



EE03-แบบรายงานความก้าวหน้า

นักศึกษา ☒ ปกติ ☐ สมทบ

รายงานความก้าวหน้าโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ

ชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย

The soil moisture control and fertilizer application system with wireless
technology

ผู้จัดทำ

นายภูอัมหมัดชิฟ ชุมจันทร์ รหัสนักศึกษา 16440413007-5 โทร. 0929268488

นายอภิวัฒน์ เล็บกะเต็บ รหัสนักศึกษา 16440413007-8 โทร. 0806941042

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (.....)	ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร ☒ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (พ.ศ. ๒๕๖๓ ๒๕๖๓)
--	--

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในปัจจุบันสภาพอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นปัญหากับเกษตรกรที่ปลูกผักเนื่องจากสภาพอากาศเป็นสิ่งที่เกษตรกรไม่อาจกำหนดได้ จนบางครั้งส่งผลให้ผลผลิตที่เกษตรกรปลูกนั้นได้รับความเสียหายไม่มากก็น้อย โดยเฉพาะฤดูร้อนในปัจจุบันมีสภาวะที่ร้อนมาก ๆ จนทำให้พืชผักเกิดการเหี่ยวเฉาจากอากาศที่ร้อนขึ้น เมื่ออากาศร้อนพืชทำการคายน้ำออกมาเยอะทำให้พืชเหี่ยวเฉาได้ง่าย จากเหตุการณ์ข้างต้นทำให้เห็นได้ว่าความชื้นในดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก พืชจะเจริญเติบโตได้ดีในปริมาณความชื้นในดินที่เหมาะสม และพืชจะเกิดการเหี่ยวเฉาเมื่อมีปริมาณความชื้นในดินไม่เพียงพอเป็นสาเหตุให้พืชไม่โตและยืนต้นตายได้ และเมื่อเข้าฤดูฝนเกิดฝนตกหนักน้ำท่วมแปลงผักทำให้รากพืชเกิดการเน่าทำให้เกษตรกรได้รับความเสียหาย อันเนื่องมาจากรากพืชเกิดการขาดออกซิเจนเป็นเวลานาน ในการปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้นั้นต้องใช้อุปกรณ์ประกอบหลายด้านในการที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ ไม่ว่าจะเป็นค่าความชื้นในดิน ค่าสารอาหารในดิน ค่าการไหลของออกซิเจนในดินที่รากพืชใช้หายใจ

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นปัญหาตรงจุดนี้ จึงทำการคิดชุดควบคุมความชื้นในดินและให้ปุ๋ยอัตโนมัติขึ้นมา ทำการปลูกแบบแปลงผักยกแคร่เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการไหลเวียนของออกซิเจนของรากพืช และทำการวัดค่าความชื้นในดินเพื่อให้ดินมีความเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช และสามารถให้ปุ๋ยตามผู้ใช้ต้องการได้ด้วย



ภาพที่ 1-1 ตัวอย่างการจัดแสดง

ที่มา :<https://www.prachachat.net/finance/news-1123349>

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดระบบควบคุมความชื้นในดินและให้ปุ๋ยอัตโนมัติ
- 1.2.2 สามารถนำไปพัฒนาเป็นเชิงพาณิชย์ได้
- 1.2.3 สามารถแสดงค่าความชื้นในแอปพลิเคชันได้
- 1.2.4 สามารถกำหนดการให้ปริมาณปุ๋ยได้ผ่านแอปพลิเคชันได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถควบคุมความชื้นภายในดินได้
- 1.3.2 สามารถตั้งเวลาให้รดน้ำโดยผ่านแอปพลิเคชันได้
- 1.3.3 สามารถกำหนดปริมาณความเข้มข้นของปุ๋ยโดยผ่านแอปพลิเคชันได้
- 1.3.4 สามารถดูค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ดินโดยผ่านแอปพลิเคชันได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ออกแบบชุดควบคุมแปลงผักยกแคร่ให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติโดยมีขนาดแปลงไม่น้อยกว่า 110 x 180 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 1 แปลง โดยมีชุดงานหมุนเหวี่ยงให้น้ำจำนวน 2 ชุด
- 1.4.2 สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน โดยมีตัวตรวจวัดไม่น้อยกว่า 4 จุด
- 1.4.3 สามารถควบคุมปริมาณการให้สารอาหารพืช(ปุ๋ยน้ำ) ตามระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนด
- 1.4.4 สามารถควบคุมการให้ปุ๋ยโดยผ่านชุดควบคุมและระบบไร้สาย
- 1.4.5 สามารถเก็บข้อมูลความชื้น การรดน้ำ พร้อมบันทึกภาพรายวัน ไม่น้อยกว่า 30 วัน และแสดงค่าความชื้นผ่านหน้าจอ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลการทำงานของ ESP32
- 1.5.2 ศึกษาข้อมูลการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้น
- 1.5.3 ศึกษาการรับส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สาย
- 1.5.4 ศึกษาวิธีการการปลูกผักวางต้งฮ้องเต้ และปริมาณการให้ปุ๋ยที่เหมาะสม
- 1.5.5 เข้าพุดคุยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับโครงการที่ต้องการทำ
- 1.5.6 เขียนโครงร่างปริญญานิพนธ์และทำการเสนออาจารย์ประจำหลักสูตร
- 1.5.7 ทำการออกแบบแปลงผักยกแคร่ผ่าน Sketch Up ขนาด 110 x 184 x 212 cm
- 1.5.8 เขียนโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ ESP2 ในการรับส่งข้อมูล
- 1.5.9 ทำการออกแบบวงจรและการจัดวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของตู้ควบคุม
- 1.5.10 ทำการออกแบบระบบน้ำและการให้ปุ๋ย
- 1.5.11 ปรับแต่งหน้าตา Dashboard บนแอปพลิเคชัน Arduino IoT Cloud ให้เป็นไปตามต้องการ

1.5.12 ทดสอบการทำงานจริงและปรับปรุงแก้ไข

1.5.13 สรุปผลการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน	ก.ย.66	ต.ค.66	มี.ค.66	เม.ย.66	พ.ค.67
1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	→				
2 สอบหัวข้อปริญญานิพนธ์		→			
3 ออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน		→			
4 รายงานความก้าวหน้า			→		
5 ทดสอบและปรับปรุง			→		
6 จัดทำรูปเล่มรายงาน		→			
7 สอบจบโครงการ					→

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน นวัตกรรมอัจฉริยะควบคุมการให้น้ำพืช จากสถานการณ์น้ำแล้ง ดร.โอภาส ศรีทวีศักดิ์ นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์จึงได้มีแนวคิดพัฒนาเครื่องวัดความชื้นดินขึ้น เพื่อใช้ตรวจวัดความชื้นของดินเพื่อประเมินปริมาณการให้น้ำ พืช ได้อย่างเหมาะสม ตามความต้องการของพืชได้อย่างแม่นยำ



ภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำ แก่พืช

โดยทั่วไป ยอมให้ความชื้นในดินลดลง 50-75% ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ (Allowable soil Moisture Deficiency) ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้หมดแล้ว คือความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical Moisture Level) การให้น้ำ แก่พืชจะต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤตและปริมาณน้ำ ที่ให้จะต้องมาก พอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงความชื้นชลประทานซึ่งหากให้น้ำ ไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินลดต่ำ ลง กว่าความชื้นที่จุดวิกฤตพืชอาจจะเสียหายได้

การที่จะทราบได้ว่าความชื้นในดินถึงจุดวิกฤตหรือยังนั้น สามารถตรวจวัดความชื้นในดินบริเวณเขต

รากพืชได้ ซึ่งทำได้อยู่ 3 วิธี คือ

1. การวัดความชื้นในดินด้วยการชั่งน้ำหนัก
2. การวัดความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส
3. การวัดด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นของดิน

คุณสมบัติทางด้านเทคนิคของเครื่อง คือ มีช่วงการวัดที่ 0-90% มีค่าความถูกต้อง: $\pm 3\%$ ความละเอียด 0.5% สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์นั้นจะเป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0.5 -4 โวลต์ (แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 5 โวลต์) ตัวเซนเซอร์จะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ส่วนขาของตัวเซนเซอร์ที่ยาวออกมา 2 ขานั้นเรียกว่า แท่งเซนเซอร์มีความยาว 3 เซนติเมตร ทำจากสแตนเลส ทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ **การใช้งาน** เซนเซอร์จะถูกปักลงไปในดินเพื่อวัดความชื้นดิน ระบบ TDR จะส่งคลื่นเป็นรัศมี 5 ซม. ในดิน และวัดการสะท้อนกลับของคลื่นว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน



ภาพที่ 2.2 แบบการใช้งาน

การใช้งานก็จะปักลงไปในดินเพื่อวัดความชื้นดิน เซนเซอร์ระบบ TDR จะส่งคลื่นเป็นรัศมี 5 เซนติเมตร ในดิน และวัดคลื่นสะท้อนกลับออกมาว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน

2.1.2 ทองล้วน สิงห์นนท์ และ วันดี หวังคะพันธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ในปัจจุบัน มีเทคโนโลยีมากมายที่เข้ามามีส่วนสำคัญในการดำเนินชีวิต และบางส่วนถูกนำมาปรับใช้เพื่อ การเกษตร การทดลองเพื่อค้นหาทางออกที่ดีที่สุดในการจัดการควบคุมระบบการจ่ายน้ำ เพื่อ เลือกและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำมาปรับใช้ โดยภาพรวมของโครงการเกี่ยวกับการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน และพัฒนาฮาร์ดแวร์ที่จะควบคุมปั้มน้ำ ได้ง่าย โดยยึดการใช้ฟรีซอฟต์แวร์และการออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์ที่จำเป็น โดยใช้ Raspberry Pi และ Bootstrap 3 ในการดำเนินงาน ซึ่งเทคโนโลยีทั้ง 2 จะสามารถนำโครงการนี้ไปยังเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ ส่วนของเว็บแอปพลิเคชันจะมีการควบคุมที่หลากหลาย พร้อมทั้งแสดงค่าผลลัพธ์การรับค่าของเซนเซอร์อุณหภูมิ

ความชื้นและการเคลื่อนไหว โครงการนี้ได้คำนึงถึงการมีตัวเลือกการทำงานที่หลากหลายเพื่อช่วยสำหรับประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้ พร้อมทั้งเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

องค์ประกอบหลักของระบบ

- 1.เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน: ตรวจจับค่าความชื้นและส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผล
- 2.Raspberry Pi: ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลข้อมูล และควบคุมปั้มน้ำ
- 3.Web Application: ใช้ Bootstrap 3 และ jQuery Mobile ในการพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถสั่งงานและแสดงผลค่าต่าง ๆ ได้ผ่านอินเทอร์เน็ต
- 4.ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติ: เปิด-ปิดการทำงานตามค่าความชื้นของดินที่ได้รับจากเซ็นเซอร์

การทำงานของระบบให้น้ำอัตโนมัติ

1. ตรวจสอบความชื้นในดิน – เซ็นเซอร์จะวัดค่าความชื้นของดิน และส่งข้อมูลไปยัง

Raspberry Pi

2. ประมวลผลข้อมูล – Raspberry Pi จะคำนวณค่าความชื้นที่ได้รับ และตัดสินใจว่าจะเปิดหรือปิดปั้มน้ำ
3. สั่งงานปั้มน้ำ – หากความชื้นต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะเปิดปั้มน้ำให้อัตโนมัติ และหยุดเมื่อน้ำเพียงพอ
4. ควบคุมผ่านเว็บแอปพลิเคชัน – ผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าความชื้น และควบคุมระบบจากระยะไกลผ่านมือถือหรือคอมพิวเตอร์

การพัฒนาาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิต อ้อยคั้นน้ำ

สิทธิโชค พรหมพิทักษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม **กาญจนา ดงสงคราม** ศูนย์การเรียนรู้ไอซีทีชุมชน คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม **ศศิธร อ่อนเหลม** มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม **กฤตภาส ยุทธอาจ** มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม **อุดมศักดิ์ พิมพพาศรี** มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1)พัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ 2)ประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ 2) แบบบันทึกการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบด้วยการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้ 1) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และ 2) ค่าความชื้นในดิน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า 1)ผลการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนรับค่า (2)

ส่วนควบคุมและสั่งการ และ (3) ส่วนอุปกรณ์ ที่แสดงผลการทำงานของระบบผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ ตามความต้องการต้องการของกลุ่มเกษตรกรปลูกอ้อยคั้นน้ำ และ 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ พบว่า มีการแสดงผลได้ดังนี้ (1) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 100 ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความเหมาะสมกับอ้อยคั้นน้ำจะอยู่ช่วงระหว่าง 30 – 35 ($^{\circ}\text{C}$) และ (2) ค่าความชื้นในดิน สามารถวัดได้ตั้งแต่ 25 %RH – 95 %RH และค่าความเหมาะสมกับอ้อยคั้นน้ำจะอยู่ในช่วง 40%RH และ $\geq 65\%$ RH (3) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ = 4.40 และ S.D. = 0.55 และ 3) ผลการศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ พบว่าเกษตรกรมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

2.1.3 ยูเล็ม ULEM ย่อมาจาก Ultra Low Energy Mist โดย **รศ.ดร. ปองวิทย์ ศิริโพธิ์** เป็นผู้คิดค้นและพัฒนาขึ้นเป็นคนแรกของโลก การทำงานของยูเล็ม คือใช้หลักการสร้างหมอกน้ำจากแรงเหวี่ยงของจานหมุน ไม่ใช่หัวฉีด จึงทำให้ยูเล็มมีจุดเด่นกว่าระบบสปริงเกอร์ตรงที่ใช้น้ำอะไรก็ได้ไม่มีการตัน อีกทั้งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องปั้มน้ำผลจากการทดลองอาจสรุปได้ว่าหัวฉีด ULEM สามารถใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในกล้วยไม้และข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยลดการใช้สารฆ่าแมลงในกล้วยไม้ได้อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์

ยูเล็มได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายรุ่น จนถึงปัจจุบัน อาจารย์ปองวิทย์และบ้านเห็ด ได้แก้ไขข้อเสียของยูเล็มรุ่นก่อนๆ ตลอดจนได้พัฒนาจนยูเล็มขึ้นมาใหม่ล่าสุด คืองานยูเล็มรุ่นมิชน งานยูเล็มรุ่นนี้จะมีขิ้นขึ้นโดยรอบจาน ทำให้การทำงานของยูเล็มเป็นไปได้หลายลักษณะงานขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน เช่น ใช้ให้ความชื้นในโรงเพาะเห็ด ใช้ให้ความชื้นและรดน้ำในเรือนกล้วยไม้ หรือใช้รดน้ำ ใส่ปุ๋ย ฉีดพ่นยาฆ่าแมลงในแปลงผัก และใช้ลดความร้อนในปศุสัตว์ เป็นต้น

การใช้ยูเล็มให้เหมาะสม

- ไม่ใช้ยูเล็มทำงานอย่างต่อเนื่องเกินกว่า 2 ชั่วโมงต่อครั้ง และพักต้องไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง
- ควรใช้ยูเล็มกับอุปกรณ์ควบคุมเวลา (Timer)
- ยูเล็มใช้ไฟฟ้า 12VDC และกินไฟ 1.3W
- ไม่ใส่จานยูเล็มขณะที่ยูเล็มทำงานอยู่
- ใช้ยูเล็มร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมที่บริษัทหรือตัวแทนแนะนำเท่านั้น



ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์สร้างหมอกน้ำ/ฝอยน้ำULEM

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ความชื้นในดิน ความชื้นในดิน ธวัชชัย ณ นคร [17] ดินทุกชนิดจะมีน้ำประกอบอยู่เสมอ จะมากน้อยขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมและเนื้อดิน บางส่วนของน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ น้ำหรือความชื้นในดินในที่นี้ หมายถึงน้ำที่อยู่ในช่องว่างของดินซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งของเหลวหรือแก๊ส แต่น้ำที่มีความสำคัญต่อพืชมากที่สุดคือ น้ำที่อยู่ในสภาพของเหลว น้ำในดินไม่ใช่ น้ำบริสุทธิ์ แต่จะมี องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ตามสภาพแวดล้อมในดินและองค์ประกอบทางเคมีของดิน ปริมาณน้ำใน ดินในขณะใดขณะหนึ่งคือมวลสารซึ่งหายไปเมื่อนำดินมาอบที่อุณหภูมิ 100-110° C นาน 24-48 ชม. หรือจนน้ำหนักของดินคงที่ น้ำในดินอาจเป็นอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายๆ อย่าง เช่น น้ำฝน น้ำค้าง หิมะ น้ำใต้ดิน และ น้ำชลประทาน เป็นต้น น้ำที่ได้มาเหล่านี้บางส่วนดินจะดูดซับไว้ในช่องว่างของดิน บางส่วนก็ไหลบ่าไป ตามผิวดิน และบางส่วนก็ไหลซึมลึกลงไปในดินเกินกว่ารากพืชจะนำมาใช้ได้ น้ำส่วนที่ดินดูดซับไว้ เรียกว่า Capillary Water ส่วนที่ซึมลึกลงไปในดินหรือส่วนที่ดินไปสามารถดูดซับไว้ได้เรียกว่า Gravitational Water หรือ Free Water น้ำประเภทหลังนี้คือ น้ำที่อยู่ในช่องว่างของดินขนาดใหญ่ ซึ่งจะไหลซึมลึกลงไปได้ดินตามแรงดึงดูดของโลก ส่วนน้ำประเภทแรกหรือ Capillary Water นั้นเป็น น้ำที่อยู่ในช่องว่างในดินขนาดเล็กซึ่งแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถดึงดูดให้ซึมลึกลงไปได้ดินได้ และ เป็นน้ำซึ่งรากพืชสามารถนำมาใช้ได้ Capillary Water หรือปริมาณน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้เต็มที่ในที่นี้ เรียกว่าปริมาณน้ำที่ Field Capacity ของดินหรือน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ที่ความดัน 1/3 บรรยากาศ กล่าวคือในช่องว่าง ของดินที่ดูดซับน้ำไว้นี้ จะมีแรงดึงดูดประมาณ 1/3 บรรยากาศ หรือมากกว่าปริมาณน้ำในดินชั้น ต่ำสุดหรือปริมาณน้ำในดินที่พืชนำมาใช้ไม่ได้ ซึ่งสังเกตจากพืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างเห็นได้ชัดคือ ปริมาณน้ำที่ดูดซับไว้ด้วยแรงดึงดูด 15 บรรยากาศ (Wilting Point) ฉะนั้นปริมาณน้ำในดินซึ่งเป็น ประโยชน์ต่อพืชจริงๆ คือ ปริมาณของดินที่อยู่ระหว่างแรงดึงดูด 1/3-15 บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า Plant Available Water

2.2.2 ความชื้นในดินที่เสถียรส่งเสริมการเจริญเติบโตของหน่อและสร้างไมโครไบโอมในไรโซสเฟียร์ของราก (Stable soil moisture promotes shoot performance and shapes the root-rhizosphere microbiome) ความชื้นในดินที่เสถียรส่งเสริมการเจริญเติบโตของหน่อและสร้างไมโครไบโอมในไรโซสเฟียร์ของรากงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของความชื้นในดินที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะ ความชื้นในดินที่ไม่คงที่ Fluctuating Soil Moisture(FSM) และความชื้นในดินที่คงที่ Stable Soil Moisture (SSM) ต่อไมโครไบโอมในไรโซสเฟียร์และประสิทธิภาพของผักกาดโรเมน การทดลองปลูกพืชในดินธรรมชาติและดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยควบคุมความชื้นแบบความชื้นในดินที่คงที่ ผ่านการให้น้ำแรงดันลบ เพื่อให้ได้ระดับความชื้นสูง ปานกลาง และต่ำ และควบคุมความชื้นแบบ FSM ผ่านการให้น้ำด้วยมือ

ผลการวิจัยพบว่า:

- ความชื้นในดินที่คงที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหน่อ เช่น ความสูงของต้น จำนวนใบ ขนาดใบ และชีวมวล อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับ ความชื้นในดินที่ไม่คงที่
- ความชื้นในดินที่คงที่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (WPC) โดยไม่ขึ้นกับขนาดราก
- องค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ในไรโซสเฟียร์ของรากแตกต่างกันในสภาวะ ความชื้นในดินที่คงที่ และ ความชื้นในดินที่ไม่คงที่ ในขณะที่ชุมชนจุลินทรีย์ในดินโดยรวมไม่ได้รับผลกระทบ
- ความชื้นในดินที่คงที่ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus* และ *Nitrolancea* ในขณะที่ ความชื้นในดินที่ไม่คงที่ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Devosia* และ *Pseudomonas*

โดยสรุปแล้ว ความชื้นในดินที่คงที่ ร่วมกับไมโครไบโอมของรากที่ถูกคัดเลือก จะกระตุ้นประสิทธิภาพของหน่อโดยไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ผลการวิจัยนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพพลวัตความชื้นในดินเพื่อปรับปรุงการเจริญเติบโตของพืชและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ซึ่งนำไปสู่แนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ยั่งยืน

ผู้วิจัย: Dichuan Liu, Zhuan Wang, Guolong Zhu, Aiguo Xu, Renlian Zhang, Ray Bryant, Patrick J. Drohan, Huaiyu Long, Viola Willemsen

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยและพัฒนาแห่งชาติที่สำคัญของจีน (2018YFE0112300) และทุนวิจัยพื้นฐานสำหรับสถาบันวิทยาศาสตร์ที่ไม่แสวงหาผลกำไรส่วนกลาง (หมายเลข Y2020PT37) รวมถึงโครงการร่วมมหาวิทยาลัย

Wageningen-Chinese Academy of Agricultural Sciences "Decipher the role of soil moisture temporal variation on root architecture and rhizosphere biota" และ USDA Agricultural Research Service

2.2.3 สารอาหารทางใบในผัก (Foliar Nutrition in Vegetables)การให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการให้อาหารแก่พืชโดยการฉีดพ่นสารอาหารที่ละลายน้ำได้โดยตรงบนใบพืช ซึ่งสารอาหารจะถูกดูดซึมผ่านทางปากใบ (stomata) และชั้นผิวใบ (cuticle) ไปยังเซลล์พืช ทำให้พืชสามารถใช้ธาตุอาหารได้อย่างรวดเร็ว (Krishnasree et al., 2021) การให้ปุ๋ยทางใบมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาการขาดธาตุอาหารรองและจุลธาตุ โดยเฉพาะในช่วงวิกฤตของการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการให้ปุ๋ยทางดินไม่สามารถตอบสนองได้ทันเวลา

Krishnasree, Raj และ Chacko (2021) ได้กล่าวว่า การให้ปุ๋ยทางใบไม่สามารถทดแทนการให้ปุ๋ยทางดินได้ทั้งหมด แต่สามารถใช้เสริมเมื่อเกิดการขาดแคลนธาตุอาหารบางชนิด โดยเฉพาะในกรณีที่มีการตรึงธาตุอาหารในดินสูง หรือดินมีลักษณะเป็นทรายที่สูญเสียธาตุอาหารได้ง่าย ทั้งนี้ สารอาหารที่ฉีดพ่นทางใบสามารถดูดซึมและส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการให้ทางดิน

กลไกการดูดซึมสารอาหารทางใบ (**Mechanism of Foliar Fertilization**) แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การซึมผ่านชั้นผิวใบและผนังเซลล์: สารอาหารจะซึมผ่าน cuticle และผนังเซลล์ด้วยการแพร่ทั้งแบบแอคทีฟและพาสซีฟ
2. การเกาะบนเยื่อหุ้มเซลล์: สารอาหารที่ซึมผ่านเข้ามาจะเกาะบนผิวของเยื่อหุ้มเซลล์
3. การดูดซึมเข้าสู่เซลล์: สารอาหารจะถูกดูดซึมเข้าสู่ไซโทพลาสซึมของเซลล์พืชเพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต

การดูดซึมผ่านปากใบจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่า แต่การดูดซึมผ่านชั้นผิวใบจะสามารถส่งสารอาหารในปริมาณมากกว่า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึม ได้แก่ ประเภทของพืช พื้นที่ใบ สภาพอากาศ และคุณภาพของปุ๋ยที่ใช้ (Krishnasree et al., 2021)

ข้อดีของการให้ปุ๋ยทางใบ (Advantages of Foliar Feeding)

- **แก้ปัญหการขาดธาตุอาหารได้รวดเร็ว:** การให้ปุ๋ยทางใบสามารถแก้ไขการขาดแคลนธาตุอาหารในช่วงวิกฤตได้ภายใน 3-4 วัน ขณะที่การให้ปุ๋ยทางดินอาจต้องใช้เวลาถึง 5-6 วัน
- **เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม:** ลดการสะสมของสารพิษในดินและแหล่งน้ำ รวมทั้งช่วยลดปัญหาการชะล้างของสารอาหารในดิน
- **ประหยัดและมีประสิทธิภาพสูง:** การให้ปุ๋ยทางใบช่วยลดการสูญเสียสารอาหารเมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยทางดินที่อาจถูกชะล้างไปกับน้ำ
- **สามารถผสมกับสารกำจัดศัตรูพืช:** ลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันโรคและแมลงในเวลาเดียวกัน

การวิจัยยังชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยทางใบสามารถใช้เสริมกับการให้ปุ๋ยทางดินได้ดี โดยเฉพาะในกรณีที่พืชมีความต้องการธาตุอาหารเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น ช่วงออกดอกและติดผล

ข้อจำกัดของการให้ปุ๋ยทางใบ (Limitations of Foliar Application)

การให้ปุ๋ยทางใบมีข้อจำกัดหลายประการที่ต้องพิจารณาเพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนี้:

ต้นทุนสูงกว่า: ปุ๋ยที่ใช้สำหรับการให้ทางใบจะต้องเป็นปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้ดีและมีความบริสุทธิ์สูงกว่าปุ๋ยทางดินทั่วไป ซึ่งทำให้มีราคาสูงกว่า นอกจากนี้ การใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น สารเปียกใบ (wetting agents) และสารยึดเกาะ (stickers) ก็เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตด้วย

เสี่ยงต่อการเกิดใบไหม้ (Leaf Burn): หากใช้ปุ๋ยในความเข้มข้นที่สูงเกินไป หรือฉีดพ่นในช่วงอากาศร้อนจัด อาจทำให้ใบพืชเกิดอาการไหม้ได้ โดยเฉพาะปุ๋ยที่มีปริมาณเกลือสูง เช่น ปุ๋ยที่มีส่วนผสมของไนโตรเจนในรูปของ-แอมโมเนียมหรือปุ๋ยโพแทสเซียมในเตรต ดังนั้น การควบคุมความเข้มข้นของปุ๋ยและเวลาฉีดพ่นจึงมีความสำคัญมาก

ต้องใช้แรงงานมากกว่า: การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบต้องใช้แรงงานและเวลาในการดำเนินการมากกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน โดยเฉพาะในแปลงปลูกขนาดใหญ่ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ฉีดพ่นที่มีประสิทธิภาพและมีการวางแผนเส้นทางการฉีดพ่นอย่างเป็นระบบ

มีผลในระยะสั้น (Temporary Effect): การให้ปุ๋ยทางใบจะช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารในระยะสั้นเท่านั้น ไม่สามารถทดแทนการให้ธาตุอาหารหลักทางดินได้ทั้งหมด เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่สามารถฉีดพ่นได้มีจำกัด และมักจะใช้เพื่อเสริมธาตุอาหารรองและจุลธาตุในช่วงวิกฤตของการเจริญเติบโตเท่านั้น

ความจำเพาะของพืชและสภาพแวดล้อม: ประสิทธิภาพของการให้ปุ๋ยทางใบจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พื้นที่ใบ และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้น หากสภาพอากาศไม่เหมาะสม ปุ๋ยอาจจะเหวหรือถูกลมพัดไปก่อนที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ใบพืช

ไม่เหมาะกับพืชระยะต้นกล้า: ในระยะต้นกล้าที่มีพื้นที่ใบเล็กและจำนวนใบน้อย การให้ปุ๋ยทางใบจะไม่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้การให้ปุ๋ยทางดินยังเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโต

ข้อควรระวังในการให้ปุ๋ยทางใบ (Precautions in Foliar Feeding)

หลีกเลี่ยงการฉีดพ่นในช่วงแดดแรง: ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบคือช่วงเช้าตรู่หรือช่วงเย็นที่อากาศไม่ร้อนจัด เพื่อป้องกันการระเหยของสารอาหารก่อนที่พืชจะสามารถดูดซึมได้ นอกจากนี้ ยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดใบไหม้ขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของปุ๋ยที่สูงขึ้นเมื่อมีการระเหยของน้ำออกไป

ไม่ควรฉีดพ่นในช่วงลมแรง:ลมแรงอาจทำให้สารอาหารที่ฉีดพ่นฟุ้งกระจายไปยังพื้นที่ข้างเคียง ทำให้พืชไม่ได้รับปุ๋ยตามที่ต้องการและอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนกับแปลงอื่น ๆ ดังนั้น ควรฉีดพ่นในวันที่ลมสงบเพื่อให้สารอาหารสามารถเกาะและซึมผ่านใบได้ดี

ใช้อุปกรณ์ฉีดพ่นที่สะอาดและเหมาะสม:ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ฉีดพ่นทุกครั้งก่อนและหลังใช้งาน เพื่อป้องกันการตกค้างของสารเคมีอื่น ๆ ที่อาจทำให้เกิดอาการใบไหม้หรือปัญหาอื่น ๆ ต่อพืช นอกจากนี้ ควรเลือกหัวฉีดที่มีขนาดละอองเหมาะสมกับประเภทของพืชเพื่อให้การกระจายสารอาหารเป็นไปอย่างทั่วถึง

ควรใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพ (Adjuvants):การใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น สารเปียกใบ (wetting agents) และสารยึดเกาะ (stickers) สามารถช่วยให้สารอาหารสามารถเกาะติดใบได้นานขึ้นและถูกดูดซึมได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การใช้สารดูดความชื้น (humectants) ยังช่วยให้สารอาหารละลายน้ำได้ดีในสภาวะความชื้นต่ำ

ควบคุมความเข้มข้นของปุ๋ย:ควรใช้ปุ๋ยในความเข้มข้นที่เหมาะสมตามที่แนะนำเพื่อป้องกันการเกิดใบไหม้และอาการเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (urea) ที่มีความเข้มข้นสูง อาจทำให้ใบพืชไหม้ได้หากใช้งานเกินปริมาณที่กำหนด

เลือกใช้ปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี:ปุ๋ยที่ใช้ในการฉีดพ่นทางใบควรเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ 100% และไม่ควรหีบคราบหรือสิ่งตกค้างบนใบพืช เนื่องจากคราบปุ๋ยอาจขัดขวางการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช

ปรับสภาพน้ำที่ใช้ฉีดพ่น:ควรตรวจสอบค่า pH ของน้ำที่ใช้ละลายปุ๋ยเพื่อให้เหมาะสมกับการดูดซึมสารอาหาร เช่น น้ำที่มีค่า pH เป็นกรดอ่อน (ประมาณ 5.5–6.5) จะช่วยให้สารอาหารสามารถดูดซึมได้ดีขึ้น

2.2.4 การเปิดปากใบในรอบวันของพรรณไม้ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศในเขตเมืองบริเวณอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภูมิปัญญา พรมจวง, นิสาลักษณ์สูงเนิน, พันธนา ตอเจน ผู้วิจัย ได้มีจุดประสงค์ในการศึกษา การเปิด-ปิดปากใบของพรรณไม้เป็นกระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำของพืช ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่มีลักษณะอากาศแตกต่างจากแหล่งกำเนิดเดิมของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเปิดปากใบของพรรณไม้ที่พบในเขตเมือง โดยเน้นการศึกษาในอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่กลางกรุงเทพฯ

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาพรรณไม้ 5 ชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูง ได้แก่ พะยูน (Dalbergia cochinchinensis), ป๊อบ (Millingtonia hortensis), ชมพูพันธุ์ทิพย์ (Tabebuia rosea), จามจุรี (Samanea saman) และยางนา (Dipterocarpus alatus) โดยวัดค่าการเปิดปากใบทุก 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 07:00 - 17:00 น. ในช่วงฤดูแล้ง (เมษายน-พฤษภาคม) และฤดูฝน (สิงหาคม-กันยายน)

พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดปากใบและค่าความแตกต่างของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ (leaf-to-air vapor pressure deficit, LAVPD)

ผลการวิจัยพบว่าการเปิดปากใบของพรรณไม้ทุกชนิดมีรูปแบบคล้ายคลึงกันในทั้งสองฤดู โดยจะเปิดมากในช่วงเช้าและลดลงในช่วงบ่าย ทั้งนี้ การเปิดปากใบในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.0001$) เนื่องจากความชื้นในอากาศที่มากขึ้นช่วยลดการสูญเสียน้ำของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงที่ LAVPD สูงขึ้น (แรงดึงการคายน้ำมาก) ปากใบของต้นไม้ส่วนใหญ่จะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ยกเว้นต้นยางนาที่มีการตอบสนองแตกต่างออกไป โดยไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่าง LAVPD และการเปิดปากใบ

2.2.5 ผลของสิ่งแวดล้อมต่อการเปิดปิดปากใบ การเปิดปิดปากใบเป็นกระบวนการที่ถูกควบคุมโดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายอย่างร่วมกัน

พืชโดยทั่ว ๆ ไป จะเริ่มเปิดปากใบในเวลาเช้าเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและจะเปิดกว้างมากที่สุดในช่วงประมาณ 10.00 ถึง 11.00 น. จากนั้นความกว้างของรูปากใบจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงบ่ายและจะปิดเมื่อดวงอาทิตย์ตก (รูปที่ 1.5) พืชบางชนิดปิดปากใบในช่วงเที่ยงวัน (midday closure) และเปิดกว้างอีกครั้งในช่วงบ่าย ในวันที่ครึ้มเนื่องจากมีเมฆมากปากใบจะเปิดน้อยกว่าวันที่แสงแดดจัด นอกจากแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก คือ ปริมาณ CO_2 ภายในใบ ถ้ามีปริมาณสูงปากใบจะปิด ถ้ามีปริมาณต่ำปากใบจะเปิด ภาวะกดดันที่ทำให้ปากใบปิดที่สำคัญคือการขาดน้ำ อุณหภูมิสูงและลมแรงจัด สำหรับพืชส่วนใหญ่ความเข้มข้นของ CO_2 ภายในใบเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปากใบปิดหรือเปิดจากการทดลองผ่านอากาศที่ปราศจาก CO_2 ให้แก่ใบที่อยู่ในที่มืดพบว่าสามารถชักนำให้ปากใบเปิดกว้างได้ และในทางตรงกันข้ามขึ้นปริมาณ CO_2 สูงภายในใบสามารถชักนำให้ปากใบปิดได้ ถึงแม้ว่าจะได้รับแสงเต็มที่ พืชอวบน้ำที่มีกลไกการตรึง CO_2 แบบ CAM จะมีแบบแผนของการเปิดปิดปากใบตรงกันข้ามกับพืชทั่วไปคือจะเปิดปากใบในเวลากลางคืนและปิดในเวลากลางวัน

กลไกที่แสงควบคุมการเปิดปิดปากใบนั้นยังเป็นเรื่องที่ถกเถียงกันอยู่ตลอดมาว่าแสงทำให้ปากใบเปิดนั้นเป็นผลโดยตรงของแสงหรือเป็นผลทางอ้อมของแสงที่แสดงให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ปริมาณ CO_2 ภายในปากใบต่ำลง ในอดีตนักสรีรวิทยาเชื่อว่าแสงนั้นมีผลโดยตรงต่อการเปิดปิดปากใบ แต่ในระยะหลังนี้หลายงานวิจัยที่ผ่านมาเริ่มมีการทดลองที่สนับสนุนแสงมีผลทางอ้อมต่อการเปิดปิดปากใบ Sharkey และ Rascher (1981) ศึกษาผลของแสงต่อการเปิดปิดปากใบในสภาพที่ควบคุมปริมาณ CO_2 ภายในใบคงที่ พบว่าความกว้างของปากใบผันแปรตามความเข้มของแสง และถ้าให้สารยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปากใบยังคงตอบสนองต่อความเข้มแสงตามปกติ นอกจากนี้ยังมีการทดลองวัดความกว้างของรูเปิดปากใบโดยใช้ผิวใบลอก (epidermal peel) ที่ลอกออกมาจากใบล่างของปากใบ พบว่าเซลล์คุมที่ผิวใบลอกออกมาสามารถตอบสนองต่อแสงโดยควบคุมความกว้างของรูเปิดปากใบได้โดยไม่อาศัยเซลล์มีโซฟิลล์ แสงที่มีผลต่อปากใบมากที่สุดคือ แสงสีน้ำ

เงิน ความยาวคลื่นระหว่าง 430-460 นาโนเมตร และแสงสีแดงความยาวคลื่นระหว่าง 630-680 นาโนเมตร จากการศึกษาของ Schwartz และ Zeiger (1984) ซึ่งวัดความกว้างของรูเปิดปากใบในพืชผักปราบ (*Commelina communis*) (รูปที่ 1.6) พบว่าเมื่อให้แสงสีแดง ความกว้างของรูเปิดปากใบจะเพิ่มมากขึ้นจากประมาณ 2 ไมโครเมตร เป็นประมาณ 7 ไมโครเมตร ภายในเวลา 2 ชั่วโมง และคงที่อยู่ที่ 7 ไมโครเมตรต่อไปอีก 2 ชั่วโมง ในการทดลองหนึ่งซึ่งให้แสงสีแดงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนกระทั่งรูเปิดปากใบเริ่มคงที่แล้วจากนั้นจึงให้แสงสีน้ำเงิน ปรากฏว่ารูเปิดปากใบสามารถเปิดกว้างออกไปได้อีกจากประมาณ 7 ไมโครเมตร เป็น 12 ไมโครเมตร ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าเซลล์คุมมีระบบปรับแสง 2 ระบบที่นำไปสู่การควบคุมการเปิดปิดปากใบ ระบบหนึ่งดูดกลืนและตอบสนองต่อแสงสีแดง อีกระบบหนึ่งดูดกลืนและตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงิน และนักวิทยาศาสตร์ค่อนข้างเชื่อว่ากลไกการรับและตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงินในเซลล์คุมน่าจะเป็นกลไกที่คล้ายคลึงกับการตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงินที่นำไปสู่กระบวนการทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เช่น การโค้งเข้าหาแสง การหันเข้าตามดวงอาทิตย์ และการเคลื่อนที่ของคลอโรพลาสต์ เป็นต้น ส่วนกลไกการรับสัญญาณแสงสีเดงนั้นน่าจะอยู่ในคลอโรพลาสต์และมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลของความชื้นในอากาศต่อการเปิดปิดปากใบนั้นส่วนใหญ่พบว่า เป็นผลร่วมกันระหว่างความชื้น แสง และอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Tibbitts (1979) พบว่าขณะที่มีแสงแดดจัด ถ้าชักใบพืชไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นต่ำ ปากใบจะปิด แต่เมื่อทิ้งระยะเวลาห่างออกไปอีกเล็กน้อย ปรากฏว่าปากใบจะเปิดใหม่เมื่อมีระยะเวลาหนึ่งแล้วจะปิดอีกเป็นวัฏจักรซึ่งแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งเขาอธิบายว่าเมื่อย้ายใบจากบรรยากาศที่มีความชื้นปกติ ไปยังบรรยากาศที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นภายในใบ ปากใบจะปิดทันทีเพื่อป้องกันอันตรายจากการเสียน้ำ แต่เมื่อทอดระยะเวลาออกไปใบจะทำการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้มีปริมาณ CO_2 ในใบลดต่ำลงทำให้ปากใบเปิดเพื่อดูด CO_2 เข้ามาใหม่ หลังจากเปิดไปชั่วระยะเวลาหนึ่งปากใบก็จะปิดอีกเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากการเสียน้ำ นอกจากความชื้นของอากาศภายนอกความชื้นของอากาศภายในใบหรือปริมาณน้ำภายในใบก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ถ้าเกิดภาวะขาดน้ำทำให้ค่า Water Potential ของใบต่ำลงปากใบก็จะปิด เช่นที่พบในพืชบางชนิดที่มีการปิดปากใบชั่วคราวในเวลากลางวัน ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งคืออุณหภูมิ อุณหภูมิสูง (30-35 องศาเซลเซียส) มักจะทำให้ปากใบปิดซึ่งอาจจะเป็นผลทางอ้อมจากการที่อุณหภูมิสูง เร่งให้เกิดภาวะเครียดเนื่องจากการขาดน้ำหรืออุณหภูมิสูงเร่งอัตราการหายใจทำให้มีปริมาณ CO_2 สูงภายในใบ แต่สำหรับพืชบางชนิดอุณหภูมิสูงกลับทำให้ปากใบเปิดเพื่อคายน้ำมากขึ้นและช่วยลดความร้อนให้แก่ใบ

2.2.6 การให้ปุ๋ยทางใบในพืช (Foliar Fertilization in Plants) Junhao Niu, Chang Liu, Mingli Huang, Kezhong Liu และ Dongyun Yan (2020) ได้ศึกษาถึงผลของการให้ปุ๋ยทางใบและพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหการขาดธาตุอาหารในพืช รวมถึงช่วยเพิ่ม

คุณภาพและผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ การให้ปุ๋ยทางใบสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีทางดินและช่วยป้องกันปัญหาดินเป็นกรดและดินเค็มที่เกิดจากการสะสมของสารเคมีในดิน

นักวิจัยยังได้กล่าวถึงข้อดีของการให้ปุ๋ยทางใบว่า **สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร** ได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน เนื่องจากธาตุอาหารสามารถถูกดูดซึมผ่านใบได้อย่างรวดเร็วและตรงจุด นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยทางใบยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมของดิน โดยเฉพาะในกรณีที่ดินมีปัญหาเรื่องความเค็มหรือความเป็นกรด

อย่างไรก็ตาม **Niu และคณะ (2020)** ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของการให้ปุ๋ยทางใบ เช่น ปริมาณธาตุอาหารที่ใบสามารถดูดซึมได้มีจำกัด ทำให้ต้องฉีดพ่นหลายครั้ง และมีความเสี่ยงต่อการเกิดใบไหม้หากใช้ปุ๋ยในความเข้มข้นที่สูงเกินไป นอกจากนี้ ปุ๋ยที่ใช้ในการฉีดพ่นทางใบต้องมีคุณภาพสูงและละลายน้ำได้ดี ทำให้มีต้นทุนสูงกว่าปุ๋ยทางดิน

นักวิจัยแนะนำว่า:

- ควรใช้ปุ๋ยทางใบควบคู่กับการให้ปุ๋ยทางดินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด
- ควรเลือกใช้ปุ๋ยแบบคีเลต (Chelated Fertilizers) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมและช่วยลดการตกค้างของสารเคมีในดิน
- การปรับความเข้มข้นและเวลาฉีดพ่นให้เหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโตของพืชจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยทางใบได้ดียิ่งขึ้น

ผลของความหนาแน่นของเชื้อโรค ความชื้นในดิน และ pH ของดินต่อการควบคุมทางชีวภาพของรากไม้ในกะหล่ำปลีจีน โดย *Heteroconium chaetospora* (Effects of Pathogen Density, Soil Moisture, and Soil pH on Biological Control of Clubroot in Chinese Cabbage by *Heteroconium chaetospora*)

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของความชื้นในดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อโรคที่มีต่อประสิทธิภาพของการควบคุมโรครากปมในกะหล่ำปลีโดยเชื้อราเอนโดไฟต์ *Heteroconium chaetospora* ในการทดลองในโรงเรือนและในแปลงทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดโรคคือดินที่มีค่า pH ต่ำ (5.5) และมีความชื้นสูง (80%) ในขณะที่การลดลงของโรคอย่างมีนัยสำคัญพบได้ในดินที่มีค่า pH สูงขึ้น (6.3 และ 7.2) และมีความชื้นต่ำลง (40 และ 60%)

ในการทดสอบในโรงเรือน *H. chaetospora* สามารถควบคุมโรครากปมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ลดโรคได้ 90-100%) ที่ความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรค 104 และ 105 สปอร์/กรัมดิน ในทุกค่า pH ที่ทดสอบ (5.5, 6.3 และ 7.2) อย่างไรก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของสปอร์อยู่ที่ 106 สปอร์/กรัมดิน พืชแสดงอาการของโรคอย่างรุนแรงโดยไม่คำนึงถึงการรักษา และ *H. chaetospora* ไม่ส่งผลต่อโรค

ที่ความชื้นในดิน 40% การเกิดโรคอยู่ในระดับต่ำโดยไม่คำนึงถึงความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรค แต่โรคจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญในพืชที่รักษาด้วย *H. chaetospira* ที่ความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรค 105 สปอร์/กรัมดิน ที่ความชื้นในดิน 60% *H. chaetospira* สามารถส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรค 104 และ 105 แต่ไม่มีผลที่ 106 สปอร์/กรัมดิน ที่ความชื้นในดิน 80% ไม่พบผลกระทบของ *H. chaetospira* ต่อความหนาแน่นของเชื้อโรค

ในสภาพแปลงทดลอง ความชื้นในดินถูกปรับให้อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (pF 2.2 ถึง 2.4 และ pF 2.0 ถึง 2.2) และสูง (pF 1.6 ถึง 1.8) สภาวะแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรคและค่า pH ของดิน ถูกควบคุมให้คงที่ พืชควบคุม (ไม่ได้รับการรักษาด้วย *H. chaetospira*) แสดงระดับโรคและสัดส่วนของพืชที่เป็นโรคงสูงอย่างสม่ำเสมอในทุกระดับความชื้น (ดัชนีโรค = 72 ถึง 80 สัดส่วนของพืชที่เป็นโรค 85 ถึง 97%) ในแปลงทดลอง พืชที่รักษาด้วย *H. chaetospira* ที่ความชื้นในดินต่ำ (pF 2.2 ถึง 2.4 แปลง 1) มีการลดลงของโรค 68% เมื่อเทียบกับพืชควบคุมที่ไม่ได้รับการรักษา และลดลง 49% ที่ความชื้นปานกลาง (pF 2.0 ถึง 2.2 แปลง 2) ไม่พบผลกระทบของ *H. chaetospira* ต่อโรคที่ความชื้นในดินสูง (pF 1.6 ถึง 1.8 แปลง 3)

จากผลการวิจัย *H. chaetospira* เป็นสารควบคุมทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพต่อโรครากปมในกะหล่ำปลีในช่วงความชื้นในดินต่ำถึงปานกลาง และความหนาแน่นของสปอร์เชื้อโรค 105 สปอร์ (หรือต่ำกว่า) ต่อกรัมดินในสภาพธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดย นาริซาวา เค, ชิมุระ เอ็ม, อุสึกิ เอฟ, ฟุคุฮาระ เอส และ ฮาชิบะ ทิ (Narisawa K, Shimura M, Usuki F, Fukuhara S, Hashiba T) แหล่งที่มาและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.2.7 งานวิจัย: การพัฒนาแปลงผักยกพื้นเพื่อการผลิตผักคุณภาพ สังคมไทยกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรเข้าสู่สังคมสูงวัย (Aged society) ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตร ทั้งในแง่ของจำนวนแรงงานที่ลดลงและอายุเฉลี่ยของเกษตรกรที่เพิ่มสูงขึ้น การขาดแคลนแรงงานและแรงจูงใจให้คนรุ่นใหม่เข้าสู่ภาคเกษตรเป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่จึงเป็นแนวทางสำคัญเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและตอบสนองต่อความท้าทายเหล่านี้ หนึ่งในแนวทางที่น่าสนใจคือ "แปลงผักยกพื้น" ซึ่งเป็นการประยุกต์เทคนิคการปลูกพืชเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มคุณภาพผลผลิต

การออกแบบและพัฒนาแปลงผักยกพื้น

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาแปลงผักยกพื้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างรูปแบบแปลงปลูกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผักคุณภาพ สะดวกต่อการใช้งาน และอาจเป็นทางเลือกสำหรับผู้สูงอายุหรือผู้มีพื้นที่จำกัด การออกแบบคำนึงถึงหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) เพื่อให้เหมาะสมกับสรีระและการทำงานของมนุษย์

- **โครงสร้างและขนาด:** แปลงผักต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร และมีความสูงรวมจากพื้น 90 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่เหมาะสมกับการยืนทำงาน (ระดับเอว) โครงสร้างทำจากท่อเหล็กกลมขนาด 1¼ นิ้ว และ ¾ นิ้ว
- **พื้นที่ปลูก:** ส่วนที่ใช้รองรับดินปลูกมีความสูง 20 เซนติเมตร ปลูกด้วยกระบะเบี่ยงมุมหลังคา ลอนคู่ และขึงทับด้วยตาข่ายไนล่อนเพื่อรองรับดินและช่วยระบายน้ำ สามารถบรรจุดินปลูกได้ประมาณ 350-400 ลิตร และรับน้ำหนักได้ถึง 600 กิโลกรัม
- **ต้นทุน:** ต้นทุนในการสร้างแปลงผักยกพื้นต้นแบบอยู่ที่ประมาณ 2,728.80 บาท (ไม่รวมดินปลูก)

การทดสอบประสิทธิภาพ

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแปลงผักยกพื้นที่พัฒนาขึ้น ได้มีการทดลองปลูกผักกาดขาวตั้งห่อเต้าก้านขาว (Canton Pak Choi) เปรียบเทียบ 4 รูปแบบการปลูก ได้แก่ 1) แปลงปลูกบนดิน (วิธีควบคุม) 2) แปลงยกพื้นกลางแจ้ง 3) แปลงยกพื้นในโรงเรือน และ 4) แปลงยกพื้นดัดแปลงจากโต๊ะปลูกไฮโดรโปนิคส์

