



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยผสมผสานตัวกรองชีวภาพ
ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

นายทยากร สุวรรณรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

DEVELOPMENT OF CLOSED RECIRCULATING SYSTEM INTEGRATING NITRIFYING

AND DENITRIFYING BIOFILTERS FOR INTENSIVE AQUACULTURES

Mr. Tayakorn Suwannarat

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

Pillar of the Kingdom

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดโดยผสมผสานตัว

โดย

กรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

สาขาวิชา

นายทยากร สุวรรณรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร. กษิดิศ หนูทอง

อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. กษิดิศ หนูทอง)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University
Pillar of the Kingdom

วิทยากร สุวรรณรัตน์ : การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยผสมผสานตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. (DEVELOPMENT OF CLOSED RECIRCULATING SYSTEM INTEGRATING NITRIFYING AND DENITRIFYING BIOFILTERS FOR INTENSIVE AQUACULTURE) อ. ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. กษิติก หนูทอง, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข, 123 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดเพื่อการประยุกต์ใช้งาน โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาของไทย งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนและการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน ส่วนที่ 1 เป็นการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนที่ระบบประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงขนาด 2 ลบ.ม. ภายในบ่อมีกระชังไนลอนตาถี่ขนาด 0.32 ลบ. ม. และตัวกรองชีวภาพ BioCord™ ความยาว 30 ม. ทำการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในระยะเวลา 24 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พบว่าระบบไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ โดยพบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และของแข็งแขวนลอยในน้ำ จากนั้นจึงมีการปรับปรุงระบบโดยนำตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันมาใส่ในถังแยกออกจากบ่อเลี้ยงและเพิ่มฝากรองไนลอนตาถี่สำหรับแยกตะกอน พบว่าแม้จะเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูง 12 ตัว/ล. แต่ระบบก็สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 24 วัน โดยที่ลูกปลามีอัตราการรอด 85% และมีอัตราการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกับปลาที่เพาะเลี้ยงในฟาร์มเลี้ยงปลานิลทั่วไป

การทดลองส่วนที่ 2 เป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน ระบบประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงที่มีตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันภายในบ่อและระบบดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาว ทำการทดลองโดยการเพาะเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 5 กก./ลบ. ม. เป็นเวลา 81 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าระบบทดลองที่มีการบำบัดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรตให้ต่ำกว่า 0.7, 0.76 และ 16.94 มก. ในโตรเจน/ล. ทำให้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรตในบ่อควบคุมที่ไม่มีระบบบำบัดมีค่าสูงถึง 18.2, 51.68 และ 62.76 มก. ในโตรเจน/ล. ตามลำดับ ความหนาแน่นสุดท้ายของปลาอยู่ที่ 12.83 กก./ลบ. ม. และมีอัตราการรอด 92% ซึ่งไม่แตกต่างกันทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุม แต่ปลาในบ่อทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 ก./วัน ซึ่งสูงกว่าในบ่อควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.8 ก./วัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....



5170573221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : TILAPIA / NITRIFICATION / DENITRIFICATION / AQUACULTURE

TAYAKORN SUWANNARAT : DEVELOPMENT OF CLOSED RECIRCULATING SYSTEM INTEGRATING NITRIFYING AND DENITRIFYING BIOFILTERS FOR INTENSIVE AQUACULTURE. THESIS ADVISOR : KASIDIT NOOTONG, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 123 pp.

This research involved the design and application of indoor recirculating aquaculture system (RAS) for Thai fish farmers. The study was divided into two parts which were larviculture system and fish culture system. With the first part, the proposed closed recirculating larviculture system consisted of 0.32 m³ fish cage and 30 m of BioCord™ biofilter media. Both components were placed in 2 m³ tank and the larviculture period was 24 days without water exchange. It was found that the system in this first trial could not maintain good water quality since accumulation of ammonia, nitrite and suspended solid was found. Thereafter, the system was improved for the second trial by separating nitrification tank from the larviculture tank and adding fine nylon net for sediment filtration. The results showed that the improved recirculating larviculture system had good performance in water quality control throughout 24 days experimental period even fish was reared at high density of 12 fish/L. Tilapia survival rate was 85% and fish growth rate was similar to that found in the production farm.

The second part of this study was an evaluation of closed RAS for tilapia culture. The system consisted of culture tank with nitrification biofilter and tubular denitrification reactor. The proposed RAS was operated with initial fish density of 5 kg/m³ and culture period was 81 days without water exchange. The result indicated that recirculating system with nitrification-denitrification treatments could maintain ammonia, nitrite and nitrate concentrations lower than 0.7, 0.76 and 16.94 mgN/L respectively. Hence, water exchange was not necessary. On the other hand, ammonia, nitrite and nitrate in control tank without water treatment system was as high as 18.2, 51.68 and 62.76 mgN/L, respectively. With this study, the final fish density was 12.8 kg/m³ and survival rate was similar at 92% in both control and RAS tanks. However, average fish weight in the recirculating system at the end of culture period was 1.03 g/day which was significantly higher than 0.8 g/day in control tank.

Department :Chemical Engineering..... Student's Signature

Field of Study : ..Chemical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2009..... Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กษิธิศ หนูทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ชี้แนะให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนได้ให้ความช่วยเหลือในแต่ละขั้นตอนของการทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ สมหวังชนโรจน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจทานวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่สำหรับการวิจัย และตลอดจนให้ความกรุณาสำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณามอบความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษา ณ ภาควิชาวิศวกรรมวิศวกรรมเคมี

ขอขอบคุณมานิตย์ฟาร์ม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านวัตถุดิบสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ธนทร พี่วรรัตน์ พี่ปีวีณา พี่นฤมล พี่เอกชัย และพี่รุ่งนภา ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และเทคนิคการเพาะเลี้ยง ตลอดจนการใช้เครื่องมือต่างๆ และขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทุกคน ที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี สำหรับมิตรภาพ กำลังใจ ตลอดจนความช่วยเหลือทั้งในด้านการเรียนและในด้านการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่มอบความรัก กำลังใจ และสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปรลนินล.....	4
2.2 ัจจยด้ำนคณภพน้ำสำหรัการพะเลียงสัต์ว์น้ำ.....	5
2.3 การบำบดัโนโตรเจนทางชีวะภพ.....	9
2.4 ะบวนการควบคุมคณภพน้ำโดยตัวกรองชีวะภพในการพะเลียงสัต์ว์น้ำ.....	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	19
3.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวะภพ.....	19
3.2 การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1.....	22
3.3 การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2.....	24
3.4 การทดลองพะเลียงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
4.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวะภพ.....	31

4.2 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนในโรงเรือน (การทดลอง รอบที่ 1).....	42
4.3 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนในโรงเรือน (การทดลอง รอบที่ 2).....	52
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเพาะเลี้ยงปลาปลาน้ำจืดใน โรงเรือน.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	100
ภาคผนวก ค.....	103
ภาคผนวก ง.....	109
ภาคผนวก จ.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	123

สารบัญญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงปรมาณออกซิจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมออกซิจนต่อลิตร, ppm) ที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ.....	8
2.2	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสยของระบบกรองชีวภาพชนิดต่าง ๆ.....	16
2.3	งานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวกรองชีวภาพชนิดต่าง ๆในการควบคุม คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	17
3.1	ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล.....	24
3.2	พารามิตอร์ที่ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง.....	30
4.1	เปรียบเทียบชนิดและอัตราไนตริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพชนิดต่าง ๆ.....	34
4.2	อัตราดีไนตริฟิเคชันและสัดส่วน C/N ที่ช่วงเวลาต่าง ๆในระบบบำบัดดีไนตริฟิเค ชันแบบท่อยาวที่ระยะเวลาเก็บเท่ากับ 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมธานอลที่ เติมเท่ากับ 2 %.....	39
4.3	เปรียบเทียบอัตราดีไนตริฟิเคชันของตัวกรองชนิดอื่น ๆ.....	41
4.4	อัตราการเจริญเติบโตในบ่อชุดทดลองในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1.....	48
4.5	อัตราการเจริญเติบโตในบ่อควบคุมในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1.....	48
4.6	ปรมาณไนโตรเจนในตะกอนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN/O Analyzer.....	51
4.7	สมคูลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (T1, T2) และชุดควบคุม (C) ในวันที่ 24 ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1	51
4.8	ปัญหาที่พบในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และแนวทางการ ปรับปรุง.....	52
4.9	เปรียบเทียบลักษณะระบบการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และรอบที่ 2.....	53
4.10	เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 ใน โรงเรือนกับการเพาะเลี้ยงในกระชังบ่อดินของมานิตย์ฟาร์ม.....	59
4.11	อัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อชุดทดลองในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อน รอบที่ 2.....	62
4.12	อัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อชุดควบคุมในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อน รอบที่ 2.....	62

4.13	สมมูลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพและชุดควบคุมในวันที่ 25 ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2.....	65
4.14	แสดงอัตราการบำบัดในเตรตของท่อยาวที่ติดตั้งในบ่อ T1 และ T2.....	71
4.15	อัตราการเจริญเติบโตของลูกปลาในบ่อชุดทดลองและบ่อควบคุมในการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	80
4.16	เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลระหว่างการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนกับการเลี้ยงในกระชังแบบดั้งเดิม.....	81
4.17	แสดงปริมาณไนเตรต (gN) ที่ถูกบำบัดในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในบ่อทดลอง.....	83
4.18	สมมูลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพและชุดควบคุมในวันที่ 81 ของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	84
ข-1	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชัน.....	100
ข-2	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชันที่ขาเข้าของท่อยาว.....	101
ข-3	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชันที่ขาออกของท่อยาว.....	102
ค-1	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 ในบ่อ T1.....	103
ค-2	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1 ในบ่อ T2.....	104
ค-3	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1 ในบ่อ C.....	105
ค-4	ข้อมูลการเจริญเติบโตของลูกปลาตัวอ่อนระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1.....	106
ค-5	ค่าอัลคาไลน์ตี, ความเป็นกรดค่า (pH), ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1.....	107
ค-6	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในมวลน้ำในการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1.....	108

ง-1	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2 ในบ่อที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (Biofilters).....	109
ง-2	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2 ในบ่อชุดควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (Control)....	110
ง-3	ค่าอัลคาไลน์, ความเป็นกรดค่า (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2.....	111
ง-4	ผลผลิตจากการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	112
ง-5	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในวัสดุท้ายของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	112
จ-1	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ T1.....	113
จ-2	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ T2.....	115
จ-3	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ C.....	117
จ-4	ค่าอัลคาไลน์, ความเป็นกรดค่า (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาด.....	119
จ-5	ผลผลิตจากการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	121
จ-6	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	122

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดไนโตรเจน.....	9
3.1	แนวทางการทดลองในงานวิจัยนี้.....	19
3.2	ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Biocord™ (3.1ก) ถังบ่มตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชัน (3.1ข).....	20
3.3	ระบบบำบัดดีไนโตรฟิเคชันแบบท่อยาว.....	21
3.4	ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Digester Box (DB) (3.3ก) ภาพการเตรียมตัวกรองชีวภาพดีไนโตรฟิเคชันแบบท่อยาว (3.3ข).....	22
3.5	บ่อทดลองในการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1 (3.5ก) การจัดวางระบบตัวกรองชีวภาพภายในบ่อ (3.5ข).....	23
3.6	ภาพแสดงระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1.....	23
3.7	รูปแบบและการทำงานของระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	25
3.8	ระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยถังอนุบาลและถังบำบัดไนโตรฟิเคชัน.....	25
3.9	ถังอนุบาลลูกปลาขนาด 450 L (3.9ก) ป้อน้ำสำหรับการหมุนวนของน้ำภายในบ่อเลี้ยง (3.9ข) กาลักน้ำ (3.9ค) ถังบำบัดไนโตรฟิเคชันขนาด 200 L (3.9ง) แพลงก์ตอนเน็ตและตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในถังบำบัดไนโตรฟิเคชัน (3.9จ).....	26
3.10	รูปแบบและการทำงานของระบบเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนด้วยกระบวนการไนโตรฟิเคชันและดีไนโตรฟิเคชัน.....	28
3.11	บ่อเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน (3.11ก) ระบบบำบัดดีไนโตรฟิเคชันแบบท่อยาว (3.11ข) เครื่องกรองตะกอน (3.11ค) คอลัมน์น้ำส้ม (3.11ง).....	28
4.1	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรต ระหว่างการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 mgN/L.....	33
4.2	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตที่ทางเข้าและทางออกของท่อยาวในการเตรียมระบบบำบัดดีไนโตรฟิเคชัน.....	37
4.3	ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันระหว่างในระบบบำบัดดีไนโตรฟิเคชันแบบท่อยาวระหว่างการทดลอง.....	38

4.4	ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในระหว่างการเตรียมสภาพตัวกรอง	41
4.5	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ(T1 และ T2) และในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ (C)ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1.....	44
4.6	ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (TSS), อัลคาลินิตี, อุณหภูมิ, DO และ pH ในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	45
4.7	น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1.....	47
4.8	ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1.....	47
4.9	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของการอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1	49
4.10	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และชุดควบคุม (Control)ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ.....	56
4.11	ค่าอัลคาลินิตี, อุณหภูมิ, DO และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	57
4.12	ปริมาณตะกอนแขวนลอย (TSS) ในน้ำของบ่อชุดทดลองและชุดควบคุมในวันสุดท้ายของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2.....	57
4.13	ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 โดยในบ่อชุดทดลองและชุดควบคุมมีการให้อาหารในปริมาณเท่ากัน.....	60
4.14	น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2.....	61
4.15	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และ 2....	63
4.16	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน โดยชุดทดลอง (T1 และ T2) เป็นในบ่อที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และชุดควบคุม (C) ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ (DNR ; ช่วงที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว).....	70
4.17	ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในระหว่างการต่อระบบบำบัดดีไนตริไฟเคชันแบบท่อยาวกับบ่อ T2.....	71

4.18	แสดงปริมาณเมธานอลที่ปนเปื้อนในน้ำของบ่อทดลอง T2 ในวันสุดท้ายของการติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว (วันที่ 63).....	72
4.19	ลักษณะเครื่องกรองชนิดไหลขวาง (4.19ก) การฉีดล้างทำความสะอาดไส้กรอง (4.19ข).....	72
4.20	การติดตั้งคอลัมน์น้ำล้นก่อนสูบน้ำเข้าระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว.....	73
4.21	ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Biocord™ มัดกับตระแกรงในบ่อ T1 (4.22ก) และ T2 (4.22ข).....	73
4.22	แสดงลักษณะเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง(4.22ก) การฉีดล้างทำความสะอาดตัวกรอง (4.22ข).....	73
4.23	ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาด.....	74
4.24	ค่าอัลคาไลน์ในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	74
4.25	ค่า DO ในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	75
4.26	อุณหภูมิในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	75
4.27	ค่า pH ในน้ำของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	76
4.28	ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดวัยรุ่นเป็นปลาขนาดตลาดในโรงเรือนในบ่อชุดทดลอง (T1 และ T2) และชุดควบคุม (C).....	78
4.29	น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	79
4.30	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน.....	82
ก-1	กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia).....	96
ก-2	กราฟมาตรฐานไนไตรท์ (NO ₂ -N).....	97
ก-3	กราฟมาตรฐานไนเตรต (NO ₃ -N).....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหาที่สำคัญ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจในประเทศไทยแม้ว่าจะมีการพัฒนารูปแบบและวิธีการเลี้ยงอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา แต่การจัดการเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังไม่ได้นำเทคโนโลยีมาช่วยบรรเทาผลกระทบหรือการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเพียงพอ การวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็น โดยทั่วไปแล้วระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถแบ่งได้ 3 ระบบคือ ระบบบ่อดินกลางแจ้ง ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งและระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือน ซึ่งทั้ง 3 ระบบมีลักษณะและสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยระบบบ่อดินกลางแจ้งจะมีดินตะกอนก้นบ่อซึ่งช่วยในการบำบัดน้ำตามกระบวนการธรรมชาติ ในขณะที่บ่อไร้ดินกลางแจ้งจะไม่มีดินตะกอนก้นบ่อแต่การได้รับแสงตามธรรมชาติจะทำให้เกิดแพลงก์ตอนพืชซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำตามธรรมชาติเช่นกัน ในส่วนระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือนจะได้รับแสงน้อยและไม่มีตะกอนดินก้นบ่อซึ่งทำให้ขาดกลไกตามธรรมชาติในการควบคุมคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงระบบบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากบ่อดินกลางแจ้งและบ่อไร้ดินกลางแจ้งซึ่งถ่ายน้ำวันละหลายครั้ง ไปสู่บ่อเลี้ยงในโรงเรือนที่ถ่ายน้ำในปริมาณจำกัดหรือไม่ถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง เนื่องจากสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมภายนอกฟาร์มและปัญหาโรคระบาดได้ อีกทั้งยังสามารถเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ในระดับความหนาแน่นที่สูงขึ้นทำให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดความคุ้มค่าแก่การลงทุน อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง เนื่องจากความหนาแน่นจะเป็นตัวกำหนดเบื้องต้นของปริมาณอาหารและปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้น โดยทั่วไปของเสียที่พบในระหว่างการเพาะเลี้ยงมักเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนจากอาหารที่เหลือจากการบริโภคและจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ของเสียนี้มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบไนโตรเจนหลายชนิดตามวัฏจักรไนโตรเจนภายในบ่อเพาะเลี้ยง หากสารประกอบไนโตรเจนถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการเพิ่มขึ้นของสารอาหาร ทำให้แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่ายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) นอกจากนี้การสะสมของสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนโดยเฉพาะแอมโมเนียและไนไตรท์ในระดับสูงกว่า 1 mg N/L จะมีผลเสียต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ ดังนั้นการควบคุมปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนจึงมีความจำเป็นและสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพที่เรียกว่าไนตริฟิเคชัน

(Nitrification) กระบวนการดังกล่าวเปลี่ยนแอมโมเนียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของเศษอาหารไปเป็นไนเตรตที่มีความเป็นพิษต่ำ ดังนั้นการมีระบบไนตริฟิเคชันจะช่วยยืดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกไปได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานระบบไนตริฟิเคชันเป็นระยะเวลานานจะเกิดการสะสมของไนเตรตในน้ำ หากความเข้มข้นของไนเตรตในน้ำสูงกว่า 70 mg N/L จะทำให้สัตว์น้ำเครียดและเจริญเติบโตช้าซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตเพิ่มเติมโดยอาศัยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริฟายอิงจะทำการเปลี่ยนไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน และใช้คาร์บอนจากภายนอกเป็นแหล่งอิเล็กตรอน

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเลี้ยงปลาชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเพาะเลี้ยงปลาชนิดในประเทศไทยจะเป็นการเพาะเลี้ยงในบ่อดินและในกระชังตามแหล่งน้ำธรรมชาติ การศึกษานี้จึงได้ออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดที่ผสมผสานกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาชนิดที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งนอกจากจะสามารถช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงและยืดระยะเวลาการถ่ายน้ำแล้ว ยังลดความเสี่ยงต่อโรคระบาดและลดปริมาณของเสียที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ผสมผสานกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเพื่อบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระดับความหนาแน่นสูงในโรงเรือน
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ออกแบบขึ้นมาในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระดับความหนาแน่นสูงในโรงเรือน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการอนุบาลลูกปลาชนิดและเลี้ยงปลาชนิดขนาดใหญ่ในโรงเรือนที่ระดับความหนาแน่นสูงกว่า 1.0 kg/m³
2. ประเมินประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดทั้งในส่วนกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต รวมถึงปริมาณตะกอนในระบบ นอกจากนี้ยังพิจารณาจากตัวแปรอื่นๆที่ใช้ในการควบคุมระบบ ได้แก่ อัล

คาลินิตี (Alkalinity) ความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) และ DO (Dissolved Oxygen)

3. ศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันและศึกษาอัตราการบำบัดไนเตรตของตัวกรองชีวภาพ Digester Box (DB) ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว โดยอัตราการบำบัดจะขึ้นกับปัจจัยดังนี้ (1) ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนีย (0-5 mgN/L) (2) ความเข้มข้นเริ่มต้นของไนเตรต (30-50 mgN/L) และ (3) ระยะเวลาในการใช้งานและความถี่ในการทำความสะอาดตัวกรองชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความยั่งยืน

2. สามารถนำระบบมาทดแทนรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิมที่นิยมใช้กระชังหรือบ่อดินซึ่งไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเสี่ยงต่อการติดโรคทางน้ำ

3. เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและถ่ายทอดแนวความคิดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดแก่เกษตรกรและประชาชนทั่วไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลานิล

2.1.1 คุณสมบัติและนิสัยของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เป็นปลากลุ่มกินพืช ออกลูกตกเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพแวดล้อม รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศแต่ลักษณะพิเศษของปลานิล คือ ริมฝีปากบนและล่างสม่ำเสมอที่บริเวณแก้มมีเกล็ดถี่แถวตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9 – 10 แถว (สุบัติต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูงมีความอดทนและสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี จากการศึกษาพบว่า ปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ppt ทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดีในช่วง 6.5 - 8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 °C ทั้งนี้เพราะถิ่นกำเนิดเดิมของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน (http://www.fisheries.go.th/fish_test/knownlodge/f_nin/index.-htm)

2.1.2 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่สูงเกิน 2.5 mgN/L จะทำให้ปลานิลเกิดความเครียดและเจริญเติบโตช้า (Hegazi and Hasanein, 2010) ปริมาณไนโตรเจนที่ควรต่ำกว่า 1 mgN/L (Balarin and Haller, 1979) ค่าอัลคาไลน์ (Alkalinity) ควรอยู่ในช่วง 200 – 300 mgCaCO₃/L

2.1.3 รูปแบบการเพาะเลี้ยงปลานิล

รูปแบบในการเพาะเลี้ยงปลานิลสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบตามความหนาแน่นและการประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ ได้แก่

2.1.3.1. การเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Extensive production system)

เป็นการเพาะเลี้ยงที่มีการลงทุนต่ำโดยการระบายน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้าบ่อเลี้ยงซึ่งเป็นบ่อดิน ไม่มีการให้อาหารเม็ด ไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศและระยะเวลาในการเลี้ยงไม่แน่นอนและเลี้ยงด้วยอาหารตามธรรมชาติ ซึ่งการเลี้ยงรูปแบบนี้จะให้ผลผลิตต่ำ (สุบัติต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) โดยความหนาแน่นเริ่มต้นของปลาที่เลี้ยงจะอยู่ในช่วง 0.5 – 2 ตัวต่อตารางเมตร (Abdel-Fattahm and El-sayed, 2006)

2.1.3.2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive production system)

การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนาเป็นวิธีการเพาะเลี้ยงกึ่งธรรมชาติผสมกับการให้อาหาร อาจมีการใช้เครื่องเติมอากาศบ้าง ความหนาแน่นเริ่มต้นของปลาที่เลี้ยงจะอยู่ในช่วง 2 – 4 ตัวต่อตารางเมตร (Abdel-Fattahm and El-sayed, 2006)

2.1.3.3. การเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive production system)

การเพาะเลี้ยงแบบพัฒนาเป็นการเพาะเลี้ยงที่มีความหนาแน่นสูง มีการเติมอากาศที่สูง มีการควบคุมโรคติดต่อในปลา และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหลายครั้งในหนึ่งวัน ซึ่งเป็นการลงทุนที่สูง จึงเป็นการเลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับการทำเป็นธุรกิจ ความหนาแน่นเริ่มต้นของปลาที่เลี้ยงจะอยู่ในช่วง 4 – 10 ตัวต่อตารางเมตร (Abdel-Fattahm and El-sayed, 2006)

2.1.3.4. การเลี้ยงปลานิลในกระชัง (Cage production system)

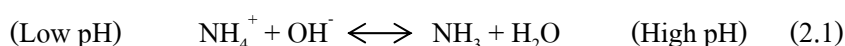
การเลี้ยงปลานิลในกระชังเป็นวิธีการเลี้ยงที่นิยมกันมากที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่ให้ผลผลิตสูง ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในเชิงเศรษฐศาสตร์และการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำทั่วไป อย่างไรก็ตามการเลี้ยงปลานิลในกระชังยังมีข้อเสียสำคัญ เช่น ปัญหาโรคพยาธิที่มากับน้ำซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสภาพแวดล้อมหากไม่มีการคำนึงถึงปริมาณและที่ตั้งของกระชัง (ศิริ กอนันต์กุล และ จุฬ สิ้นชัยพานิช, 2551) ขนาดกระชังที่นิยมใช้ทั่วไปคือ กระชังสี่เหลี่ยมขนาด 1.2 x 1.2 x 2.5 เมตร และกระชังสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4 x 2 x 2.5 เมตร สำหรับเลี้ยงปลาวัยรุ่นน้ำหนัก 40 – 60 กรัมต่อตัว ความหนาแน่นเริ่มต้นของปลาที่เลี้ยงจะอยู่ในช่วง 4 – 6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Sesuk *et al.*, 2009)

2.2 ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.2.1 แอมโมเนีย

เนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของอาหารสัตว์น้ำ ดังนั้นของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในช่วง 0.02-3 mg/L (สุบัตินิต นิมรัตน์และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ความเป็นพิษของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูประหว่างแอมโมเนีย (NH_3)

และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ถ้าค่าความเป็นกรดต่างสูงจะพบแอมโมเนียมากขึ้น แอมโมเนียในรูปแบบที่ไม่มีไอออนจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าในรูปแบบที่มีไอออน (Eshchar *et al.*, 2006) การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียจะมีผลทำให้การขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างในเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ แอมโมเนียทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้นและทำลายเหงือกซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอติดเชื้อโรคได้ง่าย (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549) สมการที่ 1 แสดงสมดุลของแอมโมเนียมไอออนและแอมโมเนีย



2.2.2 ไนไตรท์

ไนไตรท์เป็นสารตัวกลางที่พบได้ระหว่างปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ผลกระทบของไนไตรท์เกิดจากการที่เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของเฮโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เป็นผลให้เฮโมโกลบินเปลี่ยนเป็นเมทเฮโมโกลบิน (Methemoglobin) ที่มีความสามารถในการรับออกซิเจนต่ำลง จึงทำให้เกิดสภาพที่เลือดมีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ หรือมีชื่อเรียกว่า “Brown blood disease” (สุบัณฑิต นิมรัตน์ และ วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ปริมาณไนไตรท์ที่สูงเกินกว่า 1 mg/L จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (Timmons *et al.*, 2002)

2.2.3 ไนเตรต

ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่ส่งผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ เช่น สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้า สัตว์น้ำอ่อนแอ อัตราการเจริญพันธุ์ลดลง เกิดความเครียดขึ้นในสัตว์น้ำ และอัตราการบริโภคอาหารต่ำ โดยปริมาณไนเตรตที่สูงเกิน 50 mgN/L จะทำให้เป็นพิษต่อปลา (Nootong, 2006) และที่ความเข้มข้นของไนเตรตที่ 69 mgN/L จะเป็นสาเหตุของสภาวะที่ไม่สามารถบริโภคอาหารได้ (anorexia) (สุวิมล ตันทสุกิจ วณิช, 2545)

2.2.4 ความเป็นกรด ต่าง

ค่าความเป็นกรด ต่างของน้ำ คือ ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาก เพราะจะมีผลต่อ

คุณภาพทางเคมีของน้ำมาก เช่น ความเป็นพิษของแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (Timmons *et al.*, 2002)

2.1.5 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ในสภาวะขาดออกซิเจนแบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟต และสารประกอบซัลเฟอร์ตัวอื่นๆเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยสารประกอบเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), HS^- และ HS^{2-} หรือ S^{2-} โดยที่ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะคล้ายกับการขาดออกซิเจนแต่จะมีความรุนแรงกว่า (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549) ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเข้าไปขัดขวางการขนส่งออกซิเจนภายในเซลล์ซึ่งทำให้ปริมาณแลคเตท (Lactate) ในเลือดสูงขึ้นมีผลทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมถูกยับยั้ง (Becker *et al.*, 2009) ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรต่ำกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร (Timmons *et al.*, 2002)

2.1.6 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

ออกซิเจนมีความสำคัญมากที่สุดในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนในขบวนการต่างๆภายในร่างกาย สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่ควรต่ำกว่า 5 mg/L (Timmons *et al.*, 2002)

2.1.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นสัตว์เลือดเย็น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในร่างกายสัตว์น้ำก็จะเปลี่ยนแปลงตามส่งผลต่ออัตราเมแทบอลิซึมในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ทำให้ระบบควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในผิดปกติ ทำให้ร่างกายอ่อนแอ และตายได้ นอกจากนั้นอุณหภูมิน้ำยังส่งผลในทางอ้อม เช่น เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลงและยังเร่งอัตราการดูดซึมสารพิษเข้าสู่ร่างกาย (คณิต ไชยา คำ และขงยุทธ ปรีดาดีัมพะบุตร, 2537)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร, ppm) ที่ อุณหภูมิต่างๆ

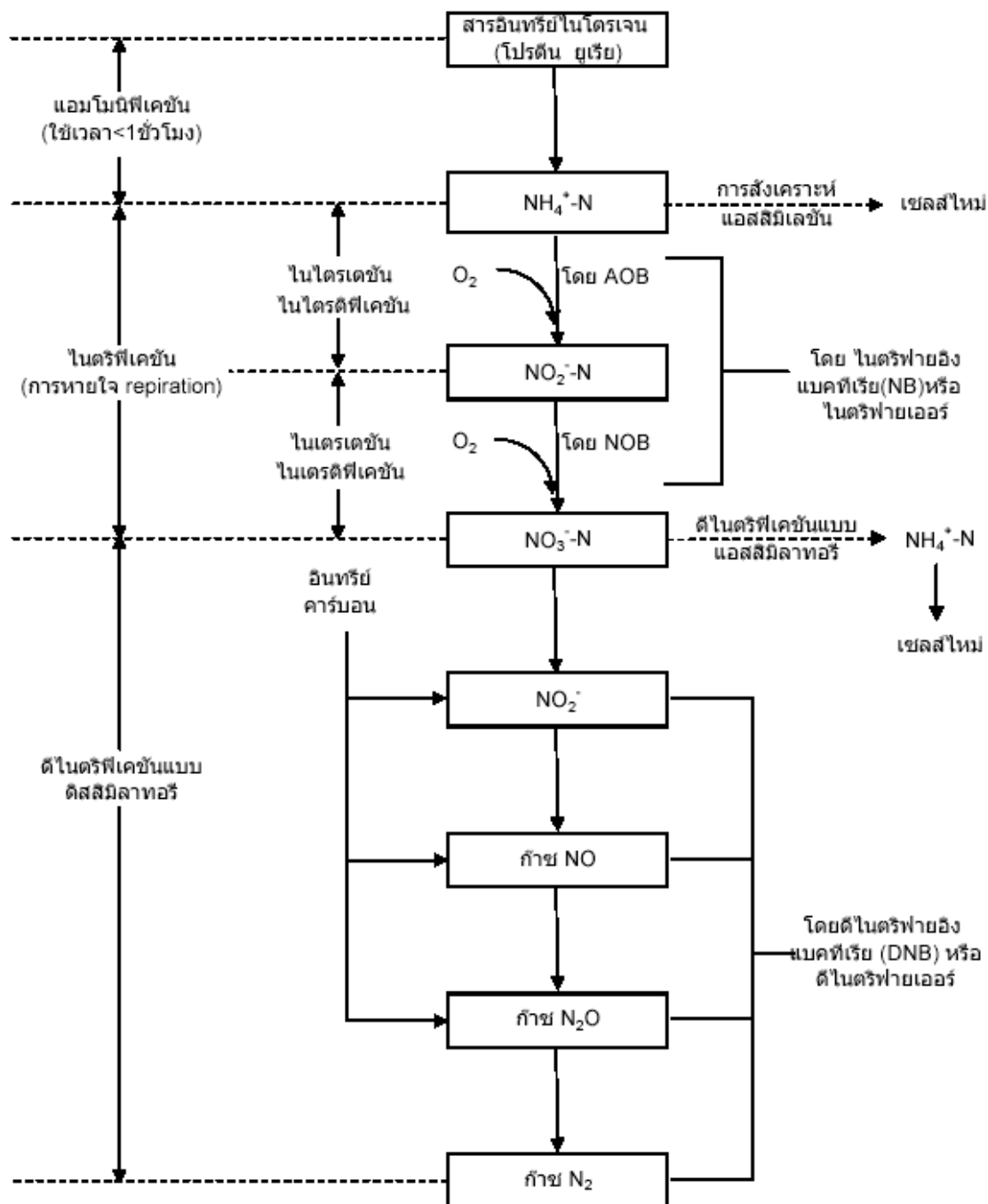
Temperature (°C)	Chlorinity (0/00) ¹					
	0	4	8	12	16	20
1	14.24	13.54	12.91	12.29	11.70	11.15
2	13.84	13.18	12.56	11.98	11.40	10.86
3	13.45	12.84	12.25	11.68	11.12	10.59
4	13.09	12.51	11.93	11.38	10.83	10.34
5	12.75	12.18	11.63	11.09	10.57	10.10
6	12.44	11.86	11.33	10.82	10.32	9.86
7	12.13	11.58	11.00	10.56	10.07	9.63
8	11.85	11.29	10.80	10.32	9.84	9.40
9	11.56	11.02	10.54	10.07	9.61	9.20
10	11.29	10.77	10.30	9.84	9.40	9.00
11	11.05	10.53	10.07	9.63	9.20	8.80
12	11.80	10.29	9.84	9.41	9.00	8.61
13	10.56	10.07	9.63	9.21	8.81	8.42
14	10.33	9.86	9.41	9.01	8.62	8.25
15	10.10	9.64	9.23	8.83	8.44	8.09
16	9.89	9.44	9.03	8.64	8.28	7.94
17	9.67	9.26	8.85	8.47	8.11	7.78
18	9.47	9.07	8.67	8.31	7.97	7.64
19	9.28	8.88	8.50	8.15	7.80	7.49
20	9.11	8.70	8.32	7.99	7.66	7.36
21	8.93	8.54	8.17	7.84	7.52	7.23
22	8.75	8.38	8.02	7.69	7.39	7.11
23	8.60	8.22	7.87	7.55	7.26	6.99
24	8.44	8.07	7.72	7.42	7.13	6.86
25	8.27	7.92	7.58	7.29	7.01	6.75
26	8.12	7.78	7.45	7.16	6.89	6.63
27	7.98	7.64	7.32	7.03	6.78	6.52
28	7.84	7.51	7.19	6.92	6.66	6.40
29	7.69	7.38	7.08	6.82	6.55	6.29
30	7.56	7.25	6.96	6.70	6.45	6.19

