การออกแบบระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์และระบบติดตามรวบคุมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วย NETPIE แพลตฟอร์ม

Smart Aquaponics Farming with Monitoring and Control System based on NETPIE Platform

พงศกร แก้วกล้า* อภินนท์ ชิณศรี* มณีวรรณ ตอรบรัมย์* และเทพพร โลมารักษ์

Pongsakorn Kaewkla* Aphinon Chinnasri* maneewan Torobram* and Tepporn Lomarak

[1]หลักสูตรครุศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป, คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[1]Bachelor of Education Program in General Science, Faculty of Education, Buriram Rajabhat Univercity

บทคัดย่อ : งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์และระบบติดตามรวบคุมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วย NETPIE แพลตฟอร์ม แบ่งออกเป็นแต่ละส่วนได้แก่ ระบบประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทลเลอร์ NodeMCU ESP8266 V3, ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ปลูกพืชและเลี้ยงปลาด้วย Module relay ควบคุมการเปิดหรือปิด ปั้มน้ำ, ปั้มออกซิเจน และหลอดไฟแสงเทียม, ระบบควบคุมอุณหภูมิและวัดความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนด้วย Module sensor DHT11, ระบบวัดความเข้มแสงด้วย Module sensor BH1750FVI, ระบบวัดอุณหภูมิน้ำด้วย Module sensor DS18B20, ระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำด้วย Module sensor TDS และระบบพลังงาน โดยในแต่ละระบบสามารถทำงานแบบเชื่อมโยงกันผ่านแพลตฟอร์ม NETPIE ซึ่งทำการวัดค่า Potential of Hydrogen ion, ค่า Nitrate และค่า Nitrite ด้วยชุดทดสอบและดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติร่วมกับการเลี้ยงปลาและปลูกพืชนาน 7 วัน พบว่า ปลาดุกที่เลี้ยงร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยปลุกดุกมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 6.67 กรัม เป็น 7.33 ± 0.00733 กรัมและผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 58 กรัม เป็น 68 ± 0.068 กรัม อัตราการรอดตายของปลาดุกเท่ากับ 83.33 % ของจำนวนปลาดุกทั้งหมดอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

คำสำคัญ : อควาโปนิกส์, ปลาดุก, ผักกวางตุ้งฮ่องเต้, NETPIE

ABSTRACT : The purpose of this research was to Smart Aquaponics Farming with Monitoring and Control System based on NETPIE Platform. Processing system with NodeMCU ESP8266 V3 microcontroller board, factory control system and fish farming equipment with relay module to control water pump on/off, oxygen pump and artificial light, temperature control system and measure the relative humidity of the house as well. DHT11 Sensor Module Photometric System with BH1750FVI Sensor Module Water Temperature Measurement System with DS18B20 Sensor Module Water Conductivity Measurement System with TDS Sensor Module and Power System Each system is compatible with the NETPIE platform, which measures the potential of hydrogen ions, nitrates and nitrites with a test kit. and testing the automatic control system for aquaculture facilities as well After 7 days of culturing and growing the fish, it was found that the growth of the Clarias batrachus that were fed in conjunction with the emperor growing vegetables increased. The mean weight of the Clarias batrachus increased from 6.67 g to 7.33 ± 0.00733 g and the Green Pak Choi increased from 58 g to 68 ± 0.068 g. The root length of the Green Pak Choi increased from 14.33 to 24.67 cm. The survival rate of the catfish was 83.33% of Total number of catfish Statistically significant at the 0.05 level.
Keyword : Aquaponics, Clarias batrachus, Green Pak Choi, NETPIE

บทนำ

ในปัจจุบันมีการศึกษาการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดินที่เรียกว่า ระบบบอควาโปนิกส์(Aquaponics) เพื่อให้ผลิตสัตว์น้ำและพืชได้พร้อมกัน แนวคิดเกี่ยวกับระบบบอควาโปนิกส์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อลดปัญหาด้านมลพิษทางน้ำเป็นการเลี้ยงปลาผสมผสานกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ปัจจัยการผลิตที่มีประสิทธิภาพโดยอาศัยหลักการพึ่งพาอาศัยของระบบนิเวศสองระบบจากธาตุอาหารในน้ำของการเพาะเลี้ยงปลาหมุนเวียนไปยังพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง (Internet of things) คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้ง่ายจนทำให้าสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติในการเลี้ยงปลกดุกด้วยระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้แบบไร้ดิน เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบอวาโปนิกส์เพิ่มมากขึ้นและลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร แรงงาน และการจัดการพื้นที่เพาะปลูกอย่างจำกัด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติในการเลี้ยงปลาดุกด้วยระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้แบบไร้ดิน

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ประชุมวางแผนการทำงาน ลงพื้นที่เก็บข้อมูล รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องและกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ แบ่งออกเป็นแต่ละส่วนได้แก่ ระบบประมวลผล ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ปลูกพืชและเลี้ยงปลา ระบบควบคุมอุณหภูมิและวัดความชื้นโรงเรือน ระบบวัดความเข้มแสง ระบบวัดอุณหภูมิน้ำ และระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ

3.ทดสอบระบบควบคุมการทำงานของโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ และวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ, ค่าความเข้มแสง, ค่าอุณหภูมิน้ำ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ และ ค่า potential of hydrogen ion, ค่า Nitrate, ค่า Nitrite จากการวัดด้วยชุดทดสอบและวัดการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและผักกวางฮ่องเต้ด้วยเครื่องชั่ง 1 ตำแหน่ง เริ่มเก็บข้อมูลจากวันที่ 26/02/66 เวลา 14.00 น. ถึง วันที่ 05/03/66 เวลา 14.00 น. รวม 7 วัน