- **ผลผลิต:** ผลการทดลองหลังย้ายปลูก 40 วัน พบว่า แปลงยกพื้นกลางแจ้งให้ผลผลิต (น้ำหนักสด) สูงที่สุด เฉลี่ย 5.82 กิโลกรัมต่อแปลง ซึ่งสูงกว่าแปลงปลูกบนดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (แปลงปลูกบนดินให้ผลผลิตเพียง 2.00 กิโลกรัมต่อแปลง) ส่วนแปลงยกพื้นในโรงเรือน และแปลงยกพื้นดัดแปลงฯ ให้ผลผลิตรองลงมา คือ 4.35 และ 3.99 กิโลกรัมต่อแปลง ตามลำดับ
- **รายได้:** เมื่อคำนวณรายได้จากการขาย (ตั้งราคาขายผักจากแปลงยกพื้น 80 บาท/กก. และแปลงดิน 40 บาท/กก.) พบว่า แปลงยกพื้นกลางแจ้งสร้างรายได้สูงสุด 465.60 บาทต่อแปลง แตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ
- **ข้อดี:** การปลูกบนแปลงยกพื้นช่วยลดปัญหาการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช (เช่น เพลี้ยอ่อน หนอนใยผัก ตั๊กแตน) และวัชพืชได้ดีกว่าการปลูกบนดินอย่างเห็นได้ชัด

ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

จากการสำรวจความพึงพอใจจากผู้เข้าชม (เกษตรกร ผู้สนใจ และนักศึกษา) จำนวน 100 คน พบว่า:

- **ด้านโครงสร้าง:** ผู้ตอบส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุดต่อขนาด ความแข็งแรง ต้นทุน และความง่ายในการหาวัสดุและการก่อสร้างแปลง
- **ด้านการใช้งาน:** มีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุดต่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน การลดปัญหาศัตรูพืชและวัชพืช การลดเวลาดูแลรักษา และความสามารถในการผลิตผักได้ตลอดปี

- **ด้านคุณภาพผัก:** ผู้ตอบมีความพึงพอใจมากที่สุดในเรื่อง **ความปลอดภัยของผักต่อผู้บริโภค** (51.2% พึงพอใจมากที่สุด) เนื่องจากลดการใช้สารเคมีได้ นอกจากนี้ยังพึงพอใจมากต่อคุณภาพ ความสวยงาม ผลผลิตต่อแปลง และรสชาติของผัก

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

แปลงผักยกพื้นที่วิจัยและพัฒนาขึ้น มีขนาดและความสูงที่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน ลดปัญหาศัตรูพืชและวัชพืช ทำให้สามารถผลิตผักคุณภาพดีและปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแปลงยกพื้นกลางแจ้งให้ผลผลิตและรายได้สูงกว่าการปลูกบนดินอย่างชัดเจน แปลงผักยกพื้นจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกร โดยเฉพาะผู้สูงอายุ ผู้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ หรือผู้ที่ต้องการผลิตผักคุณภาพสูง แม้แปลงยกพื้นในโรงเรือนจะให้ผลผลิตน้อยกว่าแปลงกลางแจ้งในการทดลองนี้ แต่หากมีการจัดการสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ก็มีศักยภาพที่จะเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้เช่นกัน การนำเทคนิคนี้ไปปรับใช้จะช่วยส่งเสริมการเกษตรที่ยั่งยืนและตอบโจทย์สังคมสูงวัยได้เป็นอย่างดี

แหล่งที่มาและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.2.8 งานวิจัย: โรคพืชตระกูลกะหล่ำที่สำคัญและแนวทางการจัดการแบบบูรณาการบน

นำ พืชตระกูลกะหล่ำ (Brassicaceae) เช่น กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก บรอกโคลี คะน้า และผักกาดชนิดต่างๆ จัดเป็นกลุ่มพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นที่ยอมรับบริโภคอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม การผลิตพืชตระกูลนี้มักประสบปัญหาจากโรคพืชหลายชนิด ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เอกสารประกอบการอบรมเรื่อง "โรคของพืชผักและการจัดการ" ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุ อาการ และแนวทางการจัดการโรคพืชผักที่สำคัญ รวมถึงโรคที่พบในพืชตระกูลกะหล่ำ บทความนี้จะสรุปสาระสำคัญเกี่ยวกับโรคพืชตระกูลกะหล่ำจากเอกสารดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการรายงานการวิจัย

สาเหตุและลักษณะอาการของโรคพืชผักโดยทั่วไป โรคพืชสามารถเกิดได้จากสาเหตุสองกลุ่มหลักคือ สิ่งมีชีวิต (เชื้อโรค) และสิ่งไม่มีชีวิต (สภาพแวดล้อม/ปัจจัยทางกายภาพ) โรคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตหรือโรคติดเชื้อ/โรคระบาด มีสาเหตุจากจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส ไวรอยด์ ไฟโตพลาสมา และไส้เดือนฝอย เชื้อโรคเหล่านี้สามารถทำให้พืชเกิดอาการผิดปกติได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ผลจุด ผลไหม้ อาการเน่า (เน่าเละ เน่าแห้ง) อาการเหี่ยว (เหี่ยวเฉียว เหี่ยวเหลือง) อาการใบด่าง ใบเหลือง อาการแคะแกร็น รากปม หรือส่วนต่างๆ ของพืชเจริญผิดปกติ การวินิจฉัยโรคเบื้องต้นสามารถพิจารณาจากกลุ่มอาการเหล่านี้ได้

โรคสำคัญในพืชตระกูลกะหล่ำและการจัดการ จากเอกสารประกอบการอบรม ได้ระบุโรคที่สำคัญซึ่งพบได้ในพืชตระกูลกะหล่ำ (ร่วมกับพืชตระกูลอื่น) คือ

1. โรคเน่าระดับดิน หรือ โรคกล้าเน่า (Damping-off / Seedling Rot)

- **เชื้อสาเหตุ:** เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ซึ่งเป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ในดิน
- **พืชอาศัย:** เอกสารระบุว่า เป็นโรคสำคัญของพืชตระกูลกะหล่ำ พริก แตง และถั่ว
- **ลักษณะอาการ:** เป็นโรคที่สร้างความเสียหายรุนแรงในระยะต้นกล้า ทำให้ต้นกล้าแสดงอาการเน่าที่บริเวณโคนต้นระดับดิน ต้นกล้ามีลักษณะฉ่ำน้ำ ล้มพับ และตายในที่สุด หรืออาจแสดงอาการเน่าก่อนงอกพ้นดิน (pre-emergence damping-off) หรือหลังงอกแล้ว (post-emergence damping-off)
- **สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดโรค:** โรคนี้มีระบาดรุนแรงในแปลงเพาะกล้าหรือแปลงปลูกที่มีความชื้นสูง ดินระบายน้ำไม่ดี หรือมีการให้น้ำมากเกินไป สภาพอากาศเย็นและความชื้นสูงส่งเสริมการเจริญของเชื้อรา *Pythium* การปลูกพืชหนาแน่นเกินไปทำให้อากาศถ่ายเทไม่สะดวก ความชื้นสะสมบริเวณโคนต้นสูงขึ้น เอื้อต่อการเกิดโรค นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากเกินไปในระยะกล้า อาจทำให้ต้นกล้าอวบน้ำ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อมากขึ้น เชื้อราสามารถพักตัวอยู่ในดินหรือเศษซากพืช และแพร่กระจายโดยติดไปกับดิน น้ำ เครื่องมือเกษตร หรือส่วนขยายพันธุ์พืช
- **แนวทางการจัดการ:**
 - **การจัดการดินและแปลงปลูก:** ก่อนปลูก ควรมีการจัดการดินเพื่อลดปริมาณเชื้อโรค เช่น การไถพรวนดินตากแดดหลายๆ ครั้ง หรือการอบดินด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Soil solarization) ปรับปรุงโครงสร้างดินให้มีการระบายน้ำดี หลีกเลี่ยงพื้นที่น้ำขัง จัดการแปลงปลูกไม่ให้ความชื้นสูงเกินไป
 - **สุกลักษณะแปลง:** กำจัดเศษซากพืชเก่าและวัชพืชซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมโรคออกจากแปลง
 - **การเขตกรรม:** ไม่ควรปลูกพืชหนาแน่นเกินไป และหลีกเลี่ยงการให้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปในระยะต้นกล้า
 - **ชีววิธี:** ส่งเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินโดยการใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ผ่านการหมักอย่างสมบูรณ์ หรือใช้ชีวภัณฑ์เชื้อราปฏิปักษ์ เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) ผสมในวัสดุปลูก คลุกเมล็ด หรือราดลงดินบริเวณโคนต้น หรือใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์ เช่น บาซิลลัส ซับทิลิส (*Bacillus subtilis* - BS) หรือแบคทีเรียกลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria - PGPR) ที่มีคุณสมบัติกระตุ้นความต้านทานในพืช (Induced Systemic Resistance - ISR)

- **การจัดการเมื่อพบโรค:** หากพบต้นกล้าแสดงอาการป่วย ควรขุดถอนนำไปทำลาย นอกแปลงทันที อาจราดดินบริเวณที่พบโรคด้วยสารชีวภัณฑ์ หรือสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราตามความจำเป็น

หลักการจัดการโรคพืชผักโดยทั่วไปที่ประยุกต์ใช้กับพืชตระกูลกะหล่ำ เอกสารยังได้นำเสนอแนวทางการป้องกันและควบคุมโรคพืชผักโดยรวม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชตระกูลกะหล่ำได้ ได้แก่:

1. **วิธีกายภาพ (Physical control):** เช่น การจัดการอุณหภูมิ ความชื้น การอบดินด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อฆ่าเชื้อในดินก่อนปลูก
2. **วิธีเขตกรรม (Cultural control):** เป็นวิธีที่เน้นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้ไม่เหมาะสมต่อการเกิดโรค เช่น การจัดการเศษซากพืชและวัชพืช การเลือกช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสม การกำหนดระยะปลูกไม่ให้หนาแน่นเกินไปเพื่อลดความชื้นสะสม การปลูกพืชหมุนเวียนหรือพืชต่างตระกูลสลับ การจัดการระบบการให้น้ำให้เหมาะสม และการตัดแต่งทรงพุ่ม (สำหรับพืชบางชนิด)
3. **การใช้พันธุ์ต้านทาน (Host resistance):** การเลือกใช้พันธุ์พืชตระกูลกะหล่ำที่ได้รับการปรับปรุงให้มีความต้านทานต่อโรคที่สำคัญในพื้นที่ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน
4. **การใช้ชีววิธี (Biological control):** การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา หรือเชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส เพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช ควรใช้ในทุกขั้นตอนการปลูกและทุกระยะการเจริญเติบโตของพืชเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด
5. **การใช้สารเคมี (Chemical control):** ควรใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชเท่าที่จำเป็น เมื่อมีการระบาดรุนแรง หรือใช้เพื่อป้องกันในระยะที่พืชอ่อนแอ โดยเลือกใช้สารเคมีให้ถูกต้องตามชนิดของเชื้อสาเหตุ ตามอัตราแนะนำ และปฏิบัติตามหลักการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย เช่น การใช้สารเคมีคลุมเมล็ดก่อนปลูก หรือการฉีดพ่นเมื่อพบการระบาด

โรคพืชชนิดอื่น ๆ ที่อาจพบในพืชตระกูลกะหล่ำ แม้เอกสารจะเน้นอธิบายโรคเน่าระดับดินในบริบทของพืชตระกูลกะหล่ำ แต่ก็มีกล่าวถึงโรคอื่น ๆ ในพืชผักตระกูลต่าง ๆ เช่น โรคเหี่ยวจากเชื้อราฟิวซาเรียม (*Fusarium wilt*), โรคโคนเน่าราเม็ดผักกาด (*Sclerotium stem rot*), โรคเหี่ยวเหี่ยวจากเชื้อแบคทีเรีย (*Bacterial wilt*), โรคใบจุด (*Leaf spot*) จากเชื้อราหลายชนิด, โรคราสนิม (*Rust*), โรคราแป้ง (*Powdery mildew*), โรคราน้ำค้าง (*Downy mildew*), โรคที่เกิดจากไวรัส และโรครากปมจากไส้เดือนฝอย ซึ่งโรคเหล่านี้บางชนิดอาจเข้าทำลายพืชตระกูลกะหล่ำได้เช่นกัน การจัดการจึงควรพิจารณาตามลักษณะโรคและเชื้อสาเหตุนั้น ๆ

บทสรุป โรคเน่าระดับดินหรือโรคกล้าเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* เป็นปัญหาสำคัญอย่างยิ่งในระยะต้นกล้าของพืชตระกูลกะหล่ำ การจัดการโรคนี้จำเป็นต้องใช้วิธีการแบบ

ผสมผสาน ทั้งการจัดการดินและสภาพแวดล้อม การใช้ชีวภัณฑ์ และการเกษตรกรรมที่เหมาะสม นอกจากนี้ การนำหลักการจัดการโรคพืชโดยทั่วไปมาประยุกต์ใช้อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยลดความเสียหายจากโรคต่าง ๆ และส่งเสริมให้การผลิตพืชผักตระกูลกะหล่ำมีคุณภาพและประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น

2.2.9 งานวิจัย: ผลของเวลาการให้น้ำต่อการใช้น้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และผลผลิตของถั่ว เนื่องจากการขาดแคลนทรัพยากรน้ำและความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น การวางแผนการให้น้ำในภาคเกษตรจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของเวลาการให้น้ำ (6:00 น., 8:00 น., 14:00 น. และ 18:00 น.) และปริมาณน้ำ (การให้น้ำเต็มที่ต้องการและการให้น้ำแบบขาด) ต่อการใช้น้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) และผลผลิตของถั่ว การทดลองดำเนินการที่มหาวิทยาลัย Shahrekord ในฤดูร้อนปี 2012 โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) 4 ซ้ำ พบว่า เวลาการให้น้ำมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้น้ำ ผลผลิตเมล็ด จำนวนฝักต่อต้น และ WUE การให้น้ำเวลา 6:00 น. มีการใช้น้ำน้อยที่สุด ให้ผลผลิตเมล็ด จำนวนฝัก และ WUE สูงสุด ในทางตรงกันข้าม การให้น้ำเวลา 14:00 น. มีการใช้น้ำมากที่สุด และส่งผลให้ผลผลิตและ WUE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การให้น้ำในช่วงเวลาที่พืชมีอัตราการคายระเหยสูงสุด (เช่น 14:00 น.) ทำให้พืชเกิดความเครียดและผลผลิตลดลง แม้จะให้น้ำเต็มที่ก็ตาม โดยสรุป ผลการทดลองชี้ว่าการให้น้ำในตอนเช้านี้ (6:00 น.) เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของถั่ว เมื่อไม่มีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำ

ในปัจจุบัน การขาดแคลนทรัพยากรน้ำและความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประเด็นการวางแผนจัดการน้ำเพื่อการเกษตรต้องได้รับการพิจารณามากขึ้น การวางแผนที่เหมาะสมและการกำหนดความลึกและเวลาในการให้น้ำอย่างถูกต้อง สามารถช่วยลดผลกระทบจากความเครียดและการสูญเสียผลผลิตในพืชได้ การจัดการตารางการให้น้ำ (Irrigation scheduling) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืช โดยมีเป้าหมายหลักคือการควบคุมสถานะน้ำของพืชเพื่อให้ได้ระดับผลผลิตที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น เวลาในการให้น้ำ (Irrigation timing) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเครียดจากสถานะน้ำของพืชและส่งผลกระทบต่อระดับผลผลิตในท้ายที่สุด การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของเวลาการให้น้ำต่อการใช้น้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และผลผลิตของถั่ว

วิธีการศึกษา การทดลองนี้ดำเนินการ ณ มหาวิทยาลัย Shahrekord ในช่วงฤดูร้อนปี 2012 เพื่อสังเกตผลของปริมาณและเวลาการให้น้ำต่อการใช้น้ำ อัตราผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำของถั่ว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัยเวลาการให้น้ำ 4 ระดับ (6:00 น., 8:00 น., 14:00 น. และ 18:00 น.) และปัจจัยปริมาณน้ำ 2 ระดับ (การให้น้ำแบบขาด และการให้น้ำเต็มที่ต้องการ) ทำการปลูกเมล็ดถั่วในกระถางทดลองที่เหมือนกัน 32 ใบ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 45

ชม. สูง 60 ซม.) เริ่มให้ทริตเมนต์ต่างๆ หลังปลูก 37 วัน โดยจะให้น้ำเมื่อความชื้นเฉลี่ยในเขตรากของทริตเมนต์การให้น้ำเต็มที่ลดลงถึงระดับล่างของน้ำที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย (Readily Available Water) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ได้เก็บเกี่ยวต้นพืชทั้งหมดและวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ความสูงของต้น จำนวนกิ่ง จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝัก และน้ำหนักเมล็ด

ผลการศึกษาและวิจารณ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การให้น้ำในเวลาที่แตกต่างกันของวันมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) การใช้น้ำ ผลผลิตเมล็ด และจำนวนฝักต่อต้น

- การใช้น้ำ: เวลาในการให้น้ำส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำ ในกลุ่มที่ให้น้ำเต็มที่ การให้น้ำเวลา 14:00 น. มีการใช้น้ำรวมสูงสุด และการให้น้ำเวลา 6:00 น. มีการใช้น้ำรวมต่ำที่สุด โดยการให้น้ำเวลา 8:00 น., 14:00 น. และ 18:00 น. มีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 1.6%, 9.5% และ 4.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการให้น้ำเวลา 6:00 น.
- ผลผลิตเมล็ด: การให้น้ำเวลา 14:00 น. ทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการให้น้ำเวลา 6:00 น. ผลผลิตเมล็ดในทริตเมนต์ที่ให้น้ำเวลา 8:00 น., 14:00 น. และ 18:00 น. ลดลง 0.29%, 17.1% และ 7.6% ตามลำดับ
- ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE): ทริตเมนต์ที่ให้น้ำเวลา 6:00 น. มีค่า WUE สูงกว่าทริตเมนต์ที่ให้น้ำเวลา 14:00 น. ถึง 18.5%
- องค์ประกอบผลผลิต: เวลาให้น้ำส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนัก 100 เมล็ด และจำนวนฝักต่อต้น โดยพบค่าสูงสุดในทริตเมนต์ที่ให้น้ำเวลา 6:00 น. (101 ฝักต่อต้น) และพบค่าต่ำสุดที่เวลา 18:00 น. (น้ำหนัก 100 เมล็ด) และ 14:00 น. (จำนวนฝัก)
- ลักษณะทางสัณฐานวิทยา: เวลาในการให้น้ำไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสูงของต้น จำนวนกิ่ง หรือความยาวฝัก แต่ปริมาณน้ำที่ให้มามีผลต่อลักษณะเหล่านี้
- ความเครียดของพืช: ผลการทดลองชี้ว่า แม้ความถี่ในการให้น้ำจะเท่ากัน แต่การให้น้ำในช่วงเวลาที่พืชมีอัตราการคายระเหยสูงสุด (เช่น 14:00 น.) ทำให้พืชเกิดความเครียดและส่งผลให้ผลผลิตลดลง กล่าวคือ เวลาให้น้ำไม่มีผลต่อลักษณะภายนอกของพืชมากนัก แต่มีผลอย่างมากต่อผลผลิต การประเมินโดยรวมพบว่า ลักษณะที่วัดได้ส่วนใหญ่มีค่าดีที่สุดที่สุดในทริตเมนต์ที่ให้น้ำเวลา 6:00 น.

สรุป ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เวลาในการให้น้ำและระดับความเครียดจากน้ำที่พืชได้รับ มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำและองค์ประกอบผลผลิตต่างๆ ของถั่ว เช่น ความสูงต้น จำนวนกิ่ง จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝักและเมล็ด จากผลการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ว่า หากไม่มีข้อจำกัดด้านแหล่งน้ำแนะนำให้ทำการให้น้ำแก่ถั่วในเวลาเช้าตรู่ (เช่น 6:00 น.) ก่อนที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด อย่างไรก็ตาม ในสถานการณ์ที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ จำเป็นต้องมีการจัดการน้ำและผลผลิตอย่างรอบคอบยิ่งขึ้น

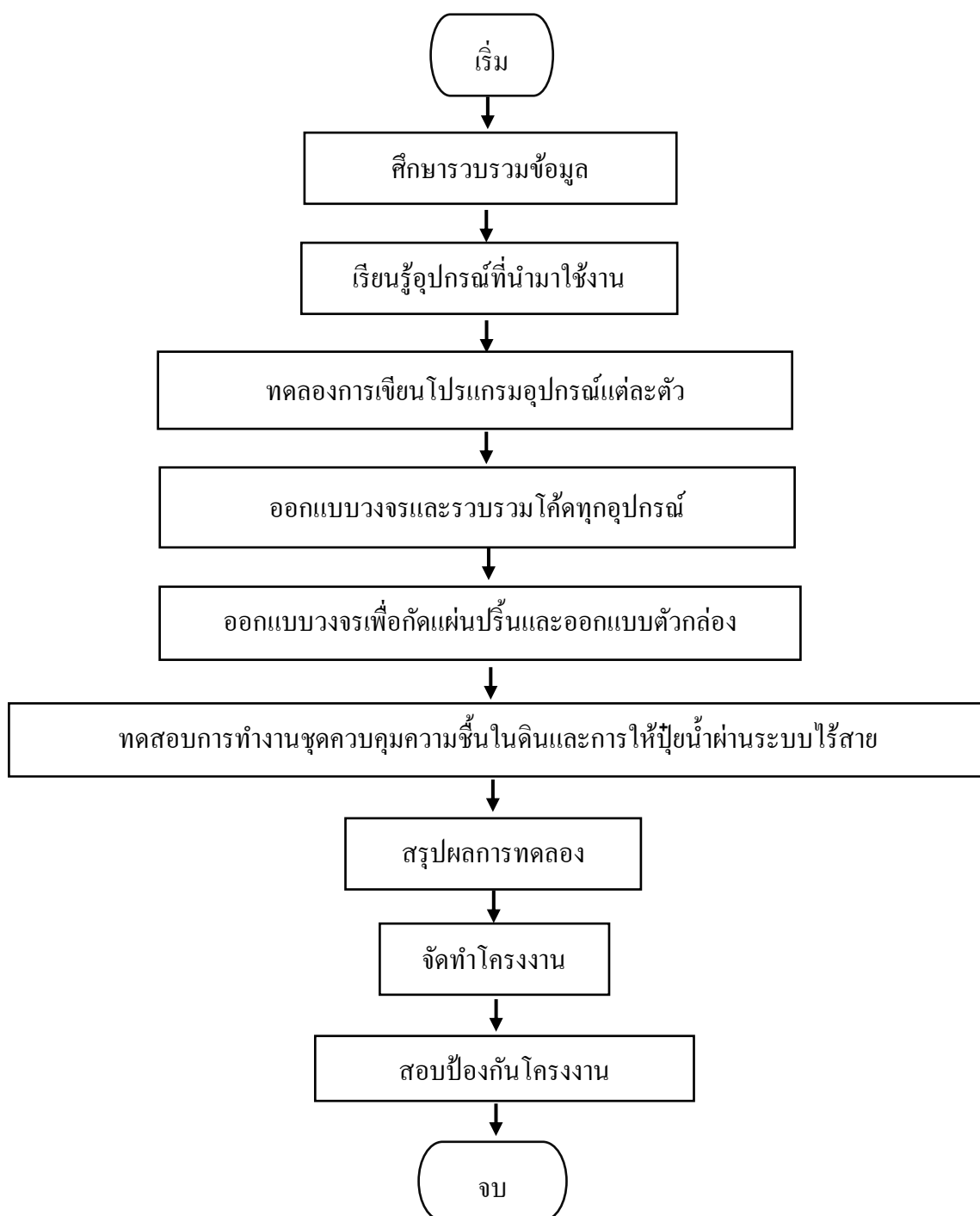
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สาย โดยควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ AP Mode หลักการเลือกใช้อุปกรณ์ การออกแบบวงจรของระบบ การเขียนโปรแกรม การตั้งค่าการใช้งาน ออกแบบกล่องสำหรับพร้อมติดตั้ง ขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุม การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น รวมไปถึงการสร้างชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สาย เพื่อให้เป็นไปตามขอบเขตของโครงการที่ได้กำหนดไว้ตามขอบเขต ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบชุดควบคุมแปลงผักยกแคร่ให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติโดยมีขนาดแปลงไม่น้อยกว่า 110 x 180 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 1 แปลง โดยมีชุดจานหมุนเหวี่ยงให้น้ำจำนวน 2 ชุด
2. สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน โดยมีตัวตรวจวัดไม่น้อยกว่า 4 จุด
3. สามารถควบคุมปริมาณการให้สารอาหารพืช(ปุ๋ยน้ำ) ตามระยะเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนด
4. สามารถควบคุมการให้ปุ๋ยโดยผ่านชุดควบคุมและระบบไร้สาย
5. สามารถเก็บข้อมูลความชื้น การรดน้ำ พร้อมบันทึกภาพรายวัน ไม่น้อยกว่า 30 วัน และแสดงค่าความชื้นผ่านหน้าจอ

