

ผลของตัวกรองสีภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิม  
*Oreochromis niloticus* ระบบปิดในบ่อดิน



นางสาวมุกิตา วุฒิกัมพล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4198-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF BIOFILTER ON WATER QUALITY IN TABTIM FISH

*Oreochromis niloticus* CLOSED CULTURE POND



Miss Mutita Wutikumpoln

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4198-7



มุทิตา วุฒิกัมพล : ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิม

*Oreochromis niloticus* ระบบปิดในบ่อดิน. (EFFECT OF BIOFILTER ON WATER QUALITY IN TABTIM FISH *Oreochromis niloticus* CLOSED CULTURE POND),

อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะ เศวต, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข 125

หน้า ISBN 974-17-4198-7

ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ตัวกรองชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นใยพลาสติกสานเป็นรูปท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร ในบ่อเลี้ยงปลาทับทิมขนาด 30x30x1.2 เมตร จังหวัดปทุมธานี โดยจัดให้มีบ่อควบคุมที่มีการเติมอากาศผ่านสายยางพลาสติกที่วางพาดจากขอบบ่อด้านหนึ่งไปยังฝั่งตรงข้ามตลอดระยะเวลาความยาวของบ่อเป็นแถวขนานกันจำนวน 10 แถว เป่าอากาศผ่านหัวทรายเติมอากาศที่ต่ออยู่กับสายท่ออากาศทุกๆ ระยะ 1.5 เมตร โดยที่หัวทรายทุกหัวจะถูกต่อท่อให้หย่อนลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับบ่อชุดทดลองจะมีระบบเติมอากาศแบบเดียวกับบ่อชุดควบคุมทุกประการ แต่จะมีการผูกตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวเส้นละ 27 เมตรกับไม้ไผ่ที่ปักอยู่เป็นแนวเพื่อตรึงให้ตัวกรองจมลงได้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร จัดเป็น 10 แถววางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ และจัดแนวให้ฟองอากาศที่พุ่งออกมาจากหัวทรายขึ้นผ่านที่ตัวกรองชีวภาพ ปลออยปลาทับทิมน้ำหนักเริ่มต้นตัวละ 5.9 กรัม ความหนาแน่น 11 ตัว/ตารางเมตร ลงเลี้ยงในบ่อทดลองทั้งสองบ่อ มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ (สารอาหาร พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ อัลคาไลน์ตี บีโอดี ความโปร่งแสงของน้ำ คลอโรฟิลล์-เอ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์) ทุก 2 สัปดาห์ และสุ่มชั่งวัดปลาทุก 4 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาทดลอง 140 วัน ผลการทดลองพบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำของบ่อทดลองทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) แต่ประสิทธิภาพของตัวกรองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในบ่อ ส่วนคุณภาพน้ำอื่นๆ ของทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลผลิตปลาทับทิมที่ได้จากบ่อทดลองทั้งสองบ่อไม่แตกต่างกันโดยได้ผลผลิตปลาในบ่อทดลอง 4,320 กิโลกรัม/ไร่ และในบ่อควบคุม 4,368 กิโลกรัม/ไร่ อัตราแลกเนื้อในบ่อทดลองเป็น 1.27 และในบ่อควบคุมเป็น 1.24

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อผู้คิด.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4389088420 MAJOR INTER- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: Biofilter/ Closed system aquaculture/ Tilapia/ Fish culture/ Nutrient/  
Nitrification

MUTITA WUTIKUMPOLN : EFFECT OF BIOFILTER ON WATER QUALITY IN  
TABTIM FISH *Oreochromis niloticus* CLOSED CULTURE POND THESIS  
ADVISOR : PROF. PIAMSAK MENASVETA, Ph.D. THESIS COADVISOR :  
SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D.  
125 pp. ISBN 974-17-4198-7

This study investigated the efficiency of cylinder-shape (12.5 cm diameter)plastic fibrous biofilter for water quality control in Tabtim (Red Tilapia) fish pond. Two earth ponds, 30x30 m<sup>2</sup> with 1.2 m depth located in Phatumthani Province were used in this experiment. Tabtim fish, 5.9 g initial weight at 11 fishes/m<sup>2</sup> stocking density were cultured for 140 days. Both ponds had similar aeration system that consisted of 10 parallel rows of PE air ducts. Air was bubbles through series of hanging air-stones ( 30 cm depth) every 1.5 m of each air duct. In treatment pond, 10 row of biofilter tubes ( 27 m in length) clinging to bamboo poles, were lined in 10 rows at approximately 10 cm below water surface. Water quality (nitrogen and phosphorus nutrient, pH, dissolved oxygen, alkalinity, BOD, COD, transparency, chlorophyll- a, phytoplankton and zooplankton) was monitored every 2 weeks. Fish growth was measured every 4 weeks.

It was found that biofilter significantly reduced ( $p < 0.05$ ) ammonium concentration in a treatment pond through nitrification process. However, efficiency of the biofilter was still not enough for removing the total ammonium produced in the pond. Other water quality parameters were in acceptable range for fish culture and no differences were observed for those parameters between control and treatment ponds. Fish yield, 2.73 kg/m<sup>2</sup> and 2.70 kg/m<sup>2</sup> and FCR, 1.24 and 1.27 of control and treatment ponds are not significant difference.

Department: Inter-departmental of Environmetal Science Student's signature.....

Field of study: Environmental Science Advisor's signature.....

Acedemic year: 2003 Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สรวิต เผ่าทองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลา แรงกาย แรงใจ ช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อรยย่นตีในการเก็บตัวอย่าง รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ตลอดระยะเวลาการวิจัยทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ อีกทั้งช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรวิดิวิรกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณบุญและคุณวิเชียร อคจันทร์ ที่ช่วยให้อาหารปลา ดูแลบ่อปลาและช่วยเหลือขณะทำการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณ คุณ สนิท สุขโพธิ์น้อย ที่ช่วยเหลือในการเตรียมบ่อปลา ก่อนเริ่มการทดลองและดูแลบ่อปลาในขณะทำการทดลอง ขอขอบคุณ คุณจันทร์สว่าง งามผ่องใส และคุณชมพูนุท ชัยรัตน์ ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างตลอดการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท กรุงเทพฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับปลาทับทิม

ขอขอบคุณ นักวิจัย ผู้ช่วยนักวิจัย เจ้าหน้าที่ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนๆ ที่ทำงานในหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเลทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในด้านต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเลี้ยงปลาในบ่อดิน ซึ่งได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากทบวงมหาวิทยาลัย

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่และคุณน้ำ ที่ให้การอุปการะและส่งเสริมในด้านการเรียนเสมอมา ตลอดจนญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด.....	4
2.2 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ.....	4
2.3 การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	5
2.4 การใช้การกรองทางชีวภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	10
2.5 ประวัติของปลานิลและปลาตะปิม.....	12
2.6 ชีววิทยาของปลานิล.....	13
2.7 รูปแบบการเลี้ยงปลานิล.....	14
2.8 การเลี้ยงปลาตะปิมในกระชัง.....	15
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการกินอาหารของปลา.....	15
2.10 คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลานิล.....	15
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 การเตรียมการทดลอง.....	18
3.2 การติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพ.....	20
3.3 ผลผลิตของปลาตะปิม.....	22
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในถังทดลอง.....	23



