

การพัฒนากระบวนการควบคุมปัจจัยในกระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น
ในโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง
THE DEVELOPMENT OF FACTOR CONTROL OF PRODUCTION
PROCESS FOR COOL GROUP OF MUSHROOMS IN SMART
FARM USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

ศิวัตม์ กมลคุณานนท์^{1*}, นัฐพงศ์ ส่งเนียม², ดุชนี ศุภวรรธนะกุล¹ และธนภูมิ ศิริงาม²
Siwat Kamonkunanon^{1*}, Nattapong Songneam², Dusanee Supawantanakul¹
and Thanapoom Siringam²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมปัจจัยในกระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น โดยใช้เห็ดนางฟ้าภูฐานในการทดลองในโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ซึ่งทำการทดลองที่ตำบลบ้านเกาะ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี โดยโรงเรือนอัจฉริยะ มีการกำหนดขนาดความกว้าง 3.6 m ความยาว 6.0 m สูง 2.40 m ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ด กลุ่มเย็นตามความยาวของโรงเรือนแยกเป็น 2 ฝั่ง แบ่งเป็นฝั่งด้านขวา (โซน A) และ ฝั่งด้านซ้าย (โซน B) ของโรงเรือน ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิต A ในโซน A และอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิต B ในโซน B ตามลำดับ และติดตั้งระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ประกอบไปด้วย 1) พัฒนาระบายความร้อน 2) หลอดไฟ 3) พัฒนาระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) เครื่องเพิ่มความชื้น ผลการศึกษาพบว่า โรงเรือนอัจฉริยะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญ ได้ทั้ง 4 ปัจจัย คือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 70-90% 2) อุณหภูมิระหว่าง 28-32°C 3) ปริมาณ CO₂

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

¹Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkhen District, Bangkok 10220

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

²Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkhen District, Bangkok 10220

*corresponding author e-mail: siwat.gsiw@pnru.ac.th

Received: 29 August 2022; Revised: 8 October 2022; Accepted: 1 November 2022

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2023.1>

ไม่เกิน 1,500 ppm 4) แสง ไม่เกิน 100 lux โดยสามารถควบคุมระบบผ่านแอปพลิเคชันหรือผ่านกล่องควบคุม ผลการเปรียบเทียบการวัดค่าปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยในโซน A และโซน B พบว่า ค่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ค่าที่วัดได้ ในโซน A และโซน B มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) แสดงว่า แม้ว่าจะระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งจะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ แต่ค่าปัจจัยการผลิตจะไม่เท่ากัน ทั้งโรงเรือน ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการติดตั้งระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง เพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ทั้งหมด นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนอัจฉริยะเทียบกับผลผลิตเห็ดที่ได้จากโรงเรือนแบบดั้งเดิม พบว่าผลผลิตเห็ดจากโรงเรือนอัจฉริยะได้ผลผลิตเห็ดสูงกว่าร้อยละ 22

คำสำคัญ: การผลิตเห็ด ปัจจัยในการผลิตเห็ด เห็ดกลุ่มเห็ย เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The objective of this research was to study the efficiency of IoTs using in the production process for a cool group of mushrooms, Bhutan oyster mushrooms in a smart farm, size 3.6 m x 6.0 m x 2.40 m in Bangkok Sub-districts, Muang Uttaradit District, Uttaradit Province. The sensors, A & B were installed in zone A & B divided along the length of the farm and installed hardware of IoTs 1) cooling fans, 2) light bulbs, 3) carbon dioxide exhaust fans and 4) humidifier. The result revealed that the IoTs was able to control all four key factors by application or control-box which were 1) relative humidity 70-90%, 2) temperature of 28-32°C, 3) carbon dioxide concentration under 1,500 ppm, and 4) light intensity under 100 lux. Furthermore, it shows that although the IoTs can control the four key factors, but the values of the factors will not be the same for the whole house. Therefore, it is necessary to plan the installation of IoTs on the farm to control all factors. Furthermore, when comparing the mushroom product from the smart farm and the traditional farm, it was found that the volume of mushroom products from the smart farm was greater than that of the traditional farm by 22%.

