

ระบบ IoT เพื่อการติดตามและแจ้งเตือนคุณภาพน้ำเสีย IoT System for Wastewater Quality Monitoring and Alerting

ปฏิมากร จันทรพริ้ม^{1*} ปรมินทร์ สุขยะฤกษ์¹ ภัทรพล ธรรมจันทร์¹ วรเชษฐ สะแหละ² และ ชลธิศา สุขเกษม²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

patimakorn.j@rmutsv.ac.th*

²บริษัท อินโน กรีน เทคโนโลยี จำกัด

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบ IoT ที่สามารถติดตามคุณภาพน้ำเสียจากระยะไกลได้แบบเรียลไทม์เพื่อแก้ปัญหาการเดินทางไปเก็บตัวอย่างน้ำของการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบดั้งเดิม ระบบจะใช้เซ็นเซอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย UV254 (UV254 Multi-wave COD Sensor) วัดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) อุณหภูมิ และความขุ่นของน้ำมาเป็นข้อมูลอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 แล้วส่งค่าไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ของตู้ควบคุมที่ติดตั้งไว้ที่บ่อบำบัดน้ำเสีย และบน Dashboard ของซอฟต์แวร์ FUXA ที่ออกแบบไว้ ระบบยังสามารถแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ในกรณีที่ค่า COD และ BOD มีการเปลี่ยนแปลงค่าขณะที่สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐาน และสามารถค้นหาข้อมูลย้อนหลังจาก Database ที่ระบบบันทึกไว้ได้ด้วย

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ระบบติดตาม, การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This article presents the development of an IoT system for real-time remote wastewater quality monitoring. The system addresses the limitations of traditional water quality testing, which requires physically traveling to the site to collect water samples. The system uses a UV254 Multi-wave COD Sensor to measure Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), temperature, and turbidity. The measured values serve as input for an ESP32 microcontroller, which transmits them for display on two different platforms: an LCD screen on the control cabinet at the wastewater treatment pond, and a dedicated FUXA software dashboard. The system can also send LINE Notify alerts if COD and BOD values change to be either above or below the standard. Additionally, users can retrieve historical data from the system's database.

Keywords: Internet of Things, Monitoring System, Wastewater Treatment

1. บทนำ

น้ำเสียเป็นวิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบอย่างกว้างขวาง และต่อเนื่องทั้งต่อระบบนิเวศ สุขภาพของมนุษย์ เศรษฐกิจ และสังคม โดยส่วนใหญ่ น้ำเสียเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากเกษตรกรรม และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมแทบทุกประเภทและทุกขนาดที่มีการปล่อยน้ำเสียจากการประกอบกิจการ จำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมหรือระบบระบายน้ำสาธารณะ เพื่อป้องกันมลพิษต่อแหล่งน้ำ รักษาสมดุลของระบบ

นิเวศ ควบคุมการแพร่กระจายของสารพิษ และทำให้เป็นไปตามกฎหมายและมาตรฐาน [1-2] ตัวอย่างของอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสีย อาทิเช่น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ฟาร์มปศุสัตว์ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมยางพารา เป็นต้น

ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลักตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย [3] คือ 1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่และสารแขวนลอยออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง 2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นการใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย เช่น การฆ่าเชื้อโรค การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และ 3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และตะกอนจุลินทรีย์

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของการบำบัดทางชีวภาพเป็นสิ่งบ่งชี้สำคัญที่ใช้ประเมินความสกปรกของน้ำในรูปของสารอินทรีย์มีหลากหลายค่า อาทิเช่น BOD, COD, TOC และปริมาณของแข็ง ค่าดังกล่าวข้างต้นมีความหมายดังนี้

- ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand): ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะแอโรบิก (มีออกซิเจน) เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กล่าวอีกอย่างว่า ยังมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมาก จุลินทรีย์ก็จะต้องใช้ออกซิเจนมากขึ้นในการย่อยสลาย ทำให้ค่า BOD สูงขึ้น

- ค่า COD (Chemical Oxygen Demand): ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำด้วยสารเคมี เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ทั้งที่ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ทางชีวภาพ กล่าวอีกอย่างว่า ค่า COD ยิ่งสูงแสดงว่ามีสารอินทรีย์อยู่ในน้ำปริมาณมาก

