ระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTและไมโครคอนโทรเลอร์

Control system for green salad in a semi-finished Aquaponics greenhouse with IoT technology and microcontrollers

เสาวลักษณ์ โต๊ะขาว[1]* สุรเดช ทองทวี[1] และ ซอและ เกปัน[1]

Saowalak Tohkhao, Suradech Tongtavee and Solaeh kepan

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์มีวัตถุประสงค์ 1)เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบปลูกผักอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ 2)เพื่อประเมินคุณภาพระบบปลูกผักอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ และ 3)เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบปลูกผักอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยบุคคลทั่วไป ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้งาน 3 คน กลุ่มที่สนใจด้านการเกษตรกร จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 1)แบบประเมินประสิทธิภาพ และ 2)แบบประเมินความพึงพอใจ

ผลการวิจัยระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ พบว่า 1) ระบบแบ่งตามการทำงานแยกตามสิทธิผู้ใช้งาน 3 กลุ่ม ได้แก่ บุคคลทั่วไป ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้งาน และกลุ่มที่สนใจด้านเกษตรกร โดยแบ่งตามขอบเขตงานหลักดังนี้ สามารถตรวจสอบวัดระดับน้ำในตู้ปลาได้สามารถวัดค่า pH ในน้ำ สามารถตรวจวัดค่า EC ในน้ำ สามารถวัดอุณหูมิของน้ำ สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สามารถเปิด/ปิดหลอดไฟตามเวลาที่กำหนด สามารถเรียกดูค่ารายงานค่า pH ค่า EC ค่าอุณหภูมิ และปริมาณของน้ำ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.83, S.D.= 0.30) และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับระดับมาก ($\bar{X}$=4.28, S.D.= 0.67)

คำสำคัญ: อควาโปนิกส์, ไมโครคอนโทรเลอร์, เซนเซอร์

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
Information Technology Program, Faculty of Science Technology and Agriculture
Yala Rajabhat University
*Corresponding author, e-mail: 106565001@yru.ac.th

Abstract

Semi-automated aquaponics greenhouse control system using IoT technology and microcontrollers. There are 3 objectives 1) to design and develop a semi-automatic aquaponics vegetable growing system using microcontrollers 2) to evaluate the quality of the semi-automatic aquaponics vegetable growing system with microcontrollers and 3) to assess the satisfaction of users of the semi-automatic aquaponics vegetable growing system with microcontrollers Dealer The sample consisted of general individuals. Trial experts, 3 people, groups interested in agriculture, 30 people, research tools 1) Performance evaluation form 2) Satisfaction Assessment Form

The results of research on a semi-automatic aquarium control system for herbs and salad in a greenhouse to support IoT technology and microcontrollers found that 1) the system is divided according to work, separated according to the rights of users in 3 groups, mainly individuals General research experts and farmer interest groups divided according to the main scope of work as follows: Can measure the water level in the aquarium. Can measure the pH value in the water. Can measure the EC value in the water. Can measure the temperature of the water. Can measure temperature and humidity in the air. Can turn on/off the lamp at the specified time. You can view reports of pH, EC, temperature, and water volume. 2) Results of system performance evaluation by experts is at the highest level ($\bar{X}$=4.83, S.D.= 0.30) and 3) the results of the user satisfaction evaluation are at a high level ($\bar{X}$=4.28, S.D.= 0.67)

Keywords: Aquaponics, Microcontroller, Senso

บทนำ

ในอดีตการเกษตรจำเป็นต้องใช้พื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่รวมไปถึงต้องเข้าไปดูแลผลผลิตเพื่อป้องกันผลผลิตจากความเสียหายจากภัยต่างๆ เช่น ภัยธรรมชาติ ศัตรูพืชเป็นต้น ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันการเกษตรนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในการดูแลผลผลิตรวมไปถึงผลผลิตที่ได้มีคุณภาพมากขึ้นและยังเป็นการลดการใช้พื้นที่เพาะปลูกและเป็นการลดขนาดพื้นที่เพาะปลูกส่วนที่เหลือไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ (Piyawat Rueangrai et al.,2017) โดยระบบอคาโปรนิกส์ (Aquaponics) ซึ่งได้มีการนำระบบสองระบบเข้าไปด้วยกันคือการเลี้ยงปลาและการปลูกพืชไร้ดิน โดยการเปลี่ยนของเสียในน้ำเลี้ยงปลาเป็นแร่ธาตุอาหารของพืช ซึ่งพืชจะดูดแร่ธาตุไปใช้ในการเจริญเติบโตและน้ำที่ผ่านจากการนำไปเลี้ยงปลาได้อย่างปลอดภัย แบบเดิมยังขาดเครื่องมีการวัดคุณภาพของน้ำ เช่น ค่า pH ค่า EC ค่าอุณหภูมิของน้ำและอากาศซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียของปลารวมไปถึงผลผลิตจึงได้นำเอาเทคโนโลยี IoT (Internet of Thing) (Worapan Krankul & Siri papa Phumma , 2018) มาเป็นแนวคิดในการพัฒนาระบบซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรอควาโปนิกส์ สามารถ

