

โรงเพาะเห็ดขนาดเล็กออนไลน์ด้วยเทคโนโลยีไอโอที

วันที่รับ: 16 พฤษภาคม 2568

วันที่แก้ไข: 16 กันยายน 2568

วันที่ตอบรับ: 25 กันยายน 2568

เอนกวงศ์ ยอดดำเนิน^{1*} และ สุริยา ต๊ะศรีเรือน¹

¹สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2, วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

จังหวัดเชียงราย

*Corresponding author e-mail: Anekwong@cvc.ac.th



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมโรงเพาะเห็ดอัตโนมัติและประเมินประสิทธิภาพการทำงานตามค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ และสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยเริ่มดำเนินการจากการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ในโรงเรือน พร้อมใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น แสง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับพัดลมและปั้มน้ำซึ่งควบคุมผ่านกล่องวงจรที่พัฒนาขึ้นตามรูปแบบของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง พร้อมกับการประมวลผลแบบเรียลไทม์ ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ถูกส่งผ่านสัญญาณไร้สายด้วยโพรโตคอล MQTT ไปยังระบบคลาวด์ส่วนตัวที่ติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้งานเฉพาะ ซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บ ประมวลผล และให้บริการ API เพื่อเชื่อมต่อกับแดชบอร์ดและระบบแสดงผล นอกจากนี้ยังได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาที่รองรับการทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุม ตรวจสอบ และรับการแจ้งเตือนได้จากระยะไกลอย่างสะดวก ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานอัตโนมัติได้ถูกต้องร้อยละ 100 ตามเวลาที่กำหนด และสั่งงานผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน ± 2 วินาที ในการตอบสนองคำสั่ง ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ถูกส่งได้เที่ยงตรงไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 สำหรับความแม่นยำของการตรวจวัดพบว่าเซ็นเซอร์อุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ± 1.2 °C เซ็นเซอร์ความชื้น $\pm 3.5\%$ RH เซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ± 35 ppm และเซ็นเซอร์แสงมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 96 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน จากการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มผู้สูงอายุและเกษตรกรที่ใช้จำนวน 115 คน พบว่าระบบได้รับการประเมินอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยรวม 4.26 โดยเฉพาะในด้านความสะดวกในการติดตั้ง ความง่ายต่อการสั่งงาน ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์ และความเสถียรโดยรวม ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าระบบต้นแบบนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้กับฟาร์มเพาะเห็ดขนาดใหญ่ขึ้นได้ และสามารถพัฒนาต่อยอดสู่ระบบเกษตรอัจฉริยะที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดภาระการทำงานของเกษตรกรได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: โรงเรือนเพาะเห็ด, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง, เทคโนโลยีคลาวด์, เกษตรอัจฉริยะ

MINI-SMART MUSHROOM FARM REAL TIME BASED ON IoT

Received: May 16, 2025

Revised: September 16, 2025

Accepted: September 25, 2025

Anekwong Yoddumnern^{1*} and Suriya Taesiruien¹

¹Institute of Vocational Education North Region 2,

Chiang Rai Vocational College, Chiang Rai, Thailand

*Corresponding author e-mail: Anekwong@cvc.ac.th



Abstract

The objectives of this study were to develop a prototype of an automatic mushroom cultivation control system, evaluate its operational performance, and assess user satisfaction. The study began with the design and installation of greenhouse equipment, incorporating sensors to measure temperature, humidity, light, and carbon dioxide, along with fans and water pumps controlled through a customized circuit box based on the Internet of Things (IoT) framework with real-time data processing. Sensor data were transmitted wirelessly via the MQTT protocol to a private cloud system installed on a dedicated server, which functioned as the main platform for data storage, processing, and providing APIs for dashboard integration and visualization. In addition, a cross-platform mobile application was developed to allow users to conveniently control, monitor, and receive notifications remotely. The results revealed that the system achieved 100% accuracy in automated operations according to scheduled times and demonstrated an average accuracy of 98% in remote application control, with a mean response delay of no more than ± 2 seconds. Sensor data transmission accuracy exceeded 97%, while measurement accuracy showed an average deviation of ± 1.2 °C for temperature, $\pm 3.5\%$ RH for humidity, ± 35 ppm for carbon dioxide, and 96% correctness for light intensity compared with standard instruments. A user satisfaction survey conducted with 115 elderly individuals and farmers indicated a high level of satisfaction, with an overall mean score of 4.26, particularly in aspects of installation convenience, ease of control, sensor precision, and overall system stability. The findings highlighted the potential of the proposed prototype to be applied in larger-scale mushroom farms and it could be further developed into a smart agriculture system that would enhance production efficiency while sustainably reduce the workload of farmers.

Keywords: Mushroom farm, IoT technology, Cloud technology, Smart agricultural

บทนำ

การเพาะเห็ดเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการรายย่อย อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของการเพาะเห็ดคือการควบคุมปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสง ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ปัจจุบันเทคโนโลยีไอโอที (Internet of Things: IoT) สามารถช่วยในการตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงเพาะเห็ดแบบเรียลไทม์ผ่านระบบออนไลน์ (Rukhiran et al., 2023) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาโรงเพาะเห็ดออนไลน์ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยใช้เทคโนโลยีไอโอที เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเห็ดและส่งเสริมการประกอบอาชีพอิสระให้แก่เยาวชนและชุมชนที่สนใจ การผลิตเห็ดเพื่อการค้าในประเทศไทยเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นทำให้เห็ดกลายเป็นสินค้าเกษตรสำคัญที่ช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจภายในประเทศ ซึ่งแต่ละปี ประเทศไทยมีกำลังการผลิตเห็ดได้ประมาณ 120,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 7,014 ล้านบาท โดยเฉพาะการเพาะเห็ดในถุงนับว่ามีศักยภาพการผลิตสูงมาก ทั้งเห็ดเข็มทอง เห็ดโคนญี่ปุ่น เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดภูฐาน เห็ดหอม เห็ดนางรม เห็ดนางรมฮังการี เห็ดยานางิ เห็ดหูหนู เห็ดขอนขาว เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดเออเรจิน และเห็ดหลินจือล้วนได้รับการตอบรับจากตลาดเป็นอย่างดีและมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น เห็ดเป็นแหล่งอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีสารอาหารสำคัญหลายชนิด ยิ่งไปกว่านั้นยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ มีโปรตีนสูง วิตามินสูง และมีไขมันต่ำ อีกทั้งยังมีสรรพคุณทางยา และมีสารต้านอนุมูลอิสระ (รัฐพล ศรประเสริฐ และสยาม อรุณศรีมรกต, 2557)

