การออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ

Design and Building pH and Dissolved Oxygen control systems in Fancy Carp Pond

นิติพงษ์ สมไชยวงค์[1*], ธนพล อินตายวง[1], อนุรักษ์ เผ่ากา[1] และ อิศเรศน์ นาเมือง[1]
Nitipong Somchaiwong[1], Thanaphol Intayuang[1], Anuruk Paoka[1] and Issaret Namaung[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบวัด และควบคุมความเป็นกรด-ด่าง(pH) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดส่งค่าไปยังอุปกรณ์ควบคุมในการประมวลผลค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ไปสั่งการชุดควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ชุดควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำอัตโนมัติ โดยใช้วิธีปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยการเติมสารละลายเข้มข้นด่าง(น้ำปูนขาว) และสารละลายเข้มข้นกรด(น้ำส้มสายชู) นำไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อทดลองขนาด 10.5 ลูกบาศก์เมตร ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 7.0-7.5 และทำการปรับค่า ออกซิเจนละลายน้ำ ให้มีค่าไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยการควบคุมความเร็วรอบของปั๊มเติมอากาศ จากผลการวิจัยพบว่า ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ สามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.0-7.5 และสามารถควบคุมค่าออกซิเจนโดยการเติมอากาศลงในน้ำเพื่อให้ได้ค่าไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: ปลาแฟนซีคาร์พ, ออกซิเจนละลายน้ำ , ความเป็นกรด-ด่าง , ระบบควบคุมอัตโนมัติ

Abstract

This article presents the design of the pH and Dissolved Oxygen (DO) measurement and control systems. The systems are include pH sensor (Haoshi) and dissolved oxygen sensor model Raindrops Module. These are the measuring devices that send signals to Arduino processing board and the processing values obtained from the measuring devices then control pH and dissolved oxygen devices automatically. The control system will adjust pH by adding concentrated alkaline solution (lime water) and concentrated acidic solution (vinegar). This process has been

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai
[*] Corresponding author. Tel.092-2966296 E-Mail : nitipongs@gmail.com

done in a 10.5 cubic meter experimental pond and the pH value was between 7.0–7.5 and adjusted dissolved oxygen to have a value of not less than 7 mg/l by using controlling the speed of the air pump. The results found that acidity and dissolved oxygen control systems could control acidity in pH 7.0–7.5 as shown in figure 9 and could control dissolved oxygen by aerating the water to a value of not less than 7 mg/l

Keywords: Fancy Carp , Dissolved Oxygen , pH , control system

ความสำคัญของปัญหา

ปลาแฟนซีคาร์พ (Fancy Carp) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า Cyprinus Carpio line มีถิ่นดั้งเดิมอยู่ที่ประเทศอิหร่านเป็นปลาสวยงามที่ได้รับความนิยมเลี้ยงเพื่อเป็นสิริมงคลหรือเลี้ยงเพื่อความเพลิดเพลิน มีราคาค่อนข้างสูงอาจมีราคาซื้อขายตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักหลายแสน ในการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ 20–22 องศาเซียลเซียส สภาพน้ำต้องสะอาด มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเพียงเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรด–ด่าง อยู่ระหว่าง 7.0–7.5 หากน้ำเป็นกรดจะทำให้สีของปลาแฟนซีคาร์พ ซีดไม่สดใส วิภา ประพินอักษร (2546) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัตราบริโภคออกซิเจนของปลาสวยงามบางชนิด โดยออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับปลาแฟนซีคาร์พอยู่ในปริมาณไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับปกติเหมาะสำหรับการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ปลามีสีสดสวยงามและไม่ป่วย เกียรติศักดิ์ ชินาภาษ (2548) สร้างเครื่องควบคุมระดับค่าความเป็นกรด–ด่างแบบอัตโนมัติสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เครื่องควบคุมระดับค่าความเป็นกรด–ด่างแบบอัตโนมัติสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม สามารถควบคุมค่าความเป็นกรด–ด่างในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ ด้วยการควบคุมระบบการเติมอากาศลงในน้ำ โดยใช้กังหันวิดน้ำ และปั๊มเติมอากาศ ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และคณะ (2556) สร้างระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติสำหรับกระชังปลาทับทิม ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติซึ่งถูกนำไปใช้กับกระชังปลาทับทิม งานวิจัยนี้ได้ใช้ บอร์ดประมวลผล CPU X86 รุ่น VSX–6117 ทำหน้าที่ประมวลผล และแสดงผลของค่าออกซิเจน ค่าความเป็นกรด–ด่าง และค่าอุณหภูมิ เพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำในกระชังผู้เลี้ยงปลาทับทิม ผลการทดลองพบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 6.5–8.5 ระบบประมวลผล สามารถสั่งการให้ LED แสดงผลสถานะของคุณภาพน้ำปกติ เมื่อค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 6.1–6.4 หรือ 8–8.4 จะแสดงสถานะเฝ้าระวัง และเมื่อค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ น้อยกว่า 6 หรือมากกว่า 8.5 จะแสดงงสถานะผิดปกติ เกวลิน คุ้มรักษ์ (2555) สร้างระบบติดตามสภาพน้ำบ่อปลาเพื่อธุรกิจปลาสวยงาม ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F726 เพื่อรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด–ด่าง อุปกรณ์ตรวจวัดวัดระดับน้ำเพื่อจะแสดงผลบนหน้าจอ และยังสามารถบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในฐานข้อมูล เพื่อให้ผู้เพาะเลี้ยงปลาสามารถติดตามและตรวจสอบสภาพน้ำในแต่ละบ่อได้ ธรรมพันธุ์ ภาสบุตร (2552) ได้ศึกษาเรื่องระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสามารถวัดค่าออกซิเจนรวมทั้งชดเชยผลของอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องในระดับหนึ่งและทำตามฟังก์ชั่นการทำงานที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง อนุศักดิ์ ประพัฒน์ (2552) ได้ศึกษาเรื่องระบบตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอัตโนมัติโดยใช้เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สายสำหรับฟาร์มกุ้ง งานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์

ไร้สาย Tmote Sky โพรบวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และระบบปฏิบัติการ Tiny OS ผลการวิจัยพบว่า ชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสามารถใช้งานได้และผ่านการเปรียบเทียบค่าโดยใช้วิธีวัดค่าออกซิเจนในน้ำจากสารละลายโซเดียมซัลไฟล์ที่มีปริมาณออกซิเจนแตกต่างกัน โดยมีค่าสูงที่สุดที่ 20 พีพีเอ็ม. ปรีชา มหาไม้ และคณะ (2557) ได้ศึกษาเรื่องระบบรายงานผลออกซิเจนในน้ำแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ นำเสนอการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบไร้สายแบบอัตโนมัติของเครื่องเติมออกซิเจนที่ผิวน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงปลาเพื่อป้องกันการขาดออกซิเจนแบบเฉียบพลัน ในช่วงเวลากลางคืนโดยที่ระบบสามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยตัวตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ในช่วง 0–10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถกำหนดเวลาการรายงานผลปริมาณออกซิเจนแบบเวลาจริงได้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในนาเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ย 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

