

**การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำ  
ผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ**

**The Development of Embedded Systems for Automatic Water Quality  
Measurement via Online Networking**

**ชัชชัย แก้วตา ชัชวาล ขันติคเชนชาติ และยุทธศักดิ์ ทองแสน**

**Chutchai Kaewta, Chatchawan Khantikachenchart, Yuttasak Thongsan**

**คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**

**Faculty of Computer Science Ubon Ratchathani Rajabhat University**

**chutchai.k@ubru.ac.th**

**บทคัดย่อ**

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชัง (2) การประเมินประสิทธิภาพของระบบ และ (3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ จำนวน 3 ค่า ซึ่งได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ (pH) และอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) ในการเก็บข้อมูลค่าดัชนีคุณภาพน้ำ มีการควบคุมปัจจัยด้าน วัน เวลาและสถานที่ แบบเดียวกันโดยใช้การทดสอบ ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 31 คน ผลจากการวิจัยพบว่าการพัฒนาระบบแบ่งองค์ประกอบเป็น 3 ส่วนคือ (1) ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ (2) ระบบรายงานผลคุณภาพน้ำ และ (3) ระบบแจ้งเตือนคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ ประสิทธิภาพของระบบเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 และความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบมีค่าเท่ากับ 4.09 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

**คำสำคัญ:** ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ ระบบสมองกลฝังตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ เกษตรอัจฉริยะ

**Abstract**

This objectives of this research were (1) to develop an embedded systems of automatic water quality measurement via online networking for farmers in a fish cage area, (2) to test performance of the system, and (3) to explore user satisfaction towards the system. In order to explore the performance of the system, this research compared the water quality measurement between the expertise and the system. The measurement included three parts which were (1) dissolved oxygen (2) pH and (3) temperature. In order to collect the data of water quality, date, time and location were controlled. The One Way ANOVA was used to determine whether there are any significant between performance of the expertise and the system. In order to explore user satisfaction, the data were collected from 31 fish farmers by purposive sampling. The results found that there are 3 parts of system development (1)

automatic water quality measurement system (2) water quality report system (3) water quality notification system. The performance of the system showed that the water qualities measured by the experts and the system is no statistically significant difference at level 0.01. Moreover, the users had their overall high satisfaction value at 4.09 level.

**Keyword:** Water quality measurement system, Embedded system, Microcontroller, Smart farm

## 1. บทนำ

การเลี้ยงปลาในกระชัง เป็นอาชีพที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากทรัพยากรสัตว์น้ำตามธรรมชาติ มีปริมาณลดน้อยลงไม่พอเพียงต่อความต้องการในการบริโภคของประชากรที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เกษตรกรสามารถใช้น้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติเป็นพื้นที่สำหรับการเลี้ยงปลา อีกทั้งการเลี้ยงปลาในกระชังยังให้ผลผลิตสูงในช่วงเวลา การเลี้ยงที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปลาในบ่อการเก็บผลผลิตทำได้ง่ายใช้แรงงานน้อยและสามารถคัดขนาดของปลาเพื่อจำหน่ายได้ง่ายกว่า [1] การเลี้ยงปลากระชังในเขตพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนสิรินธร อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี มีจำนวน 5 ตำบลคือ ตำบลคันไร่ ตำบลคำเขื่อนแก้ว ตำบลช่องเม็ก ตำบลนิคมลำโดมน้อยและตำบลฝางคำ มีเกษตรกรจำนวน 209 คน กระชังปลาจำนวน 4,297 กระชัง ใช้พื้นที่ประมาณ 116,878 ตารางเมตร [2], [3] จากการศึกษาข้อมูลพบว่าเกษตรกรประสบปัญหาในช่วงที่น้ำมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานส่งผลให้ปลาไม่โต เกิดโรคหรือทำให้ปลาตาย เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้เกษตรกรขาดทุนและเป็นหนี้สินในที่สุด ถึงแม้ว่าเกษตรกรจะมีชุดทดสอบคุณภาพน้ำ (Water test kit) ซึ่งเป็นการตรวจในรอบเดือนเท่านั้น เนื่องจากน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถหาแนวทางป้องกันได้ทันทั่วทั้ง [4]

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) ที่มีการย่อขนาดให้

เล็กลงเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใส่ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน ซึ่งได้รับความนิยมในการประยุกต์เพื่อใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย [5], [6], [7] มีหลายงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาในกระชังและการประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถนำมากล่าวถึงได้ ดังนี้  
รัชชชัย ทองเหลี่ยม และคณะได้พัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำประมวผลแบบอัตโนมัติสำหรับกระชังปลาทับทิม [8] โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำและเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ค่าที่ได้จะส่งไปประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ X86 รุ่น VSx6117 แล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลที่หลอด LED ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถแสดงสถานะของคุณภาพน้ำเพื่อให้เกษตรกรได้ทราบได้อย่างถูกต้อง แต่วิธีดังกล่าวเกษตรกรต้องคอยสังเกตสถานะของหลอด LED ทำให้ไม่ทราบคุณภาพน้ำในช่วงเวลาไม่อยู่ในบริเวณนั้น

อนุศักดิ์ ประพัฒน์ ได้พัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอัตโนมัติโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มกุ้ง [9] โดยใช้ อุปกรณ์ ไร้สาย Tmote Sky ใช้ระบบปฏิบัติการ TinyOS ภาษา nesC และโพรบรุ่น YSI 5739 ใช้เซ็นเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและอุณหภูมิของน้ำแบบอัตโนมัติ ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายมาบันทึก

ในฐานข้อมูลตามเงื่อนไขที่กำหนด สามารถแสดงข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบของกราฟเส้นตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ แต่ระบบยังไม่ครอบคลุมการตรวจวัดคุณภาพน้ำในองค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ เช่นค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำและยังไม่มีระบบแจ้งเตือนเกษตรกรแบบอัตโนมัติ

ปรีชา มหาไม้ และคณะได้พัฒนาระบบรายงานผลออกซิเจนในน้ำแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ [10] ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำควบคุมการทำงานด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ADU 842 และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายใช้โมดูล Xbee มาแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์แบบพกพา เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ชุดควบคุมจะส่งสัญญาณให้เครื่องหมุนใบกวนเพื่อเติมออกซิเจนลงสู่ผิวน้ำ จนกว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถทำงานเป็นแบบอัตโนมัติสามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบเวลาจริงแล้วส่งค่ากลับมาแสดงผลยังคอมพิวเตอร์แบบพกพาโดยผ่านเครือข่ายแบบสาย แต่ระบบมีข้อจำกัดที่สามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำได้เพียงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ระยะการส่งสัญญาณไม่เกิน 50 เมตรเท่านั้น

ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ [11] เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการจำลองระบบโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyสำหรับทำหน้าที่ในการตัดสินใจแทนผู้เชี่ยวชาญในการจ่ายน้ำในระบบชลประทาน ไร่มันสำปะหลัง ใช้เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นในดินและค่าความเข้มของแสง ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายด้วยโมดูล ZigBee ไปยังโนคโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อการประมวลผลและรายงานผล ผลการวิจัยพบว่า การจำลองการทำงานมีประสิทธิภาพและมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์

เพื่อการใช้งาน แต่ยังคงขาดการนำไปทดลองใช้งานและประเมินประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมจริง

Li, D. and Zhu, X. [12] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำระยะไกล สำหรับการเพาะเลี้ยงปลา โดยใช้โครงสร้างของระบบ CDMA เพื่อเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตและระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งทำการตรวจวัดด้วยโพรบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเค็มของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ ทำการตรวจวัดทุก ๆ 1 นาที ซึ่งพารามิเตอร์ทุกตัวที่ตรวจวัดมีการเปลี่ยนแปลงค่าตลอดเวลา ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถส่งผลค่าการตรวจวัดที่ได้ มายังฐานข้อมูลและแสดงผลเพื่อเฝ้าระวังแบบออนไลน์ ในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมผิดปกติระบบสามารถทำการแจ้งเตือนได้

Singh, S. N. and et al [13] ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชแบบฟuzzy โดยใช้ข้อมูลจากสถานะแวดล้อมในแปลงเพาะปลูก เพื่อใช้เป็นหลักในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการปลูกมะเขือเทศ ผลการวิจัยพบว่า สามารถประหยัดน้ำได้ถึง 50-60% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการโดยทั่วไป

Al-Aubidy, K. M. and et al [14] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายในการตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมต่าง ๆ ในโรงเรือนและประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyในการควบคุมสภาพอากาศเฉพาะพื้นที่ เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ทำความร้อน อุปกรณ์ทำความเย็น พัดลมระบายอากาศ หลังคากันแดดและหน้าต่างของโรงเรือน เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้ตรงตามที่พืชต้องการได้

Huang, H. H. and et al [15] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเฝ้าระวังน้ำทะเลในกระชังปลา ในอ่าวตงตง ประเทศจีน ใช้การตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลในองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตรงกับปลาที่เลี้ยงในกระชัง โดยสังเกตผลการเปรียบเทียบในฤดูกาลเปลี่ยนแปลง

ผลการวิจัยพบว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีคุณภาพน้ำ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความเค็ม ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ เป็นต้น

จากวิธีการแก้ไขปัญหาในงานวิจัยที่ได้นำเสนอข้างต้น สามารถนำจุดเด่นในด้านต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาให้เกษตรกร งานวิจัยชิ้นนี้จึงเสนอแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ สำหรับการรายงานและการแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำ ที่จะ

ทำให้เกษตรกรทราบถึงสภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี สามารถเฝ้าระวังผลที่จะกระทบกับปลาในกระชังได้

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งองค์ประกอบของระบบออกเป็น 3 ส่วนคือ (1) ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ (2) ระบบรายงานผลคุณภาพน้ำ และ (3) ระบบแจ้งเตือนข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งภาพรวมของระบบดังแสดงใน (Figure 1)

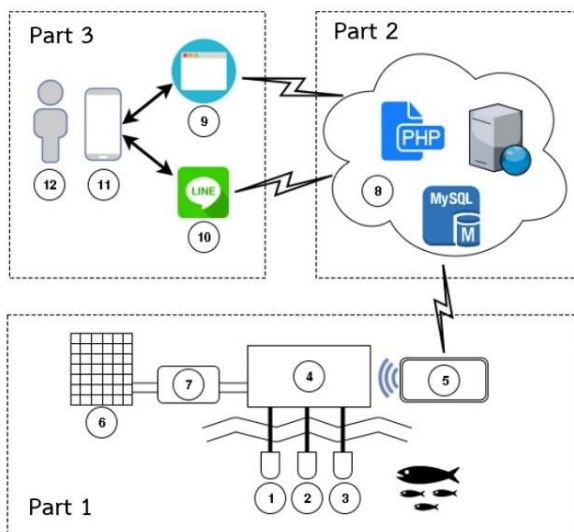


Figure 1 Water quality measurement automatic system

## 2.1 วัสดุอุปกรณ์ใช้ในการวิจัย

จาก (Figure 1) สามารถอธิบายถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

