

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับ MQTT เพื่อพัฒนาระบบ ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ

The Application of Internet of Things (IoT) Technology Using MQTT For Hydroponic Gardening Management: An Approach to Autonomous Farming

กฤษฎา ภาณุมนต์วาทะ^{1*}, สุวิจักขณ์ สุวิทธยาภรณ์², ปฏิกัทร คำนิมมวล², หนึ่งฤทัย เทียนทอง¹
Gitsada Panumonwatee^{1*}, Suwijak Suwitthayaporn², Patipat Kamnimnuat²,
Nuengruethai Thainthong¹

¹คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan university

²โรงเรียนมัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

²Naresuan University Secondary Demonstration school, Phitsanulok

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มาควบคุมและติดตามการปลูกผักในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่สามารถสร้างเงื่อนไขในการเพาะปลูกให้มีความทำงานแบบอัตโนมัติผ่านหน้าแอปพลิเคชัน โดยใช้รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) ที่สามารถออกแบบการทำงานแบบไม่มีเซิร์ฟเวอร์ ผ่านการจัดการอุปกรณ์ด้วยโปรแกรมสร้างเงื่อนไขแบบโฟลชาร์ต (Low-coding) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ประกอบไปด้วย Arduino UNO และ NodeMCU ในการทดลองเพาะปลูกใช้กรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) เป็นพืชตัวอย่าง ทดสอบการเจริญเติบโตของพืชโดยเปรียบเทียบความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น และน้ำหนักต้นสด ผลการวิจัยพบว่าต้นแบบระบบปลูกผักที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักต้นสด และความสูงต้น สูงกว่าฟาร์มเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังมีระบบติดตามการเจริญเติบโตของผักแบบเรียลไทม์โดยการใช้เซนเซอร์ที่มีความถูกต้องสูง ($R^2 = 0.98$) โดยระบบต้นแบบสามารถอำนวยความสะดวกในการเพาะปลูก ได้แก่ การเปิด/ปิดการฟั่นละอองน้ำเพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ การติดตามและควบคุมความเข้มข้นของธาตุอาหาร ติดตามสภาพแวดล้อมในโรงเรือน และการติดตามการเจริญเติบโต ทำให้มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตผักปริมาณมากในอนาคต

คำสำคัญ: การส่งข้อมูลแบบ MQTT ระบบปลูกผักแบบอัตโนมัติ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ไฮโดรโปนิคส์

* Corresponding author : e-mail gitsadap@nu.ac.th

Abstract

This study presents the application of Internet of Things (IoT) technology to control and monitor vegetables in hydroponic systems that can create conditions for autonomous cultivation through the application. The Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) was used for the data transfer protocol while using a serverless design. The Node-RED was used for flow-based programming (Low-coding). The microcontrollers including Arduino UNO and NodeMCU were selected for this study. *Lactuca sativa* var. *crispa* L. or Green-oak was chosen to be used as the experimental plant. The growing index consisting of plant height, plant width, and fresh weight was compared with the control. The results showed that plant height and fresh weight were significantly higher than the control ($p < 0.05$). The real-time growth monitoring sensor was validated that showing high precision ($R^2 = 0.98$). So, the prototype system facilitates the cultivation i.e., spraying to control the humidity and temperature, nutrient monitoring and control, environmental monitoring, and growth monitoring. Thus, this approach shows the possibility of scale-up for mass production in the future.

Keywords: Autonomous farming, Internet of Things, MQTT, Hydroponic

1. บทนำ

การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์เป็นเทคโนโลยีการผลิตพืชที่นิยมใช้ในการปลูกพืชระบบปิดหรือในโรงเรือนแบบปิด เนื่องจากเกษตรกรสามารถจัดการให้ธาตุอาหารได้ด้วยตนเอง รวมถึงการปลูกพืชในระบบปิดนี้สามารถลดความเสี่ยงจากศัตรูพืช และความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามการปลูกพืชในระบบนี้ต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเพื่อจัดการสภาวะการปลูกให้เหมาะสมต่อพืชชนิดนั้น ๆ ส่งผลให้ความสำเร็จของการปลูกพืชในระบบนี้จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยการตัดสินใจจากความรู้ของเกษตรกรเป็นส่วนสำคัญ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2552) อย่างไรก็ตามการพัฒนาระบบการปลูกให้ง่ายต่อการใช้งานของเกษตรกรรวมไปถึงการช่วยให้เกษตรกรควบคุมการปลูกได้ดีขึ้นยังคงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เกิดผลผลิตที่มีคุณภาพดี ได้มาตรฐานที่ใกล้เคียงในระดับอุตสาหกรรมมากที่สุด ดังนั้นการพัฒนาระบบที่สามารถทำงานได้อัตโนมัติผ่านการควบคุมโดยเกษตรกรที่ง่ายมากยิ่งขึ้น จะตอบโจทย์การพัฒนาการด้านการผลิตทางเกษตรกรรมได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งได้ตอบสนองกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ของรัฐบาล ที่สนับสนุนให้เกิดระบบเกษตรอัจฉริยะ หรือสมาร์ทฟาร์ม (Smart Farm) โดยมุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาผสมผสานกับงานด้านการเกษตร เพื่อลดการใช้กำลังคน ลดต้นทุนการผลิต แต่เพิ่มคุณภาพ และปริมาณของผลผลิต และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การใช้ความรู้ด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารของอุปกรณ์สู่อุปกรณ์ (machine-to-machine, M2M) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ใช้สามารถรับส่ง

ข้อมูลผ่านสมาร์ตทีวีในรูปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจวัดสภาพอากาศ ระบบสมาร์ตโฮม ระบบควบคุมรถยนต์อัตโนมัติ และระบบควบคุมทางการเกษตร ทั้งนี้สาเหตุที่เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้เข้ามามีบทบาทเพราะความก้าวหน้าในความรู้ทางเทคโนโลยี ที่จะช่วยอำนวยความสะดวกในการผลิตต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้สามารถทำงานได้ใกล้เคียงเวลาจริง (real-time) มากยิ่งขึ้น ประกอบกับราคาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงานของระบบถูกลงจากต้นทุนการผลิตที่ลดลงทำให้นักพัฒนาที่สนใจสามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้น

