

Automatic Monitoring Water Quality System of Giant Freshwater Prawn Pond Using Microcontroller System

ระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

Received	19 Jul 22
Reviewed	30 Jul 22
Revised	17 Jul 22
Accepted	29 Jul 22

Thitipong Unchai*

ฐิติพงษ์ อุ่นใจ*

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

*Corresponding Author, Tel. 086 225 5202 E-mail: Thitipong.u@ubru.ac.th

*ผู้เขียนประสานงาน โทรศัพท์. 086 225 5202 อีเมล: Thitipong.u@ubru.ac.th

Abstract

This research has designed and developed a water quality monitoring system in giant freshwater prawn ponds. To test the performance of the microcontroller board system (microcontroller) controls the operation of the system together with the water quality probe such as dissolved oxygen (D.O.), alkalinity value, and pH value. In a giant freshwater prawn pond, size 3 × 3 meters, the water capacity in the pond is 9000 liters. The results of performance testing of the water quality monitoring system in the giant freshwater prawn pond with a microcontroller board found that the factors that caused the system to consider turning on the water treatment system in the pond, including water oxygen and alkalinity in the row. In the case of pH value, the value was too low than the condition of turning on the treatment system of the microcontroller board system. Measure the system performance by analyzing the water quality period within the standard. Data indicate that the system has an efficiency of 82.73% and an energy efficiency of 82.3% compared to traditional farming systems.

Keywords: Water quality, Giant freshwater prawn, Microcontroller

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ควบคุมการทำงานของระบบร่วมกับหัววัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าออกซิเจนน้ำ ค่าอัลคาไลน์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาด 3 × 3 เมตร ความจุน้ำในบ่อเลี้ยง 9000 ลิตร ผลการทดสอบและศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ พบว่า ปัจจัยที่ทำให้ระบบพิจารณาการเปิดน้ำระบบบำบัดในบ่อเลี้ยง

ได้แก่ ค่าออกซิเจนน้ำ รองลงมาคือค่าอัลคาไลน์ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงในระดับต่ำเกินกว่าเงื่อนไขเปิดระบบบำบัดของระบบบอร์โดไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อทำการตรวจวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยวิเคราะห์จากระยะเวลาคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพ 82.73% และมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้ 82.3% เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบเดิม

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ กุ้งก้ามกราม ไมโครคอนโทรลเลอร์

1. บทนำ

การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นอาชีพที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีราคาจำหน่ายค่อนข้างสูง แต่ปัญหาที่พบในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในปัจจุบัน คือ มีอัตราการตายที่ค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 28.13 เท่านั้น [1] ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยธรรมชาติกุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์ที่หากินบริเวณพื้นท้องน้ำ และมีการลอกคราบเมื่อมีการเจริญเติบโต ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่กุ้งมีความอ่อนแอ สัมพันธ์กับคุณภาพของน้ำในบ่อที่จะมีคุณภาพลดลงไปจนถึงเกิดน้ำเน่าเสีย เนื่องจากการลดลงของคุณภาพน้ำในบ่อ ทำให้การเลี้ยงต้องมีความเสี่ยงต่อกุ้งเป็นโรคตายสูงมาก [2,3] โดยเฉพาะในบริเวณบ่อเลี้ยงที่มีการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น การจัดการเรื่องคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงจึงมีความสำคัญมาก [4] ผู้เลี้ยงกุ้งต้องมีความรู้และเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพื่อหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะมีผลต่อสุขภาพของกุ้ง การเจริญเติบโตและผลผลิต คุณสมบัติของน้ำที่มีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น เทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน รวมถึงมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นนวัตกรรมในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้

ด้วยเหตุนี้เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการรวมทั้งเทคนิคการเพาะเลี้ยงกุ้ง