Keywords: Mushroom production, Factors of mushroom production, Cool mushroom, Internet of Things Technology

บทนำ

เห็ดเป็นสินค้าทางการเกษตรชนิดหนึ่งของไทยที่มีมูลค่าสูง การผลิตเห็ดของเกษตรกรไทย ส่วนใหญ่ร้อยละ 71.6 เป็นของเกษตรกรรายย่อย ที่เหลือเป็นของเกษตรกรระดับกลางและเกษตรกรรายใหญ่ โดยมีกำลังการผลิตรวม 150,000 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจทั้งระบบกว่า 9,000 ล้านบาท (National Science and Technology Development Agency, 2021) การผลิตเห็ดมากกว่าร้อยละ 97 เป็นการบริโภคในประเทศและส่งออกเพียงร้อยละ 3 (Panutat, 2018) การผลิตเห็ดในประเทศไทยได้รับความนิยมสูงเนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด กรรมวิธีการผลิตก็สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ระยะเวลา การผลิตสั้น (Sangpakoenkij, 2013) สำหรับเห็ดที่นิยมผลิตมากที่สุดในประเทศไทย 5 อันดับคือ เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู (Satun College of Agriculture and Technology, 2014)

การผลิตเห็ดให้ได้คุณภาพผู้ผลิตต้องมีความรู้ความสามารถในการจำแนกคุณลักษณะของเห็ดได้อย่างชัดเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จำแนกเห็ดจากอุณหภูมิในการผลิต ซึ่งสามารถจำแนกเห็ด เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เห็ดกลุ่มร้อนและเห็ดกลุ่มเย็น เห็ดกลุ่มร้อนจะใช้อุณหภูมิในการผลิตประมาณ 37-40°C ได้แก่ เห็ดขอนขาว เห็ดบด ซึ่งในการผลิตจึงต้องมีการใช้พลาสติกคลุมเพื่อให้อุณหภูมิในโรงเรือนสูง ส่วนเห็ดกลุ่มเย็นจะใช้อุณหภูมิในการผลิตประมาณ -32°C ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดโคนญี่ปุ่น โรงเรือนจึงต้องมุงวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิลง (Singjaroen & Sakaew, 2016)

เห็ดกลุ่มเย็นเป็นเห็ดที่นิยมบริโภคในประเทศไทย แต่เกษตรกรยังประสบปัญหาในการควบคุมปัจจัยการผลิตกล่าวคือ ไม่สามารถผลิตเห็ดในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิเกิน 35°C ได้หรือในช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศแห้งมากความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% ซึ่งไม่เพียงพอต่อเห็ด ทำให้ผลผลิตเห็ดขาดความสมบูรณ์ เช่น ลักษณะดอกแห้ง ขอบดอกห่อตัว ราคาขายผลผลิตก็ต่ำตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงต้องการแก้ปัญหากระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น โดยการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมปัจจัยการผลิต ตั้งแต่การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแสงในโรงเรือนผลิตเห็ด โดยระบบ IoTs ซึ่งจะประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และแอปพลิเคชันในระบบการควบคุมปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ดังนั้นการควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง (Chieochan et al., 2017) ในการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด สามารถใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดและส่งข้อมูลไปยัง IoTs แพลตฟอร์ม ใช้ติดตามและตรวจสอบปัจจัยการผลิตของโรงเรือนได้ (Subedi et al., 2019) ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและทดลองเพื่อปรับใช้เทคโนโลยี IoTs ในการผลิตเห็ดให้ได้โรงเรือนอัจฉริยะ

ที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด และสามารถผลิตเห็ดได้ตลอดทั้งปี โดยการควบคุมปัจจัยที่สำคัญในโรงเรือนผลิตเห็ดกลุ่มเย็น (เห็ดนางฟ้าภูฐาน) ทั้ง 4 ปัจจัยคือ ความชื้น อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง ซึ่งควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoTs โดยการทดลองในครั้งนี้จะแตกต่างจากงานที่ได้พบพานมา คือ 1) ทดลองในโรงเรือนขนาดจริง 2) เพิ่มความชื้นในโรงเรือนด้วยเครื่องเพิ่มความชื้น และ 3) มีการบันทึกข้อมูลครบรอบระยะเวลาการผลิต 1 ฤดูกาล ซึ่งจะทำให้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเห็ด

