

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติสำหรับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร Design and Development of an Automatic Humidity Control System for *Andrographis paniculata* Herbs

ณรงค์ศักดิ์ สอนสุภาพ^{1,2} ชีรภัทร อนุชาติ¹ อารีรัตน์ ดาวงษา¹ และ ณัฐวุฒิ มาลีชัย^{1*}

Narongsak Sonsuphap^{1,2} Teerapat Anuchart¹ Areerat Dawongsa¹ and Nattawoot Maleelai^{1*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

²สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย 30000

¹Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University,
Loei Province, Thailand 42000

²Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), Nakhon Ratchasima Province, Thailand 30000

*Corresponding author E-mail: nmaleelai@gmail.com

Received 12 February 2025, Accepted 15 May 2025, Published 11 June 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติสำหรับการเพาะปลูกสมุนไพรฟ้าทะลายโจร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูอิโน ควบคุมระบบให้น้ำแบบหยดผ่านเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและอากาศ การทดสอบระบบแบ่งออกเป็นสองระยะ ได้แก่ การทดลองในตู้ปลูกผักและการปลูกในแปลงจริง โดยสุ่มกำหนดค่าความชื้นในดินที่ระดับร้อยละ 24 22 และ 20 ตามลำดับ เทียบกับแปลงให้น้ำแบบทั่วไป ระบบสามารถควบคุมค่าความชื้นในดินได้แม่นยำตามที่ตั้งไว้ และมีการสอบเทียบเซนเซอร์เพื่อเพิ่มความถูกต้อง ผลการวิเคราะห์พบว่าแปลงที่ควบคุมความชื้นเฉลี่ยที่ร้อยละ 22 ให้ผลการเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจรดีที่สุด โดยมีความยาวลำต้นเฉลี่ย 15.6 เซนติเมตร และจำนวนใบเฉลี่ย 13.9 ใบ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสมุนไพร

คำสำคัญ: ระบบควบคุมความชื้น ฟ้าทะลายโจร อาร์ดูอิโน เซนเซอร์วัดความชื้น ระบบให้น้ำแบบหยด

ABSTRACT

This research aimed to design and develop an automatic humidity control system for the cultivation of *Andrographis paniculata* using Arduino microcontrollers. The system operated a drip irrigation mechanism based on data from soil and air moisture sensors. Two experimental stages were conducted: one in a plant cultivation cabinet and another in an actual plot, using preset soil moisture levels of 24%, 22%, and 20%, along with a control plot using conventional watering. Sensor calibration was performed to enhance measurement accuracy. The system maintained soil moisture effectively at the designated levels. Results showed that the plot with 22% soil moisture yielded the best plant growth, with an average stem height of 15.6 cm and an average of 13.9 leaves per plant. These findings confirm the effectiveness of the developed system in supporting medicinal herb cultivation.

Keywords: Humidity Control System, *Andrographis paniculata*, Arduino, Soil Moisture Sensor, Drip Irrigation

บทนำ

ฟ้าทะลายโจร มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees. จัดเป็นสมุนไพรไทยที่มีรสขม ปัจจุบันมีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งเป็นยาสามัญประจำบ้าน และมีสรรพคุณในการลดไข้ แก้ท้องเสีย ลดอาการคออักเสบ (เมทินี, อมร และปิตักญญ์, 2562) และพบว่าสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร ชื่อสารแอนโดรกราโฟไลด์ (Andrographolide) มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อและยับยั้งการแบ่งตัวของไวรัสแต่ไม่มีฤทธิ์ป้องกันเซลล์จากการติดเชื้อโควิด-19 (ดารารัตน์ และคณะ, 2564) ฟ้าทะลายโจรมีความต้องการน้ำอย่างสม่ำเสมอและพอเพียง ตั้งแต่ช่วงเพาะต้นอ่อนไปจนถึงช่วงลงแปลงดินและเก็บเกี่ยว ในช่วงที่มีแดดจัดหรือหน้าร้อนควรรดน้ำ 2 ครั้งต่อวัน ทั้งเช้าและเย็น หากมีแดดไม่จัดมาก รดน้ำวันละครั้งเฉพาะช่วงเย็นก็ได้ เมื่อต้นอายุประมาณ 2 เดือนสามารถลดการให้น้ำได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564)

ปัจจุบันมีการสร้างระบบรดน้ำอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลอาร์ดิวโน เพื่อประมวผลในการตรวจสอบระดับความชื้นในดิน เพื่อส่งคำสั่งไปยังวาล์วน้ำไฟฟ้า ให้เปิด-ปิด ตามที่ตรวจสอบระดับความชื้นของเซ็นเซอร์ เพื่อให้พืชได้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม และช่วยประหยัดแรงงาน รวมทั้งประหยัดระยะเวลาในการรดน้ำ (นราธิป และธนาพัฒน์, 2559) และในเขตการเกษตรขนาดใหญ่ก็ได้มีการทดสอบและพัฒนาระบบให้น้ำแบบหยดสำหรับไร่ย่อยนอกเขตชลประทานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นการทดสอบการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดแบบเทป พบว่า เมื่อวัดจากปริมาณผลผลิต การให้น้ำหยดแบบเทปให้ผลผลิตดีกว่าการให้น้ำแบบทั่วไป (นาวิ และคณะ, 2556) ในงานด้านการทดลองเพาะปลูกเพื่อหาค่าความชื้นที่เหมาะสมได้มีการทดลองปลูกผักกวางตุ้งด้วยการควบคุมปริมาณความชื้นในดินจากการรดน้ำแบบหยดให้แตกต่างกันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ให้ผลที่น่าสนใจคือที่ค่าความชื้นในดินร้อยละ 15 โดยมวล จะทำให้ผักเติบโตมีมวลมากที่สุดคือร้อยละ 27 เทียบกับมวลผักรดน้ำปกติ แต่ถ้าเพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 18 จะได้มวลผักเพิ่มเพียงร้อยละ 2 (กาญจนา และคณะ, 2564) นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติในเขตเพาะปลูกที่อยู่ห่างไกลได้อีกด้วย (ปริชา และคณะ, 2557) หรือการนำระบบรดน้ำอัตโนมัติไปใช้กับการปลูกพืชแนวตั้งก็ยังสามารถควบคุมการให้น้ำแบบหยดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ (วิฑริช และสนั่น, 2562)

ผู้วิจัยต้องการศึกษาการออกแบบและสร้างระบบรดน้ำที่สามารถควบคุมความชื้นอัตโนมัติให้แก่ต้นฟ้าทะลายโจร ให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการสนับสนุนการเพาะปลูกให้ใช้ในการช่วยลดอาการบางอย่างในผู้ติดเชื้อโควิดที่มีอาการไม่รุนแรง ดังนั้นจึงสนใจการเจริญเติบโตที่วัดจากความสูงของต้นและจำนวนใบ โดยขั้นตอนการออกแบบจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino (อาร์ดิวโน) เป็นตัวรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และส่งคำสั่งให้ปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์วทำงาน เพื่อที่จะควบคุมความชื้นในดิน ให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรแบบเรียลไทม์ ทำให้จำเป็นต้องพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลส่งเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ และเวลา สิ่งที่สำคัญอีกประการคือความถูกต้องและแม่นยำของเซ็นเซอร์ จึงต้องสอบเทียบหัววัดเซ็นเซอร์ให้ถูกต้องกับการทดลองวัดจากตัวอย่างดินที่ปรับค่าความชื้นในดินให้เป็น 5 ระดับคือร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยมวล ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปใช้ศึกษาหาร้อยละความชื้นในดินที่ต้นฟ้าทะลายโจรต้องการได้ โดยระบบที่ออกแบบและพัฒนามาจะนำไปใช้กับการเพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรในตู้ปลูกเพราะจะสามารถควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในตู้ได้อย่างแม่นยำและไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวนได้ จากนั้นจะนำระบบไปใช้กับการปลูกในแปลงดินจริง เนื่องจากความต้องการน้ำของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรไม่เท่ากันในแต่ละระยะการปลูก จึงต้องแบ่งการศึกษาหาค่าความชื้นในดินที่เหมาะสมเป็นสองระยะคือ ระยะการเพาะต้นอ่อนและระยะการปลูกลงแปลงดิน โดยทำการสุ่มกำหนดช่วงความชื้นเป็น 3 ระดับ เพื่อหาระดับร้อยละความชื้นในดินที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดของทั้งสองระยะของการปลูก โดยผู้วิจัยหวังว่าระบบนี้จะช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรในพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

