

# การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะสำหรับการเพาะเห็ดมิลค์กี้ด้วยเทคโนโลยี IoT

## Development of an Intelligent Environmental Control System for Milky Mushroom Cultivation Using IoT Technology

ยุธนา จงเจริญ<sup>1</sup> และ อรดี พฤติศรีณนท<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ cyutana@engr.tu.ac.th

<sup>2</sup>วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต oradee.prt@dpu.ac.th\*

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับการเพาะปลูกเห็ดมิลค์กี้โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งผ่านแพลตฟอร์ม Home Assistant เพื่อควบคุมและตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในกล่องเพาะปลูกอย่างอัตโนมัติ อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น เครื่องพ่นหมอก พัฒลมระบายอากาศ กล้อง ESP32-CAM และเซ็นเซอร์ตรวจวัดมวลของเห็ดที่ปลูก ระบบสามารถควบคุมสภาพอากาศให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ เช่น เพิ่มความชื้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 80% และเปิดพัดลมเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 35°C ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยัง Home Assistant และแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่าน LINE Notify ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดภาระของผู้เพาะเห็ด และเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำ

**คำสำคัญ:** อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เห็ดมิลค์กี้ Home Assistant การเพาะปลูกในร่ม

### Abstract

This article presents the design and development of an environmental control system for cultivating milky mushrooms using Internet of Things (IoT) technology through the Home Assistant platform to automatically control and monitor the environment inside the cultivation box. The equipment used includes an ESP32 microcontroller board, temperature and humidity sensors, a humidifier, a ventilation fan, an ESP32-CAM camera, and a sensor to measure the mass of the cultivated mushrooms. The system can automatically regulate the environment, such as increasing humidity when it falls below 75% and activating the fan when the temperature exceeds 33°C. All data are transmitted to Home Assistant and users receive notifications via LINE Notify. Experimental results demonstrate that the system reduces the workload of mushroom cultivators and improves the accuracy of environmental control efficiency.

**Keywords:** IoT, Milky Mushroom, Home Assistant, Indoor Cultivation

### 1. บทนำ

เห็ดมิลค์กี้ (Milky Mushroom หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Calocybe indica*) เป็นเห็ดเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีรสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูง และฤทธิ์ทางยา เหมาะแก่การเพาะปลูกเพื่อบริโภคและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ [1], [2] อย่างไรก็ตาม การเพาะเห็ดมิลค์กี้

ให้ได้ผลผลิตที่ดี จำเป็นต้องควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างแม่นยำ ทั้ง อุณหภูมิ ความชื้น แสง และระยะเวลาการให้แสงอย่างต่อเนื่อง [2] โดยทั่วไป ผู้เพาะเห็ดต้องคอยตรวจสอบค่าเหล่านี้ด้วยตนเอง ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน และมีความเสี่ยงจากความผิดพลาดหรือความล่าช้าในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้ถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบการเกษตรในหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของการเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) ซึ่งรวมถึงการเพาะเห็ดในระบบปิดด้วย [3], [4] การประยุกต์ใช้ IoT ทำให้สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมแบบ real-time และควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ เช่น ระบบสร้างความชื้น พัฒลมระบายอากาศ หรือระบบแสงสว่าง [4]

Al-Talib et al. [3] พัฒนาชุดเพาะเห็ดอัจฉริยะที่เน้นความกะทัดรัด ใช้งานง่าย และเหมาะสำหรับผู้เพาะเห็ดรายย่อย โดยมีการใช้ IoT เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในสภาพแวดล้อมของการเพาะเห็ดอย่างต่อเนื่อง และสามารถควบคุมอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อปรับสภาพแวดล้อมได้อัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในด้านการตรวจสอบข้อมูลการเจริญเติบโตของเห็ดโดยตรง เช่น การตรวจมวลก้อนเชื้อเห็ดหรือการเก็บบันทึกข้อมูลภาพเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโต งานวิจัยนี้จึงพัฒนาต่อยอด โดยเพิ่มการตรวจวัดมวลก้อนเชื้อและการเก็บบันทึกภาพถ่าย รวมถึงการเชื่อมต่อกับ Home Assistant เพื่อการควบคุมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น

