ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน

นางสาวรุ่งนภา สุทธิศรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2670-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF CLOSED RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM FOR AN INDOOR SUPER-INTENSIVE SHRIMP CULTURE

MISS RUNGNAPHA SUTTISRI

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

ISBN 974-14-2598-8

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน
โดย	นางสาวรุ่งนภา สุทธิศรี
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภวสันต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รุ่งนภา สุทธิศรี : ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน. (EFFICIENCY OF CLOSED RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM FOR AN INDOOR SUPER-INTENSIVE SHRIMP CULTURE) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ.ดร . สรวิศ เผ่าทองศุข, 85 หน้า. ISBN 974-14-2670-4

ระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในโรงเรือน ประกอบด้วย (1) บ่อเลี้ยงทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ความจุน้ำ 3,000 ลิตร (2) ระบบกรองตะกอนด้วยไส้กรองขนาด 5 ไมครอน (3) ระบบแยกตะกอนโปรตีนและไขมัน (4) บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันขนาด 2x2x1.25 เมตร ความจุน้ำ 3,500 ลิตร ที่มีใยกรอง Biopolymar™ บรรจุอยู่ และ (5) ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวที่สร้างขึ้นจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 50 เมตร ภายในบรรจุพลาสติกทรงกลม (bioball) จำนวน 2,040 ลูก ในช่วงต้นของท่อยาวมีการเติมเมธานอลเพื่อเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนแก่ดีไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย และมีการติดตั้งหัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เพื่อใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบโดยอัตโนมัติ

การศึกษาประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน ประกอบด้วย ชุดการทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจำนวน 2 ระบบ ที่มีส่วนประกอบที่เหมือนกันทุกประการ แต่ทำการเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่นต่างกันคือระบบที่ 1 เลี้ยงที่ความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร และระบบที่ 2 เลี้ยงที่ความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร ทำการปล่อยลูกกุ้งระยะ P23 ลงเลี้ยงเป็นเวลา 132 วัน ในน้ำทะเลความเค็ม 25 PSU โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง ผลการทดลองพบว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี โดยในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูงมีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.086± 0.05 mg-N/L (พิสัย 0.00-0.25 mg-N/L) ปริมาณไนไตรต์เฉลี่ย 0.04± 0.047 mg-N/L (0.009-0.23 mg-N/L) ปริมาณไนเตรตมีค่าเฉลี่ย 30.45± 9.08 mg-N/L (9.16-45.59 mg-N/L) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.060± 0.05 mg-N/L (0.00-0.25 mg-N/L) ปริมาณไนไตรต์มีเฉลี่ย 0.023± 0.018 mg-N/L (0.006-0.15 mg-N/L) ปริมาณไนเตรตมีค่าเฉลี่ย 23.29± 4.25 mg-N/L (14.46-34.49 mg-N/L) โดยกุ้งในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูงมีการเพิ่มน้ำหนักกุ้งเฉลี่ยจาก 0.13 กรัมเป็น 10.82 กรัม อัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ย 0.081 กรัม/วัน อัตราแลกเนื้อ 1.86 และมีอัตรารอดร้อยละ 51.1 ส่วนในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นปกติมีการเพิ่มน้ำหนักกุ้งเฉลี่ยจาก 0.13 กรัมเป็น 11.96 กรัม อัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ย 0.090 กรัม/วัน อัตราแลกเนื้อ 1.71 มีอัตรารอดร้อยละ 51.7 ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาพที่ดีได้ตลอดการเลี้ยงโดยไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และน้ำภายหลังการเลี้ยงสามารถนำกลับมาใช้ได้สำหรับการเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปได้อีก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือนิสิต รุ่งนภา สุทธิศรี

ปีการศึกษา 2549 ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4789126020: MAJOR INTERDISCIPLINARY PROGRAM OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: CLOSED RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM / BLACK TIGER SHRIMP/ NITRIFICATION / DENITRIFICATION

RUNGNAPHA SUTTISRI: EFFICIENCY OF CLOSED RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM FOR AN INDOOR SUPER-INTENSIVE SHRIMP CULTURE. THESIS ADVISOR: PROF. PIAMSAK MENASVETA, Ph.D. THESIS CO- ADVISOR: SORAWIT POTONGSOOK, Ph.D.

85 pp. ISBN 974-14-2670-4

The closed recirculating seawater system for an indoor black tiger shrimp cultivation was consisted of: (1) round-shape shrimp tank with 3 m in diameter and 3,000 L in volume, (2) 5 microns cartridge filter, (3) protein and fat fractionator, (4) nitrification tank with a diameter of 2x2x1.25 m and 3,500 L in volume packed with Biopolyma™ biofilter material and (5) Tubular Denitrification Reactor (TDR) made of 50 m length PVC pipes (1 inch in diameter) packed with 2,040 plastic bioballs. The denitrification reaction in TDR was automatically regulated using ORP controller in order to supply methanol as the carbon source for the bacteria.

The experiment consisted of two identical seawater systems. High shrimp density (150 shrimp/m^2) and normal shrimp density (50 shrimp/m^2) were applied to system 1 and 2 respectively. The P23 shrimps were cultivated for 132 days in 25 PSU seawater without water exchange throughout the culture period. The results show that the closed recirculating seawater system had very good performance in water quality control. With high-density shrimp tank, average total ammonia was 0.086± 0.05 mg-N/L (0.00-0.25 mg-N/L data range), average nitrite was 0.04± 0.047 mg-N/L (0.009-0.23 mg-N/L) and average nitrate was 30.45± 9.08 mg-N/L (9.16-45.59 mg-N/L). On the other hand, normal-density shrimp tank had slightly lower inorganic nitrogen concentrations. With normal-density shrimp tank, average ammonia was 0.060± 0.05 mg-N/L (0.00-0.25 mg-N/L), average nitrite was 0.023± 0.018 mg-N/L (0.006-0.15 mg-N/L), and average nitrate was 23.29± 4.25 mg-N/L (14.46-34.49 mg-N/L). Growth of shrimp in both systems was not significant different. Weight of shrimp in the high-density tank increased from 0.13 g to 10.82 g with an average daily weight gain (DWG) of 0.081 g/d and feed conversion ratio (FCR) of 1.86. Weight of shrimp in the normal-density tank had slightly higher than that found in high-density tank. Average weight increase from 0.13 g to 11.96 g with DWG of 0.09 g/day and FCR of 1.71. Survival rate of shrimps was 51.1 and 51.7% in high and normal-density tank respectively. The results suggested that the closed recirculating seawater system could maintain good water quality throughout the experiment and eliminated the need of water exchange. Seawater in the tank after shrimp harvest could be reused for the next crop.

Field of Study: Environmental Science ..... Student's Signature: .....

Academic Year: 2006 ..... Advisor's Signature: .....

Co-advisor's Signature: .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลาย ๆ ท่าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือและตรวจทานรายละเอียดต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา และนอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้การช่วยเหลือในการให้คำแนะนำต่างๆตลอดจนช่วยเหลือในการติดตั้งระบบและช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภวสันต์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมให้ข้อเสนอแนะข้อคิดเห็นที่มีส่วนสำคัญในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งคณาจารย์ในสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาในการให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ

นอกจากนั้น ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณนักวิจัย เจ้าหน้าที่ และนิสิต ที่ปฏิบัติงานในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆในการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยหลักจากมูลนิธิโทเร เพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ ประเทศไทยและทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใยและคอยให้การสนับสนุนเงินทุน คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา และน้องที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1.บทนำ 1

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 สมมุติฐาน 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 4

2.2 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 5

2.3. กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ 9

2.4. สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ 10

2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 15

3.อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง 21

3.1 การเตรียมระบบบ่อทดลองและการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง 21

3.2 การศึกษาคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง 26

3.3 การประเมินสมดุลไนโตรเจนและการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง 31

4.ผลการทดลองและอภิปรายผล 33

4.1 การเตรียมระบบบ่อทดลองและการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง 34

4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง 38

หน้า

4.3 การประเมินสมดุลไนโตรเจนและการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง 60
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2-1	ตัวอย่างของงานวิจัยเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ……	16
ตารางที่3-1	ลักษณะทางชลศาสตร์ของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	24
ตารางที่ 3-2	รูปแบบการปรับทางเดินน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในขั้นตอนการเตรียมสภาพบ่อและระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง……	25
ตารางที่3-3	การตรวจสอบคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมคุณภาพสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดภายในโรงเรือน……	28
ตารางที่ 4-1	ผลสรุปคุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง…….	39
ตารางที่ 4-2	อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ……...	47
ตารางที่ 4-3	อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง……..	47
ตารางที่4-4	อัตราการบำบัดแอมโมเนียมของตัวอย่างใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพในตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงและบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ คำนวณจากข้อมูลในรูปที่ 4-12 ถึง 4-14 โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)……	53
ตารางที่ 4-5	ประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ณ วันสุดท้ายของการทดลองในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ…….....	60
ตารางที่ 4-6	ประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ณ วันสุดท้ายของการทดลองในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง……..	61
ตารางที่ 4-7	ประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน…….	61

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบรูปแบบของวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือน, ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งและระบบบ่อดินกลางแจ้ง..... 5

รูปที่ 2-2 ขั้นตอนต่างในการบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (biological nitrogen treatment)..... 14

รูปที่ 3-1 ลักษณะการติดตั้ง (1) ระบบกรองตะกอนขนาดรูพรุนของไส้กรอง 5 ไมครอนกับบ่อเลี้ยงกุ้งรูปกลมที่ใช้ในการทดลอง..... 22

รูปที่ 3-2 บ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน (1) ตัวกรองชีวภาพที่เป็นเส้นใยกรอง Biopolymar™ นำมาเป็นวัสดุให้ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียมายึดเกาะอาศัย (2) ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน..... 23

รูปที่ 3-3 ระบบบำบัดไนเตรตที่ใช้ระบบท่อยาว ประกอบด้วย (1) ท่อพีวีซีภายในบรรจุไบโอบอล (2) ถังบรรจุเมธานอล (3) เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสายยางสำหรับการเติมเมธานอล (4) หัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน เพื่อใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอล..... 24

รูปที่ 3-4 ไดอะแกรมแสดงชุดการทดลองที่ประกอบด้วยชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง..... 27

รูปที่ 3-5 บ่อเลี้ยงกุ้งรูปกลมที่มีการสร้างพื้นเทียมให้กุ้งเกาะอาศัยและมีการวางผ้ามุ้งเพื่อเป็นที่รองรับอาหาร..... 27

รูปที่ 3-6 การทดสอบใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน ความยาว 15 เซนติเมตร ในโหลแก้วปริมาตรน้ำ 8 ลิตรเพื่อทดสอบอัตราการบำบัดแอมโมเนีย... 32

รูปที่ 3-7 บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันที่ทำการดูดน้ำออกไปใส่ในบ่อเลี้ยง เพื่อสุ่มตัวอย่างตะกอนที่สะสมอยู่บริเวณก้นบ่อบำบัด..... 32

รูปที่ 4-1 แผนผังแสดงระยะเวลาในการศึกษาทดลองประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน..... 33

รูปที่ 4-2 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT), บ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันของบ่อ HD (HD-BT) และบ่อบำบัดของบ่อ LD (LD-BT) ในการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง..... 37

รูปที่ 4-3 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ที่บันทึกด้วย Data logger ระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติในช่วงเริ่มต้นระบบ..... 38

หน้า

รูปที่ 4-4 ปริมาณแอมโมเนียของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NH4-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NH4-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน…… 39

รูปที่ 4-5 ปริมาณไนไตรต์ของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO2-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO2-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน…. 40

รูปที่ 4-6 ปริมาณไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO3-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO3-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน…. 40

รูปที่ 4-7 pH และอัลคาลินิตี ของน้ำในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) โดยมีการหยุดเดินระบบบำบัดไนเตรตในวันที่ 21-66 ของการทดลองเลี้ยงเพื่อลดค่าอัลคาลินิตี…….. 41

รูปที่ 4-8 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 132 วัน…… 44

รูปที่ 4-9 ความยาวเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 132 วัน…… 44

รูปที่ 4-10 การแจกแจงความถี่น้ำหนักกุ้งที่สุ่มชั่งน้ำหนัก (A)วันที่แรกของการทดลองเลี้ยง, (B)วันที่ 30 ของการทดลองเลี้ยง, (C)วันที่ 61 ของการทดลองเลี้ยง, (D) วันที่ 103 ของการทดลองเลี้ยง และ (E) วันที่ 132 ของการทดลองเลี้ยง…… 45

รูปที่ 4-11 การแจกแจงความถี่ความยาวกุ้งที่สุ่มวัดความยาว (A)วันที่แรกของการทดลองเลี้ยง, (B)วันที่ 30 ของการทดลองเลี้ยง, (C)วันที่ 61 ของการทดลองเลี้ยง, (D) วันที่ 103 ของการทดลองเลี้ยง และ (E) วันที่ 132 ของการทดลองเลี้ยง..... 46

รูปที่ 4-12 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 1 (วันที่ 41 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง)…… 50

รูปที่ 4-13 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 2 (วันที่ 72 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง) ……... 51

รูปที่ 4-14 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 3 (วันที่ 114 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง)…….. 52

หน้า

รูปที่ 4-15 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-BT)……. 54

รูปที่ 4-16 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-BT)……. 55

รูปที่ 4-17 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของ น้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-BT) ในช่วงระยะเวลาในช่วงระยะเวลาระหว่างการให้อาหาร……... 57

รูปที่ 4-18 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของ น้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-BT) ในช่วงระยะเวลาในช่วงระยะเวลาระหว่างการให้อาหาร……... 58

รูปที่ 4-19 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD)…….. 59

รูปที่ 4-20 ปริมาณแอมโมเนียของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NH4-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NH4-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง..... 62

รูปที่ 4-21 ปริมาณไนไตรต์ของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NH4-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NH4-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง…….. 63

รูปที่ 4-22 ปริมาณไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO3-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO3-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง…….. 63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลโดยเฉพาะกุ้งกุลาดำเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศเนื่องจากทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก การวิจัยและพัฒนาเพื่อให้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นอุตสาหกรรมที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงมีความสำคัญอย่างมากต่อการเติบโตของกุ้งในบ่อ ปัญหาที่พบมากในการเลี้ยงกุ้งไม่ว่าจะเป็นปัญหาการติดโรคแบคทีเรียและไวรัส และปัญหาการเติบโตของกุ้งที่ผิดปรกติ ต่างก็เป็นผลที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปของเสียที่พบมากในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักเป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งจะเชื่อมโยงกับวัฏจักรไนโตรเจนภายในบ่อ ซึ่งการปล่อยน้ำที่มีของเสียไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะส่งผลกระทบแก่แหล่งน้ำทำให้เกิดการเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำส่งผลให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ (eutrophication) และหากมีความเข้มข้นสูงก็จะแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้โดยตรง ดังนั้นในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดหรือกึ่งปิดที่มีการถ่ายน้ำน้อยจึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระบบบำบัดน้ำโดยใช้กระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบแอมโมเนียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของเศษอาหาร ซึ่งมีความเป็นพิษสูงไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่า การมีระบบบำบัดไนตริฟิเคชันจะช่วยยืดระยะเวลาของการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกไปได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นระยะเวลานาน จะเกิดปัญหาการสะสมของไนเตรตในน้ำ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีผลต่อสัตว์น้ำในทันทีแต่จะส่งผลต่อความเครียดและการเจริญพันธุ์ได้ของสัตว์น้ำได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเมื่อมีปริมาณไนเตรตสะสมในระบบสูงกว่า 50 mgNO_3-N/L ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตโดยนำหลักการของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจนทำการเปลี่ยนไนเตรตเป็นแก๊สไนโตรเจน ระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชันจึงช่วยแก้ปัญหาการสะสมของไนเตรตในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ทำให้สามารถหมุนเวียนน้ำใช้ได้เป็นระยะเวลานานขึ้นอีกมาก นอกจากนี้การเลี้ยงกุ้งในระบบปิดที่มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงกว่าบ่อดินทำให้จำเป็นต้องเพิ่มความหนาแน่นของสัตว์เลี้ยงเพื่อให้คุ้มกับต้นทุน ซึ่งความหนาแน่นที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงก็เป็นส่วนสำคัญต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง เนื่องจากความหนาแน่นที่เลี้ยงเป็นตัวกำหนดเบื้องต้นของปริมาณอาหารที่ให้และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยง โดยทั่วไปการปล่อยกุ้งกุลาดำลงเลี้ยงในบ่อดิน

จะมีความหนาแน่นปกติอยู่ที่ 37-62 ตัว/ตารางเมตรและ 80-100 ตัว/ตารางเมตรในกรณีที่เลี้ยงความหนาแน่นสูง แต่เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้น การศึกษานี้จึงเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงเป็น 150 ตัว/ตารางเมตร ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงย่อมมีปริมาณสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเป้าหมายของการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดนอกจากจะช่วยให้สามารถหมุนเวียนน้ำใช้ได้เป็นระยะเวลานานแล้ว ยังต้องมีประสิทธิภาพในการรองรับของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการเลี้ยงโดยจะต้องสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้มีความปลอดภัยไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และน้ำทะเลภายหลังการเลี้ยงสามารถนำมาบำบัดเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งรอบต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งในโรงเรือนในส่วนของระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน ระบบบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

2. เพื่อศึกษาอัตราการเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้งเพื่อหมุนเวียนนำมาใช้เลี้ยงกุ้งในรอบต่อไป

1.3 สมมุติฐาน

ระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งในโรงเรือน ที่ประกอบด้วยระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน บ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และระบบบำบัดไนเตรต มีประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและไม่มีความแตกต่างกันทั้งในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร รวมถึงสามารถหมุนเวียนน้ำใช้ได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลยตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดภายในโรงเรือนในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต รวมถึงปริมาณไนโตรเจนจากตะกอนที่ระบบบำบัดได้ และศึกษาการเติบโตของกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดภายในโรงเรือน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) การพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เป็นการช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการปล่อยน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้การเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2) หากสามารถลดต้นทุนการสร้างระบบและต้นทุนการผลิตก็จะสามารถส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดมากขึ้น เป็นทางเลือกของการเลี้ยงกุ้งแบบอุตสาหกรรมในอนาคตได้
3) ความรู้ที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดอื่นๆนอกจากกุ้งกุลาดำได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

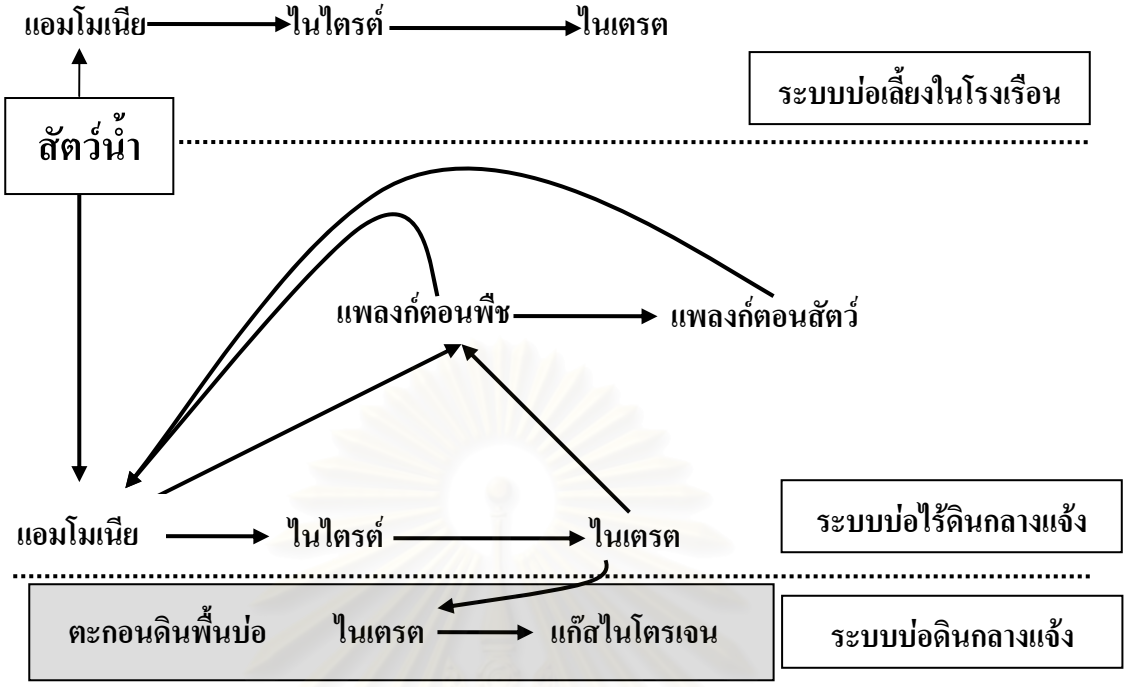
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่คือ ของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการปรับสภาพน้ำที่มีการใช้แล้วในบ่อเลี้ยงผ่านระบบบำบัดเพื่อลดปริมาณของเสียทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดการปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบเลี้ยงซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Recirculating Aquaculture System: RAS)โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ ระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือน ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง และระบบบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งสามรูปมีรูปแบบการทำงานและสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยบ่อเลี้ยงในโรงเรือนจะเป็นระบบที่ได้รับแสงน้อยและไม่มีตะกอนดินก้นบ่อ ในขณะที่บ่อไร้ดินกลางแจ้งแม้ว่าจะไม่มีตะกอนดินก้นบ่อแต่การที่บ่อได้รับแสงตามธรรมชาติจะทำให้เกิดแพลงก์ตอนขึ้นในบ่อ ในขณะที่ตะกอนดินก้นบ่อในบ่อดินกลางแจ้งจะมีผลอย่างมากต่อกระบวนการบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติ ดังนั้นวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อทั้งสามรูปแบบจึงมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-1

การปรับสภาพน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆได้แก่ การกรองทางชีวภาพ (biological filtration) การกรองโดยใช้เครื่องกล (mechanical filtration) การกรองทางกายภาพ (physical filtration) การกำจัดแบคทีเรียก่อโรค (disinfection) เป็นต้น โดยระบบการกรองทางชีวภาพเป็นกระบวนการสำคัญและเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการบำบัดคุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นวิธีการที่ประหยัดและไม่ยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ตัวกรองชีวภาพมีมากมายหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการเลียนแบบจากการกำจัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม ซึ่งในการทดลองเกี่ยวกับตัวกรองชีวภาพที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำช่วงแรกที่สุดที่มีการใช้กันคือตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำ(submerged filter) ต่อมาได้มีการพัฒนาตัวกรองชีวภาพแบบอื่นๆขึ้นมาซึ่งหลักการส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำ เช่น ตัวกรองชีวภาพแบบโปรยกรอง(tricking filter) ตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองหมุน (rotating media filter) ชั้นฟลูอิดไดซ์ (fluidized bed) และ Low density media filters (floating bead filters) (Lawson, 1995 อ้างโดย นภาพร กิตติมศักดิ์, 2541)



รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบรูปแบบของวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือน, ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งและระบบบ่อดินกลางแจ้ง

2.2 ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การจัดการเรื่องคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญมาก เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ไม่ดีในระบบเพาะเลี้ยงย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำหรืออาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่

2.2.1 แอมโมเนีย

เนื่องจากอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีปริมาณไนโตรเจนสูง และไนโตรเจนที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกอยู่ในรูปแอมโมเนีย แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะแบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำกว่าแอมโมเนีย ในการวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจะวัดรวมทั้งสองรูปแบบ แอมโมเนียทั้งสองรูปแบบนี้จะมีการเปลี่ยนรูปแบบไปมาได้ขึ้นอยู่กับพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ โดยหากพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนียจะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น แต่ถ้าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำลดลงแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียมอิออนจะมีอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง แต่พีเอชมีอิทธิพลต่อแอมโมเนียในน้ำมากกว่าอุณหภูมิ ส่วนใหญ่ในน้ำที่มีพีเอชประมาณ 7 จะมีปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) ต่ำกว่าในน้ำที่มีพีเอชประมาณ 9 ซึ่งน้ำทะเล

โดยทั่วไปจะมีพีเอชในช่วง 7.8-8.5 ดังนั้นสัตว์น้ำเค็มจึงมีความเสี่ยงต่อพิษของแอมโมเนียเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำจืด การที่ในน้ำมีแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้การขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้พีเอชของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น แอมโมเนียจะไปทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอติดเชื้อโรคได้ง่าย ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตายโดยปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ NH_3 แต่แอมโมเนียระหว่าง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งโตช้า สำหรับระดับที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงกุ้งควรน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร(ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

2.2.2 ไนไตรต์

ความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากที่ไนไตรต์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินทำให้เป็นเมทธีโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการตายเนื่องจากการขาดออกซิเจน ในสัตว์น้ำประเภทกุ้งและปูมีเลือดสีน้ำเงินมีฮีโมไซยานิน ไนไตรต์จะเข้าจับกับกับเม็ดเลือดได้น้อยกว่า ไนไตรต์จึงมีความเป็นพิษต่อกุ้งน้อยลง ความเป็นพิษมาจากเลือดกุ้งไม่สามารถจับตัวกับออกซิเจนทำให้กุ้งขาดออกซิเจนได้ นอกจากนี้ไนไตรต์ในเลือดกุ้งจะทำให้ระดับโปรตีนและพีเอชในเลือดกุ้งลดลง ซึ่งทำให้ชีวเคมีในเลือดกุ้งเปลี่ยนแปลง มีการสะสมของยูเรียในเลือดกุ้งและมีการดูดซึมน้ำมาก ทำให้สมดุลเกลือแร่เปลี่ยนไป ระดับความเป็นพิษของไนไตรต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำและค่าพีเอชน้ำลดลงและน้ำมีอุณหภูมิสูง แต่ความเป็นพิษของไนไตรต์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ ปริมาณไนไตรต์ที่สูงเกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์และ ไพพรรณ พรประภา, 2536) นอกจากนี้ไนไตรต์ยังเป็นสารพิษที่มีกลไกการเกิดพิษต่อสัตว์น้ำคล้ายกับแอมโมเนีย ระดับความเข้มข้นของไนไตรต์ที่ปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำในระยะ mysis และ post larva คือไม่เกิน 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chen and Chin, 1988)

2.2.3 ไนเตรต

เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด ซึ่งหมายความว่าในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปที่อยู่ในภาวะมีออกซิเจนจะเกิดการสะสมของไนเตรตในปริมาณที่สูงขึ้นในบ่อเลี้ยง ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพสัตว์น้ำ ทำให้เกิดการความเครียดขึ้นในสัตว์น้ำ อัตราการบริโภคอาหารของสัตว์น้ำต่ำ สัตว์น้ำเติบโตช้า สัตว์น้ำอ่อนแอและอัตราการเจริญพันธุ์ลดลง เป็นอุปสรรคต่อการออกไข่ ระยะเวลาการฟักไข่ล่าช้าและจำนวนไข่ลดลง ซึ่งทำให้ผลผลิตลดลง เมื่อปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง (>50 mgNO_3-N/L) จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และพบว่าที่ระดับ

ความเข้มข้นของไนเตรต 30 mgNO_3-N/L จะมีโอกาสทำให้เกิดโรคจุดขาว (Gutierrez-Wing,M.T. *et.al*, 2006) และในภาวะที่ไร้ออกซิเจนไนเตรตจะเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นไนไตรต์ โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

2.2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมาก กุ้งจะใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ นอกจากนี้ออกซิเจนยังช่วยสลายเศษอาหารและสิ่งขับถ่ายต่างๆของกุ้ง โดยปกติออกซิเจนที่ละลายน้ำในปริมาณต่ำกว่า 4 mg/L อาจไม่ทำอันตรายต่อกุ้ง แต่ในช่วงเวลาที่กุ้งกำลังลอกคราบจะมีความต้องการออกซิเจนสูง ถ้าออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยจะมีปัญหาต่อการลอกคราบ เนื่องจากถ้าออกซิเจนต่ำทำให้การลอกคราบของกุ้งเกิดไม่สมบูรณ์กุ้งอาจตายพร้อมคราบหรือหลังลอกคราบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำให้อยู่ในระดับที่มากกว่า 4 mg/L และการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะส่งผลต่อการหายใจ การกินอาหาร การเจริญเติบโต และสุขภาพของกุ้งได้ ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำกว่า 3 mg/L จะทำให้กุ้งไม่กินอาหารลดการเคลื่อนไหว และอาจอ่อนแอจนตายได้ ซึ่งความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเค็ม น้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง

2.2.5 พีเอช (pH)

พีเอชที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด กินอาหารสะดุด อ่อนแอและภูมิคุ้มกันลดลงได้ พีเอชของน้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงกุ้งควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 และความแตกต่างของพีเอชในรอบวันไม่ควรมากกว่า 0.5 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในรอบวันมากเกินไปจะมีผลทำให้กุ้งเครียด มีผลต่อการเจริญเติบโต (ชลอ ลิ้มสุวรรณและ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) สำหรับผลกระทบที่เกิดจากพีเอชที่ค่อนข้างต่ำ จะทำให้การใช้ออกซิเจนของตัวกุ้งเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบ่อที่มีความเค็มต่ำจะมีผลกระทบมากขึ้น กรณีที่พีเอชต่ำมากๆจะส่งผลให้กล้ามเนื้อบริเวณหางช็อค ขาวขุ่น และกล้ามเนื้อตายได้ ส่วนผลกระทบที่เกิดจากพีเอชที่ค่อนข้างสูงนี้น้ำที่มีความเค็มสูงจะเกิดผลกระทบต่อตัวกุ้งมากกว่าน้ำที่มีความเค็มต่ำ และมีผลต่อสภาพการละลายได้ของธาตุ หรือการแตกตัวของแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการลอกคราบของกุ้ง(เบญจมินทร์ ทองเปิง,2545)