2.1.1 ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ (Part 1) ประกอบด้วย

1) เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำและ

เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ดังแสดงในหมายเลข 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

2) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สำหรับควบคุมการทำงานและส่งข้อมูลมายังฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ ดังแสดงในหมายเลข 4

3) อุปกรณ์แฮร์สัญญาณอินเทอร์เน็ทจากซิมการ์ดเพื่อให้ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำสามารถส่งข้อมูลมายังฐานข้อมูลได้ ดังแสดงในหมายเลข 5

4) เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในหมายเลข 6

5) แบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และให้พลังงานกับระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ ดังแสดงในหมายเลข 7

2.1.2 ระบบรายงานผลคุณภาพน้ำ Part 2) เป็นระบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งประกอบด้วยฐานข้อมูล MySQL สำหรับเก็บข้อมูลและโปรแกรมภาษา PHP สำหรับประมวลผลข้อมูลแสดงรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำให้กับเกษตรกร ดังแสดงในหมายเลข 8 และ 9 ตามลำดับ

2.1.3 ระบบแจ้งเตือนคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ (Part 3) ประกอบด้วยโปรแกรมไลน์ (LINE Application) สำหรับแจ้งเตือนข้อมูลแบบอัตโนมัติไปยังเกษตรกร ในกรณีที่คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงจากเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในหมายเลข 10 ส่วนหมายเลข 11 และ 12 คือโทรศัพท์มือถือและเกษตรกร ตามลำดับ

## 2.2 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.2.1 พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ ซึ่งแบ่งองค์ประกอบเป็น 3 ส่วนคือ

1) ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ ในการออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบโดยเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะคอยควบคุมเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำและเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ในบริเวณกระชังปลาของเกษตรกรเพื่อส่งค่าข้อมูลมายังฐานข้อมูล ทุก ๆ 1 นาที ซึ่งจะมีอุปกรณ์แฮร์สัญญาณอินเทอร์เน็ทจากซิมการ์ดเพื่อให้ระบบสามารถส่งข้อมูลมายังฐานข้อมูลได้ มีเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและมีแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้พลังงานกับระบบ ซึ่งการออกแบบชุดควบคุมการอ่านและส่งค่าเซ็นเซอร์ ดังแสดงใน (Figure 2)

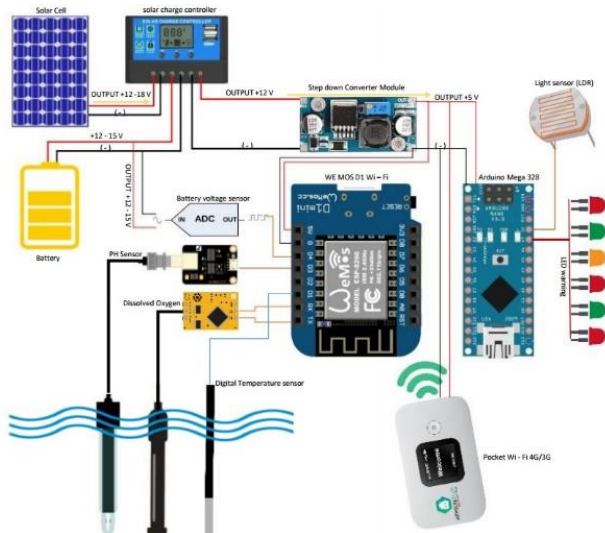


Figure 2 Circuit board design

2) ระบบรายงานผลคุณภาพน้ำ เป็นการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชัน ให้สามารถรายงานผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย ฐานข้อมูล MySQL และโปรแกรมภาษา PHP สำหรับประมวลผลข้อมูลแสดงรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำให้กับเกษตรกร ดังแสดงใน (Figure 3)

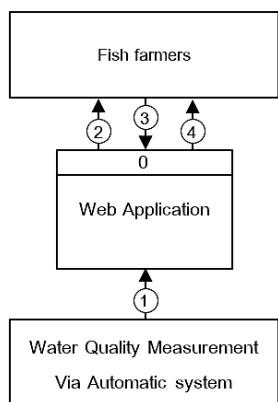


Figure 3 Context diagram

จาก (Figure 3) เป็นการแสดงการทำงานในภาพรวมของระบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยเริ่มจากหมายเลข 1 เป็นระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ จะส่งข้อมูลปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ วัน เวลาและค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มายังฐานข้อมูล จากนั้นระบบเว็บแอปพลิเคชันทำการประมวลผลและแสดงผล ดังแสดงในหมายเลข 2 ให้กับเกษตรกรได้ทราบ เกษตรกรสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง ดังแสดงในหมายเลข 3 และระบบจะแสดงรายงานข้อมูลย้อนหลัง กลับไปยังเกษตรกรดังแสดงในหมายเลข 2

