# ระบบติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที

วัชรากร ชิณวงษ์รอด[1*] และ ประเสริฐศักดิ์ อู่อรุณ[1]

[1]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน, นครปฐม
* watcharakorn.ch@ku.th

**บทคัดย่อ**

ระบบติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอทีมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้งได้โดยอาศัยอุปกรณ์ไอโอที เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงกุ้งมีความสำคัญอย่างมาก หากสภาพแวดล้อมเกิดความไม่เหมาะสมจะทำให้เกษตรกรเกิดความเสี่ยงต่อผลผลิตที่จะได้รับ ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้พัฒนาระบบติดตามสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้งขึ้น เพื่อให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ตลอดเวลาผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งค่าสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการติดตามประกอบด้วย ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ โดยระบบที่พัฒนาประกอบด้วย บอร์ดควบคุมอุปกรณ์และเซ็นเซอร์วัดค่าต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถตรวจสอบได้ทั้ง แบบเรียลไทม์และแบบย้อนหลัง 24 ชั่วโมง จากผลการทดสอบพบว่าระบบที่พัฒนาสามารถช่วยให้เกษตรกรจัดการสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

**คำสำคัญ:** ระบบไอโอที ระบบการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง เรียลไทม์

# The Shrimp Pond Monitoring System using IoT Devices

Watcharakorn Chinwongrod[1*] and Prasertsak U-Aroon[1]

[1]Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Liberal Arts and Science,
Kasetsart University, Kamphangsaen, Nakhon Pathom
* watcharakorn.ch@ku.th

**Abstract**

The Shrimp Pond Monitoring System using IoT devices is intended to enable users to monitor the shrimp pond environment by using Internet of Things equipment due to the environment inside the shrimp pond, which directly affects the products. If the environment is not suitable, it will put farmers at risk that will adversely affect the yield to be obtained. Therefore, the Shrimp Pond Monitoring System was developed so that farmers can monitor the environment inside the shrimp pond through mobile devices. The necessary environment values include dissolved oxygen in water, acidity and alkalinity of water, water temperature, air temperature, and humidity. The developed system consists of a controller board and various measurement sensors which users can check both Real-time and 24-hour retrospectives. The test results shown that the developed system can help farmers manage the shrimp pond environment effectively.

**Keywords:** Internet of Things, Shrimp Pond Management System, Realtime

## 1. บทนำ

เกษตรกรที่จะทำการเลี้ยงกุ้งนั้น จำเป็นจะต้องมีความพร้อมในเรื่องของสถานที่ เช่น พื้นบ่อต้องสะอาด น้ำเค็มต้องถึงปริมาตรที่กำหนด การกำจัดพาหะและศัตรูของลูกกุ้ง โดยต้องใช้อวนตาถี่ในการคัดกรอง และสิ่งที่สำคัญคือลูกกุ้งจะต้องมีคุณภาพดี เช่น ต้องปลอดเชื้อ SPF (Specific Pathogen Free) การต้านเชื้อ SPR (Specific Pathogen Resistance) หรือสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมีความน่าเชื่อถือแต่ทั้งนี้เกษตรกรควรตรวจสอบเอกสารยืนยันที่เชื่อถือได้ก่อนตัดสินใจลงทุน ปัจจัยสำคัญของการเลี้ยงกุ้งคือการดูแลสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงตลอดช่วงเวลาไปจนถึงขั้นตอนเก็บผลผลิต อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการดูแลบ่อเลี้ยง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องให้ออกซิเจนซึ่งมีความจำเป็นต่อการหายใจของกุ้ง จะมีผลต่อการเผาพลาญอาหารเพื่อให้พลังงาน ช่วยสร้างการเจริญเติบโต และปรับระดับออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งไม่ควรต่ำกว่า 5 มก./ล. ถ้าหากขาดออกซิเจนละลายในน้ำ อาจจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้าลงและสูญเสียผลผลิต ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 จะเป็นช่วงที่กุ้งสามารถกินอาหารได้ดีที่สุด [1-2] ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง โดยภายในบ่อเลี้ยงกุ้งมีสภาพความเป็นด่างสูงกว่าปกติ จะทำให้กุ้งโตช้า ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลอกคราบของกุ้ง และทำให้เกิดปัญหาการกินกันเอง เพราะกุ้งไม่สามารถลอกคราบได้ในเวลาที่เหมาะสม และที่สำคัญคือเกิดพืชในน้ำ ได้แก่ สาหร่าย ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้สภาพแวดล้อมภายในบ่อกุ้งเน่า อีกทั้งยัง

ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำน้อยตามไปด้วย ทำให้เกิดความไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้ง สภาพเช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และหากเกษตรกรไม่ได้ติดตามหรือไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อาจทำให้การแก้ไขไม่ทันเวลา จะส่งผลให้เกิดความสูญเสีย หรือได้ผลผลิตที่ไม่มีคุณภาพ ปัจจุบันเทคโนโลยีสมัยใหม่ เริ่มมีบทบาทต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง โดยมีการใช้อุปกรณ์ช่วยตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ่อกุ้ง คือ กรด-ด่าง ออกซิเจนละลายในน้ำ ความเค็ม การนำไฟฟ้าของน้ำ ความขุ่น และความสกปรกของน้ำ ซึ่งจะช่วยรายงานผลสภาพแวดล้อมภายในบ่อกุ้งได้ เพื่อเกษตรกรจะได้แก้ไขได้ทันเวลาหากเกิดความผิดปกติ ทั้งนี้หากเราสามารถสร้างระบบที่สามารถจัดการได้แบบอัตโนมัติ โดยเมื่อสภาพแวดล้อมเกิดความผิดปกติ ระบบควรจัดการดูแลโดยอาศัยอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีสมัยใหม่จัดการปัญหานั้น ๆ ได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องรอให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนในการแก้ไขปัญหานั้น ๆ ตลอดเวลา

**1.1 วัตถุประสงค์**

1.1.1 เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบการติดตามสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที โดยมีแอพพลิเคชั่นบนอุปกรณ์เคลื่อนที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ สามารถสั่ง เปิดและปิดมอเตอร์ไฟฟ้าและแสดงผลอุณหภูมิอากาศ ความชื้น ออกซิเจนละลายในน้ำ ค่ากรด-ด่างของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำได้ ครอบคลุมทั่วพื้นที่ของบ่อเลี้ยงเพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจ หรือตามความต้องการของเกษตรกรในการกำหนดการใช้งาน โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงาน และความสะดวกสบายในการเลี้ยงกุ้งของเกษตรกร

1.1.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบต้นแบบการติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที

**2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

**2.1 อุปกรณ์ที่ใช้**

**ภาพที่ 1** บอร์ดควบคุม NodeMCU ESP8266 V3

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถโปรแกรมได้ มีโมดูล WiFi ทีสามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย และมีส่วนของขาที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ได้มากมาย รวมทั้งมีราคาถูก จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางในการควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ

**ภาพที่ 2** อุปกรณ์ DS18B20

เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ สามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียส สามารถนำเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน IoT หรือสถานีวัดสภาพอากาศได้ ทำงานคล้ายกับเซนเซอร์ DHT11/DHT22 ข้อดีของ DS18B20 Temperature Sensor คือมีรูปแบบแพ็คเกจของตัวเซนเซอร์หลากหลายรูปแบบ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง

**ภาพที่ 3** อุปกรณ์ Analog Dissolved Oxygen Sensor (DO)

เซนเซอร์วัดระดับออกซิเจนในน้ำ ทำงานโดยใช้หลักการของไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ภายในหัววัดประกอบด้วย ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเยื่อหุ้มหัววัด ( Membrane) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเลือกให้เฉพาะออกซิเจนผ่านได้ โดย Polarographic Cell ใช้แรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อช่วยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับเซลล์จากแบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนัก และดูแลรักษาได้ง่าย เพียงหมั่นเติมน้ำยาอิเล็คโทรไลต์ ก็จะสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน

**ภาพที่ 4** อุปกรณ์รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ จึงนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมการปิด-เปิดวงจรต่าง ๆ เช่น การใช้คำสั่งเปิด-ปิด จะส่งค่า เป็น Hight(1), Low(0) เป็นต้น

**ภาพที่ 5** อุปกรณ์ DHT22

เป็นเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่มีความแม่นยำสูงในการวัด สามารถวัดได้ในย่านอุณหภูมิ ตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียส ถึง +80 องศาเซลเซียส ความแม่นยำน้อยกว่า +-0.5 เซลเซียส และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในย่าน 0-100%RH ความแม่นยำ +-2-5%RH สามารถวัดได้ละเอียดในระดับทศนิยม 1 ตำแหน่ง (0.1) ใช้งานได้นานและทนทาน เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง

**ภาพที่ 6** อุปกรณ์ Analog PH Sensor

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้วัดไฮโดรเจนไอออนในสารละลายโดยระบุความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเป็นค่าความเป็นกรดหรือด่างซึ่งแสดงเป็นค่า pH โดย pH meter จะวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) ระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรด ใช้เพื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือวัดกิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายกล่าวคือเครื่องมือนี้จะวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ระดับของกิจกรรมไฮโดรเจนไอออนในท้ายที่สุดจะแสดงเป็นระดับ pH ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1 ถึง 14 การวัดค่า pH นี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราส่วนของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน

**2.2 โปรแกรมและภาษาคอมพิวเตอร์**

**2.2.1 Firebase**

ระบบโครงสร้างพื้นฐาน หรือสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นโดย Google เพื่อการพัฒนางานเกี่ยวกับโมบายแอพพลิเคชันและเว็ปแอพพลิเคชัน สามารถรองรับภาษาคอมพิวเตอร์ได้หลากหลาย รวมทั้งรองรับระบบปฏิบัติการได้ทั้ง MacOS, IOS, Windows, Linux และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีบริการเพิ่มเติมอีกมากมายเพื่อให้ผู้พัฒนาสามารถชีร่วมกับงานของตนเอง เช่น ระบบการวิเคราะห์ (Google Analytics) ระบบการระบุตัวตน (Google Authentication) ระบบการเก็บข้อมูล (Realtime Database) ระบบการรับส่งข้อความ (Google Messaging) และอื่น ๆ เป็นต้น

**2.2.2 Chart.JS**

จาวาสคริปต์ ไลบรารี่ที่เป็นโอเพ่นซอร์ส [3-4] ใช้สำหรับการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนภูมิต่าง ๆ โดยสามารถรองรับรูปแบบแผนภูมิได้ทั้งหมด 8 รูปแบบ เช่น แผนภูมิแท่ง แผนภูมิแบบเส้น แผนภูมิวงกลม และแผนภูมิเชิงพื้นที่ เป็นต้น สำหรับการสร้างแผนภูมิเพื่อรายงานข้อมูลในรูปแบบ ต่าง ๆ นั้นผู้พัฒนาสามารถดำเนินการผสมผสานไปกับภาษา HTML ได้

**2.2.3 Google Apps Script**

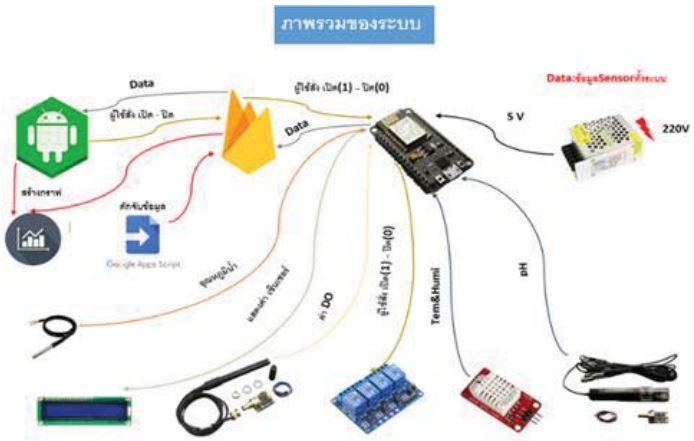
เป็นการสั่งงาน Google Apps โดยการเขียนโปรแกรม (ใช้พื้นฐานจาก JavaScript) ซึ่งการเขียน Google Apps Script นั้นช่วยให้เราสามารถใช้งาน Google Apps ในรูปแบบใหม่ๆ ได้หลากหลายมากขึ้น [5] เช่น สั่งให้ส่งอีเมลตามเวลาที่กำหนด หรือสั่งให้คำนวณค่าในตารางคำนวณ (Spreadsheet) ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้โดยอัตโนมัติ เป็นต้น

**3. ขั้นตอนการดำเนินงาน**

การพัฒนาระบบติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที ผู้ใช้สามารถตรวจเช็คค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ อุณหภูมิน้ำ ออกซิเจนละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ผ่านทางแอพพลิเคชั่นได้ โดยระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่พัฒนาโดยใช้ Ionic Framework ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ส่วนบันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ เก็บบันทึกด้วย Google Firebase Realtime Database และส่วนควบคุม-สั่งงานอุปกรณ์ไอโอทีผ่านเครือข่ายอิเทอร์เน็ตที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ต่าง ๆ พัฒนาบนบอร์ด ESP8266

การวัดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเลี้ยงกุ้งจะดำเนินการผ่านเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้กับบอร์ดควบคุม ได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ เซนเซอร์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งจะนำไปติดตั้งตามจุดต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความครอบคลุมตามสภาพของพื้นที่ โดยจะเชื่อมต่อด้วยเครือข่ายไร้สายภายในพื้นที่ผ่านไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลบนระบบคลาวด์ต่อไป

**3.1 แผนผังภาพรวมของระบบ (System Overview Diagram)**

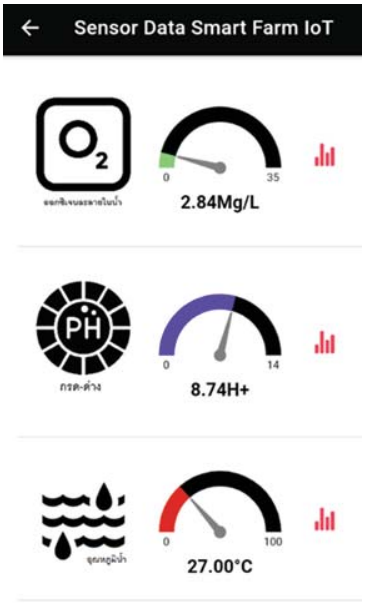



**ภาพที่ 7** แผนผังระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที

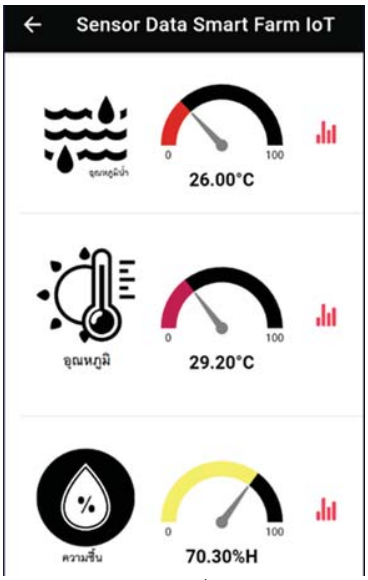
ในภาพที่ 7 แสดงถึงโครงสร้างของระบบโดยรวมที่ทำการเชื่อมต่อทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งบอร์ดควบคุม ESP8266 จะทำงานตลอดเวลา โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง ซึ่งจะรับค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เซ็นเซอร์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ โดยค่าต่าง ๆ จะถูกรวมรวมมายังบอร์ด ESP8266 และทำการปรับค่าให้ถูกต้องก่อนจะส่งค่าไปยัง Firebase Realtime Database เพื่อบันทึกต่อไป โดยค่าที่ถูกบันทึกนั้น จะมีการดักจับข้อมูลทุก ๆ 15 นาที โดยใช้ Google Apps Script เพื่อทำเป็น Log ในการใช้งานเพื่อการแสดงผลในรูปแบบของกราฟ บนแอพพลิเคชั่นแบบ Realtime ซึ่งกระบวนการในการบันทึกข้อมูลจะเริ่มตั้งแต่เที่ยงคืนของแต่ละวัน ไปจนถึง 24 นาฬิกาของวันถัดไป จากนั้นระบบจะทำการลบข้อมูลของวันเก่าออกและเริ่มดำเนินการในรอบวันใหม่ต่อไป

**3.2 ส่วนของการแสดงผลแบบเรียลไทม์**

การแสดงผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ซึ่งถูกบันทึกไว้บน Google Firebase Realtime database พัฒนาโดยใช้เครื่องมือแบบไฮบริดด้วย Ionic Framework โดยใช้ AngularJS [3] ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์




