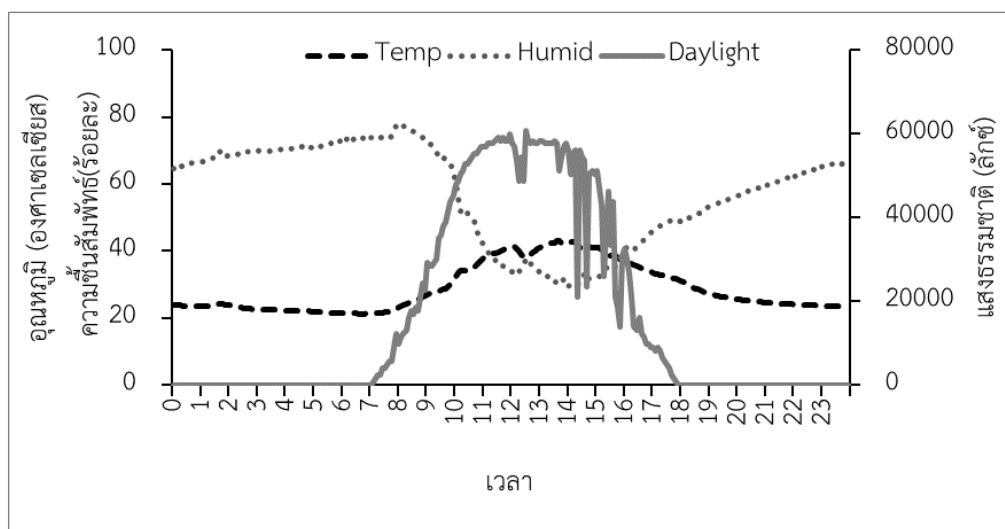


ภาพที่ 7 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระยะเวลา 2 เดือน

เมื่อนำข้อมูลตัวอย่างที่จัดเก็บในช่วงระยะเวลา 10 วัน มาแสดงผลด้วยกราฟ โดยกำหนดให้ แกนนอนเป็นเวลา และแกนตั้งเป็นอุณหภูมิ ความชื้น และแสงธรรมชาติ จะได้ผลดังภาพที่ 8 ซึ่งทำให้ เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่วัดค่าในช่วงเวลาดังกล่าว กราฟข้อมูลในวันที่ 2 มกราคม 2563 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับปริมาณแสงธรรมชาติ และ แปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงธรรมชาติในช่วงระยะเวลา 10 วัน



ภาพที่ 9 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงธรรมชาติในวันที่ 2 มกราคม 2563

การอภิปรายผลการวิจัย

เครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดที่พัฒนา มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้ง่าย ประกอบขึ้นจากวัสดุและอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ ใช้ต้นทุนในการสร้างประมาณ 1,165 บาท โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามราคาอาจเปลี่ยนแปลงตามแหล่งจำหน่ายอุปกรณ์และปริมาณของการสั่งซื้อ

ตารางที่ 2 ต้นทุนวัสดุและอุปกรณ์ในการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าขนส่ง)

รายการ	ราคา (บาท)
บอร์ดอาδυโนดิว	550
โมดูลเอสดีการ์ด	35
โมดูลนาฬิกา DS3231	140
จอภาพผลึกเหลวชนิด OLED ขนาด 128x64 พิกเซล	190
วัสดุสิ้นเปลือง เช่น แผ่นพีซีบีโอเนกประสงค์ สายไฟ และตะกั่วบัดกรี	250
รวม	1,165

จากการทดสอบใช้งานจริง เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถนำไปใช้บันทึกข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์แบบดิจิทัลและแบบแอนะล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดอาการผิดปกติหรือหยุดทำงานระหว่างการทดสอบตลอดระยะเวลา 2 เดือน สำหรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก ความถูกต้องและแม่นยำของค่าที่บันทึกขึ้นอยู่กับ 2 ส่วนหลัก คือ คุณลักษณะของเซนเซอร์ และความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล บอร์ดอาδυโนดิว ซึ่งมี ADC ที่มีความละเอียด 12 บิต ในย่านของการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 3.3 โวลต์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิจิทัลทุก ๆ บิตจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.806 มิลลิโวลต์ ในขณะที่เครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาดซึ่งนำมาทดสอบเปรียบเทียบ มี ADC ที่มีความละเอียด 16 บิต ในย่านของการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 50 โวลต์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิจิทัลทุก ๆ บิตจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.763 มิลลิโวลต์ ซึ่งพบว่า ADC ของเครื่องบันทึกทั้งคู่ให้ความแม่นยำใกล้เคียงกัน

