

การพัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า
 ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยี NB-IoT
**Development of a Dissolved Oxygen (DO) and Electrical Energy Monitoring System
 for an Aquaculture Pond by Using NB-IoT Technology**

เกวณิน ยะดิน ธงชัย มณีชูเกตุ และชวโรจน์ ใจสิน*

Kewwalin Yatin, Thongchai Maneechukate and Chawaroj Jaisin*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

School of renewable energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

ABSTRACT

Background and Objectives: One major issue faced by the intensive aquaculture farming of fish is the dissolved oxygen (DO) in pond, which is particularly critical at nighttime and exacerbated by power outages. Such incidents can significantly reduce DO levels. This research aimed to achieve two objectives: (1) to develop a DO monitoring system, and (2) to establish a system for monitoring the electrical status and for communicating wirelessly via Narrow Band (NB) networks to transmit data and report results to stakeholders.

Methodology: The equipment utilized in the experiment consisted of a DO monitoring system designed as a buoy-type measuring device. Solar panels were installed on top to provide power for driving the motor and the monitoring system, which utilizes the DO Meter model az 8403 to send RS232 data to a microcontroller unit (ATmega328p). This unit is connected to an ESP8266 via I2C communication, and the ESP8266 is connected to an NB board to transmit measurement results to a Cloud server. Meanwhile, the electrical status monitoring and notification system relies on the ESP8266 microcontroller unit, which connects to the SDM120CT monitoring device through RS485 Modbus RTU protocol. This setup sends measurement results to the Cloud server and sends notification about the electrical status via the LINE application.

Main results: During the experiment, it was found that the DO concentration was below 4 mg/L from 01:00 to 10:00. After this period, the DO gradually increased until 12:00, reaching a peak of approximately 12 mg/L during the day. Subsequently, it began to decrease after 17:00, dropping below 4 mg/L again by 01:00. Consequently, the operating time of the aerator needed adjustment. Normally, aeration in aquaculture is carried out for 18 hours per day, but it was reduced to only 9 hours per day.

Discussion: The results of the DO measurements influenced the management and operation of the aeration system in the fish farming pond. There was a reduction in aeration time by up to 9 hours per day, which is equivalent to a 50% reduction in electrical costs, resulting in maximum savings of 12,474 baht per cultivation cycle. Additionally, the system included notifications for electrical status, alerting if there was a voltage drop or if the voltage fell below 205V, which occurred 230 times within one month.

Conclusion: The DO level is directly proportional to the degree of light intensity. When the DO value exceeds the standard, the aeration system can be managed and adjusted accordingly. By considering the aeration system operating time based on the DO level, it is possible to save 15.40 kWh/day, which equates to 9,702 baht or 38.88% per cultivation cycle using management method 1. Meanwhile, management method 2 can help farmers save up to 19.80 kWh/day, which equates to 12,474 baht or 50.0%.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 February 2021

Received in revised form

7 October 2021

Accepted 12 October 2021

Available online

18 October 2024

Keywords:

Dissolved oxygen (DO)

(ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ),

ESP8266,

Aquaculture pond (บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์),

Monitoring system (ระบบตรวจวัด)

*ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

E-mail address: chawaroj@mju.ac.th

บทคัดย่อ

ที่มาและวัตถุประสงค์: ปัญหาหลักอย่างหนึ่งของกลุ่มเกษตรกรเพาะเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นคือออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกลางคืนหากเกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องอีก ก็จะยิ่งส่งผลต่อปริมาณ DO เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) พัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณ DO และ 2) พัฒนาระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนสถานะทางไฟฟ้า ร่วมกับการสื่อสารแบบไร้สายผ่านเครือข่าย Narrow Band (NB) เพื่อส่งข้อมูลและรายงานผลไปยังผู้เกี่ยวข้อง

ระเบียบวิธีวิจัย: อุปกรณ์และการทดลองประกอบด้วย ระบบตรวจวัดปริมาณ DO ออกแบบเป็นลักษณะหุ่นตรวจวัด ด้านบนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเพื่อให้มอเตอร์ขับเคลื่อนและระบบตรวจวัดใช้ DO Meter รุ่น az 8403 ส่งข้อมูลแบบ RS232 ส่งไปยัง ตัวประมวลผล (ATmega328p) ซึ่งเชื่อมต่อกับ ESP8266 ผ่านช่องทางสื่อสารแบบ I2C โดย ESP8266 ได้เชื่อมต่อกับ NB board เพื่อส่งผลการตรวจวัดไปยังระบบ Cloud server ขณะที่ระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนสถานะทางไฟฟ้าอาศัยตัวประมวลผล ESP8266 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัด SDM120CT ผ่าน โปรโตคอล RS485 Modbus RTU เพื่อส่งผลการตรวจวัดไปยัง Cloud server และแจ้งเตือนสถานะทางไฟฟ้าผ่าน LINE แอปพลิเคชัน

ผลการวิจัย: จากการทดลองพบว่าปริมาณ DO น้อยกว่า 4 mg/L เริ่มที่เวลา 01.00-10.00 น. หลังจากนั้น DO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. เป็นช่วงที่มีค่า DO สูงสุดในรอบวัน คือประมาณ 12 mg/L และเริ่มลดลงเมื่อหลังเวลา 17.00 น. จนมีค่าน้อยกว่า 4 mg/L ที่เวลา 01.00 น. ส่งผลให้มีการปรับเวลาในการเติมอากาศ โดยปกติเกษตรกรจะเติมวันละ 18 ชั่วโมง จะลดลงได้เหลือเพียงวันละ 9 ชั่วโมง

อภิปรายผล: ผลการตรวจวัดค่า DO นำไปสู่การบริหารและจัดการระบบเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยง ส่งผลให้สามารถลดเวลาการเปิดเครื่องอากาศลงได้สูงสุดถึงวันละ 9 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 50 % ของค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้า คิดเป็นผลประหยัดสูงสุดที่ 12,474 บาท ต่อรอบการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ระบบยังมีการแจ้งเตือนสถานะทางไฟฟ้า หากพบแรงดันไฟฟ้าตกหรือพบแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 205V. เป็นจำนวน 230 ครั้ง ในรอบ 1 เดือน

บทสรุป: ค่า DO จะแปรผันตรงกับปริมาณความเข้มแสง โดยช่วงที่ DO มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน สามารถบริหารจัดการรูปแบบของการเติมอากาศได้ใหม่ โดยหากพิจารณาระยะเวลาเปิดระบบเติมอากาศโดยใช้ปริมาณ DO เป็นเกณฑ์สามารถประหยัดได้ 15.40 kWh/วัน คิดเป็นเงิน 9,702 บาท หรือ 38.88 % ต่อหนึ่งรอบการเพาะเลี้ยง ในวิธีการบริหารจัดการแบบที่ 1 ขณะที่รูปแบบที่ 2 สามารถช่วยเกษตรกรประหยัดได้ถึง 19.80 kWh/วัน คิดเป็นเงิน 12,474 บาท หรือ 50.0 %

บทนำ

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Claude and Frank (1979) กล่าวว่าปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำเช่น การสืบพันธุ์ การเจริญเติบโตหรือกระบวนการผลิตการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจะมีตัวแปรไม่กี่ตัวเท่านั้นที่สำคัญต่อคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงซึ่งนั่นก็คือปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) Robert (1998) พบว่าโดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.0 ถึง 9.0 mg/L ในน้ำจืด และต้องไม่ต่ำกว่า 3 mg/L ถ้าหากน้อยกว่า 3 mg/L จะทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ เครียด เจริญเติบโตช้า โดยทั่วไปปริมาณ DO จะลดลงอย่างมากในตอนกลางคืน ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องเปิดระบบเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเพื่อลดอัตราการตายของสัตว์น้ำ ในอากาศจะเป็นแหล่งสะสมออกซิเจนมากมายแต่สามารถละลายในน้ำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นจะมีปริมาณที่แตกต่างกันตามความดันอากาศ อุณหภูมิ และ pH นอกจากนี้ปัจจัยเหล่านี้แล้วยังขึ้นอยู่กับ

สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในบ่อเช่นขนาดของสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงซึ่งต้องการปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน Claude et al. (1979) กล่าวต่อว่าการให้อาหารสัตว์น้ำมากเกินไปจนเกิดการย่อยสลายอาหารตกค้างทำให้เกิดก๊าซเน่าเสียในบ่อ ความลึกของบ่อ ตะกอนฝุ่นละออง ทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในบ่อเพาะเลี้ยงแต่ละจุดแตกต่างกันซึ่งปัจจัยหลักในการเกิด DO คือแสงแดดที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งจะผลิต DO ได้ในช่วงกลางวันเท่านั้นและจากการที่ออกซิเจนละลายในน้ำถูกใช้อย่างต่อเนื่องโดยสัตว์น้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง โดยเฉพาะในเวลากลางคืนซึ่งส่วนมากเกษตรกรนิยมใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนด้านไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตาม ปัจจุบันเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ให้ความสำคัญกับการจัดการคุณภาพน้ำและพลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากขึ้น จึงมีผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับด้านนี้เป็นจำนวนมากและได้นำเทคโนโลยี IoT ประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกตัวอย่างเช่น

Harun et al. (2018) ได้ตรวจวัดอุณหภูมิ pH และระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ร่วมกับเครื่องเติมอากาศและจ่ายน้ำจากปั๊มด้วย Arduino ซึ่งประกอบด้วยบอร์ด Arduino อินเทอร์เน็ทและเฟรมเวิร์ก และระบบแสดงผล ทดลองตรวจวัดเป็นเวลา 2 วัน แสดงให้เห็นว่าฟาร์มปลาแห่งนี้มีคุณภาพน้ำสูง ระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในแต่ละวันเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ด้วยระบบนี้เกษตรกรไม่จำเป็นต้องจ้างคนงาน สามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและปรับปรุงประสิทธิภาพ

Santoshkumar and Hiremath (2012) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบ Wireless Sensor Network (WSN) ต้นแบบเพื่อตรวจสอบความเค็มของน้ำในฟาร์มปลาน้ำจืดที่เป็นตัวแปรสำคัญโดยค่าความเค็มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ค่ากรด – ด่าง (pH) เป็นค่าหลักที่มีอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยของปลา หากมีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ปลาเครียดได้ นอกจากนี้อุณหภูมิเป็นอีกค่าที่สามารถกำหนดค่า pH และส่งผลต่อปลา ซึ่งการพัฒนาระบบ WSN ต้นแบบเพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งสามนี้ที่ส่งผลต่อปลาน้ำจืดด้วยการพัฒนาระบบ open source technology

