

ชื่อโครงการ การพัฒนาระบบการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวเชิงหนาแน่นสูง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2556 จำนวนเงิน 1,513,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ประหยัด กองสุข (วศ.ม.วิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก)

ดร. ทวีศิลป์ พีชพิสุทธิ์ (ph.D, นักวิจัยอิสระ)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ทางไฟฟ้าให้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับตรวจวัดและควบคุมคุณภาพน้ำด้านปริมาณออกซิเจนและความเป็นกรดต่างในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวเชิงหนาแน่น เครื่องต้นแบบได้รับการพัฒนาขึ้นโดยเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (โพรบ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 โพรบทำหน้าที่แปลงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เพื่อประมวลผลและเปรียบเทียบกับค่าปริมาณออกซิเจนและความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่กำหนดไว้ (set point) จากนั้นส่งสัญญาณไปยังรีเลย์เอาต์พุต (output relay) เพื่อสั่งให้เครื่องให้อากาศทำงานในกรณีที่ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยงโดยอัตโนมัติและเมื่อปริมาณออกซิเจนเพิ่มถึงจุดที่ระบบตั้งไว้ รีเลย์เอาต์พุตจะสั่งให้เครื่องให้อากาศหยุดทำงานเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่ไม่จำเป็น ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำได้กำหนดให้รีเลย์เอาต์พุตแจ้งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำด้วยหลอดไฟสัญญาณ (ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำกว่า 6 แสดงไฟสีแดง มากกว่า 8 แสดงไฟสีเหลือง และ ระหว่าง 6 - 8 แสดงไฟสีเขียว) จากนั้นนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้ในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 1 ไร่ จำนวน 2 บ่อ ที่มีอัตราปล่อยหนาแน่น 5,000 ตัวต่อไร่ โดยมีอีก 2 บ่อที่มีพื้นที่บ่อและอัตราปล่อยเท่ากันแต่ใช้ระบบการควบคุมแบบทั่วไปหรือใช้คนคอยควบคุมเป็นบ่อเปรียบเทียบใช้เวลาการทดสอบนาน 6 เดือน ตลอดระยะเวลาการทดสอบให้ปลาได้รับอาหารเป็นเปอร์เซ็นต์ตามน้ำหนักตัว ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า บ่อที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่ำกว่าร้อยละ 21.1 ขณะเดียวกัน ตลอดระยะเวลาของการทดสอบพบว่า คุณภาพน้ำ ปริมาณอาหารที่ใช้ และผลผลิตของปลากะพงขาวที่ได้รับของบ่อที่มีการใช้เครื่องต้นแบบนี้ไม่แตกต่างกับบ่อที่ไม่ใช้ การวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงช่วยลดภาวะเสี่ยงด้านคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวเชิงหนาแน่นและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

Project Title: Development of Water Quality Management System for Intensive Pond
Culture of Sea bass (*Lates calcarifer*)

Year of Research Grants: 2013 Budget 1,513,000 Baht

Period of research: 1 yrs. Since November, 2013 to November, 2014

Name of Researcher: 1) Asst. Prof. Prayad Kongsuk (M.Eng. Electrical, Rajamangala
University of Technology Tawan-Ok :Chanthaburi Campus)
2) Dr. Taweessin Peatpisut, (Ph.D., Freelance Researcher)

Abstract

Electrical equipment was designed and developed as a prototype for monitoring and controlling dissolved oxygen and pH value in the high stocking density Sea bass pond. Sensors of dissolved oxygen and pH value were connected to microcontroller PIC30F4011. Amount of dissolved oxygen and pH value were converted to an electrical signal by sensor prior to transmit to microcontroller PIC30F4011. The microcontroller processed by comparing the electrical signal with a preset level of dissolved oxygen and pH values before given the signal to the output relay. When the amount of dissolved oxygen lowers than the preset points, the microcontrollers send a signal to the output relay to command the aerator to activate. On the other hand, when the amount of dissolved oxygen increased and reached a higher level than the preset point, the output relay commands the aerator to turn off. Therefore, this prototype can automatically monitor and adjust the amount of dissolved oxygen in the pond and reduce unnecessary energy losses. The values of pH were displayed by colored signal lamps (red light when pH value below 6.00, yellow light when pH value over 8 and green light when pH value is between 6-8). The prototype has been tested for 6 months, using four earthen ponds (each 1600 meters²) with stocking rate of 5,000 fish for each pond. Two ponds were installed prototype and other two ponds used manual as control. Throughout the experiment, fish were fed by percentage of body weight. The results as show that the two prototype ponds have lower energy consumption by 21.1 percent than the control ponds. However, there were no different in water quality, feed conversion ratio, yield, comparing between prototype ponds and control ponds. This study indicated that the prototype is a powerful equipment to monitor water quality in the pond, and saves energy.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การเพิ่มผลผลิตตามหลักทางเศรษฐศาสตร์ โดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดหรือเกิดประโยชน์สูงสุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ทำการเพิ่มผลิตโดยไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ได้จำนวนผลผลิตที่เพิ่มขึ้นมากเป็นเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ การเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยความหนาแน่นสูง นับเป็นความพยายามในการใช้พื้นที่ที่มีจำกัดเพื่อการเพิ่มผลผลิตที่สูงขึ้น แต่ทว่าการเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยความหนาแน่นสูงจำเป็นต้องเพิ่มเติมเทคโนโลยีในบ่อเลี้ยงเพื่อให้การเลี้ยงประสบความสำเร็จมากขึ้น และยอมทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย หากการเลี้ยงประสบความสำเร็จ เป็นที่แน่นอนว่าผู้เลี้ยงจะได้รับผลตอบแทนที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าการจัดการล้มเหลว ก็ยอมทำให้ประสพภาวะขาดทุนมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการเลี้ยงดำเนินผ่านไปแล้วระยะหนึ่งจนถึงใกล้สิ้นสุด ระหว่างที่ทำการเลี้ยงปลาที่มีอัตราการปล่อยหนาแน่นสูงนั้น ปัญหาที่ต้องเผชิญอยู่เสมอคือ คุณภาพน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นในระหว่างการเลี้ยง จำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพเข้ามาช่วยเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต

ความเสี่ยงต่อความล้มเหลวของการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นสูงนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากคุณภาพน้ำ ในบ่อเลี้ยงเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพน้ำด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ เพราะการอยู่ด้วยกันอย่างหนาแน่นก่อให้เกิดภาวะคุณภาพน้ำในบ่อเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีของเสียมากขึ้น มีการแก่งแย่งอากาศและส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อขาดแคลนได้ การที่ต้องเผชิญกับสภาวะดังกล่าวจะกระทบต่อความเครียดของปลา และทำให้ปลาเกิดการเจริญเติบโตช้าลง รวมถึงอาจมีภูมิคุ้มกันโรคร้ายเป็นสาเหตุทำให้การเลี้ยงไม่ประสบผลสำเร็จ แนวทางหนึ่งในการป้องกันหรือแก้ปัญหาเมื่อในบ่อเลี้ยงปลาที่มีออกซิเจนละลายน้ำไม่เพียงพอคือการให้อากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยงปลา เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาโดยทั่วไปจะใช้วิธีการสังเกตอากาศในบ่อเลี้ยงไม่เพียงพอ โดยสังเกตจากพฤติกรรมของสัตว์น้ำที่แสดงออกมาเช่นการกินอาหารลดลงการลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่บริเวณผิวน้ำเพื่อสูบอากาศรวมถึงสังเกตจากสีของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปและเมื่อสังเกตพบความผิดปกติดังกล่าวจึงดำเนินการแก้ไขโดยเปิดเครื่องเติมอากาศในน้ำให้ทำงานในช่วงระยะเวลาหนึ่งจนกว่าจะไม่พบความผิดปกติ หรือบางรายอาจใช้วิธีเปิดเครื่องให้อากาศตลอดเวลา เนื่องจากเกรงว่าปริมาณออกซิเจนอาจไม่เพียงพอและก่อให้เกิดปัญหาอีกครั้ง นอกจากนี้การให้อาหารแก่ปลาที่เลี้ยงในบ่อ บางครั้งปลาอาจกินไม่หมดประกอบกับมีการสะสมของเสียของปลาเนื่องจากการขับถ่ายในบ่อนานขึ้นทำให้คุณภาพน้ำใน

บ่อเลี้ยงปลาเกิดความเสื่อมโทรมลง น้ำมีสภาพเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าระดับปกติได้ง่ายโดยทั่วไปเกษตรกรใช้ประสบการณ์และการสังเกตสีของน้ำในบ่อเลี้ยงแล้วทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเฝ้าระวังและสังเกตการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจทำไม่สะดวกหรือไม่สามารถทำได้โดยทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลา กลางคืน จึงอาจทำให้การแก้ไขปัญหาล่าช้าจนเกินไปและส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสัตว์น้ำที่เลี้ยงไว้ การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยจึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำของเกษตรกรได้

การศึกษาและวิจัยในโครงการนี้ เป็นการคิดและออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับช่วยควบคุมคุณภาพ น้ำด้านปริมาณออกซิเจนและของน้ำในบ่อเลี้ยงปลากระพงเชิงหนาแน่นสูง เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจาก โครงการวิจัยนี้จะถูกใช้ร่วมกับภาพแบบการจัดการที่เหมาะสม ความสำเร็จของโครงการวิจัยจะสามารถ ให้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้นอย่างคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการเลี้ยงตามปกติที่นิยมทำในปัจจุบัน นอกจากนี้ความ สัมฤทธิ์ของโครงการวิจัยจะช่วยยกระดับการเลี้ยงปลากระพงขาวให้ก้าวขึ้นสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ และ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสัตว์น้ำราคาแพงชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย จึงนับว่า โครงการวิจัยนี้น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นแบบช่วยติดตามและควบคุมปริมาณออกซิเจน และความเป็นกรดต่างของน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลากระพงขาวเชิงหนาแน่น ที่มุ่งเน้นลดการสูญเสียพลังงานที่เกิน ความจำเป็น
- 2) ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิผลของการใช้เครื่องต้นแบบในการติดตามและควบคุมคุณภาพ น้ำในบ่อเลี้ยงปลาเชิงหนาแน่นในด้านผลผลิตและตอบแทนที่เพิ่มขึ้น
- 3) เพื่อให้ได้ต้นแบบสำหรับช่วยจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติที่น้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณสมบัติของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต และสุขภาพของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำต้องอาศัยน้ำในการทำกิจกรรมต่างๆ ทั้งการหายใจ การกินอาหาร กิจกรรมทางชีวเคมีในร่างกาย การขับถ่ายของเสีย เป็นผลให้คุณสมบัติของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามกิจกรรมของสัตว์น้ำ ถ้าคุณสมบัติของน้ำมีความเหมาะสม สัตว์น้ำก็จะเจริญเติบโตดี มีสุขภาพและมีคุณภาพที่ดี ดังนั้นเมื่อมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วสามารถจัดการควบคุมคุณสมบัติของน้ำได้ ก็จะช่วยให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประสบความสำเร็จ ไมตรีและจารุวรรณ (2528) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่

1. อุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำ มีผลกระทบต่อกรกินอาหาร การสืบพันธุ์ ความต้านทานโรค และอัตราเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ สำหรับสัตว์น้ำในเขตร้อน อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมมีค่าตั้งแต่ 21-32 องศาเซลเซียส แตกต่างกันไปตามชนิดและอายุของสัตว์น้ำ

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หมายถึงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยในช่วงบ่าค่าความเป็นกรด-ด่างมักสูง เนื่องจากมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ทำให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น ในทางกลับกันช่วงเช้ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำลง เนื่องจากมีการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ แต่ไม่มีการสังเคราะห์แสง ทำให้มีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น และรวมตัวกับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจึงต่ำลง แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-9 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

3. ความขุ่น (Turbidity) หมายถึง การที่น้ำมีสารแขวนลอยซึ่งขัดขวางการส่องผ่านของแสงลงไป ในน้ำ ความขุ่นมีสาเหตุจากสารแขวนลอยและสารละลาย เช่น อนุภาคดินเหนียว แพลงก์ตอน กรดฮิวมิก หรือสารประกอบอื่นๆ ผลกระทบของความขุ่นของน้ำเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง การหายใจเป็นผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตและความต้านทานโรคน้อยลง

4. ความโปร่งแสง (Transparency) วัดเป็นระยะความลึกที่สามารถมองเห็นวัตถุที่เป็นแผ่นวงกลม (Secchi disc) ที่หย่อนลงไป ในน้ำ จนถึงระดับที่มองไม่เห็นวัตถุถ้ามีความขุ่นหรือมีแพลงก์ตอนมากจะอ่านค่าความโปร่งแสงได้น้อย และถ้าใสหรือมีแพลงก์ตอนน้อย จะอ่านค่าความโปร่งแสงได้มาก

สามารถใช้ประเมินกำลังผลิตของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำค่าความโปร่งแสงเหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 30-60 เซนติเมตร ถ้าค่าความโปร่งแสงต่ำกว่า 30 เซนติเมตร แสดงว่าบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณแพลงก์ตอนมากเกินไป ถ้าค่า ความโปร่งแสงมากกว่า 60 เซนติเมตร แสดงว่าบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณแพลงก์ตอนไม่เพียงพอ

5. ความเป็นด่าง (Alkalinity) หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับไฮโดรเจนไอออน (H^+) เพื่อให้เกิดเป็นกลาง สารประกอบที่ทำให้เกิดความเป็นด่างมี 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ความเป็นด่างของน้ำ เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความเหมาะสมของคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากความเป็นด่างที่ได้แก่ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ช่วยควบคุมไม่ให้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป และช่วยควบคุมปริมาณแพลงก์ตอน โดยที่คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตจะรับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ และยังทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความจำเป็นในการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอน ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปค่าความเป็นด่างควรอยู่ระหว่าง 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร

6. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น มีอยู่ในบรรยากาศในอัตราส่วน 0.033 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถละลายน้ำได้ดี ซึ่งเกิดจากการแพร่จากอากาศ การละลายของแร่ธาตุ การหายใจของสิ่งมีชีวิต และการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีในน้ำ โดยปกติในแหล่งน้ำทั่วไปมีอยู่ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำบาดาลมีค่าสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง ขัดขวางการหายใจของสัตว์น้ำ ประโยชน์คือเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับแพลงก์ตอนและพืชน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอยู่ตลอดเวลา โดยที่ในเวลากลางวันคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากกระบวนการหายใจ และการย่อยสลายแต่มีน้อยกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนและพืชน้ำ จึงพบคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ขณะที่เวลากลางคืนพืชไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น แต่การหายใจและการย่อยสลายยังคงมีอยู่ จึงพบคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง ซึ่งการผันแปรของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากหรือน้อยขึ้นกับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช และปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

7. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ก๊าซออกซิเจน (Oxygen) เป็นก๊าซที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องใช้ ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกายในการผลิตพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต ในบรรยากาศมีออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ แต่ละลายน้ำได้น้อยมาก ก๊าซออกซิเจนจะได้ออกมาจากการแพร่จากบรรยากาศจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และ แหล่งที่มาสำคัญของก๊าซออกซิเจนมาจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ส่วนสาเหตุของการสูญเสียออกซิเจนมาจากการหายใจของสิ่งมีชีวิต จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดจากจุลินทรีย์และการทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ต่างๆที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะการสูญเสียออกซิเจนจากการย่อยสลายนั้นในบางครั้งก็อาจทำ

ให้ออกซิเจนหมดไปจากน้ำ ระดับของออกซิเจนต่ำกว่า 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ และถ้าออกซิเจนมีระดับน้อยกว่า 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้สัตว์น้ำตายได้ โดยทั่วไปในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่น้อยกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยปริมาณออกซิเจนในรอบวันของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะแตกต่างกันมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณแพลงก์ตอนพืช และปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

8. แอมโมเนีย (Ammonia) เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต อาหารที่ตกค้าง การย่อยสลายยูเรีย แอมโมเนียในน้ำอยู่ในภาพที่มีประจุ (NH_4^+) และไม่มีประจุ (NH_3) ผลรวมของแอมโมเนียที่มีประจุกับไม่มีประจุ เรียกว่าแอมโมเนียรวม (Total ammonia) แอมโมเนียเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยผ่านทางปุ๋ย อาหารปลา การขับถ่ายของสัตว์น้ำที่อยู่ในบ่อ และการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่างๆ แอมโมเนียสามารถกำจัดออกไปจากน้ำได้โดยจุลินทรีย์ และแพลงก์ตอนที่อยู่ในน้ำแอมโมเนียมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แอมโมเนียที่เป็นพิษจะอยู่ในภาพของแอมโมเนียที่ไม่มีประจุสัตว์น้ำ โดยทั่วไปสัตว์จะตายถ้าปริมาณแอมโมเนียมากกว่า 0.6-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียจะเป็นพิษมากขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตช้า และอ่อนแอ

9. ไนไตรท์ (Nitrite) เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการ Nitrification โดยเปลี่ยนมาจากแอมโมเนีย โดยทั่วไปไนไตรท์จะไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำ เพราะไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว แต่ในบางสภาวะหากอัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียเร็วกว่าอัตราการออกซิไดซ์ไนไตรท์ก็จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้ ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ไนไตรท์เป็นสารที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูง ปลาที่อาศัยเขตเส้นศูนย์สูตรสามารถทนต่อปริมาณไนไตรท์ได้ที่ 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่นสูงจะพบว่าไนไตรท์มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมีการเติมไนโตรเจนในสภาพของอาหารเม็ด ปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยคอกลงไปบ่อ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะต่ำ (น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากแอมโมเนียซึ่งเป็นสารตั้งต้นถูกแพลงก์ตอนพืชไปใช้

2.2 การควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเติมอากาศ (Aeration) ให้แก่บ่อปลา เป็นกระบวนการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศลงไปในน้ำ หรือเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการเติมอากาศที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เพียงพออาจส่งผลกระทบต่อความต้องการของสัตว์น้ำซึ่งใช้ออกซิเจนในการหายใจ ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นสูง พบว่าในการเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 40 ดังนั้นการเติมอากาศ

