



EE04-แบบขอสอบป้องกัน

นักศึกษา ☒ ปกติ ☐ สมทบ

โครงการวิศวกรรมไฟฟ้า
หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

(ภาษาอังกฤษ) Smart Rotary Watering System for Seedling Greenhouse

ผู้จัดทำ

นางสาวธมลวรรณ บุญจุน รหัสนักศึกษา 164404130080 โทร. 093-5754618

นางสาววนิดา ขาติเป รหัสนักศึกษา 164404130081 โทร. 080-5437178

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร	ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร
☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่	☒ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่
ลงชื่อ (.....)	ลงชื่อ (<u>พ.ศ. วิชาเอก วิศวกรรมไฟฟ้า</u>)

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ
SMART ROTARY WATERING SYSTEM FOR SEEDLING GREENHOUSE

นางสาวธมลวรรณ บุญจุน

นางสาววนิดา ขาติเป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปีการศึกษา 2567

โรงเรียนเพาะช่างตั้งถ้ำด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเวียนให้ทันอัตราอัตโนมัติ

2567

โรงเรียนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

นางสาวธมลวรรณ	บุญจน
นางสาววนิดา	ชาติเป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทย

ปีการศึกษา 2567

SMART ROTARY WATERING SYSTEM FOR SEEDLING GREENHOUSE

MS. THAMONWAN BOONCHUN

MS. WANIDA CHATIPAE

THE PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE BACHLOR DEGREE OF ENGINEERING
AEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEER
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA
ACADEMIC YEAR 2024

หัวข้อปริญญานิพนธ์	โรงเรียนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	
นักศึกษา	นางสาวธมลวรรณ บุญจุน	รหัส 164404130080
	นางสาววนิดา ขาติเป	รหัส 164404130081
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทักษ์ สติสุวรรณนะ	

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อนุมัติให้
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....หัวหน้าหลักสูตรสาขาวิชาฯ	หัวหน้าหลักสูตรสาขาฯ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ พงศ์ภักดิ์ธรรม)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สายัณ ละอองโชค)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.สลักจิตร์ แบลนชาร์ด)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พริ้ม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์. อีระพงษ์ ฉิมเพชร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทักษ์ สติสุวรรณนะ)

ลิขสิทธิ์ของสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

หัวข้อปริญญานิพนธ์	โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ
นักศึกษา	นางสาวธมลวรรณ บุญจน รหัส 164404130080
	นางสาววนิดา ขาติเป รหัส 164404130081
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทักษ์ สถิตววรรณะ
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบให้น้ำอัตโนมัติสำหรับโรงเรือนเพาะต้นกล้า โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีงานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านระบบไร้สาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำ ลดภาระงานแรงงาน และยกระดับคุณภาพการเพาะปลูก ระบบดังกล่าวใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยประมวลผลหลัก รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) รุ่น BME280 รวมถึงเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง (ลักซ์) รุ่น MCU-3001 OPT3001 มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง ทำหน้าที่รดน้ำให้แก่พืชภายในโรงเรือน ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล และแสดงผลข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือโดยเชื่อมต่อผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ ผลการดำเนินงานพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.33, 0.34 และ 2.10 ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้ติดตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัวด้านหน้า และด้านหลังโรงเรือน โดยใช้งานขนาด 9 เซนติเมตรบริเวณด้านหน้า และขนาด 6 เซนติเมตรบริเวณด้านหลัง ผลการทดสอบระบบแสดงให้เห็นว่าการใช้งานระบบให้น้ำอัตโนมัติมีความง่ายต่อการจัดการ สามารถลดภาระงานแรงงานคนได้อย่างมีนัยสำคัญ มีความตรงต่อเวลาตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ ส่งผลให้การดูแลรักษาพืชเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ งานวิจัยนี้จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในระดับครัวเรือน ฟาร์มขนาดเล็ก เพื่อส่งเสริมการเพาะปลูกอย่างมีประสิทธิภาพ และยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ : ระบบให้น้ำอัตโนมัติ งานหมุนเหวี่ยงให้น้ำ ระบบไร้สาย

TITLE	SMART ROTARY WATERING SYSTEM FOR SEEDLING GREENHOUSES		
STUDENT(S)	MS. THAMONWAN BOONCHUN	Code	164404130080
	MS. WANIDA CHATIPA	Code	164404130081
ADVISOR	ASST.PROF.PHITAK SATHITWANTANA		
ACADEMIC YEAR	2024		

ABSTRACT

This thesis aims to design and develop an automatic irrigation system for seedling greenhouses by integrating rotary sprinkler technology with wireless control. The system is intended to enhance water management, reduce manual labor, and improve cultivation quality. A microcontroller serves as the main processing unit, receiving data from a BME280 sensor (temperature and relative humidity) and an OPT3001 light sensor. The rotary sprinkler motors deliver water within the greenhouse, while processed data is displayed on a mobile device via a web server. The system performed as intended, with measurement errors of 0.33% for temperature, 0.34% for humidity, and 2.10% for light intensity. Two rotary sprinkler motors were installed one at the front with a 9 Centimeter disc and another at the rear with a 6 Centimeter disc. System testing confirmed that the automatic irrigation system is easy to manage, significantly reduces labor, and ensures timely and consistent watering. The project demonstrates potential for application in household or small-scale farms, contributing to efficient and sustainable agriculture in the future.

Keywords : Automatic irrigation system Centrifugal watering disk Wireless system

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจจากหลายท่านที่มีส่วนร่วมทั้งทางตรง และทางอ้อมตลอดระยะเวลาการทำงาน ขอขอบคุณอาจารย์พิทักษ์ สถิตววรรณนะ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิดตลอดกระบวนการตั้งแต่การวางแผนแนวคิด การออกแบบ การแก้ไขปัญหา ไปจนถึงการพัฒนาฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์จนสำเร็จตามเป้าหมาย ทั้งนี้ ขอแสดงความซาบซึ้งอย่างยิ่งต่ออาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ทุ่มเทร่างกายแรงใจในการถ่ายทอดความรู้ ทักษะ และประสบการณ์อันมีค่า รวมถึงการให้คำแนะนำ และการสนับสนุนทางวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในมหาวิทยาลัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านสถานที่ อุปกรณ์ และการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกต้อง และปลอดภัย ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้วางรากฐานทางการศึกษาอย่างมั่นคงมาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่มอบโอกาสในการเรียนรู้ และพัฒนาทักษะวิชาชีพ ซึ่งมั่นใจว่าประสบการณ์เหล่านี้จะเป็นพื้นฐานที่แข็งแกร่งในการก้าวสู่เส้นทางสายอาชีพต่อไป นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัว โดยเฉพาะคุณพ่อ คุณแม่ที่เป็นกำลังใจหลักตลอดทั้งระยะเวลาของการทำโครงการ ไม่ว่าจะในช่วงเวลาที่เหน็ดเหนื่อยหรือท้อแท้ ท่านทั้งสองเป็นแรงสนับสนุนที่ไม่สิ้นสุด ช่วยให้ไม่ยอมแพ้ในทุกปัญหาที่เผชิญ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดการทำโครงการ รวมทั้งรุ่นพี่ที่มีประสบการณ์ คำแนะนำที่ดีช่วยแนะนำในช่วงเวลาที่ต้องการความช่วยเหลือ ความรักกำลังใจจากทุกท่านเป็นพลังสำคัญที่ทำให้ผ่านทุกอุปสรรค และสามารถทำงานจนสำเร็จตามที่ตั้งใจไว้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 ศึกษาประสิทธิภาพของ ULEM เพื่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรู กล้วยไม้บางชนิด	3
2.1.2 การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบพ่น หมอก	4
2.1.3 ผลของระบบการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนต่อการเจริญเติบโต และ ผลผลิตของผักกาดหอม	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2.1 ผักกาดหอม (Lettuce)	5
2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	6
2.2.3 เอชทีเอ็มแอล (HTML: Hypertext Markup Language)	6
2.3 อุปกรณ์ที่สำคัญ	6

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 ยูเอ็ลเอ็ม	6
2.3.2 บอร์ด ESP32	7
2.3.3 เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Intensity)	8
2.3.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Humidity Sensor)	10
2.3.5 โมดูลนาฬิกา (DS3231 Real Time Clock Module)	11
2.3.6 โมดูล MicroSD Card (SPI Interface)	12
2.3.7 โมดูลรีเลย์ 3.3 V 4 ช่อง (Relay Module 4 Channel 3.3V)	13
2.3.8 ปั๊มน้ำกระแสตรง (DC Motor Pump)	13
2.3.9 มอเตอร์เกียร์กระแสตรง (DC)	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	15
3.1 แผนการดำเนินงาน	17
3.1.1 ผังแสดงวิธีการดำเนินโครงการ	17
3.2 แผนการดำเนินการ	18
3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีให้น้ำ งานหมุนเวียนอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบไร้สายผ่านสมาร์ทโฟน	19
3.4 การออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วย เทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเวียนให้น้ำอัตโนมัติ	20
3.5 การออกแบบงานหมุนเวียนให้น้ำอัตโนมัติ	22
3.6 การสร้าง และติดตั้งอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม งานหมุนเวียนให้น้ำอัตโนมัติ	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การออกแบบชุดระบบควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	26
3.7.1 การคำนวณกำลังไฟฟ้า (Power)	26
3.7.2 การคำนวณกระแส (Current)	27
3.7.3 การคำนวณแรงดันไฟฟ้า (Voltage)	27
3.7.4 ข้อผิดพลาดร้อยละ	29
3.7.5 ค่าเฉลี่ย	29
3.7.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	30
3.8 การออกแบบเงื่อนไขโปรแกรมสำหรับควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	31
3.9 การออกแบบวงจรควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	32
3.10 ไดอะแกรมวงจรต่อใช้งานของอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	33
3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม และตัวตรวจรู้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง ภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	34
3.12 การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (มิลลิลิตรต่อหัว)	36
3.13 การทดสอบงานการทำงานของงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.14 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับ มิเตอร์ Lutron MHB-382SD	41
3.15 การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากตัววัดด้วยตัว ตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	42
3.16 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823	43
3.17 การทดสอบการทำงานของระบบ	45
3.18 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	53
3.19 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน ด้วย เทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	55
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน และการทดลอง	57
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ	58
4.2 ผลการทดสอบแสดงข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา	59
4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำ	60
4.4 ผลการทดสอบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	62
4.4 การใช้งานของมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว และมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว	73
4.5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	87
4.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	89
4.7 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	94
4.9 ผลการทดสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน	104
4.10 สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง	130
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	132
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	132
5.2 ปัญหา และอุปสรรค	133
5.3 แนวทางการแก้ไข	133
5.4 ข้อเสนอแนะ	133
บรรณานุกรม	135
ภาคผนวก ก คู่มือแนะนำการใช้งาน	137
ภาคผนวก ข โปรแกรมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	143
ภาคผนวก ค งบประมาณ	164
ประวัติผู้ทำปริญญานิพนธ์	167

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.2.1	แผนการดำเนินงานระยะเวลาทำการโครงการ 1 ปี	18
3.7.1	แสดงค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในโรงเรือน	28
4.1.1	การทดสอบการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด	58
4.2.1	การทดสอบการทำงานผลการทดสอบแสดงข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา	59
4.3.1	ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำต่อ 1 นาที	60
4.4.1	ผลการทดลองงานขนาด 3 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุน เหวี่ยง จำนวน 1 ตัว	62
4.4.2	ผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุน เหวี่ยงจำนวน 1 ตัว	66
4.4.3	ผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุน เหวี่ยงจำนวน 1 ตัว	69
4.4.5	ผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุน เหวี่ยงจำนวน 2 ตัว	73
4.4.6	ผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุน เหวี่ยงจำนวน 2 ตัว	77
4.4.7	การทดลองปริมาตรน้ำ 2 ขนาด (9 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร) มอเตอร์ หมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	80
4.4.8	แบบจำลองการให้น้ำ 20 จุดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	83
4.4.9	แบบจำลองการให้น้ำ 20 ถาดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร แสดงภาพปริมาณน้ำที่ตกในแต่ละจุด	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.5.1	ผลทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับ มิเตอร์ Lutron MHB-382SD	87
4.6.1	ผลการทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากการวัดด้วย ตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	89
4.7.1	ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงภายในโรงเรือนจากการวัดด้วยตัว ตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ก่อนชุดเขยค่าความเข้มแสง)	91
4.7.2	ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงภายในโรงเรือนจากการวัดด้วยตัว ตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (หลังชุดเขยค่าความเข้มแสง)	92
4.8.1	ผลการทดสอบปลูกในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	94
4.8.2	ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	95
4.8.3	ผลการทดสอบการวัดความสูงลำต้นในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	96
4.8.4	ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	99
4.8.5	ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	101
4.8.6	ผลการทดสอบการวัดความสูงผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	103
4.9.1	ผลการทดสอบอุณหภูมิในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2	105
4.9.2	ผลการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.9.3	ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	109
4.9.4	ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	118
4.9.5	ผลการทดสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	120
4.9.6	ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	122

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผักกาดหอม (Lettuce)	5
2.2	ยูเอ็ลล์	7
2.3	บอร์ด ESP32	8
2.4	MCU-3001-OPT3001 Light Sensor Module	9
2.5	เซ็นเซอร์ BME280	11
2.6	DS3231 Real Time Clock Module	11
2.7	MicroSD Card	12
2.8	Relay 3V 4 Channel	13
2.9	ปั้มน้ำกระแสดรง	14
2.10	มอเตอร์เกียร์ดีซี	14
3.1	แผนผังวิธีการดำเนินงานปริญญานิพนธ์	17
3.2	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบโรงเรือน	19
3.3	แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ด้านหน้า)	20
3.4	แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ด้านข้าง)	21
3.5	แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	21
3.6	แบบจำลองการออกแบบโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	22
3.7	แบบจำลองการออกแบบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	23
3.8	แบบจำลองการออกแบบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	23
3.9	ออกแบบฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน	24
3.10	ประกอบฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.11	จัดวางฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน	25
3.12	แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	31
3.13	วงจรควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	32
3.14	ไดอะแกรมวงจรควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	33
3.15	แบบจำลองตำแหน่งติดตั้งกล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	34
3.16	ภายในกล่องควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	34
3.17	กล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	35
3.18	กล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ	35
3.19	การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (1 หัวจ่าย)	36
3.20	การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (2 หัวจ่าย)	37
3.21	งานหมุนเหวี่ยงรดน้ำ 3 ขนาด (3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร) ตามลำดับ	38
3.22	งานหมุนเหวี่ยงรดน้ำความสูง 3 ระดับ 170 เซนติเมตร 180 เซนติเมตร และ 190 เซนติเมตร ตามลำดับ	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.23	การทดสอบการกระจายน้ำเพื่อหาปริมาณน้ำแต่ละจุด จำนวน 5 จุด	39
3.24	การทดสอบกระจายเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการกระจายน้ำ และการดูดซับน้ำของแต่ละภาคเพาะปลูก	40
3.25	การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	41
3.26	การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	42
3.27	การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงก่อนปรับเทียบจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 (ก่อนชดเชยค่าความเข้มแสง)	43
3.28	การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงหลังปรับเทียบจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 (หลังชดเชยค่าความเข้มแสง)	44
3.29	หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	45
3.30	หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	46
3.31	หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าความเข้มแสง(ลักซ์)	46
3.32	หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงการแจ้งเตือน และคำแนะนำ	47
3.33	การทดสอบสั่งการทำงานในโหมด Manual ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์	48
3.34	การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto) โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์	49
3.35	การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 2) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.36	การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 3) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์	51
3.37	การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 1) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์	52
3.38	การทดสอบการทำงานของปั้มน้ำ และมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง	52
3.39	ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2	53
3.40	การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 โดยมีการแยกกลุ่มออกทั้ง 2 กรณี	54
3.41	การวัดความสูง และชั่งน้ำหนักของต้นอ่อนผักกาดอ่อน	54
3.42	ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักกาดหอม ระยะเวลา 14 วัน	55
3.43	การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน	56
3.44	การวัดความสูง และชั่งน้ำหนักของต้นอ่อนผักกาดอ่อนภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน	56
4.1	ผลการทดลองอัตราการไหลของน้ำ 1 หัวจ่าย และ 2 หัวจ่าย	61
4.2	กราฟแสดงผลการทดลองจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	63
4.3	กราฟแสดงผลการทดลองจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 180 เซนติเมตร	64
4.4	กราฟแสดงผลการทดลองจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร	64
4.5	แบบจำลองตำแหน่งจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน	65
4.6	แบบจำลองจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	67
4.8	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 180 เซนติเมตร	67
4.9	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร	68
4.10	แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน	68
4.11	แบบจำลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว	69
4.12	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	70
4.13	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 180 เซนติเมตร	71
4.14	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร	71
4.15	แบบจำลองตำแหน่งติดตั้งงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน	72
4.16	แบบจำลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว	72
4.17	แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร ติดตั้งภายในโรงเรือน	74
4.18	แบบจำลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว	75
4.19	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 180 เซนติเมตร	76
4.21	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร	76
4.22	แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน	78
4.23	แบบจำลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว	78
4.24	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	79
4.25	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 180 เซนติเมตร	79
4.26	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร	80
4.27	กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	81
4.28	การกระจายน้ำภายในโรงเรือนโดยใช้ขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร	81
4.29	แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	แบบจำลองงานขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว	82
4.31	กราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	88
4.32	กราฟการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD	90
4.33	กราฟการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ก่อนชดเชยค่าความเข้มแสง)	93
4.34	กราฟการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (หลังชดเชยค่าความเข้มแสง)	93
4.35	กรณีที่ 1 ใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบงานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านสมาร์ตโฟน	98
4.36	กรณีที่ 2 ใช้วิธีการรดน้ำด้วยผู้ใช้งาน	98
4.37	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 19 เมษายน 2568 (วันที่ 1 ในการเก็บค่า)	110
4.38	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 20 เมษายน 2568 (วันที่ 2 ในการเก็บค่า)	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.39	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 21 เมษายน 2568 (วันที่ 3 ในการเก็บค่า)	111
4.40	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 22 เมษายน 2568 (วันที่ 4 ในการเก็บค่า)	111
4.41	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 23 เมษายน 2568 (วันที่ 5 ในการเก็บค่า)	112
4.42	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 24 เมษายน 2568 (วันที่ 6 ในการเก็บค่า)	112
4.43	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 25 เมษายน 2568 (วันที่ 7 ในการเก็บค่า)	113
4.44	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 26 เมษายน 2568 (วันที่ 8 ในการเก็บค่า)	113
4.45	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 27 เมษายน 2568 (วันที่ 9 ในการเก็บค่า)	114

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.46	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 28 เมษายน 2568 (วันที่ 10 ในการเก็บค่า)	114
4.47	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 29 เมษายน 2568 (วันที่ 11 ในการเก็บค่า)	115
4.48	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 30 เมษายน 2568 (วันที่ 12 ในการเก็บค่า)	115
4.49	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 1 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 13 ในการเก็บค่า)	116
4.50	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 2 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 14 ในการเก็บค่า)	116
4.51	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 4 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 1 ในการเก็บค่า)	124
4.52	กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 5 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 2 ในการเก็บค่า)	124

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้นำเสนอที่มาและความสำคัญของโครงการ อธิบายปัญหาและเหตุผลที่ทำให้โครงการสมควรได้รับการศึกษาอย่างเป็นระบบ กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และผลลัพธ์ที่คาดหวังอย่างชัดเจน รวมถึงระบุขอบเขตการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ตลอดจนขั้นตอนและแผนการดำเนินงานอย่างมีแบบแผนเพื่อความต่อเนื่องและประสิทธิผลของโครงการ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การเพาะต้นกล้าเป็นกระบวนการสำคัญในวงการเกษตรกรรม เนื่องจากเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่กำหนดคุณภาพของพืชที่จะปลูกในแปลงใหญ่ กระบวนการนี้มีต้นกำเนิดจากการทำเกษตรแบบดั้งเดิมที่ชาวสวนใช้ปลูกพืชในแปลงเล็กหรือเรือนเพาะชำก่อนย้ายไปปลูกในแปลงใหญ่ ปัจจุบันการเพาะต้นกล้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยีและความรู้ทางการเกษตร โดยเทคโนโลยีทันสมัย เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสงที่เหมาะสม ถูกนำมาใช้เพิ่มคุณภาพต้นกล้า ทำให้พืชมีรากแข็งแรงและเจริญเติบโตรวดเร็ว ส่งผลดีต่อผลผลิตและคุณภาพพืช อีกทั้งเทคโนโลยีไร้สายยังช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการเพาะปลูกต้นกล้า ช่วยให้เกษตรกรจัดการได้สะดวก ลดความเสี่ยงจากข้อผิดพลาดในการจัดการด้วยมือมนุษย์

วิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบ และพัฒนาโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการรดน้ำในโรงเรือนเพาะต้นกล้า ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถควบคุมกำหนดระยะเลาการให้น้ำอย่างแม่นยำ และตรวจสอบคุณภาพการปลูกผ่านระบบไร้สาย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำ และช่วยเพิ่มคุณภาพของต้นกล้าให้ดียิ่งขึ้น ระบบดังกล่าวสามารถรองรับการเพาะต้นกล้าจำนวนไม่น้อยกว่า 2,000 ต้น สามารถตรวจสอบ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการปลูก เช่น คุณภาพแสง และปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับพืชกลุ่มผักกินใบ และผักสลัด ช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการแปลงเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบงานหมุนเหวี่ยงอัตโนมัติ สำหรับการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือน

1.2.2 พัฒนาระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติผ่านระบบไร้สาย

1.2.3 เพื่อศึกษาการเพาะต้นอ่อนพืชกลุ่มผักกินใบ และผักสลัด

1.2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกรรมขนาดเล็ก และครัวเรือน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมแบบไร้สายสำหรับโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติจำนวน 1 โรงเรือน ขนาดไม่น้อยกว่า $2.5 \times 2.9 \times 2.2$ เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

1.3.2 ออกแบบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ อัตราการไหลของน้ำไม่น้อยกว่า 2,000 มิลลิลิตร ต่อ 1 นาที ต่อ 1 ชั่วโมง จำนวน 2 ชุด

1.3.3 สามารถควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติผ่านระบบไร้สายไม่น้อยกว่า 3 โปรแกรม พร้อมระบบแจ้งเตือนและคำแนะนำเมื่อสภาพแสง และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เหมาะสม

1.3.4 ระบบสามารถเพาะต้นกล้าไม่น้อยกว่า 2,000 ต้น

1.3.5 แสดงข้อมูลวัน เดือน ปี เวลา อุณหภูมิ ปริมาณแสง ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน และบันทึกข้อมูลย้อนหลังได้ไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้องค์ความรู้ในการออกแบบโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีให้น้ำงานหมุนเหวี่ยงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบไร้สายผ่านสมาร์ทโฟน

1.4.2 ประหยัดแรงงาน ลดต้นทุนการผลิต

1.4.3 ได้พัฒนา และยกระดับผลผลิตต้นกล้าของเกษตรกรไทยในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้

บทที่ 2

งานวิจัย และทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้รวบรวมงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมการรดน้ำภายในโรงเรือน รวมถึงระบบพ่นน้ำแบบยูเล็ม และระบบพ่นหมอก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการจัดการสภาพแวดล้อมสำหรับการเพาะปลูก โดยเฉพาะในโรงเรือนเพาะต้นกล้า ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของการเพาะต้นอ่อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง สม่าเสมอ และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำอย่างเหมาะสมภายในโรงเรือน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ศึกษาประสิทธิภาพของ ULEM เพื่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูกล้วยไม้บางชนิด

ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องพ่นสารประกอบหัวฉีด ULEM ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในกล้วยไม้ และข้าวที่จังหวัดสมุทรสาคร นครปฐม และสุพรรณบุรีระหว่าง เดือนสิงหาคม 2549 ถึง มิถุนายน 2550 โดยทำการศึกษาทางด้านกายภาพ และนำผลที่ได้ไปศึกษาทางด้านประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง ผลการทดลองพบว่าหัวฉีด ULEM และ CDA พ่นแบบน้ำน้อยอัตราพ่น 30-40 ลิตร/ไร่ด้วยสารฆ่าแมลง imidacloprid อัตราเนื้อสารบริสุทธิ์ 15 กรัม/ไร่ พ่นทุก 4 วัน เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้าย (Thrips palmi Karny) ให้ผลดีเทียบเท่ากับการพ่นแบบน้ำมากอัตราพ่น 120 ลิตร/ไร่ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีไม่พ่นสาร การศึกษาประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในกลุ่ม neonicotinoid ด้วยหัวฉีด ULEM พบว่าสารฆ่าแมลง imidacloprid อัตราเนื้อสารบริสุทธิ์ 16 กรัม/ไร่ ให้ผลดีเทียบเท่าวิธีการพ่นแบบน้ำมาก การทดลองพ่นป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว (Stenchaetothrips biformis Bagnall) ด้วยหัวฉีด ULEM และ CDA พบว่าสารฆ่าแมลง imidacloprid อัตราเนื้อสารบริสุทธิ์ 2-3 กรัม/ไร่ ให้ผลดีเทียบเท่ากับการพ่นแบบผสมน้ำมาก จากการทดลองพบว่าหัวฉีด ULEM สามารถใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในกล้วยไม้ และข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้สารฆ่าแมลงในกล้วยไม้ได้น้อย 30 เปอร์เซ็นต์ [1]

2.1.2 การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบพ่นหมอก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบพ่นหมอก และทดสอบหาค่าสมรรถนะของโรงเรือนต้นแบบที่สร้างขึ้น การลดอุณหภูมิในโรงเรือนอาศัยการพ่นหมอก เพื่อทำให้เกิดกระบวนการระเหยน้ำด้วยความร้อนแฝง และใช้พัดลมช่วยระบายอากาศขึ้นออกจากโรงเรือนพร้อมนำอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) ที่โปรแกรมการทำงานด้วยสมการสมดุลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่พัฒนาขึ้น ในการควบคุมหัวพ่นหมอกร่วมกับการระบายอากาศด้วยพัดลม โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22) ภายในและภายนอกโรงเรือน ต้นแบบโรงเรือนมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้งปั๊มน้ำความดันสูงขนาด 12 บาร์ และหัวพ่นหมอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 18 หัว พัดลมหมุนเวียนอากาศในโรงเรือน 2 ตัว และพัดลมระบายอากาศออก 4 ตัว ศึกษาในระบบในกรณีดังนี้ 1) การพ่นหมอกด้วยน้ำอุณหภูมิปกติและน้ำเย็นประมาณ 15°C 2) การใช้และไม่ใช้ม่านพรางแสงบนหลังคาโรงเรือน ผลทดสอบระบบพบว่าโรงเรือนที่ไม่ได้ติดม่านพรางแสงมีอุณหภูมิภายในมากกว่า 40°C และการติดม่านพรางแสงช่วยลดอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่า 40°C การพ่นหมอกด้วยน้ำอุณหภูมิปกติร่วมกับม่านพรางแสงมีค่า COP สูงสุด 5.64 การไม่ใช้ม่านพรางแสงทำให้ระบบมีความสามารถระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุด 99.36เปอร์เซ็นต์ และการใช้น้ำเย็นในระบบพ่นหมอกส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.72 kWh ต่อวัน [2]

2.1.3 ผลของระบบการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอม

การปลูกผักกาดหอมในระบบโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ช่วยให้ผลิตผักกาดหอมได้ตลอดปีแม้ในสภาพอุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกันต่อการผลิตผักกาดหอม 4 พันธุ์ ในโรงเรือน วางแผนทดลองแบบบล็อกกลุ่มสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1. ไม่เปิดระบบใด (ควบคุม) 2. ระบบพ่นหมอกไอน้ำร่วมกับพัดลม 3. ระบบพ่นหมอกไอน้ำร่วมกับพรางแสง และ 4. ระบบพ่นหมอกไอน้ำ พัดลม และพรางแสง พบว่าการเปิดระบบพ่นหมอกไอน้ำร่วมกับพัดลม ทำให้พันธุ์กรีนคอส, เรดโอ๊ค และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก มีการเจริญเติบโตและผลผลิตเหนือดินสูงสุด คือ 80.82, 52.65 และ 47.51 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ขณะที่ระบบพ่นหมอกไอน้ำ พัดลม และพรางแสง ทำให้พันธุ์เฮดมีผลผลิตสูงสุด 76.31 กรัมต่อต้น ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางเลือกใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมกับแต่ละพันธุ์ เพื่อผลผลิตตอบสนองความต้องการตลาดและผลิตรายได้ตลอดปี [3]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ผักกาดหอม (Lettuce)

1) **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์** ผักกาดหอมเป็นพืชฤดูเดียวที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป ต้นอวบสั้น มีช่วงข้อถี่ ใบเจริญเป็นกลุ่มจากข้อ อาจห่อหัวหรือไม่ห่อหัวขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลักษณะใบ และสีหลากหลาย บางพันธุ์ใบหนาแข็ง ขณะที่บางพันธุ์ใบอ่อนนุ่ม สีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวเข้ม ถึงแดง หรือน้ำตาล เช่น ผักกาดแก้วพันธุ์ห่อหัว ใบบาง กรอบ สีเขียวอ่อน และผักกาดหอมใบแดงไม่ห่อหัว ใบหยักเป็นคลื่น สีเขียวปนแดง ระบบรากเป็นรากแก้วที่เจริญเติบโตเร็วและลึก ดอกออกเป็นช่อแบบ panicle สูงประมาณ 2-4 ฟุต ในแต่ละช่อมีดอกสมบูรณ์เพศ 10-25 ดอก สีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกบานในช่วงเช้าและบานเพียงระยะสั้น โดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิต่ำ

2) **วิธีการเพาะปลูก** ผักกาดหอมสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วน แต่ยังสามารถปลูกได้ในดินหลายชนิด โดยดินที่ใช้ปลูกควรมีการระบายน้ำได้ดีและมีค่า pH ประมาณ 6.5-7 การปลูกสามารถทำได้โดยการขุดดินเป็นร่องตื้น และหว่านเมล็ดลงไป จากนั้นควรรดน้ำวันละ 2 ครั้ง คือ เช้า และ เย็นอย่างสม่ำเสมอ หลังจากผักกาดหอมงอกแล้ว อาจจำเป็นต้องทำการย้ายกล้า เพื่อไม่ให้กล้าหลายต้นอยู่ใกล้กันเกินไป เนื่องจากผักกาดหอมเป็นพืชที่ไม่ค่อยมีแมลงรบกวน จึงไม่จำเป็นต้องใช้ยาฆ่าแมลง แมลงศัตรูพืชที่พบได้แก่ เพลี้ยและหนอนกระทู้หอม ซึ่งมักพบในฤดูหนาวในพื้นที่ภาคกลาง และภาคเหนือ โดยผักกาดหอมสามารถเก็บเกี่ยวได้ในระยะเวลา 40-50 วันหลังการปลูก [4]



รูปที่ 2.1 ผักกาดหอม (Lettuce)

ที่มา: <https://www.morningfooddelivery.com/product/173007-167853>

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนหนึ่งที่ถูกฝังอยู่ในระบบมีหน้าประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากส่วนต่อพ่วงอินพุต/เอาต์พุต (Input / Output: I/O) โดยใช้ความสามารถจากหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ที่อยู่บนแผงวงจรหลัก (Mainboard) ในส่วนของข้อมูลต่าง ๆ ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับจะถูกเก็บเอาไว้ในหน่วยความจำชั่วคราวซึ่งเป็นส่วนที่ CPU เข้ามาดึงข้อมูลคำสั่งต่าง ๆ สำหรับนำไปใช้ถอดรหัสประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ที่เข้ามา แล้วจึงใช้ส่วน I/O สำหรับสั่งการตามคำสั่งที่ได้รับ [5]

2.2.3 เอชทีเอ็มแอล (HTML: Hypertext Markup Language)

เอชทีเอ็มแอล คือภาษาเครื่องหมาย (Markup Language) หลักที่ใช้ในการสร้าง และกำหนดโครงสร้างเนื้อหาของเว็บเพจ หรือข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในปัจจุบัน โดย HTML ใช้การจัดระเบียบเนื้อหาผ่านการใช้แท็ก (tags) ต่าง ๆ เช่น ข้อความ, รูปภาพ, ลิงก์, ตาราง และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ปรากฏบนหน้าเว็บไซต์

HTML มีบทบาทสำคัญในการกำหนดโครงสร้าง และความหมายของเนื้อหาบนหน้าเว็บ เช่น การระบุข้อความใดควรแสดงเป็นหัวข้อ หรือส่วนใดที่ต้องการเป็นลิงก์ไปยังหน้าหรือเว็บไซต์อื่น ๆ อย่างไรก็ตาม HTML ไม่ได้มีหน้าที่ในการจัดการเรื่องการออกแบบ หรือรูปแบบการแสดงผล ซึ่งจะเป็นหน้าที่ของ CSS (Cascading Style Sheets) และการกำหนดพฤติกรรมหรือการทำงานของหน้านั้น ๆ จะเป็นการควบคุมโดย JavaScript [6]

2.3 อุปกรณ์ที่สำคัญ

2.3.1 ยูเล็ม

ยูเล็ม (ULEM) ย่อมาจาก *Ultra Low Energy Mist* โดย รศ.ดร. ปองวิทย์ ศิริโพธิ์ เป็นผู้คิดค้นและพัฒนาขึ้นเป็นคนแรกของโลก การทำงานของยูเล็มใช้หลักการสร้างหมอกน้ำจากแรงเหวี่ยงของจานหมุนโดยไม่ใช้หัวฉีด ทำให้ยูเล็มมีจุดเด่นกว่าระบบสปริงเกอร์ตรงที่สามารถใช้น้ำอะไรก็ได้ โดยไม่มีการอุดตัน อีกทั้งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องปั๊มน้ำ

ยูเล็มได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายรุ่น จนถึงปัจจุบัน อาจารย์ปองวิทย์ และบ้านเห็ดได้แก้ไขข้อเสียของยูเล็มรุ่นก่อน ๆ และพัฒนาจานยูเล็มรุ่นใหม่ล่าสุด คือจานยูเล็มรุ่นที่มีขน ซึ่งขนจะขึ้นโดยรอบจาน ทำให้การทำงานของยูเล็มสามารถใช้งานได้หลากหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น ใช้ให้ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเพาะเห็ด ใช้ให้ความชื้นสัมพัทธ์ และรดน้ำในเรือนกล้วยไม้ หรือใช้รดน้ำใส่ปุ๋ย ฉีดพ่นยาฆ่าแมลงในแปลงผัก และใช้ลดความร้อนในปศุสัตว์ เป็นต้น