4. รวบรวมผลการทดสอบระบบและวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ, ค่าความเข้มแสง, ค่าอุณหภูมิน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และ ค่า PH, ค่า Nitrate, ค่า Nitrite จากการวัดด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำแบบกระดาษ

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย ข้อเสนอแนะงานวิจัย

การเตรียมพืชและสัตว์ทดลอง

ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ จำนวน 16 ต้น และ ปลาดุกพันธุ์บิ๊กอุย จำนวน 30 ตัว คณะผู้วิจัยใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบควบโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ

การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำปลาดุกพันธุ์บิ๊กอุยจำนวน 30 ตัว อายุ 15 วัน จากฟาร์มเพาะเลี้ยงของเกษตรกร มาเลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร ใส่น้ำปริมาตร 80 ลิตร จำนวน 1 ถัง น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาดุกมีการวัดค่า PH เริ่มต้นเท่ากับ 7.2 ซึ่งมีค่าความเป็นกลาง และให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลาดุก

การเพาะเมล็ดผักกวางตุ้งฮ่องเต้

1.ทำฟองน้ำให้เปียกน้ำก่อน โดยเรียงแผ่นฟองน้ำลงบนถาดเพาะกล้า รดน้ำให้โชกและใช้มือกดลงบนฟองน้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อให้ฟองน้ำอุ้มน้ำได้เต็มที่

2.การหยอดเมล็ดผักกวางตุ้งฮ่องเต้ใช้ไม้จิ้มฟันชุบน้ำและแตะเมล็ดผัก 2-3 เมล็ด นำไปวางในช่องบากของฟองน้ำ โดยเรียงเมล็ดอย่าให้ซ้อนกันลึกลงในฟองน้ำประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร (อย่าให้เมล็ดลึกเกินไปเมล็ดจะไม่งอก)

หลังจากนั้นหาผ้าคลุมเพื่อช่วยเก็บความชื้นและรดน้ำทุกวัน เช้า และ เย็น ประมาณ 3-4 วัน เมล็ดจะเริ่มงอก ให้นำถาดเพาะเมล็ดมาถูกแสงรำไร (ถ้านำเมล็ดมาถูกแสงช้า ต้นกล้าจะยืดไม่แข็งแรงผักจะเจริญเติบโตช้า ขั้นตอนนี้สำคัญมาก) ให้รดน้ำเช้าเย็น อีกประมาณ 3-4 วัน ต้นพืชจะโตประมาณ 1-2 เซนติเมตร และจะมีรากงอกทะลุฟองน้ำ

การออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ

การออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์แบ่งออกแต่ละส่วน ได้แก่ ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ปลูกพืชอควาโปนิกส์ โดยจะมีระบบย่อย คือ ระบบประมวลผล ระบบควบคุมอุปกรณ์ปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบอควาโปนิกส์ ระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิโรงเรือน ระบบวัดความชื้นสัมพัทธ์ ระบบวัดความเข้มแสง ระบบวัดอุณหภูมิน้ำ ระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ โดยในแต่ละระบบจะต้องมีการทำงานแบบเชื่อมโยงกัน แสดงรายละเอียดระบบการทำงานของโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ ดังนี้

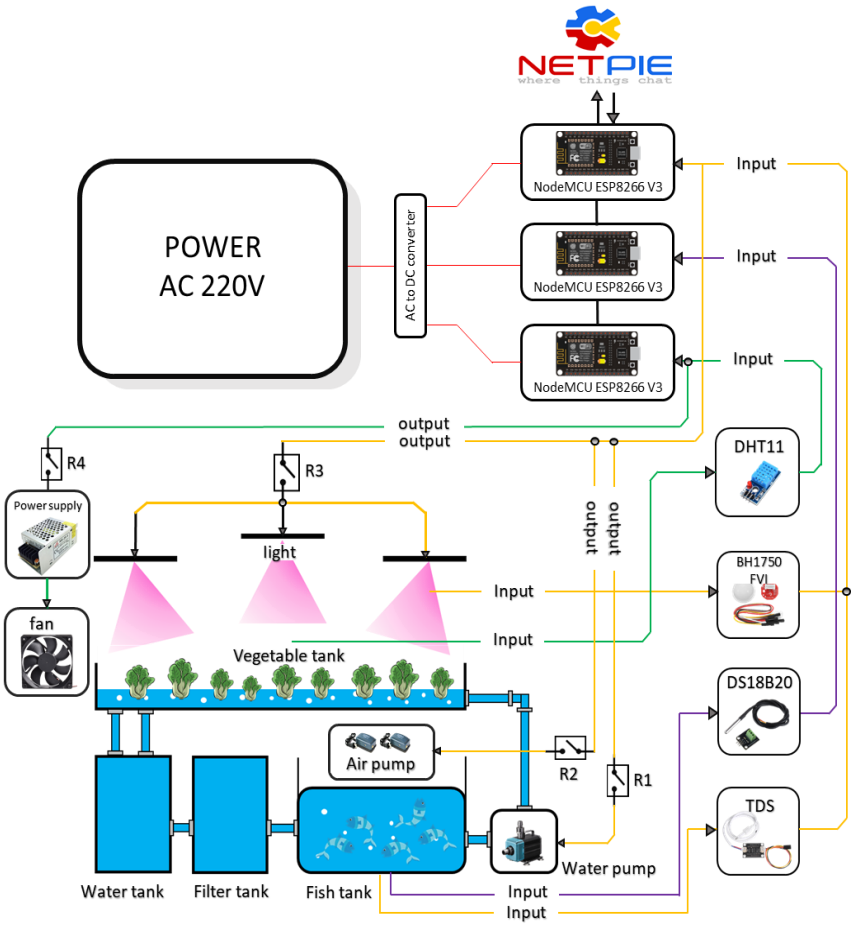


Figure 1 Aquaponics control system is divided into individual parts, namely the operation control system of aquaponics growing equipment. Plant control system in conjunction with fish farming in aquaponics system Greenhouse temperature measurement and control system, relative humidity measurement system, light intensity measurement system, water temperature measurement system Water Soluble Solid Determination System

