การพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่น สายพันธุ์ออเร้นจ์แมน บนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง

Development of smart control system for cultivation of orange man Japanese melon in greenhouses via IoT platform

ลัญฉกร นิลทรัตน์[1], สมศักดิ์ อรรคทิมากูล[1] และ ศรัณย์ ณรงค์กูล[2*]

Lanchakorn Nintarat[1], Somsak Akatimagool[1] and Sarun Narongkul[2*]

Received: 9 June 2023 ; **Revised**: 11 September 2023 ; **Accepted**: 6 October 2023

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมน บนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (internet of things) สถานที่วิจัย ณ ออร์แกนิค คอมพลีทฟาร์ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบควบคุมอัจฉริยะและควบคุมสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของต้นกล้า และเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานโรคพืชก่อนนำต้นกล้าลงปลูกในโรงเรือน การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าสามารถรองรับการเพาะเลี้ยงได้สูงสุด 360 ต้น เพื่อให้ได้ต้นอ่อนเมล่อนที่สมบูรณ์สำหรับนำไปปลูกต่อในโรงเรือนระบบปิด ขนาด 600×1800×300 ซม. โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 5 ส่วนได้แก่ 1) การออกแบบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า 2) การออกแบบวงจรควบคุม 3) การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ 4) การออกแบบผังงาน และ 5) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วยแพลตฟอร์มบริงไอโอที (Blynk IoT platform) เวอร์ชัน (version) 2.0 เพื่อแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน (web application) และบนโมบายแอปพลิเคชัน (mobile application) ผลการทดสอบพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลและควบคุมการทำงานได้อย่างแม่นยำ ระบบควบคุมอัตโนมัติทำงานถูกต้องตามเงื่อนไข นอกจากนี้พบว่าระบบสามารถเพิ่มอัตราการงอกและประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของต้นกล้า เมล่อนญี่ปุ่นได้สูงขึ้น มีอัตราการงอกสมบูรณ์ร้อยละ 93.33 เมื่อเทียบกับการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิม ด้านความสูงพบว่าต้นกล้าที่ปลูกผ่านระบบมีความสูงเฉลี่ย 6.5 ซม. เมื่อเทียบกับการปลูกแบบดั้งเดิมมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นร้อยละ 54.76 ซึ่งเห็นได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการงอกและลดความเสียหายของต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบควบคุมอัจฉริยะ, โรงเรือนอนุบาลต้นกล้า, อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง, เมล่อนญี่ปุ่น

Abstract

We present a smart control system for cultivation of orange man Japanese melon in greenhouses via IoT platform. The study was performed at an organic complete farm. The objective of this research was to create a smart control system and control the environment inside a greenhouse to provide optimal conditions for seedling growth. The designed structure of the nursery greenhouse could accommodate a maximum of 360 seedlings, allowing the cultivation of healthy and complete melon seedlings within an area of 600x1800x300 cm before transplanting them for actual cultivation. This smart system design was divided into five parts: 1) seedling nursery design, 2) control system design, 3) photovoltaic system setup, 4) workflow design, and 5) user interface design; the user interface was designed by using the Blynk IoT platform version 2.0 to monitor all results on web applications and mobile applications. The results

[1] *ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800*

[2] *สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000*

[1] *Department of teacher training in electrical engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800*

[2] *Department of Information Technology and IoT, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000*

** Corresponding author: E-mail: sarun.ch@skru.ac.th*

showed that the developed system could effectively monitor and control according to the setting conditions. Additionally, the system could increase germination rates and enhance the growth efficiency of Japanese organic melon seedlings. The germination rate improved by 93.33% compared to traditional nursery cultivation methods. It was found that the seedlings grown through this smart system had an average height of 6.5 cm, which indicated a growth rate increase of 54.76% compared to traditional cultivation methods. It was concluyded that the developed system effectively enhanced the germination rate and reduced damage to Japanese melon seedlings.

Keywords: Smart control system, seedling nursery, internet of things, Japan melon

บทนำ

วิวัฒนาการของภาคการเกษตรไทยดำเนินมาอย่างต่อเนื่องด้วยแรงกระตุ้นสำคัญจากวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม ที่ทำให้วิถีการเกษตรเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบดั้งเดิม ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่มากขึ้น ตั้งแต่เริ่มแรกในยุคเกษตรกรรม 1.0 จนมาถึงปัจจุบันมาในยุคเกษตรกรรม 4.0 (smart farming) ซึ่งเป็นการทำการเกษตรเน้นนวัตกรรมเกษตรอัจฉริยะ (smart agriculture) ใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและ ลดปัญหาความไม่แน่นอนของธรรมชาติ (นิพนธ์ พัวพงศกร และคณะ, 2563) โลกปัจจุบันได้เข้าสู่ยุคอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (internet of things) เป็นยุคที่มีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ไม่ว่าจะเป็น AI (artificial intelligence) / Big Data / Blockchain มาเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาการทำเกษตรแบบดั้งเดิม (traditional farming) ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ (Elijah *et al*., 2018) เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตร อีกทั้งยังพบว่าการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาด้านการเกษตร สามารถแก้ไขปัญหามูลค่าผลผลิตทางการเกษตรที่ต่ำได้เป็นที่ประจักษ์ (Dagar *et al*., 2018)