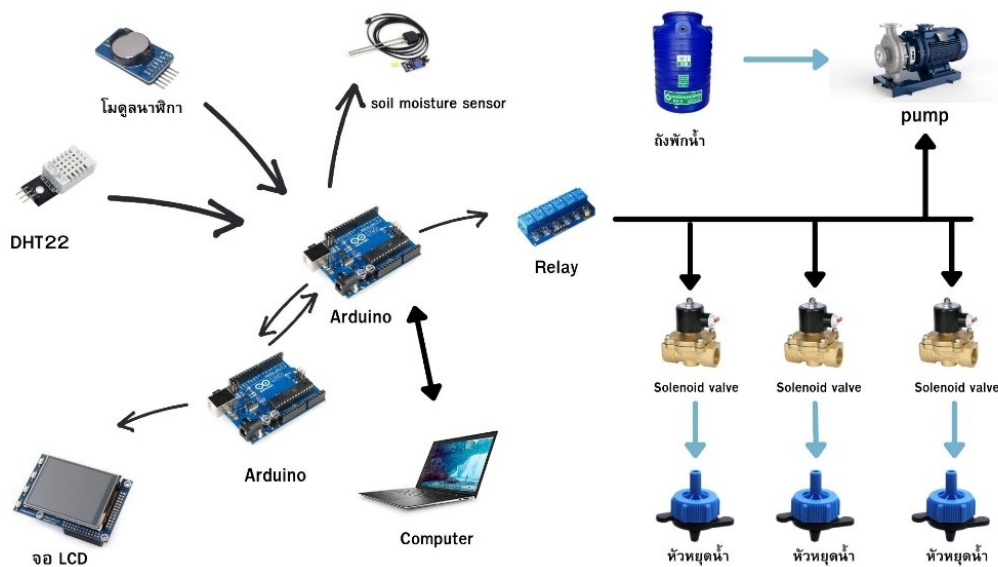
วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำแก่ต้นฟ้าทะลายโจร โดยออกแบบระบบให้น้ำในตู้เพาะเลี้ยงต้นอ่อน และออกแบบระบบให้น้ำในแปลงปลูกจริง ซึ่งจะเป็นการวัดค่าความชื้นในดินและควบคุมการให้น้ำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวนสองตัวที่สื่อสารระหว่างกัน การออกแบบจะเน้นความถูกต้องแม่นยำของหัววัดความชื้นในดินจึงจำเป็นต้องนำมาสอบเทียบหัววัดทั้งหมดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าความชื้นในดินที่มีค่าเท่าใดต้นฟ้าทะลายโจรจึงจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยการวัดจากความสูงและจำนวนใบ

1) การออกแบบระบบและแปลงผัก

ต้นฟ้าทะลายโจรมีความต้องการน้ำในปริมาณที่สม่ำเสมอและต้องการสภาวะอากาศที่เหมาะสมตลอดช่วงระยะเวลาการเติบโต ดังนั้นจึงออกแบบระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติเพื่อให้ต้นฟ้าทะลายโจรได้รับความชื้นที่เพียงพอ ในระบบจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาร์ดูโนจำนวนสองตัวนำมาสื่อสารกัน โดยตัวที่หนึ่งใช้ในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ความชื้นในดินและอากาศ เมื่อความชื้นในดินมีค่าน้อยตามเงื่อนไขจะสั่งให้ระบบน้ำหยุดทำงาน นอกจากนี้ยังเพิ่มระบบเวลาเข้ามาเพื่อทำการส่งข้อมูลค่าเวลา ค่าความชื้นในดิน ค่าความชื้นในอากาศ และค่าอุณหภูมิอากาศ โดยส่งไปยังอาร์ดูโนตัวที่สองเพื่อแสดงผลออกจอแสดงผลทุกค่า และส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดสอบระบบ โดยการเชื่อมต่อของระบบไปเป็นตามภาพที่ 1 และมีเงื่อนไขในการทำงานเป็นไปตามตารางที่ 1

การออกแบบแปลงปลูกแต่ละแปลงเป็นแนวยาวเรียงกัน 5 แปลง ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 450 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร ซึ่ง 3 แปลงแรกจะมีการติดตั้งระบบน้ำหยุด โดยจะให้หัวน้ำหยุดอยู่ใกล้ต้นผัก และมีเซนเซอร์วัดความชื้นดิน แปลงละ 3 ตัว เมื่อความชื้นในดินต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้รีเลย์เปิดการทำงานของระบบน้ำหยุด เพื่อให้น้ำแก่พืช และเมื่อความชื้นในดินถึงค่าที่กำหนดไว้ รีเลย์จะสั่งให้ปั๊มน้ำหยุดการให้น้ำแก่พืช



ภาพที่ 1 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติสำหรับต้นฟ้าทะลายโจร

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำแบบหยด

Condition of irrigation	Solenoid valve number	Pump	Number of waterings	RH data			
				9:00AM	12:00PM	3:00PM	Real time
แปลง 1 RH< 24 %	Soil 1 On	On	keep	keep	keep	keep	show
แปลง 1 RH> 24 %	Soil 1 Off	Off	No	keep	keep	keep	show
แปลง 2 RH< 22 %	Soil 2 On	On	keep	keep	keep	keep	show
แปลง 2 RH> 22 %	Soil 2 Off	Off	No	keep	keep	keep	show
แปลง 3 RH< 20 %	Soil 3 On	On	keep	keep	keep	keep	show
แปลง 3 RH> 20 %	Soil 3 Off	Off	No	keep	keep	keep	show
แปลง 4 Time = 7:00AM	Soil 4 On	On	keep	keep	keep	keep	show
แปลง 4 Time ≠ 7:00AM	Soil 4 Off	Off	No	keep	keep	keep	show
แปลง 5	Off	Off	No	keep	keep	keep	show