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3 ร่วมกับการทำงานของ Module Sensor DHT11, Module Sensor BH1750FVI, Module Sensor DS18B20, Module Sensor TDS ในฐานข้อมูลบนแพลตฟอร์ม NETPIE อยู่ในรูปไฟล์ Excel และทดสอบระบบควบคุมการทำงานของโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติ และวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ, ค่าความเข้มแสง, ค่าอุณหภูมิน้ำ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ และ ค่า potential of hydrogen ion, ค่า Nitrate, ค่า Nitrite จากการวัดด้วยชุดทดสอบและวัดการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและผักกวางฮ่องเต้ด้วยเครื่องชั่ง 1 ตำแหน่ง เริ่มเก็บข้อมูลจากวันที่ 26/02/66 เวลา 14.00 น. ถึง วันที่ 05/03/66 เวลา 14.00 น. รวม 7 วัน

ผลการวิจัย

ผลการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้และปลาดุกบิ๊กอุย

การทดสอบการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ได้มีการเก็บบันทึกภาพถ่ายการเจริญเติบโตของต้นผักกวางตุ้งฮ่องเต้และปลาดุกบิ๊กอุยและบันทึกผลค่าน้ำหนัก ความยาวราก ก่อนและหลังการทดสอบ คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต แสดงภาพถ่ายการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้และปลาดุกบิ๊กอุยดังกล่าวไว้ในภาคผนวก อัตราการเจริญเติบโตดังตารางที่ 1 และความยาวรากดังตารางที่ 2

ผลการทดสอบค่า pH Nitrite และ Nitrate ในระบบปลูกผักแบบอควาโปนิกส์

การทดสอบความเหมาะสมของค่า PH, ไนเตรท, และไนไตรท์ ในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ทำการวัดและบันทึกผลค่าดังกล่าว 1 วัน ต่อ 1 ครั้ง เวลา 16:00 น. ระยะเวลาบันทึกผลทั้งสิ้น 7 วัน และเปรียบเทียบความถูกต้องของค่า PH ของน้ำประปาก่อนการทดลอง ที่วัดได้จากเครื่อง PH meter เทียบ กับกระดาษ Universal indicator ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่า PH หลังการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยมีค่าความเป็นกลางแสดงผล ดังตารางที่ 3 ส่วนค่าไนเตรทและไนไตรทยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทดสอบเพียง 7 วัน ทำให้ไม่สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทและไนไตรท์ได้อย่างชัดเจน แสดงผลดังตารางที่ 4 และ 5 และผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่า PH ของน้ำประปาก่อนการทดลอง ที่วัดได้จากเครื่อง PH meter เทียบ กับกระดาษ Universal indicator มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงผลดังตารางที่ 6

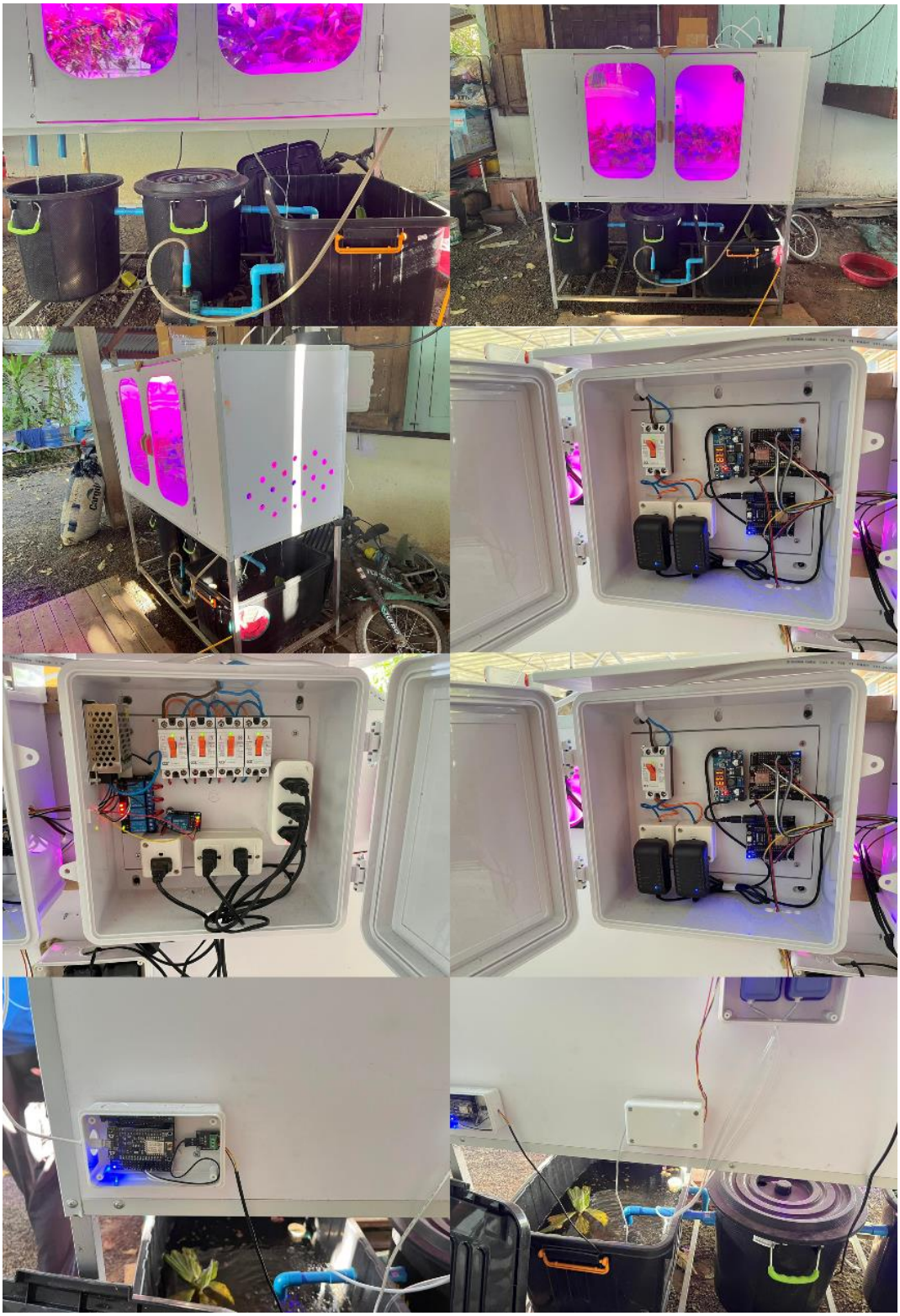
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์