- ค่า TOC (Total Organic Carbon): ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ แสดงถึงระดับมลพิษทางอินทรีย์ในน้ำ เป็นอีกค่าที่บ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเช่นเดียวกันกับค่า BOD และ COD

J. A. Aguilar-Torrejón และคณะ [4] ได้ทบทวนความสัมพันธ์ ความสำคัญ และพัฒนาการของเทคนิคการวิเคราะห์ COD, BOD และ TOC ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการตรวจสอบคุณภาพน้ำและประเมินปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียและน้ำธรรมชาติ โดยนำเสนอภาพรวมเชิงประวัติศาสตร์ของแต่ละเทคนิค และเน้นย้ำถึงบทบาทของเทคนิคเหล่านี้ในการทำความเข้าใจผลกระทบของมลพิษอินทรีย์ต่อแหล่งน้ำและการจัดการสิ่งแวดล้อม

กระบวนการหนึ่งของการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบดั้งเดิม คือ การเก็บตัวอย่างน้ำในภาคสนาม เช่น ฟาร์ม โรงงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ ทำให้จำเป็นต้องมีการเดินทางเพื่อไปเก็บตัวอย่างน้ำ มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ใช้เวลานานส่งนาน อีกทั้งยังสูญเสียเวลาการ

*ผู้ประพันธ์บรรณิก

ปฏิบัติงานของพนักงาน และยังมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อลักษณะการปนเปื้อนของน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ด้วย

N. Chavhan และคณะ [5] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์อัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยี IoT ระบบนี้ใช้เซนเซอร์หลายตัวเพื่อติดตามพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สำคัญอย่างต่อเนื่อง โดยประสิทธิภาพของระบบได้รับการตรวจสอบผ่านการทดสอบภาคสนามที่โรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมของประเทศอินเดีย

จากข้อจำกัดของการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบดั้งเดิมสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและบริษัทอินโน กรีน เทค จำกัด[6] ได้ร่วมกันพัฒนาระบบ IoT ที่สามารถติดตามคุณภาพน้ำเสียแบบเรียลไทม์ด้วยเช่นกัน โดยประสิทธิภาพของระบบถูกทดสอบกับระบบบำบัดน้ำเสียวงจรไฟฟ้าชีวภาพ และสามารถแจ้งเตือนเมื่อค่าสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดได้

2. หลักการและวิธีการ

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียวงจรไฟฟ้าชีวภาพ (BioCircuit)

บริษัทอินโน กรีน เทค จำกัดมีการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่เรียกว่าระบบบำบัดน้ำเสียวงจรไฟฟ้าชีวภาพ (BioCircuit) ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ใช้จุลินทรีย์ในน้ำเสียมารสร้างกระแสไฟฟ้าพร้อมกับย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงาน ลดการใช้สารเคมี และควบคุมปัญหากลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ระบบบำบัดน้ำเสียวงจรไฟฟ้าชีวภาพ (BioCircuit) จะผสมรวมเซนเซอร์ที่สามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำจากหลากหลายพารามิเตอร์สำคัญอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ค่า BOD, COD, ค่าความขุ่น (Turbidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำ พารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้มีความสำคัญและเพียงพอสำหรับใช้ประเมินคุณภาพน้ำด้วยนวัตกรรม BioCircuit นอกจากนี้ยังตรวจวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ไว้วัดด้วย ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันทั่วทั้งที่หากเกิดการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่ระบบภายในของเซนเซอร์ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและความเสถียรของเซนเซอร์ได้

2.3 ทฤษฎี/หลักการที่เกี่ยวข้อง

UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงและวัดปริมาณแสงยูวีที่ส่องผ่าน สามารถวัดค่า COD, TOC, BOD, SS (ของแข็งแขวนลอยในน้ำ), อุณหภูมิ และ Turbidity (ความขุ่นของน้ำ) ได้ ให้ผลตอบสนองรวดเร็ว นอกจากนี้ยังติดตั้งระบบปิดทำความสะอาดอัตโนมัติภายในตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสะสมของคราบจุลินทรีย์ด้วย