จึงจัดเป็นกระบวนการที่ใช้ค่าใช้จ่ายสูง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันมีความหนาแน่นของสัตว์น้ำสูงจึงจำเป็นต้องมีการเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพ ให้ออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก จากการเติมออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยงกุ้งขนาดพื้นที่ 1 ไร่และมีความลึก 1 – 1.5 เมตร นั้น พบว่า เพื่อให้ได้อัตราการผลิตกุ้ง (Productivity) 4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรนั้น ระบบต้องการอัตราการใช้ออกซิเจนสำหรับใช้หายใจของกุ้งที่อาศัยอยู่ภายในบ่อเลี้ยงมีค่าเท่ากับ 0.7 – 0.75 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมของกุ้ง และอัตราการใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเลี้ยงกุ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 – 1.60 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมของกุ้งต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการเติมอากาศจัดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบัน การวิเคราะห์หลักโภชนาหรือความสามารถในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ นิยมใช้สมการแสดงอัตราเร็วของการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจะต้องพิจารณาถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก เช่น การเลือกอุปกรณ์เติมออกซิเจนสภาพแวดล้อม คุณภาพของน้ำ ฯลฯ การพัฒนาหรือให้ความสำคัญกับตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมากเกินไปอาจส่งผลในทางลบต่อประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจนโดยรวมรวมถึงต้นทุนค่าพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นได้ เช่นการเลือกใช้อุปกรณ์เติมออกซิเจนที่ต้องการพลังงานสูงเพื่อลดขนาดของอากาศ (เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส) ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของผิวสัมผัส (Gas – Liquid mass transfer interface) ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนโดยรวมเพิ่มขึ้น ดังนั้นปัจจัยที่มีควรพิจารณาถึงในกระบวนการเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ช่วงเวลาในการเดินระบบเติมอากาศ ความเข้มข้นของออกซิเจนในก๊าซและในของเหลว การเลือกใช้อุปกรณ์เติมอากาศที่เหมาะสม สารปนเปื้อนและลักษณะของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง และ ภาพแบบการไหลของเฟสน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (พิสุทธิ์, 2555)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาเช้ามืด จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าสูงสุดในช่วงที่มีการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช เมื่อถึงกลางคืนไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสง สิ่งมีชีวิตต่างๆที่อาศัยอยู่ในน้ำทั้งหมดใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ ทำให้ออกซิเจนค่อยๆ ลดลง อัตราการบริโภคออกซิเจนของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ขนาดของสัตว์น้ำ ระดับของกิจกรรม เวลาหลังจากการให้อาหาร และอื่นๆ สัตว์น้ำขนาดเล็กบริโภคออกซิเจนมากกว่าสัตว์น้ำขนาดใหญ่ ในน้ำหนักที่เท่ากันสัตว์น้ำแต่ละชนิดทนต่อการขาดออกซิเจนได้ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เช่น ระดับที่ทำให้เกิดการตายในกุ้งกลุ่ม Penaeid มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7-1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าออกซิเจนต่ำเป็นเวลานานจะทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการกินอาหารลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ กุ้งแชบ๊วย และปลากะรังจุดน้ำตาลมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 3.5-3.8 มิลลิกรัมต่อลิตรส่วนปลากะพงขาวต้องการออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่ยังทำให้การเจริญเติบโตปกติอยู่ที่ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (พานิชย์ และจารุวัฒน์, 2538) ปลากะรังมีการเจริญเติบโตไม่ดีถ้ามีออกซิเจนต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของจุด

อิมตัวเป็นเวลานาน โดยทั่วไปในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีออกซิเจนละลายน้ำไม่น้อยกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของจุดอิ่มตัวจะทำให้การเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตดี (Lawson, 1995) มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มอากาศลงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนี้

ผลการเปรียบเทียบด้านกำไรและผลตอบแทนการลงทุนเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อดินขนาด 1 ไร่ ระหว่างการเลี้ยงแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศโดยใช้เครื่องให้อากาศแบบกังหันใบพัดในอัตราความหนาแน่น 30,000 ตัว/ไร่ระยะเวลาเลี้ยงนาน 6 เดือน พบว่า การเติมอากาศในบ่อเลี้ยงได้ผลดีกว่าการเลี้ยงแบบไม่เติมอากาศ (นพดล และอัญชลี, 2547)

ธรรมพันธุ์ และ ปฐมภรณ์ (2552) สร้างระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบสามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ตั้งแต่ 1-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามคาบเวลาที่สามารถกำหนดได้ (ทุก 15, 20, 25 และ 30 นาที) เมื่อพบว่าปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ระบบจะสั่งให้เครื่องกลเติมอากาศทำงานเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำจนกว่าจะมีปริมาณเพียงพอตามที่กำหนดไว้

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลาได้วิจัยพัฒนาระบบติดตามและควบคุมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาโดยการนำอุปกรณ์ที่เรียกว่า PLC (Programmable logic controller) มาเชื่อมโยงเข้ากับเครื่องวัดออกซิเจน เขียนโปรแกรมควบคุมให้ PLC ทำงานโดยการกำหนดเงื่อนไขให้ PLC สั่งการไปยังปั๊มลมทำงาน ออกซิเจนในน้ำจะค่อยๆสูงขึ้นจนถึงจุดที่กำหนดให้ PLC จึงสั่งการให้ปั๊มลมหยุดทำงานระบบนี้สามารถติดตามและเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงน้ำไม่ให้ต่ำกว่าระดับที่กำหนดให้ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ปลอดภัยสำหรับสัตว์น้ำ ระบบนี้สามารถทำงานแทนเจ้าหน้าที่ได้ตลอด 24 ชั่วโมง จึงประหยัดแรงงาน และค่าใช้จ่ายและสามารถทดแทนการนำเข้าเครื่องมือราคาแพงจากต่างประเทศ (นิคม และคณะ, 2553) แต่พบว่าต้นทุนการสร้างเครื่องมือนี้นั้นสูงถึง 129,000 บาทต่อชุด

ชุตินา และ คณะ (2554) ได้มีการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยการใช้อุปกรณ์วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำนำไปประมวลผล แสดงผล ควบคุมใบพัดให้อากาศและแจ้งเตือน แต่ยังไม่มีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ จากนั้นทดสอบระบบควบคุมคุณภาพน้ำอัจฉริยะต้นแบบในบ่อเลี้ยงกุ้งจริงโดยทำการเลี้ยงกุ้งทะเลจำนวน 1 รอบการเลี้ยงโดยแบ่งเป็นชุดควบคุม 1 บ่อ (Control) ชุดทดลอง 1 บ่อ (Treatment)

2.3 ความสำคัญและการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรดต่างของน้ำ

2.3.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกายในการผลิตพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ถ้าระดับของออกซิเจนต่ำกว่า 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ และถ้าออกซิเจนมีระดับน้อยกว่า 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้สัตว์น้ำตายได้ (ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ) โดยทั่วไปในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นควรมีออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่น้อยกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไพฑูรย์, 2557)

ปัจจัยที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ 1) การรับออกซิเจนที่มาจากอากาศ จากกระบวนการสังเคราะห์แสง และจากกระบวนการทางเคมี 2) การสูญเสียออกซิเจน การสูญเสียจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และจากกระบวนการทางเคมี ปริมาณออกซิเจนในรอบวันมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยที่ในช่วงกลางวันมีปริมาณออกซิเจนสูง เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำอื่นๆ ในทางตรงข้ามปริมาณออกซิเจนจะมีน้อยในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากไม่มีการสังเคราะห์แสง แต่ยังคงมีการหายใจ และการย่อยสลายอยู่ (ไพฑูรย์, 2557)

ปริมาณออกซิเจนในรอบวันของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะแตกต่างกันมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณแพลงก์ตอนพืช และปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ถ้าปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในระดับที่ต่ำสามารถเพิ่มออกซิเจนลงในบ่อได้โดยใช้เครื่องให้อากาศ แต่ถ้ามีอัตราการปล่อยสัตว์น้ำ อัตราการให้อาหาร และอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่มออกซิเจน เพราะระดับ ปริมาณออกซิเจนมีเพียงพออยู่แล้ว การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญที่จะบอกให้รู้ว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนในน้ำมีความสัมพันธ์กับ

1. อุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นการละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดลง
2. ความเค็ม น้ำที่มีความเค็มสูง การละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดลง
3. ความดันบรรยากาศ การละลายของออกซิเจนจะสูงขึ้นเมื่อความดันบรรยากาศสูงขึ้น
4. สิ่งเจือปนในน้ำ น้ำที่มีสิ่งเจือปนสูงการละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดลง (พานิชย์ และ จารุวัฒน์, 2538)

ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ รวมทั้งทั้งค่าความเค็ม (Salinity) และ Chlorinity ในตารางที่ 1 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายที่สภาวะอิ่มตัวในน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ความดันมาตรฐาน 1 บรรยากาศ ฉะนั้นเมื่อเราทราบปริมาณออกซิเจนละลายที่

สภาวะมาตรฐาน (Equilibrium oxygen concentration at standard pressure) แล้วสามารถ
คำนวณหาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำได้ที่ความดันใดๆดังสมการ

$$O = O^*A[(1-B/A)(1-CA)/(1-B)(1-C)]$$

เมื่อ O = Equilibrium oxygen concentration at nonstandard pressure, mg/L

O* = Equilibrium oxygen concentration at standard pressure of 1 atm, mg/L

A = Nonstandard pressure, atm

B = Partial pressure of water vapor, atm, computed from $\ln B = 11.857 - (3840.7/T) - (216961/T^2)$

T = Temperature, K

C = $0.000975 - (1.426 \times 10^{-5}t) + (6.436 \times 10^{-8}t^2)$

t = Temperature, degree celcius (ไฟฟูร์ย, 2557)

ตารางที่ 1 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายที่สภาวะอิมิตัวในน้ำอุณหภูมิต่างๆที่ความดันมาตรฐาน 1
บรรยากาศ หรือ 101.3 kpa

Temperature (°C)	Oxygen Solubility (mg/L)					
	Chlorinity : 0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
14.0	10.306	9.747	9.218	8.716	8.242	7.792
15.0	10.084	9.541	9.027	8.540	8.079	7.642
16.0	9.870	9.344	8.844	8.370	7.922	7.496
17.0	9.665	9.153	8.667	8.207	7.770	7.356
18.0	9.467	8.969	8.497	8.049	7.624	7.221
19.0	9.276	8.792	8.333	7.896	7.483	7.090
20.0	9.092	8.621	8.174	7.749	7.346	6.964
21.0	8.915	8.456	8.021	7.607	7.214	6.842
22.0	8.743	8.297	7.873	7.470	7.087	6.723
23.0	8.578	8.143	7.730	7.337	6.963	6.609
24.0	8.418	7.994	7.591	7.208	6.844	6.498
25.0	8.263	7.850	7.457	7.083	6.728	6.390
26.0	8.113	7.711	7.327	6.962	6.615	6.285
27.0	7.968	7.575	7.201	6.845	6.506	6.184
28.0	7.827	7.444	7.079	6.731	6.400	6.085

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Temperature (°C)	Oxygen Solubility (mg/L)					
	Chlorinity : 0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
29.0	7.691	7.317	6.961	6.621	6.297	5.990
30.0	7.559	7.194	6.845	6.513	6.197	5.896
31.0	7.430	7.073	6.733	6.409	6.100	5.806
32.0	7.305	6.957	6.624	6.307	6.005	5.717
33.0	7.183	6.843	6.518	6.208	5.912	5.631
34.0	7.065	6.732	6.415	6.111	5.822	5.546
35.0	6.950	6.624	6.314	6.017	5.734	5.464
36.0	6.837	6.519	6.215	5.925	5.648	5.384
37.0	6.727	6.416	6.119	5.835	5.564	5.305
38.0	6.620	6.316	6.025	5.747	5.481	5.228
38.0	6.620	6.316	6.025	5.747	5.481	5.228
39.0	6.515	6.217	5.932	5.660	5.400	5.152
40.0	6.412	6.121	5.842	5.576	5.321	5.078
41.0	6.312	6.026	5.753	5.493	5.243	5.005
42.0	6.213	5.934	5.667	5.411	5.167	4.933
43.0	6.116	5.843	5.581	5.331	5.091	4.862
44.0	6.021	5.753	5.497	5.252	5.017	4.793
45.0	5.927	5.665	5.414	5.174	4.944	4.724
46.0	5.835	5.578	5.333	5.097	4.872	4.656
47.0	5.744	5.493	5.252	5.021	4.801	4.589
48.0	5.654	5.408	5.172	4.947	4.730	4.523
49.0	5.565	5.324	5.094	4.872	4.660	4.457
50.0	5.477	5.242	5.016	4.799	4.591	4.392

ที่มา : (ไพฑูรย์ , 2557)

2.3.2 วิธีการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

การหาปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen, DO) เป็นการหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ อันเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic Condition) หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic Condition) การวัดค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำสามารถทำได้ 2 วิธี (นิคม และยงยุทธ, 2546) ดังนี้

1) การไทเทรต: Titration เป็นการวิเคราะห์ทางเคมีใช้หลักการที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำตัวอย่างที่จะตรวจสอบแล้วเกิดเป็นไอโอดีนซึ่งปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้นวิธีที่นิยมมากที่สุดคือวิธีการ Winkler ซึ่งปัจจุบันได้ดัดแปลงให้สามารถใช้วิเคราะห์ในน้ำสภาพต่างๆ กันเหมาะสำหรับสำหรับการใช้เครื่องมือในการวัดตัวอย่างน้ำที่ต้องการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก หรือเมื่อต้องการวัดปริมาณออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆ กันในแหล่งน้ำ การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายสามารถกระทำได้หลายวิธีการเลือกวิธีการตรวจวัดขึ้นอยู่กับสารแทรกสอดค่าความถูกต้องที่ต้องการ รวมทั้งความสะดวกและรวดเร็วด้วย (นิคม และยงยุทธ, 2546)

2) เครื่องวัดออกซิเจน (Dissolved Oxygen Meter: DO Meter) เป็นวิธีที่สะดวกที่สุดในการวัดภาคสนาม เช่น การวัดออกซิเจนในบ่อกุ้งหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ คุณสมบัติเด่นของเครื่องวัดออกซิเจนนั้น นอกจากการใช้งานที่สะดวกรวดเร็วแล้ว ยังมีความแม่นยำสูงอีกด้วย (นิคม และยงยุทธ, 2546) เครื่องวัดออกซิเจน (DO Meter) มีให้เลือกมากมายหลายแบบหลากหลายยี่ห้อทั้งแบบพกพาและแบบติดตั้งโดยประเภทของเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำแบ่งตามประเภทของของเซนเซอร์ (Membrane Sensor) ได้ดังนี้ (LegaCo,ltd., 2557)

- โพลาร์โรกราฟิก เซลล์ (Polarographic Cell) หรือ Clark Cell และ กัลวานิกเซลล์ (Galvanic Cell) การวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำทั้งแบบ Polarographic Cell และกัลวานิกเซลล์ ใช้หลักการของไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ภายในหัววัดประกอบด้วย ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเยื่อหุ้มหัววัด (Membrane) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเลือกให้เฉพาะออกซิเจนผ่านได้ โดยโพลาร์โรกราฟิกเซลล์ ใช้แรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อช่วยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับเซลล์จากแบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก ส่วนกัลวานิกเซลล์ หัววัดชนิดนี้เป็นหัววัดที่ก่อให้เกิดการ Polarize และสร้างกระแสไฟฟ้าได้ด้วยตัวเอง (Self- Polizing Amperometric Cell) โพลาร์โรกราฟิกเซลล์ ใช้โลหะเช่น ทอง ทองคำขาว (Platinum) เป็นขั้วแคโทดส่วน Galvanic Cell ใช้ตะกั่วกับทอง หรือตะกั่วกับเงิน เป็นขั้วแคโทด



ภาพที่ 2 เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำแบบ Polarographic Cell หรือ Clark Cell
ที่มา:www.legaeng.com



ภาพที่ 3 เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำแบบ Galvanic Cell
ที่มา:www.legaeng.com

- ออปติคอลเซ็นเซอร์ (Optical Sensor) เซ็นเซอร์ประเภทนี้ ใช้หลักการของฟลูออเรสเซนส์ (Fluorescence) ในการวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยใช้หลักการของแสงที่จำกัดความยาวคลื่นและควบคุมค่าความเข้มของแสงตกกระทบบนแผ่นเลนส์ ประมวลผลและจากค่าความแตกต่างระหว่างการส่งไป-กลับ คำนวณออกมาเป็นค่าออกซิเจนในน้ำ



ภาพที่ 4 เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำแบบ Optical Sensor

ที่มา :www.legaeng.com

เซนเซอร์ประเภทนี้ไม่ต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกทั้งเซนเซอร์ประเภทนี้ สามารถเชื่อมต่อกับปั๊มลมใช้ในการทำความสะอาดเซนเซอร์ จึงเป็นผลให้มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า ดูแลรักษา ง่าย และให้ผลการวัดที่มีความเสถียรและแม่นยำ ทั้งการวัดในระบบที่มีการไหลและไม่มีการไหลของน้ำ อีกทั้งสามารถเชื่อมต่อสัญญาณไฟเตือนเมื่อค่าออกซิเจนลดลงหรือต่อเข้าระบบให้อากาศ เปิด/ปิดการทำงานไบพัตให้อากาศ ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าประหยัดค่าใช้จ่าย แต่มีราคาค่อนข้างสูง

2.3.3 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (Positive potential Hydrogen ions, pH)

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ ในน้ำ โดยค่า $pH = -\text{Log}(H^+)$ ระดับความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าระหว่าง 0 (Acidic) ถึง 14 (Alkali) โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีค่าเป็นกลาง ซึ่งมี $[H^+] = 1/10,000,000$ โมล/ลิตร หรือ $= 10^{-7}$ โมล/ลิตร (กรรณิการ์, 2544)

ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยช่วง บ่ายค่า ความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ทำให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น ในทางกลับกันช่วงเช้ามืดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำลง เนื่องจากมีการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ไม่มีการสังเคราะห์แสง ทำให้มีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น และรวมตัวกับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจึงต่ำลง (นิคม และยงยุทธ, 2546)

ค่าของความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 6.5-9 ในการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดค่าความเป็นกรด-ด่างในรอบวันไม่ควรเปลี่ยนแปลงเกิน 2 สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยไม่ควรเปลี่ยนแปลงเกิน 0.5 ถ้าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 10-11 สัตว์น้ำจะไม่สามารถวางไข่ และ

ตายได้เช่นเดียวกับในสภาพที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5-6 สัตว์น้ำไม่สามารถวางไข่ได้ และตายในที่สุด น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะทำให้ในน้ำมีปริมาณไอออนของโลหะหนักมากขึ้นจนสามารถเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำ ไม่สามารถถึงธาตุอาหารไปใช้ได้ สำหรับน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ส่งผลให้แอมโมเนียในน้ำเปลี่ยนสภาพไปอยู่ในสภาพที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (นิคม และยงยุทธ, 2546)

การตรวจสอบ ความเป็นกรด-ด่างสามารถทำได้โดยการไตเตรต ใช้กระดาษลิตมัส หรือใช้เครื่องมือวัด (pH meter) ที่จะตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ซึ่งมีความสะดวกกว่าวิธีการอื่น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือวัดค่า ความเป็นกรด-ด่าง จะต้องมีการปรับ (Calibrate) อยู่อย่างสม่ำเสมอ (กรรณิการ์, 2544)



