การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์

Design and Development of Aeroponic Growing Control System for Red Coral Lettuce

ศตพร ชวนะกุล[1] อธิตา แซ่อึ้ง[2] กาญจนา ศิลาวราเวทย์[3] และ บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ[4]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ satapon.cha@dome.tu.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ athita.sae@dome.tu.ac.th

[3]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ skanchan@engr.tu.ac.th

[4]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ rbunyong@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การปลูกพืชให้มีการเจริญเติบโตเป็นไปตามที่ต้องการจำเป็นต้องมีการควบคุมดูแลในรายละเอียดให้ตรงตามที่พืชต้องการ เรดคอรัลเป็นผักสลัดที่จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่คนส่วนใหญ่นิยมรับประทาน เกษตรกรหรือผู้ที่มีความต้องการปลูกผักสลัดชนิดนี้แบบด้วยน้ำจำเป็นต้องควบคุมปริมาณสารละลายธาตุอาหาร รวมถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้ตรงตามความต้องการ การวัดและควบคุมดูแลให้ค่าต่างๆ เป็นไปตามที่ต้องการด้วยแรงงานคนเป็นสิ่งที่ทำได้ยากและอาจดูแลไม่ทั่วถึง โครงงานนี้จึงมีแนวคิดออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์ที่สามารถปรับค่า pH และ EC ในน้ำให้เหมาะสมสำหรับการปลูกเรดคอรัลได้อัตโนมัติ ในระบบจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดค่า pH เซนเซอร์วัดระดับน้ำของขวดต่างๆ และถังเก็บน้ำ ผู้ใช้งานสามารถดูค่าและปรับตั้งค่าการควบคุมที่ต้องการได้ผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk ผลการทดสอบใช้งานพบว่า สามารถควบคุมค่า pH และ EC ได้ตามที่ต้องการอย่างอัตโนมัติ

คำสำคัญ: แอโรโพนิกส์, ระบบควบคุม, ESP32, เรดคอรัล

Abstract

Crop cultivation requires detailed control and management to ensure desired growth. Red coral lettuce is a popular salad vegetable and an economically important crop. Farmers or individuals who wish to grow this type of lettuce using hydroponics need to control the quantity of dissolved nutrients, as well as the pH and EC (Electrical Conductivity) values of the water to meet the plant's requirements. Monitoring and controlling these various parameters manually can be challenging and not comprehensive. Therefore, this project aims to design and develop an aeroponic-controlled system for growing red coral lettuce.

The developed control system can automatically adjust the pH and EC values of the water to create an optimal environment for growing red coral lettuce. The system consists of a microcontroller working in conjunction with pH sensors, water level sensors for bottles and tanks. Users can monitor and adjust the control settings they desire through the Blynk application. The test results have shown that the pH and EC values can be automatically controlled according to the desired parameters.

Keywords: Aeroponics, Control system, Red coral lettuce

1. บทนำ

ผักสลัดเรดคอรัลเป็นผักสลัดชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมทั้งซื้อรับประทานและปลูกเพื่อรับประทานเอง อาจเพราะใบผักมีสีแดงน่ารับประทาน รสชาติหวานกรอบ และมีสารอาหารมากมาย การปลูกผักสลัดให้เจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพจำเป็นต้องดูแลเอาใจใส่ทั้งควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราและปริมาณปุ๋ยน้ำ รวมถึงผสมปุ๋ยน้ำให้ได้อัตราส่วนตามปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกและรดน้ำด้วยตนเอง ซึ่งหากพื้นที่เพาะปลูกมีขนาดกว้างอาจเกิดปัญหาการดูแลไม่ทั่วถึง อีกทั้งยังใช้เวลาในการดูแลและอาจทำให้ผักสลัดเรดคอรัลเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ การพัฒนาระบบควบคุมการปลูกพืชโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และสั่งผ่านสมาร์ทโฟนถูกนำเสนอในหลายงาน [1-6] บางงานผู้ใช้สามารถควบคุมเซนเซอร์วัดค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (EC) เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) หรือใช้ไฟ LED แทนการใช้แสงอาทิตย์ [1] การควบคุมอุณหภูมิน้ำ [2] หรือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบควบคุม [3] ควบคุมการไหลวนของน้ำ [4] ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศจนไปถึงควบคุมความชื้นในดิน [4-5] หรือควบคุมความเข้มแสงด้วยการใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงของหลอดไฟ LED [6] งานต่าง ๆ เหล่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคอีกทั้งยังช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรตามที่ต้องการโดยพึ่งพาสภาพแวดล้อมน้อยทางธรรมชาติน้อยที่สุด

2. การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุม

ระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์แนวตั้งใช้เทคโนโลยี IoT เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ฮาร์ดแวร์ของระบบประกอบด้วยโมดูล ESP32 NodeMCU-32S เชื่อมต่อ

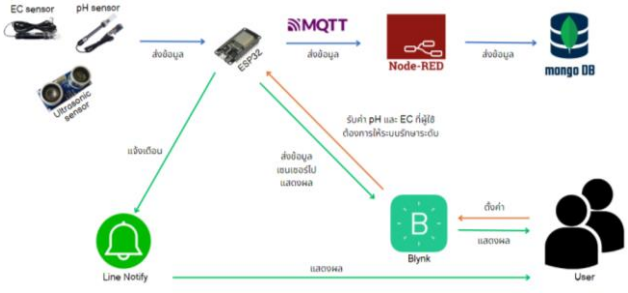
available online January 1, 2023.

*Corresponding author: กาญจนา ศิลาวราเวทย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (E-mail: skanchan@engr.tu.ac.th)

เซนเซอร์ 3 ประเภท คือ เซนเซอร์วัดค่า pH, เซนเซอร์วัดค่า EC และเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค โดยข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่างๆ จะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล MongoDB ซึ่งใช้เพื่อสั่งการทำงานต่างๆ เช่น รดน้ำ เปิด-ปิดมอเตอร์สารละลาย เป็นต้น ระบบสามารถแสดงการแจ้งเตือนผ่าน Line notify เมื่อระดับน้ำในขวดหรือระดับน้ำในถังน้ำหลักน้อยกว่าหรือมากกว่าที่กำหนด

รูปที่ 1 ชุดควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์

เมื่อเริ่มต้นผู้ใช้งานต้องตั้งค่า pH และ EC ที่ต้องการผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และปรับตั้งค่าโหมดการทำงานเป็น Auto หลังจากนั้นจึงกด Start ระบบจะเริ่มตรวจสอบค่า pH และ EC โดยช่วงค่าของการทำงานจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ล่วงหน้า คือ ค่า PH อยู่ในช่วง pH-0.8 < pH < pH+0.8 และค่า EC อยู่ในช่วง EC-0.55 < EC < EC+0.8 โดยจะทำการอ่านค่าทุก 30 วินาทีเพื่อปรับความเข้มข้นของทั้งสองค่าให้ได้ตามที่ผู้ใช้ตั้งไว้ด้วยการสั่งงานมอเตอร์ให้เติมปุ๋ย A และ B ลงในถังน้ำหลัก หากค่า pH ที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ระบบจะส่งคำสั่ง pH UP มอเตอร์จะเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เจือจางเพื่อลดความเป็นกรด หากค่า pH สูง ระบบจะส่งคำสั่ง pH DOWN มอเตอร์จะเติมกรดไนตริกเจือจางเพื่อเพิ่มความเป็นกรด และหากค่า EC ต่ำกว่าที่กำหนด บ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นของปุ๋ยในถังน้ำหลักต่ำเกินไป ระบบจะสั่งให้มอเตอร์เติมปุ๋ย A และ B อย่างละเท่ากันจนกว่าค่า EC จะเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามหากค่า EC สูงกว่าที่ตั้งไว้ ระบบจะเติมน้ำเปล่าเพื่อเจือจางความเข้มข้นปุ๋ยให้กลับมาอยู่ในช่วงที่ต้องการ ในส่วนเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคจะใช้เพื่อวัดปริมาณสารที่เหลือในแต่ละขวดและแจ้งเตือนผ่าน Line notify ให้ผู้ปลูกทราบเมื่อปริมาณสารในขวดน้อยกว่า 20% หรือเมื่อระดับน้ำในถังน้ำหลักมากกว่า 125 % ของถังซึ่งจะทำให้น้ำล้นถังน้ำหลักได้ ซึ่งค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ต่างๆ จะถูกส่งไปยัง Node-RED ผ่านโปรโตคอล MQTT และบันทึกข้อมูลลงใน MongoDB ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทำงานของระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์

การแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk ที่ออกแบบไว้จะประกอบด้วยค่าจากเซนเซอร์ pH, EC และเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค รวมถึงค่าอุณหภูมิในน้ำซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ pH โดยหน้าจอการแสดงผลแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 หน้าจอการแสดงผลของระบบควบคุมการปลูกผักแอปลิเคชัน Blynk

ส่วนที่ 1 แบ่งออกเป็น 3 คอลัมน์ โดยในคอลัมน์ที่ 1 จะแสดงค่าที่เกี่ยวข้องกับน้ำในถังน้ำหลัก คอลัมน์ที่ 2 จะแสดงเกี่ยวกับค่า pH และคอลัมน์ที่ 3 จะแสดงเกี่ยวกับค่า EC

ส่วนที่ 2 เป็นการตั้งค่า pH ระหว่าง 0-14.00 และ EC 0-5.0 ผู้ใช้สามารถตั้งค่าด้วยการลากให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

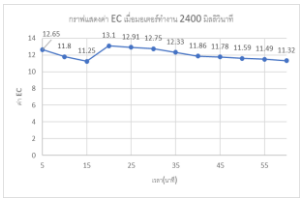
ส่วนที่ 3 เป็นการควบคุมการเปิด-ปิดมอเตอร์ต่าง ๆ ในส่วนนี้จะรองรับการสั่งงานจากผู้ใช้เมื่อผู้ใช้ตั้งค่าระบบเป็นโหมด Manual โดยค่าที่สามารถควบคุมได้ประกอบด้วย มอเตอร์เติมปุ๋ย A มอเตอร์เติมปุ๋ย B มอเตอร์สั่ง pH UP มอเตอร์สั่ง pH DOWN มอเตอร์ผสมน้ำและรดน้ำ

ส่วนที่ 4 เป็นส่วนการตั้งค่าการทำงานของระบบ โดยผู้ใช้สามารถเลือกการทำงานเป็น Auto หรือ Manual และกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการทำงาน

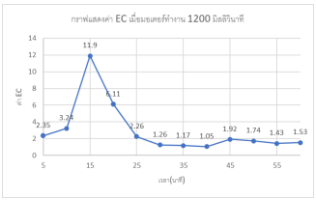
3. การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์จะเน้นการตรวจสอบความถูกต้องและความเสถียรในการควบคุมค่า pH และ EC โดยในการทดลองได้กำหนดค่า pH และ EC ที่เหมาะสมกับผักสลัดเรดคือ 6.0-7.0 และ 1.1-1.8 mS/cm ตามลำดับ [6]

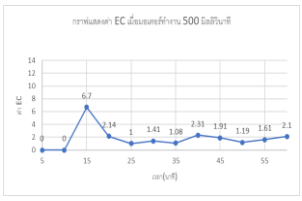
การทดลองแรกได้ทำการทดสอบปรับเปลี่ยนระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์เติมปุ๋ยน้ำ A และ B เพื่อตรวจสอบระบบสามารถเติมปุ๋ยและปรับค่า EC ให้ได้ใกล้เคียงและมีความเสถียรตามช่วงค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ในการทดลองนี้จะทดสอบปรับค่าระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์เติมปุ๋ยที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2400 1200 500 และ 300 มิลลิวินาที และบันทึกค่า EC ทุก 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยได้ผลลัพธ์ที่บันทึกได้ แสดงได้ดังรูป 4



