

การพัฒนาหน่วยแยกตะกอนและผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำ
ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

นายศิวฤกษ์ หนูฤทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย



DEVELOPMENT OF SOLID SEPARATING UNIT AND THE EFFECT OF SOLID TO
WATER QUALITY IN CLOSED AQUACULTURE SYSTEM

Mr. Siwaruek Nurit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาหน่วยแยกตะกอนและผลของตะกอนต่อ คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด
โดย	นายศิวฤกษ์ หนูฤทธิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชุตินิพนธ์ สติรพิพัฒน์กุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.มะลิวัลย์ คุตะโค)

ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ : การพัฒนาหน่วยแยกตะกอนและผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. (DEVELOPMENT OF SOLID SEPARATING UNIT AND THE EFFECT OF SOLID TO WATER QUALITY IN CLOSED AQUACULTURE SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศศ.ดร.กษิธิศ หนูทอง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข, 160 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้แยกตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของตัวกรองชีวภาพไนโตรฟิกเคชันและดีไนโตรฟิเคชัน อีกทั้งนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนไปเป็นตะกอนหัวเชื้อของระบบบำบัดและหมุนเวียนน้ำแบบไบโอฟลอคโดยผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน

ผลจากการทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์สูงขึ้นและเป็นอันตรายต่อปลานิลได้ เมื่อปลานิลอยู่ในสภาวะนั้นเป็นเวลานานซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบแยกตะกอนเพื่อช่วยควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ผลจากการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนรูปแบบต่างๆที่ออกแบบขึ้น ซึ่งมีลักษณะต่างกัน 5 รูปแบบพบว่าหน่วยแยกตะกอนที่บรรจุแผ่นกั้นภายในเป็นแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นมีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนดีที่สุดในอัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพ $71.3 \pm 2.4\%$ และเมื่อนำหน่วยแยกตะกอนดังกล่าวไปทดสอบเบื้องต้นกับการเพาะเลี้ยงปลานิลในระบบปิดโดยไม่มีระบบตัวกรองชีวภาพจะพบว่าบ่อที่มีหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำและความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรทได้ต่ำกว่าบ่อไม่มีหน่วยแยกตะกอนได้ ผลจากการทดลองส่วนที่ 3 ศึกษาการใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ปลานิล) แบบปิดที่ผสมผสานตัวกรองชีวภาพไนโตรฟิกเคชันและดีไนโตรฟิเคชันพบว่าการปิดหน่วยแยกตะกอนมีผลทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรทเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและเติมเมทานอล ก็จะพบว่าสามารถควบคุมปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรทให้มีค่าต่ำกว่า 0.4, 0.6 และ 15.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับได้อีกทั้งมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำประมาณ 35 มิลลิกรัมต่อลิตรตลอดการทดลอง สำหรับการทดลองส่วนที่ 4 ศึกษาศักยภาพและบทบาทของตะกอนที่มีต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนโตรฟิเคชันในระบบไบโอฟลอคนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนในการทดลองส่วนที่ 3 หลังจากเลี้ยงปลานิลไปได้ 45 วัน ซึ่งมีความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร มาเป็นตะกอนหัวเชื้อเพื่อเร่งให้มีการเกิดไบโอฟลอคใส่ในบ่อทดลอง ผลการทดลองพบว่าบ่อทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมคุณภาพน้ำและปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้นอกจากนี้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตรยังสามารถช่วยบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้เช่นกัน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี.....	ลายมือชื่อนิติ.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2554.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5270803721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS : AQUACULTURE / BIOFILTERS / NITRIFICATION / RAS / SOLID

SIWARUEK NURIT : DEVELOPMENT OF SOLID SEPARATING UNIT AND THE EFFECT OF SOLID TO WATER QUALITY IN CLOSED AQUACULTURE SYSTEM.

ADVISOR : ASST. PROF. KASIDIT NOOTONG, Ph.D., CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 160 pp.

This research aims to develop the solid separating system for closed-water aquaculture and assess the system performance with aims to improve the efficiency of nitrifying and denitrifying biofilters in treatment inorganic nitrogen compounds. The research also investigates the possibility of utilizing the separated solid as microbial seeding in biofloc aquaculture system. The experiment result is divided in 4 parts.

The first experiment studied the effect of solid on water quality. The result indicated that high concentration of suspended solids led to accumulation of ammonia and nitrite at dangerous levels for extended period, thereby confirming the need of solid separating system. The second experiment developed the solid separating system and conducted testing of the proposed designs. Evaluation of the proposed systems showed that the separating unit containing 8-storey circular PVC sheet was the most effective at 71.3±2.4% removal efficiency at the flow rate of 180 L/hr. The initial testing of this particular unit with the closed-water tilapia cultivation (without biofilters) demonstrated that the presence of solid separating system could lower the concentration of ammonia, nitrite, nitrate and suspended solids in comparison with the cultivation without the solid removal. In the third experiment, the solid separating unit was used with aquaculture (i.e., tilapia) system integrating nitrifying and denitrifying biofilters. Increasing ammonia, nitrite and nitrate concentrations as well as increasing suspended solids were observed when the solid separating system was not in use. In contrast, simultaneous operation of the solid separating system along with optimal supply of methanol to denitrifying biofilter could maintain acceptable ammonia, nitrite and nitrate concentrations below 0.4, 0.6 and 15.9 mg N/L and suspended solid concentration less than 35 mg SS/L. For the last experiment, separated solids were used as microbial seeding for biofloc system. The result indicated the suspended solids in water in the range from 300 to 500 mg SS/L could keep ammonia and nitrite concentrations in acceptable range. Moreover, the presence of biofilters and solid removal system was crucial in maintaining acceptable inorganic nitrogen and suspended solid concentrations.

Department: Chemical Engineering

Student's Signature.....

Field of Study: Chemical Engineering

Advisor's Signature.....

Academic Year: 2011

Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิธิศ หนูทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังชน โรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ชุตินิพนธ์ สติรพิพัฒน์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.มะลิวัลย์ คุตะโค กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาชี้แนะ แก้ไขวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ตลอดการเรียนเป็นเวลา 2 ปี

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่สำหรับการวิจัย ตลอดจนให้ความกรุณาและอำนวยความสะดวกสำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ปริษา พี่นฤมล พี่เอกชัย และพี่ๆเพื่อนๆน้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี ทุกคนที่ได้คอยให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาของมูลนิธิธินิสิตเก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนวิจัยจากโครงการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ FW0670B) ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย ที่จำเป็นทำให้การทดลองต่างๆของวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปด้วยดี

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และญาติๆทุกท่าน ที่มอบความรัก กำลังใจ และสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆด้าน ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	5
2.2 ข้อดีและข้อเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด	6
2.3 ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	7
2.3.1 แอมโมเนีย.....	7
2.3.2 ไนโตรที่	8
2.3.3 ไนเตรท.....	8
2.3.4 ความเป็นกรดต่าง	8
2.3.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ.....	9
2.3.6 ไฮโดรเจนซัลไฟด์	10
2.3.7 อุณหภูมิ.....	10
2.3.8 ความขุ่น.....	10
2.4 กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดไนโตรเจนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	11
2.4.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน	11
2.4.2 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	12

2.4.3	กระบวนการ Anaerobic Ammonium Oxidation.....	13
2.4.4	กระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์.....	14
2.5	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	15
2.6	กระบวนการแยกเชิงกล-ฟิสิกส์	16
2.6.1	การใช้ตะแกรงร่อน	16
2.6.2	การตกตะกอน	16
2.6.3	การกรอง	16
2.6.4	การเหวี่ยงแยก.....	16
2.7	การแยกตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	16
2.7.1	การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง	16
2.7.2	การกรอง	17
2.7.3	การลอยตัว.....	17
2.8	การตกตะกอน	17
2.8.1	การจมตัวประเภทที่ 1.....	18
2.8.2	การจมตัวประเภทที่ 2.....	18
2.8.3	การจมตัวประเภทที่ 3.....	18
2.8.4	การจมตัวประเภทที่ 4.....	19
2.9	หลักเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบถังตกตะกอน.....	19
2.9.1	ลักษณะสมบัติในด้านการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย.....	19
2.9.2	ลักษณะสมบัติในด้านพลศาสตร์ของถังตกตะกอน	19
2.10	ปลานิล.....	20
2.10.1	รูปร่างลักษณะ	20
2.10.2	คุณสมบัติและนิสัย	21
2.10.3	การสืบพันธุ์.....	21
2.11	ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย		30
3.1	การดำเนินการทดลอง	30
3.1.1	การทดลองส่วนที่ 1	30
3.1.2	การทดลองส่วนที่ 2	31

3.1.3 การทดลองส่วนที่ 3	36
3.1.4 การทดลองส่วนที่ 4	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
4.1 ผลการศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดใน โรงเรียนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน.....	47
4.1.1 ระบบเพาะเลี้ยงปลานิลรอบที่ 1	47
4.1.2 ระบบเพาะเลี้ยงปลานิลรอบที่ 2	50
4.2 ผลศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น	53
4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอน	53
4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพ สูงสุดร่วมกับการเลี้ยงปลานิลในระบบบ่อเลี้ยงแบบปิดในโรงเรียน.....	58
4.3 ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดใน โรงเรียน.....	62
4.3.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม	64
4.3.2 ผลการเจริญเติบโตของปลานิล.....	69
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ด้านการลงทุน	71
4.3.4 ผลการประเมินสมมูลในโตรเจน.....	71
4.4 ผลการศึกษาบทบาทของกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟลอค ต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียน	73
4.4.1 ผลการทดลองเลี้ยงปลานิลในบ่อที่มีการเติมตะกอนไบโอฟลอคร่วมกับ ตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ.....	73
4.4.2 ผลการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่ที่มีการทำงาน ร่วมกับหน่วยแยกตะกอนเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96

ภาคผนวก ข.....	100
ภาคผนวก ค.....	110
ภาคผนวก ง.....	133
ภาคผนวก จ.....	141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อดีและข้อเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด.....6
2.2	มาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....7
2.3	ความสัมพันธ์ของค่าค่าความเป็นกรด ต่างกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ9
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับผลกระทบต่อสัตว์น้ำ9
2.5	สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชัน 11
2.6	ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่จะไปยับยั้งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน 12
2.7	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพชนิดต่างๆ 15
2.8	การเจริญเติบโตของปลานิล22
2.9	ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ระบบแยกตะกอนรูปแบบต่างๆ ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ26
3.1	ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล 41
3.2	พารามิเตอร์ต่างๆทางคุณภาพน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้ ในการทดลอง.....46
4.1	ประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนรูปแบบต่างๆ.....54
4.2	ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนแต่ละรูปแบบที่มี ประสิทธิภาพสูงสุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$).....55
4.3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพหน่วยแยกตะกอนในการทดลองนี้กับงานวิจัยอื่น57
4.4	ตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิล61
4.5	เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิล..... 70
4.6	ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงปลานิลแบบปิดโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างระบบ 71
4.7	สมดุลไนโตรเจนการทดลองส่วนที่ 3 72
ข-1	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำ การทดลองส่วนที่ 1.1 100
ข-2	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที การทดลองส่วนที่ 1.1 102
ข-3	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำ การทดลองส่วนที่ 1.2 104
ข-4	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที การทดลองส่วนที่ 1.2..... 106
ข-5	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและคุณภาพน้ำ การทดลองส่วนที่ 1.1 108

ตารางที่	หน้า
ข-6 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและคุณภาพน้ำ การทดลองส่วนที่ 1.2	109
ค-1 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยคว่ำ 4 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	110
ค-2 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยหงาย 4 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	111
ค-3 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 4 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	113
ค-4 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดเม็ด BCN สูง 30 เซนติเมตร ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	114
ค-5 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของถังกลวง ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	116
ค-6 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นกรวยคว่ำ 8 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	117
ค-7 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นกรวยหงาย 8 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	119
ค-8 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 8 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	120
ค-9 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยคว่ำ 14 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	122
ค-10 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยหงาย 14 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	123
ค-11 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 14 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล.....	125
ค-12 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการนำหน่วยแยก ตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน	127
ค-13 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV ₃₀) ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งาน ร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน.....	128

ตารางที่	หน้า
ค-14 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน	129
ค-15 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV ₃₀) ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน	130
ค-16 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน.....	131
ค-17 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน	132
ง-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ การทดลองส่วนที่ 3	133
ง-2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำและปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา การทดลองส่วนที่ 3	137
ง-3 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและคุณภาพน้ำ การทดลองส่วนที่ 3	140
ง-4 ข้อมูลคุณภาพน้ำ การทดลองส่วนที่ 3	141
จ-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา ศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรท์ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล๊อค ในบ่อควบคุม	142
จ-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา ศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรท์ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล๊อค ในบ่อทดลอง 1	144
จ-3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา ศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรท์ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล๊อค ในบ่อทดลอง 2	146
จ-4 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) ในการทดลองการศึกษา ศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรท์ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล๊อค.....	148

ตารางที่	หน้า
จ-5	ปริมาณตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ในการทดลองการศึกษาศักยภาพและ บทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดย กระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟลอค 150
จ-6	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิล ในบ่อควบคุม 151
จ-7	ข้อมูลคุณภาพน้ำ ในบ่อควบคุม 152
จ-8	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิล ในบ่อทดลอง 1 153
จ-9	ข้อมูลคุณภาพน้ำ ในบ่อทดลอง 1 154
จ-10	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิล ในบ่อทดลอง 2 155
จ-11	ข้อมูลคุณภาพน้ำ ในบ่อทดลอง 2 156
จ-12	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองที่ 4.2 157
จ-13	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) ในการทดลองที่ 4.2 158
จ-14	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิลและคุณภาพน้ำ ในการทดลองที่ 4.2 159

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบ่อไร้ดิน กลางแจ้งระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือนและระบบบ่อดินกลางแจ้ง	6
2.2 วัฏจักรของไนโตรเจนและกระบวนการ Anammox	14
2.3 แสดงลักษณะการตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอนุภาค.....	17
2.4 ปลานิล	21
2.5 เปรียบเทียบลักษณะเพศของปลานิลที่สมบูรณ์เพศ	22
3.1 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่ 3.1และการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่ 3.1....	31
3.2 หน่วยแยกตะกอนและรูปแบบภายใน 5 รูปแบบ	33
3.3 หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลม กรวยคว่ำ และ กรวยหงาย 8 ชั้น.....	34
3.4 ชุดทดสอบประสิทธิภาพหน่วยแยกตะกอนที่มีการติดตั้งตัวแยกตะกอนภายใน หน่วยแยกตะกอน	35
3.5 แบบจำลองการและการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น ของหน่วยแยกตะกอน	36
3.6 ภาพจำลองและแผนภาพแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยแยกตะกอน ระบบบำบัดไนตริฟิเคชันและระบบดีไนตริฟิเคชัน	37
3.7 หน่วยแยกตะกอนที่ติดตั้งร่วมกับบ่อเลี้ยงปลานิลและแผ่นกั้นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น	38
3.8 ตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันชนิด BCN-009 และ ตัวกรองชีวภาพ ไนตริฟิเคชันชนิดไยญี่ปุ่น	39
3.9 ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวและวัสดุฟองน้ำที่บรรจุอยู่ในถังบำบัด ดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาว	39
3.10 ถังทดลองพลาสติกขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตรและ หน่วยแยกตะกอน.....	43
3.11 แผนภาพแสดงบ่อทดลองการทดลองส่วนที่ 4	44
4.1 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ไม่มีการถ่ายน้ำ และแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 1).....	49
4.2 ความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 1)	49
4.3 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (การทดลองรอบที่ 1).....	50

ภาพที่	หน้า
4.4 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ไม่มีการถ่ายน้ำ และไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 2).....	52
4.5 ปริมาณความเข้มข้นแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรทในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 2)	52
4.6 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (การทดลองรอบที่ 2).....	53
4.7 ขนาดของตะกอนในการทดลองด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer.....	56
4.8 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำระหว่างการทดลองการทดสอบ ประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง	58
4.9 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์ และไนเตรทในการทดสอบ ประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง	60
4.10 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลในบ่อควบคุมและ บ่อทดลองที่มีหน่วยแยกตะกอนในวันสุดท้ายของการทดลอง	61
4.11 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ การทดลองส่วนที่ 3.....	63
4.12 ลักษณะของแผ่นกั้นภายในหน่วยแยกตะกอนหลังจากใช้แยกตะกอนแล้ว 7 วัน	64
4.13 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์และไนเตรท การทดลองส่วนที่ 3.....	67
4.14 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การทดลองส่วนที่ 3	68
4.15 ขนาดของปลานิลหลังสิ้นสุดการทดลอง	70
4.16 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำของการทดลองนี้ ในบ่อควบคุม, บ่อทดลอง 1, 2.....	74
4.17 ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาทีของการทดลองนี้ ในบ่อควบคุม, บ่อทดลอง 1, 2....	74
4.18 ลักษณะของน้ำในบ่อควบคุม, บ่อทดลอง 1 และ 2	75
4.19 ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์ และไนเตรท ในบ่อควบคุม, บ่อทดลอง 1 และ 2	77
4.20 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การทดลองส่วนที่ 4.1.....	78
4.21 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในวันเริ่มต้นและ สิ้นสุดการทดลองในบ่อทดลอง 1 และ บ่อทดลอง 2 ที่มีหน่วยแยกตะกอน	79
4.22 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของน้ำในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของ บ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และ บ่อทดลอง 2 ที่มีหน่วยแยกตะกอน	80
4.23 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ การทดลองส่วนที่ 4.2	81
4.24 ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรท การทดลองส่วนที่ 4.2	82

ภาพที่	หน้า
4.25 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การทดลองส่วนที่ 4.2.....	82
4.26 อัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนในน้ำ.....	83
4.27 อัตราการลดลงของออกซิเจนในน้ำ.....	84
ก-1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย.....	96
ก-2 กราฟมาตรฐานไนไตรท์.....	97
ก-3 กราฟมาตรฐานไนเตรท.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยมีการพัฒนารูปแบบและวิธีการเพาะเลี้ยงมาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงขาดการนำเทคโนโลยีมาช่วยควบคุมคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงและลดมลภาวะที่เกิดขึ้นอย่างเพียงพอ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิจัยและพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้เกิดความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่เดิมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมเลี้ยงแบบธรรมชาติในระบบบ่อดินกลางแจ้งทำให้ได้ผลผลิตในปริมาณไม่สูงมากนัก ต่อมาจึงได้ปรับปรุงแนวทางการเพาะเลี้ยงเป็นแบบกึ่งพัฒนา ซึ่งจะมีการปล่อยลูกพันธุ์ปลาเพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีการให้อาหาร อย่างไรก็ตามระบบการเพาะเลี้ยงทั้งสองแบบไม่สามารถรองรับความต้องการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้เกษตรกรผู้ผลิตสัตว์น้ำหันมาให้ความสนใจระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระดับความหนาแน่นสูงซึ่งจำเป็นต้องให้อาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสูงในปริมาณมาก

ปัญหาหลักของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระดับความหนาแน่นสูงคือการควบคุมคุณภาพน้ำให้ ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ในระหว่างการเพาะเลี้ยงจะเกิดเศษอาหารตกค้างอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงในปริมาณมาก ซึ่งเศษอาหารจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพภายในบ่อเพาะเลี้ยงกลายเป็นแอมโมเนียและไนไตรท์แหล่งที่มาจากอื่น ๆ ของแอมโมเนียและไนไตรท์ยังเกิดจากการย่อยสลายของเสียจากการจับถ่ายของสัตว์น้ำโดยกระบวนการทางชีวภาพภายในบ่อเลี้ยง สารอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนไตรท์หากมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับปลอดภัย (ประมาณ 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร) จะส่งผลเสียต่อสุขภาพสัตว์น้ำ วิธีการแก้ไขเบื้องต้นที่นิยมทำโดยเกษตรกรจะเปลี่ยนถ่ายน้ำกับแหล่งน้ำธรรมชาติในระบบเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นการปฏิบัติที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการติดโรคที่มากับน้ำได้ นอกจากนี้การปล่อยน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์สูงจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยปราศจากการบำบัดจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำเช่นกัน

จากข้อจำกัดของระบบเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิมและการเพาะเลี้ยงในระดับความหนาแน่นสูงในระบบเปิด จึงทำให้เกษตรกรเปลี่ยนรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเข้าสู่ระบบปิดหรือกึ่งปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำภายในฟาร์ม การบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์นิยมใช้ระบบตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียและไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรทที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่า

ไนตริไฟเคชันเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่อาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟิก ซึ่งอาศัยแอมโมเนียและสารประกอบอนินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน สภาวะเหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกลุ่มนี้อยู่ที่ความเป็นกรดค่าระหว่าง 7 ถึง 8.2 อุณหภูมิระหว่าง 20 ถึง 35 องศาเซลเซียส และอัลคาไลน์ตีระหว่าง 100 ถึง 150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร การใช้งานระบบตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันเป็นระยะเวลานานจะมีการสะสมของไนเตรทในระดับสูง ถึงแม้ว่าไนเตรทจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่การสะสมในระดับความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์น้ำได้ โดยเมื่อความเข้มข้นของไนเตรทสูงเกิน 50 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรก็จำเป็นต้องมีการถ่ายน้ำบางส่วนเพื่อกำจัดไนเตรทออกไป ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรทโดยกระบวนการดีไนตริไฟเคชันเพื่อให้การบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ปัญหาสำคัญของการใช้งานระบบตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันและดีไนตริไฟเคชันคือการสะสมของตะกอนบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพ ตะกอนเหล่านี้มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนบนซึ่งสามารถลดหรือหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับในกระบวนการไนตริไฟเคชันและดีไนตริไฟเคชันได้ นอกจากนี้การสะสมของตะกอนบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพในปริมาณมากอาจทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ ซึ่งนำไปสู่การผลิตสารพิษอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาหน่วยแยกตะกอนเพื่อคงประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพจึงมีความจำเป็นควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยระบบแยกตะกอนต้องสามารถลดปริมาณตะกอนในน้ำของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบพัฒนาได้ดี ประหยัดพลังงาน ใช้งานง่าย ทำจากวัสดุที่คงทนและหาได้ง่ายในท้องถิ่น และสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันและดีไนตริไฟเคชันได้

ในงานวิจัยนี้ยังมีแผนการประเมินศักยภาพของตะกอนที่แยกได้เพื่อที่จะใช้งานเป็นตะกอนหัวเชื้อในระบบหมุนเวียนน้ำแบบไบโอฟล็อกซึ่งมีหลักการบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกับระบบตะกอนเร่ง การศึกษาดังกล่าวจะเป็นทางเลือกใหม่ของการนำตะกอนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไปใช้ประโยชน์ซึ่งในปัจจุบันนิยมนำไปผลิตปุ๋ยหรือก๊าซชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการแยกตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดขนาดเล็ก
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเมื่อมีการแยกตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ศึกษาผลกระทบของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระดับความหนาแน่นปานกลางถึงสูงในระบบปิด โดยเพาะเลี้ยงปลาชนิดที่ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลา 45 วัน โดยจะเก็บข้อมูลปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท
2. ศึกษาเบื้องต้นเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานหน่วยแยกตะกอนที่ออกแบบขึ้นมา โดยจะศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำหรือเวลาที่กักเก็บตะกอน ประเภทของหน่วยแยกตะกอนและลักษณะการออกแบบภายในหน่วยแยกตะกอน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแยกตะกอนในการทดลองจะใช้อัตราการไหลของน้ำในช่วง 100 ถึง 600 ลิตรต่อชั่วโมง ชนิดของหน่วยแยกตะกอนทั้งหมด 5 รูปแบบ และจำนวนแผ่นกั้นภายในภายในหน่วยแยกตะกอนที่ 4 8 และ 14 ชั้น ในระหว่างการทดลองจะเก็บข้อมูลปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากนั้นจะนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาทดลองเปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีการแยกตะกอนโดยจะทดลองเลี้ยงปลาชนิดเป็นเวลา 45 วัน
3. คัดเลือกหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและนำมาใช้งานร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิด ทำการเพาะเลี้ยงปลาชนิด (*Oreochromis niloticus*) โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำที่ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรติดตามผลการทดลองโดยวัดดัชนีคุณภาพน้ำจากบ่อเลี้ยงซึ่งประกอบด้วยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที ความ

เข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท และอัตราการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากนี้จะเปรียบเทียบลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ในส่วนนี้จะทำการทดลอง 98 วัน

- ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานตะกอนที่แยกได้เพื่อเป็นหัวเชื้อในระบบหมุนเวียนน้ำแบบไบโอฟล็อก โดยจะวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ และอัตราการใช้ออกซิเจน ทำการเพาะเลี้ยงปลานิลโดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำที่ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เกิดการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในประเทศไทย ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณของเสียที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และเกิดการผลิดที่ยั่งยืน
- ได้รับแนวทางการออกแบบและใช้งานหน่วยแยกตะกอน และลดความเสี่ยงของการสูญเสียความสามารถในการบำบัดสารอนินทรีย์ในโตรเจนของตัวกรองชีวภาพโดยเฉพาะตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชัน

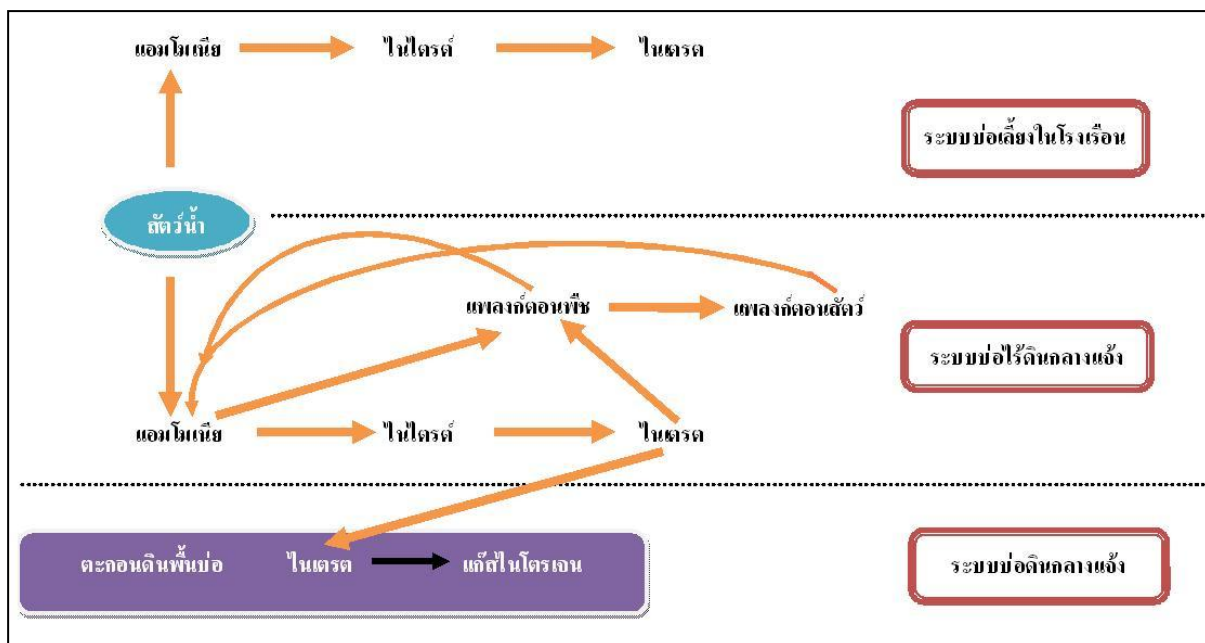
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นผลกระทบที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำคือของเสียซึ่งเกิดจากการสะสมของเศษอาหารที่เหลือจากการกินและสิ่งปฏิกูลที่สัตว์น้ำนั้นขับถ่ายออกมา โดยของเสียส่วนใหญ่จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2) และไนเตรท (NO_3) และเมื่อของเสียเหล่านี้สะสมอยู่ในปริมาณมากทำให้เกิดตะกอนและมีกลิ่นเหม็นตามมา การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นการปรับสภาพน้ำที่มีการใช้แล้วในบ่อเลี้ยงผ่านระบบบำบัดเพื่อลดปริมาณของเสียต่างๆ ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ทำให้ลดปริมาณน้ำที่ออกจากระบบซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Recirculating Aquaculture System) โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ 1. ระบบบ่อไร้อินกลางแข็งเป็นบ่อที่ไม่มีตะกอนดินก้นบ่อแต่การที่บ่อได้รับแสงตามธรรมชาติ ทำให้แพลงก์ตอนเกิดขึ้นในบ่อ ซึ่งแพลงก์ตองดังกล่าวสามารถควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อได้บางส่วน 2. ระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือนจะเป็นระบบที่ได้รับแสงน้อยและไม่มีตะกอนก้นบ่อ 3. ระบบบ่ออินกลางแข็ง ตะกอนดินก้นบ่อจะมีผลอย่างมากต่อกระบวนการบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติ ดังนั้น วัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อทั้ง 3 รูปแบบจึงมีความแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.1 (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549)



ภาพที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง ระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือนและระบบบ่อดินกลางแจ้ง (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549)

2.2 ข้อดีและข้อเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด (อนุพงศ์ มาลี, 2553 : ออนไลน์)

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถเลี้ยงได้ทุกฤดูกาลตลอดปี อาจนำเทคโนโลยีมาคอยควบคุมดูแลเพื่อแบ่งเบาภาระ เช่น การตั้งเวลาให้อาหาร บั่มสูบน้ำ บั่มให้อากาศ	1. หากเกิดปัญหาไฟฟ้าดับ จะทำให้ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเพาะเลี้ยงทำให้สัตว์น้ำตายได้
2. สามารถเลี้ยงปลาได้หลายชนิดและลดการติดโรคได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในกระชัง	2. หากเกิดโรคระบาดจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งระบบ ดังนั้นจึงต้องออกแบบมาตรการควบคุมอย่างดี
3. ใช้พื้นที่การเลี้ยงไม่มากนัก	3. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงกว่าการเลี้ยงในกระชัง
4. วัสดุอุปกรณ์สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ หากผู้ประกอบการมีวิธีการจัดการที่ดี	

2.3 ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

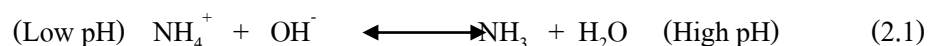
การจัดการคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญมาก หากคุณภาพน้ำไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (สุบัตินิต นิมรัตน์และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน
แอมโมเนีย	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร	0.02-3
ไนไตรท์	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร	0.45-2.1
ไนเตรท	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร	<50
ค่าความเป็นกรด ค่า	-	6.5 – 8.5
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ	มิลลิกรัมต่อลิตร	>5.0
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	<0.002
สารแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	70

2.3.1 แอมโมเนีย (NH₃)

อาหารสัตว์น้ำจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาจะอยู่ในรูปแอมโมเนียเกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ปลอดภัยควรอยู่ในช่วง 0.02-3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร(สุบัตินิต นิมรัตน์และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย (NH₃) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าแอมโมเนีย แอมโมเนียทั้ง 2 รูปแบบนี้จะเปลี่ยนรูปไปมาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดค่าและอุณหภูมิของน้ำ (Eshchar et al., 2006) ดังสมการที่ 2.1 โดยหากค่าความเป็นกรดค่าและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนียจะสูงขึ้นทำให้มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น แต่ถ้าค่าความเป็นกรดค่าและอุณหภูมิของน้ำลดลง อัตราส่วนของแอมโมเนียมไอออนจะมีอัตราส่วนมากขึ้น ทำให้มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง ซึ่งถ้าในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้นและทำลายเหงือกซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอและติดเชื้อโรคได้ง่าย (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549)



2.3.2 ไนไตรท์ (NO₂)

ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนียในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ไนไตรท์จะมีผลให้เฮโมโกลบินเปลี่ยนเป็น เมทเฮโมโกลบิน ที่มีความสามารถในการรับออกซิเจนต่ำกว่าเฮโมโกลบิน ซึ่งจะทำให้สัตว์น้ำเกิดภาวะเลือดน้ำตาล (Brown blood disease) (สุบัททิต นิมรัตน์และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ปลาชนิดสามารถทนต่อความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีค่ามากกว่า 0.45 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และความเข้มข้นของไนไตรท์สูงสุดที่ทนได้อยู่ที่ 2.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

2.3.3 ไนเตรท (NO₃)

ไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์มาก ทำให้เกิดผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ เช่น สัตว์น้ำเกิดความเครียด อัตราการบริโภคอาหารของสัตว์น้ำต่ำ การเจริญเติบโตช้า อ่อนแอ และอัตราการเจริญพันธุ์ลดลง โดยปริมาณไนเตรทที่สูงเกิน 50 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรจะเป็นพิษต่อปลา (กษิธิศ หนูทอง, 2551) ที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรทที่ 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จะมีโอกาสทำให้เกิดโรคจุดขาวในสัตว์น้ำ (Gutierrez-Wing and Malone, 2006) ที่ความเข้มข้นของไนเตรท 69 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จะเป็นสาเหตุของสภาวะที่สัตว์น้ำไม่สามารถบริโภคอาหารได้ (สุวิมล ตันทสุกิจวัฒน์, 2545)

2.3.4 ความเป็นกรดต่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำ คือ ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ในน้ำ โดยทั่วไปสัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในช่วงค่าความเป็นกรด ต่างที่เป็นกลางประมาณ 6.5-8.5 (Timmons et al., 2002) หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด ต่าง ไปจากระดับที่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด โดยน้ำที่มีค่าความเป็นกรด ต่างสูงเกินไปทำให้เกิดแอมโมเนียอิสระมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรดต่าง กับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่าค่าความเป็นกรดต่างกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (บุญศิริ กฤติยา นันต์, 2552 อ้างถึงใน มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

ระดับค่าความเป็นกรดต่าง	การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ
ต่ำกว่า 4	ตาย
4 – 5	ไม่สืบพันธุ์
5 - 6	เติบโตช้า
6.5 – 9	เติบโตได้ดี
9 – 11	เติบโตช้า
9.5 – 11	ไม่สืบพันธุ์
สูงกว่า 11	ตาย

2.3.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO)

ออกซิเจนมีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำต้องการออกซิเจนในกระบวนการต่างๆภายในร่างกาย สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไม่ควรต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Timmons et al., 2002)

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับผลกระทบต่อสัตว์น้ำ (บุญศิริ กฤตยานันต์, 2552 อ้างถึงใน มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	จะอันตรายต่อสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก สัตว์น้ำอาจตายได้
1 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	สัตว์น้ำสามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานานก็จะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ดี
มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่เกินระดับอิ่มตัว	เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำ
สูงเกินระดับอิ่มตัว	ทำให้เกิดฟองอากาศในเลือดของสัตว์น้ำ ซึ่งเมื่อสัตว์น้ำเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีออกซิเจนสูงไปยังบริเวณที่มีออกซิเจนต่ำ ทำให้เกิดการปรับตัวไม่ทันซึ่งอาจจะทำให้สัตว์น้ำตายได้

2.3.6 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนแบบที่เรียบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟต และสารประกอบซัลเฟอร์อื่นๆ เพื่อเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยสารประกอบเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรเจนซัลไฟด์อออน (HS^-) และไบซัลไฟด์อออน (S^{2-}) สัดส่วนของสารแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด ด่างของน้ำ โดยน้ำที่มีค่าความเป็นกรด ด่างต่ำ จะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าน้ำที่มีค่าความเป็นกรด ด่างต่ำสูง ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะคล้ายกับการขาดออกซิเจนแต่จะมีความรุนแรงกว่า (รุ่งนภา สุทธิศิริ, 2549) โดยปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรต่ำกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร (Timmons et al., 2002)

2.3.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในร่างกายของสัตว์น้ำจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยอุณหภูมิภายในสัตว์น้ำจะแตกต่างกันไปจากอุณหภูมิของน้ำประมาณ 0.5-1 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ทำให้ระบบควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในผิดปกติทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอและตายได้ นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำยังส่งผลในทางอ้อม เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลง (คณิต ไชยคำและยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537)

2.3.8 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น หมายถึง สมบัติทางแสงของสารแขวนลอยซึ่งทำให้แสงกระจายและถูกดูดกลืนมากกว่าที่จะยอมให้แสงผ่านได้เป็นเส้นตรง (สุบัตินิต นิมรัตน์และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ความขุ่นของน้ำเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าน้ำมีสารแขวนลอย อยู่มากน้อยเพียงใด ซึ่งสิ่งที่ทำให้เกิดความขุ่นได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอน แบคทีเรีย หรือในลักษณะของสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย ตลอดจนแร่ธาตุต่างๆ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528 อ้างถึงใน สุบัตินิต นิมรัตน์และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ความขุ่นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ จะทำให้แสงสว่างส่องลงไปในน้ำได้น้อยจนทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นลดลง ส่งผลให้ปริมาณอาหารตามธรรมชาติของสัตว์น้ำน้อยลง ทำให้เกิดตะกอนซากแพลงก์ตอนและเลนที่พื้นบ่อมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น จึงมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากทำให้ค่าความเป็นกรด ด่างลดลง ความขุ่นยังทำให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะผิวน้ำจะดูดซับความร้อนทำให้

น้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ และน้ำที่มีสารแขวนลอยอยู่มากจะรับออกซิเจนได้น้อยกว่าน้ำที่ใส (O'Neill, 1993 อ้างถึงใน สุภัณฑิลา นิมรัตนันท์และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

2.4 กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดไนโตรเจนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.4.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการชีวภาพที่อาศัยหลักการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิง (Nitrifying Bacteria) ที่เปลี่ยนแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออนที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงให้เป็นไนเตรท ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นแหล่งคาร์บอนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งจะอาศัยแบคทีเรีย (Ammonia oxidizing bacteria, AOB) ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และกระบวนการไนเตรติฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งอาศัยแบคทีเรีย (Nitrite oxidizing bacteria, NOB) ในการออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3



โดยสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชันมีความคล้ายคลึงกับสภาวะแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ตัวแปร	สภาวะที่เหมาะสม	อ้างอิง
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	>4 มิลลิกรัมต่อลิตร	(กษิติศ หนูทอง, 2551)
ค่าความเป็นกรด ค่า pH	7.7-8.5	(Ling and Chen, 2005)
ค่าอัลคาไลน์ตี	100-150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร	(กษิติศ หนูทอง, 2551)
อุณหภูมิ	30-35 องศาเซลเซียส	(Bitton, 1994)

แต่กระบวนการไนตริฟิเคชันยังสามารถถูกยับยั้งได้จากสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์จะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิก