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 วิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและสิ่งมีชีวิตบน ตัวกรองชีวภาพ.....	24
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
4. ผลการทดลอง.....	30
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในถังทดลอง.....	30
4.2 ผลของตัวกรองชีวภาพในบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมแบบหนาแน่น.....	34
5. วิจัยรณัผลการทดลอง.....	58
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆในการวิจัย.....	93
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน.....	109
ภาคผนวก ค กราฟความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	113
ภาคผนวก ง การคำนวณ.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติบางประการของแบคทีเรียในกระบวนการ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน.....	9
ตารางที่ 3-1 คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาไฮเกรด 9961 ซึ่งใช้เป็น อาหารในช่วงการทดลองตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4.....	19
ตารางที่ 3-2 คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาไฮเกรด 9951 ซึ่งใช้เป็น อาหารในช่วงการทดลองตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ถึงสิ้นสุดการทดลอง.....	19
ตารางที่ 4-1 ผลผลิตปลาที่บ่มและการคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนของปลาใน บ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 140 วัน .....	54
ตารางที่ 4-2 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง.....	56
ตารางที่ 4-3 ปริมาณไนโตรเจนในอาหารในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง.....	56
ตารางที่ 4-4 ปริมาณไนโตรเจนในตัวปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง.....	56
ตารางที่ 4-5 ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบการเลี้ยงปลาในบ่อ.....	57
ตารางที่ 5-1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาโดยทั่วไป.....	67
ตารางที่ 5-1 (ต่อ) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาโดยทั่วไป.....	68
ตารางที่ 5-2 ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ.....	72
ตารางที่ 5-3 ก ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยแสดงค่า significance F ที่ความเชื่อมั่น 95% (บ่อทดลอง).....	76
ตารางที่ 5-3 ข ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยแสดงค่า significance F ที่ความเชื่อมั่น 95% (บ่อควบคุม).....	76
ตารางที่ 5-4 สมการความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน.....	77
ตารางที่ 5-5 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากอาหารในบ่อทดลอง ณ วันที่ 27, 83 และ 126 ของการทดลอง.....	78
ตารางที่ 5-6 เปรียบเทียบผลการบำบัดแอมโมเนียจากเอกสารที่ได้มีรายงาน กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้.....	79
ตารางที่ 5-7 ค่า DWG จากเอกสารที่ได้มีรายงานกับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้.....	80
ตารางที่ 5-8 เปรียบเทียบผลผลิตปลาจากเอกสารที่ได้มีรายงาน กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้.....	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2-1 วัฏจักรของไนโตรเจน (nitrogen cycle) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	6
ภาพที่ 3-1 ตัวกรองชีวภาพทำจากพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีน (Hyperdrain).....	20
ภาพที่ 3-2 บ่อควบคุมที่มีท่อเติมอากาศและหัวทรายวางพาดจากขอบบ่อ ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในแนวขนานกัน จำนวน 10 แถว.....	21
ภาพที่ 3-3 บ่อทดลองที่มีท่อเติมอากาศ หัวทรายและตัวกรองชีวภาพที่มี ความยาวเส้นละ 27 เมตร จำนวน 10 แถว ห่างกันแถวละ 2.5 เมตร วางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ.....	21
ภาพที่ 3-4 รูปแบบการวางระบบเติมอากาศและการวางตัวกรองชีวภาพ ในบ่อทดลอง โดยท่อเติมอากาศจะวางตัวเป็นแนวขนานกัน จำนวน 10 เส้นอยู่ที่ผิวน้ำ และมีตัวกรองชีวภาพที่ผูกติดอยู่กับ เสาไม้ไผ่ซึ่งจะกดตัวกรองให้จมลงจากผิวน้ำน้ำ ประมาณ 10 เซนติเมตร.....	22
ภาพที่ 3-5 ถังพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ.....	23
ภาพที่ 4-1 ถังทดลองที่ประกอบด้วย (1) ถังที่ไม่มีตัวกรองซึ่งจัดเป็นชุดควบคุม (2) ถังที่มีตัวกรองใหม่ และ (3) ถังที่มีตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่ใน บ่อเลี้ยงปลามาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน.....	30
ภาพที่ 4-2 การเก็บตัวอย่างตัวกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาชุดทดลองอายุ 1 เดือน.....	31
ภาพที่ 4-3 ภาพระยะใกล้แสดงพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่ในบ่อเลี้ยง ปลามาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งมีตะกอนและเมือกจุลินทรีย์เกาะอยู่.....	31
ภาพที่ 4-4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองในถังทดลอง โดยเปรียบเทียบ ปริมาณแอมโมเนียในไนไตรต์และไนไตรท ในถังที่ไม่ใช้ตัวกรอง (ชุดควบคุม) ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน ซึ่งจะมีเมือกจุลินทรีย์เกาะติดอยู่ ลูกศรแสดงการเติมสารละลาย (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ลงเฉพาะในถังที่มีตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน.....	33
ภาพที่ 4-5 แพลงก์ตอนพืช <i>Ankistodesmus</i> ซึ่งตรวจพบเป็นชนิดเด่นในน้ำ ของถังทดลองทั้งสามถัง.....	34

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4-6 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัดในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.).....	35
ภาพที่ 4-7 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัดในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง(ประมาณ 11.00 น.).....	36
ภาพที่ 4-8 ออกซิเจนละลายในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัด ในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.).....	37
ภาพที่ 4-9 ความโปร่งแสงของน้ำ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.).....	38
ภาพที่ 4-10 ปริมาณอัลคาลินิตีในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6).....	39
ภาพที่ 4-11 ปริมาณความกระด้างในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6).....	40
ภาพที่ 4-12 ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> 20 ° C) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 2).....	41
ภาพที่ 4-13 ค่าซีโอดี (COD) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 2) .....	42
ภาพที่ 4-14 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง ระหว่างการทดลอง แถบ ความผิดพลาดในแกน Y แสดง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 3).....	43
ภาพที่ 4-15 ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่าง การทดลองแถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6).....	45
ภาพที่ 4-16 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6) .....	46

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4-17 ตัวอย่างของแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta ได้แก่ <i>Phacus</i> sp., <i>Euglena</i> sp.1 ซึ่งพบมาก เป็นชนิดเด่นในบ่อเลี้ยงปลา ในการศึกษาครั้งนี้.....	47
ภาพที่ 4-18 ตัวอย่างของแพลงก์ตอนพืชใน Division Bacillariophyta Division Chromophyta และ Division Cyanophyta .....	48
ภาพที่ 4-19 กลุ่มและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในบ่อควบคุม (ภาพ ก.) และบ่อทดลอง (ภาพ ข.).....	49
ภาพที่ 4-20 แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Rotifer ที่พบเป็นชนิดเด่นใน บ่อเลี้ยงปลาของการศึกษานี้ .....	50
ภาพที่ 4-21 แพลงก์ตอนสัตว์ กลุ่ม Copepod Nauplius ที่พบเป็นชนิดเด่น ในบ่อเลี้ยงปลาของการศึกษานี้ Cladocera Ostracod.....	51
ภาพที่ 4-22 กลุ่มและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อควบคุม (ภาพ ก.) และบ่อทดลอง (ภาพ ข.) .....	52
ภาพที่ 4-23 การเติบโตของปลาแสดงด้วยความยาวและน้ำหนักปลา ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง.....	53
ภาพที่ 4-24 ปริมาณสะสมของอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อควบคุม และบ่อทดลองระหว่างการทดลอง.....	55
ภาพที่ 5-1 ก-ค ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจนและผลรวมของอนินทรีย์ไนโตรเจน ในถังทดลองที่ 1 ถึงทดลองที่ 2 และถังทดลองที่ 3 ตามลำดับ.....	61
ภาพที่ 5-2 สีดำของดินตะกอนพื้นบ่อ.....	70

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องมาจากผลผลิตสัตว์น้ำที่จับได้ตามธรรมชาติมีปริมาณไม่เพียงพอกับความ ต้องการบริโภคของจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการบริโภคใน ปัจจุบันมีการพัฒนาและเพิ่มปริมาณขึ้นเป็นอย่างมาก ในประเทศไทยปริมาณสัตว์น้ำจืดที่ทำการ เพาะเลี้ยงเพิ่มจาก 353,367 เมตริกตัน ในปี พ.ศ.2534 เป็น 706,999 เมตริกตัน ในปี พ.ศ.2543 (<http://www.fao.org/fi/statist/summtab/default.asp>)

การเลี้ยงปลาเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันมักจะเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่นเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ดังนั้นจะมีการให้อาหารปลาในบ่ออย่างเต็มที่ สารอินทรีย์จากอาหารปลาที่เหลือ และของเสียจากการขับถ่ายของปลาย่อมมีปริมาณมาก ของเสียดังกล่าวอาจทำให้เกิดความเป็น พิษต่อปลาได้ถ้าหากไม่มีระบบการจัดการที่ดีพอ นอกจากนั้นการสะสมของสารอินทรีย์ดังกล่าวใน บ่อยังเป็นสาเหตุของยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) เนื่องจากในน้ำมีสารอาหารที่จำเป็นในการ เจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในบ่ออย่างมากเกินพอ การตายของแพลงก์ตอน จะมีการปลด ปล่อยสารอาหารดังกล่าวกลับคืนสู่น้ำในบ่อ ส่งผลทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา จนอาจทำให้ปลาตายหรือไม่ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจึงจำ เป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือเรียกว่าเป็นระบบเปิด ซึ่งการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิดนับเป็นส่วน หนึ่งของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมสภาพของคุณภาพน้ำในธรรมชาติ จากปัญหาดัง กล่าวจึงได้มีความพยายามพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดซึ่งในทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หมายถึงระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่ประหยัดน้ำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

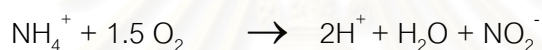
การเพิ่มกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเข้าเป็นส่วนเสริมในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ ปิดประกอบด้วยกระบวนการต่างๆหลายขั้นตอนขึ้นกับรูปแบบการบำบัดที่ต้องการซึ่ง Muir (1982) อ้างถึงใน van Rijn *et al.* (2001) ได้สรุปกระบวนการดังกล่าวไว้ดังนี้

1. การเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่ น้ำ (aeration/oxygenation)
2. การกำจัดของแข็งออกจากน้ำ (solids removal)
3. การกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำ (ammonia removal)
4. การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ (carbondioxide removal)
5. การกำจัดไนเตรตออกจากน้ำ (nitrate removal)

6. การกำจัดสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำ (dissolved organic removal)

7. การทำไร้เชื้อ (sterilization)

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพที่ทำการเพิ่มเป็นส่วนเสริมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทบที่มีระบบปิดในบ่อดิน ซึ่งตัวกรองชีวภาพดังกล่าวเป็นที่เกาะของสิ่งมีชีวิตต่างๆในน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กบางชนิด ซึ่งเป็นอาหารตามธรรมชาติของปลาและมีบทบาทในกระบวนการ decomposition และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำในสภาพที่มีออกซิเจนประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ คือ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ในน้ำเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนคือแอมโมเนีย และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นกระบวนการที่แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์จำพวก nitrifying bacteria คือ *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ตามลำดับ ดังสมการ



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทบที่มีระบบปิด
2. เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโตและปริมาณผลผลิตปลาทบที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อที่มีตัวกรองชีวภาพ และบ่อที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ

## 1.3 สมมติฐาน

การใช้ตัวกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาทบ จะช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาพดี ซึ่งจะมีผลต่อผลผลิตของปลาทบ

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษานี้ทำการทดลองที่อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี โดยเลี้ยงปลาทบซึ่งเป็นปลานิลที่มีสีแดงสายพันธุ์ที่ได้รับพระราชทานชื่อ “ปลาทบทิพย์” จากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ที่ระดับความหนาแน่นประมาณ 11 ตัว/ตร.ม. น้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 5.9 กรัม โดยบ่อมีขนาด 30x30 ตร.ม. ลึก 1.2 จำนวนทั้งหมด 2 บ่อ ทำการเลี้ยงปลาแบบระบบปิดในบ่อดิน ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ



2. ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลผลิตของปลาที่บ่มอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงปลาในบ่อเลี้ยงที่มีตัวกรองชีวภาพ (บ่อทดลอง) และไม่มีตัวกรองชีวภาพ (บ่อควบคุม) แต่เนื่องจากการทดลองในบ่อเลี้ยงปลาขนาดใหญ่ที่มีค่าใช้จ่ายสูง จึงเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำการทดลองในชุดทดลองเดียวกันซ้ำหลายบ่อได้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาคุณภาพน้ำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น
2. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ช่วยในการตัดสินใจหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจัดการคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในระบบปิดต่อไป
3. สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลา เพื่อส่งเสริมให้มีการเลี้ยงปลาในระบบปิดที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิดนับเป็นส่วนหนึ่งของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมสภาพของคุณภาพน้ำในธรรมชาติ เพราะเนื่องจากการถ่ายเทน้ำที่ผ่านการเพาะเลี้ยงซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณมากออกจากระบบการเลี้ยงลงสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งของเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประกอบด้วย สารอินทรีย์จากอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่ายของปลา เป็นผลให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำตามมา เช่น ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตอยู่ของสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ เพิ่มค่า บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) ลดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เนื่องจากการมีสารอินทรีย์ในความเข้มข้นสูง ทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มและกระตุ้นให้เกิดการสร้าง  $H_2S$  และลดความหลากหลายของสัตว์น้ำ (Mattson และ Linden, 1983 อ้างถึงใน อำไพเทพิน, 2543) และอาจทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนรวมทั้งเพิ่มความขุ่นให้แก่ น้ำ เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีความพยายามพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดซึ่งในทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหมายถึงระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่อาจมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยหรือสูญเสียไปเนื่องจากการซึม (van Rijn *et al.*, 2001) โดยจำเป็นต้องการเพิ่มระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อหรือระบบบำบัดของเสียให้กับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดด้วย ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่ประหยัดน้ำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.2 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

2.2.1 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (organic-nitrogen compounds) เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

2.2.2 สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia-nitrogen compounds) ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย

2.2.3 สารประกอบไนไตรต์ (nitrite-nitrogen compounds) เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ

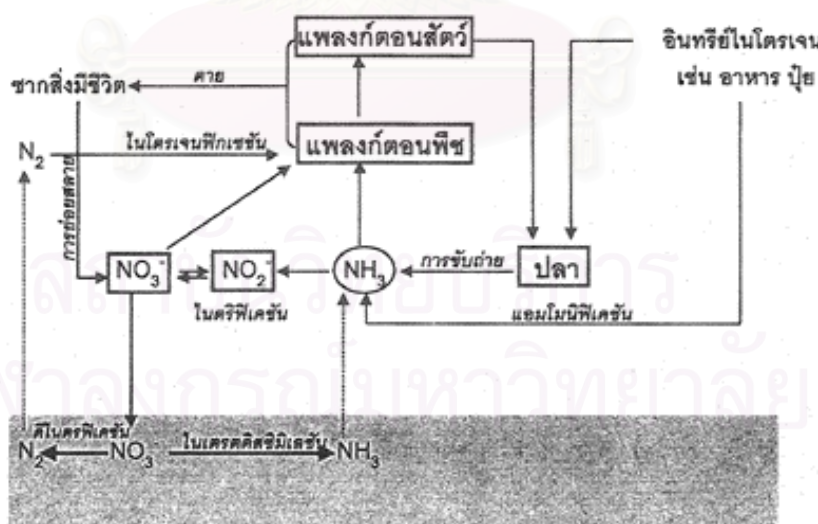
2.2.4 สารประกอบไนเตรต (nitrate-nitrogen compounds) เป็นสารประกอบที่เกิดจาก

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากมีออกซิเจนในปริมาณมากพอแล้ว สารประกอบไนเตรตจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด

## 2.3 การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ

เนื่องมาจากการเลี้ยงปลาแบบพัฒนาในบ่อดิน จึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับน้ำในบ่อเพื่อเป็นอาหารแกสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืช อาหารปลาที่เหลือจากการกินของปลา รวมทั้งสิ่งขับถ่ายของปลาในรูปของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งคิดเป็น 75 % มีเพียง 25 % เท่านั้นที่ปลาสามารถนำไปใช้ได้ (Hargreaves, 1998) และซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายลงล้วนแต่เป็นแหล่งของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งมีกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้นประกอบกันจนเป็นวัฏจักรไนโตรเจนในระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดจึงมีความจำเป็น

การปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดทำได้หลายวิธีคือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีทางกายภาพ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีทางเคมี การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีทางเคมีกายภาพและการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีทางชีวภาพ (เกรียงศักดิ์, 2539) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแหล่งน้ำที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพและคุณภาพของน้ำที่จะทำการปรับปรุง



ภาพที่ 2-1 วัฏจักรของไนโตรเจน (nitrogen cycle) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ดัดแปลงจาก Yanagita (1990)

สำหรับการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำอาจทำได้โดย

### 2.3.1 วิธีทางเคมี

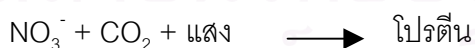
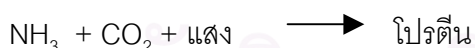
chemical coagulation เป็นการใช้สารเคมีในการตกตะกอนสารอินทรีย์ไนโตรเจน แต่ไม่สามารถกำจัดไนเตรตและแอมโมเนียได้

carbon adsorption โดยการใช้แอกทิเวเต็ดคาร์บอนดูดซับสารอินทรีย์ไนโตรเจน แต่ไม่สามารถกำจัดไนเตรตและแอมโมเนียได้

ion exchange โดยการใช้ anion resin หรือ cation resin สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ทุกประเภท

2.3.2 วิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสม เพราะ เป็นวิธีที่มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีทางเคมี คือเป็นวิธีที่ประหยัด วิธีทางชีวภาพจะไม่ส่งผลให้เกิดปัญหามลภาวะอื่น ๆ ตามมาเหมือนกับวิธีทางเคมีเพราะเป็นกระบวนการทำความสะอาดตัวเองในธรรมชาติ และมวลชีวภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการอาจเป็นประโยชน์ในด้านการค้ำ (Garbisu *et al.*, 2000) การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนทางชีวภาพต้องอาศัยกระบวนการต่างๆในวัฏจักรไนโตรเจน ซึ่งประกอบด้วย

2.3.2.1 การนำเข้าไปโดยแพลงก์ตอนพืช (uptake by phytoplankton) โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งนับว่าเป็นการกำจัดไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำแบบพื้นฐาน (primary pathway) (van Rijn *et al.*, 2001 และ ไมตรีและจากรุวรรณ, 2528 ) ดังแสดง



หรือเป็นการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบที่เรียกว่า ระบบน้ำเขียว (green-water system) การบริโภคอาหารของแพลงก์ตอนจะมีอัตราส่วนของ C: N: P เป็น 106: 16: 1 และปริมาณการนำไนโตรเจนเข้าของแพลงก์ตอนพืชในบ่อที่มีอุณหภูมิต่ำเท่ากับ 150-450 มก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และเท่ากับ 750-1500 มก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน ในบ่อที่มีอุณหภูมิสูง (Hargreaves, 1998) จากการศึกษาของ DeBoer (1981) พบว่า แพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้หลายรูปแบบ เช่น ไนเตรต แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดอะมิโน แต่โดยส่วนมากแล้วแพลงก์ตอนพืชจะใช้แอมโมเนียและ

ไนเตรตมากกว่ารูปอื่นๆ และ Keeney (1970) กล่าวว่าแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นอันดับแรก และจากรายงานของ Hargreaves (1998) พบว่าแพลงก์ตอนพืชจะใช้แอมโมเนียจนกระทั่งความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อยกว่า 0.03 mg N/l แพลงก์ตอนพืชจึงจะใช้ไนเตรตแทนและก่อนที่ไนเตรตจะถูกใช้โดยแพลงก์ตอนพืชเพื่อเป็นโปรตีนในเซลล์จะต้องถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียก่อน

ความโปร่งแสงของน้ำที่ระยะน้อยกว่า 20 ซม. ที่วัดโดยใช้ secchi disc แสดงว่ามีปริมาณแพลงก์ตอนซึ่งสามารถตอบสนองต่อการบำบัดไนโตรเจนได้ (Hargreaves, 1998) มั่นสินและไพพรรณ (2539) กล่าวว่าถ้าวัดความใสของน้ำด้วย secchi disc ได้ประมาณ 30-80 cm มักแสดงว่าน้ำมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชอุดมสมบูรณ์พอเพียงสำหรับเลี้ยงปลาและขุนถึงระดับที่พืชน้ำไม่สามารถเจริญงอกงามได้ แต่ถ้าอ่าน secchi disc ได้น้อยกว่า 30 ซม. แสดงว่าแพลงก์ตอนพืชมีมากเกินไปและมีโอกาสเกิดการขาดแคลนออกซิเจนได้ กรณีนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเติมปุ๋ยมากเกินไป ส่วนน้ำที่มีค่า secchi disc visibility มากกว่า 80 ซม. ก็หมายความว่า บ่อปลามีแพลงก์ตอนน้อยเกินไปจำเป็นต้องมีการเติมปุ๋ย นอกจากนี้ Tucker *et al.*, 1984 และ Krom *et al.*, 1989 อ้างถึงใน Hargreaves, 1998 กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในระยะเวลาสั้นๆ มีความสัมพันธ์อย่างผกผันกับปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช ขณะที่แพลงก์ตอนพืชตายความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หากความหนาแน่นของแพลงก์ตอนมีมากขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดลง Tucker and van der Ploeg, 1993 อ้างถึงใน Hargreaves, 1998 กล่าวว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแพลงก์ตอนซึ่งจะมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ พบว่าปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ในบ่อเลี้ยงปลาชอนมีปริมาณมากที่สุด ในฤดูหนาว ในขณะที่ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชมีต่ำที่สุด