ปัจจุบันได้ก้าวเข้าสู่ยุคแห่งเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบ โดยเฉพาะเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยยกระดับกระบวนการเพาะปลูกเห็ดให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กระบวนการผลิตที่เคยต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของเกษตรกรเพียงอย่างเดียว ขณะนี้ได้รับการสนับสนุนด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ช่วยให้การเพาะปลูกเห็ดมีความแม่นยำและคาดการณ์ได้มากขึ้น ในโลกของการเกษตรสมัยใหม่ การควบคุมสภาพแวดล้อมถือเป็นหัวใจสำคัญของความสำเร็จในการเพาะปลูกเห็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็ดที่มีความละเอียดอ่อนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และแสง จากการศึกษาของ กฤษณะ มุ่ยสกุล และดุลยรัตน์ เศรษฐกุลนันท (2556) พบว่าการควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบ IoT สามารถเพิ่มผลผลิตเห็ดได้สูงถึงร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับวิธีการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพอันทรงพลังของเทคโนโลยีในการพัฒนาการเกษตร ระบบ IoT ทำงานอย่างเป็นระบบโดยใช้เซ็นเซอร์ที่มีความไวสูงติดตั้งภายในโรงเรือนเพาะปลูก เซ็นเซอร์เหล่านี้จะทำการตรวจวัดและส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้น ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มของแสง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกประมวลผลโดยระบบคอมพิวเตอร์และแอปพลิเคชันที่ออกแบบมาเฉพาะ ช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับแต่งสภาพแวดล้อมได้อย่างทันทั่วทั้งที่ การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหัวใจสำคัญของระบบ IoT ในการเพาะปลูกเห็ด ระบบจะทำการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง วิเคราะห์แนวโน้ม และคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เช่น การระบาดของโรคหรือการขาดธาตุอาหาร ด้วยการใช้ปัญญาประดิษฐ์และอัลกอริทึมขั้นสูง ทำให้เกษตรกรสามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาได้ก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อผลผลิต

การศึกษาของสถาบันวิจัยการเกษตรแห่งประเทศไทยยังชี้ให้เห็นว่า การใช้เทคโนโลยี IoT สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของเห็ดได้อย่างมีนัยสำคัญ ระบบอัจฉริยะเหล่านี้ช่วยในการควบคุมการให้น้ำ การจัดการธาตุอาหาร และการป้องกันโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะการเจริญเติบโตที่มีความละเอียดอ่อน การควบคุมอย่างแม่นยำจะช่วยให้เห็ดมีการเติบโตที่สมบูรณ์และมีคุณภาพสูงสุด นอกจากนี้

เทคโนโลยี IoT ยังเปิดโอกาสให้เกษตรกรสามารถติดตามและบริหารจัดการฟาร์มผ่านสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต โดยสามารถรับรู้สถานะของโรงเรือนเพาะปลูกได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งนับเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญในวงการเกษตรสมัยใหม่

การพัฒนาศักยภาพผู้สูงอายุและเกษตรกรในพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในการเรียนรู้และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการทางการเกษตร โดยเฉพาะการทำโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ เป็นแนวทางเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้วางแผนปฏิบัติไว้ เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงเทคโนโลยีและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบการเกษตรสมัยใหม่ โดยเริ่มจากการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับศักยภาพของกลุ่มผู้สูงอายุ โดยใช้สื่อและกระบวนการฝึกอบรมที่เข้าใจง่ายและสามารถนำไปสู่การใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควบคู่กับการจัดให้มีการฝึกปฏิบัติในสถานการณ์จริง อาทิ การติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนการควบคุมระบบผ่านสมาร์ทโฟน เพื่อเพิ่มทักษะและสร้างความมั่นใจในการใช้เทคโนโลยี อีกทั้งการสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ภายในชุมชน โดยมีเกษตรกรต้นแบบและผู้สูงอายุแกนนำเป็นผู้ถ่ายทอดองค์ความรู้ จะช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนและขยายผลอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาโรงเรือนเพาะเห็ดแบบเคลื่อนที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้สูงอายุในด้านความสะดวกและการลดภาระงานประจำวัน พร้อมบูรณาการเทคโนโลยี IoT ในการยกระดับระบบการเกษตรและคุณภาพชีวิตของชุมชนให้ยั่งยืนขึ้น



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติและประเมินประสิทธิภาพการทำงานตามมาตรฐานของอุปกรณ์
2. เพื่อสำรวจความพึงพอใจของเกษตรกรที่ใช้งานโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยและพัฒนา (Research and development: R&D) โดยมีกระบวนการวิจัยดังต่อไปนี้