¹ Conversion Chlorinity (Cl) to Salinity (S) is: $S = 1.80655 \times Cl$, Normal seawater is 35 ‰

or 35 ppt S (19.37 ppt Cl)

(Timmons *et al.*, 2002)

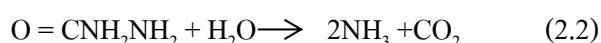
2.3 การบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพ



ภาพที่ 2.1 กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดไนโตรเจน (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

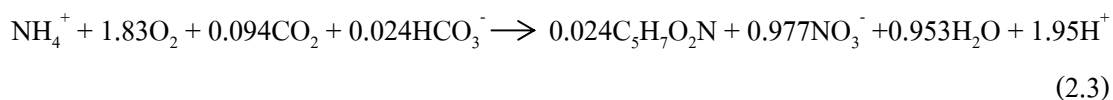
2.3.1 แอมโมนิฟิเคชัน

แอมโมเนียเฟสชันเป็นกระบวนการชีวภาพที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนให้อยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน หรือที่มีชื่อเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุในโตรเจนหรือในโตรเจนมิเนอร์ลไรเซชัน (Nitrogen mineralization) โดยแบคทีเรียที่มีบทบาทในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งพบได้ในชั้นน้ำและดินตะกอนก้นบ่อ แอมโมเนียเฟสชันสามารถเกิดได้ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจนและสภาวะไร้ออกซิเจน การผลิตแอมโมเนียส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ผิวชั้นดินตะกอนใต้น้ำซึ่งเป็นบริเวณที่มีสารอินทรีย์มากที่สุด แอมโมเนียที่เกิดในชั้นน้ำจะถูกพืชน้ำดูดซึมไปใช้เป็นอาหาร และบางส่วนจะถูกแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นไนเตรตผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน สมการที่ 2 แสดงการเปลี่ยนรูปของยูเรียไปเป็นแอมโมเนีย



2.3.2 ไนตริฟิเคชัน

ไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการชีวภาพที่เปลี่ยนแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออนซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนเตรตภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน กระบวนการดังกล่าวอาศัยการทำหน้าที่ของแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟ 2 จำพวกที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแหล่งคาร์บอน ชั้นแรกของกระบวนการไนตริฟิเคชันคือกระบวนการไนไตรดิฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งจะอาศัยแบคทีเรีย (Ammonia oxidizing bacteria, AOB) ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ ขั้นตอนที่สองของกระบวนการไนตริฟิเคชันคือกระบวนการไนเตรดิฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งอาศัยแบคทีเรีย Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ในการออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรต สมการที่ 2.3 แสดงถึงกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีการสร้างเซลล์ใหม่ ($\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$)



(Ebeling *et al.*, 2006)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

กระบวนการไนตริฟิเคชันจะทำงานได้ดีเมื่อค่า DO มากกว่า 2 mg/L (Nootong, 2008) และจะหยุดทำงานเมื่อ DO ต่ำกว่า 0.5 mg/L

อุณหภูมิ

ในน้ำจืด ไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 8-36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส และในน้ำเค็มไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส โดยผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถอธิบายได้จากสมการของ Arrhenius (Bitton, 1994)

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

A คือ แฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor)

E_a คือ พลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ของปฏิกิริยา (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 J/K.mol)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ค่าความเป็นกรดต่าง(pH)

ค่าความเป็นกรดต่าง ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7.5-8.5 และค่าความเป็นกรดต่างที่ต่ำกว่า 6.0 กระบวนการไนตริฟิเคชันจะถูกยับยั้ง (Nootong, 2006)

สารเคมี

กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถถูกยับยั้งได้โดยสารเคมีได้แก่ สารอินทรีย์, โลหะหนัก cyanide, thiourea, cresol, phenol, anilines, mercaptan และ สารประกอบ halogenate (Lu *et al.*, 1984; Sato *et al.*, 1988; Bitton, 1994)

2.3.3 ดีไนตริฟิเคชัน

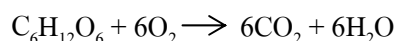
กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรตหรือไนไตรท์ให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งไนเตรตและไนไตรท์จะถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตริสออกไซด์ (N₂O) หรือก๊าซไนโตรเจน (N₂) แบคทีเรียที่ทำปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ *Micrococcus denitrificans*, *Achromobacter sp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Spirillum* และ *Vibrio* ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้น ไนเตรตจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวสามารถใช้ไนเตรต (NO₃) ไนไตรต์ (NO₂) ไนตริกออกไซด์ (NO) หรือซัลเฟต (SO₄) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระในสถานะที่ไม่มี

ออกซิเจน(anaerobic) (Van Rijn *et al.*, 2006) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งอิเล็กตรอนและใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนสู่ระบบเนื่องจากปริมาณคาร์บอนในน้ำเสียอาจไม่เพียงพอสำหรับการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ สารอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ เมทานอล โพรเตียมอะซิเตท อาหารกุ้งหรือกากน้ำตาล เป็นต้น (Rivett *et al.*, 2008)

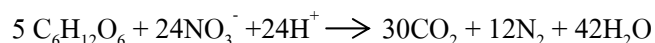
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพราะในสภาวะที่มีออกซิเจนสูงแบคทีเรียจะเลือกใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนไนเตรตเพราะพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอน (กลูโคส) โดยไนเตรตจะมีค่าเท่ากับ -2670 kcal/mol ซึ่งน้อยกว่าการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอน (กลูโคส) โดยออกซิเจนเล็กน้อย (-2870 kcal/mol) ดังสมการต่อไปนี้



$$\Delta G^\circ = -2,870 \text{ kJ/mol} \quad (2.4)$$



$$\Delta G^\circ = -2,670 \text{ kJ/mol} \quad (2.5)$$

(Strohm *et al.*, 2007)

ΔG° แสดงถึงพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์กลูโคส ดังนั้นในสภาพที่มีออกซิเจนประมาณ 1-2 mg/L แบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟจึงเลือกใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแทนออกซิเจน (Rivett *et al.*, 2008)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน โดยผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถอธิบายได้จากสมการของ Arrhenius (Dawson and Murphy, 1972) และช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส แต่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิ 2-50 องศาเซลเซียส (Rivett *et al.*, 2008)

ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH)

ในกรณีที่ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในระดับสูงกว่า 8.0 และต่ำกว่า 6.0 อัตราของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ช้า เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถปรับสภาพเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ และที่ pH ต่ำกว่า 5 จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไนโตรัส หรือ N_2O (Rivett. *et al.*, 2008) ซึ่งช่วงของค่าความเป็นกรด ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันคือระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

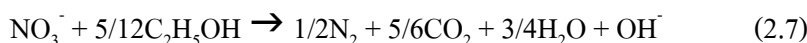
สารประกอบอินทรีย์

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจำเป็นต้องมีแหล่งอินทรีย์คาร์บอนสำหรับการสร้างเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานให้ดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย สารประกอบอินทรีย์จะเป็นแหล่งจ่ายอิเล็กตรอนให้แก่แบคทีเรีย โดยแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่นิยมใช้ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล กากน้ำตาล เซลลูโลส เป็นต้น (Hamlin *et al.*, 2008) โดยเฉพาะเมทานอล พบว่าเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก (Boley *et al.*, 2000) สมการ 2.3 และ 2.4 แสดงถึงกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่มีเมทานอล และเอทานอล เป็นแหล่งจ่ายอิเล็กตรอน

เมทานอล



เอทานอล



(Lewandowski, 1985 อ้างโดยวิลาสินี ไตรยราช, 2546)

ความเข้มข้นของไนเตรต

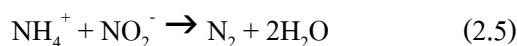
ไนเตรตจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นความเข้มข้นของไนเตรตจึงมีผลกระทบต่ออัตราเกิดและอัตราของปฏิกิริยาสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคาร์บอน โดยอัตราเร็วของการบำบัดไนเตรตจะขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไนเตรต โดยสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสมบูรณ์จะเท่ากับ 2 (Hamlin *et al.*, 2008) มีรายงานว่าความเข้มข้นของไนเตรตที่มากกว่า 1 mgN/L ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ ดังนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของไนเตรต (Rivett *et al.*, 2008)

ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน(ORP)

ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) คือความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนในน้ำ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรือไอออนสูญเสียอิเล็กตรอน ส่วนปฏิกิริยารีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรือไอออนได้รับอิเล็กตรอน ORP มีค่าเป็นบวกเมื่อน้ำมีออกซิเจนหรือมีไนเตรต และมีค่าเป็นลบเมื่อน้ำปราศจากออกซิเจน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าวัดค่า ORP เป็นบวกมากๆ เช่น +300 มิลลิโวลต์ แสดงว่าสารละลายมีสารรับอิเล็กตรอนอยู่มาก (ออกซิเจนในน้ำสูง) แต่ถ้าค่า ORP มีค่าเป็นลบ เช่น -300 มิลลิโวลต์ แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดี เป็นต้น จากข้อมูลของ Hamlin *et al.* (2008) พบว่าค่า ORP ที่มากกว่า -200 มิลลิโวลต์ จะทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ได้ผลิตภัณฑ์เป็น N_2O , NO และ NO_2 และค่า ORP ที่ต่ำกว่า -400 มิลลิโวลต์ จะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Lee *et al.* (2000) ดังนั้นช่วง ORP ที่ทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วงระหว่าง -200 ถึง -400 มิลลิโวลต์

2.3.4 แอนาแอโรบิกแอมโมเนียออกซิเดชัน (Anaerobic Ammonium Oxidation, Anammox)

กระบวนการแอนนาม็อกสามารถลดรูปแอมโมเนียให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยตรงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในกระบวนการนี้ แอมโมเนียไม่ต้องผ่านการเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตและไม่ต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังนั้นกระบวนการแอนนาม็อกจะมีข้อดีคือสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนการให้อากาศเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสารอินทรีย์ จากการค้นคว้าพบว่าน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการแอนนาม็อก ส่วนมากจะมาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงมากกว่า 100 mgN/L และมีอัตราส่วนของ C/N ต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับลักษณะของน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งโดยทั่วไปมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงสุดไม่เกิน 15 mgN/L (Nootong, 2006) สมการที่ 8 แสดงถึงกระบวนการแอนนาม็อก



2.4 กระบวนการควบคุมคุณภาพน้ำโดยตัวกรองชีวภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.4.1. ตัวกรองชีวภาพแบบล้อหมุน (Rotating biological contactor, RBC)

ตัวกรองชีวภาพแบบล้อหมุนใช้วัสดุที่ใส่แบคทีเรียยึดเกาะซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจมอยู่ใต้น้ำ 40 % ของพื้นที่ทั้งหมดและหมุนวนอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้แบคทีเรียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศ ด้วยความเร็วรอบที่ 1.5 – 2 รอบต่อนาที (Timmons. *et al.*, 2002)

2.4.2. ตัวกรองชีวภาพแบบโปรยกรอง (Trickling filters)

ในระบบนี้ไนโตรฟายอิงแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอยู่บนตัวกรองที่ไม่เคลื่อนที่ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากหินหรือพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา และมีพื้นที่ผิวอยู่ที่ 100 – 300 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร (Timmons. *et al.*, 2002) น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงที่มีแอมโมเนียจะถูกปล่อยให้ไหลลงมาจากด้านบนของระบบ ผ่านวัสดุตัวกรองชีวภาพที่มีไนโตรฟายอิงแบคทีเรียเกาะอยู่บนพื้นผิวเพื่อให้สัมผัสกับอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรต (Nootong., 2006)

2.4.3. ตัวกรองชีวภาพแบบ Bead filter หรือ Floating Bed Filter

ระบบตัวกรองชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้สำหรับการบำบัดแอมโมเนียที่มีอัตราการไหลของน้ำไม่สูงนัก โดยอัตราการไหลควรอยู่ในช่วง 1000 – 2000 ลิตรต่อนาที่ โดยส่วนใหญ่ใช้เป็นวัสดุ polyethylene ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 5 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.91 และพื้นที่ผิวเท่ากับ 1150 – 1475 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร (Timmons *et al.*, 2002) อีกทั้งยังสามารถกรองตะกอนพร้อมกันกับการบำบัดด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ (Guerdat *et al.*, 2010)

2.4.4. ตัวกรองชีวภาพแบบ Fluidized Bed filters หรือ Moving Bed Filters

ระบบตัวกรองชนิดนี้นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่ โดยจะบรรจุตัวกรองชีวภาพไว้ในถังปฏิกรณ์และปล่อยน้ำเข้าทางด้านล่างทำให้ตัวกรองชีวภาพฟุ้งกระจายในมวลน้ำตลอดเวลา จะใช้วัสดุตัวกรองที่มีขนาดเล็กช่วยให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของแบคทีเรีย วัสดุตัวกรองที่ใช้เช่น เม็ดทราย พลาสติก polypropylene (Biomedia พื้นที่ผิว 850 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) (Suhr and Pedersen, 2010)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพชนิดต่างๆ (คัดแปลงจาก Timmons *et al.*, 2002)

ระบบกรอง	ข้อดี	ข้อเสีย
Trickling Biofilters	<ol style="list-style-type: none"> 1. สะดวกในการออกแบบและจัดสร้าง 2. มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและการกำจัดก๊าซ CO₂ ในน้ำที่ดีเยี่ยม 	<ol style="list-style-type: none"> 1. อาจเกิดการอุดตันจากตะกอนและจากฟิล์ม ชีวภาพ (Biofilm) ในระบบกรองได้ง่าย
Rotating Biological Contactors (RBC's)	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ดี 2. สะดวกในการขยายหรือลดขนาด 3. ลดปัญหาในการอุดตันของตัวกรองชีวภาพ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นระบบที่ใช้พื้นที่สูง 2. เป็นระบบที่ต้องใช้ความชำนาญในการควบคุมดูแล 3. สิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากตัวกรองต้องหมุนตลอดเวลา
Bead Filters	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงที่มีปริมาณมากได้ดี 2. สามารถแยกตะกอนของแข็งเพื่อป้องกันการอุดตันได้อย่างมีประสิทธิภาพ 3. สะดวกในการขยายหรือลดขนาด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีต้นทุนสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวของระบบกรอง 2. น้ำเสียไม่ได้รับการบำบัดอย่างทั่วถึง
Fluidized Bed Filters	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดปัญหาในการอุดตันของตัวกรองชีวภาพ 2. สามารถบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงมากได้ดี 3. พื้นที่ผิวในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ระบบการเติมอากาศไม่ทั่วถึง

ตารางที่ 2.2 แสดงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวกรองชีวภาพชนิดต่างๆในการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

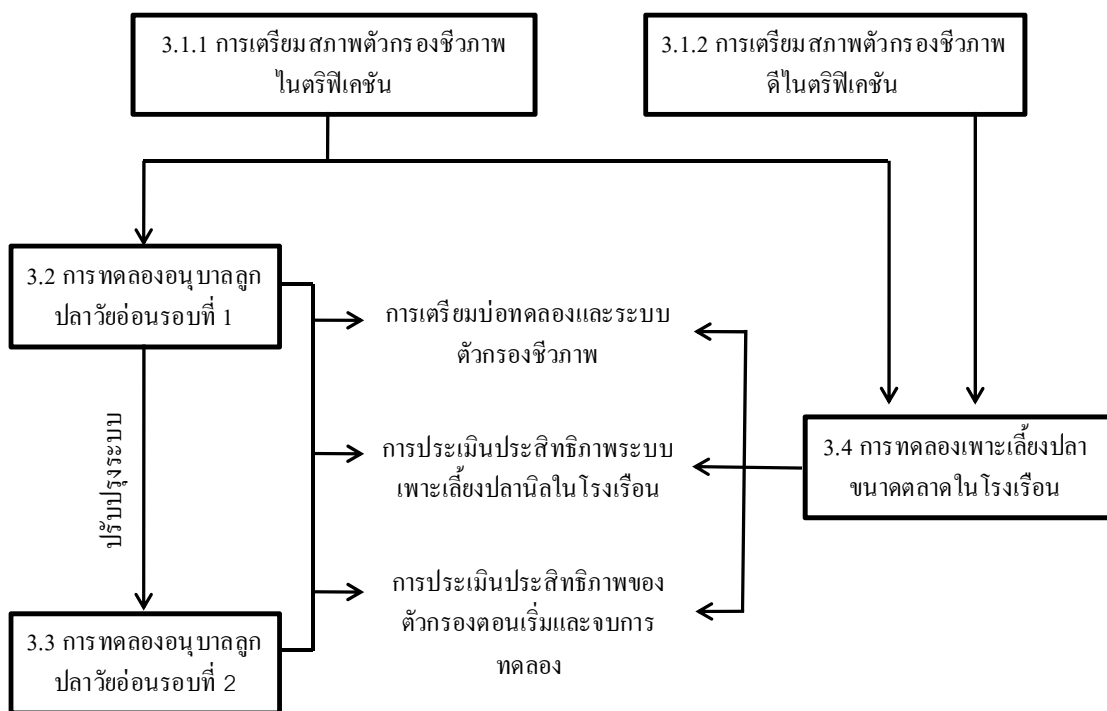
สัตว์น้ำ	ระบบในการเลี้ยง	ความหนาแน่นเริ่มต้น	ระบบกรอง	อัตราการบำบัดไนโตรเจน	วัสดุตัวกรอง	อ้างอิง
Tilapia	Comercial indoor cement tanks	83 fish/m ³	Nitrification 1.Moving bed bioreactor 2.Floating bead filter 3.Fluidized sand filter	267 - 667 g TAN/m ³ of expanded media/ day	1.HDPE (Kaldnes) 2. Polyethylene dimpled bead 3.Silica sand	Guerdat <i>et al.</i> (2010)
Rainbow Trout	Commercial outdoor RAS	32 kg/m ³	Nitrification Moving bed and Trickling bed biofilters	92 - 231 g N/m ³ /day	Polyethylene netshaped cylinders (Bioblok ^R), Polypropylene carriers (Biomedia)	Suhr and Pedersen. (2010)
Tilapia	Indoor RAS	0.7 - 5 kg/m ³	Submerged biofilters	28 – 44 mg N/m ² day	Polypropylene (Biocord TM)	Sesuk <i>et al.</i> (2009)
Tilapia	Indoor RAS	0.38 kg/m ³	Trickling biological filter	0.33 g TAN/m ² /day	Polypropylene (Nidaplast)	Twarowska <i>et al.</i> (1997)

สัตว์น้ำ	ประเภทระบบในการเลี้ยง	ความหนาแน่นเริ่มต้น	ระบบกรอง	อัตราการบำบัดไนโตรเจน	วัสดุตัวกรอง	อ้างอิง
Siberian sturgeon	Commercial RAS	21.4 kg/m ³	Nitrification and Denitrification Moving bed bioreactor	670 - 680 g N/m ³ media/day	Extruded plastic media., (AMB TM media, EEC)	Hamlin <i>et al.</i> (2008)
Hatchery-Reared Summer Flounder (<i>Paralichthys dentatus</i>)	Commercial outdoor RAS	7.63 kg/m ³	Nitrification Trickling biological filter	Maintain 0.32 ± 0.12 TAN mg/L	Polystyrene microbeads	Carroll <i>et al.</i> (2005)
Tilapia	Commercial RAS	168 kg/m ³	Nitrification Trickling bead filter and Microbead filter	0.13 - 3.92 TAN g/m ² /day	Polystyrene microbeads	Greiner and Timmons. (1998)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถแบ่งงานวิจัยออกได้เป็นส่วนหลักๆดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แนวทางการทดลองในงานวิจัยนี้

3.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ

3.1.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

ตัวกรองที่ใช้ในการทดลองนี้มีชื่อทางการค้าว่า Biocord™ (ภาพที่ 3.2ก) มีลักษณะเป็นมัดเส้นมัดใยสีขาวผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ Polypropylene มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.8 m²ต่อm การเตรียมสภาพตัวกรองเป็นการเพิ่มปริมาณไนตริไฟอิ่งแบคทีเรียให้ยึดเกาะกับผิวตัวกรองเพื่อให้สามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ทำโดยนำตัวกรองชีวภาพ Biocord™ แช่ลงในถังน้ำ

พลาสติกที่บรรจุน้ำจืด 450 L (ภาพที่ 3.2ข) ทำการเติมแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) ปริมาณ 4 g สลับกับอาหารกุ้งที่มีปริมาณโปรตีน 35 % ปริมาณ 16 g (2 mgN/L) เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนและสารอาหารสำหรับไนตริไฟอิงแบคทีเรีย โดยอาหารกุ้งนอกจากจะมีสารประกอบไนโตรเจนแล้วยังมีส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย เช่น วิตามิน เป็นต้น ทั้งนี้ระยะเวลาการเติมอาหารกุ้งเป็นแบบวันเว้นวัน

ในถึงเตรียมสภาพมีการให้อากาศตลอดเวลาผ่านทางหัวทรายโดยให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) สูงกว่า 4 mg/L ปรับค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) ให้อยู่ในช่วง 100-150 mg- CaCO_3 /L ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เก็บตัวอย่างน้ำในถังทุกวันเพื่อตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรต หากกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นสมบูรณ์จะพบการลดลงของแอมโมเนียและไม่มีการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้น อีกทั้งยังเกิดการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้น



(3.2ก)



(3.2ข)

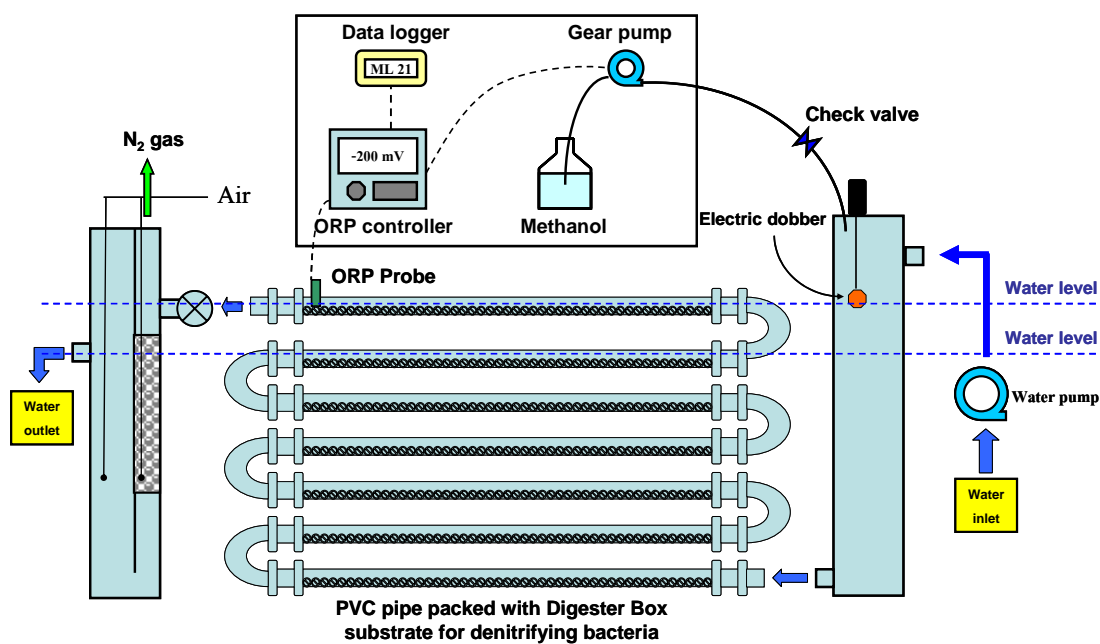
ภาพที่ 3.2 ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Biacord™ (3.2ก) ถังบ่มตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน (3.2ข)

3.1.2 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชัน

3.1.2.1 รูปแบบและหลักการทำงานของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

ระบบดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาว อาศัยหลักการบำบัดตามสิทธิบัตรการประดิษฐ์เลขที่ 26048 โดยเป็นการพัฒนาต่อจากระบบที่ได้มีการศึกษาโดยรุ่งนภา (2545) ซึ่งระบบท่อยาวในการศึกษานี้มีรูปแบบพิเศษคือมีการเปลี่ยนชนิดของปั้มน้ำจากชนิดรีดสายยาง (Peristaltic pump) มาเป็นชนิดฟันเฟือง (Gear pump) ทำให้ระบบมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเดิมมาก โดยระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวจะประกอบด้วย 1) คอลัมน์สำหรับทางน้ำเข้า 2) ท่อยาวความยาว 25 m ที่บรรจุตัวกรองชีวภาพ และ 3) ระบบควบคุมการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้เมธานอล

ความเข้มข้น 5% และ 4) คอลัมน์สำหรับทางน้ำออก หลักการทำงานของระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวคือ เริ่มจากปั้มน้ำที่ติดตั้งไว้ในบ่อทดลองจะสูบน้ำจากบ่อทดลองเข้ามายังคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งจะใช้ลูกกลอยไฟฟ้า เป็นตัวควบคุมระดับน้ำ เมื่อระดับน้ำถึงความสูงที่ตั้งค่าไว้ก็จะหยุดทำงาน ซึ่งระดับน้ำของคอลัมน์ที่ 1 และ คอลัมน์ที่ 2 มีความแตกต่างกัน เพื่อให้แรงดันน้ำจากความต่างระดับน้ำทำให้น้ำไหลผ่านส่วนที่ 2 หรือท่อยาวและจะเกิดการบำบัดไนเตรตขึ้นในท่อยาว จากนั้นเมื่อน้ำไหลเข้ามาสู่คอลัมน์ที่ 2 ซึ่งในน้ำจะมีปริมาณออกซิเจนอยู่น้อย เพราะถูกใช้ไปในขั้นตอนการบำบัดน้ำจะไหลผ่านตัว packbed ที่บรรจุวัสดุ BCN009 ในคอลัมน์ที่ 2 เพื่อบำบัดเมธานอลออกจากน้ำและไหลผ่านไปยังส่วนเติมอากาศ จากนั้นจึงไหลกลับสู่บ่อทดลอง ในส่วนของระบบการเติมแหล่งคาร์บอน จะใช้หัววัดค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ติดตั้งที่ส่วนท้ายของท่อยาวเพื่อตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยเมื่อค่า ORP สูงกว่า -320 mV ปั้มน้ำจะสูบน้ำเมธานอลเข้าสู่ระบบทางคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งควบคุมอัตราการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลาและเมื่อค่า ORP ต่ำกว่า -320 mV จะสั่งให้ปั้มน้ำหยุดเติมเมธานอล



ภาพที่ 3.3 ระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาว

3.1.2.2 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชัน

การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชันจะใช้ตัวกลางพลาสติก Digester box (DB) จำนวนทั้งสิ้น 1060 ชิ้น บรรจุไว้ในท่อยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 cm ความยาว 25 m สูบน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจาก NaNO_3 โดยมีความเข้มข้นของไนเตรตเท่ากับ 50 mgN/L จากถัง

พลาสติกขนาดความจุ 500 L เข้าระบบท่อยาว ระยะเวลาพักเก็บเท่ากับ 3 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการไหลของน้ำขาออกจากท่อยาวเท่ากับ 30 L ต่อชั่วโมง (1500 mgN/hr) ใช้เมฆานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งคาร์บอนที่อัตราการเติมเท่ากับ 26.4 mL ต่อชั่วโมง น้ำขาออกจากท่อยาวจะปล่อยทิ้งไปโดยไม่มีสารหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังน้ำเสียสังเคราะห์ เก็บน้ำตัวอย่างที่สายเข้าและสายออกของท่อยาวทุกวันเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรด โดยอ้างอิงจาก APHA (1998) อีกทั้งยังติดตั้งเครื่อง Data logger (Wisco, ML21) เพื่อบันทึกค่า ORP โดยตั้งค่าให้ทำการบันทึกทุกๆ 5 นาที หากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นจะพบการลดลงของไนเตรด และไม่มีสารสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้นหรือมีการสะสมของไนไตรท์ที่ต่ำ



(3.4ก)



(3.4ข)

ภาพที่ 3.4 ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Digester Box (3.4ก) ระบบท่อยาวที่ใช้ในการเตรียมตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชัน (3.4ข)

3.2 การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

3.2.1 การเตรียมบ่อทดลองและระบบตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชัน

การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือน จะใช้บ่อเลี้ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m สูง 0.8 m ปลูกด้วยผ้าพลาสติก HDPE เติมน้ำประปาปริมาตร 2000 L ภายในบ่อมีหัวพ่นอากาศจำนวน บ่อละ 8 หัวเพื่อให้อากาศตลอดเวลา ตรงกลางบ่อใส่กระชังไนลอนตาถี่ยึดด้วยท่อพีวีซียาว 0.8 m กว้าง 0.8 m ลึก 0.5 m ปรับความเค็มของน้ำเป็น 3 psu สำหรับการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนลูกปลาวัยอ่อน ชุดการทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันจำนวน 1 บ่อ และชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันจำนวน 2 บ่อ โดยในชุดทดลองจะมีการบรรจุตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันความยาว 30 m ผูกกับตะแกรงพลาสติกและถ่วงให้จมอยู่ใต้ผิวน้ำด้วยอิฐ

ส่วนชุดควบคุมเป็นบ่อที่ไม่มีการบรรจุตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันไว้ภายในบ่อ (มีเฉพาะกระชังไนลอนตาถี่)

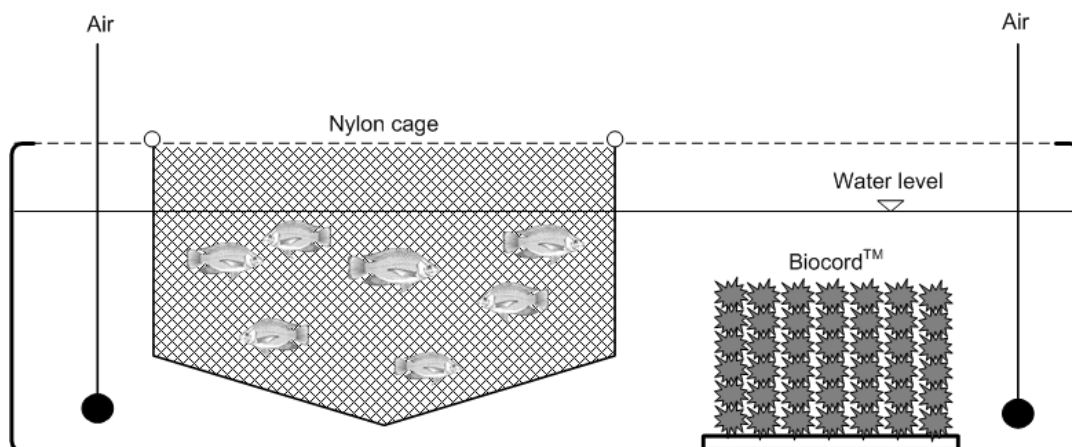


(3.5ก)



(3.5ข)

ภาพที่ 3.5 บ่อทดลองในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1 (3.5ก) การจัดวางระบบตัวกรองชีวภาพภายในบ่อชุดทดลอง (3.5ข)



ภาพที่ 3.6 ภาพแสดงระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1

3.2.2 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1

ทำการเลี้ยงลูกปลานิลตัวอ่อนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.01 g/fish ให้อาหารปลาเป็นปลาป่นที่มีปริมาณโปรตีน 50% ซึ่งเหมาะสมกับการอนุบาลลูกปลานิลดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในอัตรา 10-30% ของน้ำหนักปลาต่อวัน แบ่งเป็น 5 มื้อต่อวัน ระหว่างการเลี้ยงทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวัน ทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 24 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 3 บ่อทดลองเพื่อนำมาตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ใน

ไนโตรเจน และไนเตรตโดยอ้างอิงจาก APHA (1998) ทำการปรับค่าอัลคาไลน์ให้อยู่ในช่วง 100-150 mg CaCO₃/L ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต วัดค่า pH และค่า DO ทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง อีกทั้งมีการสุ่มตัวอย่างลูกปลานิลบ่อละ 10 ตัว มาวัดความยาวและชั่งน้ำหนัก ในวันที่ 1, 10, 15, 20 และ 24 เพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโตของลูกปลานิล ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบอนุบาลลูกปลานิลตัวอ่อนจากข้อมูลความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของปลานิล

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

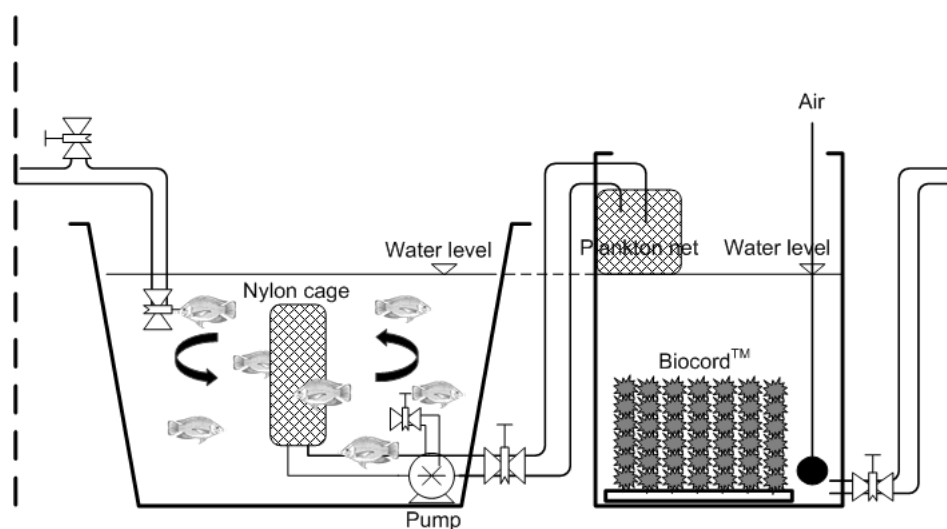
3.2.3 การประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพจากบ่อทดลองตอนเริ่มและจบการทดลอง ซึ่งจะตัดชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จากระบบบำบัดไนตริฟิเคชันความยาว 10 cm ใส่ในถังน้ำที่บรรจุน้ำไว้ 5 L เติม NH₄Cl ลงไปโดยให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้นที่ 4 mg N/L ใส่หัวฟ่นอากาศเพื่อให้มีค่า DO สูงกว่า 4 mg/L ปรับค่าอัลคาไลน์ให้อยู่ในช่วง 100 – 150 mg CaCO₃/L จากนั้นเก็บน้ำตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ทุก 6 ชั่วโมง เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในไนโตรเจน (Strickland and Parson, 1972) และไนเตรต (APHA, 1998)

3.3 การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

3.3.1 การเตรียมบ่อทดลองและระบบตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชัน

จากการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1 ทำให้มีการปรับปรุงการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2 โดยจะแยกระบบตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันออกจากบ่อเลี้ยง ระบบทดลองที่ปรับปรุงใหม่ประกอบด้วยบ่อเลี้ยงพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 m สูง 0.78 m บรรจุน้ำประปา 450 L ถังพลาสติกสำหรับบรรจุตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันซึ่งบรรจุน้ำประปา 150 L และตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชัน (Biocord™) ความยาว 10 m ต่อถัง ใส่หัวทรายพ่นอากาศเฉพาะภายในถังบำบัดในตรีฟิเคชันจำนวน 6 หัว ปรับความเค็มของน้ำในการทดลองเป็น 3 PSU สำหรับถึงอนุบาลลูกปลานิล ภายในถังเลี้ยงใส่ปั้มน้ำต่อกับท่อพีวีซีไปยังตรงกลางถังสำหรับสูบน้ำจากถังเลี้ยงไปยังถังบำบัดในตรีฟิเคชัน ปากท่อพีวีซีจะถูกห่อด้วยตาข่ายไนลอนเพื่อป้องกันไม่ให้ลูกปลาเข้ามาอยู่ในถังบำบัดในตรีฟิเคชัน น้ำที่ถูกสูบจากบ่อเลี้ยงมายังถังบำบัดในตรีฟิเคชันจะถูกกรองด้วยผ้ากรองตะกอน (Plankton net) ขนาดรูพรุน 104 μ m ทางด้านบนของถังบำบัดในตรีฟิเคชัน น้ำที่ได้ผ่านการบำบัดในถังบำบัดในตรีฟิเคชันจะไหลกลับสู่อบ่อเลี้ยงโดยอาศัยกระบวนการกาลักน้ำ ในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2 ประกอบด้วยชุดทดลองที่มีถังบำบัดในตรีฟิเคชันจำนวน 3 บ่อ และชุดควบคุมซึ่งไม่มีการบรรจุตัวกรองชีวภาพจำนวน 1 บ่อ



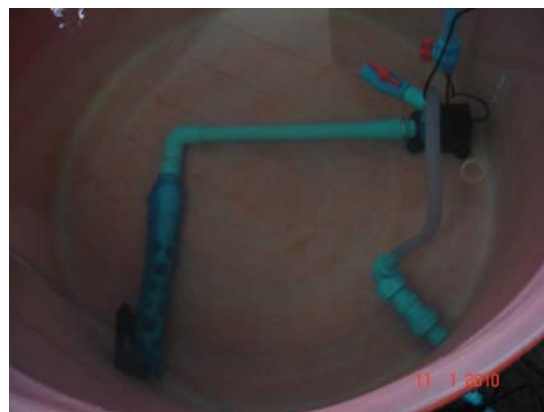
ภาพที่ 3.7 รูปแบบและการทำงานของระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2



ภาพที่ 3.8 ระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยถังอนุบาลและถังบำบัดไนตริฟิเคชัน



(3.9ก)



(3.9ข)



(3.9ค)



(3.9ง)



(3.9จ)

ภาพที่ 3.9 ถังอนุบาลลูกปลาขนาด 450 L (3.9ก) ป้อนน้ำสำหรับการหมุนวนของน้ำภายในบ่อเลี้ยง (3.9ข) กาลักน้ำ (3.9ค) ถังบำบัดไนตริฟิเคชันขนาด 200 L (3.9ง) ฝักรองตะกอนและตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในถังบำบัดไนตริฟิเคชัน (3.9จ)

3.3.2 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

ทำการอนุบาลลูกปลานิลน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.01 g/fish ให้อาหารปลาเป็นปลาป่นที่มีปริมาณโปรตีน 50 % ใน 4 วันแรก จากนั้นจึงเปลี่ยนมาให้อาหารกึ่งเบอร์สุนย์ที่มีปริมาณโปรตีน 40% ในอัตรา 10-30% ของน้ำหนักปลา แบ่งเป็น 5 มื้อต่อวัน ระหว่างการเลี้ยงทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวัน ระยะเวลาในการทดลอง 24 วัน ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 4 บ่อทดลองในส่วนของบ่อเพาะเลี้ยง เพื่อนำมาตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ (Strickland and Parson, 1972) และไนเตรต (APHA, 1998) นอกจากนั้นทำการวัดค่าอัลคาไลน์ ค่า pH และค่า DO ตลอดระยะเวลาการทดลอง อีกทั้งมีการสุ่มตัวอย่างลูกปลานิลบ่อละ 10 ตัว มาวัดความยาวและชั่งน้ำหนัก ในวันที่ 1, 10, 15, 20 และ 24 ของการทดลอง เพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโตของลูกปลานิล ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบอนุบาลลูกปลานิลวัยอ่อนจากข้อมูลความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของปลานิล

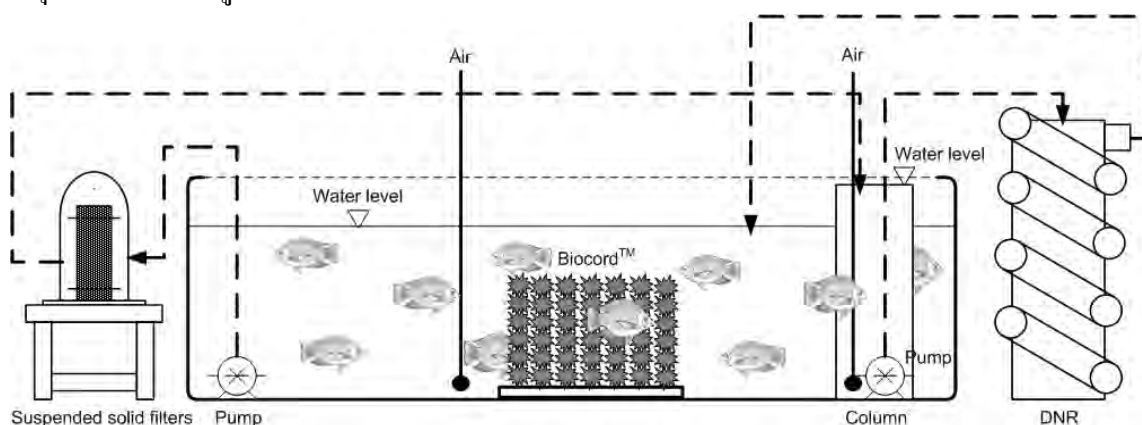
3.3.3 การประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

ประเมินประสิทธิภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันจากบ่อทดลองตอนเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.2.3

3.4 การทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

3.4.1 การเตรียมบ่อทดลองและระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

บ่อทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นบ่อชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองที่ 3.2 แต่ปรับรูปแบบการทดลองโดยไม่มีกระชังภายในบ่อ ภายในบ่อมีหัวพ่นอากาศจำนวนบ่อละ 8 หัว เติมน้ำประปาปริมาตร 2,000 L และปรับความเค็มของน้ำเป็น 5 psu ชุดการทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพจำนวน 1 บ่อ และชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำนวน 2 บ่อ โดยในชุดทดลองจะมีการบรรจุตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันความยาวบ่อละ 20 m ผูกกับตระแกรงเหล็กถ่วงให้จมอยู่ใต้ผิวน้ำ ซึ่งตัวกรองที่ใส่ไว้จะแบ่งเป็นตัวกรองที่มัดกับตระแกรงทรงสามเหลี่ยมและตัวกรองที่มัดกับท่อ PVC ดังแสดงในภาพที่ 4.22 ส่วนระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะถูกต่อเข้ากับบ่อทดลองเมื่อน้ำมีความเข้มข้นของไนเตรตมากกว่า 20 mg N/L โดยจะติดตั้งเครื่องกรองตะกอนแบบไหลขวาง (Crossflow Filtration) สำหรับกรองตะกอนภายในบ่อเลี้ยงก่อนเข้าสู่คอลัมน์น้ำดีไนตริฟิเคชันเพื่อป้องกันการอุดตันของตะกอนภายในท่อยาว น้ำจากคอลัมน์น้ำดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวและหมุนเวียนกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงต่อไป ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.10 รูปแบบและการทำงานของระบบเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน



(3.11ก)



(3.11ข)



(3.11ค)



(3.11ง)

ภาพที่ 3.11 บ่อเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในโรงเรือน (3.11ก) ระบบบำบัดน้ำในตรีฟิเคชันแบบท่อยาว (3.11ข) เครื่องกรองตะกอน (3.11ค) คอลัมน์น้ำลิ้น (3.11ง)

3.4.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในโรงเรือน

ทำการเลี้ยงปลาน้ำจืดเริ่มต้นตัวละ 40 – 50 กรัม โดยปล่อยปลาให้มีความหนาแน่นเริ่มต้นบ่อละ 5 kg/m³ ให้อาหารปลาสำเร็จรูปวันละ 2 มื้อ (เช้า-เย็น) คิดเป็น 3 % ของน้ำหนักปลาต่อวัน ทั้งนี้มีการปรับปริมาณอาหารที่ให้ตามความเหมาะสมเมื่อปลามีขนาดใหญ่ขึ้น มีการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวันเพื่อนำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทั้งหมด ทำการทดลองโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลาทั้งหมด 81 วัน เก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 3 บ่อทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (Strickland and Parson) และไนเตรต (APHA, 1998) นอกจากนั้นทำการวัดค่าอัลคาไลน์ ค่า pH และค่า DO ตลอดระยะเวลาการทดลอง มีการสุ่มตัวอย่างปลาน้ำจืด 10 ตัว มาวัดความยาวและชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 วัน เพื่อตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต ส่วนในวันที่ 81 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาว

ปลา 30 ตัวในแต่ละบ่อ ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากข้อมูลความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในโตรเจนและการเจริญเติบโตของปลานิล

3.4.3 การประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพระหว่างการเพาะเลี้ยงปลานิลในโรงเรือน

ประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพจากบ่อดูดองตอนเริ่มและจบการทดลอง ซึ่งจะตัดชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จากระบบบำบัดไนตริฟิเคชันมาตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียเช่นเดียวกับการอนุบาลลูกปลารอบที่ 1 และ 2 (หัวข้อ 3.2.3 และ 3.3.3)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
แอมโมเนีย	Strickland and Parson (1972)
ไนโตรเจน	Strickland and Parson (1972)
ไนเตรต	Screening Method (APHA, 1998)
ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด	Strickland and Parson (1972)
อุณหภูมิ	เครื่องวัด Temperature (Temperature meter, YSI 63)
ความเป็นกรดด่าง (pH)	เครื่องวัด pH (pH meter, YSI 63)
อัลคาลินิตี	Test Kit (ศูนย์วิจัยโรคสัตว์น้ำ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
น้ำหนักรับปลา	เครื่องชั่งทศนิยม 3 และ 2 ตำแหน่ง
ความยาวปลา	วัดจากปากถึงปลายหางด้วยไม้บรรทัด
DO	เครื่องวัด DO (DO meter, YSI 52)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ

4.1.1 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชัน

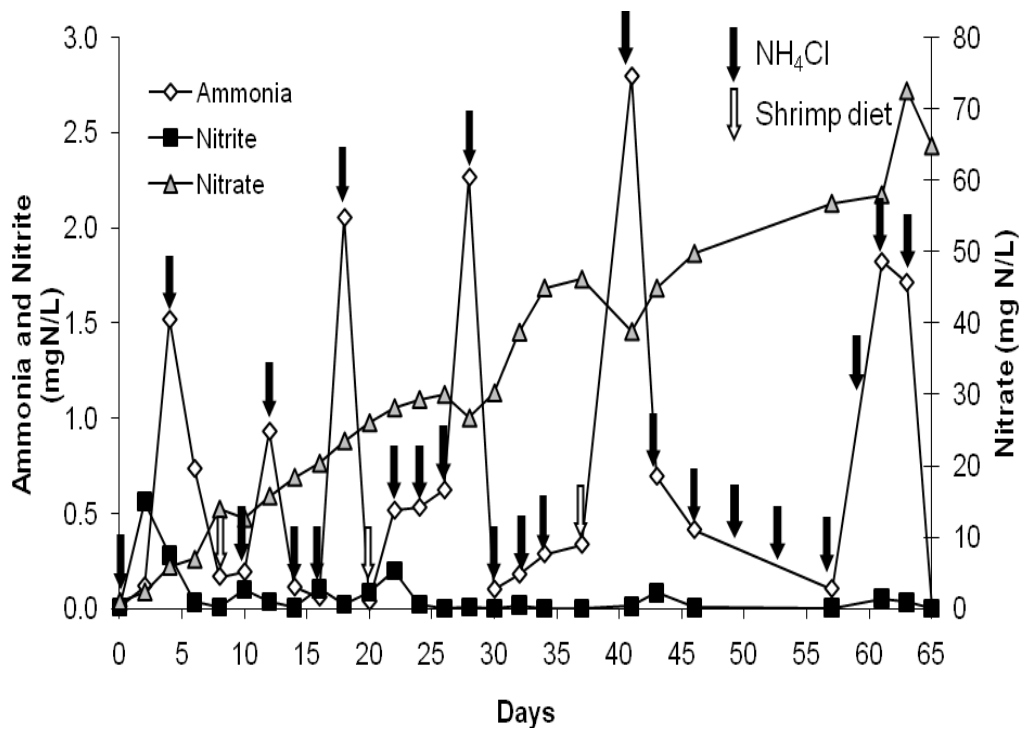
การทดลองนี้เป็นการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ให้พร้อมในกระบวนการในตรีฟิเคชันที่สมบูรณ์ โดยทำการบ่มตัวกรองในถังบรรจุน้ำประปาขนาด 450 L ที่มีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 4 g และมีการเติมอาหารกุ้ง 16 g เป็นระยะ เพื่อเป็นแหล่งแอมโมเนียและวิตามินที่จำเป็นแก่ไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย (Sesuk *et al.*, 2009) โดยให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เติมเท่ากับ 2 mg N/L ทำการบ่มเชื้อไนโตรฟายอิงแบคทีเรียเป็นระยะเวลา 65 วัน ในถังมีการเติมอากาศตลอดเวลาด้วยหัวทรายพ่นอากาศและควบคุมค่าอัลคาไลน์ให้อยู่ในช่วง 100-150 mg CaCO_3 /L ด้วยการเติมด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต จากภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังบ่มจะพบว่า เมื่อมีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์เข้าในถังปรับสภาพ ค่าแอมโมเนียที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 1.5 – 2.8 mgN/L จากนั้นแอมโมเนียจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในวันต่อมา แสดงให้เห็นว่ากระบวนการในตรีฟิเคชันเกิดขึ้น แต่จะมีการสะสมของไนโตรที่เพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.5 mgN/L ในวันที่ 2 แสดงให้เห็นว่ายังเป็นกระบวนการในตรีฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ (Sesuk *et al.*, 2009) จากนั้นแอมโมเนียและไนโตรที่ จะมีความเข้มข้นลดลงและมีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยในวันที่ 65 ของการทดลองวัดปริมาณไนเตรตได้เท่ากับ 65 mgN/L ซึ่งในระหว่างการทดลองจะเห็นการสะสมของแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้นเป็นระยะ เนื่องจากมีการเติม NH_4Cl แบบวันเว้นวัน

ผลการเตรียมสภาพตัวกรองในการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sesuk *et al.*, (2009) และ เอกชัย มาลาพล (2551) ที่ศึกษาการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในกระบวนการในตรีฟิเคชัน ซึ่งพบว่าตัวกรองชีวภาพจะเกิดกระบวนการในตรีฟิเคชันได้สมบูรณ์ในระยะเวลาการปรับสภาพตัวกรอง 3 สัปดาห์ อีกทั้งยังพบการลดต่ำลงของปริมาณอัลคาไลน์ที่ Van Rijn *et al.* (2006) ได้อธิบายไว้ว่าในกระบวนการในตรีฟิเคชันจะมีการลดลงของค่าอัลคาไลน์ที่ 7 mg CaCO_3 ต่อ 1 mg N ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีการเพิ่มค่าอัลคาไลน์โดยการเติม NaHCO_3 และควบคุมค่าอัลคาไลน์ในถังบ่มเชื้อไนโตรฟายอิงให้อยู่ในช่วง 100 – 150 mg CaCO_3 /L

จากการปรับสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ เป็นเวลา 65 วัน ในวันสุดท้ายได้มีการสุ่มชิ้นส่วนตัวกรองเพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย และพบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนียที่

ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 8 mg N/L ได้จมนมภายในระยะเวลา 4 ถึง 5 วัน โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 36.6 mg N/m²/day จากการทดลองพบว่าแอมโมเนียจะมีแนวโน้มลดลงและจากนั้นจะเกิดผลิตภัณฑ์ไนไตรท์ขึ้นระยะหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนทร ศรีสุข (2551) ที่พบการสะสมของไนไตรท์ขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง โดยอธิบายว่า ปฏิกิริยาออกซิไดซ์แอมโมเนียและไนไตรท์จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันเนื่องจากแบคทีเรีย AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) จะออกซิไดซ์แอมโมเนียที่เป็นสารตั้งต้นก่อนจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นไนไตรท์ จากนั้นแบคทีเรียกลุ่ม NOB จะออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรตต่อไป ซึ่งแบคทีเรียกลุ่ม NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อมีปริมาณไนไตรท์ไม่เพียงพอ และจากการวัดประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าได้อัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 24.1 mg N/m²/day ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการทดลองนี้

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียกับรายงานอื่นๆ (ตารางที่ 4.1) พบว่าตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ที่ศึกษาในครั้งนี้นี้ยังมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ต่ำกว่าระบบอื่น แต่ข้อดีของระบบนี้คือเป็นระบบที่มีความเรียบง่ายในการสร้างและดูแลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (เอกชัย มาลาพล, 2551; ธนทร ศรีสุข, 2551)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรต ระหว่างการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 mgN/L (↓ แสดงวันที่มีการเติม NH_4Cl , ↓ แสดงวันที่มีการเติมอาหารกุ้ง)

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบชนิดและอัตราไนโตรเจนที่ตรึงของตัวกรองชีวภาพชนิดต่างๆ

ระบบกรอง	อัตราการบำบัดไนโตรเจน	วัสดุตัวกรอง	อ้างอิง
Nitrification		1.HDPE (Kaldnes)	
1.Moving bed bioreactor	267 - 667 g TAN/m ³ of	2. Polyethylene	Guerdat <i>et al.</i>
2.Floating bead filter	expanded media/ day	dimpled bead	(2010)
3.Fluidized sand filter		3.Silica sand	
Nitrification		Polyethylene	
Moving bed and Trickling	92 - 231 g N/m ³ /day	netshaped cylinders	Suhr and
bed biofilters		(Bioblok ^R),	Pedersen. (2010)
		Polypropylenecarriers	
		(Biomedia)	
Submerged biofilters	28 – 44 mg N/m ² day	Polypropylene	Sesuk <i>et al.</i>
		(Biocord TM)	(2009)
Nitrification		Polystyrene	Carroll <i>et al.</i> ,
Trickling biological filter	Maintain 0.32 ± 0.12	microbeads	(2005)
	TAN mg/L		
Nitrification		Polystyrene	Greiner <i>et al.</i>
Trickling bead filter and	0.13 - 3.92 TAN g/m ² /day	microbeads	(1998)
Microbead filter			
Submerged biofilters	720 mgTAN /m ² /day	Hyperdrain	มุกิตา วุฒิกัมพล
			(2546)
Submerged biofilters	13 - 50 mgTAN /m ² /day	Polypropylene	การทดลองครั้งนี้
		(Biocord TM)	

4.1.2 การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชัน

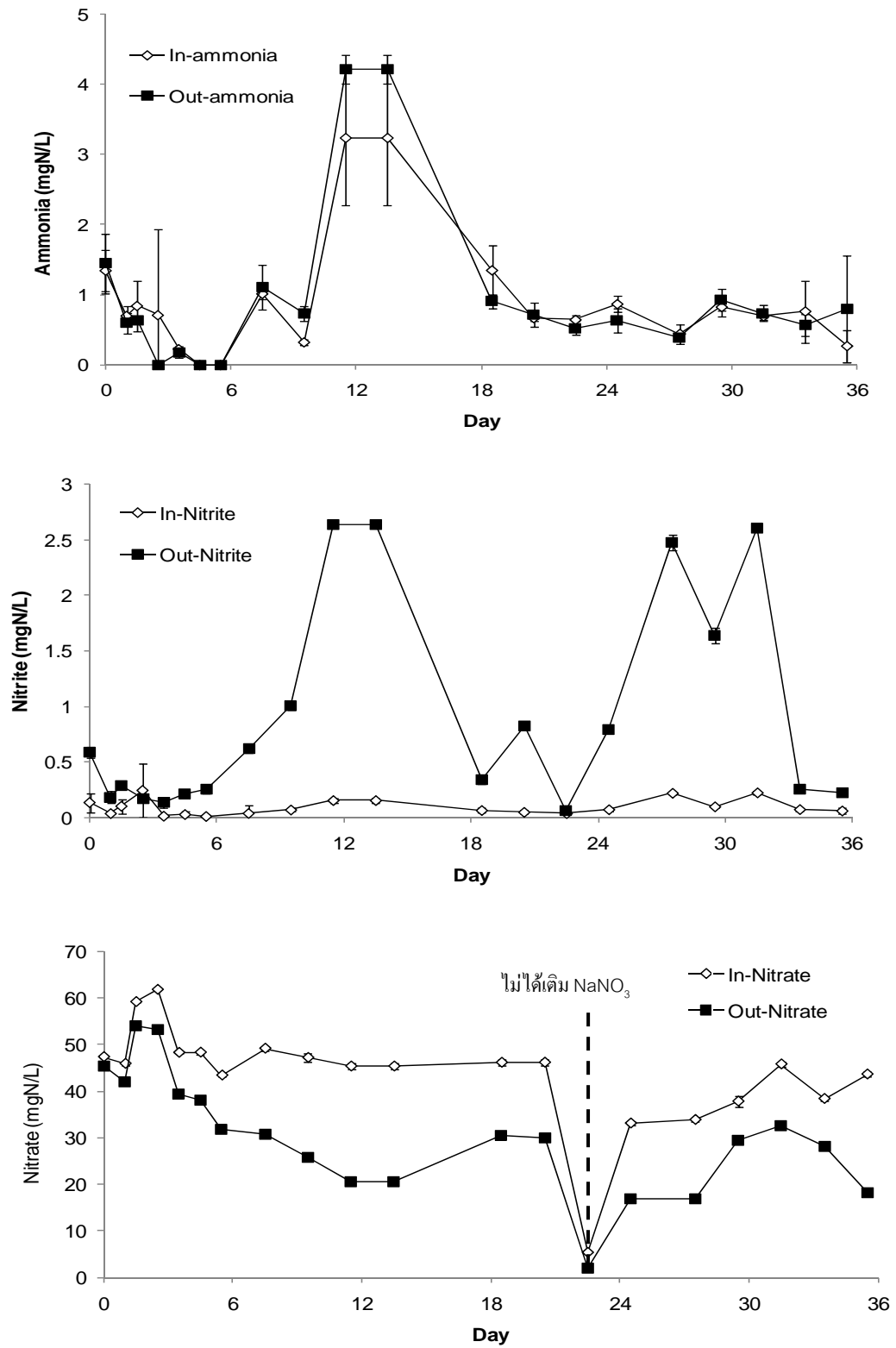
ในการทดลองนี้ได้จัดสร้างระบบบำบัดขึ้นมาใหม่โดยใช้ท่อพีวีซีเป็นวัสดุหลัก ระบบดีไนโตรฟิเคชันแบบท่อยาว อาศัยหลักการบำบัดตามสิทธิบัตรการประดิษฐ์เลขที่ 26048 โดยเป็นการพัฒนาต่อจากระบบที่ได้มีการศึกษาโดยรุ่งนภา สุทธิศรี (2549) ซึ่งระบบท่อยาวในการศึกษารุ่นนี้มีรูปแบบพิเศษคือมีการเปลี่ยนชนิดของปั๊มน้ำสำหรับเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบ จากชนิดรีดสายยาง (Peristaltic pump) มาเป็นชนิดฟันเฟือง (Gear pump) ทำให้ระบบมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเดิมมาก ทำการเติมเมธานอล 2 % ด้วยอัตราการเติม 26.4 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และควบคุมการเติมเมธานอลด้วยค่าศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (ORP) ช่วง -310 ถึง -320 mV ทำการสูบน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของไนเตรตในช่วง 40 ถึง 60 mgN/L ผ่านระบบท่อยาวโดยไม่มีการหมุนเวียนกลับมา ผลการทดลอง(ภาพที่ 4.2) จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 14 เป็นช่วงที่มีการเติมไนเตรตและเติมเมธานอลเข้าระบบท่อยาวปกติ แสดงให้เห็นว่าอัตราการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ซึ่งค่า ORP ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง -100 ถึง -168 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.3) โดยปริมาณไนเตรตขาเข้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 49.16 mgN/L ไนเตรตขาออกเท่ากับ 36.47 mgN/L ในสัดส่วน C/N เท่ากับ 0.99 และจะพบการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้น โดยพบปริมาณไนไตรท์สูงสุดเท่ากับ 2.64 mgN/L ในวันที่ 11 ของการทดลอง เมื่อคำนวณเป็นอัตราการบำบัดไนเตรตโดยเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 12.07 mgN/L/day จากนั้นเป็นช่วงที่ 2 คือ ช่วงตั้งแต่วันที่ 15 ถึงวันที่ 21 ซึ่งมีการหยุดเติมเมธานอลในวันที่ 15 ของการทดลอง ในช่วงนี้ไม่สามารถคำนวณอัตราการบำบัดไนเตรตได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างน้ำจากขาออกและขาเข้าของท่อยาวเพียง 2 วัน คือวันที่ 19 และ 21 ของการทดลอง จากการทดลองพบว่าปริมาณไนเตรตที่ขาออกของท่อยาวมีค่าลดลงจากวันที่ 14 ของการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.2 ซึ่งในวันที่ 14 ของการทดลองปริมาณไนเตรตขาออกเท่ากับ 20.48 mgN/L แต่เมื่อหยุดเติมเมธานอลในวันที่ 15 พบว่าปริมาณไนเตรตขาออกในวันที่ 19 และ 21 เท่ากับ 30.46 และ 29.95 mgN/L ซึ่งมีค่าสูงขึ้นโดยปริมาณไนเตรตขาเข้าโดยเฉลี่ยในวันที่ 14 ถึงวันที่ 21 เท่ากับ 45.84 mgN/L อีกทั้งพบว่าค่า ORP มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อหยุดเติมเมธานอลโดยพบค่าสูงสุดเท่ากับ 43.5 mV ในวันที่ 15

จากการที่ปริมาณไนเตรตขาออกลดลงในขณะที่ไนเตรตขาเข้ามีค่าใกล้เคียงกันเมื่อหยุดเติมเมธานอลแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของท่อยาวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รุ่งนภา สุทธิศรี (2549) พบว่าเมื่อไม่มีการเติมเมธานอลจะไม่เกิดการบำบัดไนเตรตหรือไม่เกิดกระบวนการดีไนโตรฟิเคชันขึ้นในท่อยาว แต่เมื่อมีการเติมเมธานอล พบว่ากระบวนการดีไนโตรฟิเคชันสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลา 1 วัน อีกทั้งการที่ค่า C/N ลดลง ยังทำให้แหล่งคาร์บอนซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ของแบคทีเรียไม่เพียงพอ จึงทำให้

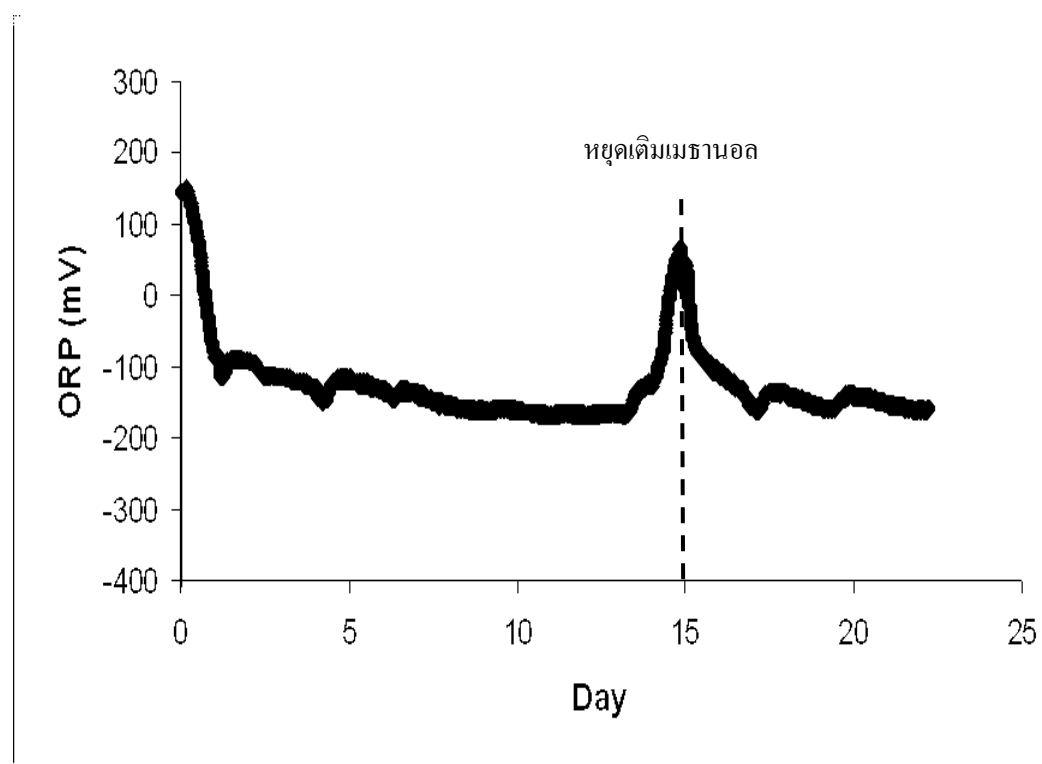
ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตลดลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) จากนั้นช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงตั้งแต่วันที่ 21 จนถึงวันที่ 36 ของการทดลอง ซึ่งมีการหยุดเติมไนเตรตในวันที่ 21 ของการทดลอง โดยไนเตรตขาเข้ามีค่าเท่ากับ 5.31 mgN/L และขาออกเท่ากับ 1.95 mgN/L และหลังจากวันที่ 21 เมื่อมีการเติมไนเตรตโดยปกติ พบว่าปริมาณไนเตรตที่ขาเข้าและขาออกของท่อยาวมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ค่า ORP ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง -100 ถึง -168 mV ซึ่งการที่หยุดเติมไนเตรตจะทำให้สัดส่วน C/N มีค่าสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 9.18 ในวันที่ 21 ถึง 23 และ C/N เท่ากับ 1.26 ในวันที่ 23 ถึง 36 แนวโน้มไนโตรเจนในช่วงนี้อธิบายได้ว่าอัตราส่วนระหว่าง C/N ในระบบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้จะมีค่าไม่แน่นอน ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้เนื่องจากแบคทีเรียที่อยู่ในระบบบำบัดจะต้องการคาร์บอนส่วนหนึ่งไปใช้ในการหายใจเพื่อลด DO และต้องการคาร์บอนอีกส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (สุวิมล ต้นทสุกิจวานิช, 2545) อีกทั้งในการทดลองนี้จะพบการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยปริมาณไนไตรท์สะสมสูงสุดเท่ากับ 2.64 mgN/L ในวันที่ 11 ของการทดลอง และค่า ORP ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง -100 ถึง -168 mV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamlin *et al.* (2008) ที่รายงานว่าค่า ORP ที่มากกว่า -200 mV จะทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ได้ผลิตภัณฑ์เป็น N_2O , NO และ NO_2 เป็นต้น

การหยุดเติมไนเตรตในวันที่ 23 ของการทดลองจึงทำให้ค่า C/N สูงขึ้น โดยค่า C/N ในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจากการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.1 ± 0.14 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่าสัดส่วน C/N ที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 (Hamlin *et al.*, 2008)

จากการทดลองการเตรียมตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชัน พบว่าระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นตั้งแต่วันที่ 14 ของการเติมเมธานอล และระบบบำบัดไนเตรตมีความเหมาะสมที่ระยะเวลาการเตรียมตัวกรอง 14 วัน



ภาพที่ 4.2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรดที่ทางเข้าและทางออกของท่อยาวในการเตรียมระบบบำบัดน้ำในกรณีไนโตรฟิกชัน



ภาพที่ 4.3 ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันระหว่างในระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวระหว่างการเตรียมตัวกรองชีวภาพดีไนตริฟิเคชัน

ตารางที่ 4.2 อัตราดีไนทริฟิเคชันและสัดส่วน C/N ที่ช่วงเวลาต่างๆในระบบบำบัดดีไนทริฟิเคชันแบบท่อยาวที่ระยะเวลาพักเก็บเท่ากับ 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมทานอลที่เติมเท่ากับ 2 %

ช่วงวันที่	อัตราการเติมคาร์บอน (mg C/hr)	ความเข้มข้นไนเตรตขาเข้า (mg N/L)	ความเข้มข้นไนเตรตขาออก (mg N/L)	C/N	ORP (mV)	อัตราการลดลงของไนเตรต (mgN/L/day)*	การสะสมของไนไตรท์ (+ = มี, - = ไม่มี)
0 - 14	182.95	49.16	36.47	0.99	-100 ถึง -168	12.07	+
15 - 21	182.95	46.11	30.21	1.06	100 ถึง -145	-	+
21 - 23	182.95	5.31	1.95	9.18	-100 ถึง -168	9.77	-
25 - 36	182.95	38.72	23.64	1.26	-100 ถึง -168	15.08	+

* L คือปริมาตรที่บรรจุตัวกรองชีวภาพ (Packing volume)

4.1.2.1 การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

การตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสามารถทำได้โดยตรวจวัดปริมาณไนเตรตที่ออกจากระบบบำบัดเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