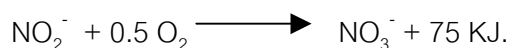
2.3.2.2 **กระบวนการที่อาศัยจุลินทรีย์** ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (suspended growth-microorganism) และที่ยึดกับวัตถุตัวกลาง เช่น หิน กรวดต่างๆ ทั้งในสภาวะที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic) และสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) เพื่อแปรเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำ มีกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการ ดังนี้

#### 2.3.2.2.1 กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

เป็นการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ โปรตีน กรดนิวคลีอิก จากเซลล์สัตว์ที่ตายแล้วและอาหารที่สัตว์น้ำกินไม่หมดจนได้เป็นกรดอะมิโน ต่อจากนั้นจุลินทรีย์ที่เป็น heterotroph จะเปลี่ยนกรดอะมิโนให้กลายเป็นยูเรียและแอมโมเนีย

### 2.3.2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ (Nitrite;  $\text{NO}_2^-$ ) และจากไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต (Nitrate;  $\text{NO}_3^-$ ) ดังสมการ



โดยอาศัยแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrifiers คือ Nitrous acid bacteria (Ammonium oxidizing bacteria) และ Nitric acid bacteria (nitrite oxidizing bacteria) ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติของแบคทีเรียกลุ่มนี้ แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติบางประการของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

กลุ่ม	ตัวอย่าง	ชนิด	การใช้ ออกซิเจน	ปฏิกิริยาที่เกิด
A. Bacteria utilizing inorganic substances as electron donors				
Nitrifiers				
Nitrous acid bacteria	<i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrosococcus</i> , <i>Nitrospira</i>	Autotroph	Aerobic	$\text{NH}_3^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$
Nitric acid bacteria	<i>Nitrobacter</i> , <i>Nitrospira</i> , <i>Nitrococcus</i>	Autotroph	Aerobic	$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
B. Bacteria utilizing inorganic substances as electron acceptors				
Denitrifiers	<i>Th. Denitrificans</i> <i>Paracoccus</i> , <i>Pseudomonas</i>	Autotroph Heterotroph	Facultative anaerobic Anaerobic	$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$
Nitrate reducers	Intestinal bacteria, <i>Corynebacterium</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>	Heterotroph	Facultative anaerobic	$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$

ที่มา : Yanagita, 1990



## ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

### 1. อุณหภูมิ

ไนตริฟายอิงแบคทีเรียโดยทั่วไป สามารถเจริญได้ภายใต้อุณหภูมิในช่วง 8-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส (Hittlebaugh and Miller, 1981 อ้างถึงใน Bitton, 1994) อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 8.3 องศาเซลเซียส จะเป็นปัญหาอย่างยิ่งกับการเกิดไนตริฟิเคชัน (The Illinois Pollution Control Board, 1972 อ้างถึงใน ซลิตา, 2540) และ Hargreaves (1998) กล่าวว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจะคงที่เมื่อปริมาณของออกซิเจนละลายสูงกว่า 2 mg/l

### 2. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแบคทีเรีย กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่ควรต่ำกว่า 2 มก./ลิตร แต่ยอมรับได้ถึงค่า 1 mg/l (Bitton, 1994)

### 3. ค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะค่อนข้างต่ำเล็กน้อย โดยค่าพีเอชระหว่าง 7.5 – 8.5 เป็นค่าที่เหมาะสมต่อ *Nitrisomonas* และ *Nitrobacter* (Sharma *et al.*, 1977 อ้างถึงในซลิตา, 2540)

### 4. พื้นที่ผิวที่แบคทีเรียอาศัยและปริมาณของแบคทีเรีย

Dowing (1968) และ Eckenfelder (1970) อ้างถึงในซลิตา (2540) กล่าวว่าปริมาณของไนตริฟอยิ่งแบคทีเรีย มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และ ธงชัย (2544) กล่าวว่า ในช่วงแรกของการเริ่มเดินระบบไนตริฟิเคชัน จะมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าไนโตรเจนแบคทีเรียจะโตขึ้นมาได้มากพอจนได้สมดุล ไนโตรเจนจึงจะลดหายไป นอกจากนี้ประสิทธิภาพของไนตริฟิเคชันยังขึ้นอยู่กับเนื้อที่ที่แบคทีเรียเกาะบนวัสดุตัวกลางอย่างมาก (van Rijn *et al.*, 2001)

### 5. การยับยั้งจากสารที่เป็นพิษ

ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย มักจะมีความไวต่อการยับยั้งจากสารประกอบที่เป็นพิษ ซึ่งอาจจะไม่ได้เป็นพิษยับยั้งโดยตรงแต่อาจเกิดผลทางอ้อม เช่น สารประกอบอินทรีย์บางชนิดทำให้ค่าออกซิเจนละลายลดต่ำลงเพราะเกิดการย่อยสลาย ส่วนสารที่มีผลยับยั้งปฏิกิริยาโดยตรง

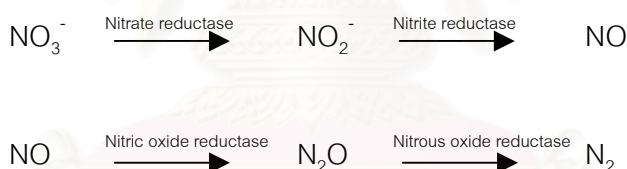
เช่น สารประกอบพวก cyanide thiourea phenol anilines และโลหะหนักบางตัว เช่น silver mercury nickel chromium copper และ zinc เป็นต้น (Bitton, 1994)

## 6. การขัดขวางปฏิกิริยาโดยอินทรีย์สาร

Balakrishnan *et al.* (1969) อ้างถึงในชลิตา (2540) กล่าวว่า การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่มีผลสำคัญต่อการลดประสิทธิภาพของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และสรุปว่าอินทรีย์สารสามารถขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ในแง่ที่จะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณน้อยลง และอาจเกี่ยวข้องกับภาวะการแก่งแย่งกันอยู่ระหว่าง nitrifier และ heterotrophs

### 2.3.2.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรต( $\text{NO}_3^-$ ) ไนไตรต์( $\text{NO}_2^-$ ) ให้เป็นแก๊สไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) หรือไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ออกสู่บรรยากาศ โดยอาศัย Denitrifying bacteria ดังตารางที่ 2-1 ซึ่งสามารถใช้ไนเตรต( $\text{NO}_3^-$ ) ไนไตรต์( $\text{NO}_2^-$ ) ไนตริกออกไซด์ (NO) และซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน ดังสมการ



(Bitton, 1994)

## 2.4 การใช้การกรองทางชีวภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากหลักการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนตามธรรมชาติข้างต้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำจากกิจกรรมต่างๆอย่างกว้างขวาง เช่น การบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด โดยการใช้วัสดุตัวกลาง (fixed film) ต่างๆ เช่น เปลือกหอย พลาสติก เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์จนเกิดเป็นเมือกจุลินทรีย์ ที่เรียกว่า ฟิล์มชีวะ (bio-film) เมือกจุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทในการบำบัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งภายในเมือกจุลินทรีย์นี้จะประกอบไปด้วย จุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ฟังไจ โปรโตซัว สาหร่าย ตลอดจนสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น หนอนและแมลงต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ เป็นต้น ซึ่งชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำ จุลินทรีย์เหล่านี้จะมีการสร้างสารพวกโพลีเมอร์ขับออกนอกเซลล์ (extra-cellular polymer substances)



ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับวัสดุตัวกลางต่างๆได้ ซึ่งการบำบัดในลักษณะดังกล่าวนี้ เรียกว่า การกรองทางชีวภาพ (biological filtration) ระบบการบำบัดที่ใช้การกรองทางชีวภาพ เช่น ระบบโปรยกรอง (trickling filters) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contactors) fluidized beds และ bead filters เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีความสนใจศึกษาถึงการใช้ตัวกรองชีวภาพเป็นส่วนเสริมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ได้แก่ กุ้งและปลา เป็นต้น เช่น

Suresh และ Lin (1992) ศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของปลาต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีบ่อกรองชีวภาพแยกจากบ่อเลี้ยง โดยตัวกรองชีวภาพเป็นแผ่นกรองพลาสติกที่เรียงซ้อนกัน พบว่าระบบสามารถกำจัดแอมโมเนียและตะกอนได้ดี แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้น้อยและมีการสะสมของไนโตรเจนที่เกิดขึ้น ส่วนปลาที่เลี้ยงที่ความหนาแน่น 50, 100 และ 200 ตัว/m<sup>2</sup> จะมีการเจริญเติบโตสูงสุดที่ความหนาแน่นน้อยที่สุด แต่การเจริญเติบโตที่ความหนาแน่นระดับกลางและสูงไม่มีความแตกต่างกันและยังพบว่าปลาที่เลี้ยงในความหนาแน่นสูงจะสูญเสียประสิทธิภาพสัมผัสในการมองเห็นไป

