

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสำหรับตู้ปลานาโนด้วยหลักการ Fuzzy Logic ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

Development of a Water Temperature Control System for Nano Aquariums

Using Fuzzy Logic Principles via a Web Application

อติราช สุขสวัสดิ์ ชัย วันคัน ประสาน เอื้อทาน ธนอดล ภูมอลนา เกียรติภูมิ สำราญพงษ์ และ โยธกา ตั้งตระกูล *

Atirarj Suksawad Chai Wankan Prasan Aurtan Thanadol Phoomoonna Kaittipoom Samranphong and Yotaka Tungtragul *

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,

Khon Kaen, Campus, Thailand,

*Corresponding Author E-mail: yotaka.tu@rmuti.ac.th

Received: 10/09/24, Revised: 19/10/25, Accepted: 21/10/25

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิอัจฉริยะสำหรับตู้ปลานาโนเล็ก โดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ร่วมกับแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดค่า pH และอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อม ระบบควบคุมอุณหภูมิจะปรับการทำงานของโมดูลควบคุมความร้อนโดยอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วยพัดลมระบายความร้อนฮีตซิงก์ และแผ่นร้อนเย็น ข้อมูลแบบเรียลไทม์จะแสดงผลผ่านหน้าจอ OLED และถูกส่งต่อไปยังเว็บแอปพลิเคชันที่ออกแบบขึ้นเฉพาะ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเฝ้าติดตามและควบคุมตู้ปลาผ่านอินเทอร์เน็ตได้จากระยะไกล ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการรักษาอุณหภูมิน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้อย่างแม่นยำ ปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้ดี และแสดงข้อมูลได้อย่างเชื่อถือ ทั้งในระดับอุปกรณ์ภายในและการเชื่อมต่อออนไลน์ ระบบที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลตู้ปลาและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในระยะยาว จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับระบบนิเวศในตู้ปลาอัจฉริยะ

คำสำคัญ: ฟัซซี่ลอจิก, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ESP32, เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

The design and implementation of an intelligent temperature control system for small aquariums utilizing fuzzy logic control combined with an Internet of Things platform is suggested by this study. Utilizing an ESP32 as its central processing unit, the system interfaces with accurate pH and temperature sensors to track environmental conditions. The system uses a fuzzy logic method to dynamically modify a thermal control module that includes a cooling

fan, heatsink, and Peltier device. An OLED screen shows real-time data, which is then sent to a specially created web application so that users can remotely monitor and control the aquarium online. The system's capacity to accurately maintain water temperature within the ideal range, adapt to environmental changes, and guarantee data dependability through both local and online interfaces is demonstrated by the experimental findings. The suggested approach lowers long-term operating costs and improves aquarium maintenance efficiency, making it a workable option for intelligent aquatic ecosystems.

Keywords: Fuzzy Logic Control, Internet of Things (IoT), ESP32, Web Application

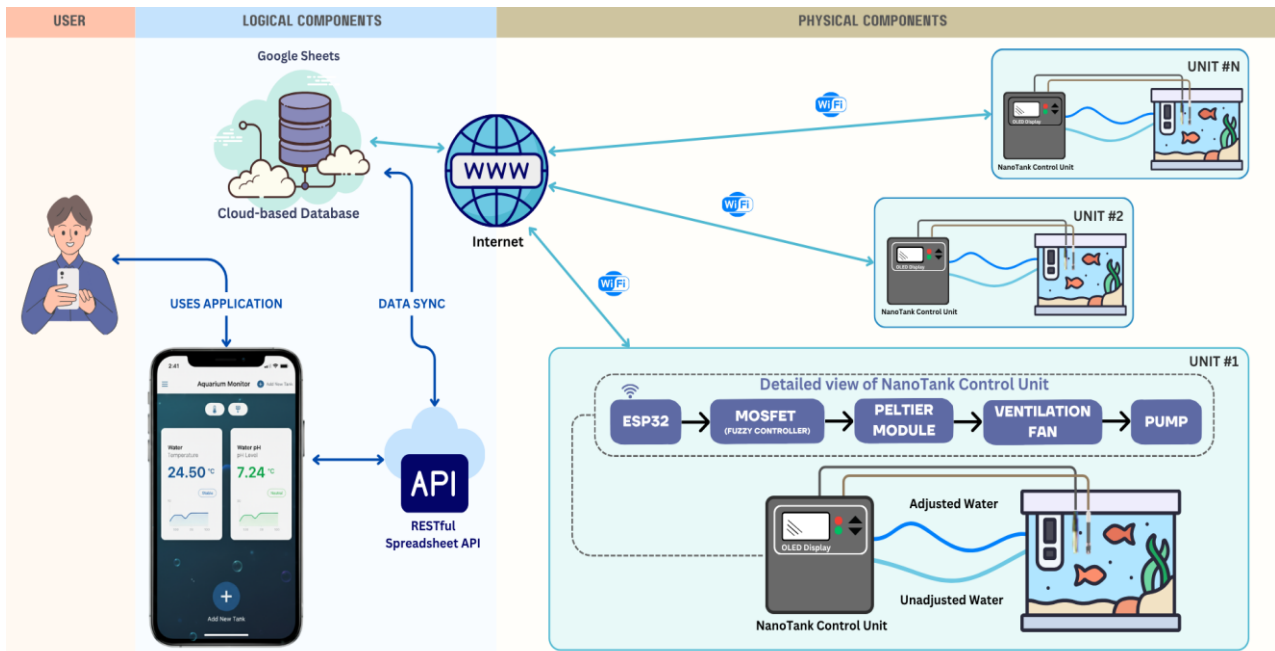
1. บทนำ

ในปัจจุบันการเลี้ยงปลาสวยงามได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการเลี้ยงในตู้ปลานาโนซึ่งมีขนาดเล็กและสะดวกต่อการจัดวาง อย่างไรก็ตาม ตู้ปลานาโนมีข้อจำกัดด้านเสถียรภาพของสภาพแวดล้อมภายใน [1-5] เนื่องจากปริมาณน้ำน้อยทำให้อุณหภูมิและคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ความผันผวนดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของปลา

ที่ผ่านมาได้มีความพยายามพัฒนาระบบด้วยการใช้อุปกรณ์อัจฉริยะที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย Internet of Things (IoT) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานจากระยะไกล [5-11] โดยทั่วไประบบเหล่านี้มักอาศัยรีเลย์ในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ เช่น ฮีตเตอร์ พัดลม หรือปั้มน้ำตามค่าที่กำหนด วิธีการดังกล่าวแม้จะช่วยให้ระบบทำงานอัตโนมัติและเพิ่มความสะดวกสบายได้ แต่กลับมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การแกว่งของอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป (overshoot/undershoot) สิ้นเปลืองพลังงาน และทำให้สภาพแวดล้อมในตู้ปลาไม่เสถียร อีกทั้งการควบคุมแบบเปิด-ปิดยังไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ

สภาพแวดล้อมแบบต่อเนื่องได้อย่างทันท่วงที จึงไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงในตู้ปลานานาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าตู้ปลาขนาดใหญ่

อัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิก เพื่อประเมินสถานะของระบบและออกคำสั่งควบคุมอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับสถานะที่ตรวจวัดได้ (3) ระบบควบคุมอุปกรณ์ ได้แก่ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier Module), พัดลมระบาย



รูปที่ 1 ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับตู้ปลานานาด้วยหลักการ Fuzzy Logic

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้นำหลักการ Fuzzy Logic มาประยุกต์ใช้ [12-16] เนื่องจากสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนของข้อมูลและตัดสินใจได้อย่างยืดหยุ่น ระบบถูกออกแบบให้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ พัดลม แผ่นร้อน-เย็น และปั้มน้ำ เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ร่วมกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการแสดงผลและควบคุมระยะไกลแบบเรียลไทม์ ผู้เลี้ยงสามารถติดตามข้อมูลสำคัญได้ทุกที่ทุกเวลา จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อมในตู้ปลานานาและส่งเสริมความยั่งยืนในการเลี้ยงปลา

2. การออกแบบระบบ

ระบบควบคุมอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของปลา โดยนำเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Control) มาใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ ทั้งนี้ ระบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ (1) ระบบตรวจวัด ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งภายในตู้ปลา มีหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิในแบบต่อเนื่อง และส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังหน่วยประมวลผลกลาง เพื่อใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อมของระบบ (2) หน่วยประมวลผลกลาง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลและรองรับการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ และดำเนินการประมวลผลด้วย

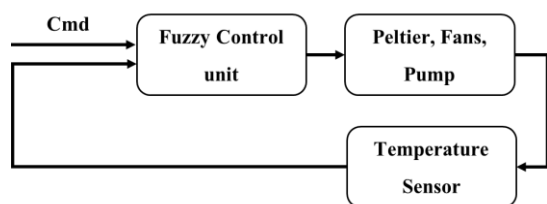
รูปที่ 1 เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิตู้ปลานานาที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยหน่วยควบคุมหลัก (Control Box) ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นศูนย์กลางในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ปลา และประมวลผลข้อมูลดังกล่าวด้วยฟัซซี่ลอจิก เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ได้แก่ แผ่น Peltier สำหรับลดอุณหภูมิ พัดลมสำหรับระบายความร้อน และปั้มน้ำสำหรับรักษาคุณภาพน้ำ ทั้งนี้ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลการทำงานของระบบจะถูกส่งไปจัดเก็บในฐานข้อมูลแบบออนไลน์ และสามารถแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์พกพาหรือคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะของระบบ รวมถึงตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมและติดตามระบบได้แบบเรียลไทม์จากทุกที่ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

ตารางที่ 1 รายละเอียดเชิงกายภาพของระบบ

องค์ประกอบ	รายละเอียดเชิงกายภาพ	ตำแหน่งติดตั้งลักษณะ
ตู้ปลา	38.4 x 22.5 x 28 ซม. ความจุ 15 ลิตร	เป็นโครงหลักของระบบ ใช้เลี้ยงปลา
ESP32	หน่วยประมวลผลกลาง	ติดตั้งภายในกล่องควบคุม เพื่อลดความชื้นและง่ายต่อการบำรุงรักษา
เซนเซอร์วัด	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิใน	ติดตั้งใกล้ตัวน้ำของตู้ปลา