แพลตฟอร์มพื้นฐานของเทคโนโลยี IoT ไม่ใช่เพียงแค่ตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์ แต่ต้องมีอุปกรณ์อื่น ๆ ที่สนับสนุนการทำงานได้แก่ เซิร์ฟเวอร์ในการรับส่งข้อมูล (Server) ระบบประมวลผลบนเว็บ (Cloud computing) และระบบแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งาน (User interface) หนึ่งในรูปแบบแพลตฟอร์ม IoT ที่ถูกพัฒนาเป็นที่นิยม ไม่มีค่าใช้จ่าย คือ การใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud server) โดย IBM เป็นผู้ให้บริการที่สามารถติดตั้งเครื่องมือในการจัดการข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการรับส่งข้อมูลผ่าน Message Queuing Telemetry Transport หรือ MQTT ที่เป็นขั้นตอนการทำงานที่ง่ายและเป็นมาตรฐาน และสร้างระบบประมวลผลบนเว็บได้อย่างง่ายโดยเป็นการเขียน Flow diagram ทดแทนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ชนิดต่าง ๆ ทำให้เป็นที่นิยมของผู้ที่สนใจพัฒนางานด้าน IoT มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถสร้างเว็บแอปพลิเคชัน (Web application) ให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้นับอุปกรณ์หลากหลายชนิดทั้ง สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ และแท็บเล็ต การนำ IoT มาพัฒนาเป็นรูปแบบการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในระบบปิดจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร (2561) ได้ศึกษาระบบควบคุมโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์อัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษา Python บน AWS Cloud เพื่อใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของผักด้วยกล้องซึ่งพบว่าเมื่อแสงไม่เพียงพอจะไม่สามารถแยกการเจริญเติบโตของผักได้ และจากการศึกษาของ ธิติศักดิ์ โพธิ์ทอง และคณะ (2562) ได้พัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิด และโอเพ่นฮาร์ดแวร์อย่าง Arduino IDE ซึ่งมีความสามารถในการแจ้งเตือนสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์บนเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้ผ่านสมาร์ตโฟน แต่ยังคงขาดความสามารถในการสามารถในการทำงานแบบอัตโนมัติ บัณฑิตพร ศิริทรงเมือง และคณะ (2564) ได้พัฒนารูปแบบการควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชแบบใช้ดินโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU มาช่วยในการให้น้ำที่เหมาะสมตามปริมาณความชื้นในดิน ซึ่งมีค่าระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานสูงถึง 4.60 แต่ทว่าในขั้นตอนการพัฒนาต้องมีส่วนการสร้างแอปพลิเคชัน และต้องใช้เซิร์ฟเวอร์ในการทำงาน จึงอาจเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับฟาร์มขนาดใหญ่ และในส่วนของพัฒนาระบบโรงเรือนโดยอาศัยการประมวลผลบนเว็บ ฤชญา พวงสุวรรณ และสุภาวดี มากอ้น (2565) ได้ประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มฐานข้อมูลออนไลน์ Firebase ซึ่งให้บริการโดยบริษัท Google ในการพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ด แคร่งแบบระบบปิดซึ่งมีความสามารถในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ และสามารถสั่งการผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตเห็ดประกอบกับมีระยะเวลาในการคืนทุนเพียง 9 เดือน แต่ทว่าเงื่อนไขทั้งหมดจะถูกกำหนดไว้นับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ซึ่งยากต่อการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขหากจะใช้เห็ดชนิดอื่น ที่มีความต้องการสภาพแวดล้อมที่แตกต่างไป

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนา ระบบ IoT ให้เหมาะสมกับระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ง่ายต่อการใช้งานโดยเกษตรกร และลดความเสียหายจากการขาดประสิทธิภาพการปลูกผักรูปแบบนี้ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ปลูกโดยมุ่งเน้นไปที่การบริโภคภายในครัวเรือน ซึ่งหมายความว่าผู้ปลูกอาจจะขาดความเชี่ยวชาญความสามารถในการดูแลพืช

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติที่สามารถติดตามการเจริญเติบโตของพืช และควบคุมปัจจัยพื้นฐานของการเจริญเติบโต รวมถึงมีระบบการบันทึกข้อมูล และแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ผ่านทางสมาร์ตโฟน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

การพัฒนา ระบบควบคุมโรงเรือนได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino IDE และ NodeMCU ESP8266 โดยทั้งสองจะถูกติดตั้งในตู้ควบคุมที่มีความสามารถในการป้องกันความชื้นและแมลง ใช้เซนเซอร์สำหรับวัดค่าการนำไฟฟ้าชนิด Analog Electrical Conductivity Sensor EC sensor ยี่ห้อ DFRobot ที่มีความสามารถในการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 100-20,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศชนิด DHT22, เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงชนิด BH1750FVI, เซนเซอร์วัดการเจริญเติบโตจากการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ชนิด HC-SR04

การควบคุมการเปิด/ปิดของอุปกรณ์ได้ใช้บอร์ดรีเลย์ 4 ช่อง (HW-316) ที่มีความสามารถในการป้องกันไฟฟ้าย้อน (Reverse current) มีความสามารถในการทนกระแสไฟฟ้าผ่านได้ 10 แอมป์ ป้อนหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารใช้ปั้มน้ำแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC 12 โวลต์) เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ปั้มน้ำสำหรับพ่นหมอกใช้ปั้มน้ำแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC 12 โวลต์) อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดใช้พลังงานจากเครื่องแปลงไฟฟ้าชนิดสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) ที่รองรับการจ่ายกระแสไฟฟ้ารวม 12 โวลต์ 20 แอมป์

3.2 การพัฒนาโรงปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบโรงปลูกมาตรฐานระบบ NFT

พัฒนาโรงปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบมาตรฐานในระบบ NFT (Nutrient Film Technique) ชนิดสำเร็จรูปขนาด 20 หลุม ปลูกในโรงเรือนแบบกางมุ้งหลังคาออกโค้งซึ่งอากาศสามารถถ่ายเทได้ แต่ละหลุมปลูกมีระยะห่างที่ 20 เซนติเมตร ธาตุอาหารใช้น้ำยา AB แบบสำเร็จรูป โดยควบคุมระบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราการไหลไม่ต่ำกว่า 4 ลิตรต่อนาที่ เพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำในระบบ และเป็นการเติมอากาศแก่ธาตุอาหาร