Zougmore et al. (2018) ปรับใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและหน่วยวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพทางน้ำ (UR-ABAQ) เซ็นเซอร์ที่ใช้งานมีตรวจสอบค่า pH ออกซิเจนละลายในน้ำและอุณหภูมิของน้ำของโรงเพาะฟักปลาคลาเรียส และวัดความชื้นในดินของไร้กัลวี่และมะละกอ รวมไปถึงค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิตามวิทยาของห้องปฏิบัติการ ค่าที่เก็บได้ทำให้สามารถช่วยควบคุมการตายของลูกปลาได้ โดยส่ง SMS แจ้งเตือนเมื่อค่าพารามิเตอร์เกิน ข้อมูลที่รวบรวมจะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ผ่านเกตเวย์ที่ติดตั้งด้วยเสาอากาศ LoRa และ 3G MoDem จากนั้นนำเสนอกราฟพารามิเตอร์บางส่วนที่ส่งบนแพลตฟอร์ม waziup โดยเครือข่ายเซ็นเซอร์นี้ต้องช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาควบคุมการผลิตปลาได้ดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการรดน้ำของพื้นที่การเกษตร

Mahamai et al. (2014) นำเสนอระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบไร้สายแบบอัตโนมัติสามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแบบเรียลไทม์แล้วแสดงผลยังคอมพิวเตอร์แบบพกพาโดยผ่าน Xbee module ในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อป้องกันการขาดออกซิเจนแบบเฉียบพลันในช่วงเวลากลางคืน

โดยใช้พลังงานหลักจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 W ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12V 32 Ah พบว่าประสิทธิภาพของชุดประจุแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยร้อยละ 80 และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ย 0.33 mg/L/h

Sukrismon et al. (2019) ติดตั้งเซ็นเซอร์ อุณหภูมิ, pH, ความขุ่น และระดับน้ำเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ของบ่อ โดยค่าพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกอัปโหลดไปยังคลาวด์และสามารถตรวจวัดผ่านแอปพลิเคชันสมาร์ทโฟน ในการติดตั้งแอปพลิเคชันสมาร์ทโฟนเพื่อช่วยสนับสนุนเกษตรกรเลี้ยงปลาซึ่งเงินลงทุนในการทำระบบถูกการออกแบบมาให้มีค่าใช้จ่ายถูกที่สุดเพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาสามารถนำไปใช้ได้ ระบบที่นำเสนอนี้ง่ายต่อการติดตามสภาพบ่อ ปรับปรุงคุณภาพปลา และรายได้ของเกษตรกร

Zhang et al. (2011) การทำงานของระบบ WSN สำหรับการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบเรียลไทม์ และยังออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเก็บบันทึกและส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องไปยังซอฟต์แวร์สำหรับตรวจวัด โดยที่ซอฟต์แวร์ตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นสำหรับฮาร์ดแวร์ตรวจวัดและการแสดงข้อมูล และมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความรู้ของผู้เชี่ยวชาญเพื่อบำบัดการควบคุมอัตโนมัติ ระบบตรวจวัดแบบดิจิทัลและอัจฉริยะทำให้คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพ จากผลการใช้งานจริงคือการแสดงความน่าเชื่อถือของระบบและคุณลักษณะแบบเรียลไทม์ และแสดงผลที่ดีต่อการตรวจสอบคุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1. ภาพรวมเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย

Table 1. Overview of Wireless Communication Technologies

เทคโนโลยี (Technology)	อัตราข้อมูล (Data Rate)	พื้นที่ ครอบคลุม (Coverage Range)	การบริโภค กำลังงาน (Power Consumption)	บทความ (Paper(s))
WiFi	108 - 600Mbps	50 - 100 m.	High	Harun et al. (2018) Sukrismon et al. (2019)
ZIGBEE	20 kbps - 250 kbps	10 cm. - 20 m.	Low	Hampannavar Ph. D, Santoshkumar (2012) Sukrismon et al. (2019) Mahamai, Sankwan, & Phusinak (2014)
LoRa	0.3–37.5 kbps	5 km (urban), 20 km (rural)	Low	Zougmore et al. (2018)
NB-IoT	<100 kbps	1 km (urban), 10 km (rural)	Low	Zanaj, Caso, De Nardis, Mohammadpour, Alay, & Di Benedetto (2021)

จากศึกษาเทคโนโลยีต่าง ๆ ของงานวิจัยที่ผ่านมาดังตารางที่ 1 (Table 1) ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะเลือกใช้ NB-IoT เนื่องจาก Deseada Gutierrez Pascual (2012) กล่าวว่าการใช้เครือข่าย WiFi ต้องใช้พลังงานในการส่งข้อมูลสูง ส่งข้อมูลได้ในระยะใกล้ 50-100 m. ไม่เหมาะกับการส่งข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ Zanj et al. (2021) ยังอธิบายว่าเครือข่าย ZIGBEE เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานต่ำแต่มีพื้นที่ครอบคลุมระยะสั้น 100 m. ส่วนเครือข่าย LoRa จะใช้คลื่นความถี่ตามที่แต่ละประเทศอนุญาตซึ่งส่วนใหญ่ใช้ได้ฟรีและสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลและพลังงานในการรับส่งข้อมูลต่ำ แต่เครือข่าย NB-IoT มีความถี่ในการส่งข้อมูลที่มากกว่า LoRa ใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลต่ำเหมือนกันสามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่โดยเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จึงเป็นอีกเทคโนโลยีที่น่าสนใจที่จะนำเทคโนโลยี NB-IoT มาประยุกต์ใช้สื่อสารในระบบตรวจวัด

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญและได้พัฒนาระบบแจ้งเตือนสถานะทางไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ เพราะถ้าระบบไฟฟ้าพื้นฐานของระบบเติมอากาศมีความผิดปกติหรือขัดข้องจะส่งผลกระทบต่อปริมาณ DO ในเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืน จึงต้องมีการเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด นอกจากนี้ยังได้พัฒนาระบบตรวจวัด DO ที่เป็นรูปแบบของหุ่นตรวจวัด สามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดตรวจวัดที่เรากำหนดได้อย่างทั่วถึง โดยหุ่นตรวจวัดจะใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ รวมถึงได้พัฒนาระบบส่งข้อมูลการตรวจวัดไปยังเว็บเบราว์เซอร์และแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายของ NB-IoT ทำให้เกษตรกรทราบถึงปริมาณออกซิเจนและระบบการใช้ไฟฟ้าว่ามีความผิดปกติหรือไม่เพื่อแจ้งเตือนและช่วยป้องกันกรณีเกิดเหตุการณ์ผิดปกติต่าง ๆ

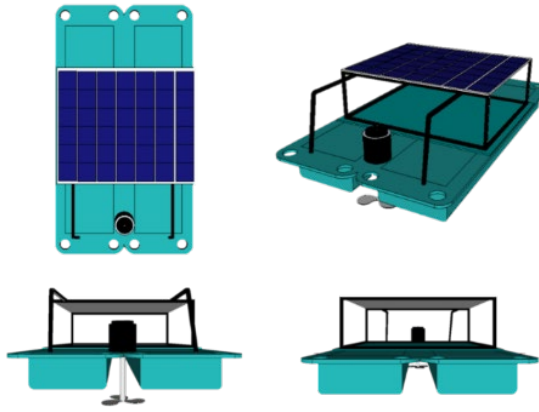
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การออกแบบและพัฒนาหุ่นตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและการออกแบบพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศรวมถึงวิเคราะห์ผลการประหยัดก่อนและหลังการปรับปรุง เมื่อเครื่องเติมอากาศทำงานตามการวิเคราะห์ค่า DO

1. การออกแบบหุ่นและพัฒนาาระบบตรวจวัดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบหุ่นวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้มีการออกแบบเป็นหุ่นตรวจวัด (ภาพที่ 1 (Figure 1)) โครงสร้างหุ่นอาศัยหุ่นสองอันสร้างเป็นฐานล่าง ยึดด้วยโครงเหล็กด้านบนเพื่อรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วย (1) หุ่นลอยน้ำมีขนาด 33x130 cm. 2 อัน (2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ polycrystalline 80W 1 แผง (3) ปัมพ์ยี่ห้อ SEAFLO SFDP 1 แรงดันไฟฟ้าขนาด 12V 1.5A (4) ภาชนะใส่น้ำจากบ่อและน้ำสะอาดสำหรับล้างหัวตรวจวัดของเครื่อง DO Meter (5) มอเตอร์เกียร์ จำนวน 2 ตัว แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12V สำหรับใช้เป็นระบบขับเคลื่อนและบังคับทิศทาง



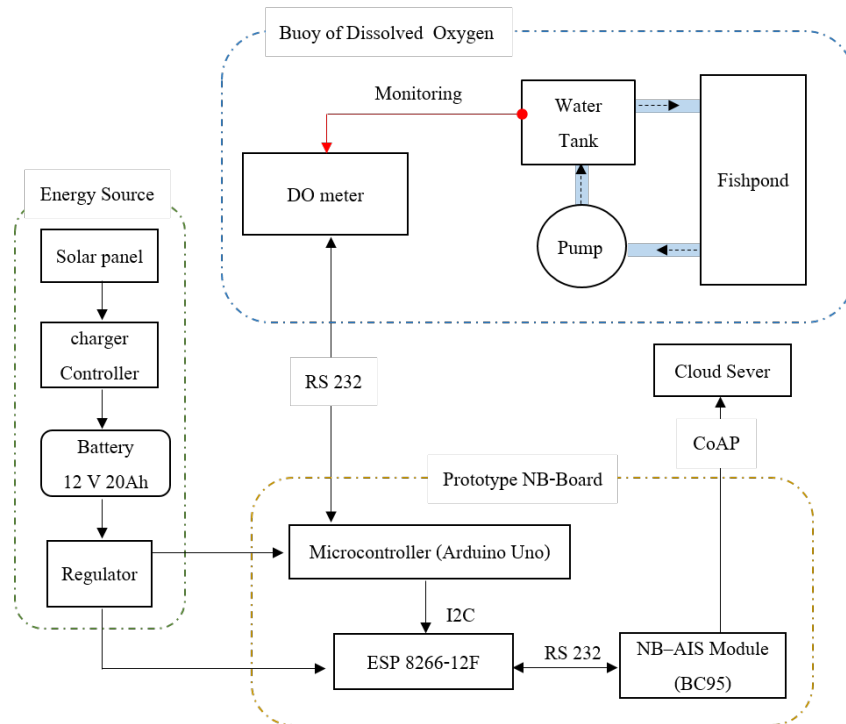
ภาพที่ 1 การออกแบบหุ่น

Figure 1 Buoy-type measuring prototype

ขณะที่ระบบพลังงานสำรองและควบคุมของหุ่น ประกอบด้วย (1) แบตเตอรี่แห้งยี่ห้อ LEOCH ขนาด 12V 9Ah ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำรอง (2) แผงวงจรควบคุมการทำงาน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT Mega หรือ Arduino (3) Solar Charger Controller 12V/24V 20A สำหรับควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วนำมาเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ (4) วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ DC PWM Motor Driver 9-60V 20A 600W สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ (5) โมดูลรีเลย์ DC 5V