เมล่อนเป็นพืชที่มีความสำคัญและให้ผลตอบแทนสูงในเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอากาศอบอุ่นและร้อนจะเหมาะสมกับการเพาะปลูก เมล่อนที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างดี โดยสายพันธุ์ของพืชตระกูลเมล่อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย การปลูกเมล่อนให้ได้คุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุกและความชื้นสัมพัทธ์สูง ทำให้ง่ายต่อการเกิดโรคและแมลงศัตรูพืช เพราะเมล่อนเป็นพืชที่อ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรูพืช (ศุภัครชา อภิรติกร และคณะ, 2020) ดังนั้นการปลูกเมล่อนต้องใช้วิธีการปลูกดูแลรักษาที่แตกต่างกันไปจากพืชอื่นๆ และปัญหาหนึ่งของการปลูกเมล่อนคือปัญหาเกี่ยวกับการอนุบาลเมล็ดพันธุ์ต้นกล้าในระยะเริ่มต้น เกษตรกรจะเผชิญกับปัญหาต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ด เช่น การงอกไม่สม่ำเสมอ โรครากเน่า การควบคุมระบบน้ำและความชื้น อุณหภูมิและแสงสว่างที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีผลต่อแผนการผลิตพืชและทำให้ผลผลิตของพืชต่อพื้นที่ปลูกลดลง เนื่องจากต้นกล้าพืชที่ทำการอนุบาลไว้ไม่สมบูรณ์และแข็งแรง (ภาวิณี เหลืองประเสริฐ และคณะ, 2562) การปลูกเมล่อนในโรงเรือนระบบปิดจึงเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากโรงเรือนระบบปิดจะช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติให้เป็นไปในระดับที่เหมาะสม (อัคคพล เสนาณรงค์, 2563) โดยเฉพาะการควบคุมองค์ประกอบอากาศ เช่น ลม ฝน และลดการรบกวนจากแมลงศัตรูพืชได้ นอกจากนี้การปลูกในโรงเรือนยังช่วยป้องกันความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่แปรปรวน (Akkas & Sokullu, 2017) ดังนั้นการเพาะปลูกเมล่อนในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าที่มีการสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมร่วมกับการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ จะช่วยให้ได้ต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรง ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกษตรกรได้ต้นกล้าพืชคุณภาพดีพร้อมทำการปลูกได้ทันที รวมไปถึงต้นกล้าที่ทำการอนุบาลก่อนปลูกมีความต้านทานโรคหรือศัตรูพืชอีกด้วย

จากแนวทางดังกล่าวข้างต้นคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงปัญหา จึงพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับเพาะต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นพันธุ์ออเร้นจ์แมน (Figure 1) ในโรงเรือนเพื่อเตรียมความพร้อมของต้นกล้า ก่อนการลงปลูกในโรงเรือนหลัก โดยการปรับสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต เพื่อเพิ่มอัตราการงอกของ

Figure 1 Japanese melon Orange man

Figure 2 Traditional melon seedling cultivation

ต้นกล้าเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม (Figure 2) และยังอำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร ลดภาระในการดูแล ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร เพิ่มอัตราการงอกของต้นกล้า เพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และลดความเสี่ยงต่อความเสียหายในการปลูกพืชให้ตรงตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการ

การออกแบบและพัฒนาระบบ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมน (orange man) โดยการเพาะปลูกภายในโรงเรือนอนุบาล ต้นกล้าใช้การควบคุมสภาพแวดล้อมบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งระบบที่พัฒนาขึ้นได้รับความอนุเคราะห์โดยใช้สถานที่ในการติดตั้งและทดสอบเครื่องมือวิจัย ณ ออร์แกนิค คอมพลีทฟาร์ม ตำบลโคกม่วง อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา (ละติจูด 6.897, ลองจิจูด 100.412) เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ภายในระบบอนุบาลปลูก และเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการอนุบาลปลูก การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1) การออกแบบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า 2) การออกแบบวงจรควบคุม 3) การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ 4) การออกแบบผังงาน และ 5) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานซึ่งผู้วิจัยจะแสดงรายละเอียดตามลำดับ และแสดงภาพรวมของระบบที่พัฒนาขึ้น (Figure 3)

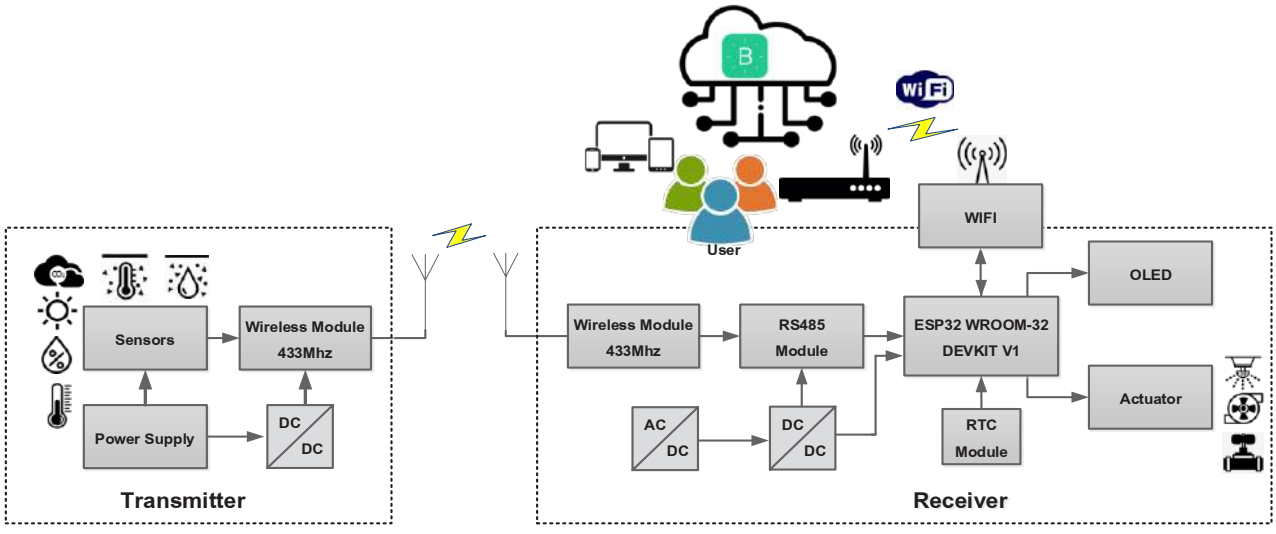
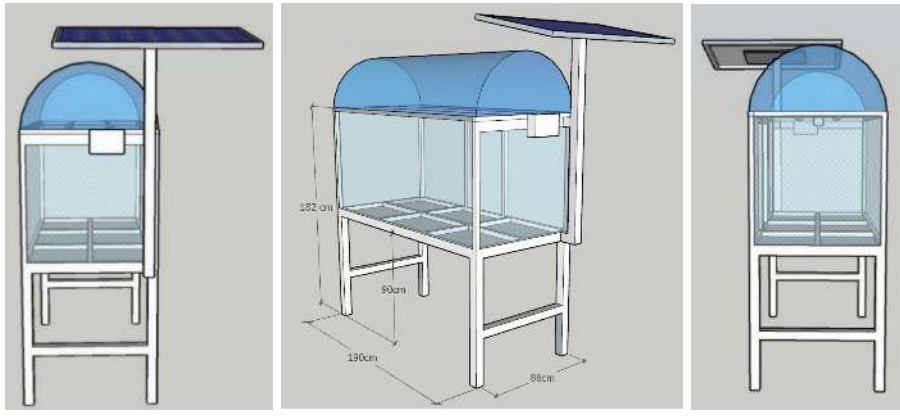