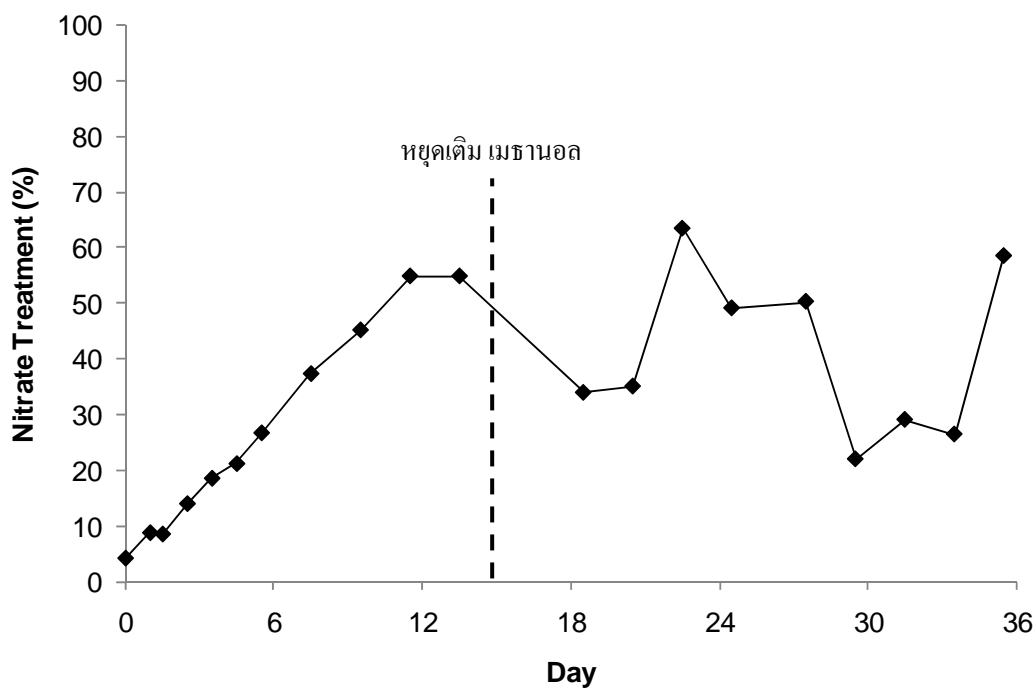
$$E(\%) = (1 - \text{NO}_{3\text{-out}}/\text{NO}_{3\text{-in}}) \times 100$$

$E(\%)$ = ประสิทธิภาพการบำบัด

$(\text{NO}_{3\text{-out}})$ = ปริมาณไนเตรต (mgN/L) ในน้ำขาออกของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

$(\text{NO}_{3\text{-in}})$ = ปริมาณไนเตรต (mgN/L) ในน้ำขาเข้าของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

จากภาพที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของท่อยาวจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มการทดลองโดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตเท่ากับ 4.22 % ในวันแรกของการทดลองและเพิ่มขึ้นจนถึง 54.79 % ในวันที่ 14 ของการทดลอง หลังจากนั้นเมื่อมีการหยุดเติมเมธานอลในวันที่ 15 ของการทดลองและหยุดเติมไนเตรตในวันที่ 21 ของการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของท่อยาวมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนโดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 20-60 % แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่า C/N มีผลโดยตรงต่อการทำงานของแบคทีเรีย และจากตารางที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการบำบัดไนเตรตของระบบดีไนตริฟิเคชันที่ใช้วัสดุตัวกรองอื่นๆ พบว่ามีอัตราการบำบัดไนเตรตอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่ารายงานอื่นๆ แต่จากการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 55 % ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ รุ่งนภา สุทธิศรี (2545) ที่พบว่าระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวจะมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตในช่วง 60-80 %



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในระหว่างการเตรียมสภาพตัวกรอง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราดีไนตริฟิเคชันของตัวกรองชนิดอื่นๆ

วัสดุตัวกรอง	แหล่งคาร์บอน	อัตราการบำบัดไนเตรต (mgN/L/h)	อ้างอิง
Polyethylene	Methanol	1.8	Suzuki <i>et al.</i> (2003)
Plastic medium	Glucose	1.7	Honda <i>et al.</i> (1993)
Brick granules	Ethanol	100	Sauthier <i>et al.</i> (1998)
Porous medium	Methanol	7.3 - 8.4	Grguric <i>et al.</i> (2000)
Polyvinyl alcohol	Glucose	1.4	Menasveta <i>et al.</i> (2001)
Polyethylene	Methanol	0.5 - 0.6*	การทดลองนี้

*อัตราการบำบัดเป็นมิลลิกรัมไนโตรเจนต่อปริมาตรการบรรจุตัวกรองต่อวัน

4.2 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือน (การทดลองรอบที่ 1)

4.2.1 ผลการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนของตัวกรองชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ และไนเตรต ในระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนซึ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลา 24 วัน แสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าปริมาณไนเตรตในน้ำเมื่อเริ่มการทดลองในบ่อทดลอง (T1 และ T2) จะมีปริมาณสูงกว่าในบ่อควบคุม (C) อย่างชัดเจนโดยปริมาณไนเตรตเริ่มต้นในบ่อ T1 และ T2 มีปริมาณเท่ากับ 15.44 และ 12.56 mg N/L ตามลำดับ ในขณะที่บ่อควบคุมมีปริมาณไนเตรตเท่ากับ 3.49 mgN/L เนื่องจากก่อนการปล่อยลูกปลาได้มีการนำตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ไปติดตั้งไว้ในบ่อเลี้ยงและทำการเติม NH_4Cl ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 mg N/L ซึ่งพบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

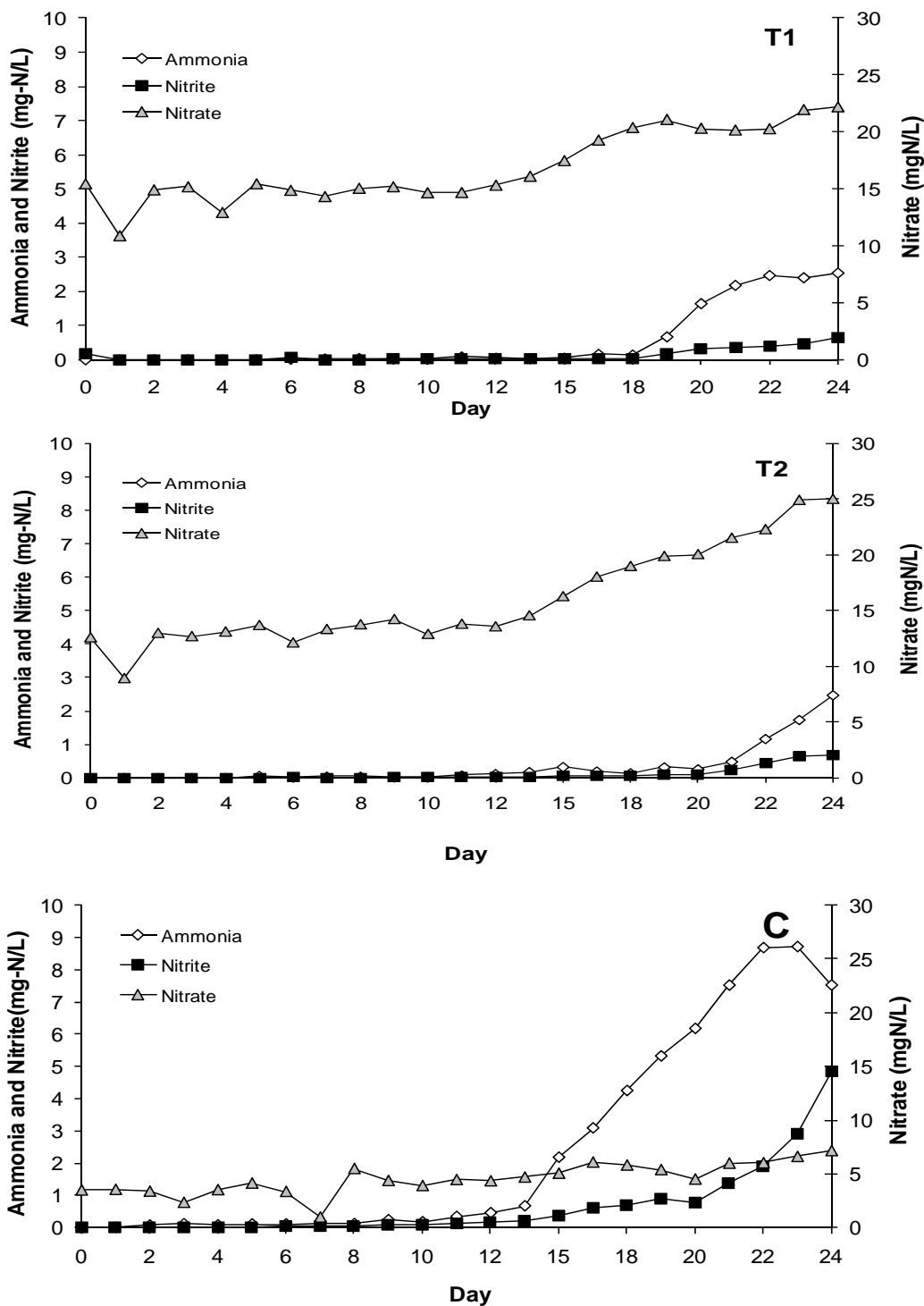
ผลการทดสอบระบบด้วยการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนสามารถแบ่งออกได้เป็นสามช่วง ในช่วงที่ 1 (วันที่ 1 – 10) พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่อชุดทดลองที่มีการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และบ่อควบคุม (C) ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากมีการให้อาหารในปริมาณน้อย โดยปริมาณอาหารสะสมในวันที่ 10 ของการทดลองเท่ากับ 60.53 g/tank (ภาพที่ 4.8) ในช่วงที่ 2 (วันที่ 11 – 18) ของการทดลองมีการเพิ่มปริมาณอาหารอย่างชัดเจน ปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่อ T1 และ T2 อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 1 mg N/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นสมบูรณ์สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (Timmons *et al*, 2002) ในช่วงที่ 3 (วันที่ 19 – 24) พบว่าในวันที่ 18 ปลาในบ่อ T1 ไม่กินอาหาร โดยสังเกตจากปลาป่นที่ยังคงลอยอยู่บนผิวน้ำและในวันต่อมา พบว่าปลาในบ่อ T1 ตายหมดทั้งบ่อ จากผลการทดลองสาเหตุที่ปลาตายอาจมาจากสารพิษไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดจากการสะสมของตะกอนใต้กระชังเลี้ยงปลาและบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพ Biocord™ (ศิริกอนันตกุล และจุฬ สิ้นชัยพานิช, 2551; Tal *et al.*, 2009; Sesuk *et al*, 2009) ดังนั้นจึงนำตัวกรองชีวภาพในบ่อชุดทดลองมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาโดยการซักด้วยมือ ในวันที่ 20 ของการทดลอง และเพิ่มการเติมอากาศด้วยหัวทรายบริเวณตัวกรองชีวภาพเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน อีกทั้งลดปริมาณอาหารที่ให้อบ่อชุดทดลองเพื่อป้องกันการสะสมของสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียและไนโตรที่

ในส่วนของบ่อ T2 ปลาเริ่มไม่กินอาหารในวันที่ 22 และตายลงเป็นจำนวนมากในวันที่ 23 ซึ่งคาดว่าสาเหตุมาจากการนำตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ออกจากบ่อเลี้ยงเพื่อล้างทำความสะอาดโดยการซักด้วยมือเช่นกัน ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สะสมบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพ (Sesuk *et al.*, 2009) โดยอัตราการรอดของปลานิลในบ่อ T2 หลังสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 24 เหลือเพียง 30% สำหรับบ่อควบคุมมีอัตราการรอดของปลานิลเท่ากับ 80 % (ตารางที่ 4.4 –

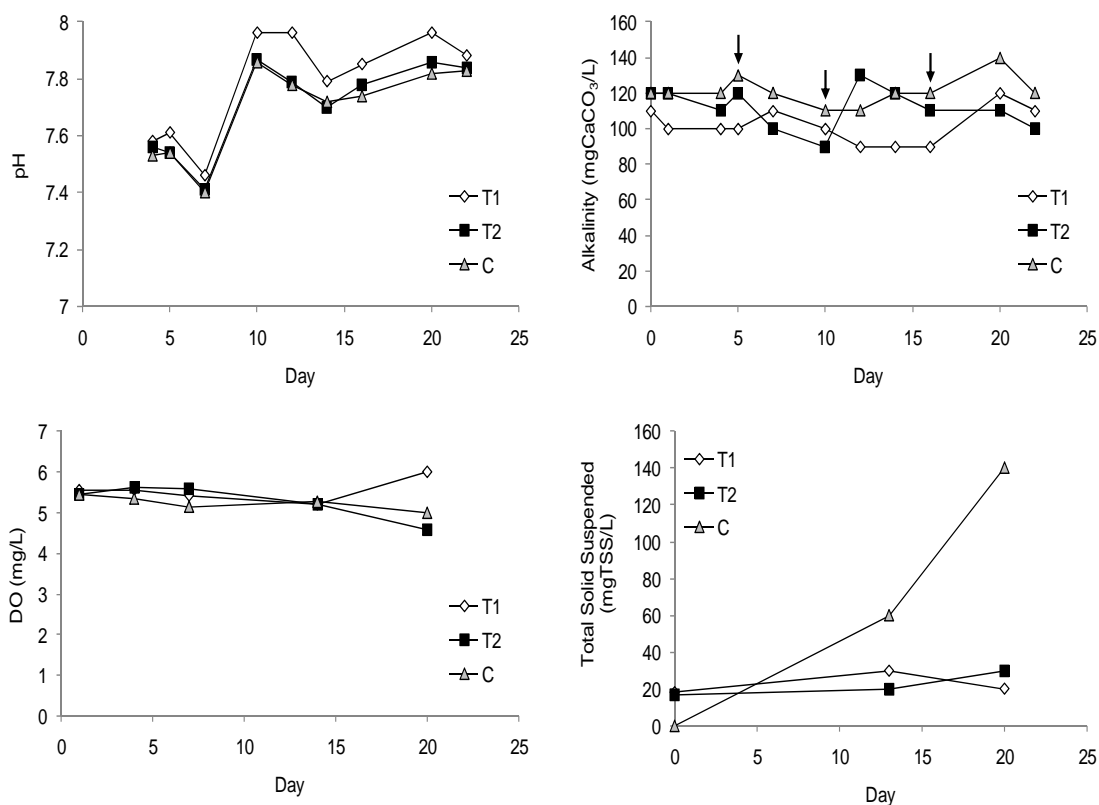
4.5) และพบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อชุดทดลองสูงขึ้นหลังจากวันที่มีการชักตัวกรอง Biocord™ เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนหลุดออกไปกับน้ำที่ใช้ทำความสะอาดตัวกรอง (Sesuk *et al.*, 2009; เอกชัย มาลาพล, 2551) โดยปริมาณแอมโมเนียในน้ำมีค่าสูงถึง 2.96 ± 0.32 mg N/L ในวันที่ 24 ของการทดลอง ในบ่อควบคุมซึ่งไม่มีระบบบำบัดใดๆ พบว่าในช่วง 10 วันแรก จะยังไม่เห็นแนวโน้มปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรตที่ชัดเจน เนื่องจากยังเป็นช่วงที่มีการให้ปริมาณอาหารที่ต่ำ จากนั้นในช่วงตั้งแต่วันที่ 10 ถึงวันที่ 24 พบว่ามีการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์เกิดขึ้น โดยพบแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 8.66 mgN/L ในวันที่ 22 ไนไตรท์สูงสุดเท่ากับ 4.84 mgN/L ในวันที่ 24 และไนเตรตมีค่าเท่ากับ 6.63 mgN/L ในวันที่ 24 ของการทดลอง

นอกจากตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จะสามารถควบคุมคุณภาพน้ำแล้วยังสามารถดักจับตะกอนแขวนลอยอยู่ในมวลน้ำได้ดี ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำในบ่อที่ติดตั้งตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จะมีความใสกว่าในบ่อชุดควบคุมซึ่งเป็นสีน้ำตาลขุ่น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำดังแสดงในภาพที่ 4.6 พบว่าในวันที่ 20 ชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 140 mgTSS/L ซึ่งสูงกว่าในบ่อชุดทดลอง T1 และ T2 ที่มีค่าเท่ากับ 20 และ 30 mgTSS/L ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย มาลาพล (2551) ที่พบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งที่ติดตั้งตัวกรองชีวภาพ Biocord™ จะมีปริมาณตะกอนที่แขวนลอยในน้ำน้อยกว่าในบ่อชุดควบคุมซึ่งไม่มีการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และน้ำจะมีความใสมากกว่าบ่อชุดควบคุม

ค่าความเป็นกรดด่าง, ค่าอัลคาไลน์ตี และค่าออกซิเจนละลายน้ำของการทดลองนี้จะอยู่ในช่วง 7.5 – 8, 90 – 140 mgCaCO₃/L และ 4.59 – 6 mg/L ซึ่งความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (http://www.fisheries.go.th/fish_test/knowledge/f_nin/index.-htm) ในส่วนค่าอัลคาไลน์ตีได้ปรับให้มีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 100 mg CaCO₃/L ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิล (Sesuk *et al.*, 2009)



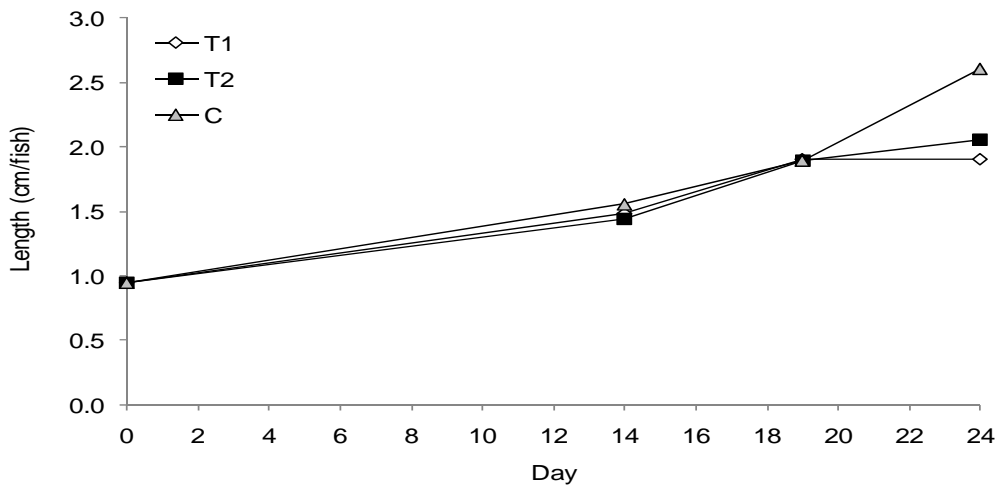
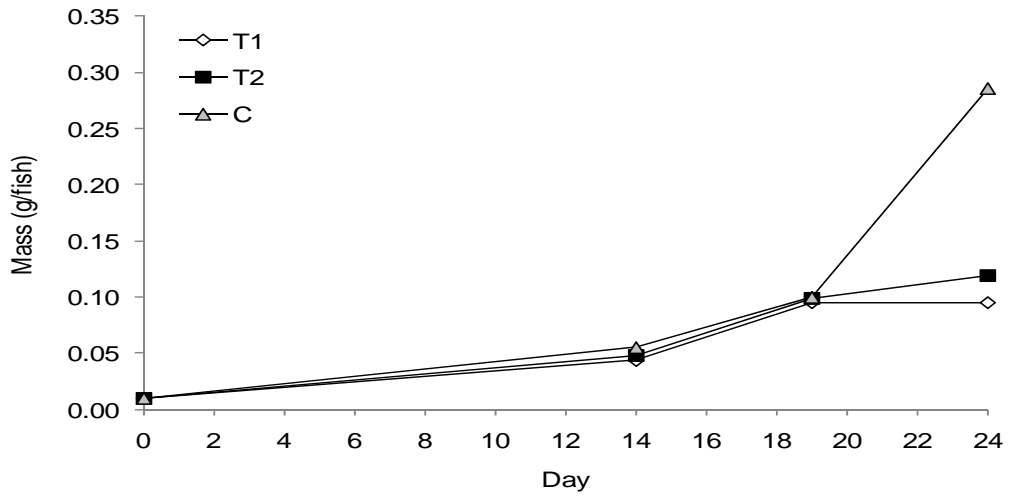
ภาพที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ(T1 และ T2) และในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ (C)ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาขี้อ่อนรอบที่



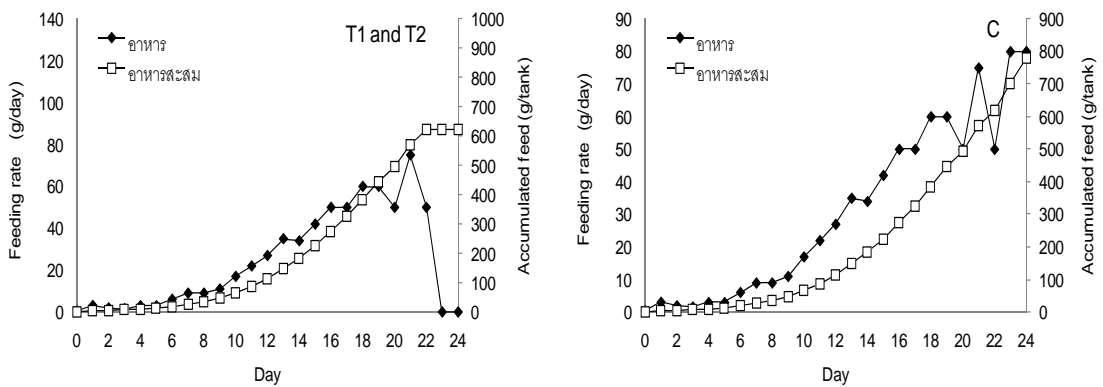
ภาพที่ 4.6 ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (TSS), อัลคาไลน์ตี, อุณหภูมิ, DO และ pH ในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ ↓ แสดงวันที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในบ่อ T1, T2 และ C

4.2.2 การเจริญเติบโตของลูกปลานิลที่ได้จากการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อชุดทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองของลูกปลาวัยอ่อนในบ่อ T1 และ T2 มีค่าเท่ากับ 0.003 และ 0.004 g/day ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Little *et al.* (2003) ที่ทำการอนุบาลลูกปลานิลวัยอ่อนในบ่อดินที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 12 ตัวต่อลิตรเป็นเวลา 30 วัน และพบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.004 และ 0.005 g/day ในส่วนของการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อควบคุม พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.011 g/day ซึ่งสูงกว่าบ่อชุดทดลองเนื่องจากปลาในบ่อชุดทดลองตายได้เป็นจำนวนมากในวันที่ 19 – 22 ทำให้ต้องลดปริมาณอาหารที่ให้ลงเพื่อป้องกันไม่ให้แอมโมเนียในน้ำสูงจนเกินไป แต่ในบ่อชุดควบคุมยังคงมีการให้อาหารในปริมาณเท่าเดิมทำให้ปลาในบ่อควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าบ่อชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.7 น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1



ภาพที่ 4.8 ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ตารางที่ 4.4 อัตราการเจริญเติบโตในบ่อชุดทดลองในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ชุดทดลอง										
วัน	DWG-T1	DWG-T2	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish)		ความยาวเฉลี่ย (cm/fish)		% อัตรารอด		FCR	
	(g/day)	(g/day)	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1			0.01	0.01	0.95	0.95	100	100		
1 - 14	0.002	0.003	0.04	0.05	1.49	1.44				
14 - 19	0.004	0.005	0.10	0.10	1.91	1.90				
19 - 25	0.003	0.004	0.10	0.12	1.92	2.06	0	30	-	6.034

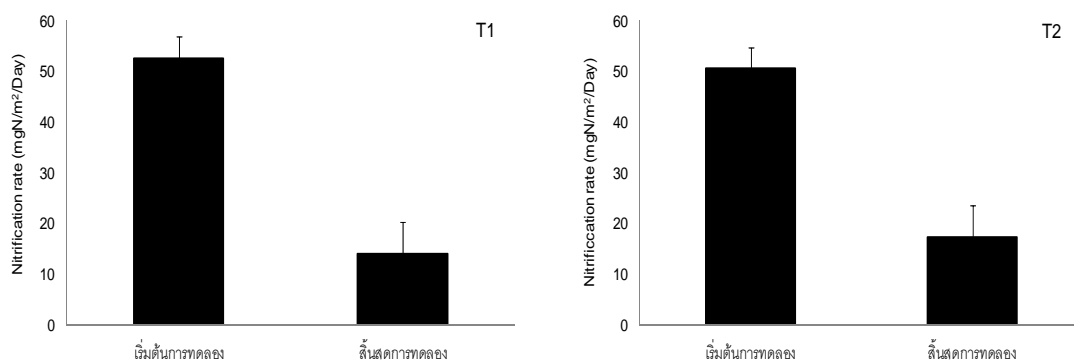
DWG : Daily Weight Gain

ตารางที่ 4.5 อัตราการเจริญเติบโตในบ่อควบคุมในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ชุดควบคุม					
วัน	DWG	น้ำหนักเฉลี่ย	ความยาวเฉลี่ย	% อัตรารอด	FCR
	(g/day)	(g/fish)	(cm/fish)		
1		0.01	0.952	100	
1 - 14	0.003	0.055	1.465		
14 - 20	0.005	0.100	1.905		
20 - 25	0.011	0.286	1.991	80.00	1.029

4.2.3 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพในτριฟิเคชันในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนนั้น ได้มีการนำชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพภายในบ่อชุดทดลองมาทำการตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียตอนเริ่มและจบการทดลอง พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองตัวกรองชีวภาพ Biocord™ มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 52.59 mg N/m²/day แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าอัตราการบำบัดจะลดลงเหลือ 14 และ 17.2 mg N/m²/day ในบ่อ T1 และ T2 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9) การลดลงของอัตราการบำบัดแอมโมเนียคาดว่ามีสาเหตุมาจากการซักทำความสะอาดตัวกรองในวันที่ 20 ซึ่งอาจทำให้แบคทีเรียหลุดไปกับน้ำที่ใช้ทำความสะอาดและการปล่อยให้ตัวกรองแห้งเป็นเวลานานทำให้แบคทีเรียตายลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย มาลาพล (2551) ที่ศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียลดลงหลังจากใช้งานไปทุกๆ 1 เดือน โดยมีการซักทำความสะอาดตัวกรองทุกๆ 2 สัปดาห์ และได้เสนอว่าวิธีการทำความสะอาดตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ว่าควรมีความรวดเร็วและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรีย



ภาพที่ 4.9 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพในตรีฟิเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

4.2.4 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

การประเมินสมดุลไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบและที่มีในวันสุดท้าย ในการทดลองรอบที่ 1 ในบ่อชุดทดลอง T1 และ T2 มีไนโตรเจนจากอาหารเข้าสู่ระบบเท่ากับ 60.64 และ 63 % ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์อาหารปลาและตะกอนแสดงในตารางที่ 4.6 จะใช้สำหรับการประเมินสมดุลไนโตรเจน พบว่ามีไนโตรเจนสะสมในน้ำเข้าเท่ากับ 38.19 และ 35.78 % ตามลำดับ สาเหตุที่มีการสะสมในน้ำเริ่มต้นสูง เนื่องจากการทดสอบระบบเบื้องต้นโดยการเติมแอมโมเนีย ในไนโตรเจนที่เหลือมาจากตัวปลาอีก 1.17 และ 1.22 % ตามลำดับ และจากไนโตรเจนขาออกในวันสุดท้ายของการทดลองไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาเพียง 0 และ 2.18 % ในบ่อ T1 และ T2 ตามลำดับ เนื่องจากเกิดปลาตายขึ้น และมีไนโตรเจนสะสมในน้ำเท่ากับ 65.57 และ 72.81 % ตามลำดับ และมีไนโตรเจนที่สูญหายไปและหาค่าไม่ได้อีก 34.03 และ 25.02 % ตามลำดับ

ในส่วนของบ่อชุดควบคุมพบว่าไนโตรเจนในอาหารปลาที่เข้าสู่ระบบมีสัดส่วน 91 % และอีก 9 % จะอยู่ในตัวปลาและในน้ำ สำหรับไนโตรเจนขาออกพบว่าการเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาถึง 25.4 % ไนโตรเจนสะสมในน้ำเท่ากับ 64.74 % และมีไนโตรเจนที่สูญหายไปและหาค่าไม่ได้อีก 9.83 %

จากการประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบพบว่า เนื่องจากการตายของปลาเกิดขึ้นและไม่มีการนำปลาที่ตายซึ่งน้ำหนักไว้ จึงทำให้การประเมินสมดุลมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมากกว่าที่ควรจะเป็น แต่จากผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนยังไม่มี ความเหมาะสมเนื่องจากมีไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาที่ต่ำทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำ และไนโตรเจนขาออกจะสะสมอยู่ในน้ำในปริมาณที่สูงทั้งในบ่อชุดทดลองและบ่อควบคุม ดังนั้นการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำจึงมีความจำเป็น ที่จะต้องปรับปรุงสำหรับการออกแบบระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในโรงเรือน (Avnimelech., 2006; Crab *et al.*, 2007)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนในตะกอนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN/O Analyzer

ตัวอย่าง	Average %N \pm SD
ปลาป่น	9.24 \pm 0.2
อาหารกุ้ง	6.61 \pm 0.23
ตะกอนปลาเล็ก	4.98 \pm 0.15
ตะกอนปลาใหญ่	5.44 \pm 0.07

ตารางที่ 4.7 สมดุลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (T1, T2) และชุดควบคุม (C) ในวันที่ 24 ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

ไนโตรเจนขาเข้า	gN			% N		
	T1	T2	C	T1	T2	C
อาหาร	49.62	49.62	78.42	60.64	63.00	90.81
ปลานิล	0.96	0.96	0.96	1.17	1.22	1.11
น้ำ (TDIN*)	31.25	28.19	6.98	38.19	35.78	8.08
รวม	81.83	78.77	86.36	100	100	100

ไนโตรเจนขาออก	gN			% N		
	T1	T2	C	T1	T2	C
ปลานิล	0.00	1.71	21.96	0.00	2.18	25.43
น้ำ (TDIN*)	53.66	57.35	55.91	65.57	72.81	64.74
อื่นๆ	28.17	19.71	8.49	34.43	25.02	9.83
รวม	81.83	78.77	86.36	100	100	100

* Total dissolved inorganic nitrogen เป็นผลรวมของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรต

4.3 การประเมินประสิทธิภาพระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือน (การทดลองรอบที่ 2)

ตารางที่ 4.8 ปัญหาที่พบในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และแนวทางการปรับปรุง

ปัญหาที่พบ	แนวทางการปรับปรุงระบบ
การเลี้ยงปลาในกระชังที่มีขนาดรูกระชังเล็กอาจทำให้เกิดการอุดตันจากเศษอาหารและตะกอนได้ง่าย และยังทำให้เกิดการสะสมของตะกอนใต้กระชังซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดของเสียเช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	การเลี้ยงในบ่อเพาะเลี้ยงโดยตรงทำให้ปลาสามารถบริโภคอาหารได้อย่างทั่วถึงช่วยลดการสะสมของตะกอนก้นบ่อ
ตะกอนที่มาจากอาหารหรือจากของเสียที่ปลาขับถ่ายจะยึดเกาะบนพื้นผิวตัวกรองทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์บนพื้นผิวของตัวกรอง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	แยกระบบบำบัดไนตริฟิเคชันออกจากบ่อเลี้ยงโดยมีการติดตั้งระบบแยกตะกอนก่อนการบำบัดซึ่งจะช่วยลดปัญหาการยึดเกาะของตะกอนบนพื้นผิวของตัวกรอง
การซักตัวกรองอาจเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพต่ำลงหรือการเคลื่อนไหวของตัวกรองอาจทำให้ของเสียไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สะสมอยู่บนพื้นผิวตัวกรองฟุ้งกระจายในมวลน้ำ	การติดตั้งระบบแยกตะกอนช่วยให้ไม่ต้องมีการทำความสะอาดตัวกรอง
น้ำในบ่อเลี้ยงอาจหมุนวนไม่เพียงพอซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้น้ำได้รับออกซิเจนไม่ทั่วถึงและเกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ลงบนพื้นบ่อซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	ติดตั้งปั้มน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อให้เกิดการหมุนวนของน้ำภายในบ่อและยังช่วยจัดระเบียบการว่ายน้ำของปลาในบ่อเลี้ยงได้ดีขึ้นทำให้ปลาไม่เกิดความเครียด (Timmons <i>et al.</i> , 2002)
การให้ออกซิเจนด้วยหัวทรายพ่นอากาศในบ่อเลี้ยงโดยตรงอาจทำให้ลูกปลาวัยอ่อนเกิดความเครียดเนื่องจากฟองอากาศและอาจทำให้แบคทีเรียได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอเนื่องจากออกซิเจนบางส่วนต้องใช้ในการหายใจของปลา	การให้ออกซิเจนเฉพาะในถังบำบัดไนตริฟิเคชันช่วยลดปัญหาการได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย และทำให้ปลาวัยอ่อนไม่เกิดความเครียดจากฟองอากาศ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบลักษณะระบบการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และรอบที่ 2

	การอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1	การอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2
บ่อเลี้ยง	กระชังในลอนตาถึงขนาดความจุ 320 L (0.8 x 0.8 x 0.5 m) ในบ่อขนาดความจุ 2,000 L	ถังพลาสติก (polyethylene) ขนาดความจุน้ำ 450 L
ระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน	ติดตั้งภายในบ่อเลี้ยงโดยนำตัวกรองชีวภาพ Biocord™ มัดกับตระแกรงพลาสติกและถ่วงให้จมน้ำด้วยอิฐ	แยกเป็นถังบำบัดไนตริฟิเคชันบรรจุ น้ำ 150 L โดยนำตัวกรองชีวภาพมัดด้วยท่อ PVC ใส่ไว้ภายในถัง
ความยาวตัวกรอง Biocord™ (m)	30	10
ระยะเวลาที่เก็บน้ำของบ่อเลี้ยง (h)	-	0.94
ระยะเวลาที่เก็บน้ำของระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (h)	-	0.31
ระบบแยกตะกอน	-	ผ้ากรองในลอนขนาดรูพรุน 104 μm

4.3.1 ผลการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนของตัวกรองชีวภาพในระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

หลังจากปรับปรุงรูปแบบการทดลองพบว่าตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในระดับต่ำกว่า 1 mg N/L และมีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 12 จากนั้นพบว่าเริ่มมีการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้นและมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 3.18 ± 1.1 ในวันที่ 13 (ภาพที่ 4.10) ด้วยเหตุนี้จึงทำการลดปริมาณอาหารลงในวันที่ 14 และ 15 (ภาพที่ 4.13) การสะสมของไนไตรท์คาดว่ามีส่วนมาจากการที่ผ้ากรองตันอย่างรวดเร็วทำให้น้ำล้นออกจากระบบกรองตะกอนและตะกอนในน้ำล้นเข้าไปยึดเกาะบนพื้นผิวตัวกรองทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียลดลงและเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนผ้ากรองใหม่ในวันที่ 18 ของการทดลองและพบว่า การเปลี่ยนผ้ากรองช่วยให้ระบบ

กลับมาสู่ปกติได้อีกครั้ง และสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 1 mg N/L ได้จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.10)