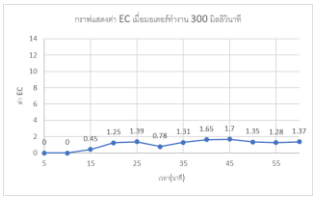
(a) มอเตอร์ทำงาน 2400 ms



(b) มอเตอร์ทำงาน 1200 ms



(c) มอเตอร์ทำงาน 500 ms



(d) มอเตอร์ทำงาน 300 ms

รูปที่ 4 กราฟแสดงค่า EC ตามการปรับค่าระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์

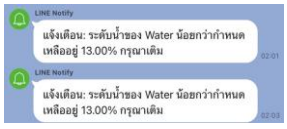
การทดลองปรับเวลาระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์สามารถบันทึกค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่า EC ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าที่ได้จากการทดลองปรับเวลาระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์

ระยะเวลามอเตอร์(ms)	ค่าต่ำสุด (mS/cm)	ค่าสูงสุด (mS/cm)	ค่าเฉลี่ย (mS/cm)	% คลาดเคลื่อน (%Error)
2400	11.25	13.1	12.069	828.39
1200	1.05	11.9	3	130.77
500	0	6.7	1.788	37.538
300	0	1.65	1.044	19.692

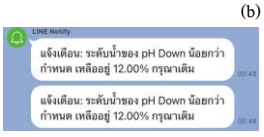
จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อปรับระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์เติมน้ำปุ๋ยเป็น 500 มิลลิวินาทีและ 300 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 4(c) และรูปที่ 4(d) จะได้ค่า EC เฉลี่ยที่ 1.788 และ 1.044 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 1.1-1.8 mS/cm เช่นเดียวกันและเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับปลูกผักสลัดเรดคอรัล

แต่เมื่อตรวจสอบกราฟในรูปที่ 4(c) พบว่ามีช่วงเวลาหนึ่งที่ค่า EC สูงเกินกว่าที่กำหนดไปมาก เช่นเดียวกันกับกราฟในรูปที่ 4(a) และ 4(b) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด และหากค่า EC สูงติดต่อกันเป็นระยะเวลานานอาจทำให้ผักสลัดเสียหายได้ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการทำงานของมอเตอร์ที่ 300 มิลลิวินาทีสามารถควบคุมการปรับค่า EC ให้มีความเสถียรอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดได้มากที่สุด ตัวอย่างการแจ้งเตือนดังรูปที่ 5



(a)

(b)

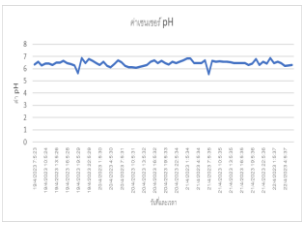


(c)

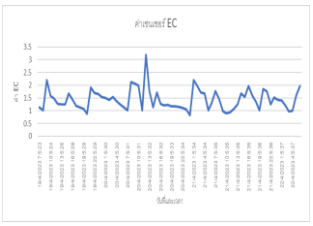
(a) การแจ้งเตือนระดับน้ำของขวดใส่น้ำ (b) การแจ้งเตือนระดับน้ำของขวด pH UP (c) การ แจ้งเตือนระดับน้ำของขวด pH DOWN

รูปที่ 5 ตัวอย่างการแจ้งเตือน

การทดลองถัดมาเป็นการทดสอบการควบคุมและบันทึกข้อมูลค่า pH และ EC ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง



(a) ค่า pH



(b) ค่า EC

รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าที่ได้ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 สรุปผลลัพธ์จากการบันทึกค่า pH และ EC จำนวน 72 ชั่วโมง

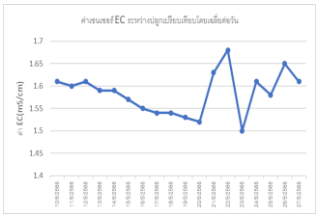
ค่า/เซนเซอร์	pH	EC (mS/cm)
ค่าที่เหมาะสมสำหรับผักสลัด	6.0-7.0	1.1-1.8
ค่าที่กำหนด	6.5	1.3
ช่วงค่าความคลาดเคลื่อน	5.5-7.5	0.75-2.15
ค่าที่บันทึกได้	5.56-6.89	0.83-3.19