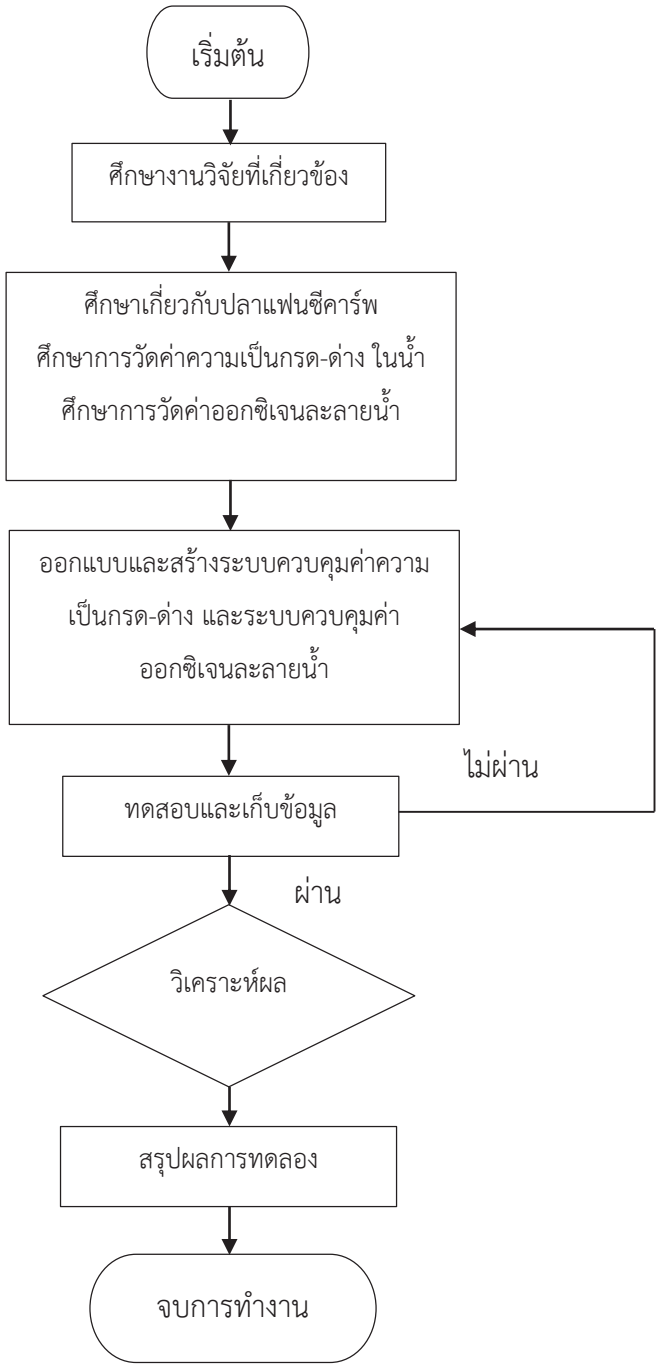
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปลาแฟนซีคาร์พมีลักษณะลำตัวแบน และค่อนข้างกลม หัวไม่มีเกร็ด ริมฝีปากบางเรียบ ภายในปากไม่มีฟัน บางชนิดไม่มีเกล็ด บางชนิดมีเกล็ด บางชนิดมีเกล็ดขนาดใหญ่ในบางส่วน เป็นปลาที่กินทั้งพืช และสัตว์ หาอาหารทั้งในระดับผิวน้ำ กลางน้ำ และท้องน้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตที่ 20–22 องศาเซียลเซียส สภาพน้ำสะอาด น้ำมีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเพียงเล็กน้อย ระหว่าง 7.0–7.5 หากน้ำเป็นกรดจะทำให้สีของปลาแฟนซีคาร์พซีด ออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมอยู่ในปริมาณ 6–7 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นระดับปกติเหมาะสำหรับการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์โดยอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ 20–22 องศาเซียลเซียส งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวัดค่า และควบคุมปริมาณความเป็นกรด–ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ โดยทำการควบคุมค่าความเป็นกรด–ด่าง มีค่าระหว่าง 7.0–7.5 และค่า ออกซิเจนละลายในน้ำ อยู่ในปริมาณไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับบ่ออปลาแฟนซีคาร์พขนาด 10.5 ลูกบาศก์เมตร ให้อยู่ในสภาวะการควบคุมแบบวงรอบปิด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการควบคุมความเป็นกรด–ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ

วิธีดำเนินงาน

ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ รวมถึงปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต และนำไปออกแบบกระบวนการควบคุมความเป็นกรด–ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ



รูปที่ 1 ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงแฟนซีคาร์พ

จากรูปที่ 1 แสดงขั้นตอน และวิธีดำเนินงาน การออกแบบ และสร้างระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ด้วยการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปลาแฟนซีคาร์พ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เข้าใจถึงลักษณะการดำรงชีวิต และสภาพน้ำที่เหมาะสมกับปลาแฟนซีคาร์พ รวมถึงอุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบสร้างระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง และระบบควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ

อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical) ที่สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัดส่วนกันค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายที่นำไปวัดคือ ใช้หลักการวัดค่าความเป็นกรดหรือด่าง ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (reference electrode) กับอิเล็กโทรดวัด (sensing electrode) ไปขยาย ปรับ สภาพ และแสดงผลต่อไป นายเกียรติศักดิ์ ชินาภาษ (2548) หลักการการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง จะใช้วิธีในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของไอออนในสารละลายระหว่าง Glass Electrode เปรียบเทียบกับ Reference Electrode เมื่อจุ่ม Electrode ลงสารประกอบ จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า โดยศักย์ไฟฟ้าที่ Electrode Glass ตรวจวัดได้สามารถที่จะคำนวณค่าได้จากสมการที่ (1)

$$E_g = E_g^0 + \frac{2.303RT}{F}\log_{10} a \qquad (1)$$

เมื่อ

E_g คือ ผลรวมของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัด

E_g^0 คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อ a =1

a คือ ผลรวมไอออนของไฮโดรเจน

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์เป็นองศาเคลวิน

R คือ 1.986 Calories ต่อ mol degree

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (Faraday's constant)

2.303 คือ logarithm conversion factor

ค่า ความเป็นกรด-ด่าง จะได้มาจากค่าลบ logarithm ของผลรวมไอออนไฮโดรเจนดังสมการที่ (2)

$$\text{ความเป็นกรด-ด่าง} = -\log_{10} a \qquad (2)$$

Reference Electrode จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คงที่โดยไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ตัวใด จากรูปโครงสร้างของ Reference type จะประกอบด้วย Mercury (ปรอท) ซึ่งจะสัมผัสอยู่กับ Mercurous chloride (HG2Cl2) และ Potassium chloride (KCl) เมื่อคิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Reference Electrode รวมกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (3)

$$E = (E_{ref} + E_j) - (E_g^o + \frac{2.303RT}{F} pH) \qquad (3)$$

E_{ref} คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า Reference Electrode