Figure 3 Overview of the developed control system

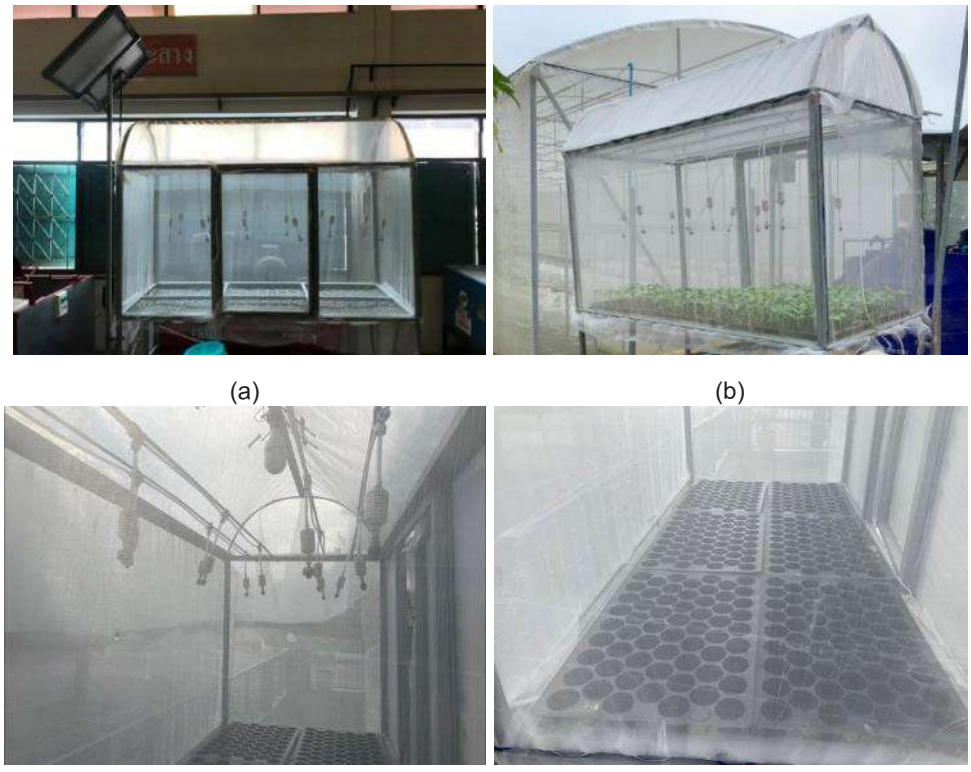
1. การออกแบบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า

การออกแบบลักษณะโครงสร้างของระบบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า โครงสร้างของโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าประกอบไปด้วยวัสดุเหล็ก Galvanized ทำเป็นส่วนฐานล่าง ส่วนฐานบนเป็นเหล็กโครงหลังคาสำหรับติดตั้งพลาสติกใสชนิด Poly ethylene (PE) ป้องกันความชื้นจากฝน มีความยืดหยุ่นสูง สะท้อนรังสียูวีจากแสงอาทิตย์ได้ดี ส่วนรอบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าใช้มุ่งตาข่าย ล้อมรอบไว้เพื่อป้องกันแมลง ภายในติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมประกอบไปด้วยหัวพ่นหมอก 12 หัว โดยใช้ยึดกับเหล็กคาน 4 เส้น บนหลังคา ลักษณะการติดตั้งจะใช้วิธียึดหัวพ่นหมอกแบบฟันปลา ส่วนบริเวณที่ใช้สำหรับอนุบาลเมล็ดต้นกล้าจะใช้ถาดหลุมจำนวน 6 แผ่น มีขนาดยาว 160 ซม. กว้าง 75 ซม. สามารถรองรับการเพาะเลี้ยงต้นกล้าเมล่อนได้สูงสุด 360 ต้น โครงสร้างการออกแบบ (Figure 4) และโครงสร้างโรงเรือนที่เสร็จสมบูรณ์ (Figure 5)



(a) (b) (c)

Figure 4 The structure of the seedling nursery system. (a) Left side (b) Back side (c) Right side



(a) (b)

(c) (d)

Figure 5 Outside and inside of the seedling nursery at an organic complete farm research site. (a) Front (b) Back side (c) Fogging system (d) Seedling tray

2. การออกแบบวงจรและชุดควบคุม

การออกแบบวงจรสำหรับควบคุมการทำงาน ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) ภาคอินพุตสำหรับเชื่อมต่อรับอุปกรณ์เซนเซอร์ ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (air temperature) เซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ (air humidity) เซนเซอร์ความเข้มแสง (light intensity) เซนเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Co2) ซึ่งเป็นการวัดค่าสภาพแวดล้อมบรรยากาศในโรงเรือน และอีกส่วนหนึ่งเป็นการวัดค่าสภาพแวดล้อมภายในวัสดุสำหรับการเพาะปลูก ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ (soil temperature) และวัดค่าความชื้น (soil humidity) โดยเซนเซอร์ทั้งหมดจะติดต่อสื่อสารแบบ Modbus RTU ที่ให้ค่าที่มีความแม่นยำผ่านโมดูล Max485 ไปยังส่วนประมวลผลแสดงการออกแบบติดตั้ง (Figure 6)

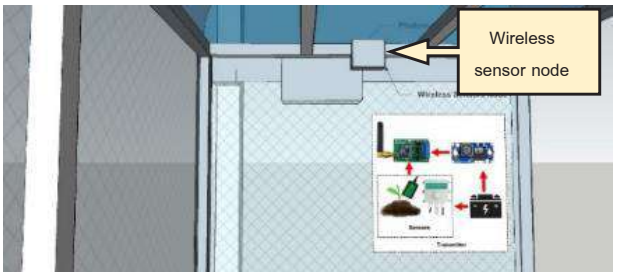


Figure 6 Wireless sensor node installation design

2) ภาคประมวลผล ในการออกแบบครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้บอร์ดรุ่น DTE32 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะสำหรับงานด้านเกษตรแม่นยำที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น (ลัญฉกร นิลทรัตน์ และคณะ, 2023) เป็นส่วนประมวลผลและควบคุมการทำงาน เนื่องด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตที่หลากหลาย สะดวกและง่ายในการเชื่อมต่อใช้งาน และสามารถเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม Arduino IDE แสดงอุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะที่ใช้ในการควบคุม (Figure 7)