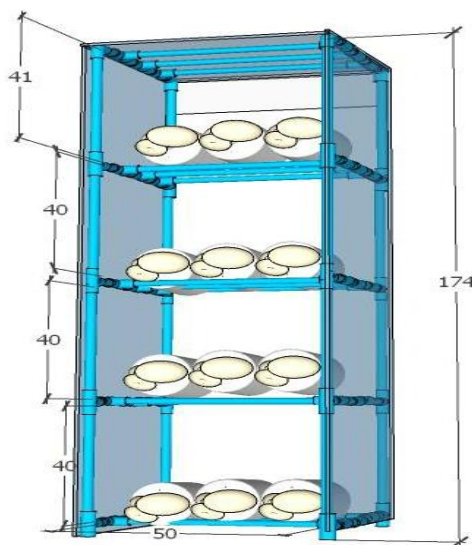
1. การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดโดยใช้วัสดุท่อพีวีซี ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร สูง 174 เซนติเมตร ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่เพาะเห็ดในบริบทของเกษตรกรรายย่อย จากนั้นได้ทำการติดตั้งชุดควบคุมที่ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU-ESP32) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ ระบบควบคุมนี้สามารถตรวจวัดและควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสง และระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เซ็นเซอร์ที่สื่อสารข้อมูลแบบ Modbus RS485 ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่ามีประสิทธิภาพการทำงานสูง และสามารถสั่งการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เพื่อควบคุมพัดลมระบายอากาศและปั๊มน้ำพ่นหมอกเพื่อรักษาสภาพที่เหมาะสมภายในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ ในขั้นตอนการเชื่อมต่อและจัดการข้อมูล ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลกับคลาวด์ผ่านโปรโตคอล MQTT โดยใช้ MQTT Broker ผ่าน IP Address: 61.19.33.12 เพื่อเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทั้งนี้ยังได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือที่สามารถใช้งานได้แบบหลายแพลตฟอร์ม (Multiplatform) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมอุปกรณ์จาก

ระยะไกลได้อย่างสะดวก ส่งผลให้ระบบนี้ช่วยลดภาระในการดูแลโรงเรือนของเกษตรกร พร้อมส่งเสริมการประยุกต์ใช้นวัตกรรมดิจิทัลเพื่อการเกษตรอัจฉริยะในระดับชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป ดังแสดงตามภาพ 1



ภาพ 1 แสดงขั้นตอนการพัฒนาโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ

โครงสร้างโรงเพาะเห็ดนี้ได้ออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด โดยประกอบด้วยชั้นวางที่มีความสูงเท่ากัน 4 ชั้น แต่ละชั้นมีความสูงห่างกัน 40 เซนติเมตร มีความกว้าง 50 เซนติเมตร และความสูงรวมทั้งหมด 174 เซนติเมตร แต่ละชั้นประกอบด้วยราวสำหรับวางถุงเพาะเห็ด โดยออกแบบให้สามารถวางถุงเพาะได้ 10-17 ก้อนต่อชั้น ห่อหุ้มด้วยวัสดุทึบ โดยใช้พลาสติกที่สามารถกันแมลง และกรองแสงได้พอเหมาะ ดังแสดงตามภาพ 2



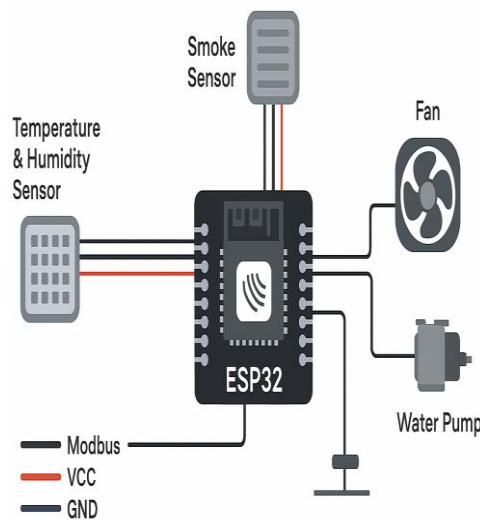
ภาพ 2 การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนเพาะเห็ด

ระบบที่พัฒนาขึ้นมามีองค์ประกอบ 2 ส่วนหลัก คือ 1) โครงสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดและกล่องวงจรควบคุมระบบ 2) โปรแกรมประมวลผลและควบคุมผ่านระบบคลาวด์ ซึ่งรายการวัสดุเป็นตามแสดงในตาราง 1 ที่สามารถนำมาประกอบและเชื่อมต่อกันเพื่อสร้างระบบประมวลผลเชิงอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดได้ ซึ่งมีต้นทุนการพัฒนาประมาณ 2,700 บาท ที่อยู่ในรูปแบบต้นทุนต่ำพร้อมเน้นย้ำการใช้งานผ่านระบบสารสนเทศแบบฟรีหลาย ๆ รายการประกอบกัน โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เช่น เซอร์ต่าง ๆ จะถูกติดตั้งในโรงเพาะเห็ดเพื่อตรวจวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ และแสงสว่าง ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผล (MCU-ESP32) เพื่อประมวลผลโดยจะควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลมผ่านรีเลย์ เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมในโรงเพาะเห็ดให้เหมาะสม (ฤกษ์นิษฐ์ มุขสกล และดุลยรัตน์ เศรษฐกุลธน, 2556) ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลและควบคุมระบบได้จากกระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ รายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 รายการวัสดุประกอบการพัฒนาระบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ

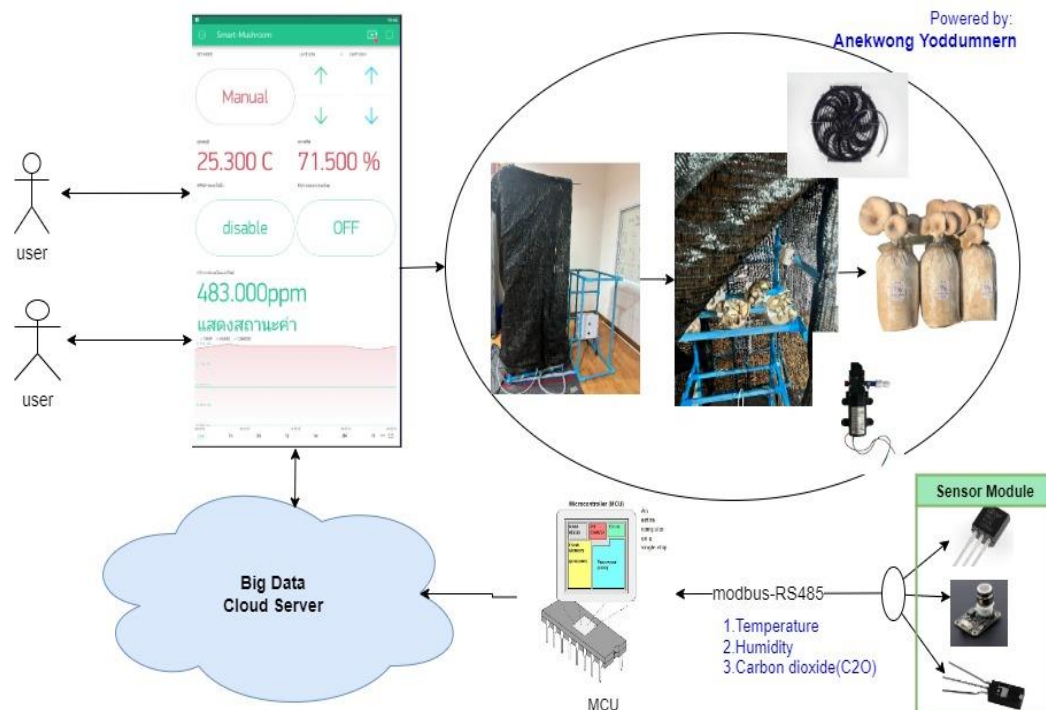
ที่	รายการ	หมายเหตุ/การใช้งาน
1	กล่องรวมวงจรกันน้ำ	รวมวงจรระบบและป้องกันน้ำ
2	ปั๊มน้ำ DC พร้อม Adapter	ดูดน้ำ ให้ความชื้น
3	MCU- ESP32-Wireless TTGO	หน่วยประมวลผลกลาง และตรวจสอบค่าเซ็นเซอร์
4	Relay 2 channel-Act.High	เปิด/ปิด Switch การทำงานพัดลม-ปั๊มน้ำ
5	Adapter 220ac-to-12 vdc	แปลงไฟขนาด 220 VAC เป็น 12 VDC
6	หัวพ่นน้ำแบบปรับขนาดและระยะได้	พ่นน้ำ รักษาความชื้นโรงเห็ด
7	สายซิลิโคน ยาว 400 เมตร	สายนำน้ำครอบคลุมโรงเรือน
8	ท่อพีวีซี ขนาด 2 นิ้ว ยาว 15 เมตร	โครงสร้างโรงเรือน
9	พัดลมขนาด 17 นิ้ว แบบ DC 12 V.	ระบายอากาศ
10	แผงสะสมแบบตะขาศาย 5x10 ม.	กันแมลง และรักษาความชื้น/กันแดด

การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติสามารถดำเนินการได้โดยนำอุปกรณ์ ดังแสดงข้างต้นมาต่อประกอบกันอย่างเป็นระบบ เริ่มจากโครงสร้างโรงเรือนที่สร้างด้วยท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว ยาว 15 เมตร และหุ้มด้วยแผงสะสมตะขาศายขนาด 5x10 เมตรเพื่อป้องกันแมลงและควบคุมแสง รวมทั้งช่วยรักษาความชื้นภายในโรงเรือน ภายในติดตั้งพัดลม DC ขนาด 17 นิ้วเพื่อระบายอากาศและปั๊มน้ำ DC พร้อมอะแดปเตอร์สำหรับสร้างละอองน้ำ โดยหัวพ่นน้ำปรับขนาดได้และเชื่อมต่อกับสายซิลิโคนยาว 400 เมตรเพื่อกระจายน้ำทั่วโรงเรือน ระบบไฟฟ้าใช้ Adapter 220 VAC แปลงเป็น 12 VDC เพื่อจ่ายพลังงานเข้าสู่กล่องรวมวงจรกันน้ำที่ภายในติดตั้ง MCU-ESP32 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลางและตรวจสอบค่าจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักเชื่อมผ่าน Relay 2 channel ที่ควบคุมการเปิด/ปิดพัดลมและปั๊มน้ำ เพื่อให้ทำงานอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่ตรวจวัดได้ ดังแสดงตาม ภาพ 3



ภาพ 3 การผังวงจรที่เชื่อมต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และกล่องวงจรควบคุม

เป้าหมายที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้อีกด้านหนึ่ง คือ การยกระดับคุณภาพชีวิตและสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจให้กับผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ผ่านการพัฒนานวัตกรรมโรงเรือนเพาะเห็ดอัจฉริยะที่ตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้สูงอายุอย่างแท้จริง โดยมุ่งเน้นการออกแบบระบบที่ง่ายต่อการใช้งาน สามารถเคลื่อนย้ายได้ และควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โครงสร้างโรงเรือนพัฒนาขึ้นด้วยวัสดุอลูมิเนียมน้ำหนักเบาและทนทาน ออกแบบให้สามารถพับเก็บและเคลื่อนย้ายได้สะดวก ชั้นวางเพาะปลูกสามารถปรับระดับและขนาดได้ตามพื้นที่ใช้สอย ระบบควบคุมหลักคือกล่องวงจรอัจฉริยะที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ความแม่นยำสูง สามารถตรวจวัดปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกเห็ด ประกอบด้วยเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง และคุณภาพอากาศ (ศิริพร หัสสรังสี และอภิรัชต์ สมฤทธิ์, 2551) กล่องควบคุมระบบถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด มีระบบประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ พร้อมช่องเสียบซิมการ์ดเพื่อการติดต่อสื่อสาร ผู้ใช้สามารถติดตามและควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่มีการออกแบบอินเทอร์เฟซให้ใช้งานง่าย มีปุ่มกดขนาดใหญ่และตัวอักษรชัดเจนเหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ นอกจากนี้ ระบบยังมีฟังก์ชันแจ้งเตือนผ่านข้อความและเสียงเมื่อพบความผิดปกติในการเพาะปลูก โดยมีปัจจัยดำเนินการ ดังนี้ 1) ออกแบบโรงเรือนเพาะเห็ดแบบเคลื่อนย้ายได้ 2) พัฒนากล่องวงจร ที่มีเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 3) พัฒนา Private cloud เพื่อจัดเก็บข้อมูล 4) การโปรแกรมและพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน โดยจุดเด่นของนวัตกรรมนี้คือความยืดหยุ่นและง่ายต่อการใช้งาน สามารถเพาะเห็ดได้หลายสายพันธุ์ และปรับสภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำ ช่วยลดภาระการดูแล และเพิ่มโอกาสในการสร้างรายได้ให้กับผู้สูงอายุ จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่ากลุ่มผู้สูงอายุในพื้นที่ที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการเพาะปลูกเห็ดที่ใช้พื้นที่น้อยและสามารถสร้างรายได้อย่างต่อเนื่อง



