

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๔๒/๒๕๖๘



Technical Paper No. 42/2025

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมอัตโนมัติในการเลี้ยง
ปลากะพงขาวเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงเชื่อมต่อกับระบบ Internet of Things(IoT)
Research and Development of an Automated Feeding and
Environmental Control System for High-Precision Commercial Seabass
Farming Integrated with IoT

ไวทศน์ หนูกล้า
สิทธิโชค อุ่นแก้ว
อัครา ไชยมงคล
ปณิตา ชุมเชื้อ

Waitat Nooklum
Sittichok Aunkaew
Atra Chaimongkol
Panita Chomchuae

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Coastal Aquaculture Research and
Development Division
Department of Fisheries
Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๔๒/๒๕๖๔



Technical Paper No. 42/2025

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมอัตโนมัติในการเลี้ยง
ปลากะพงขาวเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงเชื่อมต่อกับระบบ Internet of Things(IoT)

Research and Development of an Automated Feeding and
Environmental Control System for High-Precision Commercial Seabass
Farming Integrated with IoT

ไวทศน์ นุกุล่า
สิทธิโชค อุ่นแก้ว
อัครา ไชยมงคล
ปณิตา ชุมเชื้อ

Waitat Nooklum
Sittichok Aunkaew
Atra Chaimongkol
Panita Chomchuae

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง

Coastal Aquaculture Technology
and Innovation Research and
Development Center

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

Coastal Aquaculture Research and
Development Division

กรมประมง

Department of Fisheries

2568

2025

รหัสทะเบียนวิจัย 64-1-03-08-64-06402

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการ	
1 สถานที่ทดลอง	4
2 วิธีการศึกษา	4
ผลการศึกษา	
1 การออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	19
2 การออกแบบเครื่องวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	20
3 ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหาร ด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติผลการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำ	21
4 ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการ ตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	25
วิจารณ์ผลการศึกษา	31
สรุปผลการศึกษา	33
ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	36

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณอาหารที่ให้แต่ละวันที่คำนวณได้จากการใช้สูตรพีดีแอปพลิเคชันร้อยละ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวในช่วงการเลี้ยง 30 วันแรก	8
2 ผลการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการให้อาหาร ด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ	21
3 ค่าคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน เปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ	23
4 เปรียบเทียบต้นทุนการเลี้ยงที่ให้อาหารด้วยแรงงานคนและระบบการให้อาหารอัตโนมัติ	24
5 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการ ให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ	25
6 ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้ จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	26
7 ข้อมูลคุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์ ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน เป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	29
8 ต้นทุนของการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน เปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการเลี้ยง ด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	30
9 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน เปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการเลี้ยง ด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	31
 ตารางผนวกที่	
1 การกระเพื่อมของน้ำที่ได้จากการทดสอบการกินอาหาร	36

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ส่วนประกอบระบบตรวจสอบการกระเพื่อมของน้ำเพื่อนำมาใช้เป็นระบบให้อาหารอัตโนมัติ	5
2 ถังให้อาหารปลาอัตโนมัติ	5
3 ลักษณะชุดกลไกการปล่อยอาหารปลา	6
4 ส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ	7
5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ และภาพรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	9
6 หลักการทำงาน และการส่งผลแจ้งเตือนของอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	10
7 ขั้นตอนควบคุมการทำงานของระบบปั๊มดูดน้ำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำ	11
8 บ่อทดลอง และระบบบำบัดน้ำ	13
9 ด้านข้างระบบท่อหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงไปสู่ระบบบำบัด	13
10 ต้นแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	19
11 แผนภาพกระบวนการทำงานของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	19
12 อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพน้ำ การแสดงผล และการแจ้งเตือน	20
13 น้ำหนักปลากระพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม	22
14 ความยาวของปลากระพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม	22
15 น้ำหนักปลากระพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม	26
16 ความยาวปลากระพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลองและระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม	27
17 ปริมาณค่าออกซิเจนจากเครื่องตรวจวัดออกซิเจนในชุดควบคุม จากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และปริมาณจากเครื่องตรวจวัดออกซิเจนชุดทดลอง	27
18 ค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัดในชุดควบคุม จากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และจากเครื่องตรวจวัดในชุดทดลอง	28
19 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดควบคุม จากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดลอง	28

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมอัตโนมัติในการเลี้ยงปลากระพงขาวเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงเชื่อมต่อบนระบบ Internet of Things(IoT)

ไวทัศน์ หนูกล้า^{1*}, ลิทธิโชค อุ่นแก้ว², อัครา ไชยมงคล³ และ ปณิตา ชุมเชื้อ⁴

¹ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสมุทรสาคร

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง

⁴ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งตรง

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลากระพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 การทดลองใช้ระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง HC-SR04 5V ทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโยโน มาใช้เป็นอุปกรณ์ให้อาหารปลาอัตโนมัติ และการทดลองที่ 2 ใช้ระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโยโน ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ความเป็นกรด-ด่าง และเซนเซอร์อุณหภูมิ ออกแบบให้ตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ใช้ระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 10 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลากระพงขาวที่เลี้ยงด้วยการให้อาหารด้วยแรงงานคน และเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติมีความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 36.36 ± 7.72 และ 39.87 ± 5.21 เซนติเมตร น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 661.20 ± 77.91 และ 887.99 ± 92.99 กรัม อัตรารอดตายเฉลี่ย 93.00 และ 95.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปลากระพงขาวในชุดที่ให้อาหารอัตโนมัติมีน้ำหนักหลังสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าการให้ด้วยแรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการทดลองที่ 2 ทดลองเลี้ยงโดยใช้การตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนเปรียบเทียบกับระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลากระพงขาวมีความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 37.22 ± 6.64 และ 38.11 ± 5.59 เซนติเมตร น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 684.00 ± 72.33 และ 779.00 ± 44.25 กรัม อัตรารอดตายเฉลี่ย 93.00 ± 1.74 และ 95.00 ± 2.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปลากระพงขาวที่เลี้ยงด้วยการตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติมีน้ำหนักหลังสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าชุดที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ให้อาหารอัตโนมัติ และอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ สามารถใช้งานได้ดี มีความแม่นยำ และใช้ในการเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ, เครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ, ปลากระพงขาว, การเลี้ยงเชิงพาณิชย์
อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

*ผู้รับผิดชอบ: 127 หมู่ 8 ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000 โทรศัพท์ 034-410266

E-mail: waitatnooklum@gmail.com

Research and Development of an Automated Feeding and Environmental Control System for High-Precision Commercial Seabass Farming Integrated with IoT

Waitat Nooklum^{1*}, Sittichok Aunkaew², Atra Chaimongkol³ and Panita Chomchuae⁴

¹ Samut Sakhon Coastal Aquaculture Research and Development Center

²Rajamangala University of Technology Srivijaya

³Coastal Aquaculture Technology and Innovation Research and Development Center

⁴Trang Coastal Aquaculture Research and Development Center

Abstract

The research and development of automatic fish feeding system and water quality monitoring for seabass farming was divided into 2 experimental sets. This first study developed an automatic fish feeding system using the HC-SR04 5V ultrasonic sensor combined with a microcontroller board to detect water movement as a condition for feed dispensing. And The second study developed an automatic water quality monitoring system was designed using an Arduino Uno microcontroller with sensors to measure dissolved oxygen, pH, and temperature and was designed to operate in real time and transmit data through the Internet to be displayed via the LINE application. The culture period lasted 10 months. At the end of the experiment, fish in the manual feeding and automatic fish feeding system showed final average lengths of 36.36 ± 7.72 cm and 39.87 ± 5.21 cm, final average weights of 661.20 ± 77.91 g and 887.99 ± 92.99 g, survival rates of 93.00% and 95.00%, respectively. Statistical analysis revealed that fish in the automatic fish feeding system had significantly better performance in terms of final average weights than in the manual feeding ($p < 0.05$). The second study of the manual and automatic water quality monitoring system showed final average lengths were 37.22 ± 6.64 cm and 38.11 ± 5.59 cm, final average weights of 684.00 ± 72.33 g and 779.00 ± 44.25 g, average survival rates of $93.00 \pm 1.74\%$ and $95.00 \pm 2.35\%$, respectively. Statistical analysis revealed that fish in the automatic water quality monitoring had significantly better performance in terms of final weight than the manual ($p < 0.05$). These systems showed high accuracy and effective fish farming operations.

Keywords: automatic feeder, automatic water quality control, seabass, commercial aquaculture, Internet of things (IoT)

***Corresponding author:** 127 Moo 8 Khokkam, Muang, Samut Sakhon, 74000 Tel. 034-410266
E-mail: waitatnooklum@gmail.com

คำนำ

ปลากระพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates Calcarifer* (bloch,1970) ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Seabass หรือ Giant perch เป็นปลาน้ำกร่อย แต่สามารถอาศัยได้ทั้งน้ำจืด และน้ำทะเล ลักษณะเนื้อสีขาว มีรสชาติดี สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายประเภทเป็นที่นิยมบริโภคของคนทั่วไป จากข้อมูลสถิติ ผลผลิตปลากระพงขาวจากการเลี้ยงปี 2564 มีฟาร์มเลี้ยงปลากระพงขาว 6,635 ฟาร์ม โดยแยกเป็นฟาร์มบ่อดิน 2,677 ฟาร์ม กระชัง 3,958 ฟาร์ม เนื้อที่เลี้ยงในบ่อดิน 27,749 ไร่ ในกระชัง 165 ไร่ ผลผลิตรวม 48,139 ตัน มาจากผลผลิตจากบ่อดิน 42,912 ตัน และจากกระชัง 5,227 ตัน คิดเป็นมูลค่าผลผลิตรวม 5,449 ล้านบาท เป็นมูลค่าการผลิตจากบ่อดิน 4,332 ล้านบาท และ จากกระชัง 717 ล้านบาท (กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, 2566) การเลี้ยงสัตว์น้ำต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อใช้สนับสนุนการเลี้ยงให้ประสบผลสำเร็จ ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการให้อาหารสัตว์น้ำ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถจัดการระบบให้อาหารปลาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดไม่มีอาหารเหลือตกค้างปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ส่งผลให้ลดต้นทุนการเลี้ยงลงได้ ปัจจุบันระบบการให้อาหารอัตโนมัติใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น การเลี้ยงกุ้งทะเล การเลี้ยงปลานิล ส่วนใหญ่ใช้การตั้งเวลาให้อาหารตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนด ยังไม่มีระบบการให้อาหารตามความต้องการของสัตว์น้ำได้ หรือหากมีก็จะมีราคาสูงมากและยังไม่มีใช้อย่างแพร่หลายเกษตรกรที่มีต้นทุนน้อยอาจจะไม่สามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำของตนได้ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเลี้ยงประสบผลสำเร็จหรือล้มเหลวคือ คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แอมโมเนีย และอื่น ๆ (โชคชัย, 2548) หากสามารถตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่องจะช่วยลดความเสี่ยงและสามารถทำให้เกษตรกรหรือผู้เลี้ยงมีโอกาสประสบผลสำเร็จการออกแบบระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ มีหลายบริษัทที่มีการผลิตออกมาจำหน่ายให้แก่เกษตรกรได้นำไปใช้งานวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ แต่ระบบตรวจวัดดังกล่าวยังมีราคาค่อนข้างสูงการใช้งานต้องมีเจ้าหน้าที่ของบริษัทผู้ผลิตเข้ามาช่วยแก้ไขและบำรุงรักษาซึ่งมีค่าใช้จ่ายขึ้นล้นเป็นต้นทุนที่เกษตรกรหรือผู้เลี้ยงต้องรับผิดชอบทั้งสิ้นจึงเป็นข้อจำกัดของเกษตรกรที่มีต้นทุนต่ำ

การพัฒนาการให้อาหารอัตโนมัติ และการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้การเลี้ยงปลากระพงขาวมีโอกาสประสบผลสำเร็จได้ โดยการพัฒนาดังกล่าวมีความเกี่ยวเนื่องกับการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนอูโน (Board microcontroller arduino uno) ที่ทำหน้าที่เป็นสมองกลควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ โดยภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และพอร์ตอินพุต-เอาต์พุตเพื่อรับส่งข้อมูลหรือควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ระบบควบคุมเครื่องยนต์ รถยนต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนการนำมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น ปัจจุบันเริ่มมีแพร่หลายมากขึ้นเช่น การนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำได้แก่ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าอุณหภูมิ และยังมีการนำมาใช้ควบคุมเซอร์โว มอเตอร์ ควบคุมอุปกรณ์การจ่ายอาหารอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาซึ่งทำให้การเลี้ยงลดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลงได้ (Susilawati *et al.*, 2023) และในอินโดนีเซียมีการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานออกแบบให้รับส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Internet of Things (IoT) ช่วยให้การเลี้ยงปลาน้ำจืดมีประสิทธิภาพมากขึ้นลดต้นทุนการผลิตและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Silalahi *et al.*, 2023) นอกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วยังมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง (Ultrasonic

sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดและรับส่งสัญญาณเพื่อนำข้อมูลผลการตรวจจับมาใช้พัฒนาเขียนคำสั่งควบคุมระบบกลไกการปล่อยอาหารให้แก่สัตว์น้ำแบบอัตโนมัติอันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบการให้อาหารปลาอัตโนมัติให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการประยุกต์นำเอาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโน เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง เซนเซอร์ตรวจวัดค่าออกซิเจน (Oxygen sensor) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH sensor) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ (Temperature sensor) ความรู้ด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ออกแบบศึกษาและพัฒนาระบบการให้อาหารอัตโนมัติเพื่อจัดการการให้อาหารแก่ปลากะพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนและออกแบบพัฒนาเทคโนโลยีระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ (Real time) โดยใช้การส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT ออกแบบให้ส่งข้อมูลแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Application LINE) ให้ผู้เลี้ยงได้รับทราบข้อมูลและสามารถดำเนินการบริหารจัดการการเลี้ยงปลากะพงขาวได้อย่างทันทั่วทั้งที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการให้อาหารอัตโนมัติโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโน เพื่อจัดการการให้อาหารแก่สัตว์น้ำในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของปลากะพงขาว
2. เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีระบบตรวจวัด ติดตามคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์โดยการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ IoT
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากะพงขาว

วิธีดำเนินการ

1. สถานที่ทำการทดลอง

ดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง ตั้งอยู่เลขที่ 1/19 หมู่ที่ 3 ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2563 ถึง กันยายน 2565

2. วิธีการศึกษา

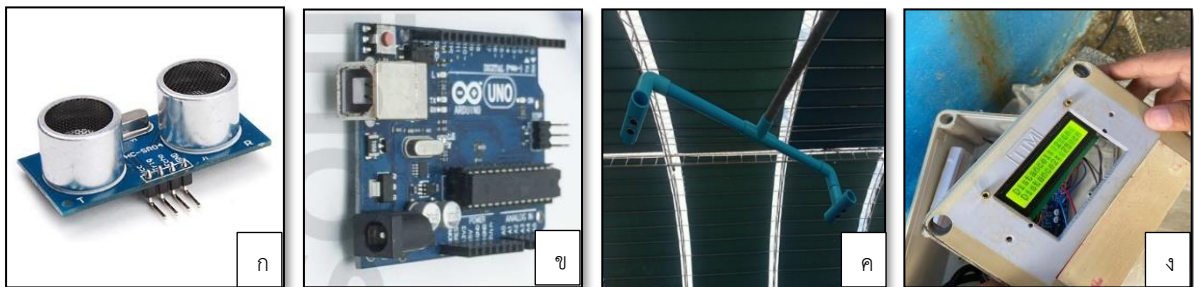
2.1 การออกแบบและพัฒนาระบบให้อาหารอัตโนมัติ

2.1.1 การเตรียมอุปกรณ์

- 1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโน (Board microcontroller Arduino uno)
- 2) เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง (Ultrasonic sensor)
- 3) ถังบรรจุอาหารขนาด 15 กิโลกรัม
- 4) ชุดกลไกการจ่ายอาหารมอเตอร์ 10 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์
- 5) ตู้ควบคุม
- 6) สายไฟ อุปกรณ์ประกอบต่างๆ

2.1.2 การออกแบบและติดตั้งระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ออกแบบระบบการให้อาหารอัตโนมัติจากพฤติกรรมการกินอาหารของปลากะพงขาว โดยใช้เซนเซอร์ ตรวจจับคลื่นเสียง HC-SR04 5 V จำนวน 2 ตัว เป็นตัวตรวจวัดระยะทางทำงานร่วมกับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโน่ เขียนโปรแกรมคำสั่งให้ทำงานตามข้อกำหนด แสดงผลการทำงานผ่านหน้าจอแสดงผล และจ่ายอาหารตามค่าที่ตรวจวัดได้ ตัวเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง HC-SR04 5V บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโน่ และโครงสร้างเซนเซอร์ที่ติดตั้งเสร็จแล้วพร้อมหน้าจอเครื่องควบคุม และแสดงผล แสดงดังภาพที่ 1 ก-ง



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบระบบตรวจสอบการกระเพื่อมของน้ำเพื่อนำมาใช้เป็นระบบให้อาหารอัตโนมัติ

(ก) ตัวเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงรุ่น HC-SR04 5V (ข) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน

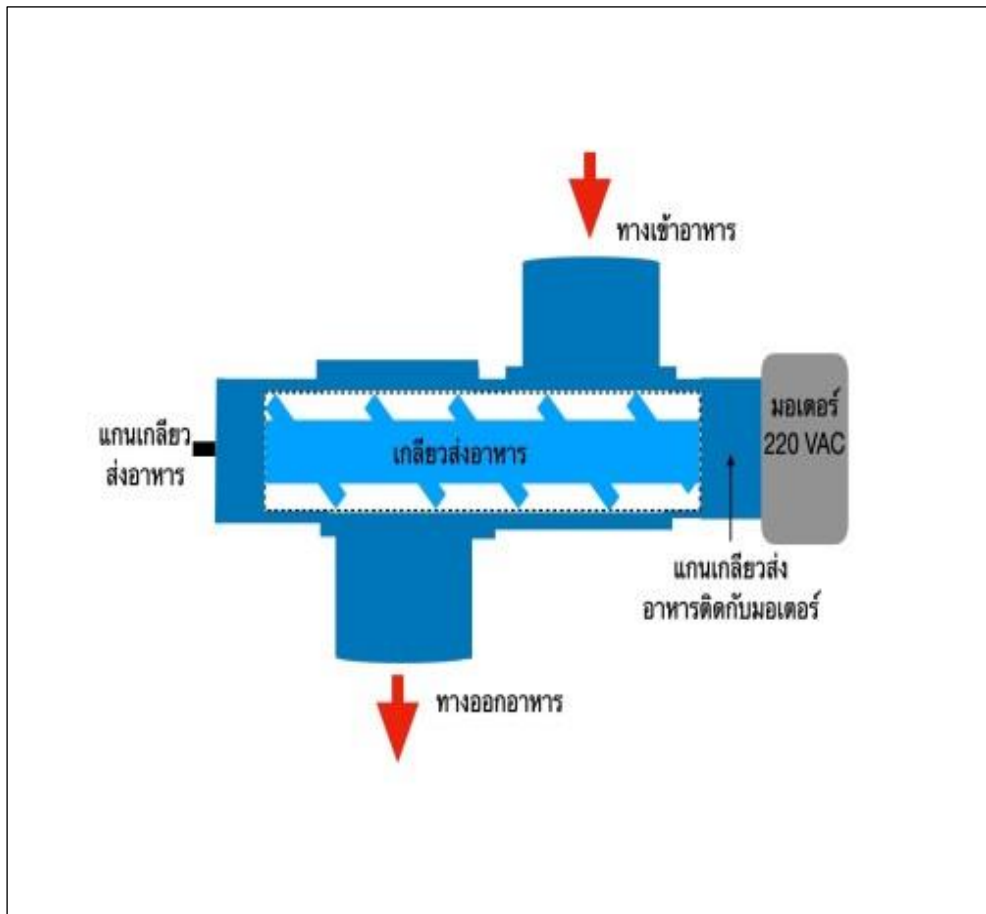
(ค) ชุดเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง (ง) จอควบคุมและแสดงผล รุ่น LCD 1602 แบบ I2C

2.1.3 การออกแบบระบบกลไกการจ่ายอาหาร

ถังอาหารรองรับปริมาณอาหารได้ 15 กิโลกรัม และระบบการจ่ายอาหารใช้มอเตอร์ ควบคุมการจ่ายขนาด 10 วัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ตัวเกลียวจ่ายอาหารเพื่อป้องกันการขึ้นสนิมทำด้วยแผ่นพีวีซีขนาดชั้นความหนา 8.5 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 1 นิ้ว บิดเป็นรูปตัว S ใช้ลำเลียงอาหาร สามารถรองรับ ปริมาณอาหารตั้งแต่ขนาด 1-10 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 2 และ 3



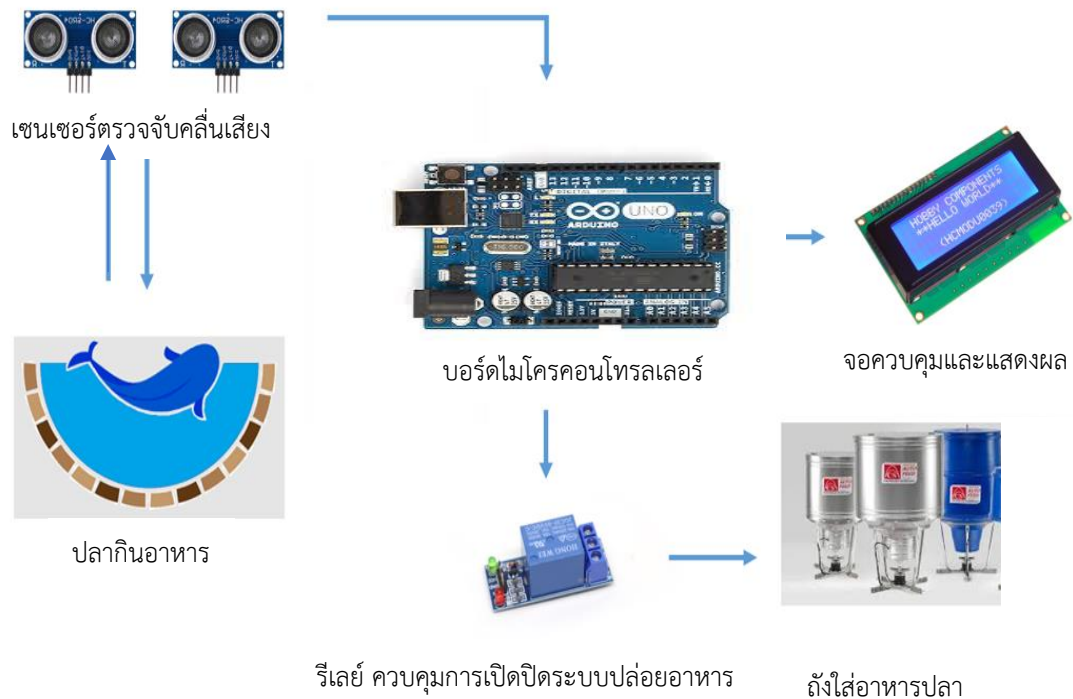
ภาพที่ 2 ถังให้อาหารปลาอัตโนมัติ



ภาพที่ 3 ลักษณะชุดกลไกการปล่อยอาหารปลา

2.1.4 การเขียนระบบคำสั่ง กำหนดเงื่อนไข และการเปิดใช้งาน

มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อ เปิดใช้งาน เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตรวจวัดค่าระยะห่างของผิวน้ำในบ่อกับเซนเซอร์ในทุก ๆ ครั้งแรกของการเปิดใช้งาน เพื่อใช้เป็นค่าฐานการคำนวณในตัวแปรเพื่อกำหนดเงื่อนไขการจ่ายอาหาร และออกแบบให้มีการกระตุ้นการกินอาหารของปลาทุกครั้ง ในทุกวันที่มีการให้อาหาร เพื่อเป็นเงื่อนไขการจ่ายอาหารให้ปลา โดยกำหนดให้ ในเวลา 15 นาที ของ ชั่วโมงที่ 1 ใช้การกระตุ้น 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งห่างกัน 3 นาที และแต่ละครั้งที่กระตุ้นใช้เวลาในการปล่อยอาหาร 2-3 วินาที คิดเป็นปริมาณอาหารแต่ละครั้งประมาณ 50 กรัม หากปลาไม่กินอาหารระบบจ่ายอาหารหยุดการทำงาน และเริ่มกระบวนการกระตุ้นการกินอาหารอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 2 โดยกระบวนการเหมือนกับชั่วโมงที่ 1 และหากหลังการกระตุ้นปลากินอาหารทำให้เกิดการกระเพื่อมของน้ำ และเมื่อค่าการกระเพื่อมเข้าตามเงื่อนไข ระบบการให้อาหารอัตโนมัติเริ่มทำงาน โดยรีเลย์เปิดเครื่องให้อาหารจนกระทั่งค่าของระดับน้ำอยู่ในจุดที่ต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดรีเลย์เครื่องให้อาหารหยุดทำงานค่าที่วัดได้แสดงผลผ่านทางจอแสดงผลรายละเอียดส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ

2.1.5 การคำนวณปริมาณอัตราการให้อาหารโดยใช้หลักการคำนวณของฟีดแอปพลิเคชัน

ในการทดลองครั้งนี้ อ้างอิงการคำนวณปริมาณการให้อาหารที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาว ตามสูตรของ Stickey (1979) เพื่อมาใช้เป็นโปรแกรมคำนวณการให้อาหาร หรือเรียกว่าโปรแกรมฟีดแอปพลิเคชัน เพื่อใช้เลี้ยงปลากะพงขาว ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเพื่อควบคุมอัตราการให้อาหารให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยมีสูตรดังนี้

$$W_t = W_o + (W_o \times F / C)$$

โดยที่	W_t	หมายถึง	น้ำหนักสัตว์น้ำ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง(t)
	W_o	หมายถึง	น้ำหนักสัตว์น้ำ ณ เวลาเริ่มต้น (o)
	F	หมายถึง	ร้อยละของอัตราการให้อาหาร
	C	หมายถึง	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำหนักรวมเริ่มต้นของปลากะพงขาวที่เลี้ยงเป็นฐานการคำนวณโดยกำหนดให้อัตราการให้อาหารเท่ากับ 3-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลา อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.5 จากสูตรสามารถคำนวณการให้อาหารในช่วง 30 วันแรก แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณอาหารที่ให้แต่ละวันที่คำนวณได้จากการใช้สูตรพีดีแอปพลิเคชันอัตราการให้ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในช่วงการเลี้ยง 30 วันแรก

วัน	น้ำหนัก	ปริมาณ	วัน	น้ำหนัก	ปริมาณ
	ปลากะพงขาว(กก.)	อาหาร (กก.)		ปลากะพงขาว(กก.)	อาหาร (กก.)
1	15.50	0.78	16	25.35	1.27
2	16.02	0.80	17	26.19	1.31
3	16.55	0.83	18	27.07	1.35
4	17.10	0.86	19	27.97	1.40
5	17.67	0.88	20	28.90	1.45
6	18.26	0.91	21	29.86	1.49
7	18.87	0.94	22	30.86	1.54
8	19.50	0.97	23	31.89	1.59
9	20.15	1.01	24	32.95	1.65
10	20.82	1.04	25	34.05	1.70
11	21.51	1.08	26	35.18	1.76
12	22.23	1.11	27	36.36	1.82
13	22.97	1.15	28	37.57	1.88
14	23.74	1.19	29	38.82	1.94
15	24.53	1.23	30	40.11	2.01

ปริมาณอาหารที่คำนวณได้จากโปรแกรมด้านบนเป็นอาหารที่ให้สูงสุดในแต่ละวัน ปลาในบ่อทดลองไม่สามารถกินอาหารได้เกินกว่าที่คำนวณ เพื่อควบคุมไม่ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาสูง หลังจากเลี้ยงปลากะพงขาวครบทุก 1 เดือน สุ่มน้ำหนักปลาในบ่อและนำข้อมูลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักปลาเฉลี่ย มาคำนวณน้ำหนักรวมและใช้น้ำหนักปลาที่ได้เป็นฐานเริ่มต้นในการคำนวณปริมาณอาหารที่ให้ปลา ในครั้งถัดไปดำเนินการสุ่มเป็นประจำทุกเดือนจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