องค์ประกอบ	รายละเอียดเชิงกายภาพ	ตำแหน่งติดตั้ง/ลักษณะ
อุณหภูมิ (DS18B20)	น้ำ ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	
เซนเซอร์ตรวจจับค่า PH	วัดระดับความเป็นกรดหรือความเป็นด่าง (ค่า pH) ในของเหลวหรือสารละลาย	ติดตั้งใกล้ผิวน้ำของตู้ปลา
แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier TEC1-12706)	แผ่นทำความเย็นสำหรับทำความเย็นให้น้ำในตู้ปลา	ติดตั้งภายในกล่องควบคุมนอกตู้ปลา
ระบายความร้อน (Heat Sink 4 Pipes)	ลดอุณหภูมิขณะทำงานของแผ่นทำความเย็น (Peltier)	ติดตั้งภายในกล่องควบคุมคู่กับ Peltier ช่วยระบายความร้อนฝั่งร้อน
พัดลมระบายความร้อน 12 V 0.02 A ขนาด 9x9 จำนวน 2 ตัว	ระบายความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องเพื่อนำความร้อนออกไปข้างนอก	ติดตั้งภายในกล่องควบคุมนอกตู้ปลา
ปั้มน้ำ (Water Pump)	ปั้มน้ำขนาดเล็ก 5V-12V อัตราการไหล 200-400 L/h	ติดตั้งที่ก้นตู้ปลาเพื่อหมุนเวียนน้ำ
OLED 128x64	จอแสดงผล	หน้ากล่องควบคุม
สวิตช์ (Push Bottom Switch)	กดตั้งค่า เพิ่ม-ลด อุณหภูมิ หรือโหมดต่างๆ ของระบบ	หน้ากล่องควบคุม
เว็บแอปพลิเคชัน	ระบบแสดงผลและควบคุมผ่าน IoT	ผู้ใช้เข้าถึงได้ด้วยคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ตโฟนผ่านอินเทอร์เน็ต

การออกแบบโครงสร้างของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซีสำหรับตู้ปลานขนาดเล็ก พัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ร่วมกับการตั้งงานอุปกรณ์ควบคุม โดยการทำงานทั้งหมดถูกกำหนดตามกฎฟัซซีที่ออกแบบไว้ โครงสร้างการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบควบคุมแบบฟัซซี

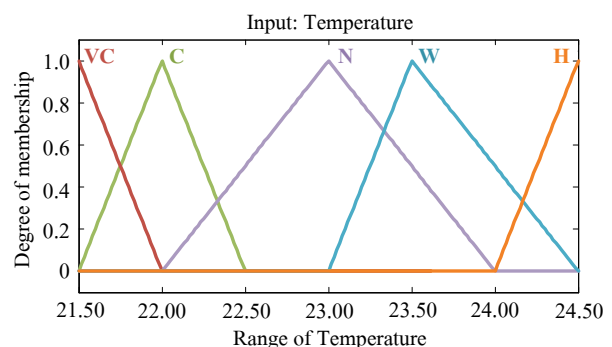
สัญญาณ อ้าวอิง (Cmd) ถูกส่งเข้าสู่ Fuzzy Control Unit เพื่อประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จาก Temperature Sensor จากนั้นหน่วยควบคุมฟัซซีจะทำการตัดสินใจและสร้างสัญญาณควบคุมไปยัง Peltier, พัดลม และปั้มน้ำ เพื่อปรับสมดุลของอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กลไกนี้เป็นลูปปิด (closed-loop control system) ที่อาศัยการป้อนกลับ (feedback) ของอุณหภูมิจริงจากเซนเซอร์มาใช้ในการปรับการทำงาน

ของอุปกรณ์ให้ตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซีในตู้ปลาได้กำหนดฟังก์ชันสมาชิก (Membership Functions: MFs) สำหรับตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตที่เกี่ยวข้อง โดยประกอบไปด้วยฟังก์ชันสมาชิกอินพุตของอุณหภูมิ (Temperature) ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแผ่นร้อน-เย็น (Cooler Plate) ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตของพัดลม (Fan) และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตของปั้มน้ำ (Pump) แสดงดังรูปที่ 4-7 ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงกราฟฟังก์ชันสมาชิกอินพุตของอุณหภูมิซึ่งกำหนดช่วงอุณหภูมิระหว่าง $21.50 - 24.50^{\circ}\text{C}$ ถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

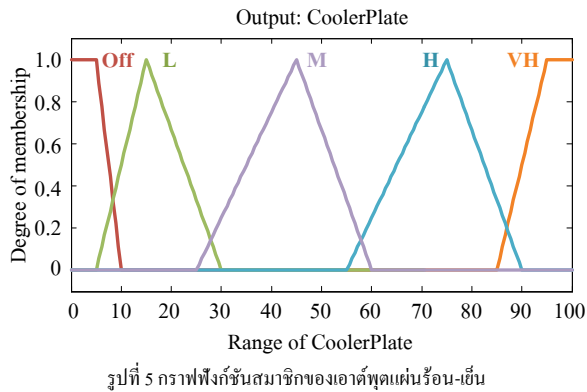
1. VC (Very Cold) ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิใกล้ $21.5-22.0^{\circ}\text{C}$ เมื่อค่าอุณหภูมิต่ำกว่า 22.0°C จะถูกตีความว่า “เย็นมาก”
2. C (Cold) ครอบคลุมช่วงประมาณ $21.5-22.5^{\circ}\text{C}$ บ่งบอกว่าอุณหภูมิยังเย็นอยู่ แต่ไม่ถึงกับเย็นจัด
3. N (Normal) ครอบคลุมช่วงประมาณ $22.0-24.0^{\circ}\text{C}$ ถือเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ
4. W (Warm) ครอบคลุมช่วงประมาณ $23.0-24.5^{\circ}\text{C}$ แสดงว่าอุณหภูมิเริ่มอุ่นเกินไป
5. H (Hot) ครอบคลุมค่ามากกว่า 24°C จนถึง 24.5°C ส่อถึงสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกินไป อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในตู้ปลา