ก้ามกรามอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งก้ามกราม ทั้งนี้หากมีการนำเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำมาช่วยในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม โดยเฉพาะการให้อาหารและการจัดการคุณภาพน้ำที่ได้นั้น [5] เป็นอีกหนทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดรายจ่ายในด้านการจัดการ และลดต้นทุนการผลิต [6] รวมทั้งสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของน้ำภายในบ่อระหว่างที่ทำการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จะเป็นแนวทางให้ประสบผลสำเร็จในการประกอบอาชีพได้ แนวทางดำเนินการ

ทั้งนี้ การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบดั้งเดิมจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการเติมอากาศในบ่อเลี้ยง รวมถึงพลังงานไฟฟ้าสำหรับปั้มน้ำเพื่อนำไปบำบัด ในถังบำบัดแบบแยกส่วนตลอดเวลา ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตกุ้งก้ามกรามสูง การพัฒนาและนวัตกรรมการระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตลงได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมมีสาเหตุจาก การกินอาหาร การขับถ่ายของเสีย หรือกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆ จุลินทรีย์และสารเคมีตกค้างในแหล่งน้ำ เพื่อการรักษาสุขภาพทางกายภาพของน้ำ จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาระดับค่าทางเคมีของบ่อให้อยู่ในเกณฑ์ ผ่านการตรวจ ติดตามสภาวะของน้ำทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เพื่อยกระดับความสามารถในการผลิตกุ้งก้ามกรามเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี [7,8] จะช่วยยกระดับสินค้าประเภทกุ้งก้ามกรามเลี้ยงให้มีคุณภาพ

สม่ำเสมอ โดยการเลี้ยงภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ดำเนินการด้วยภายใต้กระบวนการที่มีมาตรฐาน [9] เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสม่ำเสมอตามความต้องการของตลาด [10,11]

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการพัฒนาระบบในการตรวจติดตามคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำภายในบ่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen ,DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าอัลคาไลน์ในน้ำ (Alkalinity) ตลอด 24 ชั่วโมง แล้วส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุม โดยการส่งสัญญาณอนาล็อกจากหัววัดเพื่อให้บอร์ด Arduino แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเปิดระบบบำบัดน้ำ เมื่อคุณภาพน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อเปิดระบบบำบัดน้ำหรือทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

1.2.3 เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกุ้งก้ามกราม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ในปัจจุบันที่สำคัญได้แก่ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ที่มีคุณภาพด้อยลง อันเนื่องมาจากการขยายตัวของฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในประเทศไทย ที่มีเพิ่มขึ้นในหลาย ๆ ท้องที่ ทำให้การเลี้ยงต้องมีความเสี่ยงต่อภัยเป็นโรคตายสูงมาก โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบพัฒนา มีการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น และขาดระบบการควบคุมป้องกันของเสียที่ปล่อยออกมา แต่อย่างไรก็ตามการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำหมุนเวียน หรือระบบปิดสนิทที่ตามการจัดการเรื่องคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงมีความสำคัญมาก ผู้เลี้ยงกุ้งต้องมีความรู้และเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น [12,13] เพื่อหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะมีผลต่อสุขภาพของกุ้งการ

เจริญเติบโตและผลผลิต คุณสมบัติของน้ำที่มีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีดังนี้

1.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของกุ้งก้ามกรามมาก เนื่องจากพีเอชของน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำตัวอื่น ๆ อีกเช่นมีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียไนโตรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นต้น พีเอชของน้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของบ่อ ค่าอัลคาไลน์ดี การผลิตและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับปริมาณแพลงก์ตอนพืชในน้ำ

1.3.2 อัลคาไลน์ในน้ำ

ค่าอัลคาไลน์ในน้ำโดยทั่วไปหมายถึงปริมาณหรือความสามารถในการเป็นด่างของน้ำ ซึ่งจะรวมปริมาณของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เรียกรวมว่า อัลคาไลน์ ที่เป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้ง โดยจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าพีเอชซึ่งค่าอัลคาไลน์จะเป็นตัวรักษาระดับพีเอชน้ำในบ่อให้คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและช่วยในการรักษาสีน้ำค่าอัลคาไลน์ในน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามคือ 80-160 พีพีเอ็ม โดยทั่วไปการรักษาระดับอัลคาไลน์ให้คงที่นั้นจะใช้วัสดุปูนในกลุ่มคาร์บอเนต ส่วนการเพิ่มอัลคาไลน์อาจจะให้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตแล้วแต่ระดับพีเอชของน้ำ

