



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

### การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้เทคโนโลยีไอโอทีสำหรับการเลี้ยงปลาแบบ ไบโอฟลอค

#### Development of IoT-based water quality monitoring system for Biofloc fish farming

ปิยวัฒน์ โคตรพรม\* ธนากร ไชยโคตร ประชา คำภักดี อธิพงษ์ สุริยา ณรงค์ ทองฉิม

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Piyawat Khotprom\* Thanakorn Chaiyakhot Pracha Khamphakdi Atipong Suriya Narong Thongchim

Department of Electrical and electronics Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University Ubon Ratchathani 34190

\* Corresponding author.

E-mail: Piyawat.Kh.62@ubu.ac.th; Telephone: 0 90841 4229

วันที่รับบทความ 10 ธันวาคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 16 มกราคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 2 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 29 มีนาคม 2567

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจวัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีในการตรวจสอบสถานะคุณภาพน้ำที่สำคัญในบ่อปลา โดยการวิจัยครั้งนี้ มี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 พัฒนาระบบตรวจสอบสถานะคุณภาพน้ำที่สำคัญในบ่อปลาพร้อมกันผ่านสถานีตรวจวัดเดี่ยว พร้อมทั้งควบคุมการเติมอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณจุลชีพที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ออกซิเจนละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณจุลชีพ อุณหภูมิของน้ำ และอากาศในบริเวณบ่อเลี้ยงปลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่ประยุกต์ใช้สามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้ครอบคลุมจำนวนบ่อทั้งหมดและแสดงผลแบบเวลาจริง อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเติมอากาศตามปริมาณจุลชีพภายในบ่อเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอค ส่วนที่ 2 การพัฒนาเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดปริมาณจุลชีพโดยใช้เทคนิคเชิงแสงเป็นการแก้ไขปัญหาค่าสำคัญในการลดต้นทุนของระบบตรวจวัด เช่น เซ็นเซอร์ต้นแบบที่พัฒนาใช้ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) แถบความถี่แคบเป็นแหล่งกำเนิดแสงซึ่งความยาวคลื่นที่เหมาะสม คือ 860 นาโนเมตร และตรวจวัดการดูดกลืนแสงผ่านโฟโตไดโอด (Photo Diode: PD) เพื่อวัดปริมาณจุลชีพในระบบ ผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์กับปริมาณจุลชีพ (Mixed liquor suspended solids : MLSS) จากน้ำตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์ต้นแบบมีความสามารถในการตรวจวัดและบอกถึงแนวโน้มของปริมาณจุลชีพได้ดี มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ต้นแบบเท่ากับ 28.56% และสามารถบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลชีพในระบบได้ แสดงถึงความก้าวหน้าครั้งสำคัญในการพัฒนาวิธีการที่ง่าย คุ่มค่า และเชื่อถือได้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบเวลาจริง

#### คำสำคัญ

ไบโอฟลอค ไอโอที การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประเมินคุณภาพน้ำ ตรวจสอบแบบเวลาจริง การพัฒนาเซ็นเซอร์

#### Abstract

This research presents the development of a system for monitoring water quality parameters in a fishpond biofloc system using IoT technology to assess key water quality parameters in the fishpond. The research consists of two parts: Part 1 involves the development of a system to monitor important water quality parameters in four fishponds simultaneously through a single monitoring station. It also includes controlling aeration to suit the amount of microbial in the fishpond using an inverter system. This system can measure parameters such as dissolved oxygen levels, pH,

microbial quantity, water temperature, and air quality in the fishpond area. Experimental results demonstrate that the system can effectively monitor water quality parameters for all ponds, provide real-time results, and control aeration according to microbial levels in the biofloc fishpond system. Part 2 involves the development of sensors to measure microbial using light-based techniques to address cost issues in monitoring systems. The prototype sensor utilizes Light Emitting Diodes (LEDs) as a light source emitting at a narrow frequency band with a wavelength of 860 nanometers. It measures light absorption through Photo Diodes (PD) to determine microbial levels in the system. Experimental results show that the prototype sensor can effectively measure and indicate trends in microbial levels, with an average error of 28.56%. It can also describe changes in microbial characteristics within the system, indicating significant progress in developing a simple, cost-effective, and reliable real-time water quality monitoring method.

## Keywords

Biofloc; IoT; aquaculture; water quality assessment; real-time monitoring; sensor development

## 1. คำนำ

เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) เป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่กำลังมีความนิยมเพิ่มขึ้นทั่วโลก นับว่าเป็นวิธีการพัฒนาในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพไบโอฟลอค คือ มวลตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ขนาด 50-1,000 ไมครอน ซึ่งประกอบด้วยโปรโตซัว แพลงก์ตอนสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) เป็นหลัก หรือเรียกโดยรวมว่าจุลชีพ (Biofloc) [1] สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียหรือสิ่งปฏิกรูจากสัตว์น้ำ เช่น แอมโมเนีย ไนโตรเจน และสารพิษถูกริไซเคิลและนำกลับมาใช้ใหม่ภายในบ่อ ส่งผลให้เกิดสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ทำให้ช่วยลดต้นทุนอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังช่วยลดการใช้ยาในกระบวนการเลี้ยงและช่วยควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยต่อต้านแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค ในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟลอคจะต้องควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิในน้ำ หากค่าเหล่านี้ไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของสัตว์น้ำและผลผลิตในการเลี้ยงได้ [2] ในกรณีการเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคที่มีจำนวนปลาหนาแน่นจะต้องการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเหมาะสม ทำให้การเลี้ยงมีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงต่อปัญหาต่างๆ ได้แก่ การเติมอากาศคงที่ เพื่อให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์สาหร่ายและปลา ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในช่วง

7.0-8.5 ตะกอนของแข็งละลายในน้ำ ประมาณ 250-540 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 26-30 °C แอมโมเนียไนโตรเจนน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ อย่างสม่ำเสมอจึงมีความสำคัญ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและป้องกันการเกิดปัญหาต่างๆ [3]

ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมและที่นิยมในปัจจุบันคือเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things Technology : IoT) โดยคุณสมบัติของเทคโนโลยีนี้สามารถนำอุปกรณ์ทั่วไปที่ต้องการควบคุมและเฝ้าระวังติดต่อสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ตอบโจทย์การควบคุมและเฝ้าระวังระยะไกลได้เป็นอย่างดี มีนักวิจัยหลายคนได้ใช้เทคโนโลยีไอโอทีในงานวิจัยหลายเรื่อง โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านเกษตรกรรมได้นำเทคโนโลยีไอโอทีมาใช้ควบคุมระบบงานเกษตรกรรม [4-6] โดยใช้เซ็นเซอร์วัดค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและอุปกรณ์ควบคุมผ่านเครือข่ายไอโอทีเพื่อปรับค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจัดเก็บที่ฐานข้อมูลเพื่อวิเคราะห์โดยผู้ใช้งานตรวจสอบและควบคุมระบบอัตโนมัติหรือตามคำสั่งผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน [7] มีการนำเทคโนโลยีไอโอทีมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดและควบคุมค่าพารามิเตอร์ [8] อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับเซ็นเซอร์ที่มีราคาถูกเพื่อให้เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงได้แต่ระบบดังกล่าวเป็นเพียงการออกแบบและทดลองในห้องแล็บ [9] หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและติดตั้งในสถานที่จริงในระบบเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคแต่ระบบข้างต้นสามารถวัด

ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้เพียงบ่อเดียวเท่านั้น [10] ต่อมาได้มีการพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการลดค่าใช้จ่ายต่อสถานี โดยปรับปรุงให้สามารถรองรับจำนวนบ่อที่เพิ่มขึ้นมีการออกแบบให้ระบบตรวจวัดสามารถเก็บน้ำตัวอย่างจากแต่ละบ่อและวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเพียงชุดเดียว [11] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำต่อผลผลิต ต้นทุน ผลตอบแทน และกำไร ของการเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตและกำไรสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นประมาณ 70 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ได้ติดตั้งระบบ [12] แต่อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดที่มีราคาแพงและยังมีข้อจำกัดในการทำงานให้เฝ้าระวังเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถควบคุมตัวแปรพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคได้