2) การสร้างและทดสอบระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติ

การสร้างระบบควบคุมได้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาร์ดูอิโนมาใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินคือ Soil Moisture Sensor มีการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศคือ DHT22 ส่งข้อมูลกลับมาเพื่อประมวลผลตามเงื่อนไข ถ้าค่าความชื้นในดินต่ำกว่าที่ตั้งค่าจะสั่งให้รีเลย์ตัวที่หนึ่งทำงานให้อยู่ในสถานะ ON เพื่ออนุญาตให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังปั๊มน้ำเพื่อให้งาน (ปั๊มน้ำมีความดัน 12 bar กระแส 6A แรงดัน 12V) และหลังจากผ่านไปประมาณ 5 วินาทีถึงสั่งให้รีเลย์ตัวที่สองทำงานเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไปควบคุมให้โซลินอยด์วาล์วทำงานปล่อยให้น้ำไหลลงไปยังท่อลำเลียง PE แล้วกลายเป็นน้ำหยดต่อไป โดยรีเลย์ตัวที่ 2 3 และ 4 จะคอยควบคุมโซลินอยด์วาล์วของชุดแปลงผักฟ้าทะเลสาบโจรที่ต้องการควบคุมค่าความชื้นในดินให้อยู่ที่ร้อยละ 24 22 และ 20 ตามลำดับ และจากค่าเวลาที่ส่งมาจากโมดูลนาฬิกา (DS3231 Module) จะถูกนำมาเข้าเงื่อนไขในการส่งค่าที่สำคัญไปยังอาร์ดูอิโนตัวที่สองเพื่อให้ส่งค่าออกมายังจอโมดูลจอแสดงผลแบบสีขนาด 3.5 นิ้ว โดยข้อมูลที่ส่งไปจะมีค่าความชื้นในดินของแปลงผักที่ 1 2 3 4 และ แปลงควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ โดยแสดงค่าวันละ 3 ครั้ง คือเวลา 09.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. แต่ในช่วงทดสอบระบบจะดำเนินการทดลองในตู้ปลูกผักเพื่อให้ง่ายในการดูแลผักและทดสอบระบบ โดยจะวัดค่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวัดค่าทุกหนึ่งนาที่แล้วส่งค่ามายังคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลจะเข้าไปที่โปรแกรม Visual Studio ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถบันทึกค่าเป็นไฟล์ .xlsx ได้ทุกชั่วโมงเพื่อป้องกันไฟดับ วงจรควบคุมที่สร้างเสร็จ และตู้ปลูกผักทดสอบแสดงในภาพที่ 2

ในส่วนระบบวัดค่าความชื้นในดินที่สร้างเสร็จจะถูกนำไปสอบเทียบค่าความถูกต้องโดยการนำไปวัดค่าเทียบกับดินที่ถูกเตรียมให้มีค่าความชื้นในดินที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือร้อยละ 0 5 10 15 20 โดยมวล ตามลำดับ โดยเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยมวลของมวลน้ำในดินที่เทียบกับมวลดินแห้ง ดังภาพที่ 3(ก) ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินสามารถเตรียมโดยการนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยนำออกมาชั่ง 2 ครั้งแล้วมวลไม่เปลี่ยนไปจากเดิมจึงถือว่าตัวอย่างมีความชื้นเป็นร้อยละ 0 จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปเพื่อให้ได้ค่าความชื้นในดินตามที่ต้องการ โดยเติมน้ำลงไปตามสมการ (1)

$$M_w = M_p \times RH_p \quad (1)$$



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น (ก) วงจรของระบบควบคุม และ (ข) ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติที่กำลังทดสอบในตู้ปลูกผัก

โดยค่า RH_p คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยมวลที่ต้องการ และต้องหาค่า M_p หรือมวลของดินที่แห้งสนิท (หน่วยกรัม) จากนั้นจึงคำนวณหาค่า M_w หรือมวลของน้ำ (หน่วยกรัม) ที่ต้องเติมลงไปดินตัวอย่าง เมื่อทำการวัดค่าความชื้นในดินด้วยระบบที่สร้างขึ้นแล้วจึงนำค่าที่วัดได้ไปทำเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจริงเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากระบบ หลังจากนั้นจึงทำเทียบค่าด้วยสมการเส้นตรงเพื่อหาสมการสอบเทียบของแต่ละหัวเซนเซอร์ แล้วนำสมการไปใช้ในการปรับค่าให้ถูกต้องด้วยการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแรก เพื่อที่จะได้วัดและแสดงค่าได้ถูกต้อง

ในส่วนของระบบวัดค่าความชื้นในอากาศจะใช้การสอบเทียบกับเครื่องวัดค่าความชื้นมาตรฐานคือ เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบพกพาพร้อมหัววัดในตัว รุ่น Testo 625 ดังภาพที่ 3(ข) แล้วนำค่าที่วัดไปทำกราฟเพื่อเปรียบเทียบและหาสมการสอบเทียบเพื่อใช้ในการปรับแก้ในการเขียนโปรแกรมค่าความชื้นในดิน



(ก)



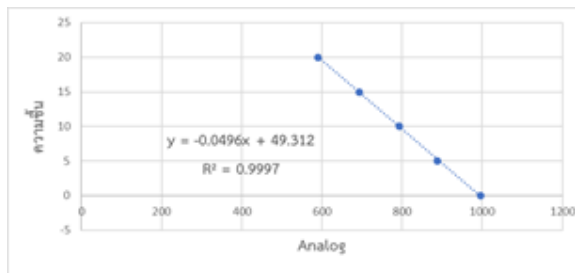
(ข)

ภาพที่ 3 การสอบเทียบค่าของเซนเซอร์ (ก) การวัดค่าความชื้นในดินเพื่อสอบเทียบ และ (ข) การวัดค่าความชื้นในอากาศเพื่อสอบเทียบ

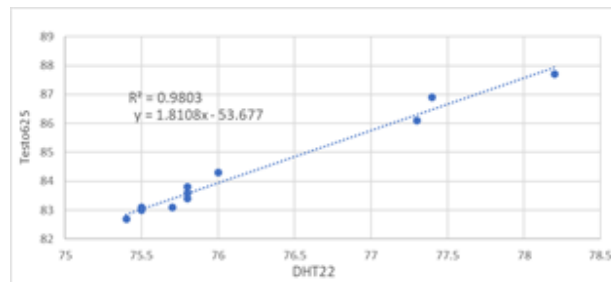
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1) ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ของระบบให้น้ำอัตโนมัติ

เมื่อนำเซนเซอร์วัดความชื้นในดินจำนวน 15 ตัว มาทำการวัดค่าความชื้นในดินจากตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ให้มีค่าความชื้นในดิน 5 ระดับคือร้อยละ 0 5 10 15 20 โดยมวล ได้ผลตัวอย่างการสอบเทียบดังภาพที่ 4(ก) และได้ผลการสอบเทียบการวัดค่าเปรียบเทียบกับกันระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ (DHT22) กับ เครื่องวัดค่าความชื้นมาตรฐาน (Testo625) ดังภาพที่ 4(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ผลการสอบเทียบค่าของเซนเซอร์ (ก) ผลการสอบเทียบห้วเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน และ (ข) ผลการสอบเทียบห้วเซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

จากตัวอย่างกราฟแสดงการสอบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดินในภาพที่ 4 (ก) จะได้สมการเส้นตรงสำหรับนำไปเขียนโปรแกรมปรับค่าแสดงได้ดังสมการ (2)

$$Y = -0.049X + 49.312 \quad (2)$$

เมื่อค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินส่งมาเป็นค่า Analog จะถูกแทนค่าลงไปในสมการในค่าตัวแปร X จากนั้นผลลัพธ์จะออกมาเป็นค่าตัวแปร Y ซึ่งจะกลายเป็นค่าความชื้นในดินที่ใกล้เคียงค่าที่ถูกต้องที่สุดของเซนเซอร์ตัวนี้ และในทำนองเดียวกัน กรณีความชื้นในอากาศของภาพที่ 4 (ข) ก็จะได้สมการสอบเทียบแสดงได้ดังสมการ (3)

$$Y = 1.8108X - 53.677 \quad (3)$$

โดยค่า X จะเป็นค่าที่ได้มาจากเซนเซอร์ DHT22 แล้วจะถูกแทนในสมการสอบเทียบเพื่อแปลงให้เป็น Y ซึ่งคือค่าความชื้นในอากาศที่ถูกต้องที่สุดของเซนเซอร์นี้