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าภูฐานในโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่ได้ศึกษาและคัดสรร ซึ่งนำมาสู่ขั้นตอนการออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบควบคุมปัจจัยในการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น เพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยการผลิต ในโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ดังแสดงขั้นตอนการวิจัยในภาพที่ 1 (Figure 1)

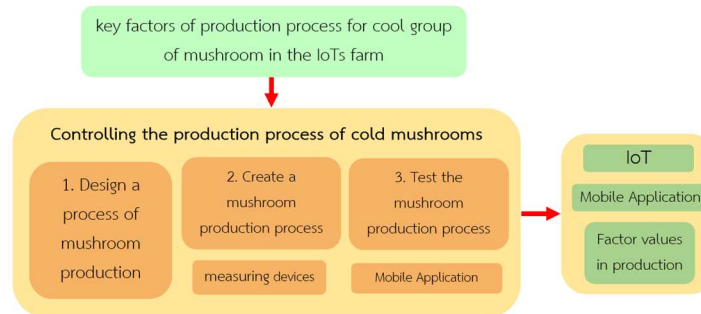


Figure 1 Research experimental methods

จากภาพที่ 1 (Figure 1) แบ่งการควบคุมกระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) การออกแบบควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด 2) การสร้างระบบควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดและ 3) การทดสอบระบบควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด โดยมีผลลัพธ์ 3 ส่วนคือ 1) ระบบ IoTs 2) แอปพลิเคชัน และ 3) ค่าปัจจัยในการผลิต

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะ ที่ใช้ผลิตเห็ดกลุ่มเย็น โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่ต้องควบคุมในการผลิตเห็ด (Kamonkunanon et al., 2022) ประกอบไปด้วย 1) ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70-90% (Subedi et al., 2019) 2) อุณหภูมิ 28-32°C (Yungkerd & Sangdee, 2015) 3) ปริมาณ CO₂ ไม่เกิน 1,500 ppm (Jeznabadi et al., 2016) (Kanjanaakrajang & Chouwbumroong, 2017)

และ 4) แสง ไม่เกิน 100 lux (Prikupets, 2022) ออกแบบและจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดที่ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดของโรงเรือนให้มีความกว้าง 3.6 m ความยาว 6.0 m สูง 2.40 m โดยติดตั้งเครื่องเพิ่มความชื้นจำนวน 1 ชุด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำ ความชื้น 7 นาที่ต่อความชื้น 1% ที่เพิ่มขึ้น ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ชุด ที่ผนังของโรงเรือนที่ความสูง จากพื้นโรงเรือน 2.0 m ติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อระบาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากโรงเรือนขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ชุดที่ความสูงจากพื้นโรงเรือน 30 cm ติดตั้งไฟส่องสว่าง ซึ่งเป็น LED จำนวน 2 ชุด ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดรุ่น CTH-5000 เพื่อตรวจวัด ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดรุ่น LD-JX-655 เพื่อตรวจวัดค่าความเข้มแสง ดังแสดงในภาพที่ 2 (Figure 2)