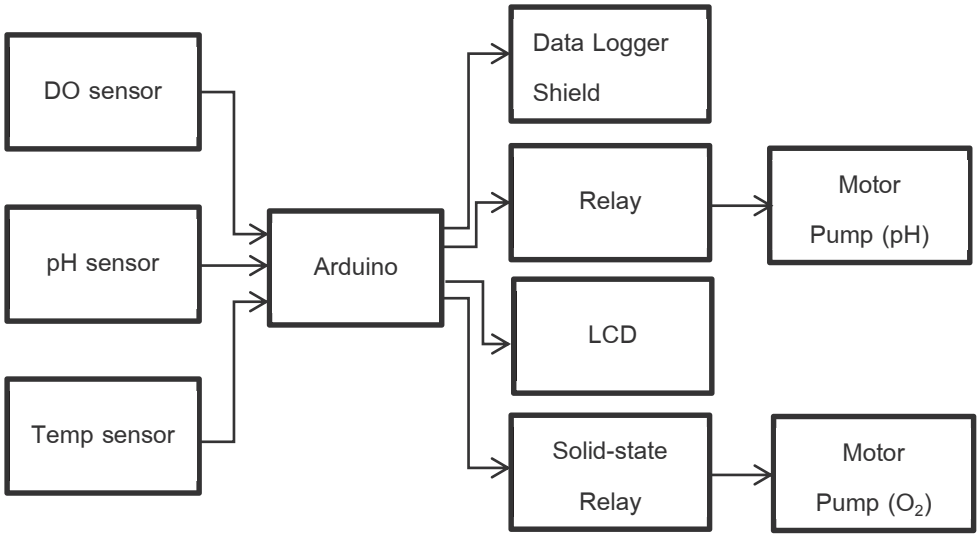
E_j คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Liquid Junction

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของอุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ยี่ห้อ HAOSHI (SKU:FIT0348)

Voltage (mV)	pH value	Voltage (mV)	pH value
414.12	0.00	414.12	14.00
354.96	1.00	354.96	13.00
295.80	2.00	295.80	12.00
236.64	3.00	236.64	11.00
177.48	4.00	177.48	10.00
118.32	5.00	118.32	9.00
59.16	6.00	59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

ขั้นตอนการศึกษาออกแบบระบบ

การวัดค่า และควบคุมปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และอุณหภูมิในบ่อเลี้ยง โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดค่า อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ และมีอุปกรณ์ประมวลผลสำหรับการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยวิธีการเติมสารละลายที่มีความเป็นกรด และด่างเข้มข้น และการควบคุมการเติมออกซิเจน ด้วยการปรับความเร็วปั๊มเติมอากาศ

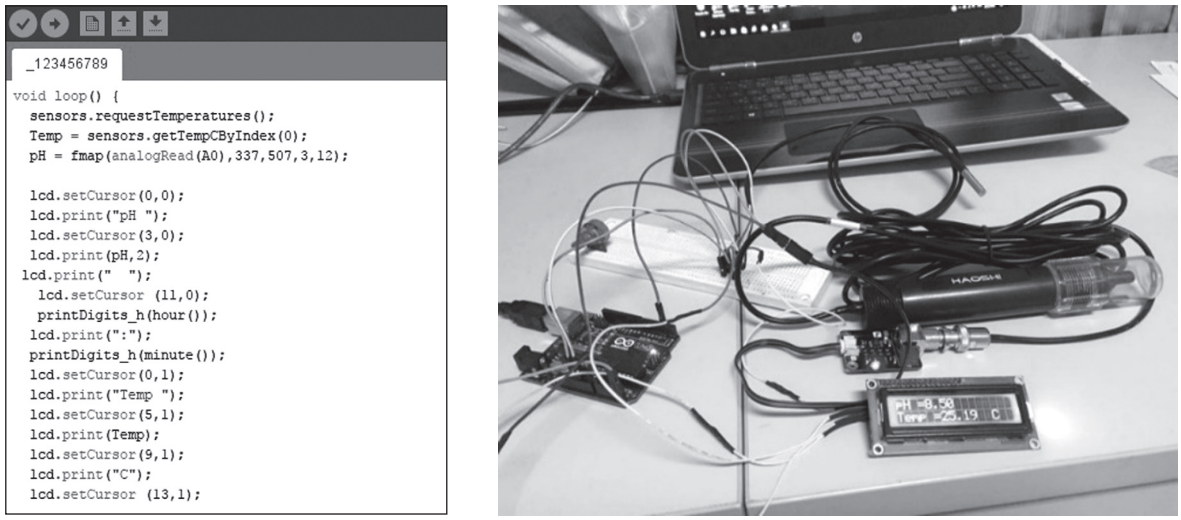


รูปที่ 2 แสดงการทำงานบำบัดน้ำเสียในบ่อปลาแฟนซีคาร์พ

จากรูปที่ 2 แสดงการทำงานของระบบโดย อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง, อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ ทำหน้าที่วัดค่าแล้วส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ประมวลผลควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และค่าออกซิเจนละลายน้ำ โดยมีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลลง SD-Card สำหรับวิเคราะห์ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง วัดอุณหภูมิ และอออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลาแฟนซีคาร์พ และยังแสดงค่าที่วัดได้ด้วยจอ LCD แต่เมื่อใดที่อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้น้อยกว่า 7.0 อุปกรณ์ประมวลผลจะสั่งรีเลย์ทำงานปั๊มเติมสารละลายจะเติมสารละลายที่เป็นด่างลงในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ จนกว่าจะได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่าหรือเท่ากับ 7 หรือถ้าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 7.5 อุปกรณ์ประมวลผลจะสั่งรีเลย์ทำงาน ปั๊มเติมสารละลายจะเติมสารละลายที่เป็นกรดลงในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ จนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.5 และเมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ได้น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสั่งให้โซลิตสเตตรีเลย์ทำงาน ปั๊มเติมอากาศจะเติมอากาศลงในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ จนกว่าจะได้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ละลายน้ำเท่ากับ 7

เขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด

การเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ทำการรับค่าเอาต์พุตแบบอนาล็อกจากอุปกรณ์ตรวจวัดไปยังอุปกรณ์ประมวลผล ทำการประมวลผลสัญญาณ และสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมระบบควบคุมปั๊มเติมอากาศ และระบบควบคุมปั๊มเติมสารละลาย



```
_123456789

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  Temp = sensors.getTempCByIndex(0);
  pH = fmap(analogRead(A0),337,507,3,12);

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("pH ");
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(pH,2);
 lcd.print("  ");
   lcd.setCursor (11,0);
   printDigits_h(hour());
  lcd.print(":");
  printDigits_h(minute());
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Temp ");
  lcd.setCursor(5,1);
  lcd.print(Temp);
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor (13,1);
```