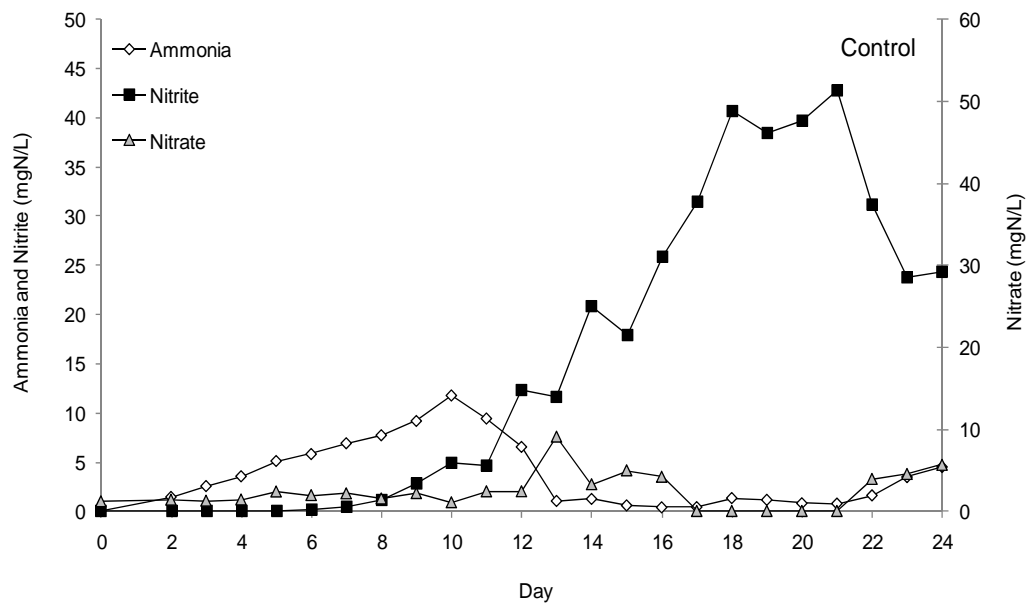
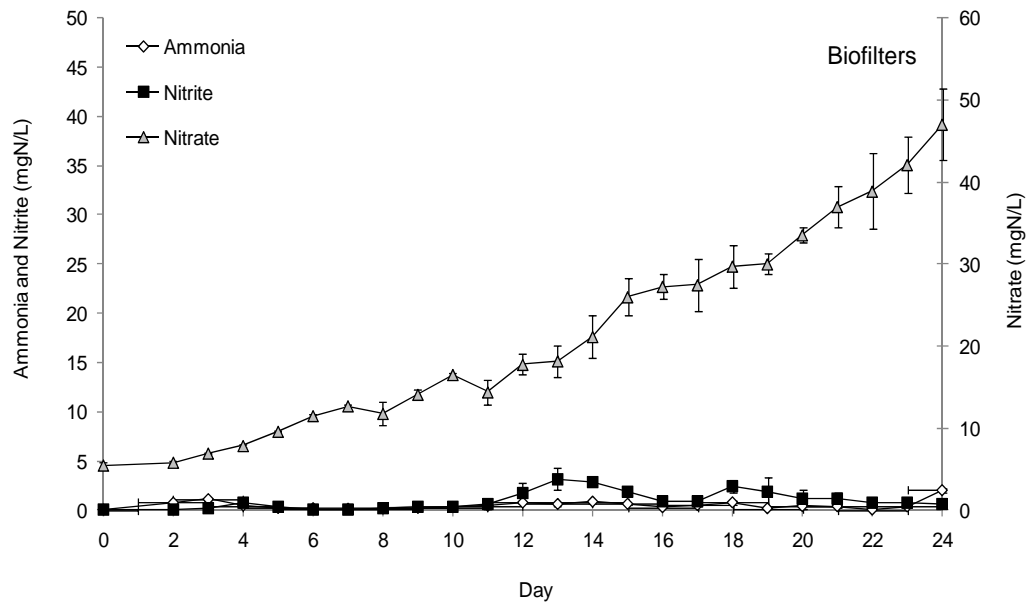
สำหรับคุณภาพน้ำในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพนั้นแตกต่างจากชุดทดลองอย่างชัดเจน โดยพบการสะสมของแอมโมเนียตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 13 โดยมีค่าสูงสุดถึง 11.8 mg N/L ในวันที่ 10 ของการทดลอง จากการศึกษาของ Hegazi และ Hasanein (2010) พบว่าการสะสมของแอมโมเนียที่สูงกว่า 2.5 mg N/L จะทำให้อัตรการเจริญเติบโตของปลานิลลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่าปลานิลในบ่อควบคุมที่มีการสะสมของแอมโมเนียสูงจะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าในบ่อชุดทดลอง (ตารางที่ 4.12 – 4.13) นอกจากนี้ยังพบการสะสมของไนไตรท์สูงถึง 43 mg N/L ในวันที่ 21 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 22 ซึ่งความเข้มข้นของไนไตรท์เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 24.3 mg N/L และหลังจากวันที่ 22 ยังพบการสะสมของไนเตรด โดยค่าสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ที่ 5 mg N/L จากการศึกษาโดยของมะลิวัลย์ คุตะโคและคณะ (2550) ได้ระบุอย่างชัดเจนว่าการสะสมของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีดินก้นบ่อเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพที่จะป้องกันการสะสมของไนไตรท์ภายในบ่อจะขึ้นอยู่กับการจัดการและดูแล (เอกชัย มาลาพล, 2551) ในการทดลองนี้มีการติดตั้งระบบแยกตะกอนซึ่งจะช่วยแยกตะกอนในมวลน้ำไม่ให้สะสมบนพื้นผิวของตัวกรอง ทำให้ระบบสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามรูปแบบของระบบแยกตะกอนยังไม่เหมาะสมเนื่องจากฝากรองที่ใช้มีขนาดรูพรุนเล็กอีกทั้งอาหารที่ให้อย่างเป็นอาหารป่น ทำให้เกิดการอุดตันในรูพรุนได้ง่าย

ในส่วนของฝากรองตะกอน (Plankton net) ขนาดรูพรุน 104 μm สามารถแยกตะกอนแขวนลอยในน้ำได้ดี ภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของฝากรองตะกอนในการดักจับตะกอนที่แขวนลอยในมวลน้ำ ซึ่งในบ่อชุดทดลองที่มีการติดตั้งฝากรองตะกอนจะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำน้อยกว่าในบ่อชุดควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งฝากรองตะกอน แต่เมื่อมีการใช้ฝากรองไประยะหนึ่งฝากรองจะอุดตันด้วยตะกอนทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับตะกอนลดลง ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยในน้ำล้นออกจากฝากรองและติดอยู่ที่พื้นผิวของตัวกรองชีวภาพ Biocord™ โดยสังเกตจากสีของตัวกรองที่เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นทั้งฝากรองตะกอนและตัวกรองชีวภาพ Biocord™ สามารถดักจับตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำไปพร้อมกัน (เอกชัย มาลาพล, 2551) และจากการให้อาหารซึ่งมีโปรตีน 40 – 50 % ในการทดลองนี้และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลา 24 วัน หลังจากเริ่มการทดลองได้เพียง 2 วัน พบว่าสีของน้ำภายในบ่อเลี้ยงเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน หลังจากจบการทดลองที่ 24 วัน ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดภายในบ่อควบคุม

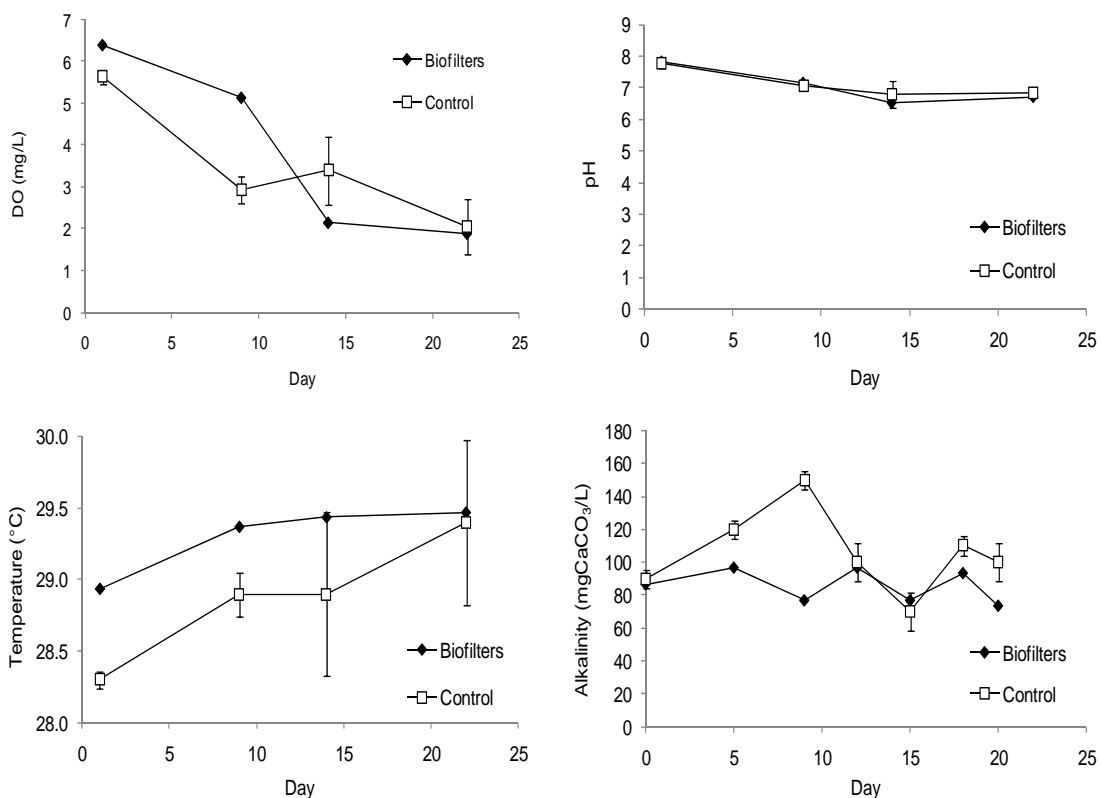
วัดได้เท่ากับ 140 mgTSS/L ซึ่งมากกว่าบ่อชุดทดลองประมาณ 5 เท่า ซึ่งปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังชุดทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 mgTSS/L (ภาพที่ 4.12)

สำหรับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) พบว่ามีค่าต่ำลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดความความเสี่ยงในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Timmons *et al.*, 2002; Popma and Lovshin., 1995) ซึ่งในวันที่ 22 ค่า DO เท่ากับ 1.89 ± 0.65 และ 2.05 mg/L (ภาพที่ 4.11) การลดลงของค่า DO เกิดจากการเจริญเติบโตของพืชน้ำซึ่งทำให้ต้องการปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจสูงขึ้น (Popma and Lovshin, 1995) และเมื่อค่า DO ต่ำลงจะทำให้การทำงานของไนโตรเจนไฟอิงแบคทีเรียแบคทีเรียต่ำลงเช่นกัน (Suhr and Pedersen, 2010) จึงทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนที่ขึ้นซึ่งค่า DO ที่ต่ำกว่า 0.5 mg/L สามารถยับยั้งการทำงานของไนโตรเจนไฟอิงแบคทีเรียได้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) นอกจากนี้ยังมีการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์บางชนิดในน้ำทำให้ค่า DO ลดลง (Avnimelech, 1999; Rivett *et al.*, 2008)

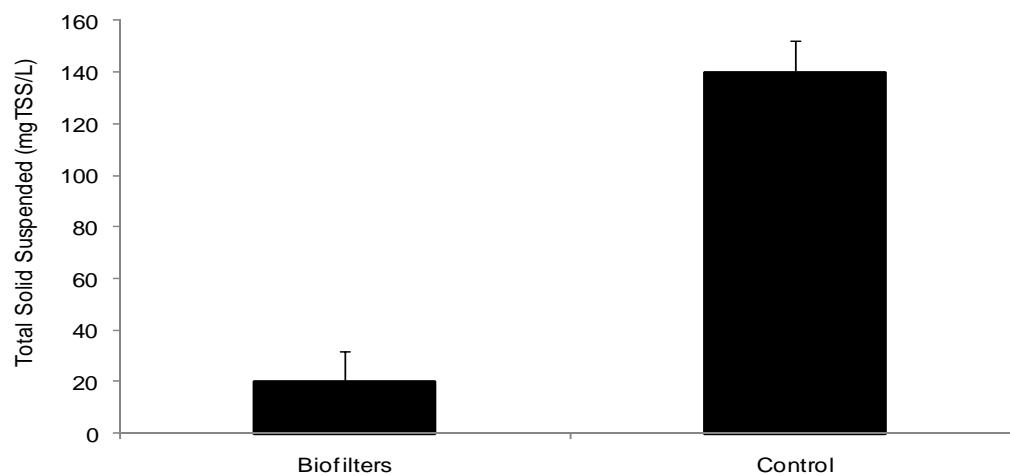
ค่าความเป็นกรดค่า (pH) ของการทดลองนี้ทั้งในบ่อชุดทดลองและชุดควบคุม จะอยู่ในช่วง 6.5 - 8 ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Timmons *et al.*, 2002) ค่าอัลคาไลน์ได้มีการปรับให้ค่าอยู่ที่ประมาณ 100 mg CaCO₃/L ด้วยการเติมด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นระยะ เนื่องจากไนโตรเจนไฟอิงแบคทีเรียจะมีการใช้คาร์บอนในแหล่งน้ำในการสังเคราะห์เซลล์จึงทำให้ค่าอัลคาไลน์ต่ำลง (Avnimelech, 1999; Van Rijn. *et al.*, 2006; Neori *et al.*, 2007) และอุณหภูมิในการทดลองจะอยู่ในช่วง 28.2 - 29.4 °C ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงพืชน้ำ (Popma and Lovshin., 1995)



ภาพที่ 4.10 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และชุดควบคุม (Control) ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ



ภาพที่ 4.11 ค่าอัลคาไลน์ตี, อุณหภูมิ, DO และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกปลา
วัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2



ภาพที่ 4.12 ปริมาณตะกอนแขวนลอย (TSS) ในน้ำของบ่อชุดทดลองและชุดควบคุมในวันสุดท้าย
ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

4.3.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของลูกปลานิลที่ได้จากการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

เมื่อจบการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของลูกปลามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในบ่อชุดทดลองและชุดควบคุมจนถึงวันที่ 24 พบว่าลูกปลาในบ่อชุดทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าลูกปลาในบ่อชุดควบคุมอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4.12 และ 4.13) และจากผลของการสุ่มตัวอย่างลูกปลาในวันที่ 24 พบว่าในบ่อชุดทดลองจะมีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 0.287 ± 0.013 g และลูกปลาในบ่อชุดควบคุมมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ตัวละ 0.196 g ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.14) อัตราการรอดชีวิตในวันสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 84.81 ± 0.62 และ 84.56 % ในบ่อชุดทดลองและชุดควบคุมตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกัน

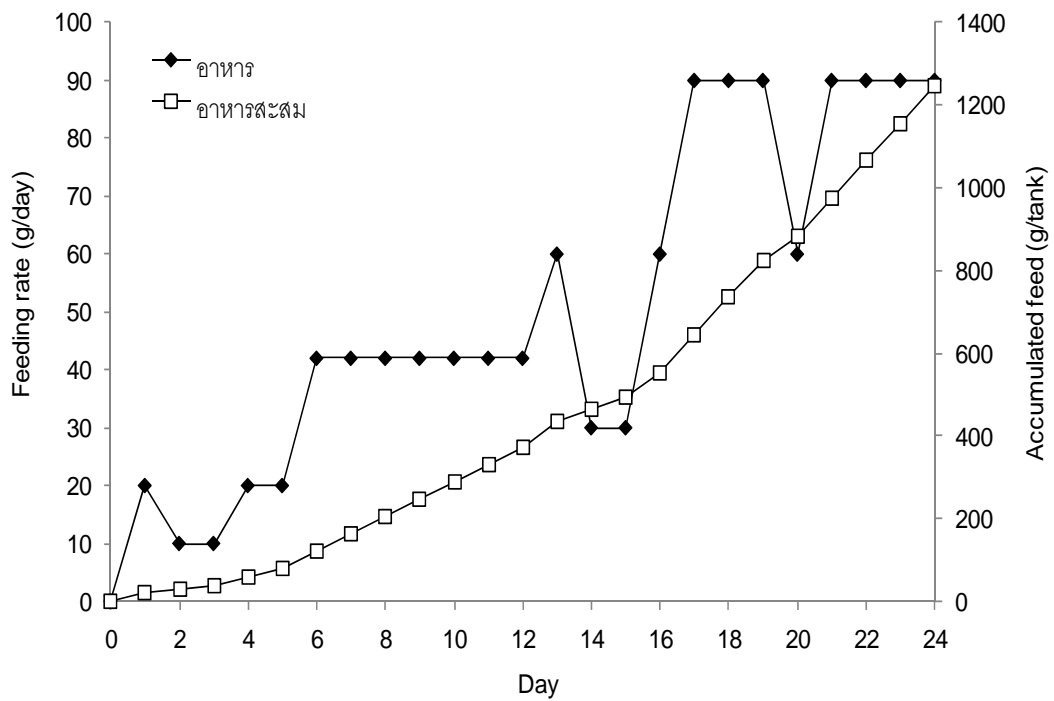
การทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในรอบที่ 2 นี้ จัดว่าเป็นการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนที่ความหนาแน่นเหมาะสม (Popma and Lovshin, 1995; Little *et al.*, 2003) เทียบเท่ากับการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในกระชังบ่อดินในประเทศไทยในปัจจุบันซึ่งใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน (เรณู ว่องส่งสาร และ นพรัตน์ อยู่รุ่ง, 2549; Little *et al.*, 2003) และจากการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากรายงานอื่นๆที่เป็นการเลี้ยงในกระชังบ่อดินและการทดลองรอบที่ 1 (ตารางที่ 4.11) พบว่าการศึกษาคั้งนี้ จะเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงกว่าการเลี้ยงในกระชังบ่อดินอย่างชัดเจน โดยในกระชังบ่อดินจะเลี้ยงที่ความหนาแน่นต่อระบบเท่ากับ 0.67 fish/L ขณะที่ในการทดลองนี้เลี้ยงที่ 9 fish/L และความหนาแน่นต่อกระชังเท่ากับ 5 fish/L ขณะที่ในการทดลองนี้เท่ากับ 12 fish/L ซึ่งเป็นความหนาแน่นต่อบ่อเลี้ยง (450L) อีกทั้งยังให้อัตรารอดของปลาเท่ากับ 84.81 ± 0.62 % ซึ่งสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในกระชังบ่อดินและการทดลองรอบที่ 1 ที่มีอัตรารอดเท่ากับ 0 – 30 % และ 75 % ตามลำดับ ในส่วนของค่า FCR การทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.947 ± 0.037 ใกล้เคียงกับการเลี้ยงในกระชังที่มีค่า FCR ประมาณ 1 ในส่วนของอัตราการเจริญเติบโตการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.011 ± 0.012 g/day ใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงในกระชังบ่อดินที่มีค่าเท่ากับ 0.013 g/day

ดังนั้นระบบอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 นี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือน เนื่องจากให้สามารถเลี้ยงได้ในความหนาแน่นที่สูง อีกทั้งยังให้ผลผลิตที่สูง และค่า FCR ต่ำ

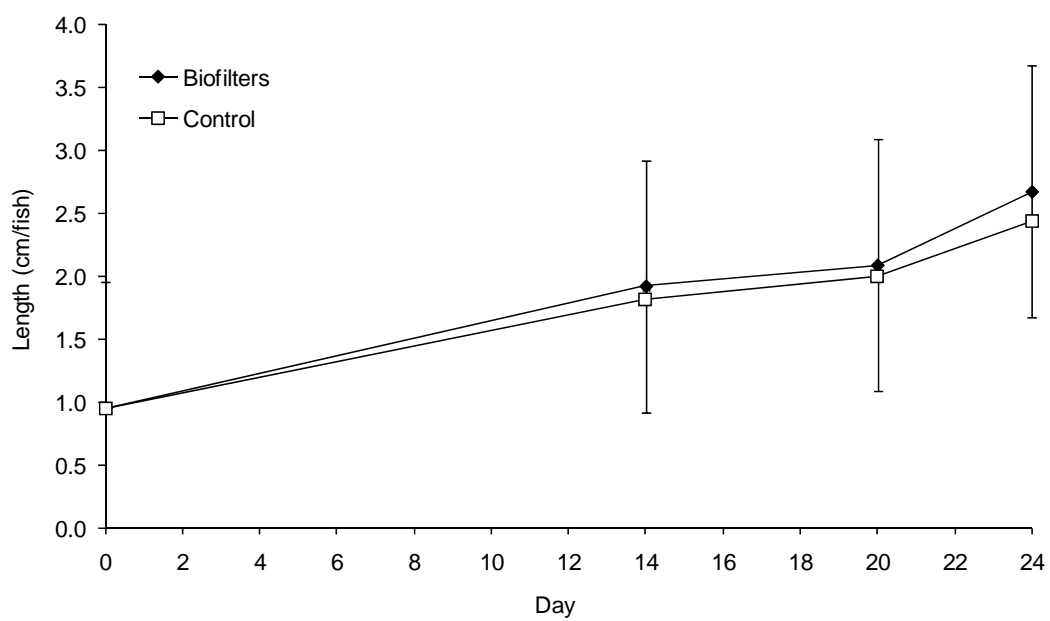
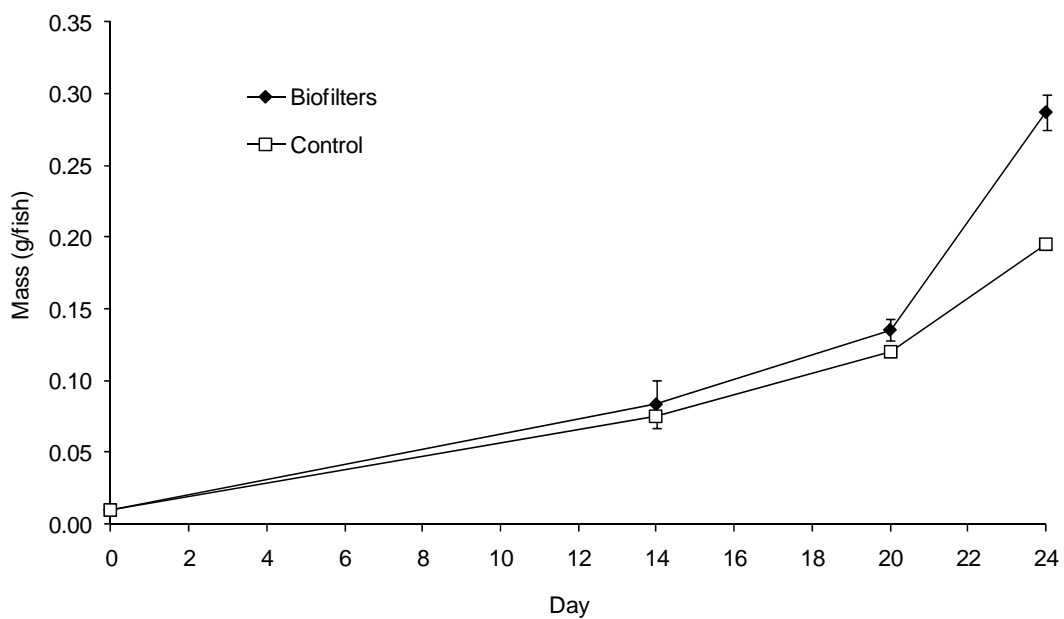
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 ในโรงเรือนกับการเพาะเลี้ยงในกระชังบ่อดินของมานิตย์ฟาร์ม (อมร เหลืองนฤมิตชัย, สัมภาษณ์, 14 เมษายน 2553)

ลักษณะทั่วไป	มานิตย์ฟาร์ม	การทดลองรอบที่ 1	การทดลองรอบที่ 2
	กระชังบ่อดิน	กระชังในโรงเรือน	บ่อในโรงเรือน
ปริมาณน้ำในบ่อเลี้ยงทั้งหมด (L)	3360000	2000	600*
ขนาดกระชัง	3 x 1.5 x 0.7 m	0.8 x 0.8 x 0.5 m	-
ปริมาตรกระชัง (L)	3150	320	450**
จำนวนกระชัง	150	1	1***
ความหนาแน่นต่อระบบ (fish/L)	0.67	2	9
ความหนาแน่นต่อกระชัง (fish/L)	5	12	12****
ระยะเวลาการเลี้ยง	22	24	24
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (g/fish)	0.01	0.01	0.01
น้ำหนักปลาสิ้นสุด (g/fish)	0.3	0.1 - 0.12	0.287 ± 0.013
% รอด	75	0 - 30 %	84.81 ± 0.62
ปริมาณอาหาร (% ของน้ำหนักปลา)	15 - 30	15 - 30	15 - 30
FCR	1	6.034	0.947 ± 0.037
% โปรตีนในอาหาร	50	50	40 - 50
อัตราการเจริญเติบโต (g/day)	0.013	0.003 - 0.004	0.011 ± 0.012

* ปริมาณน้ำในถังอนุบาลรวมกับในถังบำบัดไนตริไฟเคชัน, **ปริมาตรถังอนุบาลลูกปลา, ***จำนวนถังอนุบาลลูกปลา, ****ความหนาแน่นต่อถังอนุบาลลูกปลา (450 L)



ภาพที่ 4.13 ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 โดยในบ่อชุดทดลอง และชุดควบคุมมีการให้อาหารในปริมาณเท่ากัน



ภาพที่ 4.14 น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

ตารางที่ 4.11 อัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อชุดทดลองในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

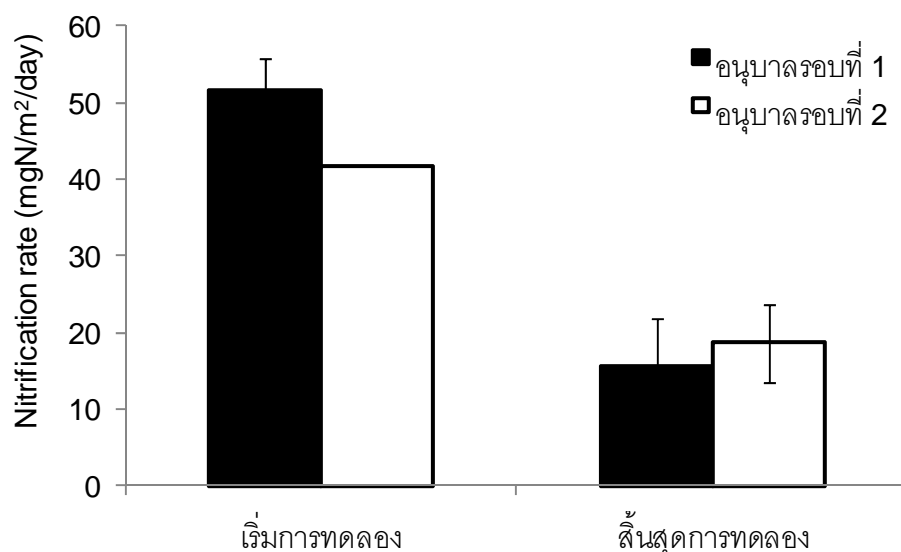
วัน	ชุดทดลอง				FCR
	DWG (g/day)	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish)	ความยาวเฉลี่ย (cm/fish)	% อัตราการรอด	
1		0.01	0.952	100	
1 - 14	0.005 ± 0.016	0.084 ± 0.016	1.92 ± 0.089		
14 - 20	0.006 ± 0.008	0.136 ± 0.008	2.09 ± 0.025		
20 - 24	0.011 ± 0.012	0.287 ± 0.013	2.67 ± 0.013	84.81	0.947 ± 0.037

ตารางที่ 4.12 อัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อชุดควบคุมในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

วัน	ชุดควบคุม				FCR
	DWG (g/day)	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish)	ความยาวเฉลี่ย (cm/fish)	% อัตรารอด	
1		0.01	0.952	100	
1 - 14	0.005	0.076	1.820		
14 - 20	0.006	0.120	2.000		
20 - 24	0.007	0.196	2.440	84.56	1.394

4.3.3 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพในกรณีพิเศษในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

ในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนนั้นได้มีการนำชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพภายในบ่อชุดทดลองมาทำการตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียตอนเริ่มและจบการทดลอง พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่าตัวกรองชีวภาพมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 41.76 mgN/m²/day ต่อมาพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพลดลงเป็น 18.67 ± 5.15 mgN/m²/day เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลา 24 วัน ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียลดลงเนื่องมาจากการอุดตันในส่วนของผ้ากรอง ทำให้น้ำล้นเข้าสู่ถังบำบัดไนตริฟิเคชันและตะกอนจากน้ำล้นยัดเกาะบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพ



ภาพที่ 4.15 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และ 2

4.3.4 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

ในการทดลองอนุบาลลูกปลารอบที่ 2 นี้ได้มีการปรับปริมาณอาหารที่ให้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการอนุบาลลูกปลารอบที่ 1 อีกทั้งมีการปรับเปลี่ยนชนิดอาหารที่ให้ โดยจะให้อาหารปลาปนที่มีปริมาณโปรตีน 50 % ใน 4 วันแรกของการทดลอง จากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็นอาหารกุ้งเบอร์ศูนย์ซึ่งเป็นอาหารกุ้งปนที่มีปริมาณโปรตีน 40 % ในวันต่อมาจนสิ้นสุดการทดลอง ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากการให้อาหารของการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 80.26 gN/tank และคิดเป็น 94.55 % ในบ่อชุดทดลอง ซึ่งมีรายงานวิจัยพบว่าปริมาณโปรตีนในเนื้อปลานิลมีค่าเท่ากับ 15 g/น้ำหนักเปียก 100 g (Abdel-Tawwab *et al.*, 2010) และปริมาณไนโตรเจนในตะกอนปลาเล็กคังแสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อนำมาใช้ในการประเมินสมดุลไนโตรเจนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในอาหารในบ่อชุดทดลองเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของลูกปลานิลมีค่าสูงถึง 37.2 % ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Abdel-Tawwab ในปี 2010 พบว่าในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนที่มีปริมาณโปรตีนในอาหาร 25 % ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของลูกปลานิลเท่ากับ 35.95 % และมีส่วนประกอบของไนโตรเจนในน้ำ (TDN) ที่เป็นผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (TDIN) และสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (TDON) (Bronk *et al.*, 2000) จากการทดลองนี้ได้ตรวจวัดปริมาณ TDN และ TDIN ที่สะสมในน้ำได้เท่ากับ 31.69 และ 30.15 % ตามลำดับ และจากตะกอนที่แขวนลอยในน้ำ 0.71 % และอื่นๆที่ไม่สามารถหาค่าได้อีก 28.37 % อีกทั้งยังมีการนำฝ้ายกรองที่มีตะกอนสะสมอยู่ นำมาอบแห้งและชั่งน้ำหนักตะกอนที่แยก

ได้ เพื่อนำมาประเมินสมมูลไนโตรเจน พบว่าระบบแยกตะกอน (Plankton net) สามารถแยกไนโตรเจนออกจากระบบได้เท่ากับ 2.2 ± 0.16 gN หรือ 2.61 %

ส่วนในชุดควบคุมจะมีเพียง 26.03 % ที่เปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของลูกปลานิล (Avnimelech, 2006; Crab *et al.*, 2007; Avnimelech, 1999; Sesuk *et al.*, 2009) ที่เหลือจะเป็นไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ 15.33 % ในของแข็งแขวนลอยในน้ำ 3.71 % และอื่นๆที่สูญหายและหาค่าไม่ได้อีก 59.34 %

จากการประเมินสมมูลไนโตรเจนจากการทดลอง พบว่าระบบอนุบาลลูกปลาที่ออกแบบขึ้นจะทำให้ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาได้สูงถึง 37.33 % และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในน้ำพบว่าในบ่อทดลองมีไนโตรเจนสูงกว่าในบ่อควบคุมถึงเท่าตัว อีกทั้งในบ่อควบคุมยังมีไนโตรเจนที่สูญหายและหาค่าไม่ได้อีก 59.34 % คาดว่าปริมาณไนโตรเจนที่สูญหายเกิดจากการระบวนการดีไนตริฟิเคชันจากการสะสมของตะกอนก้นบ่อ ซึ่งสังเกตจากปริมาณไนโตรเจนในตะกอนของบ่อควบคุมเท่ากับ 3.71 % สูงกว่าบ่อทดลองที่มีค่าเท่ากับ 0.71 % ทำให้ไนโตรเจนบางส่วนออกไปจากระบบในรูปของก๊าซไนโตรเจน และเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบ (มุกิตา วุฒิกัมพล, 2546)

ตารางที่ 4.13 สมดุลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพและชุดควบคุมในวันที่ 25 ของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

ไนโตรเจนขาเข้า	gN		% N	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
อาหาร	80.26	80.26	94.55	97.50
ปลานิล	1.296	1.296	1.53	1.57
น้ำ (TDIN)**	3.33 ± 0.219	0.76	3.92	0.93
รวม	84.88	82.32	100	100

ไนโตรเจนขาออก	gN		% N	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
ปลานิล	31.58 ± 1.25	21.42	37.33	25.33
น้ำ (TDIN)**	25.5 ± 0.21	10.78	30.15	12.75
น้ำ (TDN)***	26.81 ± 1.18	12.96	31.69	15.33
ตะกอน (Plankton net)*	2.2 ± 0.16	0	2.61	0.00
ตะกอน (น้ำ)	0.6 ± 0.6	3.14	0.71	3.71
อื่นๆ	23.99	50.19	28.37	59.34
รวม	84.88	82.32	100	100

*ปริมาณไนโตรเจนในตะกอนที่แยกได้จากระบบฟ้กรองแยกตะกอน, **Total dissolved inorganic nitrogen (TDIN), ***Total dissolved nitrogen (TDN) (TDN = TDIN + TDON; TDON = Total dissolved organic nitrogen)

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

การทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนนี้ ใช้บ่อทดลองเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 4.2 แต่ไม่มีกระชังเลี้ยงปลาภายในบ่อ บรรจุตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ความยาว 20 เมตร ต่อบ่อไว้ภายใน