รูปที่ 4 กราฟฟังก์ชันสมาชิกอินพุตของอุณหภูมิ

กราฟฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแผ่นร้อน-เย็นที่แสดงดังรูปที่ 5 เป็นการกำหนดช่วงเอาต์พุตของแผ่นร้อน-เย็นแบ่งออกเป็น 5 ระดับ

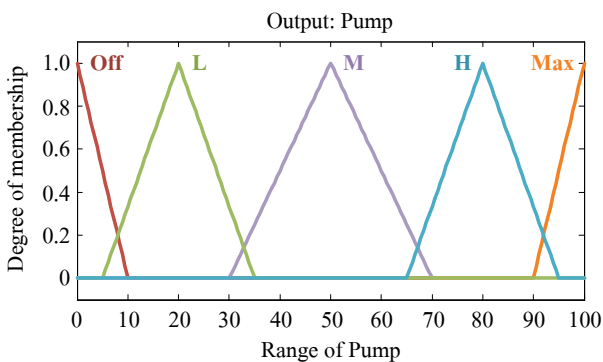
1. Off (0-10%) หมายถึงแผ่นร้อน-เย็น ไม่ทำงานหรือหยุดการจ่ายกำลัง ใช้ในสภาวะที่อุณหภูมิอยู่ในช่วงเหมาะสม
2. L (Low, 5-30%) กำลังทำงานต่ำ เหมาะสำหรับการควบคุมที่ต้องการลดอุณหภูมิไม่มาก
3. M (Medium, 25-60%) ระดับการทำงานปานกลาง เพื่อปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่ช่วงปกติ
4. H (High, 55-90%) แสดงถึงการทำงานที่มีกำลังสูง เพื่อเร่งการระบายความร้อน
5. VH (Very High, 85-100%) กำลังสูงสุด ใช้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดอย่างมาก และจำเป็นต้องลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว



กราฟฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตพัฒนาระบายความร้อนที่แสดงในรูปที่ 6 กราฟนี้เป็นการกำหนดช่วงการทำงานพัฒนาระบายความร้อนให้กับฮาร์ดดิสก์ที่ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ

1. Off (0–10%) พัฒนหยุดทำงาน เมื่ออุณหภูมิอยู่ในระดับที่ไม่ต้องการการระบายอากาศ
2. L (Low, 5–40%) พัฒนทำงานที่ความเร็วต่ำ เหมาะสำหรับการปรับอากาศเล็กน้อย
3. M (Medium, 35–65%) พัฒนทำงานที่ความเร็วปานกลาง ใช้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงขึ้นในระดับปกติ
4. H (High, 60–90%) พัฒนทำงานที่ความเร็วสูง เพื่อเร่งการระบายอากาศเมื่อตู้ปลามีอุณหภูมิสูงเกิน
5. VH (Very High, 85–100%) พัฒนทำงานเต็มกำลัง เพื่อการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัด

รูปที่ 7 แสดงกราฟฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตปั๊มน้ำซึ่งกำหนดได้ระดับการทำงานของปั๊มน้ำ เพื่อให้การควบคุมมีความละเอียดและอัตราการไหลของน้ำในตู้ปลาที่เหมาะสมกับสภาวะอุณหภูมิของตู้ปลา การทำงานถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้



1. Off (0–10%) ปั๊มน้ำหยุดทำงานหรือทำงานน้อยมาก เหมาะสมเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วงปกติ ไม่จำเป็นต้องถ่ายเทน้ำ
2. L (Low, 5–35%) ปั๊มน้ำทำงานเบา ๆ เพื่อหมุนเวียนน้ำเล็กน้อย ป้องกันการเกิดจุดร้อน (hot spot) ในตู้ปลา

3. M (Medium, 30–70%) ปั๊มน้ำทำงานในระดับปานกลาง เพื่อปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตภายในตู้ปลา

4. H (High, 65–95%) ปั๊มน้ำทำงานในระดับสูง เพื่อเร่งการถ่ายเทความร้อนเมื่อตรวจพบว่าอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด

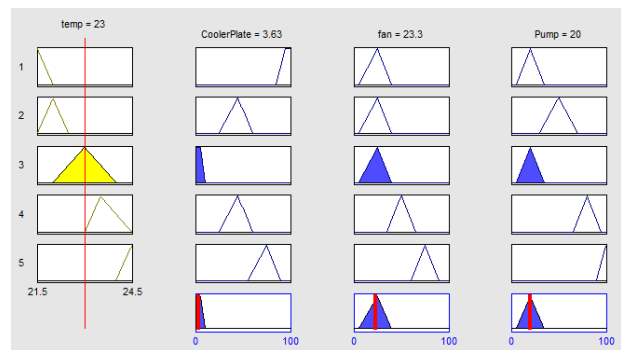
5. Max (90–100%) ปั๊มน้ำทำงานเต็มกำลัง เพื่อเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำอย่างรวดเร็ว กรณีอุณหภูมิสูงมาก จำเป็นต้องลดอุณหภูมิอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 2 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎ (Rules) กับการควบคุม PWM (%) ของทั้ง 3 อุปกรณ์ ตามฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตที่ได้ออกแบบไว้ตามข้างต้น โดยกฎฟัซซีนั้นถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ส่วนตัวเลขเปอร์เซ็นต์ในตารางนั้นจะถูกนำไปคูณกับค่า PWM สูงสุด (255) เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตแต่ละตัว