เมื่อนำสมการที่ (1) และ (2) ไปเขียนในโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์จะช่วยให้เมื่อรับค่าจากเซนเซอร์มาเป็นค่า Analog จะแปลงในสมการให้เป็นค่าความชื้นที่ใกล้เคียงค่าที่ถูกต้องได้มากขึ้น โดยเซนเซอร์แต่ละตัวจะมีความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบทุกเซนเซอร์ ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังตารางที่ 2

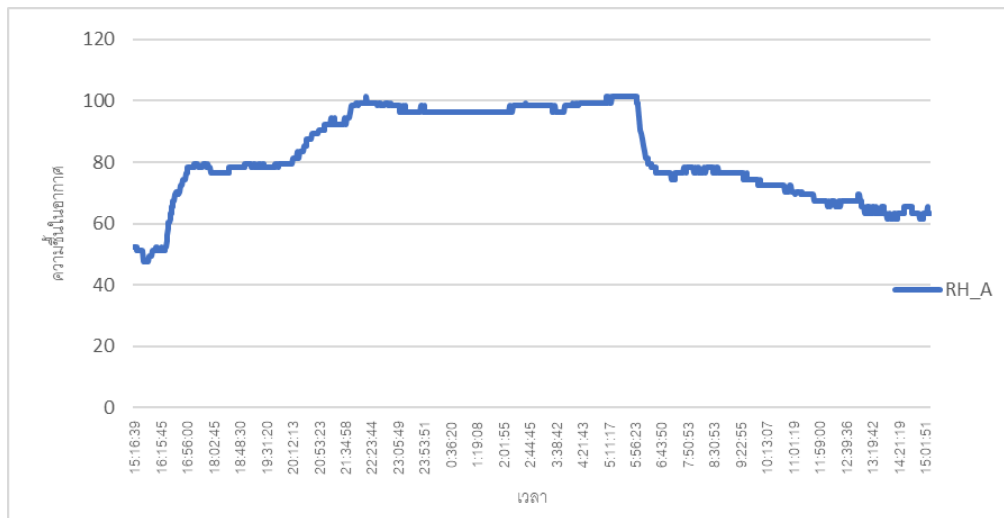
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นในดินของเซนเซอร์ก่อนและหลังการสอบเทียบ

หมายเลข เซนเซอร์	สมการสอบเทียบ	ค่าความชื้นในดินวัดด้วยเซนเซอร์		ค่าความชื้นใน ดินตัวอย่าง
		ก่อนสอบเทียบ (%)	หลังสอบเทียบ (%)	
sensor1	$y = -0.05x + 49.978$	14.5	15.4	15
sensor2	$y = -0.0496x + 49.312$	14.4	14.9	15
sensor3	$y = -0.0498x + 49.827$	13.1	14.1	15
sensor4	$y = -0.0432x + 43.913$	17.3	16.5	15
sensor5	$y = -0.0434x + 44.586$	17.9	15.0	15
sensor6	$y = -0.0496x + 50.192$	16.4	14.9	15
sensor7	$y = -0.0473x + 49.263$	15.6	14.8	15
sensor8	$y = -0.0463x + 47.326$	16.5	14.5	15
sensor9	$y = -0.0446x + 46.917$	14.8	16.4	15
sensor10	$y = -0.0482x + 49.041$	13.4	14.7	15
sensor11	$y = -0.0448x + 45.657$	18.8	15.9	15
sensor12	$y = -0.043x + 44.227$	15.5	15.4	15
sensor13	$y = -0.0419x + 43.979$	19.3	16.6	15
sensor14	$y = -0.0418x + 42.616$	13.0	14.2	15
sensor15	$y = -0.0427x + 43.093$	17.3	16.0	15

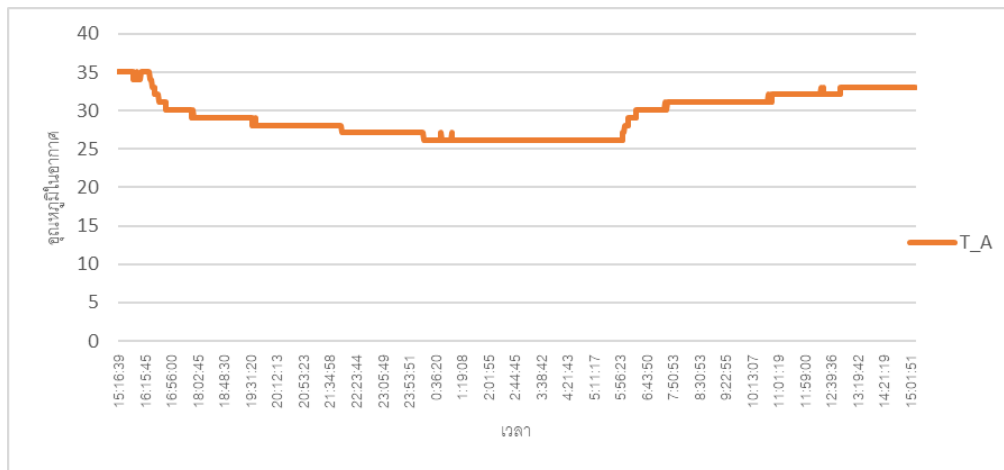
2) ผลการทดสอบระบบการให้น้ำหยดอัตโนมัติในตู้ปลูกผัก 24 ชั่วโมง

ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบน้ำหยดอัตโนมัติในตู้ปลูกผักเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Visual Studio ที่พัฒนาขึ้นโดยเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินของเซนเซอร์ทั้ง 15 ตัว ซึ่งจะเก็บเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละแปลง โดยแปลงที่ 1 2 และ 3 คือแปลงที่ใช้ระบบน้ำหยดอัตโนมัติ เนื่องจากยังไม่ทราบค่าความชื้นในดินที่ต้นฟ้าทะลายโจรต้องการใช้ในการเจริญเติบโต จึงสุ่มกำหนดค่าความชื้นไว้ที่ร้อยละ 24 22 และ 30 ส่วนแปลงที่ 4 เป็นแปลงให้น้ำแบบทั่วไป และแปลงที่ 5 เป็นแปลงควบคุมหรือสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และดูการทำงานของระบบน้ำหยดอัตโนมัติว่าสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ โดยได้ข้อมูลดังภาพที่ 5 - 7