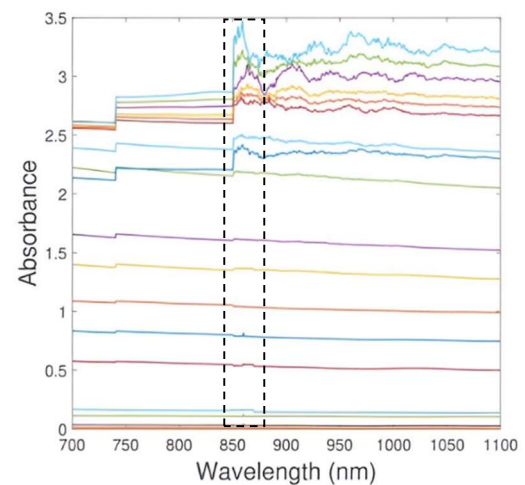
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอระบบไอโอทีที่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคแต่ละบ่อได้และตรวจวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่แสดงผลแบบเวลาจริงที่สถานีตรวจวัดและบนเว็บเพจรวมไปถึงแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ จากนั้นควบคุมการเติมอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณจุลชีพที่เกิดขึ้นในระบบ ลดต้นทุนในส่วนของเซ็นเซอร์โดยการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณจุลชีพเพื่อทดแทนเซ็นเซอร์แบบเดิมที่มีราคาแพง เพื่อให้เกษตรกรขนาดกลาง - เล็ก สามารถเข้าถึงได้ อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานในการควบคุมการเติมอากาศให้กับบ่อเลี้ยงปลาด้วยอินเวอร์เตอร์

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

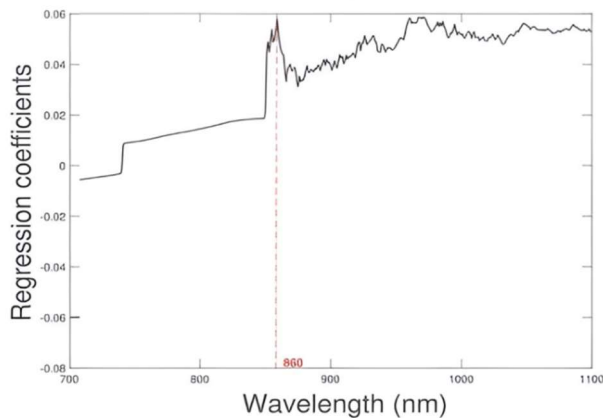
การดูดกลืนแสงเป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิต (เช่น โมเลกุล หรือ อนุภาคต่าง ๆ) รับพลังงานจากแสงและแปลงพลังงานนี้เป็นพลังงานใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนสถานะของสารหรือการกระตุ้นกระบวนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในสารนั้น ๆ นั้นหมายความว่า สารที่ดูดกลืนแสงมีความสามารถในการดูดพลังงานจากแสงที่มากกระทบกับสารนั้น โดยสารแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองในการ

ดูดกลืนแสงได้มากน้อยไม่เท่ากันที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ได้มาจากการทดลองทางกายภาพมักถูกนำมาแสดงในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนของสารกับความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน กราฟนี้เรียกว่า "สเปกตรัมดูดกลืนแสง" (Absorbance spectrum) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ สเปกตรัมดูดกลืนของสารใด ๆ จะแสดงข้อมูลการดูดกลืนแสงของของสารชนิดนั้น ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ซึ่งข้อมูลช่วงความยาวคลื่นนั้นจะให้ข้อมูลที่มีความสำคัญที่สารชนิดนั้นสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด ที่ค่าความยาวคลื่น  $\lambda_{max}$  (แลมบ์ดาแมกซ์) โดยนิยมแสดงเป็นหน่วยนาโนเมตร (nm) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าสารชนิดนั้นสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นนั้น และสามารถแสดงตัวอย่างสเปกตรัมดูดกลืนแสงได้ดังรูปที่ 1 เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมีความเข้มข้น 0 ถึง 20 (ppm) มีทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะถูกวัดผ่านเครื่องวัดสเปกตรัมความยาวคลื่นที่อยู่ระหว่าง 190 ถึง 2,700 นาโนเมตร ด้วยช่วงข้อมูลที่มีความห่างกันที่ 1 นาโนเมตร ที่ความเร็วสแกน 1,000 นาโนเมตรต่อนาที และค่าพารามิเตอร์ของแต่ละตัวอย่างถูกวัดโดยใช้เครื่องมือห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองของแต่ละตัวอย่างจะแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์อัตราการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น



รูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่างที่มีการเจือจางที่แตกต่างกัน ที่ช่วงความยาวคลื่น 700-1,100 นาโนเมตร [13]

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่าช่วงความยาวคลื่น 850-900 นาโนเมตร ตอบสนองต่อการดูดกลืนความยาวคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อช่วยในการหาความยาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดและเหมาะสมในการนำมาใช้ตรวจวัดน้ำตาลตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multivariate regression) ที่ใช้สำหรับการสร้างโมเดล (Partial Least Squares regression : PLSR) จากนั้นพิจารณาเลือกค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficients) ของแบบจำลองโมเดลที่มีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการพยากรณ์ (Root Mean Squared Error of Prediction : RMSEP) ต่ำที่สุดซึ่งได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความยาวคลื่นที่เหมาะสมคือ ความยาวคลื่นที่มี peak ที่ 860 นาโนเมตรสำหรับตรวจวัดน้ำตาลตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2 [13]



รูปที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีนัยสำคัญกับความยาวคลื่น [13]

## 2.2 กฎของเบียร์ (Beer's law)

กฎของเบียร์ (Beer's law) หรือกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) หรือกฎของแลมเบิร์ต-เบียร์ (Lambert-Beer law) เป็นหลักการสำคัญที่ใช้ในการอธิบายความสามารถในการดูดกลืนแสงของสาร โดยมีสาระสำคัญคือค่าแอมซอร์เบ้นซ์ (Absorbance) แปรผันโดยตรงกับปริมาณของสารที่แสงมีปฏิสัมพันธ์ด้วย โดยมีเงื่อนไขว่าแสงที่ใช้ต้องเป็นแสงเอกเรงค์ (มีความยาวคลื่นค่าเดียว) กฎนี้ระบุว่า สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงขึ้นกับความเข้มข้นของสาร ทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่เป็นแบบเลขชี้กำลัง (exponential) ระหว่าง

ความเข้มของแสงที่ส่งผ่านกับความหนาของสาร ซึ่งมีสมการอธิบายพารามิเตอร์ของการดูดกลืนแสงแสดงตามสมการที่ 1 [13,14]

$$A = -\log_{10}\left(\frac{I - E}{I_0 - E}\right) \quad (1)$$

โดยที่

$I_0$  คือ ความเข้มของแสงสำหรับการวัดค่าน้ำตาล (น้ำตาลปราศจากไอออน)

$I$  คือ ความเข้มหลังจากแสงผ่านตัวอย่าง

$E$  คือ สัญญาณการวัดค่าความมืด (ไม่มีแสง)

$A$  คือ ค่าดูดกลืนแสงปกติ

## 2.3 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้เพื่อทำนายหรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งมักจะเป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่าหรือทำนายค่าของตัวแปรตาม การวิเคราะห์การถดถอยสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะของข้อมูลและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ ซึ่งจะยกตัวอย่าง 2 ส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดังนี้

การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง นั่นหมายความว่าเราพยายามวิเคราะห์ว่าการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรอิสระจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างไร โดยสมการของ Linear Regression มีรูปแบบตามสมการที่ 2 ดังนี้ [15]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2)$$

โดยที่

$Y$  คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

$X$  คือ ตัวแปรต้น (Independent Variable)

$\beta_0$  คือ ค่าคงที่ (Intercept) หรือค่า  $Y$  เมื่อ  $X$  เท่ากับศูนย์

$\beta_1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (Slope) หรือการเปลี่ยนแปลงของ  $Y$  ต่อการเปลี่ยนแปลงของ  $X$  ทีละหนึ่งหน่วย

การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression) ใช้เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่สามารถสรุปได้ด้วยเส้นตรง เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยทำนายหรือประมาณค่าของตัวแปรตามโดยใช้สมการพหุนาม (Polynomial Equation) ที่มีลำดับสูงกว่า 1 สมการพหุนามมีลักษณะตามสมการที่ 3 ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n \quad (3)$$