2.2 การออกแบบติดตั้งระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ ตรวจวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิน้ำโดยกำหนดให้อุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ตั้งค่าการแจ้งเตือนได้เป็นช่วง ๆ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง รายละเอียดดังนี้

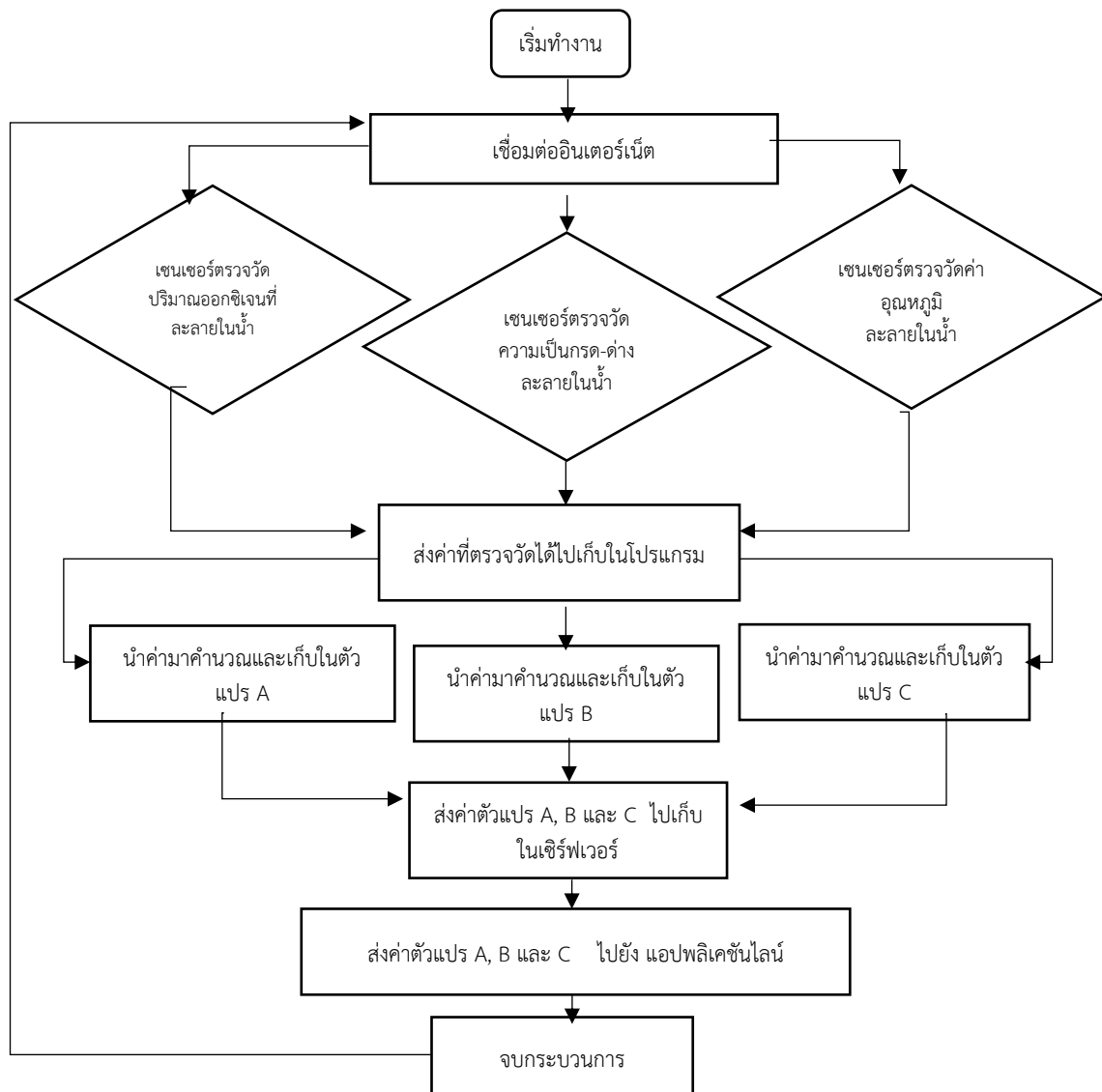
2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์

- 1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโนโอโน

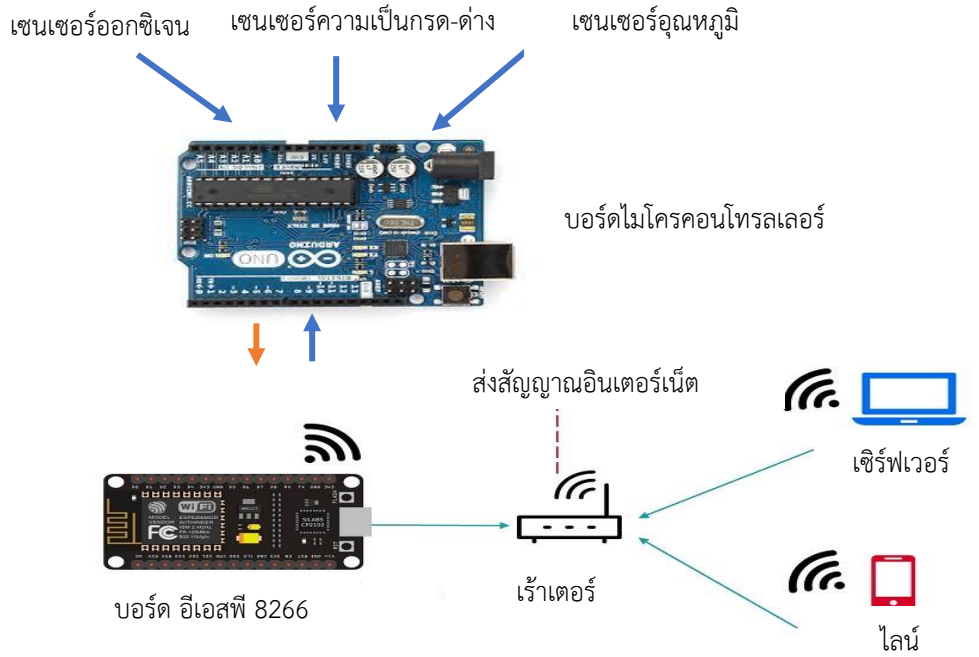
- 2) บอร์ด อีเอสพี 8266
- 3) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าออกซิเจน เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ
- 4) เร้อยเตอร์ ตู้ควบคุม สายไฟ และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ

2.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ใช้โปรแกรมอาดูอินในการเขียนคำสั่งควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับโนดเอ็มซียูอีเอสพี 8266 (Node MCU esp8266) รับส่งค่าโดยกำหนดค่าตัวแปรปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็น A ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น B และค่าอุณหภูมิเป็น C ค่าที่ตรวจวัดได้ระบบแปลงสัญญาณออกมาเป็นตัวเลขของแต่ละพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้โดยจัดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์ พร้อมทั้งส่งข้อมูลแสดงผลค่าที่ตรวจวัดได้ผ่านทาง แอปพลิเคชันไลน์โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบและภาพรวมหลักการทำงานของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 5 และ 6



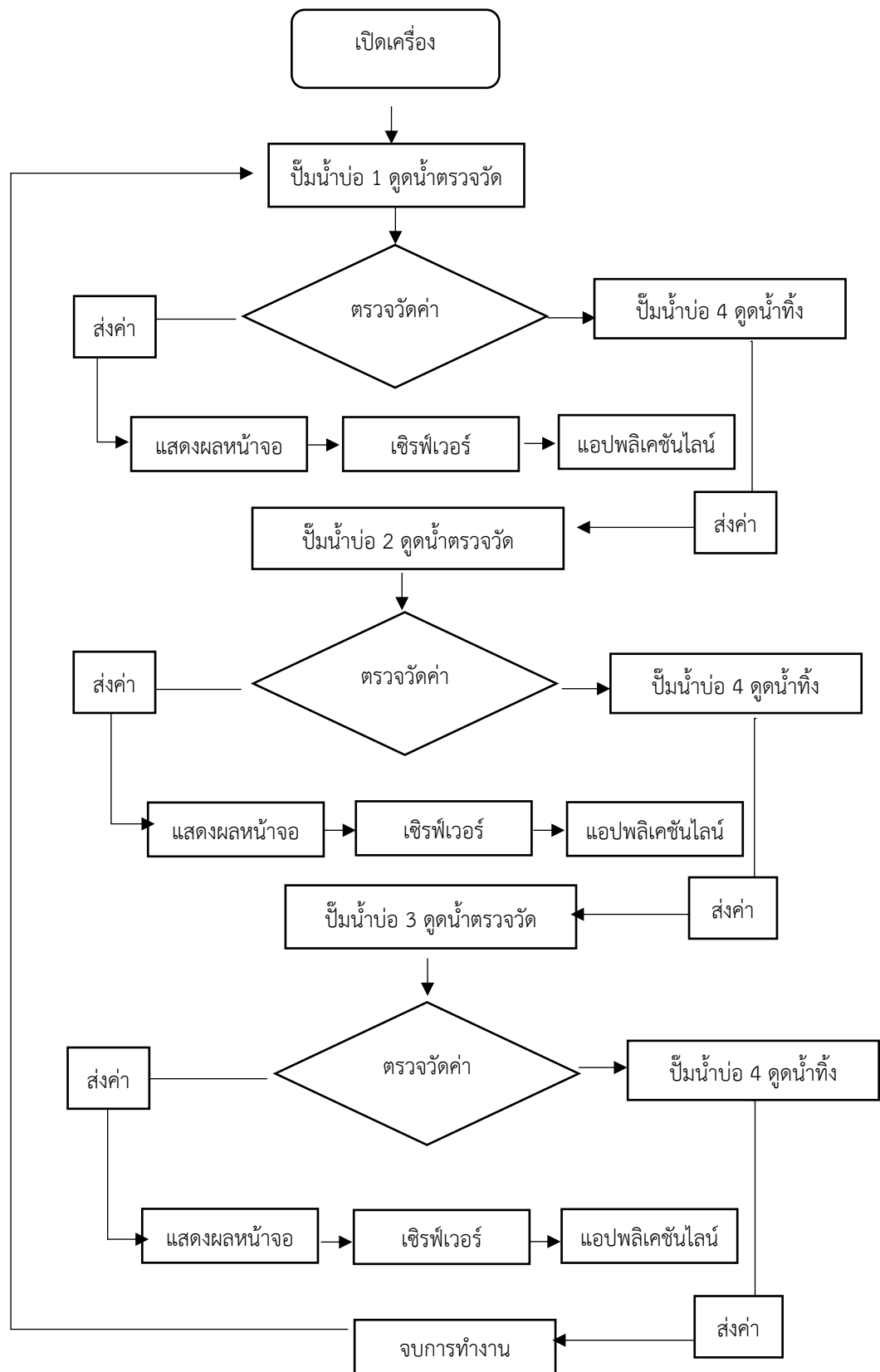
ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ และภาพรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ



ภาพที่ 6 หลักการทำงาน และการส่งผลแจ้งเตือนของอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

2.2.3 การออกแบบระบบควบคุมน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อนำมาตรวจวัด

ติดตั้งปั้มน้ำขนาด 230 วัตต์ ในบ่อเลี้ยงบ่อละ 1 เครื่องเพื่อควบคุมน้ำมาตรวจวัดโดยดูดขึ้นมาใส่ในตู้ตรวจวัดที่มีขนาด 30x60x45 เซนติเมตร กำหนดการทำงานให้ปั้มน้ำตัวที่ 1 ทำงานเป็นลำดับแรกหลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 1 เสร็จ ปั้มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่อ่างบำบัดจนหมด ปั้มน้ำที่ 2 ทำงานเป็นลำดับที่ 2 หลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 2 เสร็จ ปั้มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่อ่างบำบัดจนหมด ปั้มน้ำตัวที่ 3 ทำงานเป็นลำดับที่ 3 หลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 3 เสร็จ ปั้มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่อ่างบำบัดจนหมด และปั้มน้ำตัวที่ 1 เริ่มทำงานอีกครั้ง สลับหมุนเวียนกันโดยในตู้ตรวจวัดประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความดันกรด-ต่าง อุณหภูมิ และมีเซ็นเซอร์ควบคุมระดับน้ำในตู้ (Electrode type level switch) ส่วนด้านล่างของตู้ติดตั้งปั้มน้ำขนาด 230 วัตต์ จำนวน 1 ตัว เพื่อควบคุน้ำปล่อยทิ้งออกไปสู่ระบบบำบัด มีวิธีการใช้งานแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขั้นตอนควบคุมการทำงานของระบบปั้มน้ำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำ

2.3 บ่อทดลองเลี้ยงปลา ระบบบำบัด การหมุนเวียนน้ำ

2.3.1 ลักษณะบ่อทดลองเลี้ยงปลา

ลักษณะบ่อทดลองเลี้ยงปลาเป็นบ่อผ้าใบทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่อผ้าใบ 5 เมตร ความลึกตรงขอบบ่อประมาณ 2 เมตร ตรงกลางบ่อ 2.50 เมตร ฝังลงไปในพื้นที่ดิน 2 เมตรรวมมีปริมาตรน้ำประมาณ 35 ลูกบาศก์เมตร