จากความสำเร็จข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในการเพาะปลูกเห็ดมิลค์กี้ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาระบบที่ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และระบบควบคุมและสื่อสารผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อใช้ในการควบคุมและติดตามสภาพแวดล้อมการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลบนแดชบอร์ดและจัดเก็บข้อมูลไว้เพื่อการวิเคราะห์ในอนาคต หลังจากได้ระบบที่พัฒนาขึ้นแล้ว นำมาทดสอบโดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการเพาะปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นกับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิมในกล่องโฟม เพื่อแสดงผลการเปรียบเทียบและหาข้อสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะต่อไป

### 2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำหรับการเพาะปลูกเห็ดมิลค์กี้

จากการศึกษาปัจจัยด้านการเพาะปลูกเห็ดมิลค์กี้ พบว่า ในแต่ละช่วงของการเพาะปลูกดังรูปที่ 1 เห็ดมิลค์กี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ในช่วงระยะเส้นใยเจริญ (spawn run) การรักษาอุณหภูมิที่ 25–30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 80–85% เป็นเวลา 15–20 วัน โดยอยู่ในสภาวะที่แสงน้อย (<800 lux) จะช่วยให้เส้นใยเจริญได้ดี

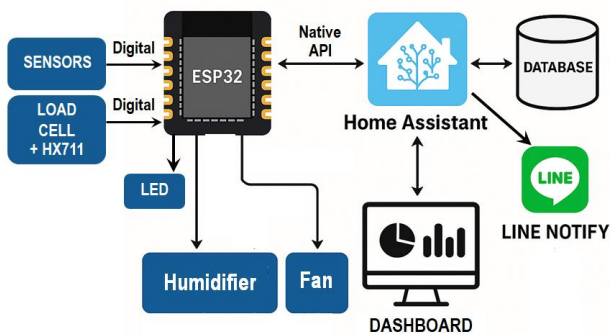
[5] การควบคุมปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นหัวใจสำคัญของการเพาะปลูกในแต่ละช่วงให้มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ช่วงการเพาะปลูกเห็ดมิลค์

### 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

ระบบควบคุมการเพาะปลูกเห็ดมิลค์ถูกออกแบบบนสถาปัตยกรรมแบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยภาพรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพสถาปัตยกรรมของระบบ

จากรูปที่ 2 ระบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ระบบควบคุมและสื่อสาร และการจัดเก็บและบันทึกข้อมูล

#### 3.1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์

การพัฒนาฮาร์ดแวร์เป็นขั้นตอนสำคัญของระบบ เนื่องจากทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างการตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการควบคุมอุปกรณ์ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกคัดเลือกโดยคำนึงถึงความแม่นยำ เสถียรภาพ และรองรับการสื่อสารกับแพลตฟอร์ม IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีดังนี้

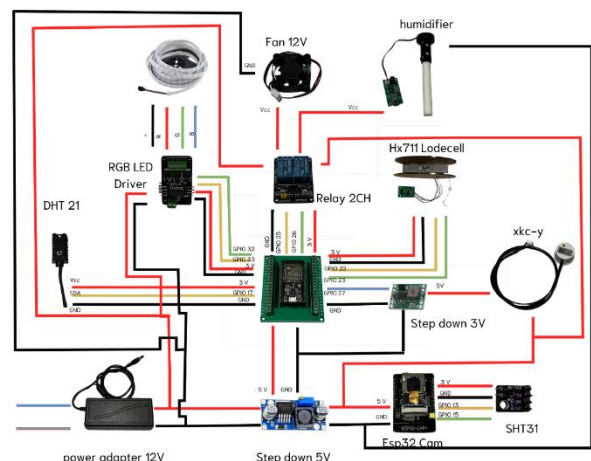
- **บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32** ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง เชื่อมต่อกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมผ่านพอร์ตดิจิทัลและอนาล็อก
- **เซนเซอร์** ประกอบด้วย (1) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT31 ในการรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องเพาะปลูกเห็ดมิลค์ (2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT21 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโดยรอบกล่อง (3) โหลดเซลล์และบอร์ด HX711 สำหรับตรวจวัดมวลก่อนเชื้อเห็ด (4) กล้อง ESP32-CAM สำหรับถ่ายภาพเห็ด และ (5) เซนเซอร์ตรวจจับระดับน้ำแบบไม่สัมผัส XKC-Y25-NPN สำหรับตรวจสอบปริมาณน้ำในถัง
- **อุปกรณ์ควบคุม** ประกอบด้วย (1) พัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิ (2) เครื่องพ่นหมอกเพื่อเพิ่มความชื้น และ (3)