3) ระบบแจ้งเตือนคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ ในกรณีที่คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงจากเกณฑ์มาตรฐานระบบจะแจ้งเตือนข้อมูลแบบอัตโนมัติผ่านโปรแกรมไลน์ มายังเกษตรกร ใน (Figure 3) ตามหมายเลข 4 ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานและเงื่อนไขในการแจ้งเตือนข้อมูลดังแสดงใน (Table 1)

Table 1 The water quality index used for this study

Water Quality Index	Notifications		
	normal	warning	danger
Dissolved oxygen	>3.75 PPM	2-3.74 PPM	<2 PPM
pH	6-9 mg/l	4-5.9 mg/l or 9.1-11 mg/l	<4 mg/l or >11 mg/l
Temperature	23-32°C	15-22°C or 33-40°C	<15°C or >40°C

จาก (Table 1) มีระดับการแจ้งเตือนอยู่ 3 ระดับคือ ระดับปกติ เป็นระดับที่ปลาสามารถเจริญเติบโตได้ดี ระดับเฝ้าระวัง เป็นระดับอาจส่งผลให้ปลา เช่น ปลาไม่ยอมกินอาหาร ปลาเจริญเติบโตได้ไม่ดี ปลาอาจเกิดโรคได้ และระดับอันตรายเป็นระดับที่ส่งผลต่อปลาโดยตรงซึ่งอาจส่งผลให้ปลาตายได้ ซึ่งระดับเฝ้าระวังและระดับอันตราย ระบบจะแจ้งเตือนข้อมูลแบบอัตโนมัติผ่านโปรแกรมไลน์ มายังเกษตรกร

2.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ในการเก็บข้อมูลค่าดัชนีคุณภาพน้ำจำนวน 3 ค่า ซึ่งได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำและอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งข้อมูลได้จากการตรวจวัดของผู้เชี่ยวชาญโดยใช้เครื่องมือมาตรฐานจากห้องปฏิบัติการและค่าที่ตรวจวัดได้จากระบบ ในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2560 จำนวน 30 ครั้ง โดยมีการควบคุมปัจจัยด้าน วัน เวลาและสถานที่ แบบเดียวกันในระหว่างการตรวจวัดของผู้เชี่ยวชาญและระบบ ใช้การทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA)

เพื่อหาค่าสำคัญในการเปรียบเทียบความแตกต่าง การตรวจวัดระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ

2.2.3 ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

หลังจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้มั่นใจว่าค่าที่ตรวจวัดได้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้สามารถทำงานแทนผู้เชี่ยวชาญได้ จึงทำการฝึกอบรมการใช้งานและการอ่านค่าจากระบบให้กับกลุ่มตัวอย่าง หลังจากนั้นประมาณ 2 เดือน จึงทำการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ โดยการแจกแบบสอบถามเพื่อศึกษาความพึงพอใจ ซึ่งมีจำนวน 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามและตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจที่มีต่อระบบ มีจำนวน 3 ด้านคือ ด้านความสามารถของระบบ ด้านความน่าเชื่อถือของระบบและด้านความเหมาะสม ง่ายต่อการการใช้งาน โดยใช้พื้นที่กระชังปลาของเกษตรกร บ้านแหลมสวรรค์ ตำบลนิคมลำโดมน้อย อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี เป็นพื้นที่ในการวิจัย