ภาพ 4 แสดงผังกระบวนการประมวลผลระบบระบบโรงเห็ดอัตโนมัติ

ภาพ 4 แสดงถึงระบบควบคุมการเพาะเห็ดอัตโนมัติ โดยมีผู้ใช้ (User) สามารถตรวจสอบและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเพาะเห็ดผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ซึ่งแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น อุณหภูมิ 25.30°C ความชื้นร้อยละ 71.50 และระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 483.00 ppm ผู้ใช้สามารถตั้งค่าและควบคุมระบบได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (Disable) และแบบกำหนดเอง (Manual) โดยข้อมูลจากแอปพลิเคชันจะถูกส่งไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Big data cloud server) เพื่อประมวลผลและจัดเก็บ (Boonchieng et al., 2018) จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยัง MCU ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงเพาะเห็ด เช่น พัดลม (Fan) ระบบพ่นน้ำ (Misting system) และเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม (Sensor module) ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยระบบนี้ใช้การสื่อสารแบบ Modbus-RS485 เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ และ MCU ทำให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเพาะเห็ดได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

2. การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ เพื่อประเมินความคิดเห็นและประสบการณ์การใช้งานของกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรและผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นผู้เข้าร่วมกิจกรรมฝึกอบรมและทดสอบการใช้งานระบบต้นแบบในพื้นที่จริง รวมทั้งสิ้น 115 คน แบ่งเป็นเพศชาย 83 คน ร้อยละ 72.17 และเพศหญิง 32 คน ร้อยละ 27.83 กลุ่มตัวอย่างดังกล่าวถูกคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) เนื่องจากมีประสบการณ์ตรงในการเพาะเห็ดหรือมีความสนใจในการใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อการเกษตร โดยการเก็บข้อมูลดำเนินการผ่าน แบบสอบถามความพึงพอใจ (Satisfaction questionnaire) ซึ่งพัฒนาโดยผู้วิจัยตามกรอบแนวคิดของงานวิจัยและผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการเกษตรจำนวน 3 ท่าน

ในส่วนแบบสำรวจเพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจตามแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่
ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (เพศ อายุ และประสบการณ์ด้านการเกษตรกรรม)
ตอนที่ 2 รายการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ รวม 16 รายการ เช่น ความสะดวก
ในการติดตั้ง ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ ความเสถียรของระบบ และความง่ายในการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน
ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการพัฒนาระบบในอนาคต
แบบสอบถามใช้มาตราส่วนประเมินค่าแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (5-point Likert scale) โดยมี
ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability: Cronbach's alpha) มีค่าเท่ากับ 0.87 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูง แสดงถึง
ความสอดคล้องของข้อคำถามที่ดีในการวัดความพึงพอใจของผู้ใช้

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาต้นแบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ พบว่าโรงเรือนสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและ
ถอดประกอบได้สะดวก สามารถนำไปใช้ได้ทุกพื้นที่แม้จะมีขนาดเล็ก ซึ่งโรงเรือนเพาะเห็ดนี้ใช้พื้นที่ขนาด 2.5
ตารางเมตร ที่ความสูง 1.47 เมตร เท่านั้น และการใช้กล่องวงจรควบคุมการทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
เมื่อเทียบกับต้นทุน และผลผลิตที่ได้ตามมา ซึ่งการเพาะเห็ดเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการควบคุมสภาพแวดล้อม
ที่ต้องการความแม่นยำ เนื่องจากเห็ดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัย
แวดล้อมอื่น ๆ การจัดการสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมจะช่วยเพิ่มผลผลิต ลดการเกิดโรค และปรับปรุงคุณภาพของเห็ด
ที่ได้ ปัจจัยที่ต้องควบคุมหลัก ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ แสงสว่าง และ
การระบายอากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดและการเกิดดอกจะแตกต่างกันไป
ตามชนิดของเห็ด ตัวอย่างเช่น เห็ดนางฟ้าต้องการอุณหภูมิประมาณ 22-28 องศาเซลเซียส ขณะที่เห็ดหลินจือเติบโต
ได้ดีที่ 25-30 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป อาจส่งผลให้เส้นใยเจริญเติบโตช้าหรือเกิดการติดเชื้อ
จากเชื้อราหรือแบคทีเรียอื่น ๆ การรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในระดับที่เหมาะสมก็มีความสำคัญ โดยทั่วไป
เห็ดต้องการความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 80-90 เพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนเชื้อแห้งและส่งเสริมการสร้างดอกเห็ด
นอกจากนี้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศควรอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างของเห็ดเติบโตได้ดี
โดยเห็ดบางชนิดต้องการระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำเพื่อกระตุ้นการพัฒนาของดอกเห็ด เช่น เห็ดหอม
ที่ต้องการระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า 800 ppm เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของก้อนเห็ดที่ผิดปกติ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเพาะเห็ด โดยแบ่ง
การทดสอบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การสั่งเปิดระบบ การสั่งปิดระบบ และการตั้งระบบเชิงอัตโนมัติ โดยแต่ละส่วน
มีการทดสอบ 10 ครั้ง และวัดผลเป็นร้อยละของความเที่ยงตรง ดังรายละเอียดตามตาราง 2

