การพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการปลูกพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Development of an Internet of Things-Based Soil Moisture Monitoring and Control System for Bird’s Eye Chili Cultivation Using Solar Energy

เรืองฤดี มาตะรักษ์[1], จิรายุ แซ่หลิ่ม[2], ระพีพล ชื่นล้วน[3], รวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์[4]

[1]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ raungrudee.mata@northbkk.ac.th

[2]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ jirayu.saelim@northbkk.ac.th

[3]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ rapeepon.chue@northbkk.ac.th

[4]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ jirawin.de@@northbkk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง“การพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการปลูกพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์”มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับการปลูกพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 2) ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ระบบใช้บอร์ด ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยใช้หลักการควบคุมแบบกำหนดค่าขีดจำกัด (Threshold-based Control) ผลการทดลองระยะเวลา 7 วัน ในบริบทการปลูกพริกขี้หนูในกระถาง พบว่าระบบสามารถตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีความแม่นยำในการสั่งการปั๊มน้ำร้อยละ 90 และสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบ IoT ได้อย่างมีเสถียรภาพ ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจำนวน 3 คน พบว่า อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.27 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.31) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาทดลองที่ค่อนข้างสั้นและจำนวนผู้ประเมินที่มีจำนวนจำกัด ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งต่อไป

คำหลัก: ความชื้นในดิน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This research aimed to: (1) design and develop an Internet of Things (IoT)-based soil moisture monitoring and control system for bird’s eye chili cultivation using solar energy, (2) test the system's performance, and (3) assess user satisfaction. The system utilized an

ESP32 microcontroller integrated with a soil moisture sensor and was controlled via the Blynk application using a threshold-based control approach. The results from a 7-day experiment in a potted bird’s eye chili cultivation context demonstrated that the system could continuously monitor and maintain soil moisture within the specified range, with 90% accuracy in water pump control and stable real-time display through the IoT platform. User satisfaction evaluated by 3 experts and users was at a high level (Mean = 4.27, S.D. = 0.31). Nevertheless, this study had limitations, including a relatively short experimental period and a limited number of evaluators. The researcher, therefore, suggests expanding the experimental scope and increasing the sample size in future research.

Keywords: Soil Moisture, Internet of Things (IoT), Solar Energy

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พริกขี้หนูเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในประเทศไทย โดยมีความต้องการในตลาดอย่างต่อเนื่องและสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การควบคุมความชื้นในดินยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิต หากมีความชื้นไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาผลร่วงหรือสุกเร็วเกินไป (Office of Agricultural Economics, 2023)

ในปัจจุบัน เทคโนโลยี Smart Irrigation และ Precision Agriculture ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดการน้ำ โดยเฉพาะการใช้ Internet of Things (IoT) เพื่อควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรน้ำและลดการสูญเสีย (Kim et al., 2018; Singh et al., 2017) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่ายังขาดระบบที่เหมาะสมกับการปลูกพริกขี้หนูในบริบทพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น การปลูกในกระถางหรือพื้นที่ของสถานศึกษา รวมถึงยังขาดการผสานพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบ IoT อย่างมีประสิทธิภาพ (Gupta & Jain, 2019)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาระบบสำหรับกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ เกษตรกรรายย่อย นักศึกษา และผู้ดูแลแปลงปลูก เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้น้ำและลดภาระในการดูแลพืช

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดิน สำหรับการปลูกพริกขี้หนู โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดิน ในด้านความแม่นยำของการสั่งการปั๊มน้ำและการแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk IoT

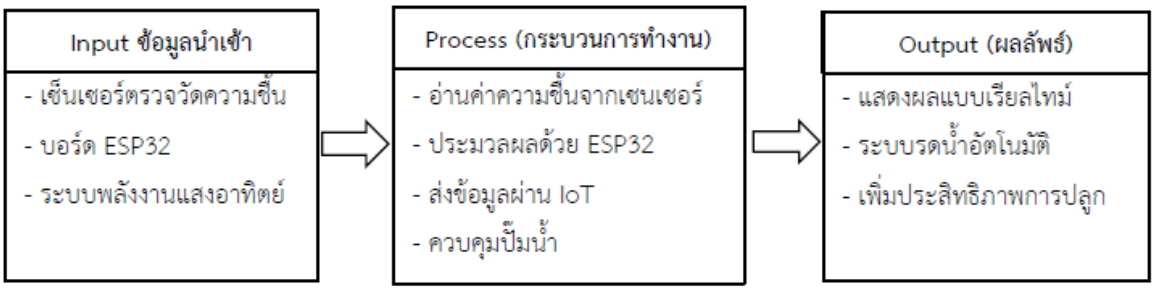
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ ตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินด้วยเทคโนโลยี IoT ที่สามารถทำงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำสำหรับการปลูกพริกขี้หนู
2. ช่วยลดการใช้แรงงาน เวลา และปริมาณน้ำในการให้น้ำพืช เนื่องจากระบบสามารถตรวจวัดและควบคุมการให้น้ำได้อย่างเหมาะสมและอัตโนมัติ
3. เป็นต้นแบบระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture) ที่สามารถประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น หรือพัฒนาเพิ่มเติมในเชิงพาณิชย์และเชิงวิชาการต่อไป