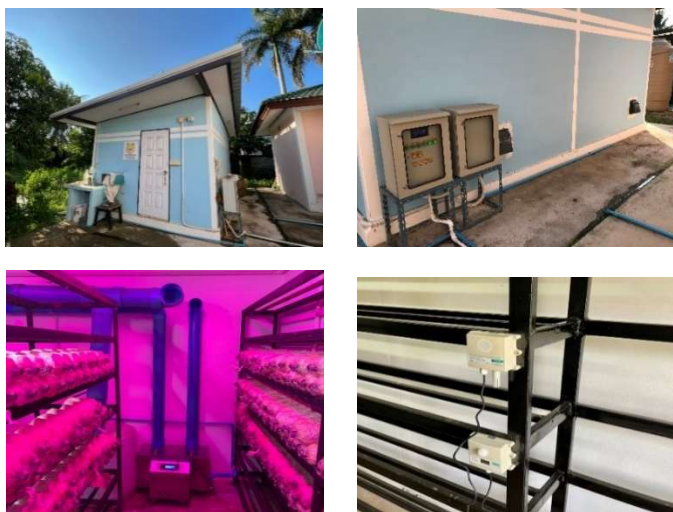


Figure 2 Inside and outside of the farm

ผู้วิจัยได้สร้างกระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นในโรงเรือนอัจฉริยะโดยติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ด โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดรุ่น CTH-5000 ตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 %RH ($\pm 0.1\%RH$) ตรวจวัดอุณหภูมิ -40-80°C ($\pm 0.1^{\circ}C$) ตรวจวัด CO₂ 0-5,000 ppm ($\pm 3\%$ F.S) และใช้อุปกรณ์ตรวจวัดรุ่น LD-JX-655 Modbus RS485 ในการตรวจวัดความเข้มแสง 0-200,000 lux ($\pm 5\%$ 25°C) โดยแบ่งตามความยาวของโรงเรือนเป็น 2 ฝั่งคือ แบ่งเป็นฝั่งด้านขวา (โซน A) และฝั่ง ด้านซ้าย (โซน B) ของโรงเรือน และทำการติดอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ด เพื่อตรวจวัด ค่าต่าง ๆ ของปัจจัยการผลิตเห็ดจำนวน 2 จุด โดยอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ด A ซึ่งตรวจวัดค่า ในโซน A และ อุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ด B ซึ่งตรวจวัดค่าในโซน B ดังแสดงในภาพที่ 3 (Figure 3)

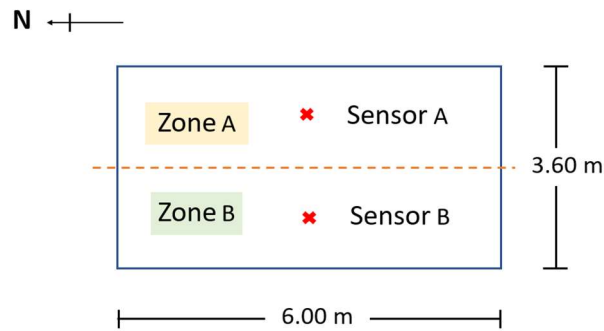


Figure 3 Sensor marks (A and B) in farm

ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและติดตั้งระบบ IoTs

ผู้วิจัยได้ติดตั้งระบบ IoTs ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าภูฐาน เพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดประกอบไปด้วย 1) พัฒนาระบายอากาศขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ชุด เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยติดตั้งที่ความสูงจากพื้น 2.0 m เนื่องจากอากาศร้อนเบากว่าอากาศเย็น อากาศร้อนจึงลอยตัวขึ้นสูง เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิเกิน 30°C พัฒนาระบายอากาศจะทำงานดึงความร้อนออกจากโรงเรือนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม 2) หลอด LED จำนวน 2 ชุด เพื่อให้แสงสว่างแก่เห็ด โดยติดตั้งหลอดไฟจำนวน 2 ชุด เพื่อให้แสงสว่างแก่เห็ดทั้ง 2 ด้านของโรงเรือน 3) พัฒนาระบายอากาศ ขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ชุด เพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากโรงเรือน โดยติดตั้งพัฒนาระบายอากาศที่ความสูงจากพื้น 30 cm เนื่องจาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/m³ ซึ่งหนาแน่นกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า จึงลอยต่ำบริเวณพื้นโรงเรือน เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,500 ppm พัฒนาระบายอากาศจะทำงานดึงก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากโรงเรือน และ 4) เครื่องเพิ่มความชื้นขนาด 13 ลิตร จำนวน 1 เครื่อง อัตราเร็วในการเพิ่มความชื้นได้ 7 นาที ต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้น 1% เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 80% เครื่องเพิ่มความชื้นจะทำงานพ่นละอองน้ำขนาด 0.4 ถึง 1.5 ไมครอน เพื่อเพิ่มความชื้นในโรงเรือน ดังแสดงใน ภาพที่ 4 (Figure 4) และแสดงสถาปัตยกรรมของโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในภาพที่ 5 (Figure 5)