บอร์ด ESP32 Control V2.0RXO เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประเภท Digital Input และเซนเซอร์ภายนอกแบบ RS485 รองรับการทำงานเชื่อมต่อ Wi-fi ใช้ภาษา C ในการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ร่วมกับ Arduino IDE และ ESP32 Control Library สามารถ Upload Firmware เข้าสู่ตัวบอร์ดได้ง่ายโดยผ่านพอร์ต USB 2.0 และมี LED แสดงสถานะของบอร์ด

การเชื่อมต่อแบบ RS485 เป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication) ที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะทางไกล ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบควบคุมที่อุปกรณ์อยู่ห่างกัน อีกทั้งยังรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายตัว

ได้พร้อมกันด้วย อย่างไรก็ตามสำหรับการศึกษานี้ใช้การสื่อสารแบบ Half-duplex ซึ่งจะมีเพียงอุปกรณ์เดียวเท่านั้นที่สามารถส่งข้อมูลได้ในเวลาหนึ่งๆ เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูล

MQTT คือโปรโตคอลการรับส่งข้อความแบบเบา (Lightweight) ที่ออกแบบมาสำหรับการสื่อสารแบบ Machine-to-Machine (M2M) ทั้งนี้ข้อความแบบเบาเป็นข้อความที่มีขนาดเล็ก ใช้แบนด์วิดท์น้อยและใช้พลังงานต่ำ ทำให้เหมาะสำหรับอุปกรณ์ IoT

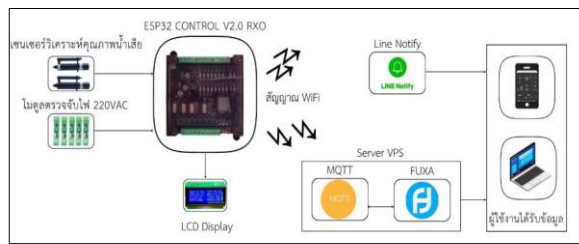
Mosquitto เป็น Message Broker แบบโอเพนที่นำโปรโตคอล MQTT มาใช้งาน มีขนาดเล็กและเหมาะสมสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์ทุกประเภท มีวิธีการส่งข้อมูลไม่ซับซ้อน จะใช้รูปแบบ Publish/Subscribe ทำให้เหมาะกับการใช้ในระบบ IoT

Virtual Private Server (VPS) คือบริการเช่าเซิร์ฟเวอร์เสมือนที่สร้างขึ้นจากซอฟต์แวร์บนเซิร์ฟเวอร์หลัก เทคโนโลยีนี้ช่วยให้สามารถแบ่งทรัพยากรฮาร์ดแวร์ เช่น CPU, RAM และพื้นที่เก็บข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ได้อย่างอิสระ แต่ละ VPS ที่สร้างขึ้นจะทำงานแยกจากกันอย่างสมบูรณ์ ผู้ใช้งานจึงสามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการ โปรแกรม หรือแอปพลิเคชันที่ต้องการได้ตามความเหมาะสม โดยไม่กระทบกับเซิร์ฟเวอร์เสมือนอื่นๆ ที่อยู่บนเครื่องเดียวกัน

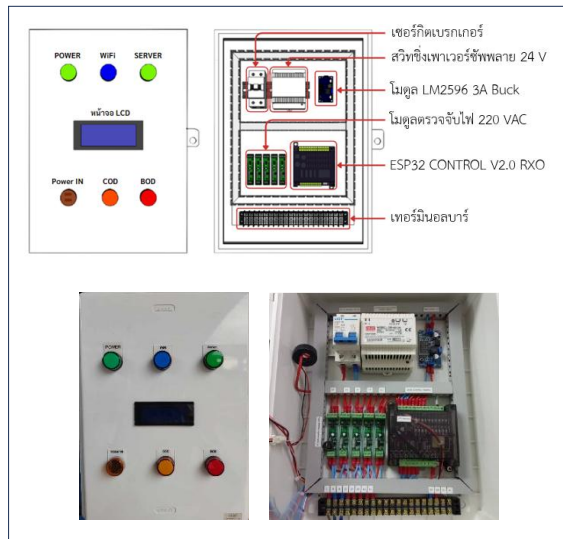
FUXA คือซอฟต์แวร์ Open Source สำหรับ Process Visualization เช่น SCADA/HMI และ Dashboard ที่ทำงานบนเว็บ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างและใช้งานระบบ IIoT (Industrial Internet of Things) ได้อย่างยืดหยุ่นและปรับขนาดได้ง่าย FUXA รองรับมาตรฐานการสื่อสารที่หลากหลายรวมถึงโปรโตคอล MQTT การสร้างหน้าจอแสดงผลทำได้ง่ายด้วยการลากและวาง (Drag & Drop) และสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ นอกจากนี้ FUXA ยังสามารถติดตั้งและรันเซิร์ฟเวอร์บนระบบปฏิบัติการ Windows, Linux และ Raspberry Pi ได้อีกด้วย