กรอบแนวคิด

ในการดำเนินโครงการวิจัยนี้โครงการนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ร่วมกับระบบโซลาร์เซลล์ เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินสำหรับการปลูกต้นพริกให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าความชื้นผ่านระบบออนไลน์แบบเรียลไทม์ และระบบสามารถสั่งการรดน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อค่าความชื้นต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้



ภาพ 1 กรอบแนวคิด

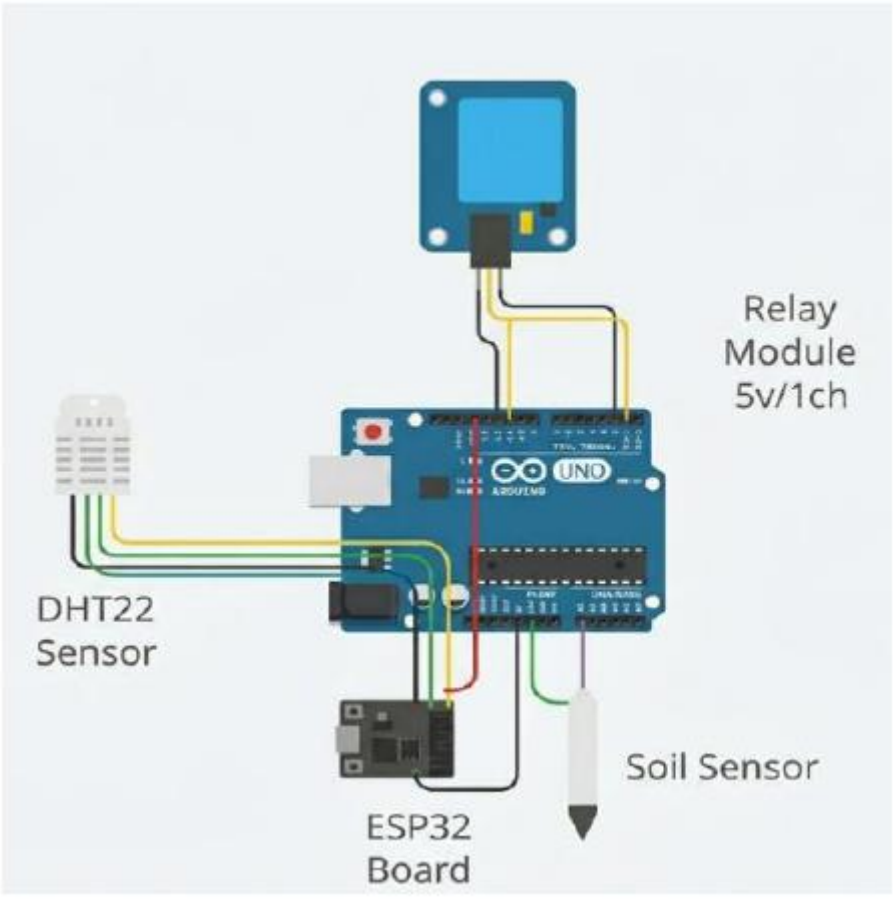
การทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ส่วนตรวจวัด (Input) ใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินเพื่อเก็บข้อมูลสภาพความชื้นในดิน
2. ส่วนประมวลผล (Process) ใช้บอร์ด ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ และสั่งการทำงานของระบบ
3. ส่วนแสดงผลและควบคุม (Output) แสดงค่าความชื้นในดินผ่านแอปพลิเคชัน และควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานจากโซลาร์เซลล์

ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือ ระบบสามารถช่วยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ลดการให้น้ำเกินความจำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรน้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ดำเนินการตามแนวทางการพัฒนาระบบแบบ SDLC (System Development Life Cycle) ประกอบด้วยขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบระบบ การพัฒนา และการทดสอบระบบการทดลองดำเนินการปลูกพริกขี้หนูในกระถาง ภายในพื้นที่ทดลอง เป็นระยะเวลา 7 วัน ภายใต้สภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงโดยประมาณของสภาพอากาศในประเทศไทยประชากร คือ ผู้ใช้งานระบบ กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ใช้งานจำนวน 3 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง ระบบใช้บอร์ด ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก และใช้ Arduino IDE สำหรับเขียนโปรแกรมแอปพลิเคชัน Blynk ถูกออกแบบตามหลัก UX/UI โดยเน้นความเรียบง่าย ใช้งานง่าย และแสดงผลแบบเรียลไทม์ ดังแสดงใน ภาพ 2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน



ภาพ 2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานบนบอร์ด ESP32 โดยพัฒนาโดยใช้ Arduino IDE ซึ่งกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ โดยเมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่าระดับที่กำหนด ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงาน และจะหยุดการทำงานเมื่อความชื้นในดินอยู่ในระดับที่กำหนด ดังแสดงใน ภาพ 3 การออกแบบดังกล่าวช่วยให้เห็นภาพรวมการทำงานของระบบอย่างชัดเจน

ภาพ 3 Use Case Diagram ส่วนการทำงานของระบบ

2. การออกแบบระบบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินด้วยเทคโนโลยี IoT โดยการออกแบบเริ่มจากการกำหนดโครงสร้างการทำงานของระบบทั้งหมด ตั้งแต่การตรวจวัดค่าความชื้นในดิน การประมวลผลข้อมูล การตัดสินใจสั่งงานปั๊มน้ำ และการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ

การออกแบบระบบประกอบด้วยการสร้าง Use Case Diagram เพื่อแสดงการทำงานของระบบจากมุมมองของผู้ใช้งาน (Actors) และกระบวนการทำงานหลักของระบบ (Use Cases) ซึ่งครอบคลุมการตรวจสอบค่าความชื้นในดิน การควบคุมการเปิด–ปิดปั๊มน้ำ และการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพ 3การออกแบบดังกล่าวช่วยให้เห็นภาพรวมการทำงานของระบบอย่างชัดเจน

และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การพัฒนาและเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ

การเขียนชุดคำสั่งควบคุมการทำงาน (Control Code) ใช้ภาษาโปรแกรม C/C++ บนแพลตฟอร์ม Arduino IDE เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด ESP32 โดยระบบจะอ่านค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์ความชื้นในดิน และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่กำหนดไว้ เมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อเปิดมอเตอร์ปั๊มน้ำ และเมื่อความชื้นในดินอยู่ในระดับที่กำหนด ระบบจะสั่งปิดการทำงานของปั๊มน้ำโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพ 4

ภาพ 4 ชุดคำสั่งการควบคุมการทำงาน (Control Code) ของระบบ

4. การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ

หลังจากการพัฒนาระบบเสร็จสิ้น จะมีการทดสอบการทำงานของระบบในสภาพการใช้งานจริง เพื่อประเมิน การทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นดังนี้

1. การทดสอบเซ็นเซอร์ความชื้นในดิน ทำการทดสอบความสามารถของเซ็นเซอร์ในการอ่านค่าความชื้นในสภาพดินแห้งและดินชื้น โดยเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในแต่ละสภาพ พบว่าเมื่อดินมีความแห้ง ค่าความชื้นที่อ่านได้จะลดลงตามลำดับ และเมื่อมีการให้น้ำ ค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นทันที แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นได้อย่างถูกต้องตามสภาพจริง นอกจากนี้ ได้บันทึกค่าความชื้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ต่อเนื่อง 7 วัน เพื่อตรวจสอบความเสถียรของเซ็นเซอร์ ผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้มีรูปแบบสอดคล้องกันในแต่ละวัน ไม่มีค่าผิดปกติหรือการแกว่งตัวผิดธรรมชาติ แสดงถึงความเสถียรในการทำงานของเซ็นเซอร์

2. การทดสอบการควบคุมปั๊มน้ำ ทำการกำหนดค่าความชื้นเกณฑ์ (Threshold) ที่ประมาณ 32% เมื่อค่าความชื้นลดต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะสั่งเปิดปั๊มน้ำอัตโนมัติ และเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ระบบจะหยุดการทำงานของปั๊ม จากการทดสอบพบว่า ปั๊มน้ำสามารถเปิด–ปิดได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด รีเลย์ทำงานสอดคล้องกับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และมอเตอร์ปั๊มน้ำทำงานได้ตามปกติ ไม่มีการหน่วงหรือทำงานผิดจังหวะ

3. การทดสอบการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk ทำการทดสอบการแสดงผลค่าความชื้นผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟน พบว่าสามารถแสดงค่าความชื้นแบบเรียลไทม์ได้อย่างต่อเนื่อง และค่าที่แสดงบนแอปพลิเคชันสอดคล้องกับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ นอกจากนี้ ได้ทดสอบการสั่งเปิด-ปิดปั๊มน้ำระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน พบว่าสามารถควบคุมได้จริง และไม่รบกวนระบบอัตโนมัติ แสดงถึงความสามารถของระบบในการควบคุมแบบ Manual Override

4. การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

4.1 การประเมินด้านการใช้น้ำ งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการวัดปริมาณการใช้น้ำจริงในหน่วยเชิงปริมาณ จึงไม่สามารถสรุปเปอร์เซ็นต์การประหยัดน้ำได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม ระบบสามารถควบคุมการให้น้ำตามค่าความชื้นที่กำหนด และให้น้ำเฉพาะเมื่อจำเป็น ซึ่งมีแนวโน้มสนับสนุนการใช้น้ำอย่างเหมาะสมมากกว่าการรดน้ำแบบกำหนดเวลาโดยไม่อ้างอิงค่าความชื้น