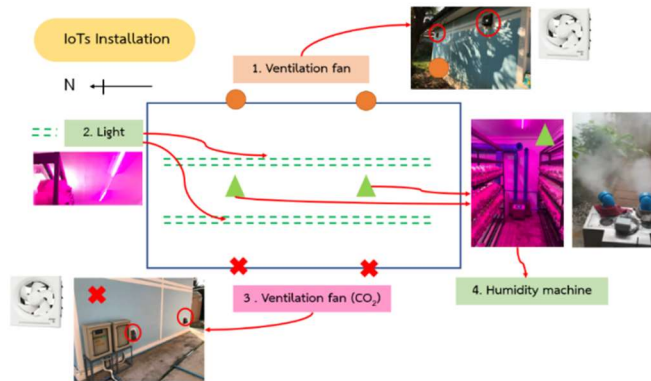


Figure 4 IoTs hardware installation in the smart farm

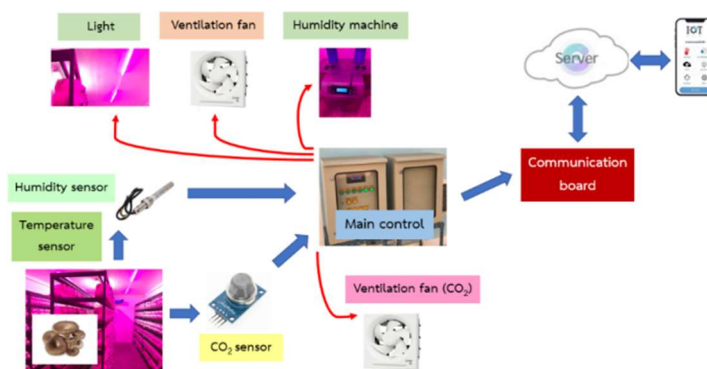


Figure 5 The smart farm architecture with the application of IoTs

ผลการควบคุมปัจจัยการผลิต

จากการศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตเห็ดกลุ่มเห็ในฟาร์มอัจฉริยะ พบปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะจำนวน 4 ปัจจัยคือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70-90 2) อุณหภูมิ 28-32°C 3) ปริมาณ CO₂ ไม่เกิน 1,500 ppm 4) แสง ไม่เกิน 100 lux โดยผลการควบคุมปัจจัย ที่สำคัญทั้ง 4 แสดงผลในภาพที่ 6 (Figure 6)

การควบคุมปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเห็ดนางฟ้าภูฐานพบว่า ระบบสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะได้คือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ในโซน A และ B มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 80.4 และร้อยละ 80.0 (ความชื้นสัมพัทธ์ควบคุมอยู่ที่ร้อยละ 70-90) (Subedi et al., 2019) 2) อุณหภูมิในโซน A และ B อุณหภูมิเฉลี่ย 29.9°C และ 30.2°C (อุณหภูมิควบคุมอยู่ที่ 28-32°C) (Yungkerd & Sangdee, 2015) 3) ปริมาณ CO₂ ในโซน A และ B มีปริมาณ CO₂ เฉลี่ย 439 ppm

และ 932 ppm (ปริมาณ CO₂ ควบคุมไม่เกิน 1,500 ppm) (Kanjankrajang & Chouwbumroong, 2017) (Kamonkunanon et al., 2022) 4) แสงในโซน A และ B มีความเข้มข้นของแสงเฉลี่ย 78 lux และ 63 lux (ความเข้มข้นของแสงควบคุมไม่เกิน 100 lux) (Prikupets, 2022) ดังภาพที่ 6 (Figure 6)

Zone Factors/Control	Level	Outdoor	Controlled outdoor	Indoor A	Controlled indoor A	Indoor B	Controlled indoor B
Humidity (%) (70-90%)	Min-Max.	29.0-83.6		79.2-81.2		79.1-80.7	
	Avg.	59.0		80.4		80.0	

Zone Factors/Control	Level	Outdoor	Controlled outdoor	Indoor A	Controlled indoor A	Indoor B	Controlled indoor B
Temperature (°C) (28-32°C)	Min-Max.	24.4-37.6		29.6-31.1		29.8-31.1	
	Avg.	30.6		29.9		30.2	