Kikuchi , Honda และ Kiyono (1994) เปรียบเทียบการเกิดแอมโมเนียพีเคชันของตัวกรองที่เป็นพลาสติก 5 ชนิดและ 1 ชนิดที่เป็นดินเผา พบว่าแอมโมเนียพีเคชันจะถูกยับยั้งเมื่อ pH และ alkalinity เป็น 6.0 และ 0.5 meq/l ตามลำดับ และพบว่าปริมาณ แอมโมเนียที่ถูกออกซิไดซ์ และการลดลงของค่าอัลคาลินิตีมีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นเส้นตรง นอกจากนี้ตัวกลางที่มีลักษณะเป็นตาข่ายและแบบที่เป็นเส้นใยทำให้เกิดแอมโมเนียพีเคชันสูงกว่าแต่ไม่พบความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง ammonia oxidation กับ พื้นที่ผิวของตัวกลางอย่างมีนัยสำคัญ

Reyes และ Lawson (1996) ออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการเพาะเลี้ยง ที่มีตัวกรองชีวภาพ 2 ชนิดร่วมกันในการเลี้ยงปลานิล คือ ตัวกรองชีวภาพแบบตัวกลางหมุนและตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองลอย พบว่าระบบสามารถเปลี่ยนแอมโมเนีย และไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งตัวกรองชีวภาพแบบตัวกลางหมุน สามารถกำจัดแอมโมเนียได้มากกว่าแบบตัวกรองลอย แต่ตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองลอยก็สามารถกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งได้ดี

Griner และ Timmons (1998) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน ในระบบที่มีการใช้เม็ด polystyrene (microbead) และระบบโปรยกรองในถังสำหรับการเพาะเลี้ยงปลา *Oreochromis niloticus* x *O. aurea* ซึ่งเลี้ยงที่ความหนาแน่น 168 กก./ลบ.ม. จากการศึกษาพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของทั้งสองระบบ เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจนมีค่า 2.5 มก./ลิตร และพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันของระบบโปรยกรองสูงกว่าแบบ microbead 7.5 เท่า

นภาพร (2541) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัม (biodrum) และแบบใต้น้ำ (submerged-biofilter) ในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่เพาะเลี้ยง กุ้งกุลาดำและปลากะพงขาว อัตราการหมุนเวียนของน้ำในระบบ 4 รอบ/วัน พบว่าปริมาณ แอมโมเนียรวม ไนโตรต์ ไนเตรต ของตัวกรองชีวภาพทั้งสองแบบอยู่ในเกณฑ์ปกติและไม่ต่างกัน ส่วนการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนโตรต์ในชุดตัวกรองชีวภาพแบบใต้น้ำจะมีค่าสูงกว่าแบบไบโอดรัม

Ridha และ Cruz (2001) ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางที่ใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ คือ Polypropylene plastic chips และ Polyethelene block เป็นเวลา 172 วัน มีพารามิเตอร์ที่ ศึกษาคือ อัตราการกำจัดแอมโมเนีย , คุณภาพน้ำ , การสะสมของเสีย , การเจริญเติบโตของปลา, อัตราแลกเนื้อ , อัตราการรอดและผลผลิตของปลา พบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและค่าของ พารามิเตอร์ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ระหว่าง 2 ตัวกลาง แต่การใช้ plastic chips จะประหยัดมากกว่า

## 2.5 ประวัติของปลานิลและปลาทับทิม

ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นปลาที่เพาะเลี้ยงง่ายและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ปลานิลไม่ใช่ปลาพื้นเมืองของไทย แต่นำเข้ามาจากประเทศ ญีปุ่น โดยมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา เมื่อ พ.ศ. 2508 มกุฎราชกุมารอาซิโต แห่งประเทศ ญีปุ่น ได้ทูลเกล้าทูลกระหม่อมถวายพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช และได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าพระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า “ปลานิล” หลังจากนั้น 1 ปี พระองค์ทรงพระราชทานปลานิลแก่กรมประมงเพื่อเพาะและขยายพันธุ์

จากการเพาะและขยายพันธุ์ปลานิลปรากฏว่ามีลูกปลาจำนวนหนึ่งมีสีของลำตัวแตกต่างจากพ่อแม่อย่างเด่นชัด คือ สีลำตัวเป็นสีดำปนน้ำตาลอมชมพู ส้ม หรือแดงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากการผ่าเหล่า (mutation) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการผสมพันธุ์ระหว่างปลานิลธรรมดาหรือจากการผสมข้ามพันธุ์ (cross breeding) ของปลาในตระกูล Tilapia ด้วยกันเองในธรรมชาติ (มานพและคณะ, 2527) สำหรับประเทศไทยได้พบปลานิลสีแดงเป็นครั้งแรกที่สถานีประมงจังหวัด อุบลราชธานี เมื่อปี พ.ศ. 2511 (วิมลและกิจจา, 2535)

ต่อมาเครือเจริญโภคภัณฑ์ได้ทำการผสมข้ามพันธุ์โดยคัดเลือกสายพันธุ์ปลาในตระกูลเดียวกันกับปลานิลจิตรลดา คือ ฟลอริดา เรด ซึ่งมีลำตัวเป็นสีแดง สายพันธุ์อิสราเอล ซึ่งทนต่อความเค็มของน้ำ และสายพันธุ์ไต้หวัน ซึ่งมีลักษณะตัวหนาและเนื้อมาก จนกระทั่งได้ปลานิลสีแดง

ที่ไม่มีกระดูกดำบนลำตัวและได้รับพระราชทานชื่อ “ปลาทับทิม” จากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ภูมิพลอดุลยเดช (ธวัชชัย อรรถกรจิระ, สัมภาษณ์, 18 มิถุนายน 2545)

## 2.6 ชีวิตวิทยาของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous) ซากอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เน่าเปื่อย รวมทั้งแบคทีเรียและพืชน้ำชนิดต่างๆ เช่น สาหร่าย แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ ปกติ ปลานิลชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงอยู่ได้ทั้งบริเวณแหล่งน้ำจืดและแหล่งน้ำกร่อย เนื่องจากมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกว้างมาก คือ 11-42 องศาเซลเซียส ความทนทานของปลานิลต่อความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ปลานิลจะเริ่มตายในน้ำที่มีพีเอช 6.5-5.5 นอกจากนี้ปลานิลยังมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำกร่อยคือปลานิลสามารถทนอยู่ได้ปกติในน้ำที่มีความเค็มสูงสุด 20.0 ppt (มานพ , 2536)

### 2.6.1 อนุกรมวิธาน

การจัดลำดับอนุกรมวิธานของปลานิลเป็นดังนี้

Phylum	Chordata
Class	Teleostei
Order	Perciformes
Family	Cichlidae
Genus	<i>Oreochromis</i>
Species	<i>Oreochromis niloticus</i>

### 2.6.2 ลักษณะภายนอก

ปลานิลซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae ซึ่งปลาในวงศ์นี้มีอยู่ประมาณ 700 ชนิด ปลานิลเป็นปลาที่ใหญ่ที่สุดในสกุล *Oreochromis* มีความยาว 40-50 ซม. รูปร่างของปลานิลคล้ายปลาหมอเทศ มีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลตรงกลางเกล็ดมีสีเข้มและมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ครีบก้น ครีบก้นและครีบก้นหางมีจุดขาวและเส้นสีดำตัดขวาง ปลานิลมีลักษณะต่างจาก ปลาหมอเทศ ตรงที่ปลานิลมีเกล็ด 3 แถว ที่บริเวณแก้มและอีก 1 แถว ตรงบริเวณเหนือเส้นข้างลำตัวเล็กน้อย

ครีบทองมีอันเดียวประกอบด้วยครีบก้านแข็ง 15-18 อัน และก้านครีบท่อน 12-14 อัน ครีบก้านมีก้านครีบทอง 3 อันและก้านครีบท่อน 9-10 อัน บนแถบเส้นข้างลำตัวมีเกล็ด 33 เกล็ด ทางด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเฉียงจากตอนต้นของครีบทองมาถึงเส้นข้างลำตัว 5 เกล็ด และจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงส่วนหน้าของครีบก้น 13 เกล็ด ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่หนึ่งจุด บริเวณปลายอ่อนของครีบทอง ครีบก้น และครีบทองมีจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวางอยู่ทั่วไป

ปลานิลสีแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) มีลักษณะคล้ายปลานิลเกือบทุกอย่างแต่สีลำตัวจะออกสีแดง และยังมีลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งคือ ในลำดับที่ผนังช่องท้องจะมีสีขาวยาวเงินคล้ายผนังช่องท้องของปลากินเนื้อ ซึ่งในปลานิลธรรมดาผนังช่องท้องจะเป็นสีดำเช่นเดียวกับปลากินพืชชนิดอื่นๆ จากการวิเคราะห์ของปรกรณ์ (2527) พบว่าปลานิลสีแดงมีไขมันสะสมอยู่ในเนื้อและส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่น้อยกว่าปลานิลธรรมดา นอกจากนี้มันพและคณะ (2527) กล่าวว่า ลูกปลานิลสีแดงมีอุปนิสัยในการรวมฝูงเช่นเดียวกับปลานิล แต่เมื่อโตขึ้นอุปนิสัยในการรวมฝูงจะหายไป ปลาจะกระจายอยู่ทั่วไปในบ่อเลี้ยง นอกจากนี้ปลานิลสีแดงขนาดใหญ่จะมีนิสัยชอบกระโดด ซึ่งแตกต่างไปจากปลานิล

## 2.7 รูปแบบการเลี้ยงปลานิล

จำแนกได้เป็น 3 ลักษณะ (ศิริ, 2542 และ Guerrero, 1997)

1. การเลี้ยงแบบยังชีพ (extensive method) เป็นการเลี้ยงเพื่อการบริโภคในครัวเรือนเป็นหลัก โดยความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยงอยู่ที่ 5,000 ถึง 20,000 ตัว/เฮกเตอร์ (0.5 ถึง 2 ตัว/ตร.ม.) การเลี้ยงส่วนใหญ่ใช้วิธีการใส่ปุ๋ยไม่มีอาหารเสริม

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (semi-intensive method) เป็นการเลี้ยงโดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้ผลผลิตเพื่อการบริโภคและจำหน่ายส่วนที่เหลือจากการบริโภค จะทำการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มอาหารธรรมชาติอย่างเดียวกับหรือร่วมกับอาหารเสริมบ้างเล็กน้อย โดยความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยงอยู่ที่ 20,000 ถึง 40,000 ตัว/เฮกเตอร์ ( 2 ถึง 4 ตัว/ตร.ม.)