เพาะต้นกล้ากรีนโอ๊คก่อนนำไปเข้าโรงปลูกระยะเวลา 15 วัน มีการพัฒนาโรงปลูกโดยเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ตรวจวัดความชื้นอากาศ (%) ตรวจวัดความเข้มข้นของสารอาหารหรือการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารอาหาร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (คมกฤษณ์ ชูเรือง, 2561) และตรวจวัดปริมาณแสง (LUX) รวมไปถึงอุปกรณ์ตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ข้อมูลจากการตรวจวัดโดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino UNO และจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Node MCU ESP8266 การรับส่งข้อมูลทั้งหมดจะเป็นแบบ MQTT ที่มีการรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ในการควบคุมสภาพภายในโรงเรือน ใช้ระบบควบคุมปั๊มพ่นหมอกในการจัดการอุณหภูมิและความชื้น และความคุมการให้สารอาหารผ่านการทำงานของปั๊มหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยทั้งคู่จะรับคำสั่งการทำงานผ่าน Arduino UNO ที่รับคำสั่งต่อมาจาก Node MCU ESP8266 ซึ่งเป็นการสั่งงานผ่านอินเทอร์เน็ตในลักษณะออกแบบให้มีการสื่อสารแบบสองทาง (Two-way communication) (Mishra and Jain, 2015)

3.3 การพัฒนาระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ในระบบปลูกผักแบบ NFT

โรงเรือนที่ได้จากขั้นตอนการศึกษาที่ 3.1 ได้ถูกพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFT บนระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ IBM ที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้บริการ โดยระบบนี้ได้ติดตั้ง Node-RED เพื่อใช้เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ และใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบ MQTT ด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 ซึ่งข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน และข้อมูลสภาพของสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสามารถถูกบันทึก และนำมาปรับปรุงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์บนเว็บ ให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น และพัฒนาให้ระบบสามารถสร้างเงื่อนไขในการเปิด/ปิดการทำงานของอุปกรณ์ เช่น ปั๊มน้ำ หลอดไฟสำหรับให้แสงสว่างแก่พืช ซึ่งแตกต่างจากแบบเดิม กล่าวคือการปรับปรุงการทำงานผู้ใช้งานไม่ต้องมีการเปลี่ยนซอร์สโค้ด (Source code) ที่อยู่ภายในแผงวงจร ทำให้ง่ายต่อการแก้ไขเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ในอนาคต

3.4 การวัดประสิทธิภาพโรงเรือนต้นแบบ

ทำการวัดประสิทธิภาพของโรงเรือนต้นแบบกับโรงเรือนมาตรฐานระบบ NFT ที่นิยมใช้เชิงพาณิชย์ ใช้พืชทดลอง คือ กรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) จำนวน 20 ต้น มีอายุการปลูกที่ 45 วัน โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น และน้ำหนักต้นสด และวิเคราะห์ความต่างด้วยเทคนิค Independent sample T test ($p < 0.05$) นอกจากนี้ ทำการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการวัดความสูงต้นด้วยอัลตราโซนิก โดยเปรียบเทียบและหาค่าความถูกต้องด้วยเทคนิค Paired sample T-test ที่ระดับความถูกต้อง 95%

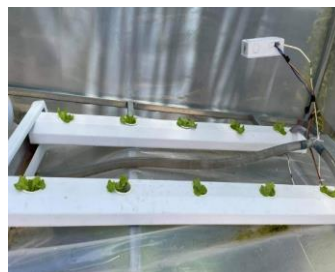
4. ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาโรงปลูกและวงจรควบคุมระบบปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์แบบอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์แบบอัตโนมัติ (ภาพที่ 1-ก และภาพที่ 1-ข) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และ Node MCU ESP8266 (ภาพที่ 1-ค) ที่ผ่านการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วย Arduino IDE โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมอันประกอบไปด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นอากาศ เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของสารอาหาร หรือค่าการนำไฟฟ้า เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณแสง และเซนเซอร์ตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 1-ง) เซนเซอร์ทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับขารับสัญญาณ (I/O pin) เข้ากับ Arduino UNO สามารถรองรับสัญญาณอนาล็อกสูงสุดที่ 6 ช่องสัญญาณในการพัฒนาครั้งนี้ใช้ Arduino UNO รวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ทุกชนิดและแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของหน่วยมาตรฐาน เช่น อุณหภูมิ ที่มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ความชื้นอากาศที่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ส่งต่อให้กับ Node MCU ESP8266 ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) โดยข้อมูลที่ส่งจาก Arduino UNO จะอยู่ในรูป JSON object จากนั้น Node MCU ESP8266 จะเชื่อมต่อกับ MQTT ในฐานะตัวส่งข้อมูล (MQTT publisher) และตัวรับข้อมูล (MQTT subscriber) ซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารสำหรับงานทางด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการขอใช้งาน MQTT โดยผ่าน Mosquitto MQTT broker ซึ่งให้บริการในรูปแบบซอฟต์แวร์สเปิด (Open-source) ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้บริการ โดยการทำงานในส่วนนี้จะอธิบายอย่างละเอียดในผลการศึกษาส่วนถัดไป



(ก)



(ข)