1) การใช้ยูเล็มให้เหมาะสม

1. ไม่ใช้ยูเล็มทำงานอย่างต่อเนื่องเกินกว่า 2 ชั่วโมงต่อครั้ง และต้องพักไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง
2. ควรใช้ยูเล็มกับอุปกรณ์ควบคุมเวลา (Timer)
3. ยูเล็มใช้ไฟฟ้า 12 V DC และใช้กระแสไฟ 1.3 W
4. ไม่ใส่จานยูเล็มขณะที่ยูเล็มทำงานอยู่ [7]



รูปที่ 2.2 ยูเล็ม

ที่มา: <https://banhed1.blogspot.com/p/ulem.html>

2.3.2 บอร์ด ESP32

บอร์ด ESP32 มีความสามารถในการเชื่อมต่อไวไฟ และมีการใช้งานแพร่หลายในงาน IoT เช่น การเชื่อมต่อผ่านแอปพลิเคชัน Blynk หรือการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line เป็นต้น ESP32 มีจำนวนขา Analog และขา Digital มากกว่า ESP8266 นอกจากนี้ ESP32 ยังมีความละเอียดของ Analog Input ที่ 12-bit ซึ่งมีความละเอียดมากกว่า Arduino UNO R3 (10-bit) และ ESP8266 (10-bit) ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 V ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง $2.5 \mu A$ มีสเปคโดยละเอียด ดังนี้

1. ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240 MHz
2. มีแรมในตัว 512 KB
3. รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16 MB
4. มาพร้อมกับ Wi-Fi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station soft AP และ Wi-Fi direct
5. มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
6. ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 V ถึง 3 V

7. ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C [8]

โหมด AP

AP ย่อมาจาก Access Point เป็นโหมดที่จะใช้ ESP32 เป็นตัวปล่อยสัญญาณ Wi-Fi ออกไปเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ มาเชื่อมต่อด้วย ทั้งนี้ ESP32 จะรองรับอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อด้วยเพียง 1 ตัวเท่านั้น เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือติดต่อกับอุปกรณ์อื่นในวงแลน นอกจากนี้โหมดนี้ ยังเหมาะกับการนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่าน Wi-Fi อีกด้วย ซึ่งงานควบคุมที่สามารถย้ายที่ได้ และ ไม่ต้องใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตจะเหมาะกับการใช้งาน ESP32 ในโหมด AP [9]



รูปที่ 2.3 บอร์ด ESP32

(ที่มา: <https://www.imiconsystem.com/product/esp32-nodemcu/>)

2.3.3 เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Intensity)

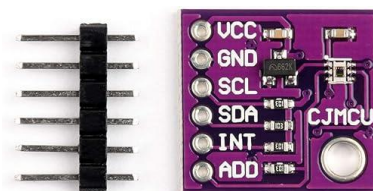
MCU-3001 OPT3001 Ambient Light sensor module โมดูลเซ็นเซอร์แสงสว่าง MCU-3001 OPT3001 เป็นการผสมผสานการทำงานของเซ็นเซอร์แสงสว่างที่มีความแม่นยำสูงรุ่น OPT3001 ซึ่งมีเอาต์พุตในรูปแบบดิจิตอล โมดูลนี้ถูกออกแบบมา เพื่อให้สามารถวัดความเข้มของแสงในสภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำในหลากหลายแอปพลิเคชัน โดยสามารถให้ผลลัพธ์เป็นค่าความสว่างในหน่วย Lux ภายในช่วงความสว่างที่กว้าง โมดูลดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต ทีวี LCD รวมถึงระบบการควบคุมแสงสว่างทั้งในภาคอุตสาหกรรม และที่อยู่อาศัย อีกทั้งยังเหมาะสมกับแอปพลิเคชันที่ต้องการการปรับความสว่างโดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

1) คุณสมบัติของโมดูลเซ็นเซอร์วัดแสง MCU-3001 OPT3001

1. เซ็นเซอร์แสงสว่างที่มีความแม่นยำสูง
2. วัดความเข้มของแสงในหน่วย Lux
3. ช่วงความสว่างกว้าง เหมาะสมกับสภาพแสงที่หลากหลาย
4. อินเทอร์เฟซ I²C สำหรับการเชื่อมต่อที่ง่ายกับไมโครคอนโทรลเลอร์
5. การใช้พลังงานต่ำ
6. พีเจอาร์การตั้งค่าระดับเต็มโดยอัตโนมัติ
7. เอาต์พุตที่ได้รับการชดเชยอุณหภูมิ และการสอบเทียบ
8. ขนาดกะทัดรัดสำหรับการรวมเข้ากับการออกแบบได้ง่าย

2) คุณสมบัติของโมดูลเซ็นเซอร์วัดแสง MCU-3001 OPT3001

1. ประเภทเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์แสงสว่าง
2. ช่วงการวัด 0.01 – 83,000 ลูเมน
3. เอาต์พุต ค่าความสว่างในหน่วย Lux ผ่านอินเทอร์เฟซ I²C
4. แหล่งจ่ายไฟ ระบุช่วงแรงดัน
5. อินเทอร์เฟซ I²C (Inter-Integrated Circuit)
6. ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน -40°C ถึง +85°C
7. ขนาด 2.0 มม. × 2.0 มม. × 0.65 มม. [10]



รูปที่ 2.4 MCU-3001-OPT3001 Light Sensor Module

ที่มา: <https://www.amazon.sg/MCU-3001-OPT3001-Ambient-Sensor-Response>

2.3.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Humidity Sensor)

BME280 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์สภาพแวดล้อมที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์นี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดสภาพอากาศ และสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้งานได้ทั้งในโหมด I²C และ SPI

เซ็นเซอร์ BME280 สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยความแม่นยำ ± 3 เปอร์เซ็นต์ ความแม่นยำในการวัดความดันบรรยากาศที่ ± 1 hPa และความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่ $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ นอกจากนี้เนื่องจากความดันบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามความสูงจากระดับน้ำทะเล และการวัดความดันของเซ็นเซอร์มีความแม่นยำสูง จึงสามารถใช้เซ็นเซอร์นี้เป็นเครื่องวัดความสูง (altimeter) ด้วยความแม่นยำถึง ± 1 เมตร

1) คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ BME280

1. แรงดันไฟฟ้าเลี้ยง 1.8 - 3.6V DC
2. ช่วงแรงดันไฟฟ้าอินเทอร์เฟซ VDDIO 1.2V ถึง 3.3V
3. อินเทอร์เฟซ I²C (สูงสุด 3.4MHz), SPI (สูงสุด 10 MHz)

2) ช่วงการทำงาน

1. อุณหภูมิ -40 ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
2. ความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 เปอร์เซ็นต์
3. ความดัน 300-1100 hPa

3) ความละเอียด

1. อุณหภูมิ 0.01°C
2. ความชื้นสัมพัทธ์ 0.008 เปอร์เซ็นต์
3. ความดัน 0.18Pa

4) ที่อยู่ I²C

1. SDO LOW 0x76
2. SDO HIGH 0x77 [11]



รูปที่ 2.5 เซ็นเซอร์ BME280

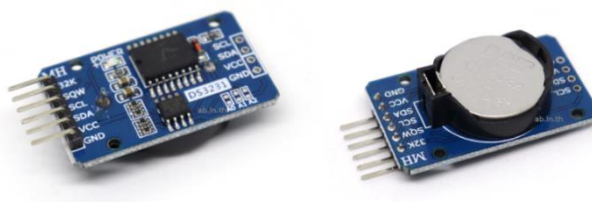
ที่มา: <https://www.alselectro.in/product-page/bmp-bme-280-pressure-sensor>

2.3.5 โมดูลนาฬิกา (DS3231 Real Time Clock Module)

DS3231 เป็นนาฬิกาเรียลไทม์ (RTC) แบบ I²C ที่มีความแม่นยำสูง พร้อมทั้งมีวงจรควบคุมความถี่คริสตัลที่ปรับอุณหภูมิ (TCXO) และคริสตัลในตัว อุปกรณ์นี้มีอินพุตแบตเตอรี่ที่ช่วยให้สามารถรักษาความแม่นยำในการเก็บข้อมูลเวลาได้แม้ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟหลักถูกตัด โดยการรวมวงจรคริสตัล เรโซเนเตอร์ช่วยเพิ่มความแม่นยำระยะยาว และลดจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการผลิต

1) คุณสมบัติ และข้อดี

1. ความแม่นยำ $\pm 2\text{ppm}$ จาก 0°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ และ $\pm 3.5\text{ppm}$ จาก -40°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
2. การวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ $\pm 3^{\circ}\text{C}$
3. นับวินาที นาฬิกา ชั่วโมง วันที่ เดือน วันในสัปดาห์ และปี
4. การตั้งเวลาปลุกสองช่อง และการตั้งค่าคลีนส์สเลียมที่สามารถตั้งโปรแกรมได้
5. อินเตอร์เฟซ I²C ความเร็วสูง (400kHz)
6. อินพุตแบตเตอรี่สำรองเพื่อการเก็บเวลาต่อเนื่อง [12]



รูปที่ 2.6 DS3231 Real Time Clock Module

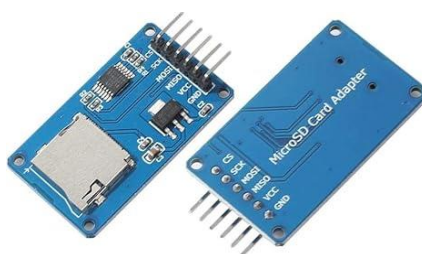
ที่มา: <https://www.ab.in.th/product/140/ds3231-rtc-real-time-clock-module-at24c32>

2.3.6 โมดูล MicroSD Card (SPI Interface)

MicroSD Card เป็นโมดูลสำหรับอ่านการ์ด Micro SD โดยผ่านระบบไฟล์ และไดรเวอร์ SPI อินเทอร์เฟซ เพื่อให้ MCU สามารถทำการอ่าน และเขียนข้อมูลบนการ์ด MicroSD ผู้ใช้สามารถใช้ไลบรารีที่มาพร้อมกับ IDE เพื่อทำการเริ่มต้นการ์ด และการอ่าน เขียนข้อมูลได้โดยตรง

1) คุณสมบัติของโมดูล:

1. รองรับการ์ด Micro SD และ Micro SDHC (การ์ดความเร็วสูง)
 2. วงจรแปลงระดับแรงดันที่รองรับทั้ง 5V และ 3.3V
 3. แหล่งจ่ายไฟ 4.5V ~ 5.5V พร้อมวงจรปรับแรงดัน 3.3V
 4. อินเทอร์เฟซการสื่อสารมาตรฐาน SPI
 5. รูยัดสกรู M2 ขนาด 4 รู สำหรับการติดตั้งที่สะดวก
- 2) อินเทอร์เฟซการควบคุม มีขา 6 ขา โดย GND เชื่อมต่อกับกราวด์, VCC เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน, MISO, MOSI, SCK เป็นบัส SPI, CS คือขาสัญญาณเลือกชิป
- 3) วงจรปรับระดับแรงดัน 3.3V วงจร LDO regulator ที่เอาต์พุตเป็นระดับ 3.3V สำหรับแปลงระดับแรงดัน และจ่ายพลังงานให้กับ Micro SD card
- 4) วงจรแปลงระดับแรงดัน แปลงสัญญาณจาก Micro SD card เป็น 3.3V โดยควบคุมทิศทางสัญญาณ MISO ให้เหมาะสม เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR อ่านสัญญาณได้
- 5) ตัวเชื่อมต่อ Micro SD card: มีตัวเชื่อมต่อที่สามารถใส่การ์ดได้ง่าย [13]



รูปที่ 2.7 MicroSD Card

ที่มา: <https://www.amazon.com/Module-Storage-Adapter-Interface-Arduino>

2.3.7 โมดูลรีเลย์ 3.3 V 4 ช่อง (Relay Module 4 Channel 3.3V)

โมดูล Relay 3V 4 Channel คือโมดูลรีเลย์ที่ควบคุมการเปิดปิดวงจรไฟฟ้าด้วยสัญญาณควบคุมแรงดัน 3V โดยมี 4 ช่องรีเลย์ที่ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino หรือ Raspberry Pi ได้ โมดูลนี้กระตุ้นได้ทั้งแบบ High-Level Trigger และ Low-Level Trigger หมายความว่ารีเลย์จะทำงานเมื่อสัญญาณควบคุมมีแรงดันสูง (3V หรือ "HIGH") หรือแรงดันต่ำ (0V หรือ "LOW") ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าผ่านจัมเปอร์บนบอร์ด ทำให้โมดูลนี้ยืดหยุ่นต่อการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต้องการสัญญาณเปิดหรือปิดวงจรต่างกัน

รายละเอียดของโมดูล

1. โมดูลใช้รีเลย์คุณภาพสูงจากแบรนด์ BESTEP รองรับภาระสูงสุด AC 250V / 10A, DC 30V / 10A
2. ใช้ Optocoupler แบบ SMD สำหรับแยกสัญญาณ ควบคุมด้วยกระแสเพียง 5mA เพื่อความเสถียร
3. รองรับแรงดันทำงานหลายระดับ ได้แก่ 3V, 5V, 12V และ 24V
4. ตั้งค่าการกระตุ้นได้ทั้งแบบ High-level และ Low-level ผ่านจัมเปอร์บนบอร์ด
5. มีการออกแบบแบบ Fault-tolerant เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของรีเลย์เมื่อตัวควบคุมมีปัญหา
6. ไฟแสดงสถานะการจ่ายพลังงาน (สีเขียว) และสถานะการทำงานของรีเลย์ (สีแดง) พร้อมอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายผ่านหัวต่อสายไฟ [14]



รูปที่ 2.8 Relay 3V 4 Channel

ที่มา: <https://www.tido.tech/index.php/product/relay-module-3v-4-channel>

2.3.8 ปั๊มน้ำกระแสตรง (DC Motor Pump)

ปั๊มน้ำกระแสตรง เป็นปั๊มที่ขนส่งของเหลวหรือแรงดันของเหลว โดยเมื่อปั๊มน้ำทำงานคอยล์และตัวสับเปลี่ยนจะหมุน แต่แปรงแม่เหล็ก และแปรงถ่านจะไม่หมุน ทิศทางกระแสลับของขดลวดเปลี่ยน โดยตัวสับเปลี่ยน และแปรงที่หมุนด้วยมอเตอร์ ปั๊มที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้ไฟฟ้าจากมอเตอร์ แบตเตอรี่ หรือพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเคลื่อนย้ายของไหลได้หลากหลายวิธี ปั๊มแบบใช้มอเตอร์มักจะทำงานโดยใช้ไฟ DC 6, 12, 24 หรือ 32 โวลต์ เนื่องจากปั๊มกระแสตรง ทำงานในน้ำจะถูกระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อทำงาน และเครื่องสามารถทำงานได้นานขึ้นด้วยรูปแบบการทำงานนี้ [15]



รูปที่ 2.9 ปั๊มน้ำกระแสตรง

ที่มา: <https://images.app.goo.gl/5gzbhq9QZYQoxCf56>

2.3.9 มอเตอร์เกียร์กระแสตรง (DC)

มอเตอร์เกียร์กระแสตรงขนาดเล็ก หมายความว่ามอเตอร์ไมโครดีซีที่ติดตั้งชุดเกียร์ เพื่อเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์ มีน้ำหนักเบา แรงบิดสูง และมอเตอร์รอบต่ำ ฟังก์ชันมอเตอร์เกียร์กระแสตรงขนาดเล็ก คือการปรับความเร็วเอาต์พุต , แรงบิดที่เพิ่มขึ้น แบ่งออกเป็น มอเตอร์เกียร์แบบมีแปรงขนาดเล็ก, มอเตอร์เกียร์แบบไม่มีแปรงถ่าน, ตัวลดขนาดไร้แกนขนาดเล็ก ฯลฯ โครงสร้างของมอเตอร์ ไมโครเกียร์ประกอบขึ้นด้วยไมโครมอเตอร์ และกล่องเกียร์ที่รอบม้วนสามารถให้แรงบิดสูงและความเร็วเอาต์พุตต่ำความเร็วที่ต่ำกว่าแรงบิดที่มากขึ้นความเร็วที่สูงขึ้น คือแรงบิดที่เล็กลงยิ่งโหลดที่ขับเคลื่อนด้วยแรงบิดมากเท่าไร อัตราส่วนการลดลงก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น [16]



รูปที่ 2.10 มอเตอร์เกียร์ดีซี

ที่มา: https://www.hsiangneng.com/th/product/micro-dc-motors_HN210.html

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และขั้นตอนการสร้างโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติผ่านการใช้งานงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำ โดยนำความรู้จากทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และพัฒนาระบบควบคุมการรดน้ำ การตรวจสอบ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสงภายในโรงเรือน เพื่อให้มั่นใจว่าระบบดังกล่าวจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของพืชได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ยังได้ศึกษาการทำงานของงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำเพื่อให้มั่นใจว่าระบบจะสามารถกระจายน้ำได้อย่างทั่วถึง และมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในการวิจัยครั้งนี้

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.2 แผนการดำเนินงาน

3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติ

3.4 การออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติ

3.5 การออกแบบงานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติ

3.6 การสร้าง และติดตั้งอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.7 การออกแบบชุดควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.8 การออกแบบเงื่อนไขโปรแกรมสำหรับควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.9 การออกแบบวงจรควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

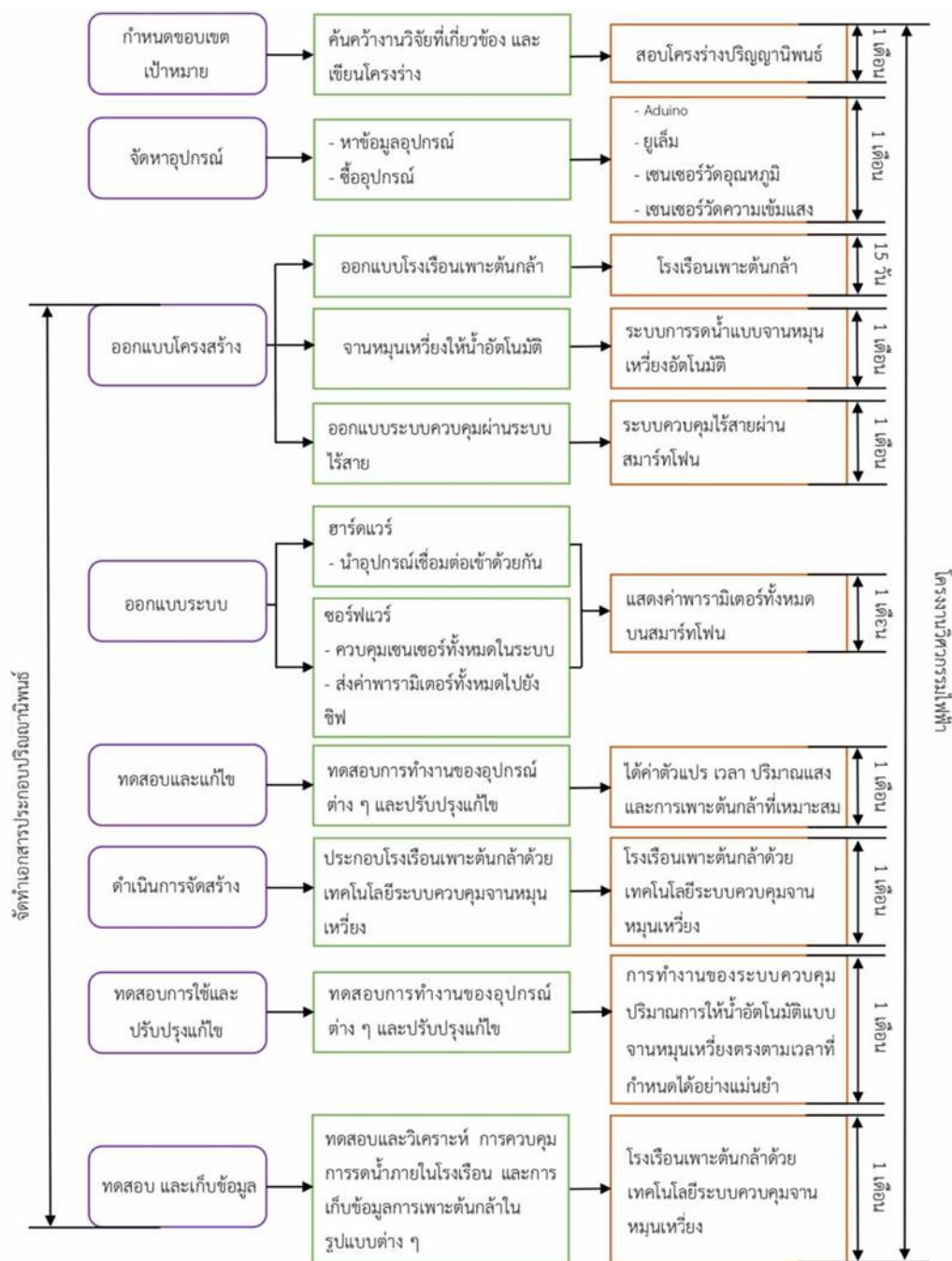
3.10 ไดอะแกรมวงจรต่อใช้งานของอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม และตัวตรวจรู้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

- 3.12 การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (มิลลิลิตรต่อหัว)
- 3.13 การทดสอบงานการทำงานของจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ
- 3.14 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD
- 3.15 การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD
- 3.16 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823
- 3.17 การทดสอบการทำงานของระบบ
- 3.18 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2
- 3.19 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.1 วิธีการดำเนินงาน

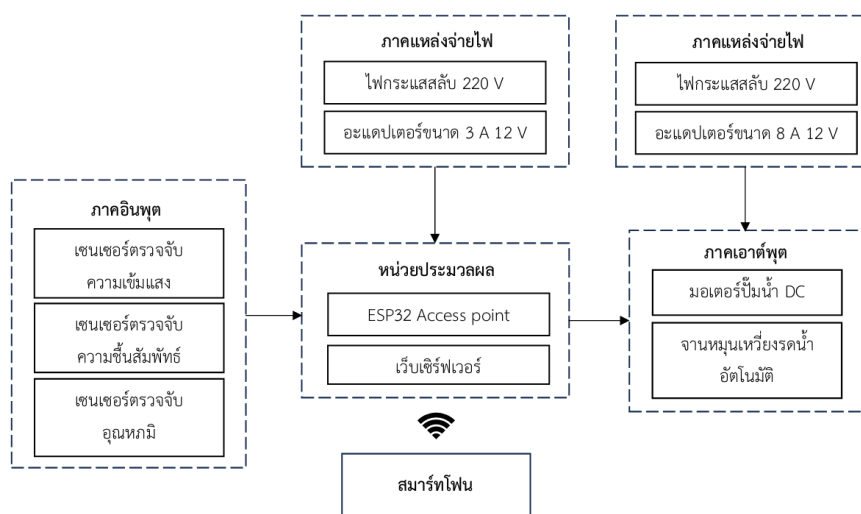
3.1.1 ผังแสดงวิธีการดำเนินโครงการ



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินงานปัญญานิพนธ์

3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีให้น้ำจางหมุนเหวี่ยงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบไร้สายผ่านสมาร์ทโฟน

สำหรับการออกแบบการทำงานของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีให้น้ำจางหมุนเหวี่ยงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบไร้สายผ่านสมาร์ทโฟน แบ่งออกเป็นภาคต่าง ๆ ได้ดังนี้ 1) แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า 2) ภาคอินพุต 3) ภาคประมวลผล 4) ภาคเอาต์พุต ตามลำดับ แสดงดังรูป



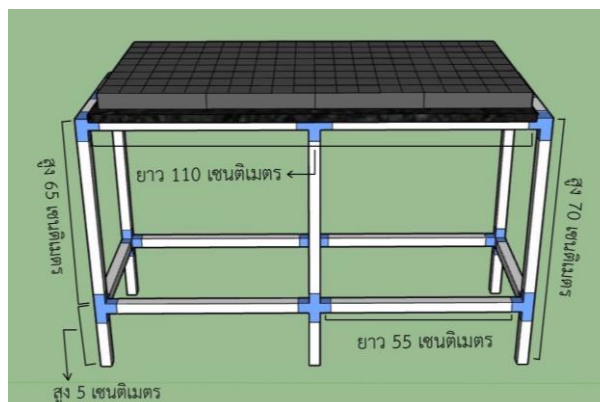
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบโรงเรือน

จากรูปที่ 3.2 เป็นแผนผังการทำงานของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจางหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ โดยมี 1) ภาคแหล่งจ่ายไฟ เป็นชุดที่แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นกระแสตรง (DC) โดยใช้อะแดปเตอร์ขนาด 8 แอมแปร์ 12 โวลต์ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ ปั๊มน้ำ และมอเตอร์กระแสตรง (DC) ของจางหมุนเหวี่ยง ส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้อะแดปเตอร์ขนาด 3 แอมแปร์ 12 โวลต์ เพื่อให้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย 2) ภาคอินพุต ทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยใช้เซ็นเซอร์เฉพาะ จากนั้นส่งข้อมูลไปยังภาคประมวลผล 3) ภาคประมวลผล ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับค่าเวลาที่ตั้งค่าจากแอปพลิเคชัน หากค่าเวลานั้นตรงกับที่กำหนด หรือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าที่กำหนด ระบบจะสั่งการให้ภาคเอาต์พุตทำงาน นอกจากนี้ยังรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อบันทึก และแสดงผลบนแอปพลิเคชัน 4) ภาคเอาต์พุต รับคำสั่งจากภาคประมวลผล เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ และ

มอเตอร์กระแสตรง (DC) ของจานหมุนเหวี่ยง เพื่อปรับแต่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า

3.4 การออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

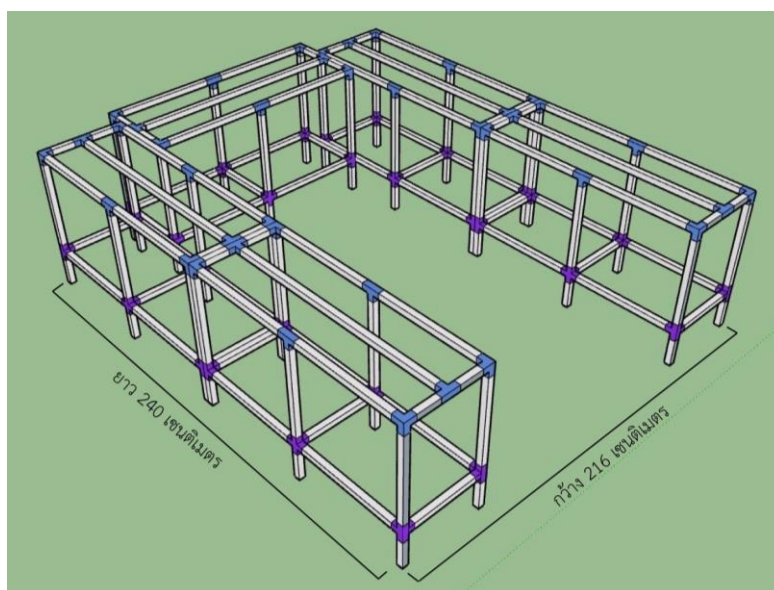
การออกแบบโครงสร้างฐานสำหรับการเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้า โดยใช้เทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติ พิจารณาให้เหมาะสมกับการทำงาน และการใช้งานภายในโรงเรือน ทั้งนี้ฐานเพาะปลูกถูกกำหนดให้มีความสูง 70 เซนติเมตร เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึง และปฏิบัติงานโครงสร้างดังกล่าวได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับถาดเพาะต้นกล้าได้ 4 ถาดต่อชุดฐาน โดยมีจำนวนฐานทั้งหมด 5 ฐาน ทำให้สามารถรองรับต้นกล้าได้รวม 2,100 ต้น การจัดวางถาดได้รับการวางแผนให้เอื้อต่อการดูแล ตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้า และอำนวยความสะดวกต่อการทำงานของระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติผ่านจานหมุนเหวี่ยง ซึ่งช่วยให้การกระจายน้ำเป็นไปอย่างทั่วถึงและสอดคล้องกับความต้องการของต้นกล้าแต่ละต้น นอกจากนี้การออกแบบดังกล่าวยังช่วยลดความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงเพิ่มความสะดวกในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบต่าง ๆ ภายในโรงเรือน



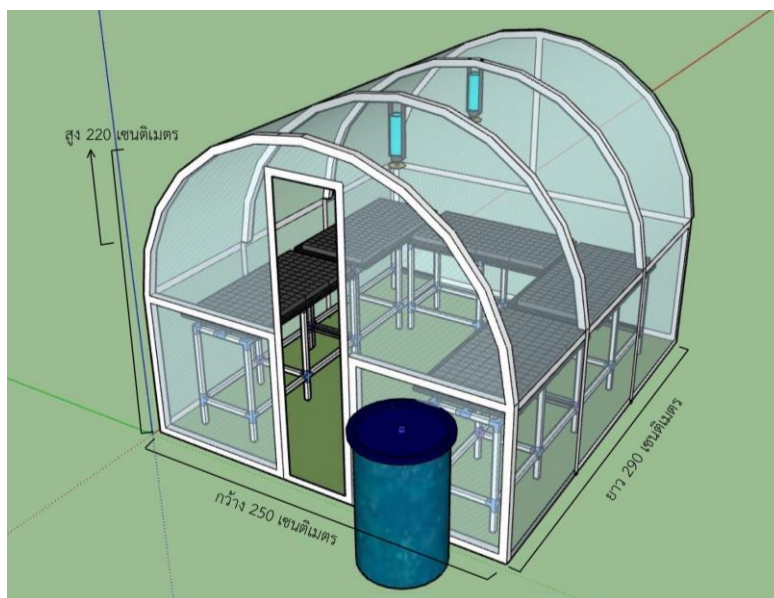
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอุณหภูมิและแสงสว่างอัตโนมัติ (ด้านข้าง)



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างฐานวางเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอุณหภูมิและแสงสว่างอัตโนมัติ

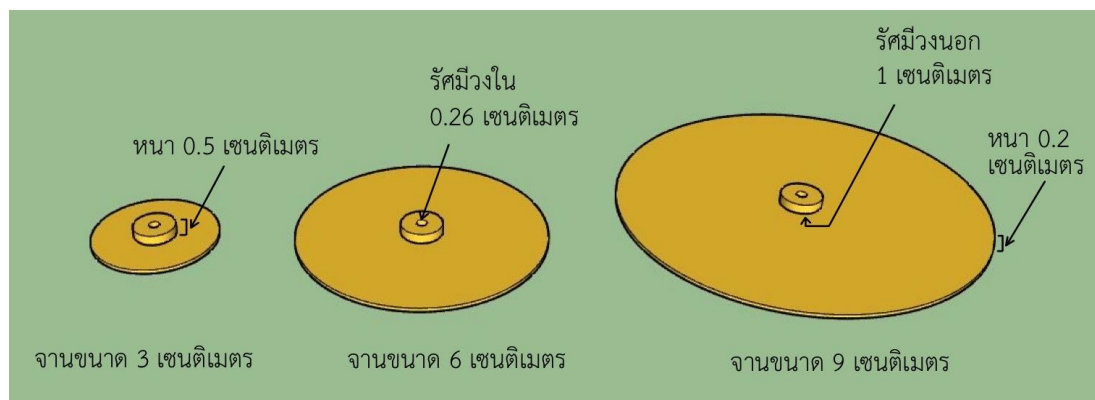


รูปที่ 3.6 แบบจำลองการออกแบบโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.5 การออกแบบจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

การออกแบบจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติในโครงการนี้ได้รับการพิจารณาให้มีทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร โดยใช้วัสดุที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบ และคัดเลือกขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกระจายน้ำภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าทั้งนี้ การเลือกใช้วัสดุที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและทนทานต่อแรงหมุนและแรงดันน้ำ ลดความเสี่ยงต่อการบิดงอ หรือแตกหัก อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการสั่นหรือเสียรูปที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้วัสดุที่บางเกินไป ส่งผลให้จานหมุนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกระจายน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ

จานหมุนเหวี่ยงรดน้ำจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมภายในโรงเรือน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมีการทดสอบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละขนาด เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้จานหมุนที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้น้ำแก่ต้นกล้า และตอบสนองต่อความต้องการน้ำในแต่ละช่วงของการเพาะต้นกล้าได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการออกแบบจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



รูปที่ 3.8 แบบจำลองการออกแบบจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.6 การสร้าง และติดตั้งอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

1) การประกอบฐานวางถาดเพาะปลูกจะมีความสูง 70 เซนติเมตร เพื่อความสะดวกในการทำงาน และการดูแลต้นกล้า ขนาดของโรงเรือนถูกกำหนดให้มีความกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2.9 เมตร และความสูง 2.2 เมตร ฐานจะรองรับถาดเพาะปลูกจำนวน 4 ถาดต่อ 1 ชุด โดยมีทั้งหมด 5 ชุด รวมจำนวนถาดทั้งหมด 20 ถาด

2) การติดตั้งงานหมุนเหวี่ยงรดน้ำอัตโนมัติ 2 ตัว ออกแบบตำแหน่งให้เหมาะสมกับขนาด และรูปทรงของโรงเรือน เพื่อให้การกระจายน้ำทั่วถึงและสม่ำเสมอ งานหมุนควงมีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ปลูกวัสดุของงานควรทนทานต่อความชื้นสัมพัทธ์ และใช้งานระยะยาว การวางตำแหน่งที่ดีช่วยให้กระจายน้ำได้ทั่วถึงทั้งโรงเรือน และเพิ่มคุณภาพการเพาะปลูก



รูปที่ 3.9 ออกแบบฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน



รูปที่ 3.10 ประกอบฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน



รูปที่ 3.11 จัดวางฐานวางถาดเพาะปลูกต้นกล้าภายในโรงเรือน

3.7 การออกแบบชุดระบบควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

ระบบควบคุมนี้ได้รับการออกแบบมา เพื่อใช้งานในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยี การควบคุมงานหมุนเหวี่ยงสำหรับการรดน้ำอัตโนมัติ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) ซึ่งจะถูกแปลงผ่านอะแดปเตอร์เป็นกระแสตรง (DC) เพื่อให้สามารถจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ปั๊มน้ำ และมอเตอร์กระแสตรง (งานหมุนเหวี่ยง)

3.7.1 การคำนวณกำลังไฟฟ้า (Power)

1) กำลังไฟฟ้า (Electric Power) คือค่าที่แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยที่ทุกอุปกรณ์ไฟฟ้ามักจะมีระบุ โดยใช้สัญลักษณ์ตัว “P” และมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัว “W” และสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P=V \times I$$

เมื่อ	P	คือพลังงานหรือกำลังไฟฟ้า (หน่วยเป็นวัตต์)
	V	คือแรงดันไฟฟ้า (หน่วยเป็นโวลต์)
	I	คือกระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็นแอมแปร์)