1.2 ระบบตรวจวัด ควบคุมและเงื่อนไขการทำงาน

การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการให้ปั๊มน้ำดูดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงขึ้นมา (โดยจะทำงานตามรอบเวลาที่กำหนด เช่น 30 นาที) เก็บไว้ในถังพักที่ 1 แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 2 นาที (ถังพักที่ 1 ได้เจาะรูขนาดเล็กไว้ได้ถังเพื่อระบายน้ำทิ้ง ซึ่งจะใช้เวลามากกว่า 5 นาที สำหรับระบายน้ำออกหมด) เพื่อให้ให้น้ำนิ่งและฟองอากาศหายไป จากนั้นจึงเริ่มต้นอ่านค่า DO จากหัวตรวจวัดผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม RS232 โดยเลือกใช้หัววัดรุ่น az 8403 ซึ่งเป็นรุ่นที่สามารถส่งข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารแบบ RS232 ได้ ทำการอ่านค่าทุก ๆ 10 วินาที จำนวน 10 ครั้ง แล้วหาเป็นค่าเฉลี่ยออกมา จากนั้นส่งข้อมูลที่อ่านได้ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบ I2C ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 (ESP8266) ที่ได้เชื่อมต่อกับบอร์ดส่งข้อมูลแบบ Narrow Band (NB) ในที่นี้เลือกใช้แบบ NB-board shield series ของ AIS ใช้ชิพ Quectel (BC95) สำหรับส่งข้อมูลในรูปแบบของ CoAP และส่งค่าไปยัง Server ที่ได้กำหนดไว้ ผังการทำงานแสดงดังภาพที่ 2 (Figure 2) เหตุผลในการเลือกใช้ Arduino Uno, โมดูล ESP8266 และ โมดูล NB(Quetel) ของ AIS มาทำเป็นชุดอุปกรณ์ต้นแบบเพราะ Arduino Uno และ ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่หาใช้งานได้ง่ายและราคาถูก อีกทั้ง ESP8266 สามารถรองรับแปลงข้อมูลจาก I2C เป็นการสื่อสารแบบ RS232 ได้ ส่วนการเลือกโมดูล NB ของ AIS เพราะง่ายต่อการใช้งานและสามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็ว



ภาพที่ 2 การทำงานของระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจน ระบบควบคุมการอ่าน และรับส่งข้อมูลของทุ่น

Figure 2 Diagram of dissolved oxygen monitoring system and protocol for receiving-transmitting data from the buoy-type device

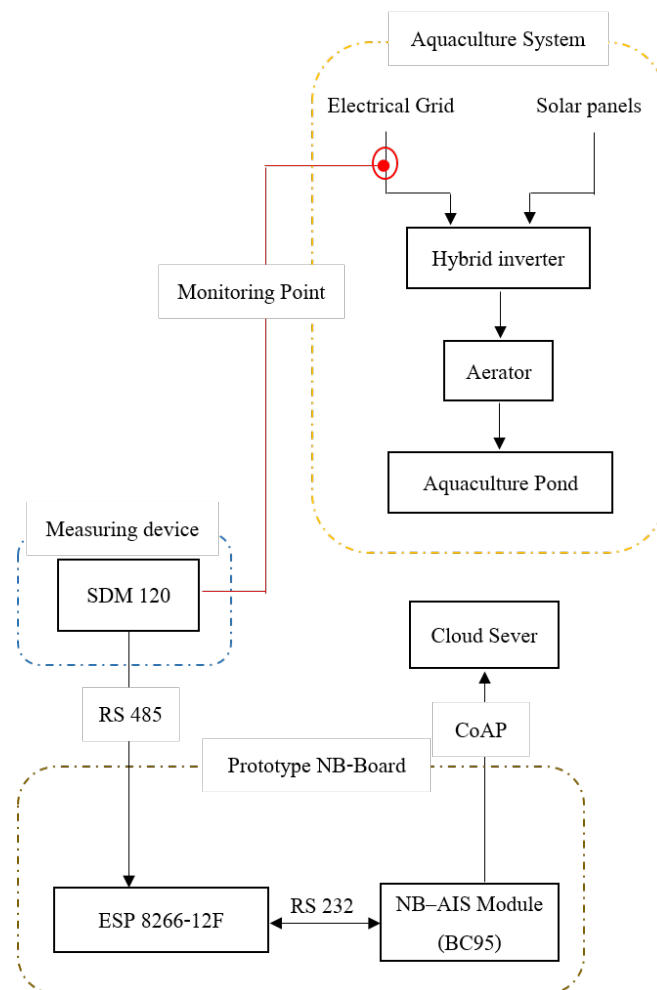
2. ระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ ของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบ่อจะมีลักษณะเป็นบ่อกลางทุ่งนา ซึ่งมีขนาดประมาณ 5 ไร่ บ่อเพาะเลี้ยงนี้ได้มีการเติมอากาศแบบแอร์สโตน Thamnu (2018) กล่าวว่า บ่อนี้ได้มีการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน ผ่านอุปกรณ์แปลงคือ Solar Hybrid Inverter ยี่ห้อ Siemens รุ่น V20 ไปยังเครื่องเติมอากาศแบบ Blower ยี่ห้อ Norvax รุ่น NVT-160 ที่เชื่อมต่อเข้ากับหัวเติมแบบแอร์สโตน ขนาด 6 cm. จำนวน 10 หัว โดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline ยี่ห้อ ASTRONERGY รุ่น CHSM6612P-325 ขนาด 325W จำนวน 9 แผง การจ่ายกำลังไฟฟ้าอาศัยรูปแบบการแบ่งปันกำลังไฟฟ้า กล่าวคือระบบใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งปันร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน ซึ่งยึดเอาพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักในการใช้งานก่อน และเมื่อพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ก็จะมีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานเข้ามาร่วมด้วย โดยระบบตรวจวัดจะถูกนำไปใช้ตรวจวัดในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องเติมอากาศเป็นหลัก เพราะเกษตรกรจะมีการใช้ในช่วงเวลากลางคืน เพื่อเพิ่มปริมาณ DO ในบ่อ

เพาะเลี้ยง เนื่องจากเป็นช่วงที่ปริมาณ DO มีปริมาณน้อย จึงควรมีการเฝ้าระวังการทำงานของระบบเดิม
อากาศเมื่อใช้ไฟฟ้าพื้นฐานในตอนกลางคืน

ในบ่อเพาะเลี้ยงเกษตรกรได้มีการเปิดเครื่องเดิมอากาศทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน
โดยกลางวันจะเปิดเครื่องตั้งแต่ 13.00-16.00 น. ส่วนกลางคืนจะเวลา 18.00-11.00 น. ของวันถัดมา ในช่วง
เวลากลางวันสามารถใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานลงได้
แต่ในเวลากลางคืนยังต้องใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง พัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ของ
เครื่องเดิมอากาศในเวลากลางคืนควบคู่ไปกับระบบตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำด้วย เพื่อป้องกันการขาด
ออกซิเจนของปลาหากเครื่องเดิมอากาศไม่ทำงาน หรือกรณีที่ไฟฟ้าดับและให้สามารถแจ้งเตือนไปยัง
โทรศัพท์มือถือของเกษตรกรได้ทันเวลาเพื่อที่จะหาทางแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและป้องกันการสูญเสียปลาได้
โดยการออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าพลังงานทางไฟฟ้า รุ่น SDM-120CT
เพื่อใช้วัดค่า parameter ทางไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับเครื่องเดิมอากาศ การอ่านค่าอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์
(ESP8266) เชื่อมต่อกันผ่านช่องทางสื่อสารแบบ RS485 MODBUS RTU จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ
ส่งผ่านเครือข่ายของ NB-IoT ไปยังระบบ Cloud Server ดังแสดงในภาพที่ 3 (Figure 3)



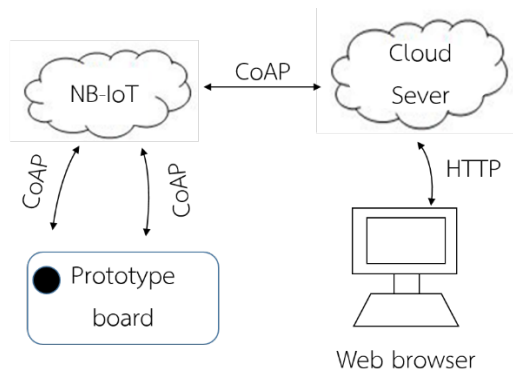
ภาพที่ 3 การออกแบบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเดิมอากาศ

Figure 3 Diagram of electrical measurement of the aerator

2.2 โพรโทคอลการรับ-ส่งข้อมูล

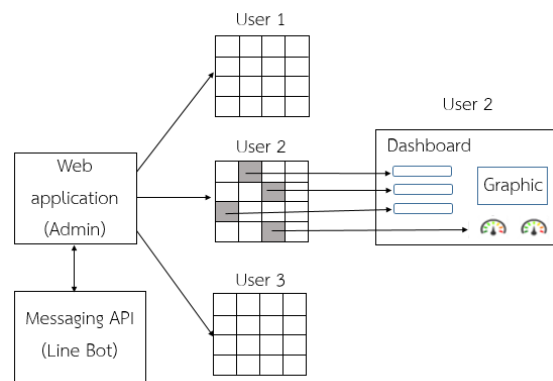
การส่งข้อมูลไปยัง prototype NB board โดยใช้ NB-IoT Shield ของ AIS ซึ่ง Saraubon (2018) อธิบายว่า NB-IoT จัดอยู่ในกลุ่ม Low Power Wide Area Network (LPWAN) คือประเภทการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำสามารถใช้ร่วมกับเครือข่ายมือถือได้โดยมีสถานีฐานเช่นเดียวกับมือถือสามารถสื่อสารได้ในระยะไกล 5-10 กม. และใช้พลังงานต่ำ

การออกแบบการสื่อสารของเครือข่าย NB IoT ให้ใช้งานกับอุปกรณ์ NB ได้ จำเป็นต้องเปลี่ยนโปรโทคอล จาก CoAP หรือ UDP ให้เป็น HTTP หรือ MQTT เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบอื่น ๆ ได้ (ภาพที่ 4 (Figure 4))



ภาพที่ 4 การส่งข้อมูล

Figure 4 Transmitting data



ภาพที่ 5 การเลือกตัวแปรมาแสดงผลบนเว็บ

Figure 5 Dashboard monitor

ขณะที่แอปพลิเคชัน จะถูกแบ่งเป็นแต่ละ User ID ซึ่งภายในห้อง User ID ห้องจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่พื้นที่จัดเก็บหน่วยความจำ ที่สามารถสร้างตัวแปร กลุ่มตัวแปร ค่าคงที่ และสมการ และอีกส่วนหนึ่งคือ พื้นที่แสดงผลข้อมูลหรือ Dash board โดยสามารถเลือกตัวแปรที่ต้องการเพื่อนำไปแสดงผลบนหน้าต่างแสดงผลข้อมูล ทั้งนี้เพื่อไม่ให้มีตัวแปรมากเกินไปจนความจำเป็น (ภาพที่ 5 (Figure 5))

3. การประเมินผลการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำ

เนื่องจาก Ratchanwasin and Aruxvanit (2019) ได้วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ที่ระดับความลึก 0.5 m และ 1.5 m. สรุปได้ว่า DO จะอยู่ได้แค่บริเวณผิวน้ำเท่านั้นและที่ระยะห่างจากเครื่องเดิมอากาศแบบหัวทราย 2 m และ 6 m. สรุปได้ว่ายิ่งห่างออกไป DO จะลดตามลงไป สรุปคือ DO จะอยู่แค่บริเวณผิวน้ำและใกล้กับเครื่องเดิมอากาศเท่านั้น บริเวณอื่น ๆ ปริมาณ DO จะเบาบาง และโดยพฤติกรรมของปลา จะมาอาศัยใกล้กับเครื่องเดิมอากาศ ดังนั้นเลือกบริเวณเป็นจุดอ้างอิงของทุ่นตรวจวัดซึ่งจุดตรวจวัดสามารถเพิ่มได้หากต้องการวัดในระยะที่ห่างจากเครื่องเดิมออกไปแต่บริเวณนั้นปลาอาศัยอยู่น้อยเนื่องจากปริมาณ DO จะลดลงตามระยะทางที่ไกลขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวัดที่ระยะห่าง 2 m. จากหัวเดิมอากาศ และที่ระดับความลึก 1 m. จากผิวน้ำ จากนั้นนำค่า DO ที่ตรวจวัดได้มาพิจารณาเปรียบเทียบ กรณีที่ใช้เครื่องเดิมอากาศตามวิธีเปิด-ปิดของ

เกษตรกร กับการใช้ค่า DO เป็นค่าอ้างอิงในการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ รวมถึงใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งช่วงการเพาะเลี้ยง โดยหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ดังสมการที่ 1 เมื่อ P คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม T คือ ระยะเวลาการที่ใช้ในการเติมอากาศ R คือ อัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน TP คือระยะเวลาในการเลี้ยงปลาซึ่งการเลี้ยงปลา 1 รอบนั้นใช้เวลา 1-4 เดือนซึ่งจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศ 2 เดือนสุดท้าย จากนั้นนำมาคิดผลการประหยัดค่าไฟฟ้างสมการที่ 2 สุดท้ายนำค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสองมาวิเคราะห์ร้อยละของผลการประหยัดจากการเปลี่ยนเวลาใช้งานของเครื่องเติมอากาศใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{ค่าไฟฟ้าที่ใช้} = \frac{P \times T}{R} \times p \quad (1)$$

$$\text{ผลการประหยัดค่าไฟฟ้า} = \text{ค่าไฟฟ้าแบบเดิม} - \text{ค่าไฟฟ้าแบบใหม่} \quad (2)$$

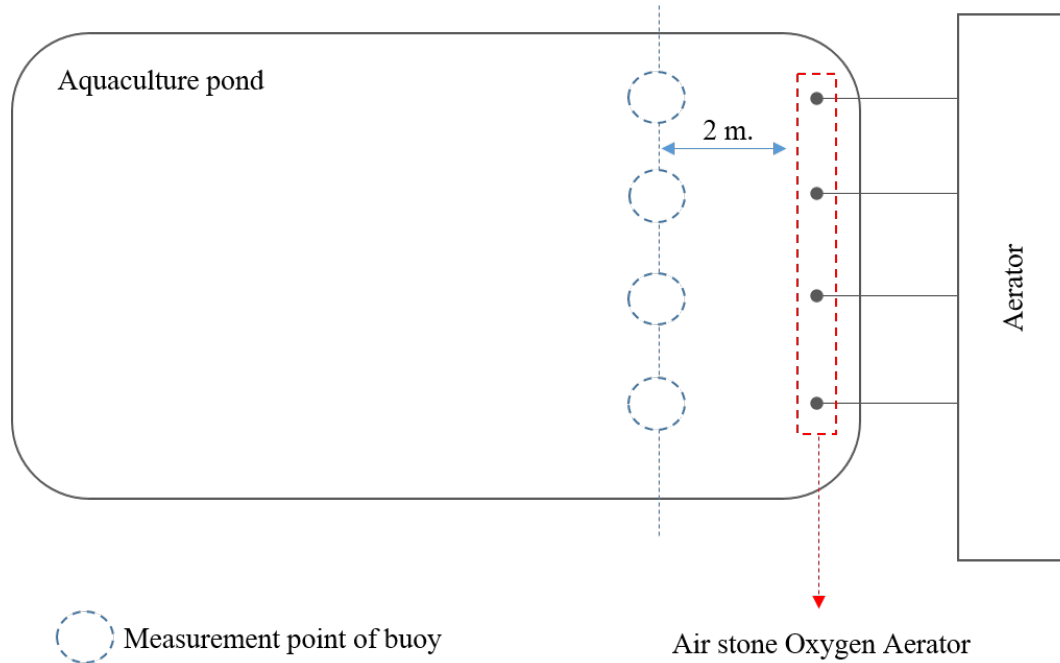
$$\text{ร้อยละผลการประหยัด} = \frac{\text{ผลการประหยัด}}{\text{ค่าไฟฟ้าแบบเดิม}} \times 100 \quad (3)$$

ผลและการประเมิน

1. ผลการออกแบบหุ่นตรวจวัด DO ในน้ำ

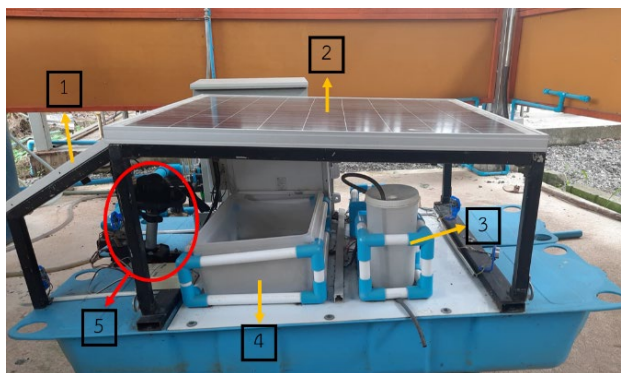
การออกแบบหุ่นลอยน้ำที่ใช้ตรวจวัดปริมาณ DO ในบ่อจะมีลักษณะดังภาพ 6 (Figure 6) โดยหุ่นจะมีการติดตั้งระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นให้ไปตรวจวัดปริมาณ DO ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดมีส่วนประกอบดังภาพ 7 (a) (Figure 7 (a)) หมายเลข 1 และ 2 คือ polycrystalline 80W 1 แผงและได้เพิ่มแผงขนาด 10W จำนวน 2 แผงให้ความสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้มากขึ้น สำหรับเป็นแหล่งพลังงานของหุ่น หมายเลข 3 Water tank สำหรับพักน้ำที่ดูดขึ้นมาจากบ่อ ด้านข้างจะมีหมายเลข 4 เป็นแท่นยึดสำหรับวางเครื่อง DO meter รุ่น az 8403 ถัดมาหมายเลข 5 จะเป็นมอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว และภาพที่ 7 (b) (Figure 7 (b)) ด้านหน้าของหุ่น หมายเลข 6 บั๊มที่ใช้ในการดูดน้ำจากบ่อขึ้นมาพัก หมายเลข 7 คือแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นพลังงานสำรอง และหมายเลข 8 คือไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นรวมถึง NB IoT สำหรับการรับส่งข้อมูลไปยังบนเว็บไซต์ให้เกษตรกรทราบผ่านทาง www.seeyoubot.com แสดงดังภาพที่ 8 (Figure 8) ซึ่งต้อง log in เข้าสู่ระบบด้วย User name และ password ก่อน จากนั้นเลือกบ่อเพาะเลี้ยงปลาที่ต้องการดูข้อมูล และจะแสดงผลดังภาพที่ 9 (Figure 9) ซึ่งจะประกอบไปด้วยหมายเลข 1 คือไอคอนของแต่ละค่าพารามิเตอร์ หมายเลข 2 คือโทเ็นของแต่ละอุปกรณ์ตรวจวัด หมายเลข 3 คือชื่ออุปกรณ์ตรวจวัด หมายเลข 4 คือประเภทค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด หมายเลข 5 คือค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้ หมายเลข 6 คือ สถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ หมายเลข 7 คือ การตั้งค่า