Zone Factors/Control	Level	Indoor A	Controlled indoor A	Indoor B	Controlled indoor B
CO ₂ (ppm) <1,500 ppm	Min-Max.	255-940		559-1309	
	Avg.	439		932	

Zone Factors/Control	Level	Indoor A	Controlled indoor A	Indoor B	Controlled indoor B
Light (lux) <100 lux	Min-Max.	68-87		53-67	
	Avg.	78		63	

Figure 6 Dashboard of factor control

ผลการเปรียบเทียบการวัดค่าปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเห็ดทั้ง 4 ปัจจัย โดยวัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัย A และ B ที่ติดตั้งทางด้านซ้ายและขวาของโรงเรือนพบว่า ค่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ค่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Paired samples test: factors of mushroom production

Paired Samples Test									
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference	t	Df	Sig. (2-tailed)	
					Lower	Upper			
Pair 1	HumiA - HumiB	.431	.486	.075	.279	.582	5.745	41	.000
Pair 2	TempA - TempB	-.254	.164	.025	-.305	-.203	-10.061	41	.000
Pair 3	CO2A - CO2B	-492.952	122.404	18.887	-531.096	-454.808	-26.100	41	.000
Pair 4	LightA - LightB	14.785	4.336	.669	13.434	16.137	22.096	41	.000

ผลการผลิตเห็ด

ผลการศึกษาการผลิตเห็ดนางฟ้าภูฐานตั้งแต่เดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2565 ทดลองการผลิตเห็ดในแต่ละโซนจำนวน 500 ก้อน ทำการผลิตเห็ด 1 ฤดูกาล (ในช่วงฤดูร้อน) บันทึกผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซนในทุก ๆ วัน ที่มีการเก็บผลผลิตเห็ด ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ในแต่ละโซนดังแสดงในตารางที่ 2 ดังตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 Mushroom production in each zone

Zone	Zone A	Zone B	Traditional
Number of mushroom (bags)	500	500	500
Number of producing day (days)	108	108	108
Total production (grams)	121,740	119,710	92,800
Avg. production per bag (grams)	243.48	239.42	185.60

จากตารางที่ 2 (Table 2) พบว่าการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะในโซน A และ B มีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อน 243.48 กรัม และ 239.42 กรัม ตามลำดับ และการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิม มีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อน 185.60 กรัม น้อยกว่าผลผลิตในโซน A และ B เท่ากับร้อยละ 23.7 และ 22.5 ตามลำดับ นอกจากนั้นเห็ดที่ผลิตได้จากโรงเรือนอัจฉริยะยังมีคุณลักษณะที่ดี มีความสดใหม่ ไม่แฉะน้ำ แตกต่างจากผลผลิตเห็ดของเกษตรกรที่มีการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิม ดังแสดงในภาพที่ 7 (Figure 7)



Figure 7 Mushroom product in the smart farm and traditional farm

อภิปรายผล

โรงเรียนอัจฉริยะสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ระหว่างร้อยละ 70-90 (Subedi et al., 2019) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัยจะตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรียนอัจฉริยะเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 80 ระบบ IoTs จะสั่งการให้เครื่องเพิ่มความชื้นทำงานเพื่อเพิ่มปริมาณความชื้นในโรงเรียน โดยความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรียนที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัย A และ B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 80.4 และ 80.0 สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าระบบ IoTs สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ที่ระดับที่ร้อยละ 80-90% ทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ส่งผลให้เห็ดนางรมออกดอกดี (Cikarge & Arifin, 2018)

โรงเรียนอัจฉริยะสามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรียนระหว่าง 28-32°C ได้ (Yungkerd & Sangdee, 2015) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัยจะตรวจวัดอุณหภูมิภายในโรงเรียน เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 30°C ระบบ IoTs จะสั่งการให้พัดลมระบายความร้อนจำนวน 2 ชุด ที่ติดตั้งบริเวณผนังของโรงเรียนทำงานเพื่อระบายอากาศร้อนออกจากโรงเรียน โดยอุณหภูมิในโรงเรียนที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัย A และ B เฉลี่ย 30.0°C และ 30.2°C สอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงผลิตเห็ด พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยมีอุณหภูมิภายในโรงเรียนเฉลี่ย 30.40°C (Sakultrasisoay et al., 2017)

โรงเรียนอัจฉริยะสามารถควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกิน 2,000 ppm (Jeznabadi et al, 2016) แต่เนื่องจากที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 1,500 ppm จะทำให้มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน หมดแรง และไม่มีสมาธิ (Kanjanaekrajang & Chouwbunroong, 2017) ผู้วิจัยจึงตั้งค่าควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกิน 1,500 ppm โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรียนอัจฉริยะที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัย A และ B เฉลี่ย 439 ppm และ 932 ppm ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรียนที่แนะนำให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 2,000 ppm (Jeznabadi et al, 2016) (Hunheng, 2016) ส่วนกรณีที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโซน A และ B มีปริมาณเฉลี่ย 439 ppm และ 932 ppm ตามลำดับ ซึ่งในโซน A มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าในโซน B ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 30°C พัดลมระบายความร้อนที่ติดตั้งในโซน A จำนวน 2 ตัว จะทำงานเพื่อระบายความร้อนออกจากโรงเรียน และยังช่วยระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากโรงเรียนอีกด้วย จึงทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโซน A ต่ำกว่าในโซน B

โรงเรียนอัจฉริยะสามารถควบคุมความเข้มแสงไม่เกิน 100 lux สำหรับการเปิดไฟ 24 ชั่วโมง (Prikupets, 2022) โดยความเข้มข้นของแสงในโรงเรียนที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์

ตรวจวัดค่าปัจจัย A และ B เฉลี่ย 78 lux และ 63 lux ตามลำดับ กรณีที่ความเข้มแสงในโซน A สูงกว่าในโซน B เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ในโซน A มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่บริเวณผนังซึ่งสูงจากพื้นโรงเรือน 2.0 m ทำให้มีแสงสว่างจากภายนอกเล็ดลอดเข้ามา ส่งผลให้การวัดค่าความเข้มแสงในโซน A สูงกว่าในโซน B เล็กน้อย

ผลการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะในโซน A และ B มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตสูงกว่าในโรงเรือนแบบดั้งเดิมมากกว่าร้อยละ 22 สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoTs และเซ็นเซอร์ในการควบคุม 3 ปัจจัยคือ 1) อุณหภูมิ 2) ความชื้น และ 3) คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทดลองเพาะเห็ดในช่วง 30 วัน ที่พบว่าได้ผลผลิตมากกว่าแบบดั้งเดิมร้อยละ 19.96 (Raja et al., 2018) ผลผลิตที่มากขึ้นเนื่องจากเกษตรกรไม่สามารถจัดการโรงเรือนให้มีปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด เช่น อุณหภูมิในโรงเรือนแบบดั้งเดิม ในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิ 35-37°C ซึ่งเห็ดจะไม่ออกดอก หรือปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ที่ในโรงเรือนแบบดั้งเดิมมีความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% ซึ่งมีความชื้นไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ดังนั้นโรงเรือนอัจฉริยะที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด จะทำให้สามารถผลิตเห็ดได้ดี และสามารถผลิตเห็ดได้ตลอดทั้งปี ในขณะที่เกษตรกรผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิมได้ 8-9 เดือนต่อปี

สรุปผลการวิจัย

การใช้ระบบ IoTs ในการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะ สามารถควบคุมปัจจัยในการผลิตเห็ดในโรงเรือนทั้ง 4 ปัจจัยการผลิตได้คือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ควบคุมระหว่างร้อยละ 70-90 ระบบ IoTs สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โซน A และ B ได้ เฉลี่ยร้อยละ 80.4 และที่ร้อยละ 80.0 ตามลำดับ อุณหภูมิที่ควบคุมระหว่าง 28-32°C ระบบ IoTs สามารถควบคุมอุณหภูมิโซน A และ B ได้เฉลี่ย 30.0°C และ 30.2°C ตามลำดับ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ควบคุมไม่เกิน 1,500 ppm ระบบ IoTs สามารถควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโซน A และ B ได้เฉลี่ย 439 ppm และ 932 ppm ตามลำดับ และแสงที่ควบคุมไม่เกิน 100 lux ระบบ IoTs สามารถควบคุมความเข้มของแสงในโซน A และ B ได้ เฉลี่ย 78 lux และ 63 lux ตามลำดับ