กำลังไฟฟ้ารวมของระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชิ้นสามารถดำเนินการได้โดยการรวมกำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P_{\text{รวม}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

เมื่อ	$P_{\text{รวม}}$	คือกำลังไฟฟ้ารวมของระบบ
	$P_1 P_2 P_3 P_n$	คือกำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ

3.7.2 การคำนวณกระแส (Current)

กระแสไฟฟ้า (Current) คือการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง จากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าลบ ไปยังวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวก ใช้สัญลักษณ์แทนกระแสไฟฟ้า คือ “I” และมีหน่วยวัดเป็น แอมแปร์ (Ampere) ใช้สัญลักษณ์เป็น “A” สามารถใช้สูตรพื้นฐานได้ดังนี้

$$I = \frac{P}{V}$$

เมื่อ	I	คือกระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็นแอมแปร์)
	P	คือพลังงานหรือกำลังไฟฟ้า (หน่วยเป็นวัตต์)
	V	คือแรงดันไฟฟ้า (หน่วยเป็นโวลต์)

3.7.3 การคำนวณแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

แรงดันไฟฟ้า (Voltage) คือแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานของวงจรระหว่างจุดสองจุด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ใช้สัญลักษณ์ย่อเป็นตัว “V” สามารถคำนวณแรงดัน (Voltage) ได้จากสูตร

$$V = \frac{P}{I}$$

เมื่อ	V	คือแรงดันไฟฟ้า (หน่วยเป็นโวลต์)
	P	คือพลังงานหรือกำลังไฟฟ้า (หน่วยเป็นวัตต์)
	I	คือกระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็นแอมแปร์)

ตารางที่ 3.7.1 แสดงค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในโรงเรือน

ลำดับ	อุปกรณ์	กระแสไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า
1	ปั๊มน้ำ DC	350.00 mA	12.00 V	4.20 W
2	มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง	89.00 mA	12.00 V	1 มอเตอร์ = 10.68 W 2 มอเตอร์ = 21.36 W
3	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	350.00 mA	3.30 V	1,155.00 mW
4	เซ็นเซอร์ MCU-3001 OPT3001	0.10 mA	3.30 V	0.33 mW
5	เซ็นเซอร์ BME280	27.0 mA	3.30 V	8.91 mW
6	โมดูลนาฬิกา DS3231	โหมดสแตนด์บาย 2.50 mA ช่วงการอัปเดตเวลา 0.50 mA	5.00 V	โหมดสแตนด์บาย 12.50 mW ช่วงการอัปเดตเวลา 2.50 mW
7	โมดูล MicroSD Card	≈ 0.04 mA	3.30 V	165.00 mW
8	โมดูลรีเลย์ 3.3V 4 ช่อง	5.00 mA	3.30 V	1 ช่อง 16.50 mW 4 ช่อง 66.00 mW

กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมด = 4.20 W + 21.36 W + 1,155.00 mW + 0.33 mW + 12.50 mW + 165.00 mW + 66.00 mW = 26.96 W

3.7.4 ข้อผิดพลาดร้อยละ

ข้อผิดพลาดร้อยละ (Percentage Error) หรือข้อผิดพลาดเปอร์เซ็นต์ หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าที่ประมาณหรือค่าที่วัดได้กับค่าที่แน่นอนหรือค่าที่ทราบ โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ข้อผิดพลาดร้อยละมีความสำคัญในการประเมินความแม่นยำ และความถูกต้องของการวัดในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยการเบี่ยงเบนจากค่าที่คาดหวังอาจชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหรือการทดลองต่าง ๆ ได้

สูตรการคำนวณข้อผิดพลาดเปอร์เซ็นต์มีดังนี้

$$\text{Relative error} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right|$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Error} = \text{Relative error} \times 100$$

โดย X_t คือค่าจริง (True value)

X_{mea} คือค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

3.7.5 ค่าเฉลี่ย

การหาค่าเฉลี่ยเป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้ในการคำนวณค่ากลางของชุดข้อมูล โดยนำผลรวมของข้อมูลทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อให้ได้ค่าที่สะท้อนแนวโน้มของข้อมูลในภาพรวม

1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลไม่แจกแจงความถี่

ข้อมูลไม่แจกแจงความถี่จะมีลักษณะเป็นตัว ๆ คือ $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

โดย $\bar{X}$ คือค่าเฉลี่ย (เอ็กซ์บาร์)

$X_1 + X_2 + \dots + X_n$ คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดรวมกัน

n คือจำนวนของข้อมูล

3.7.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นมาตรวัดทางสถิติที่ใช้ในการประเมินระดับการกระจายตัวหรือความแปรปรวนของข้อมูลในสถิติเชิงพรรณนา โดยแสดงให้เห็นว่าค่าของข้อมูลแต่ละจุดมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด

$$S.D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

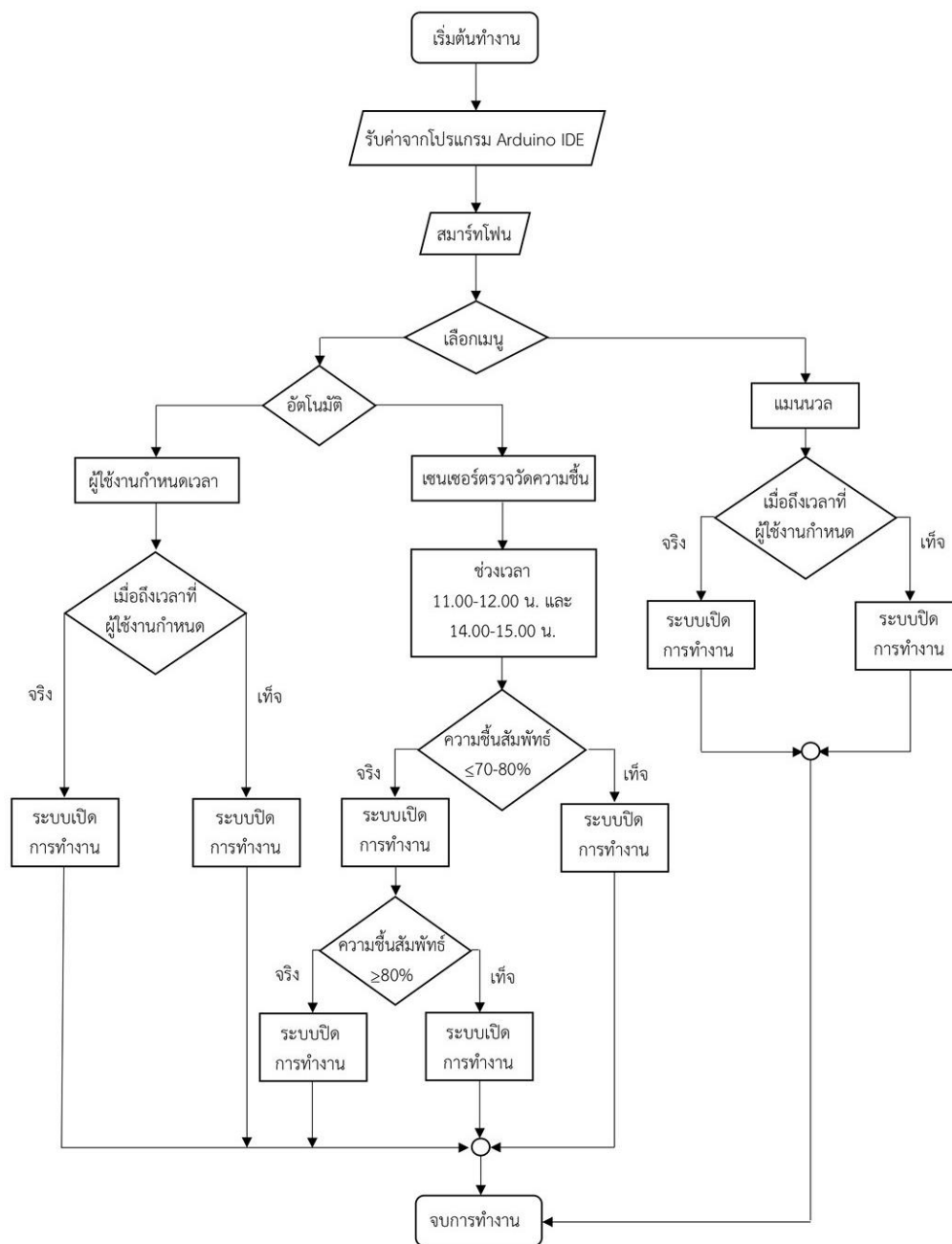
โดย S.D คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n คือ จำนวนข้อมูล

x_i คือ ข้อมูลแต่ละตัว

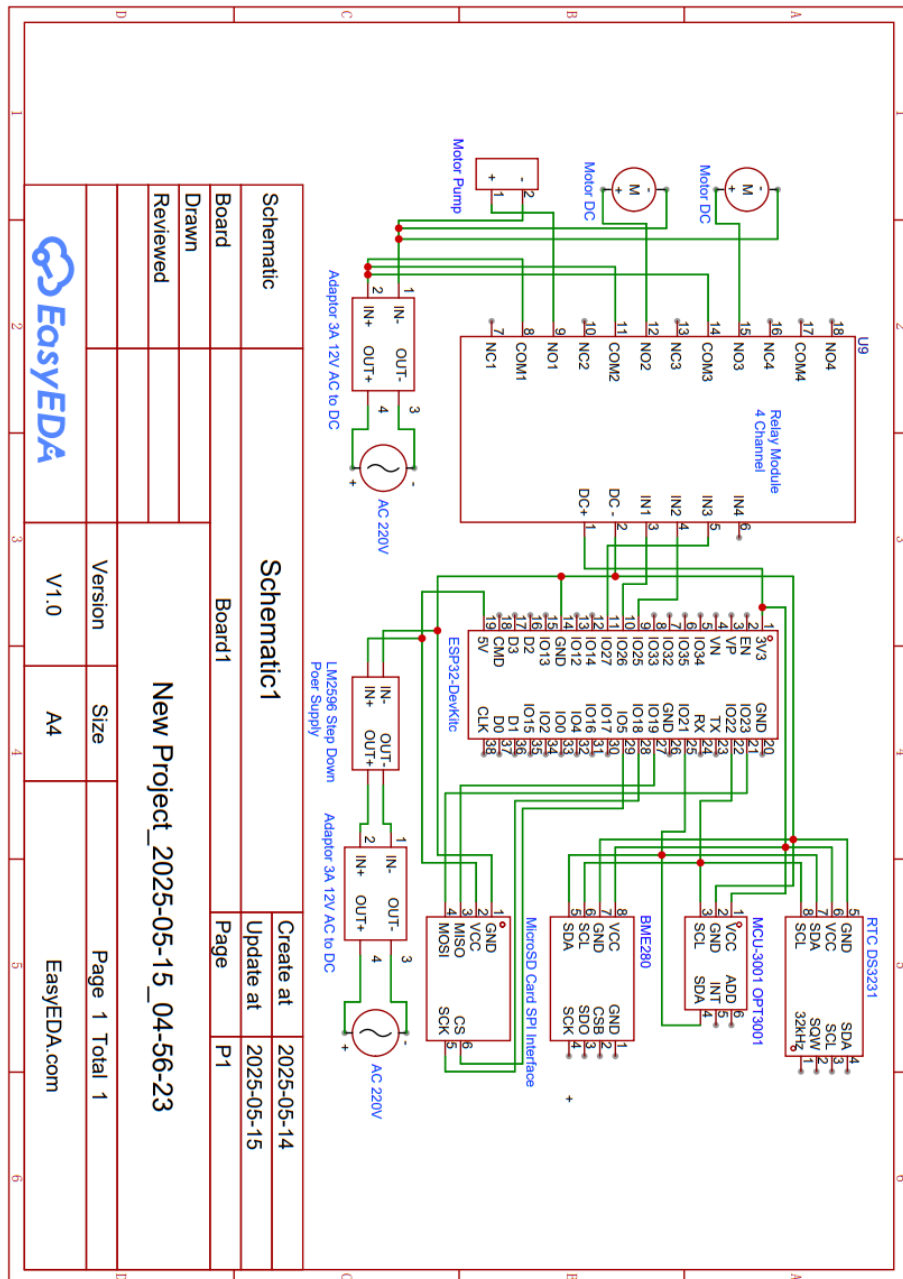
$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

3.8 การออกแบบเงื่อนไขโปรแกรมสำหรับควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



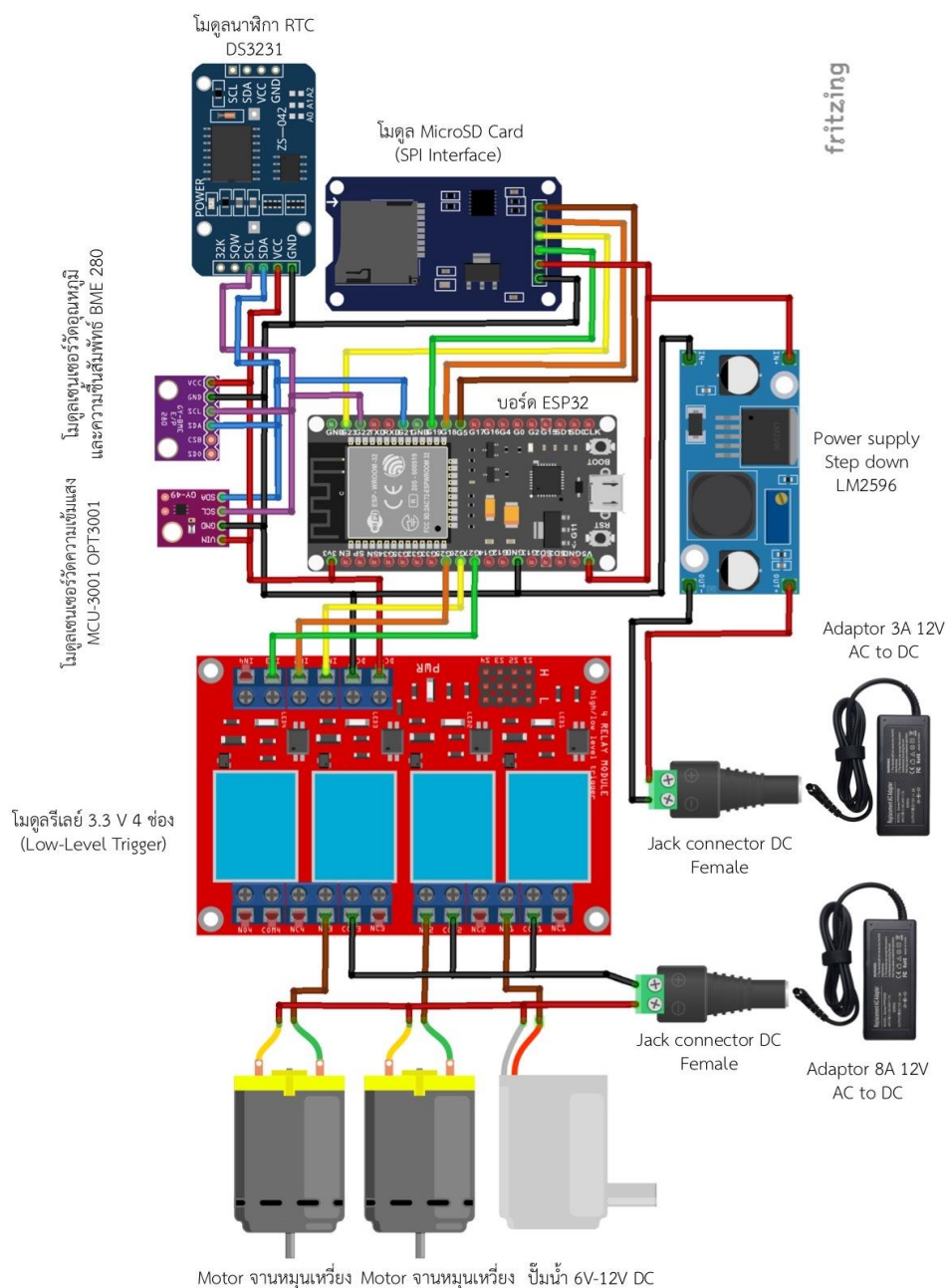
รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.9 การออกแบบวงจรควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



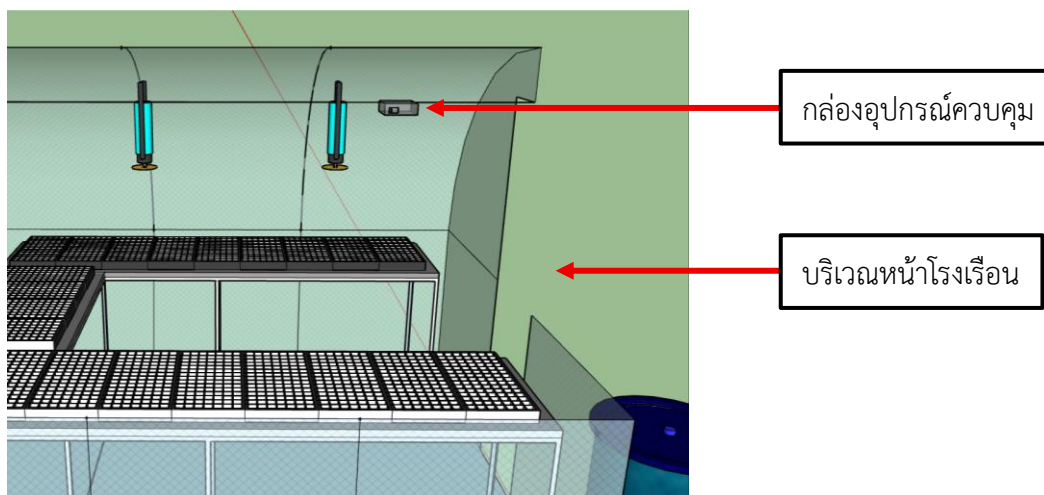
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.10 ไดอะแกรมวงจรต่อใช้งานของอุปกรณ์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม งานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

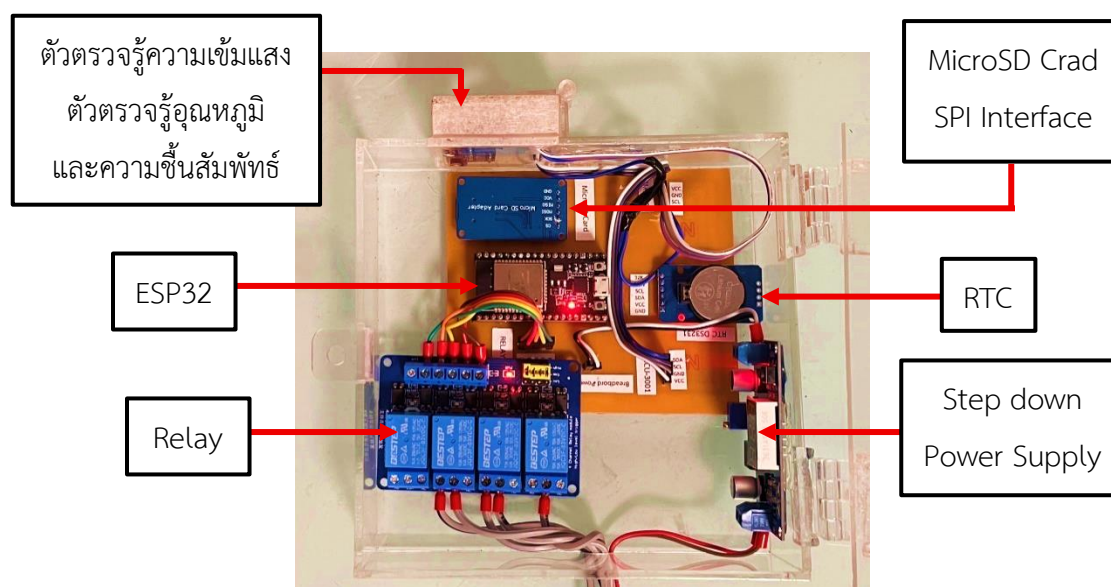


รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมวงจรควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

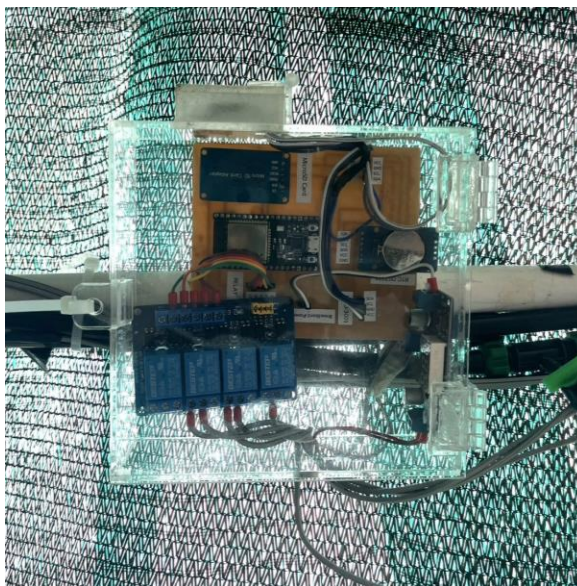
3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม และตัวตรวจรู้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง ภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



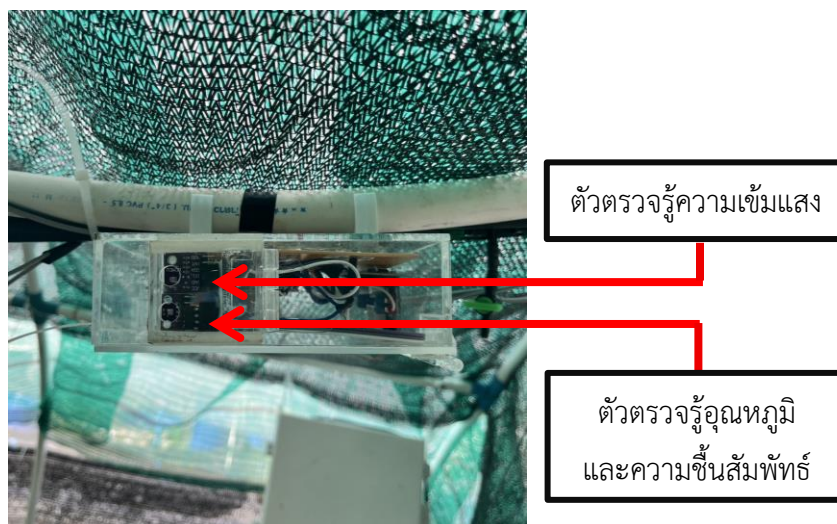
รูปที่ 3.15 แบบจำลองตำแหน่งติดตั้งกล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



รูปที่ 3.16 ภายในกล่องควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



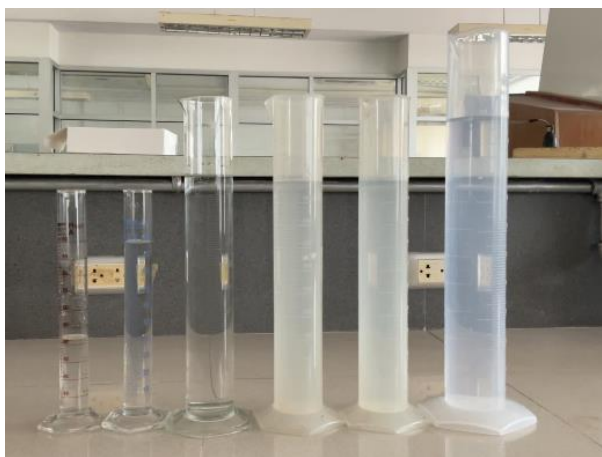
รูปที่ 3.17 กล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ



รูปที่ 3.18 กล่องควบคุมติดตั้งโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

3.12 การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (มิลลิลิตรต่อหัว)

การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเป็นการวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่ายในระยะเวลา 1 นาที เพื่อประเมินประสิทธิภาพของปั้มน้ำขนาด 12 V DC โดยใช้การจับเวลา และเครื่องมือวัดปริมาณน้ำ ได้แก่ กระบอกตวง และปิเกอร์ในการทดสอบ โดยเริ่มต้นจากการเชื่อมต่อปั้มน้ำกับแหล่งจ่ายไฟผ่าน อะแดปเตอร์ 8 A 12V และให้ปั้มน้ำทำงานในระยะเวลา 1 นาที จากนั้นวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกจากหัวจ่าย และอัตราการไหลของน้ำในหน่วยมิลลิลิตรต่อหัวในระยะเวลา 1 นาที ผลลัพธ์จากการทดสอบ จะช่วยในการประเมินความสามารถของปั้มน้ำ



รูปที่ 3.19 การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (1 หัวจ่าย)

การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำจะดำเนินการโดยการเพิ่มหัวจ่ายน้ำเป็น 2 หัวจ่าย เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกจากทั้ง 2 หัวในระยะเวลา 1 นาที โดยใช้การจับเวลา และเครื่องมือวัดปริมาณน้ำ หลังจากการทดสอบจะหาอัตราการไหลของน้ำในหน่วยมิลลิลิตรต่อนาทีจากปริมาณน้ำที่ได้



รูปที่ 3.20 การทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวจ่าย (2 หัวจ่าย)

3.13 การทดสอบงานการทำงานของจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

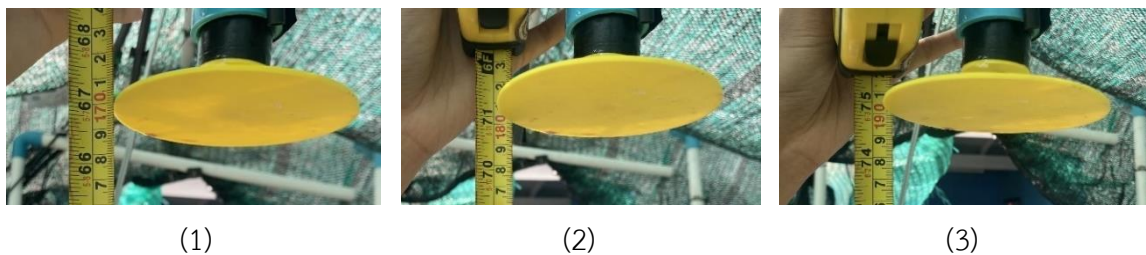
การทดสอบการทำงานของจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ 3 ขนาด คือ 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร จะดำเนินการใน 3 ระดับความสูง 190 เซนติเมตร 180 เซนติเมตร และ 170 เซนติเมตร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกระจายน้ำที่เหวี่ยงออกจากจานหมุน การติดตั้งจะทำในตำแหน่งต่าง ๆ และบันทึกผลการกระจายน้ำในแต่ละระดับความสูง การทดสอบจะประเมินความครอบคลุมของน้ำ และความเหมาะสมในการกระจายน้ำให้ทั่วถึงต้นกล้า ผลการทดสอบจะช่วยเลือกขนาด และความสูงของจานหมุนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการใช้งานในโรงเรือนเพาะต้นกล้า

1) การทดสอบงานที่มีรัศมี 3 ขนาด ได้แก่ 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร โดยมีความหนาของจานเท่ากับ 2 มิลลิเมตร การทดสอบนี้จะทำการตรวจสอบลักษณะการทำงานของจานในแต่ละขนาด เพื่อประเมินการกระจายน้ำ และพื้นที่ที่น้ำลงบนจาน ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าจานขนาดใดเหมาะสมที่สุดสำหรับการกระจายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.21 จานหมุนเหวี่ยงรดน้ำ 3 ขนาด (3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร) ตามลำดับ

2) การทดสอบจะทำการเปลี่ยนขนาดของจาน และทดสอบในความสูงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 170 เซนติเมตร 180 เซนติเมตร และ 190 เซนติเมตร เพื่อประเมินผลกระทบของขนาดจาน และความสูงที่ต่างกันต่อการกระจายน้ำ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการทดสอบจะทำการเปลี่ยนขนาดของจานทุก ๆ ขนาด (3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร) พร้อมกับการทดสอบในแต่ละระดับความสูง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกระจายน้ำให้ทั่วถึง และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด นอกจากนี้ยังจะพิจารณาถึงความสะดวกในการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในโรงเรือน และการป้องกันการชนกับศีรษะ



รูปที่ 3.22 จานหมุนเหวี่ยงรดน้ำความสูง 3 ระดับ
170 เซนติเมตร 180 เซนติเมตร และ 190 เซนติเมตร ตามลำดับ

3) การทดสอบการกระจายน้ำภายในโรงเรือนจะดำเนินการโดยการวางถ้วยรับน้ำที่ฐานรองปลูกใน 5 จุดที่กำหนด โดยใช้จำนวน 3 ถ้วยต่อฐานรองปลูก รวมทั้งหมด 15 ถ้วย จากนั้นจะทำการชั่งน้ำหนักน้ำในถ้วยเพื่อประเมินการกระจายน้ำที่เกิดจากการทำงานของจานหมุนเหวี่ยงในขนาดและความสูงที่แตกต่างกัน ถ้วยที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักเปล่าอยู่ที่ 17 กรัม โดยการวัดปริมาณน้ำจะกระทำโดยการชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยพร้อมน้ำ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระดับความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุขนาดของจาน และระดับความสูงที่ทำให้การกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอและเหมาะสมที่สุดภายในโรงเรือน โดยมุ่งเน้นการให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการรองรับการเพาะปลูก นอกจากนี้การทดสอบจะดำเนินการทั้งกรณีที่ใช้ออเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว และ 2 ตัว เพื่อเปรียบเทียบผลการกระจายน้ำในแต่ละกรณี



รูปที่ 3.23 การทดสอบการกระจายน้ำเพื่อหาปริมาณน้ำแต่ละจุด จำนวน 5 จุด

4) การทดสอบการกระจายน้ำจะดำเนินการโดยการวางทิวขวางบนฐานรองปลูกที่ระดับความสูง 170 เซนติเมตร เพื่อสังเกต และประเมินการกระจายน้ำอย่างชัดเจน การทดสอบจะทำการเปรียบเทียบการกระจายน้ำระหว่างจานหมุนเหวี่ยง 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด 9 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร โดยจะใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว จากนั้นจะสังเกตความทั่วถึง และความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำในแต่ละขนาดจาน เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกระจายน้ำ

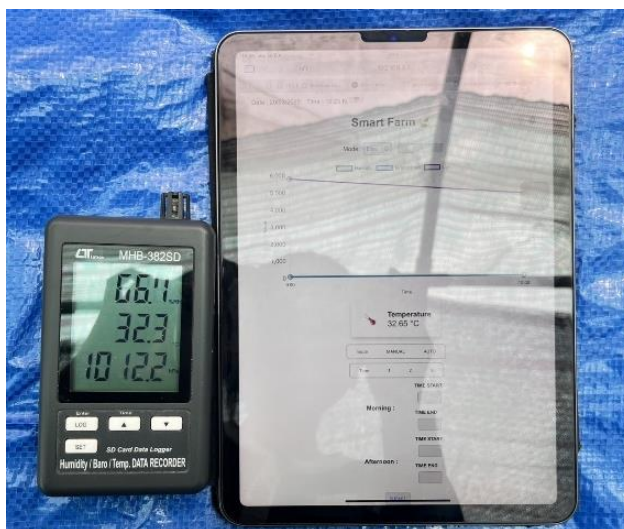


รูปที่ 3.24 การทดสอบกระจายเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการกระจายน้ำ และการดูดซับน้ำ
ของแต่ละภาตเพาะปลูก

3.14 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

การทดสอบตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจากตัวตรวจรู้อุณหภูมิ BME 280 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ซึ่งจะทดลองการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 3 ครั้ง โดยมีขั้นตอนการดังนี้

1. ตั้งค่าตัวตรวจวัดอุณหภูมิ BME 280 และมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ให้ทำงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน
2. ทำการวัดอุณหภูมิจากทั้งสองอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อม โดยใช้ไคร่เป่าผมที่มีความร้อนเพื่อกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเก็บข้อมูลจากตัวตรวจวัด BME 280 และมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ในเวลาเดียวกัน
3. ทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งในการทดสอบจะรอเวลา 30 นาที และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์ และคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าความผิดพลาดของการทดสอบ



รูปที่ 3.25 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

3.15 การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

การทดสอบตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจากตัวตรวจรู้ความชื้นสัมพัทธ์ BME-280 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ซึ่งจะทดลองการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ 3 ครั้ง โดยมีขั้นตอนการดังนี้

1. ตั้งค่าตัวตรวจรู้ความชื้นสัมพัทธ์ BME-280 และมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ให้ทำงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน
2. ทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์จากทั้งสองอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเก็บข้อมูลจากตัวตรวจวัด BME-280 และมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ในเวลาเดียวกัน
3. การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ใช้การพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมทดสอบ การพ่นน้ำจะช่วยเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้สูงขึ้นเพื่อทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์ทั้งสองในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์
4. ทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งในการทดสอบจะรอเวลา 30 นาที และทำการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์ และคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าความผิดพลาดของการทดสอบ

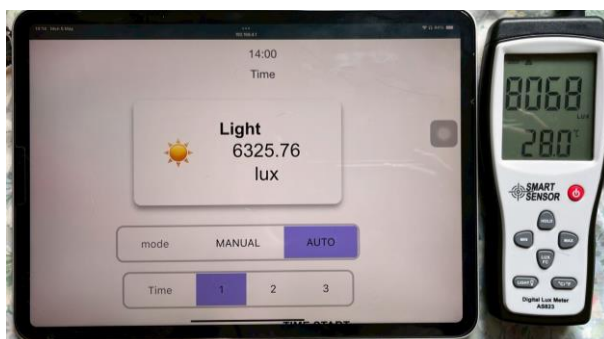


รูปที่ 3.26 การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากตัววัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

3.16 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับ มิเตอร์ Digital Lux Meter AS823

การทดสอบตรวจวัดค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดจากเซ็นเซอร์ MCU-3001 OPT3001 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 โดยจะทดลองการเปรียบเทียบความเข้มแสง 3 ครั้ง โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ตั้งค่าการทดสอบเซ็นเซอร์ MCU-3001 OPT3001 และมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 ให้ทำงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน
2. การวัดค่าความเข้มแสง ทำการวัดค่าความเข้มแสงจากทั้งสองอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ทำการเก็บค่าความเข้มแสงจากเซ็นเซอร์ MCU-3001 OPT3001 และมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 ในเวลาเดียวกัน
3. ทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งในการทดสอบจะรอเวลา 30 นาที และทำการบันทึกค่าความเข้มแสงที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์ และคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าความผิดพลาดของการทดสอบทั้งหมด
4. ปรับค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ MCU-3001 OPT3001 ด้วยสมการที่ได้จากการการคา รีเบต เพื่อให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน Lutron AS823 จากนั้นทดสอบซ้ำตามขั้นตอนข้อ 1-3 และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.27 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงก่อนปรับเทียบจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital Lux Meter AS823 (ก่อนชดเชยค่าความเข้มแสง)