2.3.2 ลักษณะบ่อบำบัดประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ

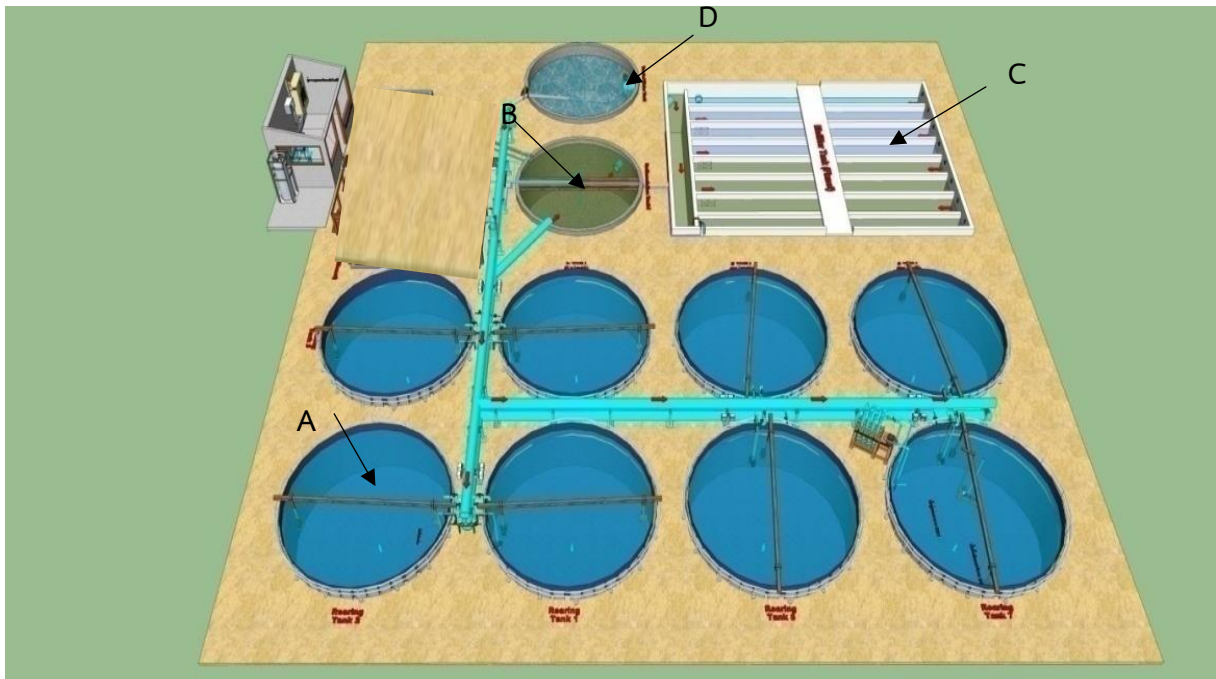
ส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอนเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลมลักษณะเป็นกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร ความลึก 1.5 เมตรคิดเป็นปริมาตรน้ำ 25 ลูกบาศก์เมตรในบ่อใส่เนื้ออวน 100 กิโลกรัม คิดเป็นพื้นที่ผิว 300 ตารางเมตร

ส่วนที่ 2 บ่อกรองชีวภาพเป็นบ่อคอนกรีตทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 9x12 เมตร แบ่งออกเป็น 9 ช่อง แต่ละช่องมีปริมาตรน้ำ 20 ลูกบาศก์เมตร มีช่องให้น้ำผ่านทะลุถึงกันได้ และใส่เนื้ออวนท่อน้ำหนักรวม 1,500 กิโลกรัม คิดเป็นพื้นที่ผิว 5,600 ตารางเมตร ปริมาตรน้ำรวมทั้งหมด 200 ลูกบาศก์เมตร

ส่วนที่ 3 บ่อพักน้ำเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เมตร ความลึก 1.5 เมตร คิดเป็นปริมาตรน้ำ 25 ลูกบาศก์เมตร สำหรับหมุนเวียนน้ำกลับเข้าไปยังบ่อเลี้ยง

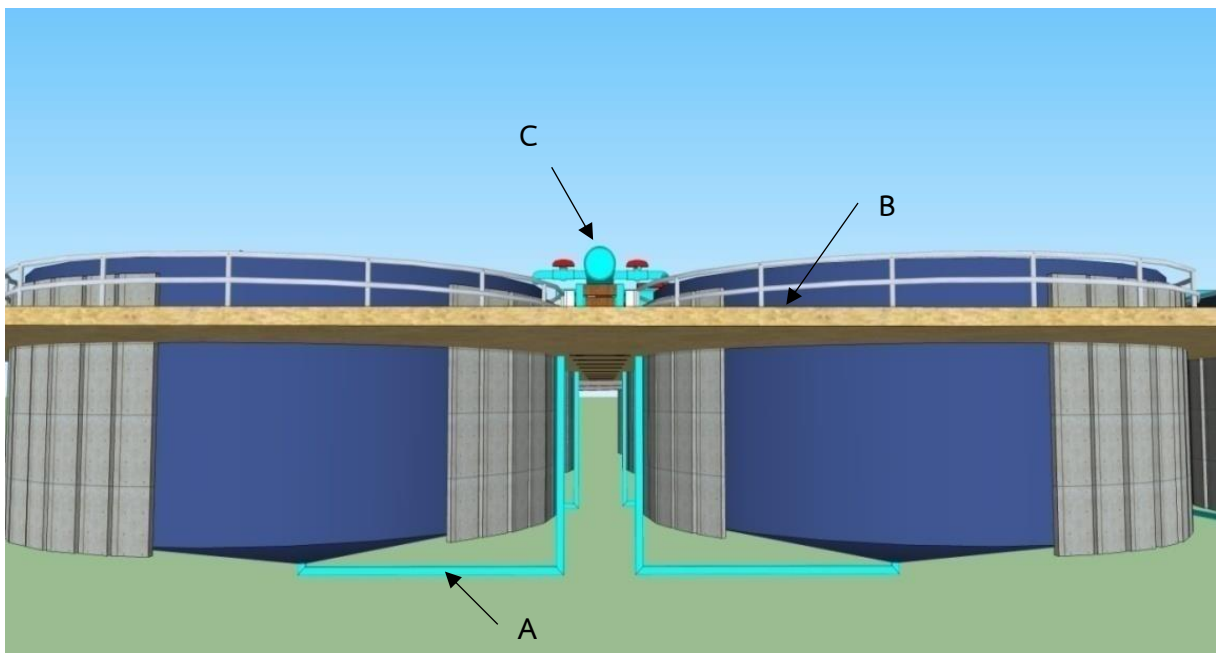
2.3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบการเลี้ยง

อุปกรณ์ในบ่อเลี้ยงประกอบด้วยระบบการหมุนเวียนออกจากบ่อเลี้ยงโดยใช้ท่อพีวีซีขนาด 12 นิ้ว เป็นท่อหลักเพื่อรวมน้ำที่ระบายออกจากทุกบ่อเชื่อมต่อเข้ากับท่อ 4 นิ้วที่ใช้สำหรับนำน้ำจากบ่อเลี้ยงผ่านทางท่อระบายน้ำกลางบ่อเพื่อหมุนเวียนน้ำออกสู่ระบบบำบัดส่วนระบบการหมุนเวียนน้ำเข้าบ่อเลี้ยงใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว เป็นท่อหลักเชื่อมต่อกับท่อพีวีซี 4 นิ้วพร้อมมีวาล์วเปิดปิดเพื่อปรับอัตราการไหลเวียนของน้ำให้เหมาะสม ในการหมุนเวียนน้ำจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วใช้ปั๊มน้ำมอเตอร์ 3 แรงม้า สูบน้ำผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 6 นิ้ว เป็นตัวดูดน้ำจากบ่อที่ผ่านการบำบัดน้ำแล้วในอัตราการหมุนเวียน 1,500-2,200 ลิตรต่อนาที ส่งผ่านท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้วเพื่อลำเลียงน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยง และมีท่อย่อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ประกอบกับวาล์วเปิด-ปิดน้ำเพื่อปรับอัตราการหมุนเวียนน้ำลงบ่อเลี้ยงรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 8 และ 9



ภาพที่ 8 ลักษณะบ่อทดลอง และระบบบำบัด

(A) บ่อทดลอง (B) บ่อตกตะกอน (C) บ่อกรองชีวภาพ (D) บ่อพักน้ำ



ภาพที่ 9 ระบบท่อหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงไปสู่ระบบบำบัด

(A) ท่อขนาด 4 นิ้วลำเลียงน้ำจากบ่อเลี้ยง (B) ระดับบ่อผ้าใบที่ลึกลงในพื้นดิน 2.0 เมตร
(C) ท่อ 12 นิ้วเชื่อมต่อท่อ 4 นิ้วนำน้ำไประบบบำบัด

2.4 การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน ประกอบด้วย

2.4.1 การทดลองระบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ประกอบด้วย

2.4.1.1 การออกแบบชุดการทดลอง แบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวจำนวน 500 ตัว ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 17.00 ± 0.90 เซนติเมตร และน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.40 ± 0.80 กรัม โดยใช้บ่อทดลองที่มีปริมาตรน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 1 บ่อ และให้อาหารด้วยแรงงานคน

ชุดทดลองที่ 2 (ชุดทดลอง) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวจำนวน 500 ตัว ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 16.30 ± 1.10 เซนติเมตร และน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.10 ± 0.50 กรัม โดยใช้บ่อทดลองที่มีปริมาตรน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 1 บ่อ และให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติ

2.4.1.2 การให้อาหาร

ให้อาหารเม็ดปลาทะเลสำเร็จรูปปริมาณโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ กำหนดปริมาณการให้อาหารสูงสุดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในชุดควบคุมให้อาหารด้วยแรงงานคนวันละ 2 มื้อ เข้าเวลา 09.00-09.30 น. และ บ่ายเวลา 14.00-14.30 น. และในชุดทดลองให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติ หลังจากสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลการให้อาหาร ข้อมูลการเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดการทดลองมาคำนวณการเจริญเติบโตดังนี้

1. ความยาวปลาที่เพิ่มขึ้นแต่ละเดือน
2. น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้นต่อวัน (Daily Weight Gain, DWG) (กรัม/วัน)

$$\text{น้ำหนักต่อวัน} = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

เมื่อ W_2 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยปัจจุบัน (กรัม)
 เมื่อ W_1 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยครั้งก่อน (กรัม)
 เมื่อ t_1 = เวลา (วัน) ที่ t_1
 เมื่อ t_2 = เวลา (วัน) ที่ t_2
3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

4. อัตรารอดตาย (Survival rate) %

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

2.4.1.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโต

สุ่มปลากะพงขาว เพื่อตรวจวัดน้ำหนักและความยาวเดือนละ 1 ครั้ง แต่ละครั้งสุ่มปลาจำนวน 150 ตัว ในวันที่สุ่มปลาจะงดการให้อาหารและใช้น้ำมันกานพลูเพื่อทำให้ปลาเคลื่อนไหวช้า ลดการบอบช้ำในระหว่างดำเนินการ

2.4.1.4 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

ทั้งชุดควบคุม และชุดทดลองตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงทุก ๆ สัปดาห์โดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลองในช่วงเช้าและนำไปตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม pH Meter ยี่ห้อ WTW multiline 4
- อุณหภูมิ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- แอมโมเนียรวม ด้วยวิธีของ Sasaki and Sawada (1980)
- ไนโตรทรี-ไนโตรเจน ด้วยวิธีของ Bendschneider and Robinson (1952)
- ไนเตรท-ไนโตรเจน ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเป็นด่าง ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเค็มด้วย Refractometer ยี่ห้อ Atago

2.4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองการเลี้ยงปลาด้วยการให้อาหารด้วยแรงงานคน เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติค่าที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ น้ำหนักปลา ความยาวปลา อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

2.4.1.6 การคำนวณต้นทุน

วิธีคำนวณต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวตามวิธีที่อ้างอิงโดยสมบูรณ์ (2537) ดังนี้
 ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร
 ต้นทุนผันแปร = ค่าพันธุ์ปลา + ค่าอาหารปลา + ค่าแรงงาน + ค่าพลังงาน และปัจจัยการผลิต + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (ค่าอาหารปลา กิโลกรัมละ 50 บาท, ค่าแรงงาน ชั่วโมงละ 60 บาท (อัตราการทำงานนอกเวลาราชการ), ค่าพลังงานหน่วยละ 4.20 บาท, ค่าเสียโอกาสในการลงทุน คิดจากเงินฝากธนาคารดอกเบี้ย 1.75% ต่อปี)

ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน
 ค่าเสียโอกาสในการลงทุน = ต้นทุนคงที่เป็นเงินสด X อัตราดอกเบี้ย

$$\text{ต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัม} = \frac{\text{ต้นทุนทั้งหมด}}{\text{ผลผลิตรวม}}$$

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คำนวณโดยวิธีเส้นตรง (Straight line)

$$DS (\text{บาท/ปี}) = \frac{OC - SV}{L}$$

โดยที่ DS หมายถึง ค่าเสื่อมราคาต่อปีที่คิดโดยวิธีเส้นตรง
 OC หมายถึง มูลค่าทรัพย์สินเมื่อซื้อ (Original cost)
 SV หมายถึง มูลค่าซาก (Salvage value)
 L หมายถึง อายุการใช้งานของทรัพย์สิน (Expected life)

2.4.1.7 การคำนวณผลตอบแทน

วิธีคำนวณผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวโดยใช้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด ราคาปลากะพงขาวที่จำหน่ายได้ (130 บาทต่อกิโลกรัม) และต้นทุนทั้งหมด มาคำนวณหารายได้ทั้งหมด กำไรสุทธิ และสัดส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน คัดแปลงตามวิธีของ กฤษณะ และพรพิมล (2566) ตามสูตรดังนี้

$$\text{รายได้ทั้งหมด (บาท)} = \text{น้ำหนักสัตว์น้ำที่ได้ทั้งหมด} \times \text{ราคาสัตว์น้ำ}$$

$$\text{รายได้สุทธิ (บาท)} = \text{รายได้ทั้งหมด} - \text{ต้นทุนผันแปร}$$

$$\text{กำไรสุทธิ (บาท)} = \text{รายได้ทั้งหมด} - \text{ต้นทุนทั้งหมด}$$

2.4.2 การทดลองระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ประกอบด้วย

2.4.2.1 การออกแบบชุดการทดลอง แบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 17.00 ± 0.90 เซนติเมตร น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.40 ± 0.80 กรัม จำนวน 3 บ่อ แต่ละบ่อปล่อยปลาจำนวน 500 ตัว และตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน

ชุดทดลองที่ 2 (ชุดทดลอง) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 16.30 ± 1.10 เซนติเมตร น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.10 ± 0.50 กรัม จำนวน 3 บ่อ แต่ละบ่อปล่อยปลาจำนวน 500 ตัว และตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