ผลการทำงานของระบบควบคุมโรงเรือนควาโปนิกส์อัตโนมัติในการเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้แบบไร้ดิน พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำการทำงานของระบบแต่ละส่วนสามารถทำงานรับส่งข้อมูลได้สม่ำเสมอ ระบบประมวลผล ระบบควบคุมอุปกรณ์ปลูกพืชร่วมกับ

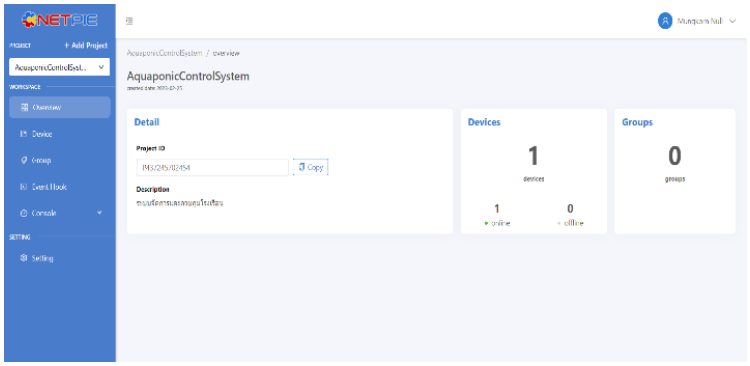
การเลี้ยงปลาในระบบอควาโปนิกส์ระบบประมวลผล ระบบควบคุมอุปกรณ์ปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบอควาโปนิกส์ ระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิโรงเรือน ระบบวัดความชื้นสัมพัทธ์ ระบบวัดความเข้มแสง ระบบวัดอุณหภูมิน้ำ ระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ วัดค่าได้อย่างสม่ำเสมอ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง อุณหภูมิน้ำและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ดังตารางที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

การออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์

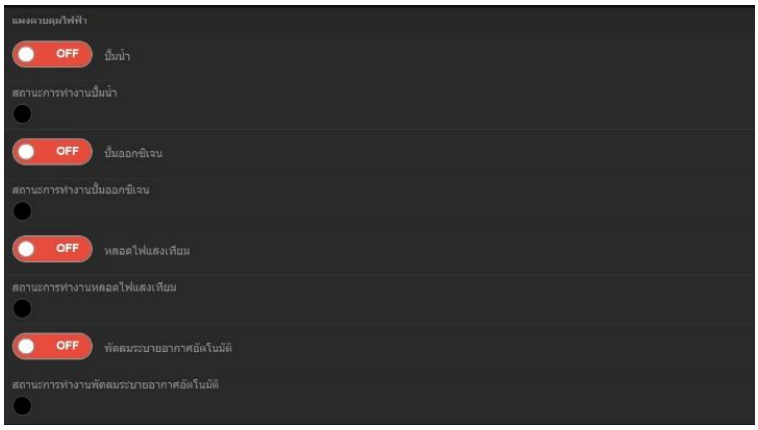
ภาพที่ 1 โมเดลต้นแบบระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์



ภาพที่ 2 ต้นแบบระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์



ภาพที่ 3 หน้าต่างเมนูของระบบบนแพลตฟอร์ม NETPIE



ภาพที่ 4 หน้าต่างแสดงสถานะการทำงานของระบบบนแพลตฟอร์ม NETPIE

ภาพที่ 5 หน้าต่างแสดงค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ของระบบบนแพลตฟอร์ม NETPIE

อัตราการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้และผลผลิตของปลาดุกบิ๊กอุย

คณะผู้วิจัยทำการวัดน้ำหนักของผักและปลาก่อนเริ่มทำการทดลอง แล้วนำมาเทียบกับค่าการวัดน้ำหนักและปลาหลังการทดลองเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อดูน้ำหนักของผักและปลา ที่แสดงถึงอัตรากาเจริญเติบโตของผักและปลา