RGB LED Driver เพื่อควบคุมแสงของ LED ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด

- **อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์** ประกอบด้วย (1) Power Adapter 12V เป็นแหล่งจ่ายไฟหลักของระบบทั้งหมด ที่แปลงไฟฟ้า 220V AC (ไฟบ้าน) เป็น 12V DC (2) Stepdown 5V เพื่อลดแรงดันไฟฟาลงจาก 12V DC เป็น 5V DC และ (3) รีเลย์ 2-Channel ควบคุมการเปิด-ปิดของพัดลมและเครื่องพ่นหมอกเพื่อปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม สำหรับการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบแสดงดังรูปที่ 3
- **กล่องเพาะปลูก** ทำจากกล่องพลาสติกทึบแบบมีฝาปิดด้านข้าง ขนาดภายในกว้าง 41 x ยาว 44 x สูง 40.5 เซนติเมตร สำหรับเพาะปลูกเห็ด 1 ห่อ ดังรูปที่ 4 ภายในมีการติดตั้งเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าที่วัดได้แม่นยำ

#### 3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ควบคุมสภาพแวดล้อมถูกพัฒนามบนแพลตฟอร์ม ESPHome [6] เพื่อประยุกต์ใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยมีหน้าที่หลักในการตรวจวัดและควบคุมปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเห็ดมิลค์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็นเงื่อนไขตามค่าที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์



รูปที่ 3 แผนผังวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 4 กล่องเพาะปลูก

เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 °C ระบบจะสั่งงานให้พัดลมระบายอากาศทำงานเพื่อปรับลดอุณหภูมิ ในขณะที่หากอุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C จะสั่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้โดยอัตโนมัติ สำหรับความชื้น ระบบจะสั่งเปิดเครื่องสร้างความชื้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 80% และสั่งปิดเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 85% ดังรูปที่ 5

ในส่วนของการจัดการน้ำที่ใช้กับเครื่องพ่นหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นซอฟต์แวร์ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระดับน้ำในถังเก็บ โดยหากตรวจพบว่าระดับน้ำต่ำ ระบบจะส่งการแจ้งเตือนทันทีเพื่อให้ผู้ใช้เติมน้ำ และเมื่อมีการเติมน้ำจนถึงระดับที่เหมาะสม จะส่งข้อความยืนยันว่าระบบได้รับการเติมน้ำแล้ว ฟังก์ชันนี้ช่วยให้การจัดการน้ำมีความแม่นยำและลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำ

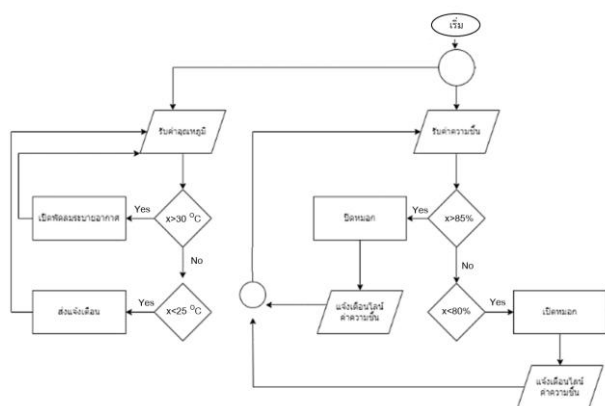
นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของเห็ด โดยใช้การถ่ายภาพและการชั่งน้ำหนัก เมื่อผู้ใช้กดปุ่มสั่งถ่ายภาพ ระบบจะเปิดไฟเพาะปลูก เปิดกล้องเพื่อจับภาพ และอ่านค่าน้ำหนักของก้อนเห็ด จากนั้นส่งข้อมูลภาพถ่ายและมวลของเห็ดไปยังผู้ใช้ผ่าน Line Notify [3]