4.2 จากผลการควบคุมความชื้น พบว่าระบบสามารถรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในช่วงที่กำหนด และสามารถควบคุมไม่ให้ค่าความชื้นต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกพริกขี้หนูได้ในเชิงการทำงานของระบบ

การประเมินผลดำเนินการโดยผู้ใช้งานระบบ จำนวน 3 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจและการใช้งานของระบบในสภาพจริง

5. การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) โดยเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากโมดูล ESP32 กับเครื่องวัดความชื้นในดินมาตรฐาน (Reference Standard) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) ตามสูตรดังดังแสดงในภาพ 5

$$Accuracy(\%) = 100 - \left| \frac{V_{ref} - V_{sensor}}{V_{ref}} \times 100 \right|$$

ภาพ 5 สูตรการคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ

โดยกำหนดให้ V ref คือ ค่าความชื้นที่อ่านได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน และ V sensor คือ ค่าความชื้นที่อ่านได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยทำการทดสอบวัดค่าเปรียบเทียบจำนวน 10 ครั้ง ในสภาวะความชื้นที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

ผลการทดลองสามารถแสดงได้จากภาพประกอบกราฟที่แสดงการทำงานของระบบควบคุมความชื้นในดิน โดยประกอบด้วยการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน การควบคุมปั๊มน้ำ และการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การตอบสนองของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

ค่าความชื้นในดิน (แสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน) มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาอย่างชัดเจน โดยในช่วงที่ดินเริ่มแห้ง ค่าความชื้นจะลดลง และเมื่อระบบสั่งรดน้ำ ค่าความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ สามารถสะท้อนสภาพจริงของดินในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างเหมาะสม

2. การทำงานของปั๊มน้ำ

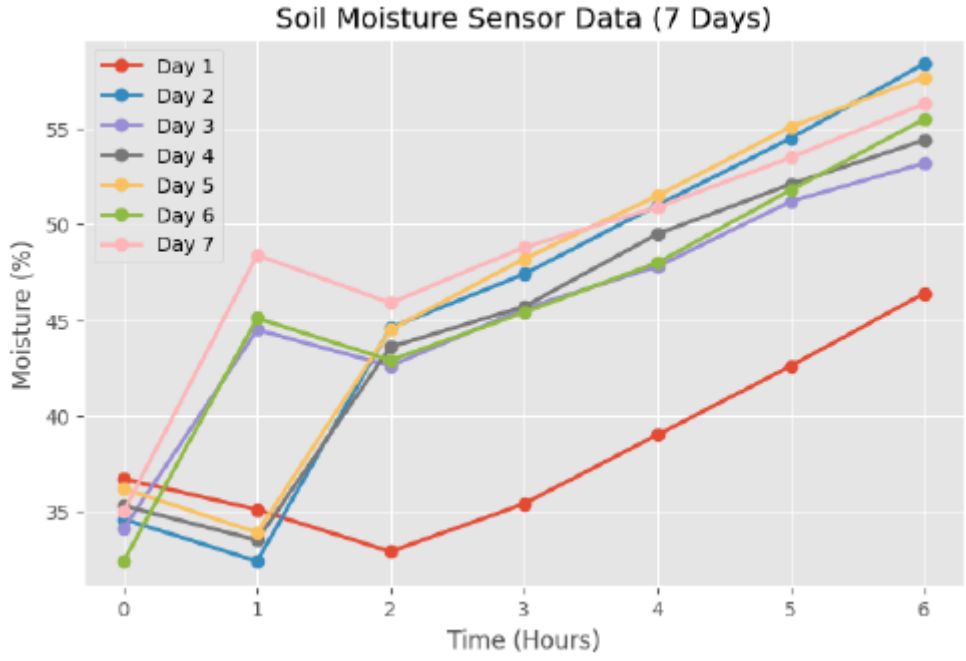
สถานะของปั๊มน้ำ (แสดงด้วยเส้นสีเขียว) มีค่า 1 เมื่อปั๊มทำงาน และค่า 0 เมื่อปั๊มหยุดทำงาน จากกราฟพบว่า เมื่อค่าความชื้นในดินลดต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งเปิดปั๊มน้ำโดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความชื้นให้กลับสู่ระดับที่เหมาะสม และเมื่อความชื้นถึงค่าที่เพียงพอ ระบบจะสั่งปิดปั๊มน้ำทันที แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมการให้น้ำทำงานสอดคล้องกับข้อมูลจากเซ็นเซอร์อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

การควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk (แสดงด้วยเส้นสีแดง) แสดงสถานะการสั่งงานจากผู้ใช้งาน โดยแอปพลิเคชันสามารถแสดงค่าความชื้นในดินและสถานะการทำงานของปั๊มน้ำแบบเรียลไทม์ ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของระบบได้จากระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งาน