เข้าถึงข้อมูลสถานะของสภาพแวดล้อมในแปลงผักอควาโปนิกส์ได้ง่าย โดยเกษตรกรไม่จำเป็นที่จะต้องไปยังแปลงผักอควาโปนิกส์ก็ สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยแสดงผลทางหน้าจอเป็นต้น

การพัฒนาระบบปลูกผักอควาโปนิกส์ด้วยสมองกลฝังตัวผ่าน Node-RED เป็นการนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ร่วมกับการปลูกผักอควาโปนิกส์ เพื่อให้มีความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้นโดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ pH และ เซ็นเซอร์ EC เซ็นเซอร์อุณหภูมิของน้ำเซ็นเซอร์อุณหภูมิอากาศและความชื้นของอากาศส่งค่าผ่าน Node-red cloud dashboard แล้วแสดงค่าผ่านหน้าจอ Node-red dashboard ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งคอมพิวเตอร์ และสมาร์ทโฟน ด้วยแอปพลิเคชัน Node-red หรือ เว็บไซต์ nodered.org ซึ่งอุปกรณ์นี้จะช่วยให้สะดวกในการรับข้อมูลสถานะของน้ำโดยไม่จำเป็นต้องมาที่แปลงผักอควาโปนิกส์ (Sakorn Busabong et al., 2020)

วัตถุประสงค์วิจัย

1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์

2) เพื่อประเมินคุณภาพระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์

3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์

วิธีการดำเนินวิจัย

การพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ ได้ใช้แนวการพัฒนาตามวงจรการพัฒนาระบบ (Opas Iamsiriwong.,2015)

1. กำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบงาน

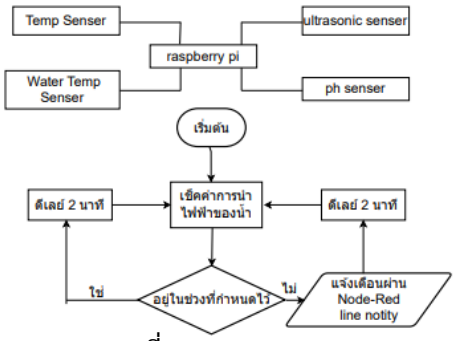
ขั้นตอนการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ ระบบงานเดิมในปัจจุบันเป็นการปลูกพืชโดยใช้ดินและใช้น้ำละลายที่มีธาตุอาหารพืชละลายอยู่หรือการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชทดแทน ซึ่งนับเป็นวิธีการในการปลูกพืช โดยเฉพาะการปลูกผักและพืชที่ใช้เป็นอาหาร เนื่องจากประหยัดพื้นที่และมีปนเปื้อนกับสารเคมีต่าง ๆ ในดิน ซึ่งใช้เวลามากพอสมควรในการบริหารจัดการข้อมูลต่าง ๆที่อยู่ในรูปแบบเดิม ปัญหาการขาดประสิทธิภาพในการปลูกผักสลัดในโรงเรือนแบบเดิม 4 ส่วน ประกอบด้วย ปัญหาด้านผัก ปัญหาด้านดิน ปัญหาด้านน้ำ และ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

2. การวิเคราะห์ระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบเดิมทั้งสภาพปัญหา และอุปสรรคของการทำงาน ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์และออกแบบระบบ ดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTและไมโครคอนโทรเลอร์

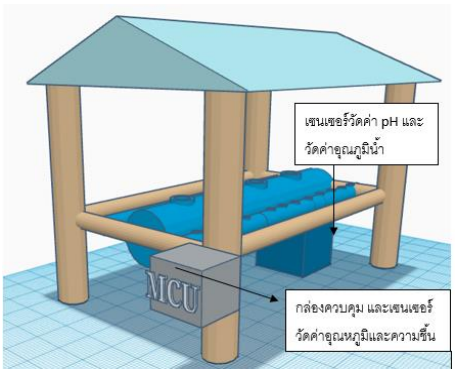
1.) การออกแบบวงจร ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การออกแบบวงจร

จากภาพที่ 1 DHT 22 เป็นการส่งค่าอุณหภูมิและความชื้น ส่วน Water Temp เป็นการส่งค่าอุณหภูมิของน้ำ Raspberry pi กับ Wemos d1r1 คือการสื่อผ่าน tcp/ip เพื่อรับส่งค่า sensor ไปแสดงผลที่ Node-red ส่วน Weter level sensor ส่งค่าระดับน้ำไปยัง Wemos d1 r1 และpH sensor ส่งค่าวัดความกรดด่างของน้ำไปยังบอร์ด Webos d1 r1

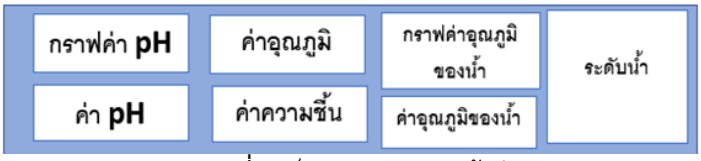
2.) การนำไปติดตั้งร่วมกับระบบบอควาโปนิกส์ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การติดตั้งกล่องวงจรร่วมกับระบบบอควาโปนิกส์

จากภาพที่ 2 เป็นการออกแบบการติดตั้งกล่องวงจรร่วมกับระบบบอควาโปนิกส์ จะมีกล่องวงจรควบคุม sensor วัดค่า pH วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ และกล่องวงจรควบคุม sensor วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ

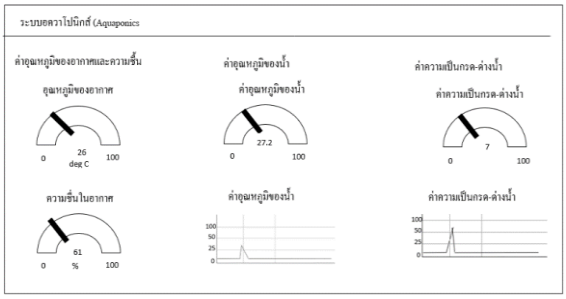
3.) การออกแบบหน้าต่างแสดงผล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เป็นการออกแบบหน้าต่างแสดงผล

จากภาพที่ 3 เป็นการออกแบบหน้าต่างแสดงผล ของโปรแกรม มี 7 ส่วน คือ กราฟ pH ค่า pH ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น กราฟค่าอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ค่าวัดระดับน้ำ

4.) หน้าจอการแสดงผลในโปรแกรม Remote-RED ดังภาพที่ 4

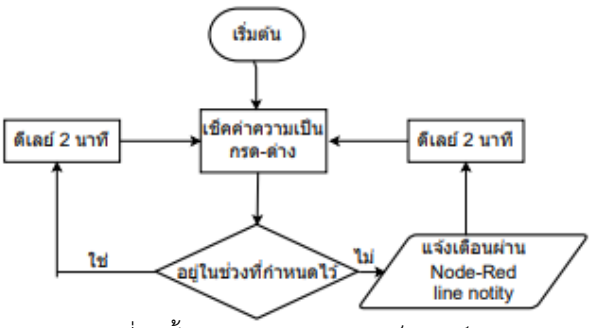


ภาพที่ 4 หน้าจอการแสดงผลในโปรแกรม Remote-RED

จากภาพที่ 4 เป็นการออกแบบหน้าจอการแสดงผลในโปรแกรม Remote-RED มีค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ค่าอุณหภูมิและความชื้นของน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

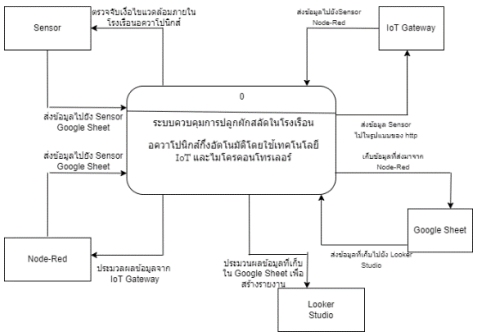
2.2 แผนภาพการแสดงขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์ pH