ภาพที่ 5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างภาคสนาม
ที่มา :www.legaeng.com

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน

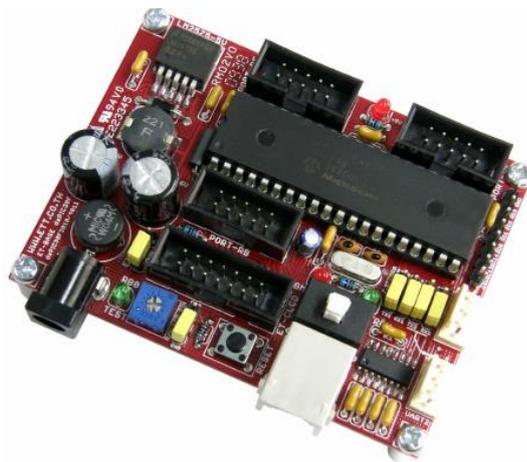
2.4.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller มักย่อว่า μC , uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอา ซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต (Port) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน (จารุต, 2553)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำพอร์ตอยู่ในชิพเพียงตัวเดียว ซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโพรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วน

อินพุท/เอาต์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (จารุต, 2553)

ปัจจุบันมีผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่หลายตระกูล เช่น PIC (บริษัทผู้ผลิต Microchip ไมโครชิป) MCS51 (บริษัทผู้ผลิต Atmel, Phillips) AVR (บริษัทผู้ผลิต Atmel) ARM7, ARM9 (บริษัทผู้ผลิต Atmel, Phillips, Analog Device, Samsung, ST Microelectronics) Basic Stamp (บริษัทผู้ผลิต Parallax), PSOC (บริษัทผู้ผลิต CYPRESS) และ MSP (บริษัทผู้ผลิต Texas Instruments) เป็นต้น สำหรับประเทศไทยนั้นไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล PIC เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะรุ่น dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือรุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของบริษัทไมโครชิพส์เป็น MCU ประจำบอร์ดโดย dsPIC30F2010/4011 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิตซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิตอลเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และ วงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกันหรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC30F ว่า เป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งานและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ (จารุต, 2553)



ภาพที่ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F

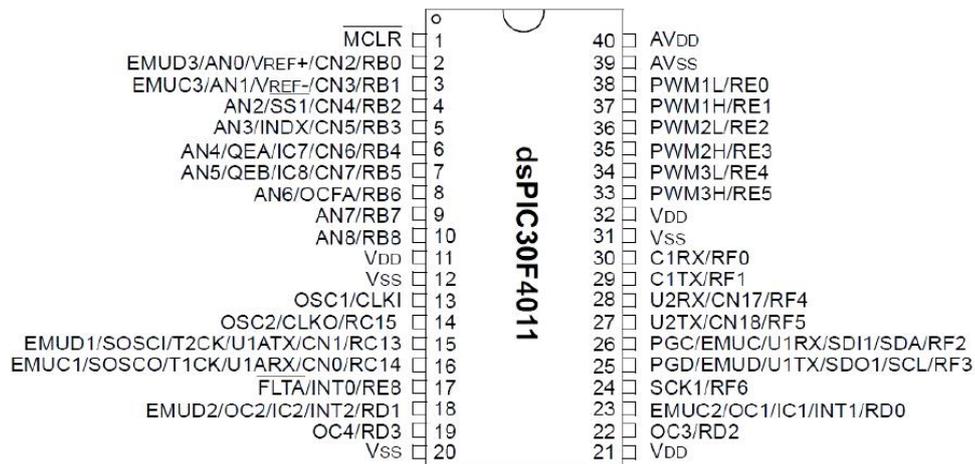
ที่มา : บริษัททีทีที จำกัด

2.4.2 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F2010 หรือ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ดโดยคุณสมบัติเด่นๆ ของ MCU ได้แก่

- มีหน่วยความจำ Flash 12Kbyte (dsPIC20F2010) หรือ 48 Kbyte (dsPIC30F4011)
- มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 512 Byte (dsPIC30F2010) หรือ 2 Kbyte (dsPIC30F4011)
- มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1 Kbyte สำหรับเก็บข้อมูลใช้งาน
- มีพอร์ต I/O ขนาด 19 Bit (dsPIC30F2010) หรือ 29 Bit (dsPIC30F4011)
- มี 16Bit Timer/Counter จำนวน 3 ชุด (dsPIC30F2010) หรือ 5 ชุด (dsPIC30F4011)
- มี Input Capture จำนวน 4 ช่อง
- มี Output Compare จำนวน 2 ช่อง (dsPIC30F2010) หรือ 4 ช่อง (dsPIC30F4011)
- มี ADC 10 Bit/500 Ksps จำนวน 6 ช่อง (dsPIC30F2010) หรือ 9 ช่อง (dsPIC30F4011)
- มี PWM Motor Control จำนวน 6 ช่องพร้อม Quadrature Encode Interface (QEI)
- มี UART จำนวน 1 ช่อง (dsPIC30F2010) หรือ 2 ช่อง (dsPIC30F4011)
- มี SPI จำนวน 1 ช่อง และมี I2C จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM (จาร์ต, 2553)

สำหรับการจัดวางขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การจัดขาสัญญาณของ dsPIC30F4011

ที่มา : บริษัท อีทีที จำกัด

สำหรับวิธีการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถศึกษาเพิ่มเติมโดยละเอียดได้จากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต

บทที่ 3

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลองเบื้องต้น

การวิจัยนี้ ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเลี้ยงปลากระพงขาวที่ความหนาแน่นสูงระหว่างบ่อเลี้ยงที่ใช้ระบบควบคุมคุณภาพน้ำด้วยเครื่องควบคุมต้นแบบที่สร้างขึ้น กับบ่อเลี้ยงที่ใช้วิธีการควบคุมคุณภาพน้ำที่เกษตรกรทั่วไปใช้ปฏิบัติกันสามารถแสดงแผนการทดลองได้ดังนี้

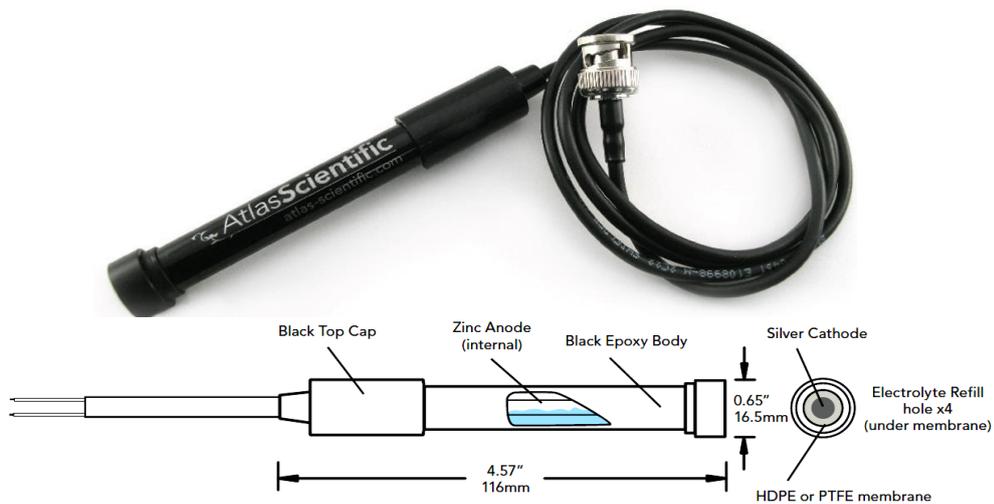
ตารางที่ 2 แผนการทดลอง

รายละเอียด	รูปแบบการเลี้ยง	
	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
จำนวนบ่อ	2 บ่อ	2 บ่อ
ขนาดปลาแรกปล่อย	4 นิ้ว	4 นิ้ว
ขนาดบ่อและความลึก	1,300 ตร.ม. ลึก 1.8 - 2 ม.	1,300 ตร.ม. ลึก 1.8 - 2 ม.
อาหารที่ใช้เลี้ยง	อาหารเม็ดชนิดลอยน้ำ	อาหารเม็ดชนิดลอยน้ำ
การเก็บข้อมูลจากเครื่องมือ	- พลังงานไฟฟ้า (kWh) - DO, pH จากเครื่องวัดภาคสนาม - ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำอื่น ๆ	- พลังงานไฟฟ้า (kWh) - DO, pH จากเครื่องวัดภาคสนาม - DO, pH จากเครื่องควบคุมต้นแบบ - ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำอื่น ๆ
การเก็บข้อมูลการเลี้ยง	- ปริมาณอาหาร - อัตราการเจริญเติบโต - ปริมาณผลผลิต - ต้นทุนการเลี้ยง	- ปริมาณอาหาร - อัตราการเจริญเติบโต - ปริมาณผลผลิต - ต้นทุนการเลี้ยง

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา กะพงขาว

การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำ ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการนำเอาอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์โดยอุปกรณ์ต่างๆ มีดังนี้

3.2.1 ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen Sensor) หรือ DO sensor หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า โพรบ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยเลือกใช้ชนิด โพลารโกราฟิคเซลล์ (Polarographic Cell) ซึ่งมีแผ่นเมมเบรน (Membrane) เป็นส่วนประกอบสำคัญของการแปลงสัญญาณ เหตุผลในการเลือกใช้ชนิดโพลารโกราฟิคเซลล์เนื่องจากมีราคาที่ไม่สูงมากนักและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 8 อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำและโครงสร้างภายใน

ที่มา : <http://www.atlas-scientific.com>

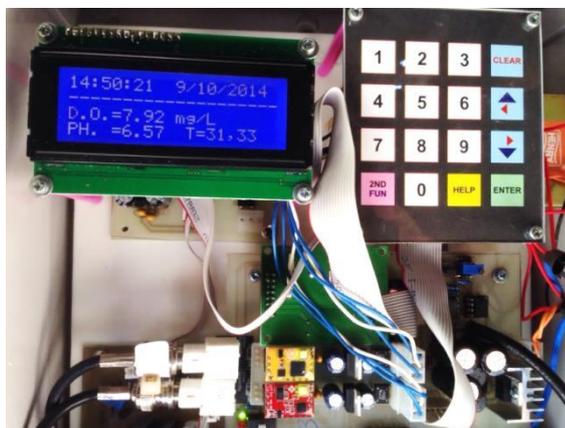
3.2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Sensor) ของน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยเลือกใช้ชนิดอิเล็กโทรดแบบแก้ว (Glass Electrode) เนื่องจากมีราคาที่ไม่สูงมากนักและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเช่นกัน ทั้งนี้ในช่วงการทดสอบระบบได้มีปรับเทียบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างกับชนิดสารกึ่งตัวนำ



ภาพที่9 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และสารละลายสำหรับปรับเทียบ
ที่มา : <http://www.atlas-scientific.com>

3.3.3 ชุดประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit) เป็นอุปกรณ์สำหรับประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่าง มาแปลงสัญญาณและประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังรีเลย์เอาท์พุท (Output Relay) ให้เครื่องให้อากาศทำงานและจอแสดงผล (Display) สำหรับบวกรและแผ่นวงจรพิมพ์แสดงไว้ในภาคผนวก

3.3.4 คีย์บอร์ด (Keyboard) เป็นอุปกรณ์สำหรับป้อนข้อมูลกำหนดค่าการทำงาน (Set point) ของค่าออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างที่ต้องการควบคุม และยังใช้สำหรับการปรับเทียบ (Calibration) ค่าให้ถูกต้อง



ภาพที่10 ชุดประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และคีย์บอร์ด

3.2.5 เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าพลังงานทั้งหมดที่จ่ายให้กับ มอเตอร์หมุนใบพัดให้อากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนเลือกใช้ยี่ห้อ Primus รุ่น KM-06 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ



ภาพที่ 11 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเก็บข้อมูลพลังงาน

3.2.6 ตู้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นตู้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแบบสตาร์ทโดยตรง (Direct on Line) โดยสามารถทำงานได้ทั้งแบบสั่งให้ทำงานโดยตรง (Manual) และแบบอัตโนมัติ (Automatic) ซึ่งรับสัญญาณควบคุมมาจากรีเลย์ของชุดประมวลผล ตู้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านี้มีอุปกรณ์หลักได้แก่ สวิตช์เปิด-ปิด (Circuit Breaker) สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor) และอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟเกิน (Overload Relay) เป็นต้น



ภาพที่ 12 การประกอบตู้ควบคุมมอเตอร์และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

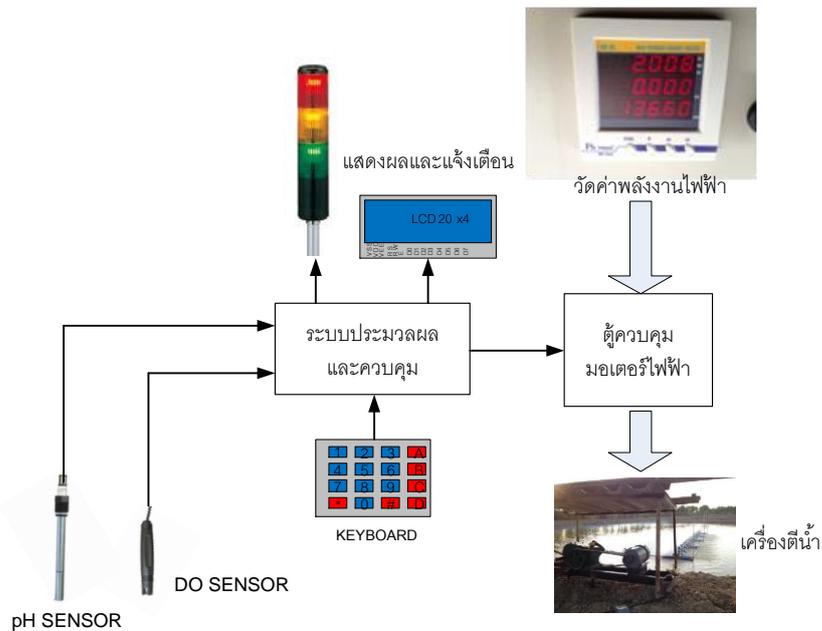
3.3.7 ชุดเครื่องให้อากาศ ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต ความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ขนาด 2 แรงม้า เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านระบบเฟืองทดรอบ

อัตรา 1:14 เชื่อมต่อชุดใบให้อากาศด้วยท่อเหล็กชุบสังกะสี ชุดใบให้อากาศประกอบด้วยใบให้อากาศจำนวน 16 วง โดยชุดเครื่องให้อากาศนี้มีจำนวน 2 ชุดต่อบ่อทดลอง



ภาพที่13 การติดตั้งชุดเครื่องให้อากาศ

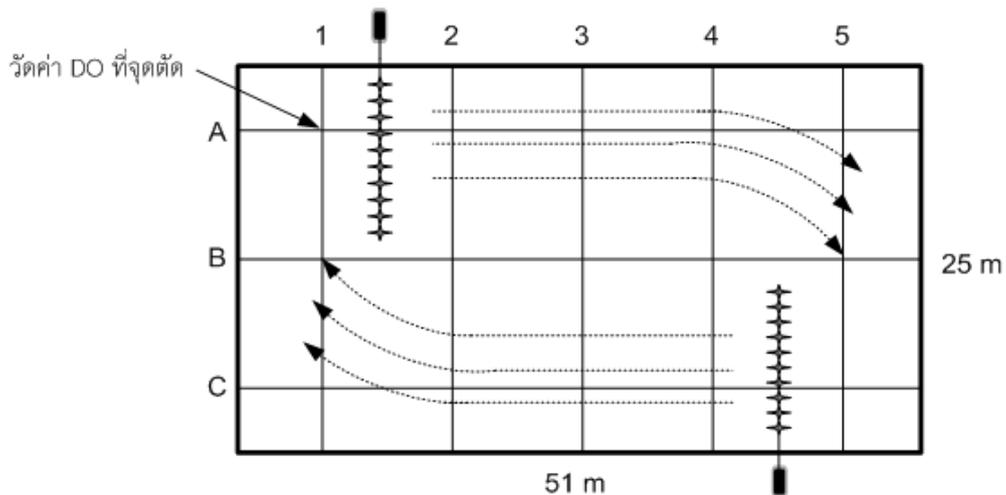
จากอุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถนำมาแสดงภาพรวมของระบบตรวจวัดและควบคุม แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่14 แผนผังของระบบการตรวจวัดและควบคุม

3.3 การศึกษารูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรดต่าง

เพื่อให้ทราบค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยง ฦ ตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดขึ้นเมื่อมีการทำงานของเครื่องให้อากาศซึ่งวางในตำแหน่งดังภาพที่ 15 โดยกำหนดจุดวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดพื้นที่บ่อในตำแหน่งจุดตัดของเส้นแนวนอนและแนวตั้ง ตั้งแต่ A1, A2, ... , A5, B1, B2, , B5 และ C1, C2, ... , C5 ตามลำดับ



ภาพที่ 15 ตำแหน่งที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 16 การวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในตำแหน่งที่กำหนดขึ้น
โดยผลการวัด ฦ บริเวณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในตำแหน่งต่างๆ ของบ่อ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

แนว	1	2	3	4	5
A	6.07	6.51	6.42	6.24	6.13
B	6.19	6.19	6.22	6.19	6.12
C	5.99	6.18	6.36	6.48	6.08

จากตารางที่ 3 พบว่าได้ค่าการวัดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำ ความสะอาด และการตรวจสอบ รวมถึงลดระยะของสายสัญญาณของอุปกรณ์วัดค่าปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำจึงกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ที่ตำแหน่ง A1 ในบ่อที่ 2 และ 4 ที่ตำแหน่ง C1 ในบ่อที่ 1 และ 3 ส่วนการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น ภายหลังจากให้อากาศพบว่าค่าที่วัด ได้มีค่าใกล้เคียงกันในทุกจุด ดังนั้นจึงกำหนดจุดติดตั้ง อุปกรณ์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในตำแหน่ง เดียวกันกับตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ในบ่อทดลองที่กำหนดให้เป็นบ่อทดสอบระบบ ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ต้นแบบติดตามปริมาณ ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงตลอดเวลา โดยกำหนดว่า เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงมีค่าลดลงต่ำ กว่า 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอุปกรณ์ต้นแบบจะสั่งให้เครื่องให้อากาศทำงาน 1 เครื่อง แต่หากเครื่องให้อากาศทำงานเครื่องเดียวไม่สามารถเพิ่มออกซิเจนได้และค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่า 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอุปกรณ์ต้นแบบจะสั่งงานให้เครื่องให้อากาศทำงาน 2 เครื่อง และเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำใน บ่อเลี้ยงเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอุปกรณ์ต้นแบบจะสั่งงานให้เครื่องให้อากาศหยุดทำงาน นอกจากนี้หากค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังคงต่ำลงเรื่อยๆ จนถึง 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะสั่งให้ ไชเรนส่งสัญญาณเตือนผู้เลี้ยงเพื่อจะได้รับการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะเป็นการรักษาให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อยู่ตลอดเวลา

