เอกสารวิชาการฉบับที่ ๔๓/๒๕๖๘

Technical Paper No. 43/2025

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมหลายตัวแปรแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงในระบบน้ำหมุนเวียนเชื่อมต่อระบบ IoT

Research and Development of an Automated Feeding and Multivariable Environmental Control System for High-Precision Commercial Cobia Farming in a Recirculating Aquaculture System Integrated with IoT

ไวทัศน์ หนูกล่ำ Waitat Nooklum
สิทธิโชค อุ่นแก้ว Sittichok Aunkaew
พิชญา ชัยนาค Pichaya Chainak
ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร Youngyut Preedalumphaburt

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

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

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๔๓/๒๕๖๘ Technical Paper No. 43/2025

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมหลายตัวแปรแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงในระบบน้ำหมุนเวียนเชื่อมต่อระบบ IoT

Research and Development of an Automated Feeding and Multivariable Environmental Control System for High-Precision Commercial Cobia Farming in a Recirculating Aquaculture System Integrated with IoT

ไวทัศน์ หนูกล่ำ Waitat Nooklum
สิทธิโชค อุ่นแก้ว Sittichok Aunkaew
พิชญา ชัยนาค Pichaya Chainak
ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร Youngyut Preedalumphaburt

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง Coastal Aquaculture Technology and Innovation Research and Development Center

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง Coastal Aquaculture Research and Development Division

กรมประมง Department of Fisheries

2568 2025

รหัสทะเบียนวิจัย 64-1-03-08-64-06503

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการ	
1 สถานที่ทดลอง	4
2 วิธีการศึกษา	4
ผลการศึกษา	
1 การออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	18
2 การออกแบบเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	19
3 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนและระบบการให้อาหารอัตโนมัติ	20
4 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	24
วิจารณ์ผลการศึกษา	30
สรุปผลการศึกษา	32
ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	34

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 20
2 ค่าคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 22
3 เปรียบเทียบต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน 23
4 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 24
5 การทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 26
6 ข้อมูลคุณภาพน้ำพารามิเตอร์อื่น ๆ ในบ่อเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 28
7 เปรียบเทียบต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน 29
8 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน 30

ตารางผนวกที่

1 การกระเพื่อมของน้ำที่ได้จากการทดสอบการกินอาหาร 34

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบระบบตรวจสอบการกระเพื่อมของน้ำเพื่อนำมาใช้เป็นระบบให้อาหารอัตโนมัติ	5
2	ลักษณะถังให้อาหารปลา	5
3	ลักษณะชุดกลไกการปล่อยอาหารปลา	6
4	ส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ	7
5	ขั้นตอนการทำงานของระบบ และภาพรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	8
6	หลักการทำงาน และการส่งผลแจ้งเตือนของอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ	9
7	ขั้นตอนควบคุมการทำงานระบบปั๊มดูดน้ำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำ	10
8	ลักษณะบ่อทดลอง และระบบบำบัด	12
9	ระบบท่อหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงไปสู่ระบบบำบัด	12
10	ต้นแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	18
11	แผนภาพกระบวนการทำงานของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	18
12	อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพน้ำ การแสดงผล และการแจ้งเตือน	19
13	น้ำหนักปลาช่อนทะเลเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม	21
14	ความยาวของปลาช่อนทะเลเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม	21
15	น้ำหนักปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม	25
16	ความยาวของปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม	25
17	ค่าปริมาณออกซิเจนจากเครื่องวัดออกซิเจน เซนเซอร์ YSI pro20 ในชุดควบคุมค่าปริมาณออกซิเจนจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติชุดทดลอง และค่าปริมาณออกซิเจนจากเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์ YSI pro20 ในชุดทดลอง	26
18	ค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัดในชุดควบคุม จากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และจากเครื่องตรวจวัดในชุดทดลอง	27
19	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดควบคุม จากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดลอง	28

วิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการควบคุมสิ่งแวดล้อมหลายตัวแปรแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลเชิงพาณิชย์แบบแม่นยำสูงในระบบน้ำหมุนเวียนเชื่อมต่อระบบ IoT

ไวทัศน์ หนูกล่ำ[1*], สิทธิโชค อุ่นแก้ว[2], พิชญา ชัยนาค[3] และ ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร[4]

[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสมุทรสาคร

[2]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[3]กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

[4]กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาระบบการให้อาหารและการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน แบ่งการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 การทดลองใช้ระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง HC-SR04 5V ทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ยูโน่ มาใช้เป็นอุปกรณ์ให้อาหารปลาอัตโนมัติ และการทดลองที่ 2 ใช้ระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ยูโน่ ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ความเป็นกรด-ด่าง และเซนเซอร์อุณหภูมิ ออกแบบให้ตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ใช้ระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 11 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงด้วยการให้อาหารด้วยแรงงานคน และเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติมีความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 68.23±9.87 และ 72.10±7.27 เซนติเมตร น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 997.00±102.11 และ 1,151.00±112.34 กรัม อัตรารอดตายเฉลี่ย 69.00 และ 77.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปลาช่อนทะเลในชุดที่ให้อาหารอัตโนมัติมีน้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าการให้ด้วยแรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนการทดลองที่ 2 ทดลองเลี้ยงโดยใช้การตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน เปรียบเทียบกับระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาช่อนทะเลมีความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 63.11±7.89 และ 66.29±7.88 เซนติเมตร น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 897.00±77.21 และ 1,001.00±42.89 กรัม อัตรารอดตายเฉลี่ย 69.00±2.74 และ 75.00±5.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปลาช่อนทะเลชุดที่เลี้ยงด้วยการตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติมีน้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าชุดที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ให้อาหารอัตโนมัติ และอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ สามารถใช้งานได้ดี มีความแม่นยำและใช้ในการเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบให้อาหารอัตโนมัติ, ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ, การเลี้ยงปลาช่อนทะเล, ระบบน้ำหมุนเวียน, อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

***ผู้รับผิดชอบ:** 127 หมู่ 8 ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000 โทรศัพท์ 034-410266
E-mail: waitatnooklum@gmail.com

Research and Development of an Automated Feeding and Multivariable Environmental Control System for High-Precision Commercial Cobia Farming in a Recirculating Aquaculture System Integrated with IoT

Waitat Nooklum[1*], Sittichok Aunkaew[2], Pichaya Chainak[3] and Youngyut Preedalumphaburt[4]

[1] Samut Sakhon Coastal Aquaculture Research and Development Center

[2]Rajamangala University of Technology Srivijaya

[3]Fisheries Industrial Technology Research and Development Division

[4]Coastal Aquaculture Research and Development Division

Abstract

The research and development of automatic fish feeding system and water quality monitoring for cobia 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 11 months. At the end of the experiment, fish in the manual feeding and automatic fish feeding system showed final average lengths of 68.23±9.87 cm and 72.10±7.27 cm, final average weights of 997.00±102.11 g and 1,151.00±112.34 g, survival rates of 69.00% and 77.00%, 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 63.11±7.89 cm and 66.29±7.88 cm, final average weights of 897.00±77.21 g and 1,001.00±42.89 g, average survival rates of 69.00±2.74% and 75.00±5.12%, 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 monitoring, cobia culture, recirculating aquaculture system, Internet of things (IoT)

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

คำนำ

ปลาช่อนทะเลมีชื่อ วิทยาศาสตร์ว่า *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766) มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Cobia เป็นปลาที่มีเนื้อมาก ลักษณะเนื้อสีขาวมีรสชาติดีสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายประเภท การพัฒนาการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในประเทศเริ่มมีมาตั้งแต่ปี 2548 ซึ่งกรมประมงได้ส่งเสริมการเลี้ยงปลาช่อนทะเลเชิงพาณิชย์โดยความช่วยเหลือทางวิชาการเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบกระชังขนาดใหญ่จากสถาบันวิจัยทางทะเล (Institute of Marine Research, IMR) ประเทศนอร์เวย์ภายใต้โครงการความช่วยเหลือผู้ประสบภัยสึนามิและฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งภูเก็ตประสบความสำเร็จในการเพาะพันธุ์และทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในกระชังขนาดใหญ่ ที่นำเทคโนโลยีจากประเทศนอร์เวย์มาปรับใช้ในการเลี้ยงปลาช่อนทะเล ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดภูเก็ตโดยจัดตั้งเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงปลาช่อนทะเลและประมงพื้นบ้านแหลมทราย มีสมาชิก 27 ราย เลี้ยงปลาจำนวน 72 กระชัง ผลผลิตปลาช่อนทะเลรวมแต่ละปีไม่น้อยกว่า 4 ตัน อย่างไรก็ตามการส่งเสริมการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในประเทศไทยประสบปัญหาสำคัญเนื่องจากปลาชนิดนี้มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงประมาณ 2.4-3 ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนต่ำ ซึ่งในต่างประเทศก็มีปัญหาเช่นเดียวกัน เช่น เวียดนาม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.2-2.0 และไต้หวันที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.5-1.8 การลดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสามารถทำได้หลากหลายวิธี เทคนิคการให้อาหารเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้บริหารจัดการด้านการเลี้ยงปลาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ไม่มีอาหารเหลือตกค้าง ปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ส่งผลให้ลดต้นทุนการเลี้ยงลงได้ นอกจากการจัดการด้านการให้อาหารแล้ว ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งคือการจัดการคุณภาพระหว่างการเลี้ยงได้แก่ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แอมโมเนีย และอื่น ๆ (โชคชัย, 2548) และหากสามารถบริหารจัดการ การตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่องจะช่วยลดความเสี่ยงและสามารถทำให้เกษตรกรหรือผู้เลี้ยงมีโอกาสประสบผลสำเร็จมากยิ่งขึ้น

การพัฒนาระบบการให้อาหารอัตโนมัติ และการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติเป็นการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่อูโน่ (Board microcontroller arduino uno) ทำหน้าที่เป็นสมองกลควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ โดยภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และพอร์ตอินพุต-เอาต์พุตเพื่อรับส่งข้อมูลหรือควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ระบบควบคุมเครื่องยนต์รถยนต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นปัจจุบันเริ่มมีแพร่หลายมากขึ้น เช่น การนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำได้แก่ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าอุณหภูมิ และยังมีการนำมาใช้ควบคุมเซอร์โว มอเตอร์ควบคุมอุปกรณ์การจ่ายอาหารอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาคาร์ปซึ่งทำให้การเลี้ยงลดอัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นเนื้อลงได้ (Susilawati *et al.,* 2023) และในอินโดนีเซียมีการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานออกแบบให้รับส่งข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Internet of Things (IoT) ช่วยให้การเลี้ยงปลาน้ำจืดมีประสิทธิภาพมากขึ้นลดต้นทุนการผลิตและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Silalahi *et al*., 2023) นอกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วยังมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง (Ultrasonic sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัด และรับส่งสัญญาณเพื่อนำข้อมูลผลการ

ตรวจจับมาใช้พัฒนาเขียนคำสั่งควบคุมระบบกลไกการปล่อยอาหารให้แก่สัตว์น้ำแบบอัตโนมัติอันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบการให้อาหารปลาอัตโนมัติให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประยุกต์นำเอาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง เซนเซอร์ตรวจวัดค่าออกซิเจน (Oxygen sensor) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH sensor) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ (Temperature sensor) ความรู้ด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ออกแบบศึกษาและพัฒนาระบบการให้อาหารอัตโนมัติเพื่อจัดการการให้อาหารแก่ปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนและออกแบบพัฒนาเทคโนโลยีระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ (Real time) โดยใช้การส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT ออกแบบให้ส่งข้อมูลแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Application LINE) ให้ผู้เลี้ยงได้รับทราบข้อมูลและสามารถดำเนินการบริหารจัดการการเลี้ยงปลาช่อนทะเลได้อย่างทันท่วงที