ซึ่งมีความสามารถในการจับก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรีย จึงทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่จะไปยับยั้งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (คัดแปลง จาก Lehr and Keeley, 2005)

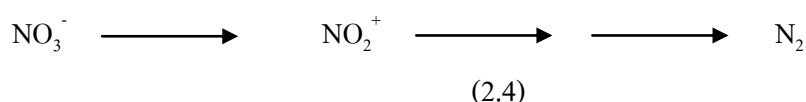
สารเคมี	ปริมาณความเข้มข้น (mg/L)
โคบอลต์	0.08-0.5
โครเมียม	0.25
ปรอท	0.05-0.56
นิกเกิล	0.25
สังกะสี	0.08-0.5
แคดเมียม	14.3
ซัลไฟด์	5.0
โซเดียมคลอไรด์	35,000
โซเดียมไซยาไนด์	100
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	50

2.4.2 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

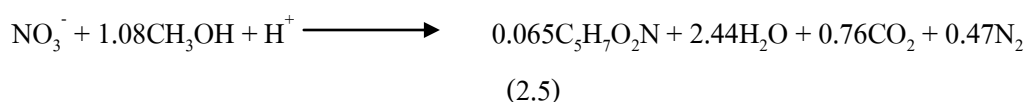
กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas or molecular nitrogen) หรือบางทีมีก๊าซอื่นๆเกิดขึ้นด้วย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันประกอบด้วยสองกลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกันคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ไม่ขึ้นกับไนเตรทโดยสามารถที่จะเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาวะที่ไม่มีไนเตรท แต่มีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนหรืออาศัยกระบวนการ Ammonification หรือกระบวนการอื่น ๆ กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่มีชีวิตอยู่ได้โดยที่ต้องมีไนเตรทส่วนใหญ่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจนโดยกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่ม “Aerobic heterotrophic bacteria” ที่สามารถใช้ไนเตรท(NO_3), ไนไตร (NO_2^-), ไนตริกออกไซด์ (NO^2) หรือซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระในสภาวะแอนอกซิก (Anoxic) ในปฏิบัติการที่มีไนเตรท (NO_3) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะมีขั้นตอนการเกิดของปฏิกิริยา 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตริสออกไซด์ ไนไตรท์เปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตริสออกไซด์ และได้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากแบคทีเรียดังกล่าวต้องการ

สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนสู่ระบบเนื่องจากความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนในน้ำเสียให้เพียงพอสำหรับการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และแบคทีเรียจะต้องนำคาร์บอนนี้ไปลดรูปของไนโตรเจน สารอินทรีย์คาร์บอนที่มีการใช้กันโดยทั่วไป คือ เมทานอล โซเดียมอะซิเตท อาหารกุ้งหรือกากน้ำตาล เป็นต้น แต่เมทานอลเป็นที่นิยมมากในระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม น้ำที่จากแหล่งชุมชนและการเกษตร เนื่องจากมีราคาถูกกว่าสารคาร์บอนประเภทอื่นและมีกำลังรีดิวซ์สูง

สำหรับสภาวะเหมาะสมของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะต้องมีค่า DO น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด - ด่างระหว่าง 7–8 และอุณหภูมิระหว่าง 25–35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้สารเคมีหลายประเภท เช่น ยาฆ่าแมลง, ฟีนอล ไซยาไนด์ Acetylene Potassium Cyanide Dithiol และ O-Phenanthroline ก็สามารถยับยั้งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ซึ่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.4

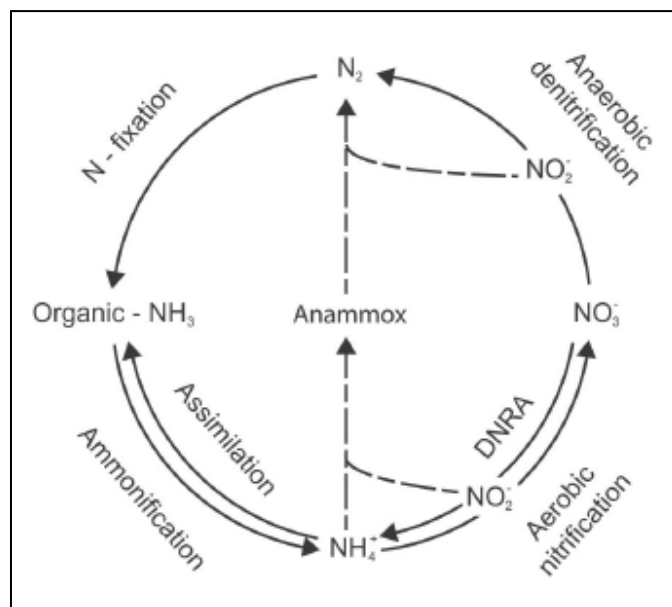


แบคทีเรียจะใช้เมทานอลเพื่อเปลี่ยนไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจนและใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ โดยการรีดิวซ์ไนเตรท 1 มิลลิกรัม จะใช้เมทานอล 2.47 มิลลิกรัม ดังสมการที่ 2.5 (McCarty, Beck and Amant, 1969) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ตามหลักปริมาณสารสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 2.47



2.4.3 กระบวนการ Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox)

กระบวนการ Anammox เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยตรงในสภาวะที่ปราศจากก๊าซออกซิเจนโดยใช้ในไตรท์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย แสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งกระบวนการ Anammox มีข้อดีคือสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนการให้อากาศเพื่อให้ได้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารอินทรีย์ ในกระบวนการ Anammox จะมีแบคทีเรียในกลุ่ม Planctomycetales เป็นตัวบำบัดมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ามีระยะ Doubling Time อยู่ที่ 11 วัน (Than Khin and Annachhatre, 2004) ดังนั้นหากน้ำเสียมมีส่วนประกอบของแอมโมเนีย, ไนไตรท์และแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้ออกซิเจนก็สามารถบำบัดน้ำเสียนั้นได้ (น้ำเงิน จันทรมณี, ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ และ สมชาย คารารัตน์, 2551)



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรของไนโตรเจนและกระบวนการ Anammox (Mark Joanna and Bruno, 2003)

2.4.4 กระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ (Nitrogen Assimilation)

แบคทีเรียในน้ำเสียจะใช้แอมโมเนียและไนไตรท์เป็นวัตถุดิบสำหรับสร้างโปรตีนในระหว่างช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียมีปริมาณชีวมวลมากขึ้น โดยแบคทีเรียจะถูกกระตุ้นให้เจริญเติบโตโดยการเติมสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบลงไปในสภาวะที่มีออกซิเจน นอกจากแบคทีเรียแล้วพืชน้ำและพืชน้ำและพืชน้ำจืดต่างๆก็สามารถใช้แอมโมเนียและไนไตรท์เป็นอาหารได้โดยตรง แต่เมื่อแบคทีเรียและพืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไปก็มีความจำเป็นต้องกำจัดชีวมวลส่วนเกินออกจากระบบ เพื่อป้องกันการย่อยสลายตามธรรมชาติ

2.5 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพชนิดต่างๆ (ดัดแปลงจาก Timmons et al., 2002)

ระบบกรอง	ข้อดี	ข้อเสีย
ตัวกรองชีวภาพแบบ ล้อหมุน (Rotating Biological Contactors)	<ol style="list-style-type: none"> ใช้พลังงานในกระบวนการน้อย มีการแลกเปลี่ยนอากาศที่ดีในกระบวนการไนตริฟิเคชันและสามารถควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ การอุดตันของตัวกรองชีวภาพน้อย สะดวกในการขยายหรือลดขนาด 	<ol style="list-style-type: none"> ใช้พื้นที่มาก ทำงานด้วยเครื่องจักรซึ่งต่างจากระบบกรองชีวภาพแบบอื่น การหมุนมีทิศทางเดียว
ตัวกรองชีวภาพแบบ โปรยกรอง (Trickling Biofilters)	<ol style="list-style-type: none"> ออกแบบระบบได้ง่าย อากาศสามารถผ่านได้ดีและกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ระบบสามารถคงรูปได้นาน 	<ol style="list-style-type: none"> อาจเกิดการอุดตันจากตะกอนในระบบกรองได้ ตัวกลางที่ใช้กรองมีราคาแพง
ตัวกรองชีวภาพแบบ Bead Filters	<ol style="list-style-type: none"> สะดวกในการขยายหรือลดขนาด สามารถแยกตะกอนและป้องกันการอุดตันได้ดี บำบัดน้ำเสียปริมาณมากได้ดี 	<ol style="list-style-type: none"> มีค่าใช้จ่ายสูง การบำบัดเกิดได้ไม่ทั่วถึง
ตัวกรองชีวภาพแบบ Fluidized Bed Filters	<ol style="list-style-type: none"> ลดปัญหาการอุดตันของตัวกรอง บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงได้ มีพื้นที่ผิวในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูง 	<ol style="list-style-type: none"> มีระบบการเติมอากาศไม่ทั่วถึง

2.6 กระบวนการแยกเชิงกล-ฟิสิกส์ (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546)

2.6.1 การใช้ตะแกรงร่อน

ในการใช้ตะแกรงร่อน (Screening) ของแข็งจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ตามขนาด ด้วยการเขย่าให้ของแข็งวิ่งผ่านรูบนตะแกรงเพื่อกักของแข็งขนาดใหญ่เอาไว้ โดยปล่อยของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าให้ลุดรูลงไปได้ ดังนั้นของแข็งที่แยกออกไปจะออกไปเป็นกลุ่มย่อยๆ เรียงตามขนาดของมัน

2.6.2 การตกตะกอน

การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกของเหลวที่ไม่ผสมกันออกจากกัน หรืออาจเป็นการแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยการปล่อยให้เข้าสู่สภาพที่สมดุลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นวัตถุที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกลงมาก่อน

2.6.3 การกรอง

การกรอง (Filtration) เป็นการแยกเอาของแข็งออกจากการไหลหรือสเลอรัรี (Slurry) หรืออาจเป็นการแยกสารที่มีลักษณะเป็นเจล (Gelatinous material) ออกจากของเหลว โดยการทำให้ของผสมไหลผ่านรูที่มีขนาดเล็กเพื่อกักของแข็งที่มีขนาดใหญ่เอาไว้ องค์ประกอบพื้นฐานของการกรองคือ ตัวกรอง ระบบส่งของเหลวและวิธีการนำตัวกรองที่หมดสภาพให้กลับมาทำงานได้ใหม่ เช่น การล้างตัวกรองหรือเปลี่ยนตัวกรอง ระบบการกรองที่ง่ายที่สุดคือการกรองโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกแต่อาจมีการนำเอาแรงชนิดต่างๆ เข้ามาช่วยกรองก็ได้ เช่น แรงไฮดรอลิก, แรงกล, หรือแรงสุญญากาศ เป็นต้นนอกจากนั้นก็อาจมีการเติมสารช่วยกรองเพื่อช่วยปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องกรอง

2.6.4 การเหวี่ยงแยก

เนื่องจากการตกตะกอนภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกนั้นเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างจะช้า ดังนั้น เพื่อเร่งให้การตกตะกอนนั้นเกิดได้เร็วขึ้น จึงต้องมีการเพิ่มแรงเหวี่ยงเข้าไปช่วย โดยอาจจะออกแบบให้แรงเหวี่ยงนั้นมีค่าเป็นกี่เท่าของแรงโน้มถ่วงของโลกก็ได้ ทำให้การเหวี่ยงแยก (Centrifugation) เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาน้อยกว่าการตกตะกอนภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก สรุปก็คือ การเหวี่ยงแยกก็คือรูปแบบหนึ่งของการตกตะกอนภายใต้ความเร่งนั่นเอง ในเครื่องเหวี่ยงแยกที่มีสมรรถนะสูงนั้นอาจจะให้การเหวี่ยงแยกสูงถึง 3,000 – 6,200 เท่า ของแรงโน้มถ่วงของโลก

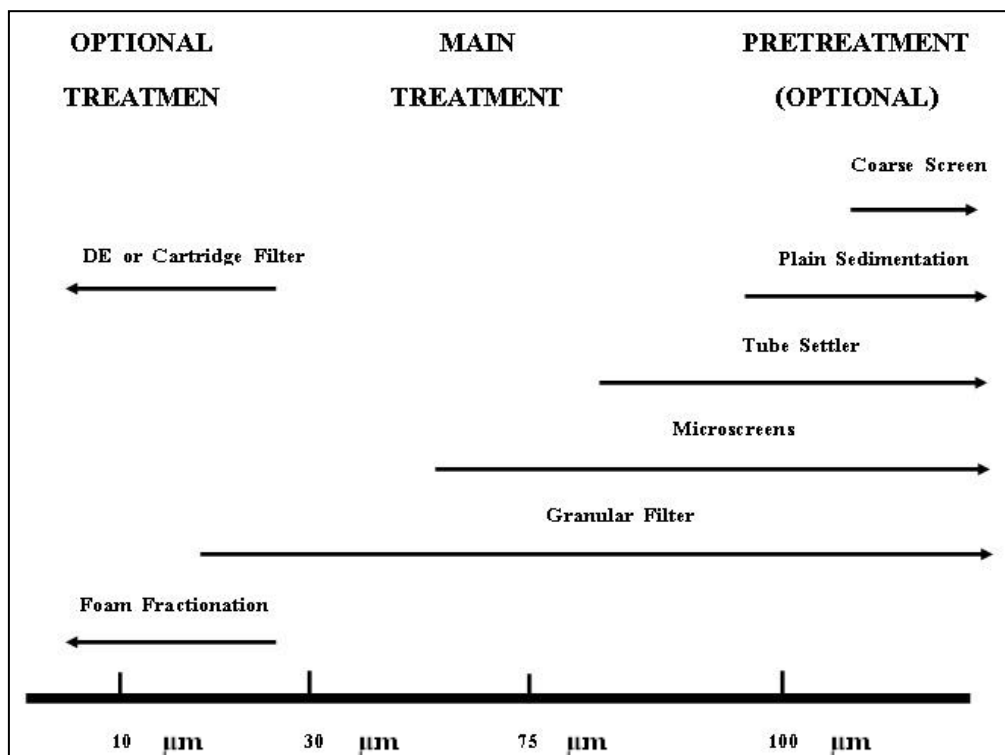
2.7 การแยกตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การแยกตะกอนพื้นฐานสามารถแบ่งการแยกได้ 3 รูปแบบคือ

2.7.1 การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation) การแยกตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงนี้อาศัยหลักการตกตะกอนทับถมกันเรื่อยๆ และความเร็วในการตกของตะกอน กระบวนการนี้จะกระทำในถังตกตะกอน, หลอดตกตะกอนและ Hydrocyclone โดยการแยกตะกอนด้วยวิธีนี้สามารถแยกตะกอนได้ดีเมื่ออนุภาคของตะกอนมีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร

2.7.2 การกรอง (Filtration) เป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยอาจจะมีการกรองเพียงระบบเดียวหรือมากกว่านี้ก็ได้ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดก็มีการใช้ระบบการกรองอย่างแพร่หลาย โดยการกรองสามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมโครเมตร ได้

2.7.3 การลอยตัว (Flotation) กระบวนการลอยตัวจะใช้ฟองอากาศเข้าไปจับกับอนุภาคและแยกออกจากน้ำ กระบวนการนี้สามารถกำจัดขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 30 ไมโครเมตร



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะการตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอนุภาค (ดัดแปลงจาก Timmons et al., 2002)

2.8 การตกตะกอน (Sedimentation) (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546)

การตกตะกอนเป็นกระบวนการแยกตะกอนของแข็งที่แขวนลอยออกจากของเหลว โดยการกักของเหลวไว้ระยะหนึ่งในถังหรือบ่อตกตะกอน (Sedimentation tank) เพื่อลดความเร็วในการไหลของของเหลว จนตะกอนจมตัวด้วยแรงดึงดูดของโลกลงสู่ก้นถัง ในขณะที่ของเหลวที่เหลื่อและตะกอนที่ไม่จมตัวก็จะไหลล้นออกจากถังไป ซึ่งการตกตะกอนในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่แล้วจะเป็นกระบวนการที่กระทำต่อเนื่อง การตกตะกอนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของอนุภาค, ความหนาแน่นของอนุภาค, ความหนาแน่นของของเหลว, ความหนืดของของเหลว, แรงดึงดูดระหว่างของแข็งและความเข้มข้นของอนุภาคในของเหลว เป็นต้น จุดประสงค์หลักของการตกตะกอน คือ การแยกอนุภาคจำนวนไม่มากที่แขวนลอยอยู่ออกจากของเหลวเพื่อให้ได้ของเหลวที่ใสขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกอนมีค่าไม่สูงมากนัก

องค์ประกอบโดยทั่วไปของเครื่องตกตะกอน คือ 1. ถังหรือบ่อตกตะกอน สำหรับเป็นพื้นที่ในการตกตะกอน 2. ระบบป้อนสารและรูปแบบในการไหลของสาร ที่ทำให้สามารถใช้ปริมาตรและพื้นที่ของถังอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด 3. ระบบของเหลวไหลล้น สำหรับรวบรวมของเหลวใส 4. ระบบถ่ายเทตะกอนที่ก้นถัง ออกไปภายนอกเพื่อกำจัดทิ้ง โดยเราสามารถแบ่งการตกตะกอนเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.8.1 การจมตัวประเภทที่ 1

การจมตัวประเภทนี้จะพบได้ในของเหลวที่มีความเข้มข้นของตะกอนไม่สูง ตะกอนมีความเสถียรหรือในกรณีที่ไม่มีความเกาะระหว่างกันของสารแขวนลอย ตะกอนที่สามารถจมตัวลงตามลำพังได้เองอย่างอิสระ (Free settling) โดยไม่ได้รับผลกระทบจากตะกอนอื่นๆที่อยู่ข้างเคียง จะสามารถจมตัวได้ด้วยความเร็วที่สูง เช่น การจมตัวของเม็ดทราย เป็นต้น และถ้าอนุภาคของแข็งนั้นเป็นชนิดที่ไม่มีการเกาะกันทั้งหมด คืออนุภาคนั้นเป็นอิสระในตัวเอง โดยไม่มีแรงเกาะระหว่างกันเลย (Totally discrete) ทำให้มันมีการแยกตัวอย่างสมบูรณ์ออกจากอนุภาคที่อยู่รอบข้าง จึงเป็นตะกอนที่มีความเสถียรสูงมาก เช่น อนุภาคของแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 มิลลิเมตร, ผลึกของเกลือ เป็นต้น

2.8.2 การจมตัวประเภทที่ 2

การจมตัวประเภทนี้จะพบในของเหลวที่มีความเข้มข้นของตะกอนไม่สูงมากนัก และตะกอนมีลักษณะเบา จึงต้องจับตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ (อาจมีการเติมสารเพื่อเร่งการเกิดตะกอน) เพื่อให้ตะกอนมีน้ำหนักมากขึ้นจนสามารถจมตัวลงได้อย่างอิสระ แต่ตะกอนที่ได้นี้จะมีความเสถียรหรือไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงเกาะกันของอนุภาคนั้น ถ้าเป็นตะกอนที่มีความเสถียรมากแสดงว่าอนุภาคจะมีการเกาะกลุ่มกันอย่างดีมากจนเป็น Flocculent particle เช่น อนุภาค

ของแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร, ตะกอนทางเคมี (Chemical precipitate) ,ตะกอนทางชีวภาพ (Biological precipitate)

2.8.3 การจมตัวประเภทที่ 3

การจมตัวประเภทนี้จะเกิดเมื่อความเข้มข้นของตะกอนสูง ตะกอนอยู่ชิดกัน และถ้าอนุภาคแต่ละตัวมีแนวโน้มที่จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน จะรวมตัวกันกลายเป็นฟล็อกและส่งผลกระทบต่อการตกตะกอนของอนุภาคที่อยู่ข้างเคียง อนุภาคจึงจับตัวและจมตัวลงมาพร้อมกันจนเกิดเป็นรอยแยกที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างชั้นของเหลวใสตอนบนและชั้นตะกอนตอนล่างซึ่งจะยุบตัวลงไปเรื่อย จึงเรียกการจมตัวแบบนี้ว่า การจมตัวแบบเป็นโซน (Zone settling) เราจะสามารถสังเกตเห็นว่าการจมตัวประเภทนี้ต่างจากการจมตัวประเภทที่สองและประเภทแรกได้อย่างชัดเจนในหลอดทดลองเพราะรอยแยก (ระหว่างชั้นของเหลวใสกับชั้นตะกอน) จะเคลื่อนที่จากด้านบนลงมาด้านล่าง แทนที่จะเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นด้านบน

2.8.4 การจมตัวประเภทที่ 4

การจมตัวประเภทนี้จะเกิดเมื่อความเข้มข้นของตะกอนสูงมาก จนตะกอนเกิดการอัดตัวกัน แต่ตะกอนก็ยังสามารถจมตัวได้เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลว และการสะสมตัวของตะกอนที่กั้นถึงจะเกิดเป็นแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของตะกอนเอง ทำให้ชั้นตะกอนมีการอัดตัวกันแน่นมากขึ้นจนมีปริมาตรน้อยลง การตกตะกอนชนิดนี้มีความสำคัญในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนเพื่อลดปริมาณของตะกอน

2.9 หลักเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบถังตกตะกอน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

แม้ว่ามนุษย์จะรู้จักวิธีการตกตะกอน เพื่อประโยชน์ต่างๆ มาเป็นเวลาหลายร้อยปี แต่ในปัจจุบันก็ยังไม่มียุทธศาสตร์หรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่ดีพอที่จะช่วยให้วิศวกรสามารถออกแบบถังตกตะกอนได้อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเสมอ แต่สิ่งที่วิศวกรมีอยู่ในขณะนี้ คือหลักเกณฑ์อย่างง่ายและรวบรัดในการคำนวณและออกแบบ เพื่อหาขนาดของถังตกตะกอน และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการที่ถังตกตะกอนจะสามารถทำงานได้ดีมากน้อยเพียงใดนั้นยังขึ้นอยู่กับ ทางน้ำเข้าและออก ความลึกของถัง เป็นต้น

2.9.1 ลักษณะสมบัติในด้านการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย

การตกตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติหลายประการของน้ำ และความขุ่นที่ต้องการกำจัด เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความถ่วงจำเพาะ ขนาดและรูปร่างของอนุภาค เป็นต้น

ความเร็วในการตกตะกอน แปรผกผันกับความหนืดของน้ำซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ กล่าวคือ การเพิ่มอุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ไปเป็น 30 องศาเซลเซียสจะทำให้

อนุภาคตกตะกอนได้เร็วขึ้นถึง 1.63 เท่า อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีน้ำหนักมาก จึงทำให้สามารถตกตะกอนได้ดีกว่าอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ (ขนาดเท่ากัน)

2.9.2 ลักษณะสมบัติในด้านพลศาสตร์ของถังตกตะกอน

2.9.2.1 พื้นที่ของถังตกตะกอน นับเป็นพารามิเตอร์เบื้องต้นที่สำคัญมาก ต่อการตกตะกอนของอนุภาคหรือชั้นสลัดจ์ ขนาดของพื้นที่ขึ้นอยู่กับประเภทของการตกตะกอนหรือความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำที่นำมาตกตะกอน ถ้าน้ำมีตะกอนแขวนลอยสูง ทำให้การตกตะกอนเป็นแบบแบ่งชั้น ถังตกตะกอนจะต้องมีพื้นที่สูงมากพอที่จะทำให้ชั้นสลัดจ์สามารถเคลื่อนที่สู่ก้นถังได้ในอัตราที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับโซลิดซ์ฟลัก G_L แต่ถ้าน้ำมีตะกอนแขวนลอยต่ำ ทำให้การตกตะกอนเป็นแบบรวมกลุ่ม (Flocculent Settling) หรือแบบโคค (Discrete Settling) ถังตกตะกอนต้องมีพื้นที่เพียงพอที่จะทำให้อัตราน้ำล้นผิว (ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าถังหารด้วยพื้นที่ถัง) มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าอัตราเร็วในการตกตะกอน ของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่ต้องการกำจัดออก

2.9.2.2 ความลึกหรือเวลากักเก็บน้ำของถังตกตะกอน ปริมาตรของถังตกตะกอน (V) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิวน้ำ (A) กับความลึกเฉลี่ย (d) ส่วนเวลากักน้ำ (t) ในทางทฤษฎีเท่ากับปริมาตรของถังตกตะกอน (V) หารด้วยอัตราไหลเฉลี่ยของน้ำ (Q) ดังนั้น เมื่อมี Q คงที่และได้เลือกค่าอัตราน้ำล้นผิว หรือพื้นที่ผิวน้ำแล้ว เวลากักน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของถัง

เนื่องจากในทางปฏิบัติ การตกตะกอนมักเป็นแบบรวมตัวเป็นกลุ่มหรือ Flocculent Settling ประสิทธิภาพของถังตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลากักเก็บน้ำ ดังนั้น ประสิทธิภาพของถังตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับเวลากักน้ำ รวมทั้งความลึกของถังตกตะกอน แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพดังกล่าว จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลากักน้ำหรือความลึกของถัง ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง ในการกำจัด 80% ของอนุภาคแขวนลอย ก็อาจต้องใช้เวลากักเก็บน้ำถึง 3 ชั่วโมง ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยให้เป็น 90%

2.9.2.3 อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถัง การทำให้น้ำไหลผ่านถังตกตะกอนด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของถังนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากมีสาเหตุหลายประการ เช่น อาจมี Density Current หรือ Eddy Current หรืออาจมีการกวาดหรือดูดสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน เป็นต้น อัตราไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงเกินไปจะทำให้ตะกอนที่นอนก้นฟุ้งขึ้นมาได้ การป้องกันปัญหาดังกล่าว อาจทำได้โดยควบคุมความเร็วของการไหลไม่ให้ไหลเร็วจนเกินไป

2.10 ปลาไนล

ปลาไนล มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* จัดเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจนับตั้งแต่ปี 2508 โดยสามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ การเพาะเลี้ยงระยะเวลา 1 ปี ปลาไนลจะมีอัตราการเติบโตถึงขนาด 500 กรัม ซึ่งขนาดที่ตลาดต้องการจะมีน้ำหนักตัวละ 200-300

กรัม จากคุณสมบัติของปลานิลซึ่งเลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ทำให้ในปัจจุบันนี้มีเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลเป็นจำนวนมากและแพร่หลายในทุกภาคของประเทศไทย

2.10.1 รูปร่างลักษณะ

รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศแต่ลักษณะพิเศษของปลานิลมีดังนี้คือ ริมฝีปากบนและล่าง เสมอกัน ที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9-10 แถบ นอกจากนั้นลักษณะทั่วไปมีดังนี้ ครีบหลังมีเพียง 1 ครีบประกอบด้วยก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อนเป็นจำนวนมาก ครีบกันประกอบด้วยก้านครีบ แข็งและอ่อนเช่นกันมีเกล็ด ตามแนวเส้นข้างตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดุก แก้มมีจุดสีเข้มอยู่จุดหนึ่ง บริเวณส่วนอ่อนของ ครีบหลัง ครีบกัน และครีบหางนั้นจะมีจุดสีขาวและสีดำ



ภาพที่ 2.4 ปลานิล

2.10.2 คุณสมบัติและนิสัย

ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง (ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์) มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจากการศึกษาพบว่าปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพันส่วนทนต่อค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5-8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสพบว่าปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ด้นัก ทั้งนี้เป็นเพราะถิ่นกำเนิดเดิมของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน

2.10.3 การสืบพันธุ์

2.10.3.1 ลักษณะตามปกติแล้วรูปร่างภายนอกของปลานิลตัวผู้และตัวเมียจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากแต่จะสังเกตลักษณะเพศได้ก็โดยการดูอวัยวะเพศที่บริเวณใกล้กับช่องทวารโดยตัวผู้จะมีอวัยวะเพศในลักษณะเรียวยาวยื่นออกมา แต่สำหรับตัวเมียมีลักษณะเป็นรูค่อนข้างใหญ่และกลม ขนาดปลาที่จะดูเพศได้ชัดเจนนั้น ต้องเป็นปลาที่มีขนาดยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป สำหรับปลาที่มีขนาดโตเต็มที่แล้วเราจะสังเกตเพศได้อีกวิธีหนึ่งด้วยการดูสีที่ลำตัวซึ่งปลาตัวผู้ที่ได้คางและลำตัวจะมีสีเข้มต่างกับตัวเมียยิ่งเมื่อถึงฤดูผสมพันธุ์สีจะยิ่งเข้มขึ้น



ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะเพศของปลานิลที่สมบูรณ์เพศ

2.10.3.2 การผสมพันธุ์และวางไข่ ปลานิลสามารถผสมพันธุ์ได้ตลอดปีโดยใช้เวลา 2-3 เดือนต่อครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอและเหมาะสม ในระยะเวลา 1 ปี จะผสมพันธุ์ได้ 5-6 ครั้ง ขนาดอายุและช่วงการสืบพันธุ์ของปลาแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม และสภาพทางสรีรวิทยาของปลาการวิวัฒนาการของรังไข่และถุงน้ำเชื้อของปลานิล พบว่าปลานิลจะมีไข่และน้ำเชื้อเมื่อมีความยาว 6.5 เซนติเมตร

2.10.3.3 การฟักไข่ ไข่ปลาที่อมไว้ด้วยปลาตัวเมียจะวิวัฒนาการขึ้นตามลำดับโดยแม่ปลาจะขยับปากให้น้ำไหลเข้าออกในช่องปากอยู่เสมอ เพื่อช่วยให้ไข่ที่อมไว้ได้รับน้ำที่สะอาดทั้งยังเป็น การป้องกันศัตรู ที่จะมากินไข่ระยะเวลาที่ปลาตัวเมียใช้ฟักไข่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของน้ำ โดยในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ไข่จะมีวิวัฒนาการเป็นลูกปลาวัยอ่อนภายใน 8 วันซึ่งใน ระยะเวลาดังกล่าวนี้ถุงอาหารยังไม่ยุบและจะยุบเมื่อลูกปลามีอายุครบ 13-14 วัน นับจากวันที่แม่ปลาวางไข่ในช่วงระยะเวลาที่ลูกปลาฟักออกเป็นตัวใหม่ ลูกปลานิลวัยอ่อนจะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มโดยว่ายวนเวียนอยู่ในบริเวณหัวของแม่ปลาและเข้าไปหลบซ่อนอยู่ในช่องปากเมื่อมีภัยหรือถูกรบกวนด้วยปลานิลด้วยกันเองเมื่อถุงอาหารยุบลงลูกปลานิลจะเริ่มกินอาหารจำพวกฟีซและไรน้ำขนาดเล็กได้และหลังจาก 3 สัปดาห์ไปแล้วลูกปลาก็จะกระจายแยกฝูงไปหากินเลี้ยงตัวเองได้โดยลำพัง

ตารางที่ 2.8 การเจริญเติบโตของปลานิล (กรมประมง, 2553 : ออนไลน์)

อายุปลา (เดือน)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
3	10	30
6	20	200
9	25	350
12	30	500

2.11 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์ศักดิ์ ดีวัฒนากุล, (2535) ได้มีการศึกษาและออกแบบหลอดตกตะกอนชนิดปรับมุมได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาหาระดับความเข้มข้นของตะกอนที่ผ่านเข้าหลอดตกตะกอนที่เหมาะสมรวมทั้งผลการยกปรับมุมและมุมตามแนวราบที่มีต่อสมรรถภาพของหลอดตกตะกอน โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเข้าสู่หลอดตกตะกอนในช่วง 50 ถึง 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลูกบาศก์เมตรต่อ(ตารางเมตรต่อชั่วโมง) โดยหลอดตกตะกอนจะเป็นหลอด PVC ขนาด 50×50 ตารางเมตร ที่มีช่องผ่าน 10×10 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร เมื่อตะกอนสะสมตัวภายในหลอดตกตะกอนจะขจัดโดยยกหลอดตกตะกอนขึ้นทำมุม 80 องศากับแนวราบ การเปรียบเทียบมุมตามแนวราบของหลอดตกตะกอนจะทำการวิจัยโดยแปรเปลี่ยนมุมที่ค่า 35, 45 และ 60 องศา จากผลการวิจัยพบว่าระดับความเข้มข้นของตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนบนหลอดตกตะกอนชนิดปรับมุมได้ ควรอยู่ในช่วง 130 ถึง 347 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยอยู่ในช่วง 76 ถึง 90% โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำออกไม่เกิด 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิจารณ์ ตันดิธรรม, (2537) ได้มีการศึกษาเรื่องการกำจัดความขุ่นโดยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ซึ่งภายในถังจะประกอบด้วย พลาสติกใสรูปทรงกระบอก 3 ขนาดซ้อนกันม้วนเป็นท่อมี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร ยาว 300 เซนติเมตร ปลายด้านบนทำเป็นช่องรับน้ำโดยรอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวม 35 เซนติเมตร และมีใบพัดกววนอยู่รอบถัง ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่า ค่าความขุ่นของน้ำผลิตขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิว และความเข้มข้นของสารส้ม ในช่วงอัตราน้ำล้นผิว 30 ถึง 45 เซนติเมตรต่อนาที ค่าความขุ่นของน้ำผลิตจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงอัตราน้ำล้นผิว 45 ถึง 60 เซนติเมตรต่อนาที ค่าความขุ่นของน้ำผลิตจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราน้ำล้นผิวและการเพิ่มความเร็วรอบใบกววน นอกจากจะทำให้ค่าความขุ่นของน้ำผลิตเพิ่มขึ้น ยังจะทำให้ความเข้มข้นโดยปริมาตรของตะกอน และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในถังทำน้ำใสลดลง

สุวิมล ตันทสุกิจวิช, (2545) ได้ศึกษาและพัฒนาระบบบำบัดในเตรทแบบท่อยาว โดยได้เพิ่มความยาวของระบบบำบัดแบบท่อเป็น 50 เมตรและเพิ่มระยะเวลาเก็บเป็น 4.2 ชั่วโมง พบว่าสามารถบำบัดในเตรทได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า ORP ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันระหว่าง 0 ถึง -200 มิลลิโวลต์และเมื่อนำระบบบำบัดในเตรทมาใช้กับระบบเลี้ยงกุ้ง 352 ลิตร พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัด 84-97% ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ไม่พบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ทยากร สุวรรณรัตน์, (2552) ได้ศึกษาการพัฒนาาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยได้มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกได้มีการอนุบาลลูกปลาในโรงเรือนในบ่อเลี้ยงขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร ภายในบ่อมีกระชังในลอนตาถี่ขนาด 0.32 ลูกบาศก์เมตร และตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ยาว 30 เซนติเมตร ทำการอนุบาลเป็นเวลา 24 วัน โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำพบว่าไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ มีการสะสมของแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และของแข็งแขวนลอยในน้ำโดยมีปริมาณ 7.34 ± 0.01 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 6.18 ± 0.05 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 7.46 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 140 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการปรับปรุงโดยนำตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันใส่ในถังและเพิ่มผ้ากรองในลอนตาถี่สำหรับแยกตะกอน พบว่าระบบสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดีโดยมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และของแข็งแขวนลอย 2.73 ± 0.01 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 0.87 ± 0.03 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 22.23 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร, 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีอัตราการรอด 85 % ซึ่งใกล้เคียงกับปลาที่เพาะเลี้ยงในฟาร์มเลี้ยงปลาชนิดทั่วไป ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 เป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ที่ประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงที่มีตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันภายในบ่อ และระบบบัตินตริไฟเคชันแบบท่อยาว โดยทำการเพาะเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 81 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลองพบว่าสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท ให้ต่ำกว่า 0.7, 0.76 และ 16.94 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แต่ในช่วงที่ไม่มีการบำบัดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท จะมีความเข้มข้น 18.2, 51.68 และ 62.76 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรและมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง 2,980 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2,340 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

Anthony and Michael, (1998) ได้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริไฟเคชันและการกรองในการเลี้ยงปลานิลระบบปิดโดยขนาดของบ่อเลี้ยงมีขนาด 53,000 ลิตร ตัวกรองตะกอนขนาดรูพรุน 60 ไมโครเมตร มีการออกแบบถังตกตะกอนขนาด 5,700 ลิตร เพื่อใช้แยกตะกอนในระบบซึ่งภายในถังตกตะกอนจะไม่มีตัวกรอง ถังตกตะกอนในการทดลองนี้ทำหน้าที่ให้น้ำเข้ามาโดยให้อัตราการไหลของน้ำช้าเพื่อจะทำให้ถ้านั้นสามารถตกตะกอนได้ดี ซึ่งผลการทดลองพบว่า hydraulic loading rate ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริไฟเคชันของตัวกรองในช่วง 469 และ 1,231 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้ไม่ได้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณตะกอนที่แยกได้แต่จะอธิบายว่ามีการออกแบบระบบอย่างไร

Yousef, Aftab and Afaq, (2003) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ PVC pipes, Plastic rools และ Scrub pads ในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบหมุนเวียน

น้ำแบบปิดสำหรับเลี้ยงปลาชนิด โดยน้ำเสียจะไหลออกจากบ่อเพาะเลี้ยงผ่านถังตกตะกอนและถึงทรายก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด โดยใช้ตัวกรองชีวภาพ โดยมีค่าแอมโมเนียและไนโตรเจนในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 และ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าตัวกรองมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 346 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพ 29.37% และอัตราการบำบัดไนโตรเจน 0.77 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพ 27.3% และพบว่าตัวกรองชีวภาพชนิด Plastic rolls มีประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำที่ดีที่สุด โดยสามารถกำจัดแอมโมเนียออกจากระบบได้ 25.49% คิดเป็นอัตราการบำบัด 43 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบได้ 26.3% คิดเป็นอัตราการบำบัด 9.6 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