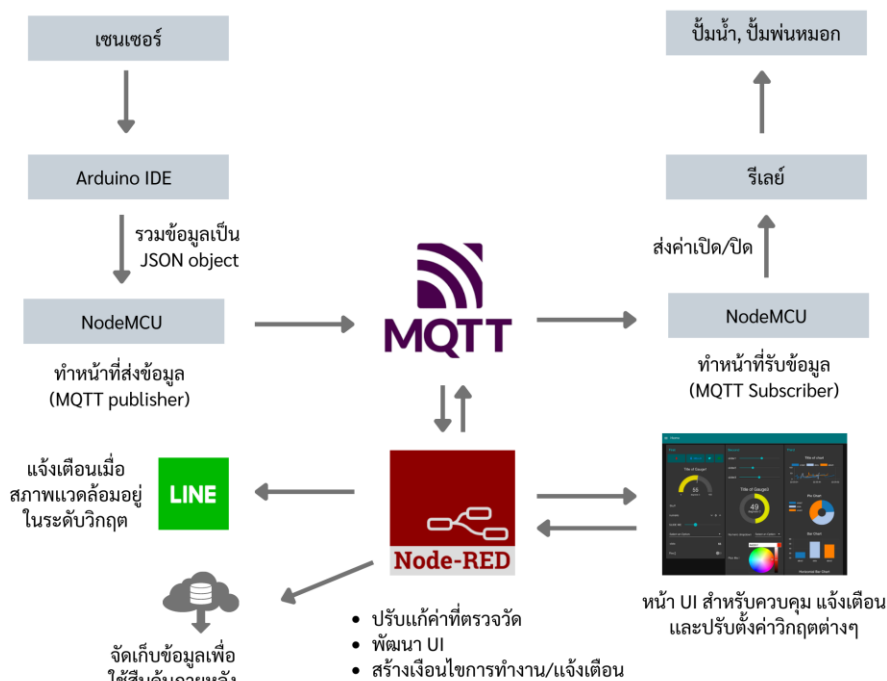
(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 (ก) โรงเรือนต้นแบบที่มีการพัฒนา (ข) ระบบปลูกแบบ NFT (ค) อุปกรณ์ควบคุมโรงเรือน และ (ง) อุปกรณ์ตรวจวัดความสูงต้น

สำหรับการควบคุมปั้มน้ำธาตุอาหาร ปั้มน้ำพ่นหมอก ได้ใช้รีเลย์ขนาด 3.3 V ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมตามเงื่อนไขจากระบบคลาวด์ ซึ่งจากการทดสอบการใช้งาน และใช้ทดลองปลูกพืช พบว่าสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ สามารถดูแลรีนไอคซึ่งเป็นพืชทดลองได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง สามารถส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้ดูได้แบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน จัดเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลออนไลน์ และแจ้งเตือนผ่านระบบ Line notify ได้ ซึ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้ปลูกที่ไม่มีประสบการณ์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถใช้ข้อมูลย้อนหลังเพื่อประสิทธิภาพในการเพาะปลูกในอนาคตได้ โดยมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังภาพที่ 2



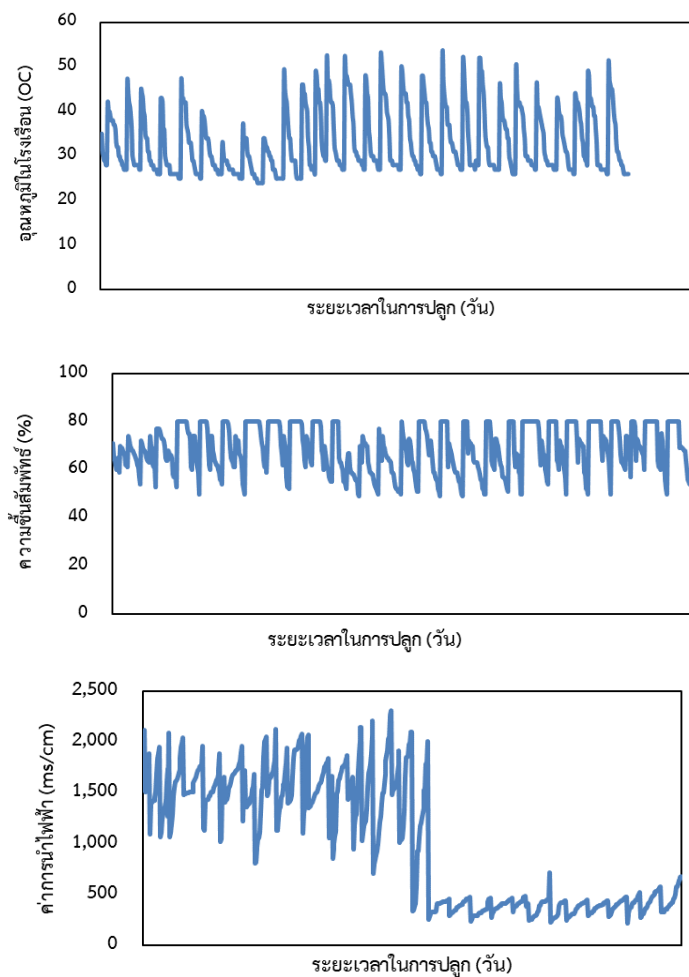
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.2 การพัฒนาระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ การรับส่งข้อมูล และการสร้างระบบประมวลผลบนเว็บ

การพัฒนานี้มุ่งพัฒนาระบบการปลูกผักอัตโนมัติโดยการพัฒนาระบบคลาวด์ การรับส่งข้อมูลแบบ MQTT และการสร้างระบบประมวลผลบนเว็บ โดยในการพัฒนาระบบคลาวด์ ผู้วิจัยเลือกใช้บริการคลาวด์เซิร์ฟเวอร์จาก IBM (IBM Cloudant) เป็นคลาวด์ที่สามารถติดตั้ง Mosquitto MQTT broker ให้ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ตัวกลางในการรับส่งข้อมูล และ Node-RED ให้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการพัฒนาเงื่อนไขและประมวลผลบนเว็บโดยการทำงานเริ่มจาก Node MCU ESP8266 ในหน้าที่ MQTT publisher ทำการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ต โดยสามารถรับข้อมูลเข้าสู่ Node-RED ได้ จากนั้น Node-RED ซึ่งมีเครื่องมือ

ทางคณิตศาสตร์ที่สามารถปรับแก้ค่าต่าง ๆ ที่รับมาได้ เช่น การปรับแก้ค่าความสูงที่ได้ตรวจวัดจากเซนเซอร์ วัดความสูงพืช ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าระยะห่างระหว่างราง (ผิวขอบรางที่ไม่มีพืช) และใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการ คำนวณค่าความสูงพืช ทำให้อำนวยความสะดวกแก่นักพัฒนาโดยไม่ต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านสาย USB เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดต้นฉบับ ทำให้สามารถแก้ไขโดยไม่จำเป็นต้องเดินทางมายังที่ตั้งโรงเรือน ยิ่งไปกว่านั้นค่า สภาพแวดล้อมต่าง ๆ สามารถเรียกไปแสดงค่าผ่านแดชบอร์ดสำเร็จรูป ทั้งในรูปแบบ ตัวเลข ข้อความ กราฟ ตาราง ได้โดยไม่ต้องมีความรู้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการเก็บข้อมูลการปลูกภายหลังเริ่มต้นการปลูกในระบบที่พัฒนาขึ้น (ภาพที่ 3) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ย ของการทดลองอยู่ที่ 36.32 ± 3.34 องศาเซลเซียส โดยคิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งกลางวันและกลางคืน สำหรับ ค่าสูงสุดในการทดลองอยู่ที่ 53 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 24 องศาเซลเซียส สำหรับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ $72.82 \pm 2.81\%$ สูงสุดที่ 80% ต่ำสุดที่ 47%