3.17 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบระบบประกอบด้วยการตรวจสอบการแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้นสัมพัทธ์รวมถึงการทดสอบการทำงานของมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว และปั้มน้ำ โดยการทดสอบจะดำเนินการตามช่วงเวลาที่ตั้งค่าไว้ในโปรแกรม ทั้งในโหมด Manual และโหมด Auto ขั้นตอนการทดสอบเริ่มต้นด้วยการตั้งค่าระยะเวลาการทำงานผ่านสมาร์ทโฟนเว็บเซิร์ฟเวอร์

1) การทดสอบระบบเริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมโรงเรือนเข้ากับเครือข่าย Wi-Fi ชื่อ "netIT" โดยใช้รหัสผ่าน "job03871" เพื่อให้สามารถเข้าถึงเว็บเซิร์ฟเวอร์ผ่าน IP Address: 192.168.4.1 ได้อย่างสมบูรณ์ หลังจากเข้าสู่ระบบแล้ว จะทำการตรวจสอบการแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้นสัมพัทธ์ในเวลาจริง พร้อมทั้งทดสอบระบบแจ้งเตือน และคำแนะนำที่แสดงขึ้นเมื่อค่าต่าง ๆ ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในช่วงเวลา 19.00 น. ของทุกวัน เพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้มีการทดสอบฟังก์ชันการเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยระบบจะแสดงค่าเฉลี่ยรายวันของอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้นสัมพัทธ์รวมถึงข้อมูลรายละเอียดรายชั่วโมงในแต่ละวัน เพื่อให้สามารถติดตาม และวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้อย่างละเอียด และมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.29 หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าความชื้นสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 3.30 หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

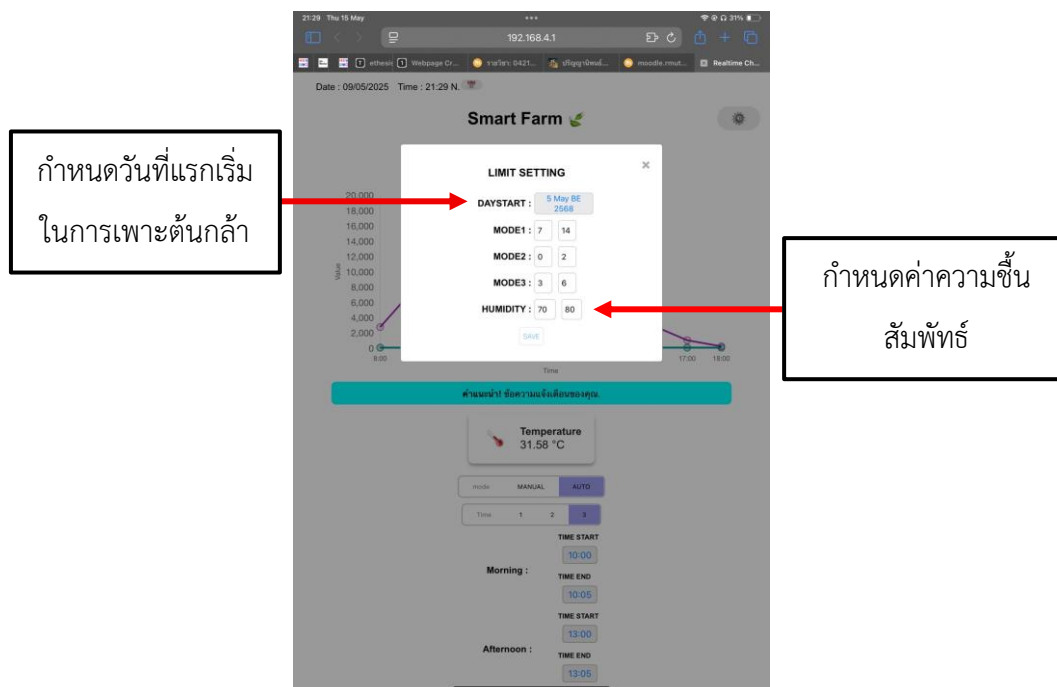


รูปที่ 3.31 หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงกราฟค่าความเข้มแสง(ลักซ์)



รูปที่ 3.33 การทดสอบสั่งการทำงานในโหมด Manual ผ่านเว็บไซต์ฟเวอร์

3) การทดสอบการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ Auto โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบอัตโนมัติมีการใช้ตัวตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเฝ้าติดตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 น. ถึง 12.00 น. และ 14.00 น. ถึง 15.00 น. หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ระบบจะสั่งให้ทำการรดน้ำจนกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น และอยู่ในระดับอย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.34 การทดสอบการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto)
โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์

4) การทดสอบการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ Auto (Auto Mode 2) ในการทดสอบการทำงานของระบบใน โหมด Auto ได้ตั้งค่ากำหนดวันเริ่มต้นเพาะปลูกไว้ในวันที่ 5 เมษายน 2568 โดยระบบถูกกำหนดให้ทำงานในช่วงเวลาบ่ายเพียงช่วงเวลาเดียว ภายใต้เงื่อนไขของ Auto Mode 2 ซึ่งกำหนดให้ระบบทำงานในช่วงวันที่ 0-2 วันหลังจากวันเริ่มต้นเพาะปลูกในโหมด Auto Mode 2 นี้ ตั้งเวลาเริ่มต้นรดน้ำไว้ที่ 13.00 น. และสิ้นสุดในเวลา 13.05 กระบวนการทำงานของระบบจะเหมือนกันกับข้อ 1) สำหรับการทดสอบใน Auto Mode 1 ช่วงวันที่ 7-14 วันหลังเพาะปลูก และ Auto Mode 3 ช่วงวันที่ 3-6 วันหลังเพาะปลูก ระบบจะไม่ทำงาน เนื่องจากวันที่ดำเนินการทดสอบยังไม่เข้าเงื่อนไขของโหมดดังกล่าว จึงไม่มีการสั่งเปิดการทำงานของปั้มน้ำและมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 3.35 การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 2) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์

5) การทดสอบการทำงานของระบบในโหมด Auto (Auto Mode 3) ในการทดสอบการทำงานของระบบใน โหมด Auto เมื่อเข้าสู่ช่วงวันที่ 3-6 วันหลังจากวันเริ่มต้นเพาะปลูก ระบบจะทำงานโดยอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขของ Auto Mode 3 ซึ่งกำหนดให้มีการรดน้ำทั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย ในการทดสอบครั้งนี้ กำหนดเวลาเริ่มต้นรดน้ำในช่วงเช้าเวลา 10.00 น. และสิ้นสุดเวลา 10.05 น. จากนั้นในช่วงบ่าย ระบบเริ่มรดน้ำเวลา 13.00 น. และสิ้นสุดเวลา 13.05 น. กระบวนการทำงานของระบบจะเหมือนกับข้อ 1) สำหรับการทดสอบใน Auto Mode 1 ช่วงวันที่ 7-14 วันหลังเพาะปลูก และ Auto Mode 2 ช่วงวันที่ 0-2 วันหลังเพาะปลูก ระบบจะไม่ทำงาน เนื่องจากวันที่ดำเนินการทดสอบยังไม่ตรงตามเงื่อนไขของโหมดดังกล่าว จึงไม่มีการเปิดใช้งานปั๊มน้ำและมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงในช่วงเวลาดังกล่าว

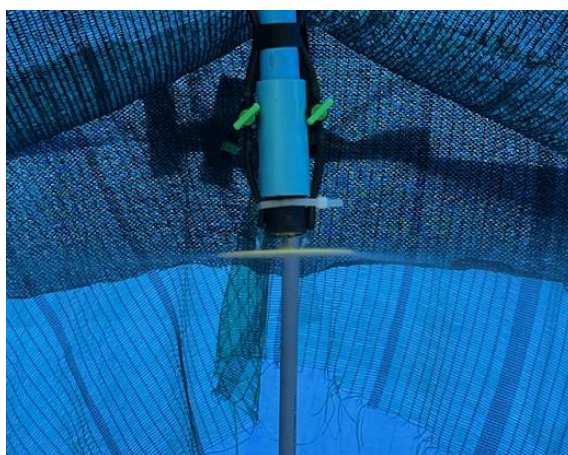


รูปที่ 3.36 การทดสอบการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 3) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์

6) การทดสอบการทำงานของระบบในโหมด Auto (Auto Mode 1) ในการทดสอบการทำงานของระบบใน โหมด Auto Mode 1 ซึ่งกำหนดให้ระบบทำงานอัตโนมัติในช่วงวันที่ 7-14 วันหลังจากวันเริ่มต้นเพาะปลูก ระบบจะทำงานโดยอิงตามช่วงเวลาที่ตั้งไว้ล่วงหน้า โดยในการทดสอบครั้งนี้ ระบบได้ตั้งเวลาเริ่มต้นการรดน้ำไว้ที่ 13.00 น. และสิ้นสุดในเวลา 13.05 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาบ่าย กระบวนการทำงานของระบบจะเหมือนกันกับข้อ 1) ทั้งนี้ ในช่วงที่ดำเนินการทดสอบ หากมีการสั่งงานใน Auto Mode 2 ช่วงวันที่ 0-2 วันหลังเพาะปลูก และ Auto Mode 3 ช่วงวันที่ 3-6 วันหลังเพาะปลูก ระบบจะ ไม่ทำงาน เนื่องจากไม่เข้าเงื่อนไขของวันที่กำหนดไว้สำหรับโหมดดังกล่าว จึงไม่มีการเปิดใช้งานปั้มน้ำและมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงในช่วงเวลานั้น



รูปที่ 3.37 การทดสอบสั่งการทำงานของระบบในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode 1) ผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 3.38 การทดสอบการทำงานของปั้มน้ำ และมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง

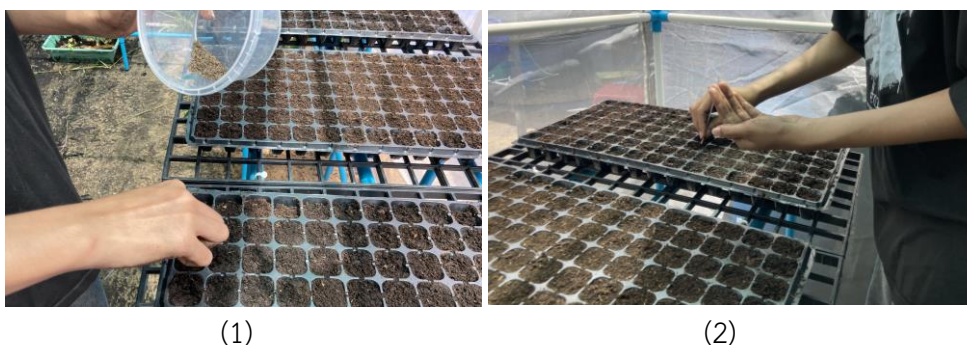
3.18 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ในการทดลองเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ได้ดำเนินการทั้งหมด 2 กรณี โดยดำเนินการเพาะปลูกภายในโรงเรือนกรณีละ 4 ถาด โดยแบ่งกรณีที่ 1 ให้อยู่บริเวณหน้าโรงเรือนโดยประกอบด้วย ถาดที่ 1 ถาดที่ 2 ถาดที่ 7 และ ถาดที่ 8 และกรณีที่ 2 ให้อยู่บริเวณหลังโรงเรือนโดยประกอบด้วย ถาดที่ 3 ถาดที่ 4 ถาดที่ 5 และ ถาดที่ 6 เพื่อศึกษาความแตกต่างของการเจริญเติบโตของต้นกล้า และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ในการทดลองเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน

กรณีที่ 1 ใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบจานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน โดยทำงานตามเวลาที่กำหนด โดยเริ่มต้นรดน้ำในช่วงเช้าคือเวลา 08.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 08.05 น. และในช่วงบ่ายเริ่มต้นรดน้ำในเวลา 16.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 16.05 น. หรือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น. และ 14.00 น. ถึง 15.00 น. ทำการส่งรดน้ำไปจนถึง 80 เปอร์เซ็นต์

กรณีที่ 2 ใช้วิธีการรดน้ำด้วยผู้ใช้งาน วันละ 2 ครั้ง เริ่มต้นรดน้ำในช่วงเช้าคือเวลา 08.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 08.05 น. และในช่วงบ่ายเริ่มต้นรดน้ำในเวลา 16.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 16.05 น.

เมื่อครบระยะเวลาเพาะปลูก 14 วัน ได้เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตโดยชั่งน้ำหนักต้นกล้ารวมต่อถาด และวัดความสูงจากการสุมต้นกล้า 5 ต้นต่อถาด เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสองระบบการรดน้ำ



รูปที่ 3.39 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2



(1)



(2)

รูปที่ 3.40 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2
โดยมีการแยกกลุ่มออกทั้ง 2 กรณี



(1)



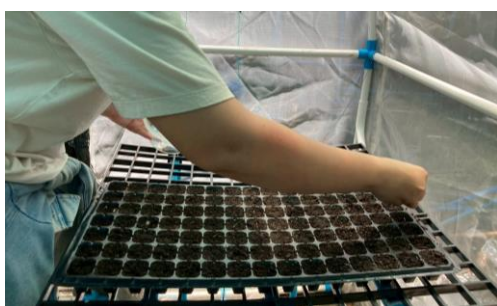
(2)

รูปที่ 3.41 การวัดความสูง และชั่งน้ำหนักของต้นอ่อนผักกาดอ่อน

3.19 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม จานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนตลอดระยะเวลา 14 วัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้า และทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติภายในโรงเรือนที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยโรงเรือนดังกล่าวได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับการเพาะปลูกต้นกล้าได้ไม่น้อยกว่า 2,000 ต้น

ในการดำเนินการทดลองครั้งนี้ ได้ใช้ถาดเพาะต้นกล้าจำนวนทั้งสิ้น 20 ถาด โดยติดตั้งบนฐานรองปลูกที่สามารถรองรับถาดเพาะได้ฐานละ 4 ถาด ระบบควบคุมภายในโรงเรือนได้ตั้งค่ากำหนดวัน และเวลาการรดน้ำผ่านเซ็นเซอร์ เพื่อทดสอบความแม่นยำ และความเสถียรของระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง ตลอดการทดลองได้มีการบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง เพื่อใช้วิเคราะห์สภาพการเพาะปลูก เมื่อครบระยะเวลาเพาะปลูก 14 วัน ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยการชั่งน้ำหนักรวมของต้นกล้าในแต่ละถาด วัดความสูงจากการสุมต้นกล้าจำนวน 5 ต้น ต่อ 1 ถาด เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่นำมาใช้ในโรงเรือนต้นแบบ



(1)



(2)

รูปที่ 3.42 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักกาดหอม ระยะเวลา 14 วัน



รูปที่ 3.43 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน



(1)



(2)

รูปที่ 3.44 การวัดความสูง และชั่งน้ำหนักของต้นอ่อนผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน และการทดลอง

หลังจากที่ทำการออกแบบควบคุม และเขียนโปรแกรมการควบคุมโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติโดยส่วนของขั้นตอนต่อไปนี้เป็นารรายงานผลที่ได้จากการดำเนินงาน และวิเคราะห์ผลการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการทดสอบการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของการดำเนินงานในครั้งนี้ หากเกิดปัญหา หรือข้อบกพร่องทางผู้จัดทำแก้ไข และพัฒนาให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ในการดำเนินการจัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่องโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ โดยมีลักษณะการทำงานเป็นระบบควบคุมปริมาณความเข้มข้น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน ให้มีความเหมาะสมกับพืชที่ปลูก ซึ่งในการดำเนินงาน และการทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการทำงาน สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง โดยนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาประกอบรวมกันให้เป็นตัวฮาร์ดแวร์ และทำการเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ
- 4.2 ผลการทดสอบแสดงข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา
- 4.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ปั้มน้ำ
- 4.4 ผลการทดสอบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ
- 4.5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD
- 4.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME280 กับ Lutron MHB-382SD
- 4.7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มข้นจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับ Digital Lux MeterAs823
- 4.8 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2
- 4.9 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

จากการทดลองการทำงานในบทที่ 3 การทดลองของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งจะทดลองการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และทำการเก็บข้อมูลผลการทำงานดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด

การทดสอบ	การทดสอบการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด					
	ปั๊มน้ำ		มอเตอร์ DC ตัวที่ 1		มอเตอร์ DC ตัวที่ 2	
	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด
ครั้งที่ 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากตารางที่ 4.1.1 เป็นผลการทดลองการสอบการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในตัวโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งจะมีการสั่งเปิด-ปิด ปั๊มน้ำ มอเตอร์ DC (จานหมุนเหวี่ยง) ตัวที่ 1 และ มอเตอร์ DC (จานหมุนเหวี่ยง) ตัวที่ 2 โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง สรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้ง 3 สามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไข 100 เปอร์เซ็นต์

4.2 ผลการทดสอบแสดงข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา

จากการทดลองการทำงานในบทที่ 3 การทดลองของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งจะทดลองการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และทำการเก็บข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา ผลการทำงานดังตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 การทดสอบการทำงานผลการทดสอบแสดงข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา

การทดสอบ	การทดสอบค่าที่แสดงในแอปพลิเคชัน			
	วันที่	เดือน	ปี	เวลา
ครั้งที่ 1	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 2	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 3	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 4	✓	✓	✓	✓
ครั้งที่ 5	✓	✓	✓	✓

จากตารางที่ 4.2.1 เป็นผลการทดสอบค่าที่แสดงในเว็บเซิร์ฟเวอร์ ที่กำหนดไว้ในตัว โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งจะแสดงค่าวัน เดือน ปี และเวลา โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง สรุปได้ว่าสามารถแสดงค่า วัน เดือน ปี และเวลา ได้ตรงตามค่าจริง

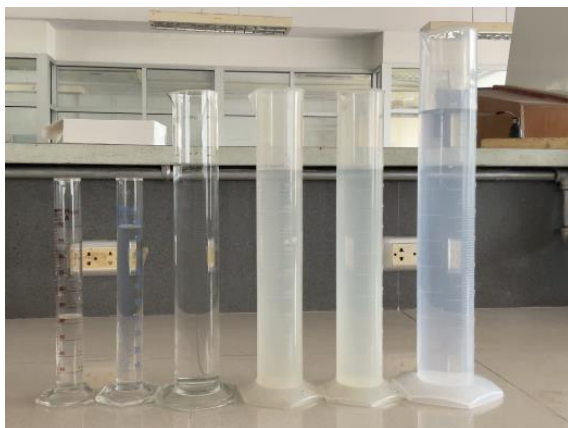
4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของปั้มน้ำ

จากการทดสอบการทำงานในบทที่ 3 การทดสอบการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดซึ่งอัตราการไหลของน้ำไม่น้อยกว่า 2,000 มิลลิลิตร ต่อ 1 นาที ตามเงื่อนไขที่กำหนดและทำการเก็บค่าผลการทำงานดังตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำต่อ 1 นาที

ผลการทดสอบ	การทดสอบอัตราการไหลของน้ำ ต่อ 1 นาที	
	อัตราการไหลของน้ำ 1 หัวจ่าย	อัตราการไหลของน้ำ 2 หัวจ่าย
ครั้งที่ 1	2,512 มิลลิลิตร	4,793 มิลลิลิตร
ครั้งที่ 2	2,551 มิลลิลิตร	4,759 มิลลิลิตร
ครั้งที่ 3	2,600 มิลลิลิตร	4,753 มิลลิลิตร
ครั้งที่ 4	2,644 มิลลิลิตร	4,778 มิลลิลิตร
ครั้งที่ 5	2,644 มิลลิลิตร	4,745 มิลลิลิตร
ค่าเฉลี่ย	2,590 มิลลิลิตร	4,766 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.3.1 จากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำ พบว่าเมื่อใช้ 1 หัวจ่ายน้ำ อัตราการไหลเฉลี่ยคือ 2590.2 มิลลิลิตร เมื่อใช้ 2 หัวจ่ายน้ำ อัตราการไหลเฉลี่ยคือ 4765.6 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนหัวจ่ายน้ำทำให้การไหลของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในการใช้ 2 หัวจ่ายน้ำ อัตราการไหลสูงกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้หัวจ่ายน้ำเพียง 1 หัวจ่าย



(1)



(2)

รูปที่ 4.1 ผลการทดลองอัตราการใช้ของน้ำ 1 หัวจ่าย และ 2 หัวจ่าย

4.4 ผลการทดสอบงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติในขนาดต่างๆ จำนวน 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร โดยทำการทดสอบที่ความสูง 3 ระดับ คือ 190 เซนติเมตร 180 เซนติเมตร และ 170 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการหมุนเหวี่ยงที่เหมาะสม และสมดุลที่สุดสำหรับการใช้งานในโรงเรือนเพาะปลูกขนาด 2.5 x 2.9 x 2.2 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

ตารางที่ 4.4.1 ผลการทดลองงานขนาด 3 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง จำนวน 1 ตัว

ความสูง	ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
		1	2	3	4	5
170 เซนติเมตร	1	51	53	51	56	59
	2	52	54	52	51	60
	3	52	55	55	52	58
180 เซนติเมตร	1	51	53	51	51	54
	2	52	53	52	55	57
	3	55	55	54	53	55
190 เซนติเมตร	1	52	53	52	51	52
	2	53	52	52	52	51
	3	52	54	52	52	51

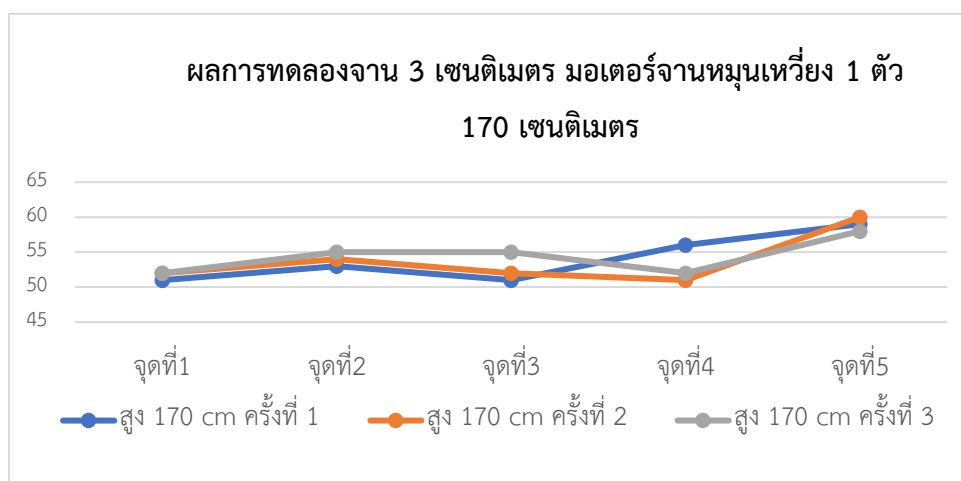
จากตารางที่ 4.4.1 เป็นผลการทดลองพบว่าการกระจายของปริมาณน้ำที่จุดทั้ง 5 บนงานขนาด 3 เซนติเมตรมีความแตกต่างกันตามความสูงที่ตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง เมื่อทดสอบที่

ความสูง 170 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยจุดที่ 5 มักจะมีปริมาณน้ำสูงสุดในทุกการทดสอบ และเมื่อทดสอบที่

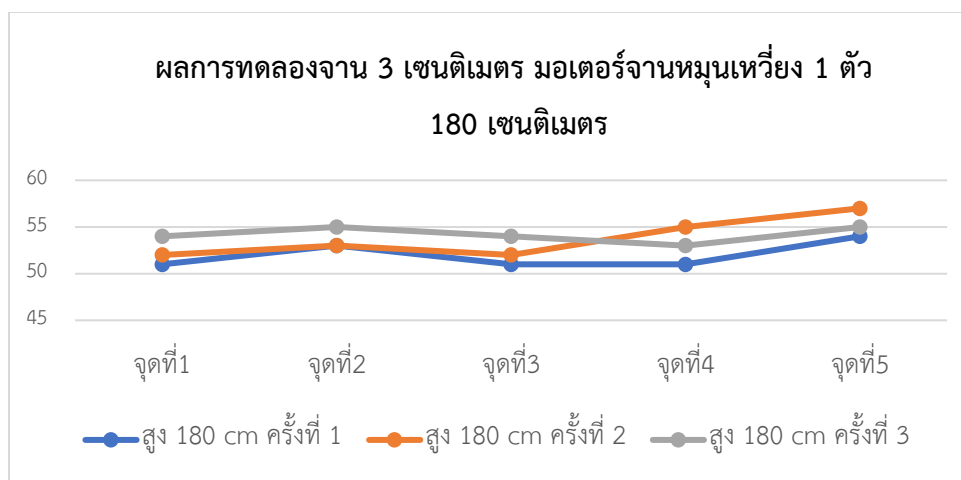
ความสูง 180 เซนติเมตร พบว่าปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ มีความหลากหลายมากขึ้น โดยจุดที่ 5 ยังคงมีปริมาณน้ำสูงสุด แต่จุดอื่นๆ ก็มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนจากการทดสอบที่ความสูง 170 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบที่

ความสูง 190 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ มีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยค่าปริมาณน้ำที่จุดทั้ง 5 ค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับความสูง 170 และ 180 เซนติเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกระจายน้ำให้มีความสมดุลมากขึ้นในทุกจุด

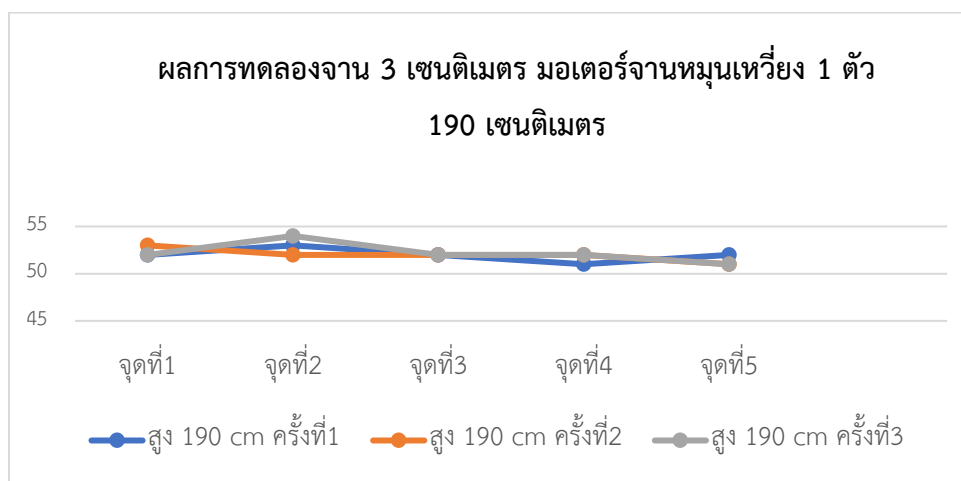
ผลการทดลองพบว่าความสูงของการตั้งมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำบนจานขนาด 3 เซนติเมตร โดยที่ความสูง 190 เซนติเมตร ช่วยให้การกระจายน้ำมีความสม่ำเสมอมากที่สุด ขณะที่ที่ความสูง 170 เซนติเมตร และ 180 เซนติเมตร การกระจายน้ำยังคงมีความแตกต่างกันที่ค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการหมุน และแรงที่เกิดจากมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงที่ต่างกันตามความสูง ช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของความสูงที่มีต่อการกระจายน้ำ และเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการตั้งค่าของมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง หรือการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



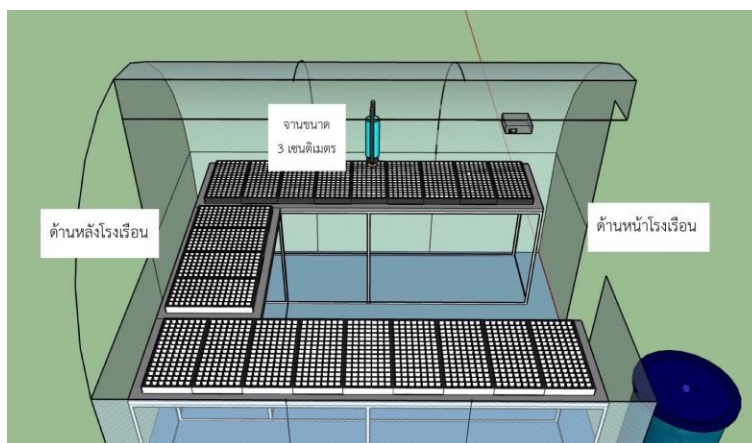
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองจานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



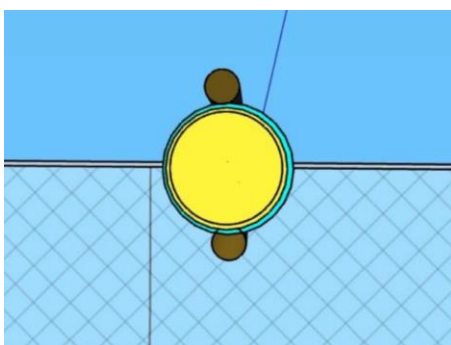
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 180 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 190 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.6 แบบจำลองงานขนาด 3 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว

ตารางที่ 4.4.2 ผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงจำนวน 1 ตัว

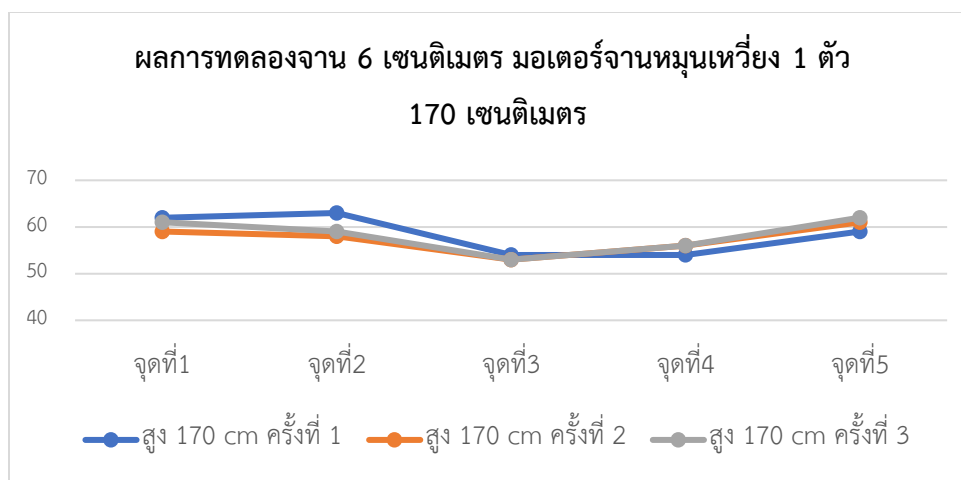
ความสูง	ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
		1	2	3	4	5
170 เซนติเมตร	1	62	63	54	54	59
	2	59	58	53	56	61
	3	61	59	53	55	62
180 เซนติเมตร	1	68	55	51	52	62
	2	72	56	53	56	64
	3	71	56	52	57	62
190 เซนติเมตร	1	55	69	66	64	62
	2	55	75	80	65	54
	3	54	71	61	72	54

จากตารางที่ 4.4.2 ผลการทดลองพบว่า การกระจายของปริมาณน้ำที่จุดทั้ง 5 บนงาน ขนาด 6 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันตามความสูงที่ตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง โดยที่ความสูง 170 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ มีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยจุดที่ 5 มักจะมีปริมาณน้ำสูงสุดในทุกครั้งของการทดสอบเมื่อทดสอบที่

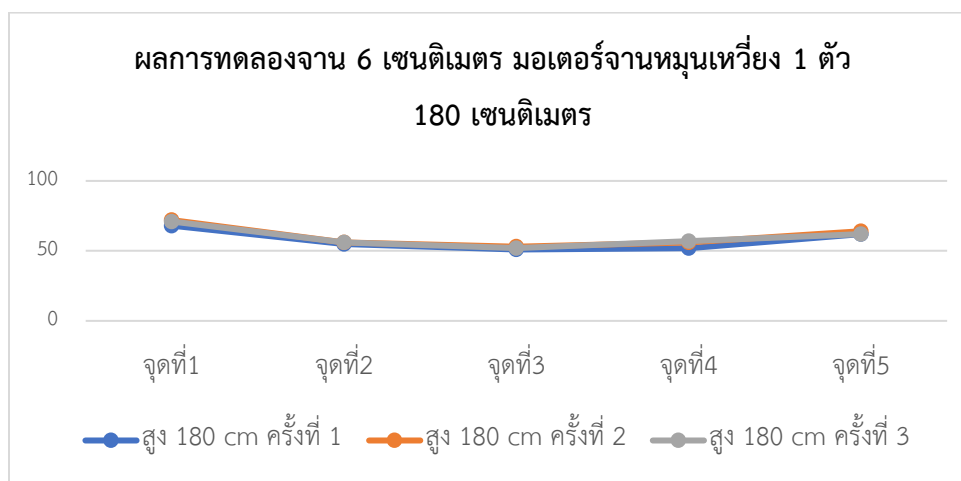
ความสูง 180 เซนติเมตร พบว่าการกระจายของน้ำมีความหลากหลายมากขึ้น โดยจุดที่ 5 ยังคงมีปริมาณน้ำสูงสุด แต่จุดอื่น ๆ มีความแตกต่างกันชัดเจนการทดสอบที่

ความสูง 190 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยเฉพาะที่จุดที่ 3 และ 4 ที่มีปริมาณน้ำสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

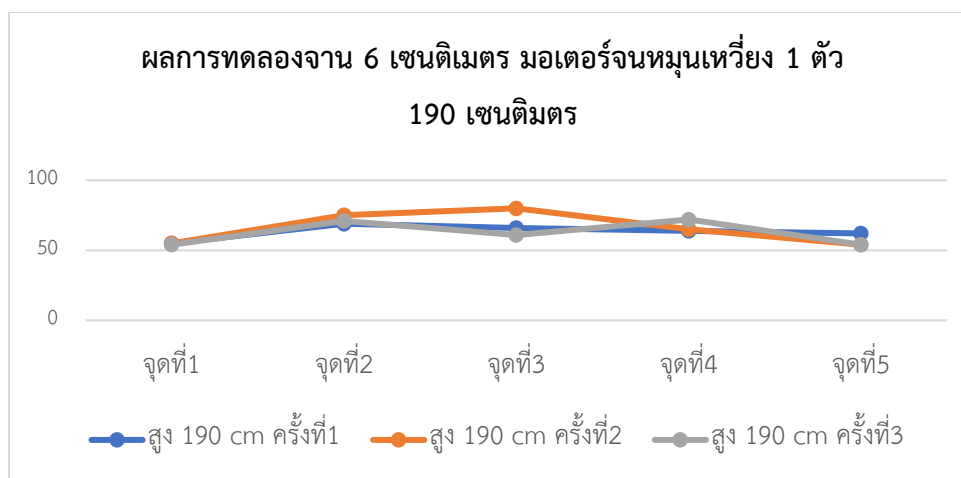
ผลการทดลองพบว่า ความสูงของการตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำ บนงานขนาด 6 เซนติเมตร โดยที่ความสูง 190 เซนติเมตรทำให้การกระจายน้ำมีความหลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะที่จุดที่ 3 และ 4 ซึ่งมีปริมาณน้ำสูงขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ที่ความสูง 170 เซนติเมตร และ 180 เซนติเมตร การกระจายน้ำมีความสม่ำเสมอมากกว่า โดยจุดที่ 5 มักจะมีปริมาณน้ำสูงสุดในทุกการทดสอบ