2.4.2.2 การให้อาหาร

ให้อาหารเม็ดปลาทะเลสำเร็จรูปปริมาณโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ กำหนดปริมาณการให้อาหารสูงสุดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในชุดควบคุมให้อาหารด้วยแรงงานคนวันละ 2 มื้อ เช้าเวลา 09.00-09.30 น. และ บ่ายเวลา 14.00-14.30 น. และในชุดทดลองให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติ หลังจากสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลการให้อาหาร ข้อมูลการเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดการทดลองมาคำนวณการเจริญเติบโตดังนี้

1. ความยาวปลาที่เพิ่มขึ้นแต่ละเดือน
2. น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้นต่อวัน (Daily Weight Gain, DWG) (กรัม/วัน)

$$\text{น้ำหนักต่อวัน} = \frac{(w_2 - w_1)}{(t_2 - t_1)}$$

เมื่อ w_2 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยปัจจุบัน (กรัม)

เมื่อ w_1 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยครั้งก่อน (กรัม)

เมื่อ t_1 = เวลา (วัน) ที่ t_1

เมื่อ t_2 = เวลา (วัน) ที่ t_2

3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

4. อัตรารอดตาย (Survival rate) %

$$\text{อัตรารอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

2.4.2.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโต

สุ่มปลากะพงขาวเพื่อตรวจวัดน้ำหนัก และความยาว เดือนละ 1 ครั้ง แต่ละครั้ง สุ่มปลาจำนวน 150 ตัว ในวันที่สุ่มปลาจะงดการให้อาหารและใช้น้ำมันกานพลูเพื่อให้ปลาเคลื่อนไหวช่วยลดการบอบช้ำในระหว่างดำเนินการ

2.4.2.4 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

ในชุดควบคุมตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงทุก ๆ สัปดาห์ด้วยแรงงานคนโดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลองในช่วงเช้าส่วนในชุดทดลองตรวจวัดคุณภาพน้ำ 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติและชุดที่ 2 ตรวจวัดโดยแรงงานคนและนำไปตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนามยี่ห้อ WTW multiline 4
- อุณหภูมิ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- แอมโมเนียรวม ด้วยวิธีของ Sasaki and Sawada (1980)
- ไนโตรเจน-ไนโตรเจน ด้วยวิธีของ Bendschneider and Robinson (1952)
- ไนเตรท-ไนโตรเจน ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเป็นด่าง ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเค็ม ด้วย Refractometer ยี่ห้อ Atago

2.4.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนที่ให้อาหารด้วยแรงงานคนเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้แรงงานคนตรวจวัดคุณภาพน้ำกับผลที่ได้จากการเลี้ยงด้วยการใช้ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติค่าที่นำมาวิเคราะห์สถิติได้แก่ น้ำหนัก ความยาว อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และวิเคราะห์ข้อมูลสถิติโดย Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

2.4.2.6 การคำนวณต้นทุน

วิธีคำนวณต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวตามวิธีที่อ้างอิงโดยสมบูรณ์ (2537) ดังนี้

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

ต้นทุนผันแปร = ค่าพันธุ์ปลา + ค่าอาหารปลา + ค่าแรงงาน + ค่าพลังงาน และปัจจัยการผลิต + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (ค่าอาหารปลากิโลกรัมละ 50 บาท, ค่าแรงงาน ชั่วโมงละ 60 บาท (อัตราการทำงานนอกเวลาราชการ), ค่าพลังงานหน่วยละ 4.20 บาท, ค่าเสียโอกาสในการลงทุน คิดจากเงินฝากธนาคารดอกเบี้ย 1.75% ต่อปี)

ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน} &= \text{ต้นทุนคงที่เป็นเงินสด} \times \text{อัตราดอกเบี้ย} \\ \text{ต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัม} &= \frac{\text{ต้นทุนทั้งหมด}}{\text{ผลผลิตรวม}}\end{aligned}$$

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คำนวณโดยวิธีเส้นตรง (Straight line)

$$DS \text{ (บาท/ปี)} = \frac{OC - SV}{L}$$

โดยที่ DS หมายถึง ค่าเสื่อมราคาต่อปีที่คิดโดยวิธีเส้นตรง
 OC หมายถึง มูลค่าทรัพย์สินเมื่อซื้อ (Original cost)
 SV หมายถึง มูลค่าซาก (Salvage value)
 L หมายถึง อายุการใช้งานของทรัพย์สิน (Expected life)

2.4.2.7 การคำนวณผลตอบแทน

วิธีคำนวณผลตอบแทนการเลี้ยงปลากระพงขาวโดยใช้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดราคาปลากระพงขาวที่จำหน่ายได้ (130 บาทต่อกิโลกรัม) และต้นทุนทั้งหมด มาคำนวณหารายได้ทั้งหมด กำไรสุทธิ และสัดส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน ดัดแปลงตามวิธีของ กฤษณะ และพรพิมล (2566) ตามสูตรดังนี้

$$\text{รายได้ทั้งหมด (บาท)} = \text{น้ำหนักสัตว์น้ำที่ได้ทั้งหมด} \times \text{ราคาสัตว์น้ำ}$$

$$\text{รายได้สุทธิ (บาท)} = \text{รายได้ทั้งหมด} - \text{ต้นทุนผันแปร}$$

$$\text{กำไรสุทธิ (บาท)} = \text{รายได้ทั้งหมด} - \text{ต้นทุนทั้งหมด}$$

ผลการศึกษา

1. การออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

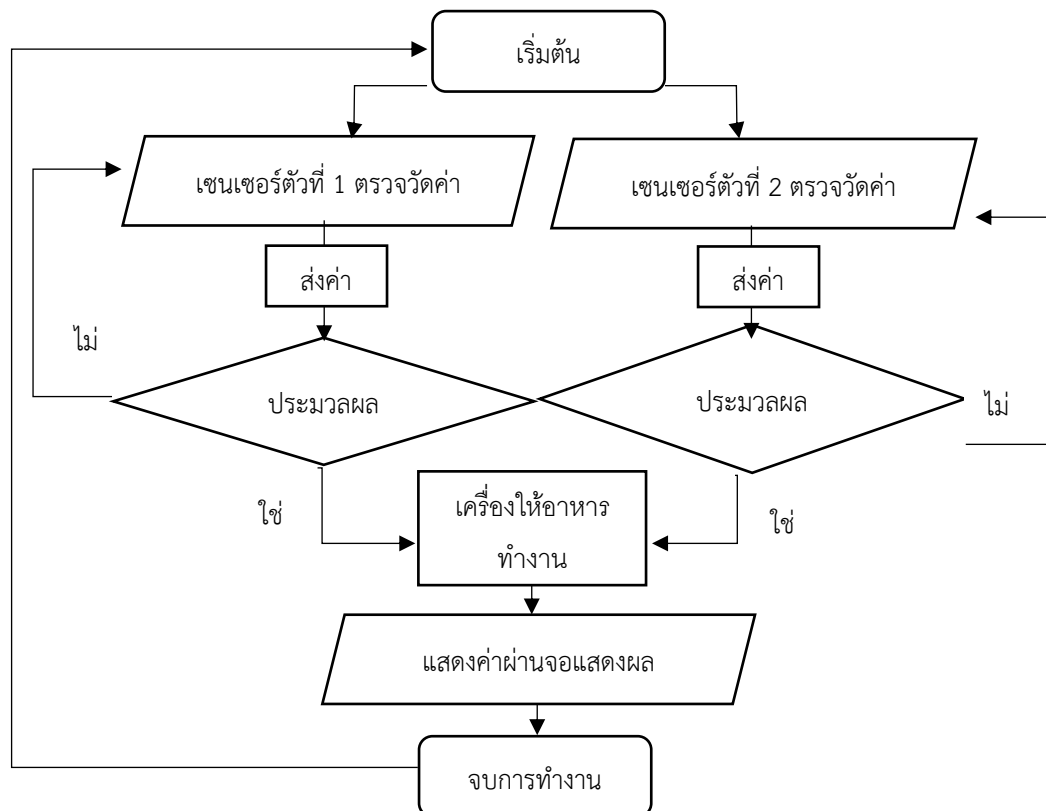
1.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

เครื่องให้อาหารอัตโนมัติออกแบบโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงเป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบการกระเพื่อมของน้ำทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโนอูโน้ และเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด สามารถใช้เป็นเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 10 และแสดงผลการศึกษาการกระเพื่อมของน้ำ(ตามตารางภาคผนวก 1)



ภาพที่ 10 ต้นแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

1.2 กระบวนการทำงานของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนภาพกระบวนการทำงานของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

1.3 ขั้นตอนการใช้งาน

- 1) เปิดเครื่อง ตั้งเวลาการให้เป็น 08.30-17.30 น. (ตั้งในคำสั่ง)
- 2) เซนเซอร์ตรวจวัดระยะทางระหว่างผิวน้ำและตัวเซนเซอร์ เก็บเป็นข้อมูลในการคำนวณ
- 3) ชั่วโมงที่ 1 ระบบปล่อยอาหารลงมาเพื่อกระตุ้น การกินอาหารของปลาจำนวน 1 ครั้ง ๆ ละ 2-3 วินาที ปริมาณ 1 รอบการหมุนของตัวจ่ายอาหารคิดเป็นปริมาณอาหาร 50 กรัม หากมีปลา กินอาหารน้ำเกิดการกระเพื่อมอาหารจะถูกจ่ายออกมา หากปลากินอาหารอย่างต่อเนื่อง การกระเพื่อมของน้ำมีอย่างต่อเนื่อง กลไกการจ่ายอาหารจ่ายอย่างต่อเนื่องจนอาหารหมด หรือจนน้ำไม่กระเพื่อมการจ่ายอาหารจึงหยุดทำงาน แต่หากไม่มีปลากินอาหาร หลังจากปล่อยอาหารกระตุ้นครั้งแรกไป 3 นาที เริ่มกระตุ้นครั้งที่ 2 ความถี่เหมือนครั้งที่ 1 ทำซ้ำหากไม่มีปลากินอาหารจนครบ 15 นาที หยุดให้อาหาร
- 4) ชั่วโมงที่ 2 กระบวนการกระตุ้นการกินอาหารดำเนินการเหมือนข้อที่ 2
- 5) เครื่องทำงานวนไป จนถึง 17.30 น.

2. การออกแบบเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

2.1 ผลการออกแบบเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

โดยออกแบบการตรวจวัดค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าอุณหภูมิ ตรวจวัดค่าในแต่ละบ่อโดยการดูน้ำมาตรวจวัดในตัวตรวจวัด และส่งค่าที่ตรวจวัดได้แสดงผลที่หน้าจอแสดงผล และแจ้งผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ แสดงผลดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพน้ำ การแสดงผลและการแจ้งเตือน

(ก) ตัวตรวจวัดคุณภาพน้ำ (ข) หน้าจอแสดงผลคุณภาพน้ำ (ค) การแจ้งค่าผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์

3. ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

3.1 ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

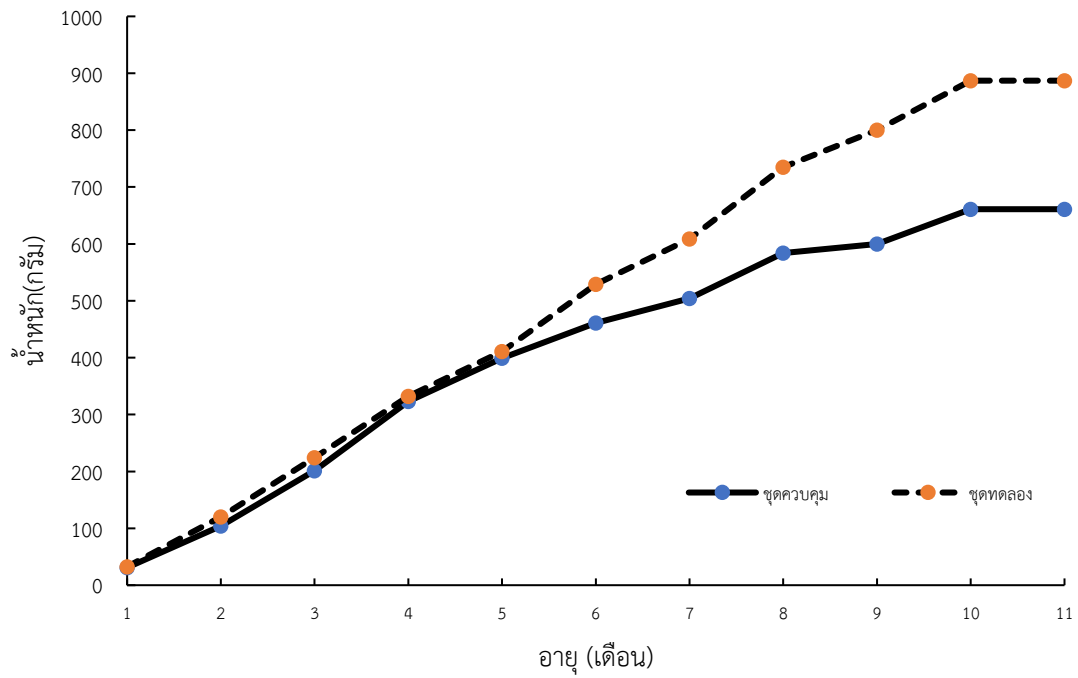
แต่ละชุดการทดลองมี 1 บ่อปล่อยปลากะพงขาวจำนวน 500 ตัว มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.02 ± 3.40 และ 32.47 ± 8.10 กรัม และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.84 ± 3.22 และ 17.53 ± 4.74 เซนติเมตรดำเนินการทดลองเป็นเวลา 10 เดือนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 661.20 ± 77.91 และ 887.99 ± 92.99 กรัม ความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 36.36 ± 7.72 และ 39.87 ± 5.21 เซนติเมตร อัตราการรอดตายเท่ากับ 93.00 และ 95.00 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 2.10 และ 2.85 กรัม และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.50 และ 1.25 และน้ำหนักปลารวมทั้งบ่อเท่ากับ 240.78 และ 310.19 กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