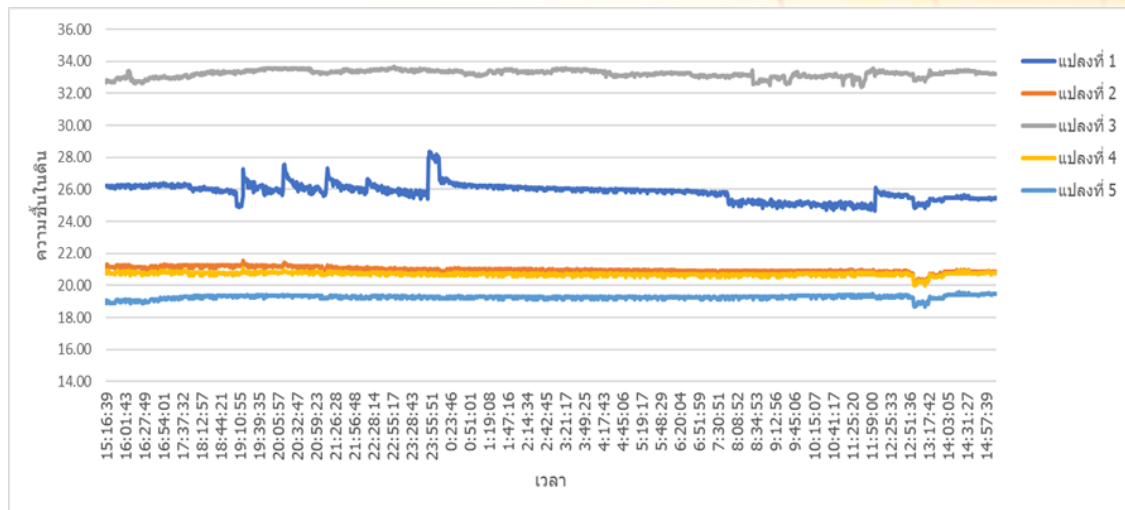
จากการทดสอบระบบและวัดค่าเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าระบบทำงานได้ดี สามารถควบคุมค่าความชื้นในดินให้เป็นไปตามเงื่อนไขได้ถูกต้อง แต่ในช่วงเวลากลางคืนระหว่าง 21:00 – 6:00น ค่าอุณหภูมิของอากาศลดลงจาก 28°C เป็น 26°C และค่าความชื้นในอากาศได้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 80 เป็น 100 จึงส่งผลให้ค่าความชื้นในดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากปรากฏการณ์ธรรมชาติในเรื่องความอึดตัวของน้ำในอากาศ แต่เมื่อถึงเวลาเช้าค่าความชื้นในอากาศลดลงส่งผลให้ค่าความชื้นในดินของทุกแปลงสามารถปล่อยความชื้นจากผิวดินออกสู่อากาศได้ ทำให้ค่าความชื้นในดินกลับมาได้เท่าเดิม จากผลการทดลองนี้สามารถยืนยันได้ว่าระบบสามารถควบคุมความชื้นในดินได้จริง และสามารถนำไปใช้กับการเพาะต้นอ่อนของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรได้



ภาพที่ 5 ค่าความชื้นในดินเฉลี่ยทั้ง 5 แปลงในตู้ปลูกผัก



ภาพที่ 6 ค่าความชื้นอากาศในตู้ปลูกผัก

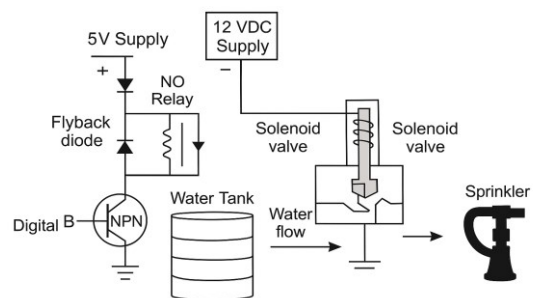


ภาพที่ 7 ค่าอุณหภูมิอากาศในตู้ปลูกผัก

ในช่วงที่ทำการสร้างและทดสอบระบบได้พบว่าระบบได้ทำงานผิดปกติ จึงได้ทำการตรวจสอบแล้วพบสาเหตุว่าอุปกรณ์ในระบบ เช่น พัดลม ปั้มน้ำ และ Solenoid valve เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) เข้ามาในระบบ ดังภาพที่ 8(ก) ส่งผลต่อการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ho et al. (2003) ที่พบว่า EMI จากปั้มน้ำสามารถทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดปกติได้ ซึ่งสามารถลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ด้วยการต่อวงจรไดโอดระบายกระแสย้อนกลับ (Flyback Diode Protection Circuit) เข้าไปในอุปกรณ์ชนิด Solenoid valve และ Relay ดังภาพ 8(ข) นอกจากนี้ปัญหาการกัดกร่อนของขาเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ทำจากโลหะ ซึ่งนำไปสู่การอ่านค่าที่ผิดพลาด ก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Saleh et al. (2016) ที่พบว่าเซนเซอร์แบบ Capacitive สามารถเกิดการกัดกร่อนได้หากไม่ได้รับการป้องกันอย่างเหมาะสม



(ก)



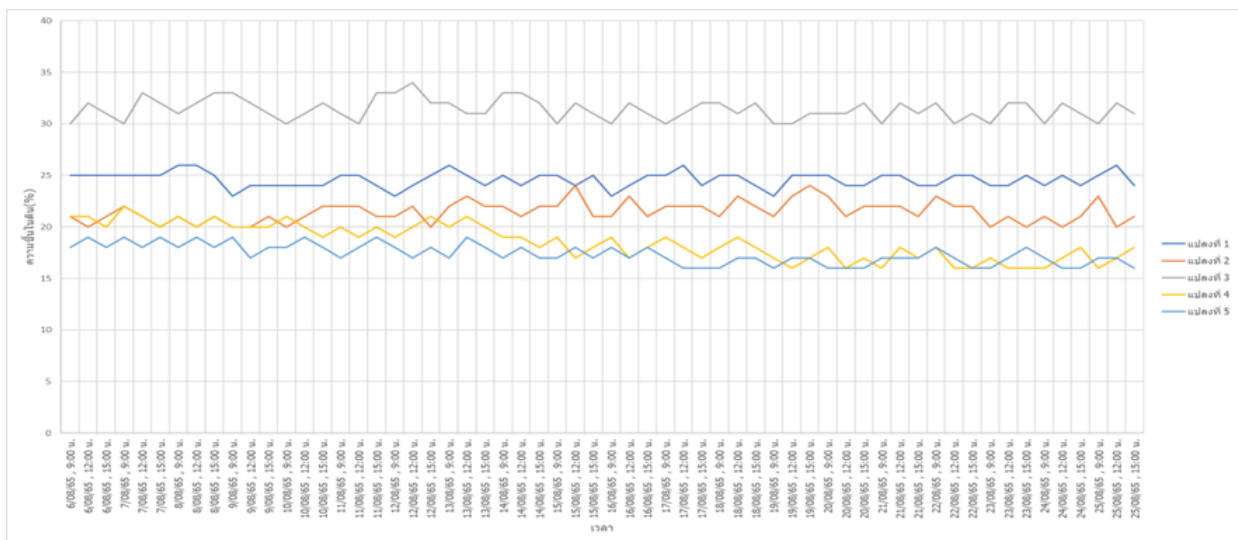
(ข)

ภาพที่ 8 สัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบ (ก) ภาพสัญญาณรบกวน และ (ข) ภาพวงจรลดสัญญาณรบกวน

3) ทดสอบระบบโดยเก็บข้อมูลการทำงานของระบบน้ำหยดอัตโนมัติในตู้ปลูกผัก 20 วัน

เพื่อความมั่นใจว่าระบบจะสามารถนำออกไปใช้งานได้จริงกับแปลงปลูก จึงต้องนำระบบมาทดลองใช้งานจริงกับการให้น้ำหยดในตู้ปลูกผักของการเพาะต้นอ่อนเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยให้ระบบทำงานติดต่อกันโดยไม่ปิดระบบ และทำการแสดงค่าความชื้นในดินเฉลี่ยของแต่ละชุดแปลงเป็นแบบเรียลไทม์ โดยเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละแปลงทั้ง 5 แปลง โดย 3 แปลงแรกจะใช้ระบบน้ำหยดที่กำหนดค่าความชื้นดินที่ร้อยละ 24 22 และ 30 ตามลำดับ แปลงที่ 4 ให้น้ำแบบทั่วไป และแปลงที่ 5 เป็นแปลงความชื้นสิ่งแวดล้อม รวมเก็บค่าอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ วันละ 3 ครั้ง คือเวลา 09.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. ได้ข้อมูลดังภาพที่ 9