ตารางที่ 1 บันทึกผลอัตราการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้และปลาดุกบิ๊กอุย ในระยะ 7วัน

หมายเหตุ วัดค่าโดยการชั่งน้ำหนักวันที่ 1 และ 7

รายการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	น้ำหนักเฉลี่ยก่อน (กรัม)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	น้ำหนักเฉลี่ยหลัง (กรัม)	ผลต่าง (กรัม)
ผักกวางตุ้งฮ่องเต้	53	57	64	58	64	69		71	68	10
ปลาดุกบิ๊กอุย	6	7	7	6.67	7	8		7	7.33	0.66

จากตารางที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ยของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ก่อนทำการทดลองปลูกในระบบอควาโปนิกส์คือ 58 กรัม และหลังการทดลองคือ 68 กรัม เมื่อนำค่าที่ได้หลังจากการทดลองมาลบกับค่าก่อนการทดลองเพื่อหาผลต่าง ค่าผลต่างของผักกวางตุ้งฮ่องเต้คือ 10 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักมีการเจริญเติบโตได้ในระยะเวลา 7 วัน เนื่องจากน้ำหนักผักเพิ่มขึ้น และน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกก่อนทำการทดลองคือ 6.67 กรัม และหลังการทดลองคือ 6.3 กรัม ซึ่งได้ผลต่าง 0.66 กรัม แสดงว่าการเจริญเติบโตของปลาดุกในช่วง 7 วันมีการเปลี่ยนแปลงแสดงถึงการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งและปลาดุก

ตารางที่ 2 บันทึกผลอัตราการเจริญเติบโตของรากผักกวางตุ้งฮ่องเต้ก่อนและหลังการทดลองปลูก

รายการ	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
ต้นที่ 1	13	23
ต้นที่ 2	14	25
ต้นที่ 3	16	26
เฉลี่ย	**14.33**	**24.67**

จากตารางบันทึกอัตราการเจริญเติบโตของรากผักกวางตุ้งฮ่องเต้ก่อนและหลังการทดลอง รากของผักกวางตุ้งในระยะเวลา 7วัน มีการเพิ่มความยาวขึ้นจากวันแรกที่มีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 14.33 เซนติเมตร และหลังการทดลองมีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 24.67 เซนติเมตร ซึ่งรากผักกวางตุ้งมีความยาวเพิ่มขึ้น 10.34 เซนติเมตร แสดงถึงการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง

ผลการทดสอบค่า pH Nitrite และ Nitrate ในระบบปลูกผักแบบอควาโปนิกส์

ตารางที่ 3 แสดงบันทึกผลค่า pH ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์

ค่าที่วัด/วัน	pH									
	ถังปลา				รางผัก	ถังกรอง	รางที่ 1		รางที่ 2	
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4			จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
26/02/66	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
27/02/66	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
28/02/66	6.4	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
01/02/66	7.6	7.2	6.4	6.8	6.4	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
02/03/66	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.8	7.2	7.2	6.8	6.8
03/03/66	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.8	7.2	7.2	7.2	7.2
04/03/66	7.2	7.2	6.8	7.2	7.2	6.8	7.2	7.2	7.2	6.8

จากตารางที่ 3 จากผลการวัดค่า pH ในระยะ 7วัน พบว่าค่า pH ในแต่ละจุดจะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 6.4-7.2 มีค่าความเป็นกรดอ่อนไปจนถึงกลาง และค่าในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 แสดงผลการบันทึกผลค่า Nitrate ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ (mg/l)

ค่าที่วัด/วัน	Nitrate (No_3)									
	ถังปลา				ราง ผัก	ถัง กรอง	รางที่ 1		รางที่ 2	
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4			จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
26/02/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
27/02/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
28/02/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
01/02/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
02/03/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
03/03/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
04/03/66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

จากตารางที่ 4 ค่า Nitrate (No3) ของแต่ละจุดและแต่ละวัน ในระยะเวลา7 วันยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5 บันทึกผลการควบคุมค่า Nitrite ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ (mg/l)

ค่าที่วัด/วัน	Nitrite (No_2)									
	ถังปลา				ราง ผัก	ถัง กรอง	รางที่ 1		รางที่ 2	
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4			จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
26/02/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27/02/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28/02/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
01/02/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02/03/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03/03/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04/03/66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

จากตารางที่ 5 ค่า Nitrite (No_2) ของแต่ละจุดในระยะเวลา 7 วันมีค่าเท่ากับ 1 mg/l แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า Nitrite

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่า pH ที่ได้จากเครื่อง pH meter กระดาษ Universal indicator

จุดเก็บค่า pH	ค่า pH จากเครื่อง pH meter	ค่า pH จาก กระดาษ Universal indicator
น้ำปะปา	7.51	7.2
รางน้ำ 1	7.02	7.2
รางน้ำ 2	7.05	7
ถังพักน้ำ	7.11	7.2
ถังกรองน้ำ	7.07	6.8
ถังเลี้ยงปลา 1	7.05	7.1