1.3.3 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้งถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้กุ้งตายได้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อจะเปลี่ยนแปลงคล้ายกับพีเอชคือมีค่าต่ำสุดตอนเช้ามืดเนื่องจากการใช้ไปในการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อหลังจากแพลงก์ตอนพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสง ปริมาณ

ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในตอนบ่ายความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเค็ม น้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นออกซิเจนละลายได้น้อยลง เช่นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจืดเท่ากับ 7.54 พีพีเอ็ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 35 พีพีที ออกซิเจนจะอิ่มตัวที่ 6.22 พีพีเอ็ม

1.3.4 ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในการวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานจากการเนินกิจกรรมการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบเดิม เปรียบเทียบกับการการเลี้ยงกุ้งร่วมกับระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้จากสมการ [14]

$$Eff = [(E_{\text{pump1}}) - (E_{\text{PLC}} + E_{\text{pump2}})] / (E_{\text{pump1}}) * 100\% \quad (1)$$

โดยที่

E_{PLC} คือ พลังงานที่อุปกรณ์ PLC ใช้ (W/hr)

E_{pump2} คือ พลังงานที่ปั้มน้ำในระบบเลี้ยงแบบเดิมใช้ (W/hr)

E_{pump1} คือ พลังงานที่ปั้มน้ำในระบบเลี้ยงร่วมกับระบบ PLC ใช้ (W/hr)

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

การควบคุมคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม จะสามารถยกระดับสินค้าประเภทกุ้งก้ามกรามเลี้ยงให้มีคุณภาพ ด้วยกระบวนการเพาะเลี้ยงที่มีมาตรฐาน (standard procedure) โดยการพัฒนาระบบในการตรวจติดตามคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำภายในบ่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัล

คาไลน์ในน้ำ ตลอด 24 ชั่วโมง แล้วส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเมื่อคุณภาพน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อเปิดระบบบำบัดน้ำหรือทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การตรวจติดตามสถานะของน้ำทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เพื่อยกระดับความสามารถในการผลิตกุ้งก้ามกรามเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาไลน์ ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่เข้าร่วมโครงการ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกุ้งก้ามกรามได้

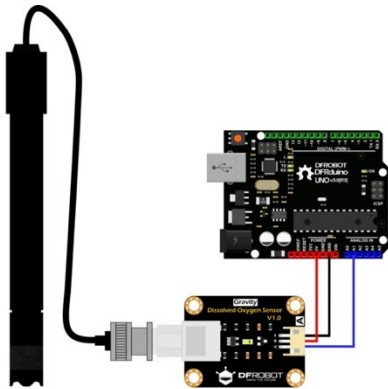
2.วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

การพัฒนาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในการวิจัยนี้พัฒนาขึ้นจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และพอร์ตเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์บรรจุเข้าไว้ในแผงวงจรเดียวกัน

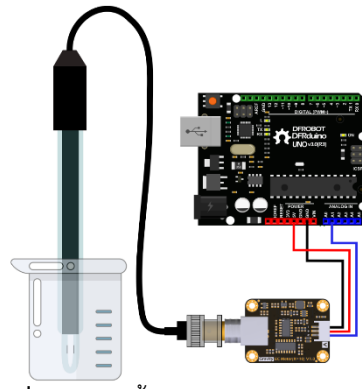
2.1. วัสดุ อุปกรณ์

2.1.1. เซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ

เป็นเซ็นเซอร์ DO sensor Arduino สำหรับวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 0 – 20 mg/L เป็นแบบ Analog (0-1023) ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา



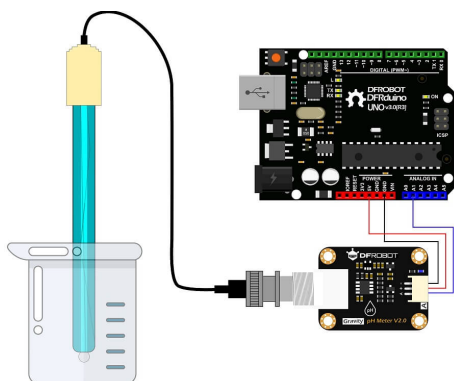
รูปที่ 1 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ



รูปที่ 3 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าอัลคาไลน์

2.1.2. เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

เป็นเซ็นเซอร์ PH sensor Arduino สำหรับวัดความเป็น กรด-เบส ของสารละลายโดยค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 0 - 14pH output เป็นแบบ Analog (0-1023) ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา



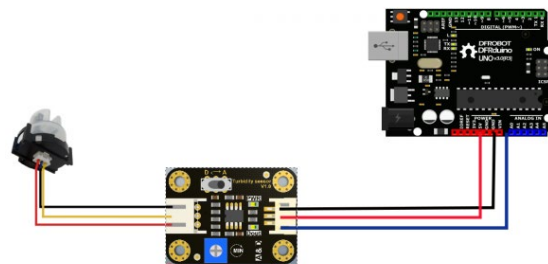
รูปที่ 2 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

2.1.3. เซ็นเซอร์วัดค่าอัลคาไลน์

เป็นเซ็นเซอร์ arduino สำหรับวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโดยค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 1ms/cm - 20ms/cm มี output เป็นแบบ Analog (0-1023) ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา

2.1.4. เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ

เป็นเซ็นเซอร์ arduino สำหรับวัดค่าระดับน้ำโดยค่าที่วัดได้จะมี output เป็นแบบ Analog ปิด-เปิด ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา



รูปที่ 4 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

2.2.1. พัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยเซ็นเซอร์ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยเซ็นเซอร์ (อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าอัลคาร์ไลน์) ที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สามารถแจ้งเตือนแก่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

2.2.2. พัฒนาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งให้มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงด้วยบ่อซีเมนต์

2.2.3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งภายหลังจากการให้อาหาร เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง

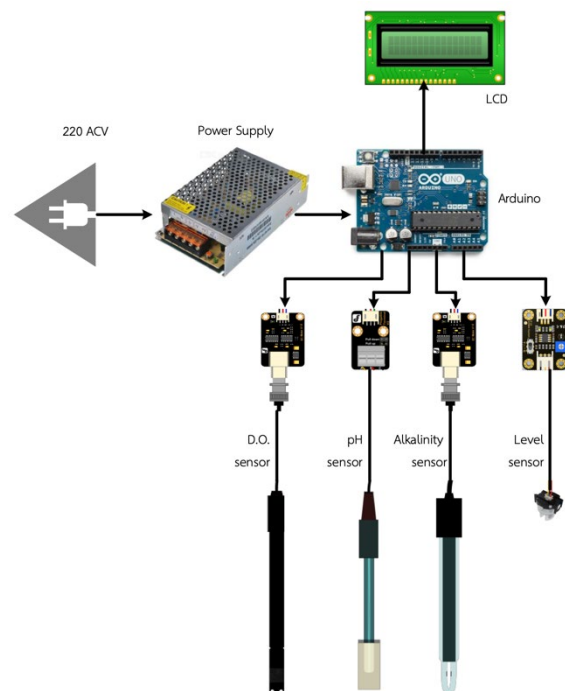
2.2.4. วิเคราะห์ ประสิทธิภาพของระบบโดยการเปรียบเทียบระยะเวลาและปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตกุ้งก้ามกราม