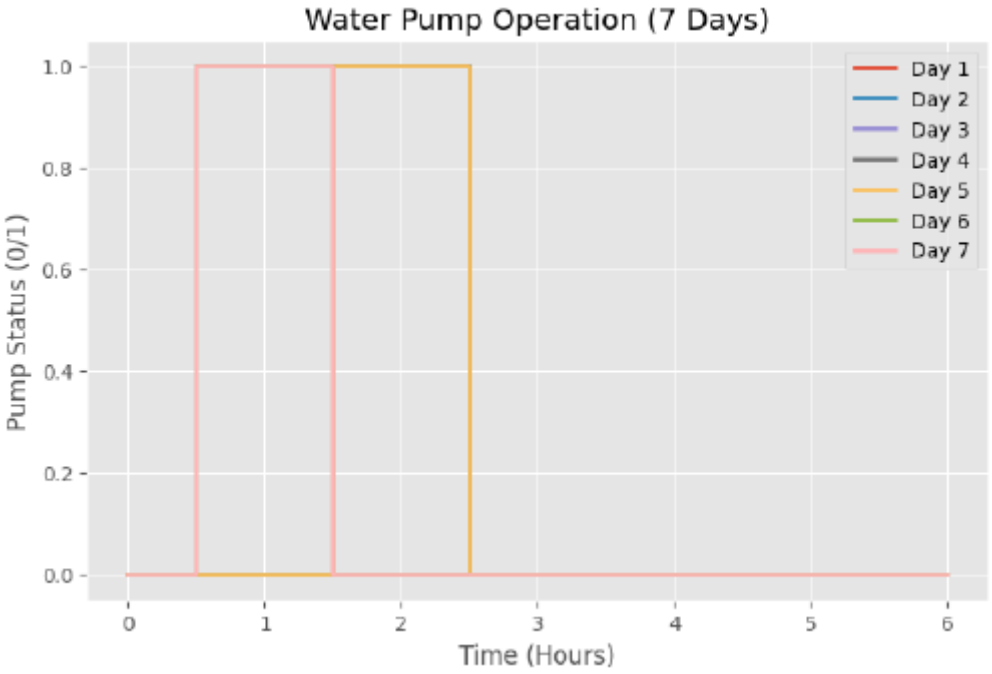
จากภาพ 6 แสดงชุดอุปกรณ์ของระบบที่พัฒนาขึ้น

จากภาพ 6 แสดงชุดอุปกรณ์ของระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นในดินที่พัฒนาขึ้น โดยระบบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และระบบรดน้ำอัตโนมัติ ซึ่งผลการทดลองการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ในรูปแบบกราฟดังภาพ 7



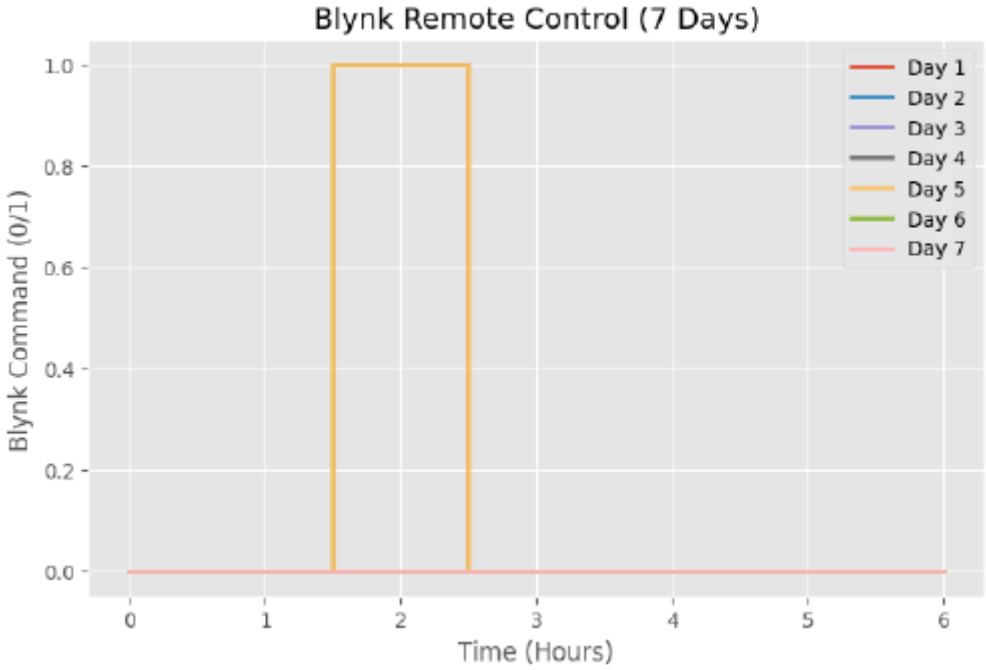
ภาพ 7 แสดงค่าความชื้นในดินที่วัดได้จากเซนเซอร์ในช่วงเวลา 7 วัน