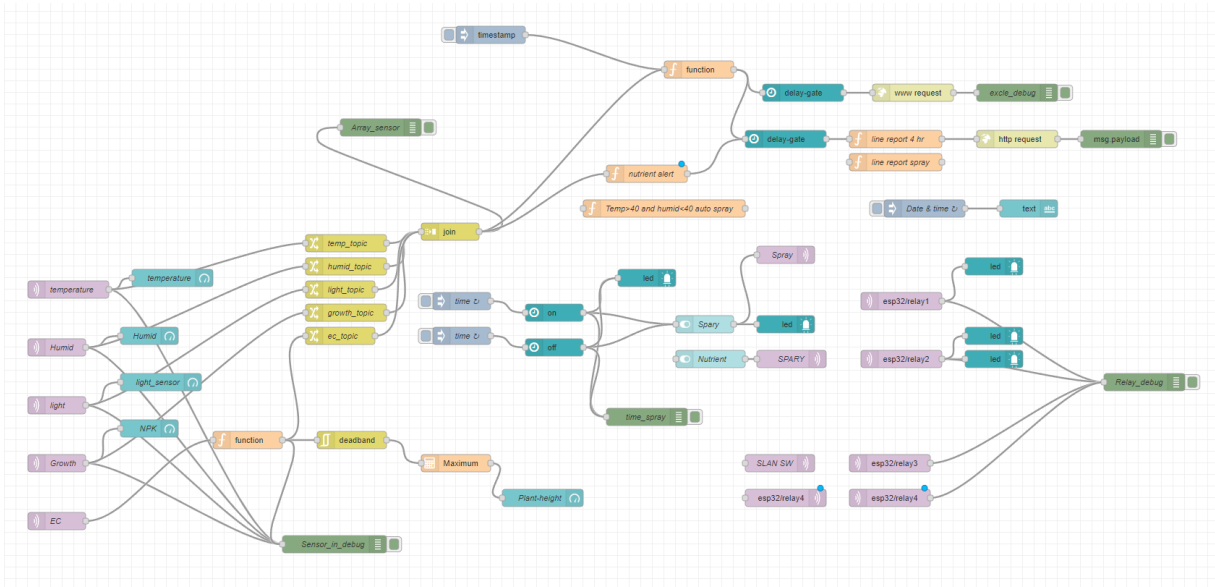


ภาพที่ 3 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของธาตุอาหาร ตลอดระยะเวลาในการทดลองปลูกพืช (วันที่ 16-45) ที่จัดเก็บบนฐานข้อมูลออนไลน์

หลังจากการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้จากอุปกรณ์รับค่าทางสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาการทำงานของระบบปลูกผักอัตโนมัติติดตั้งแสดงแผนผังการทำงานในภาพที่ 4 โดยกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของระบบที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศภายในโรงปลูก (ตารางที่ 1) คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในโรงปลูกซึ่งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50% หรืออุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส อุปกรณ์พ่นหมอกจะทำงาน และจะตัดการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 70% หรืออุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส โดยส่งงานผ่าน MQTT ไปที่ Node MCU ESP8266 ในหน้าที่ MQTT subscriber และส่งการรีเลย์ในการควบคุมการเปิด/ปิดต่อไป เพื่อให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักแต่ละชนิดที่นำมาปลูกผ่านการตั้งค่าในหน้าแอปพลิเคชัน โดยเฉพาะผักที่อุณหภูมิส่งผลต่อการเจริญเติบโตเช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค คอสโรเมน เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) นอกจากนี้เกษตรกรมีความสะดวกในการปรับแก้ไขค่าต่าง ๆ ให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่เพาะปลูก ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการในจังหวัดพิษณุโลกซึ่งมีสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง อากาศในโรงเรือนบางวันสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลต่อการปลูกผักแต่หากตั้งเงื่อนไขที่เหมาะสมตามการเจริญเติบโตของพืช เช่น ให้อุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการพ่นหมอกตลอดวัน เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ไม่มีทางจะลดลงไปถึงได้ ส่งผลให้ใบผักช้ำ และธาตุอาหารถูกเงี้ยว ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมผู้ใช้งานต้องปรับตั้งตามสภาพอากาศและความเหมาะสมในพื้นที่ที่ใช้งานระบบปลูกพืช ซึ่งจะแตกต่างจากระบบสำเร็จรูปตามท้องตลาดที่ต้องให้ผู้ผู้ใช้เข้าดูสภาพแวดล้อมผ่านแอปพลิเคชัน และสั่งการด้วยผู้ใช้ในการเปิด/ปิดปั๊มพ่นหมอก สำหรับการวัดค่าความเข้มแสงในขั้นตอนของการออกแบบได้นำมาใช้ในการควบคุมการเปิด/ปิดม่านเพื่อปรับความเข้มแสงให้มีความเหมาะสม แต่จากการทดลองพบว่าความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ $43,381 \pm 16,111$ lux ซึ่งเป็นความเข้มแสงที่สูงกว่าที่พืชต้องการโดยกรมส่งเสริมการเกษตรให้ข้อมูลว่าความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คอยู่ในช่วง 10,000-25,000 lux ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ใช้ดาต่ายกรองแสงในการลดความเข้มแสงตลอดเวลาการทดลองโดยไม่ได้พัฒนาเงื่อนไขในการเปิด/ปิดดาต่ายกรองแสง

สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่เป็นข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโดยข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร (2558) ให้ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คอยู่ระหว่าง 500-2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ โดยจากข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า (ภาพที่ 3) พบว่ามีค่าเฉลี่ยในการทดลองวันที่ 16-31 ที่ $1,503.37 \pm 403.16$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ สูงสุดที่ 2,221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งเป็นค่าในช่วงที่มีการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบและต่ำสุดที่ 908 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบจะเติมอาหารเองอัตโนมัติ สำหรับในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว 13 วัน (วันที่ 32-45) จะลดความเข้มข้นของธาตุอาหารลงเพื่อป้องกันการสะสมไนเตรทในปริมาณสูง (Vinzendo et al., 2020) โดยค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าเฉลี่ย 391.61 ± 47.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$