ขั้นตอนกระบวนการเริ่มจะเช็คค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อยู่ในช่วงที่กำหนดหากขึ้นใช่ให้ดีเลย์ 2 นาทีและย้อนกลับเข้าสู่การเช็คค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อีกครั้ง หากขึ้นไม่จะมีการแจ้งเตือนผ่าน Node-Red line notify และจะให้ดีเลย์ 2 นาทีและย้อนกลับเข้าสู่การเช็คค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำอีกครั้ง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์ pH

2.3 แผนภาพรวมของระบบงาน (Context Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนการทำงานหลัก ทั้งหมดของระบบโดยแสดงความสัมพันธ์หรือส่วนที่เป็นผู้ให้และผู้รับข้อมูลของระบบ (Boundaries) กระบวน (Process) ทั้งนี้กระบวนการทำงานหลักของระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTและไมโครคอนโทรเลอร์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภาพรวมของระบบงาน (Context Diagram)ของระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTและไมโครคอนโทรเลอร์

3.การพัฒนาระบบ

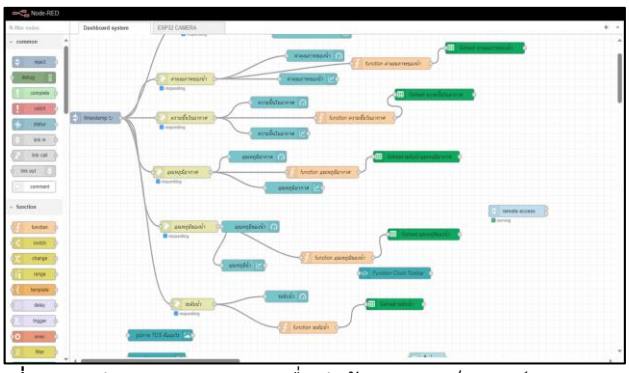
การพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTและไมโครคอนโทรเลอร์ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบโดยใช้ภาษา C++ สำหรับการเขียนรหัสคำสั่งใช้ Arduino และ Node-RED จำลองเป็นการใช้รันคำสั่ง ทั้งนี้ ในระหว่างการพัฒนาระบบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ ความถูกต้องของการทำงานในทุก ๆ ส่วนตามขอบเขตงาน หลังจากนั้นจึงได้นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินประสิทธิภาพของ เพื่อให้รับรองและทดลองใช้ระบบจากกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้งาน เพื่อประเมินความพึงพอใจ

ผลการวิจัย

1.ผลการพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยีIoT และไมโครคอนโทรเลอร์

การพัฒนาระบบควบคุมการปลูกผัดสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) ผู้ดูแลระบบ 2) ผู้ใช้งาน ตัวอย่างแต่ละส่วนของระบบ ดังต่อไปนี้

1.1 สร้างการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นในอากาศเครื่องมือวัดคุณภาพจากน้ำโดย Node-red ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การต่อ Code Blocks เพื่อรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ Node-red

จากภาพที่ 7 เป็นการต่อ Blocks เพื่อรับข้อมูลจาก Arduino มาแสดงผ่าน Node-red สร้างการบันทึกดังนี้ ค่าคุณภาพของน้ำ ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของน้ำ ระดับน้ำ ซึ่งจะรายงานผลผ่านโปรแกรม Node-red และ Google Sheet

1.2 การติดตั้งระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IOTไมโครคอนโทรเลอร์

1.2.1) การต่อจอแสดงผลเข้ากับกล่องวงจร และต่อสายไฟเลี้ยงเข้ากล่องวงจร

1.2.2) การนำกล่องวงจรไปติดตั้งเข้ากับระบบอควาโปนิกส์

1.2.3) การวางเซนเซอร์วัดค่า pH และอุณหภูมิของน้ำตามกำหนด

1.2.4) การวางเซนเซอร์วัดค่าระดับน้ำตามกำหนด

1.3 การใช้งานระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดใช้เทคโนโลยี IoT แลไมโครคอนโทรเลอร์หน้าต่างแสดงผลหลังจากการคลิกเข้าไปที่ Icon Aquaponic ดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 หน้าต่างแสดงผล