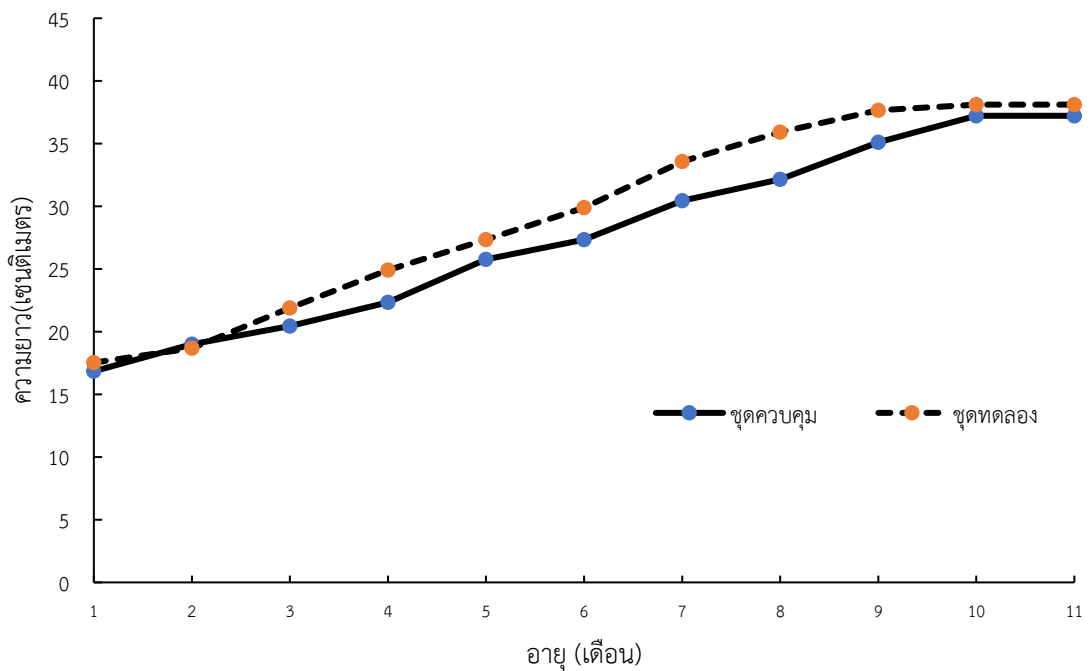
พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	31.02 ± 3.40	32.47 ± 8.10
ความยาวปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	16.84 ± 3.22	17.53 ± 4.74
น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กรัม)	661.20 ± 77.91	887.99 ± 92.99
ความยาวสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (เซนติเมตร)	36.36 ± 7.72	39.87 ± 5.21
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	93.00	95.00
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.50	1.25
น้ำหนักปลา รวม (กิโลกรัม)	307	421

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$)

การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวชุดทดลอง กับชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันในช่วง 2 เดือนแรกของการทดลอง แต่หลังจากเดือนที่ 2 ชุดทดลองมีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน และเมื่อเวลาการทดลองเพิ่มมากขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของชุดทดลองมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 13 และ 14



ภาพที่ 13 น้ำหนักปลากะพงขาวน้ำหนักปลากะพงขาวเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม



ภาพที่ 14 ความยาวของปลากะพงขาวเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม

3.2 คุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

คุณภาพน้ำทั่วไปของการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงของทุกพารามิเตอร์ทั้งในส่วนของคุณค่าในระบบบำบัดและในบ่อเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดทดลอง โดยแสดงค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน
เปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.01-5.68	4.01-5.68
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อเลี้ยง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.12-6.04	5.23-6.41
ความเป็นกรด-ด่างในระบบบำบัด	7.35-7.86	7.35-7.86
ความเป็นกรด-ด่างในบ่อเลี้ยง	7.80-8.10	7.78-8.21
อุณหภูมิน้ำในบ่อบำบัด (องศาเซลเซียส)	28.5-32.1	28.5-32.1
อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยง (องศาเซลเซียส)	28.8-32.5	28.7-32.5
แอมโมเนียรวมในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.33-0.81	0.33-0.81
แอมโมเนียรวมในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.34-0.98	0.39-0.90
ไนโตรเจนในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.36-0.87	0.36-0.87
ไนโตรเจนในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.12-0.42	0.27-0.61
ไนเตรทในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.35-34.00	6.35-34.00
ไนเตรทในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3.90-29.00	5.35-31.00
ความเป็นด่างในบ่อบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	127-179	127-179
ความเป็นด่างในบ่อเลี้ยง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	116-187	119-193
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	25-28	25-28

3.3 ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนในชุดควบคุมที่เลี้ยงโดยการให้อาหารด้วยแรงงานคน และชุดทดลองที่เลี้ยงโดยใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน พบว่าต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองมีต้นทุนทั้งหมด 97,955 บาท และ 88,396 บาท ตามลำดับคิดเป็นต้นทุนคงที่เท่ากับ 21,684 บาท และ 21,254 บาท ตามลำดับต้นทุนผันแปรเท่ากับ 76,271 บาท และ 67,142 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีสัดส่วนต้นทุนผันแปรเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากสูงไปต่ำได้แก่ค่าแรงงานเท่ากับ 36.75 เปอร์เซ็นต์ ค่าอาหารเท่ากับ 23.54 เปอร์เซ็นต์ ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 8.89 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลาเท่ากับ 7.66 เปอร์เซ็นต์ และค่าอื่น ๆ เท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองมีสัดส่วนต้นทุนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากสูงไปต่ำ ได้แก่ค่าอาหารปลาเท่ากับ 29.82 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงงานเท่ากับ 20.36 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานเท่ากับ 110.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลา 8.48 เปอร์เซ็นต์ ค่าวัสดุไฟฟ้าเท่ากับ 5.66 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ เท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนการเลี้ยงที่ให้อาหารด้วยแรงงานคนและระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ประเภท	สัดส่วนต้นทุน			
	ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
	บาท	เปอร์เซ็นต์	บาท	เปอร์เซ็นต์
ต้นทุนคงที่				
1. ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์	20,000	20.42	20,000	22.63
- โครงสร้างบ่อเลี้ยง				
- ระบบหมุนเวียนน้ำ				
2. ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	1,684	1.72	1,254	1.42
รวม	21,684	22.14	21,254	24.05
ต้นทุนผันแปร				
1. ค่าพันธุ์ปลา	7,500	7.66	7,500	8.48
2. ค่าอาหารปลา	23,059	23.54	26,362	29.82
3. ค่าวัสดุไฟฟ้า	-	-	5,000	5.66
4. ค่าไฟฟ้า	8,712	8.89	9,280	10.50
5. ค่าสารเคมีและยารักษาโรค	1,000	1.02	1,000	1.13
6. ค่าแรงงาน	36,000	36.75	18,000	20.36
รวม	76,271	77.86	67,142	75.95
รวมทั้งหมด (บาท/บ่อ/รุ่น)	97,955	100.00	88,396	100.00

3.4 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารด้วยแรงงานคน

ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเวลาการเลี้ยง 10 เดือน พบว่าชุดควบคุมได้ผลผลิตปลากะพงขาวทั้งหมดเท่ากับ 307 กิโลกรัม ชุดทดลองได้ผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 421 กิโลกรัม ประเมินราคาขายปลาเพื่อคำนวณผลตอบแทน โดยราคาจำหน่ายปลา กิโลกรัมละ 130 บาท คิดเป็นรายได้เท่ากับ 39,910 บาท และ 54,730.40 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีจุดคุ้มทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัมเท่ากับ 248 บาท ชุดทดลองเท่ากับ 159 บาท แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

รายละเอียด	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ผลผลิตปลาเฉลี่ยทั้งหมด (กิโลกรัม)	307	421
ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	130	130
รายได้ทั้งหมด (บาท)	39,910	54,730
ต้นทุนคงที่ (บาท)	21,684	21,254
ต้นทุนผันแปร (บาท)	76,271	67,142
ต้นทุนรวม (บาท)	97,955	88,396
กำไร/ขาดทุนคิดเฉพาะต้นทุนผันแปร (บาท)	-36,361	-12,412
กำไรคิดต้นทุนคงที่+ต้นทุนผันแปร (บาท)	-58,045	-33,666
จุดคุ้มทุน (บาท/กิโลกรัม)	248	159

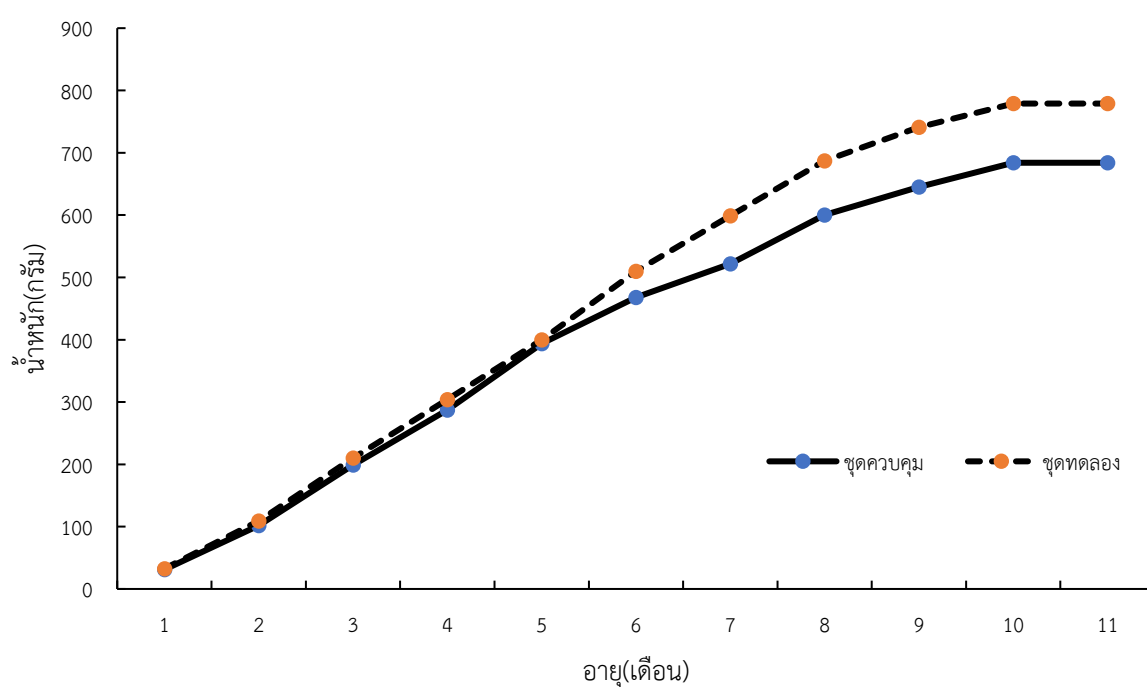
4. ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

4.1 อัตราการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน

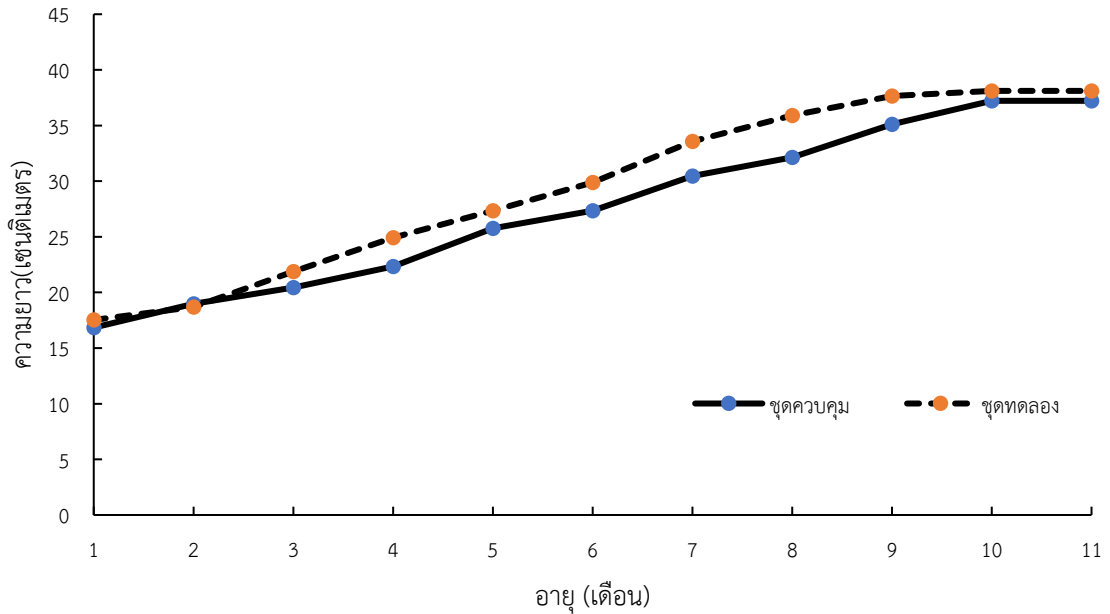
ผลการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน (ชุดควบคุม) และการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยระบบตรวจวัดอัตโนมัติ(ชุดทดลอง) โดยการทดลองเลี้ยงปลาชุดละ 3 บ่อ แต่ละบ่อปล่อยปลาทดลองจำนวน 500 ตัว ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 10 เดือน ชุดทดลองและชุดควบคุมมีน้ำหนักปลากะพงขาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.02 ± 3.40 และ 32.47 ± 8.10 กรัม และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.84 ± 3.22 และ 17.53 ± 4.74 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 684.00 ± 72.33 และ 779.00 ± 44.25 กรัม ความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 37.22 ± 6.64 และ 38.11 ± 5.59 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการรอดตาย เท่ากับ 93.00 ± 1.74 และ 95.00 ± 2.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 2.18 ± 0.24 และ 2.49 ± 0.38 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย เท่ากับ 1.46 ± 0.21 และ 1.33 ± 0.09 และน้ำหนักปลารวมเฉลี่ยเท่ากับ 318.00 ± 25.37 และ 370.00 ± 29.20 กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 15-16

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเลี้ยงปลากระพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	31.02±3.40 ^a	32.47±8.10 ^a
ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	16.84±3.22 ^a	17.53±4.74 ^a
น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กรัม)	684.00±77.33 ^a	779.00±44.25 ^b
ความยาวสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (เซนติเมตร)	37.22±6.64 ^a	38.11±5.59 ^a
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย	1.46±0.21 ^a	1.33±0.09 ^a
อัตราการตายเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	93.00±1.74 ^a	95.00±2.35 ^b
อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย (กรัม)	2.18±0.24 ^a	2.49±0.38 ^a
น้ำหนักปลารวมเฉลี่ย (กิโลกรัม)	318.00±25.37	370.00±29.20