จากตารางที่ 6 จากตารางการเปรียบเทียบค่า pH ที่ได้จากเครื่อง pH meter กับค่า pH จากกระดาษ Universal indicator ของแต่ละจุด มีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในค่ากลาง ค่าของการวัดทั้ง 2 แบบถือว่าไม่ต่างกันมาก มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าจากกระดาษมีความน่าแม่นยำ และเทียบค่าpH ของน้ำปะปาเริ่มต้น กับน้ำแต่ละจุดในระบบ ค่า pH ของน้ำประปาเท่ากับ 7.51 และค่าpH แต่ละจุดอยู่ระหว่าง 7.02-7.11 ซึ่งมีค่าเป็นกลางแต่เริ่มมีความเป็นกรดเล็กน้อยทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ผลการวัดค่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง อุณหภูมิน้ำและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์

ระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์แบ่งออกแต่ละส่วน ได้แก่ ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ปลูกพืชอควาโปนิกส์ โดยจะมีระบบย่อย คือ ระบบประมวลผล ระบบควบคุมอุปกรณ์ปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบอควาโปนิกส์ ระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิโรงเรือน ระบบวัดความชื้นสัมพัทธ์ ระบบวัดความเข้มแสง ระบบวัดอุณหภูมิน้ำ ระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ โดยในแต่ละระบบจะต้องมีการทำงานแบบเชื่อมโยงกัน แสดงรายละเอียดผลการวัดค่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง อุณหภูมิน้ำและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ ดังนี้

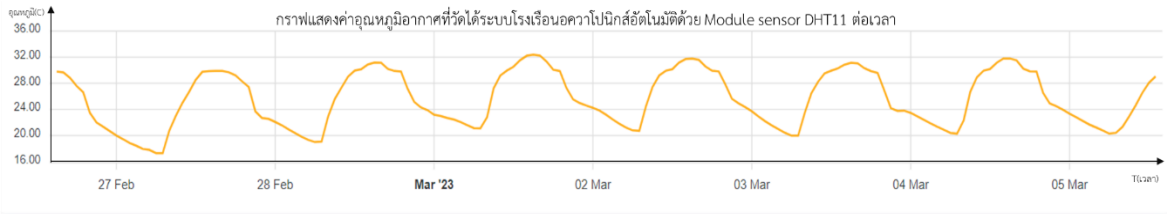
ผลการวัดค่าอุณหภูมิอากาศในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DHT 11

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ ระยะเวลา7วัน (องศาเซลเซียส)

Air Temperature

	N	Mean	Std. Deviation
day1	24	24.8396941	3.30195116
day2	24	25.3180771	3.62647189
day3	24	26.3901913	3.93671345
day4	24	26.6904684	3.97545810
day5	24	26.1229840	4.07302085
day6	24	26.0513168	4.09626220
day7	24	25.3403308	3.81089649
Valid N (listwise)	24		

ค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ อยู่ในช่วง 17 - 30 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถทำงานควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนได้ และค่าอุณหภูมิระหว่างวันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2565 มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ต่ำลงเนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นลง ทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จากระบบโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงด้วย แสดงข้อมูล ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้ระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DHT11 เป็นระยะเวลา 7 วัน

ผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DHT 11

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นสัมพัทธ์ในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์เป็นระยะเวลา 7วัน (%)

Humidity

	N	Mean	Std. Deviation
day1	24	68.4283417	12.19218667
day2	24	70.7924221	14.62151281
day3	24	73.5311786	14.35087431
day4	24	70.1278420	13.39482779
day5	24	68.4256764	10.86292949
day6	24	69.0739333	13.49475320
day7	24	73.5311786	14.35087431
Valid N (listwise)	24		

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ อยู่ในช่วง 40 - 90 % แสดงว่าระบบวัดความชื้นสัมพัทธ์ สามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ และระหว่างวันที่ 26-27 กุมภาพันธ์ 2565 มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลงเนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นลงมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงด้วย แสดงข้อมูล ดังกราฟที่ 2

กราฟที่ 2 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DHT11 เป็นระยะเวลา 7 วัน

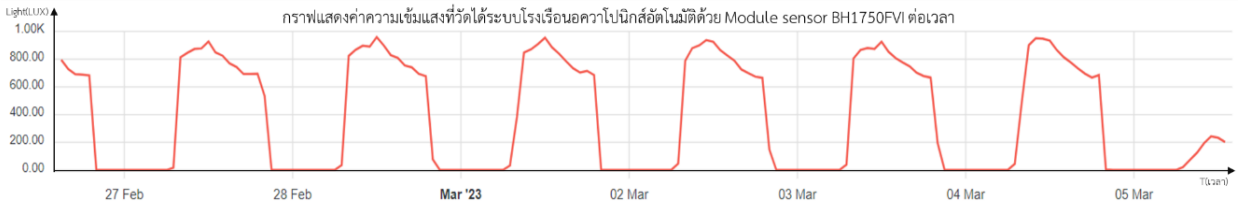
ผลการวัดค่าความเข้มแสงในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor BH1750FVl

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor BH1750FVI เป็นระยะเวลา7วัน (Lux)

Light intensity

	N	Mean	Std. Deviation
day1	12	785.3040831	83.84640098
day2	12	812.0632346	95.91900797
day3	12	799.0853256	91.08961771
day4	12	800.9570302	95.22912698
day5	12	806.1833494	97.82039761
day6	12	789.4349440	90.43606857
day7	12	802.6340280	113.69480172
Valid N (listwise)	12		

ค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ระหว่างเปิดการใช้งานหลอดไฟแสงเทียมเวลา 9.00 – 20.00 น. อยู่ในช่วง 650-1000 LUX แสดงว่าระบบวัดความเข้มแสง สามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ และระหว่างปิดการใช้งานหลอดไฟเวลา 20.01-8.59 มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงเท่ากับ 0 LUX เนื่องจากเวลาดังกล่าวมีการปิดใช้งานหลอดไฟแสงเทียม และเป็นช่วงเวลากลางคืนจึงไม่มีแสงสว่าง มีผลทำให้ค่าความเข้มแสงที่เซนเซอร์วัดได้เท่ากับ 0 แสดงข้อมูล ดังกราฟที่ 3