4.4.1 ผลการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนของตัวกรองชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง T1 และ T2 ที่มีระบบบำบัดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันพบว่าในระหว่างสองสัปดาห์แรกของการทดลองจะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่า 1 mgN/L แต่ปริมาณไนโตรเจนยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันยังไม่สมบูรณ์ โดยพบปริมาณไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 5.65 ± 0.43 mgN/L ในสัปดาห์แรก (ภาพที่ 4.15) หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนที่ได้กลับมามีค่าต่ำกว่า 1 mgN/L หลังจากทดลองไปได้ 2 สัปดาห์ พบว่าตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในบ่อชุดทดลอง T1 และ T2 มีความสกปรกมาก เนื่องมาจากการสะสมของตะกอนจากอาหารปลาและมูลของปลานิล จึงได้มีการล้างทำความสะอาดตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ทุกสัปดาห์ โดยเตรียมน้ำที่จะใช้ทำความสะอาดให้มีความเค็มในน้ำ เท่ากับความเค็มของน้ำภายในบ่อเลี้ยง ทำการฉีดล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง (ภาพที่ 4.22) ซึ่งหลังจากการทำความสะอาดพบว่าตัวกรองยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีในการบำบัดแอมโมเนีย (เอกชัย มาลาพล, 2551; Sesuk *et al.*, 2009) โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงในการฉีดล้างทำความสะอาดตัวกรอง จากนั้นในวันที่ 32 ของการทดลองได้ทำการซักรตัวกรอง Biocord™ ด้วยน้ำประปาพบว่าในบ่อ T1 และ T2 มีฟองเกิดขึ้นภายในบ่อเลี้ยงปริมาณมาก และปลาไม่กินอาหาร จึงหยุดให้อาหารในบ่อ T1, T2 และ C และหยุดการซักรตัวกรองชีวภาพ Biocord™ เพื่อรอให้ระบบกลับสู่สภาพปกติ ระหว่างนั้นพบปลาตายเกิดขึ้นในบ่อ T1 จำนวนมาก และระบบในบ่อ T2 ยังควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนได้ในระดับที่ต่ำกว่า 1 mgN/L หลังจากนั้นในวันที่ 39 จึงเริ่มกลับมาให้อาหารปลาในบ่อ T2 และ C เนื่องจากระบบในบ่อ T2 เริ่มกลับสู่สภาพปกติ แต่ยังคงหยุดให้อาหารในบ่อ T1 เนื่องจากปลายังคงไม่กินอาหารและเริ่มกลับมาให้อาหารในบ่อ T1 ในวันที่ 45 หลังจากเริ่มให้อาหารในบ่อ T1 และ T2 พบว่าบ่อ T2 สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 1 mgN/L ได้และมีการสะสมของปริมาณไนเตรตเกิดขึ้น แต่ในบ่อ T1 ยังคงมีปริมาณไนโตรเจนสะสม โดยในวันที่ 41 มีปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 7.42 mgN/L จากนั้นในวันที่ 51 ของการทดลองได้นำตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ในบ่อ T1 และ T2 ออกมาซักด้วยน้ำที่เตรียมไว้ พบว่าปริมาณแอมโมเนียในบ่อ T1 มีการสะสมเกิดขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 26.97 mgN/L ในวันที่ 61 ของการทดลอง

ในวันที่ 49 ของการทดลองได้ติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวเข้ากับบ่อ T1 พบว่าในวันที่ 51 เกิดการอุดตันของตะกอนขึ้นในท่อยาวทำให้น้ำไม่ไหลออกจากท่อยาว จึงทำการหยุดระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวและเปลี่ยนถ่ายน้ำในท่อยาว ซึ่งพบว่ามิกลินของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นในท่อยาว และหลังจากหยุดระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวพบว่าเกิดการลดลงของปริมาณไนเตรตขึ้นในบ่อ T1 สาเหตุคาดว่าเนื่องจากระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวเริ่มมีการอุดตันด้วยตะกอนตั้งแต่วันแรกของการติดตั้งระบบท่อยาวในบ่อ T1 โดยสังเกตจากอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากท่อยาวพบว่าม้ออัตราการไหลที่ช้าลง ซึ่งอาจทำให้มีการสะสมของเมธานอลในมวลน้ำในท่อยาวสูง และเมื่อน้ำจากท่อยาวไหลกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงจึงทำให้มีเมธานอลปนเปื้อนมากับน้ำสูง ส่งผลให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นภายในบ่อเลี้ยง T1 ในจุดที่ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ โดยปริมาณไนเตรตจาก 26.58 mgN/L ในวันที่ 49 ลดลงเหลือ 4.93 mgN/L ในวันที่ 63 ของการทดลอง

จากนั้นในวันที่ 54 ของการทดลองซึ่งมีปริมาณไนเตรตในบ่อ T2 เท่ากับ 55.89 mgN/L ได้ทำการต่อระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวเข้ากับบ่อ T2 โดยมีการติดตั้งคอลัมน์น้ำล้นเพื่อเป็นการกรองน้ำให้มีตะกอนน้อยลงก่อนที่จะสูบน้ำเข้าสู่ท่อยาวเพื่อป้องกันการอุดตันของตะกอนในท่อยาวจากการเดินระบบท่อยาวพบว่าปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มลดลงจนเหลือ 5.88 mg N/L ในวันที่ 67 และไม่พบการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้น โดยค่า ORP จะอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 mV ดังแสดงในภาพที่ 4.16

จากการทดลอง คาดว่าสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของตัวกรอง Biocord™ ในบ่อ T1 ลดลง และใช้เวลานานในการกลับสู่สภาพปกติ มาจากตัวกรองที่มัดกับตะแกรงทรงสามเหลี่ยมในบ่อ T1 มีปริมาณมากและแน่นหนาว่าในบ่อ T2 (ภาพที่ 4.22) จึงทำให้การฉีดล้างทำความสะอาดไม่ทั่วถึงส่งผลให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์บนพื้นผิวของตัวกรองและทำให้ประสิทธิภาพของตัวกรองลดลง อีกทั้งการเปลี่ยนมาใช้น้ำประปาที่มีความเค็มเท่ากับ 0 ppt ในการทำความสะอาดตัวกรองซึ่งมีค่าไม่เท่ากับความเค็มของน้ำภายในบ่อเลี้ยงที่มีค่าเท่ากับ 5 ppt ส่งผลให้ประสิทธิภาพของตัวกรองลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lyssenko (2006) ที่ศึกษาความเค็มที่มีผลต่อแบคทีเรียในการบำบัดแอมโมเนีย โดยเพิ่มความเค็มของน้ำแบบต่อเนื่องจาก 5 ppt ไปจนถึง 35 ppt ในอัตรา 3 ppt/h, 4 ppt/h และ 6 ppt/h พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียลดลง 10-30 % ทุกอัตราการเพิ่มความเค็ม

ในขณะที่ติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวกับบ่อ T1 พบว่ามีอัตราการบำบัดไนเตรตเท่ากับ 30.45 gN/m³/day มีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 2.67 และจากการถ่ายน้ำจากท่อยาวพบว่ามิกลินของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้น สอดคล้องกับช่วงค่า ORP ของการทดลองที่อยู่ในช่วง -200 ถึง -

600 mV ซึ่งมีค่าคิดลบที่เสี่ยงต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hamlin *et al.*, 2008,) ในส่วนของบ่อ T2 ที่ติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว พบว่ามีอัตราการบำบัดในเตรตเท่ากับ 101.96 gN/m³/day ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) โดยค่า ORP จะอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 mV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamlin *et al* (2008) ที่รายงานว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อค่า ORP อยู่ในช่วง -200 ถึง -400 mV

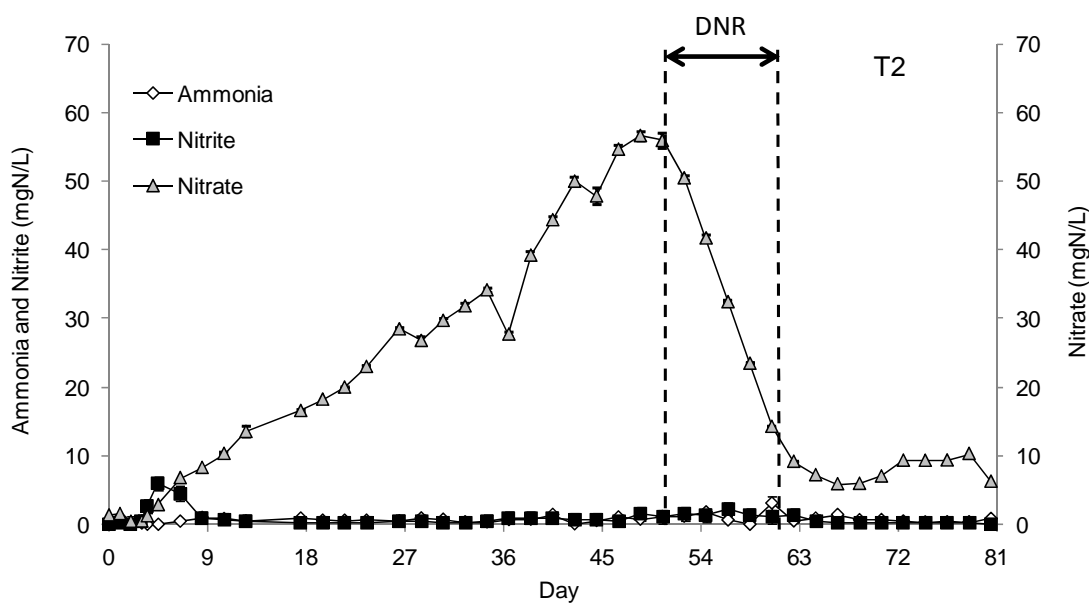
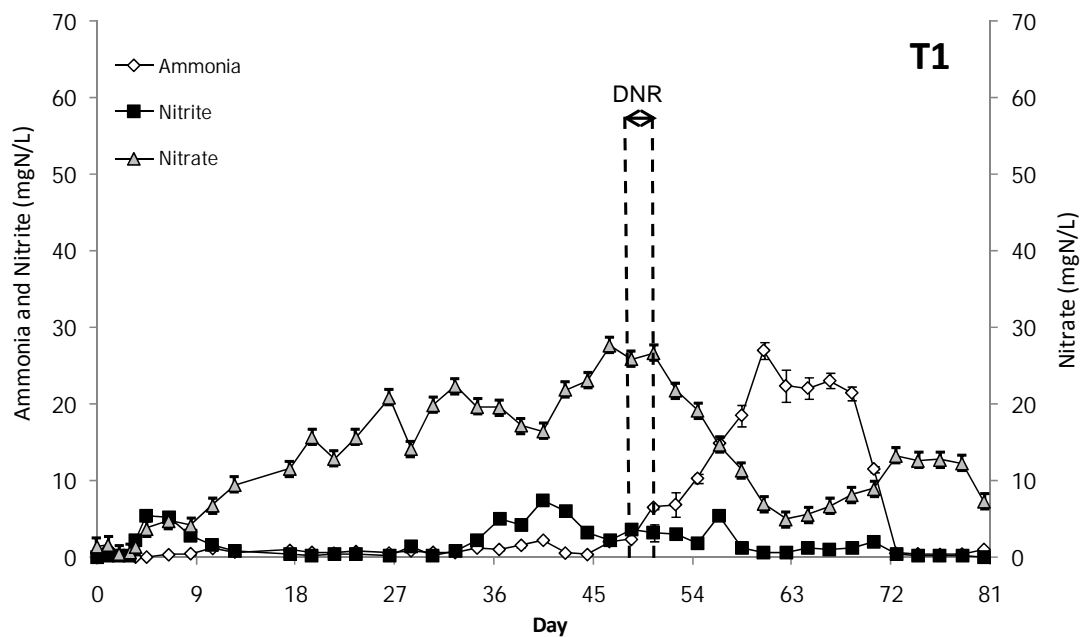
ภาพที่ 4.18 แสดงการปนเปื้อนของเมธานอลในบ่อทดลอง T2 ที่ติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว ในวันที่ 63 ของการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุด ได้แก่ น้ำในบ่อเลี้ยง (T2), น้ำในส่วนคอลัมน์ 1 ที่มีการผสมเมธานอล (column 1), น้ำที่ทางออกของท่อยาว (out) พบว่ามีการสะสมของเมธานอลในบ่อทดลอง T2 และคอลัมน์ 1 เท่ากับ 0.73 mgMeOH/L ที่ทางออกของท่อยาวมีค่าเท่ากับ 0.52 mgMeOH/L ซึ่งเป็นระดับที่มีความปลอดภัยต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Kaviraj และคณะ (2004) รายงานว่าปริมาณเมธานอลที่ปนเปื้อนในน้ำเท่ากับ 47.49 mgMeOH/L จะทำให้ปลามีอาการเจริญเติบโตน้อยลง และในระดับที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1527.6 mgMeOH/L จะทำลายหนังชั้นนอกและเหงือกของปลา และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมธานอลระหว่างคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่มีการผสมเมธานอล (column 1) และที่ทางออกของระบบท่อยาว (out) พบว่ามีการลดลงของเมธานอลจากระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

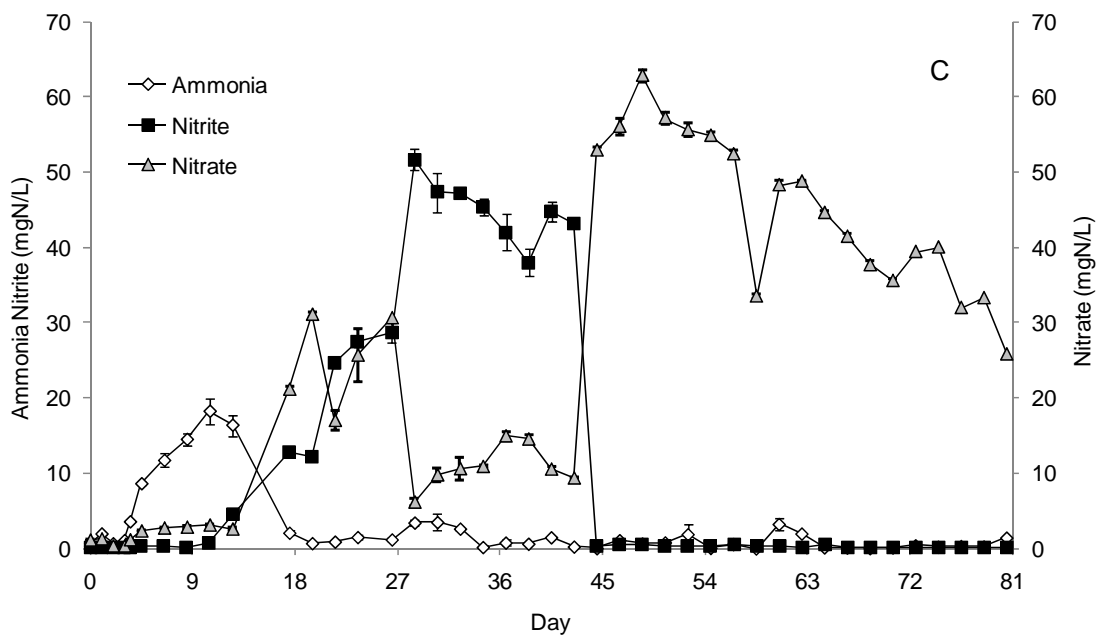
ผลการทดลองในบ่อควบคุมซึ่งไม่มีระบบบำบัดพบว่าการสะสมของแอมโมเนียตั้งแต่วันแรกของการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 18.2 mgN/L ในวันที่ 11 หลังจากวันดังกล่าวพบว่าแอมโมเนียมีค่าลดลงต่ำกว่า 1 mgN/L แต่เกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้น ซึ่งปริมาณไนไตรท์มีค่าสูงสุดถึง 51.68 mgN/L ในวันที่ 29 การสะสมของไนไตรท์เกิดจากระบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ในบ่อเลี้ยงที่ไม่มีดินก้นบ่อ (มุทิตา วิคิถัมพล, 2546) หลังจากนั้นไนไตรท์จะลดลงจนต่ำกว่า 1 mgN/L ในวันที่ 45 และมีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากระบวนการไนตริฟิเคชันที่เป็นรูปแบบของตะกอนฟล็อก (floc)

การควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ใช้เครื่องกรองน้ำชนิดไหลขวาง (Clossflow) ติดตั้งในบ่อ T1 และ T2ซึ่งมีการล้างทำความสะอาดไส้กรองทุกวัน (ภาพที่ 4.19) จากภาพที่ 4.23 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในบ่อ T1 และ T2 มีปริมาณที่ต่ำกว่าในบ่อควบคุมอย่างชัดเจน โดยที่ 81 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าบ่อ T1 และ T2 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 1170 และ 1100 mgTSS/L ตามลำดับ ในขณะที่บ่อควบคุมมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 1490 mgTSS/L ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองชนิดไหลขวาง (Crossflow) (ภาพที่ 4.19) ในการดักจับตะกอนที่แขวนลอยในน้ำ อีกทั้งในบ่อชุดทดลองยังมีการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของไนตริ

ฟายอิงแบคที่เรียแล้วยังมีความสามารถในการดักจับตะกอนที่แขวนลอยในน้ำ (เอกชัย มาลาพล, 2551, Sesuk *et al.*, 2009)

ค่าความเป็นกรดค่า (pH) ของการทดลองนี้จะอยู่ในช่วง 6.60 – 7.25 ซึ่งเหมาะสมของการเจริญเติบโตของปลานิล (ภาพที่ 4.27) ค่าอัลคาไลน์ในน้ำได้ปรับให้ค่าเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 100 mgCaCO₃/L และหลังจากที่ต่อระบบท่อยาวแล้วพบว่าค่าอัลคาไลน์ในบ่อ T1 และ T2 มีค่าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.24) ซึ่งมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 200 mgCaCO₃/L สอดคล้องกับงานวิจัยของ Van Rijn *et al.* (2006) ที่อธิบายว่าในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดการเพิ่มขึ้นของค่าอัลคาไลน์เท่ากับ 3.57 mgCaCO₃/L ต่อความเข้มข้นของไนเตรต 1 mg/L ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในบ่อเลี้ยงจะอยู่ในช่วง 1.3 – 5.26 mg/L (ภาพที่ 4.25) อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 25.1 – 29.5°C (ภาพที่ 4.26)

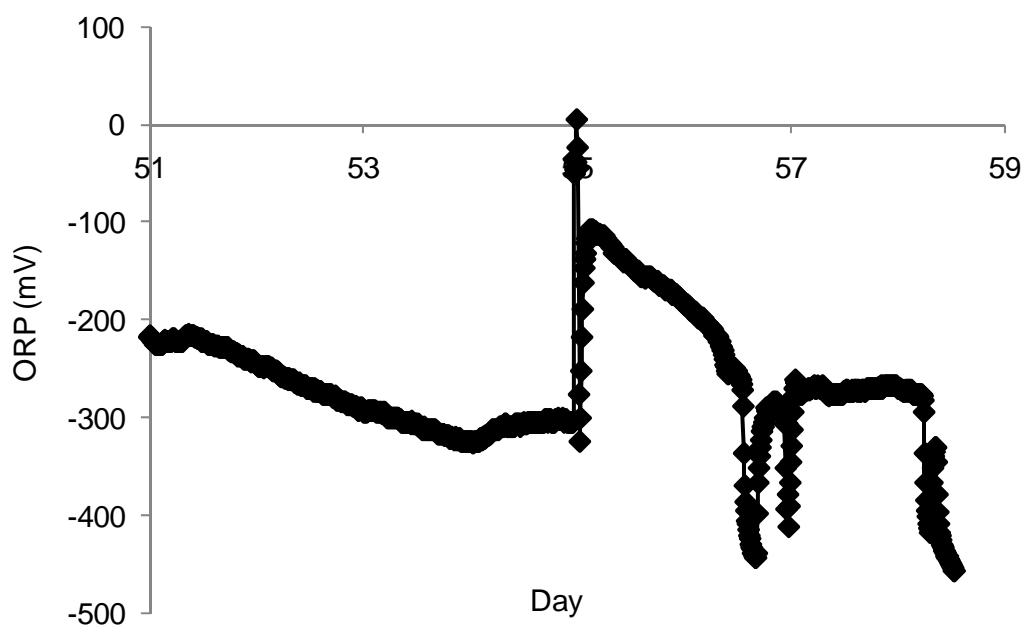




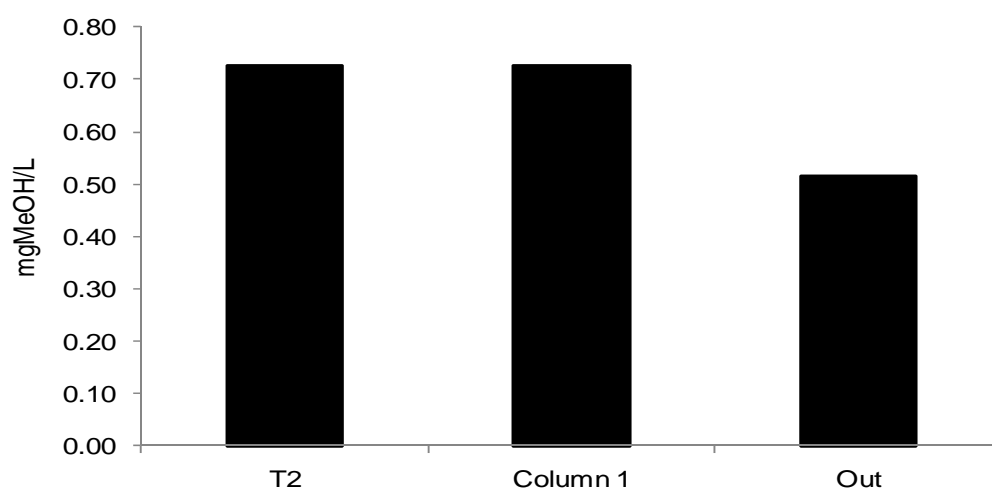
ภาพที่ 4.16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเพาะเลี้ยงปลา ขนาดตลาดในโรงเรือน โดยชุดทดลอง (T1 และ T2) เป็นในบ่อที่มีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ และชุดควบคุม (C) ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ (DNR ; ช่วงที่มีการติดตั้งระบบ บำบัดไนเตรตแบบท่อยาว)

ตารางที่ 4.14 แสดงอัตราการบำบัดไนเตรตของท่อยาวที่ติดตั้งในบ่อ T1 และ T2

	T1	T2
C/N	2.67	0.48
อัตราการบำบัดไนเตรต (g N/m ³ /day)	30.45	101.96
ORP (mV)	-200 ถึง -600	-200 ถึง -400
ความเข้มข้นของไนเตรตขาเข้า (mg N/L)	25.83	50.45
อัตราการเติมเมทานอล (mg C/hr)	182.95	182.95



ภาพที่ 4.17 ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในระหว่างการต่อระบบบำบัดดีไนทริฟิเคชันแบบท่อยาวกับบ่อ T2



ภาพที่ 4.18 แสดงปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนในน้ำของบ่อทดลอง T2 ในวันสุดท้ายของการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว (วันที่ 63)



(4.19ก)



(4.19ข)

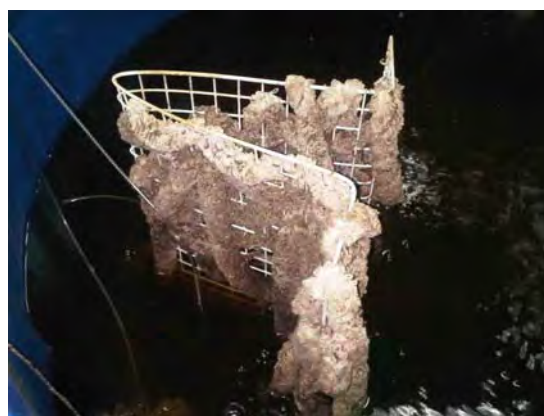
ภาพที่ 4.19 ลักษณะเครื่องกรองชนิดไหลขวาง (4.19ก) การฉีดล้างทำความสะอาดไส้กรอง (4.19ข)



ภาพที่ 4.20 การติดตั้งคอลัมน์น้ำดีนก่อนสูบน้ำเข้าระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว



(4.22ก)



(4.22ข)

ภาพที่ 4.21 ลักษณะตัวกรองชีวภาพ Biocord™ มัดกับตระแกรงในบ่อ T1 (4.22ก) และ T2 (4.22ข)

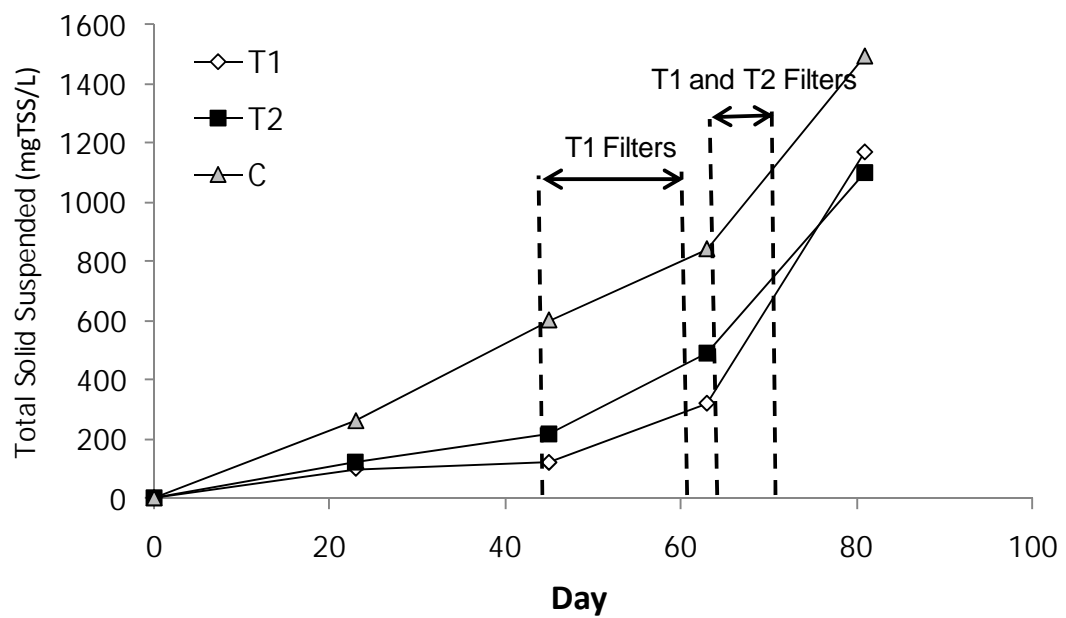


(4.22ก)

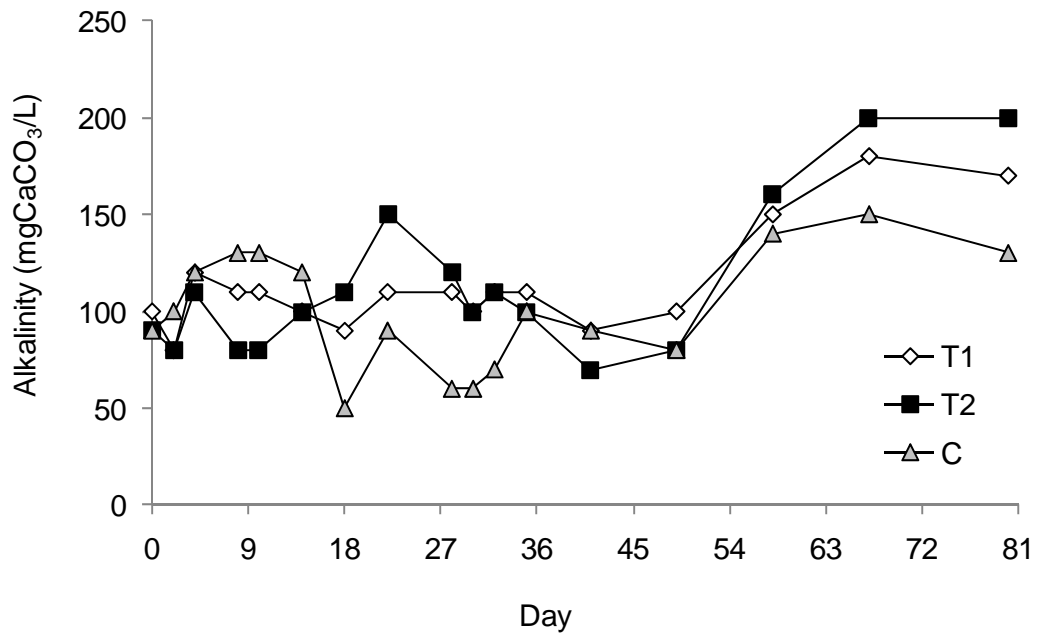


(4.22ข)

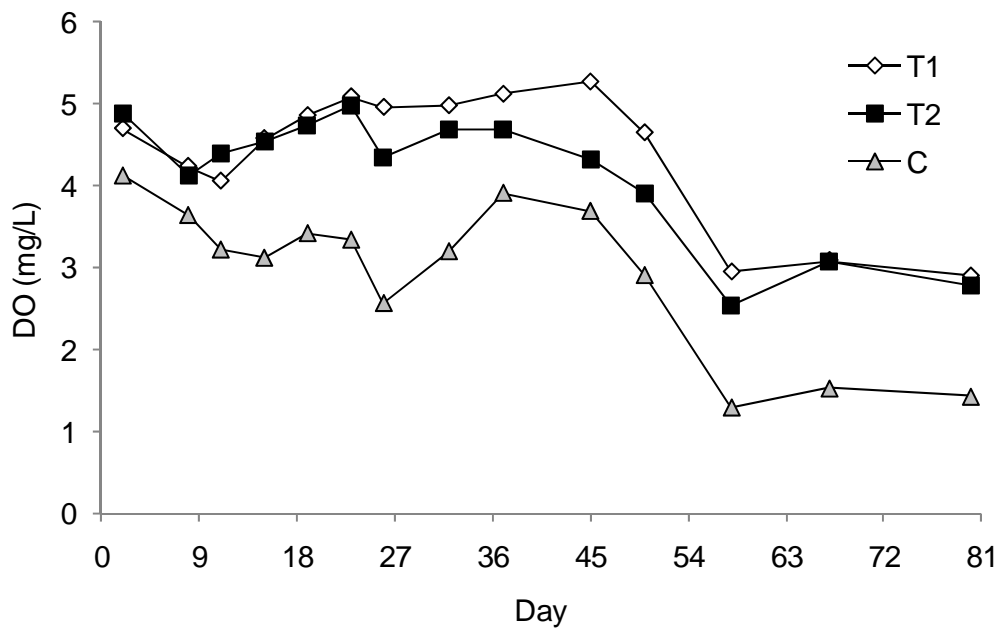
ภาพที่ 4.22 แสดงลักษณะเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง(4.22ก) การฉีดล้างทำความสะอาดตัวกรอง(4.22ข)



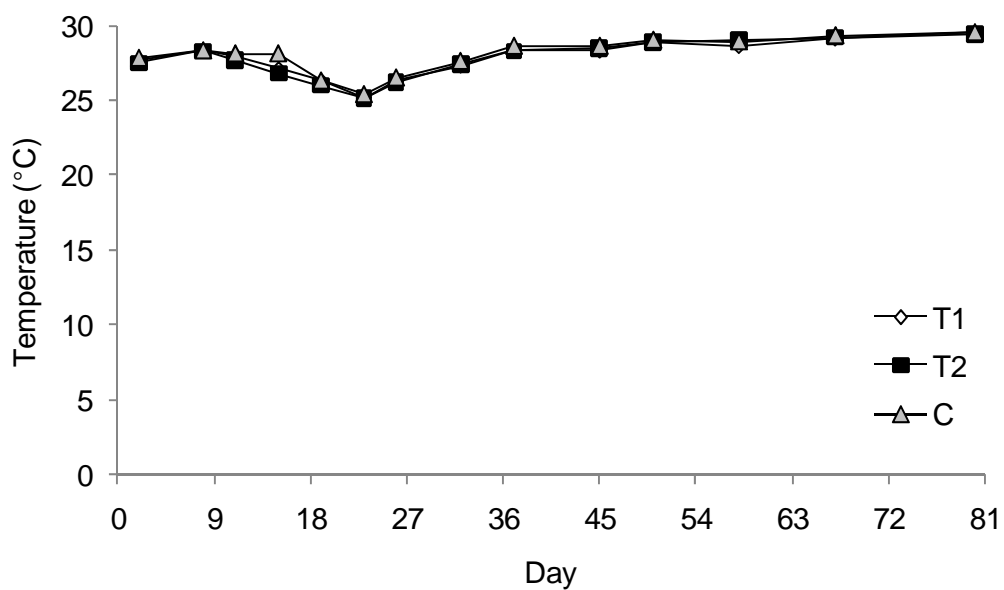
ภาพที่ 4.23 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน



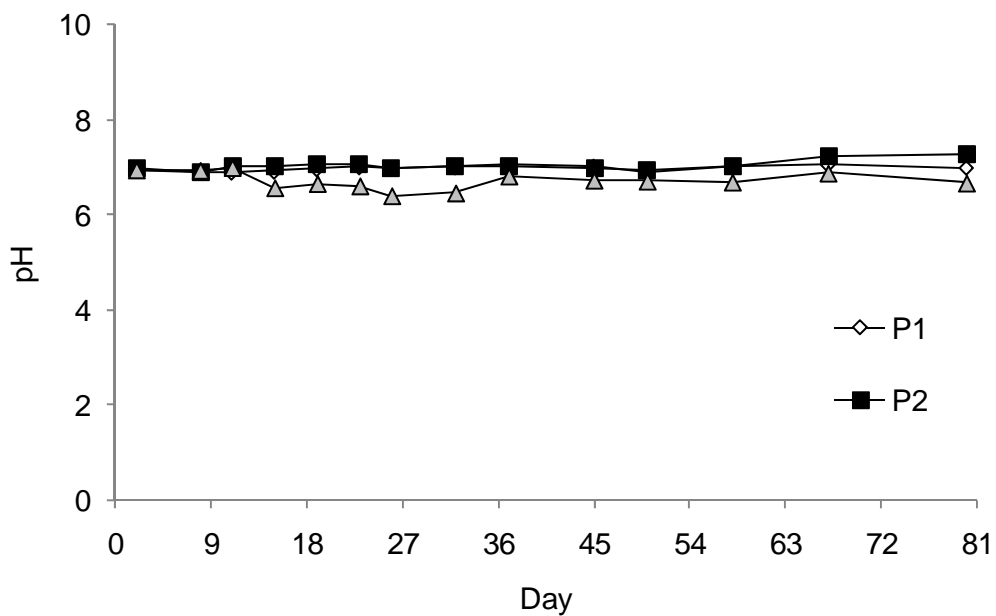
ภาพที่ 4.24 ค่าอัลคาไลน์ตี้น้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน



ภาพที่ 4.25 ค่า DO ในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน



ภาพที่ 4.26 อุณหภูมิในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน



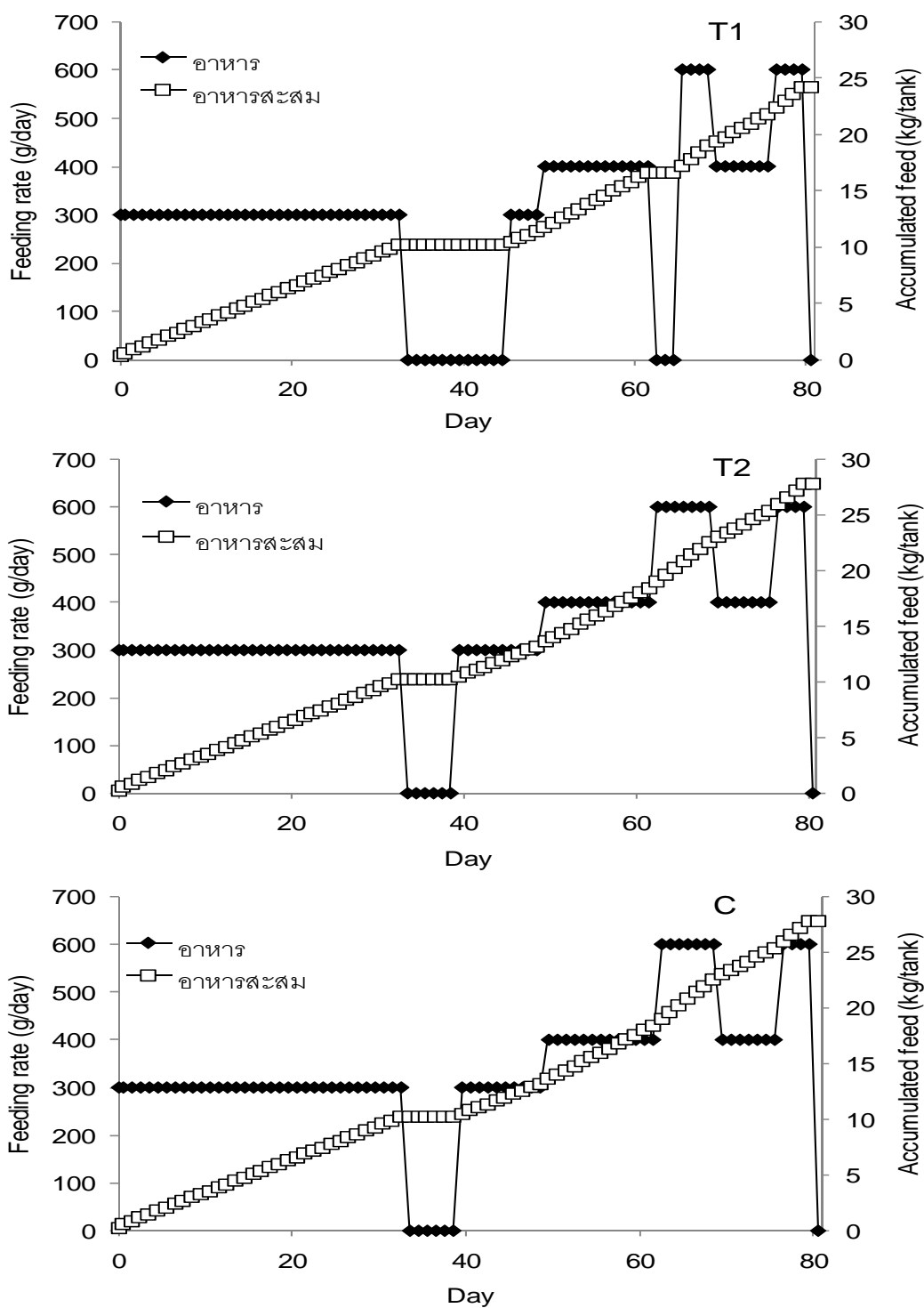
ภาพที่ 4.27 ค่า pH ในน้ำของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

4.4.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

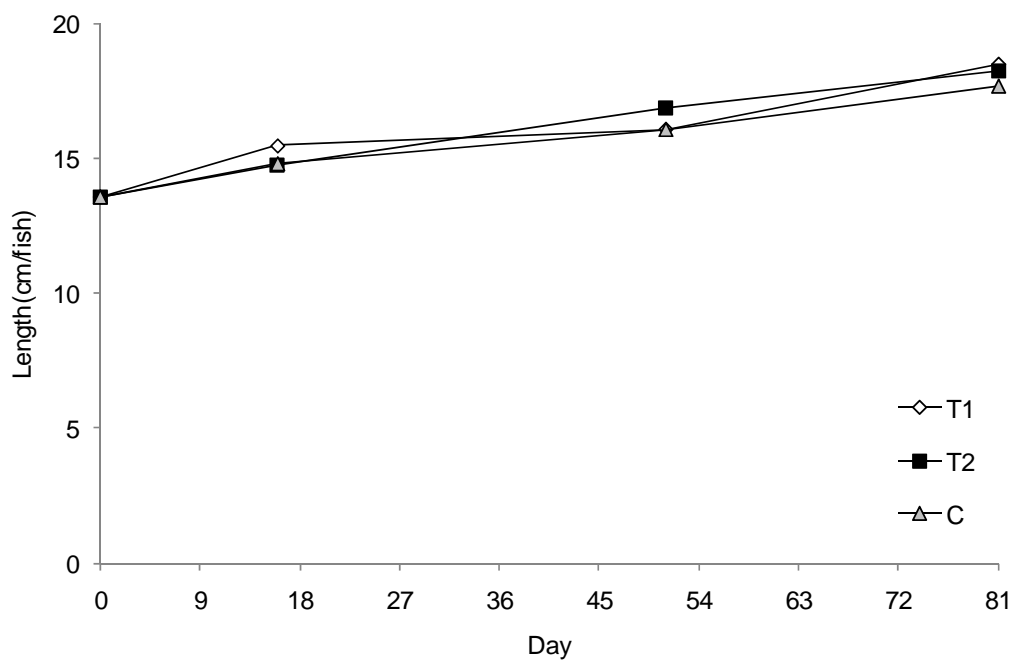
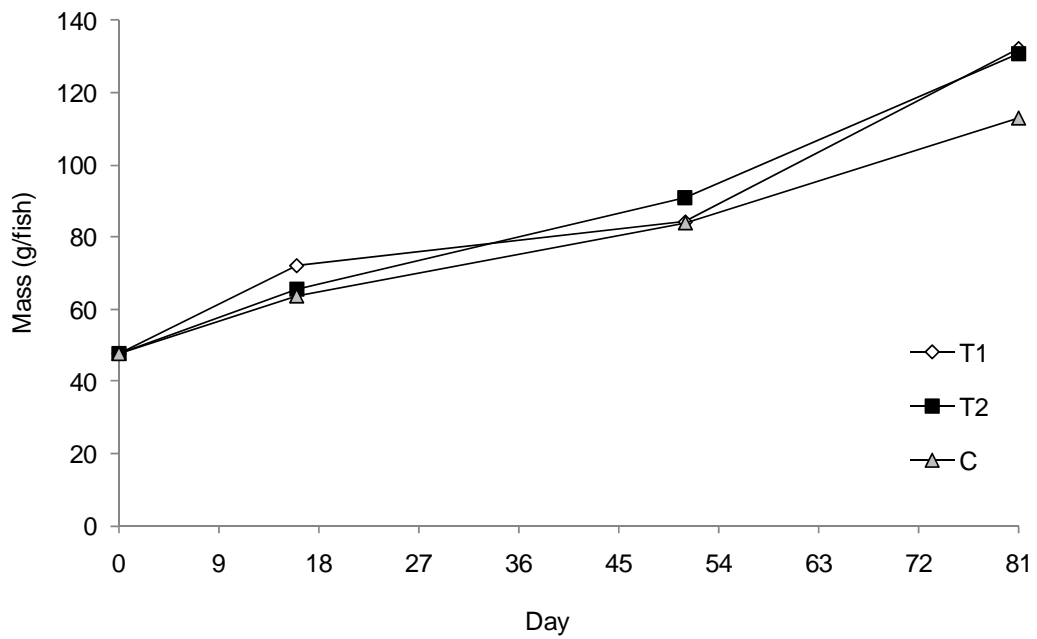
จากการทดลองพบว่าจากการสุ่มตัวอย่างปลาวัดความยาวและชั่งน้ำหนักใน 3 ครั้งแรกพบว่าปลาในบ่อชุดทดลองและควบคุมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าปลาในบ่อชุดทดลองจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 131.89 ± 33.33 , 130.6 ± 24.1 และ 112.96 ± 14.02 g/fish และความยาวเท่ากับ 18.46, 18.23 และ 17.66 cm ในบ่อ T1, T2 และ C ตามลำดับ (ภาพที่ 4.29) และเมื่อจบการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลาในบ่อ T1 T2 และ C มีค่าเท่ากับ 1.038, 1.022 และ 0.805 g/day ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15) อัตราการเจริญเติบโตในชุดทดลองสูงกว่าบ่อชุดควบคุมอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการทดลองที่สังเกตพบว่าปลาในบ่อควบคุมเริ่มกินอาหารน้อยลงตั้งแต่วันที่ 64 เป็นต้นมาจึงทำให้ชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่า โดยการสังเกตจากเม็ดอาหารปลาที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ปริมาณอาหารที่ให้แสดงดังภาพที่ 4.28 ในส่วนของอัตราการรอดพบว่าในชุดทดลองและควบคุมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในบ่อ T1 และ T2 มีอัตราการรอดเท่ากับ 88 และ 95 % ตามลำดับ ขณะที่บ่อควบคุมเท่ากับ 92 % และพบว่าค่า FCR ในบ่อชุดทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมอย่างชัดเจน โดยในบ่อ T1 และ T2 มีค่าเท่ากับ 0.9 และ 1 ตามลำดับ ขณะที่บ่อควบคุมมีค่าเท่ากับ 1.2

จากการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในการทดลองนี้กับการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิมที่เป็นการเลี้ยงในกระชังบ่อดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโต (DWG) ที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงในกระชังแบบดั้งเดิม สืบเนื่องมาจากการทดลองนี้มีการปรับอาหารที่ไม่เหมาะสม โดยจะมีการปรับอาหารทุกๆ 1 เดือน ซึ่งการปรับอาหารที่เหมาะสมควรมีการปรับทุกๆ 15 วัน อีกทั้งการเลี้ยงแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นการเลี้ยงในกระชังบ่อดินจะมีอาหารที่มาจากธรรมชาติด้วย (มุทิตา วุฒิกัมพล, 2546; คีรี กอนันตกุล และจุฬ สิ้นชัยพานิช, 2551) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) เท่ากับ 1.101 ± 0.09 ซึ่งน้อยกว่าการเพาะเลี้ยงในกระชังแบบดั้งเดิมที่มีค่าเฉลี่ยในการเลี้ยง 1.2 – 1.5 (Popma and Lovshin, 1995; มุทิตา วุฒิกัมพล, 2546; คีรี กอนันตกุล และจุฬ สิ้นชัยพานิช, 2551) ซึ่งค่า FCR ต่ำหมายถึงการเลี้ยงปลาที่ได้ผลผลิตสูงจากการให้อาหารแก่ปลาน้อย จากการทดลองแสดงว่ามีโปรตีนจากอาหารเปลี่ยนเป็นเนื้อปลาสูง

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงปลานิล ได้แก่ คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง คุณภาพหรือชนิดของอาหารปลา และปริมาณที่ให้แก่ปลา เป็นต้น ซึ่งหากน้ำในบ่อมีคุณภาพดีก็จะทำให้ปลาที่เลี้ยงมีอัตราการเจริญเติบโตสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ



ภาพที่ 4.28 ปริมาณอาหารที่ให้ของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดวัยรุ่นเป็นปลานาตลาตในโรงเรือนในบ่อชุดทดลอง (T1 และ T2) และชุดควบคุม (C)



ภาพที่ 4.29 น้ำหนักและความยาวของลูกปลาในการทดลองเพาะเลี้ยงปลานาขนาดตลาด
ในโรงเรือน

ตารางที่ 4.15 อัตราการเจริญเติบโตของลูกปลาในบ่อชุดทดลองและบ่อควบคุมในการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

ชุดทดลอง											
วัน	DWG	DWG	น้ำหนักเฉลี่ย		ความยาวเฉลี่ย		% อัตรารอด		FCR		
	T1	T2	(g/fish)		(cm/fish)				T1	T2	
	(g/day)	(g/day)	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
1			47.79	47.79	13.59	13.59	100	100			
1 - 16	1.51	1.11	72.01	65.58	15.46	14.75					
16 - 51	0.71	0.85	84.07	90.91	16.07	16.86					
51 - 81	1.04	1.02	131.89	130.60	18.46	18.23	88	95	0.9	1.0	

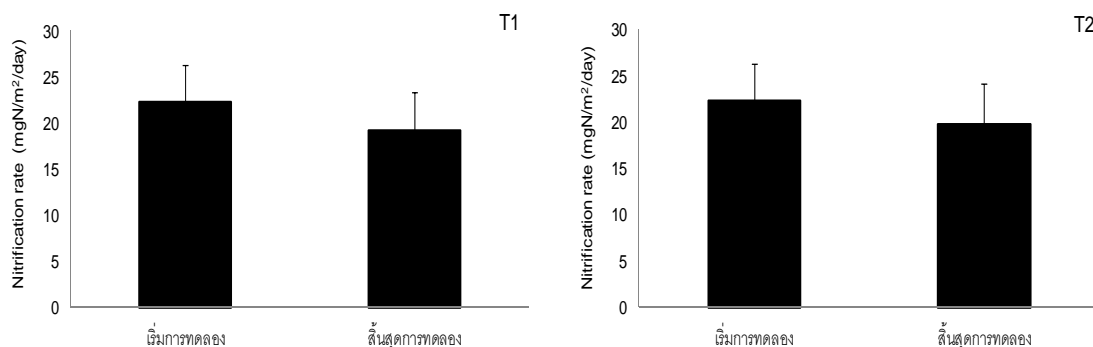
ชุดควบคุม					
วัน	DWG	น้ำหนักเฉลี่ย	ความยาวเฉลี่ย	% อัตรารอด	FCR
	(g/day)	(g/fish)	(cm/fish)		
1			13.587	100	
1 ถึง 16	0.805	47.787	14.810		
16 ถึง 51	0.709	63.710	16.070		
51 ถึง 81	0.995	83.950	17.663	92	1.2

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลระหว่างการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนกับการเลี้ยงในกระชังแบบดั้งเดิม

	มุกิตา 2546	คีรี และ จุฬ 2551	การทดลองนี้
รูปแบบการเลี้ยง	กระชังในบ่อดิน	กระชังในบ่อดิน	บ่อกลมระบบน้ำหมุนเวียน
อัตราการปล่อย (kg/m ³)	0.005	3.6	5
ระยะเวลา (day)	140	63	81
น้ำหนักเริ่มปล่อย (g/fish)	0.5	60	47.79 ± 7.84
น้ำหนักสุดท้าย (g/fish)	376.54	300	131.24 ± 0.91
อัตราการเจริญเติบโต (g/day)	2.69	4.9 - 5.86	1.03 ± 0.01
อัตราการรอด %	65.17	96.2 - 96.6	91.24 ± 6.67
FCR	1.24	1.21 - 1.42	1.101 ± 0.09
% โปรตีนในอาหาร	30 - 41	30	25
ความหนาแน่นสุดท้าย (kg/m ³)	2.7	18 - 21.2	12.83 ± 0.14

4.4.3 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

การนำชิ้นส่วนตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ภายในบ่อชุดทดลองมาทำการตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียเมื่อเริ่มและจบการทดลอง พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองตัวกรองชีวภาพมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 22.31 ± 3.83 mgN/m²/day ต่อมาเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพาะเลี้ยงปลา พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียเฉลี่ยของตัวกรองชีวภาพลดลงเป็น 19.16 และ 19.76 mgN/m²/day ของบ่อ T1 และ T2 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.30) ซึ่งอัตราการบำบัดแอมโมเนียตอนเริ่มการทดลองมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 และ 2 เนื่องจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่ยึดเกาะบนพื้นผิวตัวกรองยังมีอยู่น้อย (ชนทร ศรีสุข, 2551) สอดคล้องกับการสะสมของไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในบ่อ T1 และ T2 ในสัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยงปลา



ภาพที่ 4.30 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพไนตริไฟเคชันในวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของการเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

4.4.4 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

ในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือนนี้ได้มีการให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีน 25 % ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากการให้อาหารของการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.064 ± 0.083 kgN/tank มีงานวิจัยพบว่าปริมาณโปรตีนในเนื้อปลานิลมีค่าเท่ากับ 15 g ต่อน้ำหนักเปียก 100 g (Abdel-Tawwab *et al.*, 2010) เมื่อนำมาใช้ในการประเมินสมดุลไนโตรเจนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่มาจากอาหารปลาเท่ากับ 81.13, 82.82 และ 83.16 % ในบ่อทดลอง T1, T2 และ C ตามลำดับ ส่วนที่เหลือมาจากตัวปลาและไนโตรเจนในน้ำ ในส่วนของไนโตรเจนขาออกพบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในอาหารในบ่อชุดทดลองเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลานิลสูงถึง 51.2, 46.22 และ 41.16 % (ตารางที่ 4.18) และปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับกระบวนการดีไนตริไฟเคชันทั้งในส่วนของท่อยาวและภายในบ่อ

เลี้ยงพบว่ามีความเท่ากับ 44.09, 100.01 และ 36.96 gN หรือ 3.75, 7.45, 2.76 % ในบ่อทดลอง T1, T2 และ C ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

จากการประเมินสมดุลไนโตรเจนพบว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่จะมาจากอาหารปลา และเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาและในส่วนอื่นที่หาค่าไม่ได้ใน % ที่สูง เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่ สูญเสียไปกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นจากตะกอนก้นบ่อตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (มูทิตา วุฒิกัมพล, 2546) มั่นสิน ตันกุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. (2539) กล่าวว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ในบ่อปลามักจะอยู่ในสิ่งมีชีวิตในบ่อและสารอินทรีย์เน่าเปื่อย ซึ่ง Rivett *et al.* (2008) รายงานว่าสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นจึงผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันได้เป็นแก๊สไนโตรเจนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม แต่จากการทดลองไม่มีการตรวจวัดไนโตรเจนในรูปของแก๊สไนโตรเจนจึงเป็นสาเหตุให้ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของปลาสูงและคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณไนเตรต (gN) ที่ถูกบำบัดในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในบ่อทดลอง

บ่อทดลอง	ไนเตรตเริ่มต้น	ไนเตรตสุดท้าย	ไนเตรตที่หายไป
T1	55.15	11.06	44.09
T2	111.77	11.76	100.01
C	62.76	25.80	36.96

ตารางที่ 4.18 สมดุลไนโตรเจนของบ่อชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพและชุดควบคุมในวันที่ 81 ของการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

ไนโตรเจนขาเข้า	gN			% N		
	T1	T2	C	T1	T2	C
อาหาร	968.00	1112.00	1112.00	81.13	82.82	83.16
ปลานิล	221.35	227.08	221.35	18.55	16.91	16.55
น้ำ (TDIN)*	3.73	3.55	3.80	0.31	0.26	0.28
รวม	1193.08	1342.63	1337.15	100	100	100

ไนโตรเจนขาออก	gN			% N		
	T1	T2	C	T1	T2	C
ปลานิล	610.90	620.60	550.34	51.20	46.22	41.16
น้ำ (TDIN)*	16.64	14.30	54.71	1.39	1.07	4.09
น้ำ (TDN)**	29.30	21.72	91.44	2.46	1.62	6.84
ตะกอน (น้ำ)	127.30	119.68	162.11	10.67	8.91	12.12
NL***	44.09	100.01	36.96	3.7	7.45	2.76
อื่นๆ	381.49	480.62	496.3	35.67	43.25	39.88
รวม	1193.08	1342.63	1337.15	100	100	100

*Total Dissolved Inorganic Nitrogen, **Total Dissolved Nitrogen, ***Nitrogen Loss : ไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่คำนวณจากการลดลงของปริมาณไนเตรตในน้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การเตรียมสภาพตัวกรอง Biocord™ พบว่าสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ได้ในระยะเวลาการปรับสภาพประมาณ 1 สัปดาห์ โดยจะมีการลดลงของแอมโมเนียอีกทั้งยังไม่พบการสะสมของไนไตรท์เกิดขึ้น และหลังจากการปรับสภาพตัวกรองชีวภาพ Biocord™ เป็นเวลา 65 วัน ในวันสุดท้ายได้มีการสุ่มชิ้นส่วนตัวกรองเพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย พบว่ามีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ $36.6 \text{ mg N/m}^2/\text{day}$

2. ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้หลังจากเริ่มเติมเมธานอลเป็นระยะเวลา 1 วัน และระบบเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติในระยะเวลาประมาณ 14 วัน และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 55 %

3. จากการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1 ที่ระบบประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงขนาด 2 m^3 ภายในบ่อมีกระชังไนลอนตาถี่ขนาด 0.32 m^3 และตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ความยาว 30 m พบว่าในบ่อควบคุมที่ไม่มีระบบบำบัดปลามีอัตราการรอดเท่ากับ 80 % ขณะที่ในบ่อทดลอง T1 และ T2 มีอัตราการรอดเท่ากับ 0 และ 30 % ตามลำดับ และเมื่อมีการนำตัวกรองออกมาซักทำความสะอาดในวันที่ 20 ของการทดลอง พบว่ามีการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้นในบ่อทดลอง โดยพบปริมาณแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ $2.49 \pm 0.035 \text{ mgN/L}$ ในวันที่ 24 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลอง และการเกิดก๊าซพิษไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นจึงทำให้ปลาที่เลี้ยงมีอัตราการรอดที่ต่ำ เนื่องจากการสะสมของตะกอนก้นบ่อและตะกอนอุดตันในรูกระชัง

4. หลังจากมีการปรับปรุงรูปแบบการทดลองในการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 โดยแยกระบบบำบัดไนตริฟิเคชันออกจากบ่ออนุบาล ติดตั้งระบบแยกตะกอน และหมุนเวียนน้ำในบ่ออนุบาล พบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี โดยบ่อชุดทดลองมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์เฉลี่ยตลอดการทดลองต่ำกว่า 0.5 และ 0.96 mgN/L ตามลำดับ ในขณะที่บ่อควบคุมมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูงถึง 11.8 และ 42.78 mgN/L ในวันที่ 10 และ 21 ของการทดลองตามลำดับ ส่งผลให้ปลาในบ่อควบคุมมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.196 g/fish ซึ่งต่ำกว่าในบ่อทดลองที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.287 g/fish อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อีกทั้งการติดตั้งระบบแยกตะกอนในบ่อชุดทดลองยังทำให้น้ำในบ่อทดลองมีตะกอนแขวนลอยน้อยกว่าบ่อชุดควบคุม

5. การทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน โดยระบบประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงที่ขนาด 2 m^3 ภายในบ่อมีตัวกรองชีวภาพ Biocord™ ความยาว 20 m และระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว พบว่าระบบทดลองที่มีการบำบัดไนโตรฟิเคชันและดีไนโตรฟิเคชันสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรตให้ต่ำกว่า 0.7, 0.76 และ 16.94 mgN/L ตลอดระยะเวลาการทดลองโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรตในบ่อควบคุมที่ไม่มีระบบบำบัดมีค่าสูงถึง 18.2, 51.68 และ 62.76 mgN/L ตามลำดับ ความหนาแน่นสุดท้ายของปลาอยู่ที่ 12.83 kg/m^3 และมีอัตราการรอด 92 % ซึ่งไม่แตกต่างกันทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุม แต่ปลาในบ่อทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 g/day ซึ่งสูงกว่าในบ่อควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.8 g/day

6. การติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาวัยรุ่นเป็นปลาขนาดตลาด ที่มีการเปลี่ยนชนิดของปั๊มเมธานอลจากชนิดรีดสายยาง (Peristaltic pump) มาเป็นชนิดฟันเฟือง (Gear pump) ทำให้ระบบมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเดิมมาก และใช้ความเข้มข้นเมธานอลเท่ากับ 2 % พบว่าสามารถช่วยลดการสะสมของไนเตรตได้เป็นอย่างดี โดยอัตราการบำบัดไนเตรตเท่ากับ 30.45 และ $101.96 \text{ gN/m}^3/\text{day}$ ในบ่อทดลอง T1 และ T2 ตามลำดับ

7. จากการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 1 และการทดลองเพาะเลี้ยงปลาวัยรุ่นเป็นปลาขนาดตลาด พบว่ามีการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ขึ้นหลังจากที่มีการนำตัวกรอง Biocord™ ออกมาซักทำความสะอาด ดังนั้นการนำตัวกรองออกมาซักทำความสะอาดอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ตัวกรองชีวภาพ Biocord™ มีคุณสมบัติ คือ เป็นตัวกรองที่สามารถดักจับตะกอนได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เสี่ยงต่อการเกิดสภาพการขาดออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการดีไนโตรฟิเคชันขึ้นและยังทำให้เกิดสารพิษเช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น อีกทั้งการนำตัวกรองออกมาซักทำความสะอาดอาจทำให้ประสิทธิภาพของตัวกรองลดลง ดังนั้นการติดตั้งระบบแยกตะกอนจึงมีความจำเป็น

จากการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2 พบว่าการติดตั้งระบบแยกตะกอนด้วยผ้ากรอง Plankton net มีประโยชน์ในการควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำและทำให้ตัวกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่รูปแบบของระบบแยกตะกอนยังไม่เหมาะสมเนื่องจากอาหารที่ให้เป็นอาหารปนทำให้ผ้ากรองตันอย่างรวดเร็ว จึงควรมีการพัฒนาารบบแยกตะกอนเพื่อให้ความเหมาะสมต่อไปในอนาคต

2.ระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวมีประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณในเตรตในน้ำได้เป็นอย่างดี แต่ระบบมีข้อจำกัดสำคัญคือ ท่อยาวมักจะอุดตันด้วยตะกอนได้ง่ายซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสารพิษเช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นการแยกตะกอนก่อนจะสูบน้ำเข้าระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวเช่น การติดตั้งคอลัมน์น้ำล้นจึงมีความสำคัญในการออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดในอนาคต

3.จากการทดลองการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนและการเพาะเลี้ยงปลาวัยรุ่นเป็นปลาขนาดตลาด พบว่าเมื่อเลี้ยงไปในระยะเวลาานจะพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ต่ำลง เนื่องจากการให้ออกซิเจนด้วยหัวทรายพ่นอากาศอาจทำให้เกิดการอุดตันของรูพรุนให้ออกซิเจนในน้ำต่ำ อีกทั้งยังมีการใช้ออกซิเจนในส่วนของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน การหายใจของปลา และการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดจะพบปัญหาเกี่ยวกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ จึงควรมีการปรับปรุงในส่วนของระบบการเพิ่มออกซิเจนในน้ำที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

4.ควรมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของการเพาะเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงแบบกระชังป่อดิน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กษิติศ หนูทอง. การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 16, (เมษายน, 2551)

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปริดาत्मพะบุตร. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนารเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 27 หน้า.

ศิริ กอนันตกุล และจุฬ สิ้นชัยพานิช. การเลี้ยงปลาในกระชัง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง กรมประมง, 2551.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544.

ธนทร ศรีสุข. การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาในระบบปิดโดยใช้ตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันแบบจม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

มะลิวัลย์ คุตะโกล, บุญผา ศรีสัมฤทธิ์, จันทิมา อานทอง, สรวิศ เผ่าทองสุข และ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. การใช้ตัวกรองชีวภาพในตริฟิเคชันในการบำบัดไนโตรเจนในถังเลี้ยงสัตว์น้ำกลางแจ้ง. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม, หน้า 23 - 45.

มุกิตา วุฒิกัมพล. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาที่บึง *Oreochromis niloticus* ระบบปิดในบ่อดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

มันสิน ดันทุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2539.

วิลาสินี ไตรยราช. สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

รุ่งนภา สุทธิศรี. ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

เรณู ว่องส่งสาร และนพพันธ์ อยู่รุ่ง. คู่มือการผลิตปลานิลแปลงเพศ. อุดรธานี. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดอุดรธานี. 2549.

สุบัณฑิต นิर्मรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

สุวิมล ตันทสุกิจวิช. ระบบบำบัดไนเตรตสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สัมภาษณ์ อมร เหลืองนฤมิตชัย, กรรมการผู้จัดการ บริษัท มานิตย์ฟาร์ม อาหารสัตว์ จำกัด, 14 เมษายน 2553

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545.

เอกชัย มาลาพล. การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบบ่อไร้อินกลางแจ้งโดยตัวกรองชีวภาพในตริทีไคเซน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

กรมประมง, การเลี้ยงปลานิล [ออนไลน์], 14 เมษายน 2553. แหล่งที่มา www.fisheries.go.th/fish_test/khownladge/f_nin/index.-htm

ภาษาอังกฤษ

- Abdel-Fattah, A. and El-Sayed, M. Tilapia Culture. UK: CABI Publishing, 2006.
- 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.
- APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Maryland : Victor Graphics, 1998.
- Avnimelech, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture Engineering 176 (1999) : 172-178.
- Avnimelech, Y. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. Aquaculture Engineering 34 (2006) : 172-178.
- Azim, M.E. and Little, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 283 (2008) : 29-35.
- Balarin, J.D. and Haller, J.P. Tilapia: A guide to their Biology and Culture in Africa. University of Stirling, Stirling, Scotland, 1979.
- Becker, A.G., Moraes, B.S., Menezes, C.C., Loro, V.L., Santos, D.R., Reichert, J.M. and Baldissierotto, B. Pesticide contamination of water alters the metabolism of juvenile silver catfish, *Rhamdia quelen*. Ecotoxicology and Environmental Safety 72 (2009) : 1734-1739.
- Bitton, G. Wastewater microbiology. New York, USA : John Wiley & Son, 1994.
- Boley, A., Muller, W.R. and Haider, G. Biodegradable polymer as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems. Aquaculture Engineering 22 (2000). 75-85.
- Bronk, D. A., Lomas, M. W., Gilbert, P. M., Schukert, K. J. and Sanderson, M. P. Total dissolved nitrogen analysis: comparisons between the persulfate, UV and high temperature oxidation methods. Marine Chemistry 69 (2000) : 163 – 178.

- Carroll, P.M., Watanabe, W.O. and Losordo, T.M. Pilot production of hatchery-reared summer flounder *Paralichthys dentatus* in marine recirculating aquaculture systems: The effects of ration level on growth, feed conversion and survival. Journal of the World Aquaculture Society 36 (2005) : 120-128.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstrate, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. Aquaculture 270 (2007): 1-14.
- Dawson, R.N. and Murphy K.L. The Temperature Dependency of Biological Denitrification. Water Research Pergamon Press 6 (1972). 71-83.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B. and Bisogni, J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. Aquaculture 257 (2006) : 346-358.
- 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.
- Greiner, A. D. and Timmons, M. B. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. Aquaculture Engineering 18 (1998) : 189-200.
- Grguric, G., Wetmore, S.S. and Fournier, R.W. Biological denitrification in a closed seawater system. Chemosphere 40 (2000): 549-555.
- Guerdat, T. C., Losordo, T. M., Classen, J. J., Osborne, J. A. and DeLong, D. P. An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. Aquaculture Engineering 42 (2010) : 38-49.
- Hamlin, H.J., Michaels, J.T., Beaulaton, C.M., Graham, W.F., Steinbach, W. D. P., Losordo, T.M., Schrader, K.K. and Main, K.L. Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture. Aquacultural Engineering 38 (2008) : 79-92.
- Hargreaves, J.A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166 (1998) : 181-212.
- Hegazi, M. M. and Hasanein, S.S. Effect of chronic exposure to ammonia concentrations on brain monoamines and ATPases of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Comparative Biochemistry and Physiology, Part C. (2010). 420-425.

- Honda, H., Watanaba, Y., Kikuchi, K., Iwata, N., Takeda, S., Uemoto, H., Furata, T. and Kiyono, M. High density rearing of Japanese Flounder, *Paralichthys olivaceus* with a closed seawater recirculation system equipped with a denitrification unit. Suisanoshoku 41 (1993): 19-26.
- Kaviraj, A., Bhunia, F., Saha, NC. Toxicity of methanol to fish, crustacean, oligochaete worm, and aquatic ecosystem. International Journal Toxicity (2004) : 55 – 63.
- Lee, P.G., Lea, R.N., Dohmann, E., Prebilsky, W., Turk, P.E., Ying, J.L. and Whitson, J.L. Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem. Aquaculture Engineering 23 (2000) : 37-59.
- Lewandowski, Z. Denitrification by packed bed reactors in the presence of chromium (VI). Water Research 19 (1985). 589-596.
- Lim, C. and Webster, C.D. Tilapia: biology, culture and nutrition. Binghamica/New York: Routledge. 2006.
- Little, D.C., Bhujel, R.C. and Pham, T.A. Advanced nursing of mixed-sex and mono-sex tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry, and its impact on subsequent growth in fertilized ponds. Aquaculture 221 (2003): 265-276.
- Lu, F., Wendell, H.C., Chain, E.S.K., Pohland, F.G. and Gas, H. Nitrification of anaerobically treated coal gasifier effluent. Journal of water Pollution Control Federation 56 (1984) : 1050-1058.
- Lyssenko, C. and Wheaton, F. Impact of positive ramp short-term operating disturbance on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. Aquaculture Engineering 35 (2006) : 26 – 37.
- Menasveta, P., Panritdam, T., Sihanonth, P., Powtongsook, S., Chuntapa, B., and Lee, P. Design and function of closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. Aquaculture Engineering 25 (2001): 35-39.
- Neori, A., Krom, M.D. and Van Rijn, J. Biogeochemical processes in intensive zero-effluent marine fish culture with recirculating aerobic and anaerobic biofilters. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 349 (2007) : 235-247.
- Popma, T. J. and Lovshin, L. L., Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapia. Alabama : 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.
- Sato, C., Leung, S.W. and Schnoor, L.J. Toxic response of *Nitrosomonas europaea* to copper in inorganic medium and wastewater. Water Research 22 (September 1988) : 1117-1127.
- Sauthier, N., Grasmick, A. and Blancheton, J.P. Biological denitrification applied to a marine closed aquaculture system. Water Research 32 (1998): 1932-1938.
- Sesuk, T., Powtongsook, S. and Nootong, K. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged brood nitrifying biotowers. Bioresource Technology 100 (2009): 2088 – 2094.
- Steicke, C., Jegatheesan, V. and Zeng, C. Mechanical mode floating medium filters for recirculating system in aquaculture for higher solids retention and lower freshwater usage. Bioresource Tecnology 98 (2007) : 3375-3383.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2nd edition. Ottawa : Fisheries Research Board of Canada, 1977.
- Strohm, T.O., Griffin, B., Zumft, W.G. and Schink, B. Growth Yield in Bacterial Denitrification and Nitrate Amonification. Applied and Environmental Microbiology (March 2007) : 1420-1424.
- Suhr, K.I. and Pedersen, P.B. Nitrificaiton in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. Aquaculture Engineering 42 (2010) : 31-37.
- Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H. and Asakawa, M. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: toward zero emission. Aquaculture Engineering 29 (2003) : 165-182.
- 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.

- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. Recirculating Aquaculture Systems. 2nd edition. New York : Northeastern Regional Aquaculture Center, 2002.
- Twarowska, J.G., Westerman, P.W. and Losordo, T.M. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquaculture Engineering 16 (1997) : 133-147.
- Van Rijn, J., Tal, Y. and Schreier, H.J. Denitrification in recirculating system: Theory and applications. Aquacultural Engineering 34 (2006) : 364-376.
- Wik, T.E.I., Linden, B.T. and Wramner, P.I.. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modeling for recirculating aquaculture systems. Aquaculture 287_(2009) : 361-370.

ภาคผนวก

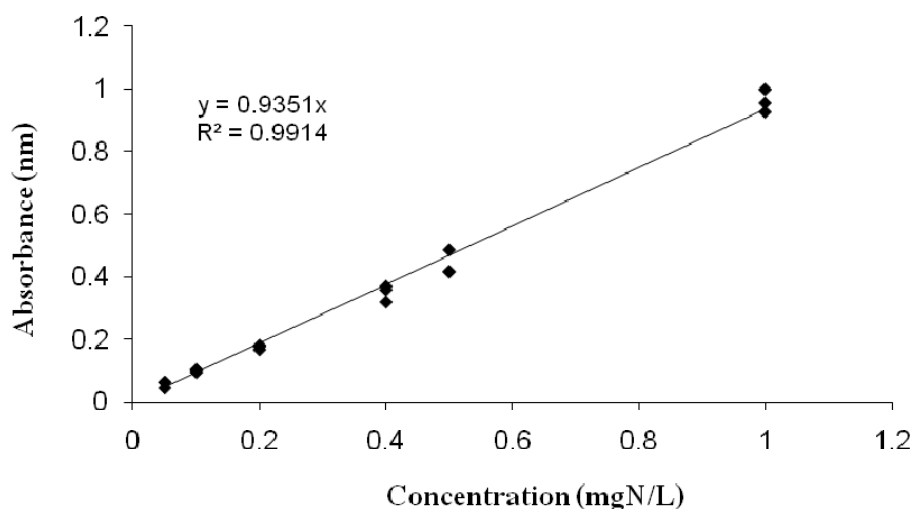
ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

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

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 mL โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติมสารละลายฟีนอล (ฟีนอล 20 g ใน 95% v/v เอทิลแอลกอฮอล์ 200 mL) ปริมาตร 0.04 ml แล้วเติมสารละลาย Sodium nitroprusside ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1.0 g ในน้ำ D.I. 200 mL) ปริมาตร 0.04 mL จากนั้นเติม สารละลาย oxidizing (ผสม alkaline reagent (sodium citrate 100 g และ NaOH 5 g ในน้ำ D.I. 500 mL) และ sodium hypochlorite solution ในอัตราส่วน 100 mL ต่อ 25 mL) ปริมาตร 0.1 mL เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($20-27^{\circ}\text{C}$) ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 nm จากนั้นเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 1 mg- $\text{NH}_4\text{-N/L}$ ตามลำดับจาก stock ammonia solution ความเข้มข้น 100 mg- $\text{NH}_4\text{-N/L}$

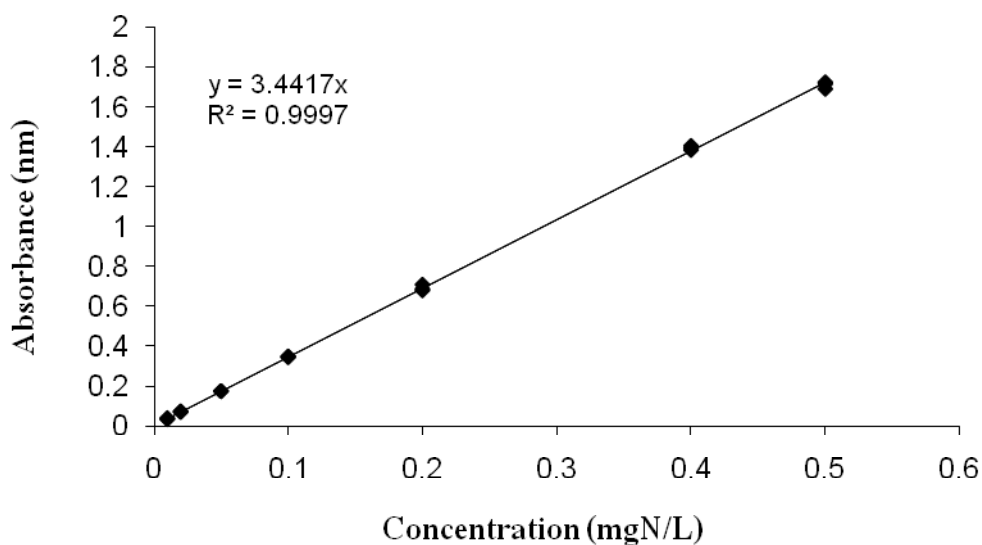


ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

2. วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์

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

เปิดน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 mL โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติมสารละลาย sulfanilamide solution (sulphanilamide 5 g กรดไฮโดรคลอริก 50 mL ในน้ำกลั่น 500 mL) ปริมาตร 0.02 mL เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม naphthylenediamine reagent (N-(1-Napthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.5g ต่อน้ำ 500 mL) ปริมาตร 0.02 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm 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

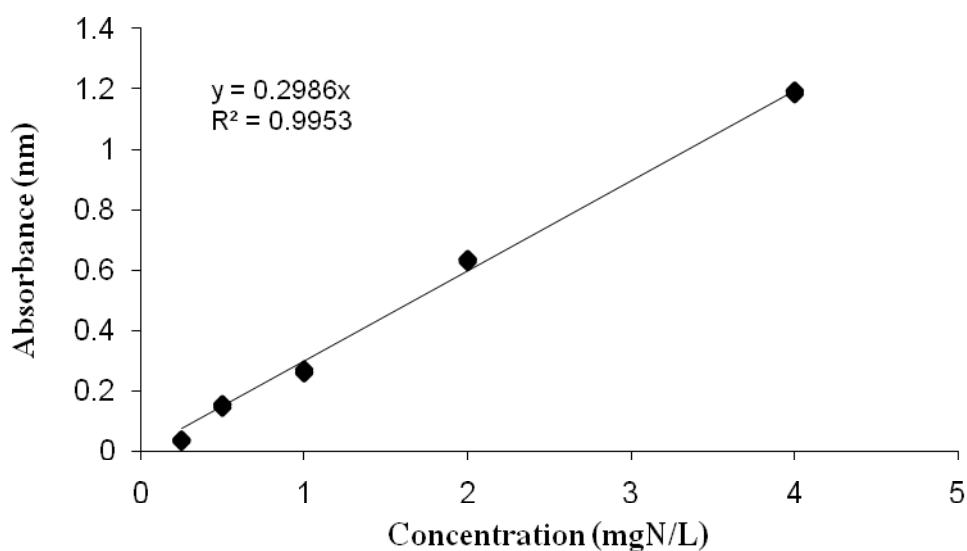


ภาพที่ ก-2 กราฟมาตรฐานไนไตรท์ (NO₂-N)

3.วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

การวิเคราะห์ไนเตรตในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรตซึ่ง ดัดแปลงมาจากวิธีของ Greenberg et.al.(1992)เก็บตัวอย่างน้ำ 10 mL กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman Cat No.1822025) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ -15°C

ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตในน้ำด้วยวิธีนี้ควรทำการกรองตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 220 nm และ 275 nm ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาณไนเตรตต่อไป



ภาพที่ ก-3 กราฟมาตรฐานไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$)

4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

ก่อนการทดลองต้องเตรียมกระดาษกรองโดยการนำมาอบและชั่งน้ำหนักจนคงที่ นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง ซึ่งต้องจดปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่กรองไว้ จากนั้นนำกระดาษกรองมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. เมื่อนำกระดาษกรองออกจากตู้อบจะนำมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระดาษกรองเย็นลง จากนั้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อนำค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหาปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mg/L) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ตะกอนทั้งหมด (mg/L)} = \frac{\text{นน.กระดาษกรองหลังกรองน้ำ} - \text{นน.กระดาษกรองก่อนกรองน้ำ} \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำที่กรอง (mL)}}$$

5. วิธีคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของปลา

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

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

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (g/day)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาตอนเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักปลาตอนท้าย}}{\text{ระยะเวลาที่เลี้ยง}}$$

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

ภาคผนวก ข

ตาราง ข -1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.01	0.00	0.01	0.01	1.02	0.00
2	0.12	0.02	0.56	0.02	2.37	0.00
4	1.52	0.11	0.28	0.03	5.96	0.00
6	0.74	0.03	0.03	0.01	6.92	0.05
8	0.17	0.01	0.01	0.01	13.94	0.02
10	0.19	0.00	0.10	0.01	12.64	0.00
12	0.93	0.00	0.04	0.00	15.77	0.01
14	0.11	0.00	0.01	0.01	18.41	0.01
16	0.06	0.01	0.11	0.01	20.37	0.00
18	2.06	0.02	0.02	0.01	23.49	0.00
20	0.04	0.00	0.09	0.06	26.04	0.01
22	0.52	0.01	0.20	0.00	28.14	0.01
24	0.53	0.01	0.02	0.00	29.29	0.00
26	0.62	0.01	0.00	0.00	30.00	0.00
28	2.27	0.02	0.01	0.00	26.70	0.01
30	0.10	0.01	0.00	0.00	30.22	0.00
32	0.18	0.00	0.02	0.01	38.71	0.01
34	0.29	0.02	0.00	0.00	44.91	0.00
37	0.34	0.00	0.00	0.00	46.15	0.01
41	2.80	0.01	0.01	0.00	38.81	0.00
43	0.69	0.00	0.08	0.01	44.90	0.00
46	0.41	0.01	0.01	0.01	49.75	0.01
57	0.10	0.00	0.00	0.00	56.77	0.00
61	1.82	0.00	0.05	0.01	57.96	0.01
63	1.71	0.00	0.03	0.01	72.51	0.01
65	0.00	0.00	0.00	0.01	64.80	0.00

ตาราง ข -2 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนริฟิเคชันที่ขาเข้าของท่อยาว

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	1.34	0.29	0.14	0.09	47.31	0.25
1	0.70	0.14	0.04	0.01	45.87	0.29
2	0.84	0.35	0.10	0.06	59.13	0.11
3	0.71	1.23	0.24	0.24	61.75	0.15
4	0.23	0.02	0.01	0.00	48.23	0.22
5	0.00	0.00	0.03	0.03	48.28	0.41
6	0.00	0.00	0.01	0.01	43.36	0.19
8	1.01	0.07	0.04	0.07	49.12	0.42
10	0.32	0.04	0.07	0.02	47.14	0.89
12	3.23	0.95	0.15	0.02	45.30	0.60
14	3.23	0.95	0.15	0.02	45.30	0.60
19	1.35	0.35	0.07	0.02	46.10	0.59
21	0.67	0.05	0.05	0.02	46.12	0.59
23	0.64	0.06	0.04	0.01	5.31	0.04
25	0.87	0.12	0.07	0.02	33.06	0.29
28	0.44	0.14	0.22	0.01	33.83	0.46
30	0.82	0.13	0.10	0.01	37.77	1.24
32	0.69	0.05	0.22	0.02	45.75	0.57
34	0.76	0.44	0.07	0.01	38.34	0.30
36	0.27	0.23	0.06	0.03	43.59	0.50

ตาราง ข -3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตในน้ำ (mgN/L) ในการทดลองการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดีไนริฟิเคชันที่ขาออกของท่อยาว

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	1.44	0.43	0.59	0.05	45.31	0.26
1	0.60	0.15	0.18	0.06	41.84	0.15
2	0.64	0.04	0.28	0.02	54.08	0.26
3	0.00	0.00	0.17	0.01	53.11	0.11
4	0.18	0.08	0.13	0.05	39.30	0.11
5	0.00	0.00	0.21	0.00	38.07	0.07
6	0.00	0.00	0.26	0.04	31.80	0.17
8	1.11	0.32	0.62	0.03	30.81	0.25
10	0.73	0.10	1.00	0.03	25.87	0.21
12	4.21	0.21	2.64	0.01	20.48	0.28
14	4.21	0.21	2.64	0.01	20.48	0.28
19	0.91	0.10	0.34	0.04	30.46	0.23
21	0.72	0.17	0.83	0.01	29.95	0.35
23	0.53	0.10	0.06	0.01	1.95	0.00
25	0.63	0.17	0.79	0.02	16.84	0.08
28	0.39	0.02	2.48	0.07	16.83	0.12
30	0.92	0.15	1.64	0.07	29.45	0.72
32	0.74	0.12	2.60	0.01	32.44	0.31
34	0.56	0.15	0.26	0.02	28.19	0.35
36	0.79	0.76	0.23	0.02	18.11	0.00

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.00	0.00	0.18	0.00	15.44	0.01
1	0.00	0.00	0.00	0.00	10.91	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	14.91	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	15.18	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	12.94	0.00
5	0.00	0.00	0.01	0.00	15.44	0.01
6	0.02	0.00	0.05	0.00	14.87	0.00
7	0.02	0.00	0.00	0.00	14.33	0.01
8	0.04	0.02	0.00	0.00	15.05	0.01
9	0.02	0.01	0.01	0.00	15.18	0.02
10	0.02	0.00	0.01	0.00	14.66	0.00
11	0.08	0.00	0.01	0.00	14.68	0.00
12	0.05	0.02	0.02	0.00	15.31	0.02
13	0.03	0.01	0.02	0.00	16.10	0.00
15	0.05	0.00	0.03	0.00	17.46	0.00
17	0.16	0.00	0.02	0.00	19.25	0.01
18	0.14	0.01	0.04	0.00	20.35	0.00
19	0.67	0.01	0.18	0.00	21.05	0.01
20	1.63	0.00	0.32	0.01	20.29	0.01
21	2.16	0.01	0.36	0.03	20.13	0.00
22	2.44	0.02	0.40	0.02	20.25	0.01
23	2.38	0.00	0.45	0.03	21.92	0.00
24	2.51	0.01	0.63	0.05	22.16	0.01
25	2.73	0.01	0.87	0.03	22.23	0.00

ตาราง ค-2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1
 ในบ่อ T2

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.00	0.00	0.00	0.00	12.56	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	12.96	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	12.67	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	13.08	0.01
5	0.06	0.07	0.00	0.00	13.67	0.00
6	0.02	0.01	0.01	0.00	12.10	0.01
7	0.04	0.00	0.01	0.00	13.31	0.01
8	0.04	0.01	0.01	0.00	13.73	0.00
9	0.02	0.00	0.01	0.00	14.20	0.00
10	0.03	0.00	0.01	0.00	12.87	0.00
11	0.07	0.01	0.01	0.00	13.78	0.00
12	0.12	0.00	0.02	0.00	13.54	0.00
13	0.18	0.01	0.03	0.00	14.53	0.00
15	0.32	0.02	0.05	0.01	16.25	0.00
17	0.19	0.01	0.05	0.00	18.01	0.01
18	0.14	0.00	0.05	0.00	18.96	0.00
19	0.32	0.01	0.09	0.00	19.86	0.01
20	0.26	0.01	0.09	0.01	20.03	0.00
21	0.48	0.01	0.23	0.01	21.50	0.00
22	1.16	0.01	0.44	0.01	22.27	0.00
23	1.73	0.01	0.63	0.01	24.89	0.01
24	2.46	0.01	0.69	0.01	24.99	0.01
25	3.19	0.01	0.72	0.02	24.62	0.00

ตาราง ค-3 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1
ในบ่อ C

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.00	0.00	0.01	0.00	3.49	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	3.55	0.00
2	0.07	0.01	0.01	0.00	3.38	0.00
3	0.11	0.13	0.00	0.00	2.33	0.00
4	0.08	0.04	0.01	0.00	3.52	0.00
5	0.11	0.00	0.02	0.00	4.14	0.01
6	0.11	0.00	0.04	0.00	3.35	0.01
7	0.12	0.02	0.05	0.00	0.96	0.01
8	0.12	0.02	0.06	0.00	5.50	0.01
9	0.24	0.02	0.08	0.00	4.38	0.01
10	0.17	0.01	0.11	0.00	3.90	0.00
11	0.34	0.02	0.14	0.01	4.47	0.00
12	0.45	0.06	0.19	0.01	4.35	0.00
13	0.67	0.04	0.22	0.01	4.70	0.00
15	2.17	0.02	0.37	0.01	5.06	0.00
17	3.08	0.01	0.62	0.02	6.10	0.01
18	4.24	0.00	0.71	0.01	5.83	0.00
19	5.31	0.02	0.88	0.03	5.40	0.00
20	6.16	0.06	0.77	0.02	4.51	0.00
21	7.50	0.02	1.37	0.03	6.01	0.01
22	8.66	0.01	1.89	0.04	6.05	0.01
23	8.69	0.02	2.92	0.12	6.63	0.00
24	7.50	0.03	4.84	0.11	7.18	0.00
25	7.34	0.01	6.18	0.05	7.46	0.00

ตาราง ก-4 ข้อมูลการเจริญเติบโตของลูกปลาตัวอ่อนระหว่างการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 1

วันที่	T1				T2				C			
	น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.01	0.00	0.95	0.06	0.01	0.00	0.95	0.06	0.01	0.00	0.95	0.06
14	0.04	0.01	1.49	0.12	0.05	0.01	1.44	0.07	0.06	0.01	1.56	0.12
19	0.10	0.03	1.91	0.17	0.10	0.02	1.90	0.12	0.10	0.03	1.90	0.22
25					0.12	0.03	2.06	0.14	0.29	0.09	2.61	0.22

ตารางที่ ก-5 ค่าอัลคาไลน์ิตี้, ความเป็นกรดด่าง (pH), ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

วันที่	T1			T2			C		
	Alkalinity mgCaCO ₃ /L	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /L	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /L	pH	DO mg/L
0									
1	100		5.55	120		5.45	120		5.44
4	100	7.58	5.56	110	7.56	5.61	120	7.53	5.34
5	100	7.61		120	7.54		130	7.54	
7	110	7.46	5.42	100	7.41	5.59	120	7.4	5.14
10	100	7.96		90	7.87		110	7.86	
12	90	7.96		130	7.79		110	7.78	
14	90	7.79	5.2	120	7.7	5.21	120	7.72	5.26
16	90	7.85		110	7.78		120	7.74	
20	120	7.96	6	110	7.86	4.59	140	7.82	4.99
22	110	7.88		100	7.84		120	7.83	

ตาราง ค-6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในมวลน้ำในการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 1

วันที่	T1 (mgTSS/L)	T2 (mgTSS/L)	C (mgTSS/L)
0	18	17	0
13	30	20	60
20	20	30	140

ภาคผนวก ง

ตาราง ง-1 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2
ในบ่อที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (Biofilters)

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.05	0.02	0.00	0.00	5.50	0.35
2	0.76	0.06	0.02	0.00	5.84	0.15
3	1.13	0.12	0.20	0.03	6.96	0.11
4	0.48	0.16	0.72	0.03	7.87	0.12
5	0.23	0.11	0.38	0.10	9.61	0.15
6	0.20	0.01	0.02	0.02	11.52	0.18
7	0.14	0.15	0.07	0.07	12.71	0.15
8	0.17	0.04	0.15	0.06	11.79	1.38
9	0.25	0.18	0.30	0.22	14.11	0.60
10	0.31	0.10	0.29	0.17	16.52	0.21
11	0.44	0.25	0.55	0.40	14.40	1.49
12	0.78	0.04	1.78	0.97	17.76	1.26
13	0.62	0.21	3.18	1.08	18.19	1.89
14	0.87	0.11	2.82	0.29	21.14	2.58
15	0.65	0.04	1.86	0.31	25.99	2.27
16	0.29	0.05	0.93	0.30	27.25	1.50
17	0.52	0.12	0.95	0.27	27.45	3.15
18	0.79	0.20	2.46	0.60	29.73	2.60
19	0.19	0.09	1.86	1.46	29.99	1.29
20	0.41	0.22	1.12	0.95	33.54	0.90
21	0.40	0.08	1.14	0.64	36.98	2.44
22	0.06	0.06	0.80	0.40	38.85	4.60
23	0.38	0.15	0.77	0.48	42.09	3.50
24	2.04	0.24	0.69	0.36	47.00	4.38

ตาราง ง-2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรดของการทดลองอนุบาลลูกปลาตัวอ่อนรอบที่ 2
 ในบ่อหุคควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (Control)

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.08	0.02	0.00	0.00	1.19	0.01
2	1.50	0.14	0.02	0.00	1.39	0.04
3	2.61	0.29	0.07	0.04	1.27	0.02
4	3.60	0.64	0.06	0.00	1.42	0.02
5	5.15	0.65	0.08	0.03	2.40	0.04
6	5.85	0.77	0.13	0.03	1.96	0.02
7	6.95	0.31	0.46	0.05	2.17	0.04
8	7.77	1.22	1.13	0.02	1.55	0.02
9	9.21	0.80	2.78	0.10	2.20	0.13
10	11.81	0.07	4.90	0.09	1.08	0.06
11	9.47	0.52	4.63	0.46	2.43	0.06
12	6.58	0.76	12.34	0.55	2.43	0.16
13	1.09	0.09	11.64	0.52	9.16	1.90
14	1.30	0.07	20.87	0.39	3.30	0.17
15	0.64	0.21	17.97	0.34	5.01	0.25
16	0.44	0.06	25.89	0.28	4.22	0.40
17	0.47	0.19	31.51	0.46	0.00	0.10
18	1.39	0.16	40.66	1.16	0.00	0.48
19	1.20	0.39	38.40	0.60	0.00	0.49
20	0.86	0.03	39.67	0.93	0.00	0.12
21	0.82	0.16	42.78	1.82	0.00	0.22
22	1.66	0.28	31.18	1.18	3.95	0.11
23	3.52	0.03	23.81	0.97	4.56	0.20
24	4.55	0.58	24.30	0.74	5.69	0.19

ตาราง ง-3 ค่าอัลคาไลน์ตี, ความเป็นกรดด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนรอบที่ 2

วันที่	Biofilters								Control			
	Alkalinity (mgCaCO ₃ /L)	SD	pH	SD	Temperature (°C)	SD	DO (mg/L)	SD	Alkalinity (mgCaCO ₃ /L)	pH	Temperature (°C)	DO (mg/L)
0	86.67	5.77							90			
1			7.82	0.14	28.9	0.06	6.37	0.17		7.77	28.3	5.62
5	96.67	5.77							120			
9	76.67	5.77	7.16	0.07	29.4	0.15	5.12	0.33	150	7.08	28.9	2.92
12	96.67	11.55							100			
14			6.54	0.42	29.4	0.57	2.15	0.80		6.78	28.9	3.39
15	76.67	11.55							70			
18	93.33	5.77							110			
20	73.33	11.55							100			
22			6.73	0.06	29.5	0.58	1.89	0.65		6.83	29.4	2.05

ตาราง ง-4 ผลผลิตจากการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

วันที่	Biofilters				C			
	น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.01	0.00	0.95	0.00	0.01	0.00	0.95	0.00
14	0.08	0.02	1.92	0.09	0.08	0.02	1.82	0.15
20	0.14	0.01	2.09	0.03	0.12	0.05	2.00	0.31
24	0.29	0.01	2.67	0.01	0.20	0.03	2.44	0.20

ตาราง ง-5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในวันสุดท้ายของการทดลองอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนในโรงเรือนรอบที่ 2

วันที่	Biofilters	SD	C
	(mgTSS/L)		(mgTSS/L)
24	12	12	63

ภาคผนวก จ

ตาราง จ-1 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรดของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ T1

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.44	0.03	0.03	0.00	1.40	0.01
1	1.09	0.12	0.15	0.01	1.61	0.01
2	0.32	0.01	0.10	0.00	0.45	0.01
3	0.35	0.01	0.24	0.21	0.63	0.01
4	0.00	0.00	2.24	0.08	1.35	0.02
5	0.00	0.00	5.35	0.12	3.68	0.04
7	0.31	0.08	5.22	0.07	4.71	0.06
9	0.45	0.20	2.85	0.04	4.12	0.21
11	1.12	0.22	1.57	0.03	6.74	0.04
13	0.66	0.09	0.70	0.03	9.41	0.08
18	0.87	0.14	0.28	0.02	11.53	0.04
20	0.61	0.14	0.21	0.01	15.63	0.19
22	0.50	0.10	0.30	0.02	12.82	0.07
24	0.72	0.13	0.31	0.01	15.57	0.08
27	0.52	0.13	0.21	0.04	20.79	0.11
29	0.82	0.13	1.41	0.06	14.11	0.41
31	0.62	0.06	0.26	0.01	19.81	0.21
33	0.59	0.04	0.71	0.04	22.30	0.39
35	1.19	0.20	2.11	0.03	19.57	0.31
37	1.00	0.20	4.87	0.05	19.51	0.34
39	1.54	0.18	4.08	0.10	17.17	0.35
41	2.20	0.07	7.41	0.49	16.39	0.36
43	0.53	0.08	5.93	0.33	21.84	0.40
45	0.33	0.11	3.12	0.02	23.03	0.40

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
47	2.03	0.15	2.12	0.32	27.57	0.44
49	2.30	0.08	3.57	0.06	25.83	0.80
51	6.49	0.21	3.08	1.10	26.58	0.41
53	6.85	1.52	2.98	0.09	21.72	1.71
55	10.27	0.61	1.82	0.08	19.10	0.14
57	14.86	0.78	5.37	0.46	14.66	0.32
59	18.50	1.38	1.26	0.04	11.30	0.08
61	26.96	1.07	0.59	0.02	6.96	0.19
63	22.33	2.13	0.56	0.01	4.93	0.04
65	22.05	1.43	1.12	0.05	5.53	0.04
67	23.01	0.98	0.88	0.03	6.63	0.20
69	21.43	0.91	1.22	0.02	8.11	0.08
71	11.50	0.35	1.93	0.05	8.88	0.17
73	0.50	0.11	0.29	0.01	13.21	0.04
75	0.42	0.08	0.26	0.02	12.57	0.25
77	0.34	0.03	0.17	0.01	12.69	0.16
79	0.38	0.03	0.18	0.00	12.23	0.52
81	1.00	0.06	0.06	0.00	7.25	0.02

ตาราง จ-2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่และไนเตรดของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ T2

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนโตรที่ (mgN/L)		ไนเตรด (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.40	0.02	0.04	0.02	1.33	0.00
1	1.01	0.08	0.22	0.08	1.53	0.00
2	0.27	0.02	0.14	0.02	0.41	0.01
3	0.19	0.01	0.50	0.01	0.45	0.00
4	0.00	0.00	2.63	0.00	1.21	0.06
5	0.00	0.00	5.95	0.00	2.83	0.02
7	0.46	0.12	4.57	0.12	6.77	0.04
9	1.00	0.13	0.97	0.13	8.26	0.04
11	0.83	0.09	0.78	0.09	10.31	0.15
13	0.51	0.07	0.39	0.07	13.50	0.77
18	0.91	0.08	0.23	0.08	16.55	0.19
20	0.59	0.02	0.24	0.02	18.21	0.04
22	0.59	0.03	0.34	0.03	19.97	0.04
24	0.59	0.04	0.29	0.04	22.96	0.26
27	0.50	0.14	0.40	0.14	28.45	0.26
29	0.92	0.15	0.40	0.15	26.75	0.51
31	0.74	0.04	0.26	0.04	29.68	0.37
33	0.35	0.01	0.31	0.01	31.80	0.33
35	0.36	0.19	0.56	0.19	34.13	0.38
37	0.69	0.42	0.97	0.42	27.69	0.36
39	0.74	0.53	0.90	0.53	39.19	0.61
41	1.45	0.12	0.88	0.12	44.35	0.39
43	0.07	0.07	0.67	0.07	49.96	0.57
45	0.56	0.36	0.60	0.36	47.82	1.18

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
47	1.07	0.14	0.58	0.14	54.63	0.61
49	0.75	0.04	1.49	0.04	56.61	0.65
51	1.13	0.09	1.18	0.09	55.89	1.14
53	1.20	0.66	1.52	0.66	50.45	0.43
55	1.80	0.14	1.31	0.14	41.69	0.39
57	0.63	0.14	2.33	0.14	32.40	0.25
59	0.00	0.00	1.32	0.00	23.44	0.19
61	3.10	1.03	1.07	1.03	14.24	0.12
63	0.49	0.05	1.36	0.05	9.15	0.15
65	0.91	0.22	0.55	0.22	7.20	0.07
67	1.43	0.16	0.28	0.16	5.88	0.04
69	0.66	0.14	0.21	0.14	5.93	0.00
71	0.69	0.08	0.22	0.08	7.01	0.09
73	0.47	0.07	0.17	0.07	9.31	0.39
75	0.34	0.07	0.17	0.07	9.30	0.15
77	0.37	0.08	0.17	0.08	9.35	0.24
79	0.37	0.07	0.24	0.07	10.30	0.25
81	0.84	0.01	0.06	0.01	6.25	0.05

ตาราง จ-3 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตของการทดลองเลี้ยงปลาขนาดตลาดในบ่อ C

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	0.76	0.02	0.03	0.00	1.11	0.00
1	1.98	0.08	0.05	0.00	1.27	0.01
2	0.69	0.01	0.02	0.00	0.32	0.01
3	1.11	0.01	0.02	0.00	0.33	0.01
4	3.59	0.13	0.10	0.00	1.14	0.04
5	8.62	0.22	0.23	0.01	2.31	0.07
7	11.70	0.92	0.29	0.02	2.71	0.11
9	14.48	0.80	0.18	0.02	2.82	0.19
11	18.21	1.69	0.68	0.05	3.10	0.11
13	16.38	1.39	4.54	0.22	2.57	0.18
18	2.08	0.35	12.86	0.16	21.12	0.33
20	0.70	0.13	12.26	0.11	31.06	0.34
22	0.90	0.07	24.62	0.69	16.98	1.30
24	1.50	0.23	27.47	0.66	25.64	3.48
27	1.18	0.21	28.68	1.38	30.60	0.06
29	3.42	0.37	51.67	1.45	6.15	0.59
31	3.48	1.07	47.31	2.65	9.75	0.82
33	2.62	0.30	47.24	0.37	10.58	1.43
35	0.18	0.18	45.34	1.07	10.87	0.16
37	0.77	0.39	41.99	2.39	14.93	0.57
39	0.62	0.04	38.00	1.81	14.51	0.52
41	1.47	0.07	44.75	1.26	10.52	0.40
43	0.25	0.10	43.22	0.61	9.35	0.15
45	0.03	0.05	0.25	0.01	52.85	0.44
47	1.08	0.10	0.48	0.09	55.99	1.14

วันที่	แอมโมเนีย (mgN/L)		ไนไตรท์ (mgN/L)		ไนเตรต (mgN/L)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD
49	0.64	0.17	0.45	0.05	62.76	0.76
51	0.79	0.11	0.31	0.03	57.13	0.75
53	1.88	1.42	0.26	0.19	55.54	0.90
55	0.06	0.04	0.37	0.18	54.79	0.49
57	0.57	0.22	0.42	0.09	52.34	0.50
59	0.00	0.00	0.29	0.03	33.49	0.30
61	3.23	0.76	0.22	0.01	48.24	0.64
63	1.97	0.04	0.19	0.03	48.72	0.12
65	0.14	0.05	0.46	0.02	44.56	0.38
67	0.12	0.08	0.14	0.12	41.40	0.47
69	0.03	0.03	0.09	0.02	37.63	0.52
71	0.13	0.04	0.14	0.04	35.54	0.28
73	0.41	0.05	0.11	0.01	39.39	0.84
75	0.23	0.04	0.18	0.02	39.99	0.02
77	0.31	0.02	0.16	0.01	31.95	0.72
79	0.25	0.03	0.12	0.01	33.26	0.76
81	1.43	0.05	0.13	0.00	25.80	0.82

ตาราง จ-4 ค่าอัลคาไลน์ตี, ความเป็นกรดค่า (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

วันที่	T1				T2				C			
	Alkalinity mgCaCO ₃ /	Temperature (°C)	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /	Temperature (°C)	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /	Temperature (°C)	pH	DO mg/L
0	100	27.7	6.95	4.69	90	27.5	6.96	4.88	90	27.8	6.94	4.12
2	80				80				100			
4	120				110				120			
8	110	28.3	6.89	4.23	80	28.3	6.9	4.13	130	28.3	6.93	3.64
10	110				80				130			
11		28	6.89	4.05		27.7	7.03	4.4		28.1	6.99	3.22
14	100				100				120			
15		27.1	6.91	4.57		26.8	7.03	4.53		28.1	6.56	3.12
18	90				110				50			
19		26.3	6.96	4.85		26	7.04	4.74		26.3	6.65	3.42
22	110				150				90			
23		25.2	7	5.08		25.1	7.05	4.98		25.4	6.6	3.34
26		26.3	6.97	4.95		26.2	6.97	4.34		26.5	6.39	2.57
28	110				120				60			
30	100				100				60			

วันที่	T1				T2				C			
	Alkalinity mgCaCO ₃ /	Temperature (°C)	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /L	Temperatur e (°C)	pH	DO mg/L	Alkalinity mgCaCO ₃ /L	Temperature (°C)	pH	DO mg/L
32	110	27.3	7	4.97	110	27.4	7.02	4.68	70	27.6	6.45	3.2
35	110				100				100			
37		28.3	7.04	5.11		28.3	7	4.69		28.6	6.81	3.91
41	90				70				90			
45		28.3	7.02	5.26		28.5	6.96	4.31		28.6	6.72	3.69
49	100				80				80			
50		28.9	6.88	4.64		28.9	6.94	3.91		29	6.7	2.91
58	150	28.6	7	2.94	160	29	7.02	2.53	140	28.9	6.68	1.3
67	180	29.1	7.05	3.08	200	29.2	7.24	3.06	150	29.3	6.87	1.53
80	170	29.5	6.99	2.89	200	29.4	7.25	2.78	130	29.5	6.66	1.43

ตาราง จ-5 ผลผลิตจากการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

วันที่	T1				T2				C			
	น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว(เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)		ความยาว(เซนติเมตร)	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
0	47.79	7.84	13.58667	7.836715	47.79	7.84	13.59	7.84	47.79	7.84	13.59	7.84
16	72.01	19.52	15.46	1.196476	65.58	10.60	14.75	0.76	63.71	10.98	14.81	1.06
51	84.07	10.75	16.07	0.551866	90.91	35.65	16.86	1.08	83.95	10.98	16.07	1.33
81	131.89	33.33	18.46	1.340509	130.60	24.10	18.23	1.00	112.96	14.02	17.66	0.78

ตาราง จ-6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในการทดลองเพาะเลี้ยงปลาขนาดตลาดในโรงเรือน

วันที่	T1 (mgTSS/L)	T2 (mgTSS/L)	C (mgTSS/L)
0	0	0	0
23	200	240	520
45	120	220	600
63	320	490	840
81	2340	2200	2980

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทยากร สุวรรณรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2529 ที่โรงพยาบาลระนอง จบการศึกษาระดับมัธยมต้นจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณกุลกันยา จบการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เมื่อปีพ.ศ. 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 ผลงานที่ได้เผยแพร่มีดังนี้

Suwanarat, T., Nootong, K. and Powtongsook, S. Development of closed recirculating system integrating nitrifying and denitrifying biofilters for rearing tilapia larviculture. Pure and Applied Chemistry International Conference, 21-23 January 2010, Ubon Ratchatani, Thailand.