อุปกรณ์ตรวจวัด หมายเลข 8 คือ การดาวน์โหลดข้อมูลได้โดยเลือกวันที่และเวลาที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจะเป็นไฟล์ CSV แสดงวันที่ เวลา และค่าปริมาณออกซิเจนที่ตรวจวัดได้



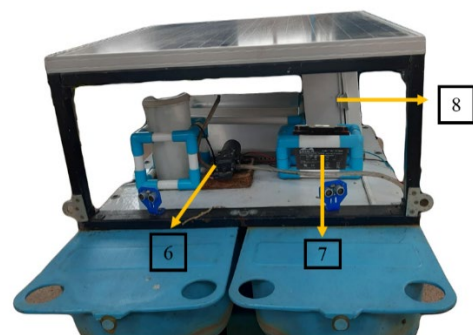
ภาพที่ 6 จุดตรวจวัด DO

Figure 6 Point of dissolved oxygen measurement



(a) ด้านข้างของทุ่น

Side view of buoy



(b) ด้านหน้าของทุ่น

Front view of buoy

ภาพที่ 7 ทุ่นตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในบ่อปลา

Figure 7 Dissolved oxygen buoy-type device

โครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียว
เพื่อลดปริมาณการใช้ยาฆ่าแมลง

[หน้าหลัก](#)
[ระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงาน](#)
[ติดต่อเรา](#)
[เข้าสู่ระบบ](#)

ลงชื่อเข้าใช้งาน

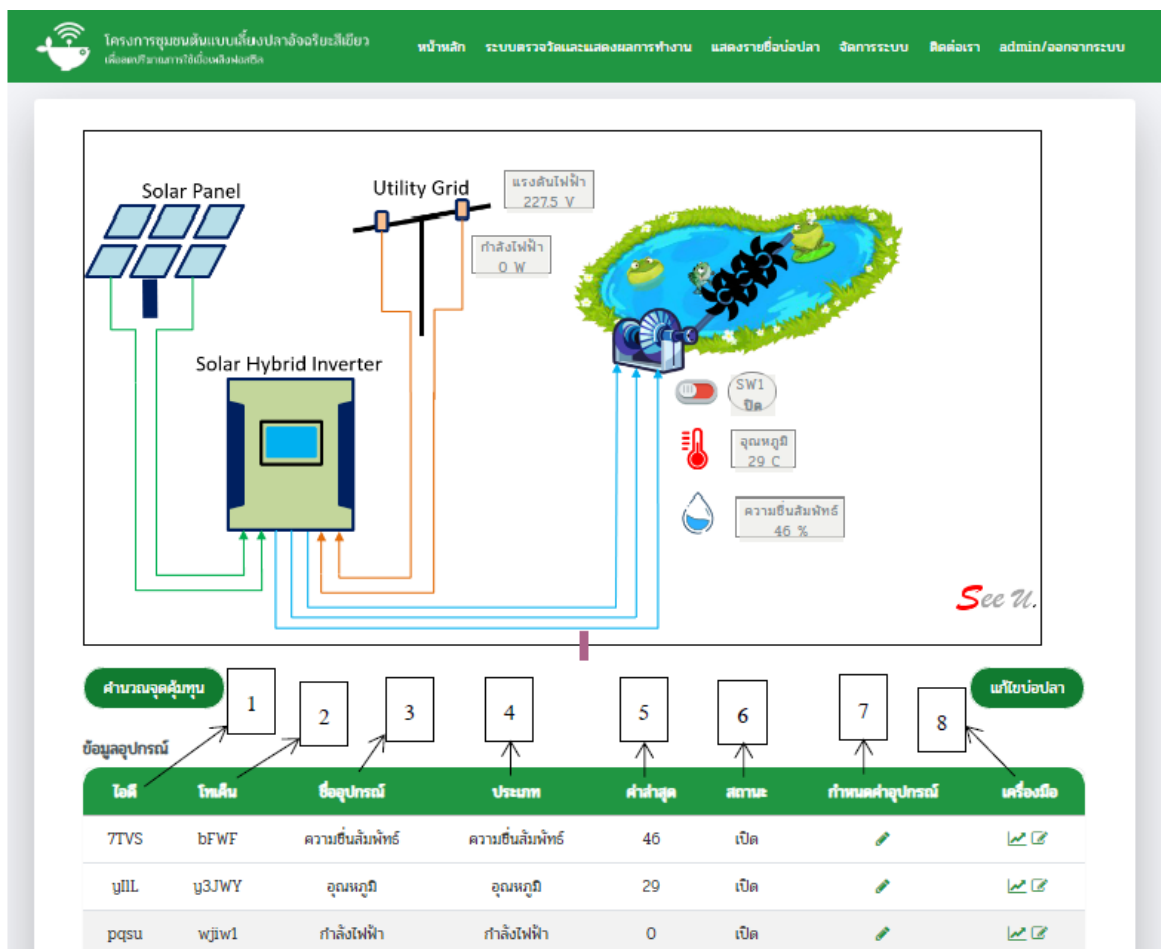
ยินดีดีต้องรับรู้ SEE YOU BOT, คุณสามารถบริหารจัดการบ่อปลา

☒ จดจำฉันไว้ในระบบ

ลงชื่อเข้าใช้

ภาพที่ 8 หน้าต่าง Login บน web browser

Figure 8 Login on web browser

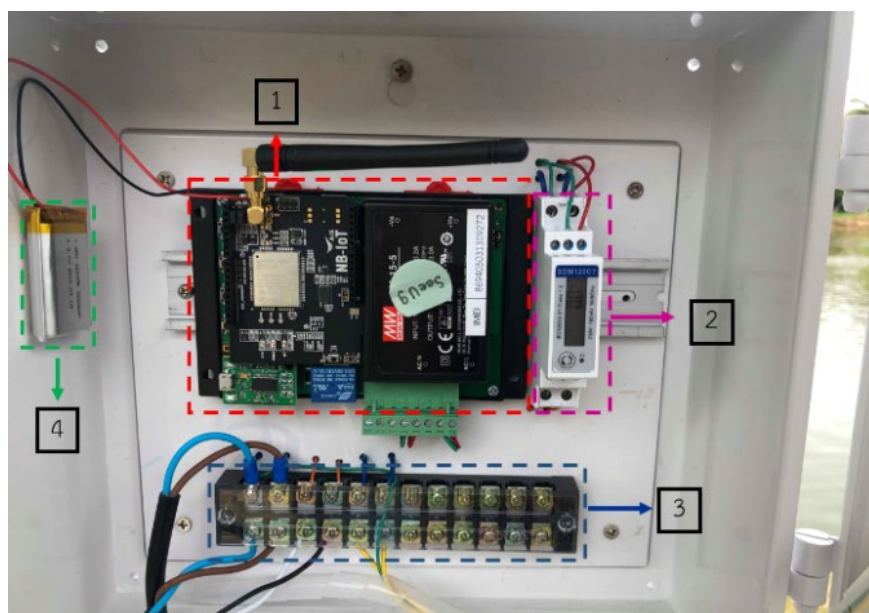


ภาพที่ 9 หน้าต่างเว็บไซต์แสดงข้อมูลบ่อเลี้ยงปลา

Figure 9 Fishpond information on website displaying

2. ระบบตรวจวัดค่าพลังงานทางไฟฟ้า

ระบบตรวจวัดฯ มีส่วนประกอบดังภาพที่ 10 (Figure 10) มีส่วนประกอบต่าง ๆ ตามหมายเลข ดังนี้ หมายเลข 1 Prototype Nb board เพื่ออ่านค่าที่ได้ส่งผ่านเครือข่าย NB-IoT ไปยังเว็บไซต์ www.seeyoubot.com (ภาพที่ 9 (Figure 9)) หมายเลข 2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า SDM120CT ใช้รูปแบบการสื่อสารแบบ Modbus RTU มี current transform ขนาด 15 A วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถวัดกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ส่วนหมายเลข 3 Terminal ซึ่งแหล่งเชื่อมต่อพลังงานของอุปกรณ์ภายในตู้จะใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน และหมายเลข 4 แบตเตอรี่ขณะแจ้งเตือนตอนไฟดับ