โดยที่

Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

X คือ ตัวแปรต้น (Independent Variable)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  คือ พารามิเตอร์ของโมเดล

การถดถอยพหุนามมีความสามารถที่จะปรับพอดีกับความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยการเพิ่มพารามิเตอร์ลำดับสูงในสมการ ซึ่งทำให้โมเดลสามารถให้การประมาณค่าที่ดีขึ้นกับข้อมูลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน [15]

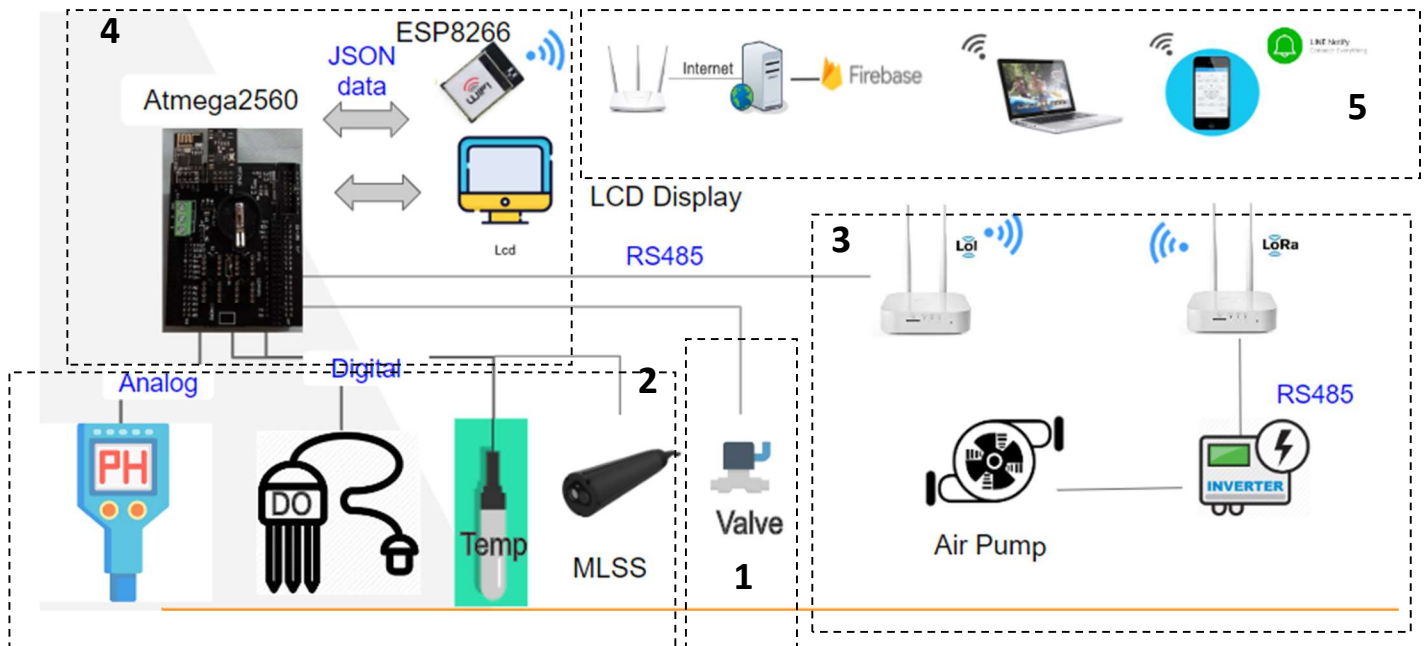
วิธีการทำ Regression Analysis มีหลายขั้นตอนที่ผู้วิจัยต้องทำ เช่น การเตรียมข้อมูล การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล และการทดสอบความน่าเชื่อถือของการทำนาย โดยใช้ตัวบ่งชี้เช่นค่า

(R-Squared:  $R^2$ ), (Mean Squared Error: MSE) หรือ (Root Mean Squared Error: RMSE) เป็นต้น

### 3. การออกแบบ

#### 3.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ

สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 130 วัตต์ ในส่วนตู้คอนโทรลตัวควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ แบบ MPPT ในการชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ขนาด 38 Ah เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการทำงานของระบบตรวจวัดและควบคุมที่ใช้ Arduino Mega 2560 ร่วมกับ ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีขนาดเล็กประหยัดพลังงาน ราคาถูก สามารถเขียนโปรแกรมรับค่าและอ่านจากพอร์ตแบบดิจิทัลและอนาล็อก มีโมดูลสื่อสารโปรโตคอล 802.11n ความถี่ 2.4 GHz รับ-ส่งเข้าระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต พัฒนาได้โดยใช้ภาษา C++ นำมาควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ทั้งหมดภายในระบบ โดยระบบทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนที่ 1.ระบบเก็บตัวอย่างน้ำ ส่วนที่ 2.เซ็นเซอร์ตรวจวัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ส่วนที่ 3.ระบบเติมอากาศ ส่วนที่ 4.ระบบควบคุมและส่งข้อมูล ส่วนที่ 5.ระบบฐานข้อมูลและแสดงผล ซึ่งภาพรวมการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ แสดงดังรูปที่ 3



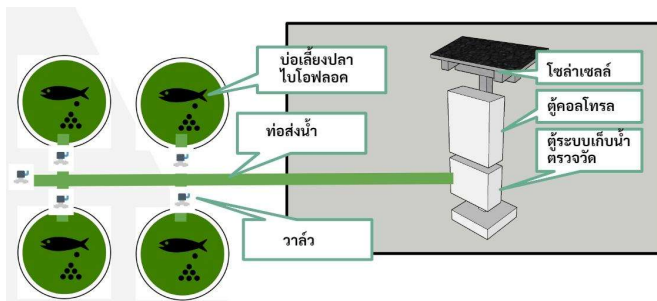
รูปที่ 3 แสดงไดอะแกรมภาพรวมของระบบ



โดยระบบจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม Actuator สำหรับเก็บน้ำตัวอย่างและควบคุมความถี่อินเวอร์เตอร์ในการเติมอากาศ รวมไปถึงรับสัญญาณทางไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัด แล้วแปลงผลเป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากนั้นส่งข้อมูลขึ้นไปเก็บที่ Cloud Database แสดงผลค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดผ่าน Dashboard และแอปพลิเคชันไลน์

### 3.2 ระบบเก็บตัวอย่างน้ำ

การทำงานของระบบจะเก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคในแต่ละบ่อโดยใช้หลักการกาลักน้ำ ซึ่งควบคุมการเก็บตัวอย่างน้ำผ่านวาล์วที่ติดตั้งในแต่ละบ่อ และระบบต้นแบบนี้สามารถรองรับการเก็บตัวอย่างน้ำได้ทั้งหมดจำนวน 4 บ่อ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 4 บ่อ

### 3.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ Dissolved oxygen (DO) โดยใช้หลักการเชิงแสง (Optical) ในการตรวจวัด วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยใช้หลักการเคมีไฟฟ้า (Electrochemical) ในการตรวจวัด วัดค่าอุณหภูมิในน้ำ DS18B20 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (-55 °C ถึง 125 °C) มีรูปแบบแพ็คเกจหัวเซ็นเซอร์แบบกันน้ำ ทำให้สามารถใช้วัดอุณหภูมิในของเหลวได้ และเซ็นเซอร์วัดปริมาณจุลชีพ (Mixed liquor suspended solids: MLSS) โดยใช้หลักการเชิงแสง (Optical) เป็นเซ็นเซอร์ที่งานวิจัยนี้พัฒนาและออกแบบเพื่อทดแทนเซ็นเซอร์แบบเดิมให้มีราคาถูกลงดังรูปที่ 5 (ก, ข, ค, ง) ตามลำดับ



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 5 เซ็นเซอร์วัดคุณภาพน้ำ (ก)DO, (ข)pH, (ค)Temperature, (ง) MLSS

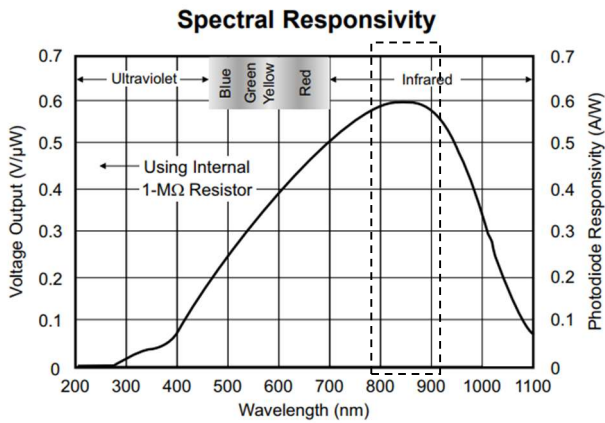
### 3.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณจุลชีพ

พารามิเตอร์ปริมาณจุลชีพ (MLSS) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงปริมาณจุลชีพในระบบมีปริมาณมากน้อยเพียงใดและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของระบบเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอค ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์นี้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณจุลชีพ เพื่อทดแทนเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบแบบเดิมที่มีราคาแพงให้มีราคาถูกลง

#### 3.4.1 การออกแบบโครงสร้างโมดูลเซ็นเซอร์และวงจร

โมดูลเซ็นเซอร์วัดคุณภาพน้ำประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนแรกแหล่งกำเนิดแสง เป็นไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode: LED) ที่ทำมุม 90 องศา กับตัวตรวจจับแสง แสงจากไดโอดเปล่งแสงจะส่องผ่านท่อใส่เก็บตัวอย่างน้ำและตกกระทบที่ตัวตรวจจับแสง ส่วนที่สองตัวตรวจจับแสงเป็นโฟโตไดโอด (Photodiode: PD) ที่ทำหน้าที่วัดความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ความยาวคลื่นของแสงที่ไดโอดเปล่งแสงเปล่งออกมาแถบความยาวคลื่นอินฟราเรดคือ  $\lambda_{peak} = 860$  นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 ด้วยความกว้างเต็มที่ครึ่งค่าสูงสุด (Full Width at Half Maximum: FWHM) เท่ากับ 30

นาโนเมตร การตอบสนองทางสเปกตรัมของอุปกรณ์ตรวจจับแสง OPT101 เป็นโฟโตไดโอด [16] ที่มีช่วงสเปกตรัมความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 นาโนเมตร ถึง 1,100 นาโนเมตร ครอบคลุมความยาวคลื่นบริเวณที่มองเห็นได้และมีการตอบสนองได้ดีในบริเวณช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด 800-900 นาโนเมตร เป็นเซ็นเซอร์รับแสงที่ให้ความไวและความละเอียดที่ดีพร้อมกับการใช้พลังงานต่ำมากเพียง 0.60 mW แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 สเปกตรัมความยาวคลื่นของอุปกรณ์ตรวจจับแสงโฟโตไดโอด (PD) [16]

โดยติดตั้งให้เข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบ เมื่อตัวตรวจจับแสงวัดความเข้มของแสงที่ผ่านตัวอย่างน้ำ ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อประมวลผลและแสดงผลค่าปริมาณจุลชีพดังที่แสดงในรูปที่ 7 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละชิ้นส่วน โดยเริ่มจากขั้วเทอร์มินัลของไดโอดเปล่งแสง จะเชื่อมต่อกับตัวต้านทาน R1 มีค่าเท่ากับ 390 โอห์ม ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 4 และเชื่อมแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 5 V

$$R = \frac{V_s - V_f}{I_f} \quad (4)$$

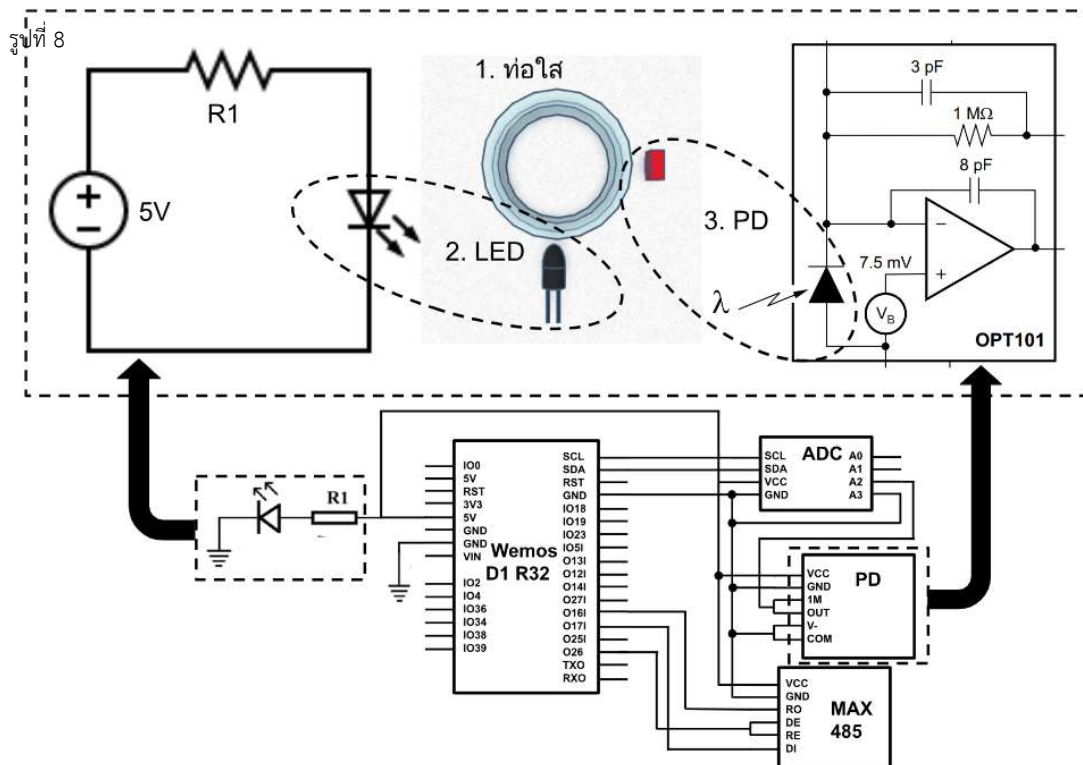
โดยที่

R คือ ค่าของตัวต้านทาน

$V_s$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

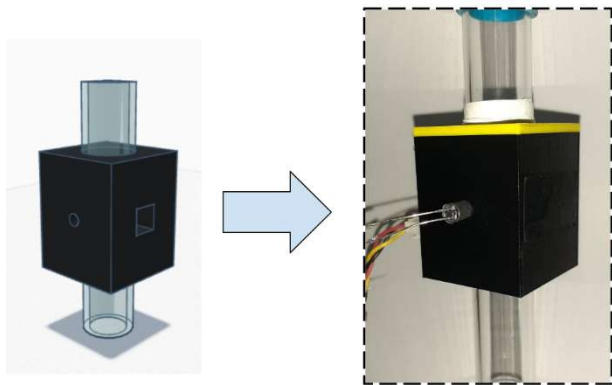
$V_f$  คือ แรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง

$I_f$  คือ กระแสที่จ่ายให้กับไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 7 แสดงภาพรวมของโครงสร้างวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์อุปกรณ์ต้นแบบตรวจวัดปริมาณจุลชีพ

จากนั้นคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลเอาต์พุตของโฟโตไดโอด (PD) เชื่อมต่อกับ A2 และ A3 ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อกจะถูกแปลงเป็นดิจิทัลผ่านบอร์ดโมดูล (Analog to Digital Converter : ADC) ขนาด 16 bit เชื่อมต่อกับ SCL และ SDA รับค่าแรงดันที่เป็นข้อมูลแบบดิจิทัลจากขาอินเทอร์เฟซ I<sup>2</sup>C ของโมดูล ADC มาประมวลผลค่าปริมาณจุลชีพโดยอัลกอริทึมที่พัฒนาและส่งออกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ผ่านโปรโตคอล Modbus RTU ที่สามารถสื่อสารผ่านระบบ RS485 ได้ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบเดียวกับเซ็นเซอร์มาตรฐานทำให้การนำเซ็นเซอร์ไปติดตั้งเพื่อทดแทนเซ็นเซอร์เดิมได้ง่ายโดยไม่ต้องทำการปรับปรุงซอฟต์แวร์เพิ่มเติมเมื่อนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบรวมกันกับโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้แสดงการติดตั้งตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นชุดทดลองเซ็นเซอร์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดปริมาณจุลชีพ ดังรูปที่ 8