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาผลการวัดค่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง ผลการเปรียบเทียบการวัดค่าปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่วัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัยในโซน A และ B พบว่า ค่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัยที่วัดได้ในโซน A และ B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) แสดงว่าแม้ว่าระบบ IoTs สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ค่าได้ แต่ค่าปัจจัยทั่วบริเวณโรงเรือนจะแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญ นั้นหมายความว่าในการประยุกต์ใช้ระบบ IoTs ในการผลิตเห็ด จำเป็นต้องวางแผนในการติดตั้งระบบ IoTs เพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้ได้ตรงตามความต้องการในการผลิตเห็ด

ผลผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะมีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อนในโซน A และ B เท่ากับ 243.48 และ 239.42 กรัม ตามลำดับ ส่วนการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมมีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อน 185.60 กรัม น้อยกว่าผลผลิตในโซน A และ B เท่ากับ ร้อยละ 23.7 และ 22.5 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาคุณนิพนธ์และคุณอาจารย์หลักสูตรสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chieochan O, Saokaew A, Boonchieng E. IOTS for smart farm: A case study of the Lingzhi mushroom farm at Maejo University. Paper presented at the 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering 2017;14:1-6.
- Cikarge GP, Arifin F. Oyster mushrooms humidity control based on fuzzy logic by using arduino ATmega238 Microcontroller. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series 2018;1140:1-12.
- Hunhiang N, Kruapoo W, Choeysuppakat A. The study of physical parameters affecting on the temperature inside the cement rounds for Bhutan oyster mushroom cultivation based on the pot-in-pot refrigerator model. The 54th Kasetsart University Annual Conference 2016;54:134-142.
- Jeznabadi EK, Jafarpour M, Eghbalsaiied S. King oyster mushroom production using various sources of agricultural wastes in Iran. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 2016;5(1):17-24.
- Kanjanakrajang A, Chuaybamroong P. Measurements of carbon dioxide to determine the ventilation effectiveness in the classroom. Journal of Science and Technology 2017;25:960-974.
- Komonkunanon S, Songneam S, Supawantanakul D, Siringam T. A study of factor of production for cool group of mushrooms in smart farm using internet of things technology. Paper presented at the 2022 8th National Conference of Loei Rajabhat University 2022;8:586-594.
- National Science and Technology Development Agency. Collection of information on production and marketing of economic mushrooms and edible wild mushrooms in Thailand. 2021. Available at: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf>. Accessed February 15, 2022.
- Panutad C. Mushroom situation in Thailand. Available at: www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2018/02/pdf. Accessed February 15, 2022.

- Prikupets L B. Technological lighting for agro-industrial installations in Russia. *Light & Engineering* 2018;26(1):7-17.
- Raja S P, Rozario A R, Nagarani S, Kavitha N. Intelligent mushroom monitoring system. *International Journal of Engineering & Technology* 2018;7(233):1238-1242.
- Sakunrasrisouy C, Vatakit T, Wongpracha L, Somtep S. Efficiency comparison of temperature and humidity control system suitable for the growth of mushroom house: Case study in Ban Noen Sa-at, Nakorn Phanom province. *Journal of Information Science and Technology* 2018;8(2):46-55.
- Sangprakornkit T. Oyster mushroom. Bangkok: SE-Education Public Co., Ltd; 2013.
- Satun College of Agriculture and Technology. Mushrooms and the importance of mushroom production. 2014. Available at: <http://www.satunatc.ac.th/lmscourse/view.php?id=3>. Accessed December 8, 2021.
- Singjaroen B, Sakaew S. Temperature and humidity control system in mushroom greenhouse. The 1st Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National conference (The 1st RUSNC), 2016;1:176-183.
- Subedi A, Luitel A, Baskota M, Acharya TD. IoTs based monitoring system for white button mushroom farming. Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings 2019:46-54.
- Yungkerd N, Sangdee P. Mushroom production for business. Bangkok: MIS Publishing Co., Ltd; 2015.