ซอฟต์แวร์ยังถูกออกแบบให้ทำงานตามตารางเวลาที่กำหนด เพื่อควบคุมแสงที่ใช้การเพาะปลูก โดยในเวลา 00:00 น. ระบบจะเปิดไฟเพาะปลูกอัตโนมัติ เวลา 05:55 น. ระบบจะสั่งงานให้ถ่ายภาพและชั่งน้ำหนักพร้อมส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ และในเวลา 06:00 น. ระบบจะสั่งปิดไฟเพาะปลูก กลไกการทำงานทั้งหมดนี้ถูกดำเนินการภายในสคริปต์หลักของ ESPHome ทำให้ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแบบเรียลไทม์ ลดภาระการตรวจสอบจากผู้ใช้ และช่วยเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับการเพาะเห็ดที่มีประสิทธิภาพ

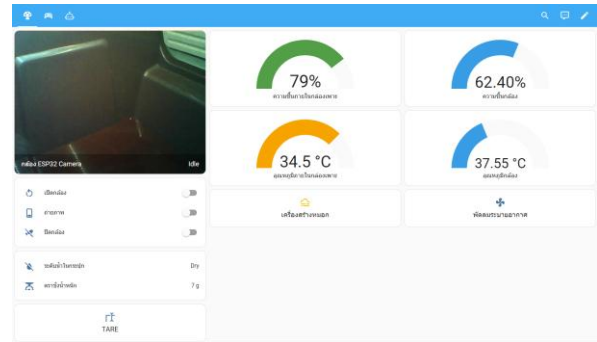
### 3.3 การออกแบบระบบควบคุมและสื่อสารเพื่อใช้ในการแสดงผลและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ Home Assistant OS เวอร์ชัน 13.0 เป็นแพลตฟอร์มหลักในการควบคุมและสื่อสาร [7]

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับสัญญาณจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมผ่านการเชื่อมต่อแบบดิจิทัลและอนาล็อก ก่อนส่งข้อมูลไปยัง Home Assistant ผ่านโปรโตคอล Native API เพื่อแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์แบบเรียลไทม์ ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลของ Home Assistant และสามารถตั้งค่าแจ้งเตือนผ่าน Line Notify เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่สำคัญ



รูปที่ 5 Flowchart ของซอฟต์แวร์ในการตรวจจับอุณหภูมิ



รูปที่ 6 การแสดงผลข้อมูลบนแดชบอร์ด

สำหรับการแสดงผล ข้อมูลจากเซนเซอร์จะแสดงบนแดชบอร์ด ดังรูปที่ 6 พร้อมทั้งสามารถแสดงภาพจากกล้องเพื่อติดตามการเจริญเติบโต การออกแบบดังกล่าวช่วยให้การควบคุมและติดตามสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกทำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 3.4 การจัดเก็บและบันทึกข้อมูล

ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยัง Home Assistant เพื่อบันทึกและจัดเก็บในฐานข้อมูล ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลย้อนหลัง วิเคราะห์แนวโน้ม และปรับปรุงกระบวนการเพาะปลูกได้ แสดงดังรูปที่ 7

## 4. การทดลอง

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นในการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดหลินจือ และเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการเพาะปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นกับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิมในกล่องโฟม มีขั้นตอนดังนี้

### 4.1 การเตรียมวัสดุ

- เลือกก้อนเชื้อเห็ดหลินจือที่มีขนาดใกล้เคียงกันจากแหล่งผลิตเดียวกัน จำนวน 2 ก้อน
- นำข้าวฟ่างบนผิวก้อนเชื้อออก แล้วกลบหน้าด้วยวัสดุเพาะ (ดินร่วน ขุยมะพร้าว ปุ๋ยคอก และถ่านกลบ อัตราส่วน 1:1:1:1) ปริมาณ 200 กรัมต่อก้อน



รูปที่ 7 การแสดงผลข้อมูลย้อนหลังบนแดชบอร์ด



## 4.2 การจัดการทดลอง

- ก่อนที่ 1: เพาะในระบบที่พัฒนาขึ้นที่ควบคุมอุณหภูมิ (25–33 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ (80–85 %) และรอบการให้แสงสว่างอัตโนมัติ
- ก่อนที่ 2: เพาะในกล่องโฟมแบบดั้งเดิม ภายใต้การควบคุมด้วยมือ