2.2.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่นจะทำให้ระบบควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในผิดปกติ ทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำยังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของน้ำด้านอื่น เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลง และสภาวะอุณหภูมิสูงยังเร่งให้มีการดูดซึมสารพิษที่ละลายน้ำเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (คณิตไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537) กุ้งจัดเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิร่างกายจะ

เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกุ้ง เช่น ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C กระบวนการทางสรีรวิทยาจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า กล่าวคือ กิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตจะสูงขึ้น ได้แก่ การหายใจ การเคลื่อนไหว ทำให้การเจริญเติบโต หรือน้ำหนักของกุ้งลดลงได้ ในทำนองเดียวกันถ้าอุณหภูมิลดลงจะทำให้กุ้งกินอาหารได้น้อยและมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงได้เช่นเดียวกัน อุณหภูมิของน้ำที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 25-32°C (Chiang, 1989 อ้างถึงใน รายงานการวิจัยแผนงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการผลิตและการส่งออกกุ้งกุลาดำ, 2547) และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C และสูงกว่า 33°C กุ้งจะกินอาหารลดลง (Chanratchakool *et al*., 1995)

2.2.7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

เนื่องจากในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟอร์อื่นๆที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์และเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟอร์เหล่านี้ให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ในสามรูปแบบคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์อิออน (HS^-) และไบซัลไฟด์อิออน (S^{2-}) สัดส่วนของแต่ละชนิดที่พบจะขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ น้ำที่มีพีเอชต่ำจะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าน้ำที่มีพีเอชสูง ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะคล้ายคลึงกับการขาดอกซิเจน โดยจะไปสกัดกั้นการแพร่ของออกซิเจนในเซลล์ทำให้ปริมาณแลกเตท (lactate) ในเลือดสูง แต่ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรุนแรงกว่าการขาดออกซิเจน ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทำให้สัตว์น้ำตายจะอยู่ในช่วง 0.01-0.05 ppm สำหรับการเลี้ยงกุ้งนั้นไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งคือ 0.033 ppm (ชลอ ลิ้มสุวรรณและ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

2.2.8 ความเค็ม

ความเค็มเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของกุ้ง ทำให้กุ้งเปลี่ยนแปลงพลังงานในการหายใจและการขับถ่าย โดยเฉพาะระบบการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของแรงดันภายในร่างกายและน้ำภายนอก(เบญจมินทร์ ทองเปิง, 2545) ซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเลที่มีความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มได้ในช่วงกว้างและถ้าความเค็มเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้าๆสามารถปรับตัวอยู่ที่ความเค็มเป็นศูนย์หรือที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 PSU (ชลอ ลิ้มสุวรรณและ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) โดยความเค็มที่กุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีวิตได้ดีอยู่ในช่วงระหว่าง 15-30 PSU แต่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความเค็ม 27-28 PSU การใช้พลังงานในการควบคุมเกลือแร่และการขับถ่ายจะน้อยที่สุดและพบว่ากุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตดี (ธัญญา พันธ์ฤทธิ์ดำ, 2541)

2.2.9 อัลคาลินิตี (Alkalinity)

อัลคาลินิตีมีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากอัลคาลินิตีจะเป็นบัฟเฟอร์ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพีเอชจึงทำให้พีเอชนิ่ง และยังมีความสัมพันธ์กับอัตรารอดและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและกุ้งทะเลทุกชนิด อัลคาลินิตีที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 mg/L น้ำที่มีอัลคาลินิตีต่ำจะมีผลทำให้กุ้งตายจากการลอกคราบไม่ออก ลูกกุ้งระยะที่เพิ่งปล่อยลงในบ่อเลี้ยงที่มีอัลคาลินิตีต่ำจะลอกคราบไม่ออกในลักษณะคราบติดหัวและตาย ทำให้กุ้งมีอัตรารอดต่ำ ถ้าอัลคาลินิตีสูงมากและพีเอชของน้ำสูง กุ้งจะไม่ลอกคราบ กุ้งจะเป็นตะกรันตามเปลือกและการเจริญเติบโตช้า

2.3 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไปมี 4 รูปแบบ ได้แก่กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางกายภาพ (physical unit process) กระบวนการทางเคมี (Chemical unit process) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit process) และกระบวนการทางกายภาพเคมี (physiochemical unit process) ซึ่งสามารถเลือกใช้วิธีต่างๆได้ตามความเหมาะสมกับแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ระบบ หรืออาจใช้การผสมผสานกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดียิ่งขึ้น สามารถจำแนกเป็นกระบวนการใหญ่ๆได้ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

2.3.1 กระบวนการทางกายภาพ (physical unit process)

เป็นการกำจัดหรือการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่จมตัวหรือแขวนลอยอยู่ออกไป ขั้นตอนนี้มักเป็นขั้นตอนแรกของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยอาศัยหลักการกรองด้วยตะแกรง (screening) การตกตะกอน (sedimentation) การกวน (mixing) การทำให้ลอย (floatation) การกวาด (skimming) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) หรือโดยการอัดอากาศเข้าไป เพื่อให้เป็นฟองอากาศยึดเกาะกับอนุภาคของสาร เป็นต้น กระบวนการทางกายภาพนี้จะช่วยลดค่า BOD ของน้ำได้

2.3.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical unit process)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การทำให้เป็นกลาง (neutralization) การทำให้เกิดการตกตะกอน (precipitation) การกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค (disinfection) การปรับค่ากรด-เบส (pH-adjustment) เป็นต้น ข้อเสียของการเลือกใช้กระบวนการทางเคมีคือเมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำแล้วอาจก่อให้เกิดผลกระทบอื่นๆได้ อีกทั้งยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง

2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit process)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ จุดประสงค์หลัก ก็คือการกำจัดหรือแปรเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน (aerobic) และสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) กระบวนการกรองทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบกรองไหลผ่าน (tricking filter) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contractor, RBC) ระบบเอเอส (activated sludge) ระบบบ่อธรรมชาติ (natural pond) เป็นต้น

2.3.4 กระบวนการทางกายภาพเคมี (physiochemical unit process)

เป็นวิธีที่อาศัยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี เพื่อกำจัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ โดยวิธีนี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีชั้นสูง ได้แก่การใช้สารดูดซับ (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การกรองแบบ ultrafiltration ออสโมซิสผันกลับ reverse osmosis) การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น

2.4 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำมีหลายรูปแบบ แต่ที่พบมากและมีความสำคัญต่อกระบวนการบำบัดน้ำสำหรับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-nitrogen compound)

สารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของพืชและสัตว์ สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ และสารจากการย่อยสลายสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน กรดยูริก และยูเรีย เป็นต้น

สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen compounds)

สารไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย หรือสารประกอบแอมโมเนีย ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในรูปของแอมโมเนีย(NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร และจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำในรูปของแอมโมเนีย

สารประกอบไนไตรต์ (Nitrite-nitrogen compounds)

สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนไตรต์ (NO_2^-) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในน้ำและดิน

สารประกอบไนเตรต (Nitrate-nitrogen compounds)

สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากมีออกซิเจนในปริมาณมากพอแล้ว สารประกอบ

ไนเตรตจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด และยังเป็นสารอาหารที่สำคัญของพืชน้ำและสาหร่าย

ระบบบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological nitrogen treatment) (รูปที่2-2) เป็นการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำโดยอาศัยหลักการของระบบการกรองทางชีวภาพ (Biofiltration) คือ มีวัสดุที่เรียกว่าตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) ซึ่งเป็นแบคทีเรียยึดเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง รวมถึงแบคทีเรียทั้งที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ นำมาใช้บำบัดน้ำ การบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพประกอบด้วยปฏิกิริยาหลัก 3 ส่วนได้แก่ แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจากเศษอาหารหรือเซลล์สัตว์ที่ตายแล้วซึ่งอยู่ในรูปของโปรตีนและกรดนิวคลีอิกไปอยู่ในรูปแอมโมเนีย จากนั้นกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์และจากไนไตรต์เปลี่ยนเป็นไนเตรต ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการกำจัดไนเตรตให้ออกไปจากระบบการเพาะเลี้ยงโดยการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นแก๊สไนโตรเจน

2.4.1 กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน พวกเศษอาหารที่เหลือ เซลล์สัตว์ที่ตายแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของโปรตีน กรดนิวคลีอิก ไปอยู่ในรูปแอมโมเนียม และหากค่าพีเอชในน้ำเพิ่มขึ้นแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนีย ซึ่งจะมีบางส่วนที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ

โปรตีน $\longrightarrow$ กรดอะมิโน $\longrightarrow$ NH_4^+

$NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+$

2.4.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียที่เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและจากการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายสัตว์น้ำไปเป็นไนไตรต์ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนย่อย คือ ไนไตรเตชัน (nitritation) หรือ ไนไตรติฟิเคชัน (nitritification) เกิดโดยแบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) ดังสมการ

$2NH_4^+ + O_2 \longrightarrow 2NH_2OH + 2H^+$

$NH_4^+ + 0.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 275KJ$

จากนั้นแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) จะเปลี่ยนไนไตรต์ไปอยู่ในรูปไนเตรต ซึ่งเรียกว่า ไนเตรเตชัน (nitratation) หรือไนเตรติฟิเคชัน (nitratification) ดังสมการ

$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^- + 75KJ$

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

กรด-เบส (พีเอช) ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0-9.0 และแบคทีเรียไนตริฟายอิ้งจะปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชอย่างช้าๆ กระบวนการไนตริฟิเคชันจะถูกยับยั้งเมื่อค่าพีเอชเริ่มต่ำกว่า 7.0

ค่าอัลคาลินิตี สามารถวัด Buffering capacity ของระบบน้ำได้ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะสร้างสภาพความเป็นกรดโดยการสร้างไฮโดรเจนอิออน และใช้ความเป็นด่าง ทำให้พีเอชของน้ำลดลง ถ้าระบบมี buffering capacity น้อย ค่าพีเอชของระบบก็จะลดลง

ออกซิเจน อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะลดลงถ้าขาดออกซิเจน น้ำที่ไหลออกจากตัวกรองควรมีค่าออกซิเจนอย่างน้อย 2 mg/l ส่วนน้ำไหลเข้าควรมีออกซิเจน 5-6 mg/l ถ้าออกซิเจนมีปริมาณต่ำมากๆจะทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนแบคทีเรียที่สร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจนจะสร้างมีเธนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

ความเค็ม ไนตริฟายอิ้งสามารถปรับตัวได้ในความเค็มทุกช่วงถ้าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ และถ้าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 5 PSU อย่างฉับพลันจะทำให้ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียเกิดการชะงัก และลดอัตราการกำจัดแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ (Lowson, 1995)

อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 25°C Nitrite oxidizing bacteria จะมีจำนวนลดลงเนื่องจากเกิดการแข่งขันกับ Ammonium oxidizing bacteria เนื่องจากปกติแบคทีเรียออกซิไดซ์แอมโมเนียมีอัตราการเติบโตดีกว่าแบคทีเรียออกซิไดซ์ไนไตรต์ (Hellinga *et al*., 1998) ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียสามารถปรับตัวได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างถ้ามีการเปลี่ยนแปลงช้าๆ

แสง ไนตริฟายอิ้งทำงานได้ดีในที่มืด แต่ความเข้มแสงต้องไม่น้อยกว่า 1% ของแสงในวันปกติ เพราะจะเป็นการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย

2.4.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นไนไตรต์และแก๊สไนโตรเจน ตามลำดับ โดยอาศัยแบคทีเรีย denitrifying bacteria กระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะแอนอกซิก (anoxic) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระแต่มีไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระในกระบวนการหายใจของแบคทีเรีย ซึ่งไนเตรตจะสามารถถูกลดรูปหรือถูกกำจัดออกจากระบบได้สองวิธี คือ

วิธีแอสสิมิเลชัน (Assimilatory denitrification)

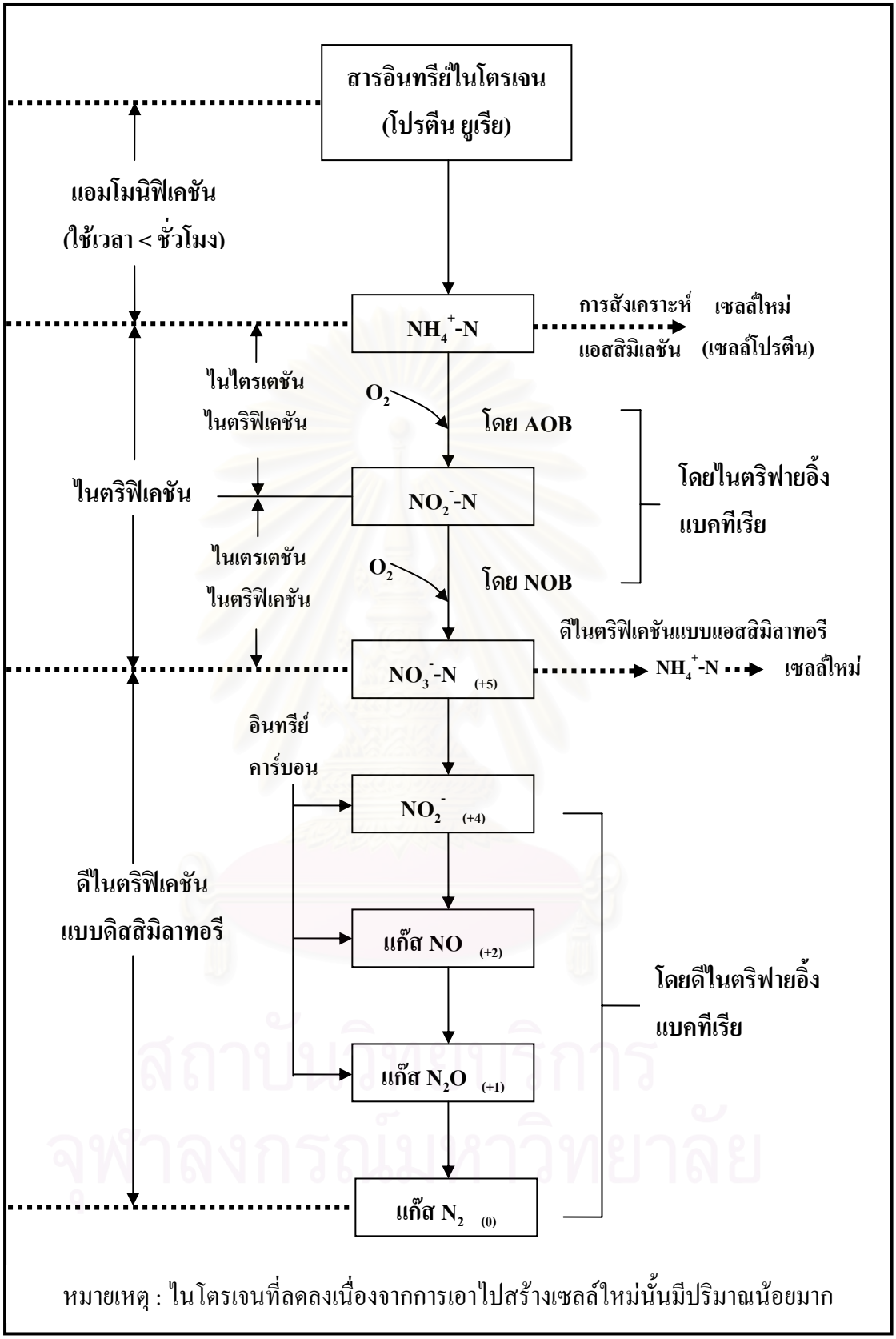
แบคทีเรียต้องการไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน ไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนคือไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย แต่ถ้าไม่มีแอมโมเนียหรือมีไม่พอ แบคทีเรียบางชนิดสามารถลดรูปไนเตรตไปเป็นแอมโมเนียและเอาไปใช้ได้ ซึ่งมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับวิธีที่สองคือวิธีดีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชัน

วิธีดิสสิมิเลชัน (Dissimilatory denitrification)

แบคทีเรียดีไนตริฟายอิ้งในกระบวนการดิสสิมิเลชันเป็นได้ทั้งแบบ Heterotrophs และ autotrophs แต่แบคทีเรียแบบ heterotrophs จะมีบทบาทมากกว่า ซึ่งแบคทีเรียแบบ heterotrophs ต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) คือมีไนเตรตแต่ไม่มีออกซิเจนอิสระ โดยไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) แก๊สไนตริออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ดังสมการ ซึ่งแก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้น้อยมาก จึงถูกขับไล่ออกจากมวลของน้ำได้ง่าย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

$$NO_3^- \xrightarrow{\text{nitrate reductase}} NO_2^- \xrightarrow{\text{nitrite reductase}} NO \xrightarrow{\text{nitric reductase}} N_2O \xrightarrow{\text{nitrous oxide reductase}} N_2$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-2 ขั้นตอนต่างในการบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (biological nitrogen treatment) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ออกซิเจนละลายน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญต่อการกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากในสภาพที่มีออกซิเจนดีไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียจะเลือกใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนไนเตรต เพราะพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอนโดยไนเตรตจะมีค่าน้อยกว่าการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอนโดยออกซิเจนเล็กน้อย ดังนั้นในสภาพที่มีออกซิเจนประมาณ 0.1-0.2 mg/l Heterotrophic bacteria จึงจะเลือกใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแทนออกซิเจน นอกจากนี้เมื่อมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้เอนไซม์ไนโตรเจนออกไซด์รีดักเตส (Nitrogen oxide reductase) ทำงานได้น้อยลง ซึ่งจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันชะงักหรือเกิดในอัตราที่ช้า (วิลาสินี ไตรยราช, 2546)

อุณหภูมิ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกระบวนการดีไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 35-50 $^{\circ}$C โดยจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุดที่ 30 $^{\circ}$C และสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ (5-10 $^{\circ}$C) แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลงและไม่พบการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิ 0 $^{\circ}$C

กรด-เบส (พีเอช) ช่วงค่า พีเอช ที่เหมาะสมต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชันคือ 7.0-7.5 และในกรณีที่ค่า พีเอช อยู่ในระดับสูงกว่า 8.0 และต่ำกว่า 6.0 อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้ช้า

สารประกอบอินทรีย์ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดจากแบคทีเรียพวก heterotrophs นั้นจำเป็นต้องมีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน เพื่อใช้ในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานให้กับดีไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนจะเป็นตัวให้อิเลคตรอนในการหายใจแก่แบคทีเรีย

ความเข้มข้นของไนเตรต ไนเตรตถูกใช้เป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้ายในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นไนเตรตจึงมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดและอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยจะเกิดขึ้นในอัตราเร็วสูงสุดเมื่อมีความเข้มข้นของไนเตรตอยู่ในระดับสูงอย่างเกินพอ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538)

ระยะเวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรต การใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำมาก จะทำให้เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับแบคทีเรียมากทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ผลดี แต่ถ้าลดเวลากักเก็บน้ำลง น้ำไหลผ่านเครื่องกรองเร็วขึ้น เวลาที่แบคทีเรียสัมผัสน้ำลดน้อยลงและมีผลทำให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มา ทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง (กิตติ เกษตรธรรม, 2535)

2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมาใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด ตัวอย่างของงานวิจัยเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดแสดงในตารางที่ 2-1 จะเห็นได้ว่าแต่ละระบบจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งการออกแบบ

ระบบจะต้องมีความเหมาะสมกับสัตว์น้ำที่เลี้ยงและจะต้องมีความสามารถในการรองรับของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการเลี้ยง

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างของงานวิจัยเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ชนิดของสัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อเลี้ยง(ลิตร)	ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ	เอกสารอ้างอิง
fish culture	50,000	ระบบกรองชีวภาพแบบแบบโปรยกรอง และส่วนบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเป็นแบบ Fluidization bed reactor โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน	Arbiv, R. and van Rijn, J.(1995)
Tilapia	3,365	ตะแกรงแยกตะกอนขนาด Ø 15.24 ซม. ยาว 91 ซม. , floating bead filter ที่เป็นเม็ด polyethylene พื้นที่ผิวตัวกรอง 178 ตร.ม.และระบบกรองแบบตัวกรองหมุน ปริมาตร 1400 ลิตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกรอง 197 เมตร หมุนด้วยความเร็ว 3 รอบ/นาที	DelosReyes Jr., A. A. and Lawson,T. B. 1996
Oreochromis niloticus, Oreochromis aureus	20,000	ส่วนของบ่อเลี้ยงซึ่งออกแบบเป็นถังดักตะกอนชีวภาพระบบน้ำไหลวน 4 ถัง ปริมาตรรวม 20,000 ลิตร, ตัวกรองตะกอนแบบหมุนขนาดรูพรุน 60 ไมครอนและระบบกรองชีวภาพแบบโปรยกรองซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกรอง 416 ตร.ม./ลบ.ม.	Twarowska J. G. *et.al*. 1997.
Oreochromis niloticus, Oreochromis aureus	53,000	ถังตกตะกอนขนาด 5,700 ลิตร, ตัวกรองตะกอนขนาดรูพรุน 60 ไมครอน, ระบบกรองชีวภาพแบบ Microbead ขนาด 100 ลิตร พื้นที่ผิวตัวกรอง 39.3 ตร.ม. และระบบกรองชีวภาพแบบโปรยกรองขนาด 60 ลิตร พื้นที่ผิวตัวกรอง 5.2 ตร.ม.	Greiner, A. D. and Timmons, M. B. (1998)
Penaeus monodon;	1,440	แผ่นแยกตะกอนขนาด 160 ลิตร,ถังเติมอากาศขนาด 120 ลิตร,ถังกรองชีวภาพแบบใต้น้ำขนาด 720 ลิตร และบ่อเติมอากาศขนาด 180 ลิตร	Tseng, K.F. *et.al*.(1998)

ชนิดของสัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อเลี้ยง(ลิตร)	ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ	เอกสารอ้างอิง
Oreochromis niloticus	2,262.37	ระบบกรองชีวภาพแบบ bubble-washed bead filter ขนาด 1,630 ลิตร ที่มีพื้นที่ผิวตัวกรอง 32.2 ตร.ม.	Sastry, B. N. *et.al*. 1999.
Leucicus idus	82.5	ระบบกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน ขนาด 0.42 ลิตรและระบบชีวภาพกรองขนาด 0.375 ลิตร ที่มีการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวกรองให้มีค่าต่ำ 0.3-0.5 ลิตร/ชม.เพื่อเป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ	Boley, *et.al*. 2000.
Oreochromis niloticus	430	ระบบกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันแบบใต้น้ำขนาด 300 ลิตร	Ridha, M. T. and Cruz, E. M. (2001)
Sciaenops ocellatus	238	บำบัดภายในบ่อเลี้ยงด้วยคอลัมภ์ตัวกรองชีวภาพและการให้อากาศที่บริเวณพื้นผิว	Thoman *et.al*.(2001)
*Oreochromis niloticu*s	1,000	ตัวกรองตะกอนขนาด 350 ลิตร, บ่อตกตะกอนขนาด 3,500 ลิตร, ถังกรองชีวภาพขนาด 2,000 ลิตรและถังพักน้ำขนาด 2,250 ลิตร	Al-Hafedh, Y. S. *et.al*. 2003.
Oreochromis niloticusc และ*Oreochromis aureus*	2,300	บ่อตกตะกอนขนาด 400-800 ลิตร, ระบบกรองชีวภาพแบบโปรยกรองขนาด 1,000 ลิตร พื้นที่ผิวตัวกรอง 240 ตร.ม./ลบ.ม.และชั้นฟลูอิดไดซ์ขนาด 6.25 ลิตร	Barak, Y.*et.al*.(2003)
Anguilla japonica	430	ระบบแยกตะกอนโปรตีนและไขมันขนาด 250 ลิตร,ระบบไนตริฟิเคชันขนาด 160 ลิตร และระบบดีไนตริฟิเคชันขนาด 210 ลิตร	Suzuki, Y. *et.al*.(2003).
salmonid culture	15,000	เครื่องหมุนแยกตะกอน, ตัวกรองตะกอน, fluidized-sand biofilter และถังเติมอากาศ	Summerfelt, S. T. and Sharrer M. J.(2004)

ชนิดของสัตว์น้ำ	ขนาดของบ่อเลี้ยง(ลิตร)	ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ	เอกสารอ้างอิง
Anguilla anguilla	ไม่ระบุ	ระบบตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำ ขนาด 8.63 ลิตร ที่มีพื้นที่ผิวตัวกรอง 1.23 ตร.ม.	Tseng,K.F. and Wu, K.L. (2004).
Xiphophorus maculatus	70	ระบบกรองชีวภาพแบบใต้น้ำขนาด 0.9 ลิตร และ ระบบดีไนตริฟิเคชันที่ประกอบด้วยคอลัมภ์ตัวกรองแบบโปรยกรองขนาด 1.3 ลิตรที่มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นตัวไล่แก๊สส่วนเกินออกไปจากน้ำ และคอลัมภ์ canister filter ขนาด 6 ลิตร	Grommen, R. *et.al*. 2006.
tilapia	12,500	เครื่องหมุนแยกตะกอน, ถังพักน้ำขนาด 700 ลิตร, propeller-wash bead filter ขนาด 280 ลิตรและ fluidized sand filter ขนาด 920 ลิตร	Pfeiffer, T. and Malone, R.(2006)

การศึกษาเกี่ยวกับตัวกรองชีวภาพ โดย นภาพร กิติมศักดิ์ (2541) ซึ่งได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัม (biodrum) และแบบใต้น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำและปลากะพงขาว พบว่าในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ของตัวกรองชีวภาพทั้งสองแบบอยู่ในเกณฑ์ปกติและไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณไนเตรตของทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยชุดการทดลองตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัมพบการสะสมของไนเตรตเพิ่มจาก 1.317 mg-N/L เป็น 9.958 mg-N/L และชุดการทดลองตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำพบการสะสมของไนเตรตเพิ่มจาก 1.410 mg-N/L เป็น 9.862 mg-N/L สำหรับการเลี้ยงปลากะพงขาว ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรต์ในชุดตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำจะมีค่าสูงกว่าแบบไบโอดรัม ส่วนปริมาณไนเตรตของตัวกรองชีวภาพทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันแต่พบการสะสมของปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเช่นเดียวกัน โดยชุดการทดลองตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัมพบการสะสมของไนเตรตเพิ่มจาก 1.655 mg-N/L เป็น 58.894 mg-N/L และชุดการทดลองตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำพบการสะสมของไนเตรตเพิ่มจาก 1.410 mg-N/L เป็น 59.862 mg-N/L

สำหรับในประเทศไทยได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดโดย สิริ ทุกข์วินาศ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง (2541) ศึกษาระบบบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบ Bio-filter โดยดำเนินการทดลองในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดของเกษตรที่จังหวัดจันทบุรี น้ำจากบ่อเลี้ยงจะถูกกรองด้วยผ้ากรองแพลงก์ตอนแล้วเข้าสู่ถังเก็บน้ำที่กรองตะกอน แล้ว

ผ่านเข้าสู่ถังเติมอากาศ (เกิดไนตริฟิเคชัน)มีระยะเวลากักเก็บ 7 ชั่วโมง แล้วผ่านสู่ถังบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (ดีไนตริฟิเคชัน) มีระยะเวลากักเก็บ 6-8 ชั่วโมง พบว่าสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูปแอมโมเนียและค่า BOD ลงได้ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนยังไม่ได้ผลและจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งต่อมา สิริ ทุกข์วินาศ ,ขวัญฤทัย ถนอมเกียรติ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง (2542) ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงวิธีดังกล่าวโดยมีการเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บในช่วงที่มีการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจาก 6-8 ชั่วโมงเป็น 16 ชั่วโมง พบว่าระบบใหม่สามารถบำบัดน้ำส่วนใหญ่ให้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งได้ แต่ยังมีคุณภาพน้ำบางอย่าง เช่น ฟอสเฟต ไนเตรต ไนไตรต์ยังมีปริมาณสูงอยู่

สำหรับการศึกษาการบำบัดไนเตรตในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในโรงเรือนโดยธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ (2541) และ Menasveta *et.al*. (2001) ซึ่งใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดประกอบด้วยบ่อเลี้ยง บ่อกรองชีวภาพสภาวะใช้ออกซิเจนและและมีระบบตัวกรองชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ในระดับ 0.5 mg-N/L และ 0.2 mg-N/L ตามลำดับ และสามารถบำบัดไนเตรตได้โดยใช้ถังบำบัดดีไนตริฟิเคชันที่มีการพ่นแก๊สไนโตรเจนเพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำและมีการเติมเมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอน ต่อมา อำไพเทพิน สิงหพันธุ (2543) จึงได้พัฒนาระบบบำบัดแบบท่อยาวที่ใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียส่วนต้นของท่อทำหน้าที่ลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและแบคทีเรียในส่วนท้ายของท่อทำหน้าที่ลดปริมาณไนเตรต ซึ่งวิธีนี้ทำให้ไม่ต้องใช้แก๊สไนโตรเจนในการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ พบว่าเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ นอกจากนี้ยังพบกับปัญหาการควบคุมระบบบำบัดไนเตรตในการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งจะต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