2.4 องค์ประกอบสำคัญของระบบ

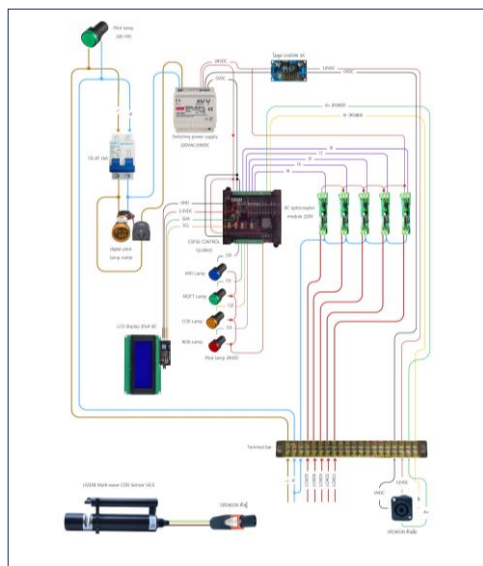
องค์ประกอบสำคัญของระบบประกอบด้วยเซนเซอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 ที่จุ่มหัวไว้ที่บ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำจากพารามิเตอร์สำคัญ คือ COD, BOD, Turbidity และ Temperature นอกจากนี้ยังวัดค่า Humidity เพื่อใช้ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำเข้าเซนเซอร์ด้วย ค่าทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 Control V2.0RXO แล้วส่งไปแสดงผลใน 2 รูปแบบ คือ 1) แสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ติดอยู่หน้าตู้ควบคุม และ 2) แสดงผลข้อมูลทั้งหมดรวมถึงวันที่และเวลาบน Dashboard ของซอฟต์แวร์ FUXA ที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จาก ESP32 จะถูกส่งผ่านโปรโตคอล MQTT ไปยัง VPS Online ที่มี MQTT Broker ติดตั้งอยู่ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บลงใน Database เพื่อบันทึกและสามารถเรียกดูย้อนหลังได้ ซอฟต์แวร์ FUXA ที่ติดตั้งอยู่บน VPS Online จะเชื่อมต่อกับ MQTT Broker เพื่อรับข้อมูลมาแสดงผลแบบเรียลไทม์บน Dashboard ที่ถูกออกแบบไว้ อีกทั้งยังส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านทาง LINE Notify ในกรณีที่ค่า COD และ BOD มีการเปลี่ยนแปลงค่าขณะที่สูงหรือต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ($COD \leq 120 \text{ mg/L}$ และ $BOD \leq 20 \text{ mg/L}$) นอกจากนี้ระบบมีฟังก์ชันเสริมที่แสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำ 5 ตัวบนหน้า Dashboard ของซอฟต์แวร์ FUXA ที่ออกแบบไว้ด้วย ดังแสดงภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ องค์ประกอบภายนอกและภายในของตู้ควบคุมและแผนภาพการต่ออุปกรณ์ในรูปที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 2 องค์ประกอบภายนอกและภายในของตู้ควบคุม



รูปที่ 3 แผนภาพการต่ออุปกรณ์

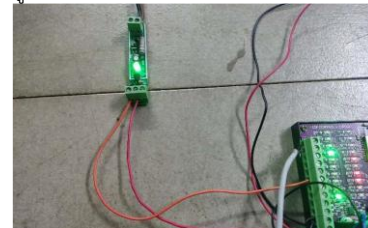
2.5 วิธีดำเนินการทดลอง

วิธีดำเนินการทดลองประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ 1) การสอบเทียบเซนเซอร์ UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 โดยสร้างสมการสอบเทียบที่ใช้ในการแปลงค่าการดูดกลืนแสงที่เซนเซอร์วัดได้ให้เป็นค่า COD หรือ BOD แล้วนำค่าจากสมการไปปรับตั้งค่าในเครื่องสอบเทียบเพื่อให้เซนเซอร์สามารถวัดค่า COD หรือ BOD ได้ถูกต้อง 2) ต่อวงจร

ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ และทดสอบการทำงานของโมดูลจ่ายไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ 3) ทดสอบการแสดงผลที่หน้าจอ LCD 4) ทดสอบการแสดงผลบน Dashboard ของโปรแกรม FUXA ที่ออกแบบไว้ 5) ทดสอบการค้นหาข้อมูลย้อนหลัง และ 6) ทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify



รูปที่ 4 วงจรและทดสอบวัดค่าจากเซนเซอร์



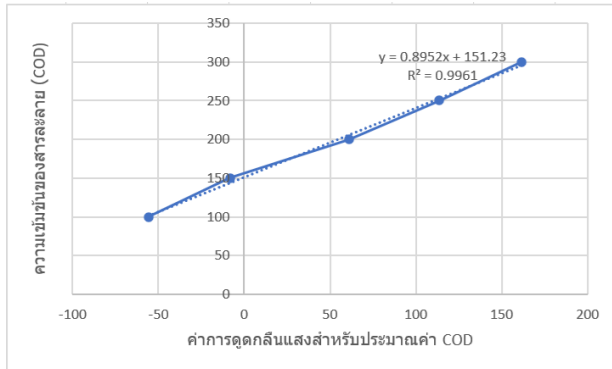
รูปที่ 5 ทดสอบการทำงานของโมดูลจ่ายไฟ

3. ผลการทดลอง

การสอบเทียบเซนเซอร์ UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 เพื่อหาค่า COD กระทำโดยสร้างกราฟสอบเทียบ (Calibration Curve) ที่ เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง “ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า COD ที่วัดได้จากเซนเซอร์” กับ “ค่า COD ที่เทียบมาจากความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน” โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลาย Potassium Hydrogen Phthalate ที่มีความเข้มข้น COD ที่หลากหลาย 5 ระดับ ได้แก่ 100, 150, 200, 250, และ 300 mg/L จากนั้นจุ่มเซนเซอร์ลงใน สารละลายเพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า COD วัดค่าซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์การถดถอย เชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดี ที่สุดระหว่าง “ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (ค่าเฉลี่ย)” กับ “ความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐาน (COD ที่ต้องการ)” จะได้สมการสอบเทียบที่ใช้ ในการแปลงดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะได้อัตรา R^2 ที่บ่งบอกความแม่นยำ เท่ากับ 0.99 นำค่าความชัน (Slope) และจุดตัดแกน Y ตั้งค่าในเครื่อง สอบเทียบเซนเซอร์สำหรับหาค่า COD ทำให้สามารถแปลง “ค่าการ ดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า COD ที่วัดได้จากเซนเซอร์” เป็น “ค่า COD ที่ต้องการ” โดยอัตโนมัติ

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า COD ที่วัดได้จาก เซนเซอร์ที่แต่ละระดับความเข้มข้นของสารละลาย (COD ที่ต้องการ)

ความเข้มข้นของ สารละลาย (mg/L)	การดูดกลืนแสงที่วัดได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	-55.653	-55.564	-55.705	-55.641
150	-8.005	-8.225	-8.254	-8.161
200	60.74	61.08	60.946	60.922
250	113.684	113.695	113.703	113.694
300	161.728	161.637	161.489	161.618



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า COD กับความเข้มข้นของสารละลาย (COD ที่ต้องการ)

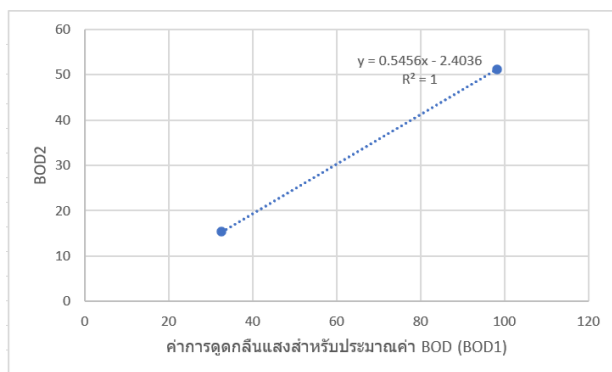
ส่วนการสอบเทียบเซนเซอร์เพื่อหาค่า BOD จะกระทำโดยอาศัยค่า COD ที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ผ่านการสอบเทียบหา COD ได้ถูกต้องแล้ว กระบวนการทดสอบจะใช้น้ำจาก 2 แหล่ง คือ