การดำเนินโครงการสามารถเขียนแผนผังขั้นตอนการทำงานได้ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ออกแบบโครงสร้างโรงเรือนแปลงผักแคร์

3.1.1 แบบจำลองของโรงเรือนแปลงผักแคร์ ที่ใช้ทดลอง ชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย ขนาด 110 x 180 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) เนื่องจากครั้งแรกได้ทดลองใส่ดินปลูก ซึ่งมีความหนาของดิน 10 เซนติเมตร ปรากฏว่าอุปกรณ์ที่ใช้รองน้ำหนักรองน้ำของดินไม่สามารถรับน้ำหนักของดินที่ใส่ไปได้

แสดงดังภาพ 3.2 และ 3.3

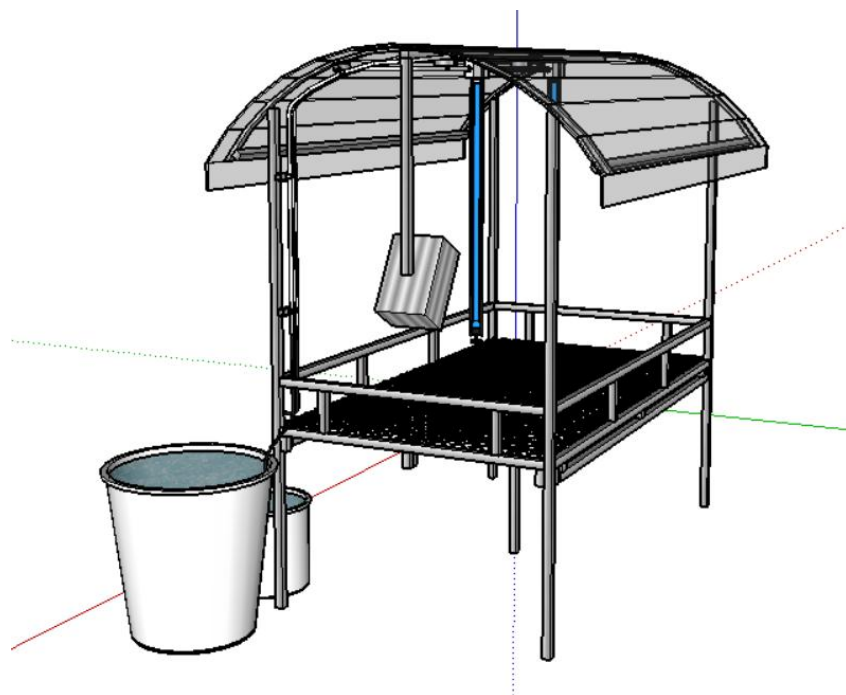


ภาพที่ 3.2 ทดสอบน้ำหนักของดินด้วยกับตระแกรงพลาสติก



ภาพที่ 3.3 ลักษณะในการทดลอง

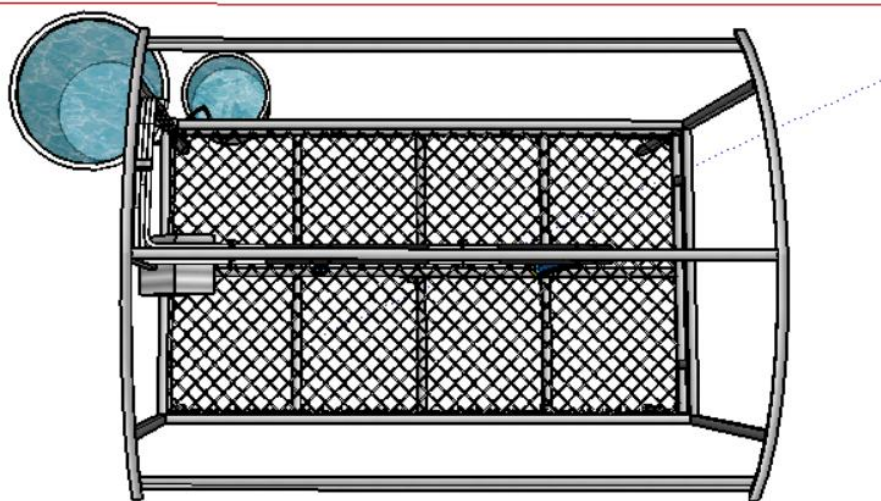
จึงได้ทำการออกแบบผ่านโปรแกรม Sketch up เพื่อเป็นแบบในการพัฒนาตัวโรงเรียนให้สามารถรับน้ำหนักของดินได้
แสดงดังภาพ 3-4 และ 3-5



ภาพ 3.4 ตัวอย่างที่ได้ออกแบบผ่านโปรแกรม Sketchup



ภาพ 3.5 ตัวอย่างที่ได้ออกแบบผ่านโปรแกรม Sketchup



ภาพ 3.6 ตัวอย่างที่ได้ออกแบบผ่านโปรแกรม Sketchup

3.2 การสร้างและประกอบโครงงาน

3.2.1 ประกอบโครงสร้างชุดโรงเรือนตามที่ได้ออกแบบโปรแกรม Sketchup



ภาพที่ 3.7 ภาพก่อนทำการเชื่อมเพื่อเสริมความแข็งแรง



ภาพที่ 3.8 ทำการวัดระยะเพื่อตัดเหล็กในการประกอบโครงสร้าง



ภาพที่ 3.9 ทำการตัดเหล็กตามระยะที่ได้วัดไว้



ภาพที่ 3.10 หลังจากเชื่อมประกอบ



ภาพที่ 3.11 ทำการเชื่อมตระแกรงเพื่อเพิ่มการรับน้ำหนักของดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 3.12 ประกอบโครงสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

จากภาพที่ 3-6 ถึง 3-11 เป็นการประกอบตัวโรงเรือนเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของดินเพื่อให้พร้อมสำหรับการเพาะปลูก และการทำลอง ชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย



ภาพที่ 3.13 ทำการเย็บกระสอบเพื่อนำไปรองดินในโรงเรือน



ภาพที่ 3.14 นำกระสอบที่ได้จากการเย็บมารองเพื่อพร้อมที่จะใส่ดิน



ภาพที่ 3.15 นำดินมาใส่



ภาพที่ 3.16 พรวนดินเพื่อให้พร้อมแก่การปลูก



ภาพที่ 3.17 ปลูกผักบนโรงเรือน

3.3 หลักการเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้ในการออกแบบชุดชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สาย

3.3.1. Board ESP 32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี WiFi ในตัวซึ่งผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน เปิดตัวด้วยราคาที่ถูกมากเพียงประมาณ 200 บาท ทำให้เกิดการปฏิวัติในวงการระบบสมองกลฝังตัว ในช่วงแรก ESP8266 ทำงานโดยใช้การสื่อสารผ่าน UART และสั่งงานด้วย AT command เท่านั้น ไม่สามารถอัปเดตหรือแก้ไขเฟิร์มแวร์ได้ แต่ไม่นานหลังจากนั้น Espressif ได้ปล่อยเวอร์ชันใหม่ที่สามารถอัปเดตเฟิร์มแวร์และเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ผ่าน ESP8266 SDK ได้

การพัฒนาของ ESP8266 ก้าวหน้าไปอีกขั้นเมื่อบอร์ด NodeMCU นำภาษา Lua มาพอร์ตลงใน ESP8266 ทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้น บอร์ด NodeMCU ยังเป็นบอร์ดแรกที่มี USB to UART ในตัว ทำให้อัปโหลดเฟิร์มแวร์ผ่าน USB ได้สะดวก นอกจากนี้ NodeMCU ยังได้รับความนิยมอย่างสูงจนมีหลายบริษัทลอกวงจรและออกแบบบอร์ดในชื่อเดิมมาขายในราคาถูก ส่งผลให้ ESP8266 แพร่หลายอย่างมาก

ไม่นานหลังจากนั้น ชุมชน ESP8266 Community Forum ได้พัฒนา Arduino core for ESP8266 WiFi chip ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมแบบ Arduino ได้ และยังสามารถรองรับไลบรารีของ Arduino โดยตรง ทำให้นักพัฒนาที่คุ้นเคยกับ Arduino สามารถย้ายมาพัฒนา ESP8266 ได้อย่างง่ายดาย สิ่งนี้ยังเพิ่มความนิยมของ ESP8266 ขึ้นไปอีก

ด้วยความสำเร็จของ ESP8266 ทำให้ Espressif พัฒนา ESP32 ต่อมา โดยเริ่มจากรุ่นทดลองที่ชื่อ ESP31B ซึ่งใช้ SDK ชื่อ ESP32_RTOS_SDK แต่ภายหลังได้เปลี่ยนเป็น ESP-IDF ซึ่งมีฟีเจอร์ครบครันและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ESP32 เปิดตัวครั้งแรกในชื่อ ESP-WROOM-32 แต่ในช่วงแรกการผลิตไม่ทันความต้องการ จนมีบริษัท Ai-Thinker ผลิตรุ่น ESP32S ที่มีวงจรเหมือน ESP-WROOM-32 ทุกประการและเริ่มส่งมอบสินค้าได้ในภายหลัง

Espressif ยังได้ซื้อตัวทีมพัฒนาของ Arduino core for ESP8266 มาช่วยพัฒนา Arduino core for ESP32 WiFi chip ทำให้การพัฒนารวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการพัฒนาของ Arduino core for ESP32 จะอิงกับ ESP-IDF ซึ่งเป็นแกนหลัก ทำให้ ESP32 รองรับการพัฒนาโปรแกรมแบบ Arduino และใช้ไลบรารีของ Arduino ได้ทั้งหมด ความสำเร็จและความยืดหยุ่นนี้ทำให้ ESP32 กลายเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 3.18 หน้าตาบอร์ดพัฒนา DOIT ESP32 Development Board

<https://www.artronshop.co.th/article/51/esp32>

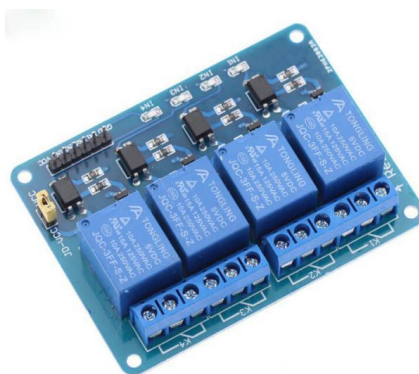
3.3.2. Soil Moisture Sensor เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณความชื้นในดิน เพื่อช่วยในการจัดการการให้น้ำแก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพ หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ประเภทนี้คือการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดสองข้าง เมื่อปักอิเล็กโทรดลงในดิน ความชื้นในดินจะส่งผลต่อค่าความต้านทานที่วัดได้ หากดินมีความชื้นสูง ค่าความต้านทานจะต่ำลง เนื่องจากน้ำในดินทำหน้าที่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ในทางกลับกัน หากดินแห้ง ค่าความต้านทานจะสูงขึ้น

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินมักประกอบด้วยอิเล็กโทรดที่ชุบโลหะเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานและลดการสึกหรอจากความชื้น อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบรดน้ำอัตโนมัติ เพื่อให้การให้น้ำแก่พืชเป็นไปอย่างเหมาะสมและประหยัดน้ำ การใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินยังช่วยในการวางแผนการให้น้ำตามความต้องการของพืช ลดการใช้น้ำโดยไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมความชื้นในอุตสาหกรรมเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ เช่น โรงเรือนเลี้ยงไก่ ด้วยการวัดค่าความชื้นในดินอย่างแม่นยำ เซ็นเซอร์ประเภทนี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับเกษตรกรและผู้ที่สนใจในการปรับปรุงกระบวนการให้น้ำแก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3.19 Soil Moisture Sensor

3.3.3. โมดูลรีเลย์ 4ช่อง 5V (4 Channel Relay Module) เป็นโมดูลที่ใช้ควบคุมการทำงานของโหลดทางไฟฟ้าได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งโหลดสูงสุด คือ AC 250V/10A และ DC 30V/10A โดยใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณลอจิก TTL ทำงานด้วยสัญญาณแบบ Active Low, กระแสขับรีเลย์ (Drive Current) 15-20mA., มีการออกแบบให้เป็น Isolate ด้วย Optocoupler, มี LED แสดงสถานะ Relay สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน PLC Control, บ้านอัจฉริยะ, ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรืองานอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมและการต่อใช้งานภายนอก



ภาพที่ 3.20 โมดูลรีเลย์ 4ช่อง 5V (4 Channel Relay Module)

<https://www.ai-corporation.net/2021/12/16/esp8266-whit-relay-module-5v-4ch-to-blynk/>

3.2.4 Touch capacitive switch หรือ สวิตช์สัมผัสแบบตรวจสอบสนามไฟฟ้า เพื่อตรวจจับการสัมผัสหรือการใกล้ชิดของวัตถุ โดยเซ็นเซอร์จะสร้างสนามไฟฟ้ารอบ ๆ พื้นผิวสัมผัส และเมื่อมีการสัมผัสหรือมีวัตถุ (เช่น ร่างกายมนุษย์) เข้าใกล้ พื้นผิวสัมผัสนี้ จะทำให้ค่าความจุของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงนี้ ก็จะทำการประมวลผลสัญญาณและตอบสนองตามที่กำหนด เช่น การเปิดหรือปิดวงจร หรือการส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของเซ็นเซอร์ไม่จำเป็นต้องสัมผัสโดยตรง แต่สามารถทำงานได้จากการสัมผัสเบา ๆ หรือการใกล้ชิดเท่านั้น ซึ่งทำให้มีความทนทานและสามารถใช้งานได้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ.

<https://www.analogread.com/article/172/capacitive>



ภาพที่ 3.21 Touch capacitive switch

3.3.5 SD Card Module โมดูลอ่าน หรือ เขียน SD Card ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลปริมาณมาก ที่ EEPROM ไม่สามารถเก็บไว้ได้หมด การนำไปใช้งานก็เช่น การเก็บค่าอุณหภูมิแบบต่อเนื่อง เก็บค่าคอนฟิก บันทึกค่าจากเซ็นเซอร์ เป็นต้น โมดูล SD Card เป็นโมดูลที่ช่วยในการนำ Arduino ไปเชื่อมต่อกับ SD Card ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น ซึ่ง SD Card ที่ใช้งานกับอยู่ทุกวันนี้ใช้การเชื่อมต่อ รับ-ส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอล SPI ทำงานที่แรงดัน 3.3V โมดูลนี้ได้รวมวงจรเรกกูเลเตอร์ แปลงแรงดันไฟตรงจาก 5V เป็น 3.3V และมีวงจร Logic Level Converter บนบอร์ด เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานกับบอร์ด Arduino ที่ทำงานที่แรงดัน 5V ได้ทันที

นอกจากนี้ โมดูลยังสามารถใช้งานกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆได้ อย่างเช่น นำไปใช้งานกับโมดูล ESP8266 เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิย้อนหลังได้เป็นเดือนๆได้อีกด้วย



ภาพที่ 3.22 SD Card Module

<https://www.artronshop.co.th/article/>

3.2.6 มอเตอร์ 775 DC 12V-36V 3500-9000RPM เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเร็วรอบปรับได้ตั้งแต่ 3500 ถึง 9000 RPM ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานในระบบให้น้ำแบบละอองฝอย โดยจะประกอบจานวงกลมขนาดเล็กเข้าที่ตัวมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุน จานจะหมุนตามไปด้วย ทำให้เกิดการกระจายน้ำเป็นละอองฝอยที่กระจายได้ทั่วถึง ช่วยให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพและประหยัดน้ำเหมาะสำหรับการรดน้ำพืชหรือใช้ในระบบการเกษตรที่ต้องการการกระจายน้ำอย่างละเอียดและสม่ำเสมอ.



ภาพที่ 3.23 มอเตอร์ 775 DC 12V-36V 3500-9000RPM

3.3.7 ป้อนน้ำ DC 12V ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่ขับเคลื่อนใบพัดภายในปั๊มเพื่อสร้างแรงดันน้ำ ทำให้น้ำไหลจากแหล่งน้ำไปยังจุดต่างๆ ในระบบ โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้า 12V การทำงานของปั๊มจะช่วยให้ น้ำถูกส่งไปยังท่อหรือหัวสเปรย์ในระบบให้น้ำอัตโนมัติ ซึ่งเหมาะสำหรับการให้น้ำในแปลงผักยกแคร่ ช่วยกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพ ช่วยให้พืชได้รับน้ำเพียงพอ โดยไม่ต้องพึ่งพาการดูแลด้วยมือ ปั๊มน้ำ DC 12V นี้ยังประหยัดพลังงานและความทนทาน เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบให้น้ำระยะยาว.



ภาพที่ 3.24 ปั๊มน้ำ DC 12 V

3.3.8 โมดูล TM1637 7-Segment 4-Digit Display เป็นหน้าจอแสดงผลตัวเลข 4 หลักที่มีเครื่องหมาย ':' คั่นกลาง ขนาด 0.36 นิ้ว ซึ่งมักใช้ในงานแสดงผลตัวเลข เช่น นาฬิกาดิจิทัลหรือเครื่องวัดต่าง ๆ โมดูลนี้ใช้ IC TM1637 ที่สามารถควบคุมการแสดงผลในแต่ละหลักได้อย่างอิสระและมีความสะดวกในการเชื่อมต่อ เนื่องจากใช้เพียง 2 สาย (CLK และ DIO) เพื่อส่งข้อมูลไปยัง IC ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายและไม่ต้องใช้ขาเชื่อมต่อหลายเส้น เหมาะสำหรับการใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino หรือ ESP32 ซึ่งการโปรแกรมและการควบคุมการแสดงผลทำได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย.



ภาพที่ 3.25 7 Segment

3.3.9 ESP32-CAM เป็นโมดูลกล่องขนาดเล็กที่มีชิป ESP32 เป็นหัวใจหลัก ทำหน้าที่ประมวลผลภาพจากกล้อง OV2640 แล้วส่งข้อมูลภาพผ่าน Wi-Fi ได้ โดยเริ่มจากการที่กล้อง OV2640 รับแสงและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นชิป ESP32 จะแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลดิจิทัลและประมวลผล เช่น ปรับขนาดหรือบีบอัดภาพ เมื่อประมวลผลเสร็จ ESP32-CAM จะส่งข้อมูลภาพผ่าน Wi-Fi ไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ สามารถส่งได้ทั้งภาพนิ่งและวิดีโอ

สตรีมมิ่ง นอกจากนี้ยังมีช่องเสียบ MicroSD สำหรับบันทึกข้อมูลโดยตรง ทำให้ใช้งานได้แม้ไม่มี Wi-Fi ESP32-CAM เหมาะสำหรับนำไปใช้ในโปรเจกต์ IoT ต่าง ๆ เช่น กล้องวงจรปิดไร้สาย ระบบตรวจจับใบหน้า หรือระบบควบคุมหุ่นยนต์ ด้วยขนาดเล็กและราคาถูก จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่ต้องการสร้างสรรค์โปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพและวิดีโอ



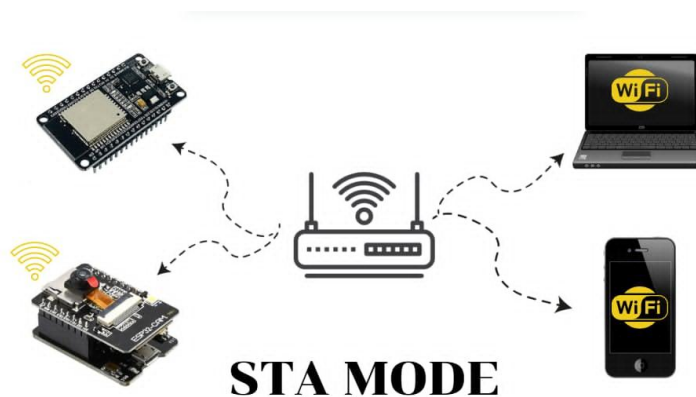
ภาพที่ 3.26 ESP32-CAM

3.3.10 STA (Station) Mode คือโหมดที่ ESP32 หรือ ESP32-CAM ทำตัวเป็น "ผู้เชื่อมต่อ" โดยเชื่อมต่อเข้ากับ Wi-Fi Router หรืออุปกรณ์ปล่อยสัญญาณ เช่น ฮอตสปอตมือถือเมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ อุปกรณ์จะได้รับ IP Address จากเราเตอร์ และสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันได้

การทำงานในโหมดนี้เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการรับส่งข้อมูลระหว่างหลายอุปกรณ์ผ่านเครือข่าย Wi-Fi ภายในบ้านหรือฟาร์ม ตัวอย่างเช่น ESP32 หนึ่งตัวควบคุมเซ็นเซอร์ และอีกตัวคือ ESP32-CAM อัปโหลดรูปภาพ — ทั้งหมดทำงานร่วมกันผ่าน Wi-Fi เดียวกัน

ระบบประกอบด้วย:

- ESP32 บอร์ดหลัก (อ่านความชื้น, ควบคุมรีเลย์, เป็น HTTP Client)
- ESP32-CAM (บันทึก/อัปโหลดภาพ, เป็น HTTP Server)
- Wi-Fi Router (ศูนย์กลางการสื่อสารของระบบ)

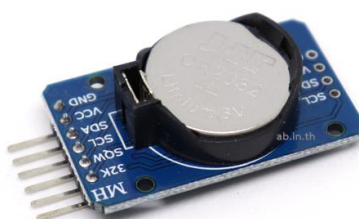


ภาพที่ 3.27 STA MODE

3.3.11 โมดูล RTC (Real Time Clock) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับเก็บและบอก เวลาและวันที่แบบแม่นยำ ตลอด 24 ชั่วโมง ไม่ว่าจะเป็น วินาที นาที ชั่วโมง วัน เดือน ปี รวมถึงการรับรู้ปีอธิกสุรทิน (leap year) ด้วย

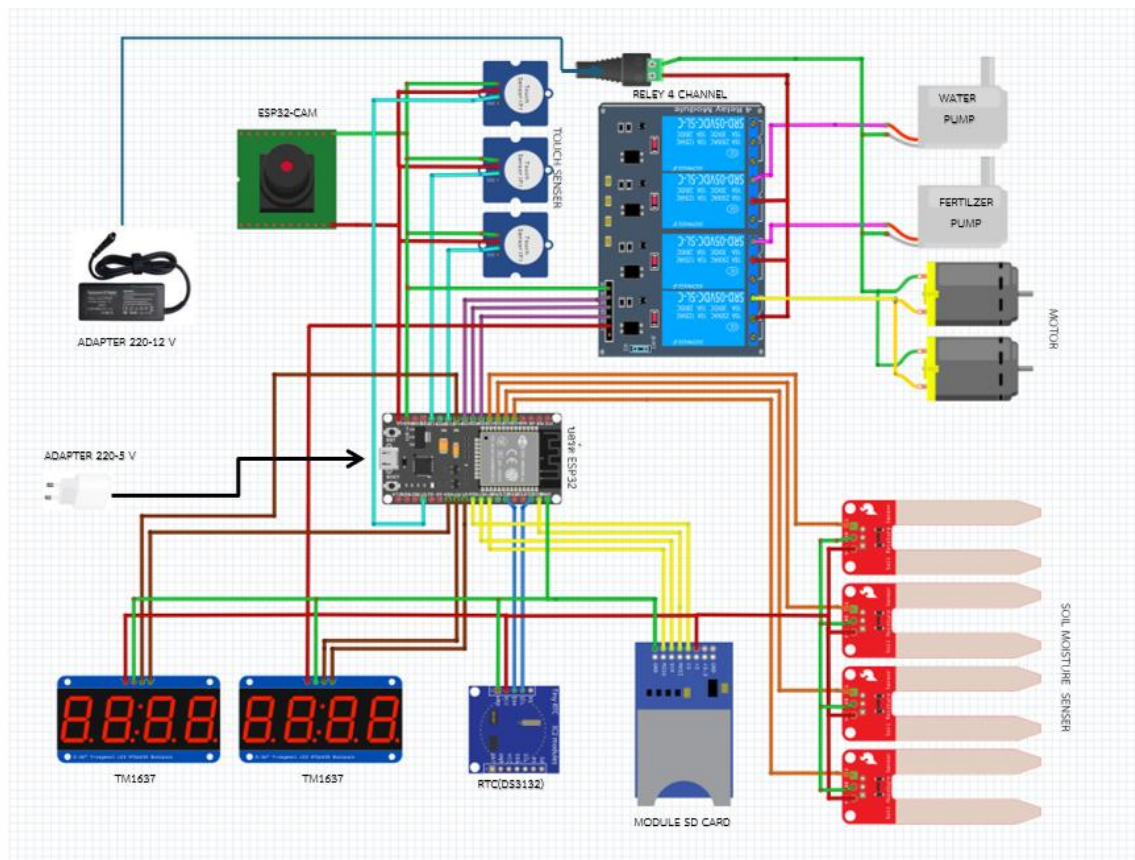
RTC ทำงานโดยอาศัย สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ซึ่งได้มาจาก คริสตัลอสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) — อุปกรณ์ที่สร้างคลื่นความถี่คงที่ (เช่น 32.768 kHz) เพื่อให้อุปกรณ์ RTC นับเวลาได้อย่างแม่นยำ

- ตัวคริสตัลจะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เฉพาะ ทำให้ RTC สามารถนับ “จังหวะ” เพื่อแปลงออกมาเป็นเวลาที่ถูกต้อง
- RTC แบบแม่นยำ เช่น DS3231 จะมีระบบ ชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensation) เพื่อให้ผลกระทบจากอุณหภูมิต่อความแม่นยำลดลงมาก

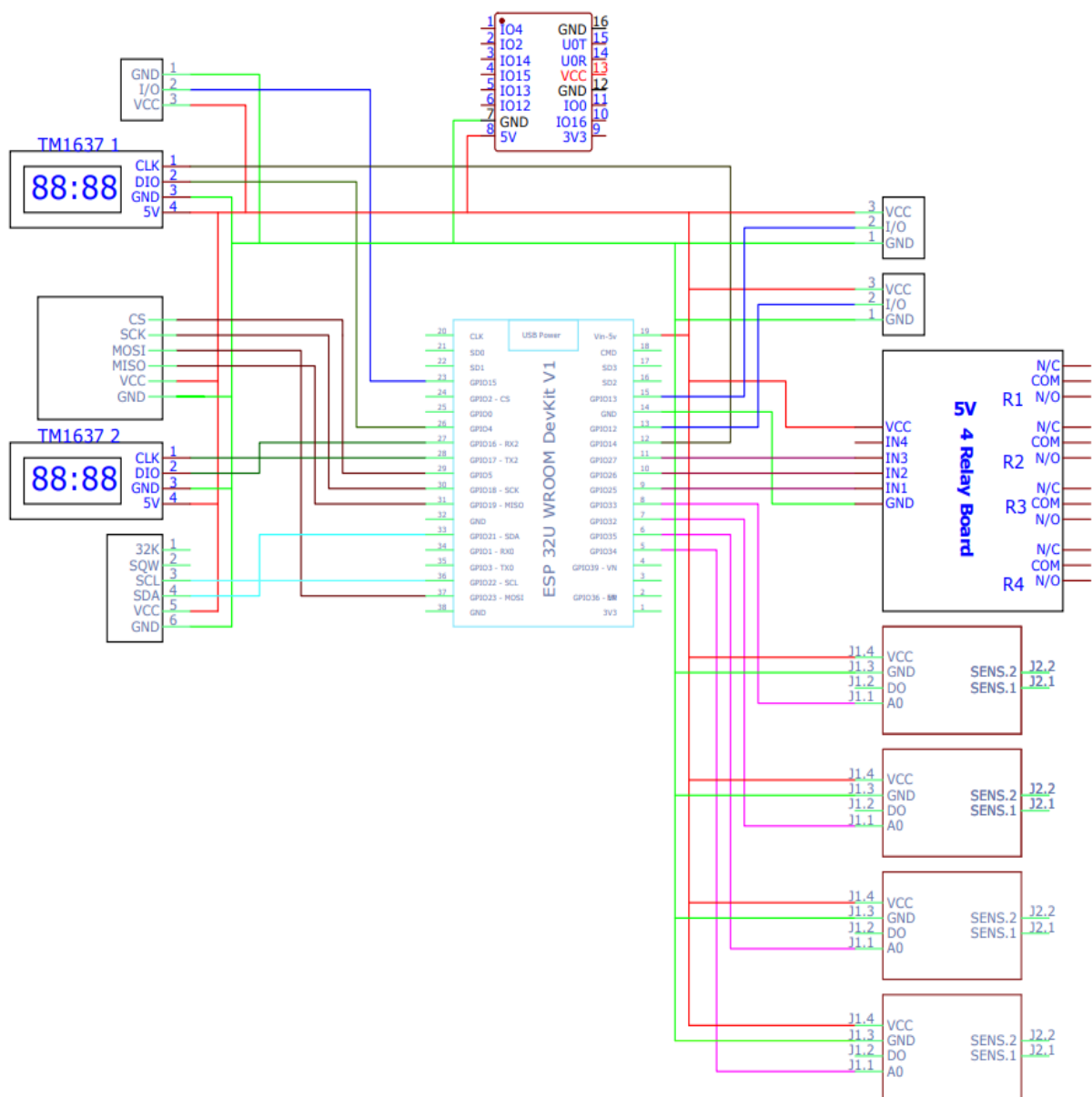


ภาพที่ 3.28 โมดูล RTC (Real Time Clock)

3.4 การออกแบบวงจรชุดควบคุมความชื้นดินและให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สาย



ภาพที่ 3.29 วงจรชุดควบคุมความชื้นดินและให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สาย



ภาพที่ 3.30 วงจรชุดควบคุมความชื้นดินและให้ปุ๋ยน้ำผ่านระบบไร้สายที่ได้ออกแบบในโปรแกรม EASYEDA

3.5 ได้การทำงานในส่วนของการอ่านค่าเซอเซอร์วัดความชื้นในดิน

```
// กำหนดค่าพินสำหรับเซ็นเซอร์ความชื้น
#define SENSOR_1 32
#define SENSOR_2 33
#define SENSOR_3 34
#define SENSOR_4 35
```

```
// ฟังก์ชันสำหรับปรับเทียบค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์
float calibrateMoisture(int rawValue, int sensorNumber) {
    if (rawValue > 3000 || rawValue < 1000) return 0; // ป้องกันค่าผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

    float x = map(rawValue, 3000, 1000, 0, 100); // แปลงค่า raw จากช่วง 1000-3000 เป็น 0-100
    x = constrain(x, 0, 100); // จำกัดค่า x ให้อยู่ในช่วง 0-100

    // ปรับเทียบค่าโดยใช้สมการพหุนาม (ปรับตามลักษณะของเซ็นเซอร์)
    switch (sensorNumber) {
        case 1: return constrain(-0.0368 * x * x + 4.4351 * x - 84.333, 0.0, 100.0);
        case 2: return constrain(0.1114 * x * x - 11.718 * x + 353, 0.0, 100.0);
        case 3: return constrain(-0.0931 * x * x + 10.071 * x - 223.61, 0.0, 100.0);
        case 4: return constrain(0.081 * x * x - 7.2018 * x + 204.52, 0.0, 100.0);
        default: return 0;
    }
}

void loop() {
    // อ่านค่าจากเซ็นเซอร์แต่ละตัว
    int raw1 = analogRead(SENSOR_1);
    int raw2 = analogRead(SENSOR_2);
    int raw3 = analogRead(SENSOR_3);
    int raw4 = analogRead(SENSOR_4);
    // ปรับเทียบค่าความชื้น
    float m1 = calibrateMoisture(raw1, 1);
    float m2 = calibrateMoisture(raw2, 2);
    float m3 = calibrateMoisture(raw3, 3);
    float m4 = calibrateMoisture(raw4, 4);

    // คำนวณค่าความชื้นเฉลี่ย
    float avg = (m1 + m2 + m3 + m4) / 4.0;

    // แสดงค่าความชื้น
    Serial.print("Moisture 1: ");
    Serial.print(m1);
    Serial.print("%\t");
    Serial.print("Moisture 2: ");
    Serial.print(m2);
    Serial.print("%\t");
    Serial.print("Moisture 3: ");
    Serial.print(m3);
    Serial.print("%\t");
    Serial.print("Moisture 4: ");
    Serial.print(m4);
    Serial.print("%\t");
    Serial.print("Average: ");
    Serial.print(avg);
    Serial.println("%");
}

```

3.5.1 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

1. กำหนดหมายเลขพินของเซ็นเซอร์

```
// กำหนดค่าพินสำหรับเซ็นเซอร์ความชื้น
#define SENSOR_1 32
#define SENSOR_2 33
#define SENSOR_3 34
#define SENSOR_4 35

```

ในส่วนนี้ของโค้ด เป็นการกำหนดพินของบอร์ด ESP32 ที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 4 ตัว โดยใช้ #define เพื่อสร้างชื่อแทนหมายเลขพิน เช่น SENSOR_1 แทนพินหมายเลข 32 ซึ่งช่วยให้โค้ดอ่านง่าย และสามารถปรับเปลี่ยนได้ง่ายหากต้องการย้ายพินในภายหลัง

2. ฟังก์ชัน `calibrateMoisture()` สำหรับปรับเทียบค่าความชื้น

```
// ฟังก์ชันสำหรับปรับเทียบค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์
float calibrateMoisture(int rawValue, int sensorNumber) {
    if (rawValue > 3000 || rawValue < 1000) return 0; // ป้องกันค่าผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

    float x = map(rawValue, 3000, 1000, 0, 100); // แปลงค่า raw จากช่วง 1000-3000 เป็น 0-100
    x = constrain(x, 0, 100); // จำกัดค่า x ให้อยู่ในช่วง 0-100

    // ปรับเทียบค่าโดยใช้สมการพหุนาม (ปรับตามลักษณะของเซ็นเซอร์)
    switch (sensorNumber) {
        case 1: return constrain(-0.0368 * x * x + 4.4351 * x - 84.333, 0.0, 100.0);
        case 2: return constrain(0.1114 * x * x - 11.718 * x + 353, 0.0, 100.0);
        case 3: return constrain(-0.0931 * x * x + 10.071 * x - 223.61, 0.0, 100.0);
        case 4: return constrain(0.081 * x * x - 7.2018 * x + 204.52, 0.0, 100.0);
        default: return 0;
    }
}
```

ฟังก์ชันนี้ทำหน้าที่ปรับเทียบค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ให้กลายเป็นค่าความชื้นในรูปเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนในฟังก์ชันได้ดังนี้:

1. `rawValue` คือค่าดิบที่ได้จากการอ่านสัญญาณอนาล็อกจากเซ็นเซอร์
2. `sensorNumber` คือหมายเลขของเซ็นเซอร์ (1-4) เพื่อเลือกใช้สมการปรับเทียบเฉพาะสำหรับเซ็นเซอร์นั้น
3. บรรทัดแรกตรวจสอบว่าค่าดิบอยู่นอกช่วงที่เชื่อถือได้หรือไม่ (เช่น ค่าเกิน 3000 หรือ ต่ำกว่า 1000) หากอยู่นอกช่วงจะส่งคืนค่า 0 เพื่อหลีกเลี่ยงข้อมูลผิดพลาด
4. จากนั้นใช้ `map()` เพื่อแปลงค่าดิบให้อยู่ในช่วง 0-100 ตามระดับความชื้น ซึ่งช่วง 1000 หมายถึงดินเปียกมาก และ 3000 หมายถึงดินแห้งมาก
5. `constrain()` ใช้เพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่ได้จะอยู่ในขอบเขต 0-100 เสมอ
6. ฟังก์ชันเลือกสมการพหุนามตามเซ็นเซอร์แต่ละตัว เพื่อแปลงค่าที่อ่านได้ให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของเซ็นเซอร์นั้นๆ โดยสมการเหล่านี้มาจากการปรับเทียบจริงในภาคสนาม เพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำสูงขึ้น

3. ฟังก์ชัน `loop()` สำหรับเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ในโปรแกรมนี้นี้เป็นส่วนที่ทำงานซ้ำอย่างต่อเนื่อง โดยมีหน้าที่หลักคือ การอ่านค่าเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินจำนวน 4 ตัว แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณและแสดงผลอย่างละเอียด โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้:

อ่านค่าดิบจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นทั้ง 4 ตัว

```
void loop() {
  // อ่านค่าจากเซ็นเซอร์แต่ละตัว
  int raw1 = analogRead(SENSOR_1);
  int raw2 = analogRead(SENSOR_2);
  int raw3 = analogRead(SENSOR_3);
  int raw4 = analogRead(SENSOR_4);
```

- ใช้คำสั่ง `analogRead()` เพื่ออ่านค่าดิจิทัลจากสัญญาณอนาล็อกจากเซ็นเซอร์วัดความชื้น ซึ่งจะได้ค่าในช่วง 0-4095
- ค่าที่ได้คือค่าความต้านทานของดินซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชื้น ยิ่งค่ามาก แสดงว่าดินยิ่งแห้ง (มีความต้านทานมาก)

ปรับเทียบค่าดิบให้กลายเป็นค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

```
// ปรับเทียบค่าความชื้น
float m1 = calibrateMoisture(raw1, 1);
float m2 = calibrateMoisture(raw2, 2);
float m3 = calibrateMoisture(raw3, 3);
float m4 = calibrateMoisture(raw4, 4);
```

- ค่าดิบที่อ่านได้จะถูกส่งเข้าไปยังฟังก์ชัน `calibrateMoisture()` ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงค่าให้เป็นค่าความชื้นในรูปแบบเปอร์เซ็นต์
- ฟังก์ชันนี้จะปรับค่าตามสมการพหุนามของแต่ละเซ็นเซอร์ที่มีการปรับเทียบไว้ เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำที่สุด
- ตัวอย่างเช่น `m1` คือค่าความชื้นของเซ็นเซอร์หมายเลข 1

3. คำนวณค่าความชื้นเฉลี่ย

```
// คำนวณค่าความชื้นเฉลี่ย
float avg = (m1 + m2 + m3 + m4) / 4.0;
```

- เพื่อประเมินสภาพความชื้นของพื้นที่ทั้งหมดอย่างคร่าว ๆ ระบบจะนำค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัวมาหาค่าเฉลี่ย
- ค่านี้สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจ เช่น จะรดน้ำต้นไม้หรือไม่

4.แสดงผลค่าความชื้นผ่าน Serial Monitor

```
// แสดงค่าความชื้น
Serial.print("Moisture 1: ");
Serial.print(m1);
Serial.print("%\t");
Serial.print("Moisture 2: ");
Serial.print(m2);
Serial.print("%\t");
Serial.print("Moisture 3: ");
Serial.print(m3);
Serial.print("%\t");
Serial.print("Moisture 4: ");
Serial.print(m4);
Serial.print("%\t");
Serial.print("Average: ");
Serial.print(avg);
Serial.println("%");
}
```

- แสดงค่าความชื้นของเซ็นเซอร์แต่ละตัวและค่าเฉลี่ยออกทางหน้าจอ Serial Monitor
- ใช้ \t (tab) เพื่อจัดระยะให้ดูอ่านง่าย และ println() สำหรับขึ้นบรรทัดใหม่
- ข้อมูลที่แสดงนี้สามารถนำไปตรวจสอบสภาพดินแบบเรียลไทม์ หรือใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมรดน้ำอัตโนมัติในลำดับถัดไป

3.6 การกำหนดเวลาถ่ายภาพอัตโนมัติ

เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยการสั่งงานจากผู้ใช้ตลอดเวลา จึงได้มีการกำหนดเวลาในการถ่ายภาพแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ NTP (Network Time Protocol) เพื่อดึงเวลาปัจจุบัน และเปรียบเทียบกับเวลาที่ตั้งไว้ล่วงหน้า โค้ดจะทำการตรวจสอบเวลาทุก ๆ 10 วินาที และเมื่อถึงเวลาที่กำหนด เช่น 13:30 น. หรือ 13:32 น. จะทำการถ่ายภาพทันที โดยมีกระบวนการทำงานดังนี้

การทำงานของโค้ดในส่วนของเวลาในการถ่ายภาพ

1.ตั้งค่าให้ ESP32-CAM ดึงเวลาจากเซิร์ฟเวอร์ NTP

ใช้คำสั่ง configTime() เพื่อเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ NTP เช่น pool.ntp.org และตั้ง Time Zone เป็น UTC+7 (ประเทศไทย) เพื่อให้ ESP32-CAM ดึงเวลาที่ถูกต้องจากอินเทอร์เน็ต.

2.อ่านเวลาและแปลงเป็นstructtm

ใช้ฟังก์ชัน time(nullptr) เพื่อดึงเวลาปัจจุบันในรูปแบบ UNIX Timestamp จากนั้นแปลงเป็น struct tm ด้วย localtime() เพื่อแยกชั่วโมงและนาที โดยจะได้ค่าเวลาที่ถูกละเปลี่ยนมาเป็นชั่วโมง, นาที, และวินาทีซึ่งสะดวกต่อการตรวจสอบ.

3.ตรวจสอบเวลาเปรียบเทียบเวลาปัจจุบันกับเวลาที่ตั้งไว้ในโค้ด เช่น 13:30 น. หรือ 13:32 น. ถ้าตรงกันให้ทำการถ่ายภาพทันทีขั้นตอนนี้จะช่วยให้การถ่ายภาพเกิดขึ้นอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่ต้องการ.

4.ถ่ายภาพ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด ฟังก์ชัน `SendCapturedPhotos()` จะถูกเรียกเพื่อจับภาพจากกล้อง ESP32-CAM และส่งภาพไปยัง Google Drive หรือที่เก็บข้อมูลที่กำหนด ฟังก์ชันนี้จะทำการถ่ายภาพและส่งไฟล์ภาพผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่กำหนด.

5.ป้องกันการถ่ายภาพซ้ำใช้ตัวแปร `photoTaken_745` และ `photoTaken_1550` เพื่อตรวจสอบว่าได้ถ่ายภาพในนาฬิกาที่กำหนดแล้วหรือยัง เพื่อป้องกันการถ่ายภาพซ้ำในนาฬิกาเดียวกัน การใช้ตัวแปรนี้ช่วยให้ไม่เกิดการถ่ายภาพซ้ำซ้อนในนาฬิกาเดียวกันและลดการใช้ทรัพยากรโดยไม่จำเป็น.

6.รีเซ็ตตัวแปรเมื่อเวลาผ่านไป หลังจากเวลาที่ผ่านไปถึงนาฬิกาถัดไป ตัวแปร `photoTaken_745` และ `photoTaken_1550` จะถูกรีเซ็ตเพื่อให้สามารถถ่ายภาพใหม่ในรอบถัดไปได้ ขั้นตอนนี้จะช่วยให้ระบบสามารถถ่ายภาพใหม่ในรอบถัดไปตามเวลาที่กำหนด

7.ตั้งเวลาตรวจสอบทุก 10 วินาที ใช้คำสั่ง `delay(10000)` เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์หยุดทำงานเป็นเวลา 10 วินาทีระหว่างการตรวจสอบเวลา เพื่อไม่ให้เกิดการใช้งานเกินพอดี การตั้งค่าช่วงเวลา 10 วินาทีช่วยลดภาระในการประมวลผลของ ESP32 และประหยัดพลังงาน.

การถ่ายภาพและส่งภาพอัตโนมัติผ่านอินเทอร์เน็ต

หลังจากที่ระบบตรวจพบว่าเป็นเวลาที่ต้องถ่ายภาพ ระบบจะเรียกใช้ฟังก์ชัน `SendCapturedPhotos()` เพื่อดำเนินการถ่ายภาพและส่งไฟล์ภาพไปยัง Google Drive ผ่าน Google Apps Script

ขั้นตอนการถ่ายภาพและส่งไปยัง Google Drive

1. เชื่อมต่อกับ `script.google.com` ใช้ `client.connect()` เชื่อมต่อเซิร์ฟเวอร์ `script.google.com` ซึ่งเป็นโดเมนที่ใช้เรียกใช้งาน Google Apps Script ผ่าน HTTPS (พอร์ต 443) โดยใช้ตัวแปร `client.setInsecure()` เพื่อข้ามการตรวจสอบ SSL Certificate เพื่อความง่ายในการเชื่อมต่อ

2. เปิดไฟแฟลช (ถ้ามีการเปิดใช้งานไว้) ตรวจสอบค่าตัวแปร `LED_Flash_ON` หากเป็น `true` จะเปิดไฟแฟลชผ่านขา `FLASH_LED_PIN` (ขา GPIO 4) เพื่อให้แสงช่วยในการถ่ายภาพในที่มืด

3. ถ่ายภาพ 3 ครั้งแรกและทิ้งไป กล้องจะถูกสั่งให้ถ่ายภาพ 3 ครั้งแรกแล้วคืนหน่วยความจำกลับ (`esp_camera_fb_return`) เพื่อให้ภาพที่ถ่ายครั้งที่ 4 มีคุณภาพและความเสถียร (เช่น แสง สี โฟกัส) มากขึ้น

4. ถ่ายภาพครั้งที่ 4 สำหรับใช้งานจริง กล้องถ่ายภาพอีกครั้งหนึ่ง โดยภาพที่ได้จะถูกเก็บไว้ในตัวแปร `fb` (frame buffer) เพื่อใช้งานในขั้นตอนการส่งภาพ

5. ปิดไฟแฟลช หลังจากถ่ายภาพเสร็จจะปิดไฟแฟลชทันทีเพื่อลดการใช้พลังงานและยืดอายุอุปกรณ์
6. สร้าง URL สำหรับส่งภาพไปยัง Google Apps Script สร้าง URL ที่เรียกใช้ Google Apps Script โดยระบุ DeploymentID และชื่อโฟลเดอร์บน Google Drive ที่จะบันทึกภาพ เช่น /macros/s/DeploymentID/exec?folder=ESP32-CAM
7. เริ่มต้น HTTP POST แบบ Chunked Transfer ส่ง Header ของ HTTP POST โดยใช้ Transfer-Encoding: chunked เพื่อส่งข้อมูลภาพขนาดใหญ่ทีละชิ้น (chunk) ไปยังเซิร์ฟเวอร์
8. แบ่งภาพเป็นชิ้นเล็ก ๆ และเข้ารหัส Base64 ข้อมูลภาพ JPEG ที่ได้จากกล้องจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นละ 3 KB และแต่ละชิ้นจะถูกเข้ารหัสเป็น Base64 ก่อนส่ง โดยใช้ base64_encode() เพื่อให้สามารถส่งผ่าน HTTP ได้อย่างปลอดภัย
9. ส่งข้อมูลแต่ละ Chunk ตามมาตรฐาน HTTP สำหรับแต่ละ chunk จะส่งขนาด (เป็นเลขฐานสิบหก) ตามด้วยข้อมูลที่เข้ารหัส แล้วคั่นด้วย \r\n และจบบอด้ด้วย 0\r\n\r\n ตามมาตรฐาน HTTP chunked transfer
10. คืนหน่วยความจำของภาพให้กับระบบ หลังจากส่งข้อมูลภาพเสร็จแล้ว จะใช้ esp_camera_fb_return(fb) เพื่อคืนหน่วยความจำให้ระบบ ซึ่งเป็นการป้องกัน memory leak และเพิ่มความเร็วให้กับโปรแกรม
11. ปิดการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ใช้ client.stop() เพื่อยุติการเชื่อมต่อเมื่อการส่งภาพไปยัง Google Drive เสร็จสิ้น

```

1 void SendCapturedPhotos() {
2   const char* host = "script.google.com";
3   Serial.println("Connecting to host for photo upload...");
4   client.setInsecure(); // ไม่ตรวจสอบ SSL (ง่ายต่อการเชื่อมต่อ)
5
6   if (client.connect(host, 443)) {
7     // [1] เปิดแฟลชหากเปิดใช้งาน
8     if (LED_Flash_ON) digitalWrite(FLASH_LED_PIN, HIGH);
9
10    // [2] ถ่ายภาพหลายครั้ง (3 ครั้งแรกทั้ง, ครั้งที่ 4 ไขว้จริง)
11    camera_fb_t * fb = NULL;
12    for (int i = 0; i <= 3; i++) {
13      fb = esp_camera_fb_get(); // ถ่ายภาพ
14      if (!fb) {
15        Serial.println("Camera capture failed");
16        ESP.restart(); // หากกล้องมีปัญหา ให้รีเซ็ต
17      }
18      esp_camera_fb_return(fb); // คืนหน่วยความจำ
19      delay(200); // พ้นงเล็กน้อยให้ภาพเสถียรขึ้น
20    }
21
22    // [3] ถ่ายภาพจริงที่ต้องการส่ง
23    fb = esp_camera_fb_get();
24    if (!fb) {
25      Serial.println("Final capture failed");
26      ESP.restart();
27    }
28
29    // [4] ปิดแฟลชหลังถ่ายเสร็จ
30    if (LED_Flash_ON) digitalWrite(FLASH_LED_PIN, LOW);
31
32    // [5] เตรียม URL สำหรับ Google Apps Script
33    String url = "/macros/s/" + myDeploymentID + "/exec?folder=" + myMainFolderName;
34
35    // [6] สร้าง HTTP POST Request แบบ Chunked
36    client.println("POST " + url + " HTTP/1.1");
37    client.println("Host: " + String(host));
38    client.println("Transfer-Encoding: chunked");
39    client.println();
40
41    // [7] เตรียมข้อมูลภาพเพื่อส่งแบบ Base64
42    int fbLen = fb->len; // ความยาวภาพ (JPEG)
43    char *input = (char *)fb->buf; // ข้อมูลภาพ JPEG
44    int chunkSize = 3 * 1000; // แบ่งข้อมูลเป็นชิ้นละ 3KB
45    int chunkBase64Size = base64_enc_len(chunkSize); // ความยาวหลังเข้ารหัส
46    char output[chunkBase64Size + 1]; // เก็บข้อมูลที่เข้ารหัส Base64
47
48    // [8] เข้ารหัสและส่งภาพเป็นชิ้น ๆ แบบ chunked
49    for (int i = 0; i < fbLen; i += chunkSize) {
50      int l = base64_encode(output, input, min(fbLen - i, chunkSize)); // เข้ารหัส Base64
51      client.print(l, HEX); // ส่งขนาดชิ้น (ในรูปแบบ HEX)
52      client.print("\r\n");
53      client.print(output); // ส่งข้อมูลภาพ (Base64)
54      client.print("\r\n");
55      input += chunkSize;
56    }
57
58    // [9] ส่งตัวจบของ HTTP Chunked
59    client.print("0\r\n\r\n");
60
61    // [10] คืนหน่วยความจำของภาพ
62    esp_camera_fb_return(fb);
63  }
64
65  // [11] ปิดการเชื่อมต่อ
66  client.stop();
67 }
68