หลังจากทดสอบระบบด้วยการใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถให้น้ำหยดและควบคุมค่าความชื้นในดินได้อย่างถูกต้องตามที่ตั้งค่าไว้คือ ชุดแปลงปลูกที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 25 ชุดแปลงปลูกที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 22 ชุดแปลงปลูกที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 32 แปลงปลูกที่ 4 แบบให้น้ำทั่วไปไม่มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 18 โดยมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และชุดแปลงปลูกที่ 5 แปลงความชื้นสิ่งแวดล้อมค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 17 ซึ่งในช่วงการทดสอบระบบได้ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของสมุนไพรพาสลางใจไปได้ด้วย



ภาพที่ 9 ค่าความชื้นในดินเฉลี่ยทั้ง 5 แปลง ที่ปลูกในตู้ปลูกผักในระยะเวลา 20 วัน

4) ทดสอบระบบการให้น้ำหยดอัตโนมัติในแปลงจริง

ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบน้ำหยดอัตโนมัติในแปลงจริง 14 วัน โดยเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละแปลงทั้ง 5 แปลง โดย 3 แปลงแรกจะใช้ระบบน้ำหยดที่กำหนดค่าความชื้นดินที่ร้อยละ 24 22 และ 20 ตามลำดับ แปลงที่ 4 ให้น้ำแบบทั่วไป และแปลงที่ 5 เป็นแปลงความชื้นสิ่งแวดล้อม รวมเก็บค่าอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ วันละ 3 ครั้ง คือเวลา 09.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. ได้ผลการเก็บข้อมูลต่างๆ ดังภาพที่ 10 - 12

จากการทดสอบการทำงานของระบบการให้น้ำหยดแบบอัตโนมัติ เป็นเวลา 14 วัน จากกราฟพบว่าค่าความชื้นในดินเฉลี่ยของแปลงพาสลางใจที่ใช้ระบบ คือ แปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 จะมีค่าความชื้นที่สูงอยู่ในระดับตามเงื่อนไขและจะไม่ลดลงกว่าระดับเงื่อนไขที่ตั้งไว้ และแปลงไม่ใช้ระบบคือแปลงที่ 4 ที่ทำการรดน้ำด้วยมือจะมีค่าความชื้นมากหรือน้อยเป็นไปตามปริมาณการให้น้ำ และแปลงที่ 5 คือแปลงสิ่งแวดล้อมจะมีค่าความชื้นขึ้นขึ้นกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละวัน แต่ในช่วงวันที่ 12 ถึง 16 กันยายน 2565 มีค่าความชื้นลดลงต่อเนื่อง เนื่องจากกำลังเข้าสู่ฤดูหนาวที่ความชื้นในอากาศมีค่าน้อยทำให้ความชื้นในดินของแปลงสิ่งแวดล้อมต้องสูญเสียไปให้แก่อากาศ โดยแต่ละแปลงมีค่าความชื้นสูงสุดและต่ำสุดคือ

แปลงที่ 1 จะมีค่าความชื้นในดินมากที่สุดคือร้อยละ 24 และมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 20

แปลงที่ 2 จะมีค่าความชื้นในดินมากที่สุดคือร้อยละ 22 และมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 18

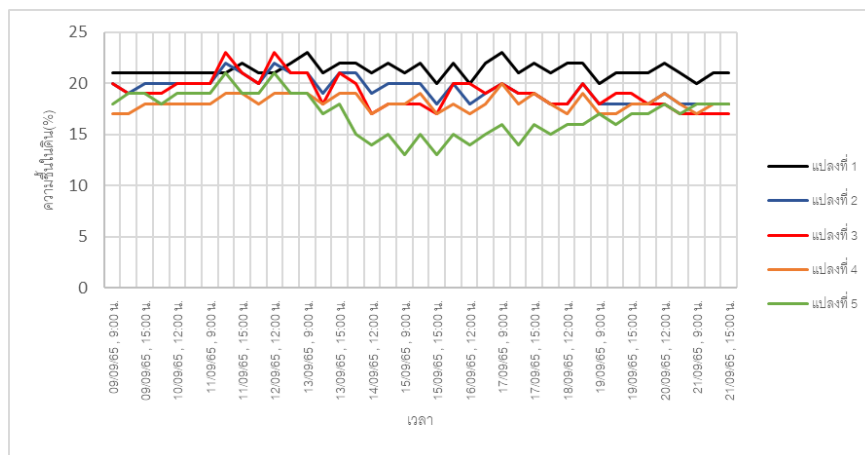
แปลงที่ 3 จะมีค่าความชื้นในดินมากที่สุดคือร้อยละ 23 และมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 17

แปลงที่ 4 รดน้ำด้วยมือ จะมีค่าความชื้นในดินมากที่สุดคือร้อยละ 20 และมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 17

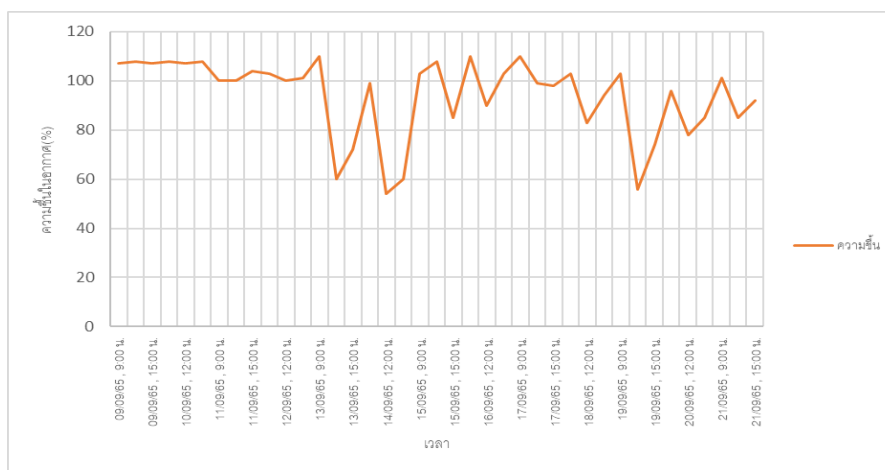
แปลงที่ 5 แปลงสิ่งแวดล้อม จะมีค่าความชื้นในดินมากที่สุดคือร้อยละ 21 และมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 13

ผลการควบคุมค่าความชื้นในดินของระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาความชื้นให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดช่วงการทดสอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferrarezi et al. (2015) และ Majumder et al. (2025) ที่พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการให้น้ำโดยอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งยังมีลักษณะแนวโน้มกราฟที่คล้ายคลึงกันในการรักษาความชื้นให้คงที่ใกล้เคียงค่าที่ตั้งไว้