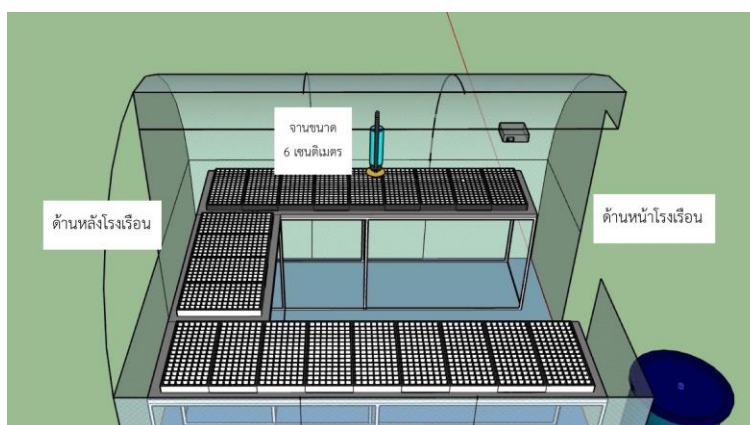
จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



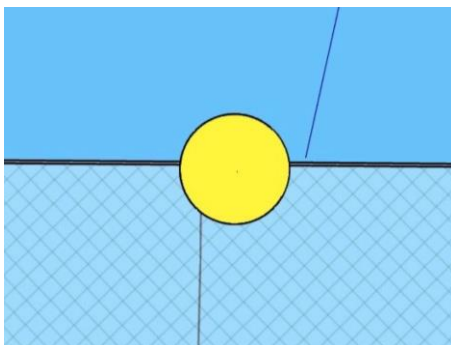
จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 180 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จันทุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร



รูปที่ 4.10 แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จันทุนเหวี่ยง 1 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรียน



รูปที่ 4.11 แบบจำลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว

ตารางที่ 4.4.3 ผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงจำนวน 1 ตัว

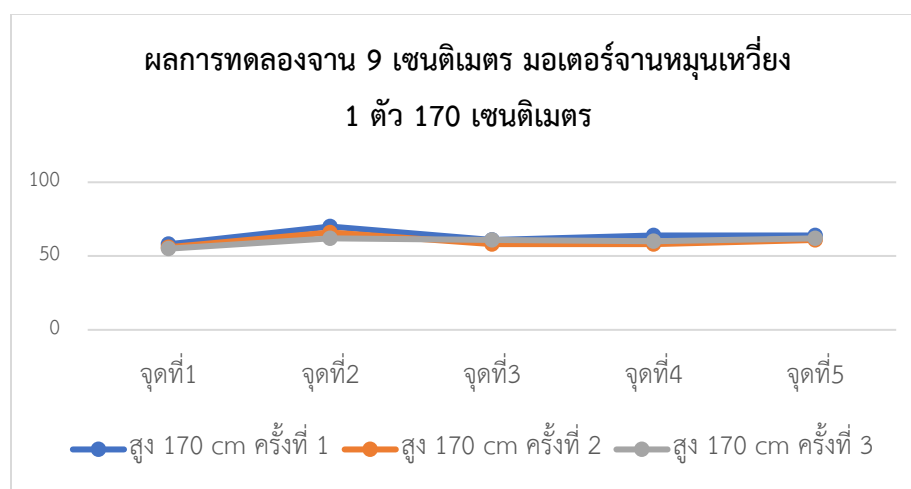
ความสูง	ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
		1	2	3	4	5
170 เซนติเมตร	1	55	62	61	60	62
	2	56	66	58	58	61
	3	58	70	61	61	64
180 เซนติเมตร	1	58	93	72	59	54
	2	64	78	65	60	54
	3	60	85	65	60	55
190 เซนติเมตร	1	107	63	58	61	55
	2	106	66	56	58	55
	3	93	64	56	56	58

จากตารางที่ 4.4.3 ผลการทดลองพบว่า ความสูงของการตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำบนงานขนาด 9 เซนติเมตร โดยการทดสอบที่ความสูง 170 เซนติเมตร การกระจายของน้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยจุดที่ 5 มักจะมีปริมาณน้ำสูงสุดในทุกครั้งของการทดสอบ เช่น ในครั้งที่ 1 จุดที่ 1 มี 55 กรัม จุดที่ 5 มี 62 กรัม ในครั้งที่ 3 จุดที่ 1 มี 58 กรัม และจุดที่ 5 มี 64 กรัม

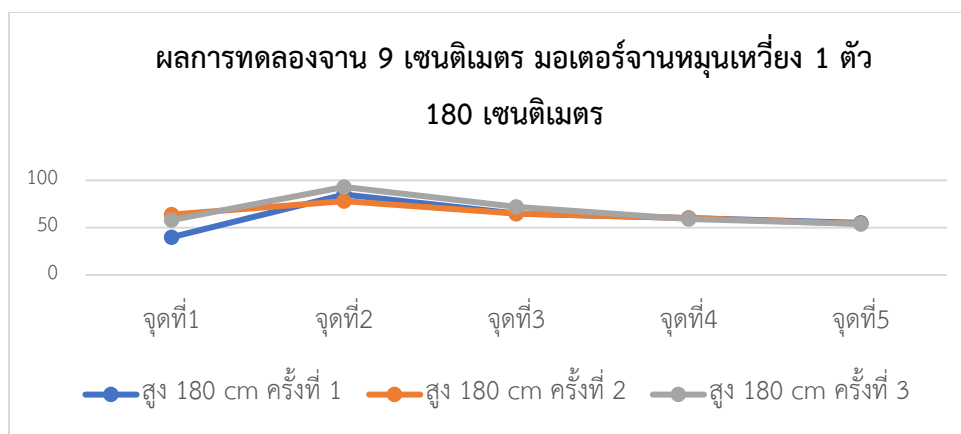
เมื่อทดสอบที่ความสูง 180 เซนติเมตร พบว่า การกระจายน้ำมีความแตกต่างชัดเจน โดยจุดที่ 2 และ 3 มักจะมีปริมาณน้ำสูงขึ้น เช่น ในครั้งที่ 1 จุดที่ 2 มี 93 กรัม จุดที่ 3 มี 72 กรัม ส่วนจุดที่ 5 มีปริมาณน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น ครั้งที่ 1 มี 54 กรัม และในครั้งที่ 3 มี 55 กรัม สำหรับการทดสอบที่

ความสูง 190 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ ค่อนข้างมีความหลากหลาย โดยจุดที่ 1 มีปริมาณน้ำสูงขึ้น เช่น ครั้งที่ 1 มี 107 กรัม แต่จุดอื่น ๆ มีการกระจายที่ใกล้เคียงกัน เช่น จุดที่ 2 มี 63 กรัม ในครั้งที่ 1 และ 66 กรัม ในครั้งที่ 2 โดยจุดที่ 5 มีปริมาณน้ำค่อนข้างคงที่ เช่น 55 กรัม ในทุกครั้ง

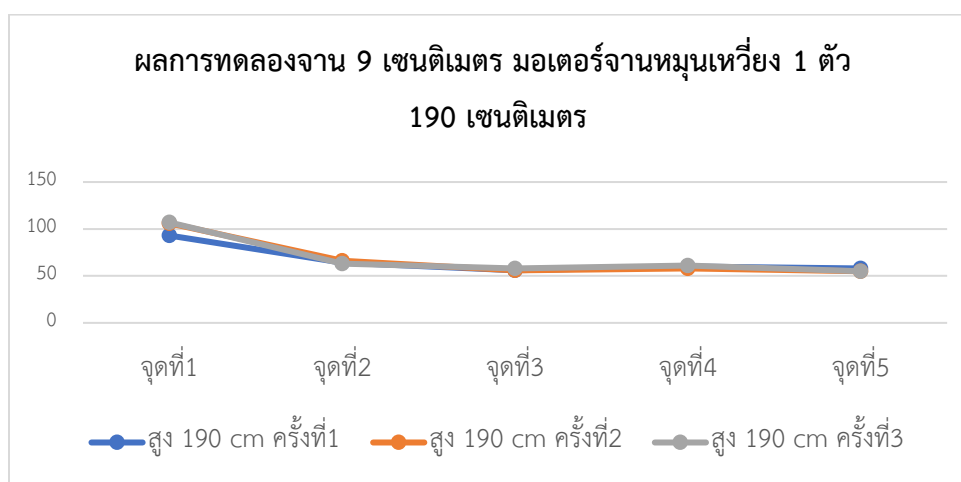
จากการทดลองที่ความสูง 170 เซนติเมตรมีการกระจายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ขณะที่ความสูง 180 และ 190 เซนติเมตร มีความหลากหลายในการกระจายน้ำ โดยเฉพาะที่ความสูง 180 เซนติเมตร ที่ทำให้การกระจายน้ำที่จุด 2 และ 3 สูงขึ้น ขณะที่จุดที่ 5 มีการกระจายที่ลดลง



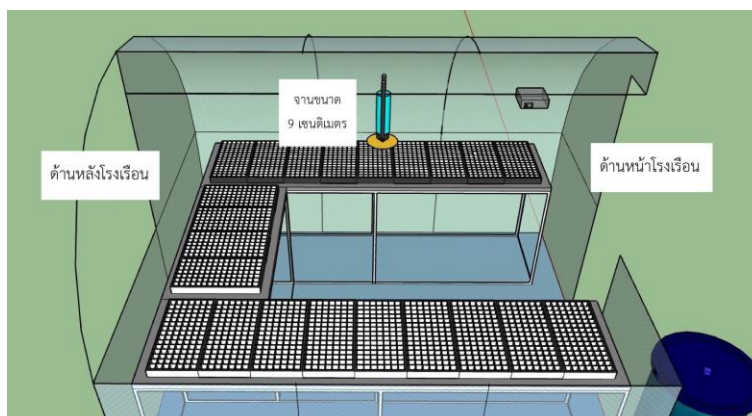
จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



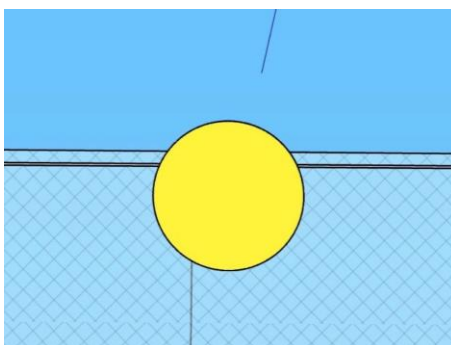
จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 180 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ที่ความสูง 190 เซนติเมตร



รูปที่ 4.15 แบบจำลองตำแหน่งติดตั้งงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว
ติดตั้งภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.16 แบบจำลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว

4.4 การใช้งานของมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว และมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว

การใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ช่วยให้ระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 1 ตัว เนื่องจากสามารถกระจายแรงเหวี่ยงได้ดีขึ้นในหลายทิศทาง ทำให้การกระจายน้ำหรือวัสดุทั่วถึงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การทำงานร่วมกันของมอเตอร์ทั้งสองช่วยลดความเสี่ยงจากความไม่สมดุลของระบบ ทำให้การหมุนเหวี่ยงเสถียร และลดการสึกหรอจากแรงที่ไม่สมดุล การใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหมุนเหวี่ยงได้มากขึ้น เพิ่มความเร็วและแรงเหวี่ยง ทำให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงทั้งสองตัว โดยการแบ่งเบาภาระการทำงาน ทำให้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงไม่ต้องทำงานหนักเกินไป ส่งผลให้การใช้งานยาวนานขึ้น

ตารางที่ 4.4.5 ผลการทดลองจานขนาด 6 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว

ความสูง	ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
		1	2	3	4	5
170 เซนติเมตร	1	96	89	91	85	97
	2	87	81	82	86	89
	3	92	88	95	101	100
180 เซนติเมตร	1	83	75	78	94	73
	2	80	72	71	95	79
	3	70	70	77	89	68
190 เซนติเมตร	1	96	102	78	77	56
	2	96	104	79	81	67
	3	91	91	80	80	56

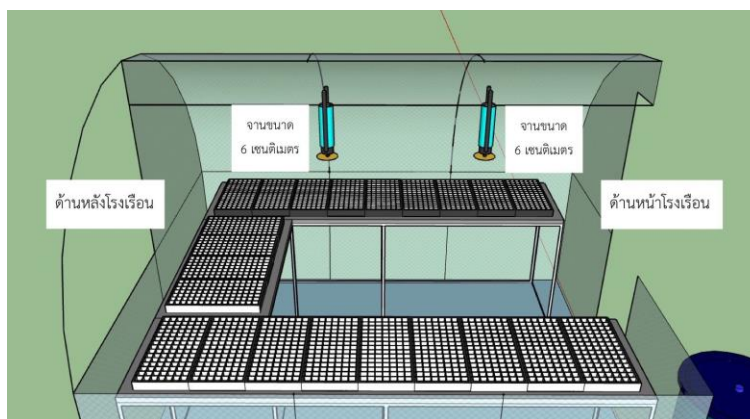
จากการตารางที่ 4.4.5 ซึ่งเป็นผลการทดลองการทดสอบจานขนาด 6 เซนติเมตร เวลา 3 นาที โดยใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว การทดสอบที่ความสูง 170 เซนติเมตร การกระจายน้ำที่ความสูงนี้มีความสม่ำเสมอ และไม่แปรปรวนมาก โดยเฉพาะในครั้งที่ 3 ปริมาณน้ำในจุดต่าง ๆ มีการ

กระจายตัวอย่างเหมาะสม เช่น จุดที่ 4 มี 101 กรัม และจุดที่ 1 มี 92 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในทุกครั้งของการทดสอบ ความสูง 170 เซนติเมตรสามารถกระจายน้ำได้ดี และมีปริมาณน้ำที่ไม่แปรปรวนมากเกินไประหว่างจุดต่างๆความสูง

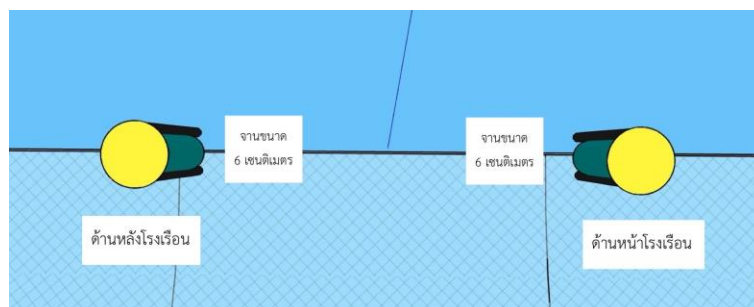
ความสูง 180 เซนติเมตร การกระจายน้ำที่ความสูงนี้มีความแตกต่างจากที่ความสูง 170 เซนติเมตรเล็กน้อย โดยจุดที่ 4 มีปริมาณน้ำสูงสุดในบางครั้ง เช่น ในครั้งที่ 1 มี 94 กรัม แต่การกระจายน้ำดูเหมือนจะมีความแตกต่างมากขึ้นระหว่างจุดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความสูง 170 เซนติเมตร เช่น จุดที่ 1 มีเพียง 83 กรัมในครั้งที่ 1

ความสูง 190 เซนติเมตร การกระจายน้ำมีความไม่สม่ำเสมอ และมีความแตกต่างระหว่างจุดต่าง ๆ มากที่สุด โดยเฉพาะจุดที่ 5 ซึ่งมีปริมาณน้ำต่ำสุดในทุกครั้ง เช่น ในครั้งที่ 1 มีเพียง 56 กรัม การกระจายน้ำที่ความสูงนี้ดูเหมือนจะไม่เหมาะสมเท่ากับที่ความสูง 170 เซนติเมตร และ 180 เซนติเมตร

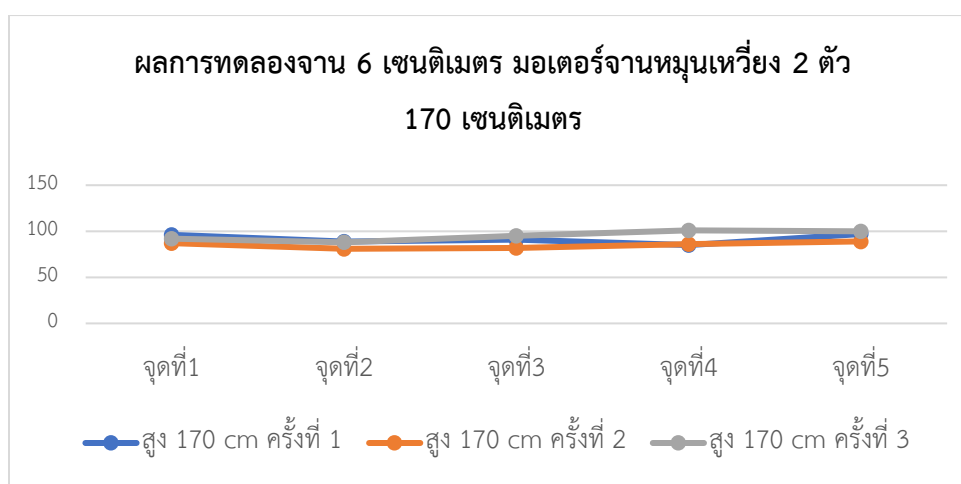
จากการทดสอบความสูง 170 เซนติเมตร ให้ผลการกระจายน้ำที่ดีที่สุด โดยการกระจายน้ำมีความสม่ำเสมอ และไม่แปรปรวนมากเกินไปในแต่ละจุด ซึ่งถือเป็นความสูงที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ ขณะที่ที่ความสูง 180 และ 190 เซนติเมตร การกระจายน้ำมีความแตกต่าง และไม่สม่ำเสมอ



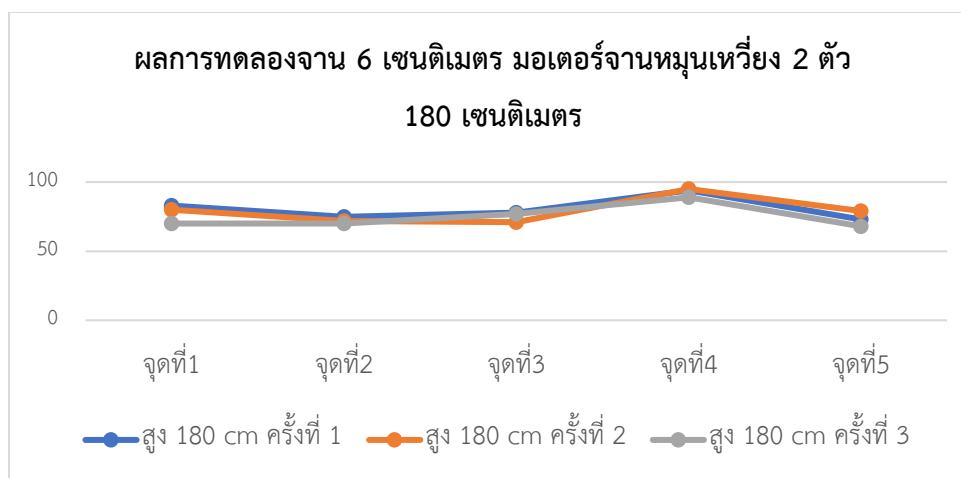
รูปที่ 4.17 แบบจำลองตำแหน่งงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร ติดตั้งภายในโรงเรือน



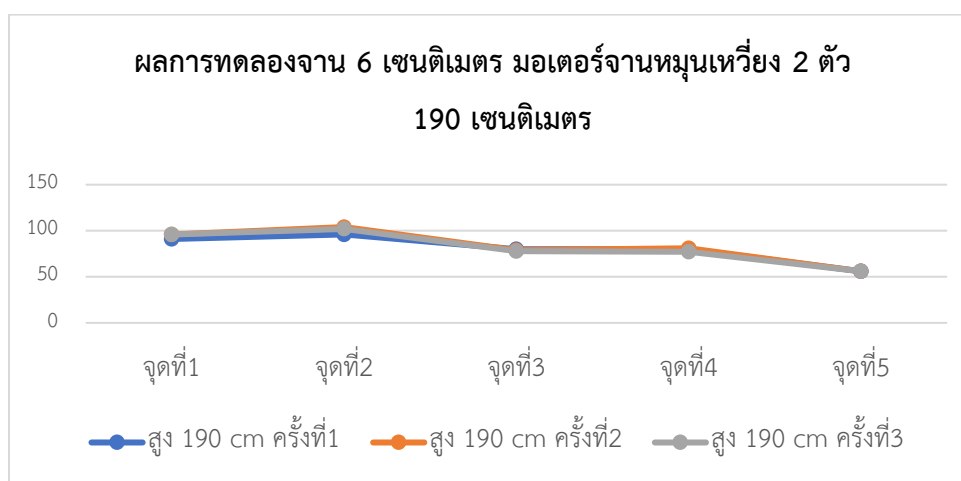
รูปที่ 4.18 แบบจำลองจานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว



จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการทดลองจานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว
ที่ความสูง 180 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว
ที่ความสูง 190 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.4.6 ผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร เวลา 3 นาที มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว

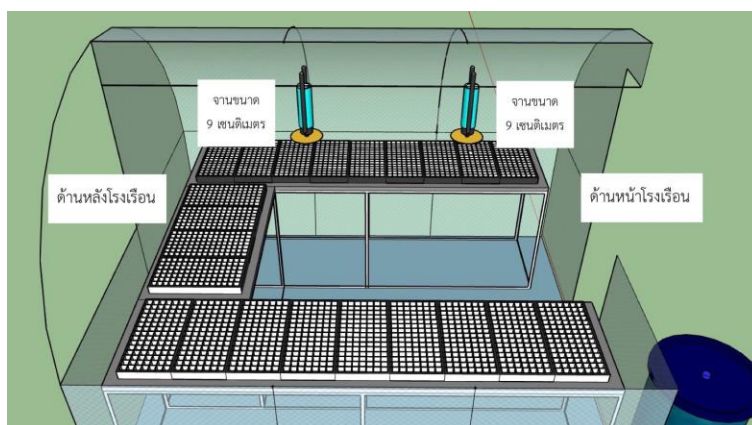
ความสูง	ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
		1	2	3	4	5
170 เซนติเมตร	1	74	68	78	85	98
	2	76	69	78	86	108
	3	68	75	75	99	81
180 เซนติเมตร	1	70	70	77	89	78
	2	96	92	51	77	56
	3	96	104	79	81	56
190 เซนติเมตร	1	77	80	69	75	81
	2	84	73	70	77	81
	3	81	74	62	75	80

จากตารางที่ 4.4.6 ผลการทดลองการทดสอบงานขนาด 9 เซนติเมตร เวลา 3 นาที โดยใช้มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว พบว่าการตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงที่ความสูง 170 เซนติเมตร ยังคงให้ผลการกระจายน้ำที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับความสูง 180 เซนติเมตร และ 190 เซนติเมตร โดยการกระจายน้ำในแต่ละจุดมีความสมดุล และสม่ำเสมอที่ความสูง 170 เซนติเมตร การกระจายน้ำในแต่ละจุดมีความค่อนข้างสมดุล โดยจุดที่ 5 มักจะมีปริมาณน้ำสูงสุด เช่น ในครั้งที่ 2 มี 108 กรัม ขณะที่จุดอื่น ๆ เช่น จุดที่ 1 มี 76 กรัม การกระจายน้ำที่ความสูงนี้ค่อนข้างสม่ำเสมอ และไม่มีการกระจายน้ำที่แตกต่างกันมากเกินไประหว่างจุดต่าง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตั้งมอเตอร์ที่ความสูง 170 เซนติเมตร ให้ผลการกระจายน้ำที่ดีที่สุดในการทดลองที่

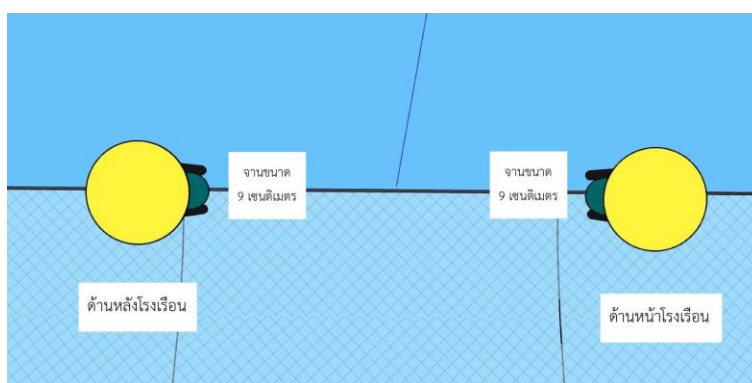
ความสูง 180 เซนติเมตร การกระจายน้ำที่ความสูงนี้มีความแปรปรวนในบางจุด เช่น ในครั้งที่ 2 จุดที่ 3 มีเพียง 51 กรัม ซึ่งต่ำกว่าจุดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ขณะที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีปริมาณน้ำสูงขึ้น เช่น จุดที่ 1 มี 96 กรัม ในครั้งที่ 2 การกระจายน้ำที่ความสูง 180 เซนติเมตร มีความแปรปรวนมากขึ้นเมื่อเทียบกับที่ความสูง 170 เซนติเมตรในการทดลองที่

ความสูง 190 เซนติเมตร การกระจายน้ำที่ความสูงนี้มีความสม่ำเสมอ แต่ปริมาณน้ำที่จุดต่าง ๆ ค่อนข้างใกล้เคียงกันมากขึ้น เช่น ในครั้งที่ 1 จุดที่ 1 มี 77 กรัม และจุดที่ 5 มี 81 กรัม ซึ่งทำให้การกระจายน้ำไม่เท่ากับที่ความสูง 170 เซนติเมตรที่มีความหลากหลายของปริมาณน้ำระหว่างจุดต่าง ๆ

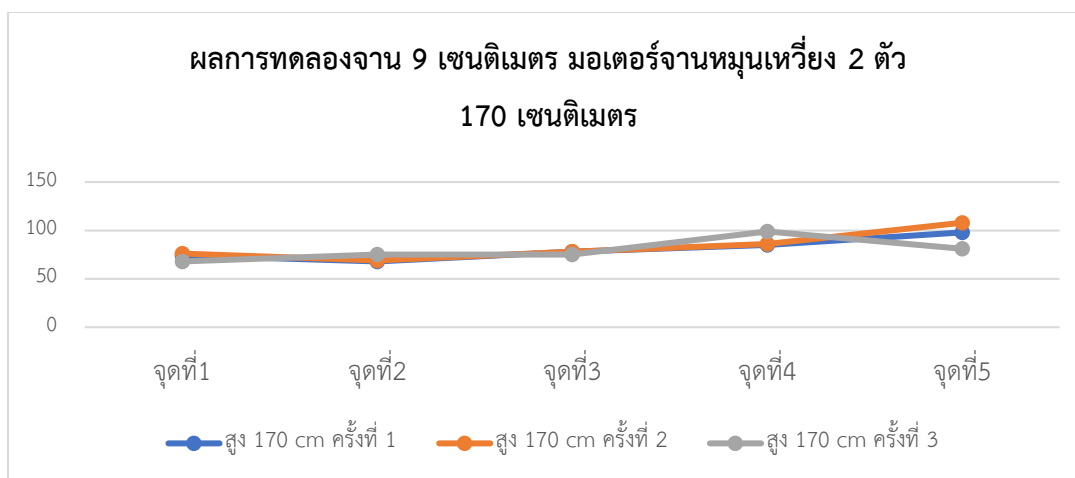
จากการทดลองพบว่าความสูง 170 เซนติเมตร เป็นความสูงที่ให้ผลการกระจายน้ำดีที่สุด เนื่องจากการกระจายน้ำมีความสม่ำเสมอ และไม่มีความแปรปรวนมากเกินไปในแต่ละจุด ขณะที่ที่ความสูง 180 เซนติเมตร และ 190 เซนติเมตรการกระจายน้ำมีความแปรปรวนมากขึ้น และไม่สม่ำเสมอเท่าความสูง 170 เซนติเมตร



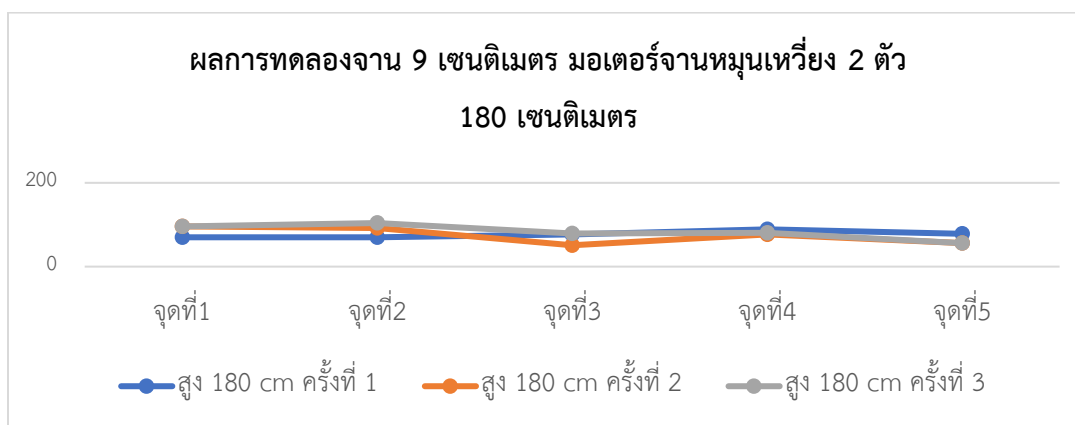
รูปที่ 4.22 แบบจำลองตำแหน่งจานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน



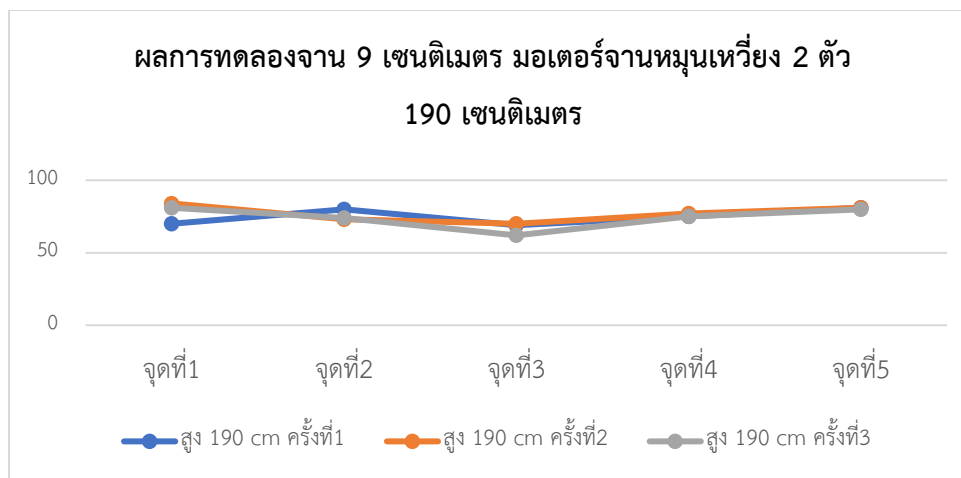
รูปที่ 4.23 แบบจำลองจานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว



จากรูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว
ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว
ที่ความสูง 180 เซนติเมตร

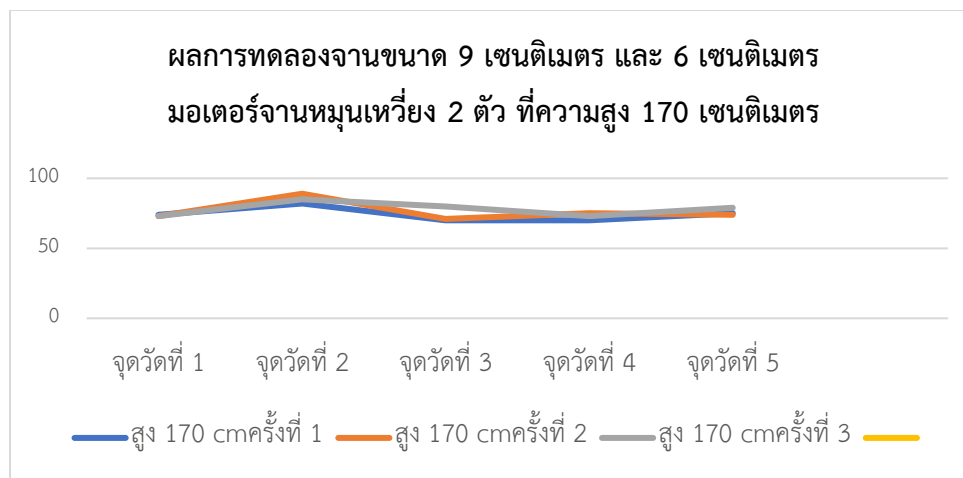


จากรูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 190 เซนติเมตร

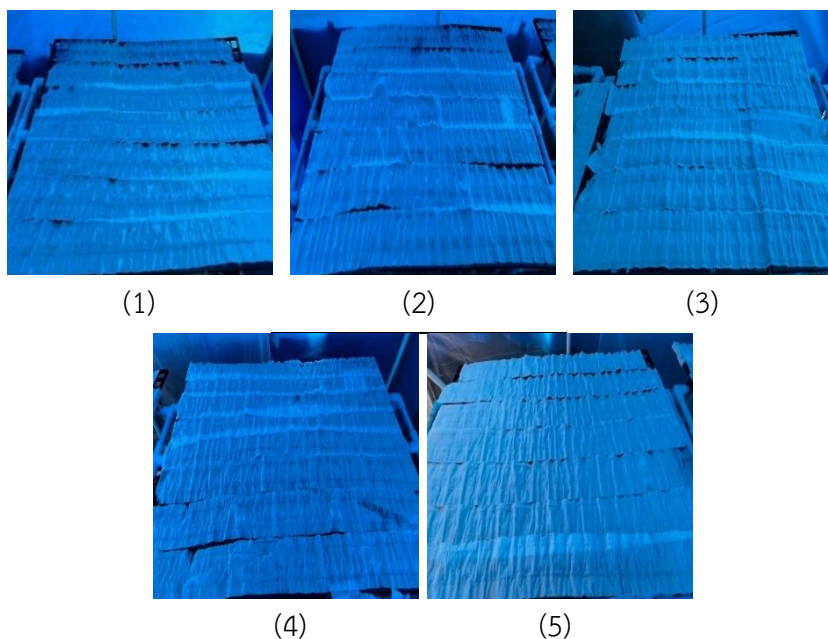
ตารางที่ 4.4.7 การทดลองปริมาตรน้ำ 2 ขนาด (9 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร) มอเตอร์หมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร

ครั้งที่	ปริมาณน้ำทั้ง 5 จุด (กรัม)				
	1	2	3	4	5
1	74	82	70	70	75
2	73	89	71	75	74
3	73	85	80	73	79

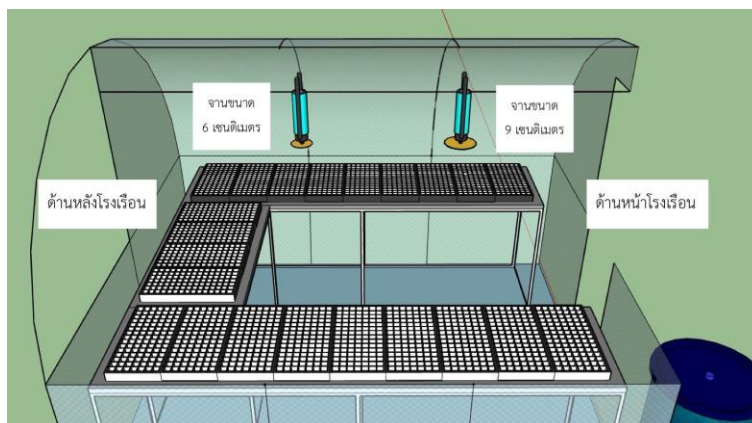
จากการทดลองพบว่า รัศมีของงาน 9 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร สามารถกระจายน้ำเป็นละอองได้อย่างทั่วถึง และเหมาะสมสำหรับการเพาะต้นอ่อน ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองในชุดที่ 1-2 และชุดที่ 4-5 จะได้รับละอองน้ำจากงาน 9 เซนติเมตร และสำหรับชุดที่ 2 3 และ 4 ซึ่งใช้งานขนาด 6 เซนติเมตร พบว่าละอองน้ำของงานหมุนเหวี่ยงทั้ง 2 จะกระจายอย่างสม่ำเสมอ และทั่วถึงทุกบริเวณ โดยไม่มีการสะสมของน้ำในจุดใดจุดหนึ่ง ทำให้สภาพแวดล้อมในการเพาะต้นอ่อนมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกระจายน้ำที่เหมาะสม



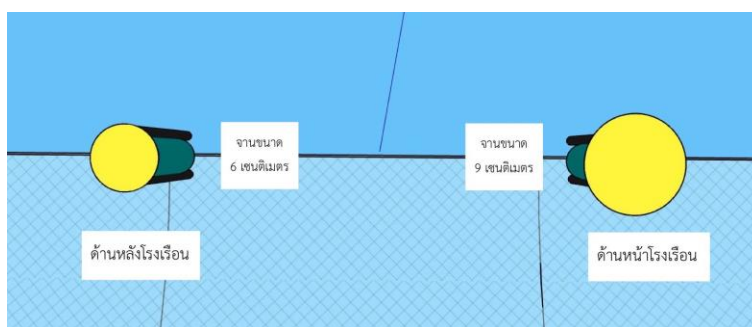
จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลการทดลองงานขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



รูปที่ 4.28 การกระจายน้ำภายในโรงเรือนโดยใช้ขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์งานหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร



รูปที่ 4.29 แบบจำลองตำแหน่งจวนขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์จวนหมุนเหวี่ยง 2 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.30 แบบจำลองจวนขนาด 9 เซนติเมตร (หน้าโรงเรือน) และ 6 เซนติเมตร (หลังโรงเรือน) มอเตอร์จวนหมุนเหวี่ยง 2 ตัว

ตารางที่ 4.4.8 แบบจำลองการให้น้ำ 20 จุดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร

ถาดที่	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1	150	156.33	4.92
	2	157		
	3	162		
2	1	193	199.33	4.92
	2	200		
	3	205		
3	1	196	201.33	6.85
	2	197		
	3	211		
4	1	253	250.67	2.05
	2	248		
	3	251		
5	1	203	203.00	5.72
	2	196		
	3	210		
6	1	251	249.67	1.25
	2	248		
	3	250		
7	1	191	190.67	2.87
	2	187		
	3	194		
8	1	204	200.00	3.74
	2	201		
	3	195		

ตารางที่ 4.4.8 แบบจำลองการให้น้ำ 20 จุดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร (ต่อ)

ถาดที่	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
9	1	210	210.00	10.61
	2	223		
	3	197		
10	1	218	212.33	9.46
	2	220		
	3	199		
11	1	198	201.67	6.65
	2	211		
	3	196		
12	1	192	200.00	8.64
	2	196		
	3	212		
13	1	201	203.00	6.68
	2	212		
	3	196		
14	1	230	236.67	4.78
	2	241		
	3	239		
15	1	211	203.00	5.72
	2	198		
	3	200		
16	1	231	224.33	10.14
	2	210		
	3	232		

ตารางที่ 4.4.8 แบบจำลองการให้น้ำ 20 จุดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร (ต่อ)

ถาดที่	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
17	1	211	207.00	6.08
	2	210		
	3	200		
18	1	190	208.67	13.60
	2	214		
	3	222		
19	1	193	200.33	8.99
	2	195		
	3	213		
20	1	192	199.67	7.59
	2	210		
	3	197		

จากตารางที่ 4.4.8 ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอ ในการหมุนเหวี่ยงของจาน 2 ตัว โดยมีการกระจายของปริมาณน้ำที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำ และความเสถียรใน กระบวนการการหมุนเหวี่ยง การกระจายผลลัพธ์มีความคงที่ และสอดคล้องกัน ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพ ที่ดีของอุปกรณ์ในการควบคุมปริมาณน้ำได้อย่างแม่นยำ และน่าเชื่อถือ ผลลัพธ์นี้ช่วยให้การประเมินผล การทดลองมีความชัดเจน

ตารางที่ 4.4.9 แบบจำลองการให้น้ำ 20 ถาดภายในโรงเรือน โดยใช้จานหมุนเหวี่ยงขนาด 9 เซนติเมตร (ด้านหน้า) และ 6 เซนติเมตร (ด้านหลัง) ที่ความสูง 170 เซนติเมตร แสดงภาพปริมาณน้ำที่ตกในแต่ละจุด

ชุดที่	แบบจำลองการหมุนเหวี่ยงด้านหน้าขนาดจาน 9 และด้านหลังขนาด 6 เซนติเมตร มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว ที่ความสูง 170 เซนติเมตร			
1	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4
				
2	ถาดที่ 5	ถาดที่ 6	ถาดที่ 7	ถาดที่ 8
				
3	ถาดที่ 9	ถาดที่ 10	ถาดที่ 11	ถาดที่ 12
				
4	ถาดที่ 13	ถาดที่ 14	ถาดที่ 15	ถาดที่ 16
				
5	ถาดที่ 17	ถาดที่ 18	ถาดที่ 19	ถาดที่ 20
				

การทดลองแบบจำลองการหมุนเหวี่ยงของจานด้านหน้าขนาด 9 เซนติเมตร และด้านหลังขนาด 6 เซนติเมตร โดยใช้มอเตอร์จานหมุนเหวี่ยง จำนวน 2 ตัว และมีความสูง 170 เซนติเมตร พบว่าการกระจายน้ำไปยังแต่ละหลุมในจานนั้นมีความทั่วถึง และสม่ำเสมอ ทุกหลุมที่อยู่ในแต่ละจาน ซึ่งแต่ละชุดที่ใช้ในการทดลองมี 4 ถาด โดยในแต่ละถาดมี 105 หลุมการหมุนเหวี่ยงที่เกิดขึ้นสามารถกระจายน้ำให้กับ

ทุกหลุมในงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยให้การทดลองมีความแม่นยำ และสม่ำเสมอ โดยน้ำที่ถูกกระจายไปในหลุมต่าง ๆ จะมีการกระจายที่ไม่ค่อยมีกระจุกตัวที่หลุมใดหลุมหนึ่ง ทำให้ผลลัพธ์มีความเสถียรและสามารถวิเคราะห์ได้ง่าย การกระจายน้ำในแต่ละหลุมทำให้มั่นใจได้ว่า การทดลองนั้นมีความทั่วถึง และเป็นมาตรฐานในทุกหลุม ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง หรือพัฒนาแบบจำลองในอนาคตได้

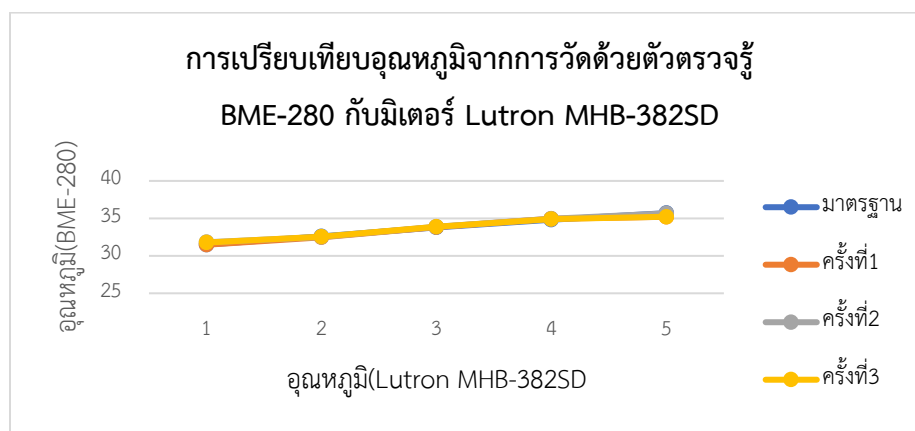
4.5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

จากการทดลองในบทที่ 3 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับ Lutron MHB-382SD ดังรูปที่ 3.25 ได้มีผลการมีการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ 31.5 ถึง 35.7 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าอุณหภูมิในการเปรียบเทียบ โดยอุณหภูมิที่ได้จากการวัดค่าจากตัวตรวจรู้ กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5.1

ตารางที่ 4.5.1 ผลทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

ผลการทดสอบเปรียบเทียบ อุณหภูมิจากการวัด กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 (องศาเซลเซียส)				ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
31.50	31.48	31.81	31.77	31.68	± 0.59
32.60	32.49	32.52	32.67	32.56	± 0.12
33.80	33.84	33.86	33.88	33.86	± 0.17
34.80	34.94	34.96	34.82	34.90	± 0.30
35.70	35.21	35.66	35.70	35.52	± 0.49
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย					± 0.33

จากตารางที่ 4.5.1 เป็นการทดลองวัดอุณหภูมิจากตัวตรวจรู้ BME-280 เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Lutron MHB-382SD โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.33 เปอร์เซ็นต์ เขียนกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 กราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

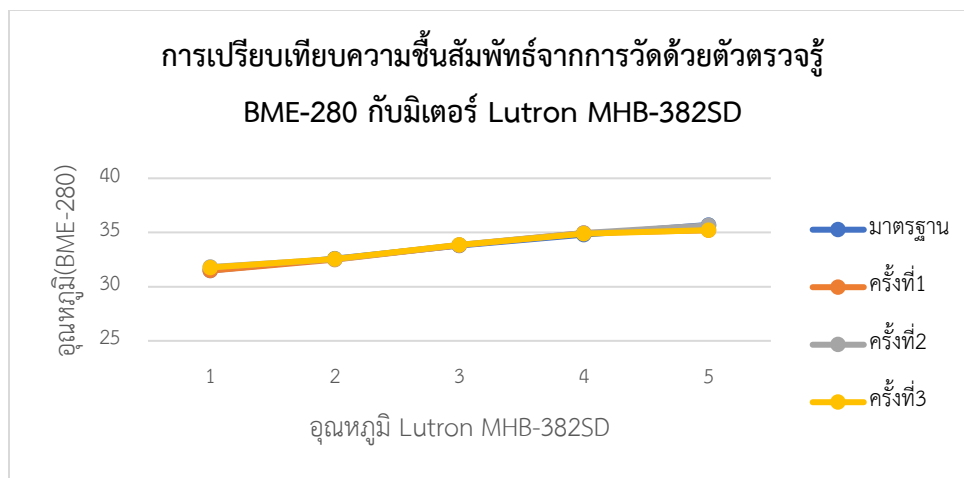
4.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

จากการทดลองในบทที่ 3 การทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD ดังรูปที่ 3.26 ได้มีผลการทดลองการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากตัวตรวจรู้กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD แสดงผลการทดสอบดังตารางภาพที่ 4.6.1

ตารางที่ 4.6.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD

ผลการทดสอบเปรียบเทียบ อุณหภูมิจากการวัด กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 (องศาเซลเซียส)				ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
71.40	71.42	71.45	71.32	71.39	± 0.86
72.20	72.34	72.38	72.42	72.35	± 0.22
73.20	73.33	73.38	73.42	73.36	± 0.21
74.30	74.89	74.96	74.98	74.94	± 0.02
75.40	75.13	75.17	75.06	75.12	± 0.37
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย					± 0.34

จากตารางที่ 4.6.1 เป็นการทดลองวัดความชื้นสัมพัทธ์จากตัวตรวจรู้ BME-280 เพื่อไปเปรียบเทียบกับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Lutron MHB-382SD โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ 0.34 เปอร์เซ็นต์ เขียนกราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 กราฟการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ BME-280 กับ
มิเตอร์ Lutron MHB-382SD

4.7 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823

จากการทดลองในบทที่ 3 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 ดังรูปที่ 3.27 และรูปที่ 3.28 มีผลการทดลองการเปรียบเทียบความเข้มแสงวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 ค่าความเข้มแสงที่ได้จากตัวตรวจรู้กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7.1 และตารางที่ 4.7.2

ตารางที่ 4.7.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงภายในโรงเรือนจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ก่อนชดเชยค่าความเข้มแสง)

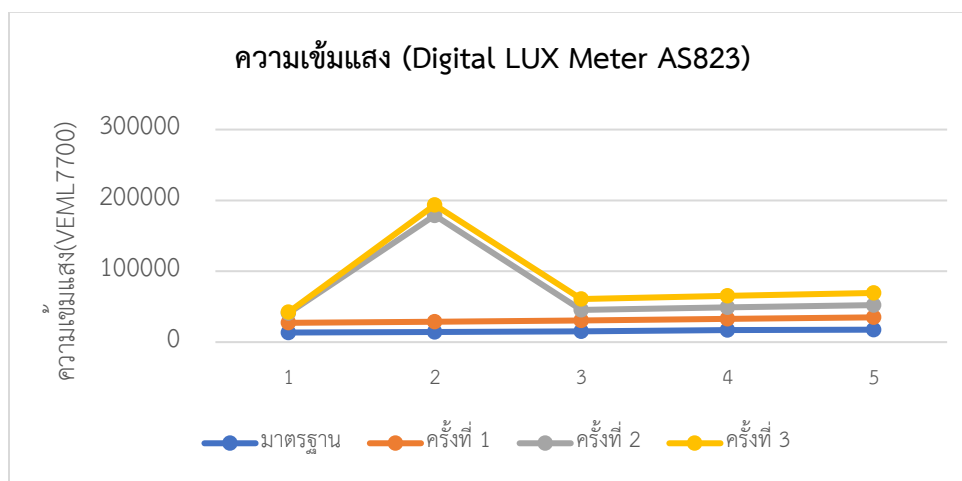
ผลการทดสอบเปรียบเทียบ ความเข้มแสงจากการวัด กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ลักซ์)	ความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 (ลักซ์)				ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
13,570	10,239.88	10,217.59	10,228.77	10,228.75	± 24.63
14,210	11,126.77	11,217.50	11,117.64	11,153.97	± 21.52
15,200	11,902.88	11,891.96	11,915.57	11,903.47	± 24.68
16,810	12,561.87	12,564.50	12,559.66	12,562.01	± 25.27
17,600	13,785.50	13,751.27	13,817.87	13,784.88	± 21.67
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย					± 23.55

จากตารางที่ 4.7.1 เป็นการทดลองวัดความเข้มแสงจากตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 เพื่อไปเปรียบเทียบกับ ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของความเข้มแสง 23.55 เปอร์เซ็นต์ และเขียนกราฟเปรียบเทียบความเข้มแสง แสดงดังรูปที่ 4.33

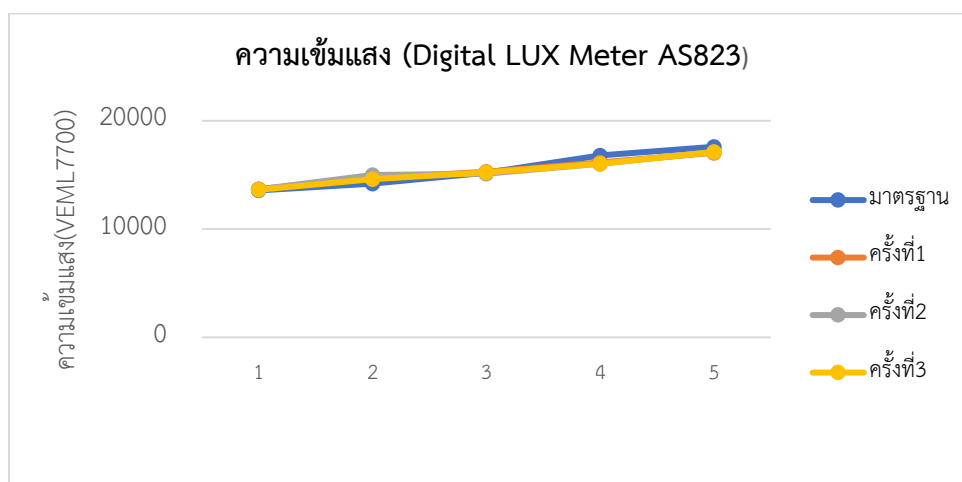
ตารางที่ 4.7.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มแสงภายในโรงเรือนจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (หลังชดเชยค่าความเข้มแสง)

ผลการทดสอบเปรียบเทียบ ความเข้มแสงจากการวัด กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ลักซ์)	ความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 (ลักซ์)				ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
13,570	13,700.00	13,671.00	13,628.22	1,366.40	± 3.51
14,210	14,710.12	14,992.50	14,610.16	14,770.92	± 0.71
15,200	15,288.33	15,106.88	15,244.21	15,213.10	± 0.08
16,810	16,153.25	16,140.01	16,028.99	16,107.40	± 4.17
17,600	1,7385.50	1,7223.04	17,128.05	17,245.53	± 2.01
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย					± 2.10

จากตารางที่ 4.7.2 เป็นการทดลองวัดความเข้มแสงจากตัวตรวจรู้ MCU-3001 OPT3001 เพื่อไปเปรียบเทียบกับ ค่าความเข้มแสงที่ได้หลังชดเชยค่าความเข้มแสง จากการวัดจากมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของความเข้มแสง 2.10 เปอร์เซ็นต์ และเขียนกราฟเปรียบเทียบความเข้มแสง แสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 กราฟการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้
MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (ก่อนชดเชยค่าความเข้มแสง)



รูปที่ 4.34 กราฟการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากการวัดด้วยตัวตรวจรู้
MCU-3001 OPT3001 กับมิเตอร์ Digital LUX Meter AS823 (หลังชดเชยค่าความเข้มแสง)

4.8 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ในการทดลองเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือน ดำเนินการเปรียบเทียบ 2 กรณี โดยแต่ละกรณีใช้ถาดเพาะกล้า 4 ถาด ดังนี้ กรณีที่ 1 ตำแหน่งด้านหน้าโรงเรือนได้แก่ ถาดที่ 1 2 7 และ 8 จะใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบจานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน ทำงานตามเวลา 08.00 น. ถึง 08.05 น. และ 16.00 น. ถึง 16.05 น. รวมถึงสามารถสั่งรดน้ำ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 11.00 น. ถึง 12.00 น. และ 14.00 น. ถึง 15.00 น. จนถึงระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ 2 ตำแหน่งด้านหลังโรงเรือนได้แก่ ถาดที่ 3 4 5 และ 6 รดน้ำด้วยผู้ใช้งาน วันละ 2 ครั้ง เวลาเดียวกับกรณีที่ 1 หลังจากเพาะปลูกครบ 14 วัน ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักต้นกล้ารวมต่อถาด และวัดความสูงโดยการสุ่มต้นกล้า 5 ต้นต่อถาด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตระหว่างระบบรดน้ำทั้งสอง

ตารางที่ 4.8.1 ผลการทดสอบปลูกในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ผลการทดสอบ								
จำนวนถาด	น้ำหนัก(กรัม.)	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)						ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	
ถาดที่ 1	18	9.2	10.1	8.9	8.4	8.5	9.02	0.69
ถาดที่ 2	19	10.4	8.9	9.9	10.2	10.1	9.90	0.62
ถาดที่ 3	15	6.3	6.8	7.3	7.5	8.1	7.76	1.65
ถาดที่ 4	16	6.3	6.8	7.3	7.5	8.1	8.16	0.55
ถาดที่ 5	14	9.4	7.2	7.5	5.3	9.4	7.20	0.71
ถาดที่ 6	17	8.2	8.4	8.00	6.5	10.1	8.24	1.22
ถาดที่ 7	21	10.2	9.8	9.6	10.1	12.1	10.36	0.93
ถาดที่ 8	20	10.2	8.9	12.3	9.4	8.9	10.14	1.33

จากตารางที่ 4.8.1 แสดงผลน้ำหนัก และความสูงตัวอย่างของต้นอ่อนผักกาดหอมที่ทำการปลูกในโรงเรือนโดยแบ่งกรณีที่ 1 ให้อยู่บริเวณหน้าโรงเรือนโดยประกอบด้วย ถาดที่ 1 2 7 และ 8 กรณีที่ 2 ให้อยู่บริเวณหลังโรงเรือน ประกอบด้วย ถาดที่ 3 4 5 และ 6

จากผลการทดลอง พบว่าเถาที่อยู่หน้าโรงเรือน มีการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีกว่าเถาที่อยู่หลังโรงเรือนทั้งในด้านน้ำหนัก และความสูงเฉลี่ย โดยเฉพาะ เถาที่ 7 มีความสูงเฉลี่ยสูงสุดที่ 10.36 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดที่ 21 กรัม ส่วนเถาที่ 5 ซึ่งอยู่หลังโรงเรือนมีความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุดเพียง 7.20 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการวางเถาภายในโรงเรือนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.8.2 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

เถาที่ 1	เถาที่ 2	เถาที่ 3	เถาที่ 4
			
เถาที่ 5	เถาที่ 6	เถาที่ 7	เถาที่ 8
			

จากตารางที่ 4.8.2 การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของเถาเพาะกับขนาดของพืชที่เจริญเติบโต โดยพบว่าเถาในกรณีที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 20 กรัม และในกรณีที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 18 กรัม

ตารางที่ 4.8.3 ผลการทดสอบการวัดความสูงลำต้นในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

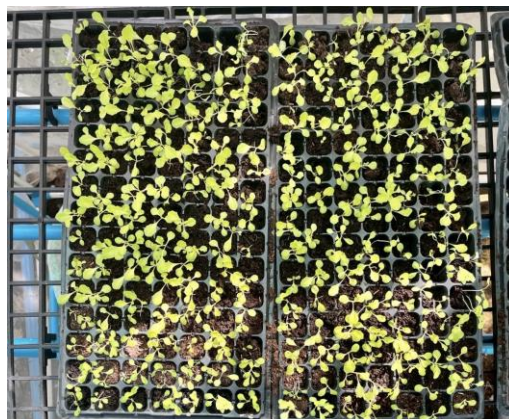
การวัดความสูงต้นอ่อนผักกาดหอมในกรณีที่ 2					
ถาดที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5
1					
2					
3					
4					
5					

ตารางที่ 4.8.3 ผลการทดสอบการวัดความสูงลำต้นในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (ต่อ)

การวัดความสูงต้นอ่อนผักกาดหอมในกรณีที่ 2					
ถาดที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5
6					
7					
8					

จากตารางที่ 4.8.3 ต้นอ่อนในถาดที่ 3 มีแนวโน้มที่จะมีความยาวมากกว่าต้นอ่อนในถาดที่ 1 และ 2 ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงสภาวะแวดล้อมหรือปัจจัยการทดลองที่แตกต่างกันในแต่ละถาดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ต้นอ่อนผักในถาดที่ 4 ถึง 8 ต่อจากการทดลองก่อนหน้านี้ ความยาวของต้นอ่อนยังคงมีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มว่าต้นอ่อนใน ถาดที่ 7 จะมีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ ถาดที่ 6 และ 5 ในขณะที่ถาดที่ 4 และ 8 มีความยาวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และสั้นกว่า การวัดความยาวของลำต้นจะช่วยให้เห็นภาพรวมของการเจริญเติบโตของต้นอ่อนภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

1) กรณีที่ 1 ใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบจานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน โดยทำงานตามเวลาที่กำหนด โดยเริ่มต้นรดน้ำในช่วงเช้าคือเวลา 08.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 08.05 น. และในช่วงบ่ายเริ่มต้นรดน้ำในเวลา 16.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 16.05 น. หรือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น. และ 14.00 น. ถึง 15.00 น. ทำการส่งรดน้ำไปจนถึง 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.35 กรณีที่ 1 ใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบจานหมุนเหวี่ยงควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน

2) กรณีที่ 2 ใช้วิธีการรดน้ำด้วยผู้ใช้งาน วันละ 2 ครั้ง เริ่มต้นรดน้ำในช่วงเช้าคือเวลา 08.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 08.05 น. และในช่วงบ่ายเริ่มต้นรดน้ำในเวลา 16.00 น. สิ้นสุดที่เวลา 16.05 น.



รูปที่ 4. 36 กรณีที่ 2 ใช้วิธีการรดน้ำด้วยผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4.8.4 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอุณหภูมิและแสงสว่างให้อัตโนมัติ

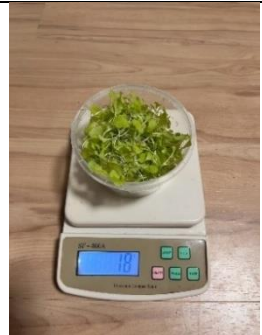
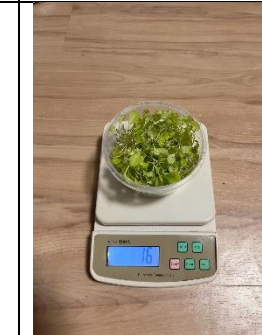
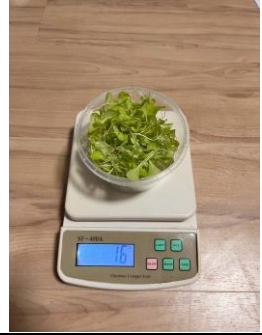
ผลการทดสอบ								
จำนวนถาด	น้ำหนัก (กรัม.)	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)						
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ถาดที่ 1	18	9.2	10.1	8.9	8.4	8.5	9.02	0.69
ถาดที่ 2	19	10.4	8.9	9.9	10.2	10.1	9.90	0.62
ถาดที่ 3	15	6.3	6.8	7.3	7.5	8.1	7.76	1.65
ถาดที่ 4	16	6.3	6.8	7.3	7.5	8.1	7.20	0.55
ถาดที่ 5	19	9.4	7.2	7.5	5.3	9.4	7.72	1.71
ถาดที่ 6	17	8.2	8.4	8.0	6.5	10.1	8.24	1.22
ถาดที่ 7	21	10.2	9.8	9.6	10.1	10.6	10.06	0.93
ถาดที่ 8	20	10.2	8.9	12.3	9.4	10.4	10.24	1.33
ถาดที่ 9	18	9.1	9.3	8.7	8.9	9.0	9.00	0.22
ถาดที่ 10	17	8.3	8.0	8.6	8.5	8.4	8.36	0.23
ถาดที่ 11	20	10.1	9.8	10.3	10.0	10.2	10.08	0.19
ถาดที่ 12	19	9.6	9.5	9.3	9.8	9.7	9.58	0.18
ถาดที่ 13	16	8.2	8.0	8.3	8.5	8.1	8.22	0.18
ถาดที่ 14	15	7.0	6.9	6.8	7.2	7.1	7.00	0.15
ถาดที่ 15	18	9.3	9.	8.9	9.1	9.2	9.10	0.15
ถาดที่ 16	21	10.5	10.2	10.7	10.6	10.4	10.48	0.18
ถาดที่ 17	20	10.0	9.9	10.2	10.1	10.3	10.10	0.15
ถาดที่ 18	17	8.5	8.6	8.3	8.7	8.4	8.50	0.16
ถาดที่ 19	19	9.8	9.9	10.0	9.7	10.1	9.90	0.15

ตารางที่ 4.8.4 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

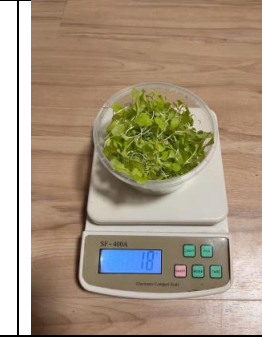
ผลการทดสอบ								
จำนวนถาด	น้ำหนัก (กรัม.)	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)						
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ถาดที่ 20	18	9.0	8.8	9.2	9.1	9.3	9.08	0.18

จากตารางที่ 4.8.4 จากการทดสอบ 20 ถาด แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงตั้งแต่ 7.00 เซนติเมตร ถึง 10.48 เซนติเมตร และความแปรปรวนของการวัด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตั้งแต่ 0.15 ถึง 1.71 ในแต่ละถาด ค่าเฉลี่ยของความสูงเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ประมาณ 8.82 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวมอยู่ที่ประมาณ 0.82

ตารางที่ 4.8.5 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยให้น้ำอัตโนมัติ

ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4
			
ถาดที่ 5	ถาดที่ 6	ถาดที่ 7	ถาดที่ 8
			
ถาดที่ 9	ถาดที่ 10	ถาดที่ 11	ถาดที่ 12
			

ตารางที่ 4.8.5 ผลการทดสอบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

ถาดที่ 13	ถาดที่ 14	ถาดที่ 15	ถาดที่ 16
			
ถาดที่ 17	ถาดที่ 18	ถาดที่ 19	ถาดที่ 20
			

จากตารางที่ 4.8.5 การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของถาดเพาะกับขนาดของพืชที่เจริญเติบโต โดยพบว่าถาดที่มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงถึง 21 กรัม มีขนาดพืชที่เติบโตได้ดี ความแตกต่างในการเจริญเติบโตของต้นกล้าในถาดที่มีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ชี้ให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมมีความสม่ำเสมอภายในโรงเรือน

ตารางที่ 4.8.6 ผลการทดสอบการวัดความสูงผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

การวัดความสูงต้นอ่อนผักกาดหอมระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ					
ถาดที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5
1					
2					
3					
4					

ตารางที่ 4.8.6 ผลการทดสอบการวัดความสูงผักกาดหอมภายในโรงเรือนระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

การวัดความสูงต้นอ่อนผักกาดหอมระยะเวลา 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ					
ถาดที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5
5					

(หมายเหตุ: ความยาวต้นอ่อนในแต่ละถาดแสดงผลจากการสุ่มวัดความยาวของต้นอ่อนจำนวน 5 ต้นต่อถาด เพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินการเจริญเติบโตโดยรวม)

4.9 ผลการทดสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรียน

การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงในโรงเรียนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพาะต้นกล้าเพื่อให้เติบโตได้ดี และแข็งแรง อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่พอเหมาะจะช่วยให้ต้นกล้าดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เสี่ยงต่อโรคจากความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป ส่วนความเข้มแสงที่เหมาะสม ช่วยกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาราก และลำต้นที่แข็งแรง การควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรียนให้เหมาะสม จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มโอกาสให้ต้นกล้าเติบโตอย่างมีคุณภาพ และพร้อมสำหรับการปลูกในระยะต่อไป

ตารางที่ 4.9.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรียนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
08.00 น.	28.11	31.73	31.41	30.76	30.64	31.84	31.76
09.00 น.	30.43	33.56	32.83	31.04	30.91	30.92	30.84
10.00 น.	32.91	34.78	33.95	34.22	34.04	33.91	33.86
11.00 น.	34.64	37.34	36.88	36.31	36.22	35.97	35.99
12.00 น.	35.26	38.21	38.96	37.68	37.43	37.51	37.19
13.00 น.	34.16	38.21	37.34	36.57	36.13	36.34	36.12
14.00 น.	32.30	36.42	35.72	35.41	35.01	35.21	35.07
15.00 น.	31.22	34.29	34.01	33.82	33.59	33.98	33.78
16.00 น.	29.76	32.87	32.19	32.15	31.67	32.13	31.90
17.00 น.	28.91	30.11	30.48	30.67	30.02	30.11	30.12
18.00 น.	28.42	29.26	29.73	29.52	30.96	30.89	28.95

ตารางที่ 4.9.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (ต่อ)

ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
วัน/เวลา	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14
08.00 น.	28.91	30.89	29.92	30.86	30.84	30.86	30.84
09.00 น.	30.98	31.96	30.94	30.95	30.94	30.95	30.93
10.00 น.	33.83	33.77	33.80	33.80	32.72	33.80	32.72
11.00 น.	36.13	35.96	36.07	36.05	32.95	36.05	32.95
12.00 น.	37.29	37.24	37.17	37.13	31.11	37.13	31.11
13.00 น.	36.07	36.09	36.05	36.02	31.02	36.02	31.02
14.00 น.	34.95	35.03	34.97	34.96	32.94	34.96	32.94
15.00 น.	33.78	33.85	33.87	33.77	33.75	33.77	33.75
16.00 น.	31.88	31.92	31.85	31.87	31.84	31.87	31.84
17.00 น.	30.05	30.06	30.09	30.06	30.04	30.06	30.04
18.00 น.	28.87	28.88	30.93	30.89	28.88	30.89	28.88

จากตารางที่ 4.9.1 อุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าในช่วง 7 วันแรก มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของวันอย่างชัดเจน โดยจะค่อย ๆ สูงขึ้นตั้งแต่เช้าไปจนถึงกลางวัน และลดลงในช่วงบ่าย และช่วงเย็นอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงกลางวันประมาณ 37-38 องศาเซลเซียส และต่ำสุดในช่วงเช้า ในช่วงเย็นประมาณ 28-31 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในแต่ละวันมีความสม่ำเสมอค่อนข้างมากอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าในช่วงวันที่ 8 ถึง วันที่ 14 ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของวัน โดยมีแนวโน้มสูงในช่วงกลางวัน ต่ำลงในช่วงเช้า และช่วงเย็น อย่างไรก็ตามในวันที่ 12 และ วันที่ 13 พบว่าอุณหภูมิในช่วงกลางวันต่ำกว่าวันอื่น ๆ ในสัปดาห์เล็กน้อย นอกเหนือจากนั้นอุณหภูมิโดยรวมยังคงอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4.9.2 ผลการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
08.00 น.	72.46	78.35	69.14	68.55	68.41	68.72	78.45
09.00 น.	68.11	73.44	65.02	65.64	65.32	65.89	75.72
10.00 น.	62.73	69.12	66.76	62.11	62.19	65.52	72.65
11.00 น.	65.32	65.01	64.44	61.64	61.73	68.43	71.82
12.00 น.	78.00	65.36	61.12	72.38	70.55	70.35	74.21
13.00 น.	64.45	61.36	63.93	66.12	72.68	65.11	72.98
14.00 น.	63.92	62.50	62.48	69.98	71.93	69.78	71.84
15.00 น.	66.84	72.10	71.22	70.81	70.31	71.62	71.21
16.00 น.	70.17	64.25	70.39	66.92	71.85	69.72	79.99
17.00 น.	74.36	65.87	69.11	68.66	72.42	70.54	82.34
18.00 น.	76.97	68.69	65.67	70.14	74.88	72.94	82.99