ภาพ 7 แสดงค่าความชื้นในดินที่วัดได้จากเซนเซอร์ตลอดระยะเวลา 7 วัน โดยแกน X แสดงช่วงเวลา (ชั่วโมง) และแกน Y แสดงค่าความชื้นในรูปแบบร้อยละ (%) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความชื้นในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาในทุกวัน โดยเริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 32–37% และเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 53–58% ภายในชั่วโมงที่ 6 แนวโน้มของข้อมูลทั้ง 7 วันมีลักษณะใกล้เคียงกัน แสดงถึงความเสถียรของระบบและความสามารถในการตรวจวัดความชื้นในดินได้อย่างต่อเนื่อง



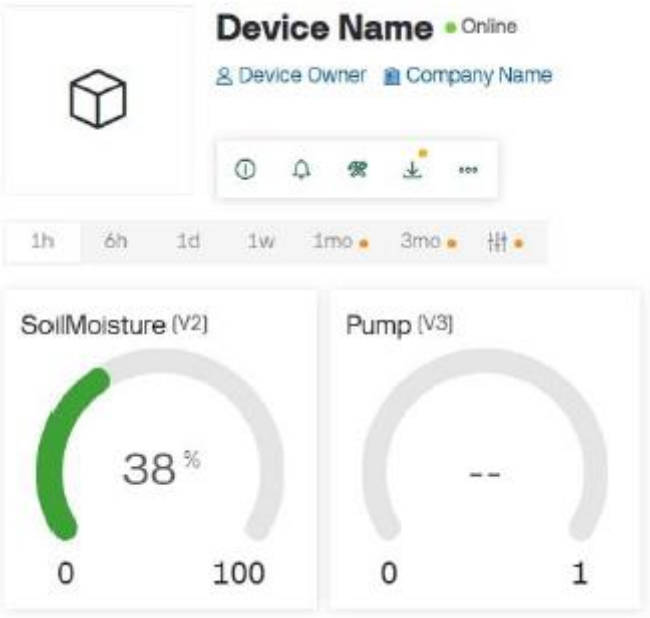
ภาพ 8 แสดงสถานะการทำงานของปั๊มน้ำในช่วงเวลา 7 วัน

ภาพ 8 แสดงสถานะการทำงานของปั๊มน้ำในช่วงเวลา 7 วัน ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล โดยกำหนดค่า 0 หมายถึง ปิดการทำงาน และ 1 หมายถึง เปิดการทำงาน จากผลการทดลองพบว่า ปั๊มน้ำทำงานเฉพาะในช่วงที่ค่าความชื้นในดินต่ำกว่าค่าที่กำหนด และหยุดทำงานเมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้นสู่ระดับที่เหมาะสม โดยรูปแบบการทำงานมีลักษณะเป็นขั้นบันได แสดงถึงการควบคุมแบบอัตโนมัติของระบบ



ภาพ 9 แสดงสัญญาณการควบคุมระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ในช่วงเวลา 7 วัน

ภาพ 9 แสดงสัญญาณคำสั่งจากแอปพลิเคชัน Blynk โดยกำหนดค่า 0 หมายถึง ไม่มีการสั่งงาน และ 1 หมายถึง มีการสั่งงานจากผู้ใช้งาน จากผลการทดลองพบว่ามีการสั่งงานผ่านแอปพลิเคชันในบางช่วงเวลา และระบบสามารถทำงานได้ทั้งในรูปแบบอัตโนมัติและแบบสั่งงานจากระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการควบคุมและติดตามการทำงานได้อย่างสะดวก



ภาพ 10 หน้าจอการควบคุมผ่าน แอพพลิเคชั่น blynk

ภาพ 10 แสดงหน้าจอการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งใช้สำหรับแสดงค่าความชื้นในดินและสถานะการทำงานของปั๊มน้ำแบบเรียลไทม์ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบได้จากระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยแอปพลิเคชันถูกออกแบบให้ใช้งานง่ายและแสดงผลข้อมูลอย่างชัดเจน ส่งผลให้การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบเป็นไปอย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ

ตาราง 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. การประหยัดน้ำจากระบบรดน้ำอัตโนมัติ	4.33	0.58	มาก
2. ประสิทธิภาพในการควบคุมความชื้นในดิน	4.00	1.00	มาก
3. ความเหมาะสมของความชื้นต่อการเจริญเติบโตของพืช	3.67	0.58	มาก
4. การลดปัญหาดอกร่วงและผลร่วงของพริกขี้หนู	4.33	0.58	มาก
5. การชะลอการสุกเร็วของพริกขี้หนู	3.67	0.58	มาก
6. ความเสถียรในการทำงานของระบบปั๊มน้ำอัตโนมัติ	4.00	1.00	มาก
7. ความสะดวกในการใช้งานระบบโดยรวม	4.33	0.58	มาก
8. ความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ	4.00	1.00	มาก

จากผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานต่อระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินอัตโนมัติ พบว่า ในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม $\overline{X}$ = 4.27, S.D. = 0.31) โดยเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านมีรายละเอียดดังนี้ รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด คือ ด้านการแสดงผลค่าความชื้นได้ถูกต้องและเรียลไทม์ ($\overline{X}$ = 4.67, S.D.= 0.58) สะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเทคโนโลยี IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รองลงมาเป็นรายการที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.33, S.D.= 0.58) ได้แก่ ประสิทธิภาพการควบคุมปั๊มน้ำอัตโนมัติที่ทำงานได้แม่นยำตามเกณฑ์ และความเหมาะสมของอุปกรณ์ในการจัดวางพื้นที่จำกัด (การปลูกในกระถาง) แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบสอดคล้องกับบริบทการใช้งานจริง

สำหรับรายการที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ได้แก่ ด้านความง่ายในการใช้งานแอปพลิเคชันและความเสถียรของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ($\overline{X}$ = 4.00) ซึ่งแม้จะมีคะแนนน้อยกว่าข้ออื่นแต่ยังคงอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ ผู้อันทรงคุณวุฒิได้เสนอแนะให้มีการเพิ่มระยะเวลาการทดสอบในระยะยาวและเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อยืนยันความเสถียรของระบบและพลังงานแสงอาทิตย์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นในการวิจัยครั้งต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการปลูกพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ พัฒนา และทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบร่วมกับการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จากผลการดำเนินงานพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้บอร์ด ESP32 ร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นดินและแอปพลิเคชัน Blynk สามารถตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินให้อยู่ในช่วงที่กำหนด (Threshold) ได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพตลอดระยะเวลาการทดสอบ 7 วัน โดยมีความแม่นยำในการสั่งการปั๊มน้ำอัตโนมัติสูงถึงร้อยละ 90 นอกจากนี้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดช่วงการทดลอง ในด้านการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจำนวน 3 ท่าน พบว่าในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31) โดยหัวข้อที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือความถูกต้องของการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดสำคัญในด้านระยะเวลาการทดสอบที่ค่อนข้างสั้นและจำนวนกลุ่มตัวอย่างผู้ประเมินที่มีจำนวนจำกัดเนื่องด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณและเวลา ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อบกพร่องดังกล่าวมาระบุเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาและเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และสามารถอ้างอิงผลในเชิงสถิติได้อย่างน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบสามารถรักษาความชื้นดินให้อยู่ในช่วงประมาณ 53-58% ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพริกขี้หนู แสดงถึงประสิทธิภาพของการควบคุมแบบอิงค่าขีดกำหนด (Threshold-based Control) ที่แม่นยำและช่วยลดความผิดพลาดจากการให้น้ำด้วยมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิสิทธิ์ และคณะ (2564) ที่ระบุว่าการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในระบบสมาร์ทฟาร์มช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการดั้งเดิม ในมิติความถูกต้องของข้อมูลระบบสามารถรายงานค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้สอดคล้องกับสภาพจริงในพื้นที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยธิดา และคณะ (2565) ที่พบว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับระบบคลาวด์ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการติดตามสภาวะแวดล้อมของการปลูกพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับบอร์ด ESP32 ยังช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพึ่งพาแหล่งไฟฟ้าหลัก ซึ่งสนับสนุนแนวคิดของ Saha et al. (2021) เกี่ยวกับความยั่งยืนของเทคโนโลยี IoT ในพื้นที่ห่างไกล อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลาการทดลองเพียง 7 วัน และจำนวนกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ทำให้ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบในเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการขยายระยะเวลาการทดลองให้ครอบคลุมวงจรการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มจำนวนผู้ประเมิน

ในการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตและสร้างความเชื่อมั่นในเสถียรภาพของระบบในระยะยาวได้อย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่อง ระบบตรวจวัดและควบคุมความชื้นดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการปลูกพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่สำคัญเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานและการพัฒนาต่อยอด ดังนี้

ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้

1. ผู้ใช้งานควรมีการสอบเทียบ (Calibration) เซนเซอร์วัดความชื้นดินร่วมกับเครื่องมือวัดมาตรฐานก่อนเริ่มการใช้งานจริงในพื้นที่ เพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความแม่นยำสูงสุดตามสภาพดินที่แตกต่างกัน
2. ควรมีการติดตั้งระบบสำรองไฟหรือแบตเตอรี่ที่มีความจุเพิ่มขึ้น หากต้องการขยายขอบเขตการใช้งานไปยังพื้นที่ที่มีความเข้มแสงแดดน้อย เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ขาดช่วง
3. ควรจัดทำคู่มือการใช้งานเบื้องต้นและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ โดยเฉพาะส่วนของเซนเซอร์ที่สัมผัสกับดินและปุ๋ยโดยตรง เพื่อยืดอายุการใช้งานและป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในระยะยาว

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรขยายระยะเวลาในการเก็บข้อมูลและทดลองระบบให้ครอบคลุมทุกช่วงการเจริญเติบโตของพริกขี้หนู (ประมาณ 60-90 วัน) เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิตและความทนทานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในสภาวะแวดล้อมจริง
2. ควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตรอัจฉริยะและเกษตรกรผู้ใช้งานจริงในการประเมินความพึงพอใจ เพื่อให้ได้ผลสรุปที่มีนัยสำคัญทางสถิติและสามารถนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้ในวงกว้างได้อย่างน่าเชื่อถือ

เอกสารอ้างอิง

คุณวัฒน์ ธีรนิธิวัฒน์. (2563). *ค่า pH ของดินปลูกทุเรียนและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกทุเรียนให้โตไวได้ผลผลิตสูง.* [ม.ป.พ.].