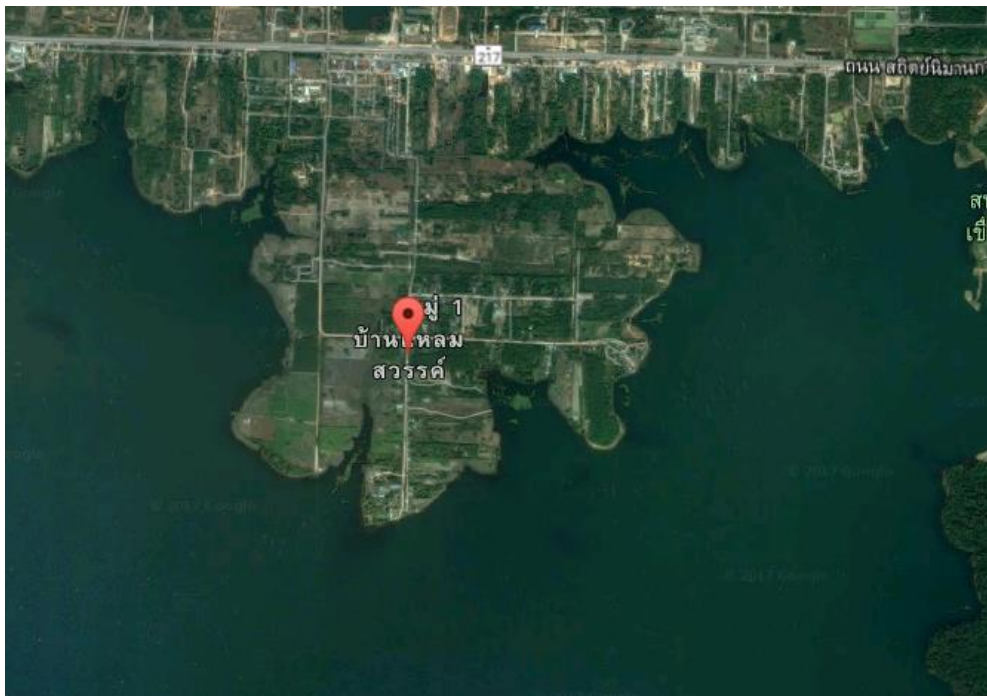


Figure 4 Demographic location of fish farmers in Ban Laem Sawan

จาก (Figure 4) ผู้เลี้ยงปลาในกระชัง บ้านแหลมสวรรค์ มีจำนวน 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 13 คน กลุ่มที่ 2 จำนวน 13 คน และกลุ่มที่ 3 จำนวน 31 คน ดังนั้นประชากรของการวิจัย ในครั้งนี้จำนวน 57 คน และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แบบเฉพาะเจาะจงสำหรับศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ และได้กลุ่มผู้เลี้ยงปลาในกระชัง ในเขตพื้นที่บ้านแหลมสวรรค์ กลุ่มที่ 3 จำนวน 31 คน เนื่องจากเป็นกลุ่มที่เลี้ยงปลามากกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรได้ ใช้ระดับค่าการให้คะแนนแบบ Likert scale ระดับ 5 คะแนน ใช้สถิติการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation) ในการวิเคราะห์และแปลความหมายเกณฑ์การให้คะแนน

### 3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่าย ระยะไกลแบบอัตโนมัติ ซึ่งแบ่งองค์ประกอบเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.1.1) ผลการพัฒนาระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ ได้ชุดควบคุม การอ่านและส่งค่าเซ็นเซอร์ ผลการทำงาน ของระบบสามารถส่งค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน น้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าอุณหภูมิของ น้ำ วัน เวลาและค่าแรงดันไฟฟ้า ในทุก ๆ 1 นาที มายังฐานข้อมูลได้ตามที่กำหนด โดยผ่านอุปกรณ์ เซอร์วิสเซียมอินเทอร์เน็ตจากซิมการ์ด ดังแสดงใน (Figure 5)



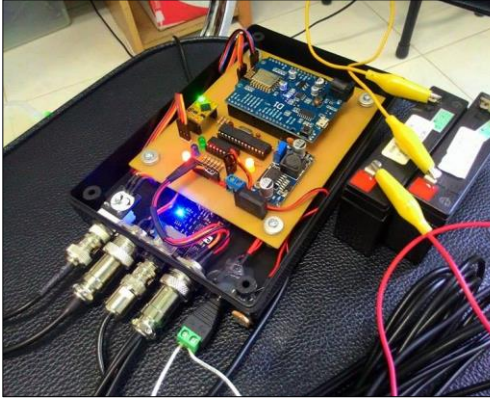


Figure 5 Automatic water quality measurement system

การติดตั้งระบบในเขตพื้นที่กระชังปลาของเกษตรกรบ้านแหลมสวรรค์ กลุ่มที่ 3 ผู้เลี้ยงปลาในกระชังจำนวน 31 คน มีการเลี้ยงปลาจำนวน 554 กระชัง ซึ่งการติดตั้งระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ ดังแสดงใน (Figure 6-8)



Figure 6 The installation of the system

จาก (Figure 6) เป็นการติดตั้งและเก็บระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติในกล่องเพื่อป้องกันน้ำที่จะเข้าไปทำความเสียหายกับวงจรของระบบ



Figure 7 Solar cell installation

จาก (Figure 7) เป็นการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ



Figure 8 The installation of water quality sensors

จาก (Figure 8) เป็นการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำและส่งไปยังฐานข้อมูลเพื่อประมวลผลคุณภาพน้ำต่อไป

3.1.2) ผลการพัฒนาาระบบรายงานผลคุณภาพน้ำ

ได้ระบบรายงานผลคุณภาพน้ำด้วยเว็บ แอปพลิเคชัน ซึ่งอยู่ในรูปแบบ Responsive website ที่สามารถแสดงผลข้อมูลได้ทุกอุปกรณ์ เช่น สามารถแสดงผลผ่านหน้าจอบริษัทคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

ระบบสามารถอ่านข้อมูลคุณภาพน้ำจากฐานข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลและจัดรูปแบบสารสนเทศให้อยู่ในรูปแบบของกราฟเส้น สามารถแสดงข้อมูลคุณภาพน้ำแบบเวลาจริง (Real time) ได้ และสามารถแสดงข้อมูลคุณภาพ

น้ำย้อนหลังในรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน รายปี ได้ โดยหน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงใน (Figure 9)



Figure 9 Main page of web application

จาก (Figure 9) เป็นการแสดงหน้าหลักของระบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นส่วนรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำตามเวลาจริง ในรูปแบบจากการบันทึกทุก ๆ 1 นาที หาค่าเฉลี่ยของแต่ละวันของน้ำ ในรูปแบบของกราฟเส้น ดังแสดงใน (Figure 10-12)

ข้อความ ตัวเลขและกราฟเส้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้สามารถแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำความเป็นกรด-ด่างของน้ำและอุณหภูมิ

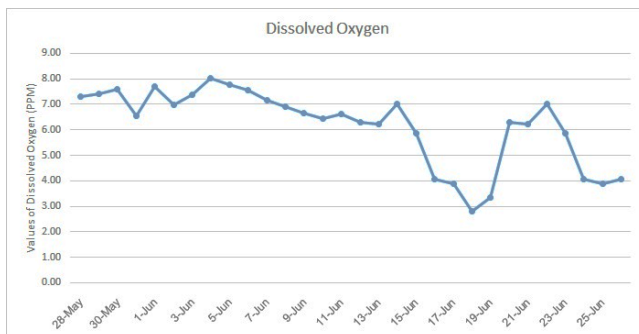


Figure 10. The line graph represents the daily dissolved oxygen level (PPM)