ส่วนการควบคุมค่าคุณภาพน้ำด้านความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ได้ทำการวัดค่าและกำหนดให้ แสดงผลด้วยสัญญาณไฟกระพริบดังนี้

- สัญญาณไฟสีเขียว แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.0 - 8.0 แสดงว่าน้ำในบ่ออยู่ใน ในเกณฑ์ปกติ
- สัญญาณไฟสีเหลือง แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 8.0 แสดงว่าน้ำในบ่อมีฤทธิ์เป็น ด่าง (เบส) ต้องปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำ

- สัญญาณไฟสีแดงแสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.0 แสดงว่าน้ำในบ่อมีฤทธิ์เป็นกรด ต้องปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำเช่นเดียวกัน
สำหรับบ่อควบคุมนั้นกำหนดให้เครื่องให้อากาศทำงาน 1 เครื่องหลังจากให้อาหารช่วงเช้า (08.00 น.) หากมีแสงแดดหยุดให้อากาศ และเปิดเครื่องให้อากาศให้ทำงานทั้ง 2 เครื่องตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 8.00 น. ของวันถัดไป โดยหากพบว่าสภาพอากาศผิดปกติหรือออกซิเจนต่ำนอกเหนือเวลาที่กำหนดก็สามารถให้เครื่องให้อากาศทำงานทั้ง 2 เครื่องได้

3.4 การเตรียมบ่อและการเลี้ยงปลากะพงขาว

เตรียมบ่อสำหรับเลี้ยงปลากะพงขาวที่ความหนาแน่น 5,000 ตัวต่อไร่ สำหรับใช้ทดสอบระบบควบคุมคุณภาพน้ำ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1 ปรับปรุงบ่อเก่าในพื้นที่ 6 ไร่ให้เป็นบ่อทดลองรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 ไร่เท่ากันจำนวน 4 บ่อ (ภาพที่ 17) หลังการปรับปรุงได้ทำการปรับสภาพดินก้นบ่อโดยการหว่านปูนขาวในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นตากบ่อเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ระหว่างตากบ่อทำการกันพื้นที่ในบ่อเป็นบริเวณ 1 ใน 4 ของพื้นที่บ่อด้วยตาข่ายสีฟ้าสูงจากพื้นบ่อ 1.5 เมตร เพื่อลดพื้นที่ที่อยู่ของปลาและฝักคูนเคยกับบริเวณให้อาหาร(ภาพที่ 18) สูบน้ำเข้าบ่อ ระดับความลึก 1 เมตร สร้างคอกให้อาหารด้วยตาข่ายในลักษณะยกลอยเหนือผิวน้ำ ขนาด 4 x 4 ตารางเมตร เพื่อป้องกันการกระจายของเม็ดอาหารออกไปจากตำแหน่งให้อาหาร (ภาพที่19)



ภาพที่17 ปรับปรุงบ่อให้มีพื้นที่บ่อละ 1 ไร่



ภาพที่ 18 กั้นพื้นที่ให้ปลาอยู่ในบริเวณให้อาหาร



ภาพที่19 ระดับน้ำในบ่อและคอกให้อาหาร

3.4.2 เดินทางไปประสานงานกับแหล่งเพาะพันธุ์ปลาเพื่อทำความเข้าใจและแลกเปลี่ยนข้อมูล ในด้านการให้อาหาร การปรับค่าความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยง สถานที่ และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับการเลี้ยงเพื่อที่จะให้มีความสูญเสียน้อยที่สุด (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสถานเพาะเลี้ยงพันธุ์ปลา

3.4.3 ปลอยพันธุ์ปลากะพงขาวขนาด 4 นิ้วลงเลี้ยง บ่อละ 5,000 ตัวสู่มซึ่งน้ำหนักและวัดขนาดปลา (ภาพที่ 21) โดยในระยะ 20 วันแรก จะมีการกักบริเวณด้วยตาข่ายพื้นที่ประมาณ 1 ใน 4 ของขนาดบ่อ และในพื้นที่ดังกล่าว ได้กั้นพื้นที่ขนาดประมาณ 4 x 4 ตารางเมตรด้วยตาข่ายแต่ยกลอยขึ้น เพื่อป้องกันการกระจายของเม็ดอาหารออกไปจากจุดกินอาหารและผู้ให้อาหารของแต่ละบ่อจะได้รับการฝึกเทคนิคการให้อาหารรวมถึงเข้าใจถึงพฤติกรรมการกินอาหารของปลากะพงขาวระหว่างการทดลองเลี้ยง จดบันทึกคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง โดยบันทึกค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อเปรียบเทียบผลของการควบคุมทั้งนี้จะมีการปรับเทียบ (Calibration) ค่าความถูกต้องเป็นระยะหากจำเป็น



ภาพที่ 21 การสู่มวัดขนาดและชั่งน้ำหนักก่อนปลอยลงบ่อเลี้ยง

3.4.4 อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาเป็นอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำ (ภาพที่ 22) โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง (08.00 น. และ 16.00 น.) ปริมาณอาหารที่ให้กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์อาหารที่ให้ต่อน้ำหนักตัว โดยเดือนแรกกำหนดให้ 3% เดือนที่ 2-3 กำหนดให้ 2.5% เดือนที่ 4 เป็นต้นไปกำหนดให้ 2% แต่จะสังเกตพฤติกรรมการกินอาหารร่วมด้วย หากปลากินอาหารไม่หมดในแต่ละมื้อ จะทำการจดบันทึกน้ำหนักอาหารที่เหลือ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณอาหารที่ใช้จริงในแต่ละบ่อทดลอง กั้นคอกเพื่อป้องกันการกระจายของเม็ดอาหารออกไปจากจุดกินอาหาร และผู้ให้อาหารได้รับการฝึกเทคนิคการให้อาหารรวมถึงเข้าใจถึงพฤติกรรมการกินอาหารของปลากระพงขาว (ภาพที่ 22) เมื่อปลาส่วนใหญ่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 200 กรัม สำหรับบ่อควบคุม (บ่อที่ 1 และ 4) จะทำการเปิดเครื่องให้อากาศตั้งแต่เวลา 18.00 น ถึงเวลา 06.00 น. ทุกวัน และอาจเปิดเพิ่มช่วงกลางวันหากสังเกตเห็นว่าอากาศในบ่อไม่เพียงพอ ส่วนบ่อทดสอบระบบ (บ่อที่ 2 และ 3) จะปรับโหมดการทำงานไปที่อัตโนมัติซึ่งควบคุมด้วยระบบการตรวจวัด ค่าออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างตลอดเวลา ทั้งนี้ระหว่างการเลี้ยงมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้จุลินทรีย์ และใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดเชื้อโรค ระหว่างการทดลองเลี้ยงจะจดบันทึกคุณภาพน้ำ



ภาพที่ 22 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ซ้าย) และการให้อาหารปลา (ขวา)

3.4.5 บ่อทดลองที่กำหนดให้เป็นบ่อทดสอบเครื่องต้นแบบ จะมีติดตั้งอุปกรณ์ติดตามปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงตลอดเวลา (ภาพที่ 23) และเมื่อออกซิเจนในบ่อเลี้ยงต่ำกว่า 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้ก็ตามเครื่องต้นแบบจะสั่งงานให้เครื่องให้อากาศทำงานทั้ง 2 เครื่อง ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งปริมาณออกซิเจนมากกว่า 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงหยุดทำงานทั้ง 2 เครื่อง และเมื่อออกซิเจนในบ่อต่ำกว่า 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เครื่องต้นแบบจะสั่งงานให้เครื่องให้อากาศทำงานทั้ง 1 เครื่อง ถ้าหากสามารถเพิ่มออกซิเจนขึ้นไปถึง 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะหยุดทำงาน แต่หากเครื่องให้อากาศทำงานเครื่องเดียวไม่สามารถเพิ่มออกซิเจนได้โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่า 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกครั้งเครื่องต้นแบบจะสั่ง

ให้เครื่องให้อากาศทำงานทั้ง 2 เครื่อง นอกจากนี้หากค่าออกซิเจนละลายน้ำยังคงต่ำลงเรื่อยๆ จนถึง 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะสั่งให้ไซเรนส่งสัญญาณเตือนผู้เลี้ยงเพื่อจะได้รับการรักษา ให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพออยู่ตลอดเวลาสำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นจะมีการวัดค่าและให้แสดงผล ด้วยสัญญาณไฟกระพริบดังนี้คือ

- สัญญาณไฟสีเขียว แสดงว่าค่า ความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.0 - 8.0 แสดงว่าน้ำในบ่ออยู่ในเกณฑ์ปกติ

- สัญญาณไฟสีเหลือง แสดงว่าค่า ความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 8.0 แสดงว่าน้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีฤทธิ์เป็นด่าง ต้องปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำ

- สัญญาณไฟสีแดงแสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.0 แสดงว่าน้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีฤทธิ์เป็นกรด ต้องปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำเช่นเดียวกัน

สำหรับบ่อควบคุมนั้นกำหนดให้เครื่องให้อากาศทำงาน 1 เครื่องหลังจากให้อาหารช่วงเช้า (08.00 น.) หากมีแสงแดด และให้ทำงานทั้ง 2 เครื่องจาก 18.00 น. – 8.00 น. ของวันถัดไป โดยหากพบว่าสภาพอากาศผิดปกติหรือออกซิเจนต่ำนอกเหนือเวลาที่กำหนดก็สามารถให้เครื่องให้อากาศทำงาน ทั้ง 2 เครื่องได้



ภาพที่ 23 ระบบติดตามปริมาณออกซิเจนในบ่อ

3.4.6 การเก็บเกี่ยวผลผลิต หรือการจับปลาเมื่อพบว่าขนาดปลาที่สุ่มตัวอย่าง มีขนาดส่วนใหญ่ ตรงกับความต้องการของตลาด (600 – 800 กรัม) โดยแบ่งเป็นแต่ละขนาด ดังนี้

- น้ำหนักตั้งแต่ มากกว่า 800 กรัมขึ้นไป เป็นปลาเกินขนาด
- น้ำหนักตั้งแต่ 600 –800 กรัมเป็นปลาขนาดที่ตลาดต้องการ
- น้ำหนักตั้งแต่ 400 –600 กรัมเป็นปลาขนาดเล็ก
- น้ำหนักตั้งแต่ 300 –400 กรัมเป็นปลาขนาดจิ๋ว
- น้ำหนักน้อยกว่า 300 กรัมเป็นปลาไม่ได้ขนาดซึ่งตลาดไม่รับซื้อ



ภาพที่ 24 การเก็บผลผลิต



ภาพที่ 25 คัดขนาดปลาเมื่อเก็บผลผลิต

3.4.7 การตรวจวัดและเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำตลอดระยะการเลี้ยง รวมถึงจัดบันทึกปริมาณอาหาร จำนวนการตาย ขนาดและน้ำหนักของปลาเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการแลกเนื้อ (FCR) ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำหนักปลาที่จับได้ทั้งหมด ต้นทุนผลตอบแทน เพื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างบ่อควบคุม กับบ่อทดลอง

บทที่ 4

ผลดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวเชิงหนาแน่นสูงเป็นการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและออกแบบเครื่องต้นแบบช่วยติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวที่ปล่อยเลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนเพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิผลของการใช้ระบบติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเชิงหนาแน่นในด้านผลผลิตและตอบแทนที่เพิ่มขึ้นสำหรับการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ ซึ่งผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบความแม่นยำของการวัด

4.1.1 ผลการทดสอบระบบ (System testing) ก่อนนำไปใช้จริง

1) การวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในภาวะที่ออกซิเจนละลายน้ำเป็น 0 mg/l โดยการจุ่มอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำลงในสารละลาย DO = 0 เปอร์เซนต์สำหรับที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 100 เปอร์เซนต์นั้น จะมีค่าขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมตามตารางที่ 1 จึงกำหนดค่าการวัดตามตารางดังกล่าว โดยการปรับตั้งค่าตัวคูณในโปรแกรมสำหรับการแปลงค่าสัญญาณและแสดงผลของการวัด

2) การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง กำหนดค่าการวัดโดยการใช้สารละลายความเป็นกรด-ด่างมาตรฐานที่มาพร้อมกับอุปกรณ์ตรวจวัด ดังภาพที่ 9 จำนวน 3 ค่าคือ ความเป็นกรด-ด่าง 4.00, 7.00 และ 10.00 ซึ่งปรับตั้งค่าตัวคูณในโปรแกรมเช่นเดียวกับกรณีแรก

การทดสอบการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดค่าดังกล่าวในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากที่ได้ปรับปรุงการอ่านค่าสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดและปรับเทียบค่า (Calibrate) แล้ว โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดภาคสนามยี่ห้อ AMTAST รุ่น DO900 ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 9 หัวข้อที่ 3.2 สำหรับผลการทดสอบเครื่องต้นแบบทั้ง 2 เครื่องที่จะนำไปใช้ในบ่อทดลองได้ผลดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความเที่ยงตรง

เวลา	บ่อทดลองที่ 1						บ่อทดลองที่ 2					
	DO		error	pH		error	DO		error	pH		error
	std 1	ptt 1		std 1	ptt 1		std 1	ptt 1		std 1	ptt 1	
6.00	5.4	5.4	0	6.7	6.6	0.1	5.3	5.4	-0.1	6.6	6.7	-0.1
8.00	6	5.9	0.1	6.8	6.9	0.2	5.9	5.7	0.1	6.8	6.7	0.1
10.00	6.4	6.3	0.1	6.8	6.7	0.1	6.4	6	0.1	6.8	6.9	-0.1
12.00	6.4	6.4	0	6.9	6.7	0.2	6.3	6.5	-0.2	6.9	7	-0.1
14.00	7	7.1	-0.1	7	6.8	0.2	6.8	6.7	0.1	7	7.1	-0.1
16.00	7.1	7	0.1	7.1	7	0.1	7	6.8	0.2	7.1	7	0.1
18.00	7.3	7	0.3	7	7.1	-0.1	7.2	6.9	0.3	7	7	0
20.00	6.2	6.3	-0.1	7	6.9	0.1	6.3	6.4	-0.1	7	6.9	0.1
22.00	6	6.1	-0.1	6.9	6.9	0	5.9	5.7	0.2	6.9	6.8	0.1
24.00	5.3	5.5	-0.2	6.9	6.7	0.1	5.4	5.4	0	6.9	6.8	0.1
02.00	4.9	4.9	0	6.8	6.9	-0.1	4.8	4.9	-0.1	6.8	6.6	0.2
04.00	4.2	4.4	-0.2	6.6	6.7	-0.1	4.3	4.2	0.1	6.6	6.6	0

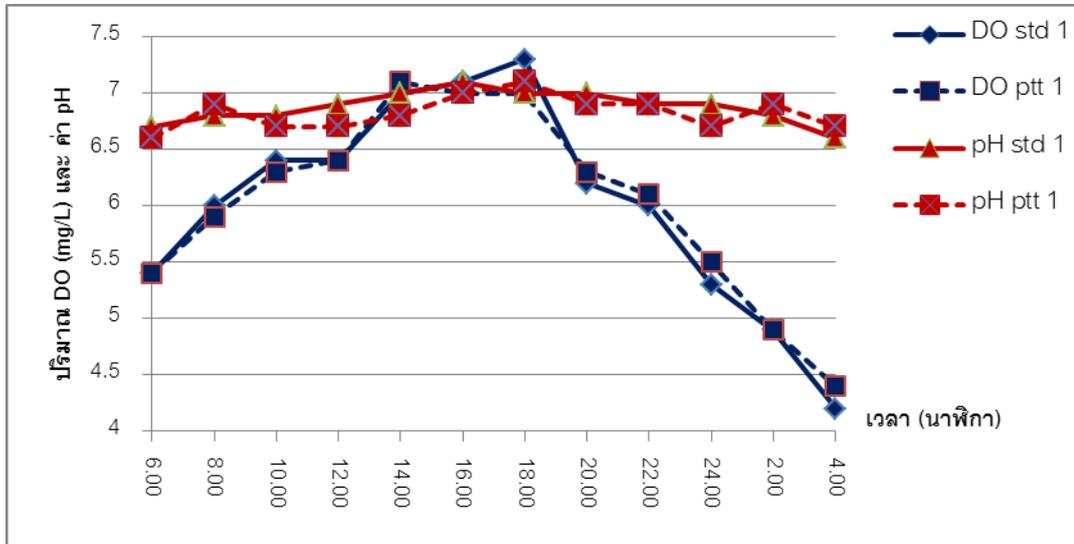
หมายเหตุ 1. DO_{std} หมายถึง ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน (Standard)

2. DO_{ptt} หมายถึง ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดต้นแบบ (Prototype)

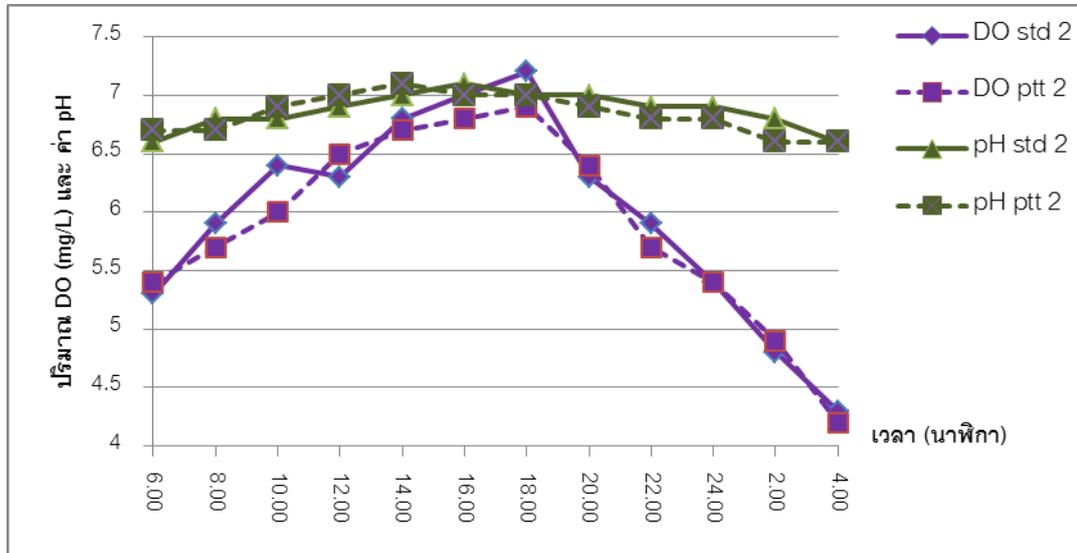
3. pH_{std} หมายถึง ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน

4. pH_{ptt} หมายถึง ค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดต้นแบบ