3.ผลการทดลอง

การควบคุมคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม จะสามารถยกระดับสินค้าประเภทกุ้งก้ามกรามเลี้ยงให้มีคุณภาพ ด้วยกระบวนการเพาะเลี้ยงที่มีมาตรฐาน (standard procedure) โดยการพัฒนาระบบในการตรวจติดตามคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำภายในบ่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ น้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาไลน์ในน้ำ ตลอด 24 ชั่วโมง แล้วส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเมื่อคุณภาพน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อเปิดระบบบำบัดน้ำหรือทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การตรวจติดตามสถานะของน้ำทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เพื่อยกระดับความสามารถในการผลิตกุ้งก้ามกราม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี

3.1 ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำ

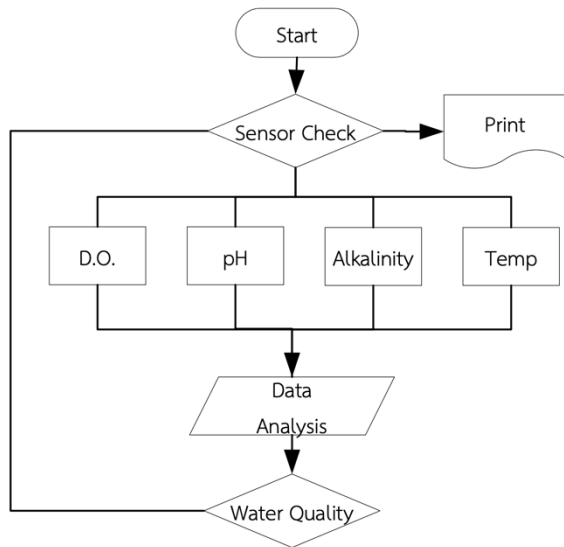
การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในการวิจัยนี้ พัฒนาขึ้นจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำ ส่วนแสดงผล และโปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงาน โดยสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



รูปที่ 5 ผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูป 5 แสดงให้เห็นระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งจำนวน 4 เซนเซอร์ ได้แก่ เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาไลน์ และเซนเซอร์วัดระดับน้ำ เชื่อมต่อกับจอแสดงผล LCD เพื่อแสดงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง

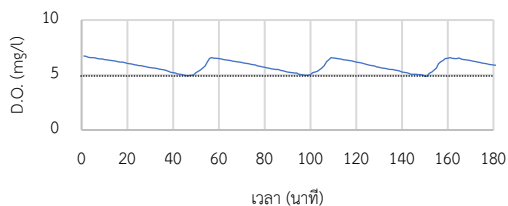
จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงานด้วยภาษา Python เพื่อเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เซนเซอร์ทั้ง 4 และจอแสดงผลเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความพร้อมของเซนเซอร์ วัดค่าคุณภาพน้ำตามชนิดของเซนเซอร์ ได้แก่ ค่าคุณภาพน้ำมีค่าสูงกว่า 6.5 mg/L ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าน้อยกว่า 6.5 ค่าอัลคาไลน์มีค่าน้อยกว่า 200 ms/cm จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาประมวลเพื่อพิจารณาสั่งงานระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อไป ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากค่าออกซิเจนในน้ำ

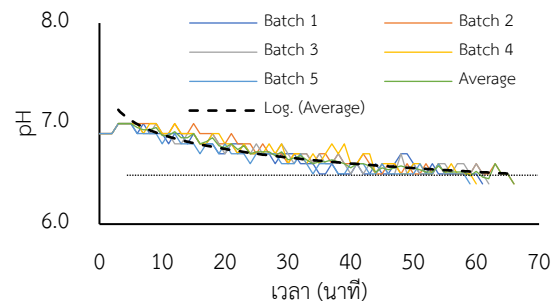
ผลการตรวจวัดค่าออกซิเจนในน้ำ ของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม พบว่า เมื่อค่าคุณภาพน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีค่าต่ำกว่า 5 mg/l ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำจะทำงานโดยการสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงขึ้นไปยังบ่อบำบัด แล้วจึงปล่อยน้ำกลับลงมาในบ่อเลี้ยง และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำจะหยุดทำงานเมื่อค่าคุณภาพน้ำของน้ำมีค่าสูงกว่า 6.5 mg/l ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่าออกซิเจนในน้ำ