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎฟัซซีกับการควบคุม PWM

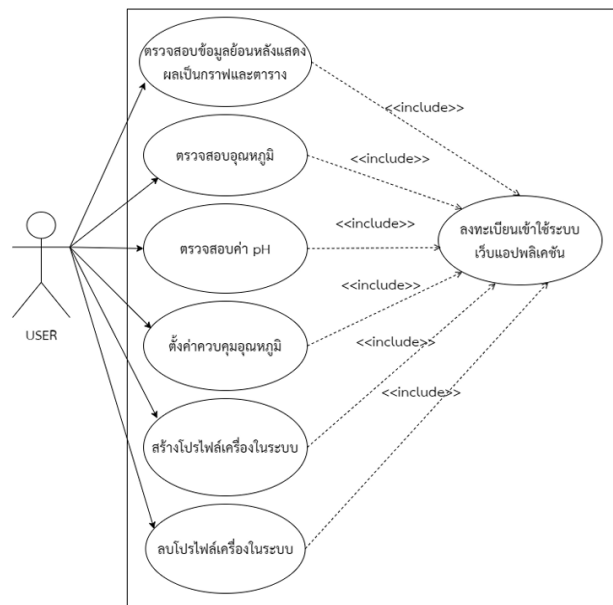
Rule	Temp (Input)	Peltier (%)	Fan (%)	Pump (%)
R1	VC (Very Cold)	0	10	20
R2	C (Cold)	15	25	20
R3	N (Normal)	45	50	50
R4	W (Warm)	75	80	80
R5	H (Hot)	100	100	100

ในการควบคุมอุณหภูมิของระบบ ได้มีการกำหนดคอนโทรลเป็นค่าอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) และเอาต์พุตเป็นการทำงานของชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนและควบคุม ได้แก่ แผ่นร้อน-เย็น, พัดลม และปั๊มน้ำ โดยใช้หลักการฟัซซีลอจิกในการแปลงค่าตัวเลขเชิงจริง (crisp value) ไปเป็นค่าความเป็นสมาชิก (membership value) ตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 8



ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนถึงกระบวนการ Defuzzification ที่สามารถแปลงค่าฟัซซีให้เป็นค่าตัวเลขเชิงจริง (crisp output) เพื่อนำไปใช้ในการสั่งการอุปกรณ์จริง โดยผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าระบบฟัซซีมีศักยภาพในการปรับระดับการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างต่อเนื่องและราบรื่น แทนการควบคุมแบบ ON/OFF ที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิมีความเสถียรและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

แผนภาพ Use Case Diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบควบคุมอุณหภูมิในตู้ปลานานา แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Use Case Diagram

จากแผนภาพ Use Case Diagram ผู้ใช้ต้องลงทะเบียนและเข้าสู่ระบบด้วยบัญชีที่กำหนดไว้เพื่อเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ หลังการยืนยันตัวตน ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลอุณหภูมิ ผลการวิเคราะห์ ข้อมูลผู้ใช้งาน และค่าพีเอช (pH) ของน้ำ รวมทั้งตั้งค่าตั้งควบคุมอุณหภูมิผ่านอินเทอร์เน็ตเฟส แผนภาพจึงสะท้อนการออกแบบที่เน้นการตรวจสอบและควบคุมแบบโต้ตอบบนระบบ IoT อย่างเป็นระบบ

3. ผลการดำเนินงาน

ระบบควบคุมคุณภาพน้ำ สามารถประยุกต์ใช้กับน้ำหลากหลายประเภท ทั้งน้ำจืดและน้ำที่มีส่วนประกอบทางเคมี เช่น น้ำทะเล ในการทดลองนี้ได้กำหนดขอบเขตการควบคุมอุณหภูมิให้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3 เป็นค่าที่ต้องควบคุมและรักษาไว้ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต

ตารางที่ 3 ขอบเขตอุณหภูมิที่กำหนด

ขอบเขตอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	หน่วย
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	21.50	องศาเซลเซียส °C
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	24.50	องศาเซลเซียส °C

การติดตั้งเครื่องควบคุมเข้ากับตู้ปลานานา โดยอุปกรณ์ทั้งหมด ได้แก่ ESP32, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซ็นเซอร์วัดค่า pH, สวิตช์ควบคุม และอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำ เช่น พัดลมและแผ่นร้อน-เย็น การติดตั้งดังกล่าวช่วยให้ระบบสามารถตรวจสอบสภาพน้ำและควบคุมอุณหภูมิได้แบบเรียลไทม์ ดังแสดงในรูปที่ 9

การประเมินประสิทธิภาพของระบบ การทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิและค่า pH ของน้ำ และตรวจสอบความถูกต้องของการแสดงผล

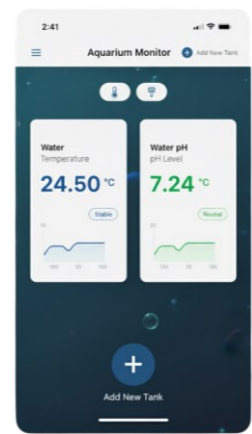
บนจอ OLED ดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) และการแสดงค่าอุณหภูมิและค่า pH ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 10 (ข)



รูปที่ 9 การติดตั้งเครื่องควบคุมเข้ากับตู้ปลา



(ก)



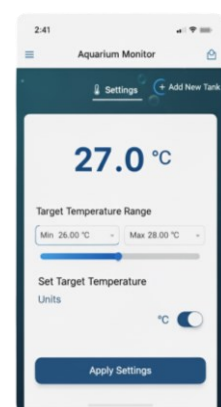
(ข)