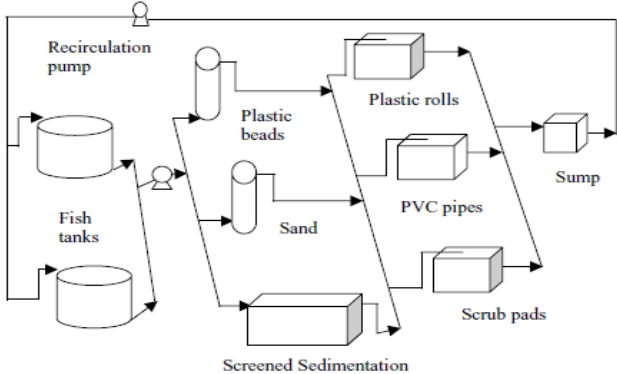
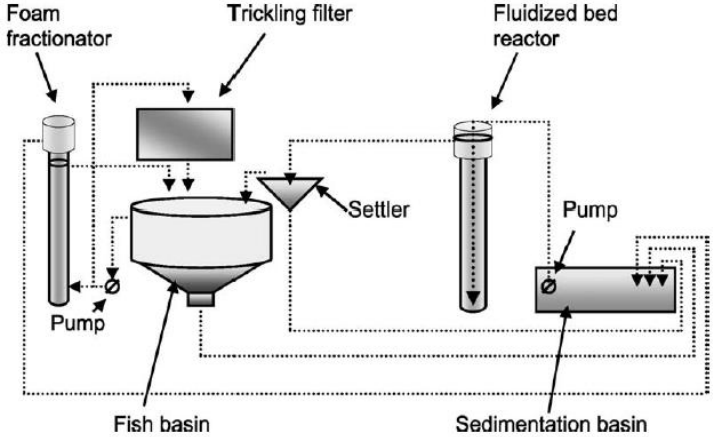
Couturier et al., (2009) ได้ศึกษาการแยกออกแข็งในการเลี้ยงปลาแซลมอลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยจะมีการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ 5 สัปดาห์ในปี 2004 และ 4 สัปดาห์ในปี 2005 ในระหว่างการศึกษาค่า hydraulic retention time ในถังมีเป็น 2.8 ชั่วโมงและอัตราการให้อาหารอยู่ระหว่าง 0.16 – 0.84 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ระบบนี้จะมีปริมาณอัตราการแทนที่และอัตราการหมุนเวียนน้ำเป็น 21% ต่อวันและ 96% ต่อวันตามลำดับ ในปี 2004 และในปี 2005 ปริมาณอัตราการแทนที่และอัตราการหมุนเวียนน้ำเป็น 50% และ 91% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งด้วยการตกตะกอนคิดเป็น 63% และการใช้ drum filter คิดเป็น 22% ซึ่งถังตกตะกอนจะมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกสูง 1.6 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร น้ำจะไหลเข้าทางด้านล่างและออกทางด้านบนของถัง

Sesuk et al., (2009) ศึกษาความเป็นไปได้ในการเลี้ยงปลานิลและบ่มตัวกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปพร้อมกัน โดยการใช้อาหารที่เหลือจากการกินและของเสียจากการขับถ่ายของปลานิล ในการเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันบนตัวกรองชีวภาพชนิด Submerged fibrous ผลการศึกษาพบว่าหลังจากเดินระบบเป็นเวลา 3 สัปดาห์ จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น โดยพบการสะสมตัวของไนเตรทในขณะที่จะพบแอมโมเนียและไนเตรทในปริมาณน้อย โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 24.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ(ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) เมื่อทำการเลี้ยงปลานิลเป็นเวลา 44 วันพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมีปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจน 1.24 ถึง 10.28 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ(ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) โดยการเลี้ยงปลานิลที่ติดตั้งตัวกรองชีวภาพพบว่าปลานิลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าบ่อที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ 7 ถึง 16 %

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ระบบแยกตะกอนรูปแบบต่างๆ ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ชนิดของสัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อเลี้ยง(ลิตร)	รูปภาพ	รูปแบบการแยกตะกอน	เอกสารอ้างอิง
Tilapia	3,365		<p>ตะแกรงแยกตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.24 เซนติเมตร ยาว 91 เซนติเมตร ระบบกรองแบบล้อหมุน ปริมาตร 1,400 ลิตร หมุนด้วยความเร็ว 3 รอบต่อนาที</p>	(Aurelio and Thomas, 1996)
Tilapia	20,000		<p>ตัวกรองตะกอนแบบหมุนขนาดรูพรุน 60 ไมโครเมตร และระบบกรองชีวภาพแบบโปรยกรองซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกรอง 416 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร</p>	(Joanna, Philip and Thomas, 1997)

ชนิดของ สัตว์น้ำ	ขนาดของ บ่อเลี้ยง(ลิตร)	รูปภาพ	รูปแบบการแยกตะกอน	เอกสารอ้างอิง
Tilapia	53,000		ถังตกตะกอนขนาด 5,700 ลิตร ตัวกรองขนาดรูพรุน 60 ไมโครเมตร	(Anthony and Michael, 1998)
Penaeus monodon	1,440		แผ่นแยกตะกอนขนาด 160 ลิตร ถังกรองชีวภาพแบบใต้น้ำขนาด 720 ลิตร	(Kuo-Feng, Hwei-Meei and Mao-Sun , 1998)

ชนิดของ สัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อ เลี้ยง(ลิตร)	รูปภาพ	รูปแบบการแยกตะกอน	เอกสารอ้างอิง
Tilapia	10,000	 <p style="text-align: center;">Screened Sedimentation</p>	บ่อดกตะกอนขนาด 2,250 ลิตร	(Yousef, Aftab, and Afaque, 2003)
Tilapia	2,300		บ่อดกตะกอนขนาด 400-800 ลิตร, ระบบกรองชีวภาพแบบ ไบรยกรองขนาด 1,000 ลิตร, ชั้น ฟลูอิดไดซ์ขนาด 6.25 ลิตร	(Yoram et al., 2003)

ชนิดของสัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อเลี้ยง(ลิตร)	รูปภาพ	รูปแบบการแยกตะกอน	เอกสารอ้างอิง
<i>Anguilla japonica</i>	430		ระบบแยกตะกอนโปรตีนและไขมันขนาด 250 ลิตร	(Yoshihiro et al., 2003)
<i>Tilapia</i>	12,500		การแยกตะกอนแบบเครื่องหมุนแยก	(Tim and Ron, 2006)

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

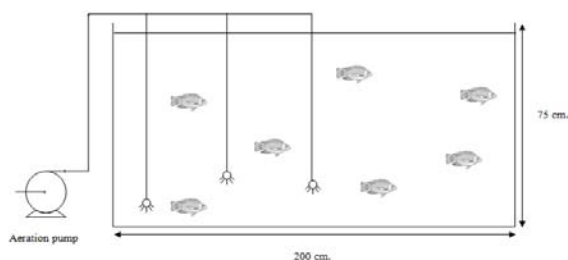
1. การศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลานิลที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน(หัวข้อ 3.1)
2. การศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนรูปแบบต่างๆ และการทดสอบเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด(หัวข้อ 3.2)
3. การประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนในข้อ 2 ร่วมกับระบบเลี้ยงปลานิลแบบปิดที่มีตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน(หัวข้อ 3.3)
4. การศึกษาผลของตะกอนที่มีต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่ในระบบเลี้ยงปลานิลแบบไบโอฟลอค และศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ตะกอนจากหน่วยแยกตะกอนมาใช้เป็นตัวเร่งในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงปลานิลแบบไบโอฟลอค (หัวข้อ 3.4)

การดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน

การทดลองนี้ศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ระดับความหนาแน่นปานกลางถึงสูง โดยทำการเลี้ยงปลานิลในบ่อขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 3.1 ก-ข) ที่บรรจุน้ำปริมาตร 2,000 ลิตรซึ่งมีการให้อากาศผ่านหัวทรายตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 45 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอนออกจากระบบ ทำการทดลองเลี้ยงปลาจำนวน 2 รอบ

การทดลองเลี้ยงปลานิลรอบที่ 1 จะทำการปล่อยปลานิลที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตรระหว่างการเลี้ยงจะให้อาหารปลาที่มีโปรตีน 35% ในอัตรา 3-5 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักปลาทั้งหมดทุกวัน พร้อมกับเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงทุกวันเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณ ตะกอนแขวนลอยทั้งหมดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจนและไนเตรทโดยอ้างอิงวิธีการจาก Strickland and Person (1972) ส่วนการวัดปริมาณตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ค่าปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างอุณหภูมิของน้ำ และน้ำหนักความยาวของปลา จะเก็บ ตัวอย่างสัปดาห์ละครั้งส่วนการทดลองเลี้ยงปลานิลรอบที่ 2(การทดลองซ้ำ) จะนำปลานิลที่เลี้ยง จากการทดลองรอบที่ 1 มาทำการเลี้ยงต่อโดยจะปล่อยปลานิลที่ความหนาแน่น 3 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตรเท่าเดิมและเก็บข้อมูลระหว่างการเลี้ยงเช่นเดียวกับการทดลองเลี้ยงรอบที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.1 (ก) แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่ 3.1 (ข) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่ 3.1

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอน

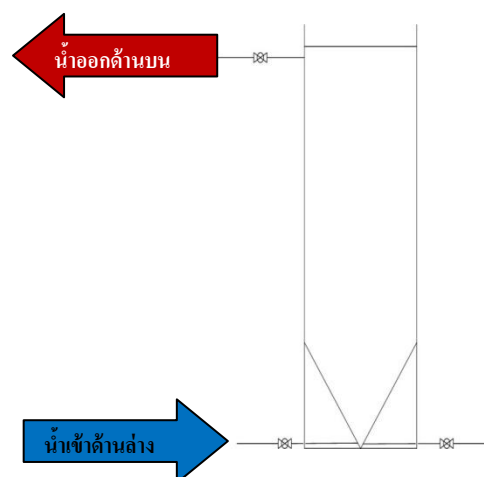
การทดลองนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอน โดยจะแบ่งการทดลอง ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการออกแบบ จัดสร้างและทดสอบตัวแยกตะกอนที่มีลักษณะ ต่างกัน 5 รูปแบบคือ ตัวแยกตะกอนแบบถังที่ไม่มีวัสดุบรรจุภายใน ตัวแยกตะกอนแบบตัวกรอง พลาสติก BCN-009 ตัวแยกตะกอนแบบแผ่นกั้นพีวีซีแบบแผ่นกลมตัวแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซี กั้นรูปกรวยคว่ำและตัวแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีกั้นรูปกรวยหงาย หลังจากนั้นจะนำตัวแยก ตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาทำการทดสอบการใช้งานจริง โดยการติดตั้งร่วมกับบ่อเลี้ยงปลา นิลขนาดความจุ 500 ลิตร

3.2.1 การออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอน

การทดลองส่วนนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอน โดยหน่วยแยกตะกอนที่ใช้มีลักษณะเป็นถังทำจากท่อพีวีซีทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ความจุน้ำ 53 ลิตร ในส่วนก้นถังมีลักษณะเป็นทรงกรวยเพื่อให้ตะกอนรวมตัวกัน และถ่ายตะกอนที่ออกมาได้เมื่อเปิดวาล์วน้ำทางด้านล่างหน่วยแยกตะกอนจะมีทางน้ำเข้าทางด้านล่าง และออกทางด้านบนดังภาพที่ 3.2ก-ข รูปแบบภายในหน่วยแยกตะกอนมีทั้งหมด 5 รูปแบบคือ (1) ถังควบคุมที่ไม่มีวัสดุบรรจุภายใน(ถังกลวง) (2) ตัวกรองพลาสติก BCN-009 (HDPE; พื้นที่ผิวจำเพาะ 834 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) สูง 10 เซนติเมตรใส่ที่ส่วนบนของหน่วยแยกตะกอนแต่จะอยู่ต่ำกว่าจุดน้ำไหลออกประมาณ 1 เซนติเมตร(3) ถังที่บรรจุแผ่นกั้นเป็นแผ่นพีวีซีรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร (4) ถังที่มีแผ่นกั้นรูปกรวยคว่ำทำจากพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร กรวยสูง 26 เซนติเมตร และ (5) ถังที่มีแผ่นกั้นรูปกรวยหงายทำจากพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร กรวยสูง 26 เซนติเมตร(ภาพที่ 3.2ค-ช)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



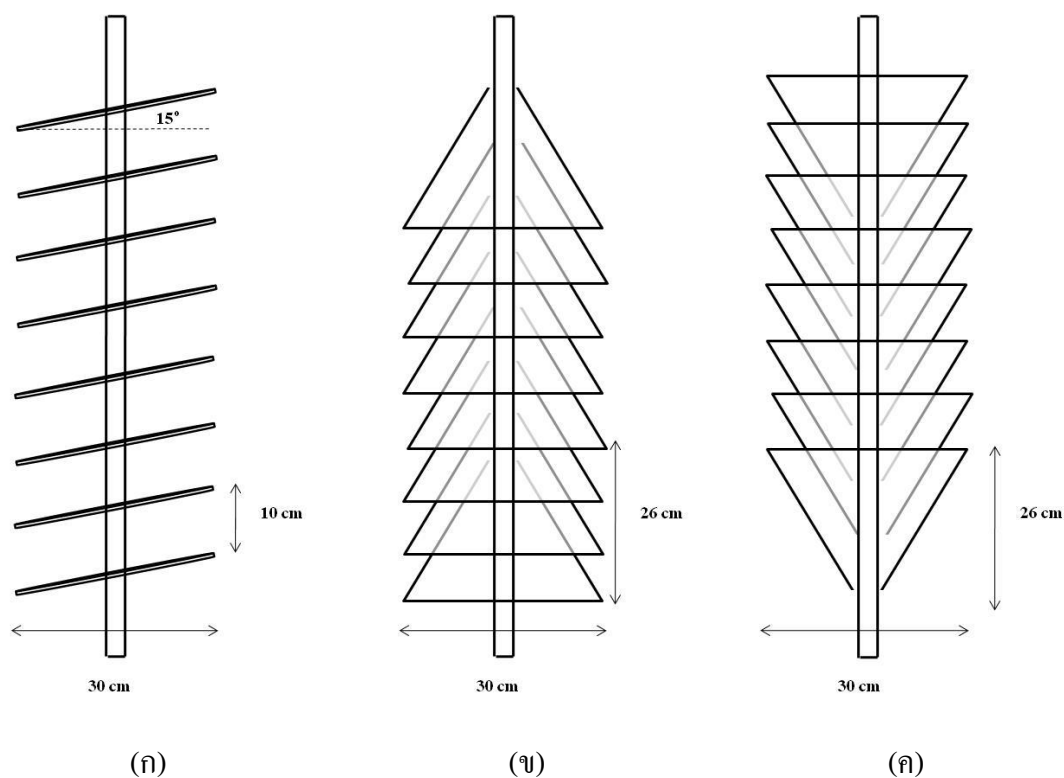
(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 3.2(ก-ข) หน่วยแยกตะกอน (ค) ถังควบคุมที่เป็นถังเปล่าไม่มีวัสดุบรรจุภายใน (ง) ตัวกรองพลาสติก BCN-009 (จ) แผ่นกั้นแผ่นพีวีซีรูปวงกลม (ฉ) แผ่นกั้นรูปกรวยคว่ำ (ช) แผ่นกั้นรูปกรวยหงาย

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนทั้ง 5 รูปแบบจะมีการดำเนินการคือในชุดการทดลองที่ตัวแยกตะกอนเป็นแบบแผ่นกลม กรวยคว่ำ และกรวยหงาย (ภาพที่ 3.2จ-ข) จะมีการตัดแผ่นพีวีซีซ้อนกันเป็นจำนวน 4, 8 และ 14 ชั้นซึ่งตัวแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลม 8 ชั้น จะมีระยะห่างระหว่างชั้น 10 เซนติเมตร แต่ละแผ่นทำมุม 15° กับแนวราบ และตัวแยกตะกอนแบบกรวยคว่ำ และกรวยหงาย 8 ชั้น แสดงดังภาพที่ 3.3 ก-ค สำหรับตัวแยกตะกอนแบบถังเปล่าจัดเป็นถังควบคุม (ภาพที่ 3.2ค) และมีชุดทดลองที่บรรจุวัสดุตัวกรองพลาสติกแบบ BCN-009 (ภาพที่ 3.2ง) ปริมาตร 7 ลิตร จัดให้วัสดุกรองลอยอยู่ที่ผิวหน้าน้ำในส่วนบนของถังเป็นชั้นหนาประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อเตรียมตัวแยกตะกอนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำมาทำการทดสอบการแยกตะกอนออกจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจากการทดลองหัวข้อ 3.1 โดยจะนำน้ำดังกล่าวมาใส่ถังขนาดความจุ 500 ลิตร มีการให้อากาศอย่างทั่วถึงเพื่อทำให้ตะกอนผสมกันได้ดีและป้องกันสภาวะอับอากาศดังภาพที่ 3.4 หลังจากนั้นจึงสูบน้ำที่มีตะกอนเข้าสู่หน่วยแยกตะกอน โดยมีการปรับอัตราการไหลของน้ำ 5 ระดับคือ 110, 180, 280, 450 และ 620 ลิตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 3.3(ก-ค) หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลม กรวยคว่ำ และ กรวยหงาย 8 ชั้น

การประเมินประสิทธิภาพของตัวแยกตะกอนแต่ละชนิดคิดจากการนำปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำขาเข้าและขาออกจากหน่วยแยกตะกอนมาลบกันแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของ

ตะกอนที่แยกได้จากนั้นจะนำข้อมูลประสิทธิภาพในการแยกตะกอนมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS v.17 และนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดไปวิเคราะห์ขนาดของตะกอนด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer ยี่ห้อ MALVERN รุ่น Mastersizer S ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะเก็บตัวอย่างตะกอนจาก 3 จุด คือ ก่อนเข้าหน่วยแยกตะกอน หลังออกจากหน่วยแยกตะกอน และภายในหน่วยแยกตะกอน

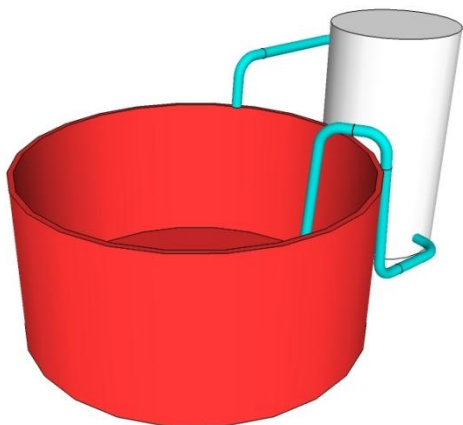


ภาพที่ 3.4 ชุดทดสอบประสิทธิภาพหน่วยแยกตะกอนที่มีการติดตั้งตัวแยกตะกอนภายในหน่วยแยกตะกอน

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนร่วมกับการเลี้ยงปลาไนในระบบบ่อเลี้ยงแบบปิดในโรงเรือน

จากการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนในหัวข้อ 3.2.1 จะทำการเลือกหน่วยแยกตะกอนที่มีความเหมาะสมมาทำการทดสอบการใช้งานจริงกับบ่อเลี้ยงปลาไนซึ่งบ่อที่ใช้เลี้ยงเป็นถังพลาสติกขนาด 500 ลิตร (ภาพที่ 3.5ก-ข) ทำการปล่อยปลาไนความหนาแน่น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรให้อาหารมีโปรตีน 35 % ในอัตรา 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 45 วัน โดยมีการให้อาหารผ่านหัวทรายตลอดเวลาแต่จะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงและจะทำการทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนระหว่างการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 2 บ่อทุกวันเพื่อตรวจติดตามปริมาณของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทส่วนการวัด

ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาทีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างอุณหภูมิของน้ำ และน้ำหนัก ความยาวของปลา จะเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้งวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงดังตารางที่ 3.2



(ก)

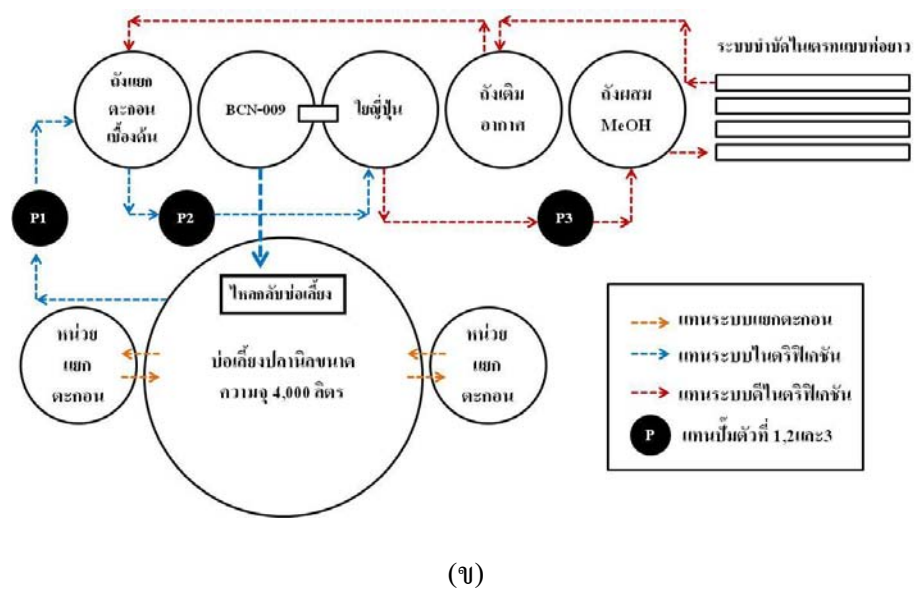
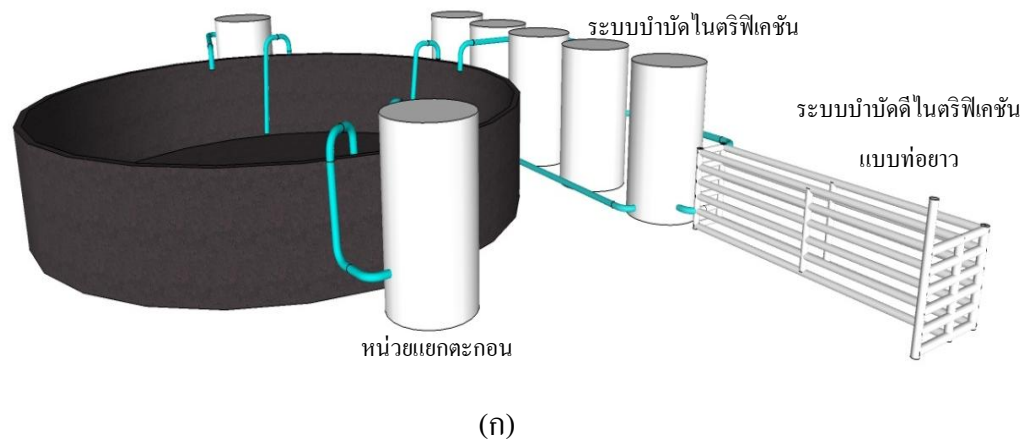


(ข)

ภาพที่ 3.5 (ก) แบบจำลองการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอน (ข) การติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอน

3.3 การประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียน

ในการทดลองส่วนนี้เป็นการนำ 3 ระบบคือระบบหน่วยแยกตะกอนที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 3.2 ระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน มาใช้งานร่วมกัน โดยนำมาติดตั้งร่วมกับระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียนดังภาพที่ 3.6ก-ข



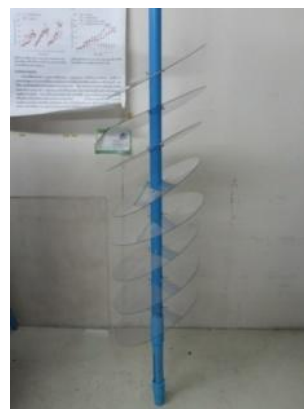
ภาพที่ 3.6 (ก) ภาพจำลองแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยแยกตะกอน ระบบบำบัดไนตริฟิเคชันและระบบดีไนตริฟิเคชันและ (ข) แผนภาพแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยแยกตะกอน ระบบบำบัดไนตริฟิเคชันและระบบดีไนตริฟิเคชัน

3.3.1 การเตรียมหน่วยแยกตะกอน

การทดลองนี้จะทำการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนจำนวน 2 ตั้งอยู่ตรงข้ามกันของบ่อเลี้ยงปลาชนิดในแต่ละถังจะบรรจุตัวแยกตะกอนแบบแผ่นกั้นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น ดังภาพที่ 3.7ก-ข โดยปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านหน่วยแยกตะกอนประมาณ 180 ลิตรต่อชั่วโมง (อ้างอิงจากผลการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.7(ก) หน่วยแยกตะกอนที่ติดตั้งร่วมกับบ่อเลี้ยงปลาชนิด (ข) แผ่นกั้นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น

3.3.2. การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

ตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันที่เลือกใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิดคือพลาสติก BCN-009 และใยญี่ปุ่นเป็นตัวกรอง (ภาพที่ 3.8ก-ข) ซึ่งก่อนเริ่มการทดลองจะทำการเตรียมสภาพตัวกรองล่วงหน้าเป็นเวลาประมาณ 50 วันเพื่อให้เชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรียยึดเกาะกับผิวของตัวกรองทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ โดยจะบ่มตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันทั้ง 2 ชนิดในถังพลาสติกปริมาตร 200 ลิตรจากนั้นมีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ให้มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และเติมอาหารกุ้งที่มีโปรตีน 40 % บดละเอียด 7 กรัมเพื่อเป็นแหล่งของแอมโมเนียเริ่มต้นและสารอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย พร้อมกับมีการให้อากาศผ่านหัวทรายตลอดเวลาทั้งนี้ตลอดระยะเวลา 50 วันที่อยู่ระหว่างการเตรียมสภาพ ตรวจสอบวัดค่าแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรทและปรับค่าอัลคาไลน์ตี้น้ำให้มีค่าประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร หากตรวจพบว่าแอมโมเนียมีการเปลี่ยนไปเป็นไนเตรททั้งหมดโดยไม่มีการสะสมของไนไตรต์จะทำการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ให้มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ลงไปเพื่อคงสภาพตัวกรองให้อยู่ในสภาวะการทำงานที่สมบูรณ์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.8 (ก) ตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันชนิด BCN-009 (ข) ตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันชนิดใยญี่ปุ่น

3.3.3 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริไฟเคชัน

การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริไฟเคชันจะใช้ฟองสีค้ำน้ำยาว 2 เมตร หนา 2 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.9ข)บรรจุในท่อยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 20 เมตร ซึ่งการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริไฟเคชันได้เตรียมล่วงหน้าแล้วประมาณ 60 วัน ตามวิธีของรุ่งนภา สุทธิศรี (2549) โดยสูบน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เข้าระบบท่อยาว ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 3 ชั่วโมง ใช้เมทานอลความเข้มข้น 2% เป็นแหล่งคาร์บอนที่อัตราการเติม 26.4 มิลลิตรต่อชั่วโมง น้ำขาออกจากท่อยาวจะปล่อยทิ้งไม่มีการหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังน้ำเสียสังเคราะห์ เก็บน้ำตัวอย่างขาเข้าและออกจากท่อยาวทุกวันเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.9 (ก)ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาว (ข) วัสดุฟองน้ำที่บรรจุอยู่ในถังบำบัดดีไนตริไฟเคชันแบบท่อยาว

3.3.4 ระบบหมุนเวียนน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลาในระบบปิดในโรงเรือน

ภาพที่ 3.6x แสดงให้เห็นถึงการหมุนเวียนน้ำในระบบทั้งหมดระหว่างทำการทดลองเลี้ยงปลานิล โดยเริ่มจากบ่อบีหมายเลข 1 คูณน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาไปยังถังแยกตะกอนชั้นต้นพอได้ระดับที่ต้องการลูกลอยไฟฟ้าจะปิดการทำงานของบ่อบีตัวที่ 1 และเปิดการทำงานของบ่อบีตัวที่ 2 เพื่อดึงน้ำจากถังแยกตะกอนชั้นต้นไปยังถังที่มีตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันชนิดใยญี่ปุ่นพอได้ระดับที่กำหนดลูกลอยไฟฟ้าก็จะปิดบ่อบีตัวที่ 2 กลับไปเปิดบ่อบีตัวที่ 1 ดังเดิม ซึ่งถังที่บรรจุใยญี่ปุ่นจะมีทางเชื่อมต่อไปยังถังที่บรรจุตัวกรองชีวภาพชนิด BCN-009 ปริมาตร 20 ลิตรบรรจุอยู่เมื่อน้ำเต็มถึงที่ตัวกรองชนิด BCN-009 น้ำก็จะล้นกลับไปยังบ่อเลี้ยงปลาหมุนเวียนตลอดเวลาแต่น้ำบางส่วนจะถูกบ่อบีตัวที่ 3 คูณไปยังผสมเมทานอลเมื่อได้ระดับที่ต้องการลูกลอยไฟฟ้าก็จะปิดการทำงานของบ่อบีหมายเลข 3 ซึ่งในถังผสมเมทานอลจะติดตั้งบ่อบีขนาดเล็กเพื่อผสมให้เมทานอลเข้ากันกับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อบีตัวที่ 3 ในตรีฟิเคชันให้เข้ากันดีก่อนไหลเข้าระบบบำบัดในเตรทแบบท่อยาว(ระบบดีในตรีฟิเคชันแบบท่อยาวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับสิทธิบัตรการประดิษฐ์เลขที่ 26048) ที่มีความยาว 20 เมตร โดยอาศัยหลักการไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ(gravity flow)พอน้ำมีระดับเท่ากับบ่อบีตัวที่ 3 ก็จะทำงานเช่นเดิม ซึ่งในระหว่างที่น้ำไหลผ่านท่อยาวจะเกิดกระบวนการดีในตรีฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจนในที่สุดส่วนน้ำที่ไหลออกจากท่อยาวก็จะไหลเข้าสู่ถังเดิมอากาศ จากนั้นจะไหลล้นกลับไปยังถังแยกตะกอนเบื้องต้นและไหลผ่านระบบบำบัดแบบในตรีฟิเคชันอีกครั้งหนึ่งก่อนกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลานิลเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดอากาศในน้ำ แต่ในส่วนของหน่วยแยกตะกอนจะมีการทำงานตลอดเวลาและเป็นอิสระกับระบบในตรีฟิเคชันและระบบดีในตรีฟิเคชัน โดยบ่อบีน้ำจะคูณน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเข้าสู่หน่วยแยกตะกอนทางด้านล่างแล้วไหลย้อนขึ้นไปออกด้านบนของหน่วยแยกตะกอน

3.3.5 การทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบเลี้ยงแบบปิดในโรงเรือนที่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันและดีในตรีฟิเคชัน

ทำการปล่อยปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 4.79 ± 1.77 กรัม ความยาวเฉลี่ย 6.62 ± 0.86 เซนติเมตรลงในบ่อทดลองโดยมีความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บ่อเลี้ยงปลา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 เมตร สูง 0.8 เมตร ปลูกด้วยผ้าพลาสติก HDPE บรรจุน้ำปริมาตร 4,000 ลิตร ความลึกของน้ำในบ่อ 0.6 เมตร ภายในบ่อมีการติดตั้งหัวทรายเพื่อให้อากาศภายในบ่อตลอดเวลา โดยให้อาหารปลาที่มีโปรตีน 15-40 % (ตารางที่ 3.1) ในอัตรา 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน ทำการทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 98 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงเพื่อติดตามปริมาณของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ความเข้มข้นของ

แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ทุกวันในระหว่างการทดลองจะตรวจวัดปริมาณตะกอนจมน้ำที่เวลา 30 นาทีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิของน้ำทุกสัปดาห์ ทำการส่องตรวจเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ทุก 15 วัน วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (Balarin and Haller, 1982)

น้ำหนักปลาเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณโปรตีนในอาหาร (%)
< 1	35-50
1-5	30-40
5-25	25-30
>25	20-25

3.3.6 การตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลานิล

ทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทำการสุ่มตัวอย่างปลาจำนวนประมาณ 10% ของปลาในบ่อมาเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 15 วัน ส่วนวันสุดท้ายจะจับปลาทั้งหมดเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily Weight Gain: DWG) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$DWG = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย(กรัม)} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น(กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง(วัน)}}$$

และนำข้อมูลปริมาณอาหารทั้งหมดที่ให้ตลอดระยะเวลาการทดลองกับน้ำหนักผลผลิตสุดท้ายมาคำนวณหาอัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio: FCR) โดยคำนวณจาก

$$FCR = \frac{\text{น้ำหนักอาหารรวมทั้งหมดที่ให้ออก(กรัม)}}{\text{น้ำหนักผลผลิตรวมทั้งหมดในวันสุดท้ายให้ออก(กรัม)}}$$

3.3.7 การประเมินสมมูลไนโตรเจน

หลังสิ้นสุดการทดลองจะประเมินสมมูลไนโตรเจนโดยประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงปลานิลจากในอาหาร ตัวปลานิล และในน้ำเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนวันสุดท้ายของการทดลองจากตัวปลานิล ในน้ำ และในตะกอน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนใช้วิธีมาตรฐานของ AOAC (2000)

3.4 การศึกษาบทบาทของกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟลอคต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรือน

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาบทบาทของตะกอนไบโอฟลอคต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบปิดในโรงเรือน ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนในการทดลองหัวข้อที่ 3.3 หลังจากเลี้ยงปลานิลไปได้ 45 วัน ไปเป็นตะกอนหัวเชื้อเพื่อเร่งการเกิดไบโอฟลอค การทดลองส่วนต่อไปจะใช้หน่วยแยกตะกอนในการควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำให้อยู่ในช่วงประมาณ 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคู่ไปกับการเลี้ยงปลานิลในระบบปิดในโรงเรือน

3.4.1 การทดลองเลี้ยงปลานิลในบ่อที่มีการเติมตะกอนไบโอฟลอคร่วมกับตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ

การทดลองส่วนนี้แบ่งออกเป็น 3 บ่อทดลอง คือ บ่อควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอน บ่อทดลอง 1 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ แต่ไม่มีหน่วยแยกตะกอน และบ่อทดลอง 2 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอน ในการทดลองจะใช้หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ในแต่ละบ่อทดลองจะทดลองซ้ำ 3 ครั้ง การทดลองนี้จะนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนในการทดลองหัวข้อที่ 3.3 หลังจากเลี้ยงปลานิลไปได้ 45 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ 2 กรัมต่อลิตร มาใส่ในบ่อทดลองทั้งหมดบ่อละ 300 มิลลิลิตร

3.4.1.1 การเตรียมบ่อทดลอง

การทดลองนี้ทำการเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายในถังพลาสติกขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร (กว้าง 1 เมตรยาว 0.67 เมตรสูง 0.45 เมตร) ดังภาพที่ 3.10-3.11 เป็นเวลา 60 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ระหว่างการทดลองมีการให้อาหารที่มีโปรตีน 35% ในอัตราร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดทุกวัน และทำการเติมอากาศผ่านหัวทรายตลอดการทดลอง โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ชุดทดลองคือ ชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอนชุดทดลอง 1 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ แต่ไม่มีหน่วยแยกตะกอน และชุดทดลอง 2 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอน

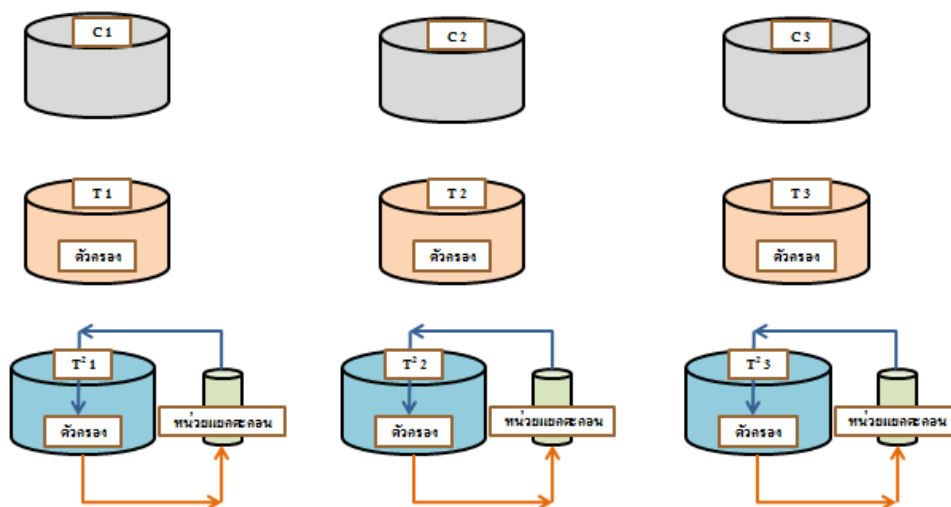


(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.10 (ก) ถังทดลองพลาสติกขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตรที่ใช้ทำการทดลอง (ข) หน่วยแยกตะกอน



ภาพที่ 3.11 แผนภาพแสดงบ่อดทดลอง คือ บ่อควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอน บ่อดทดลอง 1 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ แต่ไม่มีหน่วยแยกตะกอน และบ่อดทดลอง 2 ที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และหน่วยแยกตะกอนจะใช้หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

ระหว่างการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงทุกวันเพื่อวัดปริมาณของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท ส่วนปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาทีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิของน้ำจะวัดทุกสัปดาห์ นอกจากนี้ทำการวัดข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทำการสุ่มตัวอย่างปลาจำนวน 10 ตัว มาเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุกสัปดาห์ ส่วนวันสุดท้ายจะจับปลาทั้งหมดเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณอัตราการเจริญเติบโตต่อวันและนำข้อมูลปริมาณอาหารทั้งหมดที่ให้ตลอดระยะเวลาการทดลองกับน้ำหนักผลผลิตสุดท้ายมาคำนวณหาอัตราการแลกเนื้อ

3.4.1.2 การตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

การตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพตอนเริ่มต้นและจบการทดลอง ซึ่งจะตัดชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จากระบบบำบัดไนตริฟิเคชันความยาว 10 เซนติเมตร ใส่ในถังน้ำที่บรรจุน้ำไว้ 5 ลิตร จากนั้นเติมแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) ให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร มีการเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอปรับค่าอัลคาไลน์ดีให้อยู่ในช่วง 100-150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร และจะมีการ

ตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ในไตรต์และไนเตรทในน้ำทุก 2 ชั่วโมง ตามวิธีของทยากร สุวรรณรัตน์ (2552) ส่วนการวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนในน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลานิลจะทำเช่นเดียวกับการวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพ Biocord™ โดยใช้น้ำจากบ่อทดลองบ่อละ 5 ลิตรเพื่อวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนีย

3.4.2 การศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีการทำงานร่วมกับหน่วยแยกตะกอนเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยมีการควบคุมปริมาณตะกอนให้อยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้หน่วยแยกตะกอนตลอดการทดลอง การทดลองในส่วนนี้จะใช้น้ำจากบ่อควบคุมของการทดลองหัวข้อ 3.4.1 ซึ่งมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดลองทำการปล่อยปลานิลน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 107.2 ± 2.5 กรัม ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีน 20% ในอัตราประมาณ 3-5% ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วันทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ระหว่างการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงทุกวันเพื่อวัดปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ส่วนปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาทีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิของน้ำ น้ำหนักและความยาวของปลานิล จะวัดทุกสัปดาห์ขณะทำการทดลอง