ตาราง 2 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

รายการประเมิน	การสั่งเปิดระบบ		การสั่งปิดระบบ		การตั้งระบบเชิงอัตโนมัติ	
	10 ครั้ง	ร้อยละ	10 ครั้ง	ร้อยละ	10 ครั้ง	ร้อยละความเที่ยงตรง
ระบายอากาศ-พัดลม	10	100	10	100	8	80
ระบบปั๊มพ่นน้ำ	10	100	10	100	9	90

2. การสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 115 คน จากชุมชนต่าง ๆ ในเขตอำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งแยกเป็นเพศชาย 83 คน คิดเป็นร้อยละ 72.17 เพศหญิง 32 คน คิดเป็นร้อยละ 27.83 ในส่วนช่วงอายุพบว่าอายุน้อยกว่า 35 จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 23.48 ช่วงอายุระหว่าง 35 -55 จำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 30.43 อายุมากกว่า 55 ปี จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 46.09 และเมื่อประเมินความพึงพอใจใน 16 รายการหลัก ดังแสดงตามตาราง 3 ซึ่งครอบคลุมตามกรอบการวิจัย

ตาราง 3 แสดงความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติ

ที่	รายละเอียดการประเมิน	$\bar{x}$ (S.D.)	ร้อยละ	แปลผล
1	ขนาดโรงเรือนเห็ดกะทัดรัด	4.12 (0.91)	82.43	มาก
2	ขนย้ายและติดตั้งได้สะดวก	4.39 (0.63)	87.83	มาก
3	โครงสร้างแข็งแรง	4.66 (0.57)	93.22	มากที่สุด
4	อุณหภูมิ และการรายงานผลตรงตาม App.	4.56 (0.61)	91.13	มากที่สุด
5	ขนาดพัฒน์-ระบายความร้อนเหมาะสมกับพื้นที่	4.21 (0.99)	84.17	มาก
6	ชุดพ่นน้ำเหมาะสม	4.09 (0.88)	81.74	มาก
7	การตอบสนองระบบเมื่อสั่งงาน	4.25 (0.71)	85.04	มาก
8	มีความปลอดภัย	4.18 (0.71)	83.65	มาก
9	รูปแบบ App. ใช้งานง่าย	4.23 (0.73)	84.52	มาก
10	การสั่งงานผ่าน Mobile	4.22 (0.71)	84.35	มาก
11	ความเที่ยงตรงของการประมวลผลระบบ	4.35 (0.70)	86.96	มาก
12	จำนวนก้อนเห็ดในการเพาะเหมาะสม	4.34 (0.64)	86.78	มาก
13	ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ	4.25 (0.73)	85.04	มาก
14	ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์ความชื้น	4.29 (0.67)	85.74	มาก
15	ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	3.94 (0.90)	78.78	มาก
16	การตั้งตารางระบบเชิงอัตโนมัติและความเที่ยงตรง	4.10 (0.86)	81.91	มาก
รวม		4.26 (0.75)	85.21	มาก

จากผลการสำรวจพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโรงเรือนเพาะเห็ดอัตโนมัติในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 85.21 มีค่าเฉลี่ย 4.26 (0.75) อย่างไรก็ตาม ควรให้ความสำคัญกับหัวข้อที่ 15 ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คิดเป็นร้อยละ 78.78 มีค่าเฉลี่ย 3.94 (0.90) อาจจะเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้งาน แต่ผลการตอบสนองของระบบออนไลน์เป็นไปอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน



อภิปรายผลการวิจัย

เทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงเพาะเห็ดมีความก้าวหน้าเพียงพอในปัจจุบัน โดยเฉพาะการนำระบบเซ็นเซอร์และ IoT มาใช้เพื่อวัดและปรับค่าปัจจัยสำคัญโดยอัตโนมัติ (วันวิสา เนตรซัง และปรีชา ศรีจันทร์, 2556) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นต้นทุนต่ำแต่ประสิทธิภาพสูง เช่น DHT22 หรือ SHT31 สามารถตรวจสอบค่าที่เกิดขึ้นจริงในโรงเรือนและส่งข้อมูลไปยังระบบควบคุมที่สามารถสั่งระบบรักษา สภาพอากาศ ทั้งเครื่องพ่นหมอก หรือพัดลมระบายอากาศ ให้ทำงานตามค่าที่กำหนด นอกจากนี้ ระบบควบคุม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อัตโนมัติที่ใช้เซ็นเซอร์ NDIR (Non-dispersive infrared) สามารถตรวจจับปริมาณก๊าซ ในโรงเรือนและปรับการระบายอากาศเพื่อลดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (Kassim et al., 2019) การควบคุมแสงสว่างก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ เนื่องจากเห็ดบางชนิดต้องการแสงเพียงเล็กน้อย เพื่อกระตุ้นการสร้างดอก ในขณะที่บางชนิดสามารถเติบโตได้ในที่มืดสนิท ดังนั้นการใช้ระบบไฟ LED ที่สามารถ ตั้งค่าความเข้มและระยะเวลาการเปิด-ปิดได้จึงช่วยให้การเพาะเห็ดมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยทำให้การเพาะเห็ดสามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ ลดความสูญเสีย และช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุม การผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1. การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดสามารถปรับระยะและขนาดได้หลากหลาย เพื่อให้เหมาะสม ตามพื้นที่การใช้งาน นอกจากนี้วัสดุที่นำมาทำโครงสร้างโรงเรือนอาจจะเป็นไม้ไผ่ หรือใช้เสาเหล็กเพิ่ม เพื่อความคงทน นอกจากนั้น การทำงานการตรวจวัดค่าของเซ็นเซอร์ยังมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับเครื่องมือ มาตรฐาน ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้นเพียงร้อยละ 4.37 และ 4.20 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจจะ เกิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของการควบคุมอัตโนมัติที่ใช้การควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ในปัจจุบันที่มีจุดเด่นในด้านเสถียรภาพ มีความถูกต้องแม่นยำในการทำงาน ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีเมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอื่น สอดคล้องกับที่ เบญจพล เรืองศักดิ์ และณัฐภูมิ ชันมั่ง (2556) ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาแก้ไขปัญหาการควบคุมในเครื่องจักร แทนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อปรับปรุงระบบให้มีเสถียรภาพ สามารถลดปัญหาจากการหยุดทำงานของเครื่องจักร อย่างไม่ตั้งใจได้ ทำให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ในส่วนของเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้การสื่อสาร แบบ Modbus RTU ที่เป็นโปรโตคอลมาตรฐานระดับอุตสาหกรรม เชื่อมต่อแบบ RS485 ที่สามารถรับส่งข้อมูล ได้ไกลถึง 1.2 กิโลเมตร และเชื่อมต่อกันได้มากถึง 32 จุด ด้วยคุณสมบัติที่สามารถต่อเชื่อมโยงใช้งานกันได้ หลายจุดแม้จะมีระยะทางที่ไกล ทำให้ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์มีความถูกต้อง ระบบจึงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mohd Hishamuddin & Ubin, 2022; Rukhiran et al., 2023)