จากการทดสอบพบว่า ค่า pH ในรูปที่ 6(a) อยู่ระหว่าง 5.5-6.89 ซึ่งไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนคือ 5.5-7.5 และอยู่ยังอยู่ในระหว่างช่วงค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับผักสลัดคือ 6.0-7.0 ในส่วนค่า EC ในรูปที่ 6(b) พบว่าค่าอยู่ระหว่าง 0.83-3.19 mS/cm โดยส่วนใหญ่ค่ายังอยู่ในค่าคลาดเคลื่อนคือ 0.75-2.15 mS/cm ทั้งนี้อาจมีบางช่วงที่ค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ เนื่องจากบันทึกขณะระบบปรับค่า EC ซึ่งทำให้ค่าผันผวนในช่วงเวลาหนึ่ง ก่อนจะกลับมาอยู่ในช่วงที่กำหนดในเวลาต่อมา

4. การใช้งานระบบและการปลูกเปรียบเทียบ

การทดสอบการทำงานโดยการปลูกผักสลัดเรดคอรัล จำนวน 54 ต้น แบ่งเป็นการปลูกผักสลัดด้วยแปลงปลูกแนวตั้งควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ จำนวน 27 ต้น และปลูกผักในกระถางดินจำนวน 27 ต้น เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในระยะเวลา 42 วันและบันทึกค่าเฉลี่ย pH และ EC ในแต่ละวัน โดยตั้งค่า pH และ EC ที่ 6.65 และ 1.6 mS/cm

(a)



(b)

(a) ค่าเฉลี่ย pH ในแต่ละวัน (b)ค่าเฉลี่ย EC ในแต่ละวัน

รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยในแต่ละวัน

ผลการบันทึกข้อมูลค่า pH และ EC ในช่วง 18 วันแรก จากรูปที่ 7(a) หากนำค่า pH ที่บันทึกได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 6.43 และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.31% ส่วนรูปที่ 7(b) หากนำค่า EC มาคำนวณค่าเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 1.58 mS/cm และมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 1.25% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์สามารถควบคุมค่า pH และ EC ให้อยู่ในช่วงค่าที่กำหนดทั้งสองค่า

และเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนขึ้น จึงทำการปลูกผักโดยบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตต่อจนถึงระยะเวลา 42 วัน โดยถ่ายภาพลักษณะลำต้นในวันที่ 24, 33 และ 42 วัน

ตารางที่ 3 ภาพถ่ายลักษณะลำต้นของผักที่ปลูกในระบบกับผักที่ปลูกในดิน

อายุของผัก (วัน)	ปลูกในระบบแอโรโพนิกส์	ปลูกในดิน
24		
33		
42		

จากตารางที่ 3 ผักสลัดเรดคอรัลอายุ 42 วัน ในทั้งสองระบบจะมีใบจำนวน 3-4 ใบ ลักษณะของขอบใบจะหยิก มีความแข็งและกว้างขึ้น และมีสีแดงแซมบริเวณปลายใบจากแคโรทีน [4] ซึ่งเป็นรงควัตถุสีส้มแดงที่ได้จากการสังเคราะห์แสง เมื่อสังเกตลักษณะ โดยรวมของผักสลัดในระบบจะพบว่าลำต้นมีลักษณะเป็นพุ่มอ้วนและมีใบใหญ่กว่าผักสลัดที่ปลูกในดินที่ลำต้นมีลักษณะเป็นพุ่มช่อทรงสูงผอมและมีใบเรียวยาว