ตารางที่ 4.9.2 ผลการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (ต่อ)

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)							
วัน/เวลา	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14
08.00 น.	78.82	79.11	79.23	78.92	78.65	78.92	78.65
09.00 น.	75.96	76.23	76.41	75.99	75.78	75.99	75.78
10.00 น.	72.79	72.98	72.90	72.85	72.73	72.85	72.73
11.00 น.	71.68	71.65	71.75	71.60	71.48	71.60	71.48
12.00 น.	74.42	74.04	74.14	73.98	73.92	73.98	73.92
13.00 น.	73.07	73.15	73.22	73.09	72.99	73.09	72.99
14.00 น.	72.55	72.61	72.68	72.54	72.45	72.54	72.45
15.00 น.	71.97	71.87	71.93	71.82	71.87	71.82	71.78
16.00 น.	80.61	79.85	79.92	79.77	79.63	79.77	79.63
17.00 น.	82.63	82.49	82.45	82.56	82.43	82.56	82.43
18.00 น.	84.91	84.76	84.78	84.62	84.54	84.62	84.54

จากตารางที่ 4.9.2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าในช่วง 7 วันแรก มีความผันผวนทั้งในแต่ละวัน และในแต่ละช่วงเวลา โดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยรวมอยู่ในช่วงประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ ถึง 83 เปอร์เซ็นต์ โดยมักจะสูงในช่วงเช้าและเย็น แต่ในช่วงกลางวันก็มีความแตกต่างกันไปในแต่ละวันค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าในช่วงวันที่ 8 ถึงวันที่ 14 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบที่ค่อนข้างคงที่ในแต่ละวัน โดยจะสูงในช่วงเช้าและเย็น และลดลงในช่วงกลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยรวมอยู่ในช่วงประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ ถึง 85 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9.3 ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
8.00 น.	3,892.34	4,921.36	4,786.42	4,924.37	4,831.45	4,792.19	4,702.34
9.00 น.	6,548.21	8,152.63	8,432.75	8,547.18	8,342.16	8,264.79	8,143.65
10.00 น.	10,896.73	11,327.48	12,842.61	12,014.29	8,153.73	12,236.45	12,180.12
11.00 น.	14,425.19	10,245.83	10,953.22	14,123.83	9,978.54	13,813.24	9,765.47
12.00 น.	17,642.53	19,436.17	21,250.58	18,837.56	21,423.69	18,694.62	15,486.51
13.00 น.	16,214.78	19,436.17	18,543.67	18,341.27	20,637.88	19,247.35	11,235.72
14.00 น.	12,378.36	22,157.95	19,842.13	11,542.74	12,491.17	1,186.92	7,052.48
15.00 น.	8,954.12	17,864.31	17,421.09	9,367.89	11,936.44	8,047.63	6,894.34
16.00 น.	4,821.67	2,961.57	5,428.76	14,238.42	6,128.39	15,729.12	4,287.42
17.00 น.	2,689.34	2,784.33	2,787.30	2,841.57	2,893.75	2,860.47	2,870.51
18.00 น.	912.56	962.41	957.38	948.29	917.24	903.22	215.12

ตารางที่ 4.9.3 ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงในการเพาะต้นกล้าภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (ต่อ)

ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)							
วัน/เวลา	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14
08.00 น.	2,730.09	3,719.89	3,734.71	2,730.71	4,745.62	2,730.71	4,745.62
09.00 น.	4,153.42	5,085.79	5,103.45	2,092.42	8,104.67	2,092.42	8,104.67
10.00 น.	8,204.16	10,165.35	9,098.24	4,092.33	12,110.57	4,092.33	12,110.57
11.00 น.	11,811.09	8,742.92	15,710.18	18,672.12	13,681.34	18,672.12	13,681.34
12.00 น.	18,943.16	9,119.24	17,052.45	23,084.50	12,112.67	23,084.50	12,112.67
13.00 น.	9,288.67	10,183.24	15,121.52	21,105.27	9,129.35	21,105.67	9,129.35
14.00 น.	10,892.74	6,974.32	5,949.32	14,941.97	10,962.56	14,941.67	10,962.56
15.00 น.	5,952.89	5,844.47	6,879.52	10,859.58	17,866.94	10,859.58	17,866.94
16.00 น.	4,294.01	1,313.87	321.34	4,321.75	5,309.65	4,312.75	5,309.65
17.00 น.	665.41	855.67	452.89	2,853.80	2,851.48	2,853.80	2,851.48
18.00 น.	112.38	193.29	910.67	911.26	910.56	911.26	910.56

จากตารางที่ 4.9.3 ค่าความเข้มแสงภายในโรงเรือนมีความผันผวนอย่างมาก โดยมีค่าต่ำสุดที่ 215.12 ลักซ์ และสูงสุดที่ 22,157.95 ลักซ์ รูปแบบโดยทั่วไปคือความเข้มแสงจะสูงในช่วงกลางวันสูงสุดระหว่าง 9,765 ถึง 22,157 ลักซ์ และต่ำในช่วงเช้าประมาณ 3,892 ถึง 4,924 ลักซ์ และในช่วงเย็นประมาณ 215 ถึง 2,893 ลักซ์ อย่างไรก็ตาม ความเข้มแสงโดยรวมในแต่ละวันแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยบางวันมีแสงมากกว่าวันอื่น จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มแสงแตกต่างกันอย่างมากในแต่ละวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างวันที่ 8 ถึงวันที่ 10 ซึ่งมีค่าโดยรวมต่ำกว่า และวันที่ 11 ถึงวันที่ 14 ซึ่งมีค่าโดยรวมสูงกว่าอย่างชัดเจน

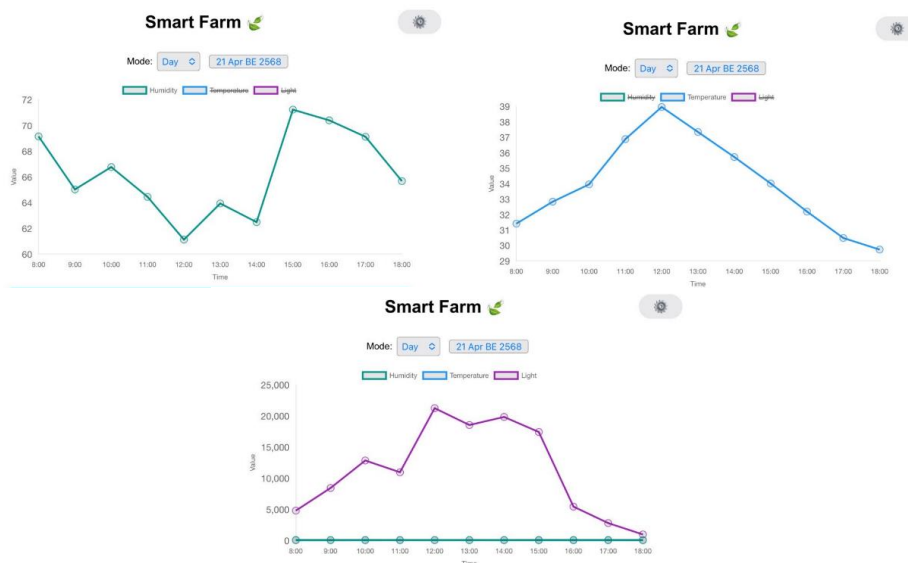


(หมายเหตุ: เวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น. มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ลดลงหลังเที่ยง และความเข้มแสงที่ลดลงต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.37 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 19 เมษายน 2568 (วันที่ 1 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 20 เมษายน 2568 (วันที่ 2 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 21 เมษายน 2568 (วันที่ 3 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 22 เมษายน 2568 (วันที่ 4 ในการเก็บค่า)



(หมายเหตุ: เวลา 17.00 – 18.00 น. มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ลดลง และความเข้มแสงลดลงต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 23 เมษายน 2568 (วันที่ 5 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 24 เมษายน 2568 (วันที่ 6 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 25 เมษายน 2568 (วันที่ 7 ในการเก็บค่า)



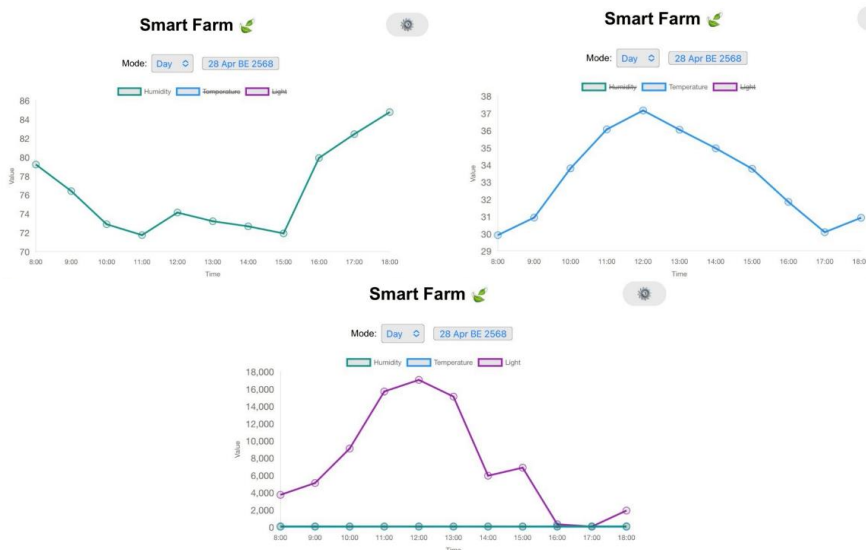
(หมายเหตุ: เวลา 15.00 – 18.00 น. มีฝนจะตก ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ และความเข้มแสงลดลงความเข้มแสงลดลงต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.44 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 26 เมษายน 2568 (วันที่ 8 ในการเก็บค่า)



(หมายเหตุ: ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง ความเข้มแสงที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 27 เมษายน 2568 (วันที่ 9 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 28 เมษายน 2568 (วันที่ 10 ในการเก็บค่า)



(หมายเหตุ: ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 18.00 น. มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง และความเข้มแสงที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 29 เมษายน 2568 (วันที่ 11 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 30 เมษายน 2568 (วันที่ 12 ในการเก็บค่า)



(หมายเหตุ: ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 18.00 น. มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง และความเข้มแสงที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.49 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 1 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 13 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 2 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 14 ในการเก็บค่า)

ตารางที่ 4.9.4 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม
จานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
08.00 น.	31.72	31.12	31.15	33.12	32.44	31.24	33.56
09.00 น.	33.14	32.24	32.47	34.85	36.25	32.55	37.39
10.00 น.	34.69	33.35	33.94	36.41	46.18	34.16	38.85
11.00 น.	33.85	34.22	34.56	37.28	46.01	35.42	37.98
12.00 น.	36.92	34.61	34.02	36.92	46.82	35.68	38.92
13.00 น.	35.23	33.89	33.11	36.04	45.87	36.21	35.17
14.00 น.	36.15	33.17	32.68	33.03	41.35	34.92	34.25
15.00 น.	34.92	32.64	31.85	39.38	34.32	33.44	35.93
16.00 น.	33.38	31.88	31.23	32.64	29.62	32.76	36.77
17.00 น.	32.09	31.02	30.56	32.61	28.25	31.62	35.34
18.00 น.	31.45	30.56	30.01	34.72	28.13	31.05	33.89

ตารางที่ 4.9.4 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม จานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
วัน/เวลา	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14
08.00 น.	33.01	32.47	31.45	33.42	31.92	33.76	31.88
09.00 น.	35.50	34.03	32.56	34.20	32.81	35.62	33.73
10.00 น.	39.91	35.82	32.89	35.53	35.45	36.98	35.02
11.00 น.	33.68	39.14	33.57	40.24	36.12	43.42	37.64
12.00 น.	32.74	39.10	34.12	42.12	42.78	42.03	41.25
13.00 น.	33.12	38.65	32.97	42.68	43.96	40.87	40.01
14.00 น.	34.58	42.37	33.92	39.01	40.65	42.31	38.38
15.00 น.	33.83	32.46	32.56	32.34	36.43	38.24	36.87
16.00 น.	32.56	27.45	31.42	31.29	35.97	33.68	35.29
17.00 น.	31.34	28.07	30.65	32.34	32.45	32.27	33.14
18.00 น.	31.12	28.27	29.93	31.29	31.38	31.15	32.06

จากตารางที่ 4.9.4 พบว่าในช่วงวันที่ 1 3 และ 6 พบว่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ในช่วงกลางวัน อยู่ในช่วงประมาณ 33 ถึง 36 องศาเซลเซียส วันที่ 2 อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงสายถึงเที่ยง ก่อนจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง วันที่ 4 มีลักษณะเด่น คืออุณหภูมิพุ่งสูงสุดในช่วงบ่ายสูงถึง 39.38 องศาเซลเซียส ขณะที่วันที่ 5 ถือเป็นวันที่ร้อนที่สุดในช่วง 7 วันแรก โดยมีอุณหภูมิ 46.82 องศาเซลเซียส ในช่วงเที่ยง วันที่ 7 อุณหภูมิสูงสุดในช่วงสายถึงเที่ยง และลดลงช่วงบ่าย สำหรับวันที่ 8 อุณหภูมิสูงสุดอยู่ช่วงสาย 10.00 น. และลดลงต่อเนื่องในช่วงบ่าย วันที่ 9 มีอุณหภูมิสูงถึง 42.37 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่าย และต่ำลงอย่างชัดเจนในช่วงเย็น ส่วนวันที่ 10 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดในช่วงกลางวัน วันที่ 11 ถึงวันที่ 14 พบว่า

อุณหภูมิสูงในช่วงกลางวัน โดยเฉพาะวันที่ 11 และ 12 ซึ่งอุณหภูมิเกิน 42 องศาเซลเซียส ช่วงเที่ยงถึงบ่ายก่อนจะลดลงในช่วงเย็น สะท้อนถึงสภาพอากาศร้อนจัดในช่วงปลายของช่วงเวลาสังเกตการณ์นี้

ตารางที่ 4.9.5 ผลการทดสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
08.00 น.	67.25	71.35	68.28	62.46	70.94	69.23	64.29
09.00 น.	65.03	68.56	65.93	59.28	69.03	68.47	54.87
10.00 น.	66.47	69.88	62.11	57.91	69.73	65.02	52.79
11.00 น.	70.83	61.34	61.74	55.22	65.96	71.31	47.78
12.00 น.	67.91	78.93	71.39	56.76	71.28	57.84	71.1
13.00 น.	65.84	77.12	68.28	58.88	68.77	59.91	68.93
14.00 น.	64.17	68.45	65.95	65.25	65.05	62.39	62.73
15.00 น.	72.46	71.13	70.45	72.05	71.70	70.71	70.18
16.00 น.	69.32	63.45	67.11	66.62	65.22	61.48	66.84
17.00 น.	70.58	64.92	65.74	65.32	69.89	62.78	64.27
18.00 น.	71.04	68.17	68.21	52.84	68.88	60.91	61.52

ตารางที่ 4.9.5 ผลการทดสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมจานหมุนหึ่งให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)							
วัน/เวลา	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14
08.00 น.	65.37	68.99	68.12	68.12	68.34	68.45	66.91
09.00 น.	60.87	64.04	69.20	66.20	69.10	67.90	65.27
10.00 น.	56.78	55.42	71.21	64.85	65.29	65.14	69.80
11.00 น.	52.82	57.87	73.01	60.43	61.54	62.26	65.02
12.00 น.	70.12	46.83	74.16	72.51	72.76	70.73	72.59
13.00 น.	65.37	59.66	77.89	68.98	68.34	67.22	68.88
14.00 น.	60.52	50.37	79.10	74.50	66.21	64.39	65.62
15.00 น.	62.13	74.04	78.00	74.92	70.84	71.93	68.88
16.00 น.	63.47	78.22	77.36	68.87	67.26	68.71	65.62
17.00 น.	61.85	75.13	75.60	65.48	68.67	65.11	71.41
18.00 น.	60.67	76.26	74.02	67.03	68.42	67.39	67.12

จากตารางที่ 4.9.5 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวันมีแนวโน้มผันแปรตามช่วงเวลา โดยช่วงเช้า เวลา 08.00 น. ถึง 10.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะค่อนข้างสูง และจะลดลงในช่วงสายถึงบ่าย 11.00 น. ถึง 14.00 น. ก่อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเย็น 15.00 น. ถึง 18.00 น. วันที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ วันที่ 10 และวันที่ 11 ซึ่งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เกือบทุกช่วงเวลาเกิน 70 เปอร์เซ็นต์ สะท้อนถึงสภาพอากาศที่ชื้นมากเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ในขณะที่วันที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ได้แก่ วันที่ 4 และวันที่ 9 โดยเฉพาะช่วงสายถึงบ่ายมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9.6 ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม
จานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
8.00 น.	3,891.74	2,843.76	3,241.83	3,367.84	2,339.61	3,958.61	2743.44
9.00 น.	7,543.22	3,942.27	4,576.42	7,105.94	6,807.91	6,404.28	7775.79
10.00	11,678.93	7,624.91	8,891.24	18,214.43	2,0116.35	15365.72	9884.87
11.00 น.	10,342.11	12,549.38	16,623.87	19135.72	21,627.72	24136.91	17565.84
12.00 น.	22,756.22	17,021.366	26,234.55	26,484.73	23,870.86	18874.18	16943.39
13.00 น.	19,234.78	16,435.28	2,5812.63	16,238.30	18,537.68	14954.43	18518.06
14.00 น.	16,193.45	9,712.41	1,6123.87	17,964.76	1,415.15	17382.16	6,452.37
15.00 น.	18,329.88	4,628.57	5,021.37	11,136.69	639.47	13845.27	8,234.55
16.00 น.	15,879.61	3,081.33	3,898.54	6,859.75	175.25	1,165.98	2921.12
17.00 น.	2,711.29	2,021.76	2,143.66	1,367.62	68.46	5,459.73	1022.49
18.00 น.	834.55	758.24	728.15	308.19	25.79	1,192.43	216.73

ตารางที่ 4.9.6 ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงระยะเวลาในการปลูก 14 วัน ด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม จานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ (ต่อ)

ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)							
วัน/เวลา	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
08.00 น.	1,482.08	1,757.59	11,234.56	3,234.56	5,342.67	2,234.11	3,356.72
09.00 น.	3,075.33	3,965.20	12,489.12	8,489.42	12,567.32	6,455.64	7,561.85
10.00 น.	11,562.32	5,350.87	11,834.52	10,134.52	15,985.25	12,187.23	11,932.47
11.00 น.	12,341.65	14,238.51	13,154.28	13,845.91	19,234.67	18,942.67	15,248.11
12.00 น.	10,712.33	15,536.44	24,238.75	22,934.78	21,567.89	17,234.18	22,478.33
13.00 น.	13,983.72	1,399.92	15,567.98	24,476.53	23,874.42	20,589.52	18,934.77
14.00 น.	12,347.56	612.29	16,345.76	17,925.56	18,123.56	19,843.27	23,321.50
15.00 น.	6,729.91	199.68	25,423.28	15,432.84	14,687.74	12,212.94	18,572.94
16.00 น.	3632.42	185.94	14,321.61	8,321.61	3,945.51	7,753.94	8,984.63
17.00 น.	873.26	145.63	2,898.43	1,898.43	1,987.12	4,753.84	2,657.88
18.00 น.	365.92	61.38	654.29	354.29	321.88	693.12	145.29

จากตารางที่ 4.9.6 พบว่าวันที่ 1, 2, 4, 6 และ 7 มีความเข้มแสงสูงในช่วงกลางวัน โดยเฉพาะในเวลา 11.00 ถึง 14.00 น. โดยวันที่ 4 มีค่าสูงสุด วันที่ 3 มีความเข้มแสงสูงในช่วงสาย และช่วงเที่ยง แต่จะลดลงในช่วงบ่าย วันที่ 5 มีความเข้มแสงต่ำโดยรวม โดยเฉพาะในช่วงบ่ายวันที่ 10 เป็นวันที่ สว่างที่สุด โดยมีค่าความเข้มแสงสูงต่อเนื่องยาวนานในช่วงกลางวัน วันที่ 9 เป็นวันที่ สภาพแสงน้อยที่สุดในช่วงบ่าย วันอื่น ๆ เช่น วันที่ 8, 11, 12, 13 และ 14 มีความเข้มแสงสูงในช่วงกลางวันคล้ายกัน แต่ระดับความสว่าง

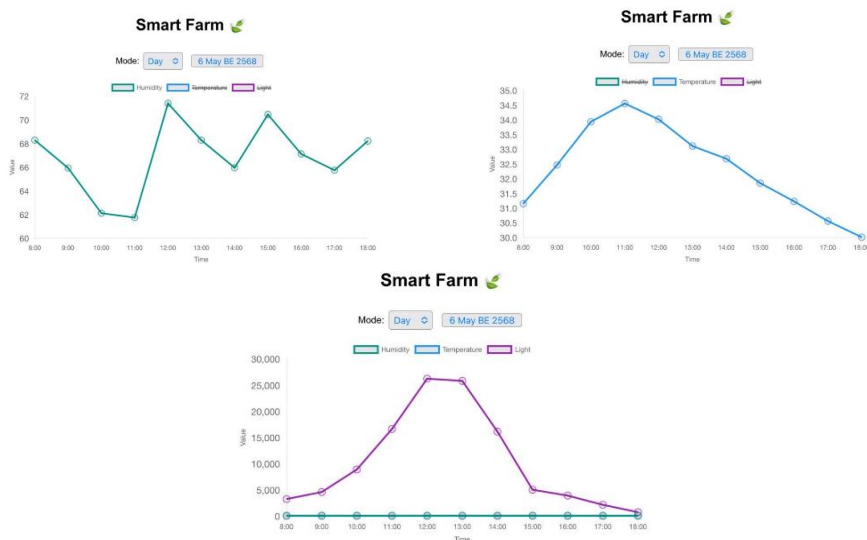
สูงสุด และระยะเวลาที่ความสว่างคงที่อาจแตกต่างกันเล็กน้อยโดยทั่วไปแล้ว ความเข้มแสงจะต่ำในช่วงเช้า และเย็นจะสูงในช่วงกลางวัน โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 10,000 ถึง 25,000 ลักซ์ ในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 15.00 น.



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 4 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 1 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 5 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 2 ในการเก็บค่า)



(หมายเหตุ: ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. มีฝนตกภายในบริเวณ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง ความเข้มแสงสว่างที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 6 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 3 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 7 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 4 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 8 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 5 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 9 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 6 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 10 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 7 ในการเก็บค่า)

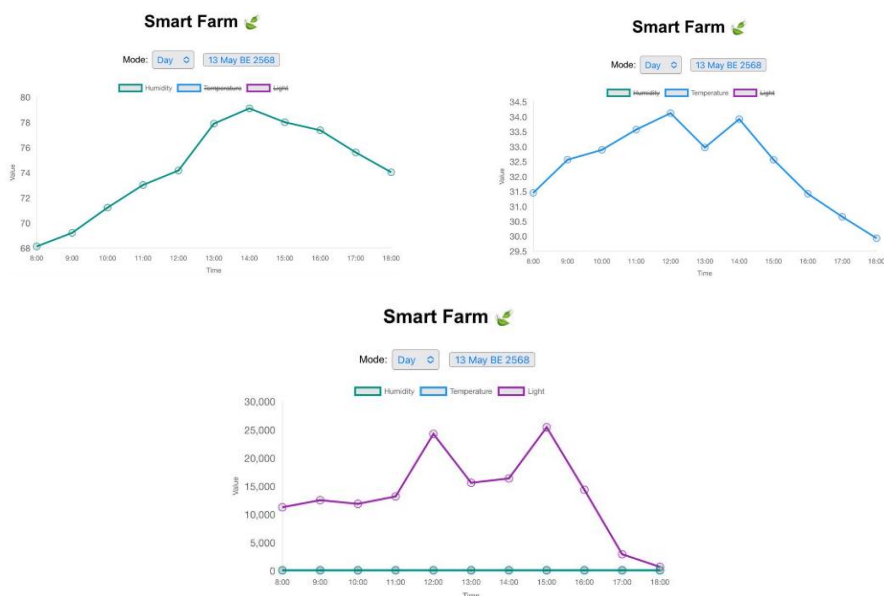


รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 11 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 8 ในการเก็บค่า)

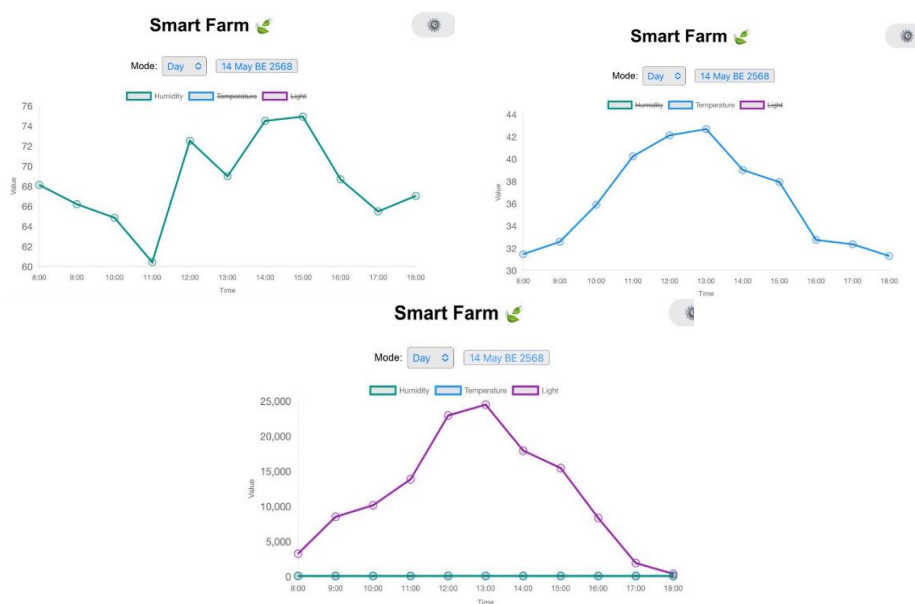


(หมายเหตุ: ในช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 18.00 น. มีฝนตกภายในบริเวณ ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง ความเข้มแสงสว่างที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง)

รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 12 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 9 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 13 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 10 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 14 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 11 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 15 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 12 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 16 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 13 ในการเก็บค่า)



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความเข้มแสง (ลักซ์) วันที่ 17 พฤษภาคม 2568 (วันที่ 14 ในการเก็บค่า)

4.10 สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) อัตราการไหล และประสิทธิภาพการกระจายน้ำของโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของน้ำจากหัวจ่ายจำนวน 1 หัวมีค่าไม่น้อยกว่า 2,500 มิลลิลิตรต่อ 1 นาที สำหรับโรงเรือนที่มีขนาด $2.5 \times 2.9 \times 2.2$ เมตร เหมาะสมที่จะติดตั้งมอเตอร์งานหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว ภายในโรงเรือน เพื่อให้สามารถกระจายน้ำได้อย่างทั่วถึง โดยงานหมุนบริเวณด้านหน้าโรงเรือนมีขนาด 9 เซนติเมตร และงานหมุนบริเวณด้านหลังมีขนาด 6 เซนติเมตร ติดตั้งที่ความสูง 170 เซนติเมตร ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า การกระจายน้ำภายในโรงเรือนมีความสม่ำเสมอ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยของน้ำที่กระจายได้ทั่วโรงเรือนอยู่ที่ 208.89 กรัม แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบในการให้น้ำต้นกล้าในพื้นที่เพาะปลูก.

2) การควบคุมการทำงานของระบบ

จากการทดลองเพื่อสังเกตการทำงานของเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติพบว่าสามารถควบคุมผ่านระบบไร้สายได้ไม่น้อยกว่า 3 โปรแกรม ได้แก่ โหมด Manual และโหมด Auto 3 โหมด ซึ่งแต่ละโหมดสามารถปรับใช้งานได้ตามความต้องการของพืชในแต่ละช่วงวันเพาะปลูก ช่วยลดภาระแรงงานคนและเพิ่มความสะดวกสบายในการดูแลต้นกล้า นอกจากนี้ ระบบยังมี ระบบแจ้งเตือนและแสดงคำแนะนำ เมื่อสภาพแสงและความชื้นไม่เหมาะสม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับทราบปัญหาและดำเนินการแก้ไขหรือปรับปรุงได้อย่างทันทั่วถึงที่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูกและดูแลโรงเรือนได้อย่างยั่งยืน.

3) การทดสอบปลูกต้นกล้าผักกาดหอมภายในโรงเรือนกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

จากการทดลองการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมในกรณีที่ 1 รดน้ำ 2 ช่วง ในช่วงเช้า 08.00 น. ถึง 08.05 น. และในช่วงเย็น 16.00 น. ถึง 16.05 น. แต่มีการรดน้ำผ่านระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ มีการตรวจสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น. และในช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 15.00 น. หากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ระบบจะทำการรดน้ำจนกว่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่า 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเจริญเติบโตของพืชมีค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นอยู่ที่ 9.86 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 19.75 กรัม ส่วนในกรณีที่ 2 รดน้ำ 2 ช่วง ในช่วงเช้า 08.00 น. ถึง 08.05 น. ในช่วงเย็น 16.00 น. ถึง 16.05 น. พบว่าการเจริญเติบโตของพืชมีค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นอยู่ที่ 8.26 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 16 กรัม ทั้งนี้ทั้ง 2 กรณีมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันแต่ในกรณีที่ 1 จะมีค่าน้ำหนัก และความสูงมากกว่ากรณีที่ 2 เล็กน้อย ผลการทดลองทำให้ทราบว่า การรดน้ำด้วยระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ มีความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานมากกว่ากรณีที่ 2 ช่วยลด

การใช้แรงงานคน อีกทั้งยังสามารถตั้งเวลาล่วงหน้า และมีโหมดที่เหมาะสมสำหรับการรดน้ำในแต่ละช่วง
ระยะการเจริญเติบโตของต้นกล้า

4) จากการทดสอบระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์แสดงผล

จากการทดลองพบว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบสามารถแสดงข้อมูล
วัน เดือน ปี และเวลา ได้อย่างถูกต้องตรงตามจริงตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงค่าของ
อุณหภูมิ ปริมาณแสง และความชื้นสัมพัทธ์ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตาม และ
ประเมินสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้ทันที ในการเก็บข้อมูลระบบสามารถบันทึกค่าของอุณหภูมิ
ปริมาณแสง และความชื้นสัมพัทธ์ได้ทุก ๆ 1 ชั่วโมง อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น.
และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของ
สภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลา และใช้ข้อมูลดังกล่าวประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการ
เพาะปลูกได้อย่างเหมาะสม

สรุปได้ว่าในโครงการสามารถนำไปใช้งานได้จริงใน เกษตรกรขนาดเล็ก และในครัวเรือนช่วยเพิ่ม
ประสิทธิภาพการทำงาน ลดภาระแรงงาน และสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้โดยการสั่งงานผ่าน
ระบบไร้สายสมาร์ทโฟน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำโครงการ โดยผลการทดสอบการทำงานในระบบ และหาข้อบกพร่องเพื่อที่จะมีการปรับปรุงพัฒนาให้โครงสร้างชิ้นงานนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น และสรุปผลการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.2 ปัญหา และอุปสรรค

5.3 แนวทางการแก้ไข

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในการพัฒนาระบบควบคุมภายในโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ พบว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของกระบวนการเพาะต้นกล้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโรงเรือนมีขนาด $2.5 \times 2.9 \times 2.2$ เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ภายในโรงเรือนติดตั้งฐานเพาะปลูกจำนวน 5 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยถาดเพาะปลูก 4 ถาด ซึ่ง 1 ถาดสามารถเพาะต้นกล้าได้ 105 หลุม รวมแล้วสามารถเพาะต้นกล้าได้ทั้งหมด 2,100 ต้นภายในติดตั้งระบบให้น้ำแบบจานหมุนเหวี่ยงอัตโนมัติจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีหัวจ่ายน้ำที่สามารถให้น้ำได้ในอัตราไม่น้อยกว่า 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที จากการทดสอบการทำงานของระบบพบว่าอัตราการไหลของน้ำจากหัวจ่ายไม่น้อยกว่า 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อใช้งานสองหัวจ่ายจะมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 4,700 มิลลิลิตรต่อนาที โดยขนาดจานหมุนที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานภายในโรงเรือนคือ ขนาด 9 เซนติเมตรสำหรับบริเวณด้านหน้า และขนาด 6 เซนติเมตรสำหรับบริเวณด้านหลังของโรงเรือน ติดตั้งที่ความสูงประมาณ 170 เซนติเมตรจากพื้น ระบบควบคุมจานหมุนสามารถสั่งการผ่านระบบไร้สาย โดยมีโปรแกรมควบคุมทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ โหมด Manual สำหรับควบคุมแบบผู้ใช้งานกำหนดเอง และโหมด Auto ซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ 3 โหมด (Auto 1, Auto 2, Auto 3) ตามความเหมาะสมของช่วงการเจริญเติบโตของต้นกล้าในแต่ละวัน

มีระบบแจ้งเตือน และคำแนะนำเมื่อสภาพแสง และความชื้นภายในโรงเรือนไม่เหมาะสม ทุกวัน เวลา 19.00 น. โดยทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ระหว่างตัวตรวจรู้ BME-280 กับมิเตอร์ Lutron MHB-382SD และความเข้มแสง (ลักซ์) ระหว่างตัวตรวจรู้ OPT3001 (MCU-3001) กับ Digital Lux Meter AS823 ได้ผลการเปรียบเทียบที่สามารถยอมรับได้

นอกจากนี้ระบบจะตรวจวัด และบันทึกค่าความเข้มข้น อุณหภูมิ ความชื้น พร้อมแสดงวัน เดือน ปี และเวลา ข้อมูลย้อนหลังเก็บได้ไม่น้อยกว่า 7 วัน

5.2 ปัญหา และอุปสรรค

1) ปัญหาความสูงของฐานรองเพาะปลูกภายในโรงเรือนไม่เหมาะสมกับผู้ใช้งานขณะทำการเพาะปลูก เช่น การหยอดเมล็ด ทำให้เกิดความไม่สะดวก และลำบากในการทำงาน อาจส่งผลให้ผู้ใช้งานต้องก้มตัวหรือยืดแขนมากเกินไป