2. กลุ่มผู้ใช้งานโรงเรือนเพาะเห็ดนี้ มีความหลากหลายในช่วงวัยต่าง ๆ ตั้งแต่วัยรุ่น ผู้ใหญ่ และผู้สูงอายุ การตอบสนองต่อเป้าหมายอาจจะไม่ครอบคลุมกับบางคน และผู้ร่วมใช้งานยังมีระดับความรู้ที่ต่างกันโดยเฉพาะ การใช้งานระบบผ่านระบบโทรศัพท์ยังติดขัดบ้าง ด้วยผู้ใช้มีระบบปฏิบัติการสมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน การออกแบบ แอปพลิเคชันอาจจะต้องเพิ่มทางเลือกให้เพียงพอให้กับกลุ่มผู้ใช้งานโดยเฉพาะผู้สูงอายุ และผู้ที่ยังไม่มีโทรศัพท์เป็นของ ตนเอง



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมโรงเพาะเห็ดอัตโนมัติแบบเคลื่อนย้ายได้ด้วยเทคโนโลยี IoT และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างโรงเห็ดขนาดกะทัดรัด กว้าง 50 เซนติเมตร สูง 174 เซนติเมตร ทำจากท่อพีวีซีเพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและติดตั้งในพื้นที่จำกัด ระบบควบคุมภายในโรงเรือนพัฒนาโดยใช้บอร์ด ESP32 เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น แสง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่าน Wi-Fi ไปยังคลาวด์ผ่าน MQTT Broker (IP: 61.19.33.12) โดยมีระบบควบคุมพัดลมและปั๊มน้ำทำงานอัตโนมัติเพื่อรักษาสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ด ระบบสามารถควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 80–90 และอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 22–28 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้พัฒนาแอปพลิเคชันแบบ Multiplatform สำหรับแสดงผลและควบคุมระบบจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ และรับการแจ้งเตือนหากมีค่าผิดปกติเกิดขึ้น ผลการทดสอบกับกลุ่มเกษตรกรและผู้ใช้งานจริงจำนวน 115 คน จากชุมชนในเขตอำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย แสดงให้เห็นถึงระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 85.21 ด้วยค่าเฉลี่ย 4.26 (0.75) โดยเฉพาะในประเด็นเรื่องความแข็งแรงของโครงสร้าง ความแม่นยำของระบบรายงานผลและความสะดวกในการติดตั้งได้รับคะแนนในระดับ มากถึงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม หัวข้อที่ควรให้ความสำคัญเพิ่มเติมคือ ความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์ คิดเป็นร้อยละ 78.78 ซึ่งได้คะแนนต่ำที่สุดเฉลี่ย 3.94 (0.90) อาจสะท้อนถึงข้อจำกัดของเซ็นเซอร์ที่ใช้ และการทำงานร่วมของพัดลมและเครื่องพ่นไอน้ำภายในโรงเรือน แต่โดยรวมระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพพอในการประยุกต์ใช้งานจริง

จากการดำเนินงานวิจัยพบว่าแม้ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในโรงเรือนต้นแบบ แต่การพัฒนาในระยะต่อไปควรเน้นการเพิ่มความสามารถในการประมวลผลล่วงหน้า เช่น การวิเคราะห์แนวโน้มสภาพอากาศและการแจ้งเตือนเชิงคาดการณ์ (Predictive alert) รวมถึงการออกแบบอินเทอร์เฟซของแอปพลิเคชันให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่ถนัดเทคโนโลยี นอกจากนี้ ควรมีการขยายการทดลองในพื้นที่จริงที่มีสภาพภูมิอากาศแตกต่างกัน เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบในบริบทที่หลากหลาย และควรจัดทำคู่มือการใช้งานที่เข้าใจง่ายเพื่อสนับสนุนให้ชุมชนสามารถนำระบบไปใช้ได้อย่างยั่งยืน (Surige et al., 2022) และต่อยอดได้ด้วยตนเองในอนาคต