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการให้อาหารอัตโนมัติ โดยใช้ ออโต้ฟีด (Auto feed) เพื่อจัดการการให้อาหารแก่ปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน
2. เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเทคโนโลยีระบบตรวจวัด ติดตาม คุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ IoT
3. เพื่อศึกษา และพัฒนาการจัดการคุณภาพน้ำให้เหมาะสมในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลด้วยการแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติ

วิธีดำเนินการ

1. สถานที่ทำการทดลอง

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

2. วิธีการศึกษา

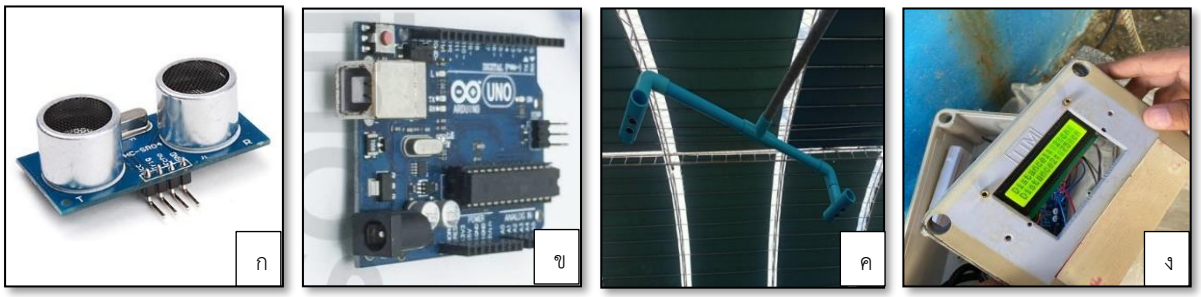
2.1 การออกแบบและพัฒนาระบบให้อาหารอัตโนมัติ

2.1.1 การเตรียมอุปกรณ์

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

2.1.2 การออกแบบและติดตั้งระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ออกแบบระบบการให้อาหารอัตโนมัติจากพฤติกรรมการกินอาหารของปลาช่อนทะเล โดยการใช้เซนเซอร์ ตรวจจับคลื่นเสียง HC-SR04 5 V จำนวน 2 ตัว เป็นตัวตรวจวัดระยะทางทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ยูโน่ เขียนโปรแกรมคำสั่งให้ทำงานตามข้อกำหนด และแสดงผลการทำงานผ่านหน้าจอแสดงผล และจ่ายอาหารตามค่าที่ตรวจวัดได้ ส่วนประกอบระบบตรวจจับคลื่นเสียงเพื่อพัฒนามาใช้เป็นระบบให้อาหารอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 1 ก-ง

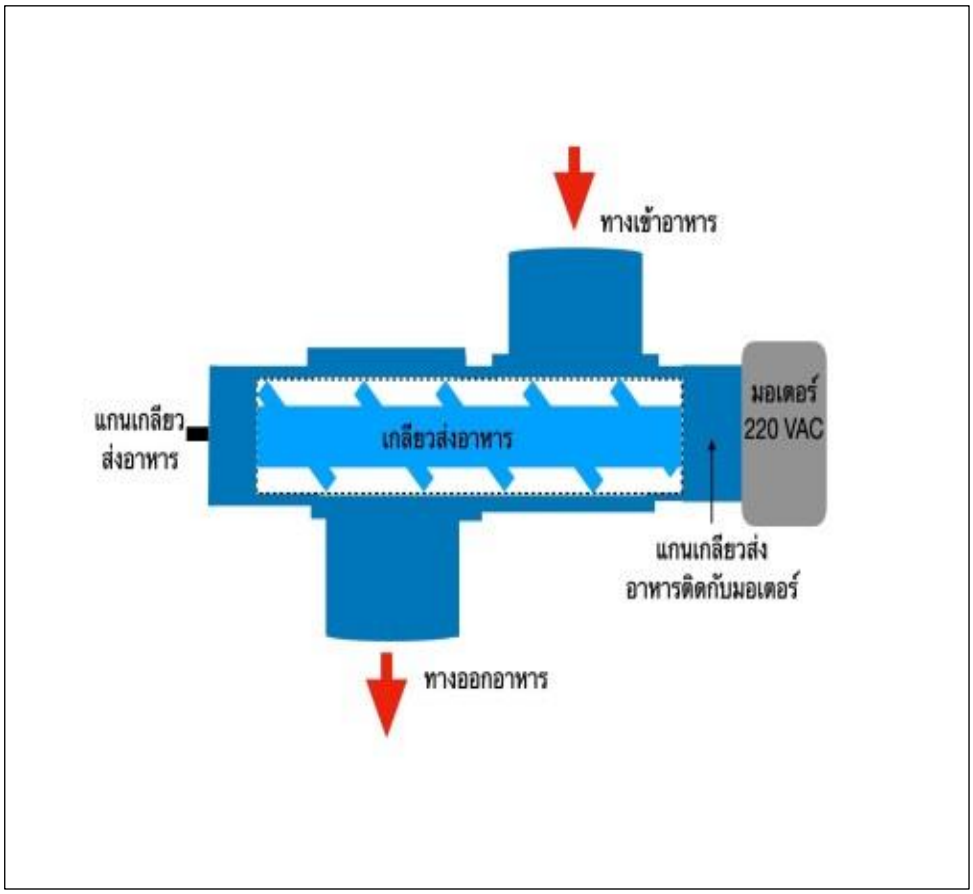


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบระบบตรวจจับคลื่นเสียงเพื่อพัฒนามาใช้เป็นระบบให้อาหารอัตโนมัติ
(ก) ตัวเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงรุ่น HC-SR04 5V (ข) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่
(ค) ชุดเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง (ง) จอควบคุมและแสดงผล รุ่น LCD 1602 แบบ I2C

2.1.3 การออกแบบระบบกลไกการจ่ายอาหาร

ถังอาหารรองรับปริมาณอาหารได้ 15 กิโลกรัม และระบบการจ่ายอาหารใช้มอเตอร์ควบคุมการจ่ายขนาด 10 วัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ตัวเกลียวจ่ายอาหารเพื่อป้องกันการขึ้นสนิมทำด้วยแผ่นพีวีซีขนาดชั้นความหนา 8.5 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 1 นิ้ว บิดเป็นรูปตัว S ใช้ลำเลียงอาหาร สามารถรองรับปริมาณอาหารตั้งแต่ขนาด 1-10 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 2 และ 3

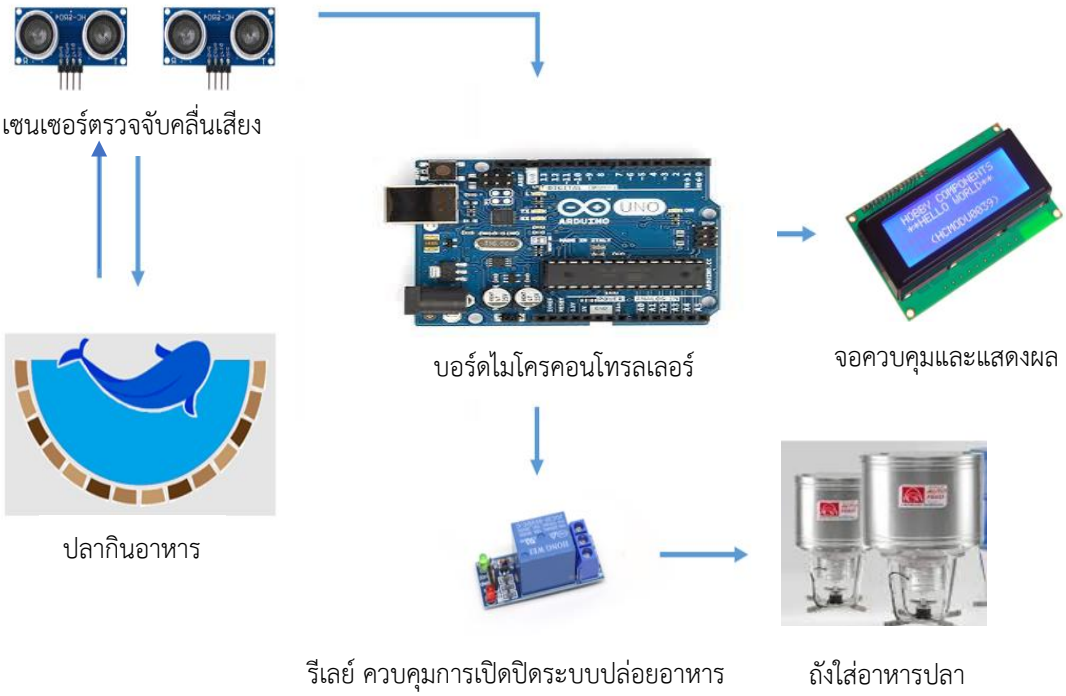
ภาพที่ 2 ลักษณะถังให้อาหารปลา



ภาพที่ 3 ลักษณะชุดกลไกการปล่อยอาหารปลา

2.1.4 การเขียนระบบคำสั่ง กำหนดเงื่อนไข และการเปิดใช้งาน

ระบบให้อาหารอัตโนมัติ มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเปิดใช้งานเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตรวจวัดค่าระยะห่างของผิวน้ำในบ่อกับเซนเซอร์ในทุก ๆ ครั้งแรกของการเปิดใช้งานเพื่อใช้เป็นค่าฐานการคำนวณในตัวแปรเพื่อกำหนดเงื่อนไขการจ่ายอาหารและออกแบบให้มีการกระตุ้นการกินอาหารของปลาทุกครั้งในทุกวันที่มีการให้อาหาร เพื่อเป็นเงื่อนไขการจ่ายอาหารให้ปลาโดยกำหนดให้ในเวลา 15 นาทีของชั่วโมงที่ 1 ใช้การกระตุ้น 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 3 นาที และแต่ละครั้งที่กระตุ้นใช้เวลาในการปล่อยอาหาร 2-3 วินาที คิดเป็นปริมาณอาหารแต่ละครั้งประมาณ 50 กรัม หากปลาไม่กินอาหารระบบจ่ายอาหารหยุดการทำงานและเริ่มกระบวนการกระตุ้นการกินอาหารอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 2 โดยกระบวนการเหมือนกับชั่วโมงที่ 1 และหากหลังการกระตุ้นปลากินอาหารทำให้เกิดการกระเพื่อมของน้ำและเมื่อค่าการกระเพื่อมเข้าตามเงื่อนไข ระบบการให้อาหารอัตโนมัติเริ่มทำงานโดยรีเลย์เปิดเครื่องให้อาหารจนกระทั่งค่าของระดับน้ำอยู่ในจุดที่ต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดรีเลย์เครื่องให้อาหารหยุดทำงานค่าที่วัดได้แสดงผลผ่านทางจอแสดงผลรายละเอียดส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของระบบควบคุมการจ่ายอาหารปลาอัตโนมัติ

2.2 การออกแบบติดตั้งระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ ตรวจวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิน้ำโดยกำหนดให้อุปกรณ์ในการออกแบบสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ สามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนได้เป็นช่วง ๆ และแจ้งเตือนค่าได้ตลอด 24 ชั่วโมง รายละเอียดดังนี้