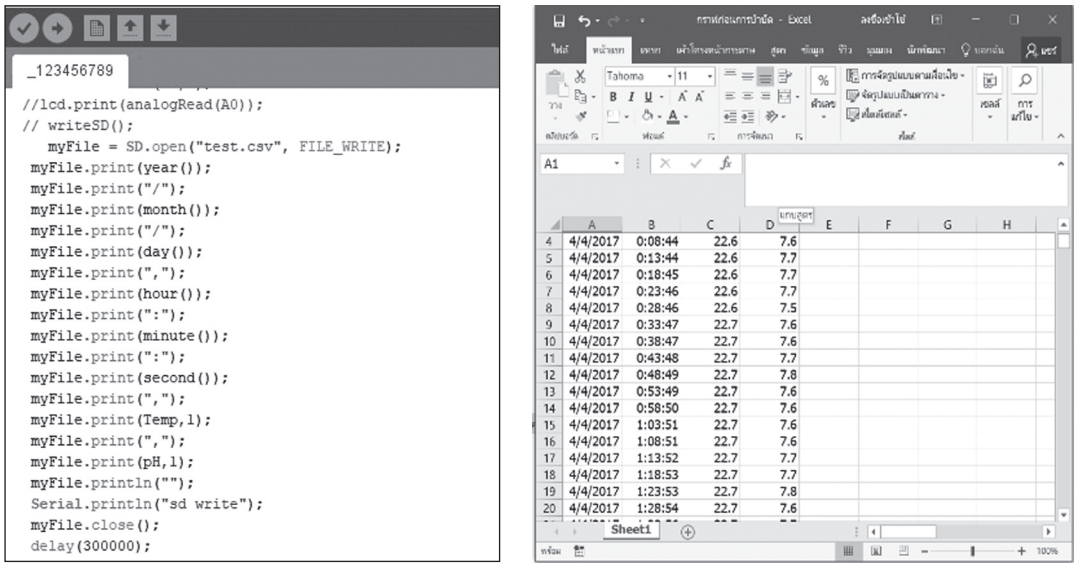
(ก) (ข)

รูปที่ 3 โปรแกรมที่รับค่าจากพีอุปกรณ์ตรวจวัด

รูปที่ 3(ก) แสดงการเขียนโปรแกรมอุปกรณ์ประมวลผล สำหรับรับค่า เอาต์พุต จากอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งมีเอาต์พุตแบบอนาล็อก นำไปประมวลผล แสดงค่าบนอุปกรณ์แสดงค่าที่ทำการวัดได้ และรูปที่ 3(ข) แสดงการเชื่อต่ออุปกรณ์ประมวลผลที่ทำการเขียนโปรแกรมรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดและแสดงค่าบนอุปกรณ์แสดงผลที่ได้จากการวัด

เขียนโปรแกรมเพื่อบันทึกค่าที่ได้จากการวัด

การบันทึกค่าที่ได้จากการวัดจะใช้ อุปกรณ์บันทึกค่าลง SD-Card เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับอุปกรณ์ประมวลผล ทำการบันทึกค่าวันที่ เวลา และค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด



```
_123456789
//lcd.print(analogRead(A0));
// writeSD();
   myFile = SD.open("test.csv", FILE_WRITE);
 myFile.print(year());
 myFile.print("/");
 myFile.print(month());
 myFile.print("/");
 myFile.print(day());
 myFile.print(",");
 myFile.print(hour());
 myFile.print(":");
 myFile.print(minute());
 myFile.print(":");
 myFile.print(second());
 myFile.print(",");
 myFile.print(Temp,1);
 myFile.print(",");
 myFile.print(pH,1);
 myFile.println("");
 Serial.println("sd write");
 myFile.close();
 delay(300000);
```

	A	B	C	D
4	4/4/2017	0:08:44	22.6	7.6
5	4/4/2017	0:13:44	22.6	7.7
6	4/4/2017	0:18:45	22.6	7.7
7	4/4/2017	0:23:46	22.6	7.7
8	4/4/2017	0:28:46	22.6	7.5
9	4/4/2017	0:33:47	22.7	7.6
10	4/4/2017	0:38:47	22.7	7.6
11	4/4/2017	0:43:48	22.7	7.7
12	4/4/2017	0:48:49	22.7	7.8
13	4/4/2017	0:53:49	22.7	7.6
14	4/4/2017	0:58:50	22.7	7.6
15	4/4/2017	1:03:51	22.7	7.6
16	4/4/2017	1:08:51	22.7	7.6
17	4/4/2017	1:13:52	22.7	7.7
18	4/4/2017	1:18:53	22.7	7.7
19	4/4/2017	1:23:53	22.7	7.8
20	4/4/2017	1:28:54	22.7	7.6

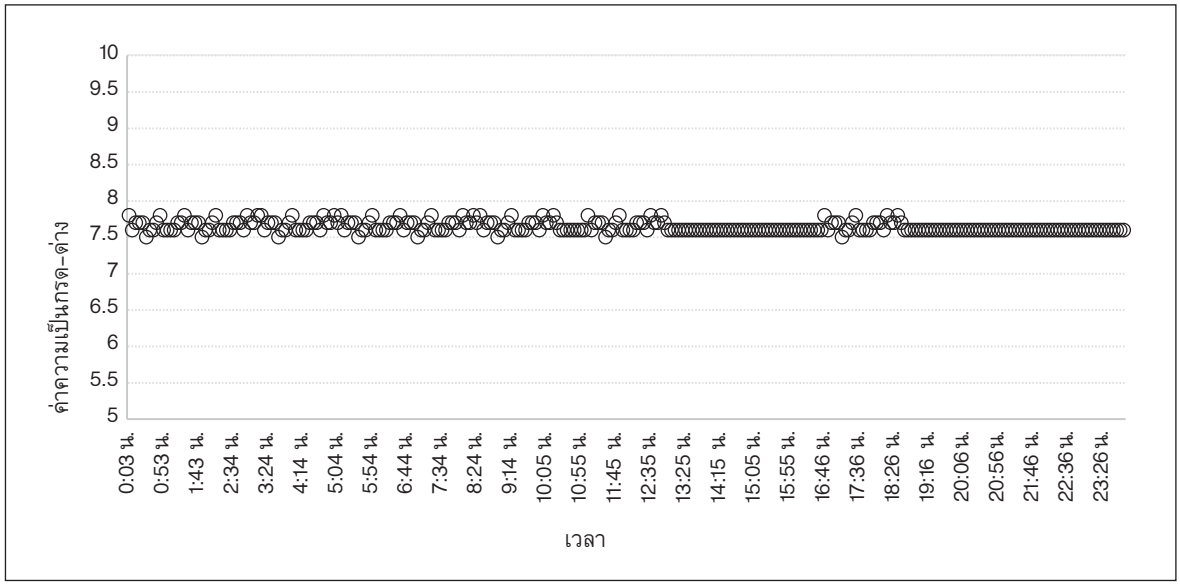
(ก) (ข)

รูปที่ 4 การเขียนโปรแกรมบันทึกค่าที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4(ก) แสดงการเขียนโปรแกรมอุปกรณ์ประมวลผล สำหรับบันทึกค่าที่รับค่ามาจากอุปกรณ์ตรวจวัดและรูปที่ 4(ข) แสดงผลการบันทึกค่าใน SD-Card