สุวิมล ตันฑสุกิจวณิช (2545) ได้ศึกษาพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวต่อจากอำไพเทพิน สิงหพันธุ (2543) และศึกษาความสัมพันธ์ของการบำบัดไนเตรตในระบบบ่อยาวกับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เพื่อใช้ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบโดยการกำหนดช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) อยู่ที่ช่วง -50 mV ถึง -200 mV พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตได้สูงถึงร้อยละ 84-97 โดยไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อมา วิลาสินี ไตรยราช (2546) ได้ศึกษาพัฒนาระบบบำบัดต่อจากรายงานของสุวิมล ตันฑสุกิจวณิช (2545) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรตในน้ำทะเล ด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ปรับระยะเวลากักน้ำของระบบให้อยู่ระหว่าง 2.3-3.5 ชั่วโมง อัตราการเติมเมธานอล 10 ml/hr โดยใช้ความเข้มข้นของเมธานอล 5% ปรับช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) อยู่ที่ช่วง -310 mV ถึง -320 mV สามารถบำบัดไนเตรตได้มากกว่า 80% และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

นอกจากนี้ศิริวรรณ ศิลาภากุล (2545) ยังได้มีศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบอากาศยกที่มีการไหลเวียนน้ำภายนอก ซึ่งถังปฏิกรณ์ประกอบไปด้วยส่วนสภาวะให้อากาศและสภาวะไม่ให้อากาศ โดยใช้ไบโอบอลเป็นวัสดุตรึงแบคทีเรีย สามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจนได้สมบูรณ์ โดยเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันพร้อมกัน และไม่มีการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนในระบบ โดยมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 0.06-0.87 mg-N/m^{-2}/day และอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 0.01-0.08 mg-N/m^{-2}/day

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษาระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งในโรงเรือน ประกอบด้วยระบบบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระบบหมุนเวียนน้ำจำนวน 2 ชุดที่เหมือนกันทุกประการ โดยแต่ละระบบประกอบด้วยบ่อเลี้ยงรูปกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ระบบกรองตะกอน, ระบบแยกตะกอนโปรตีนและไขมัน, บ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว ทำการปล่อยลูกกุ้งระยะ P23 ลงเลี้ยงเป็นเวลาประมาณ 4 เดือน ในน้ำทะเลความเค็ม 25 PSU โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยทำการเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่นต่างกัน คือระบบที่ 1 เลี้ยงที่ความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร และระบบที่ 2 เลี้ยงที่ความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร

การทดลองประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมบ่อทดลองและการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยง (หัวข้อ 3.1) การศึกษาคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง (ห้วข้อ 3.2) และการประเมินสมดุลไนโตรเจนและการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง (หัวข้อ 3.3)

3.1 การเตรียมระบบบ่อทดลองและการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง

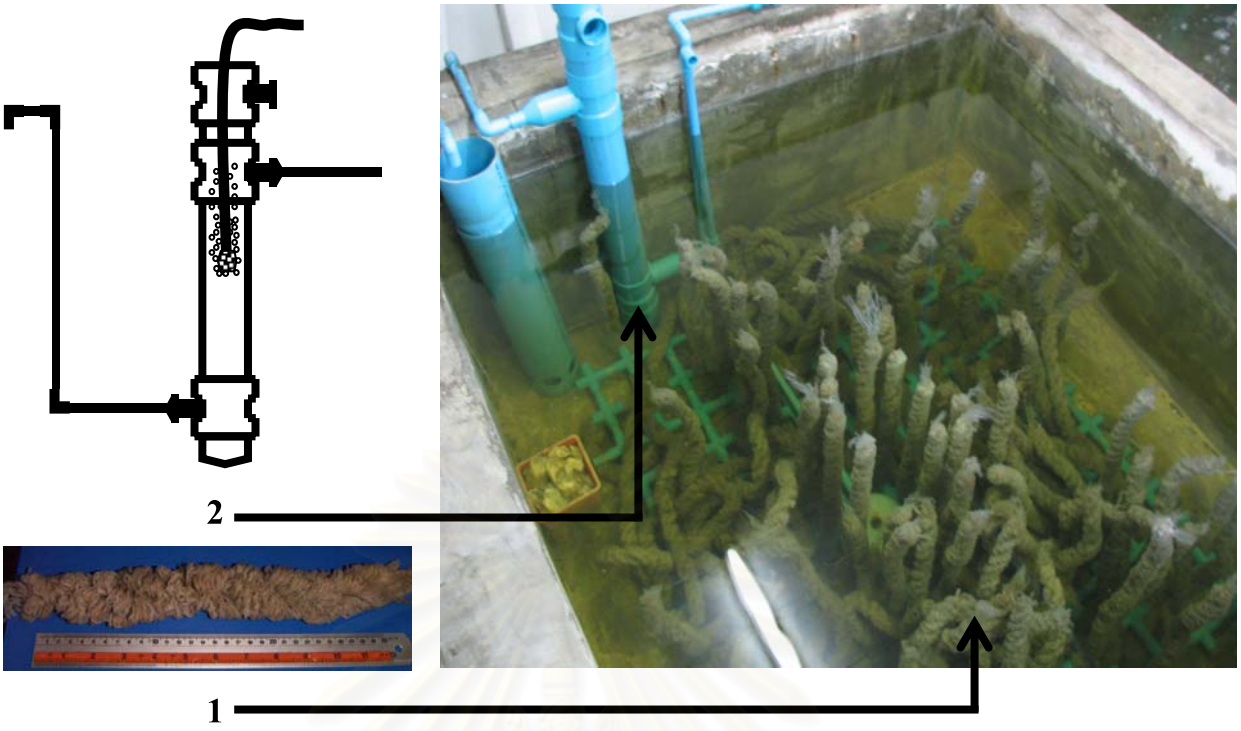
3.1.1 การเตรียมระบบบ่อทดลอง

ชุดการทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกุ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร สูง 0.80 เมตร ทำจากไม้อัดปูผ้าพลาสติก ระบบเครื่องกรองตะกอน (cartridge filter) ขนาดไส้กรอง 5 ไมครอน (รูปที่ 3-1) ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน (Foam fractionators) มีลักษณะเป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว สูง 127 เซนติเมตร ใส่หัวพ่นอากาศไว้ด้านล่างให้อากาศไหลสวนทางกับน้ำขึ้นมา เพื่อเป็นการดันฟองโปรตีนและไขมันขึ้นมาติดอยู่ที่ส่วนบนของท่อ ติดตั้งอยู่ภายในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันซึ่งเป็นบ่อซีเมนต์ขนาด 2x2x1.25 เมตร ภายในมีตัวกรองชีวภาพที่เป็นเส้นใยกรอง Biopolymar™ ความยาว 60 เมตร นำมาเป็นวัสดุให้ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียมายึดเกาะอาศัย มีหัวพ่นอากาศและจานพ่นอากาศติดตั้งอยู่ภายในบ่อ (รูปที่ 3-2) และระบบบำบัดไนเตรตที่ใช้ระบบท่อยาว(รูปที่3-3) โดยเป็นการพัฒนาต่อจากระบบบำบัดไนเตรตสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรายงานของสุวิมล ตันฑสุกิจวณิช (2545) และวิลาสินี ไตรยราช (2546) ประกอบด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 48 เมตร ภายในท่อบรรจุพลาสติกทรงกลมที่เรียกว่าไบโอบอล (bioball) จำนวน 2,040 ลูก เป็นวัสดุ

ให้ดีไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียมายึดเกาะอาศัย มีการเติมเมธานอล 5% ในอัตราเร็ว 16 มิลลิลิตร/ชั่วโมง เข้าสู่ช่วงต้นของท่อยาวโดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสายยาง (peristaltic pump) เพื่อให้เมธานอลเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนแก่ดีไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย และมีการติดตั้งหัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential: ORP) ไว้บริเวณปลายท่อ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยมีการปรับตั้งระบบให้หยุดเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ลดลงต่ำกว่า -330 mV และจะสั่งการให้เติมเมธานอลเมื่อค่า ORP เพิ่มสูงกว่า -300 mV

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดแต่ละระบบ มีการเชื่อมต่อบ่อเลี้ยงกุ้งกับระบบบำบัด โดยน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกสูบผ่านระบบกรองตะกอน ไปสู่ระบบแยกฟองโปรตีนและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน น้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลกลับลงสู่บ่อเลี้ยงกุ้ง สำหรับระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวจะเป็นการนำน้ำที่อยู่ภายในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันเข้ามาผ่านระบบท่อยาว ก่อนที่จะกลับคืนลงสู่บ่อไนตริฟิเคชันบ่อเดิม ลักษณะทางชลศาสตร์ของระบบทดลองแสดงในตารางที่ 3-1

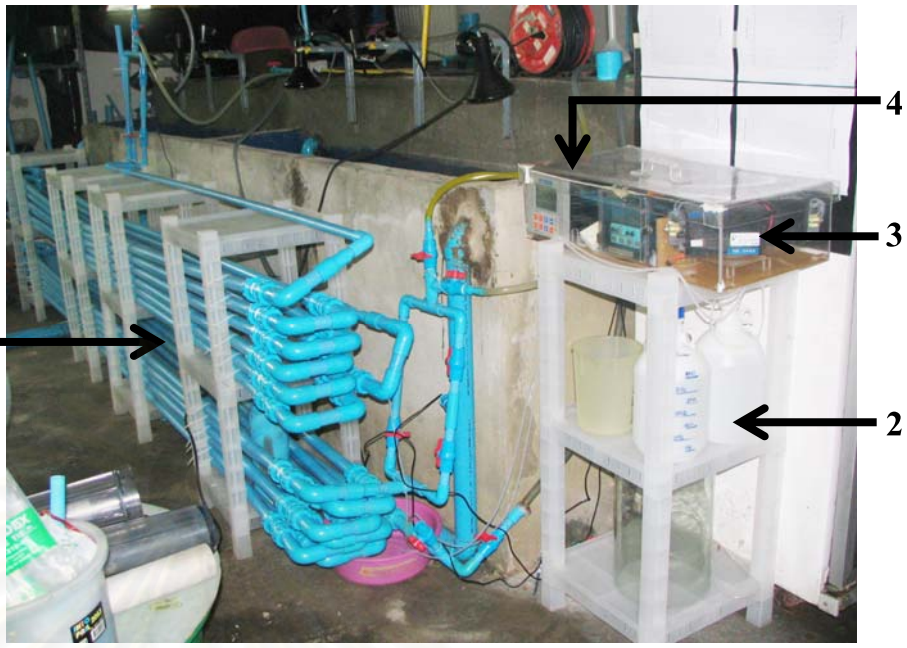
รูปที่3-1 ลักษณะการติดตั้ง (1) ระบบกรองตะกอนขนาดรูพรุนของไส้กรอง 5 ไมครอน กับบ่อเลี้ยงกุ้งรูปกลมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่3-2 บ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน (1) ตัวกรองชีวภาพที่เป็นเส้นใยกรอง Biopolymar™ นำมาเป็นวัสดุให้ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียมายึดเกาะอาศัย (2) ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไบโอบอล



รูปที่3-3 ระบบบำบัดไนเตรตที่ใช้ระบบท่อยาว ประกอบด้วย (1) ท่อพีวีซีภายในบรรจุไบโอบอล (2) ถังบรรจุเมธานอล (3) เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสายยางสำหรับการเติมเมธานอล (4) หัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน เพื่อใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอล

ตารางที่3-1 ลักษณะทางชลศาสตร์ของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ส่วนประกอบ	ลักษณะทางชลศาสตร์ของระบบทดลอง	
	ความจุน้ำ(ลิตร)	ระยะเวลากักเก็บน้ำ(ชั่วโมง)
บ่อเลี้ยง	3,427-4,098	4.46-5.70
บ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน	3,390-3,500	3.24-3.76
ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว	23.55	1.69-1.93

3.1.2 การเตรียมสภาพระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง

เนื่องจากน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงกุ้ง เป็นน้ำทะเลที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วจากงานวิจัยของวิลาสินี ไตรยราช (2546) ซึ่งได้ผ่านการใช้งานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมาแล้วเป็นเวลาประมาณ 3 ปี การเตรียมสภาพระบบบำบัดเริ่มต้นจากการเติมน้ำจืดเพื่อปรับความเค็มของน้ำเป็น 25 PSU ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำในระบบได้ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานจึงทำให้ความเค็ม

ของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำ หลังจากที่ได้ปรับความเค็มแล้วจึงทำการปรับทางเดินของน้ำให้มีการหมุนเวียนเชื่อมต่อกันระหว่างบ่อทดลองและบ่อบำบัดของทั้งระบบทดลองทั้งสองชุด เพื่อให้คุณภาพของน้ำในบ่อทดลองทั้งสองชุดมีค่าเริ่มต้นเหมือนกันทุกประการ เมื่อทำการเตรียมสภาพน้ำเสร็จสิ้นแล้วจึงปรับทางเดินของน้ำของแต่ละระบบทดลองให้แยกจากกันในลักษณะเดียวกันกับทางเดินน้ำในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง (ตารางที่ 3-2)

ตารางที่ 3-2 รูปแบบการปรับทางเดินน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในขั้นตอนการเตรียมสภาพบ่อและระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง

สภาวะการทดลอง	ทางเดินของน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด	
การเตรียมสภาพบ่อก่อนการเลี้ยงกุ้ง	บ่อเลี้ยง 1 → บ่อบำบัด 1 → บ่อเลี้ยง 2 → บ่อบำบัด 2 → (น้ำในชุดทดลองทั้งสองเชื่อมต่อถึงกันหมด)	
ระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง	บ่อเลี้ยง 1 ↔ บ่อบำบัด 1	บ่อเลี้ยง 2 ↔ บ่อบำบัด 2

3.1.3 การเตรียมสภาพบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในช่วงเริ่มต้นระบบก่อนทำการทดลองเลี้ยงกุ้ง

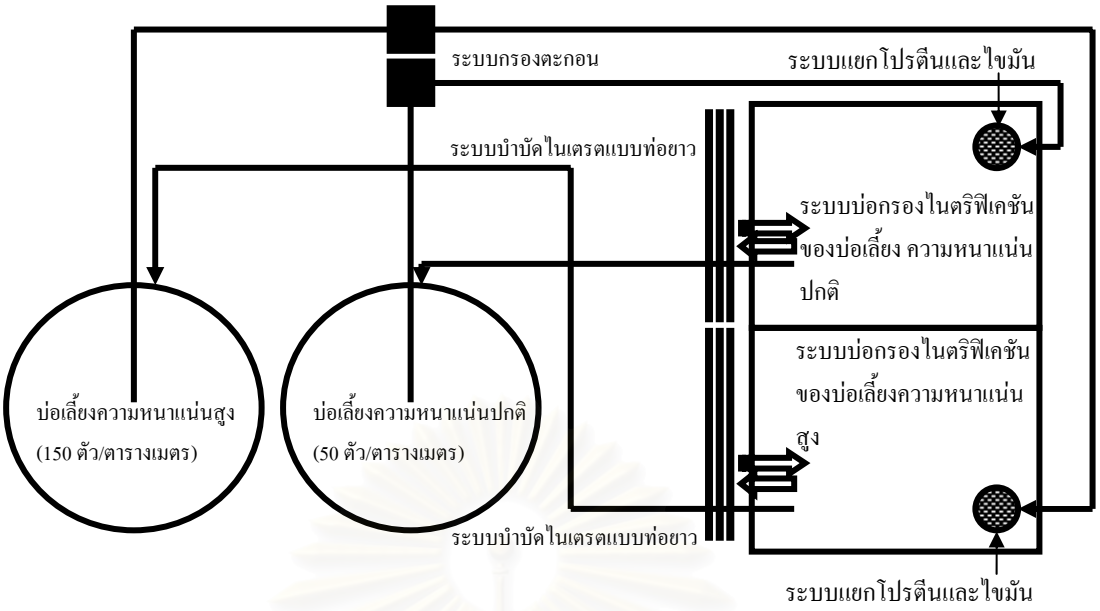
ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของแบคทีเรียที่เติบโตยึดติดกับใยกรองภายในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน โดยการเติม NH_4Cl ลงไปในระบบหมุนเวียนน้ำทั้งสองชุดการทดลอง ให้น้ำในระบบมีความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 2 mg-N/L จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำจากในบ่อเลี้ยงรูปกลมและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันของทั้งสองชุดการทดลอง นำมาทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์ และไนเตรต ทุกวัน เพื่อติดตามการลดลงของแอมโมเนียจนกระทั่งระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียในน้ำจนหมด ซึ่งหากใยกรองมีการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะพบการลดลงของแอมโมเนียและมีการสะสมไนเตรตเกิดขึ้น

สำหรับการเตรียมสภาพของระบบบำบัดไนเตรต ทำโดยการเริ่มต้นสูบน้ำจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันผ่านระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว ในวันที่ 18 ก่อนการปล่อยกุ้ง และบันทึกค่า ORP ที่ส่วนท้ายของท่อยาวด้วยระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า OPR ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หลังจากนั้นในวันที่ 14 ก่อนการปล่อยกุ้งจึงได้เริ่มทำการเติมเมธานอลเข้าสู่ส่วนต้นของท่อยาวด้วยเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายยาง ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในระบบจะตรวจสอบได้จากปริมาณไนเตรตในน้ำที่ผ่านออกจากระบบมีค่าลดลง และค่า ORP ที่ส่วนท้ายของท่อยาวมีค่าต่ำกว่า -200 mV

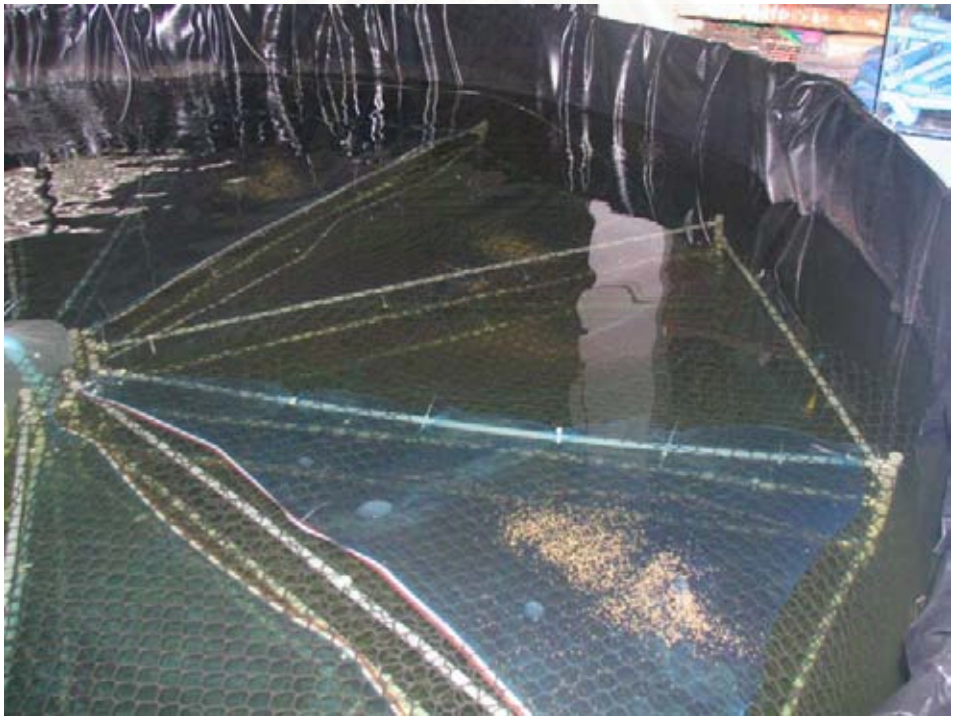
3.2 การศึกษาคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง

หลังจากการเตรียมความพร้อมของระบบในหัวข้อ 3.1 ซึ่งระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียออกไปจากระบบจนหมด จึงจัดทางเดินน้ำให้มีการหมุนเวียนน้ำในบ่อทั้งสองชุดการทดลองให้มีการไหลเวียนเชื่อมต่อกันทุกบ่ออีกครั้ง เพื่อทำให้น้ำทั้งสองชุดทดลองมีคุณสมบัติเท่ากัน และก่อนเริ่มทำการทดลองเลี้ยงกุ้งจึงทำการปรับระบบการไหลเวียนน้ำแยกส่วนระหว่างชุดทดลอง โดยหลังการปรับระบบการไหลเวียนน้ำแยกระหว่าง 2 ชุดการทดลองแล้ว ทำให้ชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร มีปริมาตรน้ำ 6,817 ลิตร และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร มีปริมาตรน้ำ 7,598 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากทั้งสองชุดการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม ไนไตรต์ ไนเตรต และไนโตรเจนรวม เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจน ณ เวลาเริ่มต้นการทดลอง นอกจากนั้นได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่มีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้งได้แก่ อัลคาลินิตี ค่ากรด-ด่าง (pH) ความเค็ม อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

การศึกษาครั้งนี้ได้นำลูกกุ้งกุลาดำระยะ P_{23} ขนาด 0.13 ± 0.063 กรัม จากฟาร์มสามดาว จังหวัดชลบุรี มาเลี้ยงในบ่อเลี้ยงกุ้งจำนวน 2 บ่อที่มีลักษณะเหมือนกัน ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งเป็นระยะ 132 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง ยกเว้นการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยความเค็มที่เพิ่มขึ้นจากการระเหยของน้ำ ซึ่งในการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่น 2 ระดับ ได้แก่ การเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร (จำนวนกุ้งในบ่อ 350 ตัว) และการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร (จำนวนกุ้งในบ่อ 1,050 ตัว) โดยภายในบ่อเลี้ยงมีการจัดพื้นที่ภายในบ่อให้กุ้งเพื่อเพิ่มพื้นที่เกาะอาศัยอย่างเพียงพอ สร้างพื้นเทียมที่กุ้งสามารถยึดเกาะอาศัยได้เป็นตาข่ายพลาสติกต่อเป็นชั้นจำนวน 3 ชั้นไว้ให้กุ้งยึดเกาะและวางผ้ามุ้งเพื่อเป็นที่รองรับอาหารสลับกันกระจายอยู่ในแต่ละชั้น ให้อาหารตกในแต่ละชั้นได้อย่างทั่วถึง (รูปที่3-5) ในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง ให้อาหารกุ้งเฉลี่ยวัยละ 82 กรัมและในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ ให้อาหารเฉลี่ย 27 กรัม โดยแบ่งเป็น 5 มื้อ/วัน และ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดอาหารตามขนาดกุ้งโดยในระยะ 46 วันแรก ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปซีพี 9002 หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปซีพี 9003 ในวันที่ 47-87 ของการเลี้ยงและในวันที่ 88 จนถึงวันสุดท้ายของการเลี้ยง ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปซีพี 9004 ซึ่งในระหว่างการเลี้ยงจะมีการตรวจสอบปริมาณอาหารที่เหลือและปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสม ทำการจดบันทึกปริมาณการให้อาหารในแต่ละวัน และจะนำตัวอย่างอาหารชนิดที่ใช้เลี้ยงกุ้งไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหาร เพื่อนำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอาหาร



รูปที่3-4 ไดอะแกรมแสดงชุดการทดลองที่ประกอบด้วยชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง



รูปที่3-5 บ่อเลี้ยงกุ้งรูปกลมที่มีการสร้างพื้นเทียมให้กุ้งเกาะอาศัยและมีการวางผ้ามุ้งเพื่อเป็นที่รองรับอาหาร

สำหรับการศึกษาการเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดภายในโรงเรือน โดยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งประมาณ 132 วัน จะมีการสุ่มตัวอย่างกุ้ง 30 ตัว นำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาว (ก้านตา-ปลายหาง) ทุก 1 เดือน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวกุ้งทุกตัว เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักและความยาวเฉลี่ย และใช้ในการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily weight gain: DWG) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{DWG (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายก่อนการทดลอง– น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง(วัน)}}$$

การประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดภายในโรงเรือนในการศึกษานี้ จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 บ่อทุกวัน เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวัดค่าอัลคาลินิตี ค่ากรด-ด่าง (pH) ความเค็ม อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทุกสัปดาห์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดังตาราง 3-2

ตารางที่3-3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมคุณภาพสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดภายในโรงเรือน

พารามิเตอร์	ระยะเวลาที่เก็บ	วิธีการวิเคราะห์
แอมโมเนีย	ทุกวัน	Strickland and Parson(1972)
ไนไตรต์	ทุกวัน	Strickland and Parson(1972)
ไนเตรต	ทุกวัน	Greenberg *et.al.*(1992)
อัลคาลินิตี	ทุกสัปดาห์	ธงชัย พรรณสวัสดิ์และอุษา วิเศษสุมน(2535)
ค่ากรด-ด่าง(pH)	ทุกสัปดาห์	pH meter (HANNA HI8418)
อุณหภูมิ	ทุกสัปดาห์	เทอร์โมมิเตอร์
ค่าDO	ทุกสัปดาห์	DO meter (HANNA HI91410)

นอกเหนือไปจากการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้งยังได้มีการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดต่างๆ ดังหัวข้อต่อไปนี้

3.2.1 การกำจัดไนโตรเจนในระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน

ทำการเก็บตะกอนทั้งหมดซึ่งลอยขึ้นมาติดอยู่ที่ส่วนบนของท่อระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันจากชุดการทดลองเลี้ยงกุ้งบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง หลังจากนั้นนำตัวอย่างตะกอนที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ105°C เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของตะกอนทั้งหมดที่ระบบสามารถกำจัดได้ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน (Boyd, 1995 อ้างโดย เบ็ญจมาศ จันทะภา, 2545) และนำตัวอย่างตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในตะกอนโดยใช้เครื่อง CHN Analyzer นำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันสามารถบำบัดได้

3.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน

เนื่องจากการไหลเวียนของน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันมีอัตราการไหลเวียนที่ค่อนข้างเร็ว จึงทำให้น้ำทั้งสองบ่อมีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ไม่สามารถหาประสิทธิภาพอัตราการบำบัดโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำที่ออกจากระบบบำบัดและน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดได้อย่างชัดเจน การประเมินในส่วนนี้จึงได้มีการแบ่งการทดลองออกเป็นสามการทดลองย่อย ได้แก่ (1) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของใยกรองในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน (2) การศึกษาประสิทธิภาพการการบำบัดแอมโมเนียของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง และ (3) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในช่วงระยะเวลาการให้อาหารกุ้งตั้งแต่เริ่มต้นการให้อาหารจนกระทั่งถึงเวลาการให้อาหารในรอบต่อไป ซึ่งรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อ 3.2.2.1-3.3.3.3

3.2.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพของใยกรองในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน

การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของใยกรองไนตริฟิเคชัน ทำโดยนำตัวอย่างชิ้นใยกรองความยาว 15 เซนติเมตร จากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน นำมาทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดทุก 1 เดือน โดยนำใยกรองจำนวน 1 เส้นมาใส่ในโหลแก้วที่มีน้ำทะเลจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันปริมาตร 8 ลิตร และเติม NH_4Cl 0.061 กรัม เพื่อให้น้ำมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ที่ประมาณ 2 mg-N/L จัดมีการให้อากาศด้วยหัวทรายอย่างเพียงพอในทุกชุดการทดลอง (รูปที่3-6) ชุดการทดลองประกอบด้วย ชุดควบคุมที่มีเฉพาะน้ำจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันแต่ไม่มีใยกรอง ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดการทดลองที่มีน้ำจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและใยกรองจากบ่อบำบัดของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง และชุดการทดลองที่ 2 เป็นชุดการทดลองที่มีน้ำจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและใยกรองจากบ่อบำบัดของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ แต่ละชุดจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยในระหว่างการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากโหลแก้วแต่ละใบเพื่อนำมาทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์ และไนเตรต ทุกวัน และนำผลที่ได้มาคำนวณ

อัตราการบำบัดแอมโมเนียเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองต่างๆ และใยกรองที่ผ่านการทดลองแล้วจะถูกนำกลับไปใส่ไว้ในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และจะนำกลับมาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซ้ำอีกทุกเดือนจนสิ้นสุดการทดลอง

3.2.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการการบำบัดแอมโมเนียมของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากในบ่อเลี้ยงและน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน ณ เวลาเดียวกันสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบไนโตรเจนระหว่างน้ำในบ่อเลี้ยงและน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน นำมาคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดที่เกิดขึ้นจริง ณ ขณะที่ทำการทดลองเลี้ยงกุ้ง

3.2.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในช่วงระยะเวลาการให้อาหารกุ้ง

การศึกษานี้เป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งและในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันหลังจากการให้อาหารกุ้ง โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันทันทีหลังการให้อาหาร หลังจากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก 15 นาที จนกระทั่งถึงเวลาการให้อาหารในมื้อต่อไป นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม ไนไตรต์และไนเตรต เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในช่วงระหว่างการให้อาหาร

3.2.3 การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

การตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว ทำโดยการตรวจวัดปริมาณไนเตรตที่ออกจากระบบบำบัดที่ท่อน้ำขาออกของระบบบำบัดไนเตรตเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งก็คือน้ำในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน โดยทำการตรวจวัดทุกสัปดาห์ในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง โดยในแต่ละสัปดาห์จะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 5 ครั้งในรอบ 1 วันห่างกันครั้งละประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตดังสมการต่อไปนี้