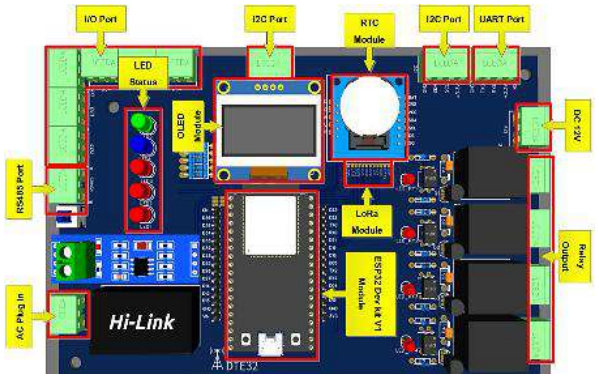


Figure 7 Smart control devices

3) ภาคเอาต์พุต จะทำหน้ารับคำสั่งจากภาคประมวลผลภายในอุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะ DTE32 เพื่อควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำและระบบพ่นหมอกภายในโรงเรือนที่ทำงานตามเงื่อนไข โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานผ่านรีเลย์ และมีการแสดงผลข้อมูลผ่านจอ OLED ขนาด 0.96 นิ้ว 4) ภาคสื่อสารข้อมูลไร้สาย ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนรับส่งข้อมูลเซนเซอร์ ต่าง ๆ จากโรงเรือน ในที่นี้จะใช้การรับส่งข้อมูลผ่าน Wireless transceiver module ความถี่ใช้งานที่ 433 MHz ต่อร่วมกับเซนเซอร์ Modbus RTU ภายในโรงเรือนเป็นภาคส่ง ในส่วนของภาครับจะใช้โมดูลเดียวกันต่อเข้า กับโมดูล Max485 ของวงจรควบคุม (Figure 8)

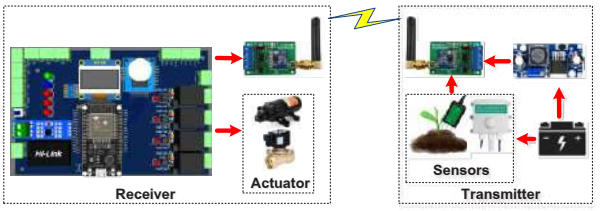


Figure 8 Wireless sensor nodes unit

3. การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย (wireless sensor nodes) ที่อยู่ภายในโรงเรือน โดยได้ออกแบบโครงสร้างแผงโซล่าเซลล์มีขนาด 28×34×10 เซนติเมตร มีความสูงจากพื้นดิน 400 เซนติเมตร แผงโซล่าเซลล์บนหลังคาโรงเรือนขนาด 180 W ต่อผ่านอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (solar charge controller) เพื่อทำให้การชาร์จกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในส่วนของแบตเตอรี่ที่ใช้ในครั้งผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิดแห้งขนาด 12V / 12Ah ซึ่งเมื่อพิจารณาจากโหลดที่เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายทั้งหมดที่ได้ติดตั้งในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าแล้ว พบว่าปริมาณของไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้งาน ดังแสดง Figure 9-10 ตามลำดับ

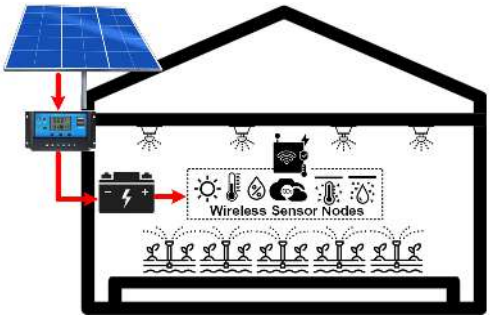


Figure 9 Photovoltaic system design

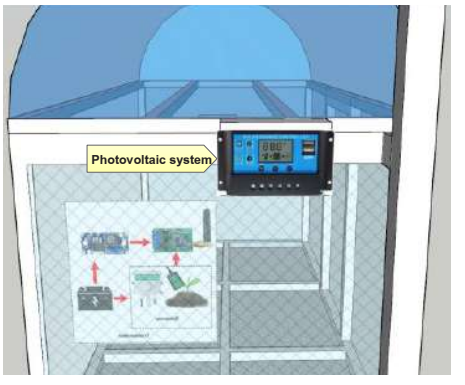


Figure 10 Photovoltaic system installation design

4. การออกแบบผังงาน

การออกแบบผังงานนั้น ผู้วิจัยทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการอนุบาลปลูกต้นกล้าเมล่อน จากงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง (ภาวิณี เหลืองประเสริฐ และคณะ, 2562; ศุภัครชา อภิรติกร และคณะ, 2020) จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า พืชตระกูล เมล่อนมีลักษณะการเจริญเติบโตในสภาวะอากาศอบอุ่นถึงร้อน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นในดิน เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลเมล่อน และพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 25 - 30 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50 - 70% ระดับความเป็นกรดค่า pH 6.5 - 7.0 โดยผู้วิจัยได้ออกแบบระบบให้สามารถควบคุม สภาพแวดล้อมให้เหมาะสมตามเงื่อนไข เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ที่อนุบาลปลูกมีอัตราการงอกสูงสุด แสดงการออกแบบผังงาน (Figure 11)