ในระหว่างการทดลองจะศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนที่ความเข้มข้น 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณตะกอนในระดับดังกล่าวต่ออัตราการใช้ออกซิเจน การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หาอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของออกซิเจนโดยการเติมโซเดียมซัลไฟต์ (NaSO_3) 0.3 กรัมเพื่อกำจัดออกซิเจนในน้ำ และเติมโคบอลต์ซัลเฟต (CoSO_4) 0.012 กรัมเพื่อเร่งปฏิกิริยาและทำให้ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงในระดับที่เกือบถึง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามวิธีของ สุชาติ จังรัสสะ (2550) หลังจากนั้นใช้การวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ด้วยเครื่อง DO Meter (HANNA รุ่น 9147) ในการทดลองการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนมีการเติมอากาศ
ด้วยใช้หัวทราย 1 หัว

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆทางคุณภาพน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้ใน
การทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์/ เครื่องมือวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ลักษณะตะกอน	กล้องจุลทรรศน์	-
ปริมาณตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที	Imhoff Cone	Strickland and Person (1972)
ปริมาณของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด	กระดาษกรอง	Strickland and Person (1972)
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	DO meter method	APHA (1998)
ค่าความเป็นกรด ค่างของน้ำ	pH meter method	APHA (1998)
อุณหภูมิของน้ำ	Thermometer method	APHA (1998)
ความเข้มข้นแอมโมเนีย	Colorimetric and Spectrophotometric method	Strickland and Person (1972)
ความเข้มข้นไนไตรท์	Colorimetric and Spectrophotometric method	Strickland and Person (1972)
ความเข้มข้นไนเตรท	Screening	Greenberg et al., (1992)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลานิลซึ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน โดยทำการเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 45 วัน โดยเลี้ยง 2 รอบการทดลองได้ผลดังนี้

4.1.1 การเลี้ยงปลานิลรอบที่ 1

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง และมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 956.5 ± 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.1) แนวโน้มของปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำยังสอดคล้องกับปริมาตรตะกอนจมน้ำที่เวลา 30 นาที ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.8 ± 0.5 มิลลิตรต่อลิตร ในวันสุดท้ายของการทดลองเช่นกัน (ภาพที่ 4.3ก) ซึ่งหากทำการเลี้ยงปลานิลต่อไปปริมาณตะกอนก็น่าจะเพิ่มขึ้นอีก ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองของ ทยากร สุวรรณรัตน์ (2552) ที่ศึกษาการเลี้ยงปลานิลเป็นเวลานาน 81 วัน ซึ่งพบว่าในวันสุดท้ายของการทดลองมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงสุดเท่ากับ 2,200-2,980 มิลลิตรต่อลิตรซึ่งนับเป็นปริมาณตะกอนที่สูงมากจนอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพปลานิลปริมาณตะกอนในระดับนี้จะมีการบริโภคออกซิเจนของแบคทีเรียในระดับสูงทำให้ต้องเพิ่มการเติมออกซิเจนลงในน้ำ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของการเลี้ยงเพิ่มสูงขึ้น

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

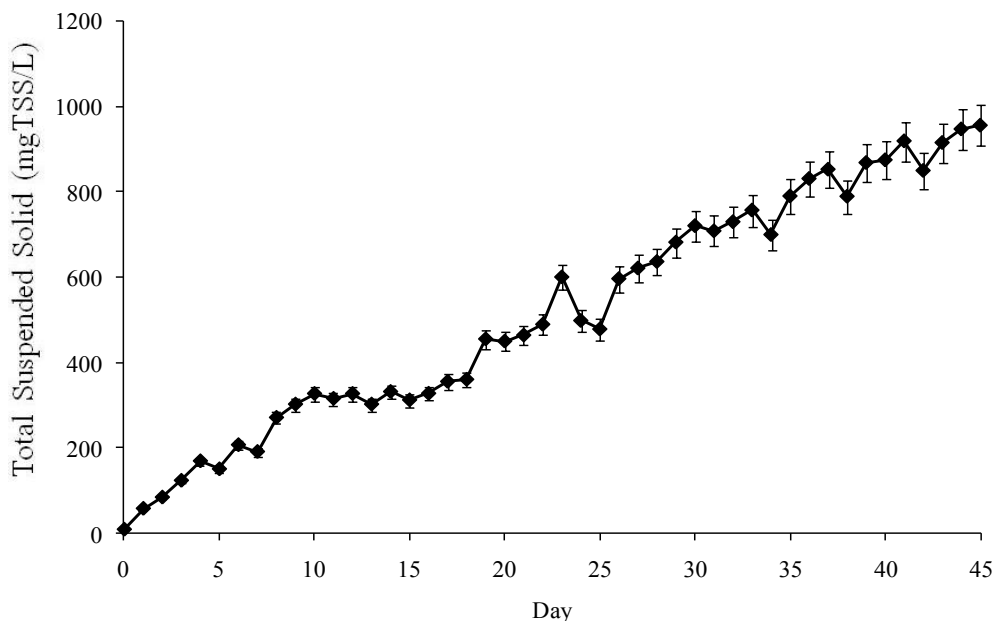
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรท (ภาพที่ 4.2) พบว่าตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 18 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดของการทดลองนี้เท่ากับ 8.5 ± 0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แต่หลังจากวันที่ 18 จนถึงสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงต่ำกว่า 0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในส่วนความเข้มข้นของไนโตรทพบการสะสมตั้งแต่วันที่ 9-19 โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 19 เท่ากับ 13.9 ± 0.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรหลังจากวันที่ 19 จนถึงสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของไนโตรทก็ลดลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณไนเตรทในช่วงวันที่ 1 – 10 ยังไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่หลังจากวันที่ 10 จนถึงสิ้นสุดการทดลองจะพบการสะสมของไนเตรทและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่าง

ต่อเนื่องจนกระทั่งในวันที่ 45 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลอง ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าสูงสุดเท่ากับ 73 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่สะสมตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการทดลองมีสาเหตุมาจากปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตะกอนเหล่านี้เกิดจากเศษอาหารและการขับถ่ายของปลานิล แบคทีเรียจะย่อยสลายโปรตีนจากเศษอาหารและของเสียกลายเป็นแอมโมเนียผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ในส่วนไนโตรทและไนเตรทจะเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน สารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำโดยเฉพาะแอมโมเนียและไนไตรท์มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำหากอยู่ในระดับสูงมากกว่า 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีหน่วยแยกตะกอนแขวนลอยในน้ำเพื่อช่วยลดระดับความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน

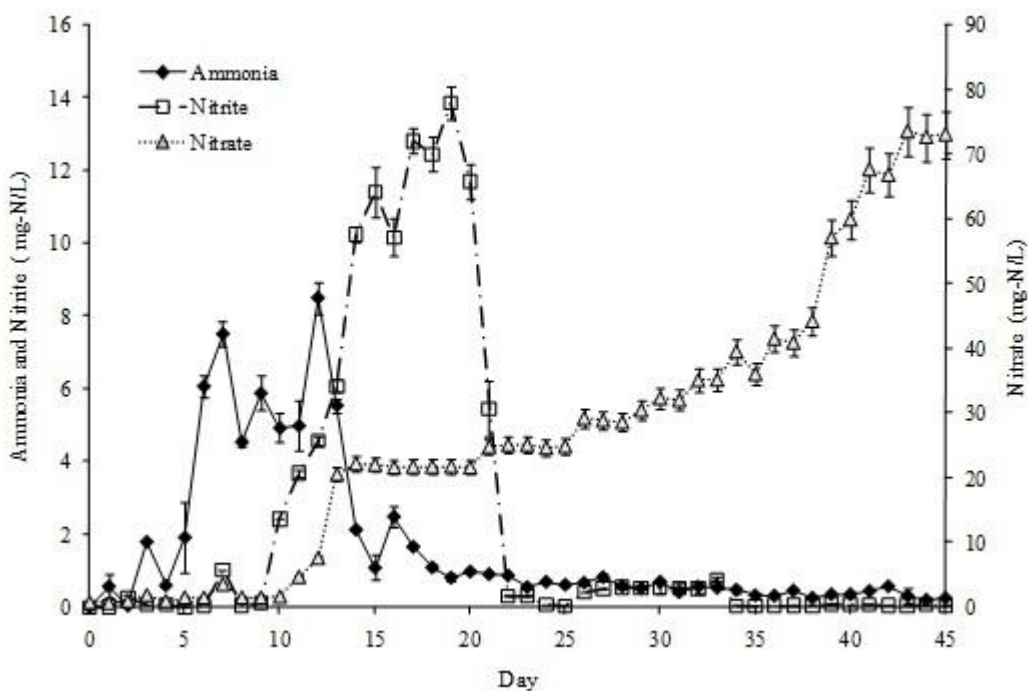
ในส่วนของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยวันสุดท้ายของการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.8 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.3) การลดลงของค่า DO คาดว่ามีสาเหตุมาจากแบคทีเรียซึ่งอยู่ในตะกอนจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจจึงทำให้แบคทีเรียดังกล่าวไปแย่งออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และอุณหภูมิของการทดลองนี้พบว่ามีค่าในช่วง 7.5-7.7 และ 24.0-25.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล (Popma and Lovshin, 1995; Timmons et al., 2002)

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิล

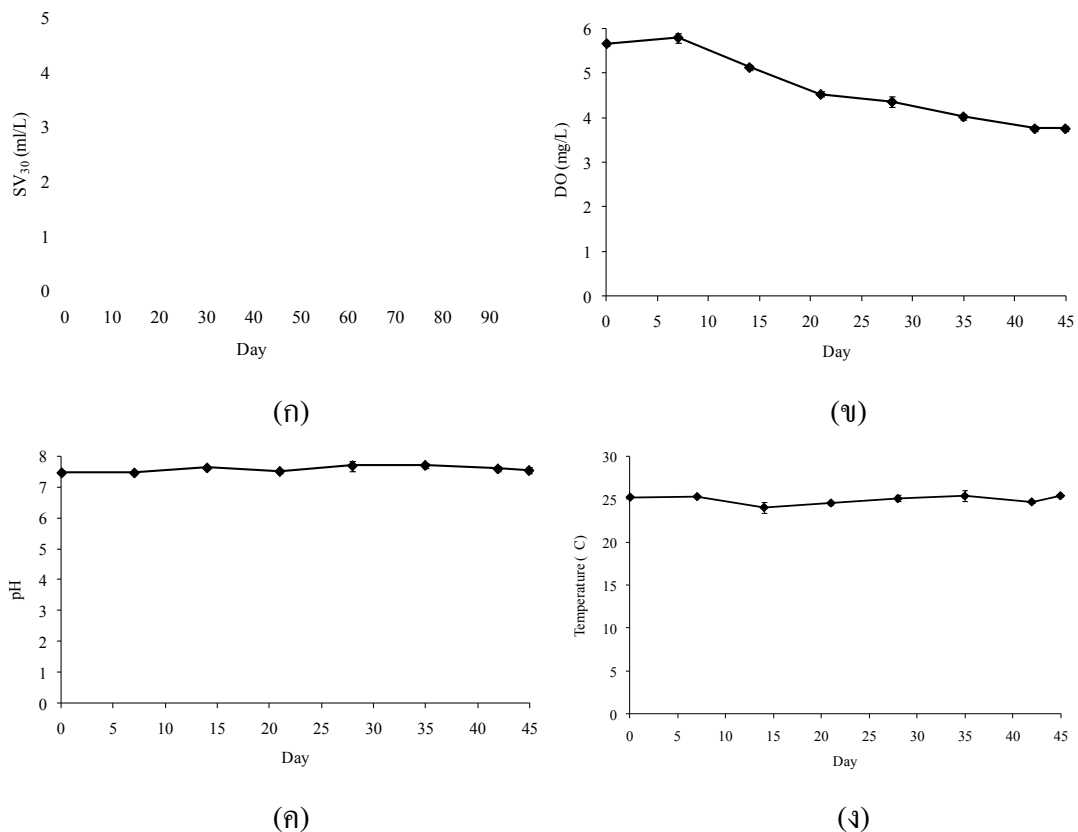
การทดลองนี้มีการปล่อยลูกปลานิลน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 1.5 ± 0.3 กรัม ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้อาหารประมาณ 3% ของน้ำหนักปลาต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลมีค่าเพิ่มขึ้นจากการสุ่มตัวอย่างปลานิลมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 7 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.5 กรัมต่อวัน มีอัตราการรอดหลังสิ้นสุดการทดลอง 85.9% น้ำหนักเฉลี่ยตอนสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 24.4 กรัมต่อตัว ความหนาแน่นของปลานิลหลังสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 8.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราการแลกเนื้อในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 1.10 ข้อมูลการเจริญเติบโตจากการทดลองนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยของ James (1989) ที่เลี้ยงปลานิลในบ่อโรงเรือน ที่พบว่าค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยและอัตราการแลกเนื้อมีค่าเท่ากับ 0.55 กรัมต่อวันและ 0.88 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มี การถ่ายน้ำและแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 1)



ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มี การถ่ายน้ำและไม่มี การแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 1)



ภาพที่ 4.3 (ก) ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (ข) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) (ค) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (ง) อุณหภูมิ ในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มี การถ่ายน้ำและไม่แยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 1)

4.1.2 ผลการเลี้ยงปลานิลรอบที่ 2

การทดลองเลี้ยงปลานิลรอบที่ 2 จะนำปลานิลจากการทดลองรอบที่ 1 มาเลี้ยงต่อ ทำให้ขนาดเริ่มต้นของปลาใหญ่กว่าการเลี้ยงปลานิลในรอบแรก อย่างไรก็ตามยังคงความหนาแน่นเริ่มต้นในการเลี้ยงที่ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่แตกต่างจากการเพาะเลี้ยงปลานิลรอบที่ 1

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

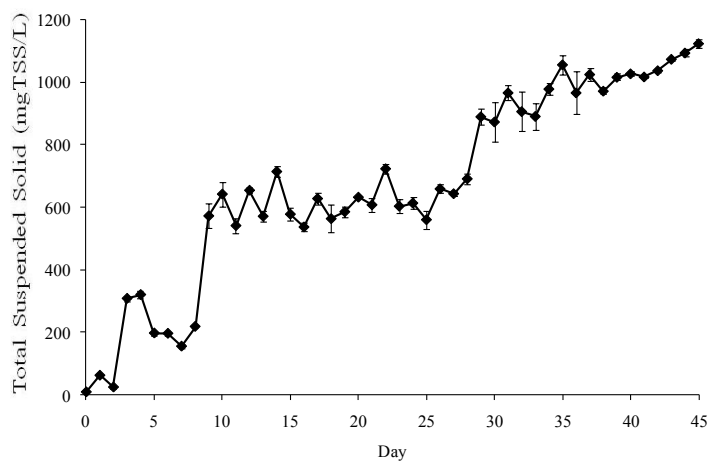
ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ซึ่งปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ $1,125.6 \pm 45.2$ มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.4) ในส่วนของปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลองเช่นกัน (ภาพที่ 4.6ก)

ผลการศึกษารวดคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

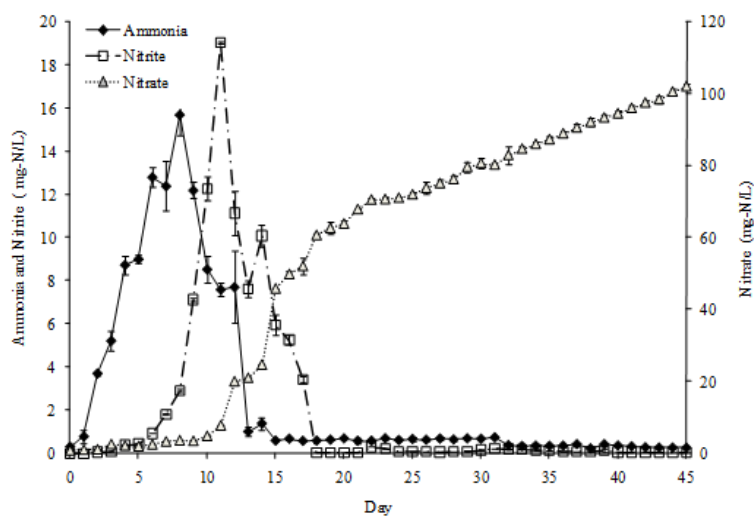
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท (ภาพที่ 4.5) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าสูงสุดในวันที่ 9 เท่ากับ 15.7 ± 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หลังจากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าลดลงและมีค่าประมาณ 0.6 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตลอดระยะเวลาที่เหลือของการทดลอง ในส่วนความเข้มข้นของไนโตรท์มีค่าสูงสุดในวันที่ 11 เท่ากับ 19.0 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และหลังจากวันที่ 17 จนถึงสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของไนโตรท์มีค่าประมาณ 0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ความเข้มข้นของไนเตรทในช่วงวันที่ 1-10 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่หลังจากวันที่ 10 จนถึงสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในวันสุดท้ายของการทดลองความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าสูงสุดเท่ากับ 102 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรจากรายงานของ Gutierrez-Wing and Malone (2006) พบว่าถึงแม้ไนเตรทจะมีความเป็นพิษต่ำต่อปลานิล แต่ความเข้มข้นของไนเตรทที่มากกว่า 75 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จะส่งผลให้อัตราการเจริญพันธุ์และปริมาณไข่ของปลานิลลดลง และจะใช้เวลาในการฟักไข่นานขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลานิลลดลงในส่วนของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดค่าและอุณหภูมิ พบว่าในระหว่างการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล (ภาพที่ 4.6)

ผลการศึกษารอดและการเจริญเติบโตของปลานิล

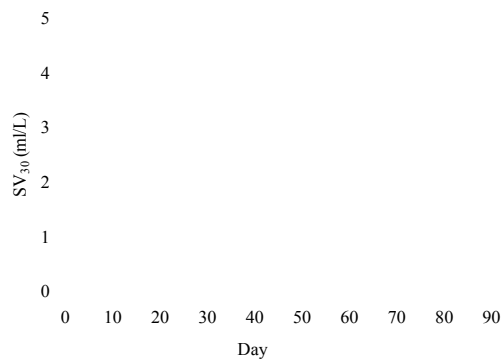
การทดลองนี้มีการปล่อยปลานิลที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 30.4 ± 19.4 กรัม ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารประมาณ 3% ของน้ำหนักปลาต่อวัน มีการสุ่มตัวอย่างปลานิลมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 7 วัน พบว่าหลังสิ้นสุดการทดลองอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.6 กรัมต่อวัน มีอัตราการรอดหลังสิ้นสุดการทดลอง 88.3% น้ำหนักเฉลี่ย 59.3 ± 22.9 กรัมต่อตัว ความหนาแน่นของปลานิลหลังสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 8.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและอัตราการแลกเนื้อในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 1.04 จะเห็นได้ว่าข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิลในการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองครั้งที่ 1



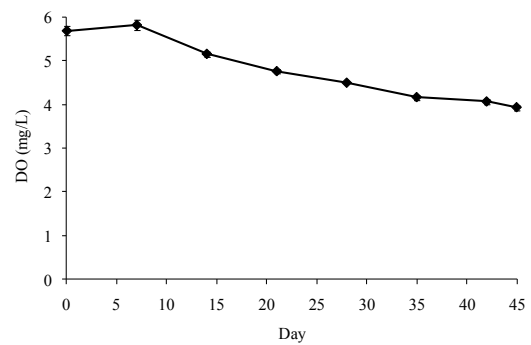
ภาพที่ 4.4 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 2)



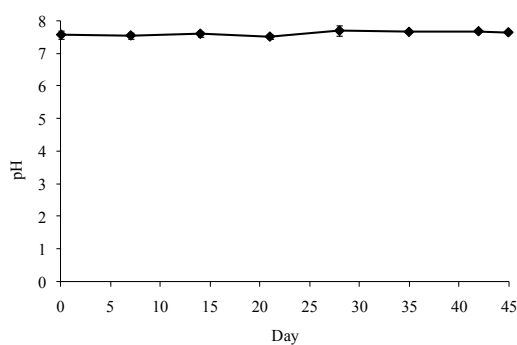
ภาพที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรทในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 2)



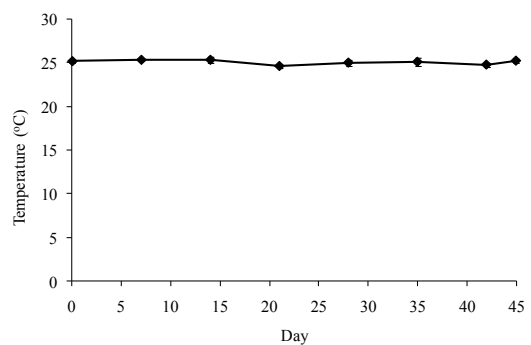
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.6 (ก) ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (ข) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (ค) ค่าความเป็นกรดด่าง (ง) อุณหภูมิ ในบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่มีการแยกตะกอน (การทดลองรอบที่ 2)

4.2 ผลศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น

การทดลองนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่ออกแบบขึ้น หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนแต่ละรูปแบบ เมื่อได้หน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วจะนำหน่วยแยกตะกอนดังกล่าวมาทดสอบเบื้องต้นร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบปิดในโรงเรือน

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอน

การประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่ออกแบบขึ้น (รายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกตะกอนในแต่ละรูปแบบโดย (1) ปรับอัตราการไหลของน้ำในช่วงระหว่าง 100 ถึง 600 ลิตรต่อชั่วโมงและ (2) ปรับจำนวนชั้นแผ่นกั้นของหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลม กระจายกว่า กระจายหงาย เป็น 4, 8 และ 14 ชั้น จากนั้นจะนำข้อมูล

ประสิทธิภาพในการแยกตะกอนมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)
ด้วยโปรแกรม SPSS v.17

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนรูปแบบต่างๆ

รูปแบบหน่วยแยกตะกอน	ประสิทธิภาพการแยกตะกอน* (%)				
	110 L/hr	180 L/hr	280 L/hr	450 L/hr	620 L/hr
ถังกลวง (ไม่มีวัสดุบรรจุภายใน)	48.6±2.5 ^a	35.0±1.8 ^b	26.6±5.1 ^c	13.7±7.2 ^d	12.7±1.4 ^d
ตัวกรองพลาสติก BCN-009	53.1±1.5 ^a	45.0±3.0 ^b	38.6±0.2 ^c	33.3±1.0 ^d	18.4±2.0 ^e
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 4 ชั้น	69.8±2.2 ^a	67.5±1.5 ^a	47.1±0.7 ^b	41.8±4.5 ^b	27.4±7.1 ^c
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น	74.5±1.9 ^a	71.3±2.4 ^a	57.3±1.3 ^b	43.5±2.6 ^c	32.5±3.5 ^d
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 14 ชั้น	75.2±0.5 ^a	72.3±1.2 ^a	58.7±2.3 ^b	45.4±4.0 ^c	34.2±4.6 ^d
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 4 ชั้น	60.0±1.5 ^a	51.7±1.3 ^a	35.8±3.6 ^b	27.6±7.7 ^c	21.0±7.3 ^c
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 8 ชั้น	70.3±2.3 ^a	62.4±1.0 ^b	40.1±2.5 ^c	32.3±2.0 ^d	23.5±3.0 ^e
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 14 ชั้น	71.3±1.5 ^a	65.5±4.4 ^a	43.2±3.1 ^b	33.7±5.5 ^c	24.3±5.7 ^d
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 4 ชั้น	64.5±0.8 ^a	57.3±1.6 ^b	42.9±0.7 ^c	29.0±2.7 ^d	23.1±1.5 ^e
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 8 ชั้น	72.3±1.8 ^a	67.8±2.9 ^b	49.5±1.6 ^c	34.9±1.4 ^d	25.9±1.9 ^e
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 14 ชั้น	73.7±1.1 ^a	68.5±1.1 ^b	50.6±2.1 ^c	35.5±3.8 ^d	26.6±1.6 ^e

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวระบุถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกตะกอนเกิดขึ้นเมื่อควบคุมอัตราการไหลที่ 110 ลิตรต่อชั่วโมง ในทุกรูปแบบของหน่วยแยกตะกอนที่ทดสอบแต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมงจะพบว่าหน่วยแยกตะกอนบางรูปแบบ คือ แบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 4 ชั้น, แบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น, แบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 14 ชั้น, แบบแผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 4 ชั้นและแบบแผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 14 ชั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากข้อมูลดังกล่าวจะนำผลการทดลองที่อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง ทุกรูปแบบและอัตราการไหลที่ 180 ลิตรต่อชั่วโมงของหน่วยแยกตะกอนแต่ละรูปแบบที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มาวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบอีกครั้ง ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนแต่ละรูปแบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

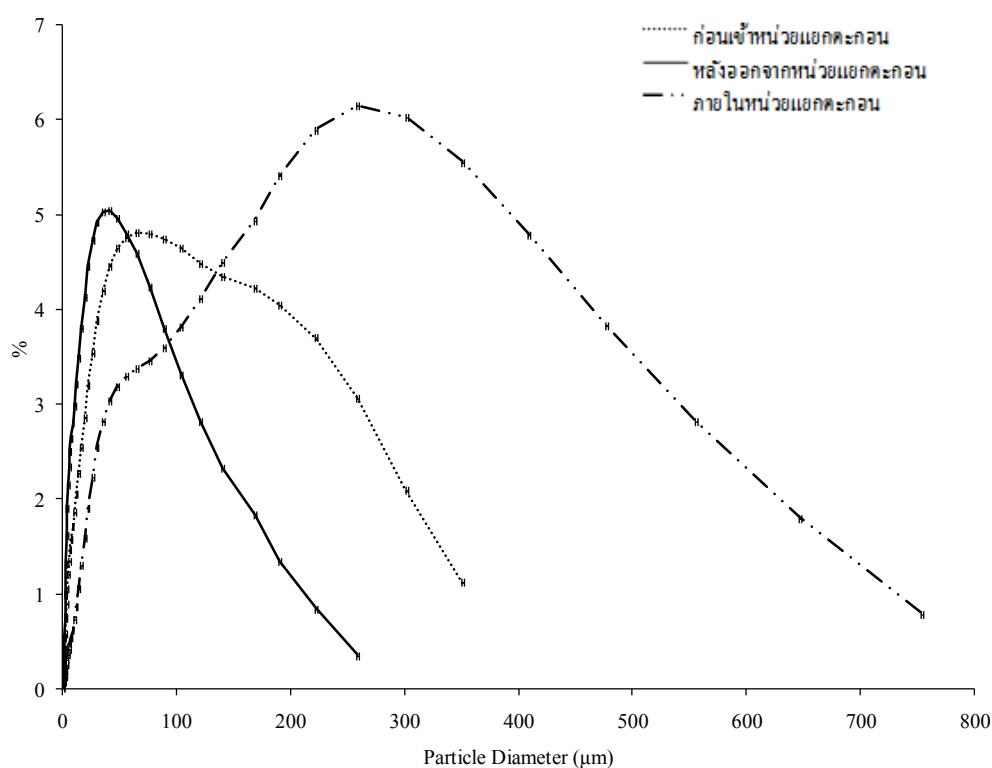
รูปแบบ	อัตราการไหล	ประสิทธิภาพการแยกตะกอน* (%)
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 14 ชั้น	110 L/hr	73.7±1.1 ^a
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 8 ชั้น	110 L/hr	72.3±1.8 ^a
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 14 ชั้น	180 L/hr	72.3±1.2 ^a
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น	180 L/hr	71.3±2.4 ^a
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 8 ชั้น	110 L/hr	70.3±2.3 ^a
แผ่นพีวีซีรูปวงกลม 4 ชั้น	180 L/hr	67.5±1.5 ^b
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 14 ชั้น	180 L/hr	65.5±4.4 ^b
แผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 4 ชั้น	110 L/hr	64.5±0.8 ^b
ตัวกรองพลาสติก BCN-009	110 L/hr	53.1±1.5 ^c
แผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 4 ชั้น	180 L/hr	51.7±1.3 ^c
ถังกลวง (ไม่มีวัสดุบรรจุภายใน)	110 L/hr	48.6±2.5 ^d

* ตัวอักษรที่ต่างกันระบุความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่าหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 14 ชั้น มีประสิทธิภาพการแยกตะกอนสูงสุดแต่เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปกรวยหงาย 8 ชั้น, แบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 14 ชั้น, แบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นและแบบแผ่นพีวีซีรูปกรวยคว่ำ 8 ชั้น จะพบว่าหน่วยแยกตะกอนแต่ละรูปแบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงความยากง่ายในการออกแบบและการทำความสะอาดดูแลรักษาด้วยแล้ว จะพบว่าหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลมจะออกแบบและทำความสะอาดง่ายกว่าหน่วยแยกตะกอนรูปแบบอื่นๆ อีกทั้งมีราคาก็ถูกกว่า จากเหตุผลดังกล่าวจึงเลือกหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น ที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ที่มีประสิทธิภาพการแยกตะกอน 71.3±2.4% มาใช้ในการทดลองต่อไป

ระหว่างการทดสอบประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น ที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ได้มีการนำตะกอนที่แยกได้ไปวิเคราะห์ขนาดของตะกอนด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer โดยเก็บตัวอย่างที่จุดต่างๆ 3 จุด คือ ก่อนเข้าหน่วยแยกตะกอน, หลังออกจากหน่วยแยกตะกอนและภายในหน่วยแยกตะกอน พบว่าขนาดของตะกอนก่อนเข้าหน่วยแยกตะกอนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 80-120 ไมโครเมตร และมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ

88.5±0.3 ไมโครเมตร และขนาดของตะกอนส่วนใหญ่ของตะกอนหลังจากออกจากหน่วยแยกจะมีขนาดอยู่ในช่วง 20-60 ไมโครเมตร และมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 48.2±0.2 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าหน่วยแยกตะกอนสามารถแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากน้ำได้ และเมื่อวัดขนาดของตะกอนภายในหน่วยแยกตะกอนพบว่ามีความเฉลี่ย 203.2±4.3 ไมโครเมตร และจะอยู่ในช่วง 220-360 ไมโครเมตร ขนาดของตะกอนภายในหน่วยแยกที่มีขนาดใหญ่เกิดจากการสะสมของตะกอนภายในหน่วยแยกชั้นเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (ภาพที่ 4.7) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนในการทดลองนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.3)



ภาพที่ 4.7 ขนาดของตะกอนที่จุดต่างๆ 3 จุดคือ ก่อนเข้าหน่วยแยกตะกอน, หลังออกจากหน่วยแยกตะกอนและภายในหน่วยแยกตะกอน ในการทดลองด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพหน่วยแยกตะกอนในการทดลองนี้กับงานวิจัยอื่น

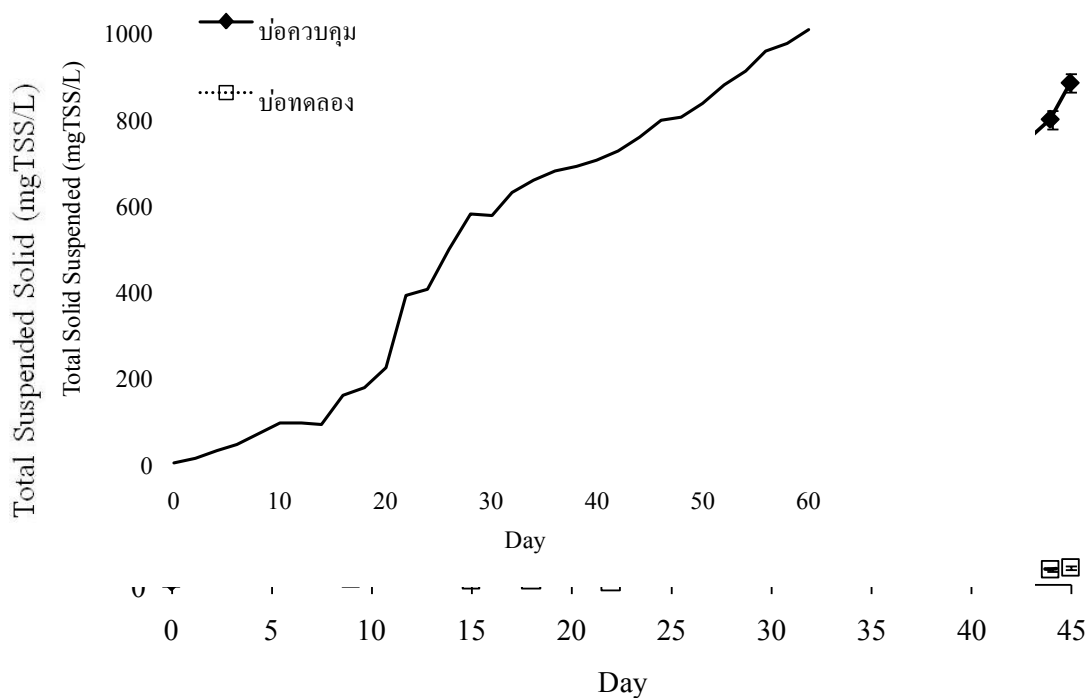
รูปแบบการแยกตะกอน	ขนาดตะกอนที่แยกได้ (μm)	ประสิทธิภาพการแยกตะกอน (%)	อ้างอิง
Sedimentation Tank	80-120	71.3 \pm 2.4	การทดลองนี้
Hydro cyclones	77	87	(Scott and Allard, 1984)
Swirl separator	60-350	>40	(Beveridge, Phillips and Clarke, 1991)
Swirl separator	120-250	16-94	(Ulgenes, 1992)
Swirl separator	-	71	(Eikebrokk and Ulgenes, 1993)
Drum filters	40	40	(Libcy, 1993)
Screen filter	-	80	(Joanna, Philip and Thomas, 1997)
Suspended solid removal	-	42	
Propeller-wash bead filter	23-55	70-90	(Mann and Stephenson, 1997)
Sedimentation Unit	-	85-90	(Bergheim, Cripps and Liltved, 1998)
Swirl separator	600-1,600	20-80	(Liltved, 1998)
Swirl separator	-	42-53	(Veerapen, 2002)
Bead filter media with column in filter	5-10 20-50	20 60	(Deshpande et al., 2004)
Swirl separator	2.4 \pm 0.5	37.1 \pm 3.3	(John and Steven, 2004)
Radial flow setter	2.7 \pm 0.3	77.9 \pm 1.6	
Swirl separator	-	10-25	(Timand Ron, 2006)
Swirl separator	250	90	(Timothy, Andrew and Megan, 2008)
Propeller-wash bead filter	55	85	
Fluidized sand filter	23-55	65	
Swirl separator	90	63	(Couturier et al., 2009)
Drum filter	90	25	

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ร่วมกับการเลี้ยงปลานิลในระบบบ่อเลี้ยงแบบปิดในโรงเรือน

เมื่อได้หน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วจะนำหน่วยแยกตะกอนดังกล่าวมาทดสอบร่วมกับระบบบ่อเลี้ยงปลานิล ซึ่งเป็นบ่อควบคุมซึ่งไม่มีหน่วยแยกตะกอนจำนวน 1 บ่อ และบ่อทดลองที่มีหน่วยแยกตะกอนจำนวน 1 บ่อ โดยทำการเลี้ยงปลาโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เป็นเวลา 45 วัน

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

ภาพที่ 4.8 แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำซึ่งพบว่าบ่อควบคุมมีปริมาณตะกอนสะสมตามระยะเวลา มากกว่าบ่อทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยในวันสุดท้ายมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองเท่ากับ 879.6 ± 17.1 และ 30.8 ± 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สาเหตุที่ในบ่อทดลองมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าบ่อควบคุมเนื่องจากในบ่อทดลองมีหน่วยแยกตะกอนทำหน้าที่แยกตะกอนออกจากระบบ โดยที่มาของเกิดจากการเติบโตของแบคทีเรียตามธรรมชาติ การขับถ่ายของปลานิล และเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลานิล



ภาพที่ 4.8 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำระหว่างการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่ และไนเตรท ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.9 พบว่าในบ่อควบคุมช่วงวันที่ 1-8 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 8 เท่ากับ 6.7 ± 0.8 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.8 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรจนถึงสิ้นสุดการทดลองปริมาณแอมโมเนียในบ่อควบคุมต่างจากบ่อทดลองที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 1.6 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 6 หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงและมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.1-0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของความเข้มข้นของไนโตรที่ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีลักษณะคล้ายกันคือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงวันที่ 10 จากนั้นก็เริ่มลดลงจนมีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรจนถึงสิ้นสุดการทดลองส่วนความเข้มข้นของไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยความเข้มข้นของไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 83.4 ± 0.4 และ 64.4 ± 0.7 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ

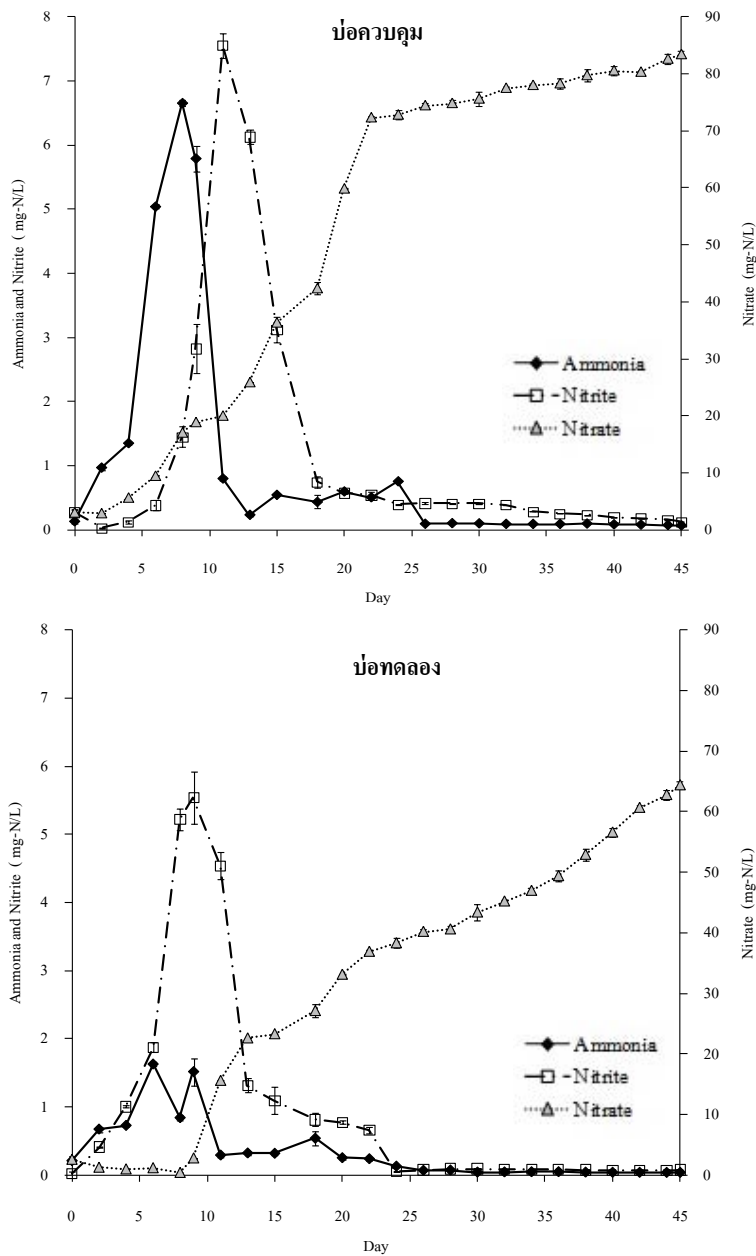
จะเห็นได้ว่าการมีหน่วยแยกตะกอนสามารถช่วยลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่ และไนเตรท ในบ่อทดลองให้ต่ำกว่าในบ่อควบคุมซึ่งไม่มีหน่วยแยกตะกอนได้อย่างมีนัยสำคัญแต่ในการทดลองนี้ก็ยังคงพบปัญหาการสะสมของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยเฉพาะแอมโมเนียและไนโตรที่ในปริมาณสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้งานหน่วยแยกตะกอนควบคู่ไปกับตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเพื่อลดปัญหาดังกล่าวในวันสุดท้ายของการทดลองได้มีการนำน้ำจากบ่อควบคุมและบ่อทดลองมาถ่ายรูปเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่าในบ่อทดลองซึ่งมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนน้ำจะใสกว่าบ่อควบคุม (ภาพที่ 4.10) ผลดังกล่าวเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนในการดักจับตะกอนแขวนลอยในน้ำ