รูปที่ 10 (ก) การแสดงค่าอุณหภูมิและค่า pH บนจอ OLED

(ข) การแสดงค่าอุณหภูมิและค่า pH ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 11 (ก) การทดสอบการตั้งค่าอุณหภูมิจากหน้าเครื่องควบคุม

(ข) การทดสอบการตั้งค่าอุณหภูมิผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแสดงค่าอุณหภูมิและค่า pH ได้ถูกต้องทั้งบนจอ OLED และเว็บแอปพลิเคชัน โดยค่าที่แสดงบนจอสอดคล้องกับเซนเซอร์แบบเรียลไทม์ ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน

สามารถอัปเดตข้อมูลบนแดชบอร์ดได้ต่อเนื่อง ทำให้ผู้ใช้ติดตามสถานะได้ทั้งในพื้นที่และทางไกล การประเมินประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการวัดค่าอุณหภูมิและ pH พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของการตั้งค่าอุณหภูมิผ่านปุ่ม Push Button ดังรูปที่ 11 (ก) และผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 11 (ข)

ผลการทดลองพบว่าการตั้งค่าอุณหภูมิทั้งจากหน้าเครื่องและผ่านเว็บแอปพลิเคชันสามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้อง ค่าที่ตั้งถูกบันทึกและแสดงผลในฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์บนแดชบอร์ดอย่างแม่นยำ สะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบในการควบคุมและจัดเก็บข้อมูล นอกจากนี้ได้มีการบันทึกค่าอุณหภูมิและ pH ของน้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที เพื่อประเมินความละเอียดและความแม่นยำในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในตู้ปลานาโน โดยผลลัพธ์จากตารางที่ 3 และรูปที่ 12 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการตรวจจับและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 อุณหภูมิและค่า PH ของเครื่องตู้ปลานาโนแบบเรียลไทม์เป็นระยะเวลาครึ่งชั่วโมง

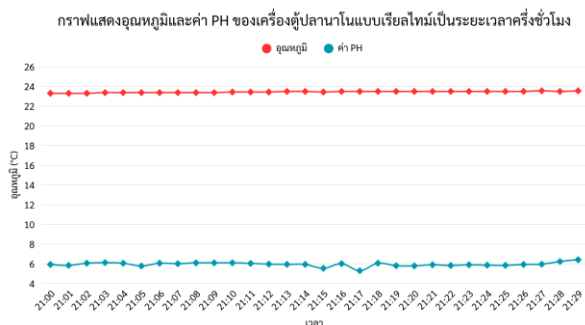
เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH
21:00	23.31	5.93	21:15	23.44	5.54
21:01	23.31	5.84	21:16	23.50	6.01
21:02	23.31	6.06	21:17	23.50	5.30
21:03	23.38	6.12	21:18	23.50	6.06
21:04	23.38	6.06	21:19	23.50	5.81
21:05	23.38	5.78	21:20	23.50	5.79
21:06	23.38	6.06	21:21	23.50	5.90
21:07	23.38	6.01	21:22	23.50	5.83
21:08	23.38	6.10	21:23	23.50	5.90
21:09	23.38	6.10	21:24	23.50	5.86
21:10	23.44	6.10	21:25	23.50	5.84
21:11	23.44	6.04	21:26	23.50	5.93
21:12	23.44	5.97	21:27	23.56	5.96
21:13	23.50	5.94	21:28	23.50	6.23
21:14	23.50	5.94	21:29	23.56	6.41

ตารางที่ 4 อุณหภูมิและค่า PH ของเครื่องตู้ปลานาโน ทุก 1 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

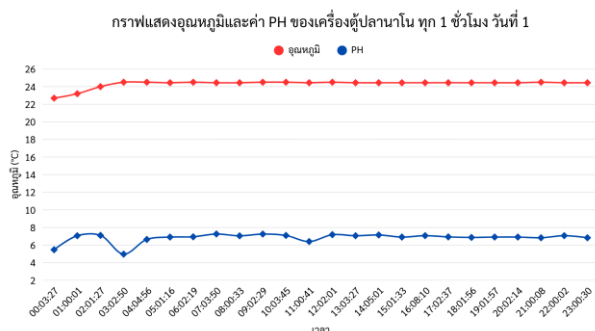
วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH
1	00:03	22.69	5.47	12:02	24.50	7.18
	01:00	23.19	7.06	13:03	24.44	7.06
	02:01	24.00	7.10	14:05	24.44	7.15