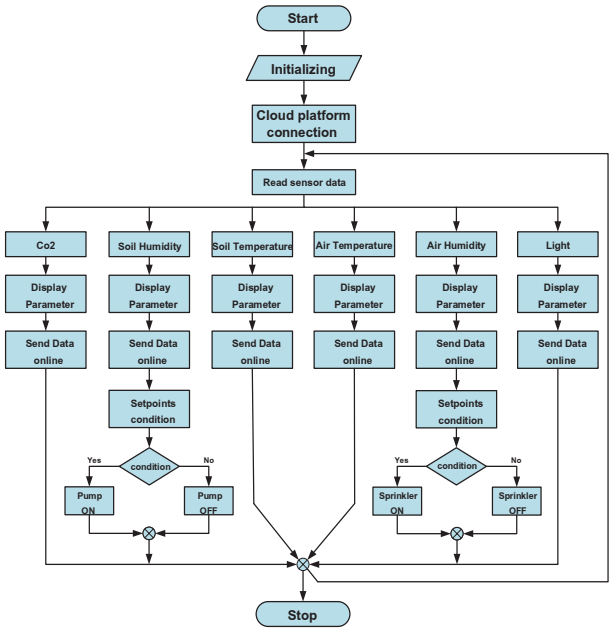
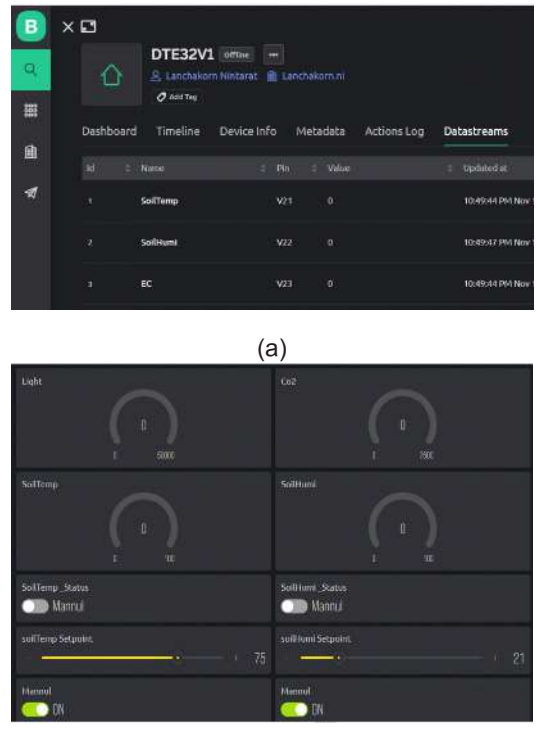


Figure 11 The flow operation of the control system

5. การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ส่วนนี้จะเป็นการออกแบบส่วนแสดงผลและควบคุมบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง แพลตฟอร์มที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ คือ แพลตฟอร์มบริงไอโอที เวอร์ชัน 2.0 ซึ่งมีจุดเด่นที่สามารถแสดงผลและควบคุมทั้งบนเว็บแอปพลิเคชันและบนโมบายแอปพลิเคชัน โดยการออกแบบ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยในส่วนของการออกแบบเพื่อแสดงผลและควบคุมค่าพารามิเตอร์บนเว็บแอปพลิเคชัน ดัง Figure 12 และอีกส่วนหนึ่งจะแสดงผลและควบคุมค่าพารามิเตอร์บน โมบายแอปพลิเคชัน ดัง Figure 13



(a)

(b)

Figure 12 Web application design (a) Parameter setting (b) User interface design

(a) (b)

Figure 13 Mobile application design (a) User interface design (b) Control system design

ผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมน บนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองที่ได้ ดำเนินการมา โดยจะแบ่งขั้นตอนดังนี้ 1) ผลการติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์ 2) ผลการวัดทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์ 3) ผลการทดสอบการแสดงผลส่วนติดต่อผู้ใช้งาน 4) ผลการทดสอบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ด้านเอาต์พุต 5) ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน และ 6) ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการรอดของต้นกล้า

เที่ยบกับการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิม โดยจะแสดงรายละเอียดตามลำดับ

1. ผลการติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์

การติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์สำหรับโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าเมล่อนจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ระบบแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุดอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งอยู่ภายในโรงเรือง โดยอุปกรณ์ระบบจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ได้ติดตั้งไว้ภายนอก ดัง Figure 14 ส่วนที่ 2 อุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย ในส่วนนี้จะทำหน้าเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ภายในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า จากนั้นทำการส่งข้อมูลไร้สายผ่าน Wireless transceiver module ไปยังส่วนของภาครับที่อยู่ภายนอกโรงเรือน ดัง Figure 15 ส่วนที่ 3 เป็นการติดตั้งวงจรควบคุมทางภาครับ ในส่วนนี้จะทำหน้ารับสัญญาณจากชุดอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งอยู่ภายในโรงเรืองเพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและตัดสินใจตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ไปควบคุมอุปกรณ์ด้านเอาต์พุต ได้แก่อุปกรณ์ปั๊มจ่ายระบบน้ำ และระบบพ่นสเปย์หมอกในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า อีกทั้งส่งข้อมูลทั้งหมดเพื่อไปแสดงผลสถานะและควบคุมบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ซึ่งระบบดังกล่าวได้ทำการติดตั้งอยู่ภายในอาคาร ควบคุมการทำงานหลักอยู่ภายนอกโรงเรือนอนุบาลปลูกต้นกล้า ดัง Figure 16