จากตารางที่ 4 สามารถนำมาแสดงผลด้วยกราฟดังภาพที่ 26 และ 27 ดังนี้



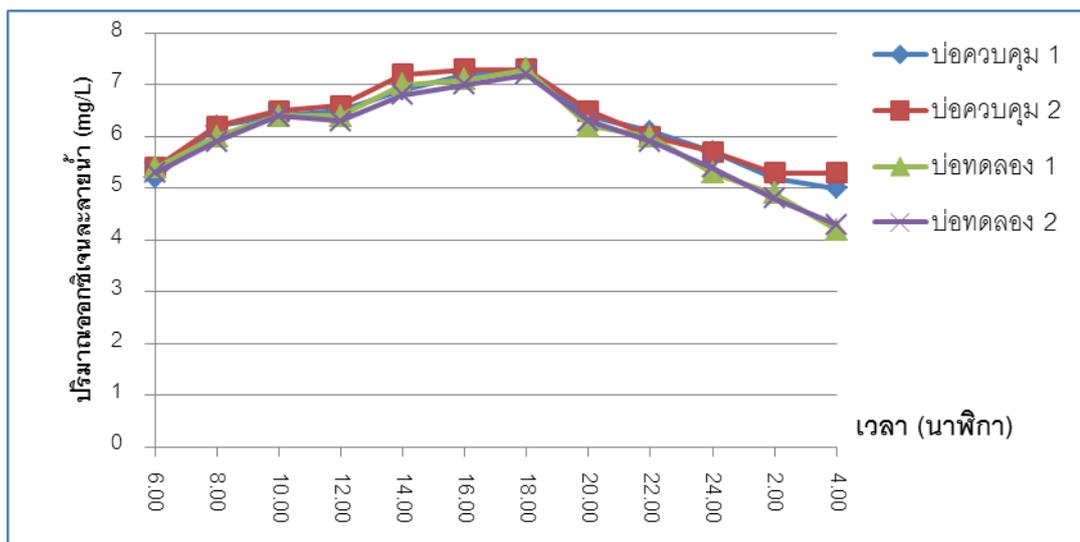
ภาพที่ 26 ความเที่ยงตรงของการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อดำรงที่ 1



ภาพที่ 27 ความเที่ยงตรงของการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อดำรงที่ 2

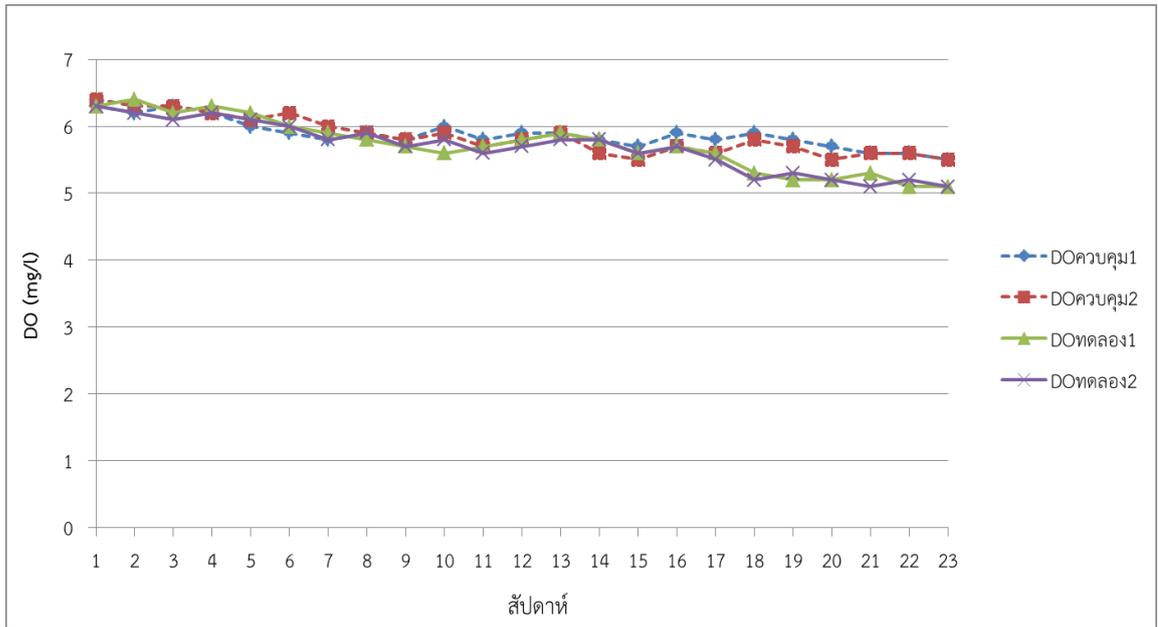
4.2 ผลการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำและการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

การตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในรอบ 24 ชั่วโมงของทุกบ่อ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในทุบบ่อของแต่ละวันมีความผันแปรไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในช่วงเวลา 05.00-06.00 น. ปริมาณออกซิเจนมีค่าต่ำ อยู่ในช่วงประมาณ 4 - 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้เครื่องให้อากาศจะทำงานทุกเครื่องและค่าออกซิเจนจะค่อยๆ มีค่าสูงขึ้นตั้งแต่เวลาประมาณ 07.00 น. เป็นต้นไป ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำในบ่อได้รับแสงอาทิตย์และมีการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช จากนั้นในช่วงตั้งแต่ 18.00 น. เป็นต้นไปปริมาณออกซิเจนในน้ำจะค่อยๆ ลดลงและไปต่ำที่สุดอีกครั้งในช่วง 05.00-06.00 น. เป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง โดยข้อมูลความผันแปรของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในรอบ 1 วัน แสดงดังภาพที่ 28 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6.00 – 8.00 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยสำหรับการดำรงชีวิตของปลากระพงขาว

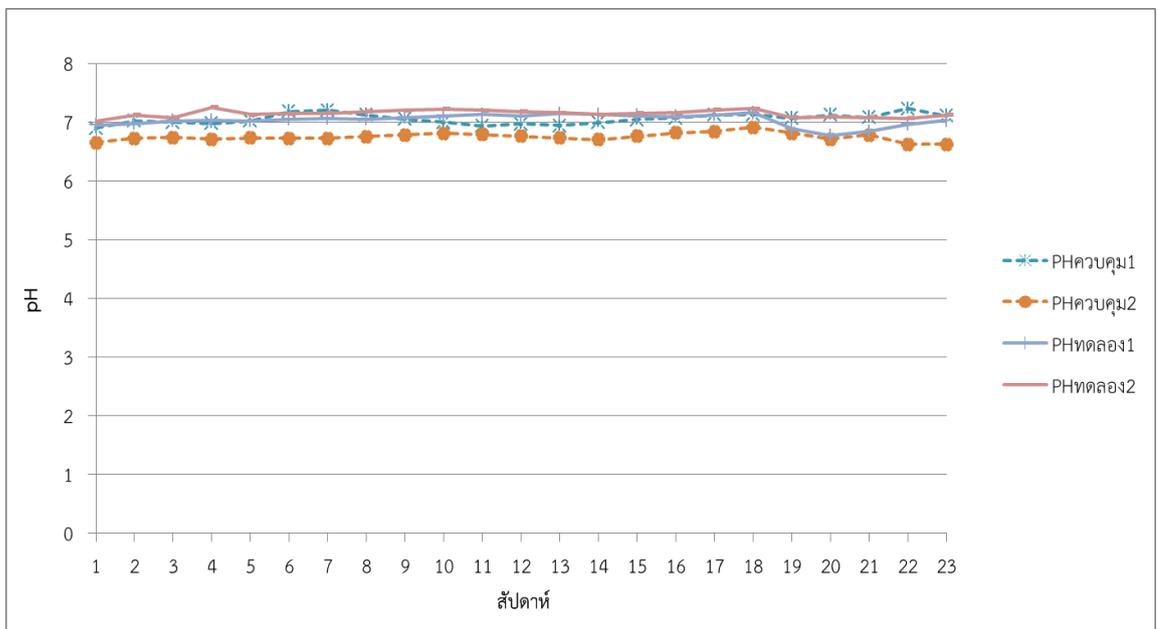


ภาพที่ 28 ผลการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในรอบ 24 ชั่วโมง

ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าพีเอช จากการเก็บข้อมูลตลอดระยะเวลาเลี้ยงนาน 23 สัปดาห์ แสดงด้วยค่าเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ (ภาพที่ 29 และภาพที่ 30) พบว่าค่า พีเอชมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันในทุกบ่อ ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงสัปดาห์ที่ 1-17 ทุกบ่อมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน แต่จากสัปดาห์ที่ 18 – 23 บ่อควบคุมที่ 1 และ 2 ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิม ส่วนบ่อทดลองทั้ง 2 บ่อมีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากระบบวัดและควบคุมออกซิเจนละลายน้ำของบ่อทดลองสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้หยุดทำงานตามค่าที่กำหนดไว้



ภาพที่ 29 ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยต่อสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง



ภาพที่ 30 ค่าพีเอชเฉลี่ยต่อสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

จากภาพที่ 28 และ 29 สังเกตพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของบ่อทดลองยังคงมีค่ามากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่ปลา กะพงขาวสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติได้ คือ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (พานิชย์ และจารุวัฒน์, 2538)

4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้า

เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลา กะพงขาว ระหว่างบ่อเลี้ยงการใช้ระบบควบคุมแบบเดิมซึ่งเรียกว่าบ่อควบคุม จำนวน 2 บ่อ กับบ่อเลี้ยงที่ใช้ระบบ ควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติต้นแบบที่สร้างขึ้น จำนวน 2 บ่อ ได้บันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ของแต่ละบ่อดังตารางที่ 5 และภาพที่ 31 ดังนี้

ตารางที่ 5 จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่สะสมสำหรับเครื่องเติมอากาศทั้งหมด

วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)			
	บ่อควบคุม 1	บ่อควบคุม 2	บ่อทดลอง 1	บ่อทดลอง 2
15 พ.ค. 57	84	74	73	72
11 มิ.ย.57	817.18	762.95	782.54	746.41
4 ก.ค. 57	1,415.92	1,356.17	1,397.86	1,388.11
30 ก.ค. 57	2,305.65	2,275.02	2,234.53	2,334.62
23 ส.ค. 57	3,257.67	3,204.12	3,081.75	3,120.46
16 ก.ย. 57	4,436.59	4,357.39	4,016.92	4,155.85
12 ต.ค. 57	6,376.51	6,215.87	5,314.78	5,734.28
8 พ.ย. 57	9,018.44	8,614.90	7,384.86	7,762.25
ค่าไฟฟ้า	44,551.07	42,557.58	38,951.18	40,815.49
ค่าเฉลี่ย	<u>43,554.33</u>		<u>39,883.38</u>	
ร้อยละที่ประหยัดได้ทั้งหมด (ร้อยละ)			8.43	

หมายเหตุ: วันที่ 18 พฤศจิกายน 2557 คือวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (จับปลา) และค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 4.94 บาท/หน่วย

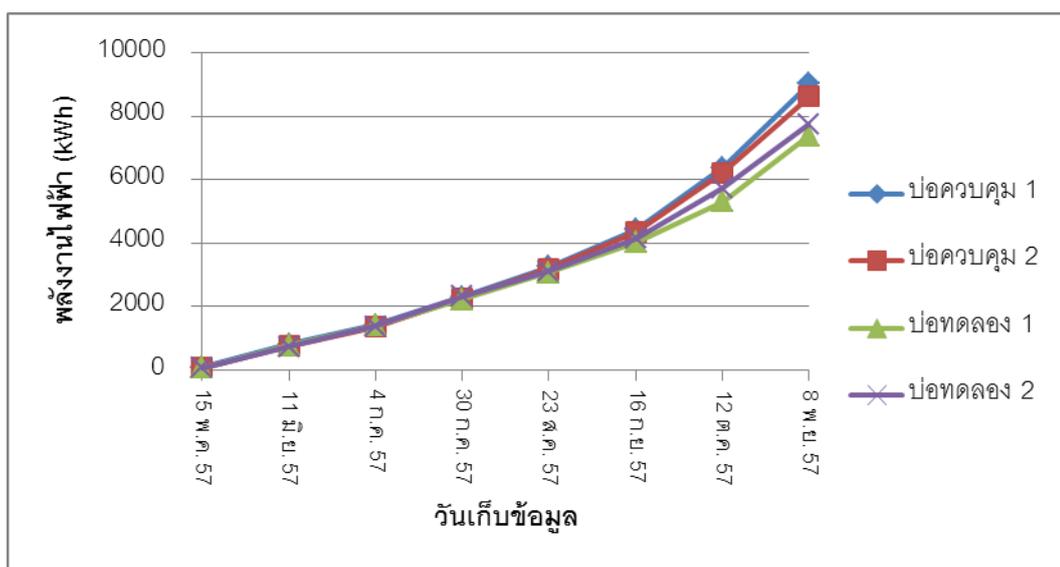
จากตารางที่ 5 เป็นการแสดงข้อมูลพลังงานทั้งหมดตั้งแต่เริ่มทดลองเลี้ยงปลา กะพง จนกระทั่ง ปลาทดลองมีขนาดตลาด จึงได้เก็บข้อมูลผลผลิต อย่างไรก็ตามเนื่องจากเกิดปัญหาทางด้านระบบการวัด และควบคุมออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดต่างในช่วงแรกๆ ของการทดลอง (15 พ.ค.-23 ส.ค. 2557) ทำให้ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพ

การใช้งานของเครื่องต้นแบบได้ดำเนินการอีกครั้งในวันที่ 16 กันยายน 2557 จนถึงวันที่ 8 พฤศจิกายน 2557 ทั้งนี้จึงได้สรุปจำนวนพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ใช้ในช่วงระยะทดสอบที่แท้จริงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ใช้สำหรับเครื่องเติมอากาศในระยะทดสอบแท้จริง (16 ก.ย. – 8 พ.ย. 2557)

วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)			
	บ่อควบคุม 1	บ่อควบคุม 2	บ่อทดลอง 1	บ่อทดลอง 2
16 ก.ย. 57	4,436.59	4,357.39	4,016.92	4,155.85
12 ต.ค. 57	6,376.51	6,215.87	5,314.78	5,734.28
8 พ.ย. 57	9,018.44	8,614.90	7,384.86	7,762.25
จำนวนหน่วยไฟฟ้า	4,581.85	4,257.51	3,367.94	3,606.40
ค่าไฟฟ้า	22,634.339	21,032.099	16,637.624	17,815.616
ค่าเฉลี่ย	21,833.22		17,226.62	
ร้อยละที่ประหยัดได้ทั้งหมด (ร้อยละ)				21.10

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 6 มาสร้างเป็นกราฟแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าหลังจากเครื่องมือเริ่มมีเสถียรภาพแล้ว แสดงผลดังภาพที่ 31



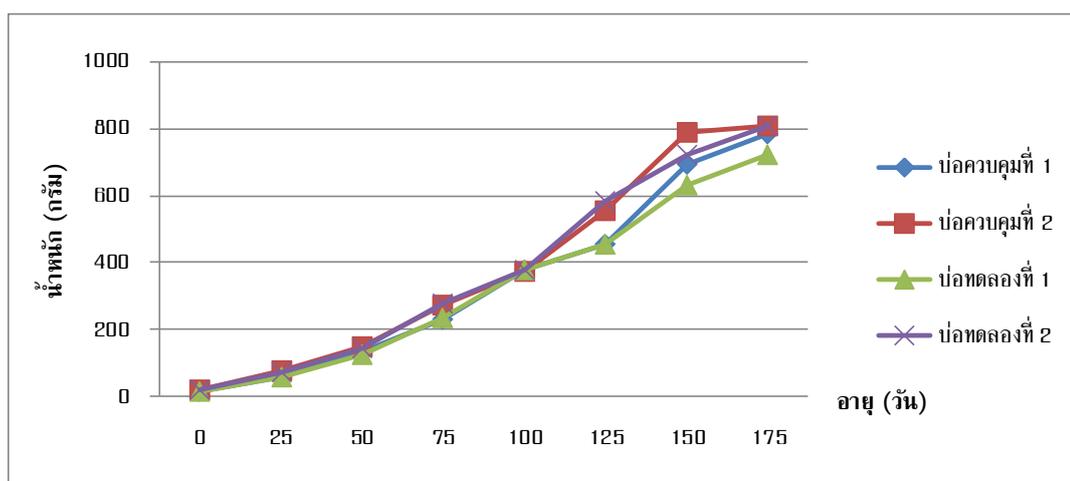
ภาพที่ 31 ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ใช้สำหรับการเติมอากาศ

4.4 การเจริญเติบโตของปลากะพงขาวและอัตราการเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยปลากะพงขาวเมื่อเริ่มต้นทดลองมีค่าเท่ากับ 17.9 ± 3.0 กรัม ข้อมูลด้านน้ำหนักตัวในแต่ละชุดการทดลองจากการมีกรสู่มซึ่งน้ำหนักทุกๆ 25 วัน ดังแสดงในตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลน้ำหนักตัวตลอดการทดลองของปลากะพงขาวระหว่างบ่อควบคุมกับบ่อทดลองพบว่า มีความใกล้เคียงกันดังในภาพที่ 32

ตารางที่ 7 น้ำหนักตัวของปลากะพงขาวตลอดการทดลอง

อายุปลา (วัน)	น้ำหนัก (กรัม)					
	บ่อควบคุม			บ่อทดลอง		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0	15.3±0.9	20.1±0.6	17.6±2.5	15.3±0.9	20.7±0.5	17.9±2.8
25	56.1±15.1	74.2±17.4	66.0±18.2	58.1±14.0	70.1±17.5	62.7±19.1
50	135.7±32.8	147.8±52.6	141.6±43.8	125.6±37.7	142.5±36.6	135.0±36.7
75	231.3±62.0	271.3±49.8	245.5±60.8	233.2±54.6	275.2±55.5	248.4±58.1
100	378.0±99.5	371.6±117.9	375.8±105.3	378.3±69.6	376.4±96.4	377.3±84.0
125	452.6±92.8	557.0±119.7	508.0±118.6	452.4±107.1	584.3±110.3	494.0±123.0
150	691.8±187.1	790.9±152.8	741.4±176.1	632.4±83.3	721.2±135.2	692.8±115.3
175	785.2±173.2	809.7±144.7	797.5±158.3	720.2±99.5	808.7±130.0	781.1±118.1