$E\ (\%) = (NO_3\text{-out})/ (NO_3\text{-in}) \times 100$

E = ประสิทธิภาพการบำบัด

$(NO_3\text{-out})$ = ปริมาณไนเตรตที่ออกจากระบบที่ท่อน้ำขาออกของระบบบำบัดไนเตรต

$(NO_3\text{-in})$ = ปริมาณไนเตรตที่เข้าสู่ระบบบำบัดจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน

3.3 การประเมินสมดุลไนโตรเจนและการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงกุ้งหลังจากที่จับกุ้งออกจากบ่อหมดแล้ว จะทำการปิดเครื่องพ่นอากาศภายในบ่อบำบัดไนตริฟิชันทั้งสองบ่อเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้น้ำในบ่อนิ่งและเกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยต่างๆ ไปรวมกันอยู่บริเวณก้นบ่อ หลังจากนั้นจะดูดน้ำส่วนบนบริเวณเหนือตะกอนไปไว้ในบ่อเลี้ยง (รูปที่ 3-7) จนกระทั่งน้ำในบ่อบำบัดลดลงเหลือระดับความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงทำการกวนตะกอนในบ่อกรองไนตริฟิเคชันให้ฟุ้งกระจายและเก็บตัวอย่างน้ำที่มีตะกอนฟุ้งกระจายอยู่ปริมาตร 1 ลิตร ก่อนที่จะปล่อยน้ำตะกอนที่เหลือทิ้งออกนอกระบบโดยจะมีการจดบันทึกปริมาตรน้ำที่ทิ้งไป นำน้ำตัวอย่างตะกอนที่ได้ไปกรองด้วยแผ่นกรอง Whatman GF/C ที่ผ่านการอบที่อุณภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น และมีการชั่งน้ำหนักแผ่นกรองแต่ละแผ่นจดบันทึกไว้แล้ว นำแผ่นกรองที่ใช้กรองน้ำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 คืนตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำเอากระดาษกรองดังกล่าวมาชั่งน้ำหนัก ผลต่างที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองทั้งสองครั้งจะเป็นน้ำหนักตะกอนต่อปริมาตรน้ำที่ใช้กรอง โดยแต่ละบ่อจะทำการกรองน้ำซ้ำสองครั้ง นำน้ำหนักตะกอนแห้งที่ได้ต่อปริมาตรน้ำที่ใช้กรองนำมาคำนวณหาปริมาณตะกอนทั้งหมดในบ่อโดยเทียบกับปริมาตรน้ำที่ปล่อยทิ้งไป หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างตะกอนแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์หาสัดส่วนไนโตรเจนในตะกอนโดยใช้เครื่อง CHN Analyzer เพื่อนำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจนในตะกอน ณ วันสุดท้ายของการทดลองเลี้ยงกุ้ง

หลังจากทำการกำจัดตะกอนแขวนลอยออกจากระบบแล้ว ได้ทำการนำน้ำที่อยู่ในบ่อเลี้ยงกลับมาใส่ในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและเริ่มเดินระบบสูบน้ำหมุนเวียนระหว่างบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัด รวมทั้งจัดให้มีการพ่นอากาศในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และมีการเดินระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว โดยเป็นการหมุนเวียนน้ำในลักษณะเดียวกันกับในขณะทดลองเลี้ยงกุ้ง ในระยะนี้จะทำการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียม ไนไตรต์ และไนเตรต ในน้ำทุกวัน จนกว่าปริมาณไนเตรตในน้ำมีค่าลดลงต่ำกว่า 10 mg-N/L จึงจะสิ้นสุดขั้นตอนการบำบัดน้ำภายหลังการเลี้ยง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะทำการประเมินสมดุลไนโตรเจน โดยประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจากในอาหาร ในตัวกุ้ง และในน้ำ เปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ณ วันสุดท้ายของการทดลองจากในตะกอน ในตัวกุ้ง และในน้ำ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงประเมินค่าใช้จ่ายและพลังงานซึ่งใช้เป็นต้นทุนในการเลี้ยงทั้งหมด

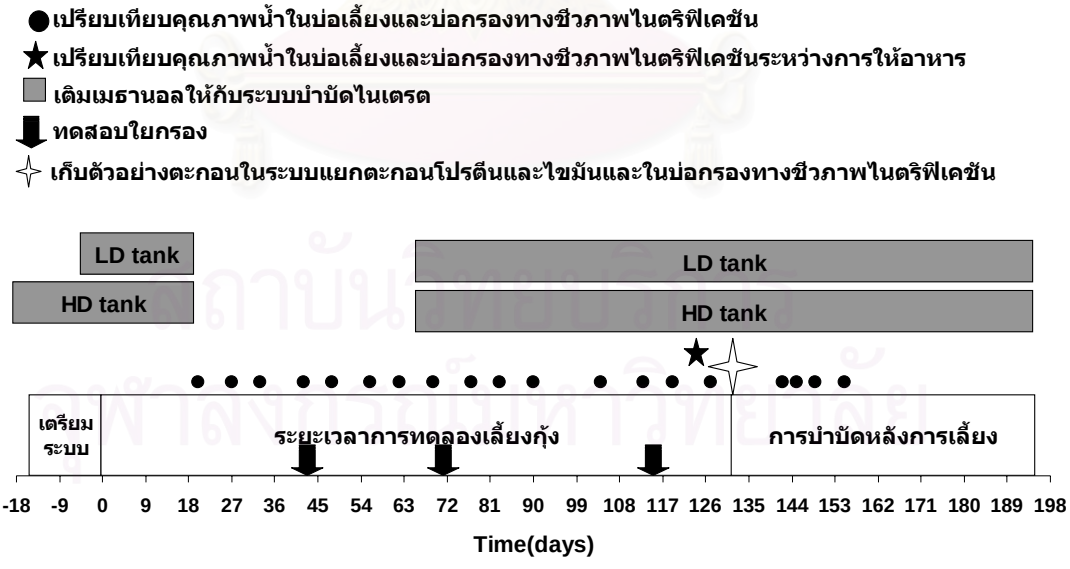
รูปที่3-6 การทดสอบใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน ความยาว 15 เซนติเมตร ในโหลแก้วปริมาตรน้ำ 8 ลิตรเพื่อทดสอบอัตราการบำบัดแอมโมเนีย

รูปที่ 3-7 บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันที่ทำการดูดน้ำออกไปใส่ในบ่อเลี้ยง เพื่อสุ่มตัวอย่างตะกอนที่สะสมอยู่บริเวณก้นบ่อบำบัด

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำความหนาแน่นสูงในโรงเรือน เป็นการทดลองเลี้ยงกุ้งในชุดการทดลองพร้อมกันจำนวน 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร (LD tank) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง 150 ตัว/ตารางเมตร (HD tank) สำหรับระยะเวลาของการทดลองและการเก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4-1 โดยนับวันที่เริ่มต้นการปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในบ่อเป็นวันเริ่มต้นของการทดลอง (วันที่ 0) จะเห็นได้ว่าการทดลองถูกแบ่งออกเป็นสามช่วง ได้แก่ (1) ช่วงการเตรียมระบบ (ตั้งแต่วันที่ -18 จนถึงวันที่ 0) ก่อนการทดลองเลี้ยงกุ้ง เป็นการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันในช่วงเริ่มต้นระบบและการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตในช่วงเริ่มต้นของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวที่ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ (2) ช่วงระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง เป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดภายในโรงเรือนตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 132 วัน และ (3) ช่วงการบำบัดหลังการเลี้ยง ซึ่งเป็นการศึกษาอัตราการบำบัดไนเตรตในระบบหลังการทดลองเลี้ยงกุ้ง ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในหัวข้อ 4.1 - 4.3 ตามลำดับ



รูปที่4-1 แผนผังแสดงระยะเวลาในการศึกษาทดลองประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน

4.1 การเตรียมระบบบ่อทดลองและการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง

ผลการศึกษาความพร้อมของใยกรองในบ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันโดยการเติม NH_4Cl เพื่อให้น้ำในแต่ละระบบมีความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 2 mg-N/L พบว่าในทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4-2) โดยระบบใช้เวลา 8 วันในการบำบัดแอมโมเนียในน้ำจนหมด ผลการคำนวณพบว่าบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 595 mg-N/บ่อ/วัน และเนื่องจากมีการไหลเวียนของน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงและบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันอยู่ตลอดเวลา ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีปริมาณแอมโมเนียที่ลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกับบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันคือ 564.8 mg-N/บ่อ/วัน สำหรับในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติก็มีผลเช่นเดียวกัน โดยในส่วนของบ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 654.6 mg-N/บ่อ/วัน ส่งผลให้น้ำในบ่อเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนียลดลงด้วยอัตรา 648.5 mg-N/บ่อ/วัน และไม่พบการสะสมของไนไตรต์เกิดขึ้นในระบบทั้งสองชุดการทดลอง

สำหรับการสะสมไนเตรตพบว่าชุดบ่อทดลองเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงจะไม่มีการสะสมไนเตรตเนื่องจากได้มีการเริ่มต้นเดินระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวตั้งแต่วันแรกของการเตรียมระบบ (รูปที่ 4-1) ในขณะที่ชุดทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติที่ยังไม่ได้เริ่มเติมเมธานอลให้กับระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวทำให้ระบบบำบัดไนเตรตยังไม่มีการทำงาน พบการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในส่วนของบ่อเลี้ยงกุ้ง

จากผลการศึกษาความพร้อมของใยกรองในบ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน พบว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในบ่อบำบัด ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำลดลงจนหมดได้ภายในระยะเวลา 8 วันโดยเป็นการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ เนื่องจากไม่พบการสะสมของไนไตรต์แต่จะพบการเพิ่มขึ้นของไนเตรตเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร ที่ยังไม่มีการเดินระบบบำบัดไนเตรต ซึ่งโดยปกติไนตริฟายอิ้งแบคทีเรียในระบบตัวกรองทางชีวภาพจะต้องใช้เวลานานไม่น้อยกว่า 10-20 วันในการที่แบคทีเรียจะเติบโตเพิ่มจำนวนจนทำให้ตรวจพบการออกซิไดซ์แอมโมเนียในระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน (Egli *et al*.,2003) และเมื่อเทียบกับการทดลองของสุธาสิณี อ่วมจันทร์ (2546) ที่ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์แบบมีออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้ยังต้องใช้เวลาประมาณ 25 วันจึงจะสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นได้ แต่ผลการทดลองของสุธาสิณี อ่วมจันทร์ (2546) ก็ยังเป็นการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากยังพบการสะสมของไนไตรต์ในระบบทดลองดังกล่าว เหตุผลที่ทำให้การเตรียมความพร้อมของใยกรองในบ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการเตรียมค่อนข้างสั้น เนื่องจากใยกรองที่ใช้เป็นใยกรองที่เคยผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลานานต่อ

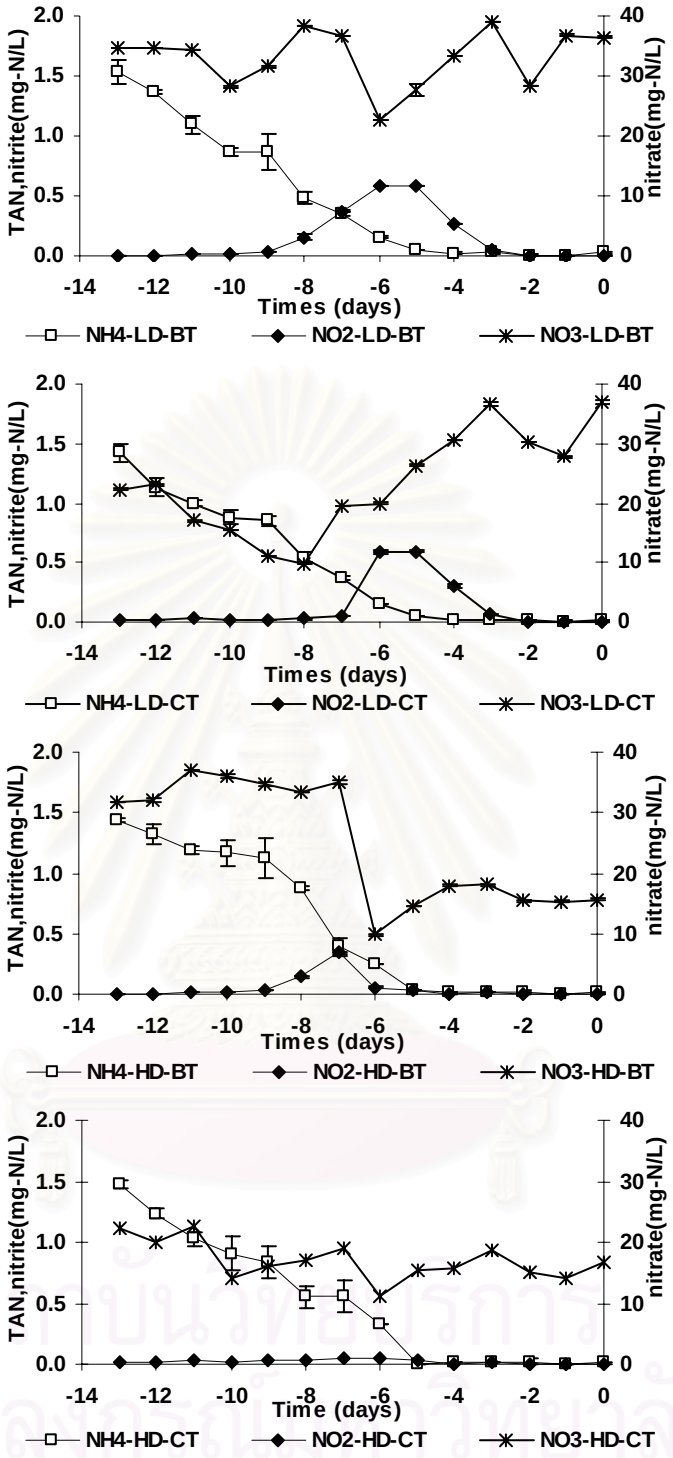
เนื่องมาจากงานวิจัยของวิลาสินี ไตรยราช (2546) แม้จะผ่านการล้างทำความสะอาดมาแล้วแต่ก็ยังคงมีแบคทีเรียตามธรรมชาติหลงเหลืออยู่ได้ และน้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ก็เป็นน้ำที่เคยผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วเป็นระยะเวลา 7 เดือน จึงน่าจะมีไนตริไฟอิ้งแบคทีเรียอยู่ตามธรรมชาติในระบบอยู่แล้วทำให้การเริ่มต้นปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของบ่อบำบัดเกิดได้เร็ว ซึ่งก็พบว่าสอดคล้องกับการทดลองของสุทธิกาญจน์ สุทธิ (2004) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในการบำบัดแอมโมเนียเปรียบเทียบกันระหว่างชุดการทดลองที่ไม่มีตัวกรอง ชุดการทดลองที่ใช้วัสดุกรองใหม่ที่ยังไม่เคยใช้งาน และชุดการทดลองที่ใช้วัสดุกรองเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าชุดการทดลองที่ใช้วัสดุกรองเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลา 1 เดือนสามารถลดปริมาณแอมโมเนียจาก 2.75 mg-N/Lให้เหลือ 0.77 mg-N/Lได้ภายใน 17 ชั่วโมง ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีตัวกรองและชุดการทดลองที่ใช้ตัวกรองใหม่ในการทดลองสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้เพียงเล็กน้อยซึ่งก็คือยังไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบทดลองดังกล่าว

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาอัตราการบำบัดของบ่อบำบัดทั้งบ่อซึ่งภายในมีใยกรองที่มีลักษณะเป็นเส้นเชือกที่มีเส้นใยขนาดเล็กมัดอยู่โดยมีความยาว 54 เมตร/บ่อ (รูปที่ 3-2) ซึ่งการที่ไม่มีข้อมูลพื้นที่ผิวนั้นก็อาจเป็นข้อจำกัดในการเปรียบเทียบอัตราการบำบัดกับงานวิจัยอื่นๆเนื่องจากเส้นใย Biopolymar™ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นวัสดุที่ออกแบบไว้สำหรับการดูดซับคราบน้ำมัน แต่จากการศึกษาก่อนหน้านี้ (Menasveta *et. al*., 2001) พบว่าใยกรองดังกล่าวมีความทนทาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบได้อย่างสะดวกเหมาะสม โดยราคาเมตรละประมาณ 100 บาท ซึ่งไม่แพงจนเกินไป และมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด จึงได้มีการพัฒนารูปแบบของบ่อกรองให้ต่างไปจากในงานของ Menasveta *et. al*. (2001) โดยมีการยึดเฉพาะด้านล่างของใยกรองเพื่อให้ใยกรองจมตัวอยู่ใต้น้ำและปล่อยให้ส่วนบนมีการเคลื่อนไหวได้ตามกระแสน้ำ วิธีนี้ช่วยลดการเกาะตัวอย่างหนาแน่นของแบคทีเรียบนผิวใยกรองและช่วยให้ตัวกรองสัมผัสน้ำได้อย่างทั่วถึง สะดวกต่อการใช้งาน ไม่ยุ่งยากในการจัดการระบบเมื่อเทียบกับตัวกรองชีวภาพแบบอื่นๆ เช่นตัวกรองชีวภาพแบบโปรยกรอง (trickling filter) หรือตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองหมุน (bio-drum หรือ bio-disc) ที่มีราคาสูงและต้องมีการปรับตั้งอัตราการโปรยน้ำและการหมุนของตัวกรองให้มีความเหมาะสม นอกจากนี้ตัวกรองชีวภาพแบบจมน้ำยังลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน เช่น ถ้าเกิดไฟฟ้าดับตัวกรองที่จมตัวอยู่ใต้น้ำก็ยังคงทำงานต่อไปได้

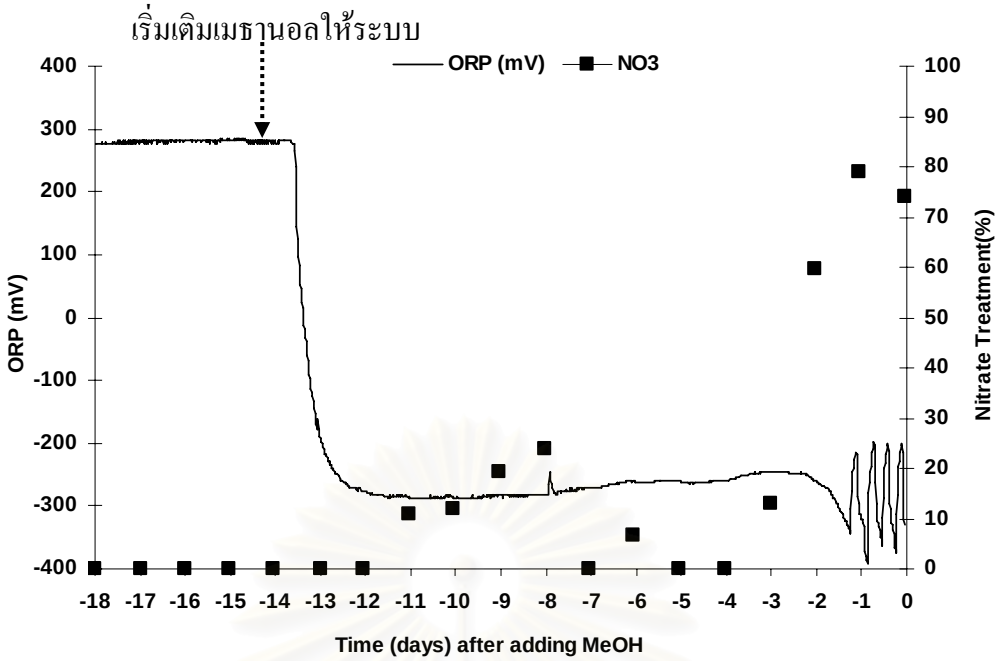
การปรับตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในการทดลองนี้ ได้จัดสร้างระบบบำบัดขึ้นมาใหม่ทั้งหมดโดยใช้ท่อ PVC เป็นวัสดุหลัก แต่ก็ได้จัดการทำงานของระบบให้มีสภาวะตามงานวิจัยของวิลาสิณี ไตรยราช (2546) โดยทำการเติมเมธานอลความเข้มข้น 5% ด้วยอัตราการเติม 16 ml/hr และควบคุมการเติมเมธานอลด้วยค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ช่วง -310 ถึง -320 mV โดยได้ทำการทดสอบระบบเฉพาะระบบบำบัดไนเตรตของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง ผลการทดลองในรูปที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่ยังไม่มีการเติมเมธานอลให้กับระบบค่า ORP

จะมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 276 mV หลังจากเริ่มเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบท่อยาว (ในวันที่ 14 ก่อนการเลี้ยงกุ้ง) จะพบว่าค่า ORP มีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 1 วันเช่นเดียวกับการทดลองของวิลาสิณี ไตรยราช (2546) ที่พบว่าค่า ORP จะลดลงอยู่ในระดับ -200 ถึง -400 ได้ภายในระยะเวลา 1 วันหลังจากเริ่มเติมเมธานอลให้กับระบบ และค่า ORP จะคงที่อยู่ในช่วง -287 ถึง -245 mV เป็นเวลาประมาณ 11 วัน ในช่วงนี้จะพบว่ามีการบำบัดเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อยในบางช่วง และหลังจากนั้นค่า ORP จะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้คือน้อยกว่า -320 mV (ค่าต่ำสุด -342 mV) ซึ่งทำให้ระบบควบคุมสั่งการให้หยุดการเติมเมธานอล ส่งผลให้ค่า ORP กลับเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อค่า ORP สูงกว่า -310 mV (ค่าสูงสุด -216 mV) ระบบก็จะทำการเติมเมธานอลอีกครั้งหนึ่ง ด้วยกระบวนการควบคุมการเติมเมธานอลเช่นนี้จึงทำให้ค่า ORP มีการลดลงและเพิ่มขึ้นสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่ง ณ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงคืออยู่ในช่วง 60-80% โดยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวนี้สามารถทำงานได้ผลดี มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และเป็นระบบที่ใช้ง่าย โดยใช้ค่าศักย์ออกซิเดชัน-ออกซิเดชัน (ORP)ให้ควบคุมการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ในระบบมีค่าสูงกว่า -310 mV และจะหยุดการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ต่ำกว่า -320 mV โดยอัตโนมัติ จากผลการทดลองเพื่อเตรียมระบบบำบัดไนเตรตก่อนการเลี้ยงกุ้ง พบว่าระบบบำบัดไนเตรตในการทดลองครั้งนี้สามารถบำบัดน้ำที่เคยผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วเป็นระยะเวลา 7 เดือนและมีไนเตรตสะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาณ 30 mg-N/L ให้เหลือ 2 mg-N/L ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วจากการทดลองของวิลาสิณี ไตรยราช (2546) หมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ในการทดลองครั้งนี้ และเนื่องจากคุณภาพน้ำของระบบทดลองทั้งสองในช่วงการเตรียมระบบบำบัดมีค่าที่แตกต่างกัน ก่อนเริ่มทำการทดลองเลี้ยงกุ้งจึงมีการหมุนเวียนน้ำเชื่อมต่อกันระหว่างบ่อทดลองและบ่อบำบัดของทั้งระบบทดลองทั้งสองชุด เพื่อให้คุณภาพของน้ำในบ่อทดลองทั้งสองชุดมีค่าเริ่มต้นเหมือนกันทุกประการ แล้วจึงปรับทางเดินของน้ำของแต่ละระบบทดลองให้แยกจากกันก่อนการเริ่มต้นการทดลองเลี้ยงกุ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4-2 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT), บ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันของบ่อ HD (HD-BT) และบ่อบำบัดของบ่อ LD (LD-BT) ในการเตรียมระบบบำบัดก่อนการเลี้ยงกุ้ง



รูปที่4-3 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ที่บันทึกด้วย Data logger ระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติในช่วงเริ่มต้นระบบ

4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง

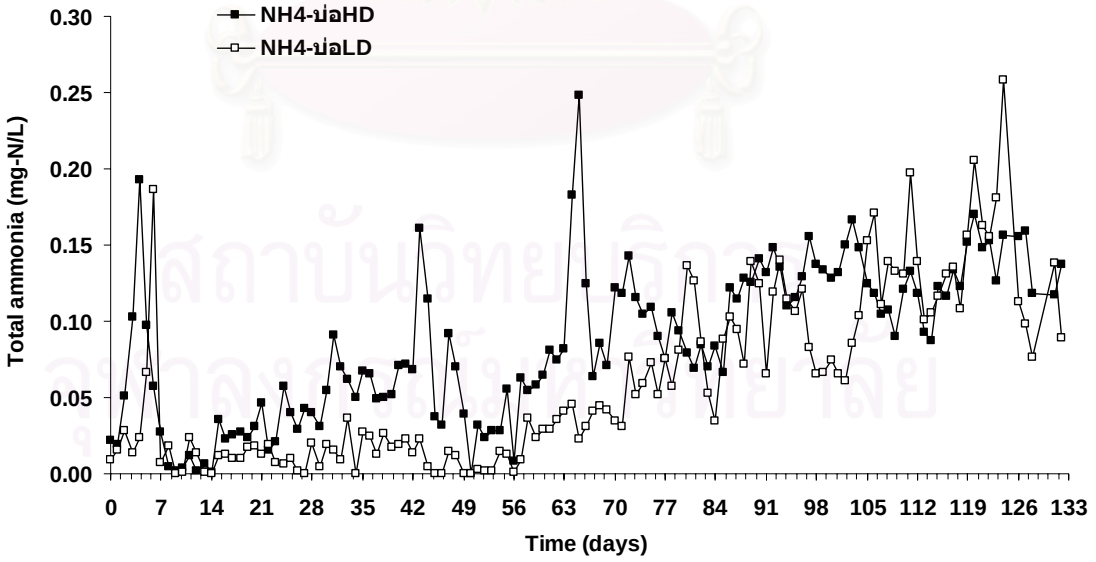
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือนเป็นเวลา 132 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี (ตารางที่ 4-1, รูปที่ 4-4 ถึง 4-6) โดยบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) มีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.060$\pm$ 0.05 mg-N/L (0.00-0.25 mg-N/L) ปริมาณไนไตรต์เฉลี่ย 0.023$\pm$ 0.018 mg-N/L (0.006-0.15 mg-N/L) และปริมาณไนเตรตมีค่าเฉลี่ย 23.29$\pm$ 4.25 mg-N/L (14.46-34.49 mg-N/L) ส่วนในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูง(HD) มีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.086$\pm$ 0.05 mg-N/L (0.00-0.25 mg-N/L) ปริมาณไนไตรต์เฉลี่ย 0.04$\pm$ 0.047 mg-N/L (0.009-0.23 mg-N/L) ปริมาณไนเตรตมีค่าเฉลี่ย 30.45$\pm$ 9.08 mg-N/L (9.16-45.59 mg-N/L) แสดงข้อมูลผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)

คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงกุ้งคือน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ ลิ้มสุวรรณและ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) และไม่พบการสะสมของไนไตรต์เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งแสดงว่าระบบเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยสมบูรณ์ ปริมาณไนไตรต์ที่พบสูงสุดมีค่าเพียง 0.23

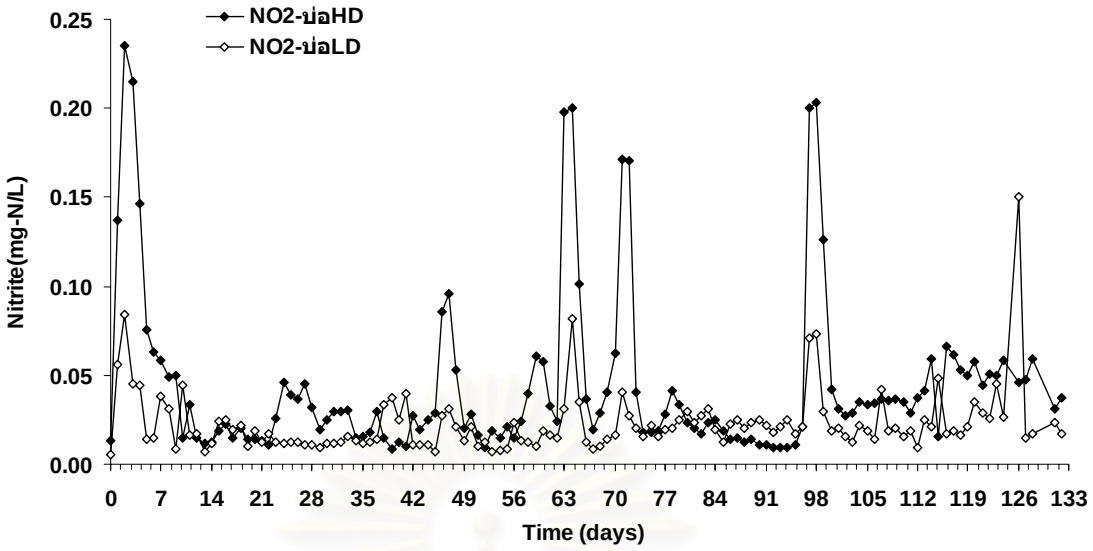
mg-N/L เท่านั้น ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยคือมีปริมาณไนไตรต์ไม่เกินกว่า 1 mg-N/L (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์และ ไพพรรณ พรประภา, 2536) และสามารถควบคุมปริมาณไนเตรตให้มีค่าต่ำกว่า 50 mg-N/L ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำในบ่อเพื่อกำจัดไนโตรเจนในน้ำออกจากระบบ