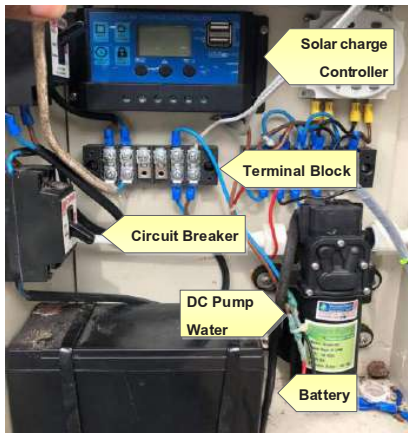


Figure 14 Installation of photovoltaic sources

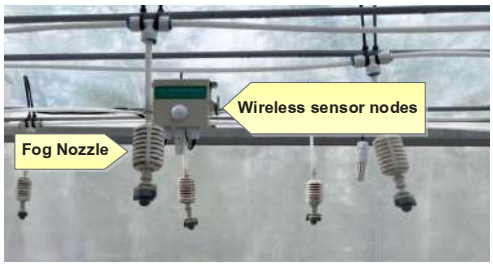


Figure 15 Installation of wireless sensor nodes

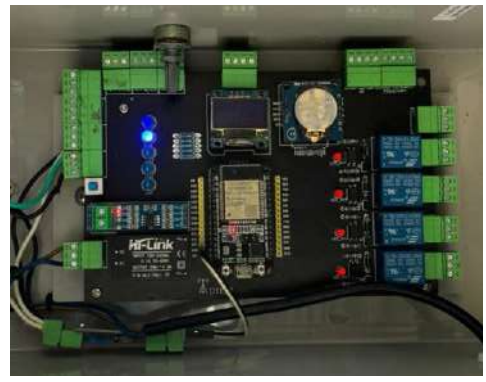


Figure 16 Installation of smart control devices

2. ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเซนเซอร์

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์เสร็จสิ้น ในส่วนนี้จะเป็นการวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้งานกับระบบที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตราฐานโดยค่าที่จะทดสอบในครั้งนี้จะประกอบไปด้วยค่าอุณหภูมิอากาศ และค่าความชื้นในดิน ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน (สหพงศ์ สมวงค์ และคณะ, 2022) ในช่วงเริ่มต้นสำหรับการอนุบาลปลูกต้นกล้าซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวจะแสดงดัง Table 1 และ Table 2 ตามลำดับ Table 1 แสดงการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิในอากาศ ที่ใช้กับระบบควบคุมในครั้งนี้ (4in1 CO2 Temperature Humidity and Light RS485 Output) กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (Elitech HTC-2) โดยได้กำหนดค่าทดสอบดัง Table 1 สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์ที่ใช้ในระบบเป็นจำนวน 5 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%Error) ตามสมการที่ (1) (กันตภณ มะหาหมัด และคณะ, 2022) ผลปรากฏว่าเซนเซอร์ที่ทดสอบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.62 และเมื่อนำผลการวัดมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) พบว่าการวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 แสดงว่าเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิในอากาศที่ใช้กับระบบควบคุมในครั้งนี้มีผลการวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐานและอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ดัง Figure 17

$$\%Error = \frac{\left|E_{mea} - E_t\right|}{E_t} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ E_{mea} คือ ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ทดสอบ

E_t คือ ค่าจากการวัดด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน

Table 2 แสดงการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน ที่ใช้กับระบบ ควบคุมในครั้งนี้ (EC temperature humidity PH sensor RS485 output) กับเครื่องวัดมาตรฐาน (smart sensor PH328) โดยได้กำหนดค่าทดสอบดัง Table 2 สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์ที่ใช้ในระบบเป็นจำนวน 5 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยจากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%Error) ดังสมการที่ (1) (กันตภณ มะหาหมัด และคณะ, 2022) ผลปรากฏว่าเซนเซอร์ที่ทำการทดสอบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 0.56 และเมื่อนำผลการวัดมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) พบว่าการวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์มีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 แสดงว่าเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดินที่ใช้กับระบบควบคุมในครั้งนี้มีผลการวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐานและอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ดัง Figure 18

Table 1 Results of air temperature calibration

True value E_t	Measure value E_{mea}						%Error
	1	2	3	4	5	Average	
25.2	25.6	25.4	25.6	25.2	25.4	25.44	0.95
27.3	27.3	27.7	27.6	27.3	27.4	27.46	0.58
29.1	29.3	29.1	29.5	29.5	29.2	29.32	0.75
31.2	30.5	31.2	31.5	30.7	31.2	31.02	0.57
33.1	32.7	33.5	33.2	33.4	32.8	33.12	0.24
			Total average				0.62

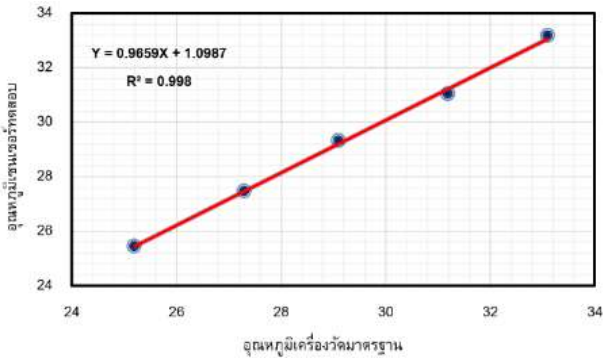


Figure 17 The results of correlation analysis

Table 2 Results of soil moisture calibration

True value E_t	Measure value E_{mea}						%Error
	1	2	3	4	5	Average	
5.1	3.85	4.6	5.6	5.2	5.8	5.01	0.2
20.2	19.8	20.4	19.3	20.5	21.1	20.22	0.88
40.1	39.3	41.2	41.9	42.1	38.8	40.66	0.39
60.2	58.7	60.7	61.4	60.5	62.4	60.74	0.39
80.1	78.8	82.5	81.4	80.4	82.2	81.06	0.94
			Total average				0.56

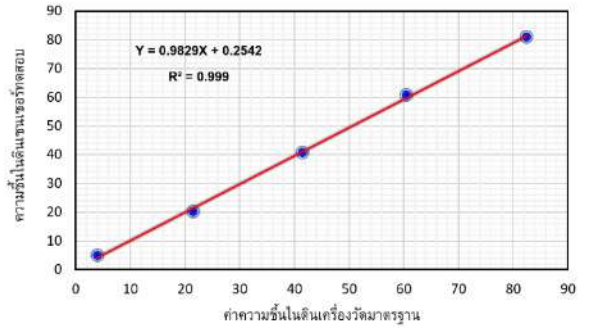
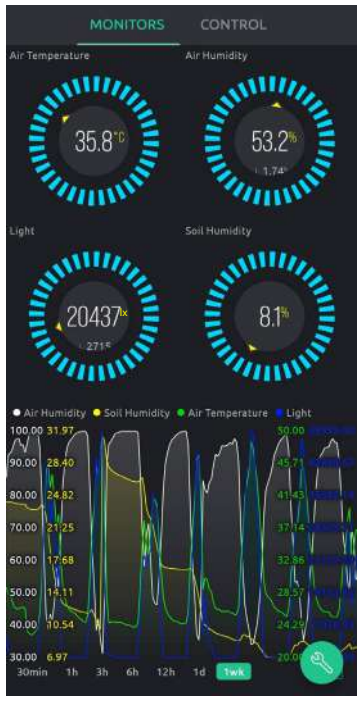


Figure 18 The results of correlation analysis

3. ผลการทดสอบการแสดงผลส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ส่วนนี้เป็นการทดสอบการแสดงผลของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ทำการส่งสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ผ่านการทดสอบความเที่ยงตรงและประมวลผลตามลำดับผังงานที่ได้ออกแบบไว้ และส่งต่อข้อมูลไปยังส่วนแสดงผลบนแพลตฟอร์มบริงไอโอที เวอร์ชัน 2.0 โดยผู้วิจัยได้แบ่งการแสดงผลเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย 1) การแสดงผลและควบคุมค่าพารามิเตอร์บนเว็บแอปพลิเคชัน 2) การแสดงผลและควบคุมค่าพารามิเตอร์บนโมบายแอปพลิเคชันดัง Figure 19

(a)



(b)

(c)