3.3 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากค่าความเป็นกรด-ด่าง

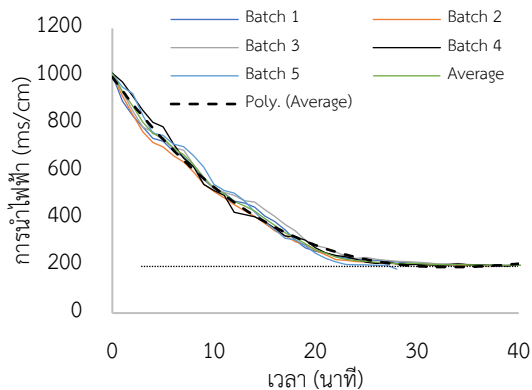
ผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม พบว่า เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีค่ามากกว่า 7.0 ระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับปรุงคุณภาพน้ำจะทำงานโดยการสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงขึ้นไปยังบ่อบำบัด แล้วจึงปล่อยน้ำกลับลงมาในบ่อเลี้ยง และระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับปรุงคุณภาพน้ำจะหยุดทำงานเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าน้อยกว่า 6.5 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.4 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากค่าอัลคาไลน์

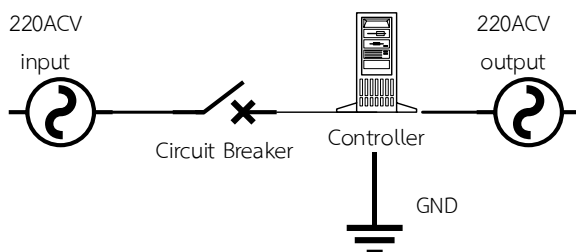
ผลการตรวจวัดค่าอัลคาไลน์ของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม พบว่า เมื่อค่าอัลคาไลน์ของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีค่ามากกว่า 1000 ms/cm ระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับปรุงคุณภาพน้ำจะทำงานโดยการสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงขึ้นไปยังบ่อบำบัด แล้วจึงปล่อยน้ำกลับลงมาในบ่อเลี้ยง และระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับปรุงคุณภาพน้ำจะหยุดทำงานเมื่อค่าอัลคาไลน์ของน้ำมีค่าน้อยกว่า 200 ms/cm ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าอัลคาไลน์

3.5 การติดตั้งส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมของระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกออกแบบให้เป็นระบบแบบรวมศูนย์ไว้ภายในตู้ควบคุม (Control Unit Cabinet) ส่งผลให้สามารถทำการติดตั้งได้ ด้วยการเชื่อมต่อบริเวณเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ กินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 10 แอมแปร์ ดังรูปที่ 10



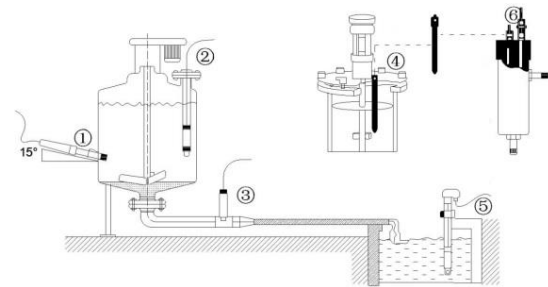
รูปที่ 10 การติดตั้งส่วนควบคุม

ทั้งนี้ เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดพบว่าน้ำในบ่อเลี้ยงมีคุณภาพต่ำกว่าที่กำหนดไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้กับปั๊มออกซิเจนและปั๊มน้ำสำหรับถังบำบัด