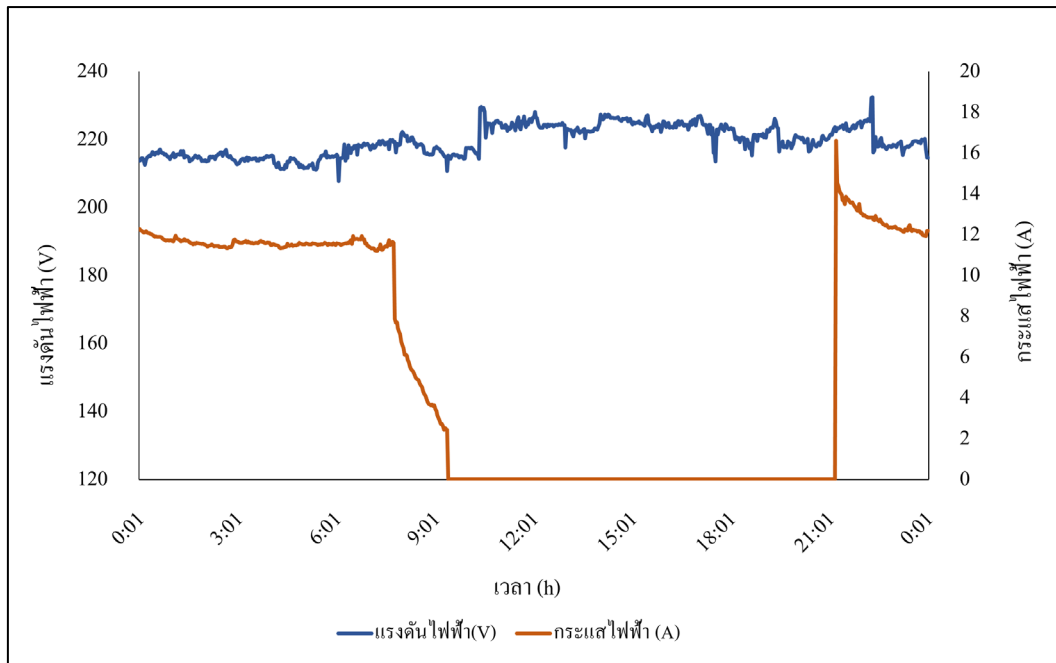


ภาพที่ 10 ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

Figure 10 Energy consumption measurement system

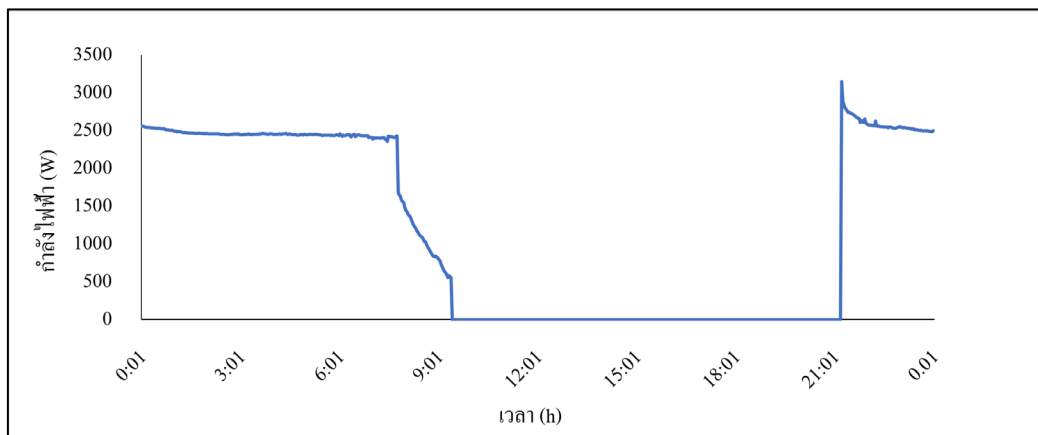
2.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

แบ่งเป็นการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (ภาพที่ 11 (Figure 11)) ไม่พบความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้า Thapphadung (2019) กล่าวว่าแรงดันไฟฟ้าผิดปกติหรือไฟตกจะอยู่ในช่วงบวกลบ 10% ของค่าปกติ และในส่วนของการกระแสไฟฟ้าพบว่า เป็นไปตามตารางการเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศของเกษตรกร ที่ใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะที่กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้ผลสอดคล้องและเป็นไปตามแนวทางของกระแสไฟฟ้า (ภาพที่ 12 (Figure 12))



ภาพที่ 11 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของกริด

Figure 11 Voltage and current of utility grid

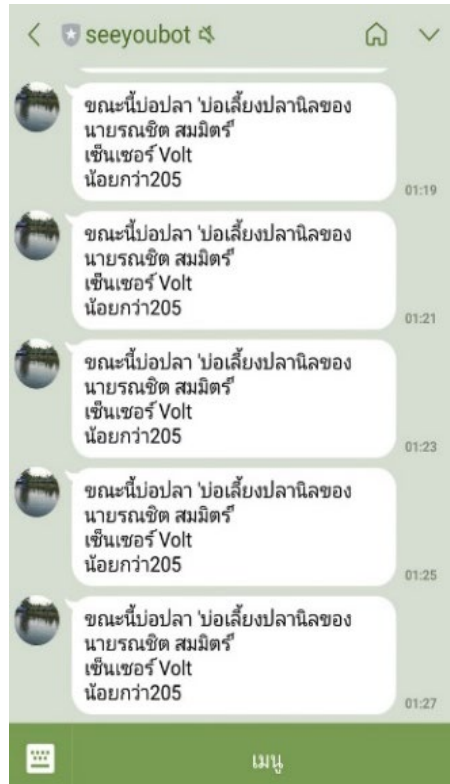


ภาพที่ 12 กำลังไฟฟ้า

Figure 12 Power of utility grid

3. ผลการแจ้งเตือนของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ทดสอบการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าดับที่อาจเกิดขึ้นได้ แจ้งเตือนผ่านแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Line โดยในที่นี้กำหนดให้มีการแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205 V ดังภาพ 13 (Figure 13) แสดงจากการแจ้งเตือนไปยังเกษตรกรพบว่ามีการแจ้งเตือนกว่า 230 ครั้ง และเกิดไฟฟ้าดับ 3 ครั้ง ในระยะเวลา 1 เดือน (กรกฎาคม 2562)



ภาพที่ 13 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าค่าน้อยกว่า 205V

Figure 13 Notification of voltage drop

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ DO ขณะเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ

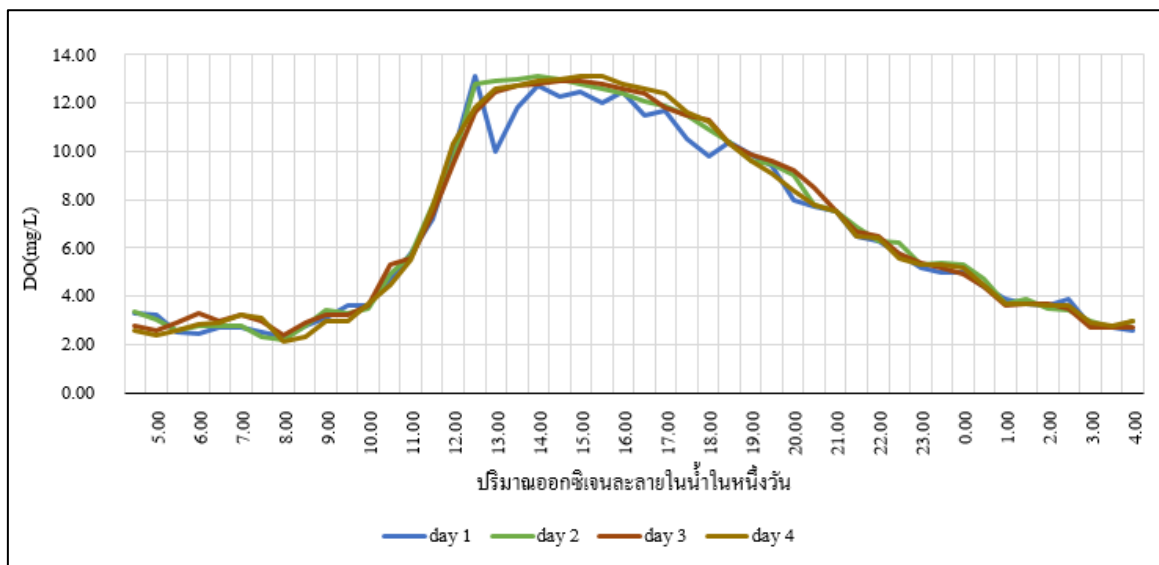
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เกิดขึ้นในช่วงบ่าย มากที่สุดเพราะเกิดจากแสงเคราะห์แสงของแพลงตอน โดยมีการเก็บค่าในรอบวันที่มีอากาศปลอดโปร่งมีแสงแดด ทั้งในรูปแบบการปิดเครื่องเติมอากาศและเปิดเครื่องเติมอากาศ โดยตรวจวัดจำนวน 4 จุด จำนวน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาเฉลี่ยหาค่า มีการเก็บค่าทุก ๆ 30 นาที ขณะเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศจะได้ DO คือ 12.45 mg/L และ 9.2 mg/L ที่จุดตรวจวัดระยะห่างจากหัวทราย 2 m. และลึกจากระดับผิวน้ำ 1 m. เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับปริมาณ DO มากที่สุดและมีปลาชุกชุมเพราะปริมาณ DO จะลดลงตามระยะห่างจากเครื่องเติมที่ห่างออกไปและความลึกที่ลึกจากระดับผิวน้ำพบว่า โดยทั่วไปแล้วพฤติกรรมของปลาที่จะมาอาศัยบริเวณใกล้กับเครื่องเติมอากาศ ดังนั้นสามารถเพิ่มจุดตรวจวัดได้ในบริเวณที่ปลาอาศัยอยู่น้อยเพราะระยะห่างจากเครื่องเติมอากาศไกลออกไปปริมาณ DO จะลดลงตามระยะทาง (อ้างอิงจาก Ratchanwasin & Aruxvanit, 2019)

5. การประเมินปริมาณออกซิเจนละลายจากระบบตรวจวัด

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างวันดังภาพที่ 14 (Figure 14) พบว่า ปริมาณออกซิเจนในบ่อของแต่ละวันจะมีค่าน้อยกว่า 3 mg/L ในช่วงเวลาประมาณ 8.00 น จากนั้นจะมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีค่าสูงสุดเวลาประมาณ 12.00 น. จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง ในวันที่ 2 3 และ 4 นั้น จะมีค่า DO ที่มีแนวโน้มแบบเดียวกันแต่ในวันที่ 1 (เส้นสีฟ้า) จะมีค่า DO ลดลงในเวลา 12.30 น. เกิด

จากสภาพอากาศฝนตกทำให้มีเมฆมืดครึ้มบดบังแสงแดดทำให้ปริมาณ DO ที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงมีค่าลดลงด้วย หลังจากนั้นแดดออกตามปกติแพลงก์ตอนได้รับแสงแดดอีกครั้งทำให้เกิดการผลิตออกซิเจนเพิ่มขึ้นมาอีกจะเห็นได้ว่าหลังเวลา 13.00 น. ค่า DO เริ่มสูงขึ้นอีกครั้งและลดลงจนถึงช่วงเวลากลางคืน จึงมีการเปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณ DO เมื่อมีปริมาณ DO น้อยกว่า 4 mg/L สาเหตุที่เปิดเครื่องเติมอากาศเมื่อ DO น้อยกว่า 4 mg/L เพราะว่ป้องกันการเน่าค้ำของปลาจากปริมาณ DO น้อยกว่าที่กำหนดเนื่องจากในเวลากลางคืนแพลงก์ตอนไม่สามารถผลิตออกซิเจนจากแสงแดดได้หากปลาตายส่งผลกระทบต่อเกษตรกรจะสูญเสียรายได้