3. การเลี้ยงแบบเข้มข้นหรือแบบพัฒนา (intensive method) การเลี้ยงโดยวิธีนี้มีวัตถุประสงค์ในการจำหน่ายผลผลิตเป็นหลัก จำเป็นต้องได้ปลาที่มีขนาดใหญ่เป็นไปตามความต้องการของตลาด มีการให้อาหารสำเร็จรูปโปรตีนสูงเป็นหลักและปลานิลแปลงเพศเป็นปลาที่เหมาะสมในการนำมาเลี้ยงมากที่สุด โดยความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยงอยู่ที่ 40,000 ถึง 100,000 ตัว/เฮกเตอร์ ( 4 ถึง 10 ตัว/ตร.ม.)

## 2.8 การเลี้ยงปลาทับทิมในกระชัง

หลังจากลูกปลาฟักออกมาจากไข่ จะเลี้ยงลูกปลาโดยให้อาหารผสมฮอร์โมนเป็นเวลา 7-15 วัน หลังจากนั้นจะเลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติสำหรับลูกปลา จนได้ลูกปลาที่มีน้ำหนัก 0.03 กรัม จึงย้ายมาอนุบาลต่อไปบ่อดินเป็นเวลาประมาณ 60 วัน ลูกปลาจะมีน้ำหนักประมาณ 30-35 กรัม หรือ 40 กรัม มีความยาวประมาณ 2 นิ้ว แล้วจึงทำการเลี้ยงต่อในกระชังขนาด 3 x 3 x 2.5 เมตร โดยเลี้ยงที่ความหนาแน่น 40 ตัว/คิวบิกเมตร (4.4 ตัว/ตร.ม.) ทำการเลี้ยงต่ออีกประมาณ 120 วัน แล้วจึงจับเพื่อจำหน่ายได้ (ธวัชชัย อรรถกรจิระ, สัมภาษณ์, 18 มิถุนายน 2545)

## 2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการกินอาหารของปลา (มานพ, 2536 )

2.9.1 อุณหภูมิ ปลานิลจะกินอาหารได้ดีเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 24 องศาเซลเซียส และจะหยุดกินอาหารเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และจะตายเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส

2.9.2 ขนาด ปลาที่มีขนาดเล็กจะกินอาหารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวแล้ว สูงกว่าปลาที่มีขนาดใหญ่ ในปลาชนิดเดียวกัน ดังนั้นปลาที่มีขนาดเล็กจะเจริญเติบโตและมีอัตราแลกเนื้อดีกว่าปลาขนาดใหญ่

2.9.3 คุณสมบัติของน้ำ ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในระดับสูงกว่า 3 มก./ลิตร ปลาจะกินอาหารอย่างปกติ และหากปริมาณออกซิเจนลดลง การย่อยของปลาจะใช้เวลานานกว่าปกติ

2.9.4 คุณสมบัติของอาหาร อาหารจะต้องมีขนาดและส่วนผสมเหมาะสมกับปลาแต่ละขนาด และไม่ควรแข็งหรืออ่อนเกินไป

2.9.5 จำนวนความถี่ในการให้อาหาร ปลาแต่ละชนิดหรือชนิดเดียวกันแต่อายุต่างกัน ปลาที่มีขนาดเล็กควรให้อาหารแต่ละครั้งในปริมาณน้อยแต่บ่อยครั้ง

## 2.10 คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลานิล

2.10.1 ค่าพีเอช น้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเกินกว่า 2 หน่วยในรอบวัน ในช่วงพีเอช 4-6 และ 9-11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ (มานพ ,2536) ปลานิลเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชตั้งแต่ 6.5-8.5 (ทัศนีย์, 2524)



**2.10.2 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ** ปริมาณออกซิเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5 มก./ลิตร จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำอยู่เป็นเวลานานจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตไม่ดีและส่วนมากถ้าต่ำกว่า 1 mg/l สัตว์น้ำจะตายภายในไม่กี่ชั่วโมง ปลานิลสามารถทนต่อสภาพน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ดีตั้งแต่ 0 - 0.4 มก./ลิตร แต่ถ้าออกซิเจนต่ำกว่า 0.3 มก./ลิตร ปลาจะลอยหัว เมื่อปลาอยู่ในสภาพดังกล่าวก็จะขึ้นมาใช้ออกซิเจนจากผิวน้ำและอากาศ ทำให้เกิดอาการเครียดและลดการเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ผิวน้ำไม่ควรต่ำกว่า 0.3 มก./ลิตร (มานพ, 2536)

**2.10.3 อุณหภูมิ** ปลานิลทนต่ออุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 21.1-42 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ปลาจะอยู่ได้ไม่นานและทำให้ปลาตายได้ ปลานิลจะไม่กินอาหารและไม่เจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และจะไม่วางไข่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวางไข่อยู่ระหว่าง 26-29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 19-28 องศาเซลเซียส (มานพ, 2536)

#### 2.10.4 สารประกอบไนโตรเจน

##### 2.10.4.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะพบอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4^+$ ) และแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่า แอมโมเนียทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช Balarin และ Haller (1979) กล่าวว่า ปลานิลจะเป็นอันตรายเมื่อปริมาณแอมโมเนียมากกว่า 0.5 มก./ลิตร ในสภาวะออกซิเจนต่ำ

##### 2.10.4.2 ไนไตรต์

ไนไตรต์เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนีย ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันของแบคทีเรียในสกุล *Nitrosomonas* ไนไตรต์เป็นพิษต่อปลาทำให้เกิดภาวะเลือดน้ำตาล (Brown blood disease) เนื่องจากไนไตรต์ไปออกซิไดซ์เฮโมโกลบินซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเลือดปลาทำให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่เกิดโรคนี้จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากขาดออกซิเจน จากการศึกษาของ Balarin และ Haller (1979) พบว่า ปลานิลสามารถทนทานได้เมื่อค่าไนไตรต์มากกว่า 0.45 มก./ลิตร และค่าสูงสุดที่ปลานิลจะทนได้ (nitrite tolerance limits) เป็น 2.1 มก./ลิตร

#### 2.10.4.3 ไนเตรต

Hart *et al.*, 1945 อ้างถึงใน ทิพวรรณ (2530) รายงานว่า ร้อยละ 95 ของแหล่งน้ำที่ทำการศึกษาซึ่งมีปลาที่มีสุขภาพดีอาศัยอยู่ จะพบว่ามีระดับไนเตรตต่ำกว่า 4.2 มก./ลิตร

2.10.5 **สภาพต่าง** น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาควรมีสภาพต่างมากกว่า 20–40 มก./ลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต (มันสินและไพพรรณ, 2539) หรือควรมีค่าอยู่ระหว่าง 200-300 มก./ลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต (Wetzel, 1975)

2.10.6 **ความกระด้าง** ไม่ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างและพีเอช นอกจากนี้ความกระด้างของน้ำยังช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนัก ดังนั้นน้ำที่มีความกระด้างปานกลาง (75-150 มก./ลิตร) หรือสูง (150-300 มก./ลิตร) จึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528)



## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมการทดลอง

#### 3.1.1 การเตรียมบ่อเลี้ยงปลา

เตรียมบ่อเลี้ยงปลาขนาด 30 x 30 ม. (0.56 ไร่) ความลึก 1.2 ม. จำนวน 2 บ่อ  
บ่อทดลองที่ตำบลบึงบอน อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เพื่อใช้เป็นบ่อทดลองและบ่อควบคุม  
อย่างละ 1 บ่อ โดยทำการฝั่งบ่อและเติมน้ำเข้าบ่อ โดยใช้ น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติแต่ต้องทำ  
การกรองสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่อาจรบกวนการทดลองได้ เช่น ลูกปลาสายพันธุ์อื่นๆ และลูกอ๊อด  
เป็นต้น และมีการกำจัดศัตรูของปลาในบ่อน้ำโดยการใช้อากาซาปริมาณ 1 กก./บ่อ ทิ้งบ่อไว้เป็น  
เวลา 7 วัน เพื่อให้สารออกฤทธิ์จากกากสาสลายตัวไปเสียก่อนแล้วจึงทำการเพิ่มปุ๋ยให้แก่น้ำ เพื่อ  
ให้มีสารอาหารให้แก่แพลงก์ตอนซึ่งจะเป็นอาหารปลาต่อไป โดยการใส่มูลวัวที่ตากแห้ง ประมาณ  
60 กก./บ่อ