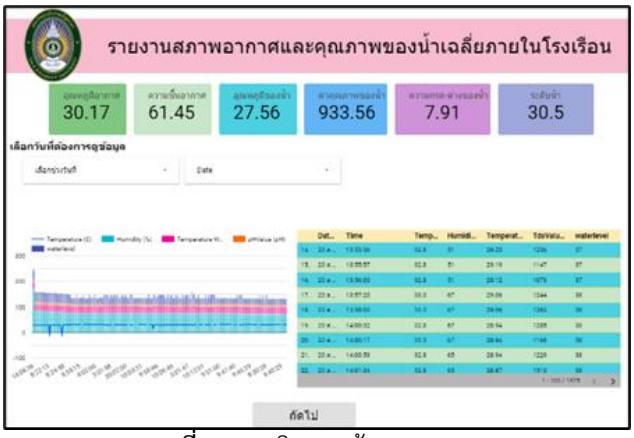
ภาพที่ 9 การแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์

จากภาพที่ 8 เป็นหน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Node-red ที่สามารถแสดงผลได้ 2 แบบ คือ แบบกราฟเส้น และแบบมาตราวัดความเร็ว ในการวัดค่าอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ วัดอุณหภูมิของน้ำ ความชื้นของน้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

1.4 การแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์

จากภาพที่ 9 การแจ้งเตือนระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ผ่านทาง Line แบบ Real time

1.5 การนำข้อมูลของระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์มารายงานสภาพอากาศและคุณภาพของน้ำเฉลี่ยภายในโรงเรือนโดยมีหน้าต่างแสดงผลรายงานสภาพอากาศและคุณภาพของน้ำเฉลี่ยภายในโรงเรือน



ภาพที่ 10 การวิเคราะข้อมูลจากระบบ

จากภาพที่ 10 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบ ที่แสดงรายงานสภาพอากาศและคุณภาพของน้ำเฉลี่ยภายในโรงเรือน ที่สามารถดูได้แบบ Real time ข้อมูลจะมีทั้ง วัน,เดือน,ปี

2 ผลการประเมินระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อระบบปลูกผักสลัดอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTไมโครคอนโทรเลอร์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางผลการวิเคราะห์คุณภาพของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้ระบบ	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมของขนาดของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบเหมาะแก่การใช้งาน	5.00	0.00	มากที่สุด
3.การออกแบบชุดอุปกรณ์เหมาะสมในการติดตั้งภายในโรงเรือนระบบอควาโปนิกส์	4.67	0.58	มากที่สุด
4. การออกแบบเรื่องระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายเลี้ยงการทำงานของระบบ	5.00	0.00	มากที่สุด
5. การออกแบบส่วนแสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ระบบ	4.67	0.58	มากที่สุด
6. ด้านโปรแกรมและการติดตั้ง Node-RED เพื่อให้ระบบสามารถรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรเลอร์	4.67	0.58	มากที่สุด
7. ด้านการเชื่อมต่อระบบกับ Google Sheets ให้มีการเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ	4.67	0.58	มากที่สุด
8. ด้านการแสดงผลของกล้องเช็คคุณภาพผักผ่านโรงเรือน	4.67	0.58	มากที่สุด
9. ความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนองการทำงานการแจ้งเตือนของระบบแจ้งเตือนผ่าน Line เมื่อมีค่าของ เซ็นเซอร์ที่เกินกำหนด	5.00	0.00	มากที่สุด
10. ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปข้อมูลทางด้านเกษตรและการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Looker Studio เพื่อการสรุปข้อมูลผักสลัดที่มีประสิทธิภาพ	5.00	0.00	มากที่สุด
11. ด้านการวางแผนการปลูกผักสลัดในโรงเรือน โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่ถูกต้องสำหรับการปลูกและการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อปรับการควบคุม	4.67	0.58	มากที่สุด
12. ความคุ้มค่าและประโยชน์ที่ได้รับเมื่อเทียบการลงทุนและความเสียหายที่ได้รับ	5.00	0.00	มากที่สุด
ภาพรวม	4.83	0.30	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.83, S.D.= 0.30) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านการกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้ระบบและด้านความเหมาะสมของขนาดของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบเหมาะแก่การใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากัน ($\bar{X}$=5.00, S.D.= 0.00)