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH
	03:02	24.50	4.97	15:01	24.44	6.91
	04:04	24.50	6.64	16:08	24.44	7.07
	05:01	24.44	6.91	17:02	24.44	6.93
	06:02	24.50	6.94	18:01	24.44	6.87
	07:03	24.44	7.26	19:01	24.44	6.91
	08:00	24.44	7.05	20:02	24.44	6.91
	09:02	24.50	7.25	21:00	24.50	6.83
	10:03	24.50	7.09	22:00	24.44	7.07
	11:00	24.44	6.40	23:00	24.44	6.83
	00:01	24.50	6.94	12:00	22.00	5.54
	01:02	24.44	7.01	13:00	22.00	5.77
2	02:01	23.69	5.73	14:01	22.06	5.96
	03:01	22.50	5.17	15:01	22.00	4.96
	04:01	22.00	6.64	16:02	22.06	5.39
	05:01	22.06	6.49	17:02	22.00	5.6
	06:02	22.06	6.53	18:00	22.00	6.05
	07:02	22.06	6.87	19:00	22.00	5.13
	08:02	22.06	6.8	20:01	22.00	5.9
	09:02	22.00	6.9	21:01	22.00	6.23
	10:02	22.06	6.01	22:01	22.06	3.57
	11:00	22.06	4.74	23:01	22.00	4.71
	00:02	22.00	4.4	12:01	21.81	3.58
3	01:02	22.06	4.42	13:02	21.69	5.04
	02:02	22.00	3.07	14:02	21.75	5.49
	03:00	22.00	5.3	15:02	21.94	4.12
	04:00	22.06	5.72	16:13	22.00	4.67
	05:01	22.00	5.24	17:02	22.06	4.2
	06:01	22.00	2.53	18:02	22.31	2.53
	07:01	22.00	5.25	19:00	22.00	5.8
	08:05	22.00	5.61	20:00	22.00	5.36
	09:00	21.94	5.24	21:01	22.00	4.08
	10:00	21.94	5.93	22:02	22.00	3.59
	11:04	21.87	3.91	23:00	22.00	2.97
4	00:01	22.13	3.05	12:00	22.00	5.19
	01:02	22.00	4.79	13:00	21.62	5.96
	02:00	22.00	4.34	14:02	21.06	2.53
	03:00	22.13	2.53	15:00	21.44	6.39
	04:00	22.13	2.53	16:00	21.69	3.3
	05:00	22.13	5.83	17:01	21.94	2.6

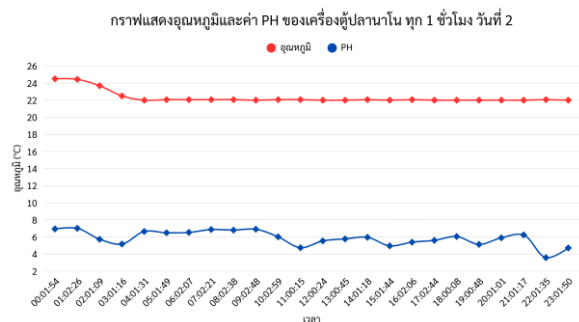
วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	PH
	06:00	22.13	2.53	18:01	22.00	5.72
	07:01	22.13	4.24	19:02	22.00	4.86
	08:01	22.13	2.53	20:02	22.00	4.75
	09:02	22.25	5.7	21:01	22.00	3.94
	10:02	22.25	2.77	22:04	22.00	4.48
	11:00	22.00	3.43	22:04	22.00	3.6



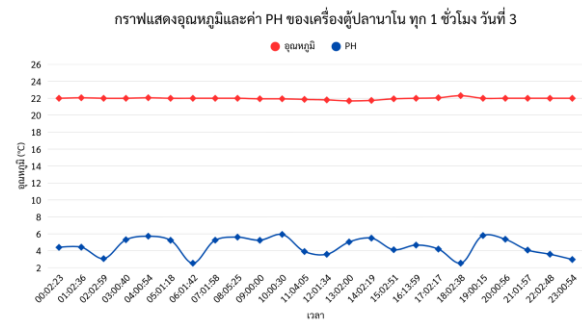
รูปที่ 12 กราฟอุณหภูมิและค่า PH ของเครื่องสูบลานาโนแบบเรียลไทม์เป็นระยะเวลารั้งชั่วโมง



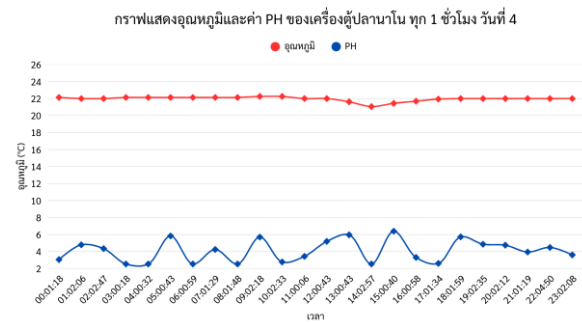
รูปที่ 13 กราฟอุณหภูมิและค่า PH ทุก 1 ชั่วโมง วันที่ 1



รูปที่ 14 กราฟอุณหภูมิและค่า PH ทุก 1 ชั่วโมง วันที่ 2



รูปที่ 15 กราฟอุณหภูมิและค่า PH ทุก 1 ชั่วโมง วันที่ 3



รูปที่ 16 กราฟอุณหภูมิและค่า PH ทุก 1 ชั่วโมง วันที่ 4

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิและค่า pH ของน้ำด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถดำเนินการได้แบบเรียลไทม์ทุก 1 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน ผลการตรวจสอบพบว่าข้อมูลมีความครบถ้วนและถูกต้องโดยไม่พบค่าขาดหายหรือผิดปกติ อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 21.7–24.5 °C ตลอดการทดสอบ แสดงถึงความเสถียรของระบบในการควบคุมสภาวะแวดล้อม ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีแนวโน้มลดลงจากช่วง 5.0–7.3 ในวันแรก เหลือ 2.5–5.9 ในวันที่ 3–4 สะท้อนถึงการเสื่อมคุณภาพของน้ำภายในระยะเวลา 3 วัน ซึ่งอาจเกิดจากค่าความเป็นด่างเริ่มต้นที่ต่ำและการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จนเกิดกรดคาร์บอนิก ส่งผลให้ค่า pH ไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับกระบวนการทางเคมีหรือชีวภาพมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทั้งนี้ผลลัพธ์สอดคล้องกับข้อมูลในตารางที่ 4 และกราฟแนวโน้ม ดังในรูปที่ 13–16 ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้น

4. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสำหรับสูบลานาโนโดยประยุกต์ใช้หลักการ Fuzzy Logic ร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้เลี้ยงปลาสามารถตรวจสอบและปรับอุณหภูมิได้อย่างสะดวกและแม่นยำ ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและค่า pH พร้อม Fuzzy Logic Controller สำหรับควบคุมพัดลม แผ่นร้อน-เย็น และปั๊มน้ำ ผลการทดลองพบว่าสามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้อย่างต่อเนื่อง มีการตอบสนองรวดเร็วและเสถียร ลดความเสี่ยงต่อสุขภาพปลา ขณะเดียวกันเว็บแอปพลิเคชันช่วยเพิ่มความสะดวก

ในการเฝ้าระวังและควบคุมจากระยะไกล สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ Fuzzy Logic ร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการดูแลตู้ปลาน้ำจืด และมีศักยภาพต่อยอดสู่ระบบ IoT

สำหรับแนวทางการพัฒนาในอนาคต ควรมุ่งขยายการใช้งานสู่ตู้ปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนติดตั้งเซ็นเซอร์หลายตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล และพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติพร้อมการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่าย IoT นอกจากนี้ การเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบคลาวด์และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อคาดการณ์แนวโน้มค่าอุณหภูมิและ pH จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. P. K. Agersborg, "The influence of temperature on fish," *Ecology*, vol. 11, no. 1, pp. 136–144, 1930.
- [2] R. L. Kellogg and J. J. Gift, "Relationship between optimum temperatures for growth and preferred temperatures for the young of four fish species," *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 112, no. 3, pp. 424–430, 1983.
- [3] A. K. Imsland, L. M. Sunde, A. Folkvord, and S. O. Stefansson, "The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot," *Journal of Fish Biology*, vol. 49, no. 5, pp. 926–940, 1996.
- [4] R. R. Avtalion, A. Wojdani, Z. Malik, R. Shahrabani, and M. Duczminer, "Influence of environmental temperature on the immune response in fish," *Current Topics in Microbiology and Immunology*, vol. 61, pp. 1–35, 1973.
- [5] Y. Tungtragul, T. Saengjinda, W. Phakdeerat, and A. Suksawad, "ระบบตรวจสอบสถานะและสั่งการแสงสว่างในอาคารโดยใช้ ESP32," *Thailand Electrical Engineering Journal (TEEJ)*, vol. 5, no. 1, pp. 15–18, 2025.
- [6] Y. Tungtragul, J. Wongkham, S. Matarach, A. Suksawad, K. Puntisri, and P. Tangkittipon, "Development of an IoT Web-Based Water Temperature Control System for Nano Fish Tanks," in *Proc. 2024 21st Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp. 1–5, May 2024.
- [7] A. Hermansyah, T. Septian, A. P., and Mgs. Faris, "Prototype of Automatic Control System for Water Temperature and Acidity in Ornamental Fish Aquarium Based on Internet of Things (IoT)," *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, vol. 5, pp. 187–192, 2023. doi: 10.35882/ijeemi.v5i3.272.
- [8] V. Narule and P. Kale, "Automation of Fish Tank," *Journal of Embedded Intelligence and Vision Systems*, vol. 1, no. 1, 2024.
- [9] L. Parra, S. Sendra, L. Garcia, and J. Lloret, "Design and deployment of low-cost sensors for monitoring the water quality and fish behavior in aquaculture tanks during the feeding process," *Sensors*, vol. 18, no. 3, p. 750, 2018.
- [10] T. P. Deepa, B. Khadka, N. Chatterjee, S. N. Rahul, and S. K. Sridhar, "Fish tank monitoring system using IoT," in *Integrated Emerging Methods of Artificial Intelligence & Cloud Computing*, Cham, Switzerland: Springer Int. Publishing, pp. 306–314, 2021.
- [11] Y. B. Lin and H. C. Tseng, "FishTalk: An IoT-based mini aquarium system," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35457–35469, 2019.
- [12] A. Najmurokhman, U. Komarudin, A. H. Nugraha, Y. B. Zainal, N. Ismail and K. Kusnandar, "Smart Aquarium Control and Notification System Utilizing Fuzzy Logic and Telegram Application," 2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIP), Yogyakarta, Indonesia, pp. 272–277, 2023.
- [13] M. Johan and S. Suhajito, "Smart Shrimp Farming Using Internet of Things (IoT) and Fuzzy Logic," *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, vol. 14, no. 2, pp. 83–99, 2023.
- [14] N. H. Harani, A. S. Sadihah, and A. Nurbasari, "Smart fish feeder using Arduino Uno with fuzzy logic controller," in *Proc. 2019 5th Int. Conf. on Computing Engineering and Design (ICCED)*, pp. 1–6, 2019.
- [15] S. N. Nurafni, R. Z. Yudawirja, J. R. N. Amuru, R. A. Riyanto, R. M. Zahradiaz, J. K. Satriadana, et al., "Implementation of Fuzzy Logic in Environmental Control and Disease Diagnosis of Sumatran Fish *Puntius tetrazona*," *Journal of Applied Science, Technology & Humanities*, vol. 2, no. 1, pp. 37–48, 2025.
- [16] N. Ainannisa, D. K. Silalahi, and P. Pangaribuan, "Automatic Water Monitoring and Draining System Manufacturing for Aquascape Based on Water Quality Using Fuzzy Logic Method," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics (ICEBEHI 2022)*, Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 183–201, 2023.