ส่วนผลการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิจากบ่อควบคุมและบ่อทดลอง พบว่ามีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 4-7 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5-8 และอุณหภูมิ 23-27 องศาเซลเซียสซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล

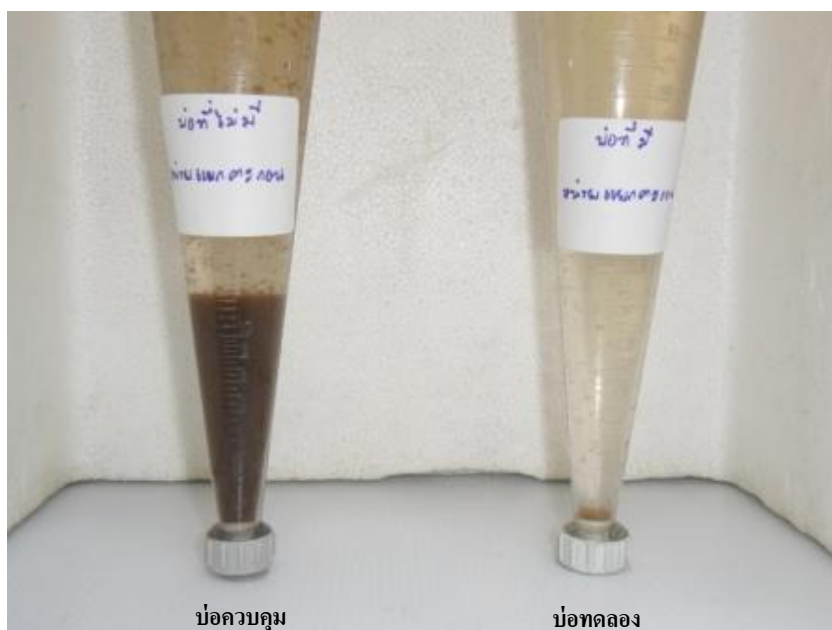
ผลการศึกษากาการเจริญเติบโตของปลานิล

การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลระหว่างบ่อควบคุมและบ่อทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อของปลานิลในบ่อทดลองจะมีค่าสูงกว่าในบ่อควบคุม ซึ่งคาดว่ามิสาเหตุจากบริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับตะกอนมีการดูดซับและปล่อยก๊าซแอมโมเนียและไนโตรที่ตลอดเวลา โดยเมื่อตะกอนเข้าสู่ห้องปลาจะ

ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซพิษเข้าสู่ร่างกายปลานิลทำได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ปลานิลในบ่อควบคุม
เกิดความเครียด (Cowanand Boynton, 1996)



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



ภาพที่ 4.10 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยแสดงตัวอย่างน้ำในวันสุดท้ายของการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

รูปแบบ	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
ความหนาแน่นเริ่มต้น(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	3	3
ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)	45	45
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	31.4±11.2	32.5±11.3
น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	58.9±12.7	61.3±11.6
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	0.61	0.64
อัตราการรอด (%)	89.2	92.1
อัตราการแลกเนื้อ	1.22	1.14
ปริมาณโปรตีนในอาหาร (%)	30	30
ความหนาแน่นสุดท้าย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	8.7	8.9

4.3 ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพในτριฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรือน

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์การใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 98 วัน ระหว่างการทดลองได้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น ที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับความเร็วการไหลของน้ำภายในหน่วยแยกตะกอนเท่ากับ 2.55 เมตรต่อชั่วโมง ในการทดลองนี้ปลานิลมีความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

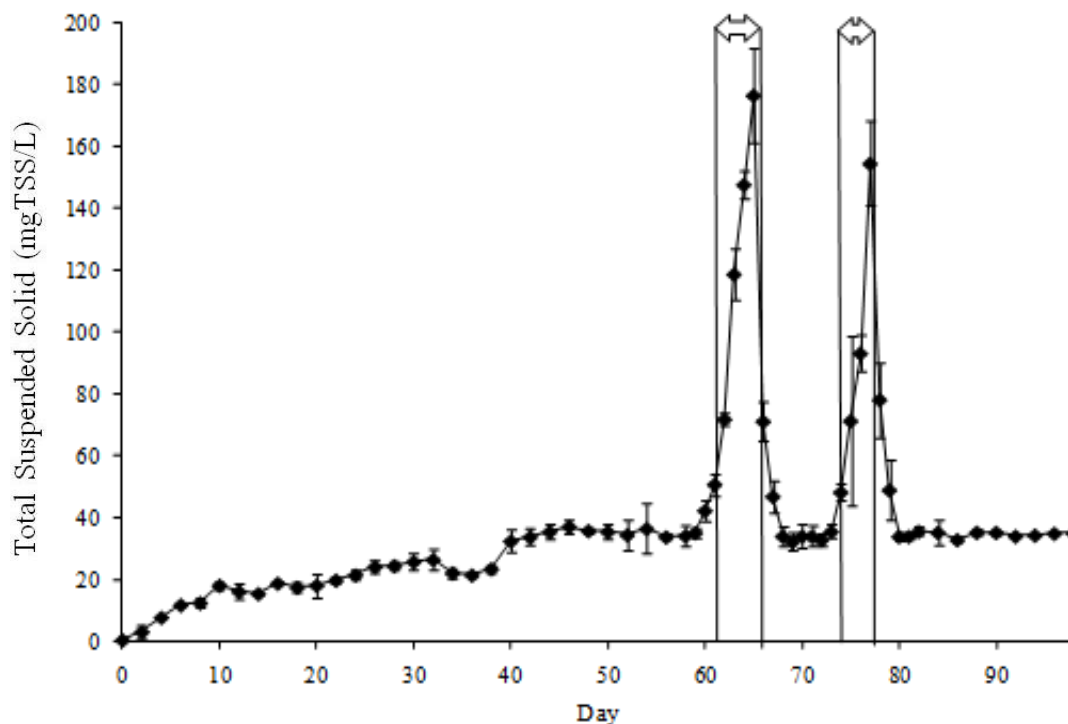
ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในช่วงวันที่ 1-60 ซึ่งมีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนพบว่าหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมปริมาณตะกอนได้ดี โดยมีปริมาณตะกอนแขวนลอยประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.11) ซึ่งปริมาณตะกอนในระดับดังกล่าวอยู่ในระดับเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลานิลและมีความเข้มข้นน้อยกว่าค่าที่กฎหมายกำหนดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Timmons et al., 2002; สุบัณฑิต นิर्मรัตน์และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

ช่วงวันที่ 61-65 มีการปิดหน่วยแยกตะกอนซึ่งพบว่าในวันที่ 65 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 176.7 ± 15.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.11) ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนได้เท่ากับ 32.7 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในช่วงวันที่ 66-73 มีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนอีกครั้งซึ่งพบว่าหน่วยแยกตะกอนสามารถลดปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำได้ดี โดยมีอัตราการลดลงของตะกอนเท่ากับ 64.8 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนประมาณ 2 เท่า ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความเข้มข้นลดลงจาก 176.8 เป็น 35.3 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 73 (ภาพที่ 4.11)

ช่วงวันที่ 74-78 ได้มีการปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนอีกครั้งซึ่งพบว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 154.7 ± 11.1 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 77 (ภาพที่ 4.11) โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนเท่ากับ 28.3 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนในการปิดหน่วยแยกตะกอนครั้งแรก ในช่วงวันที่ 79 จนถึงสิ้นสุดการทดลองได้มีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนอีกครั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำพบว่าหน่วยแยกตะกอนสามารถลดปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำได้ดี โดยมีอัตราการลดลงของตะกอนเท่ากับ 52.7 มิลลิกรัมต่อ

ลิตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลเมื่อเปิดหน่วยแยกตะกอนในครั้งแรก ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความเข้มข้นลดลงจาก 154.7 เหลือประมาณ 35 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้ในระหว่างการทดลองได้มีการนำแผ่นกั้นภายในหน่วยแยกตะกอนออกมาทำความสะอาดทุก 7 วัน เพื่อป้องกันการเน่าเสียของตะกอนจนทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.11 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบเพาะเลี้ยงปลาชนิดแบบปิดในโรงเรือน (\longleftrightarrow ช่วงที่มีการปิดหน่วยแยกตะกอน)



ภาพที่ 4.12 ลักษณะของแผ่นกั้นภายในหน่วยแยกตะกอนหลังจากใช้แยกตะกอนมาแล้ว 7 วันซึ่งพบตะกอนเกาะอยู่ที่แผ่นกั้นจำนวนมาก

4.3.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรท (ภาพที่ 4.13) ในช่วงวันที่ 1-36 ซึ่งมีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและมีการปล่อยให้น้ำจากตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันไหลผ่านระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวแต่ไม่เติมเมทานอล พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าสูงสุดในวันที่ 8 เท่ากับ 2.2 ± 0.2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.3-0.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ปริมาณไนโตรที่ในวันที่ 1-12 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากนั้นความเข้มข้นของไนโตรที่ก็มีค่าคงที่ประมาณ 1.7-2.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร การทดลองในช่วงนี้ได้มีการเติมโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ความเข้มข้นประมาณ 50 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรลงในบ่อเลี้ยงปลาในในวันที่ 7 ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเติมโซเดียมไนเตรทเป็นการป้องกันการก่อตัวของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบท่อยาว ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทหลังจากวันที่ 7 มีค่าประมาณ 57-91 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร การแกว่งของค่าความเข้มข้นของไนโตรที่และไนเตรทคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากค่า ORP ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง -132 มิลลิโวลต์ จากงานศึกษาของ Hamlin et al. (2008) ระบุว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์จะมีค่า ORP อยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.14)

ช่วงวันที่ 37-60 มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 4% โดยปริมาตรที่อัตรา 40 มิลลิลิตรต่อ ชั่วโมง เข้าสู่ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ผลการวิเคราะห์ ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.4 เป็น 1.2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันที่ 46 สำหรับความเข้มข้นของไนไตรท์มีค่าคงที่ประมาณ 0.7-0.8 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในส่วนของไนเตรทมีความเข้มข้นลดลงอย่างมากจาก 86 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 37 เหลือ 51 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 46 การลดลง ของไนเตรทมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ในระบบท่อยาวเพราะมีการเติม เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้ไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน ค่า ORP ในช่วงวันที่ 37- 46 มีค่าประมาณ -300 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นการยืนยันการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ (ภาพที่ 4.14ค)

การเติมเมทานอลในอัตราดังกล่าว (เข้มข้น 4% โดยปริมาตรที่อัตรา 40 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) อาจเป็นผลเสียต่อสุขภาพพืชน้ำซึ่งสังเกตได้จากการที่พืชน้ำกินอาหารไม่หมด (Kaviraj et al., 2004) และเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทโรโทรฟิกซ์ซึ่งทำหน้าที่ย่อย สลายโปรตีนเป็นแอมโมเนียด้วยเหตุนี้จึงหยุดเติมเมทานอลในวันที่ 46 และพบว่าไนเตรทมีค่าเพิ่ม จาก 48 เป็น 59 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ดังนั้นในวันที่ 50 จึงมีการเติมเมทานอลอีกครั้งแต่ลด ความเข้มข้นลงเหลือ 2% โดยปริมาตรแต่คงอัตราการเติมไว้เท่าเดิม คือ 40 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทลดลงจาก 59 เหลือ 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 55 (ภาพที่ 4.13) แต่ในช่วงดังกล่าวพบการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์จึงหยุดเติมเมทานอลอีก ครั้งในวันที่ 56 ส่งผลให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ในวันที่ 60 ลดลงเหลือ 1.2 ± 0.2 และ 2.7 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ ส่วนไนเตรทมีความเข้มข้นคงที่ประมาณ 35 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

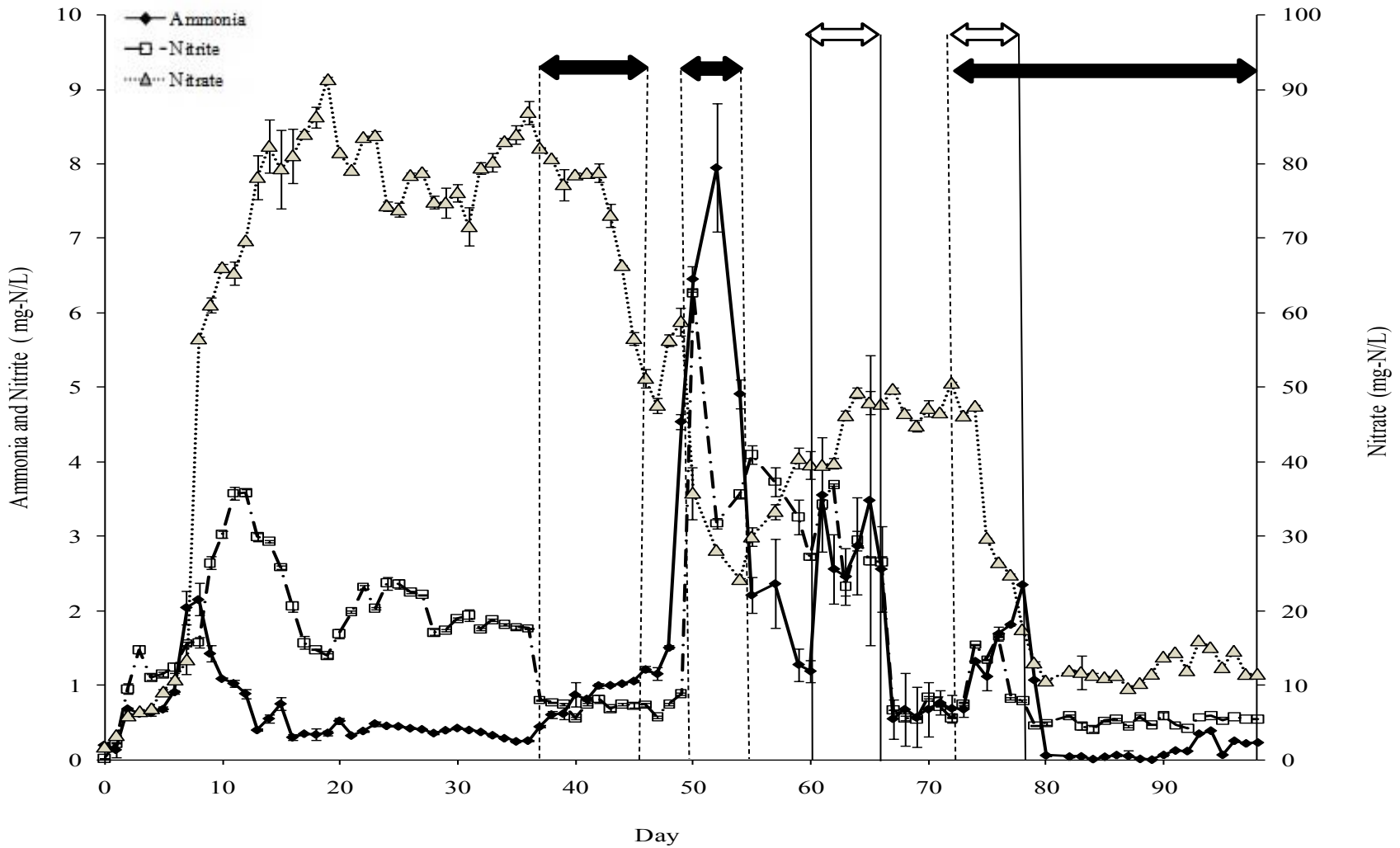
ช่วงวันที่ 61-65 มีการปิดการใช้งานหน่วยแยกตะกอนและหยุดเติมเมทานอลอีกครั้ง ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าเพิ่มจาก 1.2 ± 0.2 เป็น 3.5 ± 0.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 65 ความเข้มข้นของไนไตรท์มี ค่าประมาณ 0.4-2.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มจาก 40 เป็น 48 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นคาดว่ามิสาเหตุจากการปิดหน่วย แยกตะกอนซึ่งทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเพิ่มขึ้นจาก 42.5 ± 3.3 เป็น 176.7 ± 15.3 มิลลิกรัมต่อลิตรและการย่อยสลายของตะกอนโดยแบคทีเรียส่งผลให้เกิดการสะสมของสารอนินท ร์ไนโตรเจนภายในบ่อเลี้ยง ช่วงวันที่ 66-73 มีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและไม่เติม เมทานอลผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท พบว่าทั้งความเข้มข้น

ของแอมโมเนียและไนไตรท์มีความเข้มข้นลดลงเหลือประมาณ 0.7 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 73 สาเหตุที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ลดลงคาดว่าเกิดจากการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนซึ่งทำหน้าที่แยกตะกอนที่เป็นแหล่งกำเนิดของเสียออกจากระบบเลี้ยง ในส่วนของไนเตรทมีความเข้มข้นคงที่ประมาณ 45 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

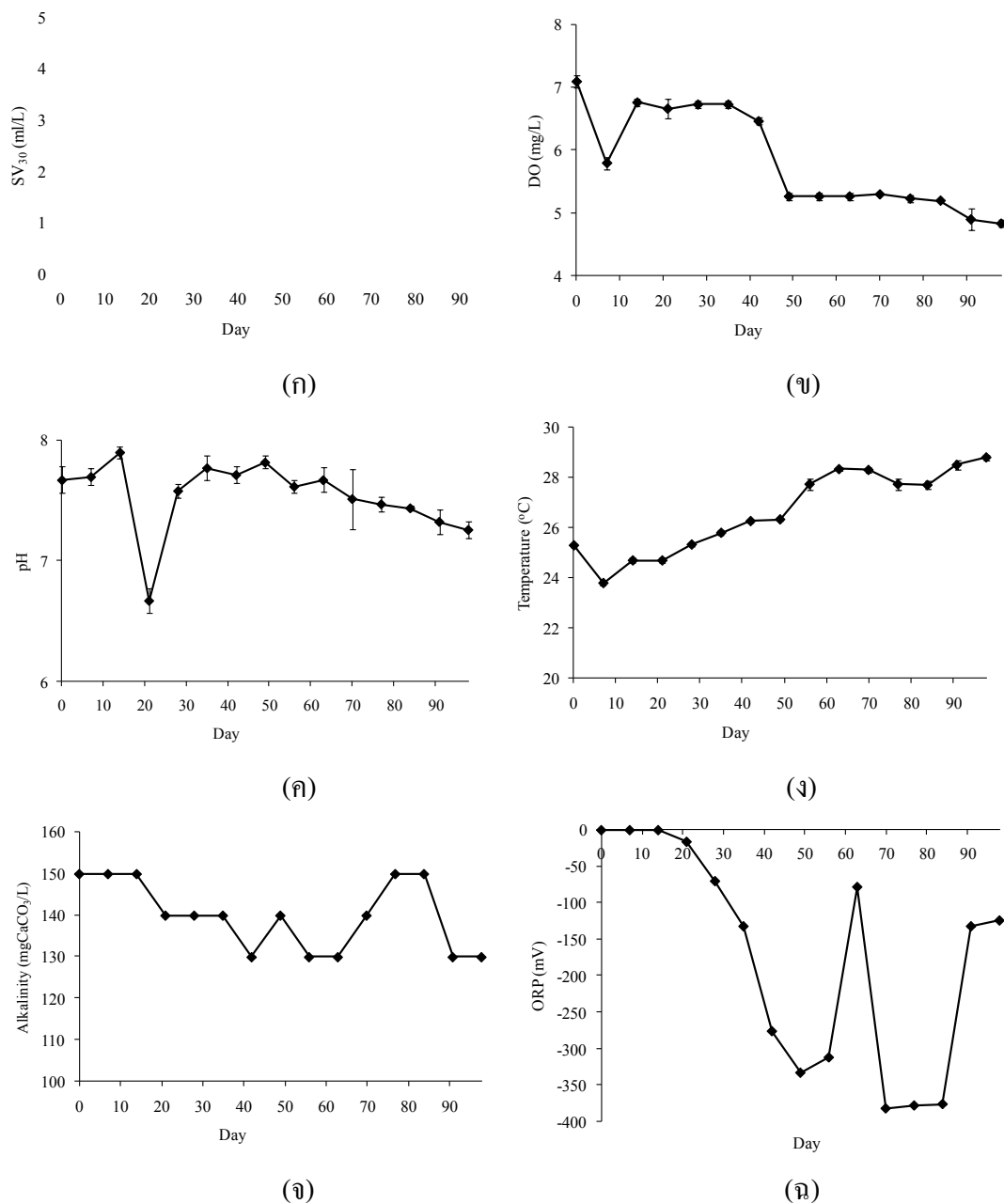
ในช่วงวันที่ 74-78 ได้เปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและมีการเติมเมทานอลเข้าสู่ท่อยาว ความเข้มข้น 2% โดยปริมาตร ซึ่งการเติมเมทานอลในครั้งนี้อาศัยปั๊มอัตโนมัติที่มีการควบคุมด้วย ORP Controller ปั๊มจะเติมเมทานอลเมื่อมีการใช้เมทานอลจนหมดทำให้ไม่เหลือเมทานอลตกค้าง ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจาก 0.7 เป็น 2.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และไนไตรท์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.8 เป็น 1.7 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรท์มีสาเหตุจากการปิดหน่วยแยกตะกอนซึ่งทำให้เกิดของเสียสะสมในระบบเลี้ยงในส่วนของไนเตรทมีความเข้มข้นลดลงจาก 26 เหลือ 17 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันที่ 78 เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยค่า ORP ในช่วงวันที่ 73-78 มีค่าประมาณ -370 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.14ฉ)

ช่วงวันที่ 79 จนถึงสิ้นสุดการทดลองจะทำการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวไปพร้อมกัน โดยเติมเมทานอล (2% โดยปริมาตร) เข้าสู่ท่อยาวในอัตรา 40 ลิตรต่อชั่วโมงและมีการควบคุมการเติมเมทานอลโดยใช้ ORP Controller ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท ในช่วงวันที่ 79 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.13) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีความเข้มข้นประมาณ 0-0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ความเข้มข้นของไนไตรท์มีค่าในช่วง 0.5-0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรและไนเตรทความเข้มข้นมีค่าในช่วง 9.3-16.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรซึ่งความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในระดับดังกล่าวอยู่ในระดับเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลาชนิด

สำหรับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำพบว่ามีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยในวันสุดท้ายของการทดลองปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 4.3 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดค่าต่างและอุณหภูมิในการทดลองนี้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 6.7-7.9 และ 23.8-28.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาชนิดและค่าอัลคาไลน์ในน้ำได้ปรับให้มีค่าเริ่มต้นประมาณ 150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตรซึ่งเป็นค่าที่พบในน้ำโดยทั่วไป จากนั้นก็ปรับค่าอัลคาไลน์ให้อยู่ในช่วง 120-150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตรตลอดการทดลอง(ภาพที่ 4.14ข-จ)



ภาพที่ 4.13 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท ในการศึกษาการใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียน (←ช่วงที่มีการเติมเมทานอล, ←ช่วงที่มีการปิดหน่วยแยกตะกอน)



ภาพที่ 4.14 (ก) ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที(ข)ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (ค)ค่าความเป็นกรดต่าง(ง) อุณหภูมิ (จ)ค่าอัลคาไลน์ตี และ (ฉ) ค่า ORPในการศึกษาการใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียน

4.3.2 ผลการเจริญเติบโตของปลานิล

การทดลองนี้มีการปล่อยปลานิลน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 4.8 ± 1.8 กรัม ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารประมาณ 3% ของน้ำหนักปลาต่อวันโดยเลี้ยงทั้งหมด 98 วัน เมื่อดูระหว่างทำการทดลองจะมีการสุ่มตัวอย่างปลานิลมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 15 วัน ในวันสุดท้ายของการทดลองปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 76.2 ± 20.3 กรัม และมีความยาวเท่ากับ 15.1 ± 2.4 เซนติเมตร ซึ่งขนาดปลาจะมีขนาดแตกต่างกันมาก (ภาพที่ 4.15) ในการทดลองปลานิลมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.7 กรัมต่อวัน และมีอัตราการรอดหลังสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 83.2% สาเหตุที่มีอัตราการรอดต่ำในการทดลองนี้เนื่องจากตอนเริ่มต้นการทดลองได้ทำการปล่อยปลาลงในบ่อทันทีโดยไม่มีการนำปลานิลมาปรับสภาพการเลี้ยงเพื่อให้ปลาเคยชินกับสภาพแวดล้อม ต่อมาจึงสังเกตเห็นได้ว่าปลาบางตัวที่ปล่อยไปแล้วมีสภาพที่ไม่ดีโดยที่บริเวณเกล็ดผิวหนังของปลานิลจะมีรอยถลอก แต่หลังจากเลี้ยงไประยะหนึ่งจะพบว่าปลานิลมีอัตราการตายลดลงมาก ความหนาแน่นสุดท้ายของปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 17.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 1.6 (ตารางที่ 4.5) ค่าอัตราการแลกเนื้อที่ได้ในการทดลองนี้เป็นผลมาจากการให้อาหารที่ไม่ทั่วถึงส่งผลให้ปลานิลมีขนาดแตกต่างกันมาก

การมีหน่วยแยกตะกอนทำหน้าที่แยกของเสียออกจากระบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีส่วนช่วยให้คุณภาพน้ำในบ่อดีขึ้น การมีตะกอนในบ่อเลี้ยงมากเกินไปจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีค่าลดลงจนอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลานิลซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดได้ นอกจากนี้การควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ก็สามารถช่วยลดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนไตรท์ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ



ภาพที่ 4.15 ขนาดของปลานิลหลังสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลในการทดลองนี้กับการเพาะเลี้ยงของงานวิจัยของ James (1989) และ ทยากร สุวรรณรัตน์ (2552)

รูปแบบ	James 1989	ทยากร (2552)	การทดลองนี้
ความหนาแน่นเริ่มต้น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	20	5	3
ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)	90	81	98
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	5	47.79	4.79
น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	100	131.24	76.2
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	1.06	1.03	0.73
อัตราการรอด (%)	-	91.24	83.21
อัตราการแลกเนื้อ	1.04	1.10	1.63
ปริมาณโปรตีนในอาหาร (%)	30-40	25	15-35
ความหนาแน่นสุดท้าย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	50	12.83	17.2

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ด้านการลงทุน

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านการลงทุนพบว่าค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบมีค่าประมาณ 150,000 บาท ซึ่งแบ่งออกเป็นค่าวัสดุระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบแยกตะกอน ระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาว และบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลในส่วนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย ค่าพันธุ์ปลานิล 1,000 บาทค่าอาหารเฉลี่ยวันละ 30 บาทและค่าไฟฟ้าทั้งระบบวันละ 8 กิโลวัตต์ เป็นเงิน 2,352 บาท รวมต้นทุนด้านการดำเนินงานในการเลี้ยงปลานิลครั้งนี้เป็นเงิน 6,292 บาท ซึ่งไม่รวมค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ (ตารางที่ 4.6) แต่เมื่อพิจารณารายได้จากการจับปลานิลในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าได้น้ำหนักรวม 68 กิโลกรัม โดยมีราคาขายปลานิลตามท้องตลาดกิโลกรัมละ 40 บาท ซึ่งจะเป็นเงินรายได้เท่ากับ 2,720 บาท ซึ่งยังขาดทุนอยู่มากด้วยเหตุนี้จึงยังต้องพัฒนาแนวทางการดำเนินงานให้มีความคุ้มค่ามากขึ้น เช่น ปรับปรุงชนิดของปลาที่จะเลี้ยงเป็นปลาที่ทนทานซึ่งมีราคาสูงกว่าปลานิล 2 เท่าหรือนำระบบเลี้ยงปลานิลนั้นมาประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ปลา เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ หรือศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ระบบสามารถรองรับการเพาะเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่สูงมากขึ้น

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงปลานิลแบบปิดโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างระบบ

	รายละเอียด	ราคา(บาท)	คิดเป็น %
ค่าก่อสร้างระบบ	ระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน	45,000	28.78
	ระบบบำบัดไนเตรฟิเคชัน	25,000	16.00
	ระบบควบคุม	80,000	51.19
ค่าใช้จ่ายประจำ	ค่าพันธุ์ปลานิล	1,000	0.65
	ค่าอาหาร	2,940	1.88
	ค่าไฟฟ้าทั้งระบบ	2,352	1.50
	รวม	156,292	100

*คิดค่าไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ประมาณ 3 บาท

4.3.4 ผลการประเมินสมดุลไนโตรเจน

การประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบเลี้ยงปลานิลเป็นการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบตลอดระยะเวลาการทดลองและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่กระจายอยู่ในรูปแบบต่างๆ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ปริมาณไนโตรเจนจากอาหารสามารถคำนวณได้จากกริ

มาตรฐานอาหารที่ให้แก่ปลานิลในแต่ละวัน โดยตั้งสมมติฐานว่าไนโตรเจนในโปรตีนมีไนโตรเจนอยู่ 16.5 % ปริมาณไนโตรเจนจากปลาอาศัยผลจากงานวิจัยของ Abdel-Tawwab et al. (2010) ซึ่งระบุว่า ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลานิลมีค่าเท่ากับ 15% ต่อน้ำหนักเปียก 100 กรัม สำหรับปริมาณไนโตรเจนในตะกอนได้อาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ CHN ซึ่งพบว่าตะกอนมีไนโตรเจนประมาณ 15% ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการประเมินสมดุลมวลไนโตรเจนซึ่งพบว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่มาจากอาหารปลาเป็นร้อยละ 92.61% ส่วนที่เหลือมาจากตัวปลาและไนโตรเจนในน้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนในระบบอยู่ในปลานิลถึงร้อยละ 41.70 และมีไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับตะกอนที่แยกออกด้วยหน่วยแยกตะกอนประมาณร้อยละ 4.93 ในส่วนปริมาณไนโตรเจนในตะกอนและสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำมีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1.5 ดังนั้นจึงมีไนโตรเจนที่หายไปถึงร้อยละ 52 ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันทั้งในส่วนของระบบบำบัดในเตรทแบบท่อยาวและตะกอนภายในบ่อเลี้ยง

ตารางที่ 4.7 สมดุลไนโตรเจนในการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือน

ไนโตรเจนขาเข้า	กรัมไนโตรเจน*	%N
อาหาร	3667.20	92.61
ปลานิล	288.00	7.27
น้ำ	4.58	0.12
รวม	3959.78	100
ไนโตรเจนขาออก	กรัมไนโตรเจน*	%N
ปลานิล	1651.20	41.70
น้ำ	48.96	1.24
ตะกอนในน้ำ	2.80	0.07
ตะกอนที่แยกออก	195.02	4.93
อื่นๆ	2061.80	52.07
รวม	3959.78	100

* 1 กรัมไนโตรเจนเท่ากับ 6.25 กรัมโปรตีน (เอกชัย มาลาพล, 2551)

4.4 ผลการศึกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟลอค

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟลอคซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) นำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนในการทดลองหัวข้อที่ 3.3 มาเป็นตะกอนหัวเชื้อเพื่อเร่งการเกิดไบโอฟลอค (2) การควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในระดับที่เหมาะสมโดยใช้หน่วยแยกตะกอนเพื่อเป็นกลไกในควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในโตรเจน

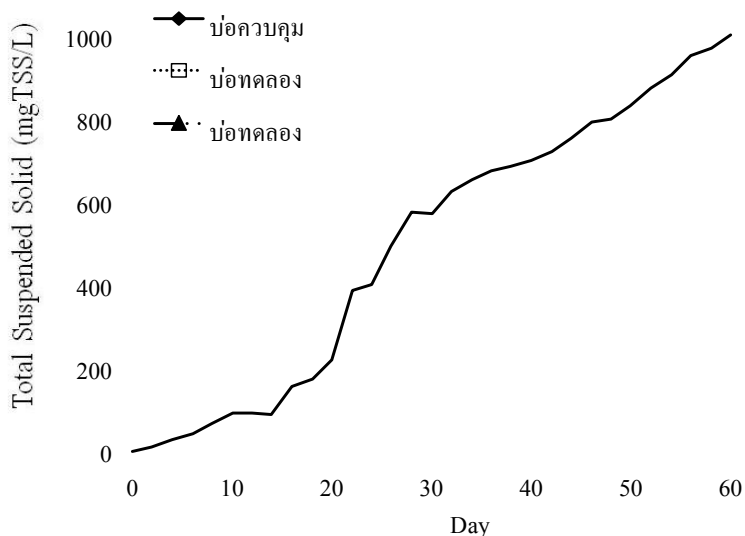
4.4.1 ผลการทดลองเลี้ยงปลาในบ่อที่มีการเติมตะกอนไบโอฟลอคร่วมกับตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ

การทดลองส่วนนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 บ่อคือ บ่อควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันและหน่วยแยกตะกอน (3 ซ้ำ) บ่อทดลอง 1 ที่มีตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันแต่ไม่มีหน่วยแยกตะกอน (3 ซ้ำ) และบ่อทดลอง 2 ที่มีตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันและหน่วยแยกตะกอน (3 ซ้ำ) สำหรับหน่วยแยกตะกอนจะใช้หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นโดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 180 ลิตรต่อชั่วโมงในการทดลองนี้จะนำตะกอนที่แยกได้จากหน่วยแยกตะกอนในการทดลองหัวข้อที่ 3.3 หลังจากเลี้ยงปลาไปได้ 45 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ 2 กรัมต่อลิตร มาใส่ในบ่อทดลองทั้งหมดบ่อละ 300 มิลลิลิตร เพื่อเป็นหัวเชื้อเร่งให้มีการเกิดตะกอนไบโอฟลอคทำให้ปริมาณของตะกอนแขวนลอยเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.9-1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

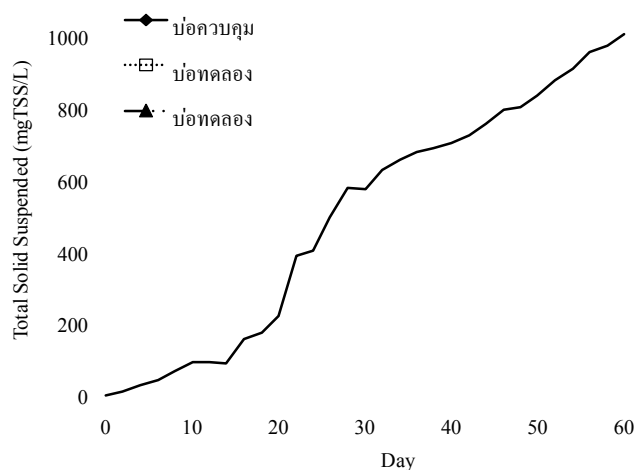
ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำพบว่าในบ่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในบ่อควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง โดยมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในวันสุดท้ายเท่ากับ 1011.3 ± 22.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในบ่อทดลอง 1 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในช่วงแรกมีแนวโน้มคงที่อยู่ที่ 3.5-15.9 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่หลังจากวันที่ 16 จนถึงสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในวันสุดท้ายเท่ากับ 277.2 ± 16.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สาเหตุที่ในบ่อทดลอง 1 มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำน้อยกว่าบ่อควบคุม เนื่องจากมีการติดตั้งตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันชนิด Biocord™ ซึ่งมีความสามารถในการดักจับตะกอนแขวนลอยในน้ำได้ดี (Sesuk et al., 2009) ส่วนในบ่อทดลอง 2 พบว่าปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 21.0-28.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.16) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำกับบ่อควบคุมและบ่อทดลอง 1 พบว่ามีค่าต่ำกว่ามากและอยู่ในระดับปลอดภัยสำหรับการเพาะเลี้ยงปลา (Timmons et al., 2002) ในส่วนของปริมาตรตะกอนจม

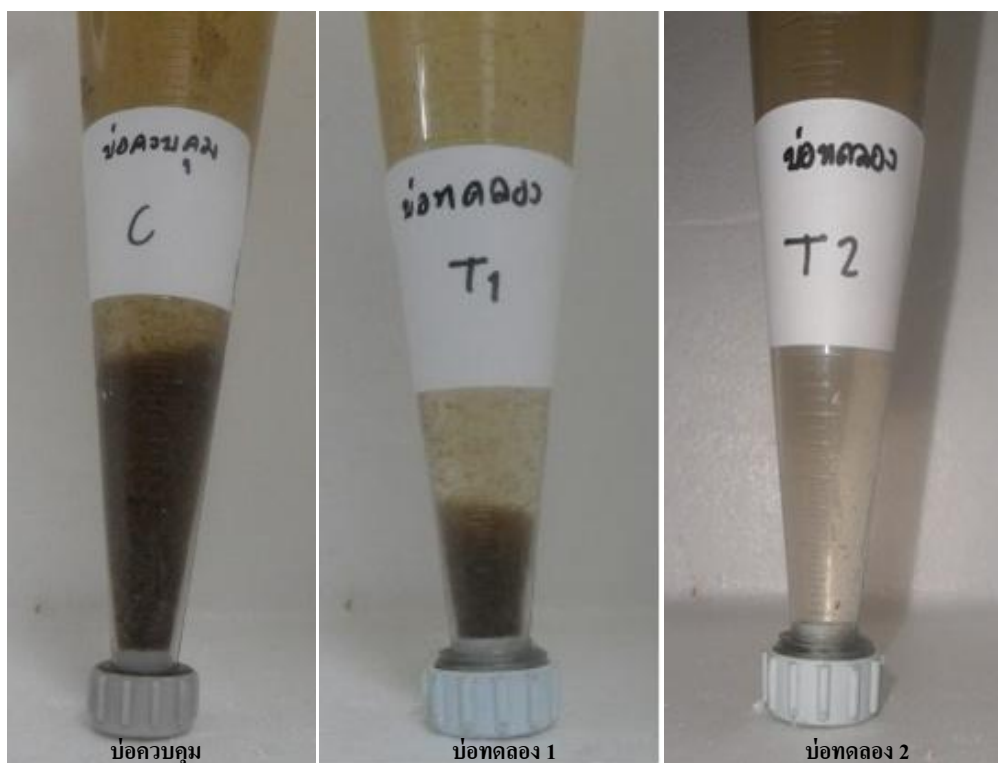
ตัวที่เวลา 30 นาที มีแนวโน้มเหมือนกับปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำ (ภาพที่ 4.17) เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้นำน้ำจากบ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2 มาถ่ายรูปเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่าในบ่อทดลอง 2 ที่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนน้ำจะใสกว่าบ่อควบคุมและบ่อทดลอง 1 แต่ น้ำทั้ง 3 บ่อจะมีสีน้ำตาลเพราะเกิดจากสีของอาหาร (ภาพที่ 4.18)