```

ภาพที่ 3.31 โค้ดการถ่ายภาพอัตโนมัติ

3.7 การบันทึกค่าความชื้นและบันทึกการรดน้ำ

```
#include <SD.h> // Include SD card library

// กำหนดค่าพินสำหรับ SD card
#define SD_CS 5
bool sdAvailable = SD.begin(chipSelect);

void setup() {
  // ... ส่วนอื่นๆ ของ setup ...

  if (!sdAvailable) {
    Serial.println("SD card initialization failed! Continuing without SD logging.");
  }
  // ...
}

// ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลการรดน้ำลง SD card โดยใช้ชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน
String twoDigits(int number) {
  return (number < 10) ? "0" + String(number) : String(number);
}

void logWateringData(DateTime now, int count, String reason) {
  String filename = "/watering_" + String(now.year()) + "-" + twoDigits(now.month()) + "-" + twoDigits(now.day()) + ".txt";
  File wateringFile = SD.open(filename, FILE_APPEND);
  if (wateringFile) {
    String wateringDataString = String(now.year()) + "-" + twoDigits(now.month()) + "-" + twoDigits(now.day()) + " " +
      now.hour() + ":" + twoDigits(now.minute()) + ":" + twoDigits(now.second()) +
      ", Watering/Fertilizing Count: " + String(count) + ", Reason: " + reason;

    wateringFile.println(wateringDataString);
    wateringFile.close();

    Serial.println("✅ เขียนข้อมูลลง SD Card สำเร็จ: " + wateringDataString + " (File: " + filename + ")");
  } else {
    Serial.println(F("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (watering!)"));
  }
}

// ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลความชื้นลง SD card โดยใช้ชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน
void logMoistureData(DateTime now, float moisture) {
  String filename = "/moisture_" + String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" + String(now.day()) + ".txt";
  File moistureFile = SD.open(filename, FILE_APPEND); // เปิดไฟล์เพื่อ append
  if (moistureFile) {
    String moistureDataString = String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" + String(now.day()) + " " +
      now.hour() + ":" + now.minute() + ":" + now.second() + ", " + String(moisture);
    moistureFile.println(moistureDataString); // บันทึกข้อมูล
    moistureFile.close(); // ปิดไฟล์
    Serial.println("เขียนข้อมูลความชื้นลง SD Card สำเร็จ: " + moistureDataString + " (File: " + filename + ")");
  } else {
    Serial.println("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (Moisture!)");
  }
}
```

ภาพที่ 3.32 โค้ดการบันทึกลง SD Card

ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลการรดน้ำหรือการให้ปุ๋ยลงใน SD Card โดยตั้งชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบันในรูปแบบ ปี-เดือน-วัน เพื่อให้ง่ายต่อการจัดเก็บและเรียกดูภายหลัง ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยวันและเวลา จำนวนครั้งที่ทำการรดน้ำหรือให้ปุ๋ย รวมถึงเหตุผลที่ดำเนินการ เช่น ความชื้นในดินต่ำหรือเป็นการรดน้ำตามเวลาที่ตั้งไว้ไว้ล่วงหน้า ข้อมูลแต่ละครั้งจะถูกเพิ่มต่อท้ายในไฟล์เดิมโดยไม่ลบข้อมูลเก่า เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์หรือปรับปรุงการทำงานของระบบในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลลง SD Card

1. เริ่มต้นใช้งาน SD Card

```
#include <SD.h> // Include SD card library
```

```
// กำหนดค่าพินสำหรับ SD card
```

```
#define SD_CS 5
```

```
bool sdAvailable = SD.begin(chipSelect);
```

- ระบบพยายามเชื่อมต่อกับ SD Card ด้วยคำสั่ง SD.begin()
- กำหนดค่า CS (Chip Select) คือขาเบอร์ 5 (#define SD_CS 5)
- ผลลัพธ์จะเก็บในตัวแปร sdAvailable (ค่าจริงหรือเท็จ)

```
if (!sdAvailable) {
  Serial.println("SD card initialization failed! Continuing without SD logging.");
}
// ...
}
```

- ถ้าเชื่อมต่อไม่สำเร็จ จะแสดงข้อความเตือนผ่าน Serial Monitor

2. ฟังก์ชันช่วยจัดรูปแบบตัวเลขให้เป็น 2 หลัก

```
// ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลการรดน้ำลง SD card โดยใช้ชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน
```

```
String twoDigits(int number) {
```

```
  return (number < 10) ? "0" + String(number) : String(number);
```

- ใช้ทำให้ตัวเลข เช่น 7 → "07" เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่อ่านง่าย (เช่น วันที่ 2025-05-03)
- ใช้ในชื่อไฟล์และเวลา

ฟังก์ชันบันทึกข้อมูล การรดน้ำ / ให้อาหาร (logWateringData())

อธิบายฟังก์ชัน logWateringData(DateTime now, int count, String reason)

บันทึกข้อมูลการรดน้ำหรือให้อาหารลงบน SD Card โดยตั้งชื่อไฟล์ตามวันที่ และเก็บข้อมูลเวลารดน้ำจำนวนครั้ง และเหตุผล

ขั้นตอนที่ 1: สร้างชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน

```
void logWateringData(DateTime now, int count, String reason) {
```

```
  String filename = "/watering_" + String(now.year()) + "-" + twoDigits(now.month()) + "-" + twoDigits(now.day()) + ".txt";
```

- ใช้เวลาปัจจุบันจากอ็อบเจกต์ now ซึ่งเป็นชนิด DateTime ที่ได้มาจากโมดูล RTC
- นำปี (now.year()), เดือน (now.month()), และวัน (now.day()) มาประกอบกันเป็นชื่อไฟล์
- เรียกใช้ฟังก์ชัน twoDigits() เพื่อให้เดือนและวันแสดงเป็นเลข 2 หลัก เช่น 1 → "01"
- ตัวอย่างชื่อไฟล์ที่ได้: /watering_2025-05-13.txt
- ไฟล์นี้จะถูกสร้างไว้ในรากของ SD Card (/) และแยกแต่ละวันคนละไฟล์

ขั้นตอนที่ 2: เปิดไฟล์บน SD Card แบบต่อท้ายข้อมูลเดิม (append)

```
File wateringFile = SD.open(filename, FILE_APPEND);
```

- ใช้คำสั่ง SD.open() เปิดไฟล์ตามชื่อที่สร้างในขั้นตอนก่อนหน้า
- ใช้โหมด FILE_APPEND หมายถึง การเขียนต่อท้ายข้อมูลเดิม หากไฟล์มีอยู่แล้ว
- ถ้าไฟล์ยังไม่เคยถูกสร้าง ระบบจะสร้างไฟล์ใหม่โดยอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 3: ตรวจสอบว่าเปิดไฟล์สำเร็จหรือไม่

```
if (wateringFile) {
    String wateringDataString = String(now.year()) + "-" + twoDigits(now.month()) + "-" + twoDigits(now.day()) + " " +
                                now.hour() + ":" + twoDigits(now.minute()) + ":" + twoDigits(now.second()) +
                                ", Watering/Fertilizing Count: " + String(count) + ", Reason: " + reason;

    wateringFile.println(wateringDataString);
    wateringFile.close();

    Serial.println("✅ เขียนข้อมูลลง SD Card สำเร็จ: " + wateringDataString + " (File: " + filename + ")");
} else {
    Serial.println(F("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (Watering!)"));
}
```

- ตรวจสอบว่าไฟล์สามารถเปิดได้จริงหรือไม่ (เช่น SD Card เสียบอยู่หรือมีข้อผิดพลาด)
- ถ้าเปิดไม่สำเร็จ จะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน Serial Monitor
- การตรวจสอบนี้เป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากเขียนลงไฟล์ที่เปิดไม่ได้ โปรแกรมอาจทำงานผิดพลาดหรือข้อมูลหาย

ขั้นตอนที่ 4: สร้างข้อความข้อมูลที่จะบันทึก

```
String wateringDataString = String(now.year()) + "-" + twoDigits(now.month()) + "-" + twoDigits(now.day()) + " " +
                             now.hour() + ":" + twoDigits(now.minute()) + ":" + twoDigits(now.second()) +
                             ", Watering/Fertilizing Count: " + String(count) + ", Reason: " + reason;
```

ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย:

- วันที่: ปี-เดือน-วัน
- เวลา: ชั่วโมง:นาฬิกา:วินาที
- จำนวนครั้ง (count): บ่งบอกว่ารดน้ำ/ให้ปุ๋ยครั้งที่เท่าไรของวันนั้น
- เหตุผล (reason): เช่น "Schedule" หรือ "Low moisture"
- ตัวอย่างข้อมูลที่ได้: 2025-05-13 10:30:45, Watering/Fertilizing Count: 3, Reason: Schedule

จุดเด่น: การจัดรูปแบบข้อความให้อ่านง่าย และมีรายละเอียดครบถ้วน เหมาะสำหรับการบันทึกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ภายหลัง

ขั้นตอนที่ 5: เขียนข้อมูลลงไฟล์และปิดไฟล์

```
wateringFile.println(wateringDataString);
wateringFile.close();
```

- ใช้คำสั่ง `.println()` เพื่อเขียนข้อความเป็น 1 บรรทัดลงในไฟล์
- ปิดไฟล์ด้วย `.close()` เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลถูกบันทึกลง SD Card อย่างสมบูรณ์
- การปิดไฟล์ทุกครั้งเป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากเกิดปัญหาหลังจากเขียนข้อมูลแล้วไม่ได้ปิดไฟล์ ข้อมูลนั้นอาจไม่ถูกบันทึกจริง

ขั้นตอนที่ 6: แสดงข้อความผลลัพธ์ทาง Serial

```
Serial.println("✅ เขียนข้อมูลลง SD Card สำเร็จ: " + wateringDataString + " (File: " + filename + ")");
} else {
Serial.println(F("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (watering!)"));
}
}
```

- พิมพ์ข้อความแสดงความสำเร็จของการบันทึกข้อมูล
- มีทั้งรายละเอียดของข้อความที่บันทึก และชื่อไฟล์ที่ใช้
- ข้อมูลนี้ช่วยให้ผู้พัฒนา หรือผู้ดูแลระบบทราบว่าการบันทึกดำเนินไปอย่างถูกต้องหรือไม่

ฟังก์ชัน `logMoistureData(DateTime now, float moisture)`

ฟังก์ชัน `logMoistureData()` มีหน้าที่หลักในการบันทึกค่าความชื้นในดินลงบน SD Card โดยตั้งชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบันในรูปแบบ ปี-เดือน-วัน เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและค้นหาย้อนหลังได้ง่าย ข้อมูลที่บันทึกจะรวมถึงวัน เวลา และค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์ในขณะนั้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์สภาพดินในระยะยาว หรือปรับปรุงการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

ขั้นตอนที่ 1: สร้างชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน

```
// ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลความชื้นลง SD card โดยใช้ชื่อไฟล์ตามวันที่ปัจจุบัน
void logMoistureData(DateTime now, float moisture) {
String filename = "/moisture_" + String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" + String(now.day()) + ".txt";
```

- สร้างชื่อไฟล์ในรูปแบบ `/moisture_YYYY-MM-DD.txt`
- ใช้ปี (`now.year()`), เดือน (`now.month()`), และวัน (`now.day()`) จากข้อมูลเวลาปัจจุบัน (RTC)
- ตัวอย่างชื่อไฟล์ที่ได้: หากวันที่คือ 13 พฤษภาคม 2025 → `/moisture_2025-5-13.txt`

ขั้นตอนที่ 2: เปิดไฟล์บน SD Card ในโหมดต่อท้ายข้อมูล (append)

```
File moistureFile = SD.open(filename, FILE_APPEND); // เปิดไฟล์เพื่อ append
```

- เปิดไฟล์ที่มีชื่อ `filename` ด้วยโหมด `FILE_APPEND`
- ถ้าไฟล์ยังไม่มีอยู่ใน SD Card ระบบจะสร้างขึ้นใหม่
- ถ้ามีอยู่แล้ว ข้อมูลใหม่จะถูกเขียนต่อท้ายข้อมูลเก่า

ข้อดีของการใช้ FILE_APPEND: ทำให้ข้อมูลที่บันทึกก่อนหน้านี้ไม่สูญหาย และสามารถเพิ่มข้อมูลใหม่เรื่อย ๆ โดยไม่ลบของเดิม

ขั้นตอนที่ 3: ตรวจสอบว่าการเปิดไฟล์สำเร็จหรือไม่

```
if (moistureFile) {
    String moistureDataString = String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" + String(now.day()) + " " +
                                now.hour() + ":" + now.minute() + ":" + now.second() + ", " + String(moisture);
    moistureFile.println(moistureDataString); // บันทึกข้อมูล
    moistureFile.close(); // ปิดไฟล์
    Serial.println("เขียนข้อมูลความชื้นลง SD Card สำเร็จ: " + moistureDataString + " (File: " + filename + ")");
} else {
    Serial.println("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (Moisture)!");
}
```

- ตรวจสอบว่าไฟล์ถูกเปิดได้หรือไม่
- หากเปิดไม่สำเร็จ (เช่น SD Card ไม่พร้อม หรือมีปัญหา) จะแสดงข้อความแจ้งเตือนทาง Serial Monitor
- การตรวจสอบนี้ช่วยป้องกันการเกิด error และช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวินิจฉัยปัญหาได้ง่าย

ขั้นตอนที่ 4: สร้างข้อความข้อมูลความชื้นเพื่อบันทึก

```
String moistureDataString = String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" + String(now.day()) + " " +
                            now.hour() + ":" + now.minute() + ":" + now.second() + ", " + String(moisture);
```

- ข้อความนี้จะบันทึกวัน เวลา และค่าความชื้น ณ ขณะนั้น

ตัวแปร moisture เป็นค่าความชื้นในดินที่ได้จากเซ็นเซอร์ (เช่น 38.25)

- ข้อความตัวอย่างที่ได้อาจเป็น: **2025-5-13 10:15:32, 38.25**

ขั้นตอนที่ 5: เขียนข้อมูลลงไฟล์และปิดไฟล์

```
moistureFile.println(moistureDataString); // บันทึกข้อมูล
moistureFile.close(); // ปิดไฟล์
```

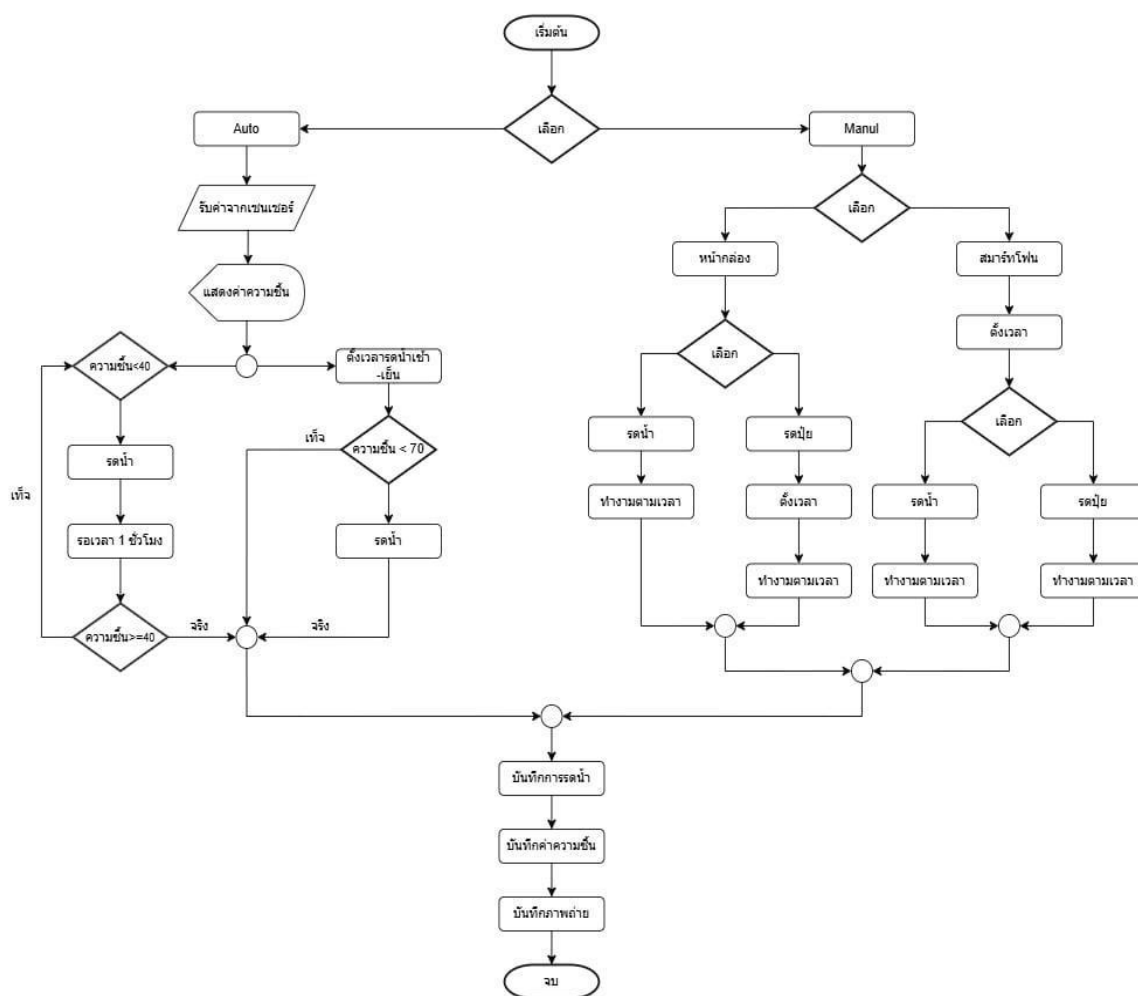
- println() ทำหน้าที่เขียนข้อมูลที่สร้างไว้ (ในตัวแปร moistureDataString) ลงในไฟล์
- close() ปิดไฟล์เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลถูกบันทึกจริงลงใน SD Card (หากไม่ปิดไฟล์ อาจเกิดปัญหาข้อมูลหายได้)

ขั้นตอนที่ 6: แสดงผลลัพธ์ผ่าน Serial Monitor

```
Serial.println("เขียนข้อมูลความชื้นลง SD Card สำเร็จ: " + moistureDataString + " (File: " + filename + ")");
} else {
    Serial.println("❌ เกิดข้อผิดพลาดในการเปิดไฟล์ SD (Moisture)!");
}
```

- แสดงข้อความว่าการเขียนข้อมูลสำเร็จ
- มีทั้งข้อความข้อมูลที่ถูกเขียน และชื่อไฟล์ที่ใช้
- ข้อมูลนี้ช่วยในการ debug และตรวจสอบย้อนหลังว่าโปรแกรมทำงานตามที่คาดไว้หรือไม่

3.5 ขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย



ภาพที่ 3.33 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย

หลักการทำงานของชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย

ระบบควบคุมการรดน้ำต้นไม้ในโครงการนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถทำงานได้ทั้งในรูปแบบอัตโนมัติและแมนนวล เพื่อให้เหมาะสมกับการดูแลพืชในสภาพแวดล้อมที่ต้องการความแม่นยำและความยืดหยุ่นในการควบคุม โดยระบบจะพิจารณาทั้งเวลาและค่าความชื้นของดินร่วมกัน เพื่อให้พืชได้รับน้ำอย่างเหมาะสมและไม่เกิดการรดน้ำเกินความจำเป็น ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อรากพืชและสิ้นเปลืองทรัพยากร

ในการทำงานในโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode) ระบบจะมีการกำหนดเวลาสำหรับรดน้ำไว้ 2 รอบต่อวัน ได้แก่ ในช่วงเวลา 7.30 น. และ 15.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการรดน้ำต้นไม้ตามหลักการเกษตรทั่วไป กล่าวคือช่วงเช้าและช่วงเย็นที่แดดไม่แรงจนเกินไป อย่างไรก็ตาม การรด

น้ำในช่วงเวลาดังกล่าวจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่า 70% หากในช่วงเวลาดังกล่าวตรวจพบว่าความชื้นของดินมีค่ามากกว่า 70% ระบบจะไม่ทำการรดน้ำ และจะรอจนถึงรอบเวลาถัดไปโดยไม่รดจนหรือรอรับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของพืชแต่อย่างใด

นอกจากการรดน้ำตามเวลา ระบบยังมีการทำงานแบบเชิงรุกเพิ่มเติมคือ หากในระหว่างวัน (นอกเหนือจากเวลา 7.30 น. และ 15.30 น.) ตรวจพบว่าความชื้นในดินต่ำกว่า 40% ระบบจะสั่งรดน้ำทันทีโดยไม่ต้องรอเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้พืชเกิดภาวะขาดน้ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตอย่างรุนแรง หลังจากการรดน้ำเสร็จแล้ว ระบบจะหน่วงเวลาเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงก่อนที่จะทำการตรวจวัดค่าความชื้นในดินอีกครั้ง หากยังพบว่าค่าความชื้นไม่ถึง 40% ระบบจะทำการรดน้ำซ้ำเพื่อให้ค่าความชื้นกลับเข้าสู่ระดับที่เหมาะสม

ในส่วนของ หน้ากล่องควบคุม ได้มีการออกแบบให้มีปุ่มกดหลัก 2 ปุ่ม ได้แก่ ปุ่มสำหรับ สั่งรดน้ำ และปุ่มสำหรับ สั่งรดปุ๋ย โดยเฉพาะในกรณีของการรดปุ๋ย ผู้ใช้สามารถตั้งค่าระยะเวลาการทำงานได้เองว่าต้องการให้ระบบเปิดการจ่ายปุ๋ยกี่นาที ซึ่งสามารถตั้งค่าได้จากปุ่มเดียวกันนี้ โดยเมื่อตั้งค่าเวลา ระบบจะรันการจ่ายปุ๋ยตามระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนดไว้ ทำให้สามารถควบคุมปริมาณปุ๋ยให้เหมาะสมกับพืชในแต่ละช่วงอายุหรือสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้

บนหน้ากล่องควบคุมยังมี หน้าจอแสดงผล 2 หน้าจอ เพื่อแสดงข้อมูลที่สำคัญอย่างชัดเจน หน้าจอแรกจะแสดง ค่าความชื้นเฉลี่ยของดิน ที่วัดได้จากเซนเซอร์หลายจุดภายในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินสถานะความชื้นในดินได้อย่างแม่นยำ ส่วนหน้าจอที่สองจะแสดงข้อความว่า -FL- ซึ่งเป็นรหัสย่อที่ย่อมาจากคำว่า “Fertilizer” (ปุ๋ย) เพื่อบ่งบอกว่าอยู่ในโหมดการตั้งเวลาการรดปุ๋ย เมื่อผู้ใช้กดปุ่มตั้งเวลา หน้าจอนี้จะแสดงตัวเลขที่มีหน่วยเป็น "นาทีก" เพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่ากำลังตั้งระยะเวลาสำหรับการจ่ายปุ๋ย

บนหน้าเว็บนี้ ผู้ใช้สามารถสั่ง รดน้ำหรือรดปุ๋ย และ ตั้งเวลาการทำงาน ได้ตามต้องการ โดยไม่ต้องกดปุ่มที่กล่องควบคุมโดยตรง เหมาะสำหรับการควบคุมระบบจากระยะไกลในพื้นที่ที่ไม่มีอินเทอร์เน็ต เพียงแค่อยู่ในบริเวณที่สัญญาณ Wi-Fi ของ ESP32 ครอบคลุมก็สามารถใช้งานได้ทันที

ระบบยังมีฟังก์ชันเสริมที่ช่วยให้การดูแลพืชมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ การ ถ่ายภาพพื้นที่เพาะปลูกวันละ 1 ครั้ง เพื่อเก็บเป็นข้อมูลย้อนหลังสำหรับติดตามสภาพแวดล้อมหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และการ บันทึกค่าความชื้นในดินและประวัติการรดน้ำ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์และปรับปรุงการดูแลพืชให้เหมาะสมกับฤดูกาลหรือสภาพแวดล้อม ช่วยให้ประหยัดน้ำและปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในบทก่อนหน้านี้ ได้กล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนา ระบบควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย ซึ่งครอบคลุมถึงการออกแบบการ ทดลอง การพัฒนางจรควบคุม และการสร้างต้นแบบทดลองเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ภายใต้ เงื่อนไขที่กำหนด สำหรับบทนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการนำชุดควบคุมที่ได้ออกแบบไว้มาทดลองใช้งาน จริง โดยมีการบันทึกค่าการทำงานภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย ทั้งนี้ การทดลองดังกล่าวยังช่วยให้สามารถ ตรวจสอบข้อบกพร่องหรือปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำไปใช้ เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นในอนาคต