ตารางที่ 4-1 ผลสรุปคุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง

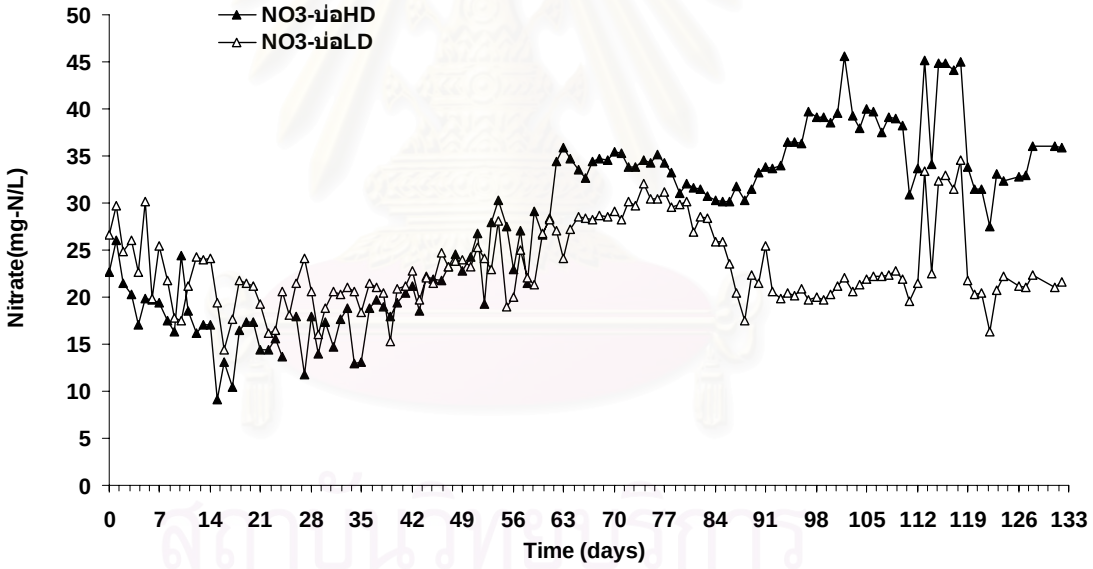
คุณภาพน้ำ	ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	
	ชุดบ่อเลี้ยงความหนาแน่นปกติ	ชุดบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูง
แอมโมเนียรวม (mg-N/L)	0.060± 0.05(0.00-0.25)	0.086± 0.05 (0.00-0.25)
ไนไตรต์ (mg-N/L)	0.023± 0.018 (0.006-0.15)	0.04± 0.047 (0.009-0.23)
ไนเตรต (mg-N/L)	23.29± 4.25 (14.46-34.49)	30.45± 9.08 (9.16-45.59)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	6.0±0.69 (5.1-7.5)	5.2±0.78 (4.1-7.1)
ค่ากรด-ด่าง (pH)	8.08±0.21 (7.79-8.80)	7.86±0.17 (7.62-8.21)
อัลคาลินิตี ($mg\text{-}CO_3^{2-}/L$)	191±44 (117-253)	166±33 (120-268)
อุณหภูมิน้ำ (˚C)	27.2±0.77 (25.0-28.0)	27.1±0.92 (24.5-28.0)
ความเค็ม (PSU)	28.6±1.50 (25.0-30.0)	28.5±1.57 (25.0-30.0)



รูปที่ 4-4 ปริมาณแอมโมเนียของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NH4-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NH4-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน



รูปที่ 4-5 ปริมาณไนไตรต์ของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO2-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO2-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน



รูปที่ 4-6 ปริมาณไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO3-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO3-บ่อLD) โดยมีระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน

ผลการวิเคราะห์พีเอช และ อัลคาลินิตี ในรูปที่ 4-7 พบว่าพีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีค่าพีเอชเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 8.08$\pm$0.21 และ 7.86$\pm$0.17 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงกุ้งคืออยู่ระหว่าง 7.5-8.5 (ชลอ ลิ้มสุวรรณและ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) และพบการเพิ่มขึ้นของอัลคาลินิตีในชุดการทดลองเลี้ยงกุ้งทั้งสองความหนาแน่น ในวันที่ 20 ของการทดลองเลี้ยง ซึ่ง

เป็นผลมาจากการเดินระบบบำบัดไนเตรต เนื่องจากในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะทำให้ค่าอัลคาลินิตีสูงขึ้น ซึ่ง van Rijn *et al*. (2005) ได้อธิบายไว้ว่าจะเกิดการเพิ่มของ $CaCO_3$ 3.57 mg-$CaCO_3$/L ต่อการเปลี่ยนไนเตรต 1 mg-NO_3-N/L ไปเป็นแก๊สไนโตรเจน สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

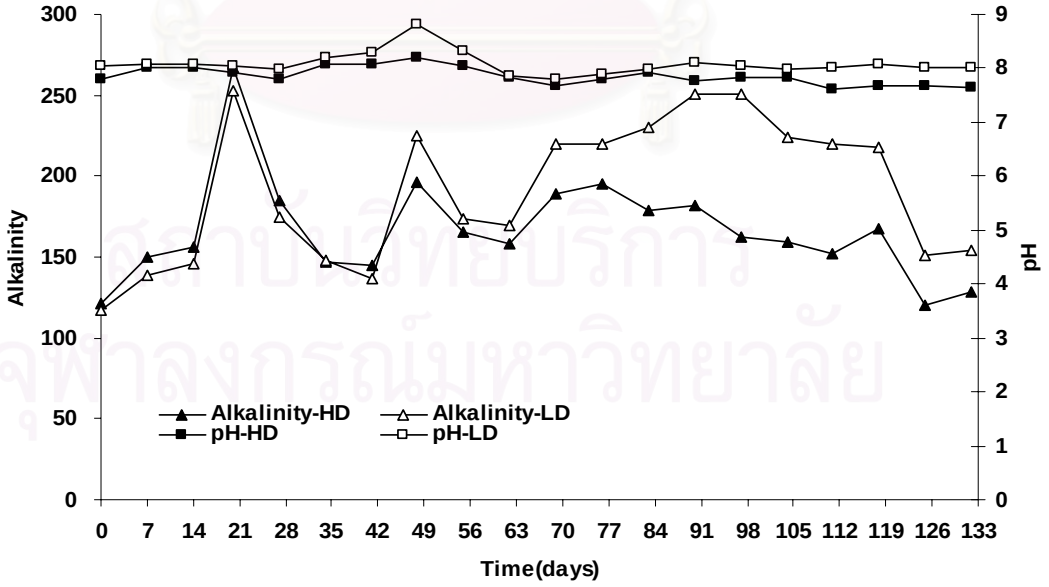
$$NO_3^- + 1.08CH_3OH + 0.24\ H_2CO_3 \rightarrow 0.056\ C_5H_7O_2N + 0.47N_2 + HCO_3^- + 1.68H_2O$$

(ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้ทำการหยุดเดินระบบบำบัดไนเตรตชั่วคราวในวันที่ 21 ของการทดลองเลี้ยง โดยหยุดการเติมเมธานอลให้แก่ระบบ แต่ยังคงมีการสูบน้ำผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดไนเตรตตลอดเวลา เนื่องจากค่าอัลคาลินิตีในช่วงแรกของการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งจะมีผลเกี่ยวกับการลอกคราบและการเจริญเติบโตของกุ้ง โดยอัลคาลินิตีที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรอยู่ระหว่าง 80-150 mg/L และประกอบกับในช่วงแรกของการทดลองเลี้ยงกุ้งปริมาณไนเตรตสะสมในระบบยังมีไม่มาก ซึ่งการหยุดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันจะช่วยลดปริมาณอัลคาลินิตีในน้ำได้ เนื่องจากตัวกรองชีวภาพในระบบบำบัดไนตริฟิเคชันจะมีการผลิต H^+ ออกมาทำลายสภาพด่าง ซึ่ง H^+ นี้จะไปทำลายสภาพด่างให้หายไปได้ในอัตรา 100 g ในรูป $CaCO_3$ ต่อ 14 g-N หรือ เท่ากับ 7.14 mg-$CaCO_3$/L/mg-N/L (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ดังสมการ

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2\ H^+ + H_2O + E$$

หลังจากหยุดระบบบำบัดไนเตรตและพบว่าอัลคาลินิตีมีค่าลดลง จึงได้เริ่มทำการเดินระบบบำบัดไนเตรตอีกครั้งหนึ่งในวันที่ 66 ของการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง และยังพบอีกว่าอัลคาลินิตีในบ่อทดลองเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นต่ำจะมีค่าสูงกว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง



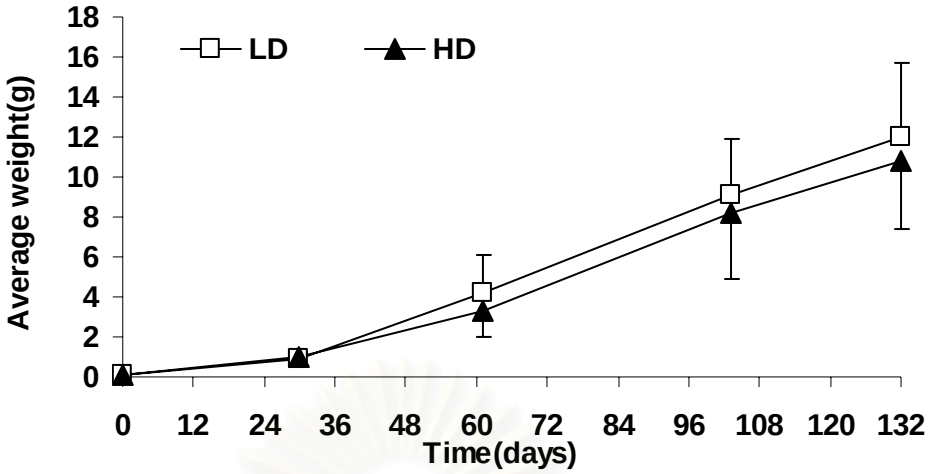
รูปที่ 4-7 pH และอัลคาลินิตี ของน้ำในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) โดยมีการหยุดเดินระบบบำบัดไนเตรตในวันที่ 21-66 ของการทดลองเลี้ยงเพื่อลดค่าอัลคาลินิตี

การเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยง วิธีการเลี้ยง คุณภาพของกุ้ง อายุและขนาดของกุ้ง ความหนาแน่น ปริมาณและคุณภาพอาหารที่ให้ตลอดจนระยะเวลาการเลี้ยง (Tseng *et .al*., 1998) สำหรับการศึกษาการเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดภายในโรงเรือน โดยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งประมาณ 132 วันพบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในระบบเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและความหนาแน่นสูงมีการเติบโตใกล้เคียงกัน โดยกุ้งในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นปกติมีการเพิ่มน้ำหนักกุ้งเฉลี่ยจาก 0.13 กรัมเป็น 11.96 กรัม และกุ้งในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูงมีการเพิ่มน้ำหนักกุ้งเฉลี่ยจาก 0.13 กรัมเป็น 10.82 กรัม และการเพิ่มความยาวของกุ้งก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4-8 และ 4-9) จากผลการทดลองจะเห็นว่ากุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันต่ำกว่าที่พบในบ่อดินทั่วไปคือ 0.08-0.09 กรัม/วัน ในขณะที่กุ้งในบ่อดินจะมีอัตราการเติบโตมากกว่า 0.1 กรัม/วัน ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกุ้งในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจะได้รับอาหารจากอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ให้เท่านั้น ในขณะที่กุ้งในบ่อดินจะได้รับอาหารจากธรรมชาติร่วมกับการให้อาหารเม็ด นอกจากนี้ยังอาจมีผลมาจากการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง โดยในการทดลองของปวีณา ทวีกิจการและคณะ(2547) ที่ได้ศึกษาอัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าเมื่อมีการเลี้ยงกุ้งที่อัตราความหนาแน่นสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันจะลดลง โดยจากการทดลองเลี้ยงกุ้งที่ 3 ระดับความหนาแน่นคือ 25,37 และ 50 ตัว/ตารางเมตร กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเป็น 0.15,0.16 และ 0.08 กรัม/วัน ซึ่งก็พบว่ากุ้งที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นสูงที่สุดมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงอัตรารอดของกุ้งในระยะเวลาการทดลองเลี้ยงประมาณ 4 เดือน ซึ่งได้นับจำนวนกุ้งทั้งหมดในบ่อเลี้ยง ณ วันแรกของการทดลองเลี้ยง โดยในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีกุ้งเริ่มต้นทั้งหมด 350 ตัว/บ่อ และในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีกุ้งทั้งหมด 1,050 ตัว/บ่อ ในวันสุดท้ายของการเลี้ยงพบว่าอัตรารอดของกุ้งเท่ากับ 51.71% และ 51.14% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นผลที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับการทดลองเลี้ยงกุ้งในบ่อระบบปิดของ Thakur และ Lin (2003) ซึ่งมีอัตรารอดระหว่าง 50-58% ในระยะเวลาที่สั้นกว่าคือ 90 วัน อย่างไรก็ตามผลอัตราการรอดของกุ้งที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะต่ำกว่าที่มีรายงานในการเลี้ยงกุ้งในบ่อดินทั่วไป เนื่องจากสาเหตุหนึ่งก็คือการให้อาหารที่ไม่เพียงพอทำให้กุ้งเกิดการกินกันเอง และการคำนวณอัตราการรอดของกุ้งในบ่อดินทั่วไปมักมีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงค่อนข้างมากเพราะเกษตรกรผู้ขายลูกกุ้งมักจะให้ลูกกุ้งเกินกว่าจำนวนจริง ดังนั้นกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงจึงมีจำนวนมากกว่าที่ประมาณการเสมอ

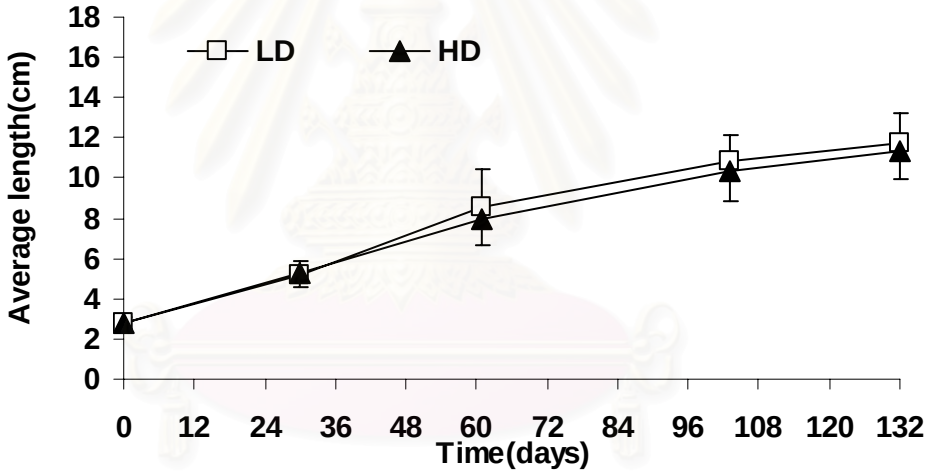
ปัญหาอีกประการหนึ่งที่พบในการเลี้ยงกุ้งในระบบปิดของงานวิจัยนี้ก็คือกุ้งที่เลี้ยงได้มีสีฟ้าซึ่งเป็นผลมาจากการขาดสารแคโรทินอยด์ (Menasvata *et.al*., 1993) เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งในบ่อระบบปิดในโรงเรือน สารสีที่กุ้งได้รับจะมาจากอาหารเม็ดที่ให้เท่านั้นซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในการสร้างเม็ดสีให้กับกุ้ง ในขณะที่การเลี้ยงกุ้งในบ่อดินจะมีแหล่งของสารสีที่สำคัญคือ

แพลงก์ตอนพืชในบ่อ นอกจากนี้ยังพบปัญหาการกระจายขนาดของกุ้งค่อนข้างมากคือกุ้งในบ่อจะมีขนาดแตกต่างกันมาก โดยพบว่าชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีการกระจายของขนาดมากกว่าชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ และเป็นการกระจายขนาดของกุ้งที่ขนาดเล็กกว่าชุดทดลองความหนาแน่นปกติ (รูปที่ 4-10 และ 4-11) ซึ่งปัญหาที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งนิยมเรียกว่า "กุ้งแตกไซส์" นี้ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด แต่พบได้ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั่วไปและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้รับความนิยมน้อยลงมากตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมา อย่างไรก็ตามผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณการให้อาหารกุ้งก็มีผลต่อการกระจายขนาดของกุ้งเช่นกัน โดยกุ้งที่เลี้ยงในความหนาแน่นสูงจะมีการกระจายของขนาดมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงในความหนาแน่นปกติ (รูปที่ 4-10 และ 4-11) ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณการให้อาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง ทำให้กุ้งเกิดการแย่งอาหารกัน กุ้งที่แข็งแรงกว่าก็จะหาอาหารกินได้มากกว่าและเจริญเติบโตได้ดีกว่า ในทำนองเดียวกันถ้ามีการให้อาหารจนมากเกินพอทำให้สภาพน้ำในบ่อเสื่อมโทรม กุ้งที่แข็งแรงจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าเช่นกัน

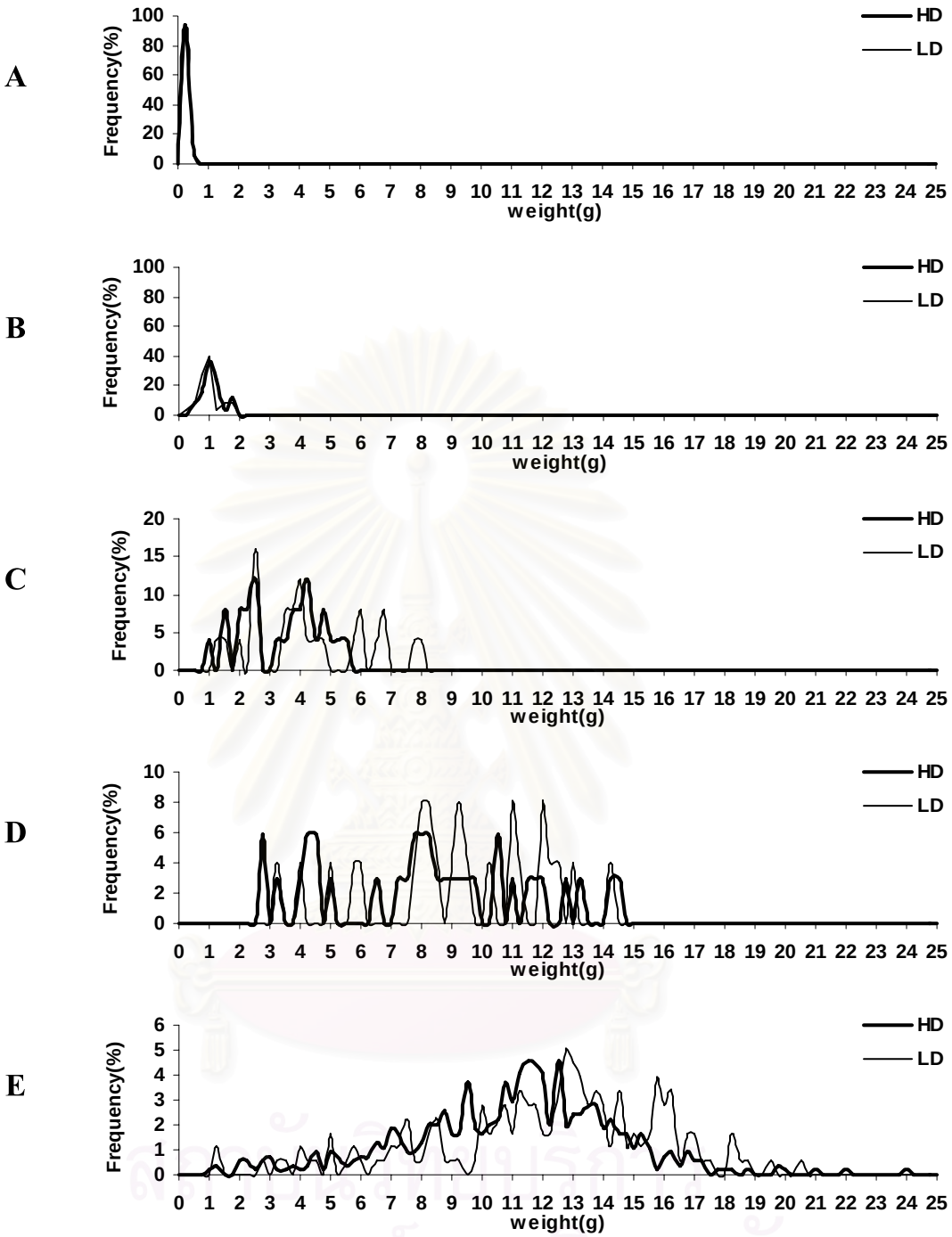
ตารางที่ 4-2 และ 4-3 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเติบโตต่อวัน (Daily weight gain: DWG) ของกุ้งมีค่าต่ำมากในช่วงเดือนแรก จากนั้นจึงพบว่าอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นและมีอัตราการเติบโตสูงสุดในประมาณเดือนที่ 3 ของการทดลองเลี้ยง แต่จะพบว่าในช่วงเดือนต่อมาซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการทดลองเลี้ยงอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำ เนื่องจากกุ้งกุลาดำจัดอยู่ในจำพวกสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิร่างกายจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงกิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตของกุ้ง เช่น ขบวนการเมตาโบลิซึ่ม การหายใจ ความต้องการออกซิเจน การเคลื่อนไหว การว่ายน้ำ การกินอาหาร การย่อยอาหาร การขับถ่าย เหล่านี้เป็นต้น ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย มีรายงานว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 25°C และสูงกว่า 33°C กุ้งจะกินอาหารลดลง (Chanratchakool *et al*., 1995) ซึ่งเหล่านี้จะส่งผลต่ออัตราการเติบโตของกุ้งทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง ส่วนผลผลิตกุ้งที่ได้จากชุดการทดลองเลี้ยงกุ้งทั้งสองความหนาแน่นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงจึงได้ผลผลิตสูงกว่า และเมื่อมีการเทียบผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่ได้ทำการทดลองในครั้งนี้จะพบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยกว่าการเลี้ยงในบ่อดิน ซึ่งจากการทดลองของวราห์ เทพาหุดี และคณะ(2547) เพื่อศึกษาวิธีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดแบบต่างๆ พบว่า จากการปล่อยกุ้งความหนาแน่น 37-43 ตัว/ตารางเมตร ปริมาณผลผลิตที่ได้อยู่ที่ประมาณ 882-1,038 กิโลกรัม/ไร่ โดยกุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 25.5 กรัม ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกุ้งที่เลี้ยงในระบบโรงเรือนนั้นจะขาดสารอาหารธรรมชาติที่จะไปมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโต เช่น อาหารจำพวกสัตว์หน้าดินหรือแพลงก์ตอนที่มีอยู่ในธรรมชาติ



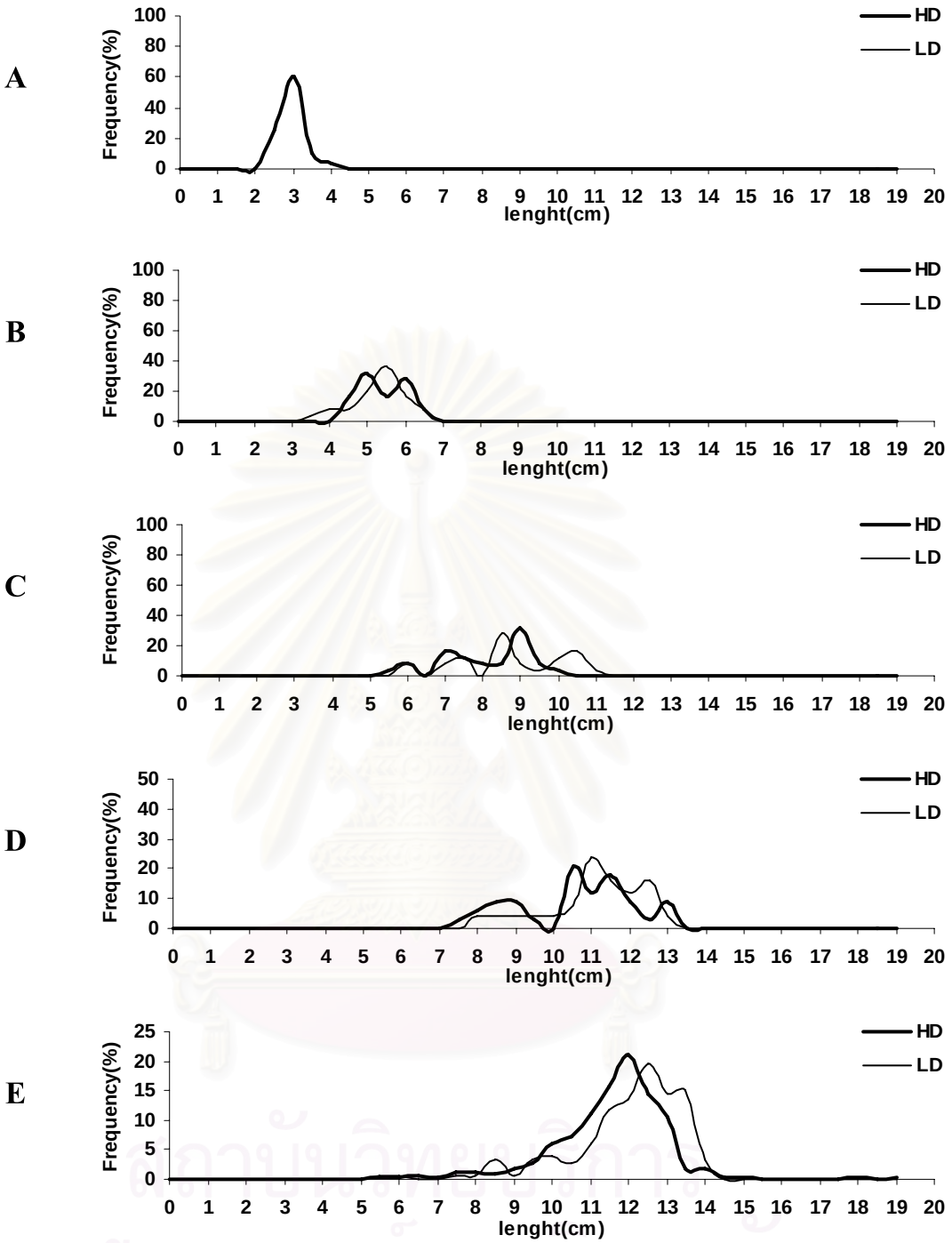
รูปที่4-8 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 132 วัน



รูปที่4-9 ความยาวเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD) ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง 132 วัน



รูปที่4-10 การแจกแจงความถี่น้ำหนักกุ้งที่สุ่มชั่งน้ำหนัก (A)วันที่แรกของการทดลองเลี้ยง, (B)วันที่ 30 ของการทดลองเลี้ยง, (C)วันที่ 61 ของการทดลองเลี้ยง, (D) วันที่ 103 ของการทดลองเลี้ยง และ (E) วันที่ 132 ของการทดลองเลี้ยง



ภาพที่4-11 การแจกแจงความถี่ความยาวกุ้งที่สุ่มวัดความยาว (A)วันที่แรกของการทดลองเลี้ยง, (B)วันที่ 30 ของการทดลองเลี้ยง, (C)วันที่ 61 ของการทดลองเลี้ยง, (D) วันที่ 103 ของการทดลองเลี้ยง และ (E) วันที่ 132 ของการทดลองเลี้ยง

ตารางที่ 4-2 อัตราการเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ

เวลา (วัน)	DWG (กรัม/วัน)	DWG เฉลี่ย (กรัม/วัน)	% การรอดของกุ้งทั้งหมด	Feed Conversion Ratio (FCR)	ผลผลิต	
					กก. /ตร.ม. (กก./บ่อ)	กก./ไร่
0	-		100			
30	0.024		-			
61	0.108		-			
103	0.115		-			
132	0.100	0.090	51.71	1.71	0.3 (2.14)	490

ตารางที่ 4-3 อัตราการเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง

เวลา (วัน)	DWG (กรัม/วัน)	DWG เฉลี่ย (กรัม/วัน)	% การรอดของกุ้งทั้งหมด	Feed Conversion Ratio (FCR)	ผลผลิต	
					กก. /ตร.ม. (กก./บ่อ)	กก./ไร่
0	-		100			
30	0.027		-			
61	0.074		-			
103	0.117		-			
132	0.091	0.081	51.14	1.86	0.84 (5.87)	1,340

4.2.1 การกำจัดไนโตรเจนในระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน

จากการเก็บรวบรวมตัวอย่างฟองและตะกอนทั้งหมดซึ่งลอยขึ้นมาติดอยู่ที่ส่วนบนของท่อในระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันจากทั้งสองชุดการทดลองเลี้ยงกุ้ง เพื่อศึกษาการจำกัดไนโตรเจนของระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน โดยตะกอนที่ได้จากระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีปริมาณตะกอนแห้ง 17.74 กรัม และจากการวิเคราะห์หาสัดส่วนไนโตรเจนในตะกอนด้วยเครื่อง CHN Analyzer พบว่ามีไนโตรเจนในตะกอน 3.47% (0.62 g-N) สำหรับในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีปริมาณตะกอนแห้ง 1.07 กรัม โดยมีปริมาณไนโตรเจนในตะกอน 3 % (0.032 g-N) ผลการทดลองแสดงให้เห็นระบบ