2) ปัญหาการค้างของอากาศภายในสายส่งน้ำส่งผลให้การไหลของน้ำไม่สม่ำเสมอ และลดประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำ อากาศที่ค้างในท่ออาจทำให้เกิดแรงดันตก

3) มอเตอร์จานหมุนที่ขาดการใช้งานเป็นเวลานานมีแนวโน้มจะเสื่อมสภาพ เนื่องจากเกิดการแข็งตัว หรือสะสมฝุ่นและความชื้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง และอายุการใช้งานสั้นลง

5.3 แนวทางการแก้ไข

1) ควรมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่ช่วยลดภาระในการหยอดเมล็ด เช่น เครื่องหยอดเมล็ดแบบแมนนวลหรือกึ่งอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมปริมาณและตำแหน่งของเมล็ดได้อย่างแม่นยำ ช่วยลดเวลาการทำงานและความเมื่อยล้าของผู้ใช้งาน

2) ทำการไล่อากาศในระบบเป็นประจำ เช่น ก่อนเปิดใช้งานระบบทุกครั้ง

3) กำหนดรอบเวลาการใช้งานมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอ แม้ในช่วงที่ไม่ใช้งานจริง เช่น เปิด-ปิดสั้นๆ ทุกสัปดาห์ เพื่อป้องกันการแข็งตัวของชิ้นส่วน ทำความสะอาด และบำรุงรักษามอเตอร์ตามคำแนะนำผู้ผลิต เช่น ทาน้ำมันหล่อลื่น หรือเช็ดฝุ่นละออง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1) ควรพัฒนาโครงสร้างของโรงเรือนให้มีความแข็งแรงและทนทานมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานในระยะยาวและทนต่อสภาพอากาศที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ควรเลือกสถานที่ตั้งโรงเรือนที่มีระดับแสงกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ เพื่อลดปัญหาการได้รับแสงไม่เท่ากันของพืชในแต่ละบริเวณ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต

บรรณานุกรม

[1] ดำรง เวชกิจ และคณะ. (2551). [ศึกษาประสิทธิภาพของ ULEM เพื่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูกล้วยไม้บางชนิด]. กลุ่มงานวิจัยการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มกฏและสีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. ค้นหามีเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2567, จาก <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/eb00074.pdf>

[2] เฉลิมชาติเสาวรัง. (2560). [การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบฟันทมอก]. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ค้นหามีเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2567, จาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/7736>

[3] นิรชา ขำทรง. (2566). [ผลของระบบการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอม]. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ค้นหามีเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2567, จาก https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:309453

[4] สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2557). [ผักกาดหอม]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://adeq.or.th>

[5] Cocothedog. (2567). [ไมโครคอนโทรลเลอร์คืออะไร?]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://tips.thaiware.com/2521.html>

[6] อาจารย์สมวรร ธนศรีพนิชชัย. [HTML (Hyper Text Markup Language)]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://academic.udru.ac.th/~samawan/content/HTML1.pdf>

[7] ศูนย์เรียนรู้บ้านเห็ด. (2557). [ยูเล็ม]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก https://banhed2699.blogspot.com/p/blog-page_2795.html

[8] AnalogRead. (2561). [บอร์ด ESP32]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://www.analogread.com/article/222/>

[9] บริษัท อาร์ทรอน ซอป จำกัด. (2564). [ESP32 เบื้องต้น: บทที่ 10 การใช้งาน Wi-Fi]. ค้นหามีเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://www.artronshop.co.th/article/60/esp32>

[10] Cyber Tice.(2565). [สอนใช้งาน Arduino เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง MCU-3001 OPT3001 Ambient Light lux meter Sensor]. ค้นหาเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://www.cybertice.com/article/mcu-3001-opt3001-ambient-light-lux-meter-sensor>

[11] MCU city. (2568). [3 in 1 GY-BME280 (3.3V) อุณหภูมิ+ความชื้นสัมพัทธ์+ความดันบรรยากาศ (Temperature/Humidity/Barometric Pressure Sensor BME280)]. ค้นหาเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2567, จาก <https://www.mcucity.com/product/1048/3-in-1-gy-bme280-3-3v>

[12] maxim integrated. (2558).[DS3231]. ค้นหาเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2567, จาก <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf>

[13] Arduino4pro.com (2566). [โมดูล Micro SD Card Micro SD Card (SPI interface)] . ค้นหาเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2567, จาก<https://www.arduino4pro.com/product/micro-sd-card-micro-sd-card-spi-interface>

[14] arduinoengineer. (2562). [3V 4 Channel Relay Low-Level Trigger Relay Module]. ค้นหาเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2567,จาก <https://www.arduitronics.com/product/3318/3v-4-channel-relay-low-level-trigger-relay-module-with-led-pcb>

[15] TEAMWORK GLOBAL GROUP. (2565). [ข้อดีของการใช้งาน และหลักการของมอเตอร์ DC ขนาดเล็กในปั้มน้ำ] ค้นหาเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2567, จาก <https://th.twmotor.net/info/application-advantages-and-principles-of-micro-75210231.html>

[16] อิเหนา อิเล็กทรอนิกส์ (หงส์ กง) ถูก จำกัด และตงกวน อิเหนา เทคโนโลยี บริษัท จำกัด. (2565). [มอเตอร์เกียร์ DC ขนาดเล็กคืออะไร?]. ค้นหาเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2567, จาก <https://th.ineed-motors.com/news/what-are-small-dc-gear-motors-60408704.html>

ภาคผนวก ก

คู่มือการแนะนำการใช้งาน

คู่มือแนะนำการใช้งานเว็บไซต์เฟิร์มแวร์โรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุม

งานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

1. วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อเข้าสู่หน้าเว็บไซต์เฟิร์มแวร์สั่งการรดน้ำภายในโรงเรือนโรงเรือนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

1.1 เชื่อมต่ออุปกรณ์สมาร์ตโฟนเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่าน Wi-Fi ชื่อ "netIT" โดยใช้รหัสผ่าน "job03871" ตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครือข่ายเดียวกันกับที่เว็บไซต์เฟิร์มแวร์ตั้งอยู่

1.2 เปิดเว็บเบราว์เซอร์กรอก IP Address: 192.168.4.1 เพื่อเข้าสู่หน้าเว็บไซต์เฟิร์มแวร์

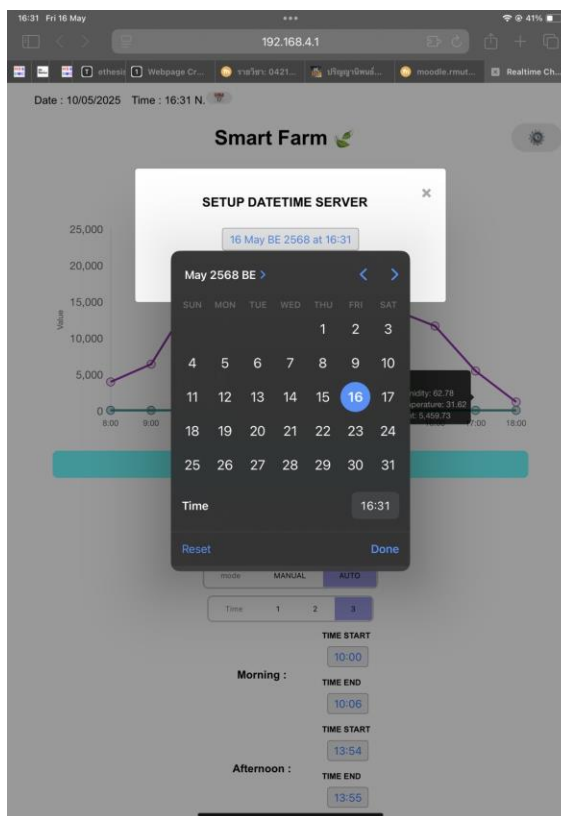


หมายเลขที่ 1 คือการตั้งค่าวันที่ และเวลา

ผู้ใช้งานสามารถปรับตั้งวัน เดือน ปี และเวลาได้ในกรณีที่ระบบแสดงเวลาผิดพลาด เพื่อให้ระบบทำงานอย่างถูกต้อง

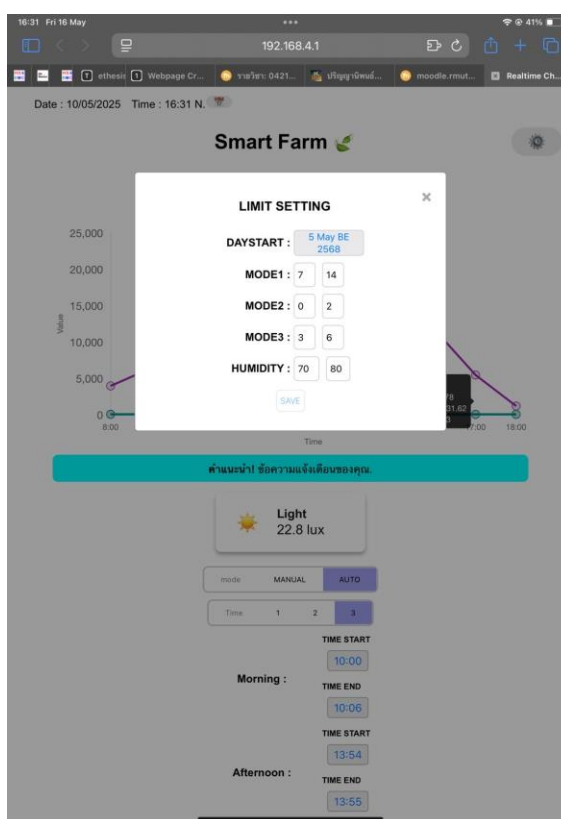
วิธีการปรับตั้ง

1. เข้าสู่เมนูตั้งค่าเวลา
2. เลือกปรับวันที่ เดือน ปี ตามลำดับ
3. ตั้งค่าเวลาปัจจุบันให้ถูกต้อง
4. ยืนยันการบันทึกค่า



หมายเลขที่ 2 คือการตั้งค่าวันแรกเริ่มในการเพาะปลูก

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดวันเริ่มต้นการเพาะปลูกในแต่ละโหมด Auto ได้ โดยระบบจะมีการรดน้ำอัตโนมัติใน Auto Mode ทั้งหมด 3 โหมด เพื่อให้เหมาะสมกับช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ ยังสามารถตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการให้เซ็นเซอร์ตรวจสอบเพื่อสั่งการรดน้ำในช่วงเวลา 11.00 น. – 12.00 น. และ 14.00 น. – 15.00 น. ได้อย่างแม่นยำ



หมายเลขที่ 3 คือโหมดแสดงข้อมูล

โหมดนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง สามารถเลือกแสดงข้อมูลได้ทั้งแบบรายวัน และรายสัปดาห์ ระบบแสดงข้อมูลย้อนหลังได้สูงสุด 7 วัน จากวันที่ปัจจุบัน มีการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ 3 ค่า ได้แก่ Humidity (ความชื้นสัมพัทธ์) เส้นสีฟ้า Temperature (อุณหภูมิ) เส้นสีเขียว Light (ความเข้มแสง) เส้นสีม่วง

วิธีใช้งาน

1. เลือกโหมดแสดงข้อมูลที่ต้องการ (รายวัน หรือ รายสัปดาห์)
2. กำหนดวันที่หรือช่วงเวลาที่ต้องการดูข้อมูลย้อนหลัง
3. ระบบจะแสดงกราฟ และค่าต่าง ๆ ตามช่วงเวลา que เลือก
4. สามารถเปลี่ยนวันที่เพื่อดูข้อมูลอื่น ๆ ได้ตามต้องการ

หมายเลขที่ 4 คือคำแนะนำการแจ้งเตือนระบบ

ระบบจะส่งการแจ้งเตือนทุกวันเวลา 19.00 น. เพื่อแจ้งสถานะสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนในด้านต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง หากค่าที่ตรวจวัดอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม ระบบจะแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการปรับปรุงสภาพแวดล้อมได้อย่างทันท่วงที เพื่อรักษาคุณภาพและประสิทธิภาพของการเพาะปลูก



หมายเลขที่ 5 คือการแสดงค่าจากเซ็นเซอร์

แสดงค่าปัจจุบันที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ความเข้มแสง (ลักซ์)

หมายเลขที่ 6 คือโหมดการรดน้ำ

ระบบแบ่งโหมดการรดน้ำออกเป็น 2 โหมด ได้แก่

1. Manual (โหมดแมนนวล) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิด-ปิดระบบรดน้ำด้วยตนเองผ่านหน้าจอหรือแอปพลิเคชัน โดยระบบจะไม่ทำงานอัตโนมัติในโหมดนี้

2. Auto (โหมดอัตโนมัติ) ระบบจะรดน้ำโดยอัตโนมัติตามเวลาที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ล่วงหน้า โดยไม่ต้องควบคุมด้วยตนเองในแต่ละครั้งมี Auto 3 Mode (Time 1, Time 2, Time 3) เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำของพืชในแต่ละช่วงวันของการเพาะปลูก สามารถปรับตั้งเวลา และเงื่อนไขการรดน้ำได้อย่างยืดหยุ่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลพืช

หมายเลขที่ 7 คือการกำหนดตั้งเวลา

การกำหนดตั้งเวลา คือการตั้งค่าระบบให้ทำงานตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดระบบรดน้ำ กำหนดเวลาเริ่มต้นรดน้ำ (Start Time) และเวลาสิ้นสุดรดน้ำ (End Time)

ภาคผนวก ข

โปรแกรมโรงเรียนเพาะต้นกล้าด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำอัตโนมัติ

ESP32 Web Application

```
#ifndef HelpLibarrys
#define HelpLibarrys
#include <WiFi.h>
#include <ArduinoJson.h>

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "RTCLib.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>

#include <ClosedCube_OPT3001.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>
#include <FS.h>
#include <time.h>
#include "RTC.h"
#include "SENSORDTH.h"
#include "HELPJSONCONTRO.h"

#endif

#include "HelpLibarrys.h"
#define relayPump 26
#define motorSpeedL 25
#define motorSpeedR 27
#define SD_CS
unsigned long period = 3000;
unsigned long last_time = 0;
unsigned long checkTime = 0;
unsigned long timeDelayCheck = 60000;
```

```

unsigned long lastChekTime = 0;
unsigned long timesetOneStart = 0;
unsigned long timesetOneEnd = 0;
unsigned long timesetTwoStart = 0;
unsigned long timesetTwoEnd = 0;

String dateStart = "";
int countOff= 0;
int countOn = 0;
int limitModeTimeOneMin;
int limitModeTimeOneMax;
int limitModeTimeTwoMin;
int limitModeTimeTwoMax;
int limitModeTimetThreeMin = 60;
int limitModeTimetThreeMax = 80;
int minSetpointHumidity;
int maxSetpointHumidity;
int runDays;
bool enableWriteM = false;
int countEnable = 0;
int sensorData[3];

const char *ssid = "netIT";
const char *password = "job03871";

syncWebServer server(80);
void addCorsHeaders(AsyncWebServerResponse *response)
{
    response->addHeader("Access-Control-Allow-Origin", "*");
    response->addHeader("Access-Control-Allow-Methods", "GET, POST, OPTIONS");
    response->addHeader("Access-Control-Allow-Headers", "Content-Type");
}

```

```

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    pinMode(relayPump, OUTPUT);
    pinMode(motorSpeedR, OUTPUT);
    pinMode(motorSpeedL, OUTPUT);

    setupBme();
    setupOpt3001();
    setupRTC();

    if (!SD.begin(SD_CS))
    {
        Serial.println("SD Card initialization failed!");
        return;
    }

    Serial.print("Setting AP (Access Point)...");
    WiFi.softAP(ssid, password);
    IPAddress IP = WiFi.softAPIP();
    Serial.print("AP IP address: ");
    Serial.println(IP);

    void loop()
    {
        if (millis() - last_time > period)
        {
            DateTime now = Rtc.now();
            runDays = calDate(dateStart, printDateTime(now));

            String DateTime = printDateTime(now);
            unsigned long timeSecnow = getTimeNowSec(now);
            if (timeSecnow == 0)
            {

```

```

    callRemoveData();
    ReadDataToFileJson();
    countEnable = 0;
    Serial.println("Remave Data");
}

else if (timeSecnow >= converdTimeStrToSec("08:00:00") && timeSecnow <=
converdTimeStrToSec("18:00:00"))
{
    enableWriteM = enableAddLog(now, countEnable);
    if (enableWriteM == true)
    {
        writeAndReadInJson(DateTime);
        countEnable = 1;
    }
    if (countEnable != 0)
    {
        countEnable += 1;
        if (countEnable > 100)
        {
            countEnable = 0;
        }
    }
}

if ((timeSecnow >= timesetOneStart && timesetOneStart != 0) && (timeSecnow < timesetOneEnd
&& timesetOneEnd != 0) && (humiditys() < minSetpointHumidity) )
{
    if ( ChecktimeHumidity(timeSecnow) != true ){
        digitalWrite(relayPump, HIGH);
        Serial.println("Pump ON");
        countOn +=1;
        countOff =0;
        Serial.println("ON by Time set ");
    }
}

```

```

    if (countOn >2 )
    {
        digitalWrite(motorSpeedL, HIGH);
        digitalWrite(motorSpeedR, HIGH);
    }
}

else if ((timeSecnow >= timesetTwoStart && timesetTwoStart != 0) && (timeSecnow <
timesetTwoEnd && timesetTwoEnd != 0) && (humiditys() < minSetpointHumidity))
{ if (ChecktimeHumidity(timeSecnow) != true){
    digitalWrite(relayPump, HIGH);
    Serial.println("Pump ON");
    countOn +=1;
    countOff =0;
    if (countOn >2 )
    {
digitalWrite(motorSpeedL, HIGH);
        digitalWrite(motorSpeedR, HIGH);
        Serial.println("ON by Time set ");
    }
}
}

else if (ChecktimeHumidity(timeSecnow) == true)
{
    autochekHumidity();
}

else
{
    countOff +=1;

    if (countOff > 2 && (digitalRead(relayPump) == 1))
    { Serial.println("motorSpeed Off");

```

```

        digitalWrite(motorSpeedR, LOW);
        digitalWrite(motorSpeedL, LOW);
        digitalWrite(relayPump, LOW);
        Serial.println("Off by Time set ");
        countOff = 0;
        countOn = 0;
    }
}

last_time = millis();
}
}

bool ChecktimeHumidity(unsigned long timeSecnow){
    Serial.print("ChecktimeHumidity bool : ");
    Serial.println (bool(timeSecnow >= converdTimeStrToSec("11:00:00") && timeSecnow <=
converdTimeStrToSec("12:00:00")));
    if (timeSecnow >= converdTimeStrToSec("11:00:00") && timeSecnow <=
converdTimeStrToSec("12:00:00")){
        return true;
    }

    else if (timeSecnow >= converdTimeStrToSec("14:00:00") && timeSecnow <=
converdTimeStrToSec("15:00:00")) {
        return true;
    }

    else {
        return false;
    }
}
}

```

```

void callSetTimebyfileJson()
{
    String configData = readFile("/config.json");
    Serial.println("Config Data: ");
    StaticJsonDocument<512> docConfig;
    DeserializationError errorJson = deserializeJson(docConfig, configData);

    if (errorJson)
    {
        Serial.print("JSON parsing failed: ");
        Serial.println(errorJson.f_str());
        return;
    }
    if (!errorJson)
    {
        String configMode = docConfig[4]["config"];
        String timeOneStartStr;
        String timeOneEndStr;
        String timeTwoStartStr;
        String timeTwoEndStr;
        int countMode = 0;
        while (true)
        {
            if (configMode == String(docConfig[countMode]["mode"]))
            {
                timeOneStartStr = String(docConfig[countMode]["time1"][0]);
                timeOneEndStr = String(docConfig[countMode]["time1"][1]);
                timeTwoStartStr = String(docConfig[countMode]["time2"][0]);
                timeTwoEndStr = String(docConfig[countMode]["time2"][1]);
                break;
            }
            countMode++;
        }
    }
}

```

```

timesetOneStart = converdTimeStrToSec(timeOneStartStr);
timesetOneEnd = converdTimeStrToSec(timeOneEndStr);
timesetTwoStart = converdTimeStrToSec(timeTwoStartStr);
timesetTwoEnd = converdTimeStrToSec(timeTwoEndStr);
Serial.println("auto Mode .. Setup calculator.....");
debugcheckTimeSet();
}
}
void callSetpoint()
{
String setpointconn = readFile("/setpoint.json");
StaticJsonDocument<512> docSetpoint;
DeserializationError errorJson = deserializeJson(docSetpoint, setpointconn);
if (errorJson)
{
Serial.print("JSON parsing failed: ");
Serial.println(errorJson.f_str());
return;
}
if (!errorJson)
{
dateStart = String(docSetpoint["datestart"]);
limitModeTimeOneMin = docSetpoint["limitModeTimeOne"][0];
limitModeTimeTwoMin = docSetpoint["limitModeTimeTwo"][0];
limitModeTimeThreeMin = docSetpoint["limitModeTimeThree"][0];
limitModeTimeOneMax = docSetpoint["limitModeTimeOne"][1];
limitModeTimeTwoMax = docSetpoint["limitModeTimeTwo"][1];
limitModeTimeThreeMax = docSetpoint["limitModeTimeThree"][1];
minSetpointHumidity = docSetpoint["setpointHumidity"][0];
maxSetpointHumidity = docSetpoint["setpointHumidity"][1];
}
debugCheckSetpoint();
}

```

```

void autochekHumidity()
{
    float humidity = humiditys();
    float temperature = temperatures();
    if (humidity < minSetpointHumidity)
    {
        digitalWrite(relayPump, HIGH);
        Serial.println("Pump ON");
        countOff = 0;
        countOn += 1;
        if (countOn > 2 )
        {
            digitalWrite(motorSpeedL, HIGH);
            digitalWrite(motorSpeedR, HIGH);
            Serial.println("ON by humidity set ");
        }
    }
    else if (humidity >= maxSetpointHumidity)
    {
        Serial.println("Off by humidity set ");
        countOff += 1;
        if (countOff > 2 && (digitalRead(relayPump) == 1))
        { Serial.println("motorSpeed Off");
            digitalWrite(relayPump, LOW);
            Serial.println("Pump Off");
            Serial.println("Off by humidity set ");
            digitalWrite(motorSpeedR, LOW);
            digitalWrite(motorSpeedL, LOW);
            countOff = 0;
            countOn = 0; } }
}

```

HELPIJSONCONTRO

```

#ifndef HELPIJSONCONTRO
#define HELPIJSONCONTRO
#include "HelpLibarrys.h"

tring readFile(const char* path);
void writeAndReadInJson(const String dateTime);
void formatDataJson(const String dateTime );
void ReadDataTofileJson();
bool appendDataToFile(const char* path, const JsonDocument& newData);
bool writeFile(const char* path, const JsonDocument& jsonDoc);
bool removeOldData(const char* path, int days);
void callRemoveData();
bool writeFileConfig(const char* path, const String& jsonString);

String readFile(const char* path) {
    File file = SD.open(path, "r");
    if (!file) {
        Serial.println("Failed to open file for reading");
        return ""; // ถ้าไม่สามารถอ่านไฟล์ได้ ให้ส่งข้อมูลเปล่ากลับไป
    }

    String jsonStr = file.readString();
    file.close();
    return jsonStr; // ส่งข้อมูลที่อ่านได้กลับไป
}

void writeAndReadInJson(String dateTime) {
    formatDataJson(dateTime);
    ReadDataTofileJson(); }

void formatDataJson(String dateTime ) {

```

```

StaticJsonDocument<128> newData;
newData["t"] = temperatures();
newData["l"] = optLux();
newData["DT"] = dateTime;
if (appendDataToFile("/data.json", newData)) {
    Serial.println("Data appended successfully.");
} else {
    Serial.println("Failed to append data.");
}
}

void ReadDataToFileJson() {
    String jsonData = readFile("/data.json");
    if (!jsonData.isEmpty()) {
        Serial.println("Current Data in File:");
        Serial.println(jsonData);
    }
}

bool appendDataToFile(const char* path, const JsonDocument& newData) {
    StaticJsonDocument<1024> doc;

    String existingData = readFile(path);
    if (!existingData.isEmpty()) {
        DeserializationError error = deserializeJson(doc, existingData);
        if (error) {
            Serial.println("Failed to parse existing JSON data");
            return false;
        }
    }

    JsonArray array;
    if (doc.is<JsonArray>()) {
        array = doc.as<JsonArray>();
    }
}

```

```

    } else {
        array = doc.to<JsonArray>();
    }
    array.add(newData);
    return writeFile(path, doc);
}

void callRemoveData(){
    if (removeOldData("/data.json", 7)) {
        Serial.println("Old data removed successfully.");
    } else {
        Serial.println("No data to remove or error occurred.");
    }
}

bool removeOldData(const char* path, int days) {
    DynamicJsonDocument doc(2048);
    String existingData = readFile(path);

    if (existingData.isEmpty()){
        Serial.println("Error file ");
        return false;
    }

    DeserializationError error = deserializeJson(doc, existingData);
    if (error) {
        Serial.println("Failed to parse existing JSON data");
        return false;
    }

    if (!doc.is<JsonArray>()) {
        Serial.println("Data is not a JSON array");
        return false;
    }
}

```

```

JSONArray array = doc.as<JSONArray>();
DynamicJsonDocument newDoc(2048);
JSONArray newArray = newDoc.to<JSONArray>();

time_t now = grtDateTimenowSec(Rtc.now());
unsigned long secondsInDay = 86400;

for (JsonObject data : array) {
    const char* dateTime = data["DT"];
    struct tm tm;
    if (strptime(dateTime, "%Y-%m-%dT%H:%M:%S", &tm)) { // แปลงเวลา
        time_t dateTime = mktime(&tm);
        Serial.println("dateTime");
        Serial.println(String(dateTime));
        Serial.println("now");
        Serial.println(String(now));
        double diffDays = difftime(now, dateTime) / secondsInDay;
        Serial.println("diffDays");
        Serial.println(String(diffDays));

        if (diffDays <= days) {
            newArray.add(data);
        } else {
            Serial.printf("Removing old data: %s\n", dateTime);
        }
    }
}

return writeFile(path, newDoc);
}

bool writeFile(const char* path, const JsonDocument& jsonDoc) {
    File file = SD.open(path, "w");
    if (!file) {

```

```

    Serial.println("Failed to open file for writing");
    return false;
}

if (serializeJson(jsonDoc, file) == 0) {
    Serial.println("Failed to write JSON data");
    file.close();
    return false;
}

file.close();
return true;
}

bool writeFileConfig(const char* path, const String& jsonString) {
    Serial.println(jsonString);
    File file = SD.open(path, "w");
    if (!file) {
        Serial.println("Failed to open file for writing");
        return false;
    }
    file.print(jsonString);
    file.close();
    return true;
}

#endif

#ifndef RTC
#define RTC
void setupRTC();
RTC_DS1307 Rtc;
String printDateTime(const DateTime &dt);
String printTime(const DateTime &dt);

```

```

bool enableAddLog(const DateTime &dt ,int enableWrite );
unsigned long grtDateTimenowSec(const DateTime &dt);
unsigned long converdTimeStrToSec(String srtTime);
int calDate( String rawStrarDate, String rewEndDate);
void setupRTC()
{
    Wire.begin(21, 22);

    if (!Rtc.begin()) {
        Serial.println("Couldn't find RTC");
        while (1);
    }

    if (!Rtc.isrunning()) {
        Serial.println("RTC is NOT running! Setting new time...");
        Rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    } else {
        Serial.println("RTC is running. Keeping the saved time.");
    }
}

#define countof(a) (sizeof(a) / sizeof(a[0]))
String printDateTime(const DateTime &dt)
{
    char datestring[26];
    snprintf_P(datestring,
        countof(datestring),
        PSTR("%04u-%02u-%02uT%02u:%02u:%02u"),
        dt.year(),
        dt.month(),
        dt.day(),
        dt.hour(),
        dt.minute(),

```

```

        dt.second());
    Serial.println(datestring);
    return datestring;
}

String printTime(const DateTime &dt)
{
    char datestring[26];
    snprintf_P(datestring,
        countof(datestring),
        PSTR("%02u:%02u:%02u"),
        dt.hour(),
        dt.minute(),
        dt.second());
    Serial.println(datestring);
    return datestring;
}

unsigned long getDateTimeNowSec(const DateTime &dt)
{
    const int daysInMonth[] = { 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31 };
    unsigned long seconds = 0;

    for (int year = 1970; year < dt.year(); year++) {
        seconds += (year % 4 == 0 && (year % 100 != 0 || year % 400 == 0)) ? 31622400 : 31536000;
    }

    for (int month = 1; month < dt.month(); month++) { seconds += daysInMonth[month - 1] * 86400;
        if (month == 2 && (dt.year() % 4 == 0 && (dt.year() % 100 != 0 || dt.year() % 400 == 0))) {
            seconds += 86400;
        }
    }

    seconds += (dt.day() - 1) * 86400;
    return seconds;
}

```

```

unsigned long getTimeNowSec(const DateTime &dt){
    unsigned long timeStam = (dt.hour() * 3600) + (dt.minute() * 60);
    Serial.println("TimeStam" + String(timeStam));
    return timeStam;
}

bool enableAddLog(const DateTime &dt , int enableWrite){
    int checkZero = (dt.minute() * 60);

    if (checkZero == 0 && enableWrite == 0 ){return true;}
    else if (checkZero == 0 && enableWrite != 0) {return false;}
    else {return false;}
}

unsigned long converdTimeStrToSec(String srtTime)
{

    unsigned long TimeStr = ((srtTime.substring(0, 2)).toInt() * 3600) + ((srtTime.substring(3, 5)).toInt() *
60);

    return TimeStr;
}

int calDate( String rawStartDate , String rewEndDate){
    //2025-03-22
    int startYear = rawStartDate.substring(0, 4).toInt();
    int startMonth = rawStartDate.substring(5, 7).toInt();
    int startDay = rawStartDate.substring(8, 10).toInt();
    int endYear = rewEndDate.substring(0, 4).toInt();
    int endMonth = rewEndDate.substring(5, 7).toInt();
    int endDay = rewEndDate.substring(8, 10).toInt();

    DateTime startDate(startYear,startMonth, startDay);
    DateTime endDate(endYear, endMonth, endDay);

```

```

    TimeSpan difference = endDate - startDate;
    Serial.print("จำนวนวันที่ต่างกัน: ");
    Serial.print(difference.days());
    Serial.println(" วัน");
    return difference.days();
}
#endif

```

SENSOR

```

#ifndef SENSORDTH
#define SENSORDTH
    #define OPT3001_ADDRESS 0x45
    #include "HelpLibarrys.h"
    ClosedCube_OPT3001 opt3001;
    Adafruit_BME280 bme;
    void setupBme();
    float humiditys();
    float temperatures();
    void setupOpt3001();
    float optLux();
    float caldataLuxErr(float raw );
    void setupBme(){
        if (!bme.begin(0x76)) {
            Serial.println("BME280 not found!");
            while (1);
        }
        Serial.println("BME280 found!");
    }
}

```

```

void setupOpt3001(){
  opt3001.begin(0x44);
  OPT3001_Config newConfig;
  newConfig.RangeNumber = B1100;
  newConfig.ConversionTime = B00;
  newConfig.ModeOfConversionOperation = B11;
  opt3001.writeConfig(newConfig);
  Serial.println("OPT3001 Configured.");
}

float humiditys(){
  float humi = bme.readHumidity();
  float h = round(humi * 100) / 100;
  Serial.println("raw humiditys : " + String(h));
  if (isnan(h)){
    return 0;
  }
  else{
    float resultH = h ;
    Serial.println("Raw Hum : "+String(resultH));
    return resultH;
  }
}

float temperatures(){
  float temp = bme.readTemperature();
  float t = (round(temp * 100) / 100);
  Serial.println("raw temp : " + String(t));
  if (isnan(t)){
    return 00.00;
  }
  else {
    return t;
  }
}

```

```

float optLux(){
    OPT3001 result = opt3001.readResult();

    if (result.error == NO_ERROR) {
        Serial.print("Lux: ");
        Serial.println(result.lux);
        float datacal = round(caldataLuxErr(result.lux)*100)/100;
        Serial.println("Result cal: " + String(datacal));
        return datacal;
    } else {
        Serial.print("Error reading sensor: ");
        Serial.println(result.error);
        return 0.00;
    }
}

float caldataLuxErr(float raw){
    float result = raw * 1.2773
    Serial.print("raw Value: ");
    Serial.print(raw);
    Serial.print(" -> calibrated_value : ");
    Serial.println(result);
    return result;
}

#endif

```

ภาคผนวก ค

งบประมาณ

งบประมาณ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
1	ท่อ PVC ขนาด 1/2"	15	876
2	ข้อต่อ PVC ขนาด 1/2"	72	310
3	ข้อต่อ PVC ขนาด 3/4"	4	60
4	กาวทาท่อ PVC	1	62
5	บอร์ด ESP32	1	140
6	RTC DS3231	1	55
7	Micro SD CARD	1	30
8	ชุดโมดูลรีเลย์ 3.3 v 4 chanel	1	120
9	เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง MCU-3001 OPT3301	1	185
10	BME 280 3.3V	1	202
11	SD CARD 16 GB	1	33
12	บอร์ดแปลงไฟ DC-DC Step down LM2596	1	50
13	มอเตอร์ DC 12V	2	320
14	ปั้มน้ำ DC 12V	1	280
15	แผ่นปริ้น	1	120
16	สายไฟจัมเปอร์	2	60
17	น้ำยาเคลือบแผ่นปริ้น	1	30
18	น้ำยากัดแผ่นปริ้น	1	50
19	น้ำยาทำความสะอาดแผ่นปริ้น	1	60
20	핀헤ดเตอร์ PCB	4	40
21	ถาดหลุมเพาะกล้า 105 หลุม	40	270
22	ฐานรองวางเพาะปลูก	18	150
23	พีทมอส	1	500
24	เมล็ดผักกาดหอม	15	150

งบประมาณ (ต่อ)

25	กล่องอะคริลิก	1	350
26	อุปกรณ์อื่น ๆ	-	200
รวมค่าใช้จ่ายประมาณ			4703

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์



ชื่อ	นางสาวธมลวรรณ บุญจุน รหัส 164404130080
สาขาวิชา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
วัน-เดือน-ปี เกิด	วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ.2545
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
ที่อยู่	3/45 หมู่ 3 ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวรนาธิเฉลิม จังหวัดสงขลา 2563

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์



ชื่อ	นางสาววนิดา ขาติเป รหัส 164404130081
สาขาวิชา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
วัน-เดือน-ปี เกิด	วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ.2545
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
ที่อยู่	68/1 หมู่ 4 ตำบลชิงโค อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา 90280
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวรนาธิเฉลิม จังหวัดสงขลา 2564