3.6 การติดตั้งส่วนเซ็นเซอร์ตรวจวัด

ส่วนเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกักก้ามกรามด้วยระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ประกอบด้วยหัววัดแบบเมมเบรนและแบบเซ็นเซอร์ไฟฟ้าตามลำดับ โดยการติดตั้งส่วนเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพของทั้ง 2 ระบบ สามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ ดังปรากฏในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การติดตั้งส่วนเซ็นเซอร์ตรวจวัด

การติดตั้งส่วนเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกักก้ามกรามสามารถติดตั้งได้ทั้งหมด 6 รูปแบบตามความเหมาะสมของบ่อและรูปแบบการใช้งาน ได้แก่

- (1) ติดตั้งกับด้านข้างของผนัง
(ต้องติดตั้งทำมุมเฉียง 45 องศาเท่านั้น)
- (2) ติดตั้งกับหน้าแปลนด้านบน
- (3) ติดตั้งกับท่อส่งน้ำ
- (4) ติดตั้งกับฐานด้านบนบ่อ
- (5) ติดตั้งกับผนังแบบจุ่มลอย
(ไม่ให้ของเหลวสูงถึงด้านสายไฟของหัววัด)
- (6) ติดตั้งกับส่วนน้ำเข้าถังบำบัด

ทั้งนี้ การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำควรและระมัดระวังความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหัววัดอันเนื่องจากการสัมผัสโดยตรงจากตัวกุ้ง

3.7 ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

ปริมาณการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ในการเลี้ยงกักก้ามกรามแบบเดิมและแบบร่วมกับระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการวิจัยนี้ จากขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในหัวข้อก่อนหน้านี้ เมื่อทำการตรวจวัดประมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า แสดง

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์มาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานเมื่อทำการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามร่วมกับระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการวิจัยนี้ พบว่า ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้ 82.3% เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบเดิม ทั้งนี้ ปริมาณมวลพลังงานที่ลดลงจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของระบบการเลี้ยงที่ใหญ่ขึ้น และต้องใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าอัลคาไลน์ ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกุ้งก้ามกรามได้

4.1. สรุปผล

เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์มาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานเมื่อทำการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามร่วมกับระบบตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำจากการวิจัยนี้ พบว่า ระบบตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้ 82.3% เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบเดิม ที่ใช้วิธีการเปิดปั๊มลมเติมออกซิเจนและปั๊มน้ำผ่านถังบำบัดตลอดเวลา ทั้งนี้ ปริมาณมวลพลังงานที่ลดลงจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของระบบการเลี้ยงที่ใหญ่ขึ้น และต้องใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.2. อภิปรายผล

ในการทดสอบประสิทธิภาพระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ทั้งระบบบอร์ด

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ทดสอบในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบซีเมนต์ขนาด 3 x 3 เมตร ความจุน้ำในบ่อเลี้ยง 9,000 ลิตร ที่ระดับความหนาแน่น 240 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นทำการทดสอบการตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง โดยการจำลองสถานการณ์คุณภาพน้ำที่ต้องการพิจารณา

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ความถี่ในการตรวจวัด 1 วินาที พบว่า ระบบสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยที่ทำให้ระบบพิจารณาการเกิดน้ำในบ่อเลี้ยง และตัดสินใจเปิดระบบการทำงานของปั๊มน้ำสำหรับการบำบัดน้ำ ได้แก่ ค่าออกซิเจนในน้ำ รองลงมาคือค่าอัลคาไลน์ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงในระดับต่ำเกินกว่าเงื่อนไขเปิดระบบบำบัดของระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยตามโครงการการพัฒนา ระบบการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตกุ้งก้ามกราม โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ผู้วิจัยพบข้อพิจารณาบางประการเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพระบบและเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตกุ้งก้ามกราม ดังนี้

- ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ในระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนใหญ่ผลิตขึ้นจากเมมเบรน (membrane) จึงไม่มีความทนทานต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานในระดับอุตสาหกรรม

- การใช้งานระบบการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งในฟาร์มเลี้ยงโดยเกษตรกร จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบการทำงานอย่างสม่ำเสมอ ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฟฟ้า และความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

- ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในการวิจัยนี้ใช้ระบบมาตรฐานสำหรับการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อซีเมนต์ในการออกแบบระบบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน หากต้องการนำระบบการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งไปใช้ร่วมกับการเลี้ยงในบ่อดิน จะต้องมีการปรับตั้งค่าเซนเซอร์ตรวจวัด และคำนวณระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับขนาดของบ่อเลี้ยงอีกครั้ง

5.องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย

ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำที่มีความสามารถในการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าอัลคาไลน์ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกุ้งก้ามกรามได้ตลอดช่วงระยะเวลาการเลี้ยง โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ 82.73% และมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 82.3% เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบเดิม ที่ใช้การเปิดระบบการทำงานของปั๊มอากาศและปั๊มบำบัดน้ำตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการตามงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กลุ่ม Basic Research Fund ปีงบประมาณ 2564 แพลตฟอร์มที่ 1 การพัฒนากำลังคนและสถาบันความรู้ โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนากำลังคนที่สามารถทำงานโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และส่งเสริมการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อเป็นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ในการสนับสนุนงบประมาณการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนและการอำนวยความสะดวกระหว่างการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม สำหรับความร่วมมือและช่วยเหลืองานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานประมงจังหวัดสุราษฎร์ธานี. สถานการณ์กุ้งก้ามกรามในช่วง 3 เดือนแรกของปี 2563. สุราษฎร์ธานี: สำนักงานประมงจังหวัดสุราษฎร์ธานี; 2563.
- [2] Ghosh, Alokesh Kumar, et al. Impact of commercial probiotics application on growth and production of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879). *Aquaculture Reports*. 2016; 4:112-117.
- [3] Qiu, Liang, et al. Description of a natural infection with decapod iridescent virus 1 in farmed giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Viruses*. 2019; 11:354.
- [4] อีรพงษ์ จรรย์ญาณกรณ์. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2545.
- [5] พรทิพย์ ธนวรรณ. การศึกษาการใช้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จัดรูปที่ดิน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดอนเจดีย์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2541.
- [6] ทาริกา แยมะมัง. แนวทางการจัดการต้นทุนการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อดินของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งตำบลห้วยม่วง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม. นครพนม; 2563.
- [7] เกียรติศักดิ์ ชินาภา. เครื่องควบคุมระดับค่าพีเอชแบบอัตโนมัติ สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม.

- กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2548.
- [8] Cheng, Winton, et al. Effects of temperature, pH, salinity and ammonia on the phagocytic activity and clearance efficiency of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* to *Lactococcus garvieae*. *Aquaculture*. 2003; 219:111-121.
- [9] บุญรัตน์ ประทุมชาติ. ผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นของการลำเลียงลูกกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และ กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ระยะโพสลาวา ต่อการรอดตายและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ลำเลียงบางประการ. *ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา*; 2559.
- [10] อรุณรัตน์ วัฒนชนนท์, แจ่มจันทร์ เพชรศิริ. ([2540]) การศึกษาโครโมโซมของกุ้งก้ามกรามที่พบในประเทศไทย. *สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ*; 2540.
- [11] Banu, Rubia, and Annie Christianus. Giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming: A review on its current status and prospective in Malaysia. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2016; 7:1-5.
- [12] Chand, B. K., et al. Effect of salinity on survival and growth of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Reports*. 2015; 2:26-33.
- [13] Cohen, Dan, Ziva Raanan, and Tom Brody. Population profile development and morphotypic differentiation in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Journal of the World Mariculture Society*. 1981; 12:231-243.
- [14] ฐิติพงษ์ อุ่นใจ. เครื่องอบแห้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนทั้งจากห้องเผาไหม้ชีวมวล. *ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก*; 2548.