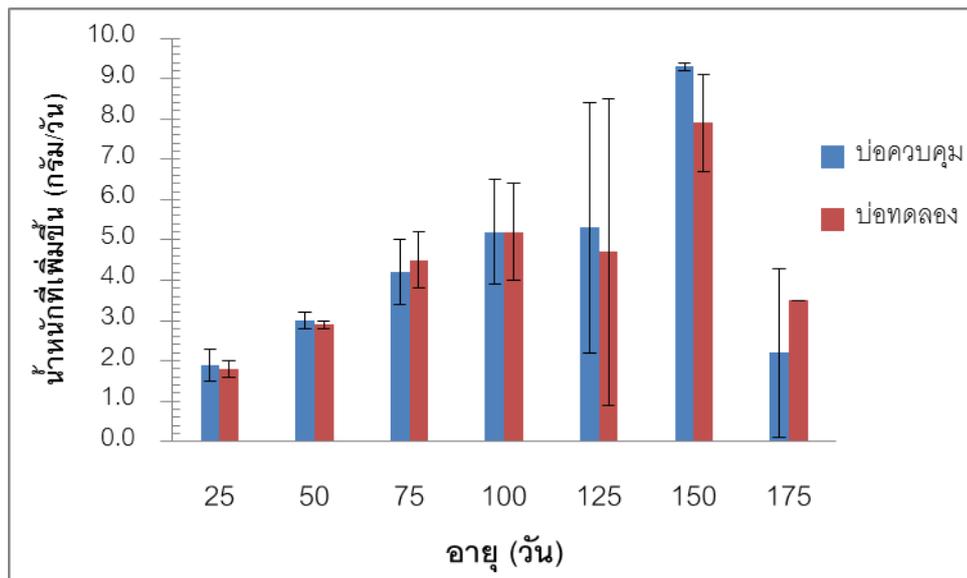


ภาพที่ 32 การเจริญเติบโตของปลากะพงขาวตลอดระยะเวลาการเลี้ยงนาน 175 วัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอัตราการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในแต่ละชุดการทดลองเมื่อมีการสู่มุ่ทุกๆ 25 วันดังแสดงในตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านอัตราการเจริญเติบโตตลอดการทดลองของปลากะพงขาวระหว่างบ่อควบคุมกับบ่อทดลองพบว่า มีความใกล้เคียงกันดังในภาพที่ 33

ตารางที่ 8 อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของปลากะพงขาว

อายุปลา (วัน)	น้ำหนัก (กรัม/วัน)					
	บ่อควบคุม			บ่อทดลอง		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
25	1.6	2.2	1.9±0.4	1.7	2.0	1.8±0.2
50	3.2	2.9	3.0±0.20	2.7	2.9	2.9±0.1
75	3.8	4.9	4.2±0.8	4.3	5.3	4.5±0.7
100	5.9	4.0	5.2±1.3	5.8	4.0	5.2±1.2
125	3.0	7.4	5.3±3.1	3.0	8.3	4.7±3.8
150	9.6	9.4	9.3±0.1	7.2	5.5	7.9±1.2
175	3.7	0.8	2.2±2.1	3.5	3.5	3.5±0.0
เฉลี่ย	4.4±2.6	4.5±3.0	4.4±2.5	4.0±1.9	4.5±2.1	4.4±1.9



ภาพที่ 33 อัตราการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว

4.5 ผลการเลี้ยงและต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาว

ต้นทุนและผลผลิตจากการเลี้ยงปลากะพงขาวในแต่ละบ่อแสดงในตารางที่ 9 ต้นทุนที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ค่าพันธุ์ปลาทดลอง ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการทดลอง ค่าเวชภัณฑ์ ระหว่างบ่อทดลอง และบ่อควบคุมมีความใกล้เคียง แต่พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ของบ่อทดลองที่มีการใช้เครื่องต้นแบบมีแนวโน้มต่ำกว่าบ่อควบคุม ขณะที่ต้นทุนรวมและต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมของบ่อทดลองมีแนวโน้มสูงกว่าบ่อควบคุม ส่วนผลผลิตในด้านน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต อัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ ร้อยละการรอดตายของปลากะพงขาวในบ่อทดลองมีความใกล้เคียงกับบ่อควบคุม

ตารางที่ 9 ผลการเลี้ยงและต้นทุนการเลี้ยงปลากะพง

	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
	1	2	1	2
จำนวนปลาที่ปล่อย (ตัว)	5,000	5,000	5,000	5,000
ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	178	178	178	178
ขนาดบ่อ (ไร่)	1	1	1	1
ขนาดปลาที่ปล่อย (กรัม)	15.3	20.1	15.3	20.7
น้ำหนักปลาที่ปล่อย (กิโลกรัม)	76.5	100.6	76.5	103.6
ขนาดที่จับ (กรัม)	785.2	880.0	720.2	808.7
ผลผลิต (กิโลกรัม)	3,423	3,405	3,401	3,498
อัตรารอด (%)	95.0	86.1	94.5	86.5
ปริมาณอาหารที่ใช้ (กิโลกรัม)	4,578	4,504	4,323	4,465
อัตราแลกเนื้อ	1.3	1.3	1.3	1.3
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	4.4	4.5	4.0	4.5
ค่าลูกพันธุ์	40,000	40,000	40,000	40,000
ค่าอาหาร	222,601	219,013	210,218	217,112
ค่าพลังงาน	44,551.1	40,815.5	42,557.6	38,951.2
ค่าเวชภัณฑ์	8,338	8,338	8,338	11,322
ต้นทุนการสร้างระบบควบคุม*	-	-	5,333	5,333
ค่าบำรุงรักษาระบบ/การเลี้ยง 1 ครั้ง	-	-	1,000	1,000
รวมต้นทุน	315,490	308,166	307,447	313,719
ต้นทุน/กก.	92.2	90.5	90.4	89.7

หมายเหตุ* ต้นทุนการสร้างระบบควบคุม ต่อชุด 16,000 บาทอายุการใช้งาน 3 ปี เป็นค่าต้นทุนสำหรับสร้างเครื่องระบบควบคุมต้นแบบ 5,333 บาท

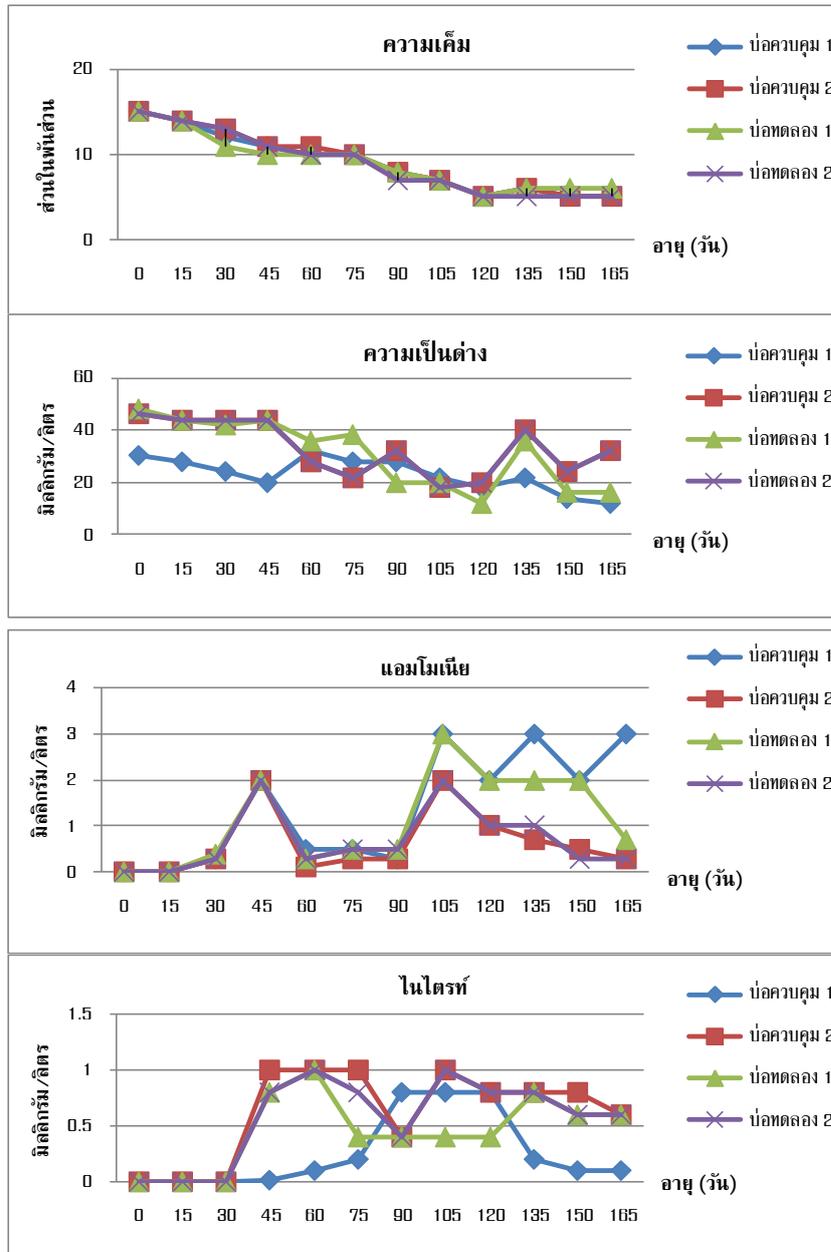
อย่างไรเมื่อพิจารณาในกรณีที่ระบบควบคุม ใช้งานได้ปกติและมีการนำมาใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง ตั้งแต่เริ่มต้นเลี้ยงจนกระทั่งจับปลาจะสามารถสรุปต้นทุนในการเลี้ยง โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6 โดยใช้ผลการประหยัดพลังงานลงไปได้ ร้อยละ 21.10 เป็นเกณฑ์ในการคำนวณ ได้ดังนี้

บ่อควบคุมทั้งสองจะมีค่าใช้จ่ายพลังงานเฉลี่ยรวม 42,683.28 บาท เมื่อใช้ระบบควบคุมจะมีค่าใช้จ่ายพลังงานลดลง 9,006.17บาท คงเหลือ 33,677.11บาท ทำให้ต้นทุนในการเลี้ยงลดลงเฉลี่ย 2,673 บาท

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่จะส่งต่อต้นทุนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือคุณภาพน้ำที่ในบ่อเลี้ยงปลาจะพบว่า กล่าวคือถ้าในบ่อเลี้ยงปลาจะมีคุณภาพดีจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในช่วงเวลากลางคืนไม่ลดต่ำลงจนถึงจุดที่เครื่องตีน้ำทำงาน ก็จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ ในทางกลับกันสำหรับบ่อควบคุมยังคงเปิดให้เครื่องตีน้ำทำงานตามปกติทำให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น

4.6 คุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงปลาจะพบว่า

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงปลาจะพบว่า ความเค็มน้ำมีค่าระหว่าง 5-15 ส่วนในพันส่วน ความเป็นต่างมีค่าระหว่าง 12-48 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียมีค่าระหว่าง 0-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรที่มีค่าระหว่าง 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแต่ละบ่อแสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง 175 วัน

บทที่ 5

อภิปรายและวิจารณ์ผล

5.1 การทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรดต่าง

ผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ต่างพบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน เนื่องจากเครื่องต้นแบบนี้สามารถปรับเทียบค่าด้วยตัวเองได้ แต่ทั้งนี้การปรับเทียบค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าดังกล่าวด้วย โดยเฉพาะค่าอุณหภูมิ นอกจากนี้ เนื่องจากเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนนี้ (แม้เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐาน) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเลขค่อนข้างมากในช่วงเริ่มต้นเปิดใช้เครื่อง ดังนั้นการเริ่มอ่านค่าจะต้องพิจารณาค่าจากตารางมาตรฐานการอิมิตัว (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ ควรต้องมีการระวังสัญญาณรบกวนเนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด (DO Sensor) มีขนาดเล็กมาก (มิลลิโวลต์)

สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ต่างนั้น ขณะทำการปรับเทียบสัญญาณซึ่งต้องใช้สารละลาย ความเป็นกรด-ต่างมาตรฐาน 3 ค่าคือ 4.00, 7.00 และ 10.00 นั้น ขณะปรับเทียบต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวน และต้องแน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศที่ปลายของอุปกรณ์ตรวจวัดด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดลองนำอุปกรณ์ตรวจวัด ความเป็นกรด-ต่างชนิดที่ใช้สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า Ion Sensitive Field-Effect Transistor (ISFET) ซึ่งเป็นผลผลิตจากงานวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มาทดลองใช้งาน ซึ่งพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวให้ผลตอบสนองที่เร็ว แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับความทนทานและเกิดความเสียหายที่รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) ของอุปกรณ์ได้ง่าย เนื่องจากทำงานในลักษณะวงจรไฟฟ้า แต่ก็ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ผลิตภายในประเทศที่น่าสนใจต่อการหาแนวทางนำมาใช้งาน แต่ควรศึกษาหาแนวทางป้องกันโดยการออกแบบวงจรป้องกันความเสียหายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีและมีความทนทานต่อการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ดังกล่าวได้กล่าวไว้ในภาคผนวก

5.2 ผลการทดสอบการใช้งาน

ภายหลังการออกแบบระบบควบคุมต้นแบบและทดสอบการทำงานในเบื้องต้นแล้วจึงดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานกับการเลี้ยงปลากระพงขาว โดยระหว่างทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ ได้เผชิญกับปัญหารูปแบบต่างๆ โดยผู้วิจัยปรับปรุงและแก้ไขโดยตลอด สามารถสรุปรายละเอียดและการปรับปรุงไว้ดังนี้

1) หลังจากเริ่มต้นทดสอบใช้จริงของเครื่องต้นแบบในบ่อเลี้ยงปลาผ่านไป 1 สัปดาห์ พบว่าไอน้ำเค็มทำให้เกิดคราบเกลือขึ้นที่แผงวงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ทำงานส่งผลให้หน้าจอแสดงผลเป็นสีดำ ไม่สามารถอ่านค่าได้ ผู้วิจัยดำเนินการแก้ไขโดยติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดในตู้โปร่งแสง ทำให้สามารถอ่านค่าที่หน้าจอได้โดยไม่ต้องเปิดฝาตู้

2) หลังจากแก้ไขปัญหาข้างต้นแล้วได้ทดสอบระบบอีกครั้ง แต่ต่อมาพบว่าอุปกรณ์ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสกรปรกเนื่องจากมีเพรียงและตะไคร่น้ำเกาะที่ส่วนหัวของอุปกรณ์วัด ทำให้ระบบไม่สามารถอ่านค่าได้ หรือแสดงผลไม่ตรงกับความเป็นจริง แก้ไขโดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าทั้ง 2 ชนิดไว้กับชุดแปรงหมูนทำความสะอาดที่ออกแบบให้สามารถตั้งเวลาในการหมูนทำความสะอาดทั้งหมดตามและทวนเข็มนาฬิกาได้ตามที่ต้องการ (ภาพผนวก)

3) ระหว่างทำการทดสอบยังพบปัญหา ค่าที่แสดงผลไม่ตรงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน เนื่องจากพบว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ และเครื่องวัดมาตรฐานจะมีเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิในตัวด้วยซึ่งในเครื่องต้นแบบในเบื้องต้นไม่ได้ติดตั้งส่วนนี้ ผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขโดยเพิ่มวงจรชดเชยอุณหภูมิเพิ่มเติม เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

4) ภายหลังจากแก้ปัญหาต่างๆ ตั้งแต่ข้อ 1) ถึงข้อ 3) และใช้งานต่อไปอีกประมาณ 1 สัปดาห์ ยังคงพบปัญหาค่าที่แสดงผลไม่ตรงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐานอีกครั้ง นอกจากนี้ยังพบว่า อุปกรณ์ตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างบางตัวชำรุด จึงได้ขอคำปรึกษาเพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาเพิ่มเติมจากนักวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับอุปกรณ์วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำซึ่งพบว่า

4.1) ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำนั้น จำเป็นจะต้องแยกโดด (Isolate) ออกจากเส้นทางวงจรไฟฟ้า เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าที่ส่วนหัวของอุปกรณ์รบกวนกัน เป็นเหตุให้อายุของอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณสั้นลงนอกจากนี้ผู้วิจัยยังนำอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างแบบสารกึ่งตัวนำ (ISFET) จากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) มาทดลองใช้ก็พบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวชำรุดในทันทีที่จุ่มอุปกรณ์ตรวจวัด 2 ชนิดร่วมกัน หากไม่แยกโดดแหล่งจ่ายไฟฟ้า

4.2) จากการศึกษาเพิ่มเติมยังพบว่าการทำงานสะอาดหัววัดด้วยแปรงหมูนี้อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดทั้ง 2 ชำรุดได้เช่นกัน

จากสาเหตุทั้ง 2 กรณีจึงได้ปรับปรุงแก้ไขโดยเพิ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แยกโดดกันทางไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งสอง และยกเลิกการทำงานสะอาดด้วยแปรงหมูนมาเป็นการทำความสะอาดด้วยผ้าทุก 3 วัน โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่เหลืออยู่และซื้อเพิ่มเติม

5.3 ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ภายหลังจากปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เครื่องต้นแบบมีเสถียรภาพมากขึ้น จึงได้ติดตั้งและเก็บข้อมูลด้านต่างๆ ตั้งแต่วันที่ 16 กันยายน จนถึงวันที่ 18 พฤศจิกายน 2557 ดังนั้นข้อมูลด้านการใช้พลังงานโดยใช้การควบคุมปริมาณออกซิเจนจากเครื่องต้นแบบของบ่อทดลองจึงเริ่มจากวันที่ 16 กันยายน 2557 ส่วนข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่เริ่มต้นเลี้ยงทดสอบ มาจนถึงวันที่ 16 กันยายน 2557 จึงเป็นการเก็บข้อมูลตามวัตถุประสงค์ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น แต่ได้มีการแสดงผลการประหยัดพลังงานใน 2 ส่วนคือระยะเวลาในการเลี้ยงทั้งหมด ประหยัดพลังงานรวม 8.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการประหยัดพลังงานเฉพาะช่วงที่ใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติจากเครื่องต้นแบบนั้นประหยัดพลังงานได้ 21.10 เปอร์เซ็นต์

โดยการประหยัดพลังงานดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ ต้องการตั้งไว้ (Set point) กล่าวคือ ค่าแรกอยู่ที่ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อให้มอเตอร์ของเครื่องเติมอากาศเครื่องที่ 1 หยุดทำงานเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงกว่า 6.5 และทำงานเมื่อมีค่าต่ำกว่า 6.5 ค่าที่สองที่ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งจะสั่งให้มอเตอร์เครื่องเติมอากาศเครื่องที่ 2 ทำงานเมื่อมีค่าต่ำกว่า 5.5 เช่นเดียวกับกับกรณีแรกเพียงแต่การสั่งให้หยุดทำงานค่าจะอยู่ที่ $5.5 + 0.3$ มิลลิกรัมต่อลิตรโดยค่า 0.3 นี้เป็นการบวกเพิ่มเพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อมีทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อมอเตอร์ทำงานทั้ง 2 ตัว สำหรับค่าที่สามตั้งไว้ที่ 4 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นค่าที่หากแอมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวทำงานเต็มที่แล้ว ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังไม่เพิ่มขึ้นแต่ยังลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึง 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบก็จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนผู้เลี้ยงด้วยเสียง เพื่อให้รีบปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อไป