โดยทั่วไปแล้วปริมาณ DO จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพอากาศซึ่งแต่ละสภาพอากาศจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันรวมไปถึงความเข้มแสงที่ส่องไปยังบ่อที่ช่วงเวลาที่ต่างกัน Sriyasak et al. (2014) กล่าวว่าเมื่อแสงส่องลงสู่ผิวน้ำมากทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำโดยน้ำชั้นบนจะมีอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนสูง ในขณะที่น้ำชั้นล่างที่แสงส่องไม่ถึงจะมีอุณหภูมิต่ำและปริมาณออกซิเจนต่ำ เมื่อฤดูฝนความเย็นของน้ำฝนทำให้น้ำชั้นบนมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าน้ำด้านล่าง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลง ซึ่งมีความต้องการออกซิเจนสูงเพราะปริมาณแสงลดลงเนื่องจากเมฆบดบังแสงอาทิตย์ทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเพื่อผลิตออกซิเจนลดลงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้ปลาหนาแน่น และ Sriyasak et al. (2015) ยังได้ตรวจวัด ค่า DO ในแต่ละช่วงพบว่าในฤดูร้อนมีค่า DO สูงสุด รองลงมาฤดูหนาวและฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนในตอนกลางวันตกหนักในฤดูฝน ในวันที่มีเมฆปกคลุมหนาแน่น ความเข้มของแสงน้อยส่งผลต่อออกซิเจนในบ่อ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในเวลากลางคืนลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่มีเมฆมากและวันที่ฝนตก โดยที่ระดับ DO ยังคงต่ำอย่างต่อเนื่องเพราะมีความหนาแน่นในการเลี้ยงปลาสูง ค่า DO เฉลี่ยต่ำสุดฤดูฝนซึ่งมีค่าน้อยกว่าฤดูหนาวและฤดูร้อน ด้วยเหตุนี้สภาพอากาศส่งผลทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้แตกต่างกัน



ภาพที่ 14 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำภายในบ่อระยะเวลา 1 วัน

Figure 14 Dissolved oxygen level in fishpond throughout the day

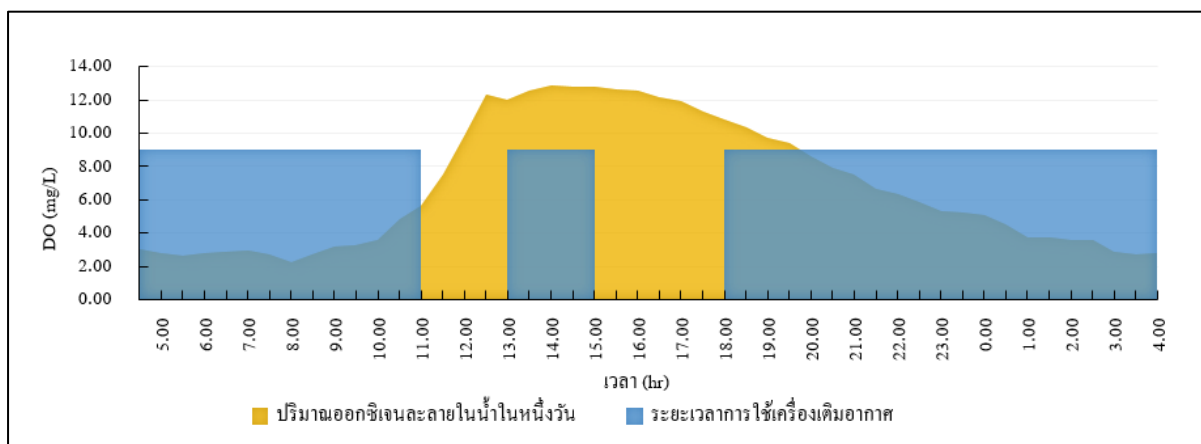
6. ผลการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

โดยผลการตรวจวัดตามรอบการเปิดอากาศแบบเดิมของเกษตรกรซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เนื่องจากได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบกริดในช่วงกลาง เกษตรกรจึงเปิดเครื่องเติมอากาศเพิ่มออกซิเจนให้สะสมในช่วงเวลานี้ แสดงดังภาพที่ 15 (Figure 15) มีการเก็บข้อมูลตัวอย่างการใช้งานตลอดวัน (ตารางที่ 2 (Table 2)) พบว่ามีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.20 kW หากวิเคราะห์รายละเอียดจะพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูงสุดของวันคือ 12.7 mg/L ในบางช่วงยังมีค่าเกินกว่าค่าขั้นต่ำที่ปลาจะอาศัยอยู่ได้คือช่วง 4 mg/L ดังนั้นหากมีการจัดการเวลาของการเปิดเครื่องเติมอากาศใหม่เป็นดังภาพที่ 16 (Figure 16) คือ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนเวลาการเปิดเครื่องเติมอากาศจะสามารถลดการใช้พลังงานในระบบเติมอากาศลงได้

ตารางที่ 2. ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องเติมอากาศ

Table 2. Power usage of aerator

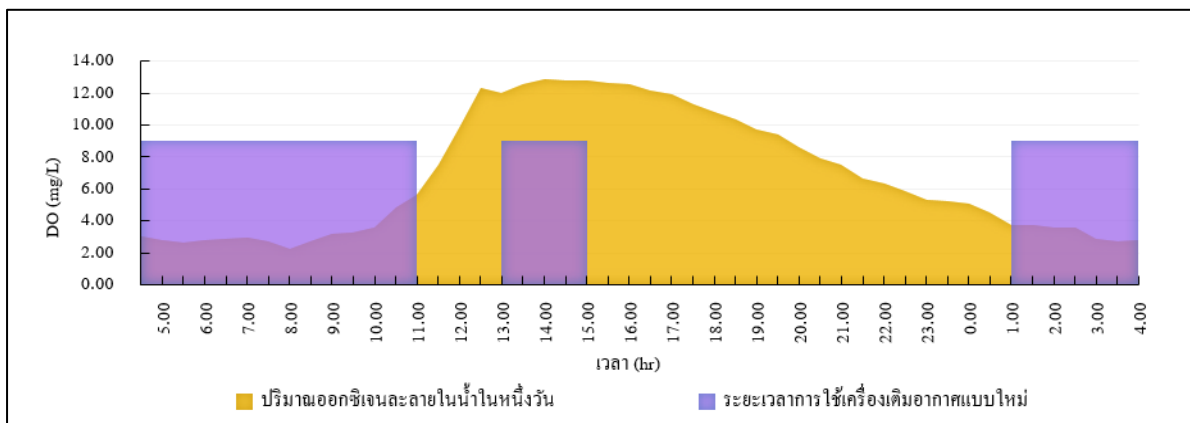
วัน/เดือน/ปี Day/Month/ Year	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในรอบวัน (Maximum average electrical power over a 24-hour period)	วัน / เดือน / ปี Day/Month/ Year	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในรอบวัน (Maximum average electrical power over a 24-hour period)
	(kW)		(kW)
1/7/2019	2.55	7/7/2019	2.13
2/7/2019	2.44	8/7/2019	2.16
3/7/2019	1.94	9/7/2019	1.87
4/7/2019	2.06	10/7/2019	2.21
5/7/2019	2.11	11/7/2019	2.52
6/7/2019	1.88	12/7/2019	2.55
เฉลี่ย	2.20		



ภาพที่ 15 ช่วงเวลาที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบเดิม

Figure 15 Traditional timing of aerator usage**7. การวิเคราะห์ผลการประหยัด**

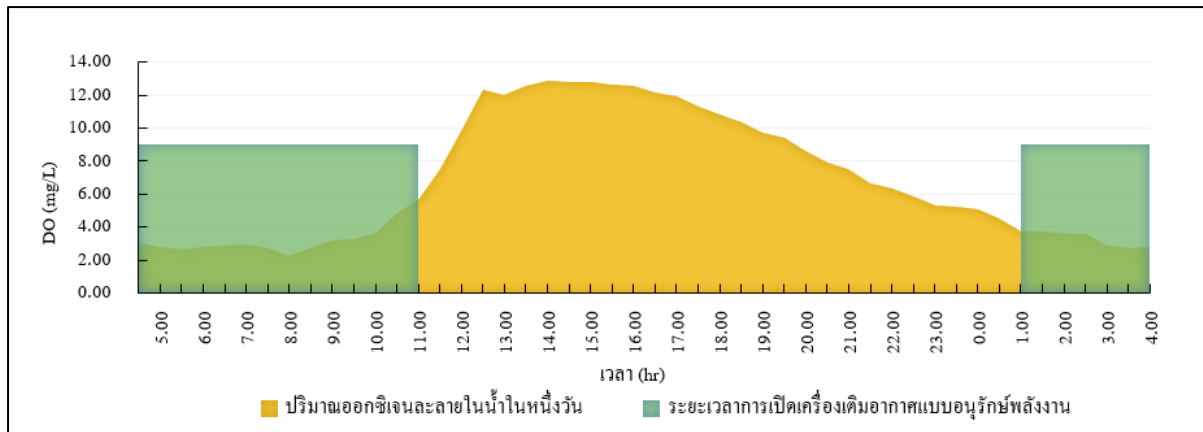
ในการประหยัดพลังงานจะนำระยะเวลาการเปิดเครื่องเดิมอากาศแบบเดิมเทียบกับการเปิดเครื่องเดิมอากาศเวลาใหม่จากภาพที่ 16 (Figure 16) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรม的开ใช้ระบบเครื่องเดิมอากาศของเกษตรกรนั้นจะมีอยู่ 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 จะเริ่มเปิดตั้งแต่ 18.00-11.00 น. ของวันถัดไป ช่วงที่ 2 จะเริ่มเปิดตั้งแต่ 13.00- 15.00 น. ในบางช่วงเวลาเราจะพบว่าค่า DO ภายในบ่อนั้นยังอยู่ในจุดที่สูงกว่าค่าวิกฤต หากเปิดเครื่องเดิมอากาศจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปอย่างสิ้นเปลือง

**ภาพที่ 16** รูปแบบการทำงานที่ 1 ของเครื่องเดิมอากาศ**Figure 16** Model I of aerator usage

เมื่อทำการเปิดเครื่องเดิมอากาศในช่วงเวลาใหม่ (ภาพที่ 16 (Figure 16)) ที่ใช้ค่าวิกฤตและความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในบ่อมาเป็นเกณฑ์พิจารณาช่วงเวลาใหม่จากเดิมที่มีการเปิดเครื่องเดิมอากาศในช่วง 2 นั้นได้ทำการลดเวลาการเปิดเครื่องเดิมอากาศที่เดิมที่เครื่องเดิมอากาศเปิดที่ 18.00-11.00 น. ของวันถัดไปได้