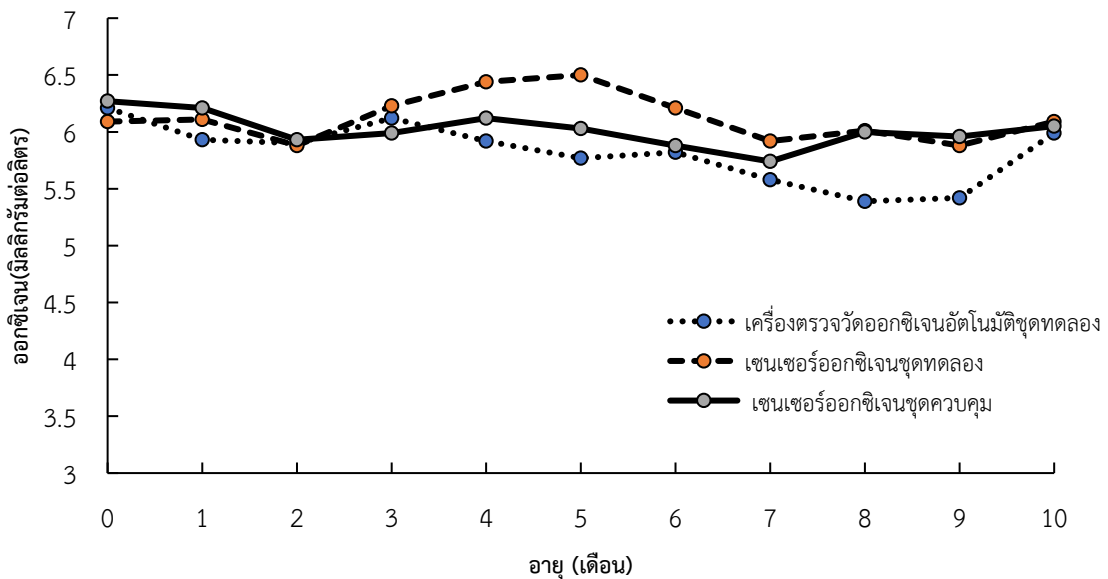
ภาพที่ 15 น้ำหนักปลากระพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม



ภาพที่ 16 ความยาวปลากะพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม

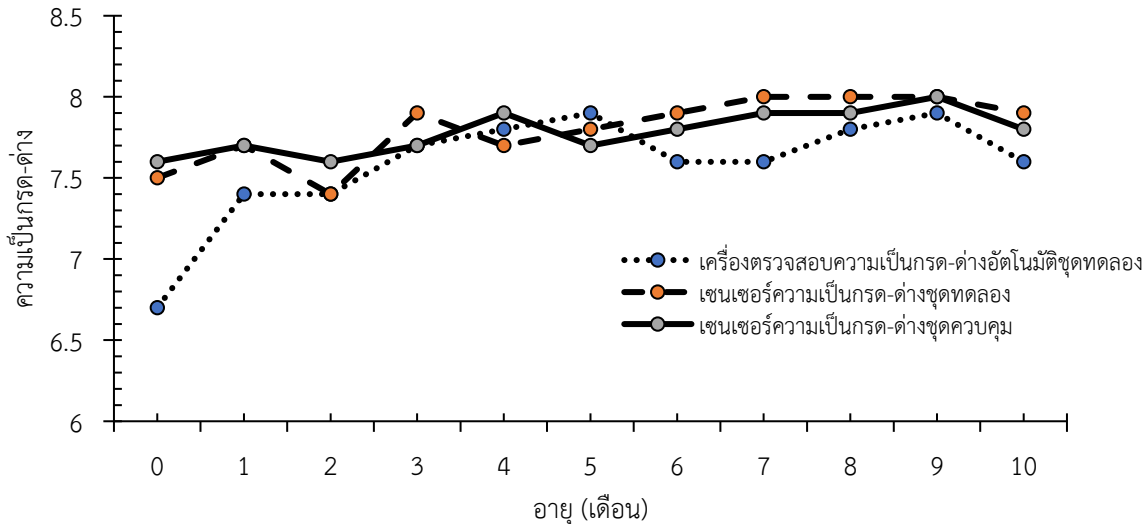
4.2 ผลการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลอง

4.2.1 ปริมาณค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ได้จากการตรวจวัดค่าของเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์รุ่น YSI pro20 ชุดควบคุม ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติชุดทดลอง และค่าที่ได้จากการตรวจวัดค่าของเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์รุ่น YSI pro20 ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.99 ± 0.15 , 5.78 ± 0.26 และ 6.13 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ในแต่ละเดือน ดังภาพที่ 17



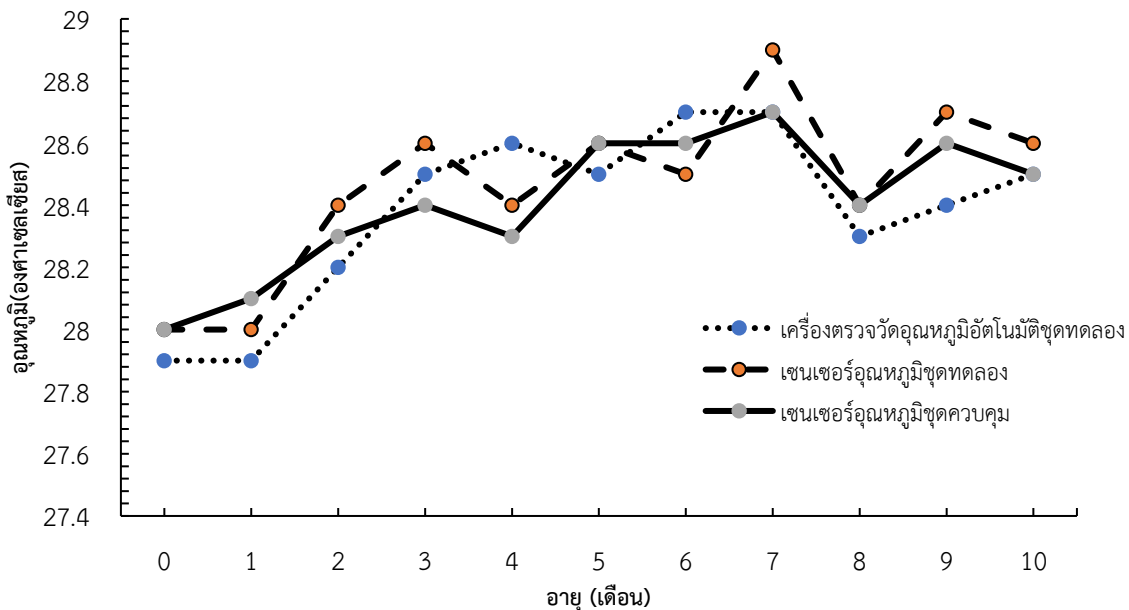
ภาพที่ 17 ปริมาณค่าออกซิเจนจากเครื่องตรวจวัดออกซิเจนในชุดควบคุม ปริมาณค่าออกซิเจนจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และปริมาณค่าออกซิเจนจากเครื่องตรวจวัดออกซิเจนชุดทดลอง

4.2.2 ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดควบคุมที่ตรวจวัดโดยเครื่องตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง WTW multiline 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดทดลองจากระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ และค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดทดลองที่ตรวจวัดโดยเครื่องตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง WTW multiline 4 มีค่าเท่ากับ 7.80 ± 0.13 , 7.67 ± 0.34 และ 7.83 ± 0.20 ตามลำดับ ค่าที่ตรวจวัดได้แต่ละเดือนดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัดในชุดควบคุม ค่าความเป็นกรด-ด่างจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัดในชุดทดลอง

4.2.3 ปริมาณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในชุดควบคุมที่ตรวจวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ปริมาณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้จากระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติชุดทดลอง และปริมาณค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.45 ± 0.22 , 28.43 ± 0.28 และ 28.51 ± 0.27 องศาเซลเซียส ตามลำดับแสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดควบคุม ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดลอง

4.2.4 ปริมาณคุณภาพน้ำพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ค่าแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ ไนเตรท ความเป็นต่าง และความเค็มมีค่าอยู่ในระดับที่ปกติ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงแสดงค่าดังตารางตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลคุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์ ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือน เปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.01-5.68	4.01-5.68
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อเลี้ยง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.12-6.04	5.23-6.41
ความเป็นกรด-ด่างในระบบบำบัด	7.35-7.86	7.35-7.86
ความเป็นกรด-ด่างในบ่อเลี้ยง	7.80-8.10	7.78-8.21
อุณหภูมิในบ่อบำบัด (องศาเซลเซียส)	28.5-32.1	28.5-32.1
อุณหภูมิในบ่อเลี้ยง (องศาเซลเซียส)	28.8-33.5	28.7-33.5
แอมโมเนียรวมในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.33-0.81	0.33-0.81
แอมโมเนียรวมในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.22-0.98	0.26-0.90
ไนโตรท์ในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.36-0.87	0.36-0.87
ไนโตรท์ในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.13-0.72	0.27-0.66
ไนเตรทในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.00-34.00	5.00-34.00
ไนเตรทในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.35-34.00	6.35-34.00
ความเป็นต่างในบ่อบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	127-179	127-179
ความเป็นต่างในบ่อเลี้ยง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	115-197	121-195
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	25-28	25-28

4.2.5 ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน

ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนโดยของชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน และชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยการตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน พบว่าต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองมีต้นทุนทั้งหมด 97,955 บาท และ 88,396 บาท ตามลำดับคิดเป็นต้นทุนคงที่เท่ากับ 21,684 บาท และ 21,254 บาท ตามลำดับต้นทุนผันแปรเท่ากับ 76,271 บาท และ 67,142 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีสัดส่วนต้นทุนผันแปรเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากสูงไปต่ำ ได้แก่ค่าแรงงานเท่ากับ 36.75 เปอร์เซ็นต์ ค่าอาหารเท่ากับ 23.54 เปอร์เซ็นต์ ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 8.89 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลาเท่ากับ 7.66 เปอร์เซ็นต์ และค่าอื่น ๆ เท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองมีสัดส่วนต้นทุนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากสูงไปต่ำ ได้แก่ค่าอาหารปลาเท่ากับ 29.82 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงงานเท่ากับ 20.36 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานเท่ากับ 110.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลา 8.48 เปอร์เซ็นต์ ค่าวัสดุไฟฟ้าเท่ากับ 5.66 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ เท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ต้นทุนของการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

ประเภท	สัดส่วนต้นทุน			
	ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
	บาท	เปอร์เซ็นต์	บาท	เปอร์เซ็นต์
ต้นทุนคงที่				
1. ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์	20,000	20.40	20,000	21.20
- โครงสร้างบ่อเลี้ยง				
- ระบบหมุนเวียนน้ำ				
2. ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	1,685	1.72	1,622	1.72
รวม	21,685	22.12	21,622	22.92
ต้นทุนผันแปร				
1. ค่าพันธุ์ปลา	7,500	7.65	7,500	7.95
2. ค่าอาหารปลา	23,128	23.59	24,607	26.08
3. ค่าวัสดุไฟฟ้า	-	-	12,335	13.07
4. ค่าไฟฟ้า	8,712	8.89	9,280	9.84
5. ค่าสารเคมีและยารักษาโรค	1,000	1.02	1,000	1.06
6. ค่าแรงงาน	36,000	36.73	18,000	19.08
รวม	76,340	77.88	72,722	77.08
รวมทั้งหมด (บาท/บ่อ/รุ่น)	98,025	100.00	94,344	100.00

4.2.6 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน

ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเวลาการเลี้ยง 10 เดือน พบว่าชุดควบคุมได้ผลผลิตปลากะพงขาวทั้งหมดเท่ากับ 318 ± 25.37 กิโลกรัม ชุดทดลองได้ผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 370 ± 29.20 กิโลกรัม ประเมินราคาขายปลาเพื่อคำนวณผลตอบแทน โดยราคาจำหน่ายปลา กิโลกรัมละ 130 บาท คิดเป็นรายได้เท่ากับ 41,340 บาท และ 48,100 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีจุดคุ้มทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัมเท่ากับ 240 บาท ชุดทดลองเท่ากับ 196 บาท แสดงข้อมูลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 10 เดือนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

รายละเอียด	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ผลผลิตปลาเฉลี่ยทั้งหมด (กิโลกรัม)	318.00±25.37	370.00±29.20
ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	130	130
รายได้ทั้งหมด (บาท)	41,340	48,100
ต้นทุนคงที่ (บาท)	21,685	21,622
ต้นทุนผันแปร (บาท)	76,340	72,722
ต้นทุนรวม (บาท)	98,025	94,344
กำไร/ขาดทุนคิดเฉพาะต้นทุนผันแปร (บาท)	-35,000	-24,622
กำไรคิดต้นทุนคงที่+ต้นทุนผันแปร (บาท)	-56,685	-46,244
จุดคุ้มทุน (บาท/กิโลกรัม)	240	196