4.1 การเปรียบเทียบค่าการวัดของเซ็นเซอร์ความชื้นในดินโดยอ้างอิงข้อมูลจากอุปกรณ์มาตรฐาน (Tuya BT)



ภาพ 4.1 ลักษณะการเสียบในการทดลอง

ปัจจัยสำคัญที่อาจทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนได้

1. **ความแน่นของดิน** มีผลต่อการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของน้ำภายในดิน ดินที่แน่นมาก จะซึมน้ำได้ช้า ทำให้เกิดความชื้นสะสมเฉพาะจุดและอาจทำให้เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ไม่ สม่าเสมอ ขณะที่ดินที่โปร่งหรือนุ่มเกินไปอาจซึมน้ำเร็วเกินไป ทำให้ค่าความชื้นผันผวนและ ไม่เสถียร โดยเฉพาะเมื่อดินแห้งเร็วหลังรดน้ำ

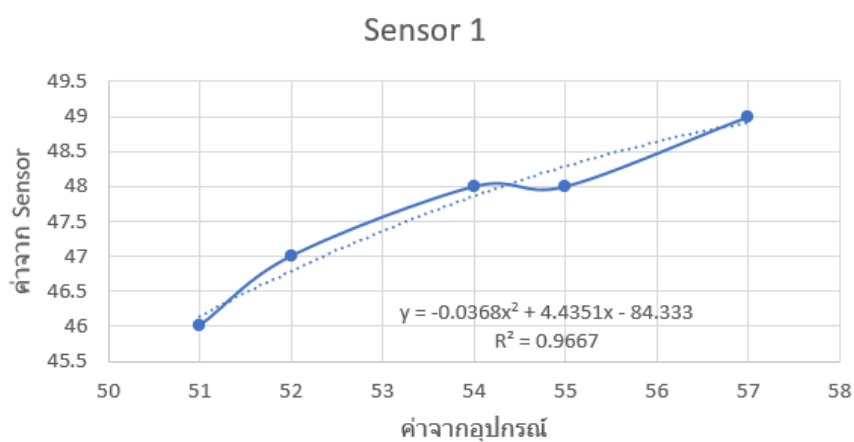
2. **ความลึกของการติดตั้งเซ็นเซอร์** ตำแหน่งและระดับความลึกในการฝังเซ็นเซอร์ส่งผลต่อความแม่นยำของข้อมูลที่ได้รับ หากฝังลึกเกินไปอาจวัดค่าความชื้นที่ไม่ตรงกับบริเวณรากพืช ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องควบคุมความชื้นเป็นหลัก แต่หากฝังตื้นเกินไป เซ็นเซอร์อาจได้รับผลกระทบจากความชื้นผิวดินที่ระเหยเร็ว เช่น ในช่วงกลางวันหรือมีแดดแรง ทำให้ได้ค่าที่ไม่สะท้อนความชื้นจริงในระดับราก
3. **ปัจจัยภายนอก** สิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ลม แสงแดด และปริมาณน้ำฝน ล้วนส่งผลต่อระดับความชื้นในดินโดยตรง ตัวอย่างเช่น เมื่อฝนตก ความชื้นในดินอาจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องรดน้ำเพิ่ม ในขณะที่อากาศร้อนจัดหรือมีลมแรงจะทำให้น้ำในดินระเหยเร็ว ส่งผลให้ค่าความชื้นลดลงและอาจทำให้ระบบจ่ายน้ำทำงานบ่อยเกินไป

วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการจับเวลาครั้งละ 5 นาที จำนวนทั้งสิ้น 5 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะทำการอ่านค่าความชื้นในดินจากเซ็นเซอร์ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ 7-segment และอ่านค่าความชื้นในดินจากอุปกรณ์มาตรฐาน Tuya BT Soil Moisture Sensor พร้อมกัน จากนั้นบันทึกค่าที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์ลงในตารางข้อมูล หลังจากเก็บข้อมูลครบถ้วนแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้ระหว่างเซ็นเซอร์และอุปกรณ์มาตรฐาน โดยแสดงเส้นแนวโน้ม (Trendline) พร้อมสมการเชิงพหุนาม (Polynomial Equation) ที่ได้จากกราฟวิเคราะห์ข้อมูลในกราฟ

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานกับเซ็นเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 1

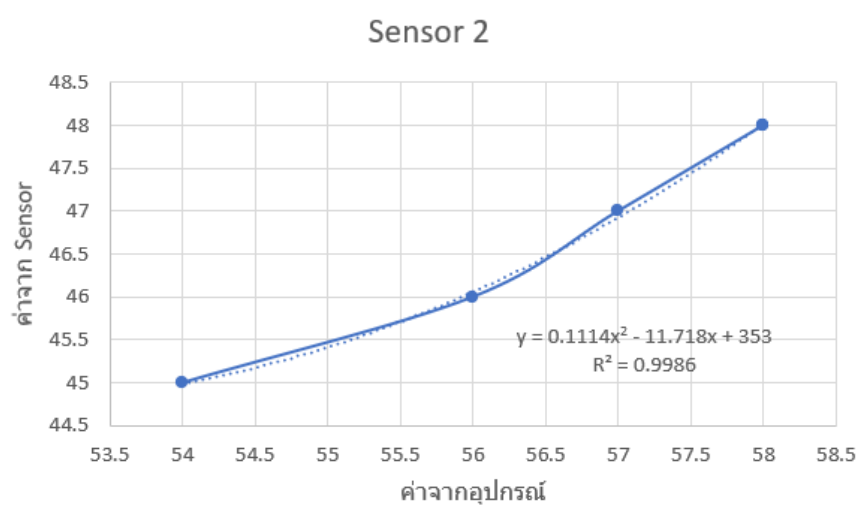
ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	54	48
2	51	50
3	58	45
4	55	48
5	52	49



ภาพ 4.2 กราฟแสดงสมการของเซนเซอร์ ตัวที่ 1

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์มาตรฐานกับเซนเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 2

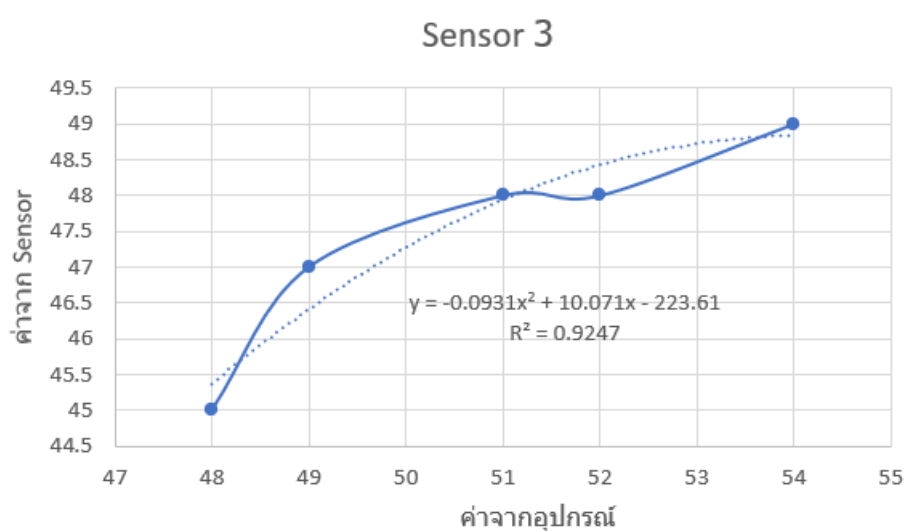
ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	54	48
2	58	46
3	56	45
4	58	47
5	57	48



ภาพ 4.3 กราฟแสดงสมการของเซนเซอร์ ตัวที่ 2

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์มาตรฐานกับเซนเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 3

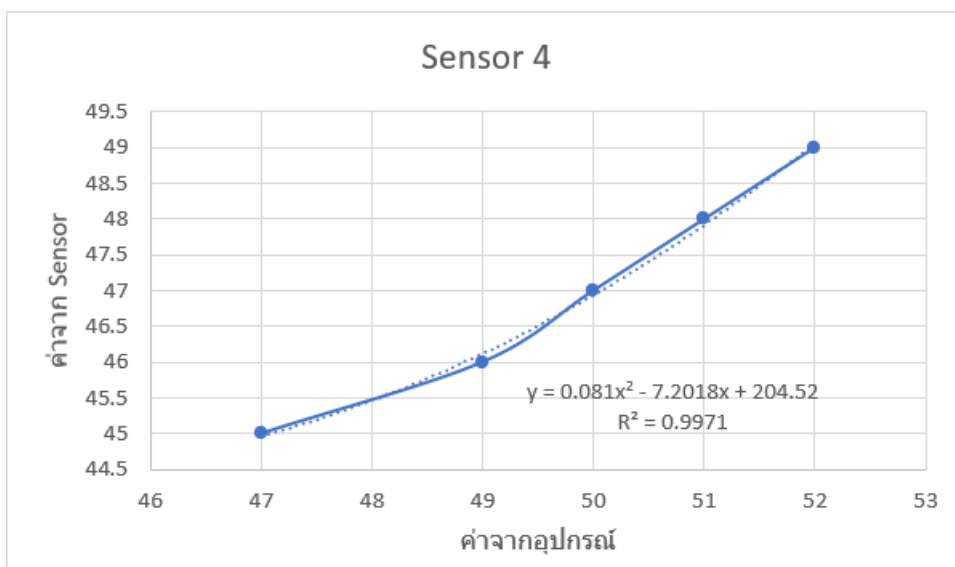
ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	52	47
2	48	49
3	54	45
4	49	48
5	51	49



ภาพ 4.4 กราฟแสดงสมการของเซนเซอร์ ตัวที่ 3

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์มาตรฐานกับเซนเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 4

ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	51	45
2	49	47
3	47	48
4	52	46
5	50	49



ภาพ 4.5 กราฟแสดงสมการของเซ็นเซอร์ ตัวที่ 4

เพื่อให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีความแม่นยำและใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน Tuya BT Soil Moisture Sensor จึงได้ทำการ **คาลิเบรต (calibrate)** เซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยเปรียบเทียบค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้กับค่าจาก Tuya BT และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็น **สมการเชิงพหุนาม (Polynomial Equations)** สำหรับแปลงค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ให้แม่นยำยิ่งขึ้น

สมการที่ได้มีรูปแบบทั่วไปคือ

$$y = ax^2 + bx + c$$

โดยที่

- x คือ ค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ (raw value)
- y คือ ค่าความชื้นในดินที่ผ่านการแปลงแล้ว (ค่าที่ใกล้เคียงกับ Tuya BT)

สมการของแต่ละเซ็นเซอร์มีดังนี้:

1. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1:

$$y = -0.0368x^2 + 4.4351x - 84.333$$

2. เซ็นเซอร์ตัวที่ 2:

$$y = 0.1114x^2 - 11.718x + 353$$

3. เซ็นเซอร์ตัวที่ 3:

$$y = -0.0931x^2 + 10.071x - 223.61$$

4. เซ็นเซอร์ตัวที่ 4:

$$y = 0.081x^2 - 7.2018x + 204.52$$

ผลการเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในโค้ดเพื่อประมวลผลค่าจากเซ็นเซอร์แบบอัตโนมัติ โดยแทนที่ค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ลงในสมการ แล้วคำนวณออกมาเป็นค่าความชื้นในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ Tuya BT แสดง เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานในเชิงเกษตรได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น

ค่าหลังจากการปรับเบตของแต่ละตัวของอุปกรณ์ (Tuya BT) และตัวเซ็นเซอร์ แสดงออกตามตาราง โดยจับเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์หลังการปรับเบตระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานกับเซ็นเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 1

ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	49	49
2	48	48
3	47	47

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์หลังการปรับเบตระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานกับเซ็นเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 2

ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	53	49
2	51	49
3	50	48

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์หลังการปรับเบตระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานกับเซ็นเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 3

ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	51	49
2	50	49
3	49	48

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์หลังการปรับเบตระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานกับเซ็นเซอร์ที่ออกแบบตัวที่ 4

ครั้งที่	จาก SENSER	จากอุปกรณ์
1	51	48
2	48	49
3	46	48

จากการทดลองวัดค่าความชื้นในดินโดยใช้เซ็นเซอร์จำนวน 5 ตัว เปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน Tuya BT Soil Moisture Sensor โดยทำการวัดในช่วงเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้งต่อเซ็นเซอร์ พบว่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวให้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับค่าจากอุปกรณ์มาตรฐานในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ให้ค่าที่สอดคล้องกันทุกครั้งกับอุปกรณ์ Tuya BT แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำหลังการเปรียบเทียบ

ในกรณีของเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ถึงตัวที่ 5 พบว่าค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์มีแนวโน้มสูงกว่าค่าจากอุปกรณ์มาตรฐานเล็กน้อย โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง $\pm 2-4$ หน่วย ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างด้านตำแหน่งการเสียบเซ็นเซอร์ หรือปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ของดิน อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่สามารถนำไปปรับค่าด้วยสมการคาลิเบรต เพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถแสดงผลได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากยิ่งขึ้น

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การปรับเทียบค่าของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินด้วยสมการเทียบเคียงกับอุปกรณ์มาตรฐาน Tuya BT สามารถเพิ่มความแม่นยำในการวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติในงานเกษตรอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 การทดลองการให้น้ำโดยขนาดจานหมุนที่แตกต่างกัน

การทดลองการให้น้ำโดยกำหนดขนาดจานหมุนเหวี่ยง 3 ขนาด เพื่อดูว่าการกระจายน้ำในขนาดจานแต่ละจานมีรัศมีกว้างเท่าไร เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานของโรงเรือน ซึ่งกำหนดความสูงของจานจากพื้น 17 cm ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยจับเวลา 30 วินาที ขนาดจานหมุนเหวี่ยงที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดดังนี้

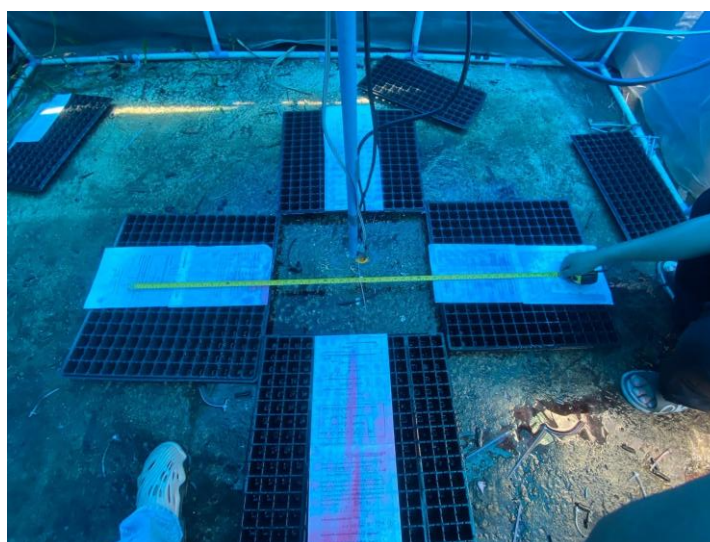
1. 4 เซนติเมตร
2. 5 เซนติเมตร
3. 6 เซนติเมตร



ภาพ 4.6 ขนาดจาน 3 ขนาด



ภาพ 4.7 ลักษณะการทดลอง



ภาพ 4.8 ลักษณะการวัดรัศมีของการกระจายน้ำ

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดรัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 4 เซนติเมตร

ครั้งที่	รัศมี
1	124 cm
2	128 cm
3	133 cm

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า รัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 4 เซนติเมตร ซึ่งในครั้งแรกจะเห็นได้ว่า มีรัศมีอยู่ที่ 124 cm และค่าสูงสุดอยู่ที่ 133 cm ซึ่งขนาดของโรงเรือนที่ใช้ทดลองมีขนาดความกว้าง 119 cm จากค่าที่ได้จากการทดลองการใช้น้ำขนาด 4 เซนติเมตร เหมาะสมแก่

การให้น้ำ แต่พบปัญหาว่าขนาดของจานมีขนาดเล็กเกินไปทำให้ท่อน้ำที่ลงมามีพื้นที่ในการกระจายน้ำน้อย

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดรัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 5 เซนติเมตร

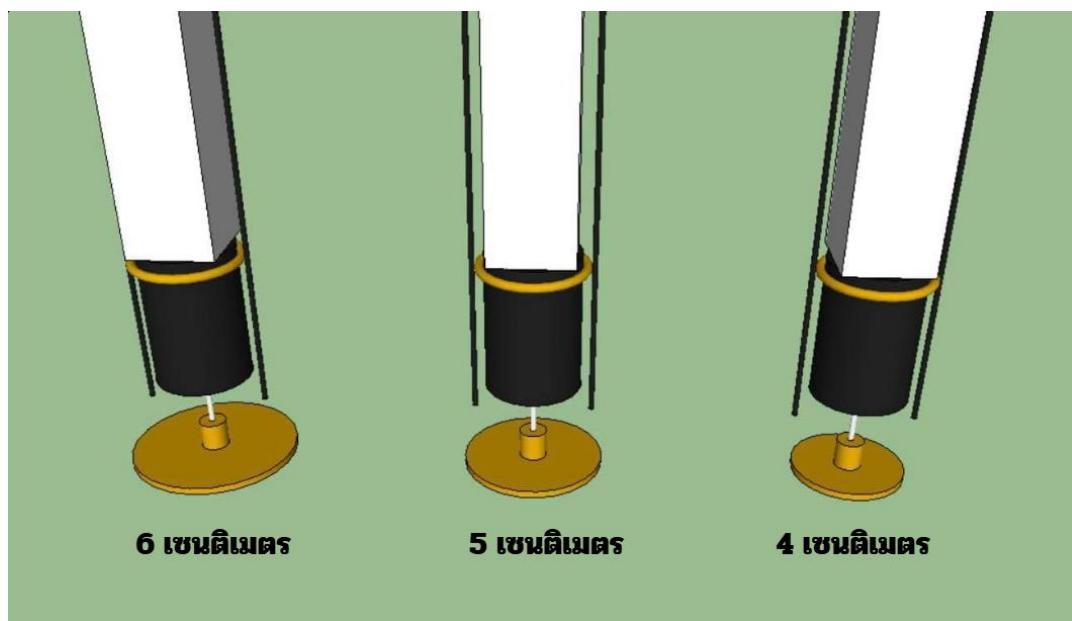
ครั้งที่	รัศมี
1	170 cm
2	173 cm
3	175 cm

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า รัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 5 เซนติเมตร ซึ่งในครั้งแรกจะเห็นได้ว่า มีรัศมีอยู่ที่ 170 cm และค่าสูงสุดอยู่ที่ 175 cm ซึ่งขนาดของโรงเรือนที่ใช้ทดลองมีขนาดความกว้าง 119 cm จากค่าที่ได้จากการทดลองนั้นรัศมีมีความกว้างกว่าขนาดของโรงเรือน แต่ในการให้น้ำมีการกระจายน้ำเป็นฝอยที่ดีกว่าขนาดจาน 4 เซนติเมตร และขนาดจานที่ใหญ่ขึ้นทำให้ท่อน้ำที่ลงมาอยู่ในพื้นที่หน้าจานที่พอเหมาะ ไม่พบปัญหาเหมือน จาน ขนาด 4 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.11 ผลการวัดรัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 6 เซนติเมตร

ครั้งที่	รัศมี
1	182 cm
2	185 cm
3	186 cm

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า รัศมีการกระจายน้ำของจานขนาด 6 เซนติเมตร ซึ่งในครั้งแรกจะเห็นได้ว่า มีรัศมีอยู่ที่ 182 cm และค่าสูงสุดอยู่ที่ 186 cm ซึ่งขนาดของโรงเรือนที่ใช้ทดลองมีขนาดความกว้าง 119 cm จากค่าที่ได้จากการทดลองนั้นรัศมีมีความกว้างกว่าขนาดของโรงเรือนที่เยอะจนเกินไป ทำให้น้ำที่กระจายออกไปจากจานนั้นไม่ลงในพื้นที่ของโรงเรือนที่ใช้ทำการเพาะปลูก



ภาพ 4.9 ขนาดจานหมุนเหวี่ยงที่ได้ออกแบบใน SketchUP

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองของจานทั้ง 3 ขนาด จะเห็นได้ว่าจานที่เหมาะสมในการให้น้ำสำหรับพื้นที่โรงเรือนที่ใช้ในการเพาะปลูกที่มีขนาด 119 cm x 197 cm จานที่เหมาะสมในการให้น้ำ คือจานขนาด 5 cm เนื่องจากมีการกระจายน้ำครอบคลุมพื้นที่ในขนาดที่ใช้ในการเพาะปลูก เพราะจานขนาด 4 cm มีปัญหาในการกระจายน้ำออกเพราะมอเตอร์เป็นตัวบังคับลักษณะการลงของท่อน้ำ เนื่องจากมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจานเล็กน้อย ทำให้การกระจายน้ำไม่ค่อยดีพอ และจานขนาด 6 cm ก็กระจายน้ำออกนอกพื้นที่เกินไปทำให้ได้ข้อสรุปว่า ใช้จานขนาด 5 cm ในการให้น้ำ โดยเพิ่มตัววาล์วน้ำเข้าไปเพื่อปรับให้น้ำกระจายอยู่ในพื้นที่โรงเรือนที่ใช้ทำการเพาะปลูก

4.3 การทดลองการกระจายน้ำของยูเล็มทั้ง 2 ตัว

ในการทดลองจะใช้หมุนขนาด 5 เซนติเมตร ที่ได้จากการทดลองซึ่งความสูงจากดิน 17 เซนติเมตร วางห่างกัน 80 เซนติเมตร ทั้งสองตัว นำมาใช้งานจริงในการให้น้ำแบบละอองฝอย ซึ่งในการทดสอบจะทดสอบทีละ 1 ตัว เพื่อจะดูว่า น้ำที่ได้กระจายมีการกระจายทั่วพื้นที่หรือไม่ ดังรูป



ภาพ 4.10 ระยะความสูงของตำแหน่งงานหมุนเหวี่ยง



ภาพ 4.11 การทดลองกระจายน้ำตัวที่ 1

จากผลการทดลองพบว่า น้ำมีการกระจายตัวในพื้นที่ประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมด จากซ้ายไปขวา โดยยูเล็มตัวที่ 1 สามารถกระจายน้ำไปยังบริเวณใต้ยูเล็มตัวที่ 2 และในพื้นที่รอบๆ ของตัวที่ 1 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในบริเวณใต้ยูเล็มตัวที่ 1 พบว่า น้ำไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงเมื่อใช้เพียงยูเล็มตัวที่ 1 เท่านั้น จึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยการวางยูเล็มในตำแหน่งที่ 2 เพื่อสังเกตการกระจายน้ำในพื้นที่ใต้ยูเล็มตัวที่ 1 ว่ามีการกระจายตัวของน้ำเข้ามาในบริเวณดังกล่าวหรือไม่



ภาพ 4.12 การทดลองกระจายน้ำตัวที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่า ในตำแหน่งที่ 2 ของตัวยูเล็มมีการกระจายน้ำไปถึงบริเวณใต้พื้นที่ของตำแหน่งที่ 1 ของตัวยูเล็ม จากซ้ายไปขวา และมีรูปแบบการกระจายน้ำที่คล้ายคลึงกับตัวยูเล็มตัวที่ 1 ซึ่งสามารถกระจายน้ำได้ประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมด หลังจากการสังเกตผลการทดลองของตัวยูเล็มทั้ง 2 ตำแหน่งแล้ว จึงได้ทำการทดลองเปิดการทำงานของตัวยูเล็มทั้ง 2 ตัวพร้อมกัน โดยในระหว่างการทดลองได้มีการใช้กระดาษวางทั่วบริเวณพื้นที่เพื่อสังเกตการกระจายน้ำตามที่แสดงในรูป



ภาพ 4.13 การทดลองการกระจายน้ำของยูเล็มพร้อมกัน 2 ตำแหน่ง

จากการทดลองปรากฏว่าน้ำได้มีการกระจายทั่วบริเวณพื้นที่โดยสังเกตจากการเปียกของกระดาษที่ได้วางไว้ทั่วบริเวณทุกแผ่น เปียกในลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งจากการทดลองจึงได้ใช้การวางตำแหน่งของตัวยูเล็มในตำแหน่งนี้ในการใช้งานจริงในการให้น้ำแบบละอองฝอย

4.4 การทดสอบปริมาณการให้ปุ๋ยน้ำ



ภาพที่ 4.14 ตัวอย่างการทดลอง

ในการทดสอบหาปริมาณของน้ำ(ปุ๋ยน้ำ)ที่ใช้ในการรดน้ำ จะทำการทดสอบโดยการจับเวลา 1 นาทีในการทดสอบ จำนวน 5 ครั้งเพื่อมาหาปริมาณน้ำเฉลี่ยในการรด 1 นาทีที่ใช้ปริมาณน้ำเท่าไร โดยการทดสอบจะมีปริมาณน้ำต่อรอบดังนี้