## 4.3 การเก็บข้อมูล

- บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ มวลที่วัดได้โดยเซ็นเซอร์ และภาพถ่ายการเจริญเติบโตผ่านกล้อง ESP32-CAM โดยอัตโนมัติ
- บันทึกค่ามวลก่อนเห็ดในกล่องโฟมทุกวัน

## 5. ผลการทดลอง

### 5.1 การเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพ

จากการสังเกตภาพถ่าย ดังรูปที่ 8 และ 9 พบว่าก้อนเชื้อที่อยู่ในระบบที่พัฒนาขึ้น มีการเจริญเติบโตของเส้นใยที่หนาแน่นกว่า และสภาพผิวหน้าก้อนมีความชื้นสม่ำเสมอกว่าการเพาะในกล่องโฟม นอกจากนี้ยังพบว่า การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิอัตโนมัติช่วยลดการแหว่งของสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูก ส่งผลให้เส้นใยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

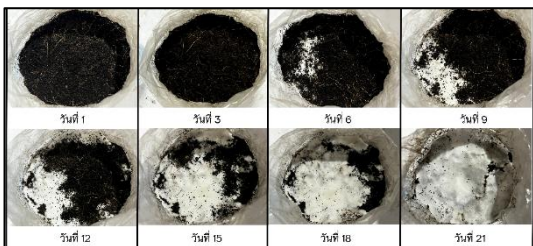
จากการเปรียบเทียบมวลของเห็ด พบว่า ก้อนเชื้อที่เพาะด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น มีการเพิ่มมวลจาก 326 กรัม ในวันแรก เป็น 386 กรัม ในวันที่ 21 (เพิ่มขึ้น 60 กรัม) ส่วนก้อนเชื้อที่เพาะแบบดั้งเดิมในกล่องโฟมมีการเพิ่มมวลจาก 342 กรัม เป็น 378 กรัม ในช่วงเวลาเดียวกัน (เพิ่มขึ้น 36 กรัม) แม้ก้อนเชื้อที่เพาะในกล่องโฟมจะเริ่มต้นด้วยน้ำหนักมากกว่า แต่ก้อนเชื้อที่อยู่ในระบบที่พัฒนาขึ้น กลับมีอัตราการเพิ่มมวลสูงกว่าอย่างชัดเจน

### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองหลังจากวันที่ 21 ได้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ส่งผลให้อุปกรณ์ทุกชนิดในระบบหยุดทำงาน และการตั้งค่าบางส่วนใน Home Assistant สูญหาย ทำให้ระบบไม่สามารถจดจำอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ



รูปที่ 8 ลักษณะการเติบโตของก้อนเชื้อเห็ดที่ปลูกด้วยระบบ IoT



รูปที่ 9 ลักษณะการเติบโตของก้อนเชื้อเห็ดที่ปลูกแบบดั้งเดิม

ได้อย่างสมบูรณ์ ต้องดำเนินการตั้งค่าใหม่ทั้งหมด ภายหลังจากที่สามารถกู้คืนและตั้งค่าระบบได้เพียง 2 วัน ได้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับซ้ำอีกครั้ง ทำให้ข้อมูลการทดลองบางช่วงสูญหายและการตั้งค่าของระบบถูกรบกวน ส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นต้องหยุดการทดลองลงก่อนกำหนด

## 6. สรุป

การวิเคราะห์เชิงปริมาณชี้ให้เห็นว่าก้อนเชื้อในระบบที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการเพิ่มมวลสูงกว่า (18.4%) เมื่อเทียบกับการเพาะแบบดั้งเดิมในกล่องโฟม (10.5%) ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของระบบในการควบคุมความชื้น อุณหภูมิ และแสงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังช่วยลดความผันผวนที่มักเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมการเพาะแบบเปิด ส่งผลให้เห็ดมีการพัฒนาอย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ผลการทดลองยังบ่งชี้ถึงข้อได้เปรียบด้านการจัดการ เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถบันทึกและแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้เพาะปลูกสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ทันที รวมทั้งมีการแจ้งเตือนเมื่อค่าต่าง ๆ อยู่นอกช่วงที่เหมาะสม จึงช่วยลดภาระงานและความผิดพลาดที่เกิดจากการควบคุมด้วยมือ อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้มีการนำข้อมูลมวลและภาพถ่ายไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการเพาะในระยะยาว ซึ่งข้อหลังนี้เป็นสิ่งที่แตกต่างจากงานวิจัยของ Al-Talib et al. [3] อย่างมาก