(a) ผักสลัดเรดคอรัลที่ปลูกในระบบ

(b) ผักสลัดเรดคอรัลที่ปลูกในดิน

รูปที่ 10 ลักษณะลำต้นและความยาวของใบผัก

จากรูปที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพการเจริญเติบโตระหว่างผักสลัดที่ปลูกในระบบกับผักสลัดในดินจากการวัดความยาวของใบผักสลัดเรดคอรัลอายุผัก 42 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวใบของผักสลัดที่ปลูกในดินเท่ากับ 7.433 เซนติเมตร และในดิน 6.028 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าผักสลัดในระบบที่มีการควบคุมค่า pH และ EC จะเติบโตได้เร็วกว่าแบบปลูกในดิน เนื่องจากได้รับสารอาหารผ่านทางน้ำตลอดเวลา ต่างจากการปลูกในดินที่รดน้ำเพียงเช้า-เย็นเท่านั้น แต่จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลลัพธ์ เช่น ความกว้างของใบ ขนาดลำต้น น้ำหนักของผัก จำนวนใบ เป็นต้น ซึ่งใบของผักสลัดที่ปลูกในระบบอาจมีความกว้างและจำนวนมากกว่าทำให้มีน้ำหนักมากกว่า ต่างจากในดินที่อาจมีขนาดลำต้นออกกว้างกว่า จากลักษณะของลำต้นที่เป็นพุ่มเตี้ยและแบออกข้างมากกว่าผักสลัดในระบบ เนื่องจากกระถางมีพื้นที่ให้สามารถขยายใบ

5. สรุป

ระบบควบคุมการปลูกเรดคอรัลแบบแอโรโพนิกส์ที่นำเสนอรองรับการปรับค่า pH และ EC ตามต้องการและควบคุมรักษาค่าให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ และแสดงผลค่า pH, EC และปริมาณสารละลายในแต่ละขวด รวมถึงปริมาณน้ำในถังน้ำหลัก และสามารถส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ผ่านทาง Line Notify เมื่อปริมาณสารเคมีในขวดน้อยกว่า 20% หรือระดับน้ำในถังน้ำหลักมากกว่า 125% อีกทั้งยังระบบ นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถปรับตั้งค่าระบบจากทางระยะไกลได้ โดยค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ต่างๆ จะถูกบันทึกลงใน MongoDB ซึ่งเป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการติดตามผลการเจริญเติบโต จากการทดสอบใช้ระบบและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างผักสลัดเรดคอรัลที่ปลูกในระบบกับในดินพบว่าผักสลัดในระบบมีขนาดลำต้นและขนาดของใบใหญ่กว่าผักที่ปลูกในดิน

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากค่าที่บันทึกในระบบมีบางช่วงเวลาให้ค่า pH และ EC สูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด เมื่อนำมาวิเคราะห์และพิจารณาพบว่าค่าที่ได้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น เป็นค่าที่การบันทึกระหว่างที่มอเตอร์กำลังทำงานทำให้ค่าที่วัดได้ผันผวนและคลาดเคลื่อน หรือเมื่อผ่านระยะเวลาหนึ่งปุ๋ย A กับ B เกิดการตกตะกอนส่งผลให้ค่า EC ต่ำลงเรื่อย ๆ การเพิ่มความเสถียรให้กับระบบบอาจทำโดยติดตั้งหรือเพิ่มมอเตอร์ใบพายช่วยผสมน้ำเพื่อลดปัญหาการตกตะกอน

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยผล เสริมผล, ชุติมันต์ ศรีวันคำ และณภัทร สวนสนิท, “ระบบเกษตรแนวตั้งควบคุมผ่านแอพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน,” *หน่วยวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 2563.

[2] ศุภกิจ ปานเกตุ, “การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่องานสถาปัตยกรรม,” บัณฑิตวิทยาลัย *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 2556.

[3] พรพิมล กิ่งพัฒ, “เครื่องปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้งพลังงานแสงอาทิตย์.”

[4] ธิติศักดิ์ โพธิ์, ประสิทธิ เมฆอรุณ และสิทธิชัย ชูสำโรง, “การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ด้วยซอร์ฟแวร์รหัสเปิด และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง,” *คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 2563

[5] พนิตา วระวาท และธารารินทร์ ควรสนธิ, “โครงงานเกษตรอัจฉริยะ,” *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 2565.

[6] “(Red Coral Lettuce)”. https://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/12/red-corallettuce.html (accessed April. 15,2023).