ปรับเปลี่ยนเวลาเปิดเป็นเวลาเปิดจาก 18.00 น. เป็น 01.00 น. เนื่องจากที่ 18.00 น. ยังมีปริมาณ DO ที่เพียงพอต่อการใช้ชีวิตของสัตว์น้ำ จนกระทั่งปริมาณ DO ลดลงจนถึงค่าวิกฤตที่ 4 mg/L ในเวลา 01.00 น. จะเริ่มเปิดเครื่องเดิมอากาศ

เมื่อพิจารณาการลดระยะเวลาการเปิดเครื่องเดิมอากาศโดยการปิดเครื่องเดิมอากาศตั้งแต่วันที่ 18.00-01.00 น. ลดชั่วโมงการเปิดไปทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง/วัน (ภาพที่ 16 (Figure 16)) เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ถึง 15.4 kWh/วัน (ระยะการใช้ไฟฟ้า 2 เดือนหรือ 60 วัน) เมื่อเปลี่ยนมาเปิดเครื่องเดิมอากาศด้วยเวลาใหม่ทำให้เกษตรกรสามารถประหยัดเงินไปได้ถึง 9,702 บาท ซึ่งคิดจากสมการที่ 2 ต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ 1 รอบ (1 รอบคือระยะเวลาการเพาะเลี้ยงคือประมาณ 4 เดือน) หากคิดเป็นร้อยละของการประหยัดพลังงานจากการเดิมอากาศแบบเดิมคือร้อยละ 38.88 ดังสมการที่ 3



ภาพที่ 17 รูปแบบการทำงานที่ 2 ของเครื่องเติมอากาศ

Figure 17 Model II of aerator usage

สำหรับการอนุรักษ์การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศโดยเน้นเรื่องการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ (ภาพที่ 17 (Figure 17)) โดยจะใช้ปริมาณพลังงานที่สามารถลดได้สูงสุด และค่าที่จุดวิกฤตมาเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณาเวลาการเปิด-ปิดเครื่อง ซึ่งได้ลดระยะเวลาการเปิดเครื่องเติมอากาศเดิมจากที่เปิด 2 ช่วงคือเวลา 18.00-01.00 น. ของวันถัดไป และ 13.00-15.00 น. ทำให้เวลาเปิดเครื่องเติมอากาศเหลือเพียงช่วงเวลาเดียวคือ 01.00 น. ถึง 11.00 น. ของวันถัดไปแทน เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวจะเห็นว่าค่า DO จะเข้าใกล้จุดวิกฤตที่เวลา 01.00 น. จึงเลื่อนเวลาเปิดระบบเครื่องเติมอากาศมาเป็นช่วงเวลาดังกล่าว หากสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวได้จะประหยัดพลังงานทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง/วัน เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้จะสามารถประหยัดได้ 19.8 kWh/วัน (ระยะการใช้ไฟฟ้า 2 เดือนหรือ 60 วัน) ทำให้เกษตรกรประหยัดเงินไปได้ถึง 12,474 บาท ซึ่งคิดจากสมการที่ 2 ต่อการเพาะเลี้ยงปลา 1 รอบ (1 รอบ ระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน) ซึ่งถ้าคิดเป็นร้อยละของการประหยัดพลังงานจากแบบเดิมคือร้อยละ 50 (คิดจากสมการที่ 3) จากการที่ไม่เปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลาบ่าย ๆ ไม่ค่อยส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมากนัก เพราะค่าปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในการปรับเปลี่ยนระยะเวลาการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศนี้ผู้วิจัยได้ใช้ค่า DO ที่ตรวจวัดได้เป็นเกณฑ์สำหรับการแจ้งเตือน ในกรณีที่ค่า DO ต่ำมากหากปลาตายสามารถทำให้เกษตรกรสูญเสียรายได้แต่ในระหว่างทดสอบนี้ไม่ได้เกิดการสูญเสียแต่อย่างใด

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ระบบตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศและแจ้งเตือน จากการใช้เครื่องเติมอากาศของเกษตรกรที่เปิดเวลาต่าง ๆ โดยไม่ได้คำนึงถึงปริมาณ DO ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าสูง หากปรับเปลี่ยนเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศเฉพาะที่ปริมาณ DO ลดลงจะทำให้ประหยัดการใช้พลังงานมากขึ้น จากการทดลองตรวจวัดทั้ง 4 จุดที่ความลึกจากระดับผิวน้ำ 1 m. ระยะห่างจากแอร์สโตน 2 m. พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลง DO ที่แตกต่างกันมาก

สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณ DO และปลาส่วนใหญ่มักจะมารวมกันแถวบริเวณแอร์สโตนเพื่อรับออกซิเจน จากการวิเคราะห์ควรเปิดเครื่องเติมอากาศเมื่อมีปริมาณ DO น้อยกว่า 4 mg/L เพื่อป้องกันปลาขาดออกซิเจนในน้ำสามารถลดการเติมอากาศได้ 7 ชม./วัน และจากการพัฒนาระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศซึ่งในบ่อเพาะเลี้ยงได้มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากระบบ solar hybrid และไฟฟ้าพื้นฐาน ในตอนกลางวันหากเปิดเครื่องเติมอากาศสามารถใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์ได้แต่ในเวลากลางคืนต้องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานเท่านั้น โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด SDM120 วัดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า มีค่าสอดคล้องกับการใช้เครื่องเติมอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานได้ดังนี้ แบบ 1 มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ 2 ช่วง คือกลางคืน และกลางวัน (2 ชม.) ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 15.4 kWh/วัน หรือ 3,234 บาท คิดเป็น 38.89 % ต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง (มีการใช้ไฟฟ้า 2 เดือน) หากมุ่งเน้นการอนุรักษ์พลังงานเป็นหลักคือแบบ 2 ที่ลดการเปิดเครื่องเติมอากาศช่วงเวลากลางวัน (9 ชม./วัน) ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 19.8 kWh/วัน หรือ 4,158 บาท คิดเป็น 50% ต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง (มีการใช้ไฟฟ้า 2 เดือน) และเมื่อมีการใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานน้อยลง หากพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอทำให้ดึงพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้มากขึ้น ซึ่งในรอบการเพาะเลี้ยงนี้ได้มีแจ้งเตือนจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่เครื่องเติมอากาศใช้งานมีการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าต่ำ 230 ครั้ง และไฟดับ 3 ครั้ง การแจ้งเตือนนี้ทำให้เกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาได้ทันเวลา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล วิทยาลัยชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ นายภูรินทร์ สายตรง นายภาณุพงษ์ มีชัย นายชัยวัฒน์ รัตนชาญวณิน และนายศิริชัช อารักษ์วณิช ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Claude, E. B., & Frank, R. L. (1979). *Water Quality Management in Pond Fish Culture*. International Center for Aquaculture, Auburn University, USA.
- Deseada Gutierrez Pascual, M. (2012). *Indoor location systems based on zigbee networks*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4300.1126>
- Harun, Z., Reda, E., & Hashim, H. (2018). Real time fishpond monitoring and automation using Arduino. In *6th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications 2017, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pp 1-11). Kuching, Sarawak, Malaysia. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/340/1/012014>
- Mahamai, P., Sankwan, S., & Phusinak, Y. (2014). An automatic reporting system of dissolved oxygen for surface aerator. (In Thai). *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 7(2), 29-41.
- Mukda, P. & Chaiwong, K. (2020). The suitable off-grid solar energy generator system with water pump. *Agriculture and Technology Journal*, 1(2), 123-132.

- Ratchanwasin, C. & Aruxvanit, S. (2019). *Estimation of the dissolved oxygen monitoring system via the NB IoT technology for aquaculture pond*. (In Thai). B.S. thesis, Maejo University, Thailand.
- Robert, S. (1998). *Water quality considerations for aquaculture*. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/aqua.pdf>
- Santoshkumar, H., & Hiremath, V. (2012). Design and development of wireless sensor network system to monitor parameters influencing freshwater fishes. *International Journal of Computer Science and Engineering*, 4, 1096-1103.
- Saraubon, K. (2018). *Develop IoT on Arduino and Raspberry Pi website*. (In Thai). Intermedia.
- Sriyasak, P., Chitmanat, C., Whangchai, N., Promya, J., & Lebel, L. (2015). Effect of water de-stratification on dissolved oxygen and ammonia in tilapia ponds in Northern Thailand. *Int Aquat Res*, 7, 287–299.
<https://doi.org/10.1007/s40071-015-0113-y>
- Sriyasak, P., Whangchai, N., Chitmanat, C., Promya, J., & Lebel, L. (2014). Impacts of climate and season on water quality in aquaculture ponds. *KKU Research Journal*, 19(5), 743-751.
- Thamnu, S. (2018). *Smart environmental monitoring and aerator control system by sharing energy source in an aquatic animal pond*. (In Thai). M.S. thesis, Maejo University, Thailand.
- Thapphadung, Y. (2019). *Effects on the motor when voltage and frequency change*. (In Thai).
<https://www.pea.co.th/esd/electrical-engineering-articles/ArtMID/13545/ArticleID/113902/ผลกระทบที่มีผลต่อมอเตอร์เมื่อแรงดันไฟฟ้าและความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง>
- Sukrismon, Y., Aripriharta, Hidayatullah, N., Mufti, N., Handayani, A. N., & Horng, G. J., (2019). Smart fishpond for economic growing in catfish farming. In *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)* (pp 49-53). <https://doi.org/10.1109/ICOMITEE.2019.8921233>
- Zanaj, E., Caso, G., De Nardis, L., Mohammadpour, A., Alay, Ö., & Di Benedetto, M-G. (2021). Energy efficiency in short and wide-area IoT technologies—A Survey. *Technologies*, 9(1), 22.
<https://doi.org/10.3390/technologies9010022>
- Zhang, M., Li, D., Wang, L., Ma, D., & Ding, Q. (2011). Design and development of water quality monitoring system based on wireless sensor network in aquaculture. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV: CCTA 2010*, 347, 629-641. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18369-0_76
- Zougmore, T.W., Malo, S., Kagembega, F., & Toguyeni, A. (2018). Low cost IoT solutions for agricultures fish farmers in Africa: A case study from Burkina Faso. In *2018 1st International Conference on Smart Cities and Communities (SCCIC)* (pp 1-7). <https://doi.org/10.1109/SCCIC.2018.8584549>