นอกจากนี้ระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นยังสามารถตรวจสอบปริมาณธาตุอาหาร ส่งการแจ้งเตือนต่อผู้ใช้งานเมื่อปริมาณธาตุอาหารลดลงต่ำกว่าเงื่อนไขที่ตั้งไว้ (< 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) และสามารถเติมธาตุอาหารเข้าสู่ถังสารละลายได้อัตโนมัติ เมื่อถึงวันที่ 32 ของการทดลอง จะควบคุมให้ระดับสารอาหารอยู่ในปริมาณต่ำ



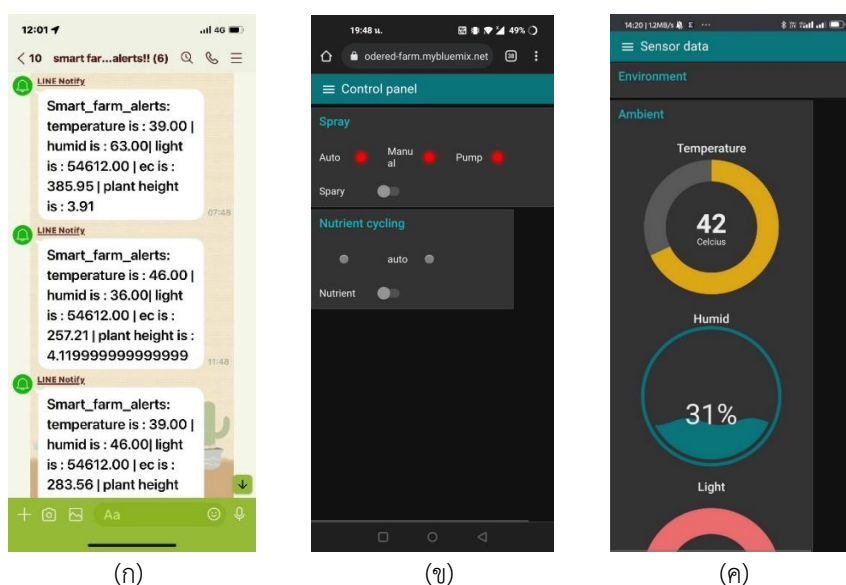
ภาพที่ 4 การเขียนโปรแกรมควบคุมเงื่อนไข และการทำงานบน Node-RED

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทำงานอัตโนมัติที่กำหนด

อุปกรณ์	เงื่อนไขเริ่มทำงาน	เงื่อนไขหยุดทำงาน
เปิด/ปิด ป้อนน้ำสำหรับพืชมก	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50% หรือ อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส	ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 70% หรือ อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส
เปิด/ปิด ตาข่ายกรองแสง*	ความเข้มแสงสูงกว่า 25,000 lux	ความเข้มแสงต่ำกว่า 10,000 lux
เปิด/ปิด ป้อนปุ๋ยธาตุอาหารในช่วงวันที่ 16-32 ของการเพาะปลูก	ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่า 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารสูงกว่า 2,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
เปิด/ปิด ป้อนปุ๋ยธาตุอาหารในช่วงวันที่ 32-45 ของการเพาะปลูก	ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่า 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารสูงกว่า 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
การแจ้งเตือนเงื่อนไขวิกฤตผ่าน line notify	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50% หรือ อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส หรือค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ในวันที่ 32-45 ของการเพาะปลูก ยกเลิกการแจ้งเตือนค่าการนำไฟฟ้า
รายงานสภาพแวดล้อมโรงเรือนผ่านระบบ line notify	ส่งค่าเฉลี่ยข้อมูลแจ้งเตือนผู้ปลูกทุก 4 ชั่วโมง	-
จัดเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลออนไลน์	ส่งข้อมูลค่าเฉลี่ยเข้าจัดเก็บทุก 30 นาที	-

*เงื่อนไขการเปิด/ปิดตาข่ายกรองแสงไม่ได้ถูกพัฒนาต่อในงานนี้เนื่องจากความเข้มแสงสูงกว่ามาตรฐานตลอดการทดลอง (เปิดตาข่ายกรองแสงตลอดเวลาในการทดลอง)

นอกจากนี้ในการพัฒนาการควบคุมการทำงานของระบบที่ทำผ่าน Node-RED ของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที โดยข้อมูลจะถูกนำเข้าสู่ฐานข้อมูลออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม Google form และ Google sheet ในการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล ที่สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาผลผลิตในอนาคตได้ และสามารถสร้างการแจ้งเตือนผ่าน line notify (ภาพที่ 5-ก) ได้เพื่อช่วยป้องกันกรณีที่ผู้ใช้งานไม่ได้เข้าแอปพลิเคชันเพื่อดูข้อมูลโดยผู้วิจัยได้สร้างเงื่อนไขให้มีการแจ้งเตือนเข้าแอปพลิเคชันไลน์ทุก 4 ชั่วโมง โดยเป็นการแจ้งเตือนสภาพแวดล้อมทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถสร้างเงื่อนไขวิกฤตเพื่อให้เกิดการแจ้งเตือนทันทีเพื่อลดโอกาสที่จะสูญเสียผลผลิตได้แก่ อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ความชื้นต่ำกว่า 30% หรือมีการทำงานอัตโนมัติตามเงื่อนไขก็จะแจ้งเตือนผ่าน line notify และสามารถเข้าดูสถานะการเปิด/ปิดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านแอปพลิเคชัน (ภาพที่ 5-ข) หรือดูค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ (ภาพที่ 5-ค)



ภาพที่ 5 (ก) การแจ้งเตือนผ่านระบบ line notify (ข) การติดตามสภาพแวดล้อม และ (ค) แอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์ภายในระบบ