**ภาพที่ 8** จอภาพส่วนต่อประสานผู้ใช้เพื่อการแสดงค่าแบบเรียลไทม์ชุดที่ 1

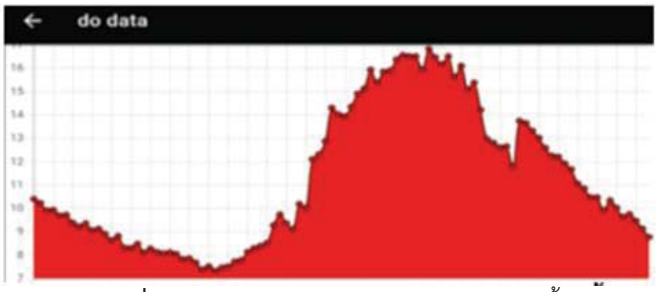



**ภาพที่ 9** จอภาพส่วนต่อประสานผู้ใช้เพื่อการแสดงค่าแบบเรียลไทม์ชุดที่ 2

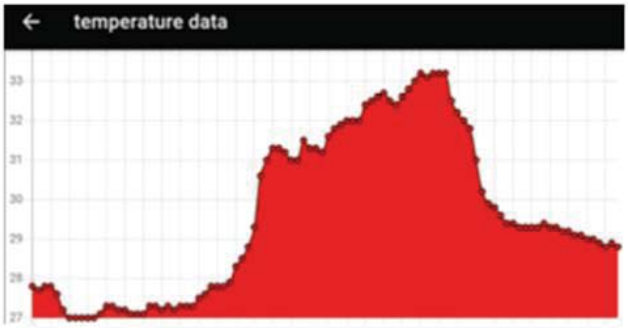
จากภาพที่ 8 และ 9 เป็นการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ในส่วนของการแสดงค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ เซนเซอร์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ เซนเซอร์วัด กรด-ด่าง เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ ค่าที่แสดงจะเปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ และจะเชื่อมต่อกับการแสดงผลแบบกราฟโดยใช้ไอคอนรูปกราฟด้านขวาของแต่ละเซนเซอร์ เมื่อเกษตรกรต้องการดูข้อมูลของเซนเซอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในวันนั้น ๆ ในรูปแบบของกราฟจะสามารถดูได้โดยแตะที่รูปกราฟ จากนั้นระบบจะดึงค่าที่เก็บไว้จากการดักจับของ Google Apps Script มาแสดง เพื่อให้เกษตรกรสามารถดูแนวโน้มและตัดสินใจในการจัดการได้ต่อไป

**3.3 ส่วนการแสดงผลแบบกราฟ**

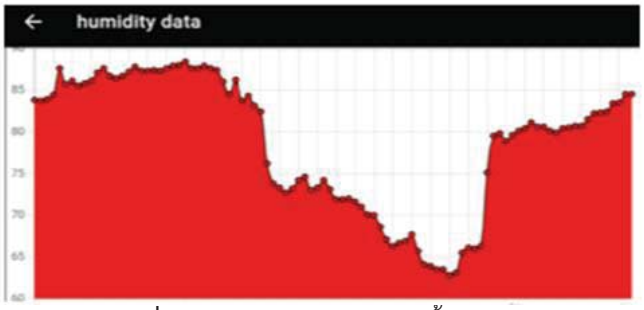
ภาพตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของกราฟบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เมื่อเกษตรกรเรียกดูระบบจะแสดงกราฟในรูปแบบแนวนอนโดยข้อมูลจะเริ่มจากเวลาเที่ยงคืนของวันที่ปัจจุบัน ไปจนถึงข้อมูลล่าสุด ณ เวลาปัจจุบัน โดยมีช่วงข้อมูลห่างกัน 15 นาที



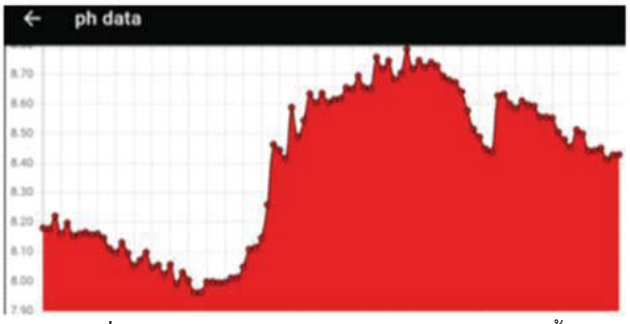

**ภาพที่ 10** การแสดงผลกราฟออกซิเจนละลายในน้ำ




**ภาพที่ 11** การแสดงผลกราฟอุณหภูมิอากาศ




**ภาพที่ 12** การแสดงผลกราฟความชื้นในอากาศ




**ภาพที่ 13** การแสดงผลกราฟความเป็นกรด–ด่างของน้ำ

**ภาพที่ 14** การแสดงกราฟอุณหภูมิของน้ำ

จากภาพที่ 10, 11, 12, 13 และ 14 เป็นภาพตัวอย่างเมื่อทำการเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของกราฟบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยเป็นค่าบันทึกไว้ย้อนหลังไม่เกิน 24 ชม.