3 ผลการหาความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์

ผลการประเมินโดยผู้ใช้งานบุคคลทั่วไป ที่มีต่อระบบปลูกผักสลัดอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoTไมโครคอนโทรเลอร์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ข้อที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1.	การกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้ระบบ	4.32	0.65	มาก
2.	ความเหมาะสมของขนาดของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบเหมาะแก่การใช้งาน	3.84	0.64	มาก
3.	การออกแบบชุดอุปกรณ์เหมาะสมในการติดตั้งภายในโรงเรือนระบบอควาโปนิกส์	4.39	0.72	มาก
4.	การออกแบบเรื่องระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายเลี้ยงการทำงานของระบบ	4.23	0.62	มาก
5.	การออกแบบส่วนแสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ระบบ	4.29	0.53	มาก
6.	ด้านโปรแกรมและการติดตั้ง Node-RED เพื่อให้ระบบสามารถรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรเลอร์	4.81	0.40	มากที่สุด
7.	ด้านการเชื่อมต่อระบบกับ Google Sheets ให้มีการเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ	3.65	0.88	มาก
8.	ด้านการแสดงผลของกล้องเช็คคุณภาพผักผ่านโรงเรือน	4.23	0.50	มาก
9.	ความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนองการทำงานการแจ้งเตือนของระบบแจ้งเตือนผ่าน Line เมื่อมีค่าของ เซ็นเซอร์ที่เกินกำหนด	4.61	0.72	มากที่สุด
10.	ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปข้อมูลทางด้านเกษตรและการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Looker Studio เพื่อการสรุปข้อมูลผักสลัดที่มีประสิทธิภาพ	4.39	0.72	มาก
11.	ด้านการวางแผนการปลูกผักสลัดในโรงเรือน โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่ถูกต้องสำหรับการปลูกและการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อปรับการควบคุม	4.23	0.88	มาก
12.	ความคุ้มค่าและประโยชน์ที่ได้รับเมื่อเทียบการลงทุนและความเสียหายที่ได้รับ	4.42	0.81	มาก
ภาพรวม		**4.28**	**0.67**	**มาก**

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=4.28, S.D.= 0.67) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านโปรแกรมและการติดตั้ง Node-RED มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$=4.81, S.D.= 0.40) รองลงมา ด้านความความแม่นยำและความเร็ว อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$=4.61, S.D.= 0.72) และด้านการกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้ระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=4.32, S.D.= 0.65) ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ได้เริ่มจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวข้องการออกแบบและพัฒนาจัดทำระบบควบคุมการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอควาโปนิกส์กึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และไมโครคอนโทรเลอร์ สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้อาจเนื่องมาจากความประสบความสำเร็จทางด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบที่สามารถทำได้และผลจากการประเมินคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งปรากฏผลที่น่าพอใจ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการออกแบบระบบที่สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ ทั้งนี้เนื่องจากระบบยังช่วยในการตอบโจทย์ และแสดงผลลัพธ์ต่างๆที่มีอยู่ในระบบได้ง่ายและรวดเร็ว เป็นการเพิ่มคุณภาพให้กับผู้ใช้งาน โดยผลการประเมินคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.83, S.D. =0.30) ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.28, S.D.= 0.67) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัย ของ (Piyawat Rueangrai et al.,2017) และ (Pornkid Unkhao 2019) ที่พัฒนาระบบตามเครื่องมือให้อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

Piyawat Rueangrai, Piyabutr Wanichpongphan and Chiwin Atthasat. (2017). Study of the effect of theproportion of plants grown in an aquaponics system on the efficiency of the system. A follow-up report from the 15th National and International Rajabhat University Academic Seminar, Northern Region. http://gs.nsru.ac.th/files/...pdf. (in Thai)

Phonkid Unkhao. (2019). Automatic nutrient solution control system for growing hydroponic vegetables with Internet of Things (IoT). Mongol Srivijaya University of Technology Research Journal, 11(1)., 146-157. (in Thai)

Worapan Krankul & Siri papa Phumma . (2018). Study of the effect of different nutrient solutions on Growth of Green Oak Salad Vegetables and Red Oak varieties grown in a hydroponic system[Thesis in Agriculture (Plant Production Technology) Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Nakhon Sawan RajabhatUniversity.https://ait.nsru.ac.th/stuResearch/re_20190313131009.pdf. (in Thai)

Sakorn Busabong, Amornphet Tabthong and Warawut Chosungnoen. (2020). Development of a hydroponic vegetable growing system with an embedded computer through NETPIE. Journal of Science and Technology Buriram Rajabhat University, 4(1), 50-62

Opas Iamsiriwong. (2015). Database Systems. Bangkok: SE-ED Education.