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าผู้ใช้สามารถเพิ่มผลการประหยัดพลังงานดังกล่าวได้อีก นั่นคือ เนื่องจากการเลี้ยงปลาจะพองไม่จำเป็นต้องให้เครื่องเติมอากาศทำงานจนกระทั่งได้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ที่จุดสูงสุด โดยการลดค่า Set point ค่าที่ 1 และ 2 ลง ก็จะทำให้มอเตอร์เครื่องเติมอากาศหยุดทำงานนานขึ้นเนื่องจากค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำที่สุดที่ยังคงเลี้ยงปลาจะพองขาวได้อยู่ที่ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อีก แต่ไม่ควรลดลงมากเกินไปจนอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้ ซึ่งหากมีการทดลองวิจัยเพิ่มเติมก็จะสามารถได้ข้อมูลการตั้งค่าที่เหมาะสมต่อไปได้

5.4 การเจริญเติบโตของปลาและอัตราการเจริญเติบโต

ข้อมูลจากการสุ่มชั่งน้ำหนักทุกๆ 25 วันทำให้สังเกตพบว่า ในช่วงเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3 ปลาทดลองมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ขณะที่ในช่วงเดือนที่ 4 ถึงเดือนที่ 5 สังเกตพบว่าปลาทดลองมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสูงกว่าในช่วง 3 เดือนแรก (ภาพที่ 31) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า อัตราการ

เจริญเติบโตของปลากระพงขาวในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 และ 4.25 กรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับข้อมูลของเกษตรกรที่เลี้ยงทั่วไปจะมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยอยู่ 5.17 กรัมต่อวัน แสดงให้เห็นว่า การทดลองเลี้ยงในการวิจัยครั้งนี้ ปลาที่เลี้ยงซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าระดับปกติทั่วไปที่เกษตรกรนิยมปล่อยเลี้ยง (1000-2000 ตัว/ไร่) แต่กลับมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน แสดงว่าการใช้เครื่องควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลองที่ตั้งค่าสั่งให้เครื่องทำงานในระดับที่ออกซิเจนต่ำ (5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้มีออกซิเจนในน้ำไม่ลดลง และจะคงที่ภายหลังจากเครื่องให้อากาศทำงาน เป็นผลให้ปลาในบ่อทดลองได้รับออกซิเจนในปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของปลากระพง และส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาเป็นไปอย่างปกติ เหตุการณ์ลักษณะนี้ จะเกิดขึ้นได้ในเวลา กลางคืน ช่วงเวลาหลังเที่ยงคืนไปแล้ว และเครื่องควบคุมจะทำงานเร็วขึ้นในช่วงท้ายๆ ของการเลี้ยงปลา เนื่องจากตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่ผ่านมาได้มีการให้อาหารและให้อาหารเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงตามขนาดของปลาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้บ่อได้รับของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลา จากเศษอาหาร จากซากแพลงก์ตอนที่สะสมตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเกิดการย่อยสลายตลอดเวลาโดยจุลินทรีย์ ซึ่งการย่อยสลายนี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการย่อยสลายนี้ในปริมาณที่สูง จึงส่งผลให้ออกซิเจนลดลงอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าเครื่องควบคุมจะสั่งให้เครื่องให้อากาศทำงานแล้วก็ตามการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนก็เป็นไปอย่างช้าๆ และใช้ระยะเวลานาน จนน่าจะส่งผลกระทบต่อปลากระพงขาว และในที่สุดจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อทดลองในช่วงท้ายของการเลี้ยงที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง

แต่อย่างไรก็ตาม ปลากระพงขาวเป็นปลาที่ขนาดจะเป็นตัวกำหนดราคาปลา โดยที่ขนาดปลาที่มีราคาสูงสุดจะมีน้ำหนักระหว่าง 600-800 กรัม ดังนั้น การติดตั้งเครื่องควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าจึงไม่มีผลต่อขนาดและน้ำหนักปลาที่จับขาย

5.5 ผลการเลี้ยงและต้นทุนการเลี้ยงปลากระพงขาว

การทดลองนี้พบว่า การใช้เครื่องต้นแบบเป็นอุปกรณ์ช่วยติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงปลากระพงขาวเชิงหนาแน่นสูง ทำให้ปริมาณผลผลิตร้อยละของการรอดตายปริมาณอาหารที่ใช้ ค่าอัตราแลกเปลี่ยนไม่มีความแตกต่างไปจากที่ไม่มีการใช้เครื่องต้นแบบ อธิบายได้ว่า แม้ว่าบ่อทดลองกับบ่อควบคุมจะมีความต่างในเรื่องของการเพิ่มเครื่องต้นแบบลงไปบ่อเลี้ยง แต่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกลับไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการเลี้ยงตามวิถีของเกษตรกรทั่วไปจะยังให้ความสำคัญต่อระดับของออกซิเจน แต่ต่างกันตรงที่ในบ่อทดลองซึ่งการใช้เครื่องต้นแบบจะเติมเมื่อออกซิเจนลงในน้ำเมื่อขาดหรือไม่เพียงพอและเมื่อเพียงพอแล้วจะหยุดเติม ขณะที่วิถีของเกษตรกรมักเปิดเครื่องให้อากาศตลอดเวลา ดังนั้นจะเห็นว่า โอกาสที่ปริมาณออกซิเจนของทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมจะต่ำลงจนถึงจุดวิกฤตจึงเป็นเรื่องยาก ปริมาณออกซิเจนที่เพียงพออยู่สม่ำเสมอจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลา กอปร

กับพันธุ์ปลาทดลอง สภาพแวดล้อมการเลี้ยง การจัดการระหว่างการเลี้ยงที่ไม่แตกต่างกัน จึงเป็นข้อสนับสนุนเพิ่มเติมในกรณีที่มีการเจริญเติบโต และผลผลิตไม่แตกต่างกันระหว่างบ่อควบคุมกับบ่อทดลอง

ปริมาณอาหาร และอัตราการแลกเปลี่ยนของทั้งบ่อควบคุมและบ่อทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าบ่อทดลองที่มีการควบคุมคุณภาพน้ำที่ระบบควบคุมการให้อากาศเพิ่มออกซิเจนเริ่มทำงานเมื่อออกซิเจนต่ำลง (หลังจากเที่ยงคืน) มาถึงระดับที่กำหนดไว้ (5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) เครื่องให้อากาศเริ่มทำงานและสามารถเพิ่มออกซิเจนได้อย่างเพียงพอกับความต้องการของปลาทั้งหมด ถึงแม้ว่าออกซิเจนที่มีในบ่อเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อควบคุมยังพบว่ามีค่าน้อยกว่า แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ปลาทั้งหมดสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ซึ่งเป็นไปตามที่ พานิชย์และจารุวัฒน์ (2538) กล่าวว่า ปลาทั้งหมดต้องการออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่ยังคงมีการเจริญเติบโตปกติอยู่ที่ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงและอัตราการแลกเปลี่ยนของบ่อควบคุมและบ่อทดลองใกล้เคียงกัน

ผลของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนรวมของบ่อทดลองต่ำกว่าบ่อควบคุม แสดงว่าบ่อทดลองที่มีการควบคุมคุณภาพน้ำเครื่องให้อากาศจะเริ่มทำงานต่อเมื่อออกซิเจนลดต่ำลงมาถึงจุดที่กำหนดไว้ โดยระบบจะสั่งให้เครื่องให้อากาศทำงาน 1 เครื่อง เมื่อออกซิเจนของน้ำลดลงมาถึงระดับ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าออกซิเจนยังลดลงอีกจนถึงระดับ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจึงจะสั่งให้เครื่องทำงาน อีกหนึ่งเครื่อง ในขณะที่เครื่องให้อากาศของบ่อควบคุมเกษตรกรจะเปิดเครื่องทำงานทั้งหมดตั้งแต่วางค้ำซึ่งในช่วงนั้นปริมาณออกซิเจนยังมีปริมาณสูงอยู่จึงไม่ได้รับประโยชน์จากการเพิ่มของออกซิเจนเลย ผลก็คือค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้าและต้นทุนการเลี้ยงของบ่อที่ติดตั้งระบบควบคุมการจัดการคุณภาพน้ำต่ำกว่า และเมื่อประเมินราคาของระบบควบคุมที่ 16,000 บาท มีอายุการใช้งาน 3 ปี นั่นคือมีต้นทุนจากการคิดค่าเสื่อมและการซ่อมบำรุงประมาณ 6,000 บาท และจากการประเมินการประหยัดไฟฟ้า 21% ดังนั้นถ้าติดตั้งระบบควบคุมนี้และระบบสามารถทำงานเต็มประสิทธิภาพ จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 9,000 บาท นั่นคือจะสามารถประหยัดต้นทุนได้ประมาณ 3,000 บาท ซึ่งถ้าตั้งระบบควบคุมให้ทำงานเมื่อออกซิเจนลดต่ำกว่านี้ เช่น 5.5, 4.5 และ 3.5 mg/l ตามลำดับจะทำให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่านี้ เนื่องจากค่าต่ำสุดที่วิกฤติอยู่ที่ 2.4 mg/l ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

5.6 คุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงปลากะพงขาว

ค่าคุณภาพน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำที่นำมาใช้มาจากบ่อพักน้ำเดียวกันการเปลี่ยนถ่ายน้ำและช่วงเวลาที่ยังเป็นฤดูฝน ส่งผลให้ความเค็มของน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่าความเป็นต่างในภาพรวมไม่สูงมากนักเนื่องจากดินของพื้นที่เลี้ยงมีสภาพที่เป็นกรด และค่าความเป็นต่างจะขึ้นลงไปตามปริมาณปูนที่ใส่ลงในบ่อเลี้ยงปลา ค่าแอมโมเนียรวมของบ่อเลี้ยงมีค่าระหว่าง 0-3 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปเทียบหาค่าความเป็นพิษของแอมโมเนียพบว่ายังไม่เป็นพิษต่อปลา สำหรับค่าไนโตรเจนที่พบในบ่อเลี้ยงปลาอยู่ระหว่าง 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการ

เจริญเติบโตของปลากระพงขาว อย่างไรก็ตามระหว่างการศึกษาเลี้ยงมีการเติมจุลินทรีย์เดือนละ 2 ครั้งแต่หากพบว่า ค่าแอมโมเนียหรือไนไตรท์สูงขึ้นจะมีการเติมเพิ่ม

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1) เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจากการวิจัยนี้ สามารถติดตามและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา กะพงขาวเมื่อเลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเครื่องต้นแบบช่วยติดตามและควบคุม คุณภาพน้ำด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา กะพงขาวเชิง หนาแน่นได้ใกล้เคียงกับบ่อที่ไม่ใช้ และยังสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ ปกติต่อการเลี้ยง

2) น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ ร้อยละการรอดตายของปลา กะพงขาวที่เลี้ยงในบ่อที่ใช้เครื่องต้นแบบมีความใกล้เคียงกับบ่อที่ไม่ใช้

3) ค่าพลังงานที่ใช้ของบ่อทดลองที่มีการใช้เครื่องต้นแบบมีแนวโน้มต่ำกว่าบ่อที่ไม่ใช้ ส่วนต้นทุนรวม และต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมของบ่อที่ใช้เครื่องต้นแบบมีแนวโน้มสูงกว่าบ่อที่ไม่ใช้

4) ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการเลี้ยงในบ่อเลี้ยงปลา กะพงขาว หากใช้เครื่องควบคุมต้นแบบตั้งแต่ เริ่มต้น จะทำให้บ่อทดลองมีต้นทุนที่น้อยกว่าบ่อควบคุมเฉลี่ย 2,673 บาทต่ออย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึง ลักษณะการใช้งานพบว่า บ่อเลี้ยง 1 บ่อ ใช้เครื่องควบคุม 1 เครื่องซึ่งหากนำไปใช้กับบ่อที่มีขนาด ใหญ่ขึ้นจะทำให้ต้นทุนของการเลี้ยงเมื่อใช้เครื่องควบคุมดังกล่าวจะต่ำลง นอกจากนี้การปรับลดค่า ออกซิเจนละลายน้ำในเครื่องควบคุมให้ต่ำลงจะทำให้ลดต้นทุนพลังงานลงไปได้เช่นกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยตลอดระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมา มีข้อเสนอแนะดังนี้

6.2.1 ด้านเทคนิคของระบบควบคุมต้นแบบ

1) หากสถานที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อม ควรมีการป้องกัน เพื่อให้ให้เกิดการทำงานผิดพลาด หรืออายุการใช้งานสั้นลง

2) การทำความสะอาดหัวอุปกรณ์ตรวจวัด ควรทำความสะอาดด้วยผ้าอ่อนนุ่ม หรือปฏิบัติตาม บริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดนอกจากนี้ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการทำความสะอาดที่ เหมาะสมเพื่อยืดอายุของอุปกรณ์ตรวจวัด ตลอดจนการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีที่

สามารถผลิตในประเทศ เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดค่า ความเป็นกรด-ด่างแบบ สารกึ่งตัวนำ (ISFET) ซึ่งมีราคาถูก และอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจน จากศูนย์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

3) ควรมีการแยกกวางจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดค่า DO และ ความเป็นกรด-ด่างเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนสัญญาณกัน หรือมีกระแสไหลระหว่างอุปกรณ์เป็นเหตุให้การวัดคลาดเคลื่อน หรืออุปกรณ์เสียหายได้

4) การชดเชยค่าทางกายภาพเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาประกอบสำหรับการชดเชยสัญญาณเพื่อให้การวัดค่ามีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

6.2.2 ด้านประสิทธิภาพสำหรับการใช้งาน

1) ควรมีการวิจัยต่อยอดเพื่อสามารถอำนวยความสะดวกในการบริหารจัดการข้อมูลการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การแสดงข้อมูลผ่านระบบสื่อสารออนไลน์หรือโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้สามารถบริหารจัดการเมื่อเกิดปัญหาได้ทันทั่วถึง

2) ควรมีการวิจัยเพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบที่มีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่นาน โดยเฉพาะการยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณออกซิเจนและความเป็นกรดต่าง

3) ควรมีการออกแบบโครงสร้างให้ใช้งานสะดวกสามารถเชื่อมต่อกับระบบควบคุมมอเตอร์ได้โดยง่าย

6.2.3 ด้านราคา

ควรศึกษาวิจัยเพื่อลดต้นทุนของเครื่องต้นแบบเพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุนของผู้เลี้ยงที่ต้องการใช้เครื่องควบคุมดังกล่าว หรือมีจุดคุ้มทุนที่สั้นลงกว่านี้

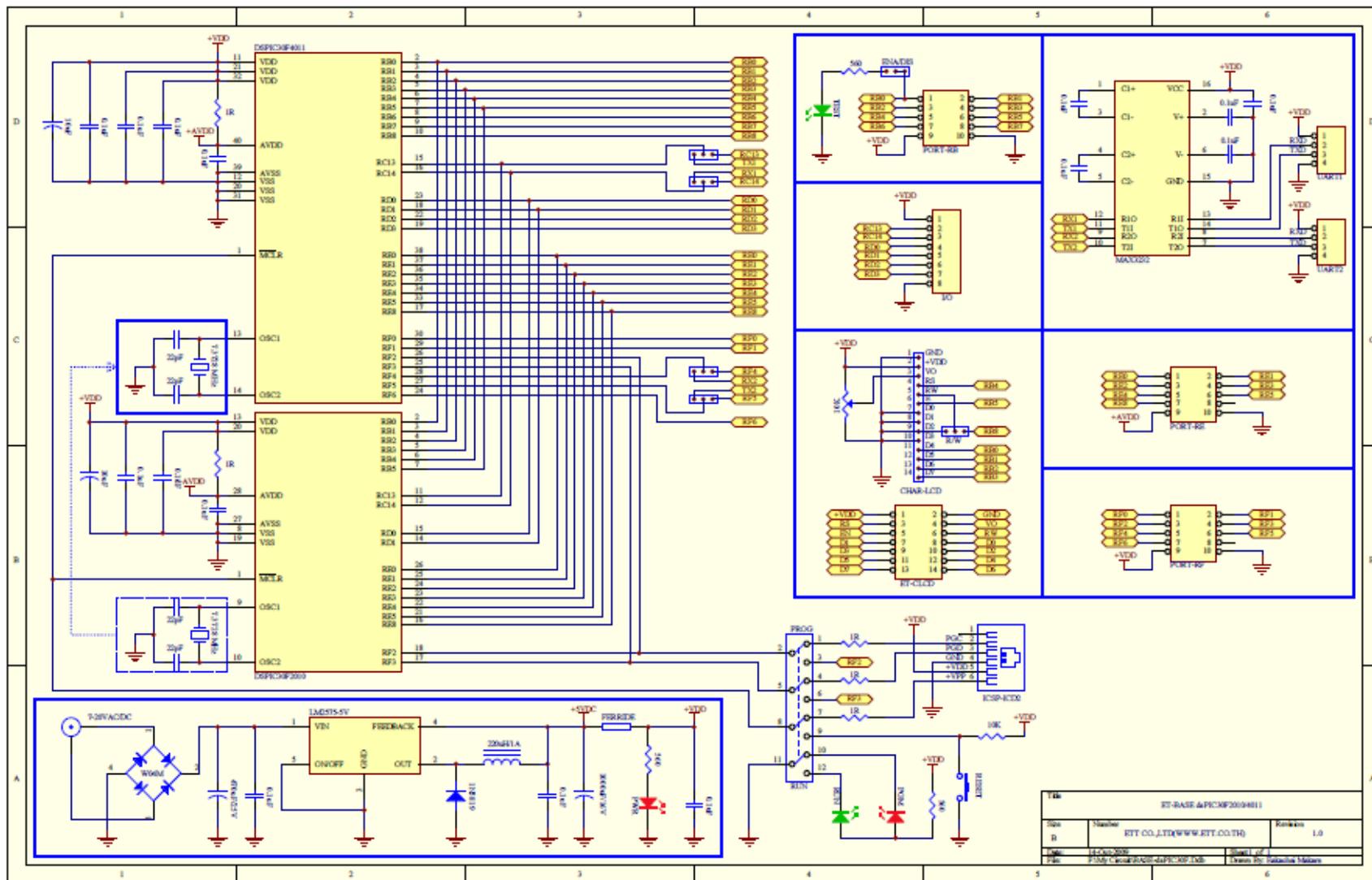
บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์ (พิมพ์ครั้งที่ 3). คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ. 370 น.
- จารุต บุศราทิจ. 2553. เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วย mikro Basic. บริษัท อีทีที จำกัด : ETT Co.,Ltd. 688 หน้า
- ชุตินา ขมวิสัย และ พิสิฐบุญศรีเมือง. 2554. โครงการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพน้ำอัจฉริยะเพื่อการบริหารจัดการในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. เอกสารโครงการงานเสวนาผลงาน. กรมประมง [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.fisheries.go.th/personnel/images/Data3/212_54.pdf เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2555
- ธรรมพันธุ์ ภาสบุตร และ ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม. 2554. ระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์. ECTI-CARD 2009, May'09, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-8285-62-7
- นภดล จินดาพันธ์ และ อัญชลิตันตกุล. 2547. การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบกังหันใบพัด. เอกสารวิชาการเลขที่ 67/2547. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. กรมประมง. กรุงเทพฯ.
- นิคม ละอองศิริวงศ์ และ ยงยุทธ ปรีดาสัมบุต. 2546. วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กลุ่มงานวิจัยระบบและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา สำนักงานและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง. 211 น.
- นิคม ละอองศิริวงศ์, ลักษณะละอองศิริวงศ์และประมัยพรทองคณารักษ์. 2553. การประยุกต์ใช้พีแอลซีเพื่อควบคุมการให้อากาศในกระชังเลี้ยงปลากะพงขาว (*Latescalcarifer* BLOCH, 1790). วารสารการประมง 64(4) หน้า 296-305
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณสมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ, สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กรมประมง. 113 หน้า.
- พานิชย์ สังข์เกษม และ จารุวัฒน์ นกิตะภัก. 2538. อัตราการบริโภคออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบางชนิด. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 24/2538. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง. กรุงเทพฯ.
- พิสุทธิ์ เพียรมนกุล. 2555. การเติมอากาศ (Aeration) และการกรอง (Filtration) สำหรับการพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศ. ช่างพูด 2555 (02) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/302> เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2555