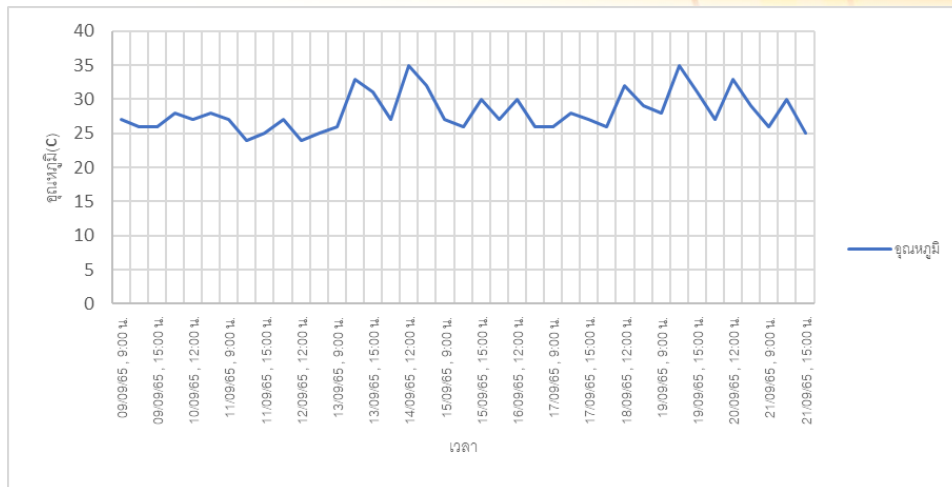
มีข้อสังเกตที่น่าสนใจคือในภาพที่ 10 มีค่าความชื้นในอากาศลดลงมาอยู่ที่ระดับร้อยละ 60 ถึง 3 ครั้ง เป็นเพราะว่ากำลังอยู่ในช่วงฤดูหนาวและในขณะเวลานั้นเป็นช่วงเวลาที่ยังมีพายุไต้ฝุ่นพัดเข้าถล่มพื้นที่จังหวัดเลย จึงทำให้อุณหภูมิของก้อนอากาศในบริเวณแปลงปลูกเพิ่มสูงขึ้นถึง 32-35°C ก้อนอากาศจะลอยตัวสูงขึ้นจนส่งผลให้ค่าความชื้นในอากาศลดลง



ภาพที่ 10 ค่าความชื้นในดินเฉลี่ยทั้ง 5 แปลง ที่ปลูกในแปลงจริง ในระยะเวลา 14 วัน



ภาพที่ 11 ค่าความชื้นในอากาศในบริเวณแปลงจริง ในระยะเวลา 14 วัน

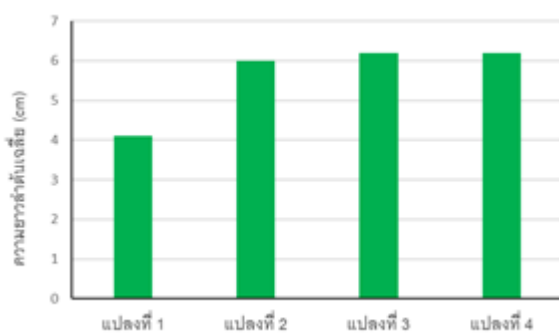


ภาพที่ 12 ค่าอุณหภูมิในอากาศในบริเวณแปลงจริง ในระยะเวลา 14 วัน

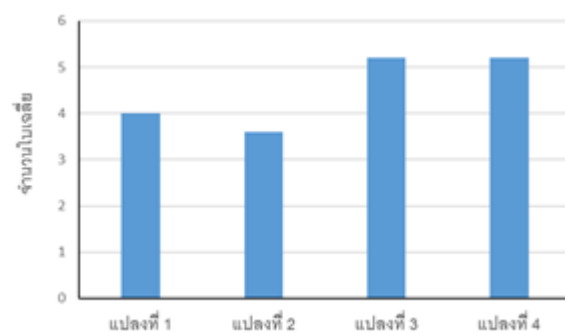
5) เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของพืชทะเลทรายระหว่างใช้ระบบและไม่ใช่ระบบน้ำหยดอัตโนมัติ

ในช่วงเริ่มต้นได้ใช้ระบบอัตโนมัติในการเพาะต้นกล้าในตู้ปลูกผัก ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบความยาวและจำนวนใบของสมุนไพรทะเลทรายระหว่างต้นที่ให้น้ำแบบระบบน้ำหยดอัตโนมัติและต้นที่ไม่ใช่ระบบน้ำหยดอัตโนมัติ โดยวิเคราะห์ความยาวลำต้นและจำนวนของใบของต้นพืชทะเลทรายเปรียบเทียบกันได้ข้อมูลดังภาพที่ 13

ในการทดลองปลูกได้ออกแบบให้แปลงปลูกที่ใช้ระบบน้ำหยดอัตโนมัติคือแปลงที่ 1 2 และ 3 โดยแปลงที่ 4 จะเป็นการให้น้ำแบบปกติ จากการวัดค่าความชื้นเฉลี่ยของชุดแปลงปลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 25 22 32 และ 18 ตามลำดับ โดยจากข้อมูลในภาพที่ 13(ก) แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกที่ 2 3 และ 4 มีความสูงของต้นกล้าใกล้เคียงกันคือ 6 เซนติเมตร และจากข้อมูลในภาพที่ 13(ข) แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกที่ 3 และ 4 มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกันคือประมาณ 5 ใบ แต่ทว่าทั้งค่าความสูงและจำนวนใบของต้นอ่อนอายุ 2 สัปดาห์นั้นแม้จะผ่านการให้น้ำหยดและแสงเทียม (สีม่วง) เป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน 20 วัน ก็จะมีค่าความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเท่าเดิมตั้งแต่เริ่มวัดค่า ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจ



(ก)

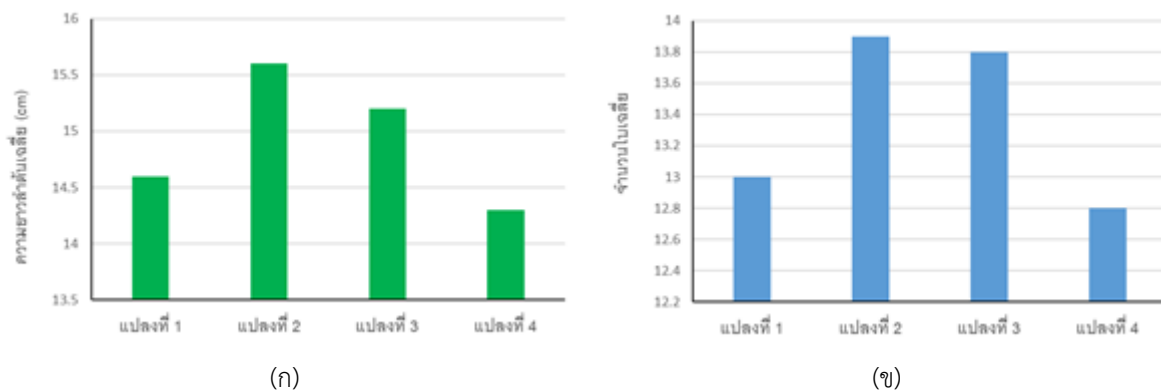


(ข)

ภาพที่ 13 ผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนพืชทะเลทรายที่ปลูกในตู้ปลูกผัก (ก) ความยาวลำต้นเฉลี่ย และ (ข) จำนวนใบเฉลี่ย

นำต้นกล้าอายุ 4 สัปดาห์นี้ลงปลูกยังแปลงดินจริง โดยได้เลือกใช้ค่าความชื้นที่ร้อยละ 30 เพราะว่าดินจะขึ้นจนเปลี่ยนสภาพเป็นดินโคลน