ภาพที่ 4.16 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยเนนาของการทดลองการศกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟล๊อคกในบ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2



ภาพที่ 4.17 ปริมาตรตะกอนจมตัวเวลา 30 นาทีของการทดลองการศกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟล๊อคกในบ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2



ภาพที่ 4.18 ลักษณะของน้ำในบ่อควบคุม, บ่อทดลอง 1 และ 2 ของการทดลองการศึกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟลอค

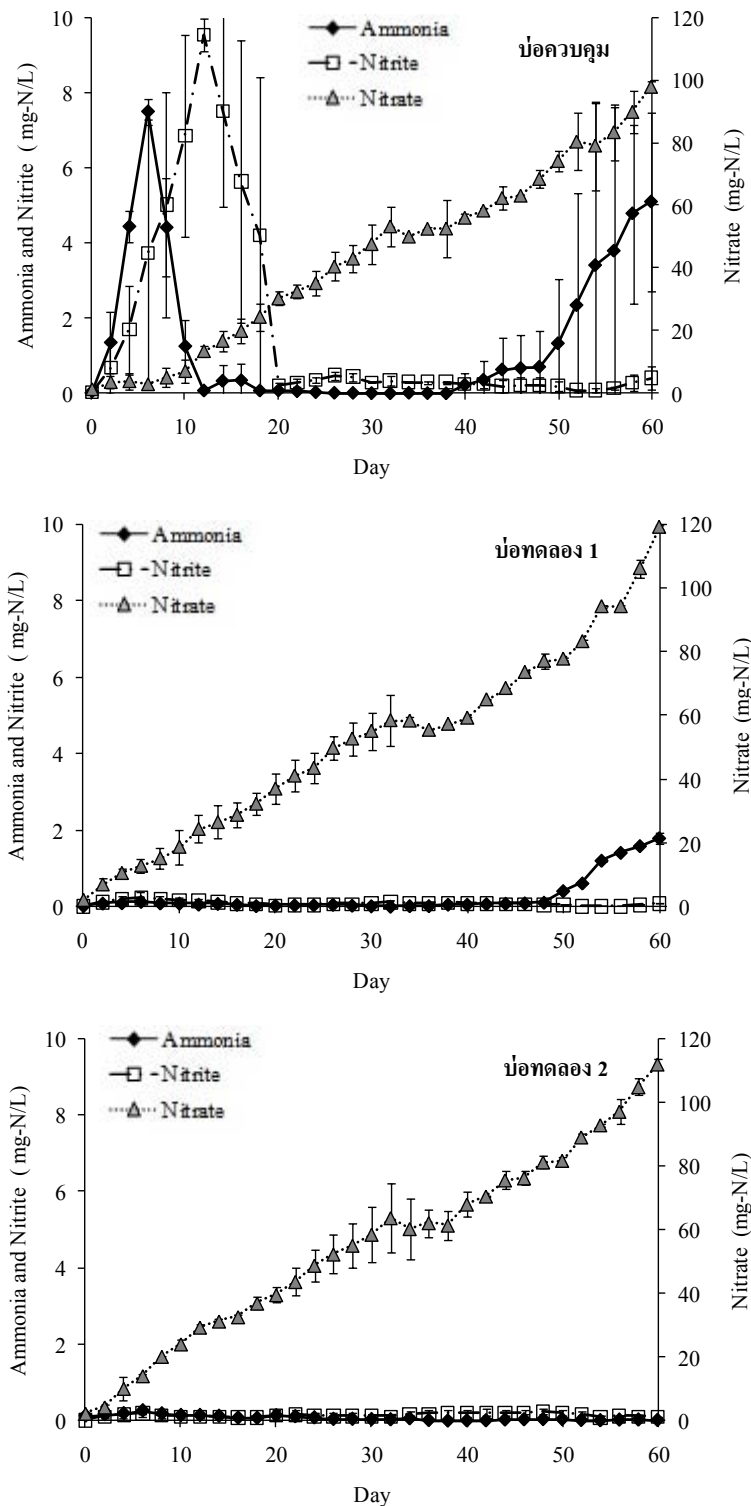
ผลการศึกษาการวัดคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์ และไนเตรท (ภาพที่ 4.19) พบว่าในบ่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในช่วงวันที่ 1-10 สูงกว่าในบ่อทดลอง 1 และ บ่อทดลอง 2 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 7.5 ± 0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หลังจากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อควบคุมก็เริ่มลดลง แต่ในวันที่ 40 ความปริมาณของแอมโมเนียก็มีแนวโน้มสูงอีกครั้งจนสิ้นสุดการทดลองในส่วนของบ่อทดลองที่ 1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียตั้งแต่วันที่ 1-44 มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.12 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แต่หลังจากนั้นสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 1.80 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร สาเหตุของการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในช่วงสุดท้ายของบ่อทดลองที่ 1 เกิดจากการสะสมของตะกอนบนตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของตัวกรอง (Tal et al., 2009 ; Sesuk et al., 2009 ; เอกชัย มาลาพล, 2551 และ ทยากร สุวรรณรัตน์, 2552) โดยวิธีแก้เบื้องต้นก็คือการนำตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในบ่อทดลอง 1 มาล้างทำความสะอาดในส่วนของบ่อทดลอง 2 ซึ่งมีตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและหน่วยแยกตะกอนทำให้ตะกอนในบ่อทดลองนี้ยึดเกาะบนตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันน้อยกว่าบ่อทดลอง 1

อย่างชัดเจน ส่งผลให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 0-0.26 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าบ่อควบคุมและบ่อทดลอง 1 ตลอดการทดลอง

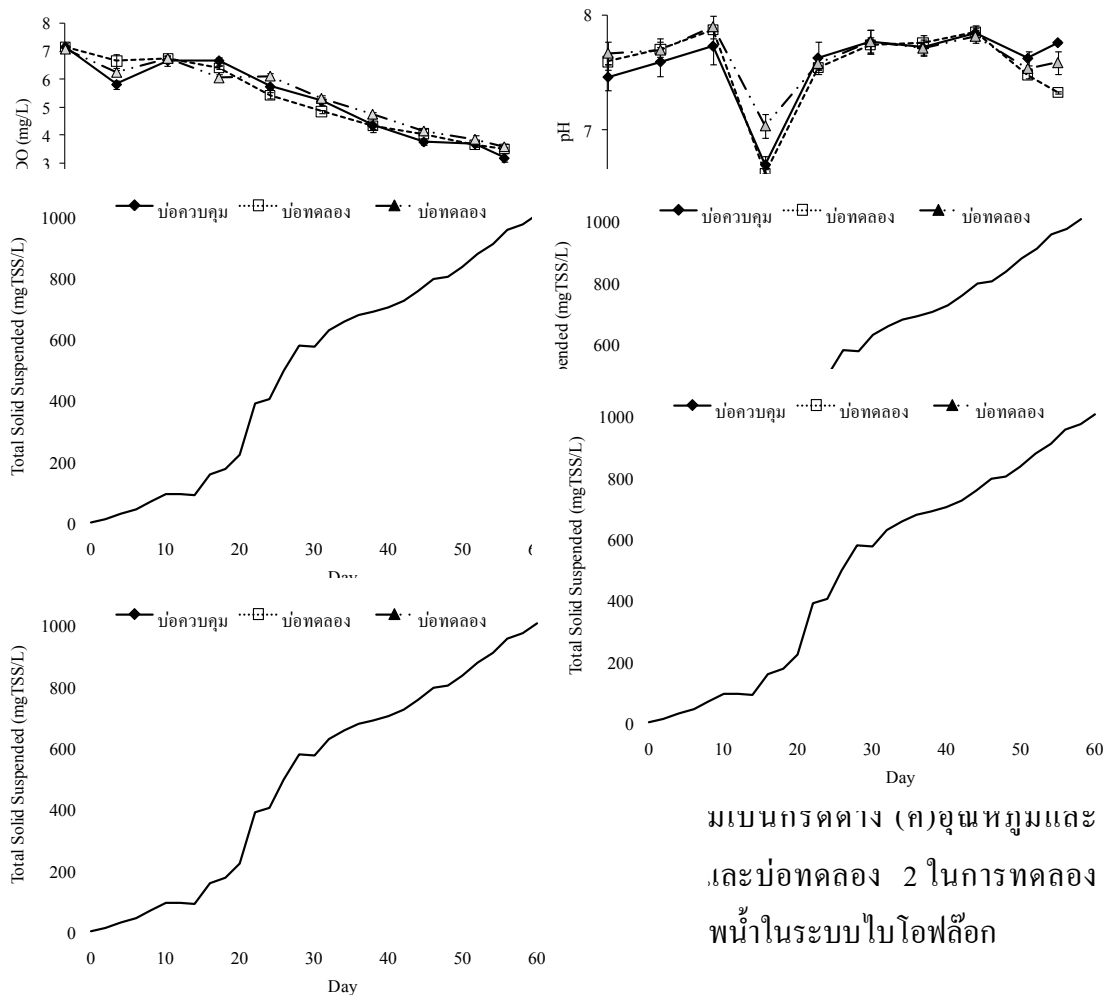
ในส่วนความเข้มข้นของไนไตรท์พบว่าในบ่อควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1-12 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.6 ± 0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันที่ 12 หลังจากนั้นความเข้มข้นของไนไตรท์ลดลงจนมีค่าประมาณ 0.2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จนถึงสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลองที่ 2 พบว่าความเข้มข้นของไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.01-0.25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตลอดการทดลอง ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ในส่วนความเข้มข้นของไนเตรททั้งในบ่อควบคุม บ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง โดยมีปริมาณในวันสุดท้ายของการทดลองมากกว่า 95 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในทุกบ่อตามลำดับ (ภาพที่ 4.19)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ระหว่างบ่อควบคุมในการทดลองนี้กับการทดลองในหัวข้อที่ 3.1 พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูงสุดในบ่อควบคุมของการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 7.5 ± 0.3 และ 9.6 ± 0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดในการทดลองหัวข้อที่ 3.1 ทั้ง 2 รอบมีค่าเท่ากับ 8.5 ± 0.4 และ 13.8 ± 0.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และความเข้มข้นของไนไตรท์สูงสุดในการทดลองหัวข้อที่ 3.1 ทั้ง 2 รอบมีค่าเท่ากับ 15.7 ± 1.0 และ 19.0 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จากการเปรียบเทียบข้อมูลจะพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อควบคุมของการทดลองครั้งนี้ น้อยกว่าในการทดลองหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งคาดว่ามีสาเหตุมาจากการเติมตะกอนจุลินทรีย์จากการทดลองส่วนที่ 3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ ผลการทดลองที่ได้รับสอดคล้องกับงานวิจัยของ Worarat Vanitchanai (2009) ที่มีการศึกษาผลการเติมตะกอนจุลินทรีย์ต่อคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลานิลแบบปิด ซึ่งพบว่าการเติมตะกอนจุลินทรีย์ลงในบ่อเลี้ยงในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดีขึ้นกว่าบ่อที่ไม่มีการเติมตะกอน



ภาพที่ 4.19 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในบ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และ บ่อทดลอง 2 ของการทดลองการศึกษาบทบาทของตะกอนต่อการควบคุมคุณภาพน้ำ ในระบบไบโอฟลอค

ในส่วนองปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของการทดลองนี้พบว่ามึค่าลดลงในทุกบ่อทั้งบ่อ โดยมีค่าประมาณ 3.2-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.20ก) ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิของน้ำในทุกบ่อมีค่าอยู่ในช่วง 6.7-7.8 และ 23.8-26.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4.20ข-ค) และค่าอัลคาไลน์ตี้น้ำได้ปรับให้มีค่าเริ่มต้นประมาณ 120 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่พบในน้ำโดยทั่วไป หลังจากนั้นก็ปรับค่าอัลคาไลน์ตี้น้ำให้อยู่ในช่วง 120-150 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตรตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.20 ง) ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลและเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน(Timmons et al., 2002; กษิตศ หนูทอง,2551)

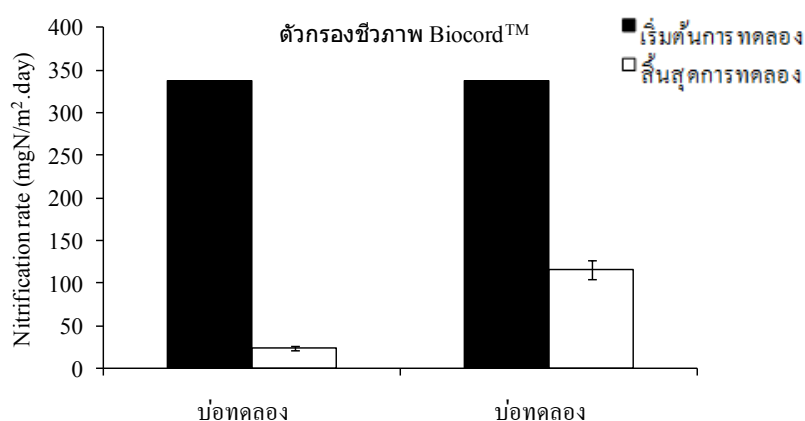


มเบนกรดต่าง (ค)อุณหภูมิและ และบ่อทดลอง 2 ในการทดลอง หน้าในระบบไบโอฟล๊อค

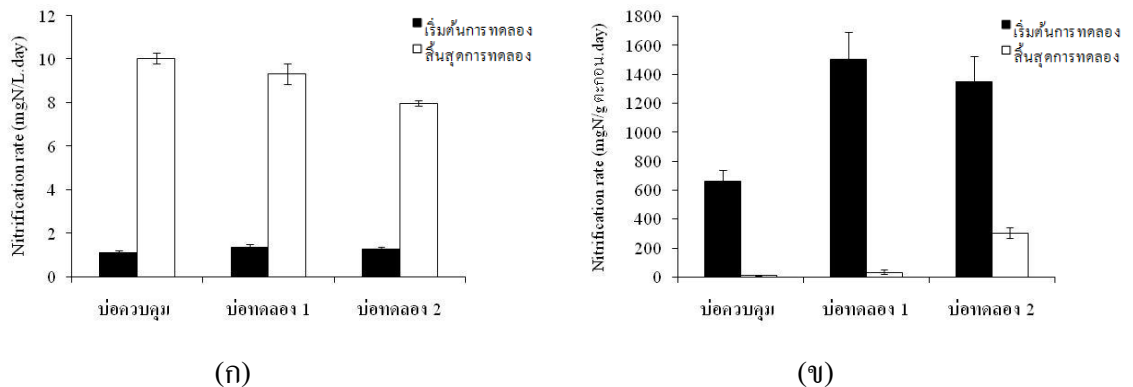
ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

ในการทดลองนี้จะตัดชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน (Biocord™) ความยาว 10 เซนติเมตร มาทดสอบหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียเมื่อตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 337.84 มิลลิกรัมกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน แต่หลังจากสิ้นสุดการทดลองมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียลดลงเหลือ 24.23 ± 2.4 และ 116.34 ± 11.2 มิลลิกรัมกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ในบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21) การลดลงของอัตราการบำบัดแอมโมเนียในทั้งสองบ่อทดลองเกิดจากการมีสารอินทรีย์จากอาหารปลาไหลไปสะสมบนพื้นผิวตัวกรองชีวภาพทำให้ความสามารถของไนตริฟายอิงแบคทีเรียลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียในบ่อทดลองที่ 1 ลดลงมากกว่าในบ่อทดลองที่ 2 ซึ่งคาดว่ามีความเสียหายจากบ่อทดลอง 2 มีหน่วยแยกตะกอนทำหน้าที่แยกตะกอนออกที่เป็นแหล่งของเสียออกจากระบบเลี้ยงปลานิลมีผลทำให้ตะกอนไปเกาะบนตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันได้น้อยกว่าบ่อทดลอง 1 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของบ่อทดลอง 2 สูงกว่าในบ่อทดลอง 1

เมื่อมีการวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนในน้ำจากบ่อทดลองทุกบ่อ พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนในน้ำเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการทดลองทั้งในบ่อควบคุมบ่อทดลอง 1 และบ่อทดลอง 2 (ภาพที่ 4.22ก-ข) โดยคาดว่ามีความเสียหายจากการที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่อาศัยในตะกอนได้รับสารอาหารที่จำเป็น (แอมโมเนีย) เป็นระยะเวลานาน ทำให้เจริญเติบโตมีประชากรมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเริ่มการทดลอง



ภาพที่ 4.21 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน (Biocord™) ในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองในบ่อทดลอง 1 และ บ่อทดลอง 2 ที่มีหน่วยแยกตะกอน



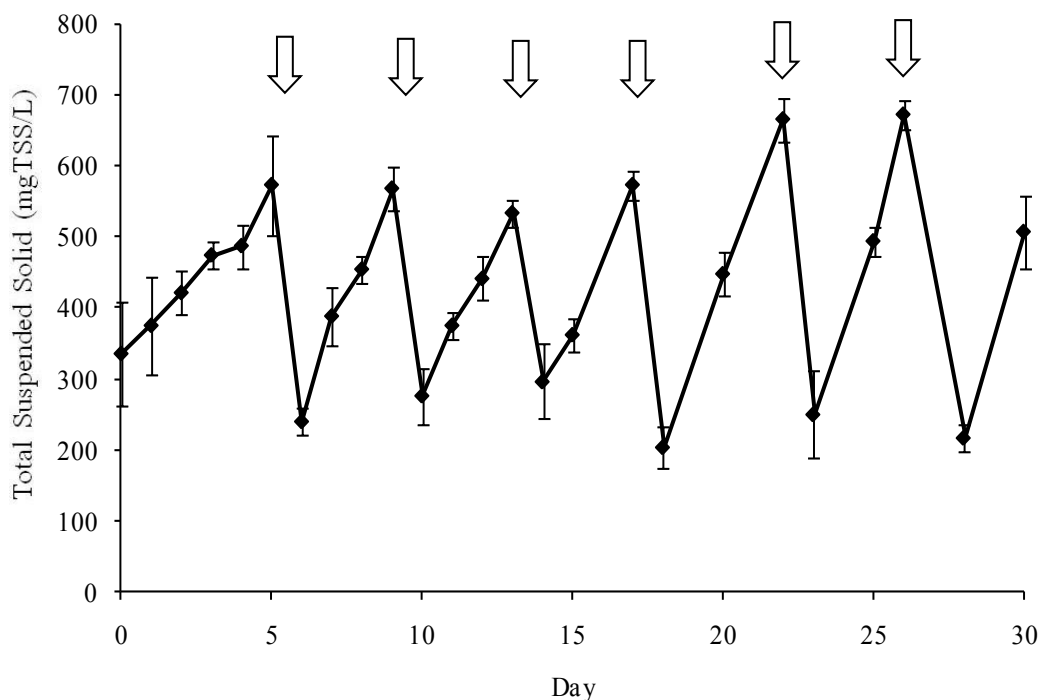
ภาพที่ 4.22 (ก-ข) อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนในน้ำวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของบ่อกวนบวมบ่อกดลอง 1 และ บ่อกดลอง 2 ที่มีหน่วยแยกตะกอน

4.4.2 ผลการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีการทำงานร่วมกับหน่วยแยกตะกอนเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยมีการควบคุมปริมาณตะกอนโดยใช้หน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้นที่อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ข้อมูลจากการทดลองหัวข้อที่ 4.2.1 พบว่าปริมาณตะกอนในบ่อกวนบวมที่สามารถบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้จะมีการเลี้ยงปลาชนิดความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้อาหารที่มีโปรตีน 20% ประมาณ 3-5% ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวันและไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน ในขณะเดียวกันจะใช้หน่วยแยกตะกอนเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำให้อยู่ในช่วงประมาณ 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

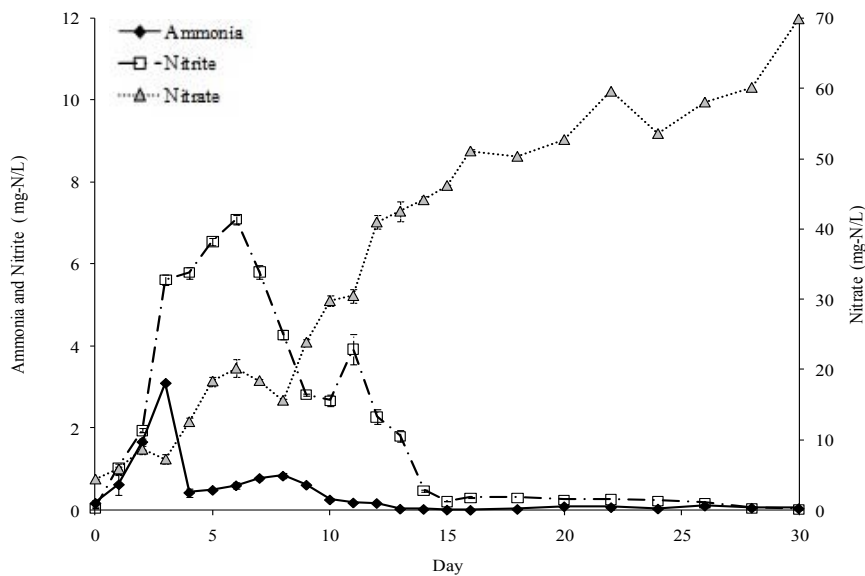
ผลการทดลองพบว่าหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ (300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.23) โดยจะเปิดหน่วยแยกตะกอนเมื่อปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตรและจะปิดหน่วยแยกตะกอนเมื่อปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร



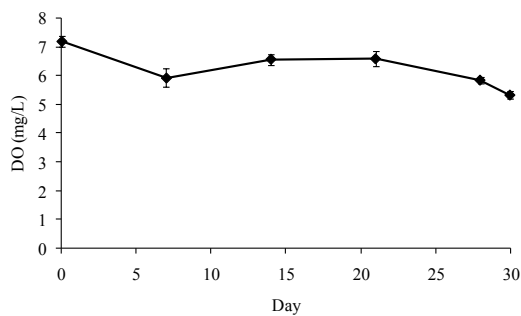
ภาพที่ 4.23 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำระหว่างการทดลองการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่ที่มีการทำงานร่วมกับหน่วยแยกตะกอน (↓ ระบุวันที่มีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอน)

ผลการศึกษาการวัดคุณภาพน้ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

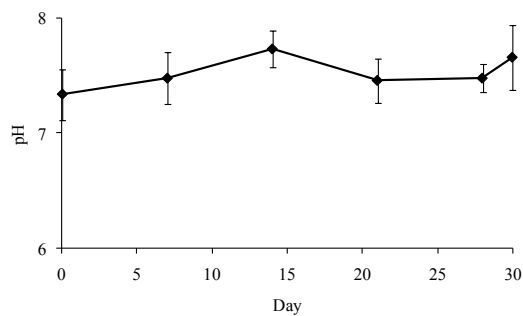
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่ และไนเตรท (ภาพที่ 4.24) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในวันที่ 4 หลังจากนั้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าประมาณ 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของไนโตรที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 มีค่าเท่ากับ 7.1 ± 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงจนถึงสิ้นสุดการทดลองเช่นเดียวกัน ในส่วนความเข้มข้นของไนเตรทพบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเลี้ยงโดยมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 69.9 ± 0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำที่อยู่ในช่วงประมาณ 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถช่วยในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่อเลี้ยงได้ดี แต่ยังคงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการแก้ไขการสะสมของแอมโมเนียและไนโตรที่ในช่วงสองสัปดาห์แรกของการเลี้ยง ในระหว่างการทดลองปริมาณออกเงินละลายน้ำค่าความเป็นกรด่าง อุณหภูมิ และค่าอัลคาไลน์ตี้น้ำ อยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลและเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (ภาพที่ 4.25 ก-ง)



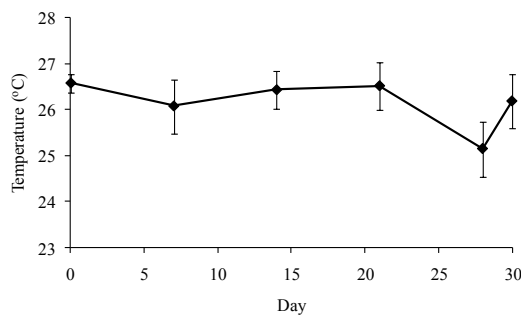
ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทระหว่างการทดลองการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีการทำงานร่วมกับหน่วยแยกตะกอน



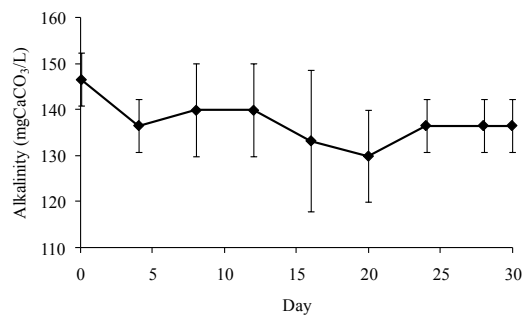
(ก)



(ข)



(ค)

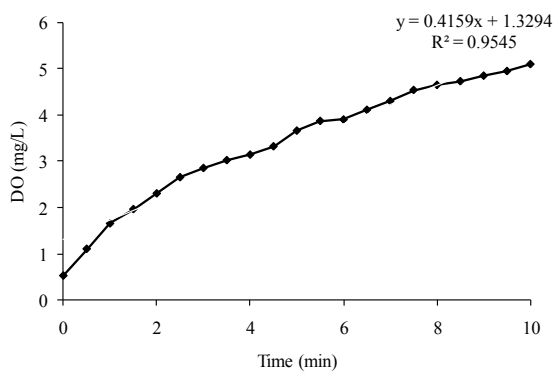


(ง)

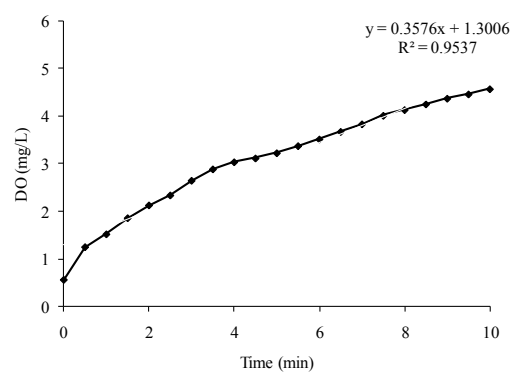
ภาพที่ 4.25 (ก) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (ข) ค่าความเป็นกรดด่าง (ค) อุณหภูมิและ (ง) ค่าอัลคาไลน์ิตี้ ระหว่างการทดลองการศึกษาศักยภาพของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีการทำงานร่วมกับหน่วยแยกตะกอน

ผลการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนในน้ำ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 300 ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตรผลการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนในน้ำเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาที ที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย 300 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งสูงกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนเท่ากับ 0.36 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาที(ภาพที่ 4.26 ก-ข) ผลการทดลองสามารถอธิบายได้โดย น้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีปริมาณแบคทีเรียมากกว่าทำให้ต้องใช้ใช้ออกซิเจนมากกว่าน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อมีการให้ออกซิเจนในอัตราคงที่จึงทำให้น้ำที่มีตะกอนแขวนลอยมากกว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าออกซิเจนละลายน้ำช้ากว่า



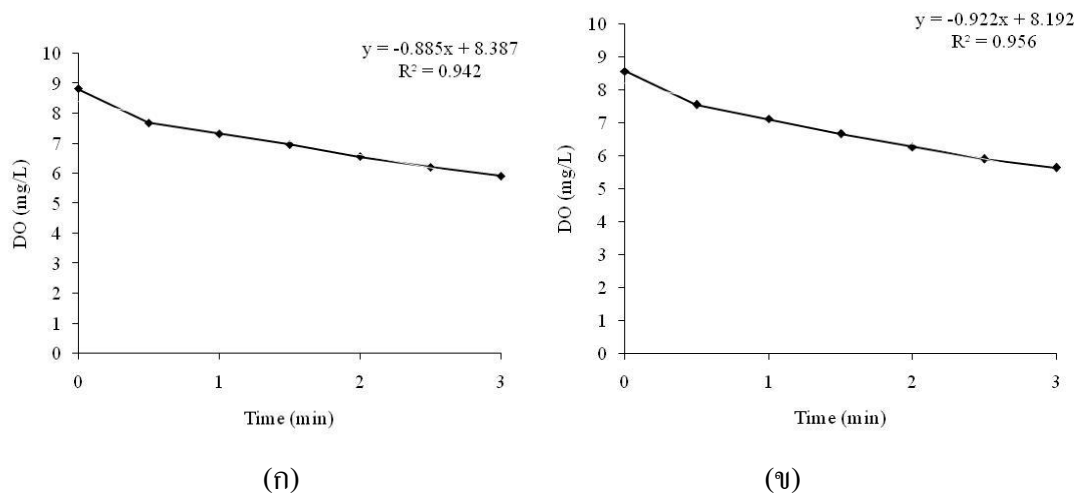
(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.26 อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ (ก) 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข) 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อวัดอัตราการลดลงของออกซิเจน(ภาพที่ 4.27ก-ข) พบว่าในน้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตรมีอัตราการลดลงของออกซิเจนเท่ากับ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาทีในส่วนน้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรมีอัตราการลดลงของออกซิเจนที่ 0.92 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาทีจะเห็นว่าอัตราการลดลงของออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันมากและต่ำกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนประมาณสองเท่าจากข้อมูลดังกล่าวจึงไม่จำเป็นต้องปรับอัตราการให้ออกซิเจนเมื่อควบคุมปริมาณตะกอนในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.27 อัตราการลดลงของออกซิเจนในน้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ (ก) 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข) 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่มี การเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน มีการทดลองทั้งหมด 2 รอบ พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอย ในน้ำสูงสุดทั้ง 2 รอบเท่ากับ 956.5 ± 1.2 และ 1125.6 ± 45.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อความเข้มข้น ของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ ทำให้ความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียในการทดลองนี้เท่ากับ 8.5 ± 0.4 และ 15.7 ± 0.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในการทดลองรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากผล การทดลองดังกล่าวจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบแยกตะกอนเพื่อช่วยควบคุมความเข้มข้นของ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงปลานิล

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแยกตะกอนรูปแบบต่างๆที่ออกแบบขึ้น ซึ่งมี ลักษณะต่างกัน 5 รูปแบบ พบว่า หน่วยแยกตะกอนที่บรรจุแผ่นกั้นภายในเป็นแผ่นพีวีซีรูปวงกลม 8 ชั้น มีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนดีที่สุดในอัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง โดยมี ประสิทธิภาพ $71.3 \pm 2.4\%$ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับหน่วยแยกตะกอน รูปแบบอื่น และมีความเหมาะสมในการใช้งานสูงสุด เมื่อนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพ สูงสุดไปทดสอบเบื้องต้น ใ้กับการเพาะเลี้ยงปลานิลโดยเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีหน่วยแยก ตะกอนพบว่า บ่อที่มีหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำและความ เข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์และไนเตรท ให้มีความเข้มข้นน้อยกว่าบ่อไม่มีหน่วยแยกตะกอน ได้

3. ผลการศึกษาการใช้งานหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดร่วมกับระบบเพาะเลี้ยง ปลานิลแบบปิดที่ผสมผสานตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันและดีไนตริไฟเคชัน พบว่าการปิดหน่วย แยกตะกอนมีผลทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์ และ ไนเตรทเพิ่มขึ้นแต่เมื่อมีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนและเติมเมทานอลพบว่าสามารถควบคุม ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไตรท์และไนเตรทให้มีค่าต่ำกว่า 0.4, 0.6 และ 15.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับอีกทั้งสามารถควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำให้มี ความเข้มข้นประมาณ 35 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ตลอดการทดลอง

4. ผลการศึกษาศักยภาพและบทบาทของตะกอนไบโอฟล็อกที่มีต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อกซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นบ่อควบคุม(ไม่มีหน่วยแยกตะกอนและตัวกรองชีวภาพ), บ่อทดลอง 1 (ไม่มีหน่วยแยกตะกอนแต่มีตัวกรองชีวภาพ), บ่อทดลอง 2 (มีหน่วยแยกตะกอนและตัวกรองชีวภาพ) โดยทั้ง 3 บ่อจะนำตะกอนจากการทดลองส่วนที่ 3 หลังจากเลี้ยงปลานิลไปได้ 45 วัน ที่มีความเข้มข้นของตะกอน 2 กรัมต่อลิตร มาป้อนในระบบเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อเป็นตะกอนหัวเชื้อไบโอฟล็อกปริมาตร 300 มิลลิลิตร พบว่าในบ่อควบคุมไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้สังเกตได้จากมีความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรท ในปริมาณที่สูงซึ่งแตกต่างจากบ่อทดลอง 1 และ 2 แต่ในบ่อทดลอง 1 หลังจากวันที่ 50 ของการทดลอง ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากเกิดการสะสมของตะกอนบนตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียลดลง ในส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำพบว่าในบ่อทดลอง 2 สามารถควบคุมความเข้มข้นของตะกอนให้อยู่ในช่วง 21.1-28.7 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ ซึ่งแตกต่างจากบ่อควบคุมและบ่อทดลอง 1 ซึ่งมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 1011.3 ± 22.0 และ 277.2 ± 15.9 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำที่อยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตรยังสามารถช่วยบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ ให้อยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้เช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การนำหน่วยแยกตะกอนไปประยุกต์ใช้งานนอกจากจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการแยกตะกอนแล้ว ยังคำนึงถึงความยากง่ายในการออกแบบและการทำความสะอาดดูแลรักษา ซึ่งหน่วยแยกตะกอนแบบแผ่นวงกลมจะออกแบบและทำความสะอาดง่ายกว่าหน่วยแยกตะกอนแบบอื่นๆ แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องการทำความสะอาดดังนั้นในอนาคต ควรมีการพัฒนาระบบแยกตะกอนให้สามารถทำความสะอาดได้สะดวกและง่ายกว่านี้

2. เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบทดลองของการทดลองส่วนที่ 3 ใช้งบประมาณที่สูงดังนั้นต้องเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระยะยาวถึงจะคุ้มทุน หรือนำมาประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงพืชน้ำแม่พันธุ์เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ หรือพัฒนาให้รองรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำความหนาแน่นที่สูงขึ้น

3. จากการทดลองนี้พบว่า เกิดการดูดตันของรูให้ออกซิเจนของหัวทรายพ่นอากาศทำให้เมื่อเลี้ยงปลาเป็นเวลานานมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ต่ำลงจึงควรปรับปรุงในส่วนของการเติมออกซิเจนในน้ำให้เหมาะสมต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กษิติศ หนูทอง. การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 16 (เมษายน 2551) : 11-22.

กรมประมง เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. การเพาะเลี้ยงปลา. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา:

http://www.doae.go.th/library/html/detail/fish_nil/tilipia.htm. [2553, พฤศจิกายน 19]

คณิต ไชยคำและยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2537.

ณรงค์ศักดิ์ ดีวัฒนากุล. หอดูดกตะกอนชนิดปรับมุมได้ ในการบำบัดน้ำเสีย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ทยากร สุวรรณรัตน์. การศึกษาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยผสมผสานตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

น้ำเงิน จันทรมณี, ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์, สมชาย คารารัตน์. การพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดไนโตรเจนโดยการควบกระบวนการสร้างมีเทนและกระบวนการแอนาโมคด้วยระบบเอเอสพีอาร์. Environment and Natural Resources Journal 6, 2008.

บุญศิริ กฤตยานันต์. การพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็กสำหรับการเลี้ยงปลา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลา. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2539.

มันสิน ตันทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

มุกิตา วุฒิกัมพล. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจาร์วรรณ สมศิริ. คุณสมบัติน้ำและการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางประมง. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2528. อ้างถึงใน สุบัตินิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- รุ่งนภา สุทธิศรี. ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- วิจารณ์ ตันดิธรรม. การกำจัดความขุ่นโดยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สาวิตรี จันทร์นรินทร์. กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- สุชาดา จังรัสสะ. ผลของออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- สุบัตินิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- สุวิมล ตันตสุกิจวิช. ระบบบำบัดไนเตรตสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- อนุพงศ์ มาลี. เลี้ยงปลาระบบปิด คุณมีสิทธิ์รวย. [ออนไลน์] 2553. แหล่งที่มา: <http://www.thaivetcentral.com/veterinarywithanimals/aquafish/69-2009-01-07-15-05-50.html> [2553, พฤศจิกายน 18]
- เอกชัย มาลาพล. การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบบ่อไร้อินกลางแจ้งโดยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ภาษาไทยอังกฤษ

- Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M.H., Khattab Y.A.E. and Shalaby A.M.E. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 298 (2010) : 267-274.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). Official method analysis. 17th edition. Washington, USA : Association of Official Analytical Chemist, 2000.
- APHA. American Public Health Association. Standard Methods for Examination of water and Waste Water. 20th ed. Maryland : Victor Graphics, 1998.
- Anthony D. Greiner, Michael B. Timmons. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. Aquacultural Engineering 18(1998): 189–200.
- Aurelio A. delos Reyes, Jr, Thomas B. Lawson. Combination of a Bead Filter and Rotating Biological Contactor in a Recirculating Fish Culture System. Aquacultural Engineering. 15(1996) : 27-39.
- Balarin, J.D. and Haller, J.P. Tilapia: A guide to their Biology and Culture in Africa. University of Stirling, Stirling, Scotland, 1979.
- Bergheim, A., Cripps, S.J., Liltved, H., . A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms. Aquat. Liv. Res. 11, (1998) 279–287.
- Beveridge, M.C.M., Phillips, M.J., Clarke, R.M.,. A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. In: Brune, D.E., Tomasso, J.R. (Eds.), Aquaculture and Water Quality. Advances in World Aquaculture, vol. 3. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, (1991) pp. 506–533.\
- Bitton, G. Wastewater microbiology. New York, USA : John Wiley & Son, 1994.
- Boyd, C. E., and Tucker, C. S. Pond aquaculture water quality management. Massachusetts : Kluwer academic publisher, 1998.
- Cowan, J.L.W. and Boynton, W.R. Sediment-water oxygen and nutrient exchanges along the longitudinal axis of Chesapeake Bay : Seasonal patterns. Controlling factors and ecological significance. Estuaries 19(3) (1996) : 562-580.