- 1) แหล่งน้ำที่เจือปนมลพิษต่ำ (สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ได้) และ
- 2) แหล่งน้ำที่เจือปนมลพิษสูง (แหล่งที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพน้ำ)

ใช้เซนเซอร์ที่ทดสอบเทียบเพื่อหาค่า COD ที่ถูกต้องแล้ววัดค่า COD และการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า BOD (BOD1) โดยวัดซ้ำ 3 ครั้งของแต่ละค่า เพื่อใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของค่า COD และ BOD1 สำหรับแต่ละแหล่งน้ำ จากนั้นหาค่า BOD2 (ค่าที่ต้องการ) โดยใช้อัตราส่วนที่เปรียบเทียบกับค่า COD เป็น COD:BOD2 = 2:1 จะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นสร้างสมการสอบเทียบจากกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า BOD1 และ BOD2 จะได้สมการสอบเทียบที่ใช้ในการแปลง “ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า BOD ที่เซนเซอร์วัดได้” เป็น “ค่า BOD ที่ต้องการ” ดังแสดงในรูปที่ 7 นำค่าความชัน (Slope) และจุดตัดแกน Y ไปตั้งค่าในเครื่องสอบเทียบเซนเซอร์สำหรับหาค่า BOD ทำให้เซนเซอร์สามารถแปลง “ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับประมาณค่า BOD ที่เซนเซอร์วัดได้” เป็น “ค่า BOD ที่ต้องการ” ได้โดยอัตโนมัติ

ตารางที่ 2 ค่า COD, BOD1 และ BOD2 จากแต่ละแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ	COD				BOD1				BOD2=COD/2
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	30.663	30.756	30.837	30.752	33.101	32.604	32.056	32.587	15.376
2	102.13	102.53	102.71	102.45	99.413	99.575	95.9	98.296	51.227

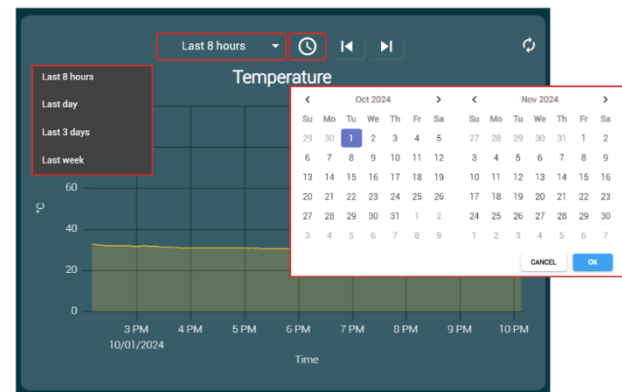


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง BOD1 กับ BOD2

หลังจากสอบเทียบเซนเซอร์ UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 ให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้องและมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้ว ข้อมูลวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่วัดได้จะถูกบันทึกค่าบน Database พร้อมทั้งวัน เวลาโดยบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

Date/Time	COD	BOD	Turbidity	Temperature	Humidity
29/09/2024 - 19:48:00	94.7	50.27	30.82	31.56	55.58
29/09/2024 - 19:47:00	95.36	48.98	30.66	31.57	55.59
29/09/2024 - 19:46:00	95.91	47.92	30.5	31.57	55.57
29/09/2024 - 19:45:00	95.21	50.02	30.26	31.57	55.58
29/09/2024 - 19:44:00	95.61	50.31	30.16	31.56	55.58
29/09/2024 - 19:43:00	95.72	48.44	30.39	31.58	55.59
29/09/2024 - 19:42:00	95.27	50.32	30.06	31.59	55.6
29/09/2024 - 19:41:00	96.12	48.14	30.12	31.59	55.58
29/09/2024 - 19:40:00	96.72	47.87	29.98	31.6	55.57
29/09/2024 - 19:39:00	95.46	50.21	29.86	31.6	55.57
29/09/2024 - 19:38:00	95.6	49.51	30.26	31.63	55.58
29/09/2024 - 19:37:00	95.49	50.53	29.92	31.63	55.56
29/09/2024 - 19:36:00	95.88	50.55	30.01	31.63	55.56
29/09/2024 - 19:35:00	96.14	48.57	29.73	31.65	55.56
29/09/2024 - 19:34:00	95.44	49.48	29.86	31.64	55.57
29/09/2024 - 19:33:00	95.42	48.37	30.07	31.65	55.57
29/09/2024 - 19:32:00	95.53	49.33	30.26	31.66	55.56
29/09/2024 - 19:31:00	96.83	47.66	30.38	31.67	55.56
29/09/2024 - 19:30:00	96.88	48.15	30.15	31.67	55.59
29/09/2024 - 19:29:00	94.5	50.43	30.52	31.67	55.58