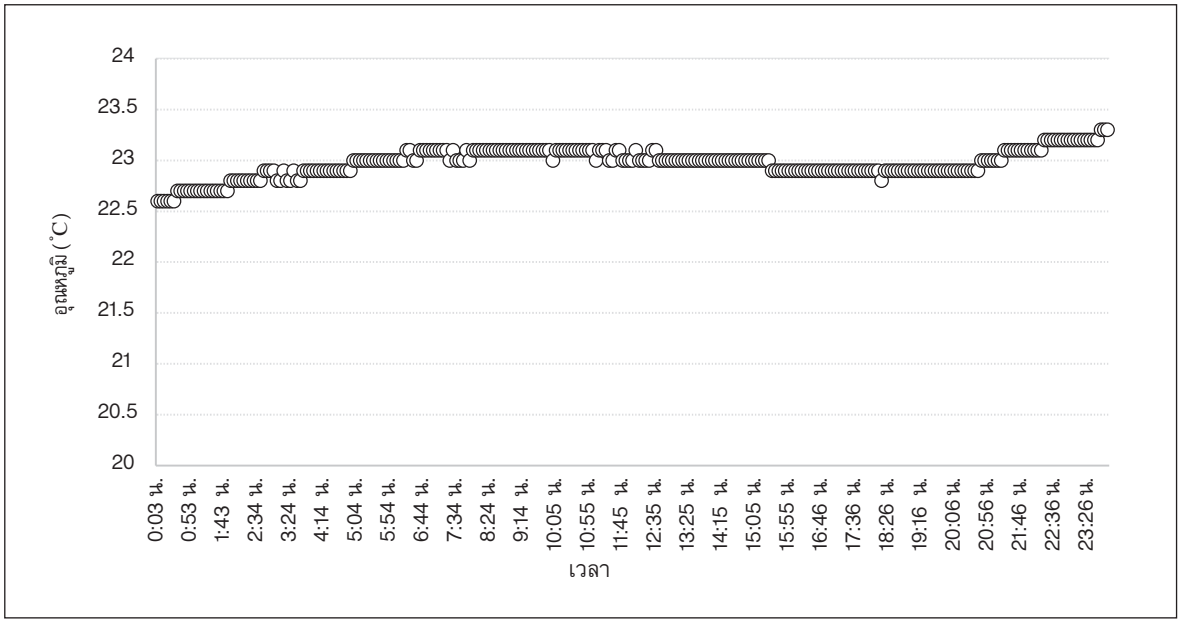
ผลการศึกษา

ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พขนาด 3.60x4.60x2.00 เมตร (10.5 ลูกบาศก์เมตร) ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วง 7.0-7.5 และควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อให้มีค่าไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 7.5 ระบบก็จะทำการเติมกรดแอซิติก (น้ำส้มสายชู) ความเข้มข้นเท่ากับ 3.0 และค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า 7.0 ระบบจะเติมน้ำปูนขาวความเข้มข้นเท่ากับ 12 ทำงานเป็นวงรอบตลอดการทดลอง และระบบควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำวัดค่าได้ น้อยกว่า 7 เครื่องกลเติมอากาศจะทำงานผันแปรระหว่างค่า ออกซิเจนละลายน้ำกับความเร็วรอบของเครื่องกลเติมอากาศ



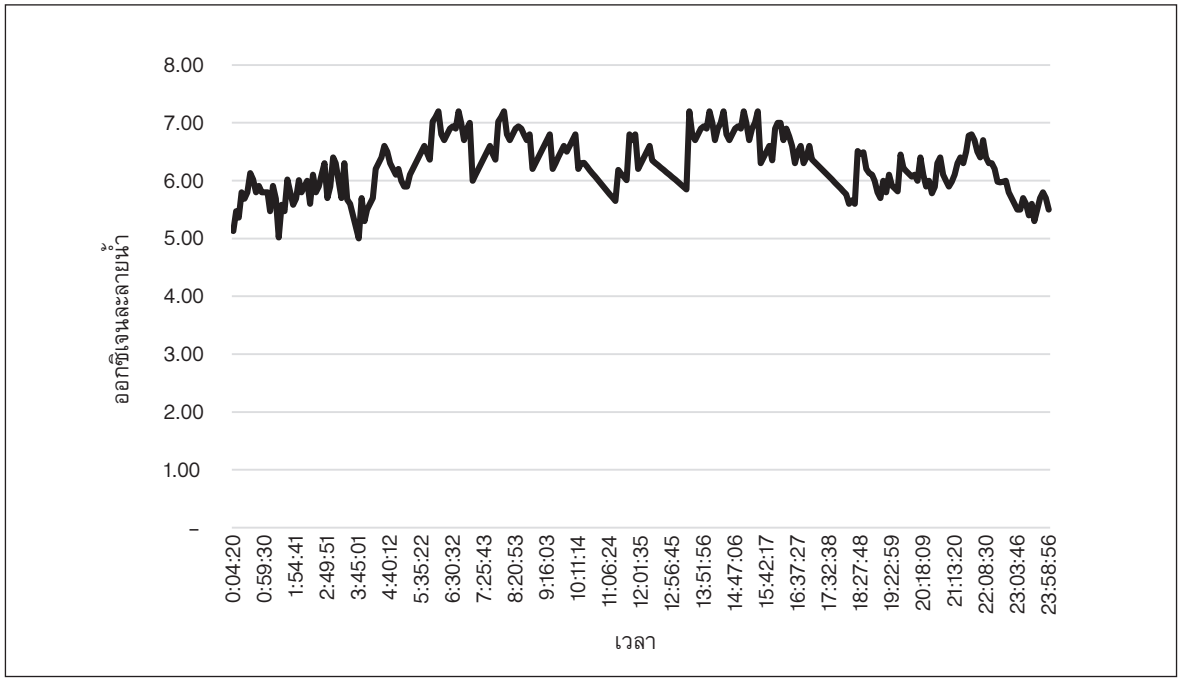
รูปที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาก่อนควบคุม

จากรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาแฟนซีคาร์พทำการวัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่วัดได้มีค่า 7.5-7.8 เฉลี่ยเท่ากับ 7.6 ซึ่งมีสูงกว่าที่กำหนดไว้ให้อยู่ในช่วง 7.0-7.5