วิจารณ์ผลการศึกษา

การออกแบบระบบให้อาหารอัตโนมัติ โดยการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบให้อาหารอัตโนมัติ และรับสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงมาประมวลผลตามคำสั่งควบคุมการจ่ายอาหารของมอเตอร์จ่ายอาหารให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดระบบให้อาหารดังกล่าวทำงานได้อย่างต่อเนื่องจ่ายอาหารให้ปลากินได้ตามเงื่อนไข ผลจากการเลี้ยงทำให้ขนาดปลา มีขนาดใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรเลี้ยงที่ไม่ใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติเห็นได้ชัดจนว่าการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้เครื่องให้อาหารแบบอัตโนมัติเพื่อเลี้ยงสัตว์น้ำเริ่มมีการทดลองใช้กันแพร่หลาย ชนาภา และคณะ (2564) ได้พัฒนาระบบการให้อาหารปลานิลแบบอัตโนมัติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินเมกะ (Arduino mega) เพื่อนำมาทดลองเลี้ยงปลานิลเปรียบเทียบกับกรเลี้ยงด้วยแรงงานคน พบว่าน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นน้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตต่อวันประสิทธิภาพการให้อาหารและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลานิลดีกว่าการเลี้ยงด้วยแรงงานคน และการเลี้ยงด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติยังทำให้เห็นว่าขนาดของปลาที่เลี้ยงมีขนาดที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกันดีกว่าการเลี้ยงด้วยแรงงานคนการวิจัยดังกล่าวมีผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองในครั้งนี้นอกจากนี้ยังมีการทดลองในประเทศอินโดนีเซียของ Susilawati *et al.* (2023) ออกแบบระบบการให้อาหารปลาอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิน ในการควบคุมการให้อาหารปลานิล และปลาคาร์ป สามารถลดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อได้จาก 1.44 ลงเหลือ 1.15 และมีประสิทธิภาพการให้อาหาร (feed efficiency) จาก 69.4 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเป็น 86.8 เปอร์เซ็นต์แต่การใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติหรือการเลี้ยงของชุดทดลองยังมีต้นทุนด้านไฟฟ้าที่สูงกว่าการเลี้ยงของชุดควบคุมโดยมีสัดส่วนค่าไฟฟ้าเท่ากับ 22.22 เปอร์เซ็นต์ และ 19.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประเด็นดังกล่าวถือเป็นข้อด้อยของการใช้ระบบให้อาหารอัตโนมัติแต่ในอนาคตสมารถที่จะใช้แหล่งพลังงานทางเลือกเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานและสามารถลดต้นทุน

ลงได้การทดลองของ Silalahi *et al.* (2023) ได้พัฒนาระบบการให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติโดยการใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกลทำงานร่วมกับระบบ (LoRa TTGO SX1276) และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 ส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT และใช้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้เลี้ยงปลาน้ำจืดในอัตราความหนาแน่นที่สูงผลจากการใช้งานทำให้การเลี้ยงปลามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต้นทุนการเลี้ยงต่ำใช้งานง่าย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือจากข้อมูลต่าง ๆ ที่รายงานพบว่าการใช้ระบบให้อาหารอัตโนมัติเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์และแก้ปัญหาการเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้การใช้ฟีดแอปพลิเคชันในการเลี้ยงสัตว์น้ำปัจจุบันกรมประมงได้พัฒนาระบบดังกล่าวขึ้นมาเพื่อใช้ในการเลี้ยงกุ้งทะเลซึ่งการใช้งานเกษตรกรต้องกรอกรายละเอียดข้อมูลการเลี้ยงเบื้องต้น เช่น จำนวนกุ้งที่ปล่อยเลี้ยง ความหนาแน่น ขนาดบ่อเลี้ยง อุณหภูมิขิงน้ำในบ่อเลี้ยงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่คาดการณ์ไว้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันที่ต้องการ เปอร์เซ็นต์การกินอาหารและอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณออกมาเป็นปริมาณอาหารที่จะให้ในแต่ละวันพร้อมกับทำนายอัตราการอดคงเหลือของกุ้ง ณ เวลานั้นเพื่อนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณปริมาณอาหารให้สอดคล้องกับจำนวนกุ้งในบ่อเลี้ยง แอปพลิเคชันนี้สามารถใช้งานได้บนมือถือ (คู่มือโปรแกรมประยุกต์การคำนวณการให้อาหารกุ้งทะเล (FEED APP) ชนิด กุ้งกุลาดำ) จะเห็นได้ว่าการใช้ฟีดแอปพลิเคชันสามารถควบคุมไม่ให้มีการให้อาหารในการเลี้ยงสัตว์น้ำเกินความต้องการและเกินความจำเป็นการให้อาหารที่เกินความจำเป็นส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและยังทำให้เกิดการหมักหมมและสะสมกันบ่อเมื่อมีการย่อยสลายเศษอาหารเหล่านั้นโดยแบคทีเรียกระบวนการย่อยสลายจะดึงเอาออกซิเจนในน้ำไปใช้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงและเมื่อสัตว์น้ำอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนต่ำนาน ๆ จะส่งผลให้ภูมิคุ้มกันต้านทานลดลงทำให้มีโอกาสป่วยเป็นโรค และตายง่ายขึ้น (โชคชัย, 2548) การใช้ฟีดแอปพลิเคชันในการเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นการป้องกันการการให้อาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเกินความจำเป็นสามารถลดผลกระทบของการขาดออกซิเจนของสัตว์น้ำได้อีกทางหนึ่ง ส่งผลให้สัตว์น้ำมีอัตราการรอดตายสูง

การออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ที่ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนทำงานร่วมกับเซนเซอร์ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของน้ำ และออกแบบให้ระบบส่งค่าการตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่านหน้าจอตัวควบคุมและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตค่าแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ต่าง ๆ มีความเสถียรในระดับดีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ตรวจสอบได้คิดเป็น 8.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความคลาดเคลื่อน 2.0 เปอร์เซ็นต์ และค่าอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อน 0.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การนำเอาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีงานศึกษาของ วิทยา และคณะ (2568) ทดลองอนุบาลลูกปลากะพงขาวโดยใช้การอนุบาลด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำเปรียบเทียบกับอนุบาลโดยใช้เครื่องตรวจสอบออกซิเจนและอุณหภูมิอัตโนมัติและเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของการอนุบาลปลากะพงขาวโดยใช้เครื่องตรวจสอบออกซิเจนและอุณหภูมิอัตโนมัติและเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียนมีค่าสูงกว่าการอนุบาลด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำและไม่มีระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สุพรรณา (2564) พัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบอัจฉริยะด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและระบบแผนที่ออนไลน์ ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำประปาพารามิเตอร์ที่ตรวจสอบได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และ ความขุ่นใสของน้ำสามารถตรวจสอบได้แบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งานบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสมนอกเหนือจากนี้ยังมีการศึกษาของ ธารารัตน์ (2562) การพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำสำหรับติดตามและเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเลี้ยงปลาในกระชังด้วย IoT และซอฟต์แวร์รหัสเปิดโดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง และความขุ่นใสในกระชังเลี้ยงปลาทับทิม ตำบลจี้วังาม อำเภอเมือง จังหวัด

พิษณุโลก ระบบสามารถส่งข้อมูลมายังผู้ใช้งานให้บริหารจัดการด้านการเลี้ยงได้อย่างเหมาะสมและทันท่วงที นอกเหนือจากงานวิจัยที่อยู่ระหว่างการศึกษาการผลิตอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติรับส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT ของบริษัท แอปป์ฟาร์มเกิดผลจำกัด ผลิตภัณฑ์ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบน้ำหมุนเวียนของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่งสามารถส่งข้อมูลได้อย่างแม่นยำผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการการเลี้ยงได้สะดวกและรวดเร็วทำให้ลดความเสี่ยงเรื่องการการตายของสัตว์น้ำลงได้จะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาศักยภาพการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงในกระชัง บ่อดิน ระบบน้ำหมุนเวียน หรือแม้แต่การใช้งานในภาคเกษตรกรรม และงานประเภทต่าง ๆ จึงเห็นว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มศักยภาพให้ครอบคลุมคุณภาพน้ำหลากหลายพารามิเตอร์และหาแนวทางลดต้นทุนค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้เกษตรกรสามารถทราบค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมเอาไว้นำไปใช้งานได้ในอนาคต

สรุปผลการศึกษา

1. การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินูโน ทำงานร่วมกันกับเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงรุ่น HC-SR04 5V เพื่อประยุกต์มาเป็นระบบตรวจสอบพฤติกรรมการกินอาหารเพื่อควบคุมการจ่ายอาหารปลาแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่สามารถใช้ในการเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินูโนทำงานร่วมกับโมดูลเอ็มซียูอีเอสพี 8266 ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พร้อมกับการแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ใช้ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียน เป็นการออกแบบและประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมทำให้การเลี้ยงมีความปลอดภัยผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปบริหารการเลี้ยงปลากะพงขาวลดความเสียหายในระหว่างการเลี้ยงได้
3. การใช้โปรแกรมพีดีเอแอปพลิเคชันเพื่อทำนายอัตราการเจริญเติบโตของปลาทำให้การควบคุมการให้อาหารได้สัดส่วนอาหารตกค้างและส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานด้านการพัฒนาอุปกรณ์ดังนั้นการจะใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบมาให้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ผู้ใช้งานควรมีการศึกษาระบบต่าง ๆ ให้เข้าใจอย่างละเอียดเพื่อให้การใช้งานสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้ แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แต่ละตัวมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมไม่เหมือนกัน บางตัวสามารถทนได้ทนในสภาวะน้ำทะเลได้ดี บางตัวสามารถทนทานได้น้อย จึงทำให้ค่าที่วัดออกมาหรือการทำงานอาจจะผิดพลาดได้ ดังนั้น จึงต้องมีการหมั่นตรวจวัดดูแลบ่อย ๆ รวมทั้งอาจจะมีการจัดโปรแกรมสำหรับเฝ้าระวังและบำรุงรักษาให้เป็นประจำจึงจะทำให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง. 2566. สถิติฟาร์มเลี้ยงปลาน้ำจืดประจำปี 2565. เอกสารฉบับที่ 8/2566. กลุ่มสถิติการประมง, กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 37 หน้า.
- กฤษณะ จันทรปรารค์ และ พรพิมล ทิวแพ. 2566. การเลี้ยงปูทะเล (*Scylla paramamosian* Estampador, 1949) ขนาด 0.5 เซนติเมตรจนถึงขนาด 5 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นต่างกันในบ่อดินด้วยอาหารกุ้งขาวแวนนาไม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2566 กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 23 หน้า.
- คู่มือโปรแกรมประยุกต์การคำนวณการให้อาหารกุ้งทะเล (FEED APP) ชนิดกุ้งกุลาดำ. 2557. โครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบโปรแกรมประยุกต์การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล. กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 55 หน้า.
- ชนาภา เทพเสนา, อาทิตย์ คุณศรีสุข และ สมร พรชื่นชูวงศ์. 2564. การพัฒนาระบบการให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติสำหรับการเลี้ยงปลานิล. วารสารแก่นเกษตร THAIJO 50 (1): 124-137.
- โชคชัย เหลืองธูปราณีต. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. โพธิ์เพชร, กรุงเทพมหานคร. 481 หน้า.
- ธารารัตน์ หัฐบุรณ์. 2562. การพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำ สำหรับติดตามและเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเลี้ยงปลาในกระชังด้วย IoT และซอฟต์แวร์รหัสเปิด. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร. 93 หน้า.
- บริษัทแฮปปี้ฟาร์มเกิดผล จำกัด. 2568. ระบบควบคุมคุณภาพน้ำอัตโนมัติ. <https://www.happyfarm.co.th/>. 18 กันยายน 2568
- วิทยา รัตนะ, ชัชวาลี ชัยศรี และ พิษญา ชัยนาค. 2568. การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกปลากะพงขาวแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำกับระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอัตโนมัติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2568. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งภูเก็ต, กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 26 หน้า.
- สมบูรณ์ ชิตพงษ์. 2537. สถิติวิจัยและการประเมินผลการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่3). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี, นนทบุรี. 217 หน้า.
- สุพรรณา จันทรหอม. 2564. การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัจฉริยะด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และระบบแผนที่ออนไลน์. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร. 83 หน้า
- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. 15th ed. American Public Health Association, Washington. 1134 pp.
- Bendschneider, K. and J. R. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method or the determination of nitrite in seawater. *J. Mar. Res.* 11: 87-96.

- Sasaki, K. and Y. Sawada. 1980. Determination of ammonia in estuary. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 46: 319-321.
- Silalahi, A.O., A. Sinambela, H.M. Panggabean and J.T.N. Pardosi. 2023. Smart automated fish feeding based on IoT system using Lora TTGO sx1276 and cayenne platform. *Physics and Engineering Number.* 3: 66-78.
- Susilawati, A. Nugraha, A.S. Buchori, S. Rahayu, F. Fathurohman and O. Yudiyanto. 2023. Design and implementation of automatic fish feeder (AFF) using microcontroller powered by solar cell: A contribution to the fish farmers. *Mechanical Engineering for Society and Industry.* 3 (1): 47-53.
- Stickey, R.R. 1979. *Principle of warmwater aquaculture.* John Wiley & sons, Inc., New York.

ภาคผนวก

1. ผลการศึกษาทดสอบดูพฤติกรรมการกินอาหารของปลาในแต่ละขนาดโดยใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ตารางผนวกที่ 1 การกระเพื่อมของน้ำที่ได้จากการทดสอบการกินอาหาร

ขนาดน้ำหนักปลา (กรัม)	ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้ในช่วงปลากิน อาหาร(เซนติเมตร)
ต่ำกว่า 100	1-2
100-200	2-4
200-300	2-5
300-400	2-5
400-500	2-7
500-600	2-7
600-700	2-9
มากกว่า 700	2-9

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้กำหนดระดับความสูงหรือระดับค่าของตัวเลขในการกำหนดการจ่ายอาหารให้ปลาโดยใช้เป็นเงื่อนไขดังนี้ คือ เมื่อเซนเซอร์ได้ตรวจจับระดับน้ำในสภาวะปกติที่ไม่มีการกินอาหารของปลา ได้ที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ถึงระดับผิวน้ำในบ่อเท่ากับ 100 เซนติเมตร ในตัวโปรแกรมจะนำค่าที่ได้จากตารางมารวมกับค่าที่วัดได้ในสภาวะปกติ ตัวอย่าง เช่น จากตารางที่ 1 ที่ขนาดปลา 100-200 กรัม มีค่าการกระเพื่อมของน้ำที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์เท่ากับ 2-4 เซนติเมตร เมื่อนำค่าทั้ง 2 มาคำนวณเพื่อกำหนดขอบเขตการปล่อยอาหาร ระบบการจะปล่อยอาหารเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดได้ตั้งแต่ 98-104 แต่หากตรวจวัดค่าได้นอกเหนือจากนี้ เช่น 97-96-95-94 หรือ 105-106-107 เซนติเมตร จะไม่ปล่อยอาหารออกมา