กราฟที่ 3 แสดงค่าความเข้มแสงในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor BH1750FVI เป็นระยะเวลา7วัน (Lux)

ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DS18B20

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิน้ำในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DS18B20 เป็นระยะเวลา 7 วัน (C)

Water temperature

	N	Mean	Std. Deviation
day1	24	23.7325600	1.44147690
day2	24	24.1479739	1.49097548
day3	24	24.1972917	1.29929000
day4	24	24.6426064	1.77327711
day5	24	24.0390038	1.98914989
day6	24	23.8556720	1.63659058
day7	24	23.9781839	1.70796951
Valid N (listwise)	24		

ค่าอุณหภูมิน้ำที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ อยู่ในช่วง 16 - 27 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบวัดอุณหภูมิน้ำสามารถทำงานควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนได้สม่ำเสมอ และค่าอุณหภูมิระหว่างวันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2565 มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำต่ำลงเนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นลง ทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จากระบบโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงด้วย แสดงข้อมูล ดังกราฟที่ 4

กราฟที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำที่วัดได้ระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor DS18B20 เป็นระยะเวลา 7 วัน

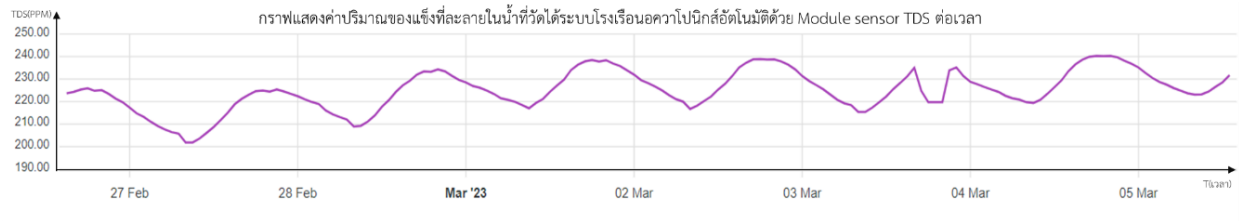
ผลการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในระบบควบคุมโรงเรือนอควาโปนิกส์ด้วย Module sensor TDS

ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ที่วัดได้เป็นระยะเวลา 7 วัน (PPM)

TDS

	N	Mean	Std. Deviation
day1	24	234.2261498	5.54917185
day2	24	239.1209337	6.38992785
day3	24	226.4275649	5.28890483
day4	24	229.0314284	7.11544722
day5	24	228.1303918	8.35813814
day6	24	225.8759903	5.34192108
day7	24	232.2010359	6.30592391
Valid N (listwise)	24		

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ อยู่ในช่วง 200 - 240 PPM แสดงว่าระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำสามารถทำงานในโรงเรือนได้สม่ำเสมอ และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำระหว่างวันที่ 3 มีนาคม 2565 เวลา 18.05-22.39 น. มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำต่ำลงเนื่องจากอาจจะมีการขยับของโพรพวัดค่าของเซนเซอร์ ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงด้วย แสดงข้อมูล ดังกราฟที่ 5



กราฟที่ 5 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์ที่วัดได้เป็นระยะเวลา 7 วัน (PPM)

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการออกแบบระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์และระบบติดตามรวบคุมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วย NETPIE แพลตฟอร์ม พบว่าผลการทำงานของระบบควบคุมโรงเรือนควาโปนิกส์อัตโนมัติในการเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้แบบไร้ดิน ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ การทำงานของระบบแต่ละส่วนสามารถทำงานรับส่งข้อมูลได้สม่ำเสมอ ระบบประมวลผล ระบบควบคุมอุปกรณ์ปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบอควาโปนิกส์ ระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิโรงเรือน ระบบวัดความชื้นสัมพัทธ์ ระบบวัดความเข้มแสง ระบบวัดอุณหภูมิน้ำ ระบบวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ วัดค่าได้อย่างสม่ำเสมอ และปลาดุกที่เลี้ยงร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยปลุกดุกมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 6.67กรัม เป็น7.33 ± 0.00733 กรัม และผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 58 กรัม เป็น 68 ± 0.068 กรัม อัตราการรอดตายของปลาดุกเท่ากับ 83.33% ของจำนวนปลาดุกทั้งหมด ส่วนค่า PH ที่วัดได้จากระบบโรงเรือนอควาโปนิกส์อัตโนมัติจำนวนทั้งหมด 4 บริเวณ รวม 12 จุด ได้แก่ Fish tank จำนวน 4 จุด , Water tank จำนวน 2 จุด, Vegetable tank จำนวน 4 จุด และ Filter tank จำนวน 2 จุด มีค่าเท่ากับ 7.2 ทั้ง 4 บริเวณ และหลังการทดสอบมีค่าเท่ากับ 6.9, 7.2, 6.8 และ 7.1 ตามลำดับ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางภาพของของการเพาะเลี้ยงปลา ส่วนค่า Nitrateและ ค่า Nitrite ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 7 วัน จึงไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). อะควาโปนิกส์: ปลูกผักไปด้วย เลี้ยงปลาไปด้วย.
ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์2566, จาก https://www.okmd.or.th/okmd-kratooktomkit/4048/.