รูปที่ 8 Database



รูปที่ 9 การเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง

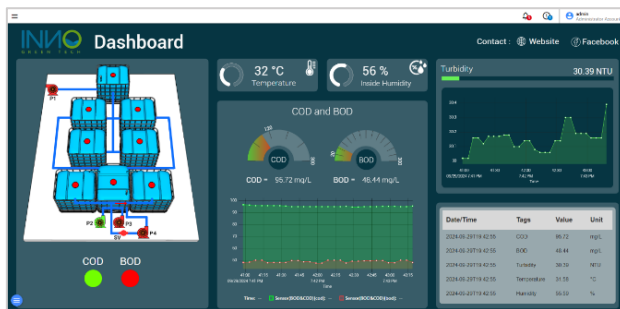
ข้อมูลที่วัดได้ยังถูกนำมาแสดงค่าในสองรูปแบบ คือ 1) บนหน้าจอ LCD ของตู้ควบคุมดังแสดงในรูปที่ 10 และ 2) บน Dashboard ของซอฟต์แวร์ FUXA ที่ถูกออกแบบดังแสดงในรูปที่ 11 โดยค่าที่แสดงบน Dashboard สามารถแสดงได้หลากหลายรูปแบบที่มีความยืดหยุ่นและเป็นมิตรกับผู้ใช้ประกอบด้วย

- รูปภาพวาดที่แสดงถึงของระบบบำบัดน้ำเสีย
- รูปสัญลักษณ์ของมอเตอร์ปั๊มพร้อมเปลี่ยนสีแสดงสถานะการทำงานได้
- หลอดไฟแสดงสถานะของค่า COD และ BOD
- ตัวเลขแสดง Temperature และ Humidity
- ตัวเลข มิเตอร์และกราฟแสดงค่า COD, BOD และ Turbidity
- ตัวเลขแสดงค่าทั้งหมดในรูปของตาราง

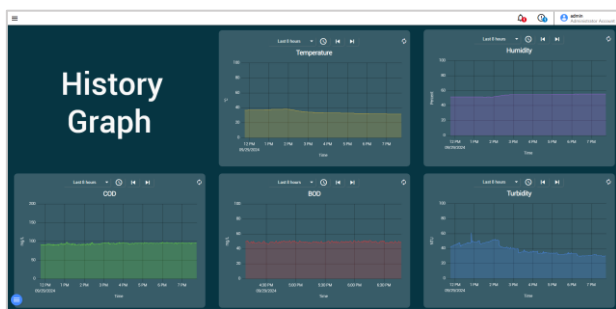
นอกจากนี้ยังได้ออกแบบเพิ่มหน้าจอ History Graph ของค่าทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 12 และในกรณีที่ค่า COD และ BOD ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่าขณะที่สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านทาง LINE Notify ดังแสดงในรูปที่ 13



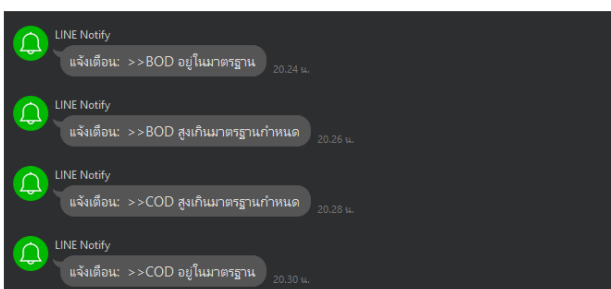
รูปที่ 10 จอ LCD แสดงผล



รูปที่ 11 Dashboard ของซอฟต์แวร์ FUXA ที่ออกแบบ



รูปที่ 12 History Graph ของค่าทั้งหมด



รูปที่ 13 แจ้งเตือนขณะที่ค่า COD หรือ BOD เปลี่ยนค่าสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด

4. สรุป

ระบบ IoT ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้สามารถติดตามและแจ้งเตือนคุณภาพน้ำเสียได้แบบเรียลไทม์ ระบบจะใช้เซนเซอร์ UV254 Multi-wave COD Sensor V2.0 สำหรับวัดค่า COD, BOD, Turbidity และ Temperature เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ แล้วส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์มาแสดงผลบนหน้าจอ LCD ของตู้ควบคุมที่ติดตั้งไว้ที่บ่อบำบัดน้ำเสียและบน Dashboard ของโปรแกรม FUXA ที่ถูกออกแบบไว้ในหลากหลายรูปแบบให้ใช้งานได้สะดวกและเข้าใจง่าย ทำให้สามารถเฝ้าติดตามสถานะของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระยะไกลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ ไม่ต้องเดินทางไปเก็บตัวอย่างน้ำ ลด

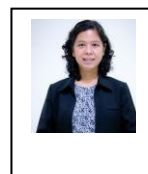
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบดั้งเดิม ลดเวลาการขนส่งตัวอย่างน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงาน อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์คุณภาพน้ำในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการปนเปื้อนของน้ำเสียได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังสามารถแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ในกรณีที่ค่า COD และ BOD มีการเปลี่ยนแปลงค่าขณะที่สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐาน และสามารถค้นหาข้อมูลย้อนหลังจาก Database ที่ระบบบันทึกไว้ได้ด้วย ระบบ IoT สำหรับติดตามคุณภาพน้ำสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วในระบบบำบัดน้ำเสียได้โดยอัตโนมัติ เมื่อค่าคุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ระบบจะดำเนินการแก้ไขสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยป้องกันการปนเปื้อนและรักษามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และบริษัทอินโน กรีน เทค จำกัด ที่สนับสนุนการศึกษาระบบ IoT เพื่อการติดตามและแจ้งเตือนคุณภาพน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561, กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.
- [2] "บริการงานด้านโรงงานอุตสาหกรรม," กรมโรงงานอุตสาหกรรม, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.diw.go.th/webdiw/s-fac/>. [สืบค้นเมื่อ 29 เม.ย. 2568].
- [3] ส. ศิริอนันต์ไพบูลย์, ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System), กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป, 2557.
- [4] J. A. Aguilar-Torrejón, P. Balderas-Hernández, G. Roa-Morales, C. E. Barrera-Díaz, I. Rodríguez-Torres, and T. Torres-Blancas, "Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water-An overview through time," *SN Applied Sciences*, 2023.
- [5] N. Chavhan, R. Bhattad, S. Khot, S. Patil, A. Pawar, T. Pawar, and P. Gawli, "APAH: An autonomous IoT driven real-time monitoring system for Industrial wastewater," *Digital Chemical Engineering*, vol. 14, p. 100217, 2025.
- [6] บริษัท อินโน กรีน เทค จำกัด, "Biocircuit," [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://inno-green-tech.com/th>. [สืบค้นเมื่อ 3 ก.ค. 2567].



Learning

■ **ปฐุมการ จันทรพรม** อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีความสนใจทางด้าน IoT, Digital Signal Processing, Pattern Recognition, Control System และ Machine



Programmable Logic Controller (PLC)

■ **ปรมินทร์ สุขะฤกษ์** จบการศึกษา ระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย มีความสนใจทางด้าน IoT, C Programming, Electrical System Design และ



▪ **ภทรพล ธรรมชนธ์** จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีความสนใจทางด้านระบบควบคุม และตรวจสอบ - บำรุงรักษาระบบไฟฟ้า



▪ **วรเชษฐ สะแหละ** หัวหน้าฝ่ายผลิตและติดตั้ง บริษัท อินโน กรีน เทค จำกัด มีความสนใจทางด้าน Microcontroller Embedded System, IoT, Control System และ Electrical System



▪ **ชลทิศา สุขเกษม** ผู้ก่อตั้งและประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท อินโน กรีน เทค จำกัด มีความเชี่ยวชาญและสนใจในสาขา Bio-electrochemistry, Bio-process Engineering, Green Technology, Climate Technology และ Artificial Intelligence