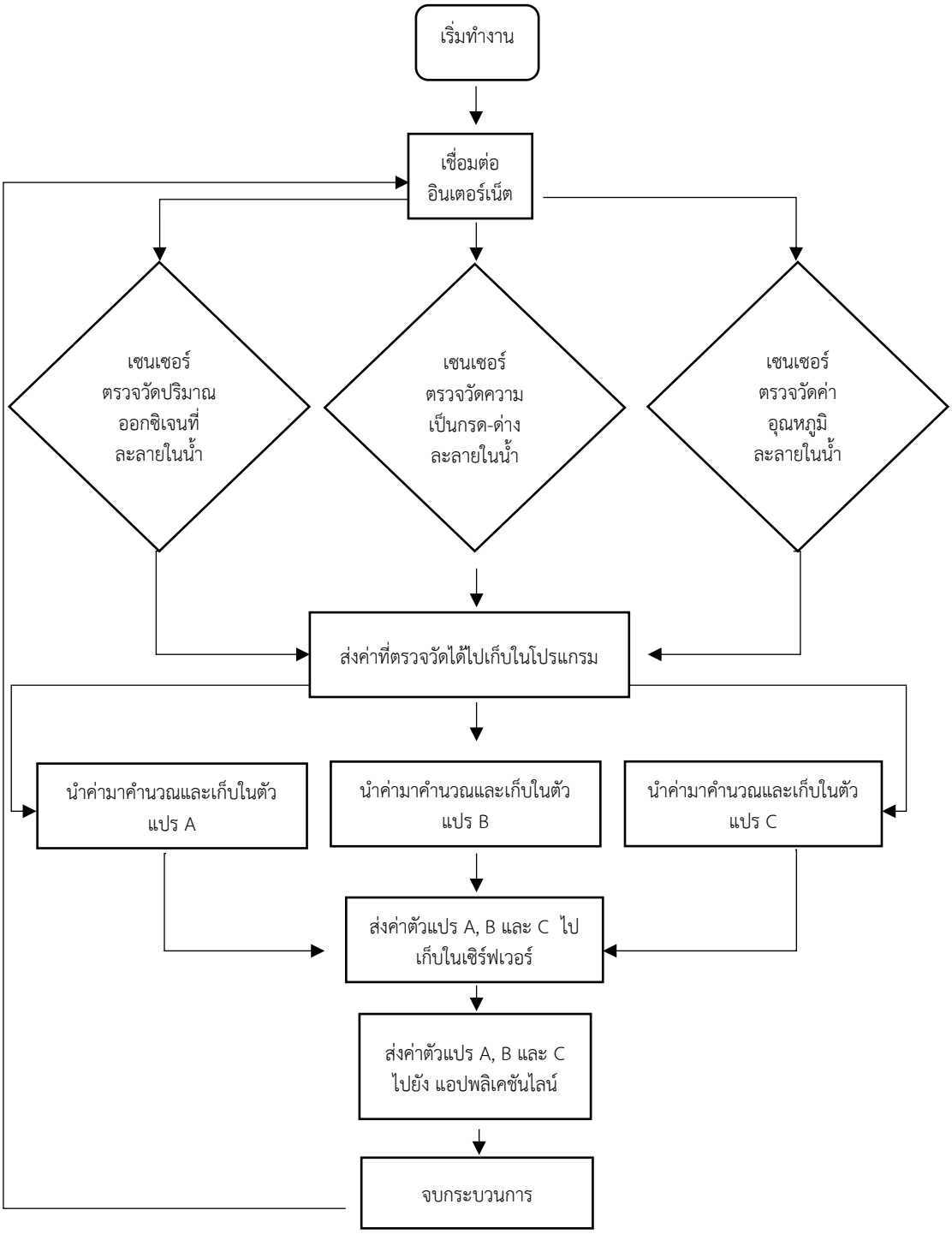
2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์

1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน่ยูโน่
2) บอร์ด อีเอสพี 8266
3) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าออกซิเจน
4) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
5) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ
6) เร้าเตอร์
7) ตู้ควบคุม
8) สายไฟ และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ

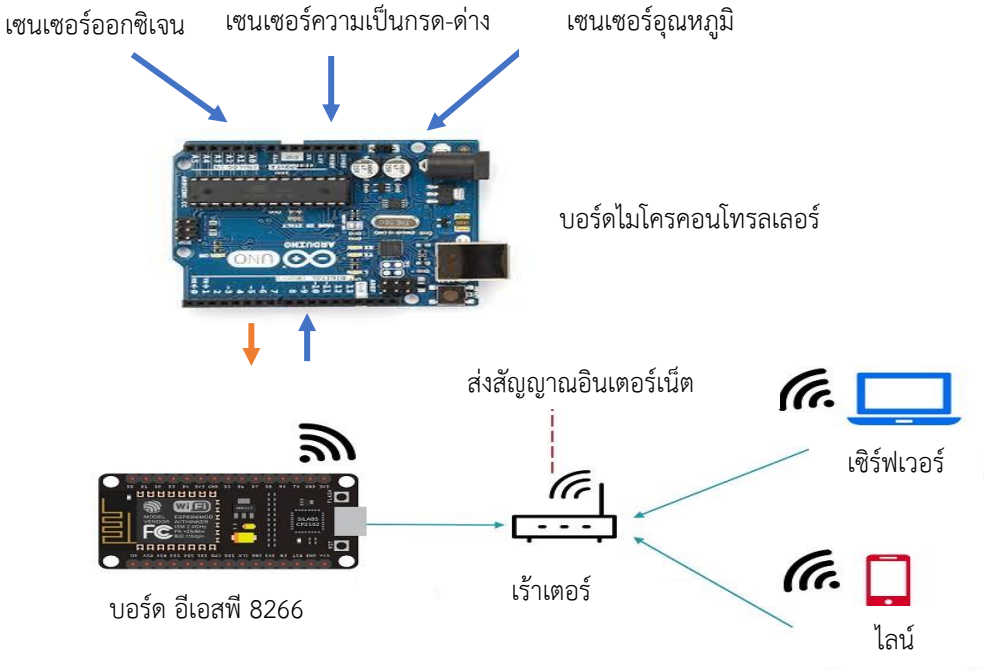
2.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ใช้โปรแกรมอาดูอิโน่ในการเขียนคำสั่งควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับโนดเอ็มซียูอีเอสพี 8266 (Node MCU esp8266) รับส่งค่าโดยกำหนดค่าตัวแปรปริมาณของออกซิเจนที่

ละลายในน้ำเป็น A ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น B และค่าอุณหภูมิเป็น C ค่าที่ตรวจวัดได้ระบบแปลงสัญญาณออกมาเป็นตัวเลขของแต่ละพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้โดยจัดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์พร้อมทั้งส่งข้อมูลแสดงผลค่าที่ตรวจวัดได้ผ่านทาง แอปพลิเคชันไลน์โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบและภาพรวมหลักการทำงานของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 5 และ 6



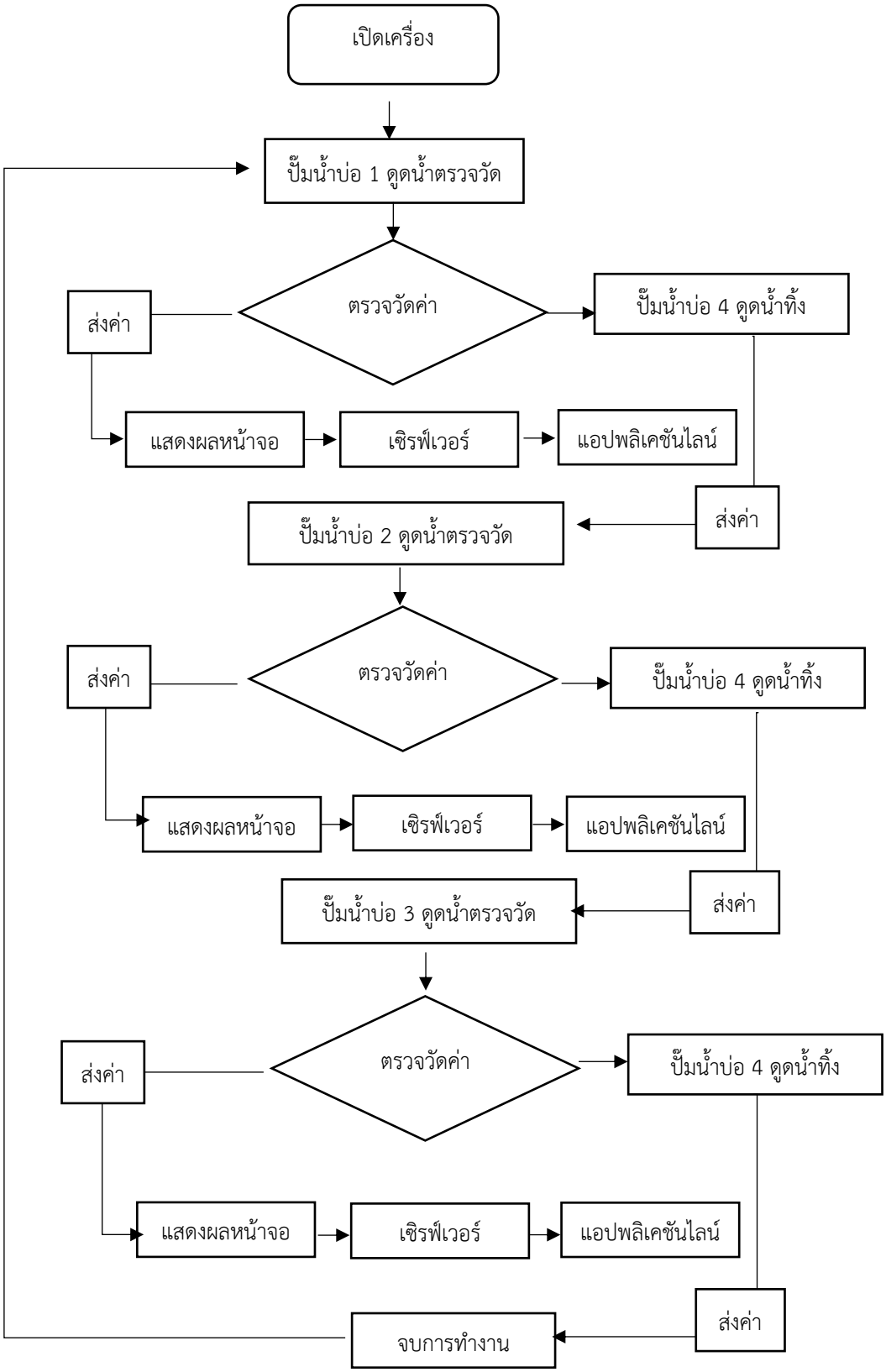
ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ และภาพรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ



ภาพที่ 6 หลักการทำงาน และการส่งผลแจ้งเตือนของอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

2.2.3 การออกแบบระบบดูดน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อนำมาตรวจวัด

ติดตั้งปั๊มน้ำขนาด 230 วัตต์ ในบ่อเลี้ยงบ่อละ 1 เครื่องเพื่อดูดน้ำมาตรวจวัดโดยดูดขึ้นมาใส่ในตู้ตรวจวัดที่มีขนาด 30x60x45 เซนติเมตร กำหนดการทำงานให้ปั๊มตัวที่ 1 ทำงานเป็นลำดับแรก หลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 1 เสร็จ ปั๊มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่บ่อบำบัดจนหมด ปั๊มน้ำที่ 2 ทำงานเป็นลำดับที่ 2 หลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 2 เสร็จ ปั๊มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่บ่อบำบัดจนหมด ปั๊มน้ำตัวที่ 3 ทำงานเป็นลำดับที่ 3 หลังจากตรวจวัดคุณภาพน้ำจากบ่อที่ 3 เสร็จ ปั๊มน้ำตัวที่ 4 ดูดน้ำในตู้ออกสู่บ่อบำบัดจนหมด และปั๊มตัวที่ 1 เริ่มทำงานอีกครั้ง สลับหมุนเวียนกันโดยในตู้ตรวจวัดประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และมีเซนเซอร์ควบคุมระดับน้ำในตู้ (Electrode type level switch) ส่วนด้านล่างของตู้ติดตั้งปั๊มน้ำขนาด 230 วัตต์ จำนวน 1 ตัว เพื่อดูดน้ำปล่อยทิ้งออกไปสู่ระบบบำบัด มีวิธีการใช้งานแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขั้นตอนควบคุมการทำงานระบบปั๊มดูดน้ำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำ

2.3 บ่อทดลองเลี้ยงปลา ระบบบำบัด การหมุนเวียนน้ำ

2.3.1 ลักษณะบ่อทดลองเลี้ยงปลา

ลักษณะบ่อทดลองเลี้ยงปลาเป็นบ่อผ้าใบทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่อผ้าใบ 5 เมตร ความลึกตรงขอบบ่อประมาณ 2 เมตร ตรงกลางบ่อ 2.50 เมตร ฝังลงไปในพื้นดิน 2 เมตร รวมมีปริมาตรน้ำประมาณ 35 ลูกบาศก์เมตร

2.3.2 ลักษณะบ่อบำบัดประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ

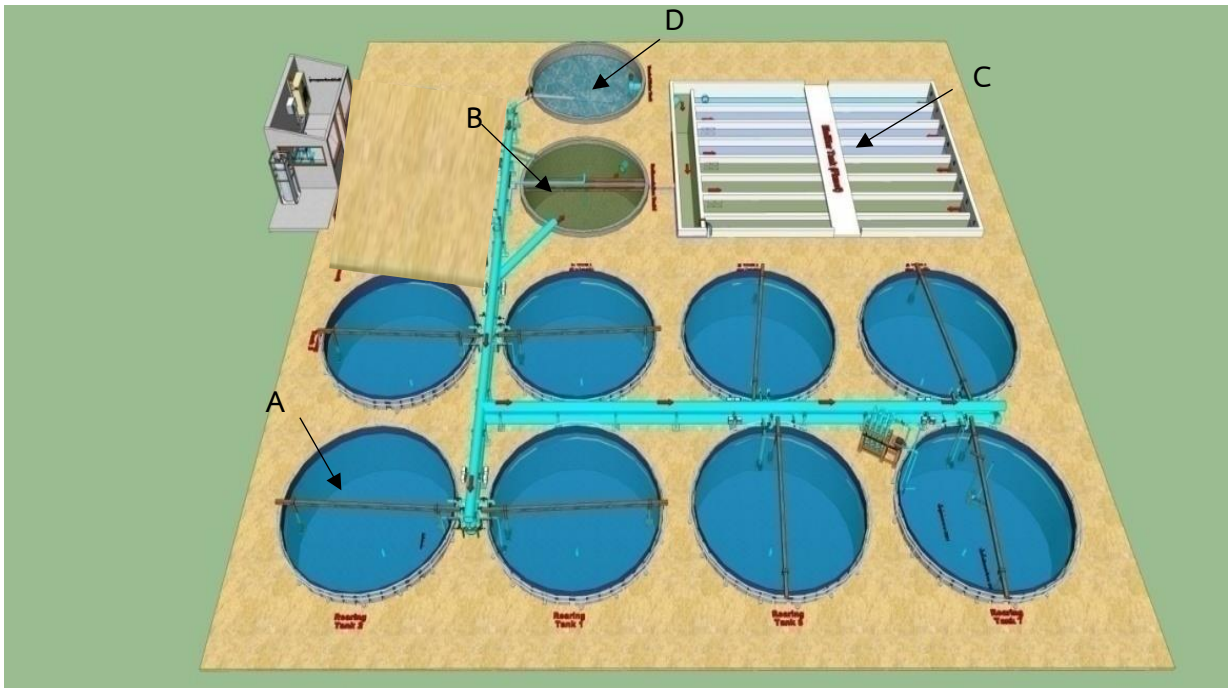
ส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอนเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลมลักษณะเป็นกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร ความลึก 1.5 เมตรคิดเป็นปริมาตรน้ำ 25 ลูกบาศก์เมตรในบ่อใส่เนื้ออวน 100 กิโลกรัมคิดเป็นพื้นที่ผิวสัมผัส 300 ตารางเมตร

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

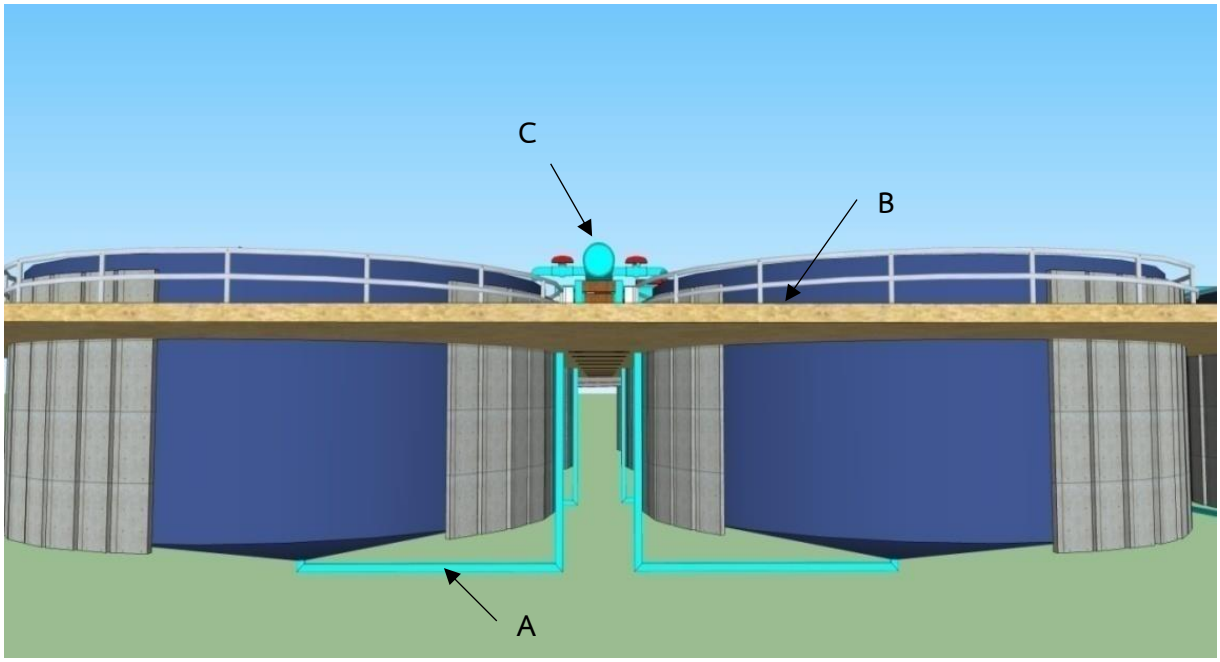
ส่วนที่ 3 บ่อพักน้ำเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เมตร ความลึก 1.5 เมตร คิดเป็นปริมาตรน้ำ 25 ลูกบาศก์เมตร บ่อนี้จะใช้เก็บน้ำที่บำบัดแล้วก่อนหมุนเวียนกลับเข้าไปยังบ่อเลี้ยง

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 การทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน ประกอบด้วย

2.4.1 การทดลองระบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ประกอบด้วย

2.4.1.1 การออกแบบชุดการทดลอง แบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเล ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 17.00±0.90 เซนติเมตร และน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.40±0.80 กรัม ให้อาหารด้วยแรงงานคน

ชุดทดลองที่ 2 (ชุดทดลอง) ทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเล ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 16.30±1.10 เซนติเมตร และน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.10±0.50 กรัม ให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติ

2.4.1.2 การให้อาหาร

อาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดปลาทะเลสำเร็จรูปปริมาณโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดปริมาณการให้อาหารสูงสุดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในชุดควบคุมให้อาหารด้วยแรงงานคนวันละ 2 มื้อ เช้าเวลา 09.00-09.30 น. และ บ่ายเวลา 14.00-14.30 น. ในชุดทดลองให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติ 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)

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

4. อัตรารอดตาย (Survival rate) %

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

2.4.1.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโต

สุ่มปลาช่อนทะเล เพื่อตรวจวัดน้ำหนักและความยาวเดือนละ 1 ครั้ง แต่ละครั้งสุ่มปลาจำนวน 150 ตัว ในวันที่สุ่มปลาจะงดการให้อาหารและใช้น้ำมันกานพลูเพื่อทำให้ปลาเคลื่อนไหวช้า ลดการบอบช้ำในระหว่างดำเนินการ

2.4.1.4 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

ทั้งชุดควบคุม และชุดทดลองตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงทุก ๆ สัปดาห์โดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลองในช่วงเช้าและนำไปตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม pH Meter ยี่ห้อ WTW multiline 4

- อุณหภูมิ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- แอมโมเนียรวม ด้วยวิธีของ Sasaki and Sawada (1980)
- ไนไตรท์-ไนโตรเจน ด้วยวิธีของ Bendschneider and Robinson (1952)
- ไนเตรท-ไนโตรเจน ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเป็นด่าง ตามวิธีการใน APHA, AWWA and WPCF (1985)
- ความเค็ม ด้วยRefractometer ยี่ห้อ Atago

2.4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองการเลี้ยงปลาด้วยการให้อาหารด้วยแรงงานคนเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติค่าที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ น้ำหนักปลา ความยาวปลา อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

2.4.1.6 การคำนวณต้นทุน

วิธีคำนวณต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเล มาวิเคราะห์ตามวิธีที่อ้างอิงโดยสมบูรณ์ (2537) ดังนี้

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

ต้นทุนผันแปร = ค่าพันธุ์ปลา + ค่าอาหารปลา + ค่าแรงงาน + ค่าพลังงาน และปัจจัยการผลิต +ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (ค่าอาหารปลากิโลกรัมละ 50 บาท, ค่าแรงงานชั่วโมงละ 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)

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

โดยที่ DS หมายถึง ค่าเสื่อมราคาต่อปีที่คิดโดยวิธีเส้นตรง

OC หมายถึง มูลค่าทรัพย์สินเมื่อซื้อ (Original cost)

SV หมายถึง มูลค่าซาก (Salvage value)

L หมายถึง อายุการใช้งานของทรัพย์สิน (Expected life)

2.4.1.7 การคำนวณผลตอบแทน

วิธีคำนวณผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลโดยใช้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด ราคาปลาช่อนทะเลที่จำหน่ายได้ (กิโลกรัมละ 150 บาทในชุดควบคุม และ 160 บาทในชุดทดลอง) และต้นทุนทั้งหมด มาคำนวณหารายได้ทั้งหมด กำไรสุทธิ และสัดส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน ดัดแปลงตามวิธีของกฤษณะ และพรพิมล (2566) ตามสูตรดังนี้

รายได้ทั้งหมด (บาท) = น้ำหนักสัตว์น้ำที่ได้ทั้งหมด X ราคาสัตว์น้ำ

รายได้สุทธิ (บาท) = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนผันแปร

กำไรสุทธิ (บาท) = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนทั้งหมด

2.4.2 การทดลองระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ประกอบด้วย

2.4.2.1 การออกแบบชุดการทดลอง แบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ทดลองเลี้ยงปลาความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 17.00±0.90 เซนติเมตร น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.40±0.80 กรัม จำนวน 3 บ่อ แต่ละบ่อปล่อยปลาจำนวน 350 ตัว ปริมาตรน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตร ตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน

ชุดทดลองที่ 2 (ชุดทดลอง) ทดลองเลี้ยงปลาความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 16.30±1.10 เซนติเมตร น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.10±0.50 กรัม จำนวน 3 บ่อแต่ละบ่อปล่อยปลาจำนวน 350 ตัว แต่ละบ่อปริมาตรน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตร ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

2.4.2.2 การให้อาหาร

ทั้ง 2 ชุดทดลองให้อาหารด้วยแรงงานคนวันละ 2 มื้อ เช้าเวลา 09.00-09.30 น. และบ่ายเวลา 14.00-14.30 น. อาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดปลาทะเลสำเร็จรูปปริมาณโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดปริมาณการให้อาหารสูงสุดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในชุดทดลองให้อาหารด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติอาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดปลาทะเลสำเร็จรูปปริมาณโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดปริมาณการให้อาหารสูงสุดต่อวันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาหลังจากสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลการให้อาหารข้อมูลการเลี้ยงของทั้ง 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)