อย่างไรก็ตาม การทดลองในครั้งนี้เป็นเพียงการทดสอบระบบต้นแบบในกล่องเพาะปลูกขนาดเล็ก เพื่อยืนยันหลักการการทำงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมเท่านั้น ในการประยุกต์ใช้จริง การเพาะเห็ดส่วนใหญ่นิยมทำในโรงเรือนเพาะซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่า ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรขยายผลไปสู่การติดตั้งและทดสอบระบบในระดับโรงเรือน เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบภายใต้สภาพการใช้งานจริง

สำหรับระยะถัดไป ควรขยายการทดลองสู่ระดับโรงเรือนโดยเพิ่มจำนวนก้อนเชื้อและดำเนินการเพาะปลูกหลายรอบ เพื่อประเมินความเสถียรและประสิทธิภาพของระบบอย่างเป็นระบบและมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ควรพิจารณาตัวแปรสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เช่น ความเข้มของแสง ตลอดจนบูรณาการเทคนิค Machine Learning เพื่อให้ระบบเรียนรู้จากข้อมูลจริงและปรับสภาพแวดล้อมอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยยกระดับการประยุกต์ใช้สู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของระบบที่มีความอ่อนไหวต่อเหตุการณ์ไฟฟ้าดับซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญหายของข้อมูลและการตั้งค่าระบบ ควรมีการติดตั้งระบบสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply: UPS) และกำหนดมาตรการสำรองข้อมูล (Backup/Snapshot) ของ Home Assistant อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการใช้หน่วยความจำถาวรคุณภาพสูงและการวางแผนขั้นตอนกู้คืนระบบ (Recovery Procedure) เพื่อป้องกันความเสียหายและเพิ่มความต่อเนื่องของการทดลองในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณชัชวาลพงศ์ วาณิชย์เจริญ ตำแหน่ง Support Technician (Computer Science, Robotics and Film), Shrewsbury International School ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการสนับสนุนการสร้างระบบ รวมถึงการช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Ghosh and K. Acharya, "Milky mushroom: A healthy nutritious diet," *Food Res. Int.*, vol. 156, p. 111113, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111113>.
- [2] K. Bokaria, S. K. Balsundram, I. Bhattarai, and K. Kaphle, "Commercial production of Milky Mushroom (*Calocybe indica*)," *Merit Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–37.
- [3] A. A. M. Al-Talib, C. K. J. Ting, N. I. M. Tahir, A. A. B. Mustafa, and T. Y. Hui, "IoT Based Smart Mushroom Growing Kit," in *the 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2024)*, Oita, Japan, Feb. 2024, pp. 789–794. [Online]. Available: <https://alife-robotics.co.jp/members2024/icarob/data/html/data/OS/O525-7.pdf>
- [4] S. Mansoor, S. Iqbal, S. M. Popescu, S. L. Kim, Y. S. Chung, and J.-H. Baek, "Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives," *Front. Plant Sci.*, vol. Volume 16-2025, 2025, doi: 10.3389/fpls.2025.1587869.
- [5] K. A. Subbiah and V. Balan, "A Comprehensive Review of Tropical Milky White Mushroom (*Calocybe indica* P&C).," *Mycobiology*, vol. 43, no. 3, pp. 184–194, Sep. 2015, doi: 10.5941/MYCO.2015.43.3.184.
- [6] ESPHome, "Getting Started with ESPHome and Home Assistant." ESPHome Documentation. Accessed: Aug. 22, 2024. [Online]. Available: [https://esphome.io/guides/getting\\_started\\_hassio/](https://esphome.io/guides/getting_started_hassio/)
- [7] Home Assistant, "Documentation." Home Assistant. Accessed: Aug. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io/docs>