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างเครื่องบันทึกข้อมูลคือ ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขปรับปรุงเฟิร์มแวร์เพื่อเพิ่มฟังก์ชันให้เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ตามเงื่อนไข หรือตามกำหนดเวลาที่ต้องการได้อีกด้วย (Chavan *et al.*, 2014)

สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้เลือกใช้อินเตอร์แอคตียูนิตในการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลแบบประหยัด เครื่องบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง สามารถใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกได้จำนวน 12 พอร์ต และสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดดิจิทัลได้จำนวน 46 พอร์ต การบันทึกข้อมูลสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการได้ และจัดเก็บเป็นไฟล์ชนิด .csv แยกสำหรับแต่ละวัน จากการทดสอบเก็บข้อมูลในแปลงเกษตรจริง พบว่า เครื่องสามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดอาการผิดปกติหรือหยุดทำงาน ระหว่างการทดสอบตลอดระยะเวลา 2 เดือน สำหรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อก เครื่องบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้น ให้ค่าที่บันทึกได้ใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาด รุ่นหนึ่งที่นำมาเปรียบเทียบ กล่าวโดยสรุปได้ว่า สำหรับงานด้านการเกษตรสมัยใหม่ที่ต้องการเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดและมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำเสนอเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์สภาพแวดล้อมอื่น เช่น เซนเซอร์น้ำฝน เซนเซอร์วัดระดับน้ำ และ เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เป็นต้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการแจ้งเตือนสภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อพืชที่เพาะปลูกได้ รวมถึงการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูล และขอขอบคุณ คุณอนันต์ อินทรพิทักษ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ภายในสวนมะม่วง อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ในการทดลองเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร รักคำ กิตติพันธ์ คำเรือน และนพพร พัทธประภิต. (2560). การพัฒนาระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศผ่านระบบสื่อสารไร้สายซิกบี. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 1(1), 55-70.
- จิณณิน พจน์พัฒน์พล ศุภกร กตาทิการกุล และมารีนา มะหนิ. (2558). การพัฒนาเครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานแบบอัตโนมัติ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 18(3), 97-104.
- ภูมิินทร์ อินทร์แป้น นเรศ ขวัญทอง และศวรรณรัตน์ อภัยพงศ์. (2561). การออกแบบและพัฒนาระบบเก็บข้อมูลภูมิอากาศบริเวณชายฝั่งทะเล โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์สามจี และใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(2), 72-85.
- Chavan, M.S., Suryawanshi, V.S. and Sankpal, S.S. (2014). AVR microcontroller-based temperature control system with real time data logger. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 11(2), 51-57.

- Hadi, M.S., Afandi, A.N., Wibawa, A.P., Ahmar, A.S. and Saputra, K.H. (2018). Stand-alone data logger for solar panel energy system with RTC and SD card. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1), doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012065>.
- Madhukeshwara, S.D. and Dharshini P.M.P. (2015). Design of real-time data acquisition & control using high performance ARM Cortex microcontroller. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(5), 584-587.
- Okwudibe, C.D. and Akinloye, B.O. (2017). Design and simulation of temperature data logger. *American Journal of Engineering Research*, 12(6), 14-19.
- Satheesh, M.B., Senthilkumar, B., Veeramanikandasamy T. and Saravanakumar, O.M. (2016). Microcontroller and SD card based standalone data logging system using SPI and I2C protocols for industrial application. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(4), 2208-2214.
- Tamil Vathana, A.K. and Janarthanan, B. (2017). Design and working of datalogger using microcontroller AT89C51. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, 3(4), 42-47.
- Thalheimer, M. (2013). A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *Journal of Agricultural Engineering*. 44(3), 114-119.
- Thet, W.M., Maung, M. and Tun, H.M. (2015). Real-time vehicle data logging system using GPS and GSM. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(7), 44-49.
- Wilson, D.L., Williams, K.N. and Pillariseti, A. (2020). An integrated sensor data logging, survey, and analytics platform for field research and its application in HAPIN, a multi-center household energy intervention trial. *Sustainability*, 12(5), doi: <https://doi.org/10.3390/su12051805>.