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

4. อัตรารอดตาย (Survival rate) %

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

2.4.2.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโต

สุ่มปลาช่อนทะเล เพื่อตรวจวัดน้ำหนัก และความยาว เดือนละ 1 ครั้ง แต่ละครั้งสุ่มปลาจำนวน 150 ตัว ในวันที่สุ่มปลาจะงดการให้อาหารและใช้น้ำมันกานพลูเพื่อทำให้ปลาเคลื่อนไหวช้าลดการบอบช้ำในระหว่างดำเนินการ

2.4.2.4 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

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

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนามยี่ห้อ WTW multiline 4
- อุณหภูมิ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม YSI Pro20
- แอมโมเนียรวม ด้วยวิธีของ Sasaki and Sawada (1980)
- ไนไตรท์-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

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนที่เปรียบเทียบผลตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนกับการใช้ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ค่าที่นำมาวิเคราะห์สถิติได้แก่ น้ำหนัก ความยาว อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และวิเคราะห์ข้อมูลสถิติโดย Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2.4.2.6 การคำนวณต้นทุน

วิธีคำนวณต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลตามวิธีที่อ้างอิงโดยสมบูรณ์ (2537) ดังนี้

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

ต้นทุนผันแปร = ค่าพันธุ์ปลา + ค่าอาหารปลา + ค่าแรงงาน + ค่าพลังงาน และปัจจัยการผลิต+ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (ค่าอาหารปลากิโลกรัมละ 50 บาท, ค่าแรงงานชั่วโมงละ 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)

2.4.2.7 การคำนวณผลตอบแทน

วิธีคำนวณผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลโดยใช้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด ราคาปลาช่อนทะเลที่จำหน่ายได้ (กิโลกรัมละ 150 บาทในชุดควบคุม และ 160 บาทในชุดทดลอง) และต้นทุนทั้งหมด มาคำนวณหารายได้ทั้งหมด กำไรสุทธิ และสัดส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน ดัดแปลงตามวิธีของกฤษณะ และพรพิมล (2566) ตามสูตรดังนี้

รายได้ทั้งหมด (บาท) = น้ำหนักสัตว์น้ำที่ได้ทั้งหมด X ราคาสัตว์น้ำ
รายได้สุทธิ (บาท) = รายได้ทั้งหมด – ต้นทุนผันแปร
กำไรสุทธิ (บาท) = รายได้ทั้งหมด – ต้นทุนทั้งหมด

ผลการศึกษา

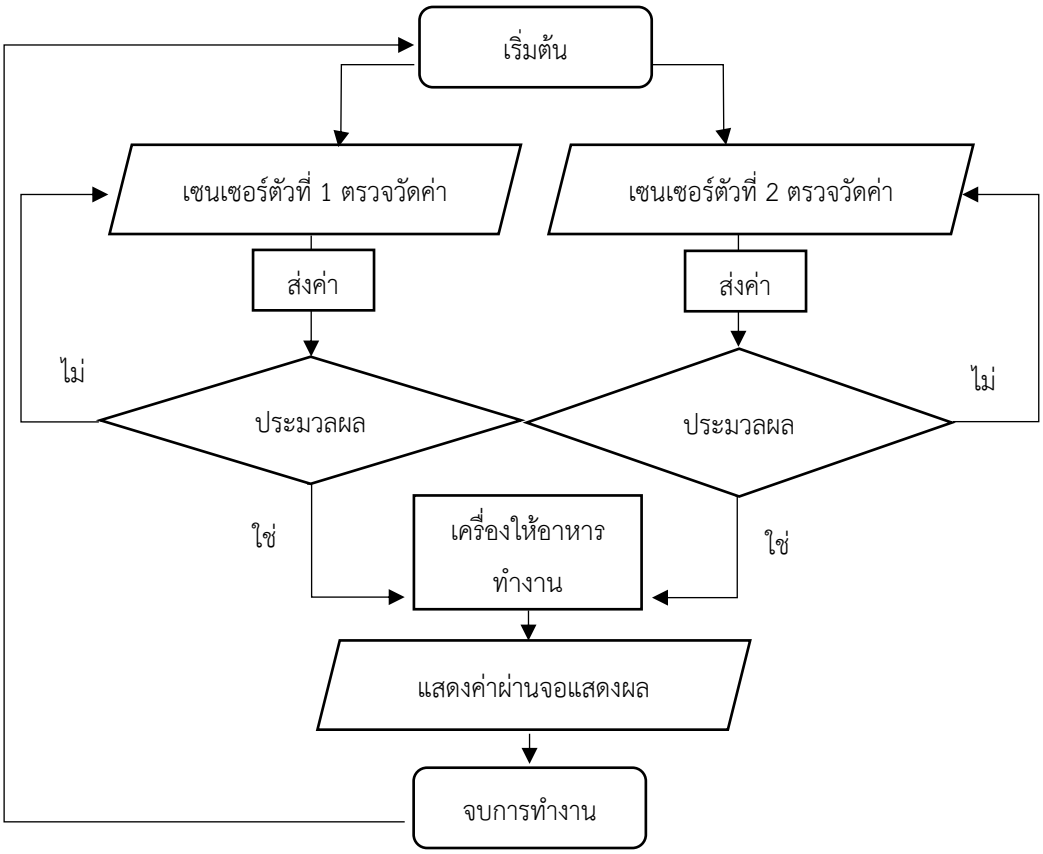
1. การออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

1.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

เครื่องให้อาหารอัตโนมัติออกแบบโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงเป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบการกระเพื่อมของน้ำทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน่อูโน่ และเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด สามาถใช้เป็นเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ 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 หากมีปลากินอาหารน้ำเกิดการกระเพื่อมอาหารจะถูกจ่ายออกมา หากปลากินอาหารอย่างต่อเนื่องการกระเพื่อมของน้ำมีอย่างต่อเนื่อง กลไกการจ่ายอาหารจ่ายอย่างต่อเนื่องจนอาหารหมด หรือจนน้ำไม่กระเพื่อมการจ่ายอาหารจึงหยุดทำงาน แต่หากไม่มีปลามากินอาหาร 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 ตรวจวัดค่าในแต่ละบ่อโดยการดูดน้ำมาตรวจวัดในตู้ตรวจวัด และส่งค่าที่ตรวจวัดได้แสดงผลที่หน้าจอแสดงผลและแจ้งผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ แสดงผลดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 อุปกรณ์การตรวจสอบคุณาภาพน้ำ การแสดงผลและการแจ้งเตือน

(ก) ตู้ตรวจวัดคุณภาพน้ำ (ข) หน้าจอแสดงผลคุณภาพน้ำ (ค) การแจ้งค่าผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์

3. ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคน และระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

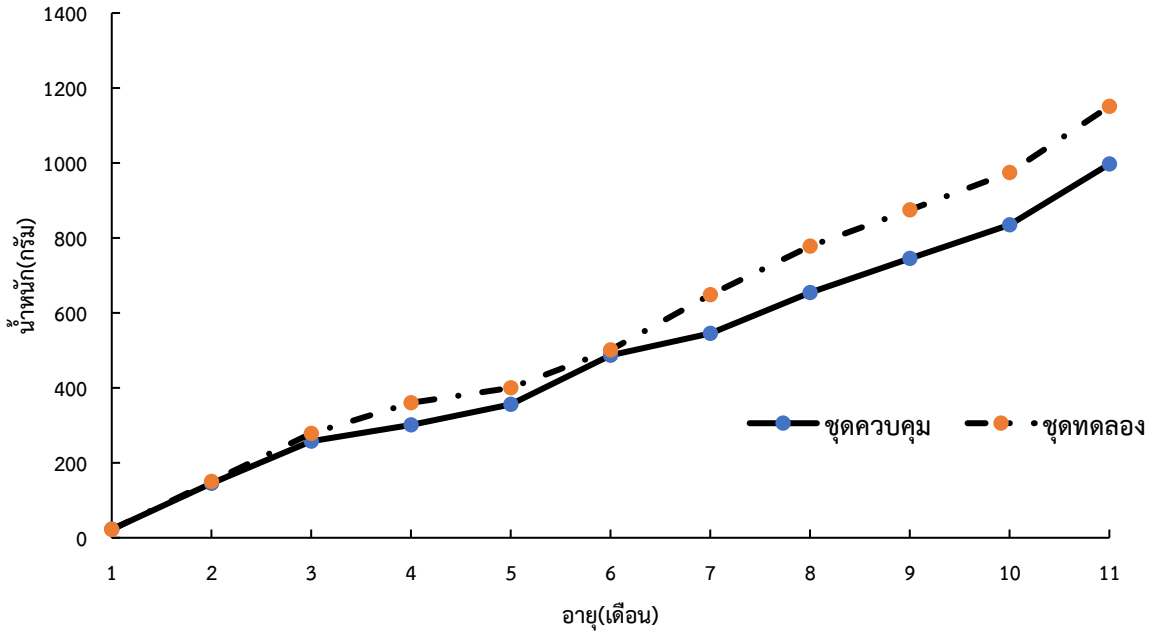
3.1 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการเปรียบเทียบการเลี้ยงด้วยการให้อาหารด้วยแรงงานคนชุดควบคุม กับการเลี้ยงโดยการใช้ระบบให้อาหารอัตโนมัติชุดทดลอง

แต่ละชุดการทดลองมี 1 บ่อ ปล่อยปลาช่อนทะเลจำนวน 350 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.40±0.80 และ 22.10±0.50 กรัม และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.00±0.90 และ 16.30±1.10 เซนติเมตร ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 11 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 997±102.11 และ 1,151.00±112.34 กรัม ความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 68.23±9.87 และ 72.10±7.27 เซนติเมตร อัตราการรอดตายเท่ากับ 69.00 และ 77.00 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 2.95 และ 3.42 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.66 และ 1.44 น้ำหนักปลารวมทั้งบ่อเท่ากับ 240.78 และ 310.19 กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

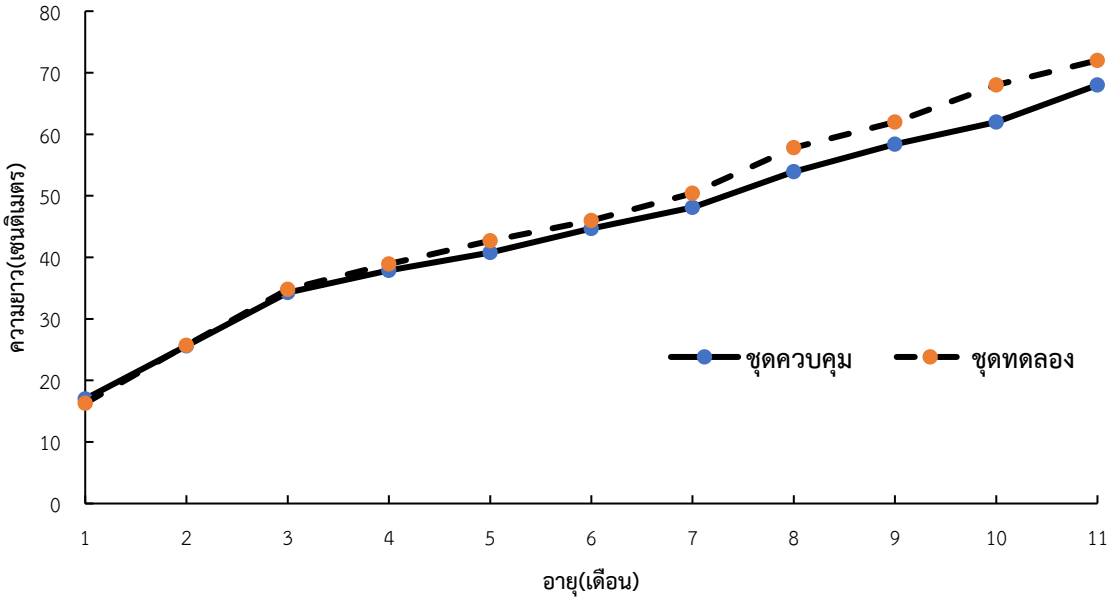
ตารางที่ 1 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	22.40±0.80[a]	22.10±0.50[a]
ความยาวปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	17.00±0.90[a]	16.30±1.10[a]
น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กรัม)	997.00±102.11[a]	1,151.00±112.34[b]
ความยาวสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (เซนติเมตร)	68.23±9.87[a]	72.10±7.27[a]
อัตรารอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	69.00	77.00
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม)	2.95	3.42
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.66	1.44
น้ำหนักปลารวม (กิโลกรัม)	240.78	310.19