#### 3.1.2 การเตรียมพันธุ์ปลา

ใช้ลูกปลาทับทิมเพศผู้ที่มีความยาวประมาณ 2-5 ซม. น้ำหนักเริ่มต้นตัวละ 5.9  
ก. จากบริษัทกรุงเทพฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำกัด ขนส่งปลาในช่วงเวลาเช้าเพื่อไม่ให้ปลาเกิด  
ความเครียดจากความร้อนในระหว่างการขนส่ง ก่อนทำการปล่อยปลาทับทิมลงในบ่อทั้งสองต้อง  
นำถุงพลาสติกทั้งหมด 34 ถุงที่บรรจุลูกปลาอยู่มาลอยน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิให้แก่ปลาก่อนแล้วจึง  
ปล่อยปลาจำนวน 10,000 ตัว (11 ตัว/ตร.ม.) ลงเลี้ยงในบ่อทดลองแต่ละบ่อ

#### 3.1.3 การเลี้ยงปลาและการให้อาหารปลา

วิธีการเลี้ยงปลาทับทิมดังปรากฏในการศึกษาครั้งนี้ จะมีความแตกต่างจากวิธี  
การเลี้ยงปลาทับทิมที่ทางบริษัทกรุงเทพฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเลี้ยง  
ซึ่งจะทำการเพาะชำลูกปลาขนาดเล็กในบ่อจนได้ขนาดความยาวประมาณ 4 นิ้ว แล้วจึงนำมา  
เลี้ยงในกระชังจนได้ขนาดที่ตลาดต้องการคือ 600-700 ก./ตัว (ธวัชชัย อรรถกรจิระ, สัมภาษณ์, 18  
มิถุนายน 2545) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เริ่มปล่อยปลาลงเลี้ยงในบ่อในวันที่ 15 พฤศจิกายน  
2544 ทำการให้อาหารสำหรับปลาทับทิมชื่อทางการค้าคือ อาหารไฮเกรด 9961 ชนิดเม็ดลอยน้ำ

ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารแสดงดังตารางที่ 3 - 1 โดยมีส่วนประกอบของอาหารคือ ปลาป่น ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองหนึ่ง ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด วิตามินและเกลือแร่ ให้อาหารในปริมาณ 2.5-8% ของน้ำหนักปลา วันละ 5 ครั้ง คือเวลา 6:00 9:00 12:00 15:00 และ 18:00 น. เมื่อทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ได้ทำการเปลี่ยนอาหารปลาเป็นอาหารไฮเกรด 9951 ชนิดเม็ดลอยน้ำ (ตารางที่ 3 - 2) ซึ่งอาหารดังกล่าวมีส่วนประกอบของอาหารคือ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด กากมะพร้าวอัด ถั่วเหลืองหนึ่ง ข้าวโพด ปลายข้าว วิตามินและเกลือแร่ ให้ 3-6% ของน้ำหนักปลา ให้วันละ 5 ครั้ง คือเวลา 6:00 9:00 12:00 15:00 และ 18:00 น.

**ตารางที่ 3-1** คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาไฮเกรด 9961 ซึ่งใช้เป็นอาหารในช่วงการทดลองตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
โปรตีน	ไม่ต่ำกว่า 41 %
ไขมัน	ไม่ต่ำกว่า 6%
กาก	ไม่มากกว่า 5%
ความชื้น	ไม่มากกว่า 12%

**ตารางที่ 3-2** คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาไฮเกรด 9951 ซึ่งใช้เป็นอาหารในช่วงการทดลองตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ถึงสิ้นสุดการทดลอง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
โปรตีน	ไม่ต่ำกว่า 30 %
ไขมัน	ไม่ต่ำกว่า 3%
กาก	ไม่มากกว่า 8%
ความชื้น	12%

ในระหว่างการทดลอง จะมีการตัดหญ้าบริเวณขอบบ่อและกันต่ายรอบบ่อเพื่อป้องกันศัตรูของปลา เช่น หนู งู และตะกวด นอกจากนี้ยังมีตาข่ายที่ใช้สำหรับดักนกที่อาจจะเข้ามากินปลาในบ่อทั้งสอง และทำการช้อนขยะต่างๆ หรือปลาที่ตายอยู่ในบ่อทั้งสองออก รวมทั้งทำการเปลี่ยนหัวทรายหากมีการหลุดออกจากท่ออากาศ

### 3.2 การติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพ

ใช้ตัวกรองชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นใยพลาสติกแข็ง (Hyper Drain) สานเป็นรูปท่อ (ภาพที่ 3- 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. ทำด้วยพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนที่ใช้แล้วกลับมาหลอมใหม่ซึ่งตามปกติจะใช้เป็นวัสดุช่วยเพิ่มแรงอัดและใช้ป้องกันการลื่นของฐานรากเสาเข็ม นำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุยึดเกาะสำหรับจุลชีพในการทดลองนี้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้จุลชีพเกาะได้มากและเป็นพลาสติกที่ลอยน้ำ ทำให้สะดวกต่อการใช้ในบ่อเลี้ยงปลา ในการทดลองได้จัดให้มีบ่อควบคุมที่มีระบบเติมอากาศผ่านสายยางพลาสติกที่วางพาดจากขอบบ่อด้านหนึ่งไปยังฝั่งตรงข้าม ความยาวสายท่ออากาศเส้นละ 30 ม. วางสายอากาศเป็นระยะตลอดความยาวของบ่อเป็นแถวขนานกันจำนวน 10 แถว เป่าอากาศผ่านหัวทรายเติมอากาศที่ต่ออยู่กับสายท่ออากาศทุกๆ ระยะ 1.5 ม. โดยที่หัวทรายทุกหัวจะถูกต่อท่อให้หย่อนลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ 30 ซม. สำหรับบ่อชุดทดลองจะมีระบบเติมอากาศแบบเดียวกับบ่อชุดควบคุมทุกประการ แต่จะมีการผูกตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวเส้นละ 27 ม. จัดเป็น 10 แถว ห่างกันแถวละ 2.5 ม.วางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ โดยมีการผูกตัวกรองชีวภาพกับไม้ไผ่ที่ปักอยู่เป็นแนวเพื่อตรึงให้ตัวกรองจมลงใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 ซม. และจัดแนวให้ฟองอากาศที่ฟองออกมาจากหัวทรายขึ้นผ่านที่ตัวกรองชีวภาพ รูปแบบการวางระบบเติมอากาศและตัวกรองชีวภาพในบ่อทดลองดังแสดงในภาพที่ 3-2 ภาพที่ 3-3 และภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-1 ตัวกรองชีวภาพทำจากพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีน (Hyper Drain)

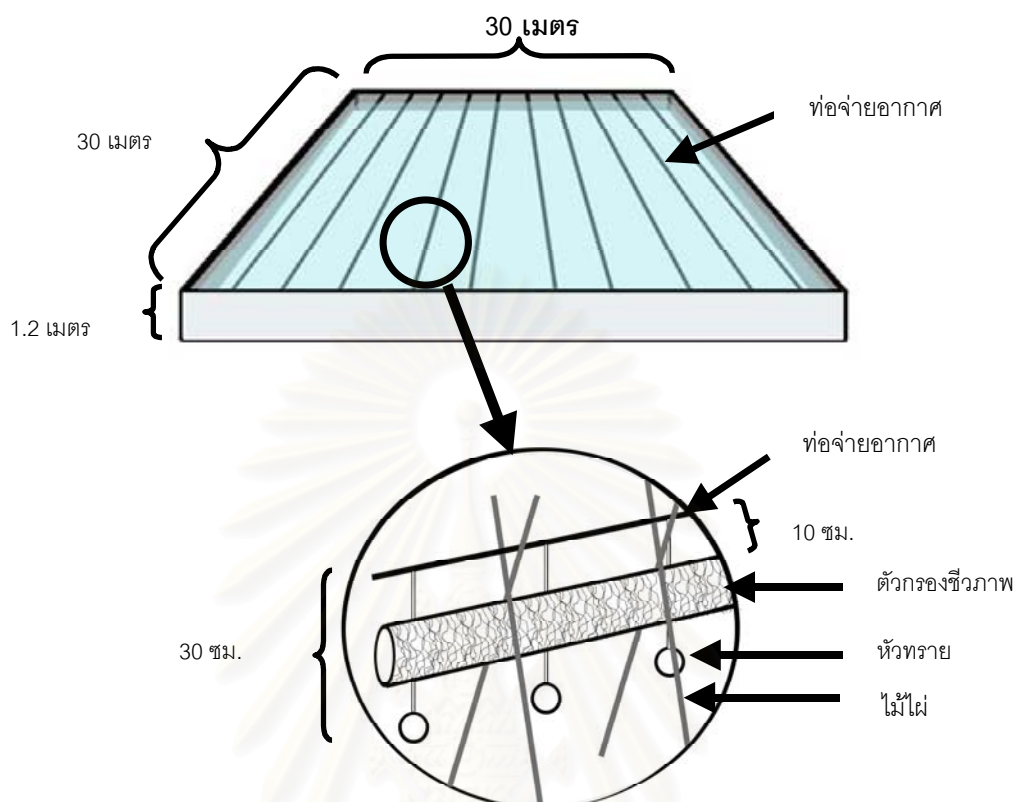


ภาพที่ 3-2 บ่อควบคุมที่มีท่อเติมอากาศและหัวทรายวางพาดจากขอบบ่อด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในแนวขนานกัน จำนวน 10 แถว



ภาพที่ 3-3 บ่อทดลองที่มีท่อเติมอากาศ หัวทรายและตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวเส้นละ 27 m จำนวน 10 แถว ห่างกันแถวละ 2.5 m วางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ





**ภาพที่ 3-4** รูปแบบการวางระบบเติมอากาศและการวางตัวกรองชีวภาพในบ่อทดลอง โดยท่อเติมอากาศจะวางตัวเป็นแนวนานกันจำนวน 10 เส้นอยู่ที่ผิวน้ำ และมีตัวกรองชีวภาพที่ผูกติดอยู่กับเสาไม้ไผ่ซึ่งจะกดตัวกรองให้จมลงจากผิวน้ำน้ำประมาณ 10 cm