- Couturier, Therese Trofimencoff, Jose Utge Buil, Jessica Conroy. Solids removal at a recirculating salmon-smolt farm. Aquacultural Engineering 41 (2009) : 71-77.
- Deshpande, P., Drennan, D., Wagener, C., Malone, R. Enhancement of fine solids capture in recirculating aquaculture systems through media selection. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Recirculating Aquaculture, Roanoke, VA, July (2004) : 22–25.
- Eikebrokk, B., Ulgenes, Y.,. Characterization of treated effluents from land based fish farms. In: Keinertsen, H., Dahle, L.A., Jorgensen, L., Tvinnereim, K. (Eds.), Proceedings of First International Conference on Fish Farming Technology, August 9–12, 1993. Trondheim, Norway. Balkema, Rotterdam, (1993) pp. 361–366.
- Eshchar, M., Lahav, O., Mozes, N., Peduel, A. and Ron, B. Intensive fish culture at high ammonium and low pH. Aquaculture 255 (2006) : 301-313.
- Greenberg, A. E., Cleseri S. L., and Eaton, A.D. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th edition. Maryland: American Public Health Association. 1992.
- Gutierrez-Wing, M. T. and Malone, R. F. Biological filters in aquaculture: trends and research direction for freshwater and marine applications. Aquaculture Engineering 34 (2006) : 163-171.
- Hamlin, H.J., et al. Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture. Aquacultural Engineering 38 (2008) : 79-92.
- James E. Rakocy. Tank Culture of Tilapia. SRAC Publication No. 282 (1989) : L-2409.
- Joanna G. Twarowska, Philip W. Westerman, Thomas M. Losordo. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquacultural Engineering 16 (1997) : 133-147.
- John Davidson, Steven T. Summerfelt. Solids removal from a coldwater recirculating system comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. Aquacultural Engineering 33 (2005) : 47–61.
- Kaviraj, A., Bhunia, F., and Saha, N.C. Toxicity of Methanol to fish, Crustacean, Oligochaete Worm, and Aquatic Ecosystem. International Journal Toxicity 23 (2004) : 55-63.

- Kuo-Feng Tseng, Huei-Meei Su, Mao-Sun Su. Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system. Aquacultural Engineering 17 (1998) : 138–147.
- Lehr, J. and Keeley, J.,. Water Encyclopedia. Vol. 1-5. USA (2005) : John Wiley&Sons.
- Libcy. G.S. Evaluation of a drum filter for removal of solids from a recirculating aquaculture system. In: Techniques for Modern Aquaculture. Proc. of an Aquacultural Engineering Conf.. 71-23 June 1993, Spokane. WA. ASAE, St. Joseph, MI, (1993) pp. 519-532.
- Liltved, H.,. Utprøving av Unik Hjulfilter for rensing av vann i settefiskanlegg. NIVA VA-rapport 6: (1998) 88, 31 pp. [in Norwegian, English abstract].
- Ling, J., and Chen, S. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. Aquacultural Engineering 33 (2005) : 150-162.
- Mann, A., Stephenson, T.,. Modeling biological aerated filters for wastewater treatment. Water Research 31, (1997) 2443–2448.
- Mark Trimmer, Joanna C. Nicholls, and Bruno Deflandre. Anaerobic Ammonium Oxidation Measured in Sediments along the Thames Estuary. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, P. 6447–6454. United Kingdom : Nov. 2003.
- McCart, P. M., Beck, L., and Amant, St. P. Biological denitrification of wastewaters by addition materials. Proceedings of the 24th Industrial Water Conference, Purdue University: 1271-1285 : 1969.
- O'Neill P. Environmental chemistry 2nd ed. Suffolk : Edmundsbury, 1993. อ้างถึงใน สุบัณฑิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- Popma, Leonard L. Lovshin. Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapia. Auburn University : International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, 1995.
- Rivett, M.O., Buss, S.R., Morgan, P., Smith J.W.N. and Bemment. C.D. Nitrate attenuation in groundwater : A review of biogeochemical controlling processes. Water Research 42 (2008) : 4215-4232.
- Scott, K.R.. Allard, L. A four tank water recirculation system with a hydrocyclone prefilter and a single water reconditioning unit. Prog. Fish Cult, 46. (1984) 254-261.

- Sesuk Thanathon, Sorawit Powtongsook, Kasidit Nootong. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. Bioresource Technology. 100 (2009) : 2088-2094.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada : Ottawa, 1972.
- Suhr, P.B. Pedersen. Nitrification in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. Aquacultural Engineering 42 (2010) : 31–37.
- Tal, Y., Schreier, H. J., Sowers, K. R., Stubblefield J. D., Place, A. R. and Zohar, Y. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. Aquaculture 286 (2009) : 28-35.
- Than Khin, Ajit P. Annachhatre. Novel microbial nitrogen removal processes. Biotechnology Advances 22 (2004) : 519–532.
- Tim Pfeiffer, Ron Malone. Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warmwater fish system. Aquacultural Engineering 34 (2006) : 311–321.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. Recirculating Aquaculture System. 2nd edition. New York : Northeastern Regional Aquaculture Center, 2002.
- Timothy J. Pfeiffer, Andrew Osborn, Megan Davis. Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system. Aquacultural Engineering 39 (2008) : 24–29.
- Ulgenes, Y.,. Undersøkelse av utslippsmengder, renseutstyr og slambehandlingsmetoder ved settefiskanlegg. Delrapport III: Renseeffekt og driftserfaring med UNIK hjulfilter type 1200. SINTEFNHL Report No. STF60 A92100. SINTEF, Trondheim, Norway, (1992) 25 pp. [in Norwegian].
- Veerapen, J.P., Lowry, B.J., Couturier, M.F., in press. Design methodology for the swirl separator. Aquacult. Eng (2002).

- Worarat Vanitchanai. Effects Of Organic Carbon Addition On Microbial Floc Formation And Water Quality In Closed Aquaculture System. Thesis for the Degree of Master, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2009.
- Yoram Barak, Eddie Cytryn, Iliya Gelfand, Michael Krom, Jaap van Rijn. Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. Aquaculture 220 (2003) : 313–326.
- Yoshihiro Suzuki, Toshiroh Maruyama, Hiroyuki Numata, Hajime Sato, Makio Asakawa. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. Aquacultural Engineering 29 (2003) : 165–182.
- Yousef S. Al-Hafedh, Aftab Alam, M. Afaque Alam. Performance of plastic media with different configuration in a water recirculation system for the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering 29 (2003) : 139 – 154.

ภาคผนวก

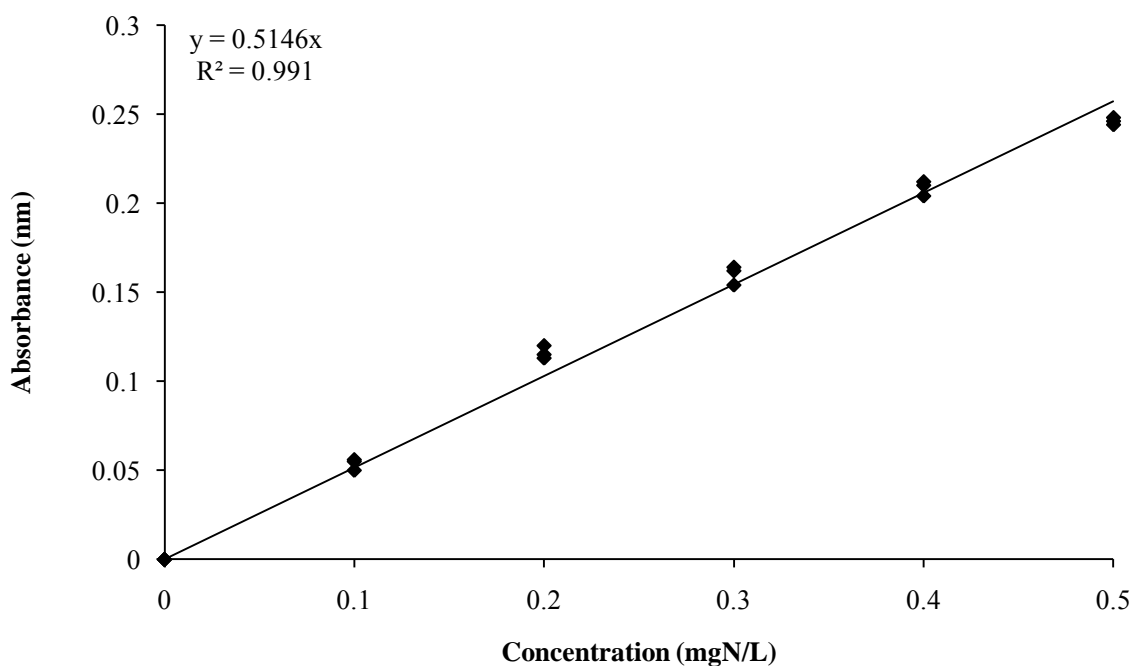
ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

การวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำ คัดแปลงมาจากวิธีของ Stickland and Parson (1972) โดยเก็บน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman Cat No.1822025) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติมสารละลายฟีนอล (ฟีนอล 20 กรัม ใน 95% โดยปริมาตร เอทิลแอลกอฮอล์ 200 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.04 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Sodium nitroprusside ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1.0 กรัม ในน้ำ D.I. 200 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.04 มิลลิลิตร จากนั้นเติม สารละลาย oxidizing (ผสม alkaline reagent (sodium citrate 100 กรัม และ NaOH 5 กรัม ในน้ำ D.I. 500 มิลลิลิตร) และ sodium hypochlorite solution ในอัตราส่วน 100 มิลลิลิตร ต่อ 25 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (20-27 องศาเซลเซียส) ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จากนั้นเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 1 mg-NH₄-N/L ตามลำดับจาก stock ammonia solution ความเข้มข้น 100 mg-NH₄-N/L

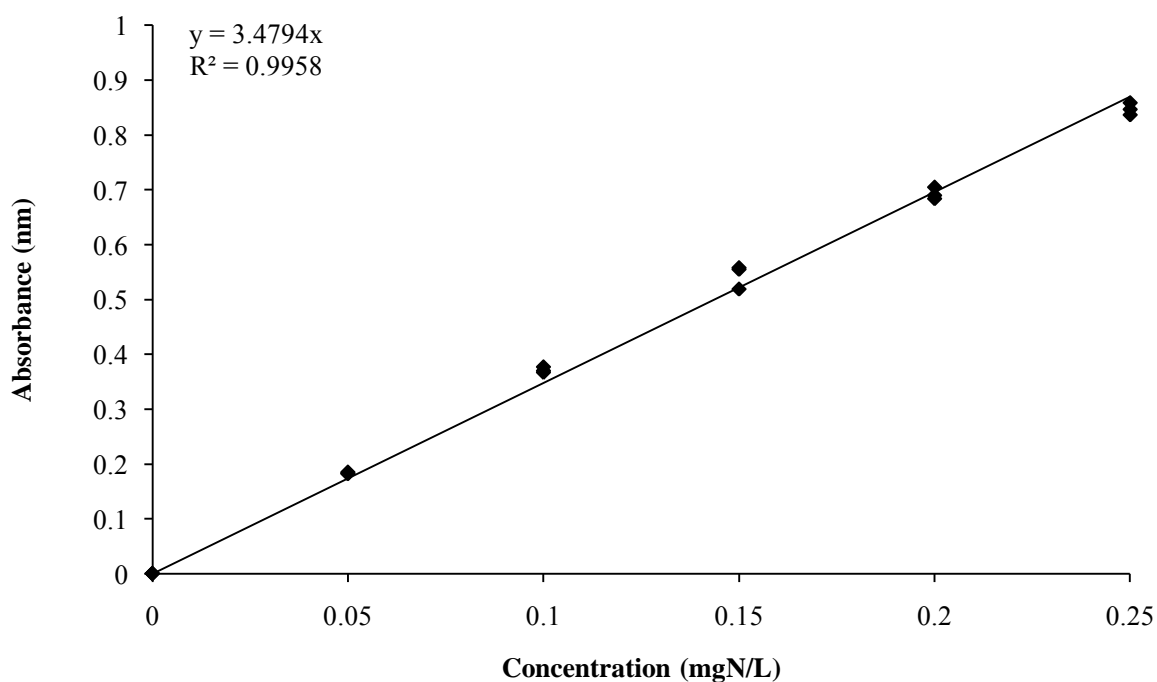


ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

2. วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์

การวิเคราะห์ไนไตรท์ในน้ำ คัดแปลงมาจากวิธีของ Stickland and Parson (1972) โดยเก็บน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman Cat No.1822025) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ-15 องศาเซลเซียส

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติมสารละลาย sulfanilamide solution (sulphanilamide 5 กรัม กรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม naphthylenediamine reagent (N-(1-Napthy)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.5 กรัมต่อ น้ำ 500 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร จากนั้นเตรียม standard nitrite slution ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5 mg-NO₂-N/L ตามลำดับจาก stock nitrite solution ความเข้มข้น 100 mg-NO₂-N/L

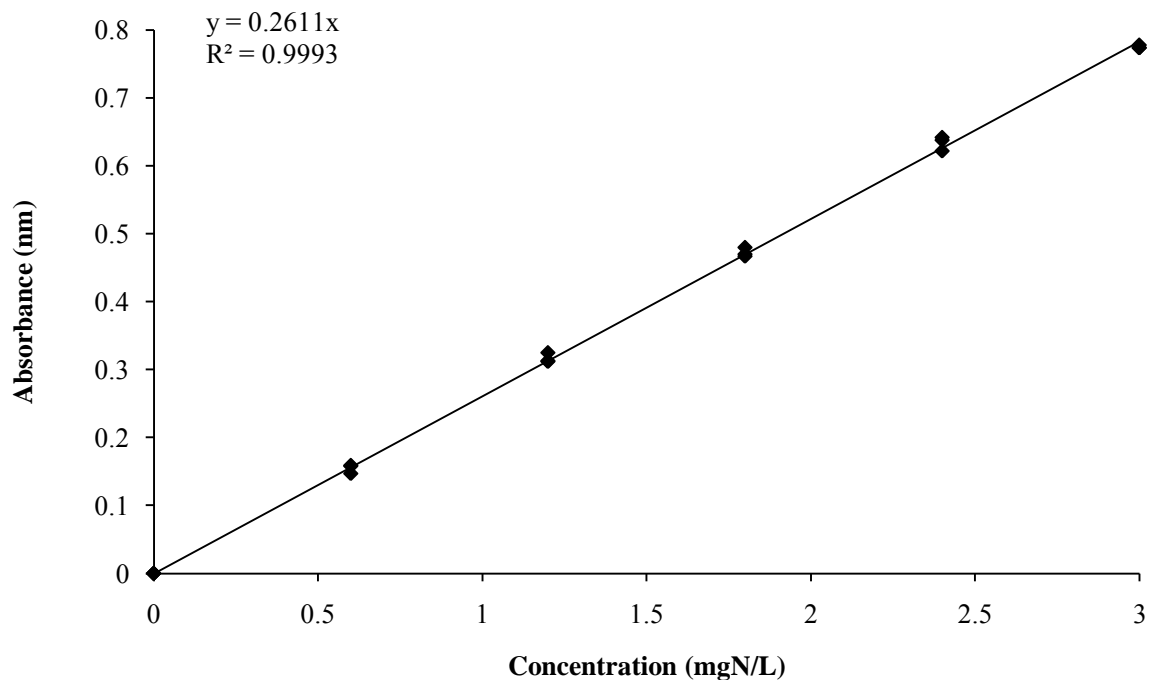


ภาพที่ ก-2 กราฟมาตรฐานไนไตรท์ (NO₂⁻-N)

3. วิธีวิเคราะห์ไนเตรท

การวิเคราะห์ไนเตรทในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรทซึ่ง ดัดแปลงมาจากวิธีของ Greenberg et.al.(1992)เก็บตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman Cat No.1822025) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในน้ำด้วยวิธีนี้ควรทำการกรองตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร และ 275 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาณไนเตรทต่อไป



ภาพที่ ก-3 กราฟมาตรฐานไนเตรท (NO_3^- -N)

4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

ก่อนการทดลองต้องเตรียมกระดาศกรองโดยการนำมาอบและชั่งน้ำหนักจนคงที่ นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาศกรอง ซึ่งต้องจดปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่กรองไว้ จากนั้นนำกระดาศกรองมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำกระดาศกรองออกจากตู้อบจะนำมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระดาศกรองเย็นลง จากนั้นนำกระดาศกรองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อนำค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหาปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{\text{นน.กระดาศกรองหลังกรองน้ำ} - \text{นน.กระดาศกรองก่อนกรองน้ำ} \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำที่กรอง (mL)}}$$

5. วิธีคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของปลา

ทำการติดตามการเจริญเติบโตของปลานิลตลอดการทดลองเป็นเวลา 45 วัน โดยการสุ่มปลานิลมาร้อยละ 30 ของปลาทั้งหมดทุกๆ 7 วัน ของการทดลอง นำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาจากปากถึงปลายหาง เพื่อใช้คำนวณน้ำหนักและความยาวเฉลี่ย, อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลต่อวัน, อัตราการรอด และอัตราการแลกเนื้อ ซึ่งคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความยาวปลาเฉลี่ยต่อตัว (cm/fish)} = \frac{\text{ผลรวมความยาวของปลาทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}}$$

$$\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัว (g/fish)} = \frac{\text{ผลรวมของน้ำหนักปลาทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน(DWG)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาตอนเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักปลาตอนท้าย}}{\text{ระยะเวลาที่เลี้ยง}}$$

$$\text{อัตราการรอด (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาตอนเริ่มการทดลอง}}$$

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารรวมทั้งหมดต่อถัง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักผลผลิตปลารวมทั้งหมดต่อถัง (กรัม)}}$$

ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำ ในศึกษาผลของตะกอน
ต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่าย
น้ำและแยกตะกอน รอบที่ 1

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.02
1	0.58	0.32	0.01	0.00	0.65	0.03
2	0.05	0.01	0.27	0.04	0.97	0.03
3	1.80	0.01	0.07	0.01	1.87	0.02
4	0.60	0.03	0.07	0.00	0.97	0.02
5	1.92	0.96	0.00	0.01	1.54	0.00
6	6.07	0.31	0.02	0.01	1.48	0.02
7	7.51	0.35	1.02	0.00	3.56	0.04
8	4.54	0.11	0.05	0.07	1.54	0.04
9	5.88	0.48	0.10	0.01	1.52	0.03
10	4.92	0.40	2.42	0.01	1.67	0.05
11	4.98	0.69	3.67	0.09	4.70	0.29
12	8.50	0.44	4.58	0.12	7.61	0.12
13	5.54	0.19	6.07	0.17	20.54	0.26
14	2.13	0.02	10.25	0.22	22.19	0.05
15	1.09	0.35	11.42	0.68	22.03	0.14
16	2.49	0.30	10.16	0.51	21.62	0.12
17	1.66	0.03	12.81	0.35	21.74	0.03
18	1.10	0.06	12.46	0.46	21.74	0.16
19	0.81	0.11	13.85	0.47	21.75	0.23
21	0.91	0.03	5.46	0.77	24.79	0.12
22	0.87	0.03	0.31	0.03	25.10	0.14

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
23	0.56	0.03	0.32	0.01	25.10	0.13
24	0.70	0.05	0.07	0.01	24.63	0.17
25	0.62	0.06	0.04	0.00	24.90	0.11
26	0.67	0.07	0.40	0.00	29.20	0.14
27	0.83	0.06	0.51	0.01	28.88	0.08
28	0.58	0.09	0.55	0.02	28.57	0.12
29	0.52	0.02	0.53	0.02	30.44	0.17
30	0.70	0.04	0.53	0.18	32.30	0.09
31	0.42	0.00	0.53	0.12	32.02	0.12
32	0.57	0.01	0.51	0.13	35.06	0.35
33	0.53	0.07	0.77	0.04	35.13	0.26
34	0.48	0.09	0.04	0.03	39.52	0.22
35	0.33	0.02	0.03	0.00	36.04	0.04
36	0.32	0.03	0.05	0.00	41.47	0.12
37	0.46	0.02	0.06	0.03	40.88	0.15
38	0.26	0.03	0.05	0.02	44.19	0.21
39	0.36	0.04	0.08	0.04	57.09	0.20
40	0.36	0.06	0.08	0.01	59.89	0.11
41	0.45	0.01	0.07	0.01	67.64	0.17
42	0.58	0.01	0.05	0.00	66.79	0.16
43	0.32	0.21	0.06	0.01	73.04	0.40
44	0.20	0.00	0.06	0.00	72.63	0.17
45	0.25	0.00	0.05	0.01	73.19	0.17

ตาราง ข-2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV₃₀) ในศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน รอบที่ 1

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาตรตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
0	10.45	9.42	8.19	9.35	1.13	0	0
1	60.78	58.46	55.90	58.38	2.44		
2	90.32	84.54	79.31	84.72	5.51		
3	120.34	122.79	129.02	124.05	4.48		
4	165.45	170.66	173.22	169.78	3.96		
5	150.87	149.84	152.16	150.96	1.16		
6	210.65	208.33	203.77	207.58	3.50		
7	197.23	191.45	186.22	191.63	5.51		
8	270.43	272.88	271.65	271.65	1.23	5.5	0.40
9	300.23	305.44	302.88	302.85	2.61		
10	330.12	329.09	323.86	327.69	3.36		
11	315.67	313.35	319.58	316.20	3.15		
12	330.67	324.89	327.45	327.67	2.90		
13	300.45	302.90	305.22	302.86	2.39		
14	330.32	335.53	330.97	332.27	2.84		
15	315.12	314.09	308.86	312.69	3.36	6.5	0.50
16	330.06	327.74	326.51	328.10	1.80		
18	360.93	363.38	358.15	360.82	2.62		
19	450.09	455.30	461.53	455.64	5.73		
20	450.32	449.29	451.85	450.49	1.29		
21	465.34	463.02	465.34	464.57	1.34		
22	495.21	489.43	484.87	489.84	5.18	7.45	0.65

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาณตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
23	600.98	603.43	598.20	600.87	2.62		
24	495.67	500.88	499.65	498.73	2.72		
25	480.23	479.20	476.64	478.69	1.85		
26	600.21	597.89	592.66	596.92	3.87		
27	623.43	617.65	623.88	621.65	3.47		
28	634.56	637.01	639.57	637.05	2.51		
29	678.23	683.44	685.76	682.48	3.86	8.54	0.64
30	723.34	722.31	717.75	721.13	2.97		
31	712.34	710.02	704.79	709.05	3.87		
32	734.67	728.89	727.66	730.41	3.74		
33	756.87	759.32	756.76	757.65	1.45		
34	698.56	703.77	698.54	700.29	3.01		
35	789.34	788.31	794.54	790.73	3.34		
36	832.34	830.02	832.58	831.65	1.41	11.21	0.55
37	856.45	850.67	852.99	853.37	2.91		
38	789.87	792.32	787.76	789.98	2.28		
39	867.34	872.55	867.32	869.07	3.01		
40	876.56	875.53	874.30	875.46	1.13		
41	922.34	920.02	917.46	919.94	2.44		
42	856.09	850.31	845.08	850.49	5.51		
43	912.32	914.77	921.00	916.03	4.48		
44	943.56	948.77	951.33	947.89	3.96		
45	956.45	955.42	957.74	956.54	1.16	11.76	0.50

ตาราง ข-3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท ในศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และแยกตะกอน รอบที่ 2

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.29	0.15	0.00	0.00	0.86	0.00
1	0.78	0.32	0.01	0.00	1.05	0.03
2	3.70	0.08	0.06	0.01	1.19	0.01
3	5.22	0.46	0.10	0.00	2.59	0.00
4	8.74	0.43	0.41	0.02	2.22	0.00
5	9.00	0.19	0.45	0.02	2.03	0.00
6	12.81	0.44	0.93	0.01	2.56	0.03
7	12.40	1.14	1.82	0.02	3.33	0.02
8	15.71	0.95	2.92	0.09	3.71	0.00
9	12.20	0.39	7.13	0.05	3.54	0.11
10	8.53	0.61	12.28	0.56	4.89	0.00
11	7.59	0.32	19.04	0.05	7.82	0.11
12	7.71	1.66	11.14	1.02	20.08	0.00
13	1.00	0.22	7.62	0.37	21.04	0.00
14	1.38	0.29	10.09	0.49	24.69	0.22
15	0.59	0.02	5.97	0.49	45.87	0.00
16	0.67	0.05	5.27	0.22	49.88	0.84
17	0.57	0.01	3.43	0.12	52.10	2.36
19	0.63	0.03	0.05	0.00	62.65	1.67
20	0.69	0.05	0.05	0.00	63.91	0.85
21	0.58	0.10	0.05	0.00	67.88	0.21
22	0.58	0.08	0.31	0.01	70.55	0.44

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
23	0.69	0.03	0.24	0.01	70.71	0.52
24	0.61	0.07	0.08	0.00	71.06	0.16
25	0.66	0.10	0.09	0.01	71.99	0.68
26	0.62	0.09	0.07	0.00	73.82	1.67
27	0.68	0.06	0.07	0.00	75.08	0.93
28	0.64	0.06	0.08	0.00	76.28	0.92
29	0.69	0.05	0.10	0.01	79.67	1.40
30	0.67	0.03	0.15	0.02	80.69	1.52
31	0.74	0.01	0.23	0.02	80.29	0.34
32	0.37	0.02	0.21	0.01	82.96	2.44
33	0.33	0.02	0.20	0.01	84.70	0.73
34	0.35	0.01	0.16	0.01	86.04	0.71
35	0.34	0.03	0.14	0.00	87.32	0.82
36	0.35	0.01	0.10	0.01	88.95	0.76
37	0.42	0.01	0.09	0.00	90.54	0.98
38	0.22	0.01	0.08	0.00	92.13	1.08
39	0.42	0.02	0.13	0.09	93.35	0.76
40	0.36	0.01	0.07	0.00	94.52	0.93
41	0.32	0.01	0.06	0.00	96.02	0.74
42	0.28	0.01	0.06	0.00	97.52	0.63
43	0.26	0.00	0.05	0.00	98.41	1.01
44	0.26	0.01	0.05	0.00	100.55	0.66
45	0.25	0.00	0.05	0.00	102.05	0.74

ตาราง ข-4 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาณตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV₃₀) ในศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรือนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน รอบที่ 2

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาณตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
0	6.67	10.00	10.00	8.89	1.92	0.00	0
1	80.00	53.33	53.33	62.22	15.40		
2	30.00	13.33	30.00	24.44	9.62		
3	280.00	313.33	333.33	308.89	26.94		
4	276.67	343.33	343.33	321.11	38.49		
5	216.67	166.67	210.00	197.78	27.15		
6	216.67	193.33	180.00	196.67	18.56		
7	133.33	160.00	173.33	155.56	20.37		
8	210.00	206.67	240.00	218.89	18.36	6.50	0.50
9	690.00	430.00	600.00	573.33	132.04		
10	786.67	536.67	606.67	643.33	128.97		
11	593.33	450.00	583.33	542.22	80.02		
12	653.33	683.33	630.00	655.56	26.74		
13	526.67	550.00	640.00	572.22	59.85		
14	666.67	773.33	706.67	715.56	53.89		
15	496.67	606.67	633.33	578.89	72.44	7.50	0.50
16	493.33	540.00	580.00	537.78	43.38		
17	653.33	560.00	673.33	628.89	60.49		
18	576.67	410.00	706.67	564.44	148.71		
19	640.00	530.00	590.00	586.67	55.08		
21	563.33	566.67	696.67	608.89	76.04		
22	783.33	700.00	690.00	724.44	51.24	8.50	0.50

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาณตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
23	593.33	533.33	686.67	604.44	77.27		
24	656.67	543.33	643.33	614.44	61.94		
25	506.67	506.67	670.00	561.11	94.30		
26	606.67	676.67	696.67	660.00	47.26		
27	656.67	613.33	663.33	644.44	27.15		
28	636.67	683.33	756.67	692.22	60.49		
29	790.00	953.33	930.00	891.11	88.34	10.21	0.85
30	1110.00	726.67	786.67	874.44	206.19		
31	1006.67	1020.00	876.67	967.78	79.19		
32	743.33	1140.00	840.00	907.78	206.84		
33	916.67	740.00	1020.00	892.22	141.59		
34	1046.67	923.33	970.00	980.00	62.27		
35	1103.33	1130.00	940.00	1057.78	102.87		
36	1203.33	763.33	936.67	967.78	221.64	13.17	0.65
37	980.00	1106.67	993.33	1026.67	69.60		
38	1010.00	963.33	946.67	973.33	32.83		
39	983.33	1020.00	1050.00	1017.78	33.39		
40	1016.67	1016.67	1053.33	1028.89	21.17		
41	1036.67	1006.67	1013.33	1018.89	15.75		
42	1016.67	1046.67	1053.33	1038.89	19.53		
43	1080.00	1060.00	1086.67	1075.56	13.88		
44	1056.67	1096.67	1133.33	1095.56	38.35		
45	1153.33	1150.00	1073.33	1125.56	45.26	13.33	0.85

ตาราง ข-5 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำใน ระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน รอบที่ 1

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD
0	1.54	0.25	3.96	0.52	7.48	0.07	5.67	0.06	25.30	0.1
7	4.43	1.13	4.68	0.70	7.50	0.04	5.80	0.10	25.37	0.06
14	9.84	2.38	6.04	0.98	7.60	0.05	5.13	0.06	24.00	0.64
21	11.45	3.48	6.78	1.22	7.52	0.06	4.53	0.06	24.60	0.20
28	15.44	5.72	7.49	1.32	7.70	0.15	4.37	0.12	25.10	0.38
35	18.23	6.34	8.67	1.56	7.71	0.07	4.03	0.06	25.43	0.64
42					7.60	0.09	3.77	0.06	24.70	0.12
45	24.38	8.23	10.54	2.34	7.55	0.01	3.77	0.06	25.50	0.12

ตาราง ข-6 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในศึกษาผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลแบบปิดในโรงเรียนที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน รอบที่ 2

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD
0	30.35	19.37	11.12	1.70	7.58	0.13	5.70	0.10	25.20	0.20
7	33.15	13.85	11.46	1.90	7.55	0.10	5.83	0.12	25.37	0.06
14	36.65	19.37	11.65	2.51	7.61	0.07	5.17	0.06	25.37	0.31
21	42.00	19.41	12.62	2.51	7.52	0.06	4.77	0.06	24.63	0.21
28	47.92	21.29	12.82	1.91	7.70	0.16	4.50	0.00	25.03	0.35
35	52.72	21.37	13.17	1.91	7.66	0.01	4.17	0.06	25.13	0.51
42					7.68	0.02	4.07	0.06	24.80	0.20
45	59.26	22.87	13.98	2.02	7.65	0.00	3.93	0.06	25.27	0.23

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS

ตาราง ค-1 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยคว่ำ 4 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
620	3	20.7725	7.28476	4.20586	2.6761	38.8688	12.65	26.72
435	3	27.5054	7.67192	4.42939	8.4473	46.5635	19.10	34.13
285	3	35.6453	3.55250	2.05104	26.8204	44.4702	31.55	37.89
185	3	51.7182	1.29666	.74862	48.4971	54.9393	50.56	53.12
110	3	60.0144	1.51024	.87194	56.2628	63.7661	58.33	61.26
Total	15	39.1312	15.79715	4.07881	30.3830	47.8793	12.65	61.26

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.316	4	10	.057

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3236.683	4	809.171	31.483	.000
Within Groups	257.017	10	25.702		
Total	3493.700	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate (L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Duncan ^a	620	3	20.7725		
	435	3	27.5054	27.5054	
	285	3		35.6453	
	185	3			51.7182
	110	3			60.0144
	Sig.			.135	.078

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-2 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยหยาง 4 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
620	3	23.0984	1.56566	.90393	19.2091	26.9877	21.43	24.53
434	3	29.0573	2.70658	1.56265	22.3338	35.7808	25.97	31.01
284	3	42.8663	.74659	.43105	41.0117	44.7210	42.31	43.71
185	3	57.2528	1.60970	.92936	53.2541	61.2515	55.62	58.84
113	3	64.5005	.78371	.45247	62.5536	66.4473	64.04	65.41
Total	15	43.3551	16.45969	4.24987	34.2400	52.4701	21.43	65.41

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.169	4	10	.146

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3765.818	4	941.455	347.667	.000
Within Groups	27.079	10	2.708		
Total	3792.898	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate (L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^a	620	3	23.0984				
	434	3		29.0573			
	284	3			42.8663		
	185	3				57.2528	
	113	3					64.5005
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-3 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 4 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
613	3	27.0091	7.09452	4.09602	9.3854	44.6329	18.83	31.45
435	3	41.8492	4.52887	2.61474	30.5989	53.0995	36.69	45.15
287	3	47.0698	.70424	.40659	45.3204	48.8192	46.26	47.49
183	3	67.4668	1.53587	.88673	63.6515	71.2821	65.87	68.94
112	3	69.6780	2.23467	1.29019	64.1267	75.2292	67.12	71.26
Total	15	50.6146	16.98624	4.38583	41.2079	60.0212	18.83	71.26

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.174	4	10	.009

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3882.070	4	970.518	61.666	.000
Within Groups	157.383	10	15.738		
Total	4039.453	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate (L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Duncan ^a	613	3	27.0091		
	433	3		41.8492	
	287	3		47.0698	
	183	3			67.4668
	112	3			69.6780
	Sig.			1.000	.138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-4 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดเม็ด BCN สูง 30 เซนติเมตร
ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
630	3	18.3728	.37003	.21364	17.4536	19.2920	18.00	18.74
444	3	33.3311	.33001	.19053	32.5113	34.1509	33.00	33.66
276	3	38.6321	.63001	.36374	37.0671	40.1972	38.00	39.26
183	3	45.0304	.03001	.01732	44.9558	45.1049	45.00	45.06
105	3	53.1250	.12500	.07217	52.8145	53.4355	53.00	53.25
Total	15	37.6983	12.12083	3.12959	30.9860	44.4106	18.00	53.25

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.696	4	10	.227

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2055.485	4	513.871	3.897E3	.000
Within Groups	1.319	10	.132		
Total	2056.803	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^a	630	3	18.3728				
	444	3		33.3311			
	276	3			38.6321		
	183	3				45.0304	
	105	3					53.1250
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-5 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของถังกลวงที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
615	3	12.7392	.00066	.00038	12.7376	12.7409	12.74	12.74
444	3	13.3033	7.17460	4.14226	-4.5194	31.1260	8.53	21.55
282	3	26.5007	5.05264	2.91714	13.9493	39.0521	22.37	32.13
186	3	35.0214	1.81601	1.04848	30.5101	39.5326	32.96	36.39
111	3	48.5157	2.55178	1.47327	42.1768	54.8547	46.76	51.44
Total	15	27.2161	14.46273	3.73426	19.2069	35.2253	8.53	51.44

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.879	4	10	.011

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2754.762	4	688.691	39.665	.000
Within Groups	173.627	10	17.363		
Total	2928.389	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^a	615	3	12.7392			
	444	3	13.3033			
	282	3		26.5007		
	186	3			35.0214	
	111	3				48.5157
	Sig.			.872	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-6 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นกรวยคว่ำ 8 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
618	3	23.4924	.49002	.28291	22.2752	24.7097	23.00	23.98
462	3	32.2527	.25004	.14436	31.6315	32.8738	32.00	32.50
270	3	40.1212	.12002	.06929	39.8230	40.4193	40.00	40.24
186	3	62.4208	.42000	.24249	61.3774	63.4641	62.00	62.84
108	3	70.2810	.28001	.16166	69.5854	70.9766	70.00	70.56
Total	15	45.7136	18.45451	4.76493	35.4938	55.9334	23.00	70.56

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.759	4	10	.575

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4766.820	4	1191.705	1.042E4	.000
Within Groups	1.144	10	.114		
Total	4767.963	14			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets**

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^a	618	3	23.4924				
	462	3		32.2527			
	270	3			40.1212		
	186	3				62.4208	
	108	3					70.2810
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-7 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นกรวยหงาย 8 ชั้นที่อัตรา
การไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
624	3	25.8545	1.87848	1.08454	21.1881	30.5209	24.05	27.80
504	3	34.9419	1.42264	.82136	31.4078	38.4759	33.30	35.82
282	3	49.5507	1.60575	.92708	45.5618	53.5396	48.10	51.27
186	3	67.7749	2.92985	1.69155	60.4968	75.0531	65.94	71.15
105	3	72.3447	1.82404	1.05311	67.8136	76.8759	70.33	73.89
Total	15	50.0933	18.73790	4.83811	39.7166	60.4700	24.05	73.89

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.976	4	10	.463

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4875.442	4	1218.861	304.074	.000
Within Groups	40.084	10	4.008		
Total	4915.526	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	
Duncan ^a	624	3	25.8545					
	504	3		34.9419				
	282	3			49.5507			
	186	3				67.7749		
	105	3					72.3447	
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.								
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.								