แยกฟองโปรตีนและไขมันสามารถกำจัดตะกอนออกจากระบบได้เพียงเล็กน้อย โดยสามารถกำจัดของเสียไนโตรเจนออกจากระบบได้เพียง 0.015% ในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ และ 0.14 % ในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง ซึ่งจากผลการทดลองของ Suzuki *et.al*.,(2003) ที่ได้ทำการเลี้ยงปลาไหลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดก็พบว่า ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันสามารถกำจัดของเสียไนโตรเจนออกจากระบบได้เพียง 0.5% เท่านั้น โดยตะกอนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดในส่วนของระบบบำบัดไนตริฟิเคชันคือเกิดการตกตะกอนสะสมอยู่ภายในระบบ และไนโตรเจนที่ถูกกำจัดออกไปจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของระบบดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งก็ให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าตะกอนส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในส่วนของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันโดยในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชัน 349.48 กรัม ส่วนในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีปริมาณตะกอน 645.19 กรัม สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน คือ อัตราการให้อากาศ ขนาดของฟองอากาศ ความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบ ความสูงของฟองและระยะเวลาการสัมผัสกันระหว่างน้ำกับอากาศ (Lawson, 1995) ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้พบว่าขนาดของฟองอากาศที่ใช้โดยการพ่นผ่านหัวทรายมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอัตราการให้อากาศที่ต่ำ รวมถึงระยะเวลาการสัมผัสกันของน้ำกับอากาศน้อย เนื่องจากน้ำในบ่อเลี้ยงที่ไหลเวียนเข้าสู่บ่อบำบัดไนตริฟิเคชันโดยผ่านระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันมีอัตราการไหลเวียนที่ค่อนข้างเร็ว ซึ่งมีผลทำให้ฟองอากาศจับตัวและพาตะกอนแขวนลอยในน้ำขึ้นมาสู่ส่วนบนของท่อได้น้อย แต่ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันก็ยังมีความสำคัญกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด โดยข้อดีของระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน คือ ช่วยลดปริมาณตะกอนที่จะไปอุดตันในท่อ ในตัวกรองหรือในเครื่องสูบน้ำ ช่วยกำจัดฟองโปรตีนหรือสารโมเลกุลใหญ่ให้คงอยู่ในบ่อบำบัดไม่กลับไปเกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง ช่วยทำให้น้ำใสขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยเติมออกซิเจนให้กับระบบและช่วยในการควบคุม pH เนื่องจากจะเป็นตัวช่วยกำจัดกรดอินทรีย์ออกจากระบบ (Lawson, 1995)

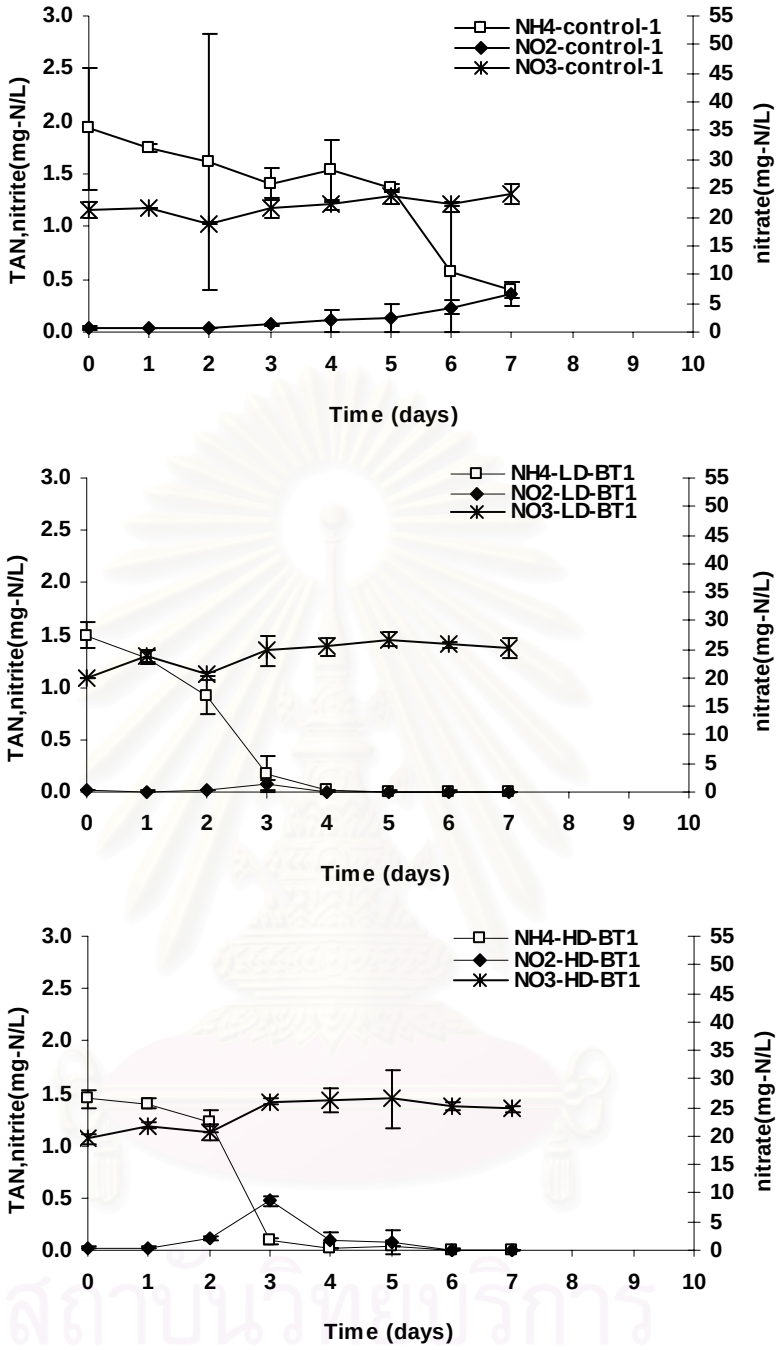
4.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนตริฟิเคชัน

4.2.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพของใยกรองในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน

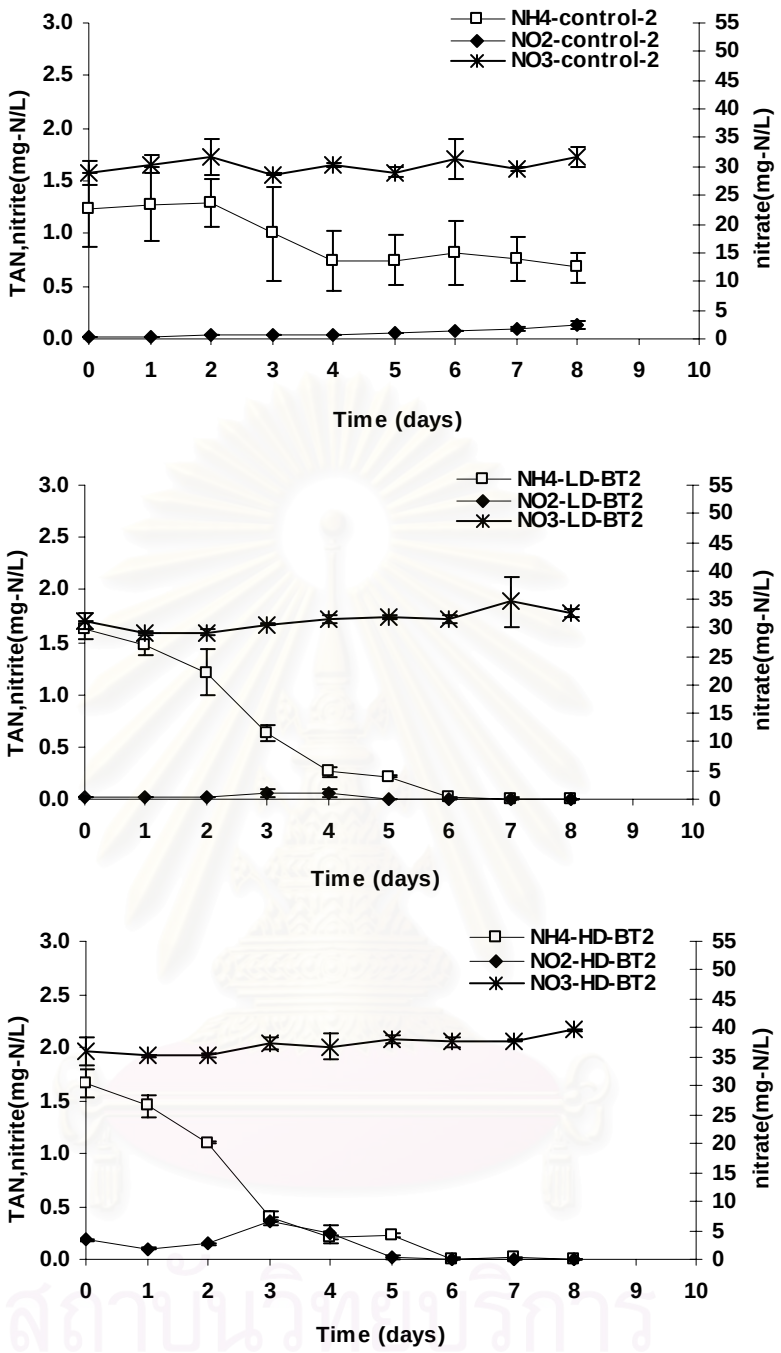
การประเมินประสิทธิภาพของใยกรองจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นชุดควบคุม (control) คือชุดการทดลองที่เฉพาะน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งแต่ไม่มีใยกรอง, ชุดการทดลองที่มีใยกรองจากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันจากบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-BT) และชุดการทดลองที่มีใยกรองของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันจากบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-BT) ในวันที่ 41, วันที่ 72 และวันที่ 114 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง พบว่าชุดการทดลองที่มีใยกรองจะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเร็วกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีใยกรองอย่างเห็นได้ชัด โดยสามารถกำจัดแอมโมเนียหมดได้ภายใน 4-6 วันและไม่พบการสะสมของไนไตรต์เกิดขึ้น (รูปที่ 4-12 ถึง 4-14) และจากการ

วิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)จากข้อมูลในรูปที่ 4-12 ถึง 4-14 พบว่าในชุดการทดลองที่มีใยกรองของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันจากบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.37 mg-N/L/day และชุดการทดลองที่มีใยกรองของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันจากบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.45 mg-N/L/day ส่วนในชุดควบคุมที่มีเฉพาะน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งแต่ไม่มีใยกรองมีอัตราการบำบัดเฉลี่ย 0.14 mg-N/L/day

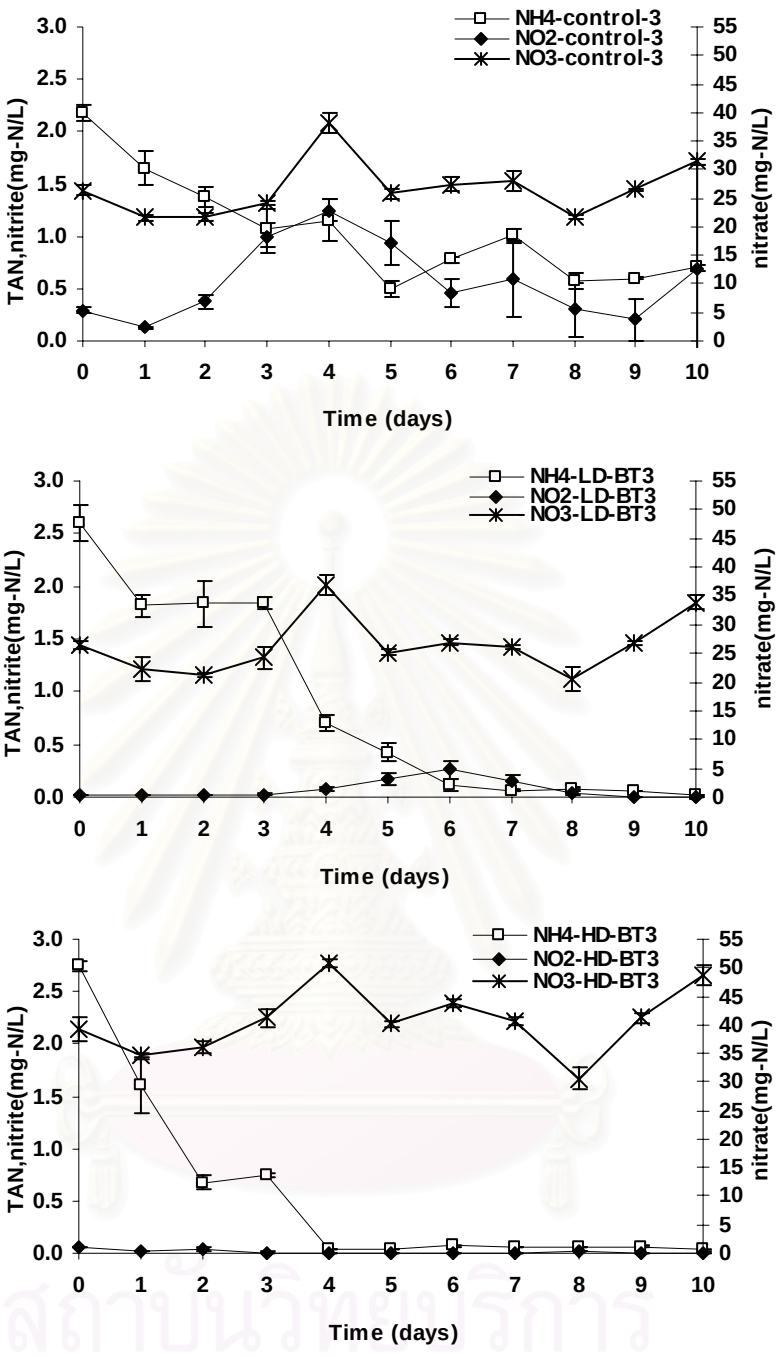
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4-12 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 1 (วันที่ 41 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง)



รูปที่4-13 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 2 (วันที่ 72 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง)



รูปที่4-14 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตในการทดสอบประสิทธิภาพใยกรองครั้งที่ 3 (วันที่ 114 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง)

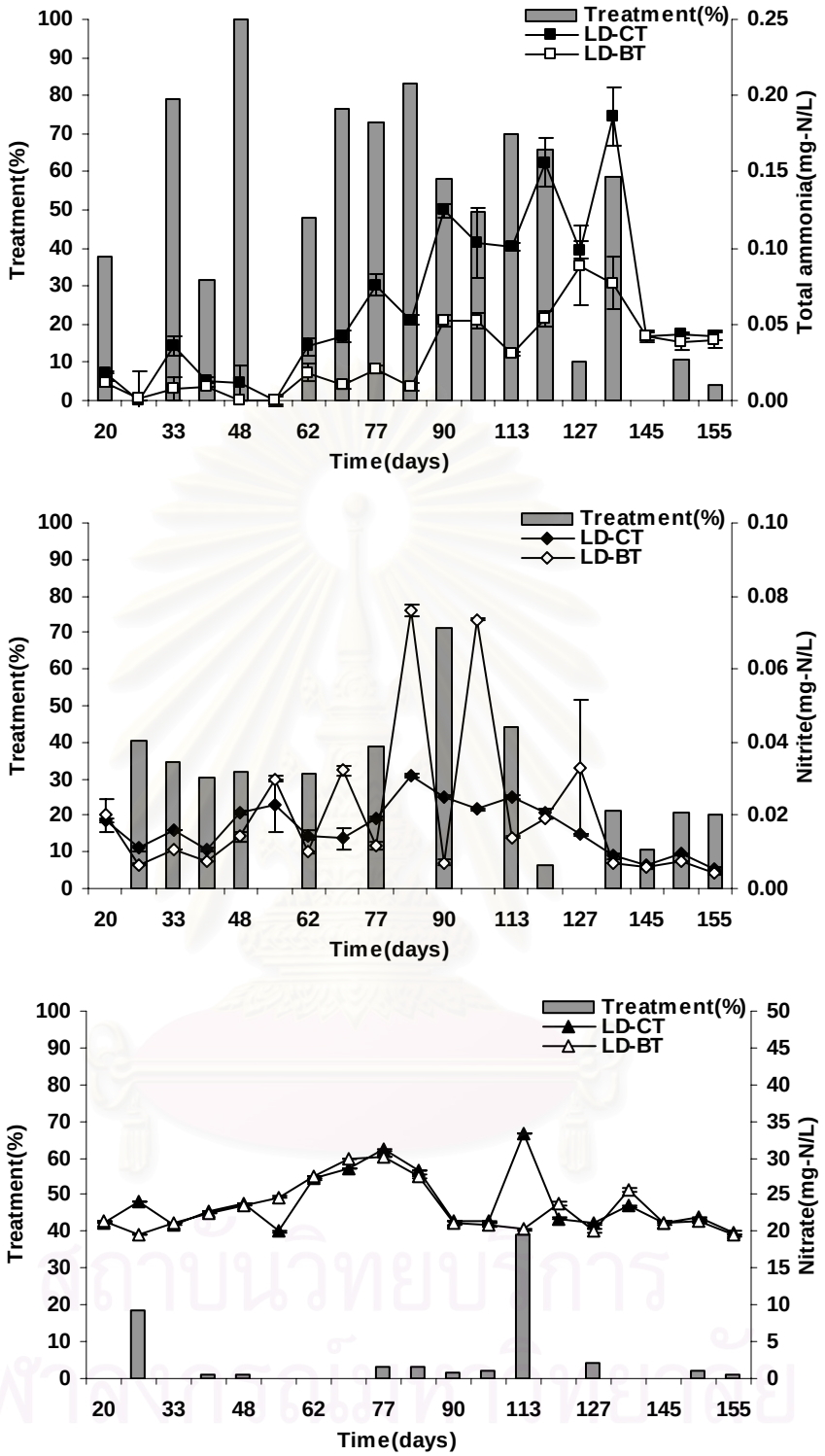
ตารางที่4-4 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวอย่างใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงและบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ คำนวณจากข้อมูลในรูปที่ 4-12 ถึง 4-14 โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

ชุดการทดลอง	mg-N/day (mg-N/m/day)			
	วันที่ 41	วันที่ 72	วันที่ 114	เฉลี่ย (±SD)
ไม่มีใยกรอง	1.64	0.66	1.05	1.12±0.49
ใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ	3.27 (21.81)	2.37 (15.81)	3.25 (21.64)	2.96±0.51 (19.75±3.42)
ใยกรองจากบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง	3.35 (22.34)	2.36 (15.74)	5.02 (33.46)	3.58±1.34 (23.85±8.96)

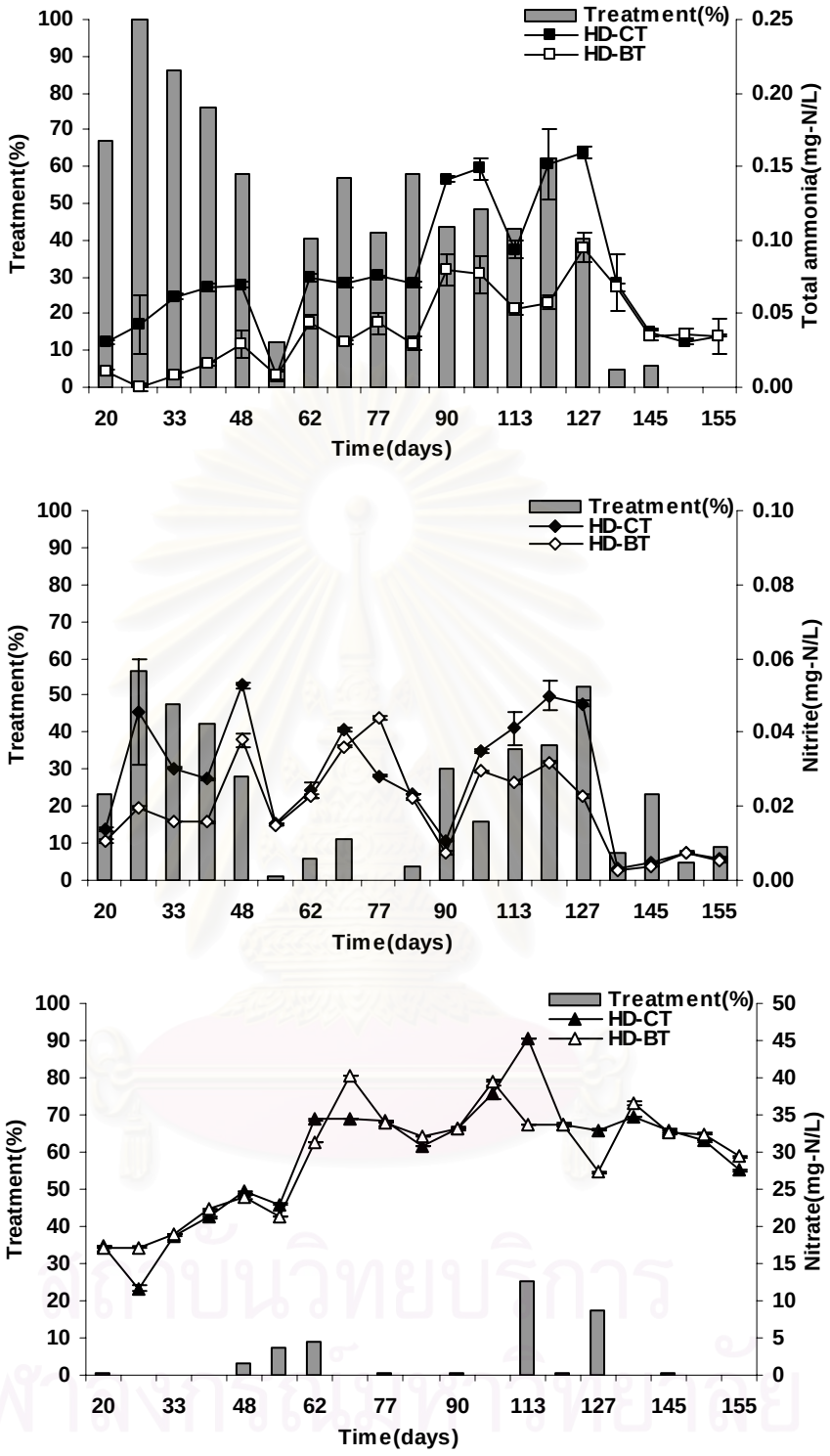
4.2.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการการบำบัดแอมโมเนียของบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตเปรียบเทียบระหว่างในบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันทุกสัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วันในรูปที่ 4-15 และ 4-16 แสดงให้เห็นว่าบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันมีความสามารถในการบำบัดแอมโมเนียทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันมีค่าต่ำกว่าในบ่อเลี้ยง ส่วนปริมาณไนไตรต์และไนเตรตมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีประสิทธิภาพการบำบัดในการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์เฉลี่ย 45%และ 21% ตามลำดับ สำหรับในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดในการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์เฉลี่ย 44% และ 22% ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4-15 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-BT)

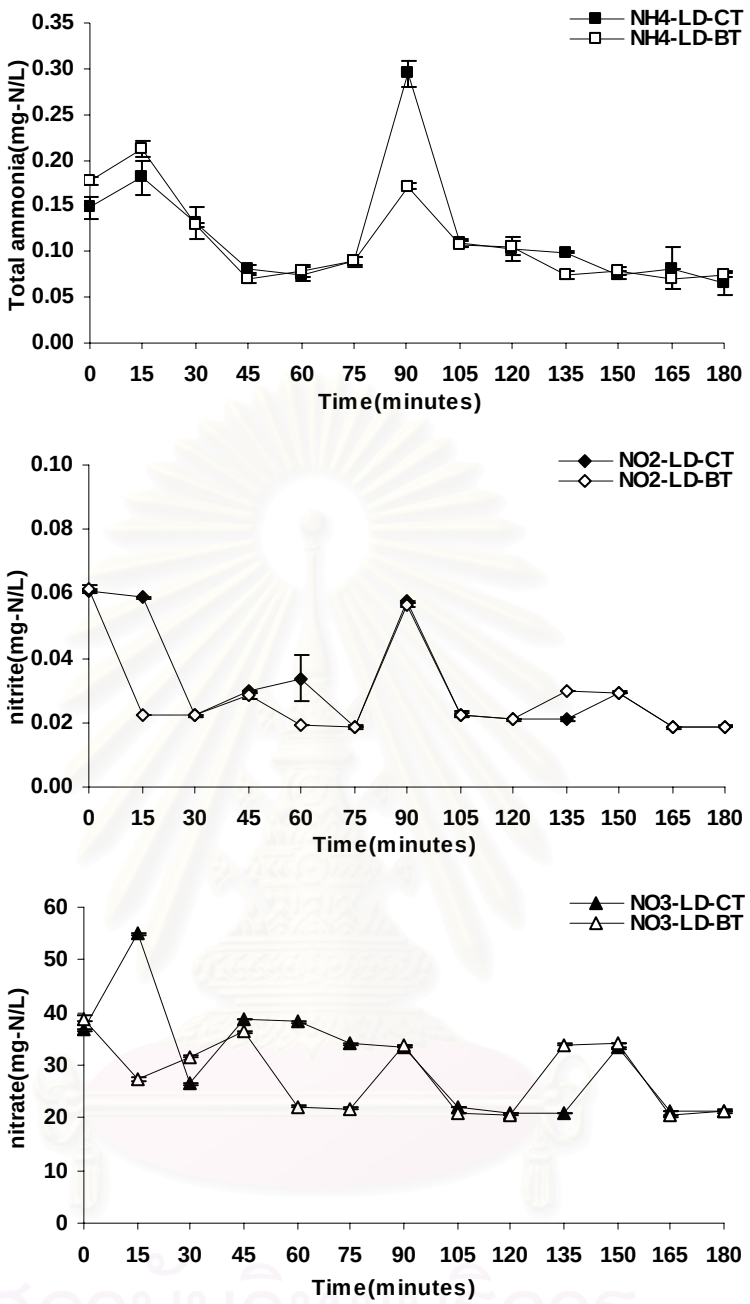


รูปที่4-16 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-BT)

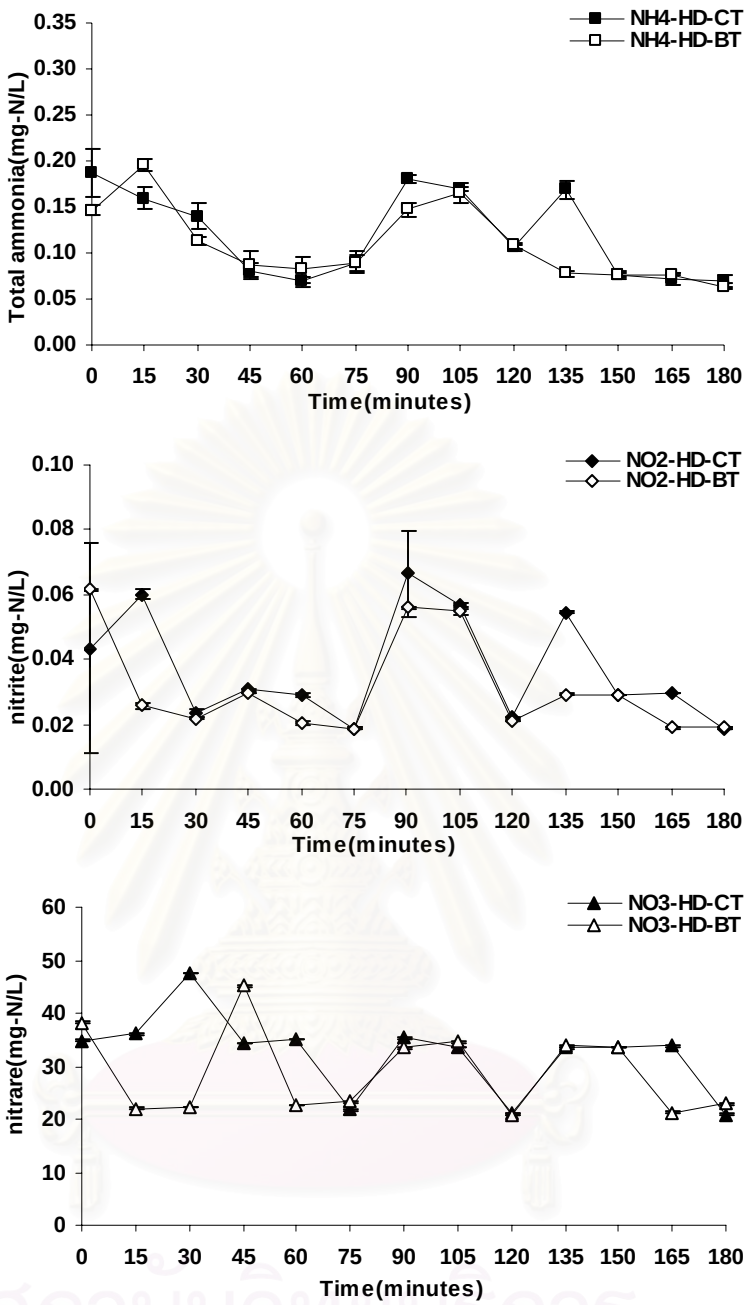
4.2.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันในช่วงระยะเวลาการให้อาหารกุ้ง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันระหว่างช่วงเวลาการให้อาหารตั้งแต่เริ่มต้นการให้อาหารจนกระทั่งถึงเวลาการให้อาหารในรอบต่อไปโดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ 15 นาที ในรูปที่ 4-17 และ 4-18 พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ในทั้งสองชุดการทดลองมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันคือ ในช่วง 15 นาทีแรกหลังจากให้อาหารจะพบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากนั้นในนาทีที่ 90 หลังจากการให้อาหารจะพบปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง และจะลดต่ำลงอยู่ในระดับคงที่ในอีก 15 นาทีต่อมาจนกระทั่งถึงเวลาการให้อาหารในรอบต่อไป ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวน่าจะเกี่ยวข้องกับการละลายของสารอินทรีย์ในอาหาร การเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันซึ่งเป็นผลมาจากแบคทีเรียภายในบ่อ ระยะเวลาในการย่อยอาหารและการขับถ่ายของกุ้ง หลังจากนั้นแอมโมเนียในน้ำก็จะมีค่าลดลงเข้าสู่สภาวะคงที่จนกระทั่งถึงเวลาการให้อาหารในรอบต่อไป หากเป็นไปตามสมมุติฐานดังกล่าวกุ้งก็น่าจะพร้อมกินอาหารมื้อต่อไปภายในระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง และการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงก็ควรให้ความสำคัญในช่วงเวลาประมาณ 90 นาทีหลังการให้อาหาร เพราะจะเป็นช่วงที่มีแอมโมเนียสูงสุดส่วนปริมาณไนเตรตมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่มีรูปแบบไม่ชัดเจน เนื่องจากในชุดการทดลองทั้งสองมีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่คงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