### 3.3 ผลผลิตของปลาที่บ่ม

ทำการสุ่มปลาเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาที่บ่มทุก 4 สัปดาห์ ซึ่งน้ำหนักปลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คำนวณผลผลิตปลาที่ได้ของการใช้ตัวกรองชีวภาพต่อผลผลิตปลาที่ได้ คำนวณหาอัตราการเติบโตต่อวัน (Daily weight gain; DWG) ซึ่ง  $DWG = (\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) / \text{จำนวนปลา(ตัว)} / \text{เวลาในการเลี้ยง(วัน)}$  และ คำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Rate; FCR) ซึ่ง  $FCR = \text{น้ำหนัก}$

อาหารทั้งหมด/ (น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง) เปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ใช้ตัวกรองชีวภาพ

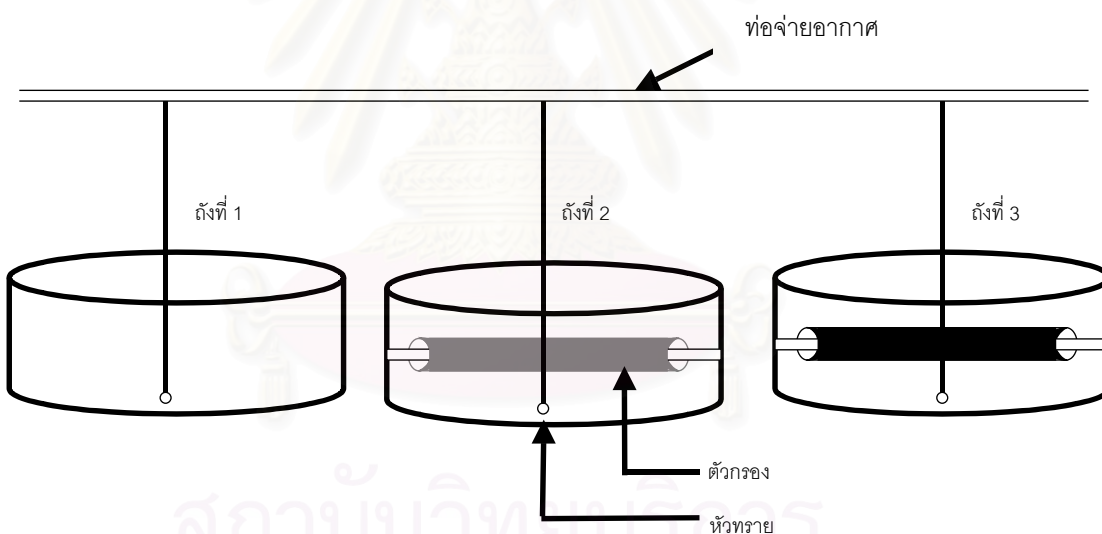
### 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในถังทดลอง

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ถังพลาสติกทรงกลมปริมาตร 45 ลิตร จำนวน 3 ใบ เพื่อเป็นภาชนะใส่น้ำที่นำมาจากบ่อน้ำธรรมชาติ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพโดยแบ่งถังพลาสติกดังกล่าวออกเป็น 3 ชุดการทดลองดังภาพที่ 3-5 โดย

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม ประกอบด้วย น้ำ สายยางจ่ายอากาศและหัวทราย

ชุดที่ 2 ชุดทดลอง ประกอบด้วย น้ำ สายยางจ่ายอากาศ หัวทราย ตัวกรองชีวภาพขนาด 30 ซม. ที่ยึดในจมอยู่ได้ผิวน้ำประมาณ 10 ซม.

ชุดที่ 3 ชุดทดลอง ประกอบด้วย น้ำ สายยางจ่ายอากาศ หัวทราย ตัวกรองชีวภาพขนาด 30 ซม. ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มชีวภาพ ที่ยึดให้จมอยู่ได้ผิวน้ำประมาณ 10 ซม.



ภาพที่ 3-5 ถังพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ

ทำการเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ความเข้มข้น 2.25 ก./ลิตร ปริมาตร 100 มล. ลงในถังพลาสติกทั้งสามถัง ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในถังแต่ละใบมีค่าเป็น  $5 \text{ mgNH}_4^+ - \text{N/l}$  เก็บตัวอย่างของน้ำทั้งสามถังทั้งก่อนและหลังการเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนไนเตรต (Strickland and Parsons, 1972) โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งปริมาณแอมโมเนียของถังใดลดลงเข้าใกล้ศูนย์หรือเท่ากับ

ศูนย์ จึงทำการเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มลงในน้ำ เพื่อศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียม

### 3.5 วิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและสิ่งมีชีวิตบนตัวกรองชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนพื้นบ่อ จำนวนบ่อละ 2 จุด บริเวณริมบ่อและกลางบ่อ จำนวนจุดละ 3 ซ้ำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและตะกอนพื้นบ่อทุก 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง (15 พฤศจิกายน 2544 ถึง 3 เมษายน 2545) โดยมีรายละเอียดวิธีการดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำการตรวจวัดในภาคสนามได้แก่

พีเอช (พีเอชมิเตอร์ ของHanna Instrument)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและอุณหภูมิน้ำ (Yellow Spring Instruments; YSI dissolved oxygen-temperature meter)

ค่าความโปร่งแสงของน้ำ โดย secchi disc

#### 3.5.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัดด้วยวิธีทางเคมี

##### 3.5.2.1 อัลคาลินิตี (Alkalinity)

ใช้วิธีตามเอกสารของ ธงชัยและอุษา (2535) โดยทำการไทเทรตน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 100 มล. ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.010 โมลาร์ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการไทเทรตจนสีชมพูของอินดิเคเตอร์หมดไปหลังจากนั้นจึงหยดสารละลายเมทิลออเรนจ์จำนวน 3 หยด ทำการไทเทรตต่อจนสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มแสดงว่าถึงจุดยุติของปฏิกิริยา คำนวณหาสภาพต่างทั้งหมดตามสูตร

$$\text{สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. CaCO}_3\text{)} = \frac{\text{ปริมาตร (มล.) ของสารละลายกรดซัลฟิวริก} \times 1000}{\text{ปริมาตร (มล.) ของตัวอย่างน้ำ}}$$

แต่เนื่องจากการเตรียมความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.01 โมลาร์ จะต้องทำการตรวจสอบความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกโดยการเทียบความเข้มข้นกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์และคำนวณสภาพต่างทั้งหมดตามสูตร



$$\text{สภาพต่างทั้งหมด (มก./ลิตร CaCO}_3\text{)} = \frac{V \times M \times 2 \times 50 \times 1000}{\text{ปริมาตร (มล.) ของน้ำตัวอย่าง}}$$

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (โมลาร์)

V คือ ปริมาตร (ml) ของสารละลายกรดซัลฟิวริก

### 3.5.2.2 ความกระด้าง (Hardness)

ใช้วิธีตามเอกสารของ APHA (1992) โดยทำการไทเทรตน้ำตัวอย่างปริมาตร 100 มล. ด้วยสารละลาย EDTA 0.01 โมลาร์ หลังจากเติมสารละลายบัฟเฟอร์ 2 มล. (เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH<sub>4</sub>Cl) 16.9 ก. ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH<sub>4</sub>OH) ปริมาตร 143 มล. แล้วเติมสารละลายผสมของ เกลือไดโซเดียมของอีดีทีเอ (disodium EDTA) 1.179 ก. และแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) 0.780 ก. ในน้ำกลั่น 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มล.) และใช้สารละลายอีริโอโครม แบลคที (eriochrome black T) เป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นสีน้ำเงิน คำนวณหาค่าความกระด้างตามสูตร

$$\text{ความกระด้าง (มก./ล.)} = \frac{\text{มล.ของ EDTA} \times A \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

A คือ มิลลิกรัมของ CaCO<sub>3</sub> ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ EDTA 1.0 มล.

คำนวณหามิลลิกรัมของ CaCO<sub>3</sub> ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ EDTA 1.0 มล. โดยการไทเทรตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 1 ก./ลิตร ปริมาตร 25 มล. ที่ผ่านการต้มเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ด้วยสารละลาย EDTA 0.01 โมลาร์

### 3.5.2.3 แอมโมเนียม (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N)

ใช้วิธีตามเอกสารของ Strickland and Parsons (1972) โดยบีบน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว 5.00 มล. ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เติมสารละลายฟีนอล (เตรียมโดยละลายฟีนอล C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH 20 ก. ใน 200 มล.เอทานอล 95% ) ปริมาตร 0.2 มล. สารละลายไซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Na<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>5</sub>NO]·2H<sub>2</sub>O 5 ก./ลิตร) ปริมาตร 0.2 มล. และสารละลายออกซิไดซ์ ปริมาตร 0.5 มล. (เตรียมจากสารละลายอัลคาไลน์ที่เตรียมจากไตรไซเดียมซิติเรต ไดไฮเดรต

$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 7H_2O$  100 ก. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 ก. แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน) กับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน ปิดหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ คำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมาจากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01-1.00 mg  $NH_4^+$ -N/l

### 3.5.2.4 ไนไตรต์ ( $NO_2^-$ - N)

ใช้วิธีตามเอกสารของ Strickland and Parsons (1972) โดยเปิดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว 5.00 มล. ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ปริมาตร 0.1 มล. (เตรียมโดยละลายซัลฟานิลาไมด์  $NH_2C_6H_4SO_2NH_2$  5 ก. ลงในสารละลายผสมของกรดซัลฟิวริก 50 มล. กับน