**3.4 ส่วนการแจ้งเตือน**

ระบบการติดตามค่าของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ผ่านตัวเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้กับส่วนควบคุม จะทำการตรวจวัดตลอดเวลา และในกรณีที่เซนเซอร์ตรวจวัดค่าพบว่าค่าที่ได้นั้นมีความผิดปกติ จากที่ระบบควบคุมกำหนดไว้ ส่วนควบคุมจะส่งข้อความไปยังเกษตรกรผ่านระบบไลน์ (Line Notification) โดยจะทำการแจ้งเตือนวนซ้ำไปจนกว่าความผิดปกตินั้นจะได้รับการแก้ไข หรือค่าที่ผิดปกตินั้นกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งค่าสภาพแวดล้อมที่จะทำการแจ้งเตือนเมื่อพบว่าเกิดความผิดปกติ ประกอบด้วย ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และค่าอุณหภูมิของน้ำ

**4. ผลการดำเนินงาน**

การจัดทำระบบติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอทีได้พัฒนาและทำการทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริงภายในบ่อขนาด 4 ไร่ ของเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม เป็นระยะเวลา 10 วัน บ่อที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อปรับค่าออกซิเจนของน้ำ และเซนเซอร์วัดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเลี้ยงกุ้งดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

**ภาพที่ 15** บ่อที่ใช้ในการทดลองระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าและวัดค่าอุณหภูมิ-ความชื้นในอากาศ

**ภาพที่ 16** บ่อที่ใช้ในการทดลองวางระบบวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ อุณหภูมิน้ำ และค่ากรด-ด่าง

จากภาพที่ 15 และ 16 ได้ทำการวางระบบทั้งหมดลงบ่อทดลองจริงโดยติดตั้งระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านรีเลย์เพื่อตัดต่อวงจรก่อนที่จะเข้าไปควบคุมระบบเดิมของเกษตรกร และ ระบบวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิของน้ำ โดยทำการติดตั้งบริเวณกลางบ่อ เพื่อความเสถียรของค่าที่วัดได้ในช่วงเวลานั้น ๆ

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตรงตามความต้องการ การวัดค่าต่าง ๆ จากเซนเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และถูกต้อง การรายงานผลของแอพพลิเคชั่นบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ทั้งแบบเรียลไทม์และกราฟทำงานได้อย่างแม่นยำตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งนี้ผู้จัดทำได้ทำการสำรวจความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบโดยใช้แบบสอบถาม แบ่งการสำรวจออกเป็น 11 ด้าน แบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ (0 - น้อยที่สุด และ 5 – มากที่สุด) ผลที่ได้จากเกษตรกรจำนวน 7 คนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ทำการสำรวจมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด ผลการสำรวจแสดงดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** รายละเอียดผลการประเมินจากผู้ใช้

| ที่ | ความพึงพอใจของผู้ร่วมกิจกรรม | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | มากที่สุด | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| 1 | ระบบใหม่ที่ได้ใช้งานในครั้งนี้มีประโยชน์ต่อท่าน | 57.12% | 42.88% | 0% | 0% | 0% |
| 2 | ระบบใหม่สามารถจัดการปัญหาได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ | 85.72% | 14.28% | 0% | 0% | 0% |
| 3 | สามารถลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียผลผลิต | 57.12% | 42.88% | 0% | 0% | 0% |
| 4 | เซ็นเซอร์มีความแม่นยำ | 28.56% | 71.44% | 0% | 0% | 0% |
| 5 | อุปกรณ์ไอโอทีที่ใช้ มีความเหมาะสมและปลอดภัย | 71.44% | 28.56% | 0% | 0% | 0% |
| 6 | การดูแลรักษาระบบทำได้ อย่างสะดวกสบาย | 42.88% | 57.12% | 0% | 0% | 0% |
| 7 | ความเหมาะสมในการ ติดตั้งอุปกรณ์ไอโอที | 42.88% | 57.12% | 0% | 0% | 0% |
| 8 | ผู้ดูแลระบบสามารถให้ข้อมูล หรือตอบข้อซักถามได้เป็นอย่างดี | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9 | ภาพรวมความพึงพอใจในการติดตั้งอุปกรณ์ไอโอที | 42.88% | 57.12% | 0% | 0% | 0% |
| 10 | การแสดงผลบนอุปกรณ์มีความชัดเจนและเหมาะสม | 57.12% | 42.88% | 0% | 0% | 0% |
| 11 | การตอบสนองต่อการสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว | 85.72% | 14.28% | 0% | 0% | 0% |