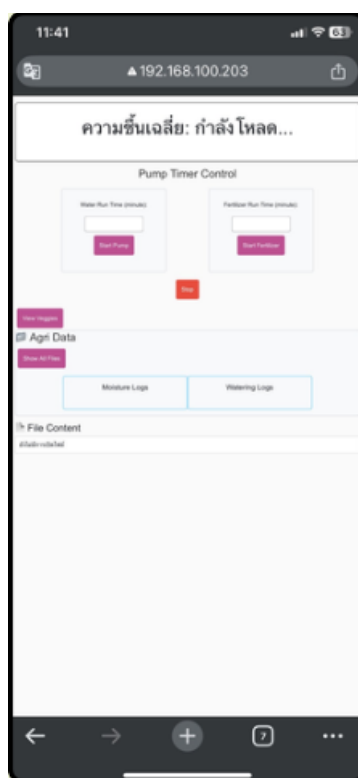
ตารางที่ 4.12 ผลการวัดปริมาณน้ำ

ครั้งที่	ตำแหน่งที่ 1 (มิลลิลิตร)	ตำแหน่งที่ 2 (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำรวม (มิลลิลิตร)
1	1150	1050	2200
2	1100	1050	2150
3	1200	1010	2210
4	1160	1100	2260
5	1190	1130	2320

จากผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในเวลา 1 นาทีอยู่ที่ 2,228 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้เป็นแนวทางในการตั้งเวลาให้ปุ๋ยน้ำในระบบอัตโนมัติได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น การให้น้ำหรือปุ๋ยน้ำโดยอิงจากค่าเฉลี่ยนี้ จะช่วยให้สามารถกำหนดระยะเวลาในการรดได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยตั้งเวลาเป็นหน่วย "นาที" เพื่อควบคุมปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใช้ในแต่ละครั้ง

4.5 การทดสอบการทำงานของระบบ

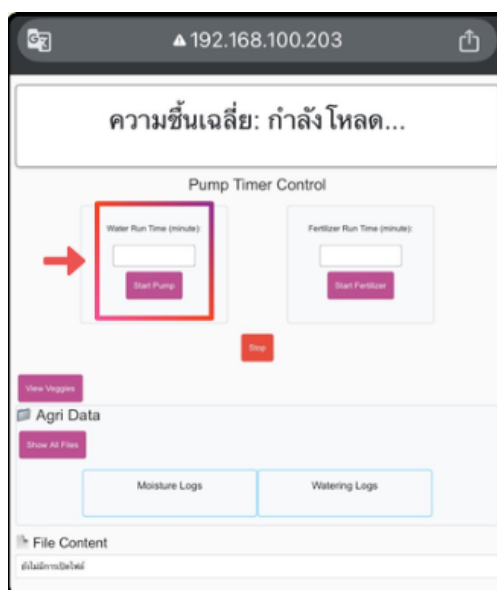
การทดสอบระบบประกอบไปด้วยการตรวจสอบค่าความชื้นในดินและการบันทึกข้อมูลการรดน้ำและข้อมูลความชื้น รวมไปถึงภาพถ่าย



ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างหน้าเว็บ

หน้าเว็บควบคุมระบบอัตโนมัติสำหรับฟาร์มหรือสวนเกษตร แสดงให้เห็นถึงการทำงานของ "Pump Timer Control" ผู้ใช้สามารถควบคุมการให้น้ำและการให้ปุ๋ยได้ โดยมีช่องให้กำหนดเวลาเป็นนาทีสำหรับแต่ละฟังก์ชัน คือ "Water Run Time (minute):" สำหรับการรดน้ำ และ "Fertilizer Run Time (minute):" สำหรับการให้ปุ๋ย หลังจากป้อนเวลาที่ต้องการแล้ว ก็สามารถกดปุ่ม "Start Pump" หรือ "Start Fertilizer" เพื่อเริ่มการทำงานได้ทันที นอกจากนี้ยังมีการแสดงค่า "ความชื้น

เฉลี่ย" และมีส่วนที่แสดง "Moisture Logs" และ "Watering Logs" เพื่อดูข้อมูลย้อนหลังเกี่ยวกับการรดน้ำและความชื้น และสามารถดูภาพได้ในส่วนของ "View Veggies"



ภาพ 4.16 กำหนดตั้งเวลาในการรดน้ำ

ส่วนที่วงกลมสีแดงคือส่วนควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถกำหนดเวลาการรดน้ำได้ด้วยตนเองผ่านช่อง "Water Run Time (minute):" โดยป้อนตัวเลขระยะเวลาเป็นนาทีที่ต้องการให้ปั๊มน้ำทำงาน เมื่อป้อนเวลาที่ต้องการแล้ว ผู้ใช้เพียงแค่กดปุ่ม "Start Pump" ปั๊มน้ำก็จะเริ่มทำงานทันทีตามเวลาที่ได้ตั้งไว้



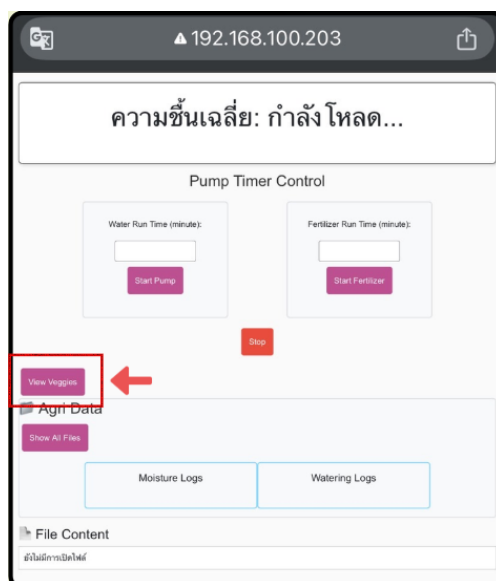
ภาพ 4.17 กำหนดตั้งเวลาในการรดปุ๋ย

ส่วนที่วงกลมสีแดงคือส่วนควบคุมการรดปุ๋ยอัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถกำหนดเวลาการรดปุ๋ยได้ด้วยตนเองผ่านช่อง "Fertilizer Run Time (minute):" โดยป้อนตัวเลขระยะเวลาเป็นนาทีที่ต้องการให้ปั้มน้ำทำงาน เมื่อป้อนเวลาที่ต้องการแล้ว ผู้ใช้เพียงแค่กดปุ่ม "Start Fertilizer" ปั้มน้ำก็จะเริ่มทำงานทันทีตามเวลาที่ได้ตั้งไว้



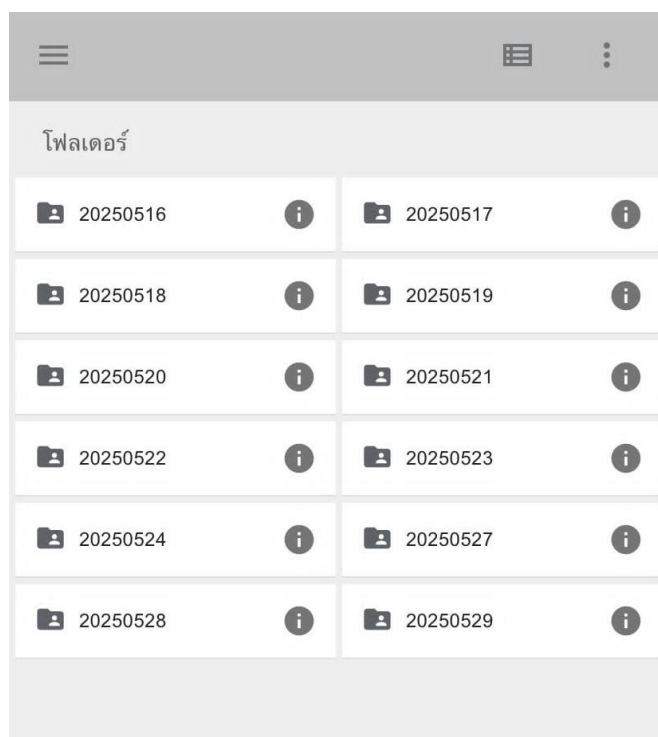
ภาพ 4.18 สัญลักษณ์การทำงานของระบบ

ในส่วนที่วงกลมสีแดงคือ ส่วนควบคุมการหยุดการทำงานของระบบผ่านระบบไร้สาย โดยผู้ใช้สามารถกดที่ปุ่ม “Stop” เพื่อสั่งหยุดรดน้ำหรือรดปุ๋ย

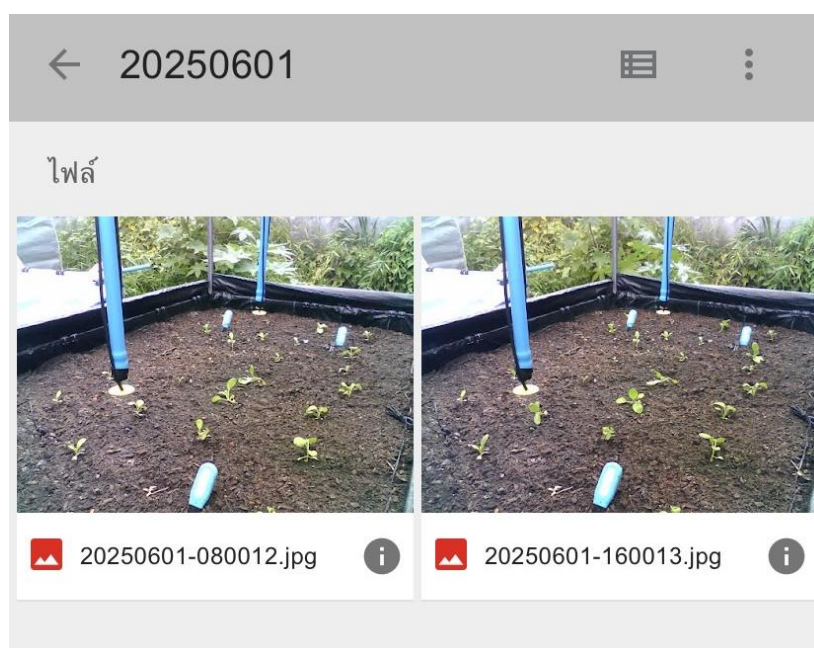


ภาพ 4.19 ปุ่มสำหรับกดดูภาพถ่ายรายวัน

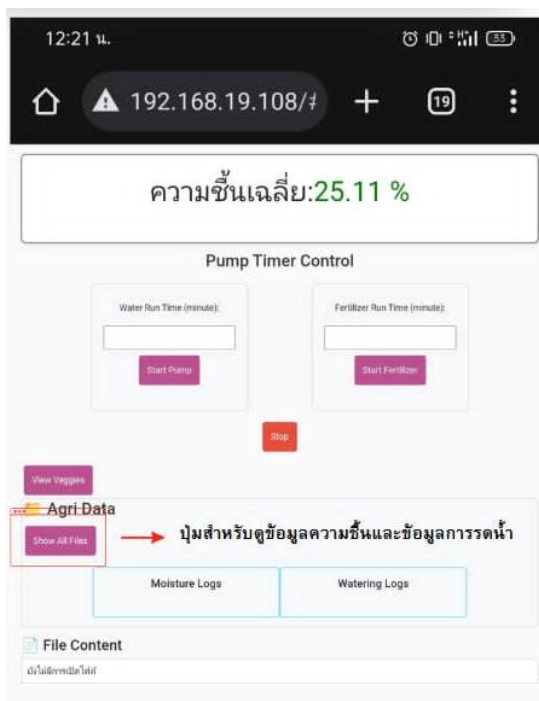
ปุ่มนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงและดูภาพถ่ายของพืชผักหรือผลผลิตทางการเกษตรที่ระบบได้บันทึกไว้เป็นรายวัน โดยภาพถ่ายเหล่านี้อาจถูกถ่ายโดยอัตโนมัติผ่านกล้องที่ติดตั้งไว้ในแปลงเกษตร



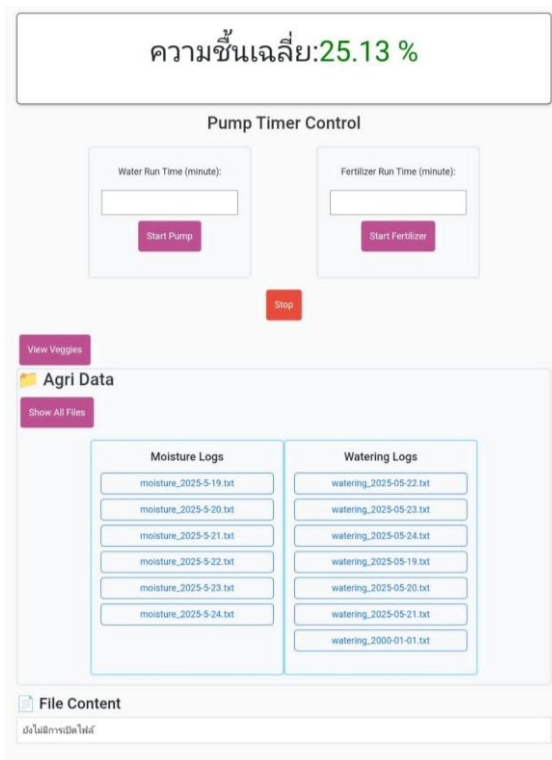
ภาพ 4.20 แสดงไฟล์การบันทึกข้อมูลภาพ



ภาพ 4.21 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายได้ใน 1 วัน

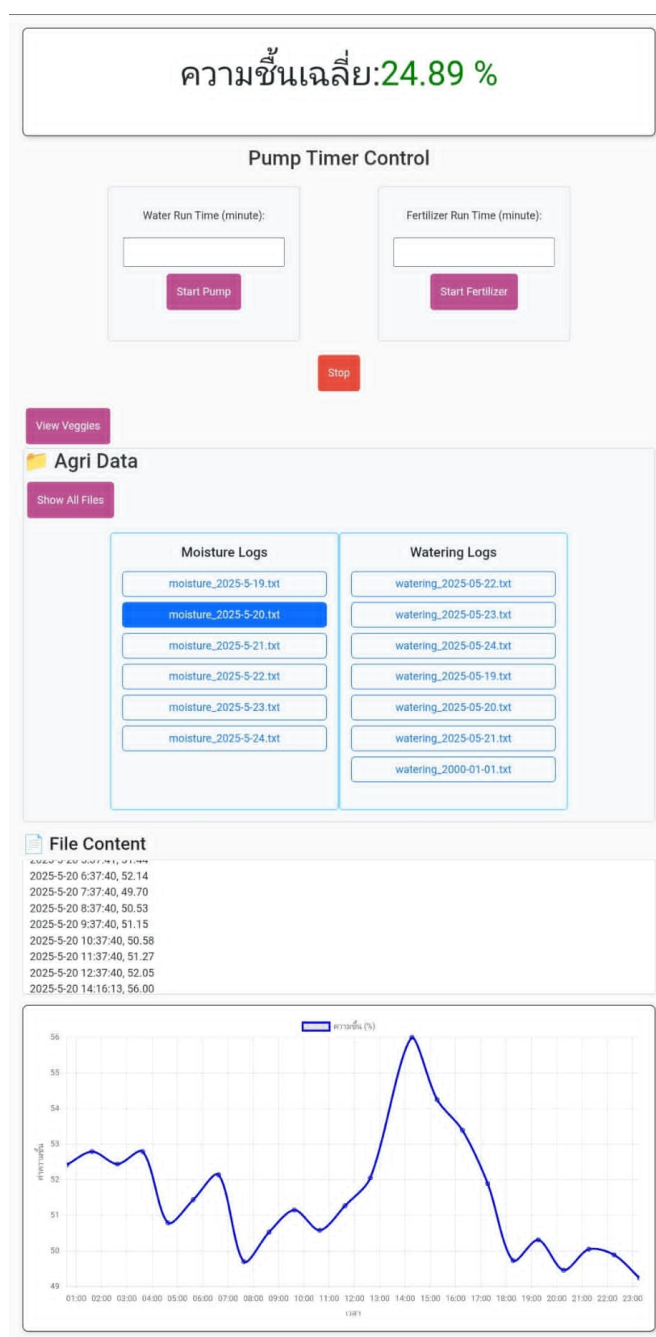


ภาพ 4.22 ปุ่มกดสำหรับดูข้อมูลค่าความชื้นและข้อมูลการรดน้ำ



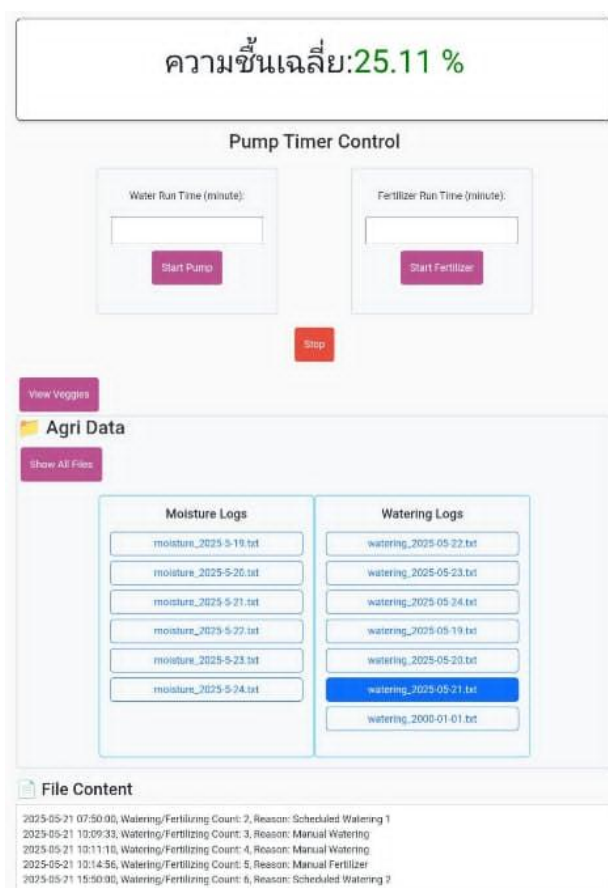
ภาพ 4.23 แสดงไฟล์บันทึกค่าความชื้นและการรดน้ำ

เมื่อกดปุ่ม "Show All Files" ระบบจะเปิดเผยข้อมูลบันทึกทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดความชื้นและการรดน้ำ



ภาพ 4.24 ไฟล์แสดงข้อมูลค่าความชื้น

Moisture Logs (บันทึกความชื้น): แสดงไฟล์บันทึกความชื้นในดิน (เช่น moisture_2025-5-20.txt) เมื่อคลิกที่ไฟล์ ระบบจะแสดงข้อมูลดิบเป็นตัวเลขและแปลงเป็นกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นตลอดทั้งวัน เพื่อให้ผู้ใช้เห็นแนวโน้มและวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายขึ้น



ภาพ 4.25 ไฟล์แสดงข้อมูลการรดน้ำ

Watering Logs (บันทึกการรดน้ำ): แสดงไฟล์บันทึกกิจกรรมการรดน้ำและการให้ปุ๋ย (เช่น watering_2025-05-21.txt) เมื่อคลิกที่ไฟล์ ระบบจะแสดงข้อมูลรายละเอียดของแต่ละเหตุการณ์ เช่น วันที่ เวลา จำนวนครั้ง และที่สำคัญคือ "Reason" (เหตุผล) ว่าเป็นการสั่งงานอัตโนมัติหรือสั่งงานด้วยตนเอง เพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบย้อนหลังได้

ข้อมูลการรดน้ำประกอบไปด้วย

1. Scheduled Watering 1 (ตั้งเวลารดน้ำครั้งที่ 1)
2. Scheduled Watering 2 (ตั้งเวลารดน้ำครั้งที่ 2)
3. Low Moisture (ค่าความชื้นต่ำกว่าที่กำหนด)
4. Manual Watering (สั่งรดน้ำหน้ากล้องควบคุมและระบบไร้สาย)
5. Manual Fertilizer (สั่งรดปุ๋ยหน้ากล้องควบคุมและระบบไร้สาย)
6. Skipped Scheduled Watering 1 (ข้ามการรดน้ำครั้งที่ 1 เมื่อความชื้นถึงค่าที่กำหนด)
7. Skipped Scheduled Watering 2 (ข้ามการรดน้ำครั้งที่ 2 เมื่อความชื้นถึงค่าที่กำหนด)

4.6 ผลการทดลอง

การทดลอง ชุดควบคุมความชื้นในดินและการให้น้ำผ่านระบบไร้สาย

ข้อ	ขอบเขต	ทำได้	ทำไม่ได้	หมายเหตุ
1	ออกแบบชุดควบคุมแปลงผักยก แคร่ให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติโดยมี ขนาดแปลงไม่น้อยกว่า 110 x 180 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 1 แปลง โดยมีชุดจาน หมุนเหวี่ยงให้น้ำจำนวน 2 ชุด	✓		
2	สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ ความชื้นในดิน โดยมีตัวตรวจวัด ไม่น้อยกว่า 4 จุด	✓		
3	สามารถควบคุมปริมาณการให้ สารอาหารพืช(ปุ๋ยน้ำ) ตาม ระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนด	✓		
4	สามารถควบคุมการให้น้ำโดย ผ่านชุดควบคุมและระบบไร้สาย	✓		
5	สามารถเก็บข้อมูลความชื้น การ รดน้ำ พร้อมบันทึกภาพรายวัน ไม่น้อยกว่า 30 วัน และแสดงค่า ความชื้นผ่านหน้าจอ	✓		

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน นวัตกรรมอัจฉริยะควบคุมการให้น้ำพืช จากสถานการณ์น้ำ แล้ง ดร. โอบาส ตรีพิศศักดิ์ <https://kas-uat.siamkubota.co.th/wp-content/uploads> สืบค้นวันที่ 28 พฤศจิกายน 2567
- [2] ยูเล็ม ULEM ย่อมาจาก Ultra Low Energy Mist โดย รศ.ดร ปองวิทย์ ศิริโพธิ์ เป็นผู้คิดค้นและพัฒนาขึ้นเป็นคนแรกของโลก <https://banhed4656.blogspot.com/p/ulem.html> สืบค้นวันที่ 28 พฤศจิกายน 2567
- [3] ความชื้นในดิน ธวัชชัย ณ นคร
[file:///C:/Users/chari/Downloads/supapornra,%7B\\$userGroup%7D,+THAIAgRes_1_3_9.pdf](file:///C:/Users/chari/Downloads/supapornra,%7B$userGroup%7D,+THAIAgRes_1_3_9.pdf) สืบค้นวันที่ 30 พฤศจิกายน 2567
- [4] ความชื้นในดินที่เสถียรส่งเสริมการเจริญเติบโตของหน่อและสร้างไมโครไบโอมในไรโซสเฟียร์ของราก
(Stable soil moisture promotes shoot performance and shapes the root-rhizosphere microbiome) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837742500068X> สืบค้นวันที่ 2 ธันวาคม 2567
- [5] สารอาหารทางใบในผัก (Foliar Nutrition in Vegetables) สืบค้นวันที่ 2 ธันวาคม 2567
https://www.researchgate.net/profile/Raj-Sheeja/publication/349501993_Foliar_nutrition_in_vegetables_A_review/links/6033be51a6fdcc37a84502f0/Foliar-nutrition-in-vegetables-A-review.pdf?origin=publication_detail&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmNpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmNpY2F0aW9uRG93bmxvYWQiLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiJ9fQ&__cf_chl_tk=z2eOqrFQWWVe.V4Hb61uR6TGt2KKdMQ6plAj01QyRoUE-1746067257-1.0.1.1-TWm.365cY3XTvm6KuD09xalUuhJDfnr2spLYwOuobxU
- [6] การเปิดปากใบในรอบวันของพรรณไม้ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศในเขตเมือง บริเวณอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สืบค้นวันที่ 2 ธันวาคม 2567
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/189897>
- [7] ผลของสิ่งแวดล้อมต่อการเปิดปิดปากสืบค้นวันที่ 2 มกราคม 2568
http://sutir.sut.ac.th:8080/jsui/bitstream/123456789/345/1/OTOP49_22.pdf

8. เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [8] การให้ปุ๋ยทางใบในพืช (Foliar Fertilization in Plants) สืบค้นวันที่ 2 มกราคม 2568 <https://fabianseed.com/wp-content/uploads/2023/03/Journal-of-Soil-and-Plant-Nutrition-Effects-of-Foliar-Fertilization-a-Review-Sept.2020.pdf>
- [9] งานวิจัย: การพัฒนาแปลงผักกาดพื้นเพื่อการผลิตผักคุณภาพ สืบค้นวันที่ 2 มกราคม 2568 ที่มา กิตติ อินทรานนท์. (2548). ภายหลังศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.11.00 29/04/68
- [10] งานวิจัย: โรคพืชตระกูลกะหล่ำที่สำคัญและแนวทางการจัดการแบบบูรณาการ สืบค้นวันที่ 10 มกราคม 2568 ที่มา <https://www.ourkhungbangkachao.com/Uploads/articlesA3.pdf>
- [11] งานวิจัย: ผลของเวลาการให้น้ำต่อการใช้น้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และผลผลิตของถั่ว สืบค้นวันที่ 10 มกราคม 2568 ที่มา https://jsw.um.ac.ir/article_37989.html?lang=en

ลงชื่อ..... (นักศึกษา)
 ลงชื่อ..... (นักศึกษา)
 ลงชื่อ..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)