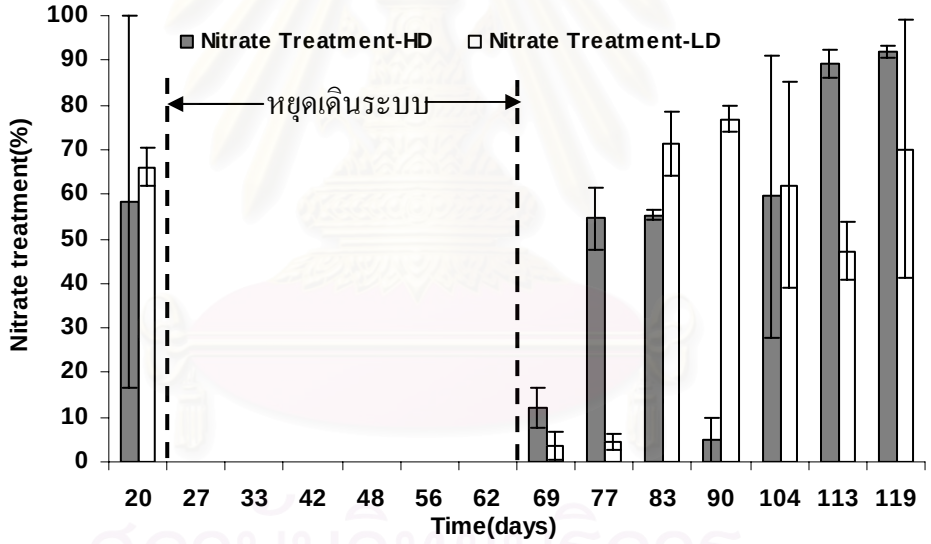
รูปที่4-17 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของ น้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD-BT) ในช่วงระยะเวลาในช่วงระยะเวลาระหว่างการให้อาหาร



รูปที่4-18 ปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรต์และไนเตรตของ น้ำในบ่อเลี้ยงชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-CT) และบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD-BT) ในช่วงระยะเวลาในช่วงระยะเวลาระหว่างการให้อาหาร

4.2.3 การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

การบำบัดไนเตรตที่ใช้ระบบท่อยาวการบำบัดไนเตรตของระบบท่อยาวจะมีอัตราการบำบัดเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอัตราการเติมเมธานอลที่ถูกควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 132 วัน พบว่าในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตปกติเฉลี่ย 50% ส่วนในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตเฉลี่ย 53% (รูปที่ 4-19) และเนื่องจากพบว่าจากการทำงานของระบบบำบัดไนเตรตมีผลทำให้อัลคาลินิตีมีค่าสูงขึ้น โดยในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีค่าอัลคาลินิตี 253 mg-CO_3^{2-}/L และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีค่าอัลคาลินิตี 267 mg-CO_3^{2-}/L (ภาพที่ 4-7) จึงได้มีการหยุดเดินระบบบำบัดไนเตรตโดยการหยุดเติมเมธานอลให้กับระบบในระหว่างวันที่ 21 จนถึงวันที่ 66 ของการทดลองเลี้ยงกุ้ง มีผลให้ค่าอัลคาลินิตีในน้ำลดลง



รูปที่4-19 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (LD) และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (HD)

4.3 การประเมินสมดุลไนโตรเจนและการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง

ผลการเปรียบเทียบแหล่งและปริมาณไนโตรเจนในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้ง ในเวลาเริ่มต้นการทดลองและในวันสุดท้ายของการทดลองเลี้ยงกุ้งจนกระทั่งถึงการเตรียมน้ำใช้เลี้ยงในรอบต่อไป แสดงในตารางที่ 4-4 และ 4-5 พบว่าแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการสำหรับการเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่มาจากอาหาร เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าไนโตรเจนเกือบทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้งจะคงอยู่ในน้ำ ยิ่งระบบเลี้ยงที่ไม่มีพื้นดินเช่นการเลี้ยงในถังและในบ่อซีเมนต์ จะทำให้สัดส่วนของไนโตรเจนในน้ำมีมากขึ้น แต่จากการที่มีระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด (ตารางที่ 4-6) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในชุดการทดลองทั้งสองลดลง โดยในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 43.33% ชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 41.26% แสดงให้เห็นว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน แม้จะมีการเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงให้สูงขึ้นถึง 3 เท่า ระบบก็ยังสามารถรองรับและบำบัดของเสียได้ใกล้เคียงกับการเลี้ยงที่ความหนาแน่นปกติโดยประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ลดลง

ตารางที่ 4-5 ประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ณ วันสุดท้ายของการทดลองในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ

สมดุลไนโตรเจนในชุดการทดลองบ่อลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ								
ชนิดตัวอย่าง	**น้ำหนักแห้ง (g)**		**% ไนโตรเจน**	**กรัม-ไนโตรเจนต่อบ่อ**			**% ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ**	
	ขาเข้า	**ขาออก**		**ขาเข้า**	**ขาออก**	**น้ำเลี้ยงรอบต่อไป**	**ขาเข้า**	**ขาออก**
อาหารกุ้ง	3207.60	-	5.85	187.64	-	-	50.63	-
น้ำ	-	-	-	182.82	151.81	50.52	49.33	72.28
ตะกอน	-	350.55	1.71	-	6.01	-	-	2.86
กุ้ง	1.48	471.76	10.81/11.07	0.16	52.22	-	0.04	24.86
ผลรวมไนโตรเจน				**370.62**	**210.04**	**50.52**		

ตารางที่ 4-6 ประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ณ วันสุดท้ายของการทดลองในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง

สมดุลไนโตรเจนในชุดการทดลองบ่อลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง								
ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (g)		% ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อบ่อ			% ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ	
	ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	น้ำเลี้ยงรอบต่อไป	ขาเข้า	ขาออก
อาหารกุ้ง	9591.12	-	5.85	561.08	-	-	76.49	-
น้ำ	-	-	-	172.32	272.49	70.47	23.49	63.23
ตะกอน	-	662.93	2.27	-	15.07	-	-	3.50
กุ้ง	1.48	1295.02	10.81/11.07	0.16	143.36	-	0.02	33.27
ผลรวมไนโตรเจน				**733.56**	**430.92**	**70.47**		

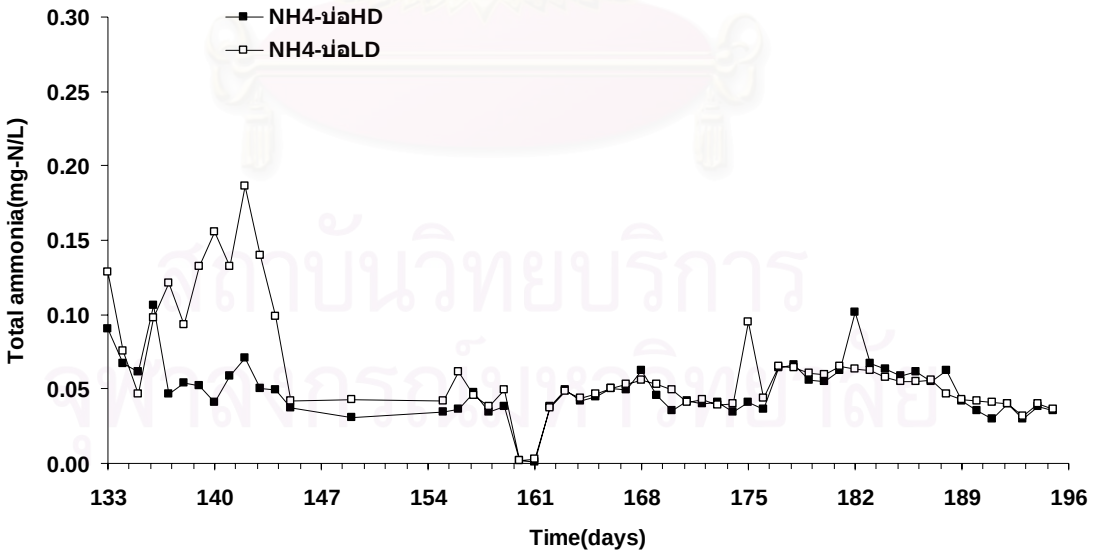
ตารางที่ 4-7 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

บ่อ	ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ (g-N)	ไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการเลี้ยง (g-N)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
บ่อหนาแน่นปกติ (50ตัว/ตร.ม.)	187.64 (อาหาร) 182.82 (น้ำ) 0.16 (กุ้ง) รวม 370.62	52.22 (กุ้ง) 151.81 (น้ำ) 6.01 (ตะกอน) รวม 210.04	43.33
บ่อหนาแน่นสูง (150ตัว/ตร.ม.)	561.08 (อาหาร) 172.32 (น้ำ) 0.16 (กุ้ง) รวม 733.56	143.36 (กุ้ง) 272.49 (น้ำ) 15.07 (ตะกอน) รวม 430.92	41.26

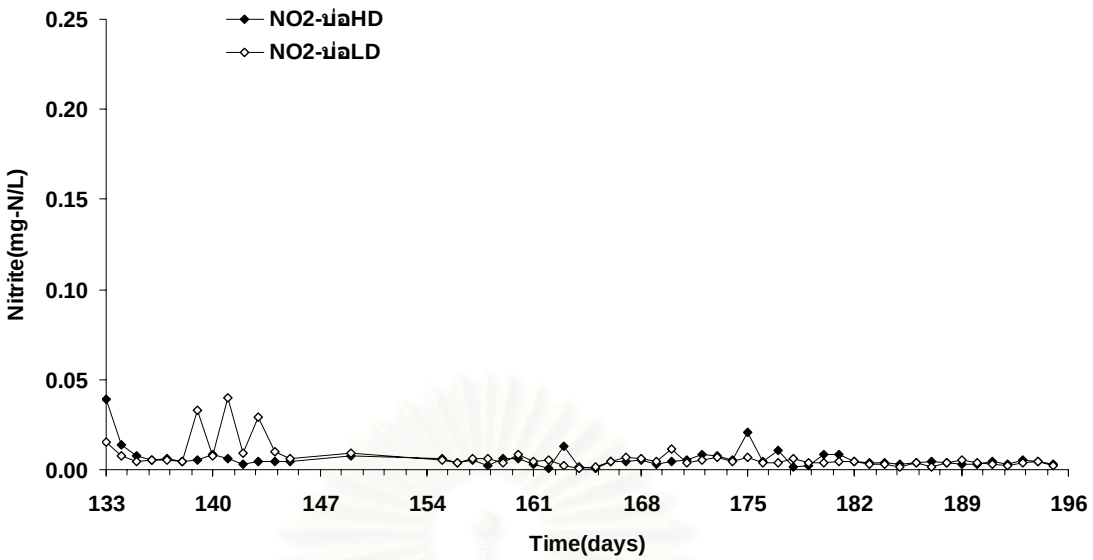
ผลการบำบัดน้ำภายหลังการเลี้ยงหลังจากทำการกำจัดตะกอนแขวนลอยออกจากระบบแล้ว ได้ทำการนำน้ำที่อยู่ในบ่อเลี้ยงกลับมาใส่ในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและเริ่มเดินระบบสูบน้ำหมุนเวียนระหว่างบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัด รวมทั้งจัดให้มีการพ่นอากาศในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันและมีการเดินระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว โดยเป็นการหมุนเวียนน้ำในลักษณะเดียวกันกับในขณะทดลองเลี้ยงกุ้ง พบว่าภายหลังจากที่จับกุ้งในบ่อออกหมดแล้วระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้สำหรับการเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปได้ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 2 เดือน

(รูปที่ 4-20 ถึง 4-22) โดยบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ(LD) มีปริมาณแอมโมเนียรวม 0.037± 0.004 mg-N/L ปริมาณไนไตรต์ 0.002± 0.0007 mg-N/L และปริมาณไนเตรต 7.205± 0.068 mg-N/L ณ วันสิ้นสุดขั้นตอนการบำบัดน้ำภายหลังการเลี้ยง ส่วนในบ่อเลี้ยงความหนาแน่นสูง(HD) มีปริมาณแอมโมเนียรวม 0.035± 0.005 mg-N/L ปริมาณไนไตรต์ 0.003± 0.0001 mg-N/L ปริมาณไนเตรต 9.283± 0.119 mg-N/L ณ วันสิ้นสุดขั้นตอนการบำบัดน้ำภายหลังการเลี้ยง และในส่วนของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรตจนมีปริมาณลดลงได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการบำบัดของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีอัตราการบำบัด 2,022.5 mg-NO_3-N/วัน ส่วนในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีอัตราการบำบัด 3,477.6 mg-NO_3-N/วัน

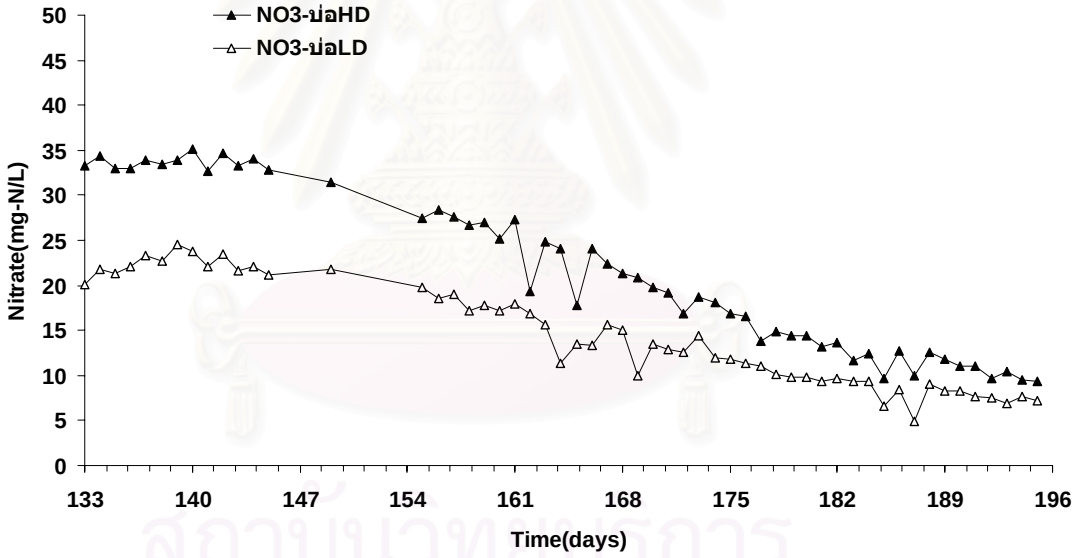
จากการทดลองในครั้งนี้จะเห็นได้ว่า น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำที่ใช้ต่อมาจากงานวิจัยของวิลาสิณี ไตรยราช (2546) โดยในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นการศึกษาระบบทดลองประมาณ 2 ปี และมีการทดลองเลี้ยงกุ้งอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 7 เดือน หลังจากนั้นจึงได้มีการทิ้งให้น้ำในระบบมีการหมุนเวียนมาแล้วระยะหนึ่งจนมีปริมาณไนเตรตประมาณ 30 mg-N/L เมื่อนำน้ำดังกล่าวมาใช้งานต่อเพื่อเลี้ยงกุ้งในการศึกษานี้เป็นเวลา 4 เดือน ระบบก็สามารถบำบัดน้ำให้คงคุณภาพน้ำที่ดีอยู่ได้ และยังสามารถเตรียมน้ำหลังจากที่จบการเลี้ยงแล้วเพื่อใช้เลี้ยงในรอบต่อไปได้อีก จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะมีการนำระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดมาใช้จริงสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าน้ำและลดการปล่อยของเสียออกจากระบบสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4-20 ปริมาณแอมโมเนียของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NH4-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NH4-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง



รูปที่ 4-21 ปริมาณไนไตรต์ของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO2-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO2-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง



รูปที่ 4-22 ปริมาณไนเตรตของบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (NO3-บ่อHD) และบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ (NO3-บ่อLD) ในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1.บ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันใช้เวลาในการบำบัดแอมโมเนียมความเข้มข้น 2 mg-N/L ในระบบบ่อทดลองที่มีปริมาตรน้ำรวมประมาณ 7,000 ลิตร ให้หมดลงได้ในเวลา 8 วัน โดยเป็นการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ โดยบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียม 595 mg-N/บ่อ/วัน และในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติบ่อกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียม 654.6 mg-N/บ่อ/วัน

2.ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสามารถเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันหลังจากการเริ่มเติมเมธานอลเป็นเวลาประมาณ 1 วัน และระบบจะเข้าสู่สภาวะการทำงานปรกติในเวลาประมาณ 12 วัน และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตในช่วงเริ่มต้นระบบอยู่ในช่วง 60-80%

3.ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยต่ำกว่า 0.1 mg-N/L ไนไตรต์เฉลี่ยต่ำกว่า 0.05 mg-N/L ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และไม่เกิดการสะสมของไนเตรต โดยมีปริมาณไนเตรตเฉลี่ยต่ำกว่า 50 mg-N/L ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงกุ้ง 132 วัน

4.กุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ 50 ตัว/ตารางเมตร มีอัตรารอด 51.71% น้ำหนักเฉลี่ย 11.96 กรัม/ตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.90 กรัม/วัน อัตราแลกเนื้อ(FCR) 1.71 และผลผลิตที่ได้ 0.30 กิโลกรัม/ตารางเมตร ส่วนในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง 150 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตรารอด 51.14% น้ำหนักเฉลี่ย 10.82 กรัม/ตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.81 กรัม/วัน อัตราแลกเนื้อ(FCR) 1.86 และผลผลิตที่ได้ 0.83กิโลกรัม/ตารางเมตร

5. ระบบแยกฟองโปรตีนและไขมันระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงได้ 0.62 และ 0.032 g-N ตามลำดับ คิดเป็น 0.015% และ 0.14 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

6. ประสิทธิภาพใยกรองในการบำบัดแอมโมเนียจากทั้งสองชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 24.00$\pm$8.91 mg-N /m/day ส่วนชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติมีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 19.93$\pm$3.41 mg-N /m/day

7.การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมและไนไตรต์ในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน ระหว่างช่วงระยะเวลาการให้อาหารกุ้ง พบว่าจะมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์เพิ่มสูงขึ้น

สองครั้ง ครั้งแรกพบในเวลา 15 นาทีแรกหลังจากการให้อาหาร และช่วงที่สองจะพบในเวลา 90 นาที หลังจากการให้อาหาร

8.ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการศึกษาครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ได้ 43.33% ในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติและ41.26% ในชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง และการบำบัดน้ำหลังการเลี้ยงกุ้งทำให้ปริมาณไนเตรตในน้ำลดลงต่ำกว่า 10 mg-N/L ซึ่งทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ สามารถใช้น้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้งรอบต่อไปได้

ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองพบว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถนำมาใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และน้ำที่ผ่านการเลี้ยงแล้วก็สามารถทำการบำบัดเพื่อใช้เลี้ยงต่อในรอบต่อไปได้อีก จึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ควรมีการศึกษาถึงศักยภาพสูงสุดในการรองรับของเสียของระบบ (maximum carrying capacity) โดยการเพิ่มความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยงในระบบ ซึ่งมีความจำเป็นในการที่จะพัฒนาระบบให้มีศักยภาพสูงขึ้นและช่วยลดความเสี่ยงของการเลี้ยงกุ้ง

2. ควรมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของการเลี้ยงกุ้งและรวมไปถึงสัตว์น้ำอื่นๆ ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ได้มีการพัฒนาขึ้นนี้

3. ควรมีการออกแบบและพัฒนารูปแบบของบ่อที่เน้นการประหยัดพลังงาน

4. ควรมีการพัฒนาอาหารกุ้งที่เหมาะสำหรับการเลี้ยงกุ้งในโรงเรือน โดยเฉพาะอาหารที่มีการเสริมสารสีแอสตาแซนทินหรือสารสีอื่นๆ ในระดับที่เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหากุ้งมีสีฟ้าเนื่องจากขาดสารสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ เกษตรธรรม. 2535. การบำบัดไนเตรทจากน้ำด้วยกระบวนการออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชันในถังกรองซัลเฟอร์-หินปูน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย (waste water treatment). พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.

คณิตไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เมจิค พลับบลิเคชั่น จำกัด.

ปวีณา ทวีกิจการ,ศักดิ์ชัย ชูโชติ, บุปผา จงพัฒน์ และ อรพร เล่นวารี. 2547. การศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำ.รายงานวิจัยแผนงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการผลิตและการส่งออกกุ้งกุลาดำ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธัญญา พันธ์ฤทธิ์ดำ. 2541. ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบดีไนตริฟิเคชันสำหรับการเลี้ยงกุลาดำ (*Penaeus monodon*). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์. 2545. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภาพร กิตติมศักดิ์. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัมและแบบใต้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เบ็ญจมาศ จันทะภา. 2545. การควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งร่วมกับสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เบญจมิทร์ ทองเปิง. 2545. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืน. นนทบุรี: ฐานเกษตรกรรม.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์.2538. การกำจัดไนเตรทและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย. เอกสารประกอบการอบรมการจัดการโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย วันที่ 15-25 สิงหาคม 2538 ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราห์ เทพาหุดี, ชลอ ลิ้มสุวรรณ, นิติ ชูเชิด, ธัญญนันท์ สุนทรมังคโล, พรเลิศ จันทร์รัชชกูล และเต็มดวง สมศิริ. 2547. การศึกษาวิธีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดแบบต่างๆ.รายงานวิจัยแผนงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการผลิตและการส่งออกกุ้งกุลาดำ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

วิลาสินี ไตรยราช. 2546. สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตในน้ำทะเลด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริวรรณ ศิลาภากุล. 2545. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งโดยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบอากาศยกที่มีการไหลเวียนแบบภายนอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธาสิณี อ่วมจันทร์. 2546. การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มแบคทีเรียในตัวกรองชีวภาพแบบไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทธิกาณจน์ สุทธิ. 2547. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิมล ตันฑสุกิจวณิช. 2545. ระบบบำบัดไนเตรทสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริ ทุกข์วินาศ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2541. การศึกษาวิจัยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบ Bio-Filter. วารสารการประมง. 51(พฤศจิกายน-ธันวาคม 2541) : 535-540.

สิริ ทุกข์วินาศ, ขวัญฤทัย ถนอมเกียรติ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2542. ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีชีวภาพ. เอกสารวิชาการเลขที่ 1/2542. ศูนย์การศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบนจังหวัดจันทบุรี. กรมประมง.

อำไพเทพิน สิงหะพันธุ. 2543. ระบบบำบัดไนเตรทเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Al-Hafedh, Y. S., Alam,A. and Alam, M. A.2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering. 29: 139–154.

AOAC(Association of Official Analytical Chemist). 1980. Official method analysis. 13th edition., Washington, USA: Association of Official Analytical Chemist.

Arbiv, R. and van Rijn, J.1995. Performance of a Treatment System for Inorganic Nitrogen Removal in Intensive Aquaculture Systems. Aquacultural Engineering.14: 189-203.

Barak, Y., Cytryn, E., Gelfand, I., Krom, M. And Van Rijn, J. 2003. Phosphorus removal in a marine prototype,recirculating aquaculture system. Aquaculture. 220: 313–326.

Boley, A,. Muller, W.-R. and Haider, G. 2000. Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems. Aquacultural Engineering. 22 : 75–85.

Boyd, C.E. 1995. Bottom Soil, Sediment, and Pond Aquaculture. New York: Chapman& Hall Press.

Chanratchakool,. P., J.F. Turnbull. S. Funge-Smith and C. Limsuwan. 1995. Health Management in Shrimp Ponds. Aquatic Animal Health Research Institute, Department of Fisheries, Jatujak, Bangkok. Thailand.

Chen, J., and Chin, T. 1988. Acute toxicity of nitrite of Tiger prawn *Peaneaus monodon*, larva. Aquaculture. 69: 253-262.

DeLosReyes Jr., A. A. and Lawson,T. B. 1996. Combination of a Bead Filter and Rotating Biological Contactor in a Recirculating Fish Culture System*.Aquacultural Engineeting.15(1): 27-39.

Egli, K., Langer, C., Siegrist, H.R., Zehnder, A.J.B.,mWagner, M. and Meer, J.R. 2003. Community Analysis of Ammonia and Nitrite Oxidizers during Start-Up of Nitrification Reactor. Applied and Environmental Microbiology. 69(6): 3213-3222.

Hellinga,. C. S., A.A.J.C. Mulder, J.W. van Loosdrecht, M.C.M. Heijnen, J.J. 1998. The SHARON process: a innovative method for nitrogen removal from ammonia-rich wastewater. Water Science Technology. 37: 135-142.

Grassholf, K., Kremling, K., and Ehraedt, M. 1999. Method of seawater Analysis. 3rd edition. Weinheim: Wiley-Vch.

Greenberg, A.E.,Clesceri S.L., and Eaton, A.D.1992.Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. Maryland: American Pluplic Health Association.

Greiner,A.D. and Timmons, M.B. 1998. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. Aquacultural Engineering. 18: 189–200.

Grommen, R., Verhaege, M.and Verstraete, W.2006. Removal of nitrate in aquaria by means of electrochemically generated hydrogen gas as electron donor for biological denitrification. Aquacultural Engineering. 34: 33–39.

Gutierrez-Wing, M. T. and Malone, R. F. 2006. Biological filters in aquaculture: trends and research direction for freshwater and marine applications. Aquacultural Engineering 34(3): 163-171.

Lawson, T.B. 1995. Fundamentals of Aquaculture Engineering. New York , USA: Chapman & Hall.

Menasveta,P., Panritdam,T., Sihanonth,P., Powtongsook,S., Chuntapa,B. and Lee,P. 2001. Design and function of a closed , recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. Aquaculture Engineering. 25: 35-49.

Menasveta, P., Worawattanamateekul, W., Latscha, T. and Clark, J. S.1993. Correction of black tiger prawn (*Penaeus monodon* fabricius) coloration by astaxanthin. Aquacultural Engineering. 12(4): 203-213.

Pfeiffer, T. and Malone, R. 2006. Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warmwater fish system. Aquacultural Engineering. 34: 311–321.

Ridha, M. T. and Cruz, E. M. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. Aquacultural Engineering. 24: 157–166.

Sastry, B.i N., DeLosReyes Jr., A. A., Rusch,K. A. and Malone, R. F. 1999. Nitrification performance of a bubble-washed bead filter for combined solids removal and biological filtration in a recirculating aquaculture system. Aquacultural Engineering. 19: 105–117.

Stricland, J. D. H. and Parson, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis 2nd Edition. Ottawa: Fisheries Research board of Cannada.310pp.

Summerfelt, S. T. and Sharrer M. J.2004. Design implication of carbon dioxide production within biofilters contained in recirculating salmonid culture systems. Aquacultural Engineering. 32: 171–182.

Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H. and Asakawa, M. 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. Aquaculture Engineering. 29:165-182.

Thakur D. P. and Lin C. K. 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. Aquacultural Engineering.27: 159-176.

Thoman, E. S., Ingall, E. D., Davis D. A. and Arnold, C. R. 2001.A nitrogen budget for a closed,recirculating mariculture system. Aquacultural Engineering. 24: 195–211.

Tseng, K.F., Su, H.M. and Su, M.S. 1998. Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system. Aquacultural Engineering. 17: 138-147.

Tseng, K.F. and Wu, K.L. 2004. The ammonia removal cycle for a submerged biofilter used in a recirculating eel culture system. Bioresource Technology. 93: 313–319.

Twarowska, J. G., Westerman, P.W. and Losordo T. M. 1997. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquacultural Engineering. 16: 133-147.