**5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ**

จากความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการติดตามสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้งโดยอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงอันจะส่งผลเสียต่อผลผลิตได้ทันเวลา ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบต้นแบบเพื่อติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอทีขึ้น โดยได้นำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องหลายอย่างมาประกอบกัน รวมถึงการศึกษาเครื่องมือและภาษาที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ ได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้น เซนเซอร์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำข้อมูลที่วัดได้ไปบันทึกยังฐานข้อมูลบนระบบคลาวด์ในรูปแบบของ Realtime Database พร้อมทั้งนำเสนอข้อมูลที่ได้เก็บไว้นั้นมาแสดงในรูปแบบของแอพพลิเคชั่นบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ พร้อมทั้งแจ้งเตือนหากมีความผิดปกติเกิดขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังเปิดโอกาสให้เกษตรกรสามารถควบคุมการเปิด-ปิดมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ผ่านแอพพลิเคชั่นในกรณีเกิดปัญหา จากผลการทดสอบบนพื้นที่จริงพบว่า ระบบที่พัฒนาสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัย สามารถจัดการกับปัญหาที่จำเป็นต่อการเลี้ยงกุ้งได้ตรงตามความต้องการของเกษตรกร การดูแลระบบสามารถทำได้ง่าย การสั่งงานอุปกรณ์ทำงานได้อย่างแม่นยำและง่ายต่อการนำไปใช้งาน หลังจากที่ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบโดยเกษตรกรผู้ใช้งาน ผลการสำรวจมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด

**5.1 ข้อเสนอแนะ**

ระบบติดตามสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อุปกรณ์ไอโอที สามารถนำไปพัฒนาต่อได้โดยอาจจะทำให้กราฟสามารถดูย้อนหลังได้มากกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลของเกษตรกร และสามารถเพิ่มเติมงบประมาณเพื่ออัพเกรดตัวเซนเซอร์ที่ใช้ให้มีความทนทานและเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการวัดค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่แม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบได้เกิดปัญหากับตัวเซนเซอร์วัดค่ากรด-ด่าง เกิดการชำรุดเนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน รวมทั้งการทำความสะอาดที่ผิดวิธีจึงทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเซนเซอร์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรใช้งานเซนเซอร์ที่มีคุณภาพ และเพิ่มเติมขั้นตอนในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ให้ผู้ใช้ได้ทราบและกระทำอย่างถูกวิธีและสม่ำเสมอก็จะสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบให้ยาวนานมากขึ้นได้

**เอกสารอ้างอิง (References)**

[1] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน. การเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบปิด. [ออนไลน์] 2556. [สืบค้นวันที่ 17 ตุลาคม 2564] จาก https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20161208141916_file.pdf

[2] พีระศิลป์ สมันต์ศรี. เครื่องควบคุมระบบหมุนเวียนน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง. [ออนไลน์] 2557. [สืบค้นวันที่ 17 ตุลาคม 2564] จาก file:///C:/Users/User/Downloads/Aqua-treatment-control.pdf

[3] AngularJS. เริ่มต้นกับ AngularJS Framework. [ออนไลน์] 2564. [สืบค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2564] จากhttps://Golfapipol.github.io/angularjs-th/home.html

[4] Nitas Srisanoi. Angular : วิธีการสร้างแผนภูมิแบบเส้นโดยใช้ Library chart.js. [ออนไลน์] 2561. [สืบค้นวันที่ 7 ตุลาคม 2564] จาก medium.com/@nitassrisanoi.guard/angular-วิธีการสร้างแผนภูมิแบบเส้นโดยใช้-library-chart-js-90ec11c2d1ae

[5] Soontri Lapjongprasert. การเขียน Google Apps Script เพื่อใช้งาน Custom Function. [ออนไลน์] 2557. [สืบค้นวันที่ 17 ตุลาคม 2564] จากhttps://sites.google.com/a/tangerine.co.th/tangerine2013/newsletter-all/-newsletter-vol-4-14/googleappsscript-function