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



ภาพที่ 13 น้ำหนักปลาช่อนทะเลเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม



ภาพที่ 14 ความยาวของปลาช่อนทะเลเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการให้อาหารด้วยแรงงานคนใย ชุดทดลอง และระบบให้อาหารอัตโนมัติในชุดควบคุม

3.2 ค่าคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนที่เลี้ยงเป็นเวลา 11 เดือน พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงของทุกพารามิเตอร์ทั้งในส่วนของค่าในระบบบำบัด และในบ่อเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดทดลอง โดยแสดงค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

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)	28.8-33.5	28.7-33.5
แอมโมเนียรวมในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.30-0.99	0.30-0.99
แอมโมเนียรวมในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.22-0.98	0.26-0.90
ไนไตรท์ในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.22-0.87	0.22-0.87
ไนไตรท์ในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.13-0.72	0.27-0.66
ไนเตรทในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.00-34.00	5.00-34.00
ไนเตรทในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.00-29.00	3.35-31.00
ความเป็นด่างในบ่อบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	121-189	121-189
ความเป็นด่างในบ่อเลี้ยง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	115-197	121-195
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	25-28	25-28

3.3 ต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารด้วยแรงงานคน

ต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติและการตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 11 เดือน พบว่าต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองมีต้นทุนทั้งหมด 95,881 บาท และ 83,842 บาท ตามลำดับคิดเป็นต้นทุนคงที่เท่ากับ 21,649 บาท และ 21,442 บาท ตามลำดับต้นทุนผันแปรเท่ากับ 74,232 บาท และ 62,400 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีสัดส่วนต้นทุนผันแปรดังนี้ค่าแรงงานเท่ากับ 41.30 เปอร์เซ็นต์ ค่าอาหารเท่ากับ 20.78 เปอร์เซ็นต์ ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 9.08 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลาเท่ากับ 5.48 เปอร์เซ็นต์ และค่าอื่น ๆ เท่ากับ 0.78 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองมีสัดส่วนต้นทุนค่าผันแปรดังนี้ ค่าอาหารปลาเท่ากับ 26.62 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงงานเท่ากับ 23.63 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานเท่ากับ 11.07 เปอร์เซ็นต์ ค่าลูกพันธุ์ 6.26 เปอร์เซ็นต์ ค่าวัสดุไฟฟ้าเท่ากับ 5.96 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ เท่ากับ 0.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนของชุดควบคุมและชุดทดลองในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน

ประเภท	สัดส่วนต้นทุน			
	ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
	บาท	เปอร์เซ็นต์	บาท	เปอร์เซ็นต์
ต้นทุนคงที่				
1. ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ - โครงสร้างบ่อเลี้ยง - ระบบหมุนเวียนน้ำ	20,000	20.86	20,000	23.85
2. ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	1,649	1.72	1,442	1.72
รวม	21,649	22.58	21,442	25.57
ต้นทุนผันแปร				
1. ค่าพันธุ์ปลา	5,250	5.48	5,250	6.26
2. ค่าอาหารปลา	19,920	20.78	22,320	26.62
3. ค่าวัสดุไฟฟ้า	-	-	5,000	5.96
4. ค่าไฟฟ้า	8,712	9.08	9,280	11.07
5. ค่าสารเคมีและยารักษาโรค	750	0.78	750	0.89
6. ค่าแรงงาน	39,600	41.30	19,800	23.63
รวม	74,232	77.42	62,400	74.43
รวมทั้งหมด (บาท/บ่อ/รุ่น)	95,881	100.00	83,842	100.00

3.4 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารด้วยแรงงานคน

ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเวลาการเลี้ยง 11 เดือนพบว่าชุดควบคุมได้ผลผลิตปลาทั้งหมดเท่ากับ 240.78 กิโลกรัม ชุดทดลองได้ผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 310.19 กิโลกรัม ประเมินราคาขายปลาเพื่อคำนวณผลตอบแทน โดยราคาจำหน่ายปลาในชุดควบคุมกิโลกรัมละ 150 บาท และชุดทดลองกิโลกรัมละ 160 บาท คิดเป็นรายได้เท่ากับ 36,027 บาท และ 49,630.40 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีจุดคุ้มทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัมเท่ากับ 309.07 บาท ชุดทดลองเท่ากับ 201.17 บาท แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4

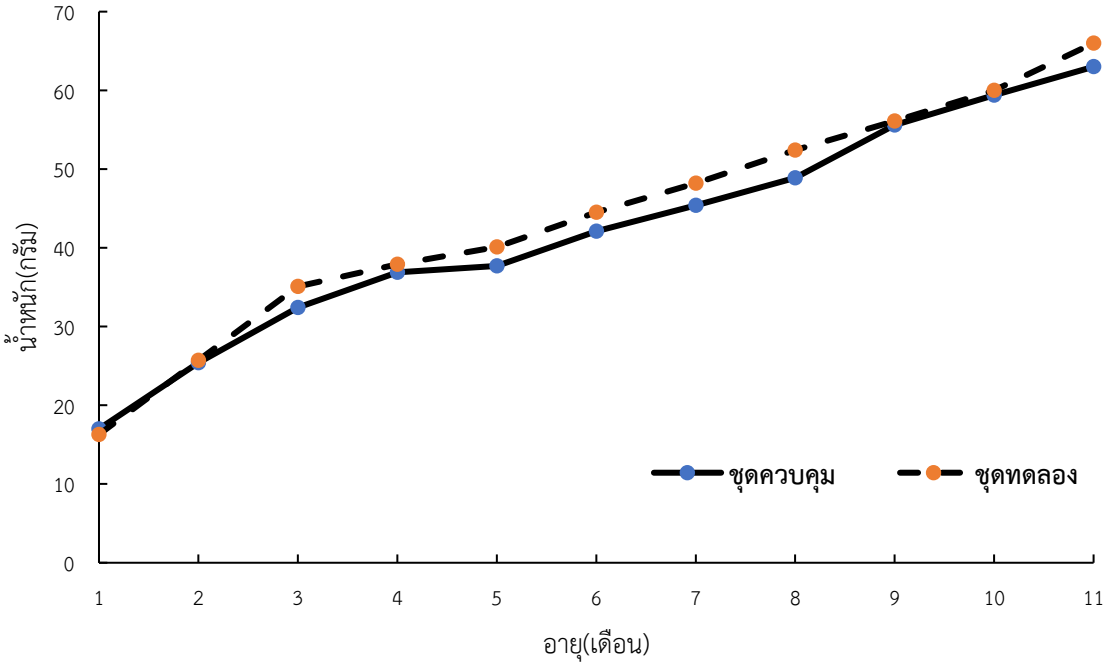
ตารางที่ 4 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

รายละเอียด	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ผลผลิตปลาเฉลี่ยทั้งหมด (กิโลกรัม)	240.18	310.19
ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	150	160
รายได้ทั้งหมด (บาท)	36,027	49,630.40
ต้นทุนคงที่ (บาท)	21,649	21,442
ต้นทุนผันแปร (บาท)	74,232	62,400
ต้นทุนรวม (บาท)	95,881	83,842
กำไร/ขาดทุนคิดเฉพาะต้นทุนผันแปร (บาท)	-38,205	-12,769.60
กำไรคิดต้นทุนคงที่+ต้นทุนผันแปร (บาท)	-59,854	-34,211.60
จุดคุ้มทุน (บาท/กิโลกรัม)	309.07	201.17

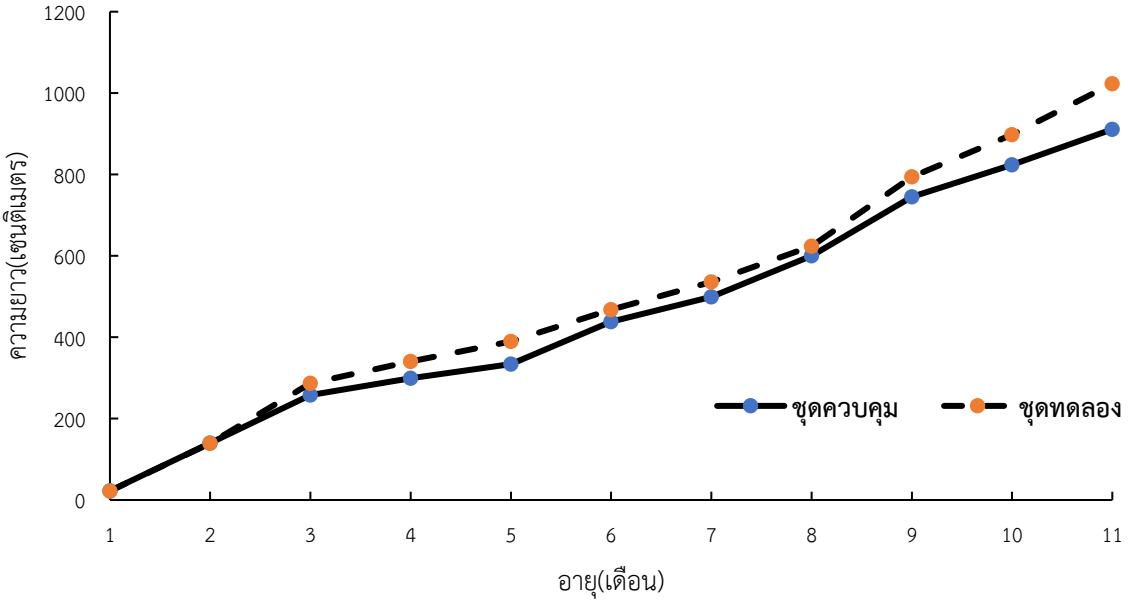
4. ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการเลี้ยงที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน กับการเลี้ยงด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

4.1 อัตราการเจริญเติบโตของปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน เปรียบเทียบในชุดควบคุมและชุดทดลอง

ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดควบคุม และการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 897±77.21 และ 1,001.00±42.89 กรัม ความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 63.11±7.89 และ 66.29±7.88 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการรอดตาย เท่ากับ 69.00±2.74 และ 75.00±0.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 2.65±0.97 และ 2.97±0.21 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย เท่ากับ 1.62±0.24 และ 1.56±0.12 และน้ำหนักปลารวมเฉลี่ยเท่ากับ 216.63±15.67 และ 262.76±26.78 กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 15-16 และตารางที่ ***5***



ภาพที่ 15 น้ำหนักปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม



ภาพที่ 16 ความยาวของปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเปรียบเทียบการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคนในชุดทดลอง และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในชุดควบคุม

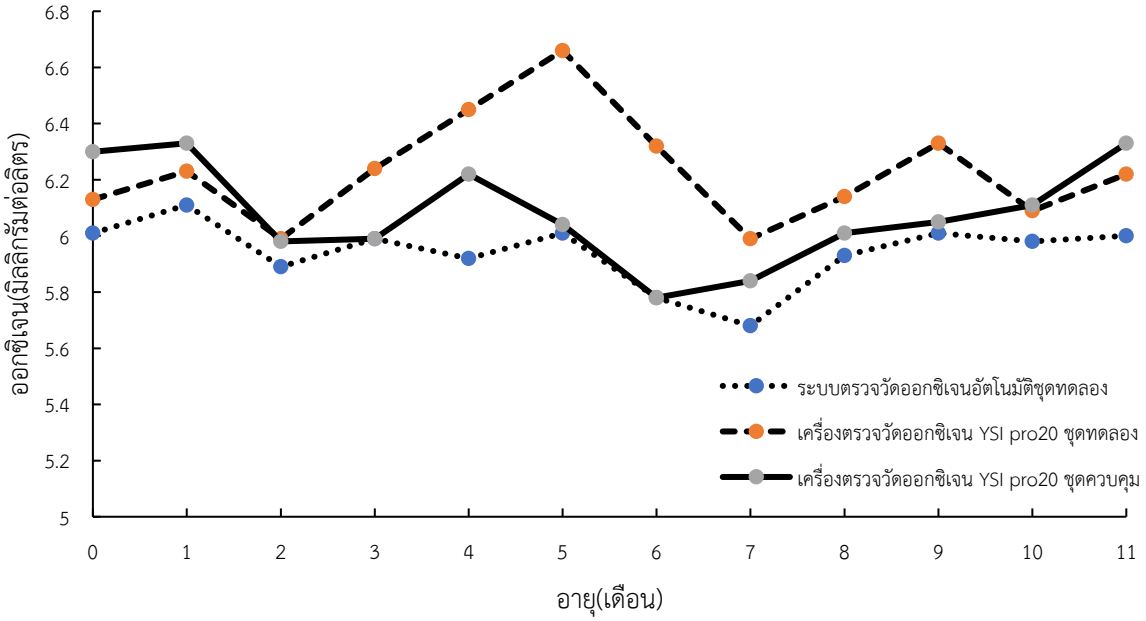
ตารางที่ 5 ผลการทดลองเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	22.40±0.80[a]	22.10±0.50[a]
ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	17.00±0.90[a]	16.30±1.10[a]
น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กรัม)	897.00±77.21[a]	1,001.00±42.89[b]
ความยาวสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (เซนติเมตร)	63.11±7.89[a]	66.29±7.88[a]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย	1.62±0.24[a]	1.56±0.12[a]
อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย (กรัม)	2.65±0.97[a]	2.97±0.21[a]
อัตรารอดตายเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	69.00±2.74[a]	75.00±5.12[b]
ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/บ่อ)	216.63±15.67	262.76±26.78

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

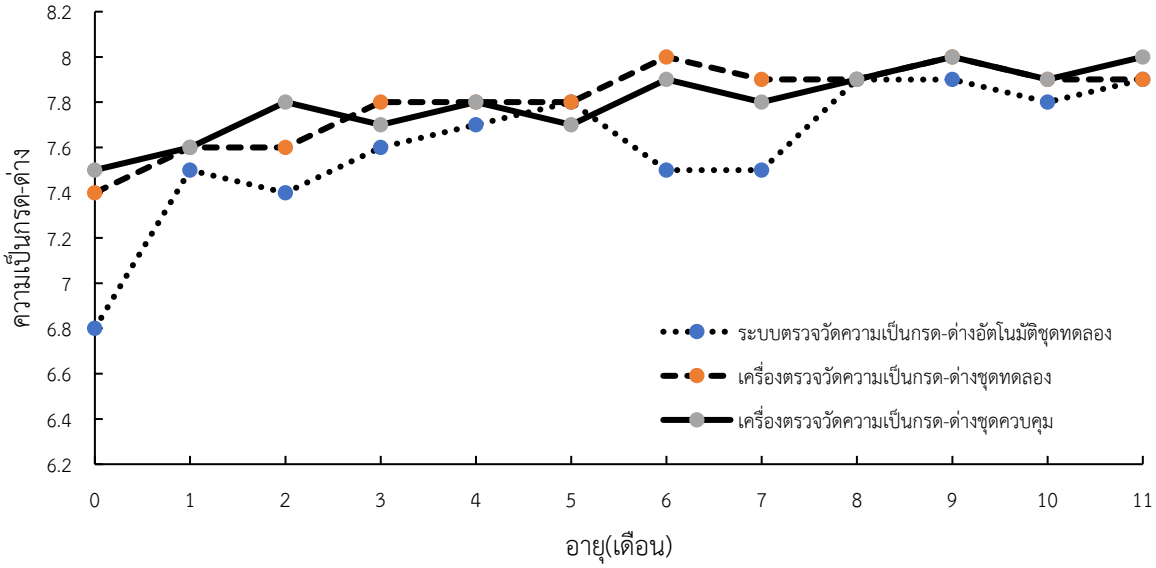
4.2 ผลคุณภาพน้ำของปลาช่อนทะเลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือนเปรียบเทียบในชุดควบคุมและชุดทดลอง

4.2.1 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ได้จากการตรวจวัดค่าจากเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์รุ่น YSI pro20 ชุดควบคุม ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติชุดทดลอง และค่าที่ได้จากการตรวจวัดค่าของเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์ รุ่น YSI pro20 ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.08±0.18, 5.94±0.11 และ 6.23±0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงค่าดังภาพที่ 17



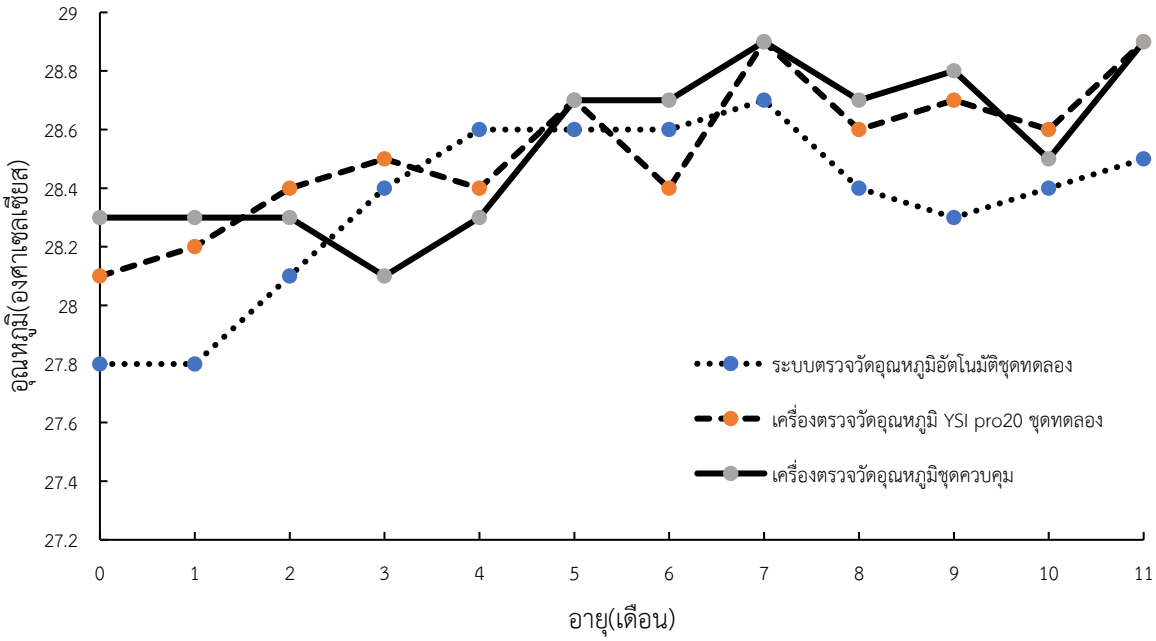
ภาพที่ 17 ค่าปริมาณออกซิเจนจากเครื่องวัดออกซิเจน เซนเซอร์ YSI pro20 ในชุดควบคุม ค่าปริมาณออกซิเจนจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติชุดทดลอง และค่าปริมาณออกซิเจนจากเครื่องวัดออกซิเจนเซนเซอร์ YSI pro20 ในชุดทดลอง

4.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดควบคุมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง WTW multiline 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดทดลองจากระบบตรวจวัดคุณน้ำอัตโนมัติ และค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดทดลองที่ตรวจวัดโดยเครื่อง WTW multiline 4 มีค่าเท่ากับ 7.80±0.15, 7.61±0.31 และ 7.8±0.18 ตามลำดับแสดงค่าที่ตรวจวัดได้แต่ละเดือนดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัด WTW multiline 4 ในชุดควบคุมค่า ความเป็นกรด-ด่างจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และค่าความเป็นกรด-ด่างจากเครื่องตรวจวัด WTW multiline 4 ในชุดทดลอง

4.2.3 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในชุดควบคุมที่ตรวจวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ปริมาณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้จากระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติชุดทดลอง และปริมาณค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.54±0.27, 28.35±0.30 และ 28.53±0.24 องศาเซลเซียส ตามลำดับแสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ในชุดควบคุม ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากระบบตรวจวัดอัตโนมัติในชุดทดลอง และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ YSI pro20 ในชุดทดลอง

4.2.4 ปริมาณคุณภาพน้ำพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ค่าแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท ความเป็นด่าง และความเค็มมีค่าอยู่ในระดับที่ปกติ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงแสดงค่าดังตารางตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลคุณภาพน้ำพารามิเตอร์อื่น ๆ ในบ่อเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนียรวมในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.30-0.99	0.30-0.99
แอมโมเนียรวมในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.21-0.94	0.30-0.81
ไนไตรท์ในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.22-0.87	0.22-0.87
ไนไตรท์ในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.22-0.71	0.39-0.74
ไนเตรทในระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.00-34.00	5.00-34.00
ไนเตรทในบ่อทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.00-32.00	3.00-38.00
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	121-189	121-189
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	25-28	25-28

4.3 ต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน เปรียบเทียบการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยแรงงานคน (ชุดควบคุม) กับการใช้ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ(ชุดทดลอง)

ต้นทุนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 11 เดือน พบว่าต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองมีต้นทุนทั้งหมด 93,414 บาท และ 90,629 บาท คิดเป็นต้นทุนคงที่เท่ากับ 21,606 บาท และ 21,558 บาท ต้นทุนผันแปรเท่ากับ 71,808 บาท และ 69,071 บาทโดยชุดควบคุมมีสัดส่วนต้นทุนผันแปรดังนี้ค่าแรงงานเท่ากับ 42.39 เปอร์เซ็นต์ ค่าอาหารเท่ากับ 18.73 เปอร์เซ็นต์ ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ค่าพันธุ์ปลาเท่ากับ 5.62 เปอร์เซ็นต์ และค่าอื่น ๆ เท่ากับ 0.80 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองมีสัดส่วนต้นทุนผันแปรดังนี้ค่าอาหารปลาเท่ากับ 22.55 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงงานเท่ากับ 21.85 เปอร์เซ็นต์ ค่าวัสดุไฟฟ้าเท่ากับ 13.61 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานเท่ากับ 11.59 เปอร์เซ็นต์ ค่าลูกพันธุ์ 5.78 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ เท่ากับ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบต้นทุนของชุดควบคุม และชุดทดลองในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียน

ประเภท	สัดส่วนต้นทุน			
	ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
	บาท	เปอร์เซ็นต์	บาท	เปอร์เซ็นต์
ต้นทุนคงที่				
1. ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ - โครงสร้างบ่อเลี้ยง - ระบบหมุนเวียนน้ำ	20,000	21.41	20,000	22.07
2. ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	1,606	1.72	1,558	1.72
รวม	21,606	23.13	21,558	23.79
ต้นทุนผันแปร				
1. ค่าพันธุ์ปลา	5,250	5.62	5,250	5.78
2. ค่าอาหารปลา	17,496	18.73	20,436	22.55
3. ค่าวัสดุไฟฟ้า	-	-	12,335	13.61
4. ค่าไฟฟ้า	8,712	9.33	10,500	11.59
5. ค่าสารเคมีและยารักษาโรค	750	0.80	750	0.83
6. ค่าแรงงาน	39,600	42.39	19,800	21.85
รวม	71,808	76.87	69,071	76.21
รวมทั้งหมด (บาท/บ่อ/รุ่น)	93,414	100.00	90,629	100.00

4.4 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนโดยการใช้ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติและการตรวจสอบด้วยแรงงานคน

ผลตอบแทนเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเวลาการเลี้ยง 11 เดือน คิดคำนวณจากข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากการใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติ ร่วมกับข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากการใช้

ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำอัตโนมัติ พบว่าชุดควบคุมได้ผลผลิตปลาช่อนทะเลทั้งหมดเท่ากับ 216 กิโลกรัม ชุดทดลองได้ผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 262 กิโลกรัม คิดเป็นรายได้เท่ากับ 32,400 บาท และ 41,920 บาท ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีจุดคุ้มทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัมเท่ากับ 332 บาท และชุดทดลองเท่ากับ 263 บาท แสดงข้อมูลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลตอบแทนการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 11 เดือน

รายละเอียด	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ผลผลิตปลาเฉลี่ยทั้งหมด (กิโลกรัม)	216	262
ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	150	160
รายได้ทั้งหมด (บาท)	32,400	41,920
ต้นทุนคงที่ (บาท)	21,606	21,558
ต้นทุนผันแปร (บาท)	71,808	69,071
ต้นทุนรวม (บาท)	93,414	90,629
กำไร/ขาดทุนคิดเฉพาะต้นทุนผันแปร (บาท)	-39,408	-27,151
กำไรคิดต้นทุนคงที่+ต้นทุนผันแปร (บาท)	-61,014	-48,709
จุดคุ้มทุน (บาท/กิโลกรัม)	332	263

วิจารณ์ผลการศึกษา

การออกแบบระบบให้อาหารอัตโนมัติ โดยการใช้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยูโน่เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบให้อาหารอัตโนมัติ และรับสัญญาณอนาล็อคจากเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียง มาประมวลผลตามคำสั่งควบคุมการจ่ายอาหารของมอเตอร์จ่ายอาหารให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ระบบให้อาหารดังกล่าวทำงานได้อย่างต่อเนื่องจ่ายอาหารให้ปลากินได้ตามเงื่อนไข ผลจากการเลี้ยงทำให้ขนาดปลามีขนาดใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงที่ไม่ใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติเห็นได้ชัดเจนว่าการเลี้ยงด้วยการให้อาหารอัตโนมัติมีประสิทธิภาพดีกว่า การใช้เครื่องให้อาหารแบบอัตโนมัติเพื่อเลี้ยงสัตว์น้ำเริ่มมีการทดลองใช้กันแพร่หลาย ชนาภา และคณะ (2564) ได้พัฒนาระบบการให้อาหารปลานิลแบบอัตโนมัติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูอิโน่ เมกะ (Arduino mega) เพื่อนำมาทดลองเลี้ยงปลานิลเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยแรงงานคน พบว่าน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลานิลดีกว่าการเลี้ยงด้วยแรงงานคน และการเลี้ยงด้วยระบบให้อาหารอัตโนมัติยังทำให้เห็นว่าขนาดของปลาที่เลี้ยงมีขนาดที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ดีกว่าการเลี้ยงด้วยแรงงานคน การวิจัยดังกล่าวมีผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองในประเทศอินโดนีเซียของ Susilawati *et al*. (2023) ออกแบบระบบการให้อาหารปลาอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนในการควบคุมการให้อาหารปลานิล และปลาคาร์ป สามารถลดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อได้จาก 1.44 ลงเหลือ 1.15 และมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency) จาก 69.4 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 86.8 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติ หรือ

การเลี้ยงของชุดทดลองยังมีต้นทุนด้านไฟฟ้าที่สูงกว่าการเลี้ยงของชุดควบคุม โดยมีสัดส่วนค่าไฟฟ้าเท่ากับ 22.22 เปอร์เซ็นต์ และ 19.95 เปอร์เซ็นต์ซึ่งประเด็นดังกล่าวถือเป็นข้อด้อยของการใช้ระบบให้อาหารอัตโนมัติ แต่ในอนาคตสามารถใช้แหล่งพลังงานทางเลือก เช่น เซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงาน และสามารถลดต้นทุนลงได้การทดลองของ Silalahi *et al*. (2023) ได้พัฒนาระบบการให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติโดยการใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกลทำงานร่วมกับระบบ (LoRa TTGO SX1276) และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี32 ส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT และใช้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้เลี้ยงปลาน้ำจืดในอัตราความหนาแน่นที่สูง ผลจากการใช้งานทำให้การเลี้ยงปลามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต้นทุนการเลี้ยงต่ำใช้งานง่ายเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือจากข้อมูลต่าง ๆ ที่รายงานพบว่าการใช้ระบบให้อาหารอัตโนมัติเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์และแก้ปัญหาการเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างเหมาะสม

การออกแบบระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ที่ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของน้ำ และออกแบบให้ระบบส่งค่าการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ผ่านหน้าจอตู้ควบคุมและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตค่าแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอุปกรณ์ต่าง ๆ มีความเสถียรในระดับดี เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ที่ตรวจวัดได้คิดเป็น 8.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความคลาดเคลื่อน 2.0 เปอร์เซ็นต์ และค่าอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อน 0.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การนำเอาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีงานศึกษาของ วิทยา และคณะ (2568) ทดลองอนุบาลลูกปลากะพงขาวโดยใช้การอนุบาลด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เปรียบเทียบกับการอนุบาลโดยใช้เครื่องตรวจวัดออกซิเจน และอุณหภูมิอัตโนมัติและเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายของการอนุบาลปลากะพงขาว โดยใช้เครื่องตรวจวัดออกซิเจน และอุณหภูมิอัตโนมัติและเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียนมีค่าสูงกว่าการอนุบาลด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำและไม่มีระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สุพรรษา (2564) พัฒนาระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัจฉริยะด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งและระบบแผนที่ออนไลน์ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำประปา พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และ ความขุ่นใสของน้ำสามารถตรวจวัดได้แบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งานบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสมนอกเหนือจากนี้ยังมีการศึกษาของ ธารารัตน์ (2562) การพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำสำหรับติดตามและเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเลี้ยงปลาในกระชังด้วย IoT และซอฟต์แวร์รหัสเปิดโดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง และ ความขุ่นใสในกระชังเลี้ยงปลาทับทิม ตำบลงิ้วงาม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ระบบสามารถส่งข้อมูลมายังผู้ใช้งานให้บริหารจัดการด้านการเลี้ยงได้อย่างเหมาะสมและทันท่วงที นอกเหนือจากนี้ การผลิตอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติรับส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT ของบริษัท แฮปปี้ฟาร์มเกิดผล จำกัด ผลิตเครื่องมือตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดสอบคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบน้ำหมุนเวียนของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่งสามารถส่งข้อมูลได้อย่างแม่นยำผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการการเลี้ยงได้สะดวกและรวดเร็วทำให้ลดความเสี่ยงเรื่องการการตายของสัตว์น้ำลงได้ จะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาศักยภาพการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงในกระชัง บ่อดิน ระบบน้ำหมุนเวียน หรือแม้แต่การใช้งานในภาคเกษตรกรรม งานประปาต่าง ๆ จึงเห็นว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มศักยภาพให้ครอบคลุมคุณภาพน้ำหลากหลายพารามิเตอร์ และหาแนวทางลดต้นทุนค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้เกษตรกรสามารถทราบค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมเอาไว้นำไปใช้งานได้ในอนาคต

สรุปผลการศึกษา

1. การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ยูโน ทำงานร่วมกันกับเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นเสียงรุ่น HC-SR04 5V เพื่อประยุกต์มาเป็นระบบตรวจวัดพฤติกรรมการกินอาหารเพื่อควบคุมการจ่ายอาหารปลาแบบอัตโนมัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่สามารถใช้ในการเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน่ยูโน่ ทำงานร่วมกับโนดเอ็มซียูอีเอสพี 8266 ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พร้อมกับการแจ้งเตือนค่าต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ใช้ในการเลี้ยงปลาช่อนทะเลในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นการออกแบบ และประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมทำให้การเลี้ยงมีความปลอดภัยผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปบริหารการเลี้ยงปลาช่อนทะเลลดความเสียหายในระหว่างการเลี้ยงได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานด้านการพัฒนาอุปกรณ์ดังนั้นการจะใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบมาให้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพผู้ใช้งานควรศึกษาระบบต่าง ๆ ให้เข้าใจอย่างละเอียดเพื่อให้การใช้งานสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้ แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แต่ละตัวมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมไม่เหมือนกันบางตัวทนทานในสภาวะน้ำทะเลได้ดีบางตัวทนทานได้น้อยจึงทำให้ค่าที่ตรวจวัดออกมาหรือการทำงานอาจจะผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องหมั่นตรวจวัดดูแลบ่อย ๆ รวมทั้งจัดโปรแกรมสำหรับเฝ้าระวังและบำรุงรักษาให้หมาะสมจะทำให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

กฤษณะ จันทรปรางค์ และพรพิมล ทิวแพ. 2566. การเลี้ยงปูทะเล (*Scylla paramamosian* Estampador, 1949) ขนาด 0.5 เซนติเมตรจนถึงขนาด 5 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นต่างกันในบ่อดินด้วยอาหารกุ้งขาวแวนนาไม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2566 กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, 23 หน้า.

ชนาภา เทพเสนา, อาทิตย์ คูณศรีสุข และ สมร พรชื่นชูวงศ์. 2564. การพัฒนาระบบการให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติสำหรับการเลี้ยงปลานิล. วารสารแก่นเกษตร THAIJO 50 (1): 124-137.

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. โฟร์เพซ, กรุงเทพมหานคร. 481 หน้า.

ธารารัตน์ หัฐบูรณ์. 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 พิชญา ชัยนาค. 2568. การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกปลากะพงขาวแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำกับระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอัตโนมัติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2568. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งภูเก็ต, กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 26 หน้า.

สมบูรณ์ ชิตพงษ์. 2537. สถิติวิจัยและการประเมินผลการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่3). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชนนทบุรี, นนทบุรี. 217 หน้า.

สุพรรษา จันทร์หอม. 2564. การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัจฉริยะด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 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 implemention 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.

ภาคผนวก

1. ผลการศึกษาทดสอบดูพฤติกรรมการกินอาหารของปลาในแต่ละขนาดโดยใช้ระบบการให้อาหารอัตโนมัติ

ตารางผนวกที่ 1 การกระเพื่อมของน้ำที่ได้จากการทดสอบการกินอาหาร

น้ำหนักปลา (กรัม)	ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้ในช่วงที่ปลากินอาหาร (เซนติเมตร)
ต่ำกว่า 100	1-2
100-200	2-3
200-300	2-3
300-400	2-4
400-500	2-5
500-600	2-6
600-700	2-8
700-800	2-8
800-900	2-10
900-1000	2-10

จากการทดลองที่ได้แสดงว่าปลาแต่ละขนาดมีพฤติกรรมการกินอาหารที่ทำให้ระดับการกระเพื่อมของน้ำแตกต่างกัน จากประเด็นดังกล่าวจึงนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนดเงื่อนไขในการสั่งปล่อยอาหารให้ปลากิน ดังนั้นการทดลองจึงกำหนดค่าการทำงานดังนี้ เมื่อเซนเซอร์ได้ตรวจจับระดับน้ำในสภาวะปกติที่ไม่มีการกินอาหารของปลาได้ที่ระยะ 100 เซนติเมตร ในตัวโปรแกรมจะนำค่าที่ได้จากตารางมารวมกับค่าที่วัดได้ในสภาวะปกติ ตัวอย่าง ตามตารางที่ 1 ที่ขนาดปลา 100-200 กรัม หากปลากินอาหารจะมีค่าการกระเพื่อมของน้ำเท่ากับ 2-3 เซนติเมตร เมื่อนำค่าทั้ง 2 มาคำนวณเพื่อกำหนดขอบเขตการปล่อยอาหาร ค่าที่ตรวจวัดได้ ตั้งแต่ 98-103 เซนติเมตร จะปล่อยอาหารออกมา แต่หากตรวจวัดค่าได้นอกเหนือจากนี้ เช่น 97-96-95 หรือ 104-105-106 เซนติเมตร ก็จะไม่ปล่อยอาหารออกมา