จาก (Figure 10) เป็นกราฟเส้นแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแต่ละวันในช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2560 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงวันที่ 18 - 20 มิถุนายน 2560 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ระดับ 29 PPM

(Part Per Million) ซึ่งอยู่ในระดับเฝ้าระวัง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อปลา เช่น ปลาไม่กินอาหารหยุดการเจริญเติบโตและอาจจะส่งผลให้ปลาตายได้

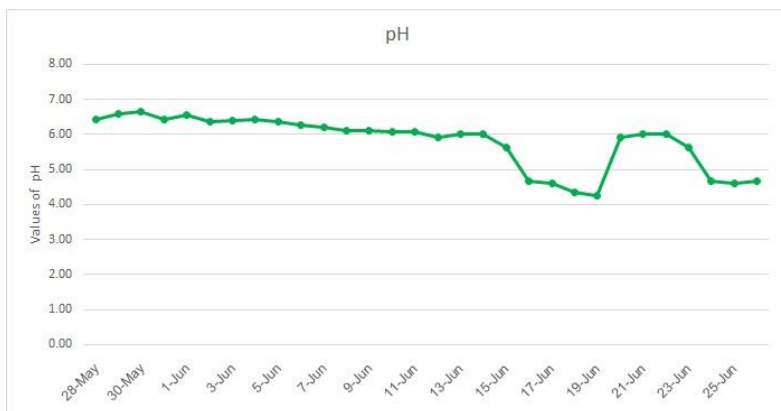


Figure 11 Line graph represents the daily pH level (mg/L)

จาก (Figure 11) เป็นกราฟเส้นแสดงค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำแต่ละวันในช่วง

เดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2560 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ

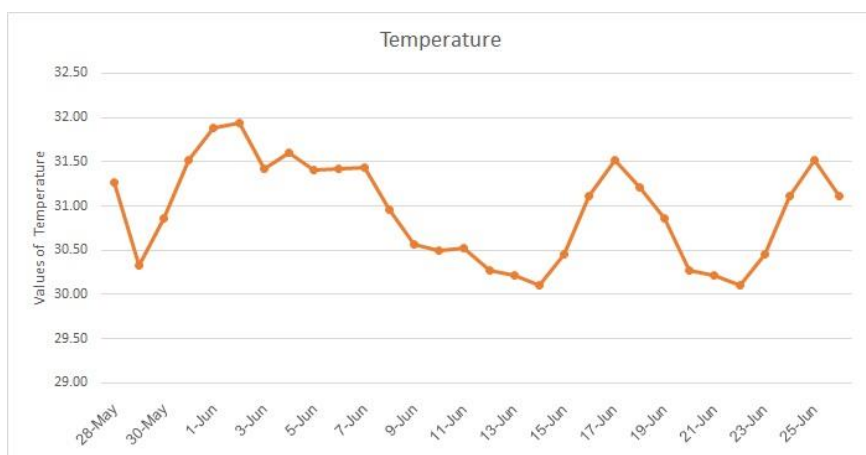


Figure 12 The line graph represents the daily temperature level (°C)

จาก (Figure 12) เป็นกราฟเส้นแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำแต่ละวันในช่วงเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2560 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 30-32 องศาเซลเซียสซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ

3.1.3) ผลการพัฒนาาระบบแจ้งเตือนข้อมูลแบบอัตโนมัติ เมื่อค่าคุณภาพน้ำไม่อยู่ใน

เกณฑ์มาตรฐานระบบสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือของเกษตรกรทันทีผ่านโปรแกรมไลน์และในกรณีที่ค่าแจ้งเตือนซ้ำสามารถกำหนดความถี่ของการแจ้งเตือนได้ทุก ๆ 1 ชั่วโมงต่อหนึ่งข้อความ ดังแสดงใน (Figure 13)



Figure 13. The water quality notification via Line mobile application

จาก (Figure 13) เป็นตัวอย่างการแจ้งเตือนข้อมูลในรอบ 1 วัน ซึ่งมีการแจ้งเตือนระดับเฝ้าระวังค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ เช่น ในเวลา 15.10 น. ปริมาณ 4.6922 mg/l ในเวลา 16.12 น. ปริมาณ 4.3914 mg/l และในเวลา 17.12 น. ปริมาณ 4.1715 mg/l เป็นต้น

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ตรวจวัดได้จากผู้เชี่ยวชาญและค่าที่ตรวจวัดได้จากระบบ จำนวน 30 ครั้ง ในช่วงเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2560 เมื่อนำค่าดัชนีคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดจากผู้เชี่ยวชาญและระบบมาวิเคราะห์ โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) เพื่อหาัยสำคัญในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงใน (Table 2)

**Table 2** The results from One Way ANOVA between the experts and the system8

		Sum of				
		Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DO	Between Groups	.054	1	.054	.025	.875
	Within Groups	126.301	58	2.178		
	Total	126.355	59			
pH	Between Groups	.022	1	.022	.037	.847
	Within Groups	34.202	58	.590		
	Total	34.224	59			
Temperature	Between Groups	.657	1	.657	1.813	.183
	Within Groups	21.029	58	.363		
	Total	21.686	59			

จาก (Table 2) พบว่าการเปรียบเทียบความแตกต่างในการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ ทั้ง 3 ค่าคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่า Sig เท่ากับ .875 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ค่า Sig เท่ากับ .847 และ อุณหภูมิของน้ำ (Temperature) ค่า Sig เท่ากับ .183 ซึ่งค่า Sig ของดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 3 ค่า มากกว่า .01 ดังนั้น การตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ .01 แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ สามารถทำงานเทียบเท่ากับผู้เชี่ยวชาญ

3.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ความพึงพอใจด้านความสามารถของระบบ ความพึงพอใจด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบ และความพึงพอใจด้านความเหมาะสมและความง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงใน (Table 3) ดังนี้

**Table 3** Users satisfaction of system

Users satisfaction	$\bar{X}$	S.D.	Level
System capabilities	4.14	0.29	High
Data reliability	4.04	0.32	High
Usability and ease of use of the system	4.08	0.40	High
Total	4.09	0.20	High

จาก (Table 3) พบว่า ความพึงพอใจด้านความสามารถของระบบมีค่าเท่ากับ 4.14 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.29 ความพึงพอใจด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบมีค่าเท่ากับ 4.04 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.32 ความพึงพอใจด้านความเหมาะสมและความง่ายในการใช้งานระบบ มีค่าเท่ากับ 4.08 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40 และความพึงพอใจโดยภาพรวมมีค่าเท่ากับ 4.09 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.20 ในส่วนข้อเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถาม ต้องการให้เพิ่มจำนวนเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติให้ครอบคลุมพื้นที่กระชังปลาบ้านแหลมสวรรค์ในทุกกลุ่ม จึงสรุปได้ว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชังบ้านแหลมสวรรค์ กลุ่มที่ 3 มีความพึงพอใจต่อระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ ในระดับมาก

#### 4. สรุปและเสนอแนะ

##### 4.1) สรุปผลการวิจัย

ด้านความสามารถของระบบสามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำและส่งข้อมูลมายังฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติได้ตามเวลาที่กำหนด สามารถแสดงรายงานข้อมูลตามเวลาจริงและย้อนหลังได้ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถใช้อ้อมูลย้อนหลังนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อสร้างรูปแบบการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับปลาในกระชังและการดูแลคุณภาพน้ำในเขตพื้นที่กระชังปลาของเกษตรกรได้ ระบบสามารถแจ้งเตือนอัตโนมัติในกรณีที่ค่าดัชนีคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงจากเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้เกษตรกรมีเครื่องมือเพื่อสร้างความมั่นใจในการเลี้ยงปลาและสามารถหาแนวทางการป้องกันผลที่อาจกระทบต่อปลาในกระชังได้ เช่น ในกรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เกษตรกรสามารถเปิดเครื่องเติมอากาศในน้ำได้ทันที เป็นต้น ด้านประสิทธิภาพของระบบเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างการตรวจวัด

ค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบจำนวน 30 ครั้ง ในช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2560 พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้เทียบเท่ากับผู้เชี่ยวชาญ ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 4.09 ซึ่งอยู่ในระดับมาก จึงสรุปได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ มีประสิทธิภาพเชื่อถือได้ สามารถใช้แทนการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญได้ ผลการวิจัยครั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และคณะ [8] อนุศักดิ์ ประพัฒน์ [9] ปรีชา มหาไม้ และคณะ [10] ประโยชน์ คำสวัสดิ์ [11] Li, D. and Zhu, X. [12] Singh, S. N., Jha, R. and Nandwana, M. K. [13] และ Al-Aubidy, K. M. and et al. [14] ที่ได้นำระบบสมองกลฝังตัว ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและระบบฐานข้อมูล มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในงานวิจัย ทำให้ระบบทำงานแบบอัตโนมัติ สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ อีกทั้งผลการวิจัยที่เกี่ยวกับค่าดัชนีคุณภาพน้ำยังสอดคล้องกับ Huang, H. H. and et al. [15] ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ที่จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับปลา ที่เลี้ยงในกระชัง ด้านต้นทุนการพัฒนาระบบใช้ต้นทุนประมาณ 25,000 บาท ต่อหนึ่งสถานีตรวจ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ มีต้นทุนประมาณ 650,000 บาท ต่อหนึ่งสถานีตรวจ [16] ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมา มีต้นทุนต่ำกว่า และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

##### 4.2) อุปสรรคของการดำเนินการวิจัย

4.2.1) เนื่องจากการเก็บข้อมูลและการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้ไม่สามารถดำเนินการกิจกรรมบางอย่างตามแผนงานได้ ทำให้ต้องเลื่อนกิจกรรมนั้น ๆ ออกไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อกิจกรรมในภาพรวมของโครงการ เช่น ผู้เชี่ยวชาญ

ไม่สามารถเก็บข้อมูลดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณกระชังปลาของเกษตรกรได้ ในช่วงที่ฝนตกหนัก เป็นต้น

4.2.2) ในช่วงที่ท้องฟ้าปิดต่อเนื่องกันหลาย ๆ วัน ทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อชาร์จพลังงานให้แบตเตอรี่ได้ ซึ่งอาจส่งผลให้พลังงานไม่เพียงพอต่อการใช้งานของระบบได้

4.2.3) เนื่องจากการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำโดยระบบ ใช้วิธีนำเซ็นเซอร์แช่ในน้ำตลอดเวลา ทำให้เกิดตะไคร่น้ำเกาะเซ็นเซอร์ซึ่งอาจส่งผลให้อายุการใช้งานและความแม่นยำของการอ่านค่าดัชนีคุณภาพน้ำลดลง

#### 4.3) แนวทางการพัฒนาในครั้งต่อไป

ควรเพิ่มประสิทธิภาพระบบ เช่น สามารถทำความสะอาดเซ็นเซอร์แบบอัตโนมัติ เพื่อป้องกันตะไคร่น้ำเกาะเซ็นเซอร์ ที่อาจส่งผลให้อายุการใช้งานและความแม่นยำของการอ่านค่าดัชนีคุณภาพน้ำลดลง สามารถเปิดเครื่องเติมอากาศในน้ำแบบอัตโนมัติในกรณีที่ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำในค่าอื่น ๆ เช่นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ค่าความขุ่นใสของน้ำ และปริมาณของแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ เป็นต้น

#### กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการบรรลุดตามวัตถุประสงค์ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.อนุวัฒน์ ยินดีสุข อาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี และนายมนต์ชัย จันทร์ศิริ นางชนัญญา ภิราญคำ นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12 จังหวัดอุบลราชธานี ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ ขอขอบพระคุณนายเชิงปราชญ์ ศรีอุไร นักวิชาการประมง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเขต 4 อุบลราชธานี และนายพงศกร เรืองมนตรี หัวหน้า

กองโรงไฟฟ้าเขื่อนสิรินธร ที่กรุณาให้ข้อมูลและคำแนะนำเกี่ยวกับการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณนายสุระ แสนทวีสุข นายสุริยา แก้วดอนและนายสมพร ดุงดา ที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาในกระชังของบ้านแหลมสวรรค์ ขอขอบพระคุณ ดร. วรณศตมางค์ บุญพริก และดร.ชาญศักดิ์ ศรีสวัสดิ์สกุล อาจารย์ประจำคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลและแนวทางการทำวิจัย ขอขอบพระคุณคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Pantip, K. and Decha N. 2013. Water quality of fish cage culture area in Nan River, Phitsanulok Province. *Khon Kaen Agriculture Journal* 40(4), 445-456. (in Thai)
- [2] Cheung-Phad, S. Fishery Biologist, Ubon Ratchathani inland Fisheries Research and Development Center (Region 4). (2017, January 18). *Interview*. (in Thai)
- [3] Pongsakorn, L. Power Plant Manager Sirindhorn Dam, Ubon Ratchathani Province. (2017, February 1). *Interview*. (in Thai)
- [4] Suriya, K. Somphron, D. and Sura, S. Fish farmers, Ban Laem Sawan, Tambon Nikhom Lam Do Noi, Sirindhorn District, Ubon Ratchathani Province. (2017, February 1). *Interview*. (in Thai)

- [5] Barron, J. W., Moustapha, A. I., and Selmic, R. R. (2008, April). Real-time implementation of fault detection in wireless sensor networks using neural networks. **In Information Technology: New Generations**, 2008. ITNG 2008. Fifth International Conference on (pp. 378-383). IEEE.
- [6] Chen, X. and et al. (2009). Sensor network security: a survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 11(2).
- [7] Nasri, M. and et al. (2010, October). Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network. **In Communication in wireless environments and ubiquitous systems: New challenges (ICWUS)**, 2010 international conference on (pp. 1-7). IEEE.
- [8] Thawatchait, T. and et al. 2014. Automatic Water Quality Measurement and Processing for Krachang-Taptim Fish. **In ECTI-CARD Proceedings 2014**, 21-23 May 2014. Chiang Mai, Thailand. (in Thai)
- [9] Anusak, P. 2008. **Automatic dissolved oxygen monitoring system using wireless sensor network for shrimp farms**. Master of Engineering. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. Faculty of Engineering. Electrical Engineering. (in Thai)
- [10] Preecha, M. Sombat, S. and Yongyut, P. 2014. An Automatic Reporting System Of Dissolved Oxygen for Surface Aerator. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal** 7(2), 29-41. (in Thai)
- [11] Prayoth, K. 2015. **Sensory Network Development for Autonomous Irrigation System**. Research reports. Suranaree University of Technology. (in Thai)
- [12] Li, D. and Zhu, X. (2009, January). CDMA-based remote wireless water quality monitoring system for intensive fish culture. **In Communications and Mobile Computing**, 2009. CMC'09. WRI International Conference on (Vol. 2, pp. 380-385). IEEE.
- [13] Singh, S. N., Jha, R. and Nandwana, M. K. (2012, March). Optimal design of solar powered fuzzy control irrigation system for cultivation of green vegetable plants in Rural India. **In Recent Advances in Information Technology (RAIT)**, 2012 1st International Conference on (pp. 877-882). IEEE.
- [14] Al-Aubidy, K. M. and et al. (2014, February). Real-time monitoring and intelligent control for greenhouses based on wireless sensor network. **In Systems, Signals & Devices (SSD)**, 2014 11th International Multi-Conference on (pp. 1-7). IEEE.



[15] Huang, H. H. and et al. (2008, May).  
Seawater pollution monitoring in  
a net cage fish farm in Daya Bay,  
South China. In **Bioinformatics  
and Biomedical Engineering**,  
2008. ICBBE 2008. The 2nd  
International Conference on (pp.  
3604-3608). IEEE.

[16] Monchai, J. and Chananya, P.  
Environmentalist, Regional  
Environmental Office 12 Ubon  
Ratchathani, Ubon Ratchathani  
Province. (2017, March 7).  
**Interview.** (in Thai)