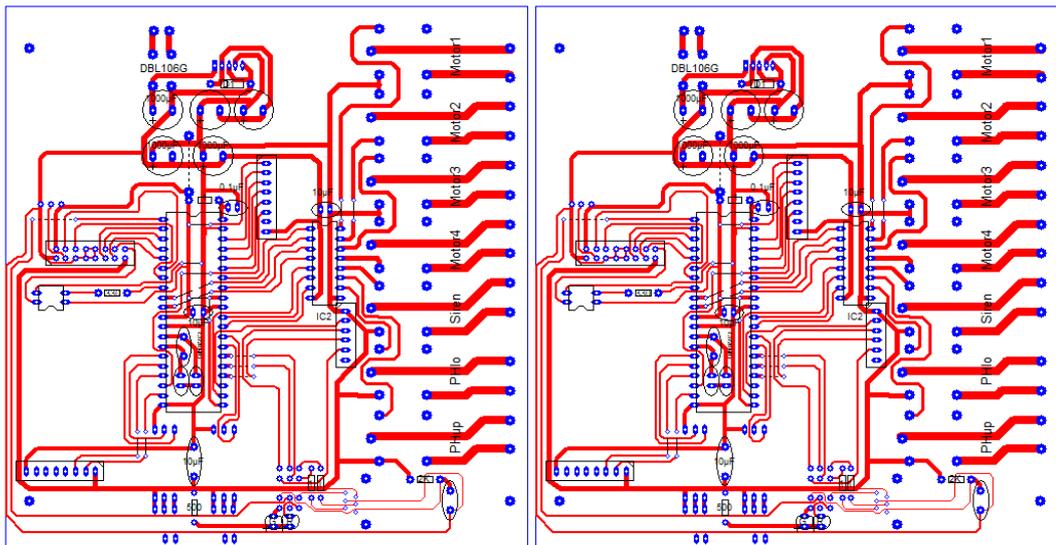
ไพฑูรย์ มั่นหมาย. 2557. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. เอกสารเผยแพร่. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม.
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :<http://www2.diw.go.th/research/file.asp>เมื่อวันที่ 30
ตุลาคม 2557

Bergheim A. Martin G. Anders N., Per M., Holland, Per Krogedal and VivCrampton. 2005. A
newly developed oxygen injection system for cage farms. Aquacultural
Engineering 34 (2006) 40-46

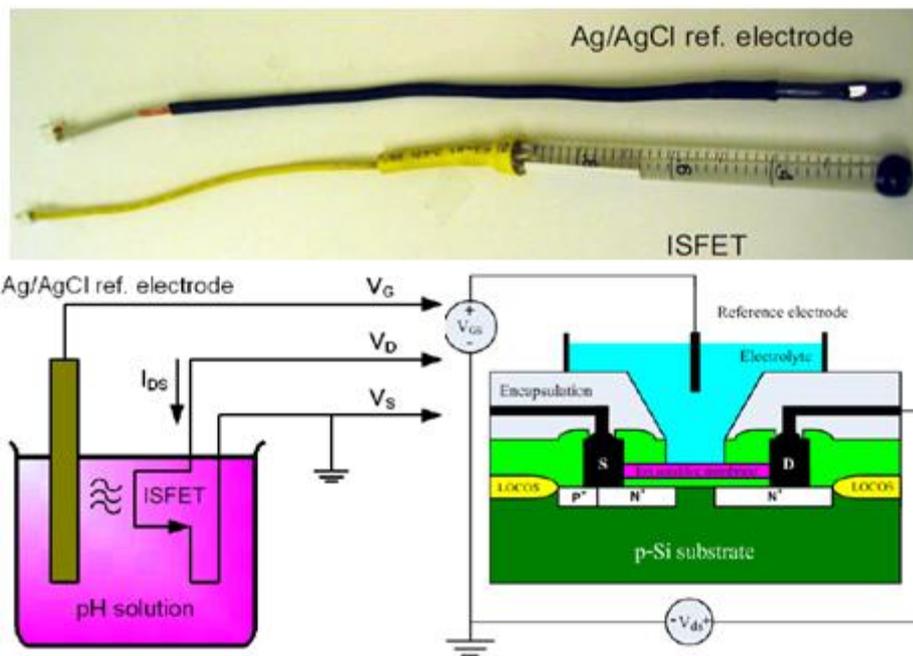
ภาคผนวก



ภาพที่ 35 แผงวงจรพิมพ์ชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 36 แผงวงจรพิมพ์ชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 37 อุปกรณ์ตรวจวัดชนิดสารกึ่งตัวนำ
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 38 การติดตั้งแปรงหมุนทำความสะอาดอุปกรณ์ตรวจวัดแบบตั้งเวลา

คู่มือการใช้งานเครื่องควบคุมออกซิเจนในน้ำ

การควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำใช้หลักการวัดค่า เปรียบเทียบ และสั่งเปิด-ปิดเครื่องให้อากาศ สำหรับมอเตอร์เครื่องให้อากาศ 2 ชุด ต่อบ่อเลี้ยง และการแจ้งเตือนเมื่อค่า DO ต่ำกว่าค่าที่กำหนด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

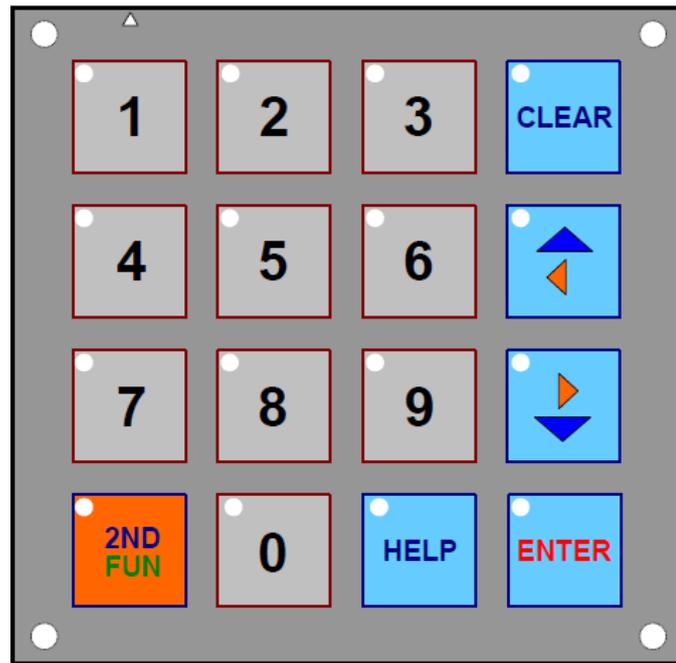
1. หน้าจอหลักและแป้นพิมพ์

รายละเอียดการแสดงผลหน้าจอหลักจะแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO.) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่าง (PH.) อุณหภูมิในน้ำ อุณหภูมิในตู้ควบคุม เวลา และวันที่



ในส่วนของแป้นพิมพ์จะเป็นแป้นพิมพ์แบบสัมผัส 16 ปุ่ม ดังได้แสดงในภาพที่ 2 โดยมีปุ่มที่ใช้งาน ดังนี้

1. ปุ่มเมนู  สามารถเข้าสู่เมนูการตั้งค่าโดยกดปุ่มนี้
2. ปุ่มออกจากเมนู  สามารถกดปุ่มนี้เพื่อออกจากเมนูตั้งค่า
3. ปุ่ม เปิด-ปิด ไฟพื้นหลังหน้าจอแอลซีดี  สามารถกดปุ่มนี้เพื่อเปิด-ปิด ไฟพื้นหลังโดยหากเปิดไฟพื้นหลังทิ้งไว้ ไฟจะดับอัตโนมัติหลังจาก 1 นาที
4. ปุ่มตกลง 
5. ปุ่มตัวเลข 0 ถึง 9



2. เมนูการตั้งค่า

ในเมนูการตั้งค่ามี 2 เมนูการตั้งค่า คือ การปรับเทียบค่ามาตรฐาน (Calibrate) และ การตั้งค่าจุดการทำงาน (Set Point)



2.1 การปรับเทียบค่ามาตรฐาน (Calibrate) สามารถทำได้โดยกดปุ่ม เมนู  และกด 1 แล้ว หน้าจอจะแสดงดังภาพที่ 4



2.2 การตั้งค่าจุดการทำงาน (Set Point) สามารถเข้าเมนูนี้โดยกดปุ่ม เมนู  และกด 2 แล้ว หน้าจอจะแสดงดังภาพที่ 5



ขั้นตอนการปรับเทียบค่ามาตรฐานออกซิเจนละลายน้ำ (DO.)

การปรับเทียบค่ามาตรฐานของหัวโพรบวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำนั้นจำเป็นต้องทำเมื่อมีการใช้งานเครื่องวัดเป็นเวลามากกว่า 3 เดือน เพราะการใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้การวัดมีค่าผิดพลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบค่ามาตรฐานอย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน

1. กดปุ่ม เมนู  เพื่อเข้าสู่เมนูการตั้งค่า แล้วหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



2. กดปุ่มเลข 1 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐาน ดังภาพด้านล่าง



3. กดปุ่มเลข 3 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐานออกซิเจนละลายน้ำ ดังภาพด้านล่าง



4. ล้างหัวโพรบด้วยน้ำเปล่าแล้วให้หัวโพรบสัมผัสอากาศและอยู่ในแนวตั้ง จากนั้นกดปุ่ม  แล้วรอประมาณ 3 นาที



5. เมื่อการปรับเทียบค่ามาตรฐานเสร็จสิ้นเครื่องจะแสดงหน้าจอตั้งภาพด้านล่าง แล้วเข้าสู่หน้าจอหลัก



ขั้นตอนการปรับเทียบค่ามาตรฐานความเป็นกรดต่าง (PH.)

การปรับเทียบค่ามาตรฐานของหัวโพรบวัดความเป็นกรดต่างนั้นจำเป็นต้องทำเมื่อมีการใช้งานเครื่องวัดเป็นเวลามากกว่า 3 เดือน เพราะการใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้การวัดมีค่าผิดพลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบค่ามาตรฐานอย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน

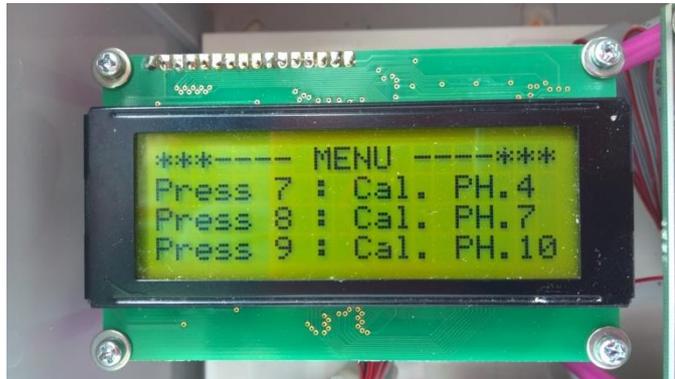
1. กดปุ่มเมนู  เพื่อเข้าสู่เมนูการตั้งค่า แล้วหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



2. กดปุ่มเลข 1 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐาน ดังภาพด้านล่าง



3. กดปุ่มเลข 4 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐานความเป็นกรดต่าง ดังภาพด้านล่าง



4. กดปุ่มเลข 7 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐาน PH.4 ดังภาพด้านล่าง



5. ล้างหัวโพรบวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยน้ำเปล่า ซับให้แห้ง แล้วจุ่มลงไปในสารละลายที่มีความเป็นกรดต่าง PH4 แล้วกดปุ่มตกลง  แล้วรอประมาณ 3 นาที



6. เมื่อการปรับเทียบค่าความเป็นกรด PH4 เสร็จสิ้นหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



7. ทำการปรับเทียบค่าความเป็นกรดต่างที่ PH7 โดยทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 แล้วกดปุ่มเลข 8 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐาน PH.7 ดังภาพด้านล่าง



8. ล้างหัวโพรบวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยน้ำเปล่า ซับให้แห้ง แล้วจุ่มลงไปนสารละลายที่มีความเป็นกรดต่าง PH7 แล้วกดปุ่มตกลง  แล้วรอประมาณ 3 นาที



9. เมื่อการปรับเทียบค่าความเป็นกรด PH7 เสร็จสิ้นหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



10. ทำการปรับเทียบค่าความเป็นกรดต่างที่ PH10 โดยทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 แล้วกดปุ่มเลข 9 เพื่อเข้าสู่เมนูการปรับเทียบค่ามาตรฐาน PH.10 ดังภาพด้านล่าง



11. ล้างหัวโพรบวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยน้ำเปล่า ซับให้แห้ง แล้วจุ่มลงในสารละลายที่มีความเป็นกรดต่าง PH10 แล้วกดปุ่มตกลง  แล้วรอประมาณ 3 นาที



12. เมื่อการปรับเทียบค่าความเป็นกรด PH10 เสร็จสิ้นหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



ขั้นตอนการดูค่าจุดการทำงาน (Set point)

1. กดปุ่ม  เมนู เพื่อเข้าสู่เมนูการตั้งค่า แล้วหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



2. กดปุ่ม 2 เพื่อเข้าสู่เมนูค่าจุดการทำงาน ดังภาพด้านล่าง



3. กดปุ่ม 4 เพื่อดูค่าจุดการทำงาน



ค่าจุดการทำงานของ DO. จะแสดงเรียงตามลำดับจากค่าที่ 1 ถึง 3 ค่าที่ 1 จะเป็นค่าการทำงานของมอเตอร์เครื่องให้อากาศตัวที่ 1 โดยเครื่องจะทำการเปิดใช้งานเครื่องให้อากาศตัวที่ 1 เมื่อค่า DO ต่ำกว่าจุด Set Point ค่าที่ 1 และปิดการทำงานเครื่องให้อากาศตัวที่ 1 เมื่อค่า DO สูงกว่า Set point ค่าที่ 1 ส่วนค่าที่ 2 และค่าที่ 3 จะเป็นจุดการทำงานของมอเตอร์เครื่องให้อากาศตัวที่ 2 และไซเรนแจ้งเตือนจุดวิกฤตตามลำดับ โดยการทำงานจะเหมือนกับค่าที่ 1

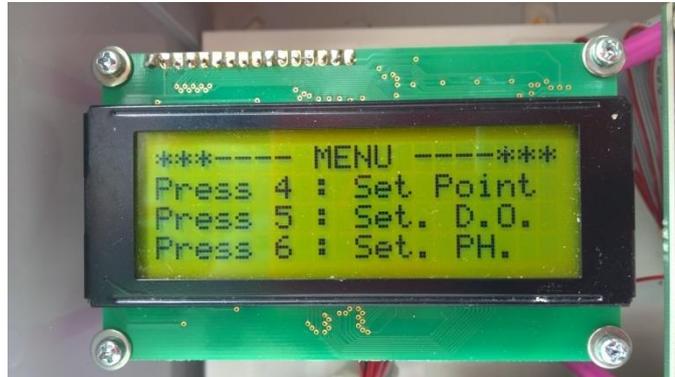
ค่าจุดการทำงานของ PH. จะแสดงค่าต่ำ (Lower) และค่าสูง (Upper) โดย หากน้ำมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ระดับกลาง คืออยู่ระหว่างค่าต่ำและค่าสูง เครื่องจะแสดงไฟสีเขียว แต่หากค่าความเป็นกรดต่ำกว่าจุดทำงานต่ำ (Lower) จะแสดงไฟสีแดง และเมื่อน้ำมีความเป็นด่างมากกว่าจุดทำงานสูง (Upper) เครื่องจะแสดงไฟสีส้ม

ขั้นตอนการตั้งค่าจุดการทำงานของเครื่องให้อากาศ

1. กดปุ่ม เมนู  เพื่อเข้าสู่เมนูการตั้งค่า แล้วหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



- กดปุ่ม 2 เพื่อเข้าสู่เมนูค่าจุดการทำงาน ดังภาพด้านล่าง



- กดปุ่ม 5 เพื่อตั้งค่าจุดการทำงานของเครื่องให้อากาศแล้วใส่จุดการทำงานที่ 1 โดยใส่แค่ค่าหลักหน่วยและจุดทศนิยมสองหลัก(ไม่ต้องพิมพ์ “ . ”)



- ใส่จุดการทำงานที่ 2 โดยใส่แค่ค่าหลักหน่วยและจุดทศนิยมสองหลัก(ไม่ต้องพิมพ์ “ . ”)



5. ใส่จุดการทำงานที่ 3 โดยใส่แค่ค่าหลักหน่วยและจุดทศนิยมสองหลัก(ไม่ต้องพิมพ์ “. ”)



ขั้นตอนการตั้งค่าจุดการทำงานของไฟแสดงความเป็นกรดต่าง (PH)

1. กดปุ่ม  เมนู เพื่อเข้าสู่เมนูการตั้งค่า แล้วหน้าจอจะแสดงดังภาพด้านล่าง



2. กดปุ่ม 2 เพื่อเข้าสู่เมนูค่าจุดการทำงาน ดังภาพด้านล่าง



- กดปุ่ม 6 เพื่อตั้งค่าจุดการทำงานของไฟแสดงค่าความเป็นกรดต่างแล้วใส่จุดการทำงานของไฟแสดงความเป็นกรด (Lower) โดยใส่แค่หลักหน่วยและจุดทศนิยมสองหลัก(ไม่ต้องพิมพ์ “.”)



- ใส่จุดการทำงานของไฟแสดงความเป็นด่าง (Upper) โดยใส่แค่ค่าหลักหน่วยและจุดทศนิยมสองหลัก(ไม่ต้องพิมพ์ “.”)