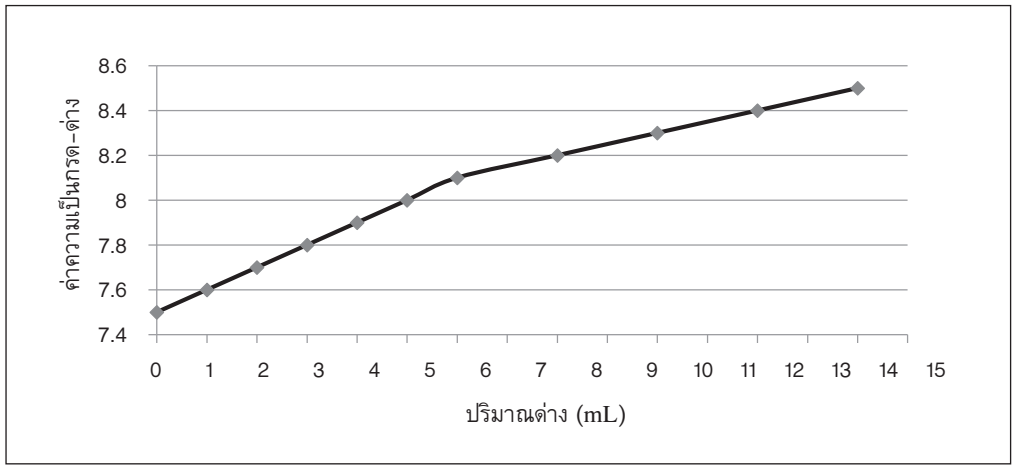
รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิในบ่อปลาแฟนซีคาร์พ

จากรูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาแฟนซีคาร์พก่อนการบำบัด ทำการวัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ระหว่างวันอยู่ที่ 22.6-23.6 องศาเซลเซียส



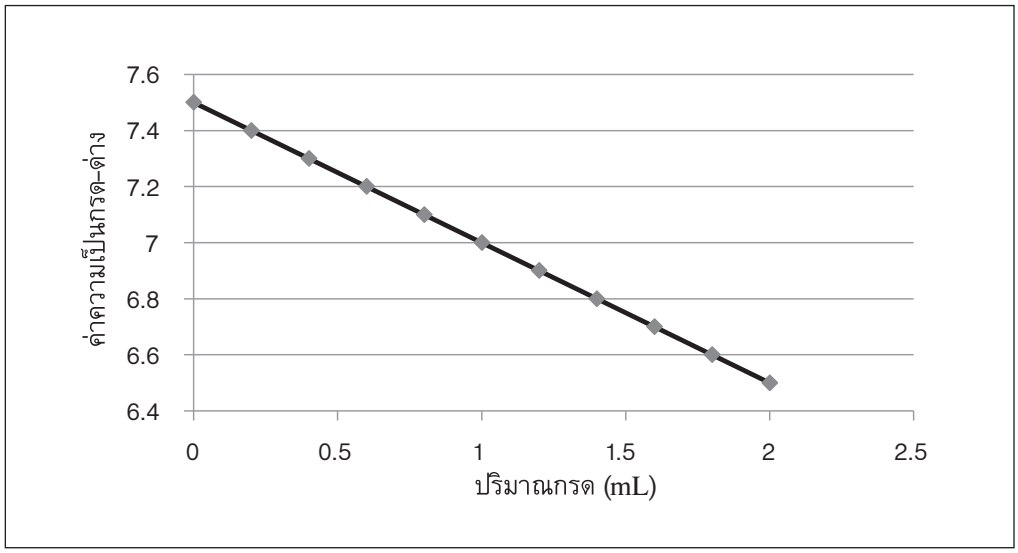
รูปที่ 7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลาแฟนซีคาร์พก่อนการเติมออกซิเจน

จากรูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลาแฟนซีคาร์พก่อนการบำบัด ทำการวัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงสุดและต่ำสุด อยู่ที่ 4.9–7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉลี่ยที่ 6.25 มิลลิกรัมต่อลิตร



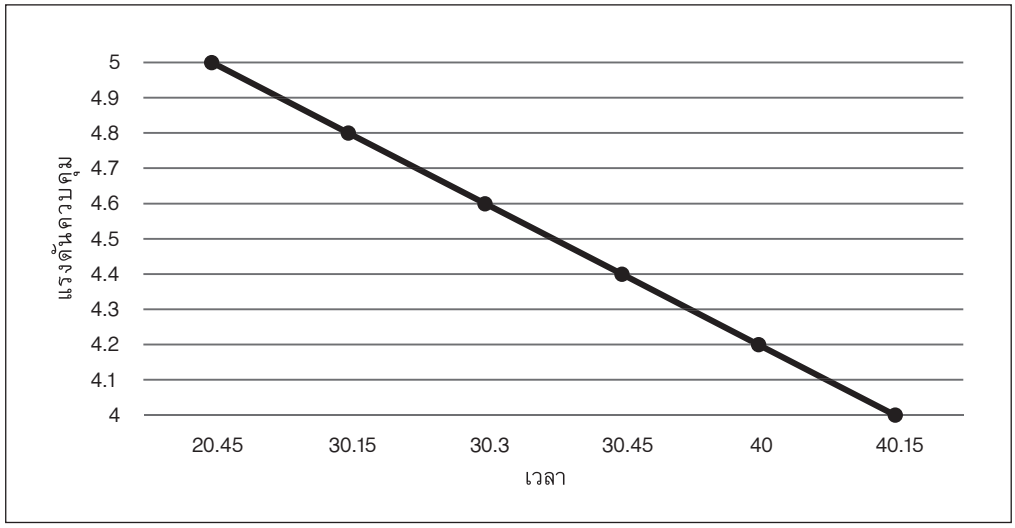
รูปที่ 8 การเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.1 หน่วย

จากรูปที่ 8 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสารละลายเข้มข้นด่าง(น้ำปูนขาว) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 12 ทดสอบกับน้ำเปล่าปริมาณ 10.5 ลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 ทดลองเติมในปริมาณครั้งละ 1 มิลลิลิตร



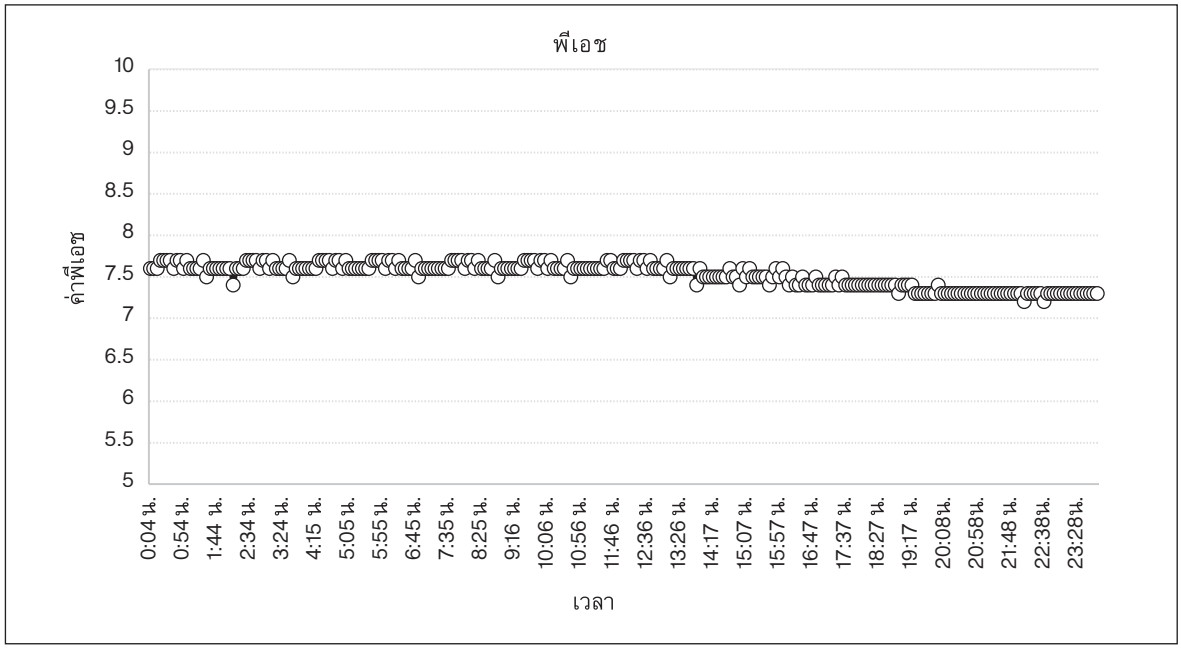
รูปที่ 9 การเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ลดลงครั้งละ 0.1 หน่วย