Figure 19 User interface design. (a) Web application Design. (b) Mobile application design. (c) Control design

4. ผลการทดสอบควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต

เมื่อส่วนติดต่อผู้ใช้งานสามารถแสดงผลค่าจากอุปกรณ์อินพุตเซนเซอร์ได้แล้ว ลำดับถัดไปจะเป็นการทดสอบการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุตที่มีการเชื่อมต่อกับระบบจ่ายน้ำและระบบพ่นสเปย์หมอกภายในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน โดยผู้วิจัยได้ออกแบบระบบให้สามารถควบคุมการทำงานในส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งานทั้งบนเว็บแอปพลิเคชัน และบนโมบายแอปพลิเคชัน ซึ่งการทำงานจะกำหนดรูปแบบการทำงานเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) การกำหนดค่าด้วยตนเอง และ 2) การกำหนดค่าแบบอัตโนมัติ โดยการทดสอบในครั้งนี้จะทดสอบความแม่นยำในการสั่งงานของระบบที่ออกแบบให้สามารถทำงานตามเงื่อนไขของผังงานที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวแสดงดัง Table 3

Table 3 Results of output device control testing

Control pattern	Number of times (times)	Accuracy (times)	Accuracy percentage
Web Application	10	10	100
Mobile Application	10	10	100
Automatic System	10	10	100
Average	**10**	**10**	**100**

Table 3 แสดงผลการทดสอบการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตบนส่วนติดต่อผู้ใช้งานโดยได้ทดสอบควบคุมการทำงานทั้งบนเว็บแอปพลิเคชัน และบนโมบายแอปพลิเคชัน จำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าส่วนติดต่อผู้ใช้งานทั้ง 2 ส่วน สามารถควบคุมการทำงานทั้งแบบปกติและแบบอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ มีความถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 100 ซึ่งกล่าวได้ว่าระบบที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน

5. ผลการทดสอบควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน

ส่วนนี้จะเป็นการทดสอบการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาระบบในครั้งนี้ ในการทดสอบผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายที่ผ่านการทดสอบความเที่ยงตรงมาติดตั้งภายในโรงเรือนที่ได้ออกแบบไว้เพื่อเก็บข้อมูล จากนั้นทดสอบการทำงานของระบบโดยการกำหนดค่าในส่วนติดผู้ใช้งานเพื่อควบคุมตามความเหมาะสมของการอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมน ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 25 - 30 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50 - 70 % และค่าความชื้นในดินอยู่ที่ 70 - 75 % โดยจะแสดงผลการควบคุมดัง Figure 20

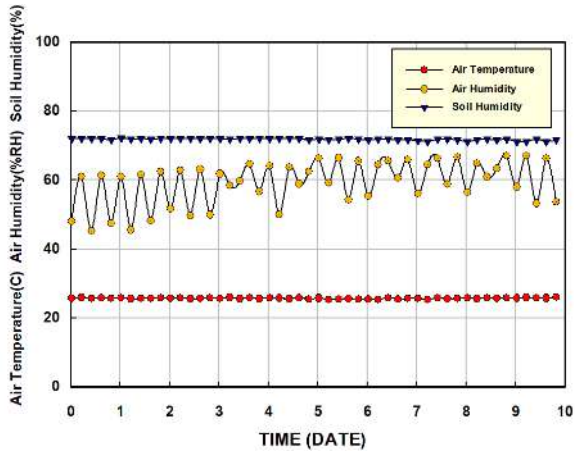


Figure 20 Results of controlling the environment in the greenhouse

6. ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตต้นกล้า

ส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและอัตราการงอกของต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ ออเร้นจ์แมน ระหว่างการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิมกับระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าที่พัฒนาขึ้น มีขั้นตอนการเตรียมต้นกล้าเมล่อนก่อนนำไปอนุบาลในถาดสำหรับเพาะปลูก ประกอบไปด้วยการนำเมล็ดเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมนแช่ด้วยน้ำอุ่นใช้เวลา 4 ชั่วโมง และบ่มในผ้าสะอาดหมาดน้ำ จากนั้นใส่ในกล่องพลาสติก ปิดฝาทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ส่วนรากเมล็ดเมล่อนเริ่มงอกออกมาจากเมล็ดเล็กน้อย จากนั้นนำเมล็ดเมล่อนไปทำการอนุบาลต่อในวัสดุปลูก รดน้ำให้ชุ่มชื้น หยอดเมล็ดในถาดปลูกให้อยู่ตรงกลางและกลบด้วยวัสดุปลูกพีทมอส (Peat moss) บางๆ พร้อมกับรดน้ำให้ชุ่มชื้น นำถาดอนุบาลต้นกล้าไปเก็บภายในโรงเรือนที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ ในการทดลองจะใช้ถาดอนุบาลขนาด 60 หลุม จากนั้นแบ่งการอนุบาลออกเป็น 2 ส่วน คือการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับการอนุบาลปลูกที่ใช้ระบบควบคุมอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ผลการเปรียบเทียบดัง Table 4

Table 4 Comparison of growth and germination rates

Attribute	Type of planting	
	Traditional	Developed
Normal Seedlings		
1.1 Seed germination rate	41	56
1.2 Percentage (%)	68.33	93.33
Dead Seeds	19	4
Height after planting 10 days(cm)	4.2	6.5

ผลการเปรียบเทียบจาก Table 4 พบว่าต้นกล้าเมล่อนที่อนุบาลปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการงอกจำนวน 56 ต้น มีเมล็ดตาย 4 ต้น คิดเป็นร้อยละ 93.33 เมื่อเทียบกับการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิมที่มีอัตราการงอกเพียง 41 ต้น มีเมล็ดตาย 19 ต้น คิดเป็นร้อยละ 68.33 และเมื่อเปรียบเทียบด้านความสูงของต้นกล้า หลังจากอนุบาลปลูกผ่านมาเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าความสูงของต้นกล้าที่อนุบาลปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น มีความสูงเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับการปลูกแบบดั้งเดิมมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นร้อยละ 54.76 แสดงการเจริญเติบโตของต้นกล้าเมล่อน (Figure 21 - 22) และแสดงผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้า เมล่อนหลังย้ายลงปลูกในโรงเรือนหลัก (Figure 23)