ตาราง ค-8 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 8 ชั้น ที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
618	3	32.3851	3.51840	2.03135	23.6449	41.1253	30.18	36.44
438	3	43.5196	2.63182	1.51948	36.9818	50.0574	40.88	46.15
282	3	57.2890	1.33302	.76962	53.9777	60.6004	56.42	58.82
183	3	71.3381	2.41104	1.39202	65.3487	77.3275	68.68	73.39
111	3	74.4840	1.93989	1.12000	69.6650	79.3030	72.53	76.41
Total	15	55.8032	16.76889	4.32971	46.5169	65.0895	30.18	76.41

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.983	4	10	.459

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3875.424	4	968.856	158.006	.000
Within Groups	61.318	10	6.132		
Total	3936.741	14			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets**

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^a	618	3	32.3851			
	438	3		43.5196		
	282	3			57.2890	
	183	3				71.3381
	111	3				74.4840
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-9 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยคว่ำ 14 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
618	3	24.1108	5.74396	3.31628	9.8421	38.3796	17.77	28.95
432	3	33.4996	5.50433	3.17792	19.8261	47.1731	28.23	39.21
288	3	43.1255	3.12204	1.80251	35.3699	50.8811	41.06	46.72
185	3	65.5393	4.38680	2.53272	54.6419	76.4367	60.50	68.48
113	3	71.2504	1.45189	.83825	67.6437	74.8571	69.60	72.34
Total	15	47.5051	19.16819	4.94920	36.8901	58.1201	17.77	72.34

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.276	4	10	.342

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4955.091	4	1238.773	65.620	.000
Within Groups	188.780	10	18.878		
Total	5143.871	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^a	618	3	24.1108			
	432	3		33.4996		
	288	3			43.1255	
	185	3				65.5393
	113	3				71.2504
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-10 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดกรวยหงาย 14 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
617	3	26.6110	1.64962	.95241	22.5131	30.7089	25.00	28.30
433	3	35.4243	3.81870	2.20473	25.9381	44.9105	31.94	39.51
287	3	50.5533	2.11764	1.22262	45.2928	55.8138	48.32	52.54
187	3	68.4599	1.11922	.64618	65.6796	71.2402	67.39	69.62
112	3	73.6705	1.10543	.63822	70.9245	76.4165	72.53	74.73
Total	15	50.9438	18.93173	4.88815	40.4598	61.4278	25.00	74.73

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.601	4	10	.248

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4969.222	4	1242.306	256.010	.000
Within Groups	48.526	10	4.853		
Total	5017.748	14			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets**

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^a	617	3	26.6110				
	433	3		35.4243			
	287	3			50.5533		
	187	3				68.4599	
	112	3					73.6705
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-11 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของหน่วยแยกตะกอนชนิดแผ่นวงกลม 14 ชั้นที่อัตราการไหลต่างๆ 5 อัตราการไหล

Oneway

Descriptives

Efficiency

Flow rate(L/hr)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
615	3	34.1007	4.60818	2.66053	22.6533	45.5480	30.36	39.25
430	3	45.3597	4.00684	2.31335	35.4061	55.3132	42.21	49.87
285	3	58.6574	2.34930	1.35637	52.8214	64.4934	56.02	60.53
187	3	72.2304	1.17155	.67639	69.3201	75.1407	71.19	73.50
113	3	75.2096	.48935	.28253	73.9940	76.4252	74.93	75.77
Total	15	57.1115	16.40380	4.23544	48.0274	66.1957	30.36	75.77

Test of Homogeneity of Variances

Efficiency

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.611	4	10	.045

ANOVA

Efficiency

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3678.344	4	919.586	103.507	.000
Within Groups	88.843	10	8.884		
Total	3767.187	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Efficiency

	Flow rate(L/hr)	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^a	615	3	34.1007			
	430	3		45.3597		
	285	3			58.6574	
	187	3				72.2304
	113	3				75.2096
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตาราง ค-12 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการนำ
หน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยง
ปลานิล โดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.13	0.04	0.27	0.01	3.01	0.00
2	0.97	0.15	0.03	0.01	2.89	0.03
4	1.35	0.11	0.12	0.00	5.63	0.01
6	5.04	0.85	0.38	0.00	9.45	0.55
8	6.66	0.72	1.45	0.01	17.04	0.50
9	5.79	0.15	2.83	0.02	18.88	0.09
11	0.80	0.23	7.55	0.18	20.00	0.32
13	0.23	0.07	6.13	0.12	25.88	0.03
15	0.55	0.03	3.12	0.03	36.34	0.23
18	0.44	0.03	0.75	0.05	42.35	0.03
20	0.60	0.19	0.58	0.04	59.84	0.10
22	0.51	0.11	0.54	0.04	72.33	0.33
24	0.76	0.04	0.40	0.05	72.81	0.41
26	0.10	0.01	0.42	0.01	74.44	0.38
28	0.10	0.00	0.41	0.01	74.83	0.72
30	0.10	0.00	0.41	0.00	75.62	0.23
32	0.09	0.00	0.39	0.00	77.50	0.54
34	0.09	0.01	0.29	0.02	78.00	0.87
38	0.10	0.00	0.23	0.02	79.72	0.86
40	0.09	0.00	0.19	0.00	80.56	0.78
42	0.08	0.00	0.18	0.00	80.32	0.46
44	0.08	0.00	0.15	0.00	82.61	0.31
45	0.07	0.00	0.12	0.01	83.40	0.37

ตาราง ค - 13 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาณตะกอนจมน้ำที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลโดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาณตะกอน จมน้ำที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
0	6.12	3.92	5.88	5.44	1.15	0	0
2	20.41	23.53	23.53	23.13	2.31		
4	46.94	43.14	43.14	45.58	1.15		
6	51.02	49.02	50.98	51.70	1.15		
8	73.47	62.75	64.71	68.71	4.16	4.45	0.25
9	77.55	72.55	78.43	78.23	3.06		
11	75.51	82.35	84.31	82.99	6.43		
13	142.86	141.18	143.14	146.26	3.06		
15	163.27	162.75	156.86	165.31	3.46	7.25	0.54
18	204.08	213.73	200.00	211.56	9.45		
20	216.33	164.71	301.96	234.01	71.59		
22	257.14	245.10	268.63	263.95	13.32	7.85	0.75
24	306.12	298.04	292.16	306.80	3.06		
26	326.53	311.76	319.61	327.89	4.16		
28	324.49	356.86	390.20	367.35	40.15		
30	393.88	352.94	366.67	380.95	13.01	8.75	0.75
32	516.33	409.80	386.27	448.30	58.97		
36	548.98	545.10	578.43	572.79	26.41		
38	591.84	521.57	568.63	575.51	27.71	10.25	0.85
40	593.88	601.96	556.86	600.00	23.58		
42	808.16	631.37	764.71	753.74	82.20		
44	832.65	778.43	772.55	815.65	14.74		
45	861.22	841.18	860.78	879.59	17.09	11.75	0.75

ตาราง ค-14 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการนำ
หน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยง
ปลานิล โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.20	0.03	0.02	0.03	2.56	0.59
2	0.67	0.04	0.41	0.01	1.25	0.04
4	0.72	0.02	1.00	0.02	0.97	0.00
6	1.63	0.03	1.88	0.07	1.16	0.00
8	0.84	0.04	5.22	0.16	0.39	0.07
9	1.51	0.20	5.54	0.39	2.78	0.00
11	0.28	0.03	4.54	0.20	15.59	0.00
13	0.32	0.02	1.31	0.10	22.59	0.00
15	0.31	0.02	1.09	0.20	23.29	0.09
18	0.53	0.11	0.81	0.09	27.11	1.05
20	0.25	0.02	0.77	0.02	33.11	0.07
22	0.23	0.01	0.66	0.05	36.89	0.27
24	0.12	0.01	0.05	0.00	38.29	0.79
26	0.06	0.00	0.08	0.02	40.19	0.38
28	0.06	0.00	0.09	0.00	40.58	0.55
30	0.03	0.00	0.09	0.00	43.38	1.29
32	0.04	0.00	0.09	0.00	45.20	0.30
34	0.04	0.00	0.08	0.00	46.96	0.38
36	0.04	0.00	0.08	0.00	49.38	0.83
40	0.03	0.00	0.07	0.00	56.58	0.76
42	0.03	0.00	0.07	0.01	60.66	0.37
44	0.03	0.00	0.07	0.00	62.77	0.88
45	0.03	0.00	0.08	0.00	64.37	0.69

ตาราง ค - 15 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ(TSS) และปริมาณตะกอนจมน้ำที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ในการทดลองการนำหน่วยแยกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งาน ร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาณตะกอน จมน้ำที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
0	13.73	9.80	10.20	11.24	2.16	0	0.00
2	21.57	23.53	26.53	23.88	2.50		
4	13.73	17.65	18.37	16.58	2.50		
6	17.65	15.69	18.37	17.23	1.39		
8	15.69	17.65	22.45	18.59	3.48	0.23	0.06
9	11.76	9.80	14.29	11.95	2.25		
11	13.73	13.73	20.41	15.95	3.86		
13	21.57	27.45	30.61	26.54	4.59		
15	5.88	7.84	10.20	7.98	2.16	0.23	0.06
18	9.80	9.80	10.20	9.94	0.23		
20	21.57	17.65	18.37	19.19	2.09		
22	3.92	5.88	8.16	5.99	2.12	0.20	0.00
24	19.61	17.65	18.37	18.54	0.99		
26	23.53	21.57	20.41	21.84	1.58		
28	17.65	17.65	20.41	18.57	1.59		
30	17.65	19.61	16.33	17.86	1.65	0.23	0.06
34	15.69	15.69	16.33	15.90	0.37		
36	13.73	15.69	16.33	15.25	1.36		
38	29.41	25.49	38.78	31.23	6.83	0.20	0.00
40	28.00	30.00	28.00	28.67	1.15		
42	30.00	34.29	31.43	31.90	2.18		
44	28.75	30.00	27.50	28.75	1.25		
45	33.33	28.89	31.11	31.11	2.22	0.37	0.06

ตาราง ก - 16 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในการทดลองการนำหน่วยแยก ตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยไม่มีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	น้ำหนัก เฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD
0	31.42	11.23	11.05	1.52	7.60	0.05	6.40	0.10	25.43	0.15
8	33.23	12.12	11.76	1.63	7.62	0.05	6.30	0.10	24.87	0.02
15	37.94	10.25	11.96	1.84	7.62	0.07	5.70	0.10	25.33	0.16
22	42.65	11.58	12.55	2.45	7.46	0.11	5.17	0.06	24.87	0.10
29	48.66	11.36	12.72	1.34	7.58	0.06	4.37	0.06	25.23	0.12
36	53.57	12.52	13.28	1.83	7.72	0.16	4.27	0.06	25.63	0.15
42					7.60	0.22	4.07	0.06	25.67	0.15
45	58.92	12.65	14.35	1.63	7.79	0.13	3.87	0.12	25.77	0.17

ตาราง ก - 17 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลา, ค่าความเป็นกรด ต่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิ ในการทดลองการนำหน่วยแยก ตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาใช้งานร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยมีการติดตั้งหน่วยแยกตะกอน

วันที่	น้ำหนัก เฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD
0	32.47	11.25	11.42	1.30	7.67	0.11	7.10	0.10	25.30	0.10
8	33.36	12.35	11.62	1.60	7.70	0.07	5.93	0.10	23.80	0.10
15	39.18	12.52	11.85	1.52	7.90	0.05	5.73	0.06	24.70	0.10
22	43.15	14.25	12.91	1.65	6.67	0.10	5.27	0.15	24.70	0.10
29	49.24	11.25	13.24	2.12	7.58	0.06	4.90	0.06	25.33	0.06
36	55.33	11.32	13.64	2.31	7.77	0.10	4.53	0.06	25.80	0.10
42					7.72	0.07	4.27	0.06	26.27	0.06
45	61.31	11.63	14.56	2.12	7.82	0.05	3.90	0.06	26.33	0.06

ภาคผนวก ง

ตาราง ง – 1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการศึกษาการ
ประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและ
ดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียน

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.20	0.01	0.02	0.01	1.68	0.35
1	0.13	0.10	0.22	0.01	3.23	0.01
2	0.68	0.02	0.95	0.07	5.87	0.10
3	0.62	0.01	1.48	0.06	6.44	0.14
4	0.63	0.03	1.10	0.04	6.84	0.13
5	0.68	0.03	1.15	0.02	9.07	0.32
6	0.91	0.02	1.24	0.07	10.69	0.32
7	2.04	0.23	1.56	0.02	13.39	1.95
8	2.15	0.22	1.58	0.07	56.47	0.36
9	1.42	0.11	2.64	0.09	61.00	1.05
10	1.09	0.02	3.02	0.05	66.03	0.52
11	1.02	0.05	3.57	0.08	65.27	1.51
13	0.40	0.01	2.99	0.06	78.14	2.92
14	0.55	0.05	2.93	0.02	82.32	3.57
15	0.75	0.08	2.58	0.03	79.29	5.30
16	0.30	0.04	2.06	0.07	81.05	3.65
17	0.35	0.01	1.57	0.08	83.91	0.41
18	0.34	0.08	1.48	0.00	86.26	1.36
19	0.36	0.03	1.40	0.03	91.26	0.35
20	0.52	0.03	1.69	0.07	81.45	0.05
21	0.32	0.00	1.98	0.01	79.09	0.10
22	0.38	0.01	2.32	0.02	83.50	0.21

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
24	0.45	0.00	2.37	0.08	74.32	0.60
25	0.45	0.01	2.36	0.06	73.78	0.96
26	0.42	0.01	2.25	0.01	78.40	0.33
27	0.41	0.00	2.21	0.01	78.79	0.33
28	0.36	0.01	1.71	0.04	74.81	0.87
29	0.39	0.00	1.74	0.02	74.73	2.03
30	0.42	0.01	1.89	0.02	76.09	1.12
31	0.40	0.00	1.94	0.07	71.53	2.54
32	0.37	0.01	1.75	0.01	79.39	0.78
33	0.33	0.01	1.87	0.02	80.18	1.23
34	0.29	0.01	1.82	0.01	82.94	0.44
35	0.25	0.01	1.78	0.02	83.85	1.23
36	0.26	0.00	1.76	0.01	86.86	1.58
37	0.44	0.01	0.80	0.01	82.06	0.08
38	0.61	0.05	0.77	0.01	80.64	0.08
39	0.62	0.08	0.75	0.02	77.17	2.08
40	0.87	0.16	0.56	0.01	78.47	0.26
41	0.81	0.03	0.75	0.02	78.66	0.16
42	0.99	0.03	0.81	0.05	78.78	1.22
43	1.00	0.01	0.68	0.04	73.05	1.51
44	1.02	0.02	0.75	0.01	66.31	0.08
46	1.21	0.04	0.74	0.03	51.18	0.00
47	1.15	0.09	0.57	0.02	47.56	0.98
48	1.51	0.02	0.75	0.02	56.26	0.80
49	4.54	0.10	0.88	0.01	58.80	1.90
50	6.45	0.16	6.26	0.05	35.77	3.53

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
52	7.94	0.86	3.17	0.08	28.09	0.14
54	4.91	0.20	3.57	0.07	24.17	0.20
55	2.21	0.25	4.09	0.12	29.88	1.23
57	2.36	0.60	3.73	0.19	33.31	0.98
59	1.28	0.22	3.26	0.24	40.42	1.39
60	1.19	0.15	2.72	0.04	39.55	1.93
61	3.55	0.77	3.42	0.06	39.49	0.06
62	2.56	0.47	3.69	0.01	39.75	0.68
63	2.46	0.38	2.32	0.12	46.16	0.61
64	2.87	0.65	2.94	0.13	49.24	0.72
65	3.48	0.95	2.67	0.05	47.89	1.54
66	2.56	0.57	2.65	0.08	47.69	0.19
67	0.55	0.26	0.67	0.01	49.71	0.27
68	0.68	0.49	0.56	0.04	46.44	0.55
69	0.57	0.40	0.55	0.01	44.77	0.80
70	0.68	0.37	0.84	0.02	47.12	1.12
71	0.76	0.16	0.72	0.00	46.54	0.13
72	0.69	0.19	0.57	0.01	50.53	0.17
73	0.68	0.10	0.75	0.01	46.12	0.15
74	1.32	0.02	1.55	0.01	47.43	0.12
75	1.12	0.18	1.35	0.01	29.71	0.10
77	1.81	0.02	0.82	0.01	24.77	0.19
78	2.35	0.01	0.79	0.02	17.44	0.03
79	1.07	0.00	0.46	0.01	12.98	0.14
80	0.06	0.01	0.49	0.02	10.55	0.15
82	0.04	0.01	0.59	0.01	11.88	0.16

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
83	0.04	0.00	0.45	0.04	11.71	2.21
84	0.01	0.01	0.41	0.03	11.31	0.25
85	0.04	0.01	0.52	0.01	11.00	0.15
86	0.06	0.02	0.55	0.02	11.29	0.08
87	0.05	0.08	0.45	0.02	9.54	0.06
88	0.01	0.01	0.58	0.03	10.22	0.12
89	0.00	0.00	0.47	0.01	11.46	0.16
90	0.06	0.02	0.59	0.05	13.77	0.06
91	0.12	0.01	0.46	0.00	14.35	0.62
92	0.12	0.01	0.42	0.02	11.94	0.38
93	0.35	0.02	0.57	0.01	15.95	0.43
94	0.39	0.08	0.59	0.08	15.04	0.34
95	0.06	0.01	0.52	0.02	12.34	0.18
96	0.25	0.00	0.58	0.01	14.55	0.08
97	0.22	0.02	0.54	0.02	11.43	0.18
98	0.23	0.02	0.55	0.02	11.46	0.15

ตาราง ง - 2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) และปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ในการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรือน

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)				SD	ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average		SD	SD
0	1.03	1.03	0.00	0.69	0.59	0.00	0.00
2	1.04	5.20	4.16	3.47	2.16		
4	8.40	8.40	8.40	8.40	0.00		
6	12.24	12.36	12.36	12.32	0.07		
8	14.32	13.56	11.32	13.07	1.56	0.20	0.00
10	19.56	19.87	17.34	18.92	1.38		
12	14.23	19.45	16.45	16.71	2.62		
14	16.45	15.67	16.34	16.15	0.42	0.20	0.00
16	19.45	19.54	19.32	19.44	0.11		
20	14.54	21.34	20.32	18.73	3.67		
22	21.32	20.76	19.22	20.43	1.09	0.23	0.03
24	22.34	20.32	23.04	21.90	1.41		
26	26.78	25.34	22.05	24.72	2.42		
28	23.56	25.34	26.12	25.01	1.31	0.23	0.03
30	29.02	24.22	25.11	26.12	2.55		
32	29.03	23.04	28.14	26.74	3.23		
34	22.03	24.05	21.21	22.43	1.46		
36	21.04	22.12	22.21	21.79	0.65	0.23	0.08
40	36.03	29.10	33.34	32.82	3.49		
42	35.05	31.09	36.45	34.20	2.78	0.37	0.08
44	33.11	36.04	38.34	35.83	2.62		
46	36.05	40.04	36.32	37.47	2.23		

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					ปริมาตรตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD		SD
48	35.06	37.08	36.31	36.15	1.02		
50	33.06	38.07	36.32	35.82	2.54	0.37	0.08
52	30.02	34.22	40.11	34.78	5.07		
54	31.03	33.04	46.14	36.74	8.21		
56	34.03	35.05	33.21	34.10	0.92		
58	32.04	38.12	33.21	34.46	3.23	0.40	0.10
59	34.04	35.11	37.23	35.46	1.62		
60	43.78	38.85	45.34	42.66	3.39		
61	47.19	51.52	54.74	51.15	3.78		
62	70.11	74.04	72.34	72.16	1.97		
63	110.05	126.71	120.32	119.03	8.40		
64	147.89	152.25	143.79	147.98	4.23	4.23	0.56
65	180.06	190.07	160.32	176.82	15.14		
66	76.45	64.23	74.00	71.56	6.47		
67	41.25	51.25	48.75	47.08	5.20		
68	40.00	43.64	19.09	34.24	13.25	0.37	0.12
69	32.23	33.15	31.12	32.17	1.02		
70	34.12	35.65	33.45	34.41	1.13		
71	34.56	35.12	33.15	34.28	1.02		
72	32.56	33.45	34.78	33.60	1.12	0.34	0.11
74	49.12	45.00	50.34	48.15	2.80		
76	94.56	93.24	92.34	93.38	1.12		
77	143.23	155.12	165.34	154.56	11.07	3.85	0.40
78	72.12	88.45	78.12	79.56	8.26	0.30	0.02
79	50.34	40.23	60.12	50.23	9.95		

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)				SD	ปริมาณตะกอน จมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average			
80	34.12	35.67	33.12	34.30	1.28		
81	34.12	35.65	33.46	34.41	1.12		
82	35.67	34.55	33.64	34.62	1.02		
84	42.73	44.55	20.00	35.76	13.68	0.35	0.04
86	33.04	33.14	33.15	33.11	0.06		
88	35.65	34.12	36.34	35.37	1.14		
90	35.23	34.12	36.23	35.19	1.06		
92	34.56	34.56	34.87	34.66	0.18	0.35	0.10
94	34.98	34.78	35.12	34.96	0.17		
96	35.12	34.87	36.12	35.37	0.66		
98	35.13	34.14	35.12	34.80	0.57	0.35	0.03

ตาราง ง - 3 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาในการศึกษาการประยุกต์ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียน

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	4.79	1.77	6.62	0.86
35	23.77	12.58	10.24	1.58
49	31.94	17.51	11.45	1.93
70	46.67	20.23	12.77	2.99
84	62.34	17.65	13.56	3.12
98	76.20	20.77	15.14	2.91

ตาราง ง - 4 ข้อมูลค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, ค่าอัลคาไลน์ตีและค่า ORP ในการศึกษาการประยุกต์

ใช้งานหน่วยแยกตะกอนร่วมกับระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบระบบปิดในโรงเรียน

วันที่	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD	ค่าอัลคาไลน์ตี (mgCaCO ₃ /L)	ORP (mV)
0	7.67	0.11	7.10	0.10	25.30	0.10	150	0
7	7.70	0.07	5.80	0.10	23.80	0.10	150	0
14	7.90	0.05	6.77	0.06	24.70	0.10	150	0
28	7.58	0.06	6.73	0.06	25.33	0.06	140	-70
35	7.77	0.10	6.73	0.06	25.80	0.10	140	-132
42	7.72	0.07	6.47	0.06	26.27	0.06	130	-276
49	7.82	0.05	5.27	0.06	26.33	0.06	140	-333
56	7.62	0.05	5.27	0.06	27.73	0.21	130	-312
63	7.67	0.10	5.27	0.06	28.33	0.06	130	-78
70	7.52	0.25	5.30	0.00	28.30	0.10	140	-382
77	7.47	0.06	5.23	0.06	27.73	0.23	150	-378
84	7.44	0.02	5.20	0.00	27.70	0.17	150	-376
91	7.33	0.10	4.90	0.17	28.50	0.17	130	-132
98	7.26	0.07	4.83	0.06	28.80	0.10	130	-124

ภาคผนวก จ

ตาราง จ-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา
ศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่โดย
กระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อก ในบ่อควบคุม

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.05	0.07	0.03	0.00	1.32	0.41
2	1.36	0.81	0.67	0.67	3.60	2.12
4	4.45	0.41	1.69	1.18	3.90	2.78
6	7.51	0.34	3.73	3.59	2.92	0.72
8	4.42	1.31	5.03	3.00	5.05	3.09
10	1.26	0.71	6.87	2.70	7.13	3.69
12	0.07	0.04	9.56	0.42	13.52	1.65
14	0.33	0.42	7.52	2.53	16.78	3.35
16	0.35	0.44	5.64	3.77	19.95	4.04
18	0.07	0.01	4.22	4.20	24.47	4.44
20	0.08	0.03	0.19	0.08	30.37	2.16
22	0.06	0.03	0.28	0.11	32.55	2.16
24	0.03	0.02	0.35	0.08	35.27	4.01
26	0.01	0.02	0.47	0.11	40.58	4.60
28	0.01	0.02	0.44	0.11	43.11	4.55
30	0.01	0.01	0.29	0.02	47.76	6.37
32	0.00	0.00	0.33	0.13	53.45	6.39
34	0.01	0.01	0.29	0.03	50.17	0.33
36	0.00	0.00	0.29	0.04	52.69	0.44
40	0.23	0.31	0.23	0.00	56.20	1.21
42	0.36	0.51	0.23	0.08	58.49	1.00
44	0.63	0.86	0.19	0.19	62.52	3.58

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
46	0.67	0.89	0.19	0.23	63.28	0.40
48	0.71	0.96	0.20	0.23	68.63	2.84
50	1.33	1.72	0.19	0.13	74.36	3.42
52	2.35	2.98	0.08	0.03	80.56	9.27
54	3.42	4.33	0.08	0.06	79.31	14.14
56	3.80	3.84	0.14	0.05	83.60	9.04
58	4.79	2.38	0.29	0.21	90.08	6.84
60	5.11	2.39	0.41	0.31	98.11	1.90

ตาราง จ-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา
สัถยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่โดย
กระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟลอค ในบ่อทดลอง 1

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.03	0.04	0.01	0.00	2.21	0.29
2	0.10	0.02	0.13	0.04	7.10	1.72
4	0.11	0.03	0.19	0.09	10.68	1.23
6	0.14	0.05	0.24	0.14	12.95	2.31
8	0.10	0.05	0.19	0.10	15.32	3.32
10	0.09	0.04	0.17	0.08	18.90	5.49
12	0.07	0.04	0.16	0.07	24.50	4.40
14	0.09	0.03	0.13	0.06	26.65	5.23
16	0.06	0.01	0.10	0.03	28.92	3.96
18	0.03	0.01	0.07	0.02	32.42	3.52
20	0.04	0.02	0.05	0.01	37.16	4.81
22	0.05	0.02	0.05	0.01	41.23	5.10
24	0.05	0.02	0.06	0.01	43.65	4.85
26	0.06	0.02	0.08	0.02	49.96	3.64
28	0.04	0.02	0.08	0.02	52.86	5.08
30	0.03	0.01	0.08	0.03	55.24	5.81
32	0.01	0.02	0.13	0.04	58.63	7.87
36	0.03	0.00	0.10	0.00	55.60	0.21
38	0.07	0.00	0.12	0.00	57.48	0.28
40	0.07	0.00	0.09	0.00	59.40	0.48
42	0.08	0.00	0.09	0.00	65.16	0.21
44	0.09	0.01	0.08	0.00	68.72	0.11
46	0.10	0.00	0.07	0.00	73.74	0.18

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
48	0.12	0.01	0.07	0.00	77.24	2.40
50	0.42	0.00	0.05	0.00	77.93	0.28
52	0.62	0.01	0.02	0.00	83.40	0.69
54	1.21	0.04	0.01	0.00	94.37	0.37
56	1.42	0.03	0.01	0.00	94.37	0.37
58	1.59	0.00	0.05	0.00	106.32	2.99
60	1.80	0.15	0.09	0.00	119.27	0.80

ตาราง จ-3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองการศึกษา
สัถยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรที่โดย
กระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อก ในบ่อทดลอง 2

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.13	0.02	0.02	0.00	2.39	0.34
2	0.16	0.06	0.12	0.05	4.39	0.57
4	0.19	0.04	0.16	0.09	10.23	3.65
6	0.26	0.08	0.19	0.10	14.21	0.67
8	0.18	0.03	0.15	0.06	20.29	0.08
10	0.14	0.01	0.12	0.04	24.20	1.29
12	0.14	0.08	0.12	0.01	29.47	0.93
14	0.12	0.04	0.11	0.02	31.38	0.64
16	0.08	0.00	0.09	0.01	32.73	0.82
18	0.07	0.07	0.09	0.02	37.02	1.93
20	0.13	0.12	0.15	0.14	39.67	2.39
22	0.11	0.11	0.16	0.12	43.81	4.37
24	0.08	0.08	0.14	0.09	48.91	5.12
28	0.04	0.04	0.13	0.08	55.21	7.11
30	0.04	0.04	0.13	0.06	58.66	8.59
32	0.03	0.05	0.12	0.01	63.87	10.90
34	0.06	0.08	0.18	0.08	60.45	9.56
36	0.01	0.02	0.19	0.08	62.31	4.33
38	0.00	0.00	0.20	0.10	61.53	4.53
40	0.00	0.00	0.20	0.09	68.14	3.83
42	0.01	0.00	0.22	0.10	70.67	0.12
44	0.03	0.03	0.22	0.06	75.73	2.74
46	0.03	0.03	0.22	0.06	76.38	2.22

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
48	0.04	0.05	0.25	0.07	81.38	1.98
50	0.04	0.04	0.22	0.07	81.89	1.23
52	0.02	0.01	0.19	0.05	89.25	1.27
54	0.01	0.00	0.09	0.05	93.07	0.43
56	0.02	0.00	0.14	0.00	97.31	3.89
58	0.03	0.00	0.12	0.01	105.01	2.56
60	0.02	0.01	0.11	0.01	112.17	1.54

ตาราง จ - 4 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ(TSS) ในการทดลองการศึกษาศักยภาพ
และบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการ
ไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อก

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					
	C	SD	T1	SD	T2	SD
0	1.67	0.33	0.91	0.37	0.93	0.23
2	13.70	2.80	3.52	0.19	3.72	0.42
4	31.11	5.88	8.17	0.65	8.00	0.67
6	42.96	3.39	12.08	1.21	12.11	0.51
8	68.89	6.94	12.93	1.03	13.44	0.84
10	95.15	3.34	17.49	0.83	17.38	0.67
12	93.52	2.57	16.12	1.19	11.30	0.39
14	92.67	6.43	15.94	1.11	3.11	0.38
16	158.44	11.64	32.66	1.39	10.26	0.06
18	176.67	20.03	52.15	5.74	14.75	1.27
20	225.33	35.16	63.81	6.39	17.75	1.89
22	392.47	33.65	72.05	7.67	21.04	2.07
24	405.53	30.37	91.12	6.39	21.95	2.58
26	498.87	9.67	109.33	13.87	26.68	2.10
28	581.93	40.77	116.67	5.51	26.35	1.71
30	578.82	22.21	127.23	13.36	27.77	1.49
32	631.55	32.48	139.67	6.81	28.08	0.99
34	659.87	15.11	153.21	1.37	28.66	1.34
36	680.85	2.44	174.67	1.15	28.07	0.45
38	693.47	5.36	164.28	1.11	27.67	0.57
42	730.02	12.39	187.22	2.33	25.68	0.55
44	761.13	36.29	195.22	1.36	25.66	1.16
46	799.87	12.48	204.18	2.28	26.13	1.34

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)					
	C	SD	T1	SD	T2	SD
48	806.87	3.25	216.23	2.54	27.83	0.46
50	841.08	5.13	223.29	2.06	28.06	0.62
52	881.07	15.70	235.67	2.08	28.66	0.57
54	914.35	17.59	239.67	4.73	28.22	0.94
56	961.97	14.28	254.33	1.53	27.89	1.98
58	978.90	18.15	254.23	4.02	27.02	0.65
60	1011.27	22.02	277.21	15.95	26.32	1.18

ตาราง จ - 5 ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (SV_{30}) ในการทดลองการศึกษาศักยภาพและ
 บทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริ
 ฟิเคชันในระบบไบโอฟลอค

วันที่	ปริมาตรตะกอนจมตัวที่เวลา 30 นาที (ml/L)					
	C	SD	T1	SD	T2	SD
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	4.23	0.25	0.25	0.02	0.24	0.05
14	5.12	0.27	0.35	0.04	0.35	0.04
21	6.03	0.32	0.87	0.12	0.34	0.05
28	6.98	0.34	1.67	0.15	0.35	0.04
35	7.82	0.34	2.54	0.16	0.32	0.05
42	8.56	0.26	3.56	0.15	0.35	0.02
49	10.34	0.28	4.12	0.10	0.34	0.02
56	12.45	0.35	5.34	0.12	0.32	0.00
60	13.23	0.32	6.15	0.15	0.35	0.02

ตาราง จ - 6 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของ
ตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันใน
ระบบไบโอฟลอค ของบ่อควบคุม

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	20.73	0.59	10.73	0.55
14	37.27	1.27	11.23	0.31
28	54.03	1.70	12.43	0.42
42	79.93	3.09	13.43	0.38
60	101.12	1.68	15.13	0.38

ตาราง จ-7 ข้อมูลค่าความเป็นกรด ต่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, ค่าอัลคาไลน์ตีและค่า ORP ในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อก ของบ่อควบคุม

วันที่	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD	ค่าอัลคาไลน์ตี (mgCaCO ₃ /L)	SD
0	7.47	0.11	7.17	0.15	25.40	0.20	150.00	0.00
7	7.60	0.13	5.83	0.15	24.07	0.38	130.00	10.00
14	7.74	0.16	6.68	0.20	25.10	0.61	136.67	15.28
21	6.70	0.08	6.68	0.13	25.00	0.53	136.67	5.77
28	7.63	0.14	5.76	0.08	25.03	0.46	130.00	10.00
35	7.77	0.10	5.24	0.14	25.80	0.10	126.67	11.55
42	7.72	0.07	4.37	0.24	26.03	0.38	133.33	11.55
49	7.85	0.06	3.79	0.12	25.73	1.07	133.33	5.77
56	7.63	0.06	3.72	0.03	26.43	0.60	126.67	5.77
60	7.77	0.01	3.21	0.15	26.83	0.15	136.67	5.77

ตาราง จ - 8 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของ
ตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันใน
ระบบไบโอฟลอค ของบ่อทดลอง 1

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	20.73	0.93	10.43	0.31
14	37.67	0.55	11.33	0.06
28	56.87	0.59	12.53	0.15
42	81.93	1.56	13.33	0.47
60	106.60	0.75	15.13	0.31

ตาราง จ - 9 ข้อมูลค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, ค่าอัลคาไลน์ตีและค่า ORP ในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟล็อก ของบ่อทดลอง 1

วันที่	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD	ค่าอัลคาไลน์ตี (mgCaCO ₃ /L)	SD
0	7.60	0.07	7.17	0.06	25.37	0.06	143.33	5.77
7	7.71	0.06	6.67	0.23	23.77	0.06	136.67	5.77
14	7.88	0.01	6.77	0.06	24.73	0.12	140.00	10.00
21	6.63	0.04	6.43	0.06	24.77	0.06	136.67	5.77
28	7.55	0.01	5.43	0.12	25.33	0.06	133.33	11.55
35	7.74	0.06	4.87	0.06	25.87	0.06	130.00	10.00
42	7.76	0.07	4.37	0.12	26.30	0.00	140.00	0.00
49	7.85	0.05	4.07	0.06	26.37	0.06	136.67	5.77
56	7.48	0.03	3.67	0.06	26.47	0.06	126.67	5.77
60	7.33	0.01	3.53	0.06	26.77	0.06	136.67	5.77

ตาราง จ - 10 ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของ
ตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันใน
ระบบไบโอฟลอค ของบ่อทดลอง 2

วันที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	20.67	0.47	10.47	0.38
14	38.23	0.70	11.31	0.08
28	58.60	0.61	12.67	0.15
42	82.97	0.81	13.51	0.30
60	108.13	1.36	15.27	0.67

ตาราง จ-11 ข้อมูลค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, ค่าอัลคาไลน์ตีและค่า ORP ในการทดลองการศึกษาศักยภาพและบทบาทของตะกอนต่อการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบไบโอฟลอค ของบ่อทดลอง 2

วันที่	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD	ค่าอัลคาไลน์ตี (mgCaCO ₃ /L)	SD
0	7.69	0.11	7.10	0.10	25.30	0.10	144.44	5.09
7	7.72	0.07	6.27	0.06	23.80	0.10	125.56	9.62
14	7.91	0.05	6.77	0.06	24.70	0.10	143.33	5.77
21	7.04	0.74	6.07	0.12	24.70	0.10	138.89	1.92
28	7.58	0.06	6.13	0.12	25.33	0.06	134.44	5.09
35	7.77	0.10	5.33	0.12	25.80	0.10	136.67	11.55
42	7.72	0.07	4.77	0.06	26.27	0.06	136.67	5.77
49	7.82	0.05	4.17	0.06	26.33	0.06	132.22	10.72
56	7.54	0.11	3.87	0.15	26.70	0.00	132.22	6.94
60	7.59	0.05	3.60	0.10	26.80	0.10	138.89	1.92

ตาราง จ-12 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรทในน้ำ ในการทดลองที่ 4.2

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรท (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.18	0.06	0.06	0.00	4.42	0.06
1	0.63	0.25	1.04	0.02	5.85	0.85
2	1.67	0.09	1.95	0.05	8.66	0.74
3	3.10	0.03	5.61	0.13	7.27	0.69
4	0.43	0.10	5.80	0.14	12.59	0.62
5	0.49	0.01	6.55	0.09	18.38	0.67
6	0.60	0.07	7.09	0.12	20.21	1.28
7	0.78	0.06	5.82	0.16	18.44	0.31
8	0.84	0.06	4.28	0.12	15.63	0.26
9	0.62	0.04	2.82	0.03	23.91	0.39
10	0.26	0.04	2.68	0.13	29.82	0.70
11	0.19	0.00	3.93	0.38	30.54	0.97
12	0.17	0.00	2.28	0.18	41.02	0.98
13	0.03	0.00	1.81	0.13	42.56	1.48
14	0.03	0.00	0.49	0.03	44.19	0.45
15	0.01	0.00	0.22	0.00	46.22	0.17
16	0.01	0.00	0.30	0.01	51.14	0.21
18	0.03	0.00	0.31	0.02	50.37	0.94
20	0.09	0.02	0.26	0.01	52.76	0.46
22	0.07	0.05	0.27	0.00	59.64	2.88
24	0.04	0.02	0.23	0.01	53.62	2.13
26	0.11	0.02	0.18	0.00	58.10	0.38
28	0.06	0.03	0.05	0.00	60.19	0.80
30	0.05	0.03	0.03	0.01	69.95	0.31

ตาราง จ - 13 ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ(TSS) ในการทดลองที่ 4.2

วันที่	ปริมาณตะกอน (mgTSS/L)	
	C	SD
0	336.37	72.11
1	375.94	69.28
2	422.11	30.55
3	474.87	19.95
4	488.06	30.55
5	573.80	70.24
6	240.87	19.94
7	389.13	41.63
8	455.09	19.74
9	568.76	30.55
10	277.01	39.86
11	375.94	19.62
12	441.89	30.55
13	534.23	19.94
14	296.79	52.92
15	362.75	23.09
17	573.80	19.93
18	204.46	30.49
20	448.49	30.50
22	666.14	30.45
23	250.63	61.08
25	494.66	19.79
28	217.65	19.62
30	507.85	50.21

ตาราง จ-11 ข้อมูลค่าความเป็นกรด ด่าง (pH), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, ค่าอัลคาไลน์ตีและค่า ORP ในการทดลองที่ 4.2

วันที่	pH	SD	DO (mg/L)	SD	อุณหภูมิ (°C)	SD	ค่าอัลคาไลน์ตี (mgCaCO ₃ /L)	SD
0	7.34	0.22	7.20	0.20	26.58	0.19	146.67	5.77
7	7.48	0.23	5.93	0.32	26.08	0.59	136.67	5.77
14	7.74	0.16	6.58	0.19	26.43	0.41	140.00	10.00
21	7.46	0.19	6.60	0.26	26.52	0.52	140.00	10.00
28	7.48	0.12	5.86	0.10	25.16	0.60	133.33	15.28
30	7.66	0.28	5.34	0.13	26.19	0.59	130.00	10.00

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิวฤกษ์ หนูฤทธิ์ เกิดวันที่ 14 เดือน มกราคม พ.ศ. 2531 ที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ จ.สงขลา ปัจจุบันอายุ 23 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสตรีพัทลุง จ.พัทลุง จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เมื่อปี การศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

สิวฤกษ์ หนูฤทธิ์, กษิดิศ หนูทอง และ สรวิต เผ่าทองสุข. การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของ หน่วยแยกตะกอนสำหรับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 3, หน้า 49. 14-15 มีนาคม 2554 ณ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2554.

Siwaruek Noorit, Kasidit Nootong and Sorawit Powtongsook. A PRELIMINARY EVALUATION OF A RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM INTEGRATING NITRIFYING AND DENITRIFYING BIOFILTERS. The 37th Congress on Science and Technology of Thailand, 10-12 October 2011, Bangkok, Thailand.