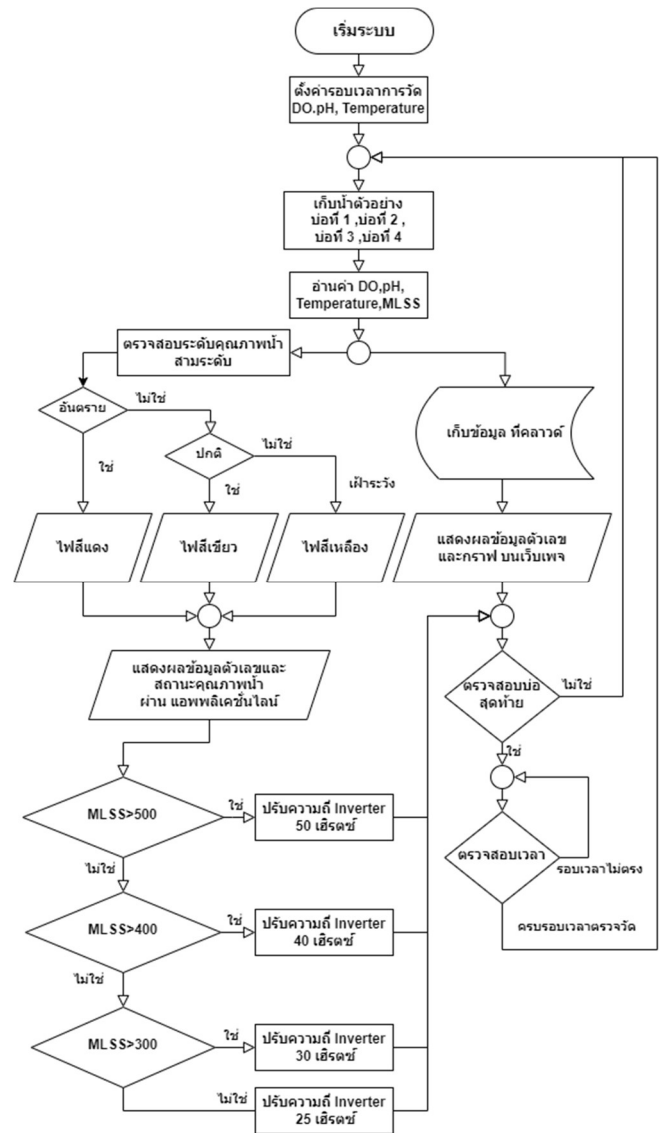


รูปที่ 8 แสดงชุดทดลองเซ็นเซอร์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดปริมาณจุลชีพ

### 3.5 การทำงานของระบบตรวจวัดและควบคุม

ในส่วนของการทำงานของระบบได้มีการพัฒนาจากบทความ [11] โดยการเพิ่มระบบเติมอากาศที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมปริมาณการเติมอากาศลงในบ่อเลี้ยงปลาได้จากการควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอยู่ในระบบเดิมอยู่แล้ว ซึ่งสามารถควบคุมผ่านพอร์ตสื่อสาร RS485 ระบบนี้จะช่วยให้ประหยัดพลังงานในการเติมอากาศในบ่อ จากการปรับปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับจำนวนปลาที่เลี้ยงและชนิดของปลารวมไปถึงปริมาณจุลชีพที่เพิ่มขึ้นในบ่อเลี้ยงปลาอีกทั้งยังสามารถเพิ่มออกซิเจนได้ในกรณีที่ออกซิเจนในน้ำมีการเปลี่ยนแปลง

หรือลดลงต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคซึ่งแสดงแผนผังการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ควบคุม และส่งข้อมูล ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทำงานของระบบตรวจวัดและควบคุม

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการอ่านค่าที่ตั้งไว้โดยผู้ใช้ ได้แก่ ค่ารอบเวลาในการตรวจวัด ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ปริมาณจุลชีพ (MLSS) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าอุณหภูมิในน้ำ (Temperature) ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความอันตรายของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะใช้ในการเปรียบเทียบในการบอกถึงความอันตรายของคุณภาพน้ำโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่



ปกติ เฝ้าระวัง และอันตราย โดยจะเปรียบเทียบหลังจากระบบทำการเก็บน้ำตัวอย่างในแต่ละบ่อโดยเริ่มจากบ่อแรกไปจนถึงบ่อสุดท้ายขึ้นมาทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละรอบ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลไปยัง Cloud Server และแสดงผลบนเว็บเพจพร้อมทั้งส่งการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์เพื่อแจ้งเตือนสถานะของคุณภาพน้ำและแสดงไฟสถานะคุณภาพน้ำที่สถานีตรวจวัดในช่วงเวลานั้น จากนั้นควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์ในการเติมอากาศ ในระบบเลี้ยงปลาให้มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าพารามิเตอร์ออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และปริมาณจุลชีพในระบบ (MLSS) เมื่อการตรวจวัดเสร็จสิ้นจะปล่อยน้ำตัวอย่างไปเก็บที่บ่อพักน้ำเมื่อปริมาณน้ำเต็มบ่อพักน้ำจะถูกสูบกลับไปยังบ่อเลี้ยงปลาแล้วระบบจะทำการรอจนกว่าเวลาจะครบรอบในการตรวจวัดจึงทำการตรวจวัดใหม่อีกครั้ง

### 3.6 ระบบฐานข้อมูลและแสดงผล

ในส่วนนี้ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาจะถูกแสดงผลที่จอ (Liquid Crystal Display: LCD) ของสถานีตรวจวัดส่งไปแสดงผลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และส่งไปเก็บที่ Cloud database ของ Firebase เมื่อผู้ใช้เปิดเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำจากฐานข้อมูลปัจจุบันและแสดงค่าข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟ

## 4. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำและควบคุมการเติมอากาศ ตามเงื่อนไขที่ต้องการควบคุมและเฝ้าระวัง ส่วนที่สองจะเป็นการทดลองและตรวจสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ต้นแบบตรวจวัดปริมาณจุลชีพที่พัฒนาเพื่อทดแทนเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบแบบเดิม

ส่วนแรกจะเป็นการทดสอบการทำงานของสถานีตรวจวัดระบบเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละบ่อและตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำส่งข้อมูลไปเก็บที่ Cloud database ของ Firebase แจ้งเตือนข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และแสดงผ่านหน้าจอแสดงผล LCD และเว็บแอปพลิเคชันรวมถึงทดสอบระบบควบคุมการเติมอากาศตามเงื่อนไขที่ต้องการควบคุมและเฝ้าระวัง โดยจะทำการทดสอบปรับความถี่ของระบบเติมอากาศให้ทำงานตาม

เงื่อนไขของปริมาณค่าจุลชีพในน้ำ โดยทดสอบกับน้ำตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าปริมาณจุลชีพที่ต่างกันตามเงื่อนไขที่ต้องการควบคุมและเฝ้าระวัง

ส่วนที่สองจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณจุลชีพตัวต้นแบบ ทดสอบโดยการหลีกเลี่ยงการใช้มาตรฐานฟอร์มาซินเป็นสารละลายมาตรฐานที่ใช้สำหรับวัดความขุ่นของน้ำที่มีราคาแพง [19] ซึ่งจะใช้วิธีการโดยนัย เพื่อเลียนแบบดินของฟูลเลอร์ในน้ำตัวอย่าง [17] โดยนำดินของฟูลเลอร์มาเติมลงในน้ำปราศจากไอออนหรือน้ำผ่านการกรองเครื่อง RO และทำการเตรียมตัวอย่างน้ำที่มีระดับความเข้มข้นต่างกันโดยการเจือจาง (Dilution) น้ำและนำน้ำใส่เข้าไปในบ่อ จากนั้นใช้โฟโตไดโอดเพื่อวัดปริมาณแสงและส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบแรงดันไฟฟ้า ทั้งนี้สัญญาณที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสงที่กระเจิง และมีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของน้ำในตัวอย่างนั้น ซึ่งน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจะมีทั้งหมด 25 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างจะทำการเติมดินของฟูลเลอร์แล้วเพิ่มปริมาณน้ำที่เจือจางลงไปทีละ 20 มิลลิลิตร จะได้น้ำตัวอย่างที่มีปริมาณการเจือจางแตกต่างกันตั้งแต่ 20 ถึง 500 มิลลิลิตร ทั้งหมด 25 ตัวอย่าง จากนั้นนำน้ำตัวอย่างทั้ง 25 ตัวอย่าง ที่ได้ทำการเจือจางมาตรวจวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้เซ็นเซอร์ต้นแบบที่พัฒนาเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์มาตรฐานที่ใช้เทคนิคการตรวจวัดแบบ Optical [18] เมื่อได้ข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต้นแบบจากน้ำตัวอย่างทั้งหมด นำมาคำนวณหาอัตราการดูดกลืนแสงตามสมการที่ 1 กฎของเบียร์ [13] แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงและค่าปริมาณจุลชีพที่ได้จากเซ็นเซอร์มาตรฐาน ซึ่งการหาความสัมพันธ์ในการทำนายค่าปริมาณจุลชีพจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณอัตราการดูดกลืนแสง เพื่อหาสมการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับเซ็นเซอร์ต้นแบบ เมื่อได้สมการที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมประมวลผลพารามิเตอร์ปริมาณจุลชีพจากเซ็นเซอร์ต้นแบบแล้วทำการทดลองอีกครั้งสำหรับการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ต้นแบบและเซ็นเซอร์มาตรฐานในการวัดปริมาณจุลชีพเพื่อดูแนวโน้มและความคลาดเคลื่อนจากเซ็นเซอร์มาตรฐานโดยทดลองกับน้ำตัวอย่างทั้งหมด 15 ตัวอย่างและวัดค่าแต่ละตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง

## 5. ผลการวิจัย

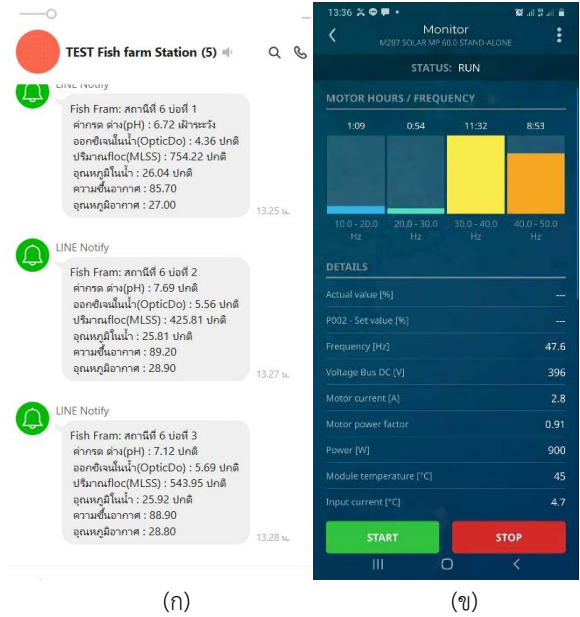
ผลการวิจัยในส่วนที่ 1 การทำงานของระบบตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำและควบคุมการเติมอากาศ สามารถเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละบ่อจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาของคณะเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาประมง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี แล้วตรวจวัดคุณภาพน้ำแสดงค่าผ่านจอ LCD ที่สถานีฐานส่งงานให้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการเติมอากาศจากนั้นส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูล Firebase แสดงผลค่าพารามิเตอร์ผ่าน Dashboard รูปที่ 10 และข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟรูปที่ 11 รวมไปถึงแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้อย่างต่อเนื่องตามรอบเวลาที่ผู้ใช้ตั้งไว้ดังรูปที่ 12(ก) ในการทดลองควบคุมการเติมอากาศของระบบสามารถทำงานได้ตามที่ผู้ใช้งานกำหนดโดยเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดพบว่าปริมาณจุลชีพมีค่าต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะสั่งงานให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ 25 Hz จากนั้นเมื่อปริมาณจุลชีพเพิ่มขึ้นในระบบมากกว่า 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะปรับให้ความถี่อินเวอร์เตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 30, 40 และ 50 Hz ตามลำดับดังรูปที่ 12(ข) ซึ่งระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์โดยการติดตั้งระบบควบคุมทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 10 เว็บแสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ 4 บ่อ

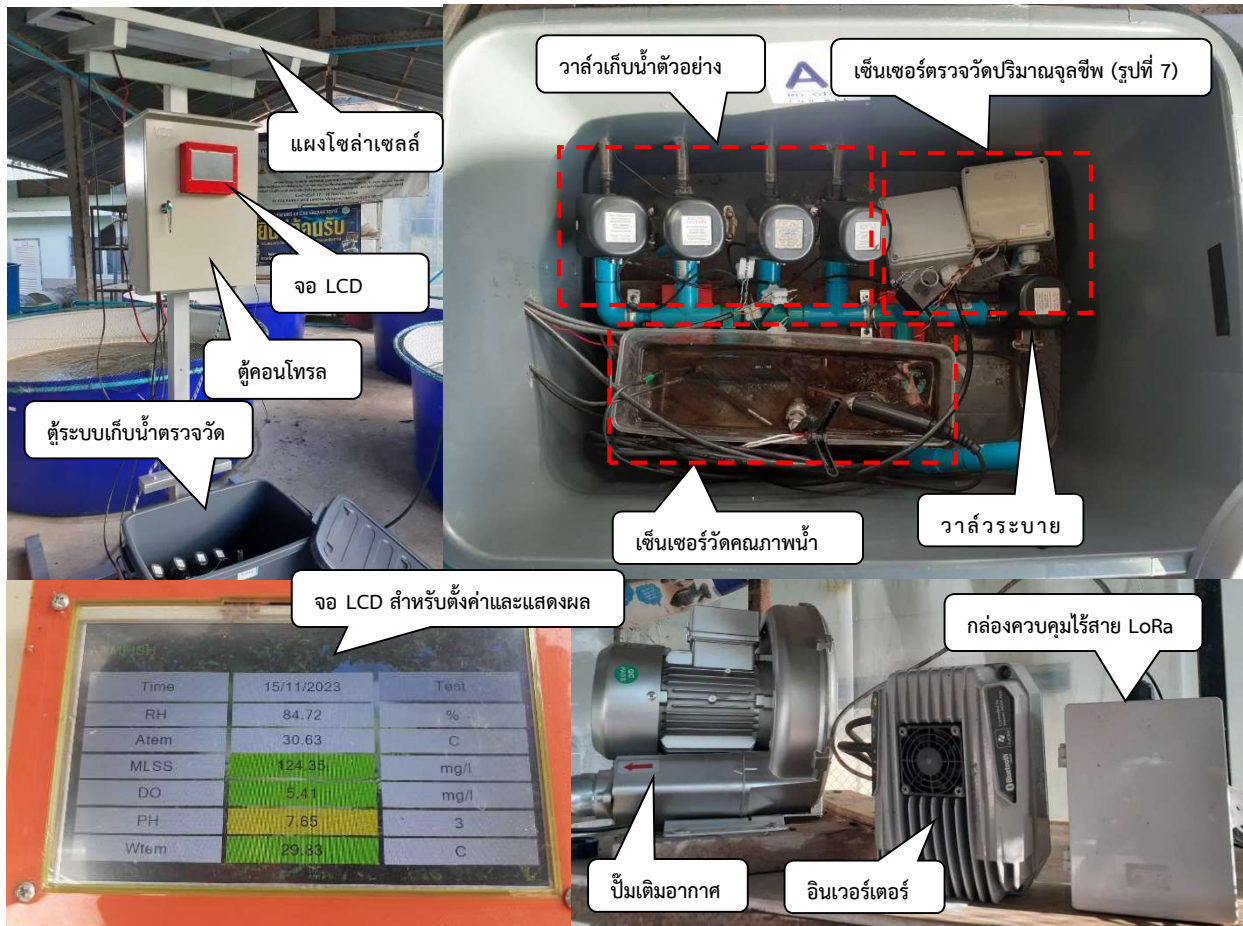


รูปที่ 11 ข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟ

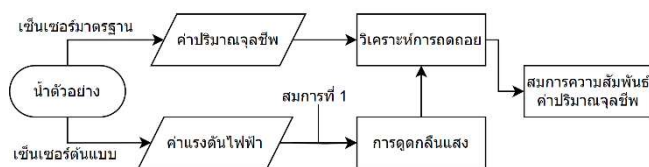


รูปที่ 12 (ก) ข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (ข)ระบบควบคุมความถี่อินเวอร์เตอร์

ผลการวิจัยในส่วนที่ 2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตัวอย่างกับการดูกลืนแสงเพื่อสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายค่าพารามิเตอร์ปริมาณจุลชีพ โดยเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต้นแบบที่ได้จากน้ำตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์การตอบสนองและติดตามความแรงกระเจิงของแสงที่ได้รับเพื่อคำนวณการดูกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างตามสมการที่ 1 นำข้อมูลการดูกลืนแสงมาแสดงผลในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูกลืนแสงกับค่าปริมาณจุลชีพที่วัดค่าได้จากเซ็นเซอร์มาตรฐาน [18] ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และพิจารณาการดูกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของปริมาณแสงที่กระเจิงเนื่องจากอนุภาคที่เจือจางอยู่ในน้ำ โดยมีขั้นตอนการหาสมการความสัมพันธ์ปริมาณจุลชีพดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำแสดงผลและควบคุมการเติมอากาศ



รูปที่ 14 การหาสมการความสัมพันธ์ปริมาณจุลชีพ

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลการดูคลื่นแสงที่ได้จากการทดลองเพื่อทำนายค่าปริมาณจุลชีพโดยใช้การวิเคราะห์แบบสมการถดถอย ซึ่งเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธี เพื่อหาวิธีที่เหมาะสม โดยวิธีแรกคือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) จากสมการที่ 2 โดยแทนค่า Y คือปริมาณจุลชีพ (MLSS), ค่า X คือ การดูคลื่นแสง (A), ค่า  $\beta_0$  คือ -238.75, ค่า  $\beta_1$  คือ -1273.4 จะได้สมการความสัมพันธ์ค่า

ปริมาณจุลชีพ (MLSS) กับการดูคลื่นแสงตามสมการที่ 5 และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9341

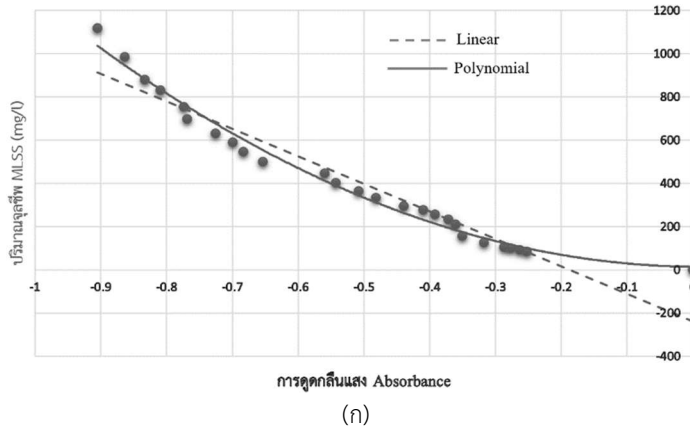
$$MLSS = -1273.4A - 238.75 \quad (5)$$

และวิธีที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอยโพลีโนเมียล (Polynomial regression) จากสมการที่ 3 โดยแทนค่า Y คือ ปริมาณจุลชีพ (MLSS), ค่า X คือ การดูคลื่นแสง (A), ค่า  $\beta_0$  คือ 13.587, ค่า  $\beta_1$  คือ 37.652, ค่า  $\beta_2$  คือ 1,207.9 จะได้สมการความสัมพันธ์ค่าปริมาณจุลชีพ (MLSS) กับการดูคลื่นแสงตามสมการที่ 6 และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9862

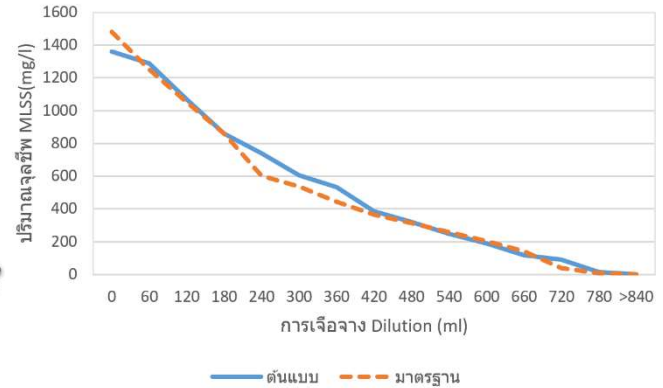
$$MLSS = 1207.9A^2 - 37.652A + 13.587 \quad (6)$$

ผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีสามารถแสดงได้ในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูคลื่นแสงกับปริมาณจุลชีพ (MLSS) ในน้ำตัวอย่าง เส้นประเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น และเส้นทึบเป็นความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลดังรูปที่ 15(ก)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การถดถอยพบว่าวิธีการพอลิโนเมียล (Polynomial regression) มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีค่า R-Squared ใกล้เคียง 1 มากที่สุดจึงนำมาใช้กับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 15 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับปริมาณจุลชีพในน้ำตัวอย่าง (ข)กราฟเปรียบเทียบผลการตรวจวัดปริมาณจุลชีพระหว่างเซ็นเซอร์มาตรฐานและเซ็นเซอร์ต้นแบบ

จากนั้นทำการทดลองวัดค่าปริมาณจุลชีพในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) โดยใช้เซ็นเซอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์มาตรฐานที่ใช้เทคนิคการตรวจวัดแบบ Optical [18] ทดลองกับน้ำตัวอย่าง 15 ตัวอย่างเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์จุลชีพ ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลชีพกับปริมาณน้ำตัวอย่างที่มีการเจือจาง (Dilution) ทั้ง 15 ตัวอย่างดังรูปที่ 15(ข) โดยกราฟเส้นประแสดงถึงค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดมาตรฐาน ส่วนกราฟเส้นทึบจะเป็นค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ต้นแบบ เมื่อดำเนินการเปรียบเทียบความผิดพลาดตามสมการที่ 7

$$\frac{|\text{ค่าวัดจากเซ็นเซอร์ต้นแบบ} - \text{ค่าวัดจากเซ็นเซอร์มาตรฐาน}|}{\text{ค่าวัดจากเซ็นเซอร์มาตรฐาน}} \times 100 \quad (7)$$

จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดที่ 126% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำสุดที่ 0.09%

จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ตามสมการที่ 8 และรากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความผิดพลาดตามสมการที่ 9 โดยแทนค่า  $A_t$  คือ ค่าเซ็นเซอร์

อัลกอริทึมประมวลผลของเซ็นเซอร์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดค่าปริมาณจุลชีพ

มาตรฐาน,  $F_t$  คือ ค่าเซ็นเซอร์ต้นแบบ,  $n$  คือ จำนวนค่าที่พิจารณา

$$\text{MAPE} = \frac{\sum |(A_t - F_t)/A_t|}{n} \times 100\% \quad (8)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (9)$$

จะได้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ต้นแบบเท่ากับ 28.56% และค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ต้นแบบทำนายผิดไปบวกลบประมาณ 58.767 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 6. การอภิปรายผล

จากการทดสอบตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยสถานีตรวจวัดระบบสามารถเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละบ่อแล้วตรวจวัดคุณภาพน้ำ จากนั้นส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูล Firebase แสดงผลผ่าน Dashboard รวมไปถึงแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ได้อย่างต่อเนื่องตามรอบเวลาที่ผู้ใช้งานไว้และในการทดลองควบคุมการเติมอากาศของระบบสามารถทำงานได้และปรับความถี่การทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับปริมาณจุลชีพที่เกิดขึ้นในระบบตามที่ผู้ใช้งานกำหนด เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าของระบบเปรียบเทียบกับค่าแรง สำหรับ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำในตารางที่ 1 สามารถทดแทนแรงงานได้ 1 คน สอดคล้องกับงานวิจัย [20] ระบบตรวจวัดสามารถลดเวลาการทำงานต่อเดือนมากกว่า 53.1% ขึ้นไปเมื่อระบบมีการตรวจวัดมากกว่า 1 ครั้งต่อวัน ซึ่งข้อได้เปรียบของระบบตรวจวัดสามารถติดตามคุณภาพน้ำช่วงเวลากลางคืนได้

จากผลการเปรียบเทียบการตรวจวัดของเซ็นเซอร์ต้นแบบกับเซ็นเซอร์มาตรฐานพบว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดของเซ็นเซอร์ต้นแบบมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ต้นแบบเท่ากับ 28.56% แต่เมื่อคุณเวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์มีค่าค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกับเซ็นเซอร์มาตรฐาน ดังนั้นเซ็นเซอร์ต้นแบบสามารถนำมาทดแทนการตรวจวัดปริมาณจุลชีพในการเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคได้ในระดับหนึ่ง โดยค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต้นแบบรวมทั้งหมดประมาณ 600 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าระบบเดิม [11] ที่ใช้เซ็นเซอร์มาตรฐานอุตสาหกรรมราคา 20,000 บาท