ช่อผกา วงค์สอน, เมทินี นาคดี, ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์, บุศรินทร์ บุญเต็ม, และ ชิติ ศรีตนทิพย์. (2567). การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของเปปิโน่ต่อค่าความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกัน. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม,* 7(2), 1-13.

ธราดล ทับทิม. (2565). *การพัฒนาระบบรดน้ำผักอัตโนมัติผ่านเครือข่ายไร้สายด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง.* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม]. ระบบคลังปัญญา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ปองพล นิลพฤกษ์, กีรติบุตร กาญจนเสถียร, และ บุรัสกร อยู่สุข. (2561). โปรโตไทพ์ระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนสภาพดินในสวนทุเรียน กรณีศึกษา ต.บึงกาสาม อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,* 17(1), 33-44.

ปิยธิดา มะลิลา, สุรพล บุญเพ็ง, และ อมรรัตน์ ผาลี. (2565). การพัฒนาระบบรดน้ำอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,* 10(2), 45-58.

ภัคพงษ์ อุบลเลิศ, และ โชคชัย ลิ้มประเสริฐ. (2564). *เครื่องวัดความชื้นในดิน.* [ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสยาม]. สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยสยาม.

รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์. (2561). ระบบให้บริการผ่านกลุ่มเมฆสำหรับการตรวจวัดและการให้น้ำพืชอัตโนมัติตามค่าความชื้นในดิน. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม,* 8(2), 65-73.

วกร สีสัมฤทธิ์, นพดล ไชยประเสริฐ, และ ธีรพงษ์ จันตะเสน. (ม.ป.ป.). *เครื่องควบคุมระดับความชื้นในดิน.* วิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู.

วีนัส จันทศร. (2561). *อาดูโน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์สสำหรับผู้เริ่มต้น.* [ม.ป.พ.].

อภิสิทธิ์ ศิริพรรณ, ธนากร วงศ์ทอง, และ กิตติศักดิ์ ชัยศิริ. (2564). การประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินในระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับกลุ่มเกษตรกรรายย่อย. *วารสารวิจัยเกษตรอัจฉริยะ,* 4(1), 12-25.

อุดม คำชา, และ ธวัชชัย นิ่มกิ่งรัตน์. (2552). *คำแนะนำการปลูกพริกขี้หนูผลใหญ่.* [แผ่นพับ]. ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ.

Bun, D. (2017). Internet of Things (IoT). *แนวคิดและการประยุกต์ใช้งาน.* [ม.ป.พ.].

Gupta, N., & Jain, R. (2019). IoT-based smart irrigation monitoring and controlling system. *International Journal of Engineering and Advanced Technology,* 8(3), 1234-1238.

Gupta, S., & Jain, A. (2019). IoT-based smart irrigation system. *International Journal of Engineering Research & Technology,* 8(5), 1-5.

Jones, H. G., Serraj, R., Loveys, B. R., Xiong, L., Wheaton, A., & Price, A. H. (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology,* 36(11), 978-989.

Kim, Y., & Evans, R. G. (2018). Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture,* 66(2), 159-165.

Kim, Y., Evans, R. G., & Iversen, W. M. (2018). Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* 57(7), 1379-1387.

Nikou, S. (2019). Internet of Things (IoT) adoption in smart agriculture: Challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Informatics,* 10(2), 45-57.

Office of Agricultural Economics. (2023). *Agricultural statistics of Thailand 2023.* Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Saha, A. K., Saha, J., Ray, R., Sircar, S., Dutta, S., Chattopadhyay, S. P., & Saha, H. N. (2021). IOT based automated wireless watering system and its monitoring using cloud. *2021 IEEE 1 1 th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC),* 0541-0547. https://doi.org/10.1109/CCWC51732.2021.9375914.

Sathit, P. (2019). Development of an Arduino-based automatic irrigation control system. *International Journal of Smart Farming Technology,* 4(1), 12-20.

Singh, D., Tripathi, G., & Jara, A. J. (2017). A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges, and services. *IEEE Internet of Things Journal,* 4(5), 1125-1142.

Singh, R., Gehlot, A., & Singh, A. (2017). Smart irrigation system using IoT for water resource optimization. *International Journal of Advanced Research in Computer Science,* 8(5), 1764-1768.