เจ้าของร้าน. (2561). ค่า pH และค่า EC. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566,
จาก http://www.smartfarmdiys.com/article/41.

นราศักดิ์ บุญมี และคณะ. (2564).ผลของน้ำเลี้ยงปลานิล (Oreochromis niloticus) ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ในระบบอควาพอนิกส์. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก https://sci.bsru.ac.th/advscij/e-magazine/21-2/chapter-14.pdf

บริษัท แอดวานซ์อีเลคทริค แอนด์ อีเลคทรอนิค จำกัด. LED GROW LIGHT คืออะไร. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566, จาก https://aee-lighting.com/blog/bthkhwaamaelakhwaamruu-1/led-grow-light-khuue-aair-1

ประจวบ ฉายบุ และคณะ. การเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลระบบอควาโปนิกส์โดยใช้วัสดุกรองชีวภาพที่ต่างกัน. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566,
จาก https://erp.mju.ac.th/openFile.aspx?id=MjMyMzc3

ประภาส สุวรรณเพชร, ม.ป.ป. เรียนรู้และลองเล่น Arduino เบื้องต้น. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก https://gla.reru.ac.th/documents/KruPraphasArduinoBook.pdf.

ปฐมพงษ์ กาศสกุล, ประจวบ ฉายบุ, ชนกันต์ จิตมนัส และเกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. (2557). ความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลานิล ในระบบฟ้าหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 8(1): 23-32. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566.

ปิยะวัฒน์ และคณะ. (2558). ผลของการใช้น้ำเหลือทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุกต่อการเจริญเติบและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบสารละลายธาตุอาหารไม่หมุนเวียน. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก https://li01.tcithaijo.org/index.php/pajrmu/article/download/249083/170326/

มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ,Internet of Things (IoT):ภาครายวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566,
http://apps.bangkok.go.th/info_gidsedbkk/bmainfo/data_DDS/document/internet-of-things.pdf

รุ่งตะวันและคณะ. (2554). การทำฟาร์มแบบผสมผสานระหว่างเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกผักกวางจีนลอยน้ำ. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566, จาก http://www.fishtech.mju.ac.th/

ไร่คุณลุงท๊อป ต้นอ่อนทานตะวัน ออแกนิค. วิธีปลูก กวางตุ้งฮ่องเต้ Bok Choy. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์

2566, จาก https://www.railungtop.com.

ลัดดาวรรณ จันทวงษ์. (2554). ภาษาซี. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก http://wmcclaguage.blogspot.com/p/1.html

สาธิต บุญน้อม และคณะ. การวิจัยระบบอควาโปนิกส์ในการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกผักสลัดแบบไร้ดินที่แตกต่างกัน. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566,
จาก https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=12Fis07_O_Final.pdf&id=4678&keeptrack=6

สุภาพร สุกสีเหลือง. การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566,
จาก https://nbdcthailand.com/2021/03/31/.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอ่างทอง. (2564). การปลูกพืชไร้ดิน. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2566,
จาก https://www.opsmoac.go.th/angthong-article_prov-preview-431691791803.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ,2563.คู่มือการใช้งาน NETPIE.ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.ค้นหาเมื่อวันที่26 กุมภาพันธ์ 2566,
http://203.159.154.241/innogoth/wp-content/uploads/2017/09/NETPIE-WS_v23.pdf

สมพร คำเครื่อง. (2560). การออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ระบบNutrient Flow Technique แบบประหยัด. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. สืบค้น วันที่25 กุมภาพันธ์ 2566, https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/crma-journal/article/download/243106/165336/843208

สรรลาภ. (2557). การศึกษาระดับความหนาแน่นทีเหมาะสมของการเลี้ยงปลานิน ในระบบน้ำหมุนเวียนอควาโปนิกส์. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก http://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2559/M121257/Chantabut%20Leklai.pdf

อภิสิทธิ์ ชิตวณิช, (2562). การเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าวก่ำบางพระที่ปลูกภายใต้สภาพแสงที่แตกต่างกัน.วารสารผลิตกรรมการเกษตรปีที่4ฉบับที่1. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566,
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/japmju/issue/view/17322

Aatira Farooq และคณะ. (2022). Iron supplementation in aquaculture wastewater and its effect on the growth of spinach and pangasius in nutrient film technique based aquaponicshttps. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566,
จาก ://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377422006734

Bhakar, V., K. Kaur, and H. Singh. 2021. Analyzing the Environment Burden of an Aquaponics System using LCA.Procedia CIRP. 98: 223-228. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566.

Copyright 2022, NETPIE. คู่มือการใช้งาน NETPIE Platform. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566, จาก https://docs.netpie.io/

Ezzahoui, I., R. A. Abdelouahid, K. Taji, and A. Marzak. 2021. Hydroponic and Aquaponic Farming: Comparative Study.Based on Internet of things IoT technologies. Procedia Computer Science. 191: 499–504. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566.

Peng Chen และคณะ. (2022). Maximizing nutrient recovery from aquaponics wastewater with autotrophic or heterotrophic management strategies. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566, จาก. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X23000312?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7a133311da29a1c2

Rakocy, J.E. 2012. Aquaponics-Integrated fish and plant culture. John Wiley & Sons, Inc. สืบค้น วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566.

Thanatcha Veeravattanayothin. (2022). NodeJS คือ อะไร มาทำความรู้จักตัวช่วยพัฒนาเว็บไซต์ยอดนิยม. สืบค้น 26 กุมพาพันธ์ 2566, จากhttps://blog.openlandscape.cloud/nodejs