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการวัดคุณภาพน้ำด้วยมือกับระบบไอโอที

| หัวข้อ               | การวัดคุณภาพน้ำด้วยมือ            | การวัดคุณภาพน้ำด้วยอุปกรณ์ไอโอที |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| ราคาอุปกรณ์          | ถูก                               | แพง                              |
| แรงงาน               | 1 คน                              | ไม่มี                            |
| เวลาดทดสอบ           | 20 นาที                           | 8 นาที                           |
| ทักษะที่จำเป็น       | สูง (ต้องมีบุคลากรที่มีความชำนาญ) | ต่ำ (ใช้งานง่าย)                 |
| ความแม่นยำ           | คลาดเคลื่อน                       | แม่นยำ                           |
| การวัดค่าแบบเวลาจริง | ไม่ได้                            | ได้                              |
| ความสะดวก            | ยุ่งยาก                           | สะดวก                            |

## 7. สรุปผลการศึกษา

ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบไบโอฟลอคทำงานอย่างมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดและสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตโดยระบบนี้ใช้ Firebase เป็นฐานข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในแต่ละบ่อและแสดงข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟผ่าน Dashboard อีกทั้งมีระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์เพื่อแจ้งเตือนเมื่อมีเหตุการณ์สำคัญ ช่วยลดแรงงานและความ

ผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ในกระบวนการตรวจวัดน้ำ ทำให้สามารถประหยัดเวลาและทรัพยากรที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน ระบบอัตโนมัติสามารถตรวจวัดข้อมูลคุณภาพน้ำได้ตลอด 24 ชั่วโมง ช่วยให้ติดตามสถานการณ์ได้อย่างใกล้ชิดทำให้ผู้เลี้ยงปลาสามารถรักษาสมดุลของระบบได้อย่างเหมาะสม จากข้อมูล [11] การได้มาซึ่งข้อมูลคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงจะทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการจัดการเลี้ยงปลาในอนาคต ข้อมูลดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าแต่ละพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กัน การเปลี่ยนแปลงระดับออกซิเจนในน้ำและ pH เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาสมดุลในระบบไบโอฟลอค การเพิ่มปริมาณจุลชีพอาจทำให้ระดับออกซิเจนลดลงและค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในระบบ ดังนั้นการควบคุมระดับออกซิเจนด้วยระบบควบคุมการเติมอากาศผ่านการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ตามปริมาณจุลชีพได้จึงเป็นสิ่งสำคัญ อีกทั้งเซ็นเซอร์ที่ออกแบบมีความสามารถในการตรวจวัดและบอกถึงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลชีพเนื่องจากเซ็นเซอร์ต้นแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 28.56% แต่ในทางกลับกันเซ็นเซอร์ก็มีราคาที่ถูกและสามารถบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลชีพในระบบได้และยอมรับได้ในระดับหนึ่งสำหรับการเลี้ยงปลาในรูปแบบไบโอฟลอค ซึ่งในอนาคตหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์รบกวนหรือปรับปรุงอัลกอริทึมในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำให้ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ต้นแบบที่พัฒนามีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับเงินทุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบคุณ รศ.ดร.ธนาทิพย์ แผลมคม อาจารย์จากสาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในโครงการนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภณัฐ วัชรธรรม, ณีวนิษา เมืองกาญจน์, ธีรฤทธิ เลิศสุทธิขวาล, นิอร จิรพงษ์อรกุล, กิตติชนม์ อุเทนพะพันธุ์. ผลของไบโอฟลอคที่ผลิตจากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในปลานิล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 2561;20(2): 1-13.



- [2] ศรัณย์ รักษาพรหมณ์, วิจิตรา ตั้งซี, ณิชกุล ราชภูมิมนตรี. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอฟล็อกและน้ำหมักชีวภาพ สำหรับการเลี้ยงปลานิลในที่ร่ม. *วารสารเกษตร*. 2564;37(3): 243-253.
- [3] Sanchez- Estrada MDLL, Garcia- Trejo JF, Caltzontzin-Rabell V, Chavez- Jaime R, Alvarez- Arquieta LDL, Alatorre- Jacome O. Factors to increase the stocking density using BioFloc Technology in tilapia production: A mini review. In: *2018 XIV International Engineering Congress (CONIIN)*. IEEE; 2018. p. 1-5.
- [4] ประภาพร กุลลิมรัตนชัย. Internet of Things: แนวโน้มเทคโนโลยีปัจจุบันกับการใช้งานในอนาคต. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2559;10(1): 29-36.
- [5] วิวัฒน์ มีสุวรรณ. อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา. *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม*. 2559;4(2): 129-137.
- [6] Ashthon K. That 'internet of things' thing. *RFID Journal*. 2009;22(7): 97-114.
- [7] จักรพันธ์ ออบมา, พลวัฒน์ พรหมสร้างมิ่ง, นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์, อดิสร นวลอ่อน, สมชาติ โสณะแสง. ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับตู้ปลาสวยงามโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*. 2564;16(1): 26-33.
- [8] Ahamed I, Ahmed A. Design of smart biofloc for real-time water quality management system. In: *2021 2<sup>nd</sup> International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*. IEEE; 2021. p. 298-302.
- [9] Haque E, Al Noman A, Ahmed F. Image Processing Based Water Quality Monitoring System for Biofloc Fish Farming. In: *2021 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE)*. IEEE; 2021. p. 1-6.
- [10] Piyawat K, Thanawat K, Thanakorn Ch, Pracha K, Atipong S, Narong Th, et al. IoT based Monitoring System of Water Quality in Fish Farm with Biofloc Technique. In: *The 13<sup>th</sup> Conference on Application Research and Development. ECTI-CARD*; 2021. p. 200-203.
- [11] Piyawat K, Thanakorn Ch, Pracha K, Atipong S, Narong Th. Smart Fish Farm System with Bio-floc Technique Based on IoT Technology. In: *The 4 5<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON45)*. EECON; 2022. p. 488-491.
- [12] ปรีเยศ ผลวงษ์, ถิรวัดณ์ รวยรัตน์, อุไรวัฒน์ เนตรหาญ, อรุณทัย คีตะนนท, พุศสุชา พันธสวัสดิ์และนิติ ชูเชิด. ผลของการใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ (Aqua IOT) ต่อประสิทธิภาพการผลิตและผลกำไรในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (Litopenaeus vannamei). *แก่นเกษตร*. 2566;51(1): 353-360.
- [13] Nayeem H, Huzaifa; Syed A, Azeemuddin; Khan MZA. Towards development of a simple technique based on wavelength specific absorption for quality measurement of flowing water. *IEEE Sensors Journal*. 2020;20(24): 14780-14790.
- [14] HOGNESS TR, ZSCHEILE FP, SIDWELL AE. Photoelectric spectrophotometry an apparatus for the ultra-violet and visible spectral regions: its construction, calibration, and application to chemical problems. *Journal of Physical Chemistry*. 1937;41(3): 379-415.
- [15] Fan J. *Local Polynomial Modelling and Its Applications: Monographs on Statistics and Applied Probability 66*. Routledge; 2018.
- [16] Texas Instruments. Light sensors. Available from: [https://www.ti.com/product/OPT101?qgp\\_n=opt101](https://www.ti.com/product/OPT101?qgp_n=opt101) [Accessed 15th June 2023].
- [17] Lawler DM. Spectrophotometry: Turbidimetry and Nephelometry. In: *Encyclopedia of Analytical Science*. New York, NY, USA: Elsevier; 2005. p. 343-351.
- [18] Alvin Instrument. Industrial Sensor MLSS Probe. Available from: <https://n9.cl/fcygo> [Accessed 5th March 2024].
- [19] HACH. Formazin standard. Available from: <https://th.hach.com/stablcal-20-ntu>

[500/product-similar-products?id=55419947215](#)

[Accessed 5th March 2024].

- [20] กำธร สารวรรณ. การพัฒนาระบบสมาร์ตฟาร์มสำหรับ  
บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์. กาฬสินธุ์:  
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์; 2562.