Figure 21 Melon seedlings controlled by the developed system

Figure 22 Complete melon seedlings before being transferred to the greenhouse

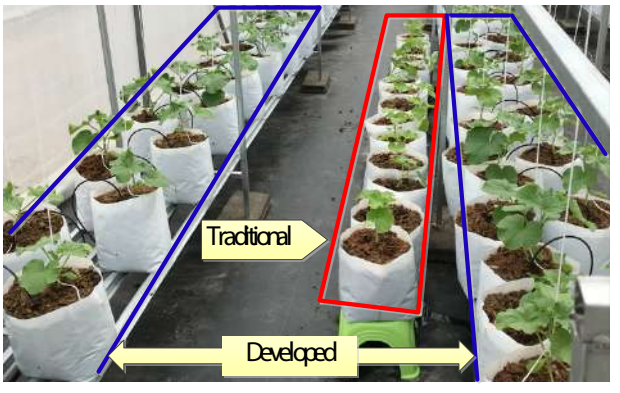


Figure 23 Compare the growth of seedlings planted in greenhouse on April 2, 2023

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับอนุบาลต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมนในโรงเรือนบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง และเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการอนุบาลปลูก การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนได้แก่ 1) การออกแบบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า 2) การออกแบบวงจรและชุดควบคุม 3) การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ 4) การออกแบบผังงาน และ 5) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดำเนินมาโดยจะแบ่งขั้นตอนดังนี้ 1) การติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์ 2) การวัดทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์ 3) การแสดงผลส่วนติดต่อผู้ใช้งาน 4) การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุต 5) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน และ 6) การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตอัตราการรอดของต้นกล้าเทียบกับอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิม ในส่วนของผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเซนเซอร์ที่ทดสอบจะประกอบไปด้วยค่าอุณหภูมิอากาศ และค่าความชื้นในดิน ซึ่งผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิในอากาศ ที่ใช้กับระบบควบคุมในครั้งนี้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.62 และเมื่อนำผลการวัดมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) พบว่าการวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์ มีค่า R^2เท่ากับ 0.998 ในส่วนของการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.56 และเมื่อนำผลการวัดมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) พบว่าการวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับเซนเซอร์มีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 แสดงว่าเซนเซอร์ทั้งสองมีผลการวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐานและอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทดสอบการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต พบว่าส่วนติดต่อผู้ใช้งานทั้ง 2 ส่วนสามารถควบคุมการทำงานทั้งแบบปกติและแบบอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ มีความถูกต้อง คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 100 ซึ่งกล่าวได้ว่าระบบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน ในด้านการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่าต้นกล้าที่อนุบาลปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการงอกจำนวน 56 ต้น มีเมล็ดตาย 4 ต้น คิดเป็นร้อยละ 93.33 เมื่อเทียบกับการอนุบาลปลูกแบบดั้งเดิมที่มีอัตราการงอกเพียง 41 ต้น มีเมล็ดตาย 19 ต้น คิดเป็นร้อยละ 68.33 และเมื่อเปรียบเทียบด้านความสูงของต้นกล้า หลังจากอนุบาลปลูกผ่านมาเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าความสูงของต้นกล้าที่อนุบาลปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น มีความสูงเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกแบบดั้งเดิมมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นร้อยละ 54.76 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกันตภณ มะหาหมัด และสหพงศ์ สมวงค์ ที่ใช้ระบบอัจฉริยะควบคุมการเจริญเติบโตส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความสมบูรณ์กว่าการเพาะปลูกแบบดังเดิม จึง

สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการงอกของต้นกล้าเมล่อนญี่ปุ่นสายพันธุ์ออเร้นจ์แมน และยังอำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร ลดภาระในการดูแล ลดการสิ้นเปลืองทรัพยากร เพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และลดความเสี่ยงต่อความเสียหายในการปลูกพืชให้ตรงตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณสถานที่ในการทดลอง ออร์แกนิค คอมพลีท ฟาร์ม ต.โคกม่วง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา ที่ให้การสนับสนุนในการติดตั้งเครื่องมือวิจัยที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ และขอบคุณนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ที่ช่วยเหลือติดตั้งเครื่องมือวิจัยและประกอบโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กันตภณ มะหาหมัด,ศรีวรรณ ขำตรี,สุวลี ชูวาณิชย์. (2022). การประยุกต์ใช้ระบบสมาร์ตฟาร์มสำหรับการผลิตเห็ดแครง. *วารสารวิชาการปทุมวัน Pathumwan Academic Journal,* (33), 56-74.

นิพนธ์ พัวพงศกร, กัมพล ปั้นตะกั่ว และณัฐธิดา วิวัฒน์วิชา. (2563). *นโยบายเทคโนโลยีการเกษตร 4.0*. สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.

ภาวิณี เหลืองประเสริฐ , วันวิสา กริมรัมย์,สุพรรณี คาผุย, เลิศภูมิ จันทรเพ็ญกุล (2562). *ผลการใช้อุณหภูมิและฮอร์โมนเร่งรากต่ออัตราการงอกเมล็ดออร์เร้นเน็ตเมล่อนและกรีนเน็ตเมล่อน*.

ลัญฉกร นิลทรัตน์,ศรัณย์ ณรงค์กูล,สมศักดิ์ อรรคทิมากูล. (2023).การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะต้นทุนต่ำสำหรับโรงเรือนเพาะปลูก. *การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่15* (pp.343-347).

ศุภัครชา อภิรติกร, คริษฐ์สพล หนูพรหม,ศุจิรัตน์สร ประสิทธิ์. (2020). การเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน 4 พันธุ์ที่ปลูกภายใต้โรงเรือนในจังหวัดสงขลา.*Thai Science and Technology Journal,* 1450-1461.

สหพงศ์ สมวงค์, ฐานวิทย์ แนมใส , อธิโรจน์ มะโน. (2022). การพัฒนาโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าอัจฉริยะสำหรับการอนุบาลปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ วิสาหกิจชุมชน ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. *Ladkrabang Engineering Journal, 39*.

อัคคพล เสนาณรงค์. (2563). โรงเรือนอีแวปอัจฉริยะ. *น.ส.พ. กสิกร, 93* (5) ,29-32.

Akkas, M. A., & Sokullu, R. (2017). An IoT-based greenhouse monitoring system with Micaz motes. *Procedia Computer Science, 113*, 603–608.

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of internet of things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal, 5*, 3758–3773.

Dagar, R., Som, S., & Khatri, S. K. (2018). Smart Farming – IoT in Agriculture. *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 1052–1056