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพโรงเรือนอัตโนมัติต้นแบบ

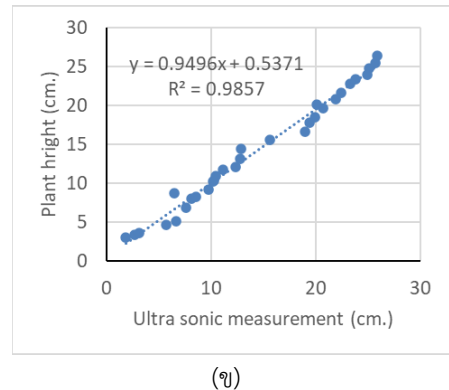
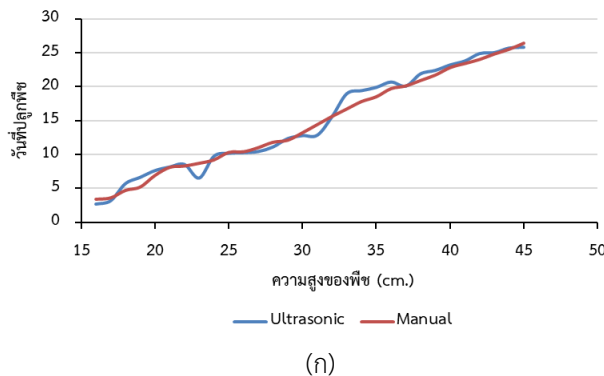
การทดสอบประสิทธิภาพโรงเรือนในงานวิจัยนี้เป็นการประเมินผลโดยการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักเทียบกับระบบการปลูกเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของผักที่มีอายุการปลูก 45 วันได้แก่ ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น และน้ำหนักต้นสด ในระบบที่พัฒนาขึ้นเทียบกับระบบการปลูกเชิงพาณิชย์พบว่าความสูงต้นและน้ำหนักต้นสดของกรีนโอ๊คที่ทดลองปลูกด้วยโรงเรือนต้นแบบมีค่าที่สูงกว่าฟาร์มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงต้นเท่ากับ 24.15 ± 1.80 เซนติเมตร และน้ำหนัก 145.25 ± 5.34 กรัม ในขณะที่ผลผลิตที่ได้จากฟาร์มเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความสูงต้นเท่ากับ

22.90±1.86 เซนติเมตร และน้ำหนัก 141.40±5.50 กรัม สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นของทั้งสองการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยตลอดการปลูกไม่พบการตายของผักในระบบที่พัฒนาขึ้น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณภาพของกรีนโอ๊คที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง (N)	น้ำหนักต้นสด		ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น		ความสูงต้น	
	(กรัม)		(เซนติเมตร)		(เซนติเมตร)	
	การทดลอง	ฟาร์ม	การทดลอง	ฟาร์ม	การทดลอง	ฟาร์ม
	เปรียบเทียบ		เปรียบเทียบ		เปรียบเทียบ	
1	141	136	26	22	24	23
2	145	134	28	23	25	21
3	145	132	25	21	22	26
4	150	141	27	24	25	25
5	140	139	24	23	24	23
6	154	137	21	23	24	24
7	136	142	19	25	23	20
8	152	144	26	26	22	24
9	146	140	23	26	23	25
10	144	145	25	25	26	20
11	155	140	26	25	23	24
12	142	142	23	24	24	21
13	137	133	21	21	23	22
14	143	138	24	22	23	24
15	144	143	25	25	25	23
16	152	147	27	26	27	25
17	141	150	26	26	25	20
18	149	149	25	25	27	24
19	146	145	26	26	23	23
20	143	151	22	27	25	21
$\bar{x}$	145.25	141.40	24.45	24.25	24.15	22.90
S.D.	5.34	5.50	2.33	1.80	1.80	1.86
t	2.25		0.304		-2.363	
Sig.	0.031*		0.763		0.023*	

* หมายถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$



ภาพที่ 5 (ก) การเปรียบเทียบความสูงพืชที่ได้จากเซนเซอร์และการวัดจริง และ (ข) ค่าความสัมพันธ์ของทั้ง 2 เทคนิค

นอกจากนี้ผลการวิจัยในส่วนของการวัดค่าความถูกต้องของเซนเซอร์ความสูงของต้น (ภาพที่ 5-ก) พบว่าการวัดความสูงด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานแบบเรียลไทม์ได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีอยู่ในระบบ โดยเมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความสูงมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงต้นที่วัดด้วยมือโดยใช้ไม้บรรทัดด้วยเทคนิค paired sample T-test พบว่ามีค่า Sig. (2-tailed) ที่ 0.271 แสดงว่าข้อมูลความสูงที่ได้จากการวัดด้วยมือและจากเซนเซอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ติดตามการเจริญเติบโตของพืชในระบบได้และคาดว่าจะช่วยให้เกษตรกรสะดวกในการดูแลพืชในระบบปลูกได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ (Correlation) กับ การวัดความสูงด้วยไม้บรรทัดตามภาพที่ 5-ข มีค่าความถูกต้อง (R^2) สูงถึง 0.98 อย่างไรก็ตามจากสมการเส้นตรงที่ได้จากภาพที่ 5-ข ($y = 0.9496x + 0.5371$) จะถูกนำไปใช้ปรับแก้ค่าการตรวจวัดความสูงของพืชสำหรับการเพาะปลูกรอบถัดไปเพื่อเพิ่มความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการพัฒนาโรงเรือนแบบอัตโนมัติต้นแบบสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบ NFT ที่พบว่าให้ผลการเจริญเติบโตของผัก (น้ำหนักต้นสด และความสูงต้น) สูงกว่าโรงเรือนเชิงพาณิชย์ที่เกษตรกรได้ดูแลเกษตรแบบดั้งเดิม (Traditional farming) อีกทั้งกรีนโอ๊คสามารถเจริญเติบโตได้ดีและไม่พบต้นตายตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยผลการศึกษาในส่วนนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของพรคิต อ้นขาว (2562) ที่พัฒนาระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ที่มีประสิทธิภาพในการดูแลเทียบเท่าเกษตรกร จึงแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาโรงเรือนต้นแบบนี้มุ่งเน้นที่พัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบ NFT ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติซึ่งสามารถช่วยเหลือผู้ที่สนใจปลูกผักบริโภคเองในครัวเรือนหรือเกษตรกรรุ่นใหม่ที่ต้องการพัฒนาระบบเองโดยลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์สำเร็จรูป เนื่องจากระบบ NFT เป็นระบบที่ได้รับความนิยม มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชกินใบซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ใช้ปริมาณน้ำต่ำ

เมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ และเป็นระบบน้ำที่มีการไหลทำให้ป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีส่วนดีกว่าระบบเดิมที่เป็นการใช้งานแพลตฟอร์ม IoT โดยรวบรวมเครื่องมือที่เป็นซอฟต์แวร์ที่สเปคที่ไม่มีความจำเป็นในการดำเนินงาน และไม่มีค่าใช้จ่ายเมื่อใช้งานในรูปแบบแอปพลิเคชัน ประกอบกับการพัฒนางานจริงขึ้นเองจากอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยมในการพัฒนางานทางด้าน IoT ซึ่งผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ไม่ยากผ่าน Arduino IDE สำหรับในส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชันหากเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยรูปแบบทั่วไป มักมีค่าใช้จ่ายในการจ้างพัฒนาตามความต้องการที่สูงหรือต้องเรียนรู้มากกว่าที่จะเริ่มต้นพัฒนาด้วยตนเองได้ ได้ จากข้อมูลของบริษัท ฟอซูน กรุ๊ป จำกัด พบว่าการพัฒนาแอปพลิเคชันมีค่าใช้จ่ายอยู่ในช่วง 120,000–650,000 บาท (บริษัท ฟอซูน กรุ๊ป จำกัด, 2564) ผู้วิจัยจึงได้ใช้เครื่องมือ Node-RED ที่มีลักษณะการพัฒนาโปรแกรมแบบโฟลว์ชาร์ตที่สามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถทำงานบนระบบคลาวด์ที่ไม่ต้องพึ่งพาการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ไว้ใช้งานเอง จึงทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดูแล ประกอบกับการใช้บริการคลาวด์ของ IBM เป็นการให้บริการฟรีที่มีประสิทธิภาพ สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วโดยแทบไม่มีเวลาหน่วง (Latency) ผสานกับการใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบ MQTT ซึ่งเป็นโปรโตคอลเฉพาะทางสำหรับงานทางด้าน IoT จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นจึงตอบโจทย์คนรุ่นใหม่ที่ต้องการมีระบบดูแลผักไว้ใช้งานในราคาที่ประหยัดกว่าระบบสำเร็จรูปเป็นอย่างมากเพราะมีเพียงต้นทุนฮาร์ดแวร์รวมโรงเรือนประมาณ 10,000 บาท สามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มลดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่หาซื้อได้ทั่วไป แก้ไขวงจรเองได้หรือพัฒนาต่อยอดได้ง่าย และไม่มีต้นทุนซอฟต์แวร์ ในขณะที่ระบบสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้งานซอฟต์แวร์ (ค่าใช้จ่ายรายเดือน) หรือการจ้างพัฒนาซอฟต์แวร์และต้องซื้อโมดูลเสริมที่ทางผู้จำหน่ายจัดทำหากต้องการการทำงานที่มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถปรับเปลี่ยนการตั้งค่าต่าง ๆ ให้เกิดความเหมาะสมแก่การใช้งาน หรือพืชที่ต้องการนำมาเพาะปลูกผ่านหน้าแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้สะดวกจากสมาร์ตทีวี และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการเพาะปลูกจากข้อมูลที่บันทึกไว้บนฐานข้อมูลออนไลน์ที่จะช่วยให้สามารถพัฒนาผลผลิตและปรับแต่งเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ต่อไปในอนาคตซึ่งหากเกิดใช้งานในวงกว้างจะสามารถสร้าง Big data ของการเพาะปลูกสู่ระบบสารสนเทศสนับสนุนการผลิตผักที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและสร้างรูปแบบในการดูแลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ รวมไปถึงการปรับลดต้นทุนอื่น ๆ อาทิเช่น สารอาหาร ปริมาณน้ำที่ใช้ พลังงานที่ใช้ ซึ่งก่อให้เกิดการทำเกษตรสีเขียวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคได้ในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). *การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์*. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กฤษฎา พวงสุวรรณ และสุภาวดี มากอัน. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมฟาร์มอัจฉริยะของโรงเรือนเพาะเลี้ยงระบบปิดสำหรับกักเชื้อเห็ดแครง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 15(2), 165-175.
https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/244700

- คมกฤษณ์ ชูเรือง. (2561). การวัดการละลายของปุ๋ยในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ โดยใช้ค่าความนำไฟฟ้า. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 4(1), 29-33. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/featkku/article/view/177045>
- พรคิด อ้นขาว (2562).ระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติ สำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ด้วย Internet of Things (IoT). *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 11(1), 146-157. <https://www.repository.rmutsv.ac.th/bitstream/handle/123456789/1082/FullText.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2552). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน.
- บริษัท ฟอซูน กรุ๊ป จำกัด. (2564, 8 สิงหาคม). *ต้องมีเงินเท่าไร ถึงจะมีแอปฯ ของตัวเองได้*. <https://appzerotohero.com/how-to-create-application/app-making-cost/>
- ปวันนพัสดร์ ศรีทรงเมือง, ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง, สุมณา บุชบก และชุตติกานต์ หอมทรัพย์. (2564). การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 20(1), 21-29. <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2563/research.rmutsb-2563-20200805134658195.pdf>
- รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร. (2561). ระบบควบคุมโรงเรือนผักไฮโดรโปนิคส์อัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครื่องมือการเรียนรู้เชิงลึก. *Journal of Information Science and Technology*, 8(2), 74-82. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/article/download/156097/117582/>
- ธิดิศักดิ์ โพธิ์ทอง, ประสิทธิ์ เมฆอรุณ, และ สิทธิชัย ชูสำโรง. (2562). การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิดและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 16(20), 10-17. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/aginujournal/article/view/247974>
- Mishra, R.L. & Jain, P. (2015). Design and implementation of automatic hydroponics system using ARM processor. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(8), 6935-6940. https://www.ijareeie.com/upload/2015/august/16_Design.pdf
- Vinzenso, T., Roberta, B., Andrea, F., Cristina, G., Paolo, B., Stefano, S. & Giuseppe, N. (2020). Reducing Nitrate Accumulation and Fertilizer Use in Lettuce with Modified Intermittent Nutrient Film Technique (NFT) System. *Agronomy*, 10(8), 1208-1223. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081208>