Van Rijn. J., Tal, Y. and Schreier, H. J. 2006. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. Aquacultural Engineering 34(3): 364-376.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

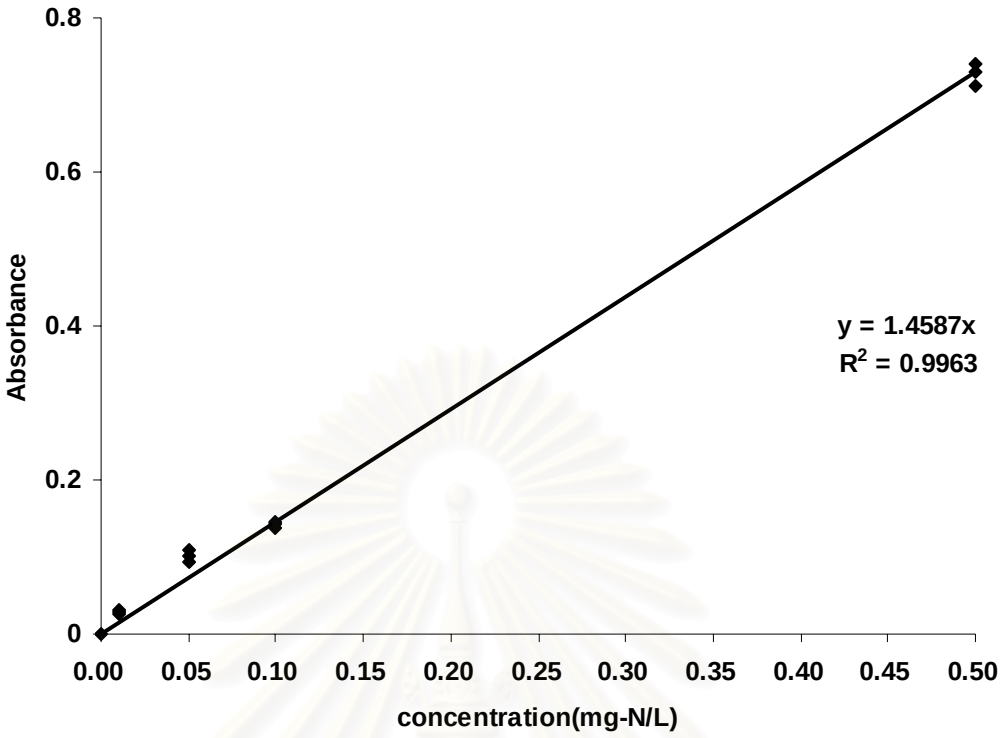
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

การวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียซึ่งดัดแปลงมาจากของ Strickland and Parson (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ml ควรทำการวิเคราะห์ทันที ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 °C หรือแช่เย็นโดยเติมฟีนอล 1 ml ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 25 ml ซึ่งถ้าเก็บรักษาด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถเก็บตัวอย่างได้ถึง 2 สัปดาห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ml โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติม phenol solution (phenol 20 g ใน 95%V/V เอทิลแอลกอฮอล์ 200 ml) ปริมาตร 0.04 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติม Sodium nitroprusside solution ($Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$ 1.0 gในน้ำ D.I. 200 ml)ปริมาตร 0.04 ml เขย่าให้เข้ากันจากนั้นเติม oxidizing solution (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 °C) ประมาณ 1 ชั่วโมง สีที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ภายใน 24 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยา นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 nm จากนั้นเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.01,0.05,0.1และ 0.5 mg-NH_4-N/L ตามลำดับจาก stock ammonia solution ความเข้มข้น 100 mg-NH_4-N/L

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



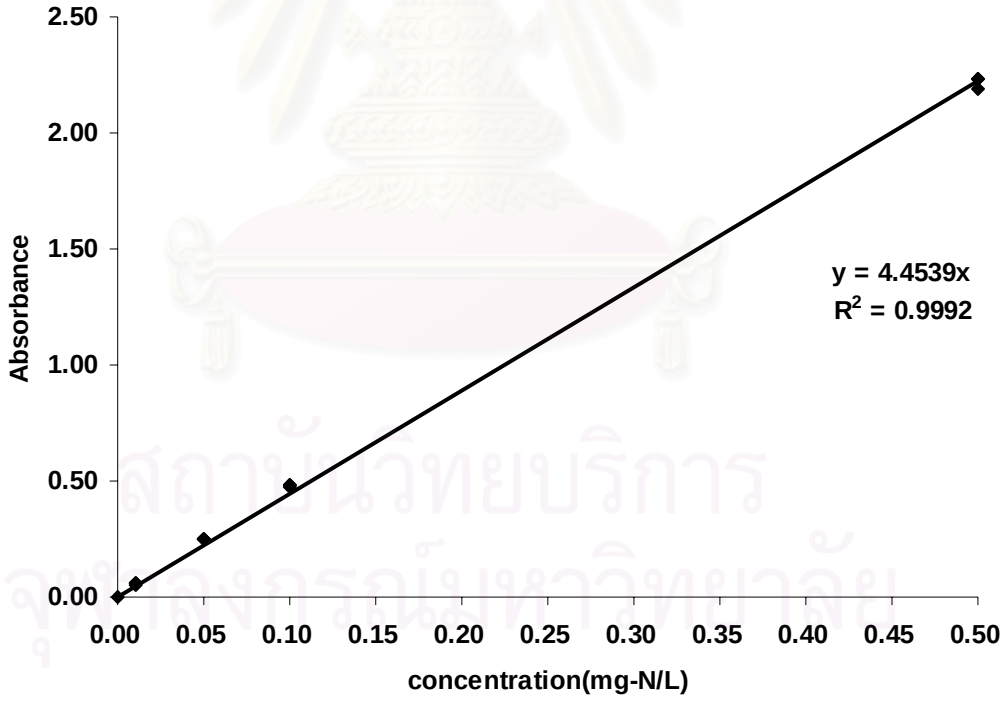
กราฟที่ 1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีวิเคราะห์ไนไตรต์

การวิเคราะห์ไนไตรต์ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนไตรต์ซึ่งดัดแปลงมาจากของ Strickland and Parson (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ml ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 °C

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank เติม sulfanilamide solution(sulphanilamide 5 g กรดไฮโดรคลอริก 50 ml ในน้ำกลั่น 500 ml) ปริมาตร 0.02 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม naphthylethylenediamine reagent (N-(1-Naphthy)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.50 g ต่อน้ำ 500 ml) ปริมาตร 0.02 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm จากนั้นเตรียม standard nitrite solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.01,0.05,0.1และ 0.5 mg-NO_2-N/L ตามลำดับจาก stock nitrite solution ความเข้มข้น 100 mg-$N0_2$-N/L

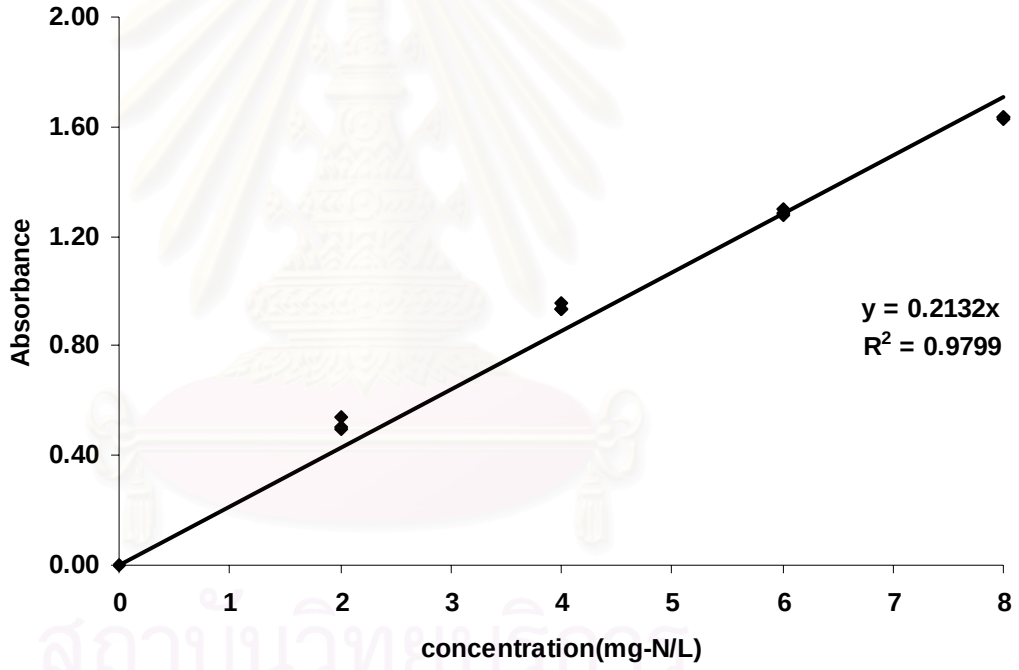


กราฟที่ 2 กราฟมาตรฐานไนไตรต์ (NO_2-N)

วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

การวิเคราะห์ไนเตรตในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรตซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Greenberg *et.al.* (1992) เก็บตัวอย่างน้ำ 10 ml ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C

ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตในน้ำด้วยวิธีนี้ควรทำการกรองตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 220 nm และ 275 nm ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาณไนเตรตต่อไป จากนั้นเตรียม standard nitrate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 2, 4, 6 และ 8 mg-NO_3-N/L ตามลำดับจาก stock nitrate solution ความเข้มข้น 100 mg-$N0_3$-N/L



กราฟที่ 3 กราฟมาตรฐานไนเตรต (NO_3-N)

วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด

การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด ใช้วิธีวิเคราะห์ซึ่งดัดแปลงมาจากของ Grasshoff (1999) โดยนำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมดมา 50 ml บรรจุใน flask และเติม oxidizing reagent (ละลาย purified potassium peroxdisulphate ($K_2S_2O_8$) 5 g และ boric acid (H_3BO_3) ในสารละลาย NaOH 0.375 mol/L 100 ml เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในขวดพลาสติกที่หุ้มด้วย aluminum foil) ปริมาตร 5 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไป autoclaved ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธีของ Greenberg *et.al.* (1992)

วิธีวัดค่าอัลคาลินิตี(Alkalinity)

การวัดค่าอัลคาลินิตี(Alkalinity) ใช้วิธีซึ่งดัดแปลงมาจากของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน (2535) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 100 ml ด้วยบีกเกอร์ขนาด 250 ml ทำการวัดค่าอัลคาลินิตีทันที นำน้ำตัวอย่าง 100 ml ที่อยู่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ซึ่งมีหัว pH probe จุ่มอยู่ แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.01 mol/L จนกระทั่ง pH ของตัวอย่างน้ำมีค่าเท่ากับ 4 ปริมาตรของกรดซัลฟูริก 0.01 mol/L ที่ใช้ในการไทเทรตจะนำไปคำนวณเพื่อหาค่าอัลคาลินิตี ดังนี้

$$\text{อัลคาลินิตี} = \frac{\text{ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (ml)} \times 1{,}000 \times 0.01 \times 2 \times 50}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง(ml)}}$$

วิธีวิเคราะห์โปรตีนในอาหารกุ้งและในกุ้งกุลาดำ ดัดแปลงจากวิธีของ Association of Official Analytical Chemist (1980)

ชั่งตัวอย่างแห้งประมาณ 2 g ใส่ใน digestion tube เติม catalyst 10.01 g ลงไปแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 25 ml นำ digestion tubeใส่ใน rack แล้วนำ rack ไปใส่ใน Kjeldatherm digestion block ทิ้งให้เกิดการย่อยจนได้ประกอบสีดำประมาณ 20 นาที เริ่มตั้งอุณหภูมิเครื่อง Kjeldatherm digestion block ไว้ที่ 100°C แล้วเพิ่มอุณหภูมิ 20°C ทุกๆ ประมาณ 15-20 นาที จนอุณหภูมิถึง 380°C ปล่อยให้สารละลายมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

การกลั่นสารละลายเพื่อนำไปหาโปรตีน

เติม 4% boric acid 100 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml หยด tashiro indicator ลงไป5-6 หยด จะได้สารละลายสีม่วง นำ drainage tube ที่มีตัวอย่างที่ dilute แล้วนำไปวางบน clamp โดยให้ส่วนปลายเปิดของ tube แนบสนิทกับ cone-shaped rubber stopper เมื่อน้ำเดือดเป็นไอให้เติม

50% NaOH solution ใน digestion tube จะทำให้สารละลายใน digestion tube เกิดฟองแก๊ส เติม 50% NaOH solution ไปเรื่อยๆจนไม่เกิดฟองขึ้น และมากเกินพอประมาณ 10 ml ถ้าตัวอย่างมีสารประกอบไนโตรเจนมาก สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว ในขั้นตอนนี้จะปล่อยให้น้ำไหลเข้า condenser ตลอดเวลา เพื่อให้แก๊ส NH_3 ควบแน่นไหลลงสู่ flask ที่บรรจุ boric acid จนมีปริมาตรประมาณ 300 ml นำ flask ที่มี boric acid+tashiro indicator ไปไทเทรตกับสารละลาย standard H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.5 N จนถึงจุดยุติสารละลายใน flask จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ H_2SO_4

ปิเปตสารละลาย NaOH 1 N มา 10 ml เติม Phenopthalene 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับ standard $C_8H_5KO_4$ 0.4 N ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากชมพูเป็นใสไม่มีสี แล้วคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH โดยใช้สมการ

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\%\text{โปรตีน} = \frac{1400 \times Ns \times Vs \times Np}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(g)} \times 100}$$

Ns = ความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 ที่ใช้ในการไทเทรต

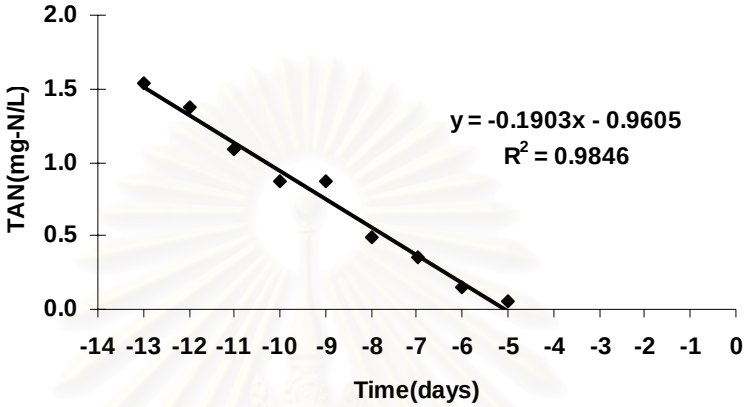
Np = conversion factorx

Vs = ปริมาตรสารละลาย H_2SO_4 ที่ใช้ในการไทเทรต

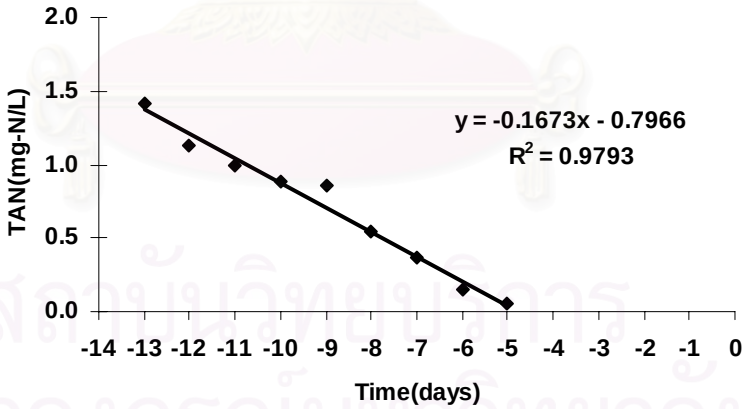
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

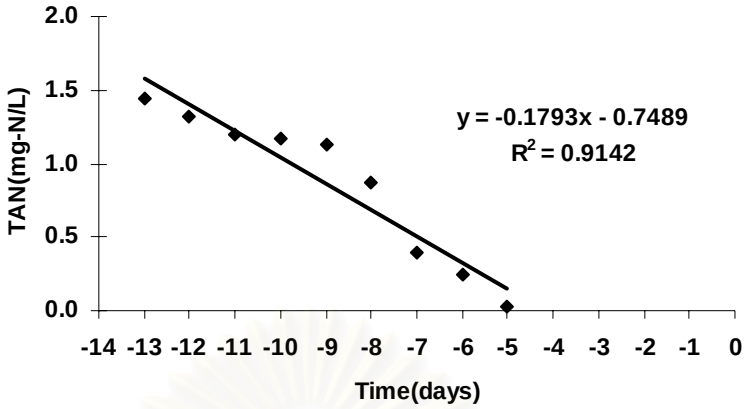
การหาอัตราการลดลงของสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน
โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)



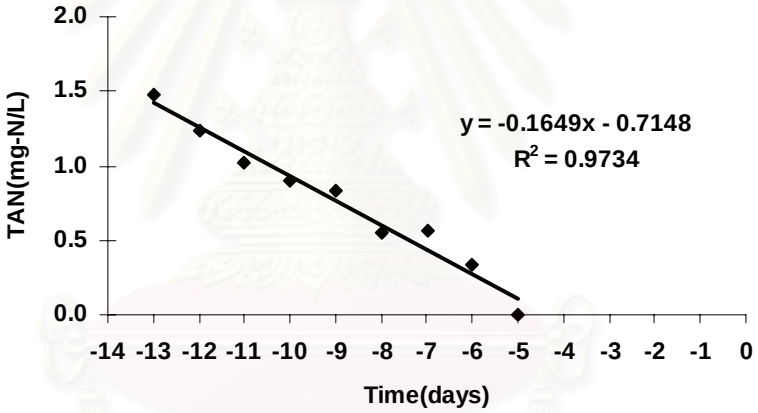
กราฟที่ 4 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ



กราฟที่ 5 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติ

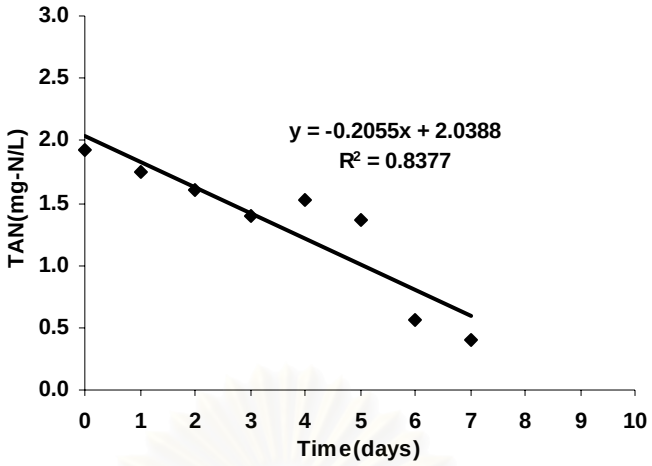


กราฟที่ 6 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง

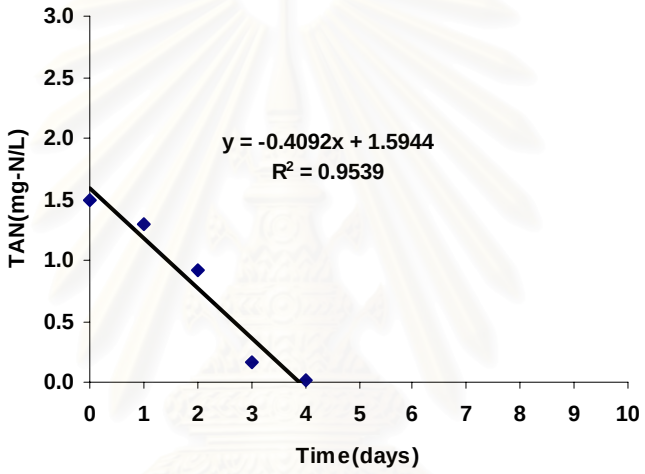


กราฟที่ 7 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง

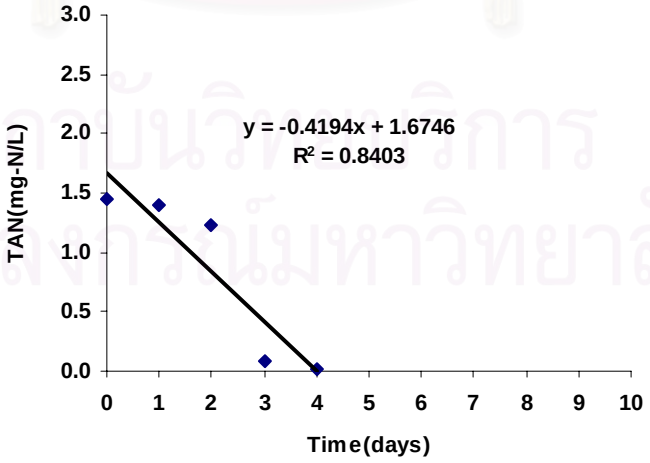
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



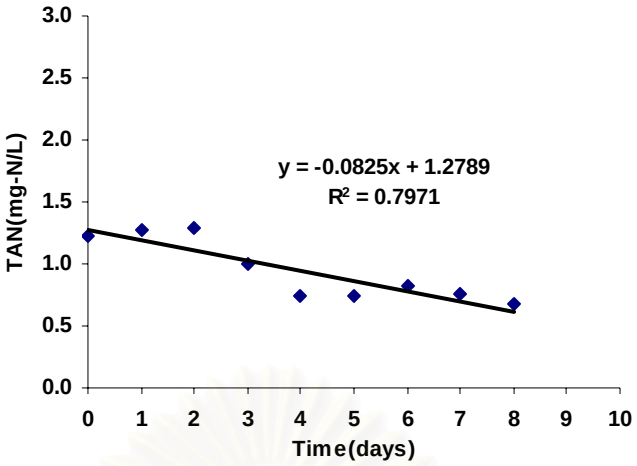
กราฟที่ 8 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ไม่มีใยกรองครั้งที่ 1



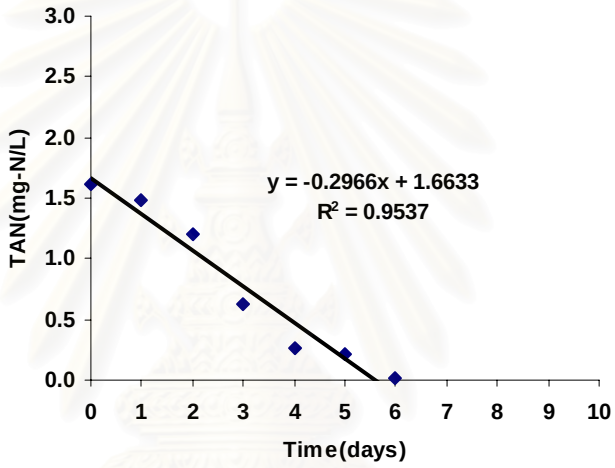
กราฟที่ 9 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติครั้งที่ 1



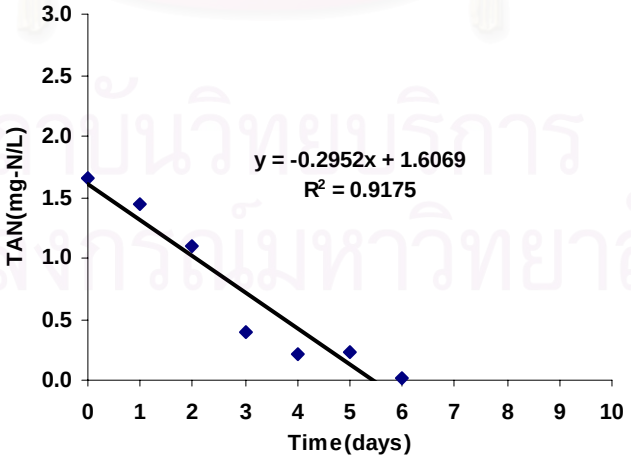
กราฟที่ 10 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงครั้งที่ 1



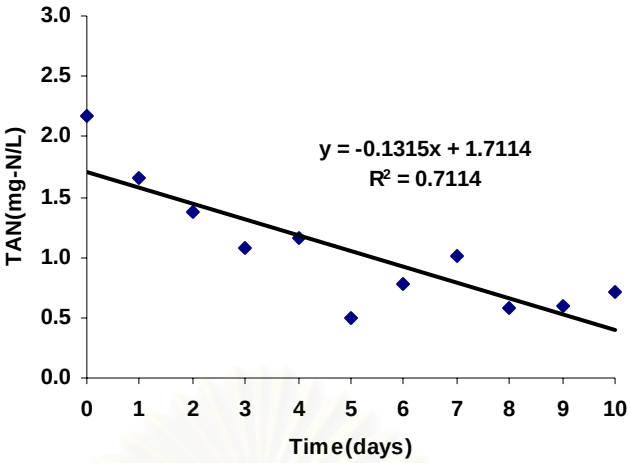
กราฟที่ 11 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ไม่มีใยกรองครั้งที่ 2



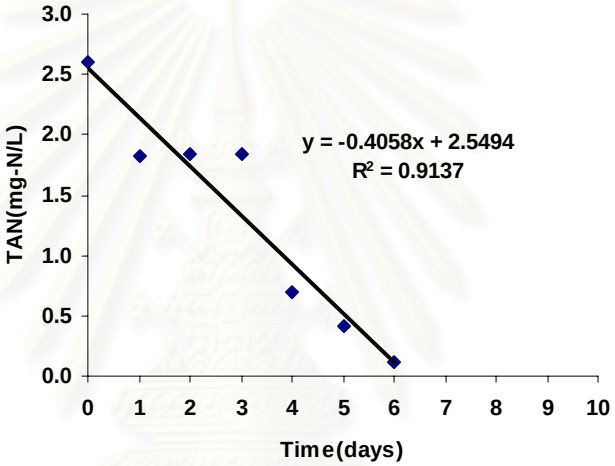
กราฟที่ 12 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติครั้งที่ 2



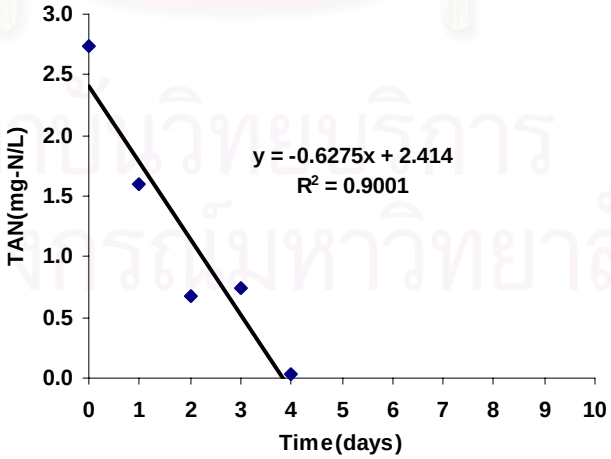
กราฟที่ 13 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงครั้งที่ 2



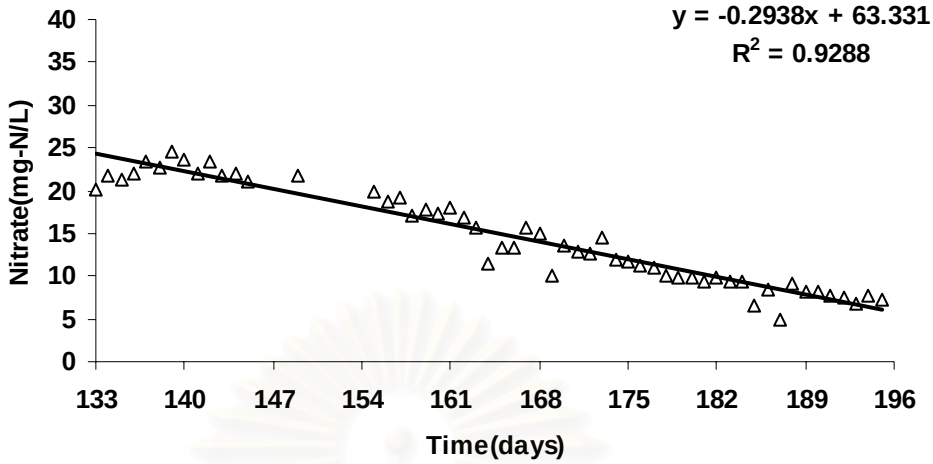
กราฟที่ 14 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ไม่มีใยกรองครั้งที่ 3



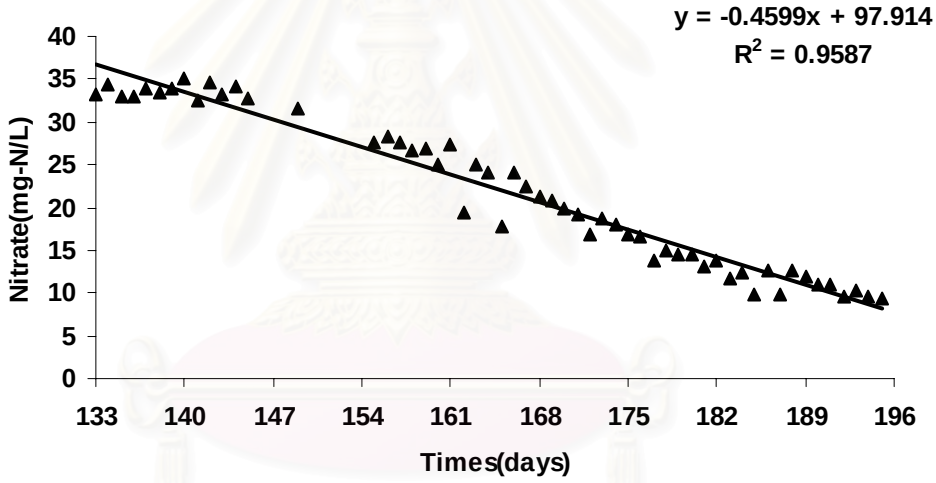
กราฟที่ 15 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติครั้งที่ 3



กราฟที่ 16 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใส่ใยกรองของบ่อกรองทางชีวภาพไนตริฟิเคชันจากชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงครั้งที่ 3



กราฟที่ 17 กราฟแสดงอัตราการลดลงของไนเตรตของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นปกติในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง



กราฟที่ 18 กราฟแสดงอัตราการลดลงของไนเตรตของชุดการทดลองบ่อเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในการบำบัดน้ำภายหลังจากการเลี้ยงกุ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรุ่งนภา สุทธิศรี เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2523 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 ในระหว่างการศึกษาได้มีการเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายในหัวข้อเรื่อง ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำความหนาแน่นสูงในโรงเรือน ในงานประชุมวิชาการกรมประมง ประจำปี 2549 ระหว่างวันที่ 25-27 กรกฎาคม 2549 และ ผลงานวิจัยแบบบรรยายในหัวข้อเรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและความหลากหลายของแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในโรงเรือน ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (วทท. 32) ระหว่างวันที่ 10-12 ตุลาคม 2549 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ จัดโดย สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับ คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย