

## ระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำบนพื้นฐาน IoT IoT based Water Quality Monitoring and Assessment System

จันทนา ปัญญาวารารณ์\*, ธีระพัฒน์ หายเคราะห์, ณัฐพล นิจชิน และสวิชญ์ กิจพานิชย์เจริญ  
Jantana Panyavaraporn\*, Teerapat Haykhor, Nattaphol Nijchin and Sawich Kitpanichjaroen

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

\*Email: Jantanap@eng.buu.ac.th

Received: October 27, 2021; Revised: November 18, 2021; Accepted: December 01, 2021

### บทคัดย่อ

มลพิษทางน้ำเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมหลักที่โลกกำลังเผชิญ เนื่องจากมีน้ำปกคลุมพื้นผิวโลกมากกว่าร้อยละ 70 การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำก็เป็นหนึ่งในแนวทางการป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำได้ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบของระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำที่ใช้อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง หน้าที่หลักของระบบฯ คือ การเก็บรวบรวมค่าคุณภาพน้ำและส่งข้อมูลไปแสดงทางเว็บแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถหาวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ทันที่ การวัดค่าคุณภาพน้ำประกอบด้วยเซนเซอร์ 4 ตัว คือ (1) ความเป็นกรด-ด่าง (2) อุณหภูมิ (3) ออกซิเจนละลายน้ำ และ (4) การนำไฟฟ้า โดยที่ค่าคุณภาพน้ำ วันที่ เวลา และสถานที่จะถูกเก็บรวบรวมไว้ นอกจากนี้ บอร์ด Arduino ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์และ NodeMCU จะประมวลผล ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปเก็บในฐานข้อมูล และเว็บแอปพลิเคชันใช้สำหรับแสดงคุณภาพน้ำ

**คำสำคัญ:** คุณภาพน้ำ, เซนเซอร์, อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง, ฐานข้อมูล, เว็บแอปพลิเคชัน

### Abstract

Water pollution is one of the main environmental issues that the earth facing, as more than 70 percent of the earth's surface is water-covered. Water quality research is also one of the ways to prevent water pollution problems. According to the above mentioned, this research aims to develop a prototype of water quality monitoring and preliminary assessment system in an Internet of Things (IoT) environment. The most important function of the system is to collect water quality data. The data are transmitted and delivered as a display of information to web application in real-time. To help users able to improve water quality in a timely manner. The water quality measurement included four sensors which were (1) pH (2) temperature (3) dissolved oxygen and (4) conductivity. All water quality data, date, time and location are collected. And also, the Arduino board interfaced with these sensors and NodeMCU further processing is performed. The obtained data are sent to the database and web application used for showing the quality of the water.

**Keywords:** Water quality, Sensors, Internet of Things (IoT), Database, Web application

## 1. บทนำ

มลพิษทางน้ำ (Water pollution) [1] เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่น ๆ ปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดกับเมืองใหญ่ แหล่งน้ำที่สำคัญของประเทศจะถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกและสารมลพิษ ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้เต็มที่ สาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำเกิดจากน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย น้ำจากแหล่งเกษตรกรรมที่มีปุ๋ยและยากำจัดศัตรูพืช น้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม

การศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำก็เป็นหนึ่งในแนวทางการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ จากรายงานคุณภาพน้ำประจำปีของสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วประเทศ 368 สถานี โดยประเมินจากมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินร่วมกับดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (Water Quality Index: WQI) โดยค่า WQI พิจารณาจากค่าคุณภาพน้ำ 8 ค่า ได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria : FCB) ความเป็นกรด-ด่าง ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ไนเตรต (NO<sub>3</sub>) ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus : TP) ของแข็งรวม (Total Solid : TS) และของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) เพื่อจัดเกณฑ์คุณภาพน้ำเป็นดีมาก ดี พอใช้ เสื่อมโทรม และเสื่อมโทรมมาก [2]

มีนักวิจัยชาวไทยพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ เช่น งานวิจัย [3] พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชัง โดยตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำ 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ พร้อมทั้งมีระบบรายงานผลคุณภาพน้ำผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันและไลน์ และงานวิจัย [4] ศึกษาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในพื้นที่เทศบาลเมืองแกนพัฒนา จังหวัดเชียงใหม่ และพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในชุมชน โดยตรวจวัด 4 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแสดง

ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างบนแผนที่และนำเสนอผลคุณภาพน้ำในรูปแบบของตารางและกราฟ

นอกจากนี้ มีนักวิจัยต่างชาติพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ [5-11] เช่น งานวิจัย [5] พัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่ประกอบด้วยบอร์ด Field Programmable Gate Array (FPGA) และเซนเซอร์จำนวน 5 ตัว ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ระดับน้ำ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์บนผิวน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ โดยใช้โมดูลการสื่อสารไร้สาย Zigbee และงานวิจัย [6] พัฒนาอุปกรณ์ลอจิกที่ตั้งโปรแกรมแบบซับซ้อน (complex programmable logic device : CPLD) ที่ใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 1451.2 ข้อมูลจำเพาะของเซนเซอร์อัจฉริยะโดยงานวิจัยนี้ได้ทดลองตรวจวัดคุณภาพน้ำและใช้โมดูลการสื่อสารไร้สาย Zigbee เช่นเดียวกับงานวิจัย [5]

งานวิจัย [7-8] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่โดยงานวิจัย [7] ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในน้ำ ระดับน้ำ อุณหภูมิ และความชื้นของบรรยากาศ ค่าทั้งหมดจะถูกส่งไปยังคลาวด์ผ่านทาง ThinkSpeak ส่วนงานวิจัย [8] ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น การนำไฟฟ้า และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์จะประมวลผลผ่านทางบอร์ด Raspberry PI B+ และแสดงรายงานค่าที่วัดได้บนอินเทอร์เน็ต

งานวิจัย [9] พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติบนอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณของสารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino แล้วแปลงรูปแบบสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบที่ระบบสามารถอ่านได้ หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังโมดูล GSM พร้อมทั้งแสดงผลผ่านแพลตฟอร์ม IoT

มีการประยุกต์ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำกับงานทางเกษตรกรรม เช่น การประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงปลา [4] และฟาร์มเลี้ยงกุ้ง [10] เป็นต้น อีกทั้งมีการนำระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ [11]

จากงานวิจัย [3-11] มีรูปแบบการพัฒนาที่ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การตรวจวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่เป็น

ระบบปิด ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ไม่มีแหล่งน้ำตามธรรมชาติไหลผ่าน และงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ จึงช่วยให้ผู้ใช้งานระบบสามารถหาวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ทันที

แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบของระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้น พิจารณาจากค่าคุณภาพน้ำ 4 ค่า ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พร้อมทั้งประเมินผลคุณภาพน้ำเบื้องต้นที่แบ่งผลประเมิน 3 เกณฑ์ คือ ปกติ ฝ้าระวัง และวิกฤต

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำรวมถึงสถานการณ์ของน้ำในอนาคต การวัดค่าคุณภาพจะเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้นกับสภาพตามธรรมชาติหรือสภาพอ้างอิง

### 2.1 ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหรือพีเอช (pH) คือค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างจะอยู่ในช่วง 0-14 โดยที่ 7 แสดงถึงสภาพเป็นกลาง สภาพเป็นกรดจะมีค่าต่ำกว่า 7 และสภาพเป็นด่างจะมีค่าสูงกว่า 7

โดยปกติน้ำฝนตามธรรมชาติจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5-6 ส่วนน้ำในทะเลสาบหรือลำธารส่วนใหญ่จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 สัตว์น้ำหรือสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำจะไม่สามารถดำรงชีวิตในแหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4 ซึ่งระดับค่าความเป็นกรด-ด่างอาจแปรผันไปตามอิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์แพลงก์ตอนพืช และพืชน้ำ เป็นต้น [12]

### 2.2 อุณหภูมิ

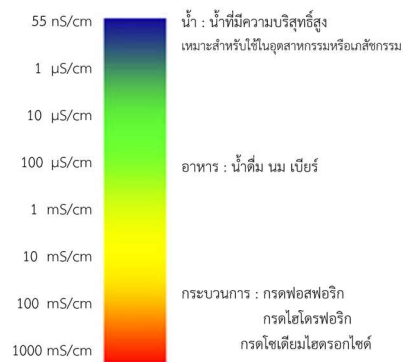
อุณหภูมิเป็นสิ่งที่แสดงถึงความเข้มข้นของความร้อนของวัตถุ ความร้อนจะไหลจากสิ่งที่มีความร้อนสูงไปยังสิ่งที่มีความร้อนต่ำ การวัดอุณหภูมิที่ได้รับความนิยมมี 2 วิธีคือ การใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบของเหลว และการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่มีหน้าจอแสดงผล อุณหภูมิเป็นคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำจะมีผลกระทบต่อระบบ

นิเวศของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยจะมีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของพืชน้ำ จุลินทรีย์และสัตว์น้ำ นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีผลต่ออัตราการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ

### 2.3 การนำไฟฟ้า

การนำไฟฟ้าเป็นวิธีวัดความสามารถของน้ำในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้า เกิดจากสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น ฟอสเฟต (Phosphate) เหล็ก (Iron) หรืออะลูมิเนียม (Aluminum) การนำไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงค่าการนำไฟฟ้าจะมากขึ้น และการนำไฟฟ้าในแหล่งน้ำยังได้รับผลกระทบโดยตรงจากลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่แหล่งน้ำไหลผ่าน [13]

หน่วยที่ใช้วัดการนำไฟฟ้า คือ ซีเมนส์ (siemens) หรือ โมห์ (mho) ค่าการนำไฟฟ้าวัดเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) หรือ ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{s/cm}$ ) แม่น้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150-500  $\mu\text{mhos/cm}$  จะเป็นที่ประโยชน์ต่อการทำประมง น้ำในอุตสาหกรรมอาจจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$  [13] โดยค่าการนำไฟฟ้าจะแบ่งการใช้งานตามความเหมาะสมดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ช่วงการใช้งานค่าการนำไฟฟ้า

### 2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ใช้ออกซิเจนเพื่อหายใจและเจริญเติบโต ออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูง และความเค็ม เป็นต้น โดยที่น้ำอุ่นจะละลายออกซิเจนได้น้อยกว่าน้ำเย็น ในทำนองเดียวกันน้ำที่พบในระดับที่มีความสูงกว่าจะละลายออกซิเจนได้มากกว่าน้ำที่พบในพื้นที่ต่ำ สัตว์น้ำจะ

เสี่ยงต่อการขาดแคลนออกซิเจนมากกว่าสัตว์บก ในช่วงเวลาเช้า มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีค่าต่ำสุด แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่าย อันเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ส่วนในตอนกลางคืนไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำมีแต่การหายใจออกทำให้ออกซิเจนค่อย ๆ ลดลงอีกครั้ง โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงความเหมาะสมในการใช้งานดังตารางที่ 1 [14]

ตารางที่ 1 ช่วงการใช้งานค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ระดับ DO (mg/L)	คุณภาพของน้ำ	การใช้ประโยชน์
8-9	ดี	อุปโภค บริโภค
6.7-8	เริ่มมีการปนเปื้อน	ใช้ในการอุปโภค
4.5-6.7	ปนเปื้อนปานกลาง	ใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม
ต่ำกว่า 4.5	มีการปนเปื้อนมาก	พืชและสัตว์น้ำเริ่มได้รับอันตรายใช้ประโยชน์ได้น้อย
ต่ำกว่า 4	น้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ	พืชและสัตว์น้ำได้รับอันตรายใช้ประโยชน์ไม่ได้
ต่ำกว่า 2	น้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ	พืชและสัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย

### 3. การออกแบบระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำ

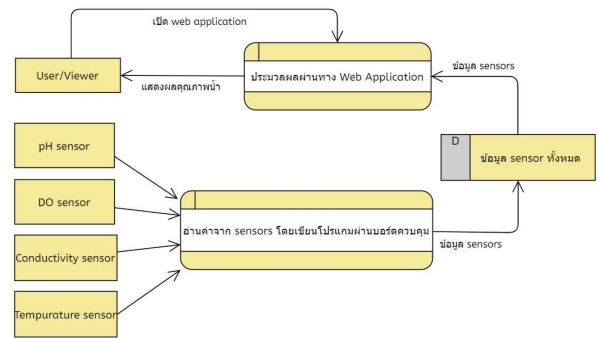
ระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ฮาร์ดแวร์ที่ประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงาน เซนเซอร์ และบอร์ดควบคุม และส่วนแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 2 ระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำ

รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำ มีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มต้นจากแผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วนำพลังงานไฟฟ้าไปเก็บในแบตเตอรี่ผ่านทาง

เครื่องควบคุมการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์ (Solar charge controller) จากนั้นเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบฯ เมื่อเริ่มทำงานจะทำการวัดคุณภาพน้ำจากเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวที่ประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ และการนำไฟฟ้า โดยบอร์ด Arduino จะรับค่าจากเซนเซอร์ทั้งหมด แล้วส่งไปยัง NodeMCU เพื่อนำไปจัดเก็บในฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันดังแสดงแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพกระแสข้อมูลของระบบฯ

#### 3.1 ฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงาน เซนเซอร์ และบอร์ดควบคุม คำนวณพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ดังสมการที่ (1)

$$P = \frac{E}{T} \quad (1)$$

เมื่อ E คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งวัน มีค่าเท่ากับ 100 Wh และ T คือระยะเวลาที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในหนึ่งวัน มีค่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง

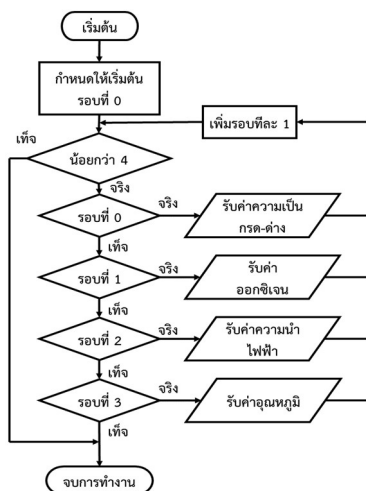
จากสมการที่ (1) จะได้  $P = \frac{100}{5} = 20$  W จึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 20 วัตต์ และแบตเตอรี่ขนาด 12 Ah เครื่องควบคุมการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์ต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแผงโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ ดังนั้น ขนาดของเครื่องควบคุมการชาร์จควรมีขนาดกระแสในการชาร์จมากกว่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ จึงใช้เครื่องควบคุมการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดตั้งแต่ 10 แอมแปร์ขึ้นไป

งานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์ของ Atlas Scientific [15] จำนวน 4 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temp) เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ (O<sub>2</sub>) และเซนเซอร์ตรวจวัดการนำไฟฟ้า (Con) โดยแสดงช่วงการทำงานและความแม่นยำของเซนเซอร์แต่ละตัวดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงการทำงานของเซนเซอร์ [15]

เซนเซอร์	ช่วงการทำงาน (Rang)	ความแม่นยำ (Accuracy)	หน่วย
pH	0.001-14.000	+/- 0.002	-
Temp	-126.000-1254	+/- (0.1 + 0.0017 × °C)	องศาเซลเซียส (°C)
O <sub>2</sub>	0.01-100+	+/- 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)
Con	0.07-500,000+	+/- 2%	ไมโครซีเมนตต่อเซนติเมตร (µS/cm)

บอร์ด Arduino ที่ใช้ภาษา C/C++ สำหรับเขียนโปรแกรมจะอ่านค่าจากเซนเซอร์ทั้งหมดในรูปแบบทิศทางเดียว (Simplex) โดยใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial transmission) ที่ไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกา (Asynchronous) มาเป็นตัวกำหนดจังหวะในการรับ-ส่งข้อมูล แต่ใช้วิธีการกำหนดรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลขึ้นมาแทนและอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับ-ส่งให้เท่ากัน โดยจะวนรอบส่งข้อมูลที่ละตัวจนครบทั้ง 4 ตัว หลังจากนั้น จะทำการประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตามผังงานในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของเซนเซอร์กับบอร์ดควบคุม

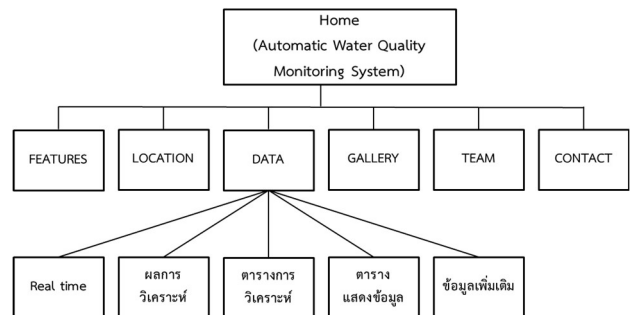
### 3.2 ฐานข้อมูลและส่วนแสดงผล

MySQL เป็นมาตรฐานกลางที่ใช้ในระบบฐานข้อมูล ตารางฐานข้อมูลของงานวิจัยนี้ตั้งแสดงในรูปที่ 5 โดยข้อมูลจะนำมาจัดเก็บในแต่ละแถวทุก ๆ 10 นาที

เว็บแอปพลิเคชันเป็นส่วนแสดงผลข้อมูล เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลคุณภาพของน้ำที่กำลังตรวจวัด ณ เวลาปัจจุบัน รวมถึงผลการวิเคราะห์เบื้องต้นและการเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง งานวิจัยนี้เลือกใช้ HTML5 และ PHP ภาพรวมโครงสร้างเว็บแอปพลิเคชันดังรูปที่ 6

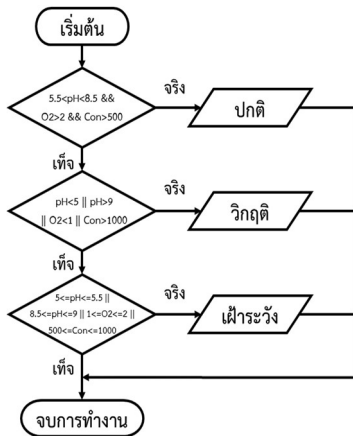
ค่าตรวจวัดคุณภาพน้ำ	
วัน เดือน ปี เวลา	datetime
ความเป็นกรด-ด่าง	varchar(10)
ออกซิเจน	varchar(10)
ความนำไฟฟ้า	varchar(10)
อุณหภูมิ	varchar(10)

รูปที่ 5 การจัดเก็บข้อมูลระบบวัดคุณภาพน้ำ



รูปที่ 6 โครงสร้างเว็บแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนการประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้น เริ่มต้นจากการนำค่าคุณภาพน้ำที่จัดเก็บในฐานข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยที่ตัวแปร pH เก็บค่าความเป็นกรด-ด่าง ตัวแปร O<sub>2</sub> เก็บค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ และตัวแปร Con เก็บค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากค่าที่เก็บในฐานข้อมูลเป็นชนิดข้อความ (รูปที่ 5) จึงต้องแปลงค่าดังกล่าวเป็นจำนวนจริงก่อน หลังจากนั้น วิเคราะห์คุณภาพน้ำตามผังงานในรูปที่ 7 และตารางที่ 3



รูปที่ 7 ผังงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น

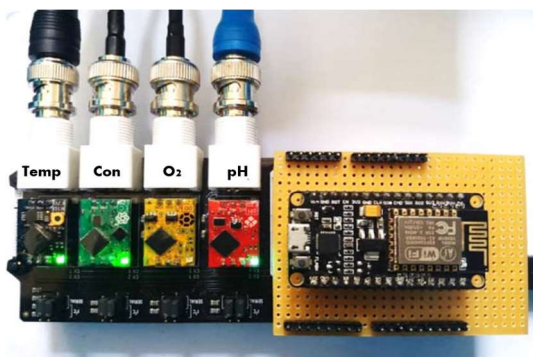
ระดับ	ความเป็นกรด-ด่าง	ออกซิเจนในน้ำ	การนำไฟฟ้า
ปกติ	5.5 - 8.5	> 2	< 500
เฝ้าระวัง	5 - 5.5 หรือ 8.5 - 9	1 - 2	500 - 1000
วิกฤติ	< 5 หรือ > 9	< 1	> 1000

#### 4. การทดสอบระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบและการทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน

##### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

ติดตั้งเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวเข้ากับบอร์ดควบคุมที่ประกอบด้วยบอร์ด Arduino และ NodeMCU (รูปที่ 8) พร้อมทั้งอุปกรณ์อื่นลงภายในกล่องที่ออกแบบไว้ โดยมีเงื่อนไขว่าอุปกรณ์ทั้งหมดต้องลอยน้ำได้ ฉะนั้น จึงเลือกใช้ท่อพีวีซี (PVC) จำนวน 2 ท่อ เพื่อให้กล่องมีความสมดุลดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 การต่อเซนเซอร์กับบอร์ดควบคุม

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์เสร็จ จึงนำอุปกรณ์ไปทดสอบการลอยน้ำจะเห็นว่าเครื่องต้นแบบลอยน้ำที่ระดับกึ่งกลางของท่อพีวีซีดังรูปที่ 10 โดยที่เครื่องต้นแบบมีความกว้าง 750 มม. ความยาวของท่อพีวีซี 1020 มม. และความสูงของกล่องใส่อุปกรณ์ 275 มม. ระหว่างทำการทดสอบมีฝนและลมแรง ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวในทิศทางซ้ายขวาตามแนวลม แต่เครื่องต้นแบบก็ยังสามารถทรงตัวได้ปกติและน้ำไม่ซึมเข้าภายในกล่อง



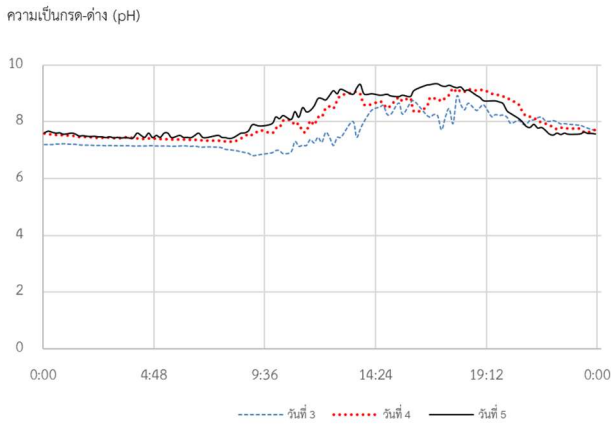
รูปที่ 9 เครื่องต้นแบบ



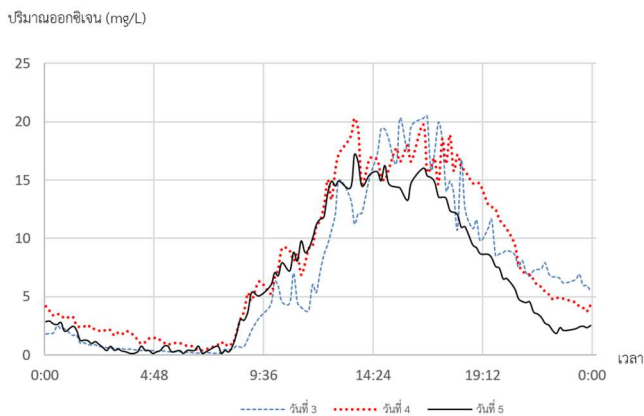
รูปที่ 10 ทดสอบการลอยน้ำของเครื่องต้นแบบ

ทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงาน โดยนำอุปกรณ์ไปลอยในแหล่งน้ำกลางแจ้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์พบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์และสามารถทำงานต่อไปได้ เนื่องจากช่วงกลางวันจะมีการเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์ที่เพียงพอต่อการใช้งานในช่วงกลางคืน

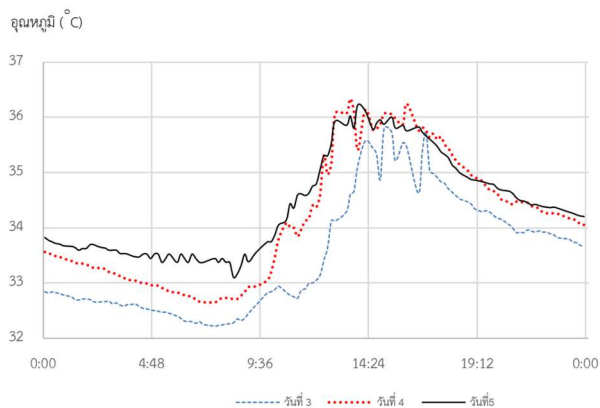
ทดสอบการวัดคุณภาพน้ำโดยนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ไป  
 ลอยในแหล่งน้ำเป็นระยะเวลา 3 วัน ระบุว่าจะมีการเก็บข้อมูล  
 คุณภาพน้ำทุก 10 นาที ค่าที่ได้จากเซนเซอร์ 4 ตัวดังแสดงในรูป  
 ที่ 11-14



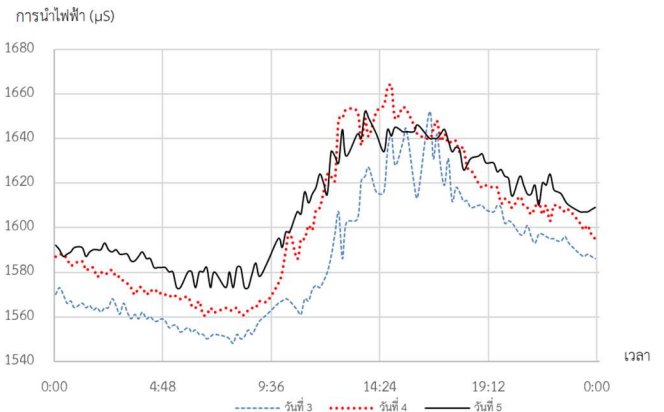
รูปที่ 11 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ



รูปที่ 12 ผลการวัดค่าปริมาณออกซิเจนของน้ำ



รูปที่ 13 ผลการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำ



รูปที่ 14 ผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ

จากรูปที่ 11-14 พบว่าข้อมูลคุณภาพน้ำในแต่ละวันมี  
 แนวโน้มไปในทางเดียวกัน ค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละวันมี  
 การเปลี่ยนแปลงน้อย เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างขึ้นอยู่กับ  
 สารเจือปนในน้ำ (รูปที่ 11) ต่างจากค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำที่  
 มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน (รูปที่ 12) โดยจะมีค่าสูงในช่วง  
 กลางวันและลดลงในเวลากลางคืน ค่าปริมาณออกซิเจนสูงสุดใน  
 ช่วงเวลา 13.00-16.00 น. และต่ำสุดในช่วงเวลา 3.00-8.00 น.  
 เนื่องจากในแหล่งน้ำที่ทดสอบเปิดเครื่องบำบัดน้ำในช่วงกลางวัน  
 และพืชในน้ำมีการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจน  
 เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงกลางคืนแหล่งน้ำไม่ได้เปิดเครื่องบำบัดน้ำ  
 และพืชในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ จึงทำให้ปริมาณ  
 ออกซิเจนลดลง

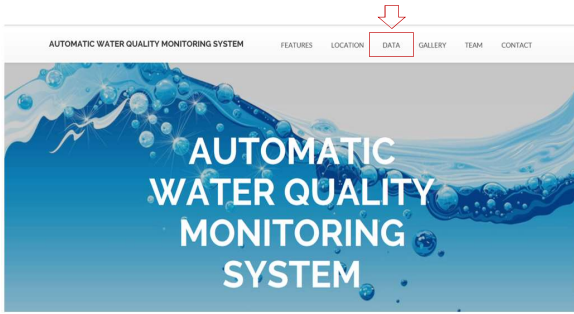
จากรูปที่ 13 ค่าอุณหภูมิของน้ำแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลง  
 เพียงเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงกลางวันและกลางคืนมีอุณหภูมิที่  
 ไม่เท่ากัน ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดที่ 36  
 องศาเซลเซียสและต่ำสุดที่ 32 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 14 ค่าการนำไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากหลาย  
 ปัจจัย เช่น อุณหภูมิ สารที่ละลายในน้ำ หรือลักษณะทาง  
 ธรณีวิทยา เป็นต้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองนี้มากที่สุดคือ  
 อุณหภูมิ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้า (รูปที่ 14) และค่าอุณหภูมิ  
 (รูปที่ 13) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

#### 4.2 การทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของส่วนแสดงผลแบบ  
 เรียลไทม์

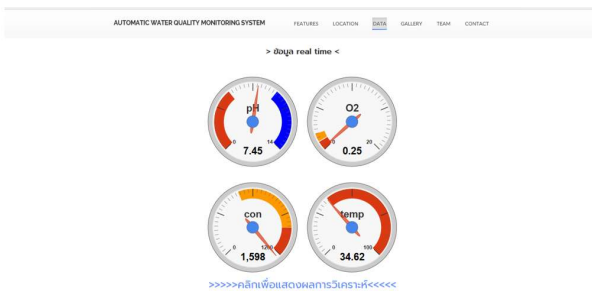
1. เปิดเว็บแอปพลิเคชัน (รูปที่ 15) และกดเข้าไปที่ “DATA”



รูปที่ 15 หน้าแรกของเว็บแอปพลิเคชัน

“DATA” เป็นส่วนรายงานผลแบบเรียลไทม์ของคุณภาพน้ำที่ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ ค่าอุณหภูมิของน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ แสดงในรูปแบบเครื่องมือแสดงผล (Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 16

เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง แดปสีแดงแสดงถึงค่าความเป็นกรดและแดปสีน้ำเงินแสดงค่าความเป็นเบส ส่วนเครื่องมือวัดค่าปริมาณออกซิเจน ค่าการนำไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิ แดปสีส้มแสดงถึงค่าในช่วงเฝ้าระวัง และแดปสีแดงแสดงถึงค่าในช่วงวิกฤติ



รูปที่ 16 รายงานผลการวัดคุณภาพน้ำ

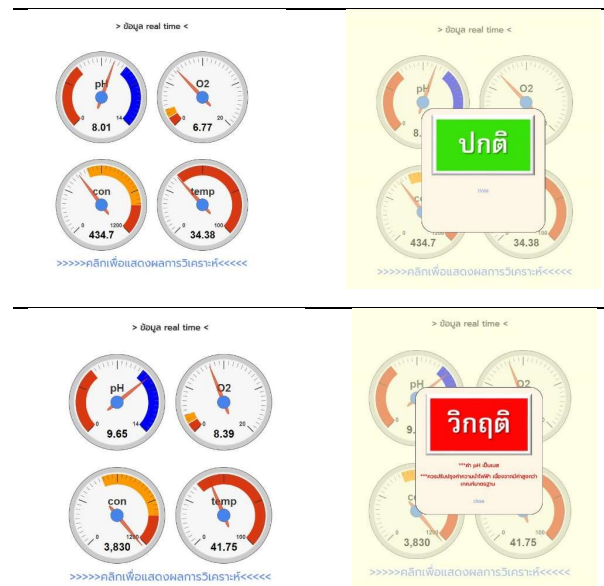
2. กดปุ่ม >>>>คลิกเพื่อแสดงผลวิเคราะห์<<<<< (รูปที่ 16) ระบบฯ จะประมวลผลตามอัลกอริทึมในรูปที่ 7 โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นแสดง 3 กรณีคือ ปกติ เฝ้าระวัง และวิกฤติ ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น (ก) เกณฑ์ปกติ (ข) เกณฑ์เฝ้าระวัง (ค) เกณฑ์วิกฤติ

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ (รูปที่ 7) เกณฑ์ปกติจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าออกซิเจนในน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

เกณฑ์เฝ้าระวังหรือวิกฤติจะมีข้อความแจ้งเตือนสำหรับค่าคุณภาพน้ำที่มีความผิดปกติ จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 อีกทั้งยังสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังผ่านเว็บแอปพลิเคชันดังตัวอย่างในรูปที่ 18



รูปที่ 18 การเรียกดูข้อมูลย้อนหลังทางเว็บแอปพลิเคชัน

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

AUTOMATIC WATER QUALITY MONITORING SYSTEM				
FEATURES LOCATION DATA GALLERY TEAM CONTACT				
> ตารางการวิเคราะห์ข้อมูล <				
ค่า	pH	ค่า	O2	ค่า
ค่า	ค่า	ค่า	ค่า	ค่า
ค่า	ค่า	ค่า	ค่า	ค่า
> ตารางแสดงข้อมูล <				
Time	pH	O2	con	temp
2019-04-02 07:35:14	8.04	6.77	1597.00	34.40
2019-04-02 08:03:16	8.19	6.57	1596.00	33.39
2019-04-02 08:13:17	8.30	6.00	1594.00	34.38
2019-04-02 08:23:18	8.00	6.17	1591.00	34.44
2019-04-02 08:33:19	8.07	6.21	1590.00	34.52
2019-04-02 08:43:21	8.31	6.83	1593.00	34.52
2019-04-02 08:53:21	8.30	6.83	1592.00	35.50
2019-04-02 09:03:22	8.75	5.52	1598.00	35.50
2019-04-02 09:13:22	8.91	6.57	1599.00	35.50
2019-04-02 09:23:24	9.11	6.57	1597.00	35.03

## 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นควบคุมการทำงานโดยใช้บอร์ด Arduino ที่ต่อเข้ากับ NodeMCU สำหรับส่งค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้งหมดไปจัดเก็บในฐานข้อมูลงานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์จำนวน 4 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์วัดค่าความ



เป็นกรด-ด่าง เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดปริมาณ ออกซิเจนในน้ำ และเซนเซอร์วัดการนำไฟฟ้า ข้อมูลคุณภาพน้ำทั้งหมดจะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งสามารถเรียกดูย้อนหลัง และแสดงผลแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งระบบฯ มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่แสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน โดยเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ปกติ ฝ้าระวัง และวิกฤติ พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบฯ เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวพบว่าเซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน เซนเซอร์วัดการนำไฟฟ้า ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ระบบฯ สามารถทำงานได้ตลอด เมื่อในช่วงเวลากลางวันมีแสงแดดที่เพียงพอ นอกจากนี้ หากเพิ่มเซนเซอร์ให้ครอบคลุมตามดัชนีคุณภาพน้ำ WQI ก็จะช่วยให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 43/2559 (เพิ่มเติม) และขอขอบคุณ ผศ.ดร.เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ และ ผศ.ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์ ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Regional Environment Office 13 (Chonburi). [Online]. (2021). [Cited October 18, 2021]. Available: <http://www.mnre.go.th/reo13/th/news/detail/9373> (in Thai).
- [2] Annual report of water quality management Bureau 2008. Pollution Control Department. [Online]. (2008). [Cited October 25, 2021]. Available: [http://infofile.pcd.go.th/water/water\\_annual51.pdf](http://infofile.pcd.go.th/water/water_annual51.pdf) (in Thai).
- [3] C. Kaewta, C. Khantikachenchart, and Y. Thongsan, "The development of embedded systems for automatic water quality measurement via online networking," *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 20, no. 3, pp. 73-89, Sep.-Dec. 2018 (in Thai).
- [4] C. Maneelert, and P. Rattanachuchok, "The development of geographic information system showing water quality monitoring results in the area of Muang Kaen Pattana municipality, Mae Taeng district, Chiang Mai province," *Sripatum Choburi Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 104-113, July-Sep. 2020 (in Thai).
- [5] C. Z. Myint, L. Gopal, and Y. L. Aung, "Reconfigurable smart water quality monitoring system in IoT environment," in *Proceeding of 2017 IEEE/ACIS 16<sup>th</sup> International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, May. 24-26, 2017, pp. 435-440.
- [6] Q. Chi, and et al., "A reconfigurable smart sensor interface for industrial WSN in IoT environment," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1417-1425, May. 2014.
- [7] S. Pasika, and S. T. Gandla, "Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, pp. 1-9, July. 2020.
- [8] N Vijayakumar, and R Ramya, "The real time monitoring of water quality in IoT environment," in *Proceeding of 2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies*, Mar. 19-20, 2015, pp. 1-4.
- [9] D. Pant, and et al., "Automated IoT based smart water quality assessment system," in *Proceeding of 8th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends*, Nov. 22-23, 2019, pp. 98-104.
- [10] A. G. Orozco-Lugo, and et al., "Monitoring of water quality in a shrimp farm using a FANET," *Internet of Things; Engineering Cyber Physical Human Systems*, pp. 1-19, Jan. 2020.
- [11] S.A. Hamid, and et al., "IoT based water quality monitoring system and evaluation," in *Proceeding of 2020 10<sup>th</sup> IEEE International Conference on*

- Control System, Computing and Engineering*, Malaysia, Aug. 21–22, 2020, pp. 102-106. [https://www.mwa.co.th/ewt\\_news.php?nid=1332](https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=1332) 1 (in Thai).
- [12] Pollution Control Department, “Potential of Hydrogen (pH),” Dec. 5, 2017 (in Thai).
- [13] Water Quality Department. Metropolitan Waterworks Authority. [Online]. (2014). [Cited October 25, 2021]. Available: <https://legatool.com/wp/6/> (in Thai).
- [14] LEGA Corporation Co., Ltd. [Online]. (2016). [Cited October 25, 2021]. Available: <https://legatool.com/wp/6/> (in Thai).
- [15] Atlas Scientific [Online]. (2021). [Cited November 17, 2021]. Available: <https://atlas-scientific.com/>.