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การขยายขนาดการผลิตและการสร้างฟาร์มเห็ดอัจฉริยะขนาดใหญ่ จากการพัฒนาโรงเพาะเห็ดต้นแบบสามารถขยายระบบไปสู่ฟาร์มเพาะเห็ดขนาดใหญ่ที่ใช้เทคโนโลยี IoT ในการควบคุมสภาพแวดล้อมแบบครบวงจร โดยเพิ่มเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อัตโนมัติเพื่อจัดการหลายโรงเรือนพร้อมกัน และใช้ AI วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเพิ่มผลผลิตให้มีคุณภาพสูงขึ้น
2. การบูรณาการระบบเพาะเห็ดกับการเกษตรอัจฉริยะอื่น ๆ ระบบโรงเพาะเห็ด IoT สามารถนำไปใช้ร่วมกับแนวคิดเกษตรกรรมแบบหมุนเวียน (Circular agriculture) เช่น การใช้วัสดุเหลือใช้จากฟาร์มเกษตร เช่น ฟางข้าว หรือขี้เลื่อย เป็นวัสดุเพาะเห็ด และนำเศษเหลือจากการเพาะเห็ดไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชผักอินทรีย์ ซึ่งจะช่วยลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การพัฒนาระบบแจ้งเตือนและควบคุมผ่านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) และแชทบอต (Chatbot) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการให้คำแนะนำการดูแลโรงเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติ โดยระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันหรือ Line chatbot เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่ต้องปรับปรุงสอดคล้องตาม และเสนอแนวทางการแก้ไขได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยลดภาระของเกษตรกรและเพิ่มความสะดวกในการดูแลโรงเรือนจากระยะไกล
2. การสร้างเครือข่ายการตลาดออนไลน์และโมเดลธุรกิจฟาร์มเห็ดอัจฉริยะ นอกจากการพัฒนาเทคโนโลยีเพาะเห็ดแล้ว การสร้างแพลตฟอร์มพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-commerce) เพื่อให้เกษตรกรสามารถจำหน่ายเห็ดสดหรือผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น เห็ดอบแห้ง ผงเห็ด หรืออาหารแปรรูปจากเห็ด ได้โดยตรงถึงผู้บริโภคผ่านช่องทางออนไลน์ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และลดการพึ่งพาพ่อค้าคนกลาง
3. การขยายไปสู่โมเดล Smart community และเกษตรกรผู้สูงอายุสำหรับชุมชนผู้สูงอายุ โรงเพาะเห็ด IoT สามารถเป็นโมเดลต้นแบบในการสร้างงานและอาชีพเสริมให้แก่ผู้สูงอายุ โดยสามารถพัฒนาเป็นศูนย์การเรียนรู้สำหรับการเพาะเห็ดอัจฉริยะ ส่งเสริมการทำงานร่วมกันในชุมชน และช่วยให้ผู้สูงอายุมิรายได้เสริมจากการเพาะเห็ดโดยไม่ต้องใช้แรงงานหนัก



กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อหน่วยงาน องค์กร บุคคล และชุมชนที่มีส่วนร่วมในการสนับสนุนงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา (สวพ.) ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการศึกษาวิจัย ซึ่งช่วยให้สามารถดำเนินงานได้อย่างสมบูรณ์ ครอบคลุมทั้งการศึกษา ทดลอง และสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย ได้เอื้ออำนวยความสะดวกในการพัฒนาเทคโนโลยี พร้อมการติดต่อประสานชุมชนเพื่อร่วมศึกษาทดลองการนำระบบไปใช้งาน รวมถึงกลุ่มแม่บ้าน ชุมชนเกษตรกร และผู้สูงอายุในเขตอำเภอเมืองและอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย



เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะ มุ่ยสกุล และดุลยรัตน์ เศรษฐกุลนนท์. (2556). โครงการโรงเพาะเห็ดระบบอัตโนมัติ. ใน *การประชุมวิชาการสำหรับนักศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 2* (น.69-75). คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- เบญจพล เรืองศักดิ์ และณัฐภูมิ ชันมั่ง. (2556). *ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับใช้ในโรงเพาะเห็ด*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- รัฐพล ศรประเสริฐ และสยาม อรุณศรีมรกต. (2557). การเพาะเห็ดแครงเสริมด้วยไบโหมกในวัสดุเพาะเชื้อเลี้ยงไมยราพ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม*, 22(6), 837-847.
- วันวิสา เนตรซัง และปรีชา ศรีจันทร์. (2556). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับใช้ในโรงเรือนเพาะเห็ด. ใน *ปรารภนา โนวิจัย และวีระศักดิ์ ศักดิ์เจริญ (บ.ก.), ชุมชนท้องถิ่น สำนึกการพัฒนาประชาคมอาเซียน. การประชุมวิชาการ “การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน” ครั้งที่ 3* (น.641-645). มหาวิทยาลัยขอนแก่น. https://cscd.kku.ac.th/uploads/proceeding/150813_140155.pdf

- ศิริพร หัสสร้างสี และอภิรัชต์ สมฤทธิ์. (2551). การสำรวจขั้นตอนการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเห็ดที่มีผลต่อคุณภาพเห็ดหลังการเก็บเกี่ยวภาคเหนือตอนบน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 39(พิเศษ 3), 147-150. <https://www.phtnet.org/download/phtic-seminar/350.pdf>
- Boonchieng, E., Chieochan, O., & Saokaew, A. (2018). Smart farm: Applying the use of NodeMCU, IoT, NETPIE and LINE API for a Lingzhi mushroom farm in Thailand. *IEICE Transactions on Communications*, E101.B(1), 16-23. <https://doi.org/10.1587/transcom.2017ITI0002>
- Kassim, M. R. M., Mat, I., & Yusoff, I. M. (2019). Applications of Internet of Things in Mushroom Farm Management. In *2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST)* (pp.1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICST46873.2019.9047702>
- Mohd Hishamuddin, M. H., & Ubin, A. (2022). Mushroom house monitoring system using internet of things (IoT). *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 3(1), 545-553. <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeee/article/view/3935>
- Rukhiran, M., Sutanthavibul, C., Boonsong, S., & Netinant, P. (2023). IoT-based mushroom cultivation system with solar renewable energy integration: Assessing the sustainable impact of the yield and quality. *Sustainability*, 15(18), 13968. <https://doi.org/10.3390/su151813968>
- Surige, Y. D., Perera, W. S. M., Gunarathna, P. K. N., Ariyaratna, K. P. W., Gamage, N. D. U., & Nawinna, D. P. (2022). IoT-based monitoring system for oyster mushroom farms in Sri Lanka. *International Journal of Research in Computing*, 1(1), 21-30. <https://doi.org/10.64701/zijrc/345/5295>