จากรูปที่ 9 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสารละลายเข้มข้นกรด (น้ำส้มสายชู) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 ทดสอบกับน้ำเปล่าปริมาณ 10.5 ลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 ทดลองเติมในปริมาณครั้งละ 1 มิลลิลิตร



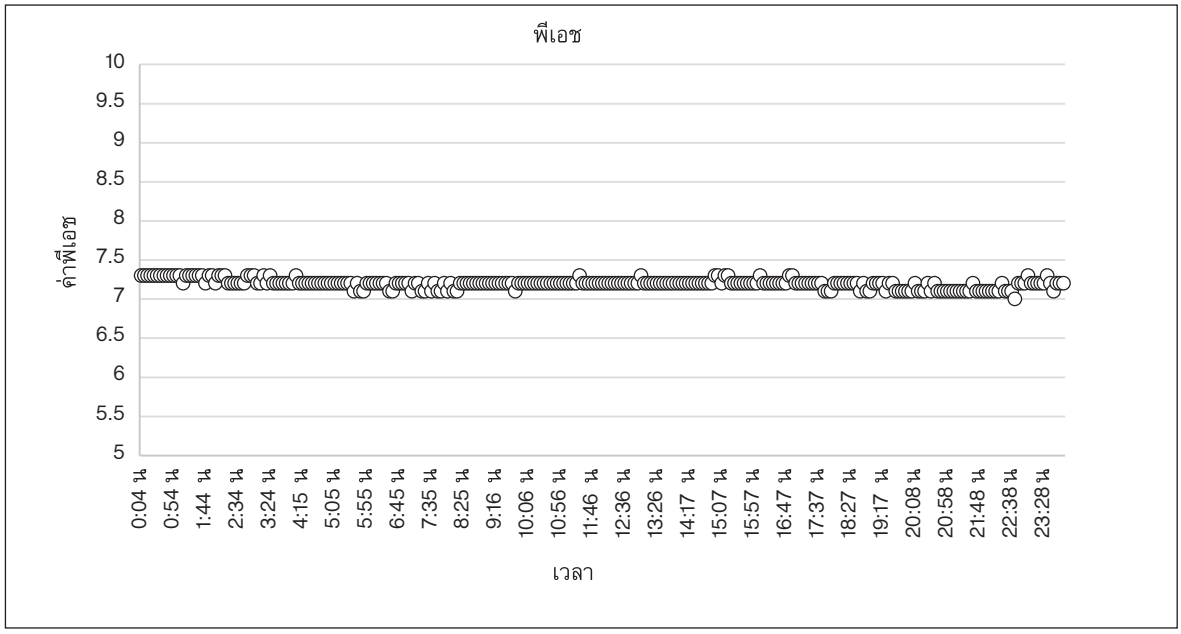
รูปที่ 10 การเปลี่ยนค่าออกซิเจนละลายน้ำ โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2 โวลต์

จากรูปที่ 10 เป็นการทดลองการเติมออกซิเจนลงในน้ำโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าจากค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 โวลต์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2 โวลต์ จนถึง 5 โวลต์ โดยใช้แรงดันเอาท์พุตจากอุปกรณ์ประมวลผลไปควบคุมการทำงานของโซลิตสเตตรีเลย์เพื่อให้ปั๊มเติมอากาศทำงาน จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเวลาในการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำจากค่าเริ่มต้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตรไปจนถึงค่าที่กำหนด 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อแรงดันมากการเติมออกซิเจนยิ่งทำได้เร็วมากขึ้น



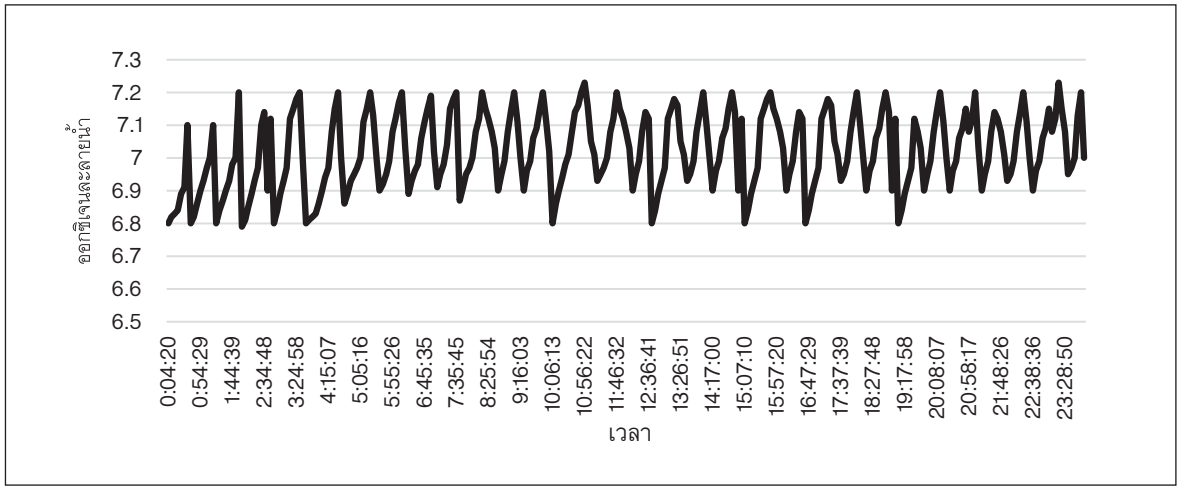
รูปที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาที่กำลังควบคุม

จากรูปที่ 11 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อปลาแฟนซีคาร์พ ระบบได้ทำการบำบัดโดยอุปกรณ์ประมวลผลทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมสั่งตัวปั๊มให้เติมสารละลายเข้มข้นกรด 5 วินาที ทำการตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ทุก 5 นาที เพื่อค่อย ๆ เติมสารละลายในบ่อที่ละน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้ปลาแฟนซีคาร์พเครียดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง จนค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 7.2



รูปที่ 12 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อหลังการควบคุม

จากรูปที่ 12 แสดงผลจากการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อผ่านการบำบัด จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.0-7.3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับปลาแฟนซีคาร์พ



รูปที่ 13 ค่าออกซิเจนละลายน้ำหลังจากการเติมออกซิเจน

จากรูปที่ 13 เมื่อมีการเติมอากาศลงไปในน้ำโดยใช้ระบบควบคุมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ จะเห็นได้ว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำจะอยู่ระหว่าง 6.8 ถึง 7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการทดลองระบบควบคุมระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำอัตโนมัติสำหรับบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเพียงเล็กน้อย อยู่ระหว่าง 7.0-7.5 และค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมอยู่ในปริมาณไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นระดับปกติเหมาะสำหรับการเจริญเติบโต

จากการควบคุมระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง จะส่งค่าไปยังอุปกรณ์ประมวลผลในการประมวลผลและสั่งชุดควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ให้มีค่าระหว่าง 7.0-7.5 ในบ่อทดลองขนาด 10.5 ลูกบาศก์เมตร โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนการควบคุมจะมีค่าอยู่ในช่วง 7.5-7.8 ตามรูปที่ 5 ทำการหาค่าปริมาณการเติมสารละลายเข้มข้น(กรด-ด่าง) ตามรูปที่ 8 และรูปที่ 9 นำผลที่ได้ไปควบคุมความเป็นกรด-ด่าง เมื่อความเป็นกรด-ด่าง มีค่าต่ำกว่า 7 ระบบทำงานโดยการเติมสารละลายเข้มข้นด่าง) และเมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 7.5 ระบบจะทำงานโดยการเติมสารละลายเข้มข้น (กรด) ผลที่ได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.0-7.3 ตามรูปที่ 11 และรูปที่ 12

ผลการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำใช้อุปกรณ์ตรวจวัดวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ส่งค่าไปยังอุปกรณ์ประมวลผลในการประมวลผล และสั่งอุปกรณ์ประมวลผลปรับค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มีค่าไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำ ก่อนการควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามรูปที่ 7 ทำการหาค่าปริมาณการเติมออกซิเจนละลายน้ำ ตามรูปที่ 10 นำผลที่ได้ไปควบคุมความเร็วรอบของปั๊มลมขนาด 120 ลิตรต่อนาที ด้วยการปรับขนาดแรงดัน 4.0-5.0 โวลต์ เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดทีละ 0.2 โวลต์ ให้กับโซลิตสเตตรีเลย์เมื่อค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าต่ำกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำการเติมออกซิเจนด้วยการปรับความเร็วปั๊มลมผลที่ได้สามารถควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำได้ระหว่าง 6.8-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามรูปที่ 13

ผลจากการทดลองเมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ และอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ พบว่า อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่จะมีผลต่อค่าออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแต่ละวัน เมื่ออุณหภูมิต่ำค่าออกซิเจนจะสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงค่าออกซิเจนจะลดต่ำลง ตามรูปที่ 5, รูปที่ 6 และรูปที่ 7 และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ระบบจะเติมสารละลายทุก ๆ 5 นาที ครั้งละ 5 วินาที เพื่อหลีกเลี่ยงการน็อคน้ำของปลาแฟนซีคาร์พ ผลจากค่าความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงแบบเฉียบพลัน จึงทำให้การควบคุมไม่สามารถตอบสนองได้แบบทันทีทันใดตามรูปที่รูปที่ 8 และรูปที่ 9 ในส่วนการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ ด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้าจากค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 โวลต์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2 โวลต์ จนถึง 5 โวลต์ ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 6.8-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบสามารถลดพลังงานที่จ่ายให้กับปั๊มเติมอากาศ โดยที่ตัวปั๊มเติมอากาศไม่ต้องทำงานเต็มกำลังตลอดเวลา แต่สามารถเติมออกซิเจนละลายน้ำได้ตลอดเวลา

ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ที่สร้างขึ้นสามารถวัด และแสดงผล รวมถึงปรับปรุงค่า ความเป็นกรด-ด่าง และปรับปรุงค่าออกซิเจนละลายน้ำ ด้วยการปรับปรุงค่าโดยตรงได้รวดเร็วกว่า และทำงานอัตโนมัติด้วยระบบแบบวงรอบปิด ซึ่งวิจัยอื่นจะใช้หลักการเติมอากาศเพื่อปรับปรุงค่า ความเป็นกรด-ด่าง และปรับปรุงค่าออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งจะได้ผลการปรับปรุงที่ใช้ระยะเวลาที่นานกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. อุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง และอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในการวิจัย ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานจากความผิดพลาดจากการใช้งานต่อเนื่องในระยะเวลา นาน ๆ จึงต้องมีการนำขึ้นมาปรับเทียบกับ ค่ามาตรฐาน โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมมาใช้แทน ซึ่งก็ยังมีราคาค่อนข้างสูง

เอกสารอ้างอิง

เกียรติศักดิ์ ชินาภาษ. (2548). *เครื่องควบคุมระดับค่าพีเอชแบบอัตโนมัติสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม.* วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เกวลิน คุ้มรักษ์. (2555). *ระบบติดตามสภาพน้ำบ่อปลาเพื่อธุรกิจปลาสวยงาม.* วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

กีรดิษ สายพัทลุง. (2557). *ระบบควบคุมการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้พลังงานทดแทนร่วม.* วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จักรกฤช สุขุมทอง. (2555). *การวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สายด้วยระบบปฏิบัติการ TinyOS.* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธวัชชัย ทองเหลี่ยม, วีระศักดิ์ ชื่นตา, หฤทัย ดิ้นสกุล และบรรเจิด เจริญพันธ์. (2556). *ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติสำหรับกระชังปลาทับทิม.* การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 6.

ธรรมพันธุ์ ภาสบุตร, ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม.(2552). *ระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 1,* ECTI-CARD 2009, 4-6 พฤษภาคม 2552, กรุงเทพฯ.

วิภา ประพินอักษร. (2546). *อัตราบริโภคออกซิเจนของปลาสวยงามบางชนิด.* วิทยานิพนธ์เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อนุศักดิ์ ประพัฒน์. (2551). *ระบบตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอัตโนมัติโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มกุ้ง.* วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Boyd, C. E. 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Agriculture Experiment Station,* Auburn University, Auburn, Alabama.

James A Mueller, William C. Boyle, H. Johannes Popel. (2002). *Aeration: principles and practice,* 11th, CRC Press.

Lawson, T.B. (1995). *Fundamentals of Aquaculture Engineering.* Chapman and Hall, NewYork.

M.López, J.M. Gómez, J. Sabater, A. (2010). based Wireless monitoring of pH and temperature in a fish farm. Herms IEEE 802.15.4

Moein Faramarzi, Saeed Kiaalvandi, Farnaz Iranshahi and Dara Mirzabaghery. (2011). Influence of Different pH Levels on Growth Performance, Survival Rate And Two Blood Factors of Common Carp (Cyprinus carpio). Global Veterinaria.

Tor-Inge Kvaksrud. (2006). Range Measurements in an Open Field Environment, Design Note DN018, Texas Instrument.