ในการปลูกลงแปลงดินจริงได้นำต้นกล้าเดิมมาสุ่มใหม่ โดยพยายามให้ความสูงเฉลี่ยของทุกแปลงมีความสูงโดยเฉลี่ยเท่ากันคือ 5.5 เซนติเมตร เมื่อนำต้นกล้าลงปลูกยังแปลงดินได้ใช้ระบบน้ำหยดอัตโนมัติในแปลงที่ 1 2 และ 3 โดยแปลงที่ 4 จะเป็นการให้น้ำแบบปกติเป็นระยะเวลา 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบความยาวและจำนวนใบของสมุนไพรรักช่ายที่ให้น้ำแบบระบบน้ำหยดอัตโนมัติและไม่ใช้ระบบน้ำหยดอัตโนมัติ โดยวิเคราะห์ความยาวลำต้นและจำนวนของใบของพืชสายพันธุ์ที่ใช้น้ำแบบน้ำหยดอัตโนมัติเปรียบเทียบกับความยาวลำต้นและจำนวนใบของพืชสายพันธุ์ที่ใช้วิธีรดน้ำธรรมดาว่าการรดน้ำแบบใดที่สามารถให้ผลผลิตได้ดีกว่า โดยได้ข้อมูลดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนพืชสายพันธุ์ที่ปลูกในแปลงดินจริง (ก) ความยาวลำต้นเฉลี่ย และ (ข) จำนวนใบเฉลี่ย

หลังจากใช้ระบบน้ำหยดอัตโนมัติกับแปลงที่ 1 2 และ 3 โดยควบคุมค่าความชื้นในดินให้อยู่ในระดับ ร้อยละ 24 22 และ 20 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับผลการรดน้ำด้วยมือในแปลงที่ 4 ได้ผลความแตกต่างของการเจริญเติบโตของสมุนไพรรักช่ายที่ปลูกอย่างชัดเจนโดยทั้ง 3 แปลงมีการเจริญเติบโตที่มากกว่าแปลงที่ 4 ทั้งหมด และแปลงที่มีผลการเจริญเติบโตสูงที่สุดคือแปลงที่ 2 ที่ควบคุมให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 22 ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าแปลงปลูกพืชสายพันธุ์ที่ควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ที่ร้อยละ 22 มีความยาวลำต้นเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 15.6 เซนติเมตร และจำนวนใบเฉลี่ย 13.9 ใบ ได้แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้น้ำแบบทั่วไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deshmukh et al. (2017) ซึ่งได้พัฒนาระบบให้น้ำโดยใช้ Arduino และตรวจพบว่าพืชที่ได้รับการรดน้ำแบบอัตโนมัติมีการเจริญเติบโตดีกว่าในแง่ของความสูงและใบเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในสภาพอากาศที่ความชื้นไม่คงที่ ระบบอัตโนมัติสามารถรักษาความชื้นให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้น้ำด้วยมือที่ขึ้นกับความสม่ำเสมอของผู้ปฏิบัติ

การทดลองได้แบ่งแปลงออกเป็นจำนวน 4 แปลง และ เปรียบเทียบความยาวต้นและจำนวนใบเมื่อใช้ระบบน้ำหยด กับวิธีรดน้ำแบบปกติ สรุปได้ว่า ระบบทำงานปกติ ผลการวิเคราะห์แปลงที่มีค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นมากที่สุดคือ แปลงที่ 2 มีค่า 15.6 เซนติเมตร และแปลงที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ แปลงที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 13.9 ใบ โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 22 สรุปได้ว่าการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถทำงานได้ปกติตามเงื่อนไขที่กำหนด และผลของการวัดที่ได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิ และความชื้นอากาศในตู้มีความแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา สมหวัง, สุภาพร วันนา, และณัฐภูมิ มาลีชัย. (2564). ศึกษาและสร้างระบบให้น้ำแบบหยดอัตโนมัติสำหรับแปลงผักกวางตุ้ง. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติ ราชภัฏเลยวิชาการ “ความท้าทายทางการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสังคมท้องถิ่นวิถีใหม่” ครั้งที่ 7 ประจำปี พ.ศ. 2564 (หน้า 783 - 791). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). การปลูกฟ้าทะลายโจร. ค้นจาก <https://www.moac.go.th/>.
- ดาร์รัตน์ รัตนรักษ์, รุจิรา เข้มเพชร, อุษณีย์ พูลวิวัฒนกุล, สิริธร นิมิตรวิไล, อรอนงค์ เหล่าตระกูล, และ ปิยะวรรณ ศรีมณี. (2564). ประสิทธิภาพและความปลอดภัยของสารสกัดฟ้าทะลายโจรต่อการร่วมรักษา ผู้ป่วยโรคโควิด-19 ที่มีอาการรุนแรงน้อย โรงพยาบาลนครปฐม. วารสารแพทย์เขต 4-5, 40(2), 269-282.
- นราธิป ทองปาน และธนาพัฒน์ เทียงศักดิ์. (2559). ระบบรดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 3(1), 35-43.
- ปรีชา มหาไม้, นำพร ปัญโญใหญ่, และภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์. (2557). ระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 8(2), 15-26.
- เมทินี หลิมศิริวงศ์, อมร สหเมธาพัฒน์, และปิติกาญจน์ กาญจนพฤกษ์. (2562). การผลิตสารมาตรฐาน Andrographolide จากฟ้าทะลายโจร. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 17(3), 365-375.
- วิฑูรย์ เจริญศรี และสนั่น การค้า. (2562). ระบบควบคุมการให้น้ำแบบหยดอัตโนมัติในการปลูกพืชแนวตั้ง. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward" (หน้า 1337 - 1347). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- นาวี จิระชีวี, สราวุธ ปานทน, สันธาร์ นาควัฒนกุล, วุฒิพล จันทร์สระคู, สุรัชย์ สายลึก, และกาญจนา กิระศักดิ์. (2556). การทดสอบและประเมินผลการให้น้ำหยดสำหรับไร้อ่อนนอกเขตชลประทานในภาคกลาง. ใน: รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14. และระดับนานาชาติครั้งที่ 6 ประจำปี 2556. (TSAE 2013) (หน้า 733-737). ประจวบคีรีขันธ์: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

- Deshmukh, S. G., Gaikwad, N. S., Patil, A. M., Patil, S. J., & Khandagale, R. S. (2017). Development of an automatic irrigation system using Arduino and GSM module. **Materials Today: Proceedings**, 4(8), 6746–6752.
- Ferrarezi, R. S., Testezlaf, R., & Scoggins, H. L. (2015). An automated system for monitoring soil moisture and controlling irrigation using low-cost open-source microcontrollers. In **Proceedings of the American Society for Horticultural Science Annual Conference 201**. (pp. [not specified]) United States: American Society for Horticultural Science.
- Ho, S. S. K., Low, K. S., & Lim, W. H. (2003). EMI mitigation techniques in a microcontroller-based water purification system – a case study. **Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility**, 2, pp. 1102–1105. Istanbul: Turkey.
- Majumder, S., Bhattacharya, D., Ghosh, S., & Bandyopadhyay, T. (2025). A microcontroller-based approach to optimizing soil moisture for increased agricultural productivity. In **Proceedings of the Materials Today Conference 2025**. (pp. [not specified]). United Kingdom: Elsevier.
- Saleh, M., Elhajj, I. H., Asmar, D., Bashour, I., & Kidess, S. (2016). Experimental evaluation of low-cost resistive soil moisture sensors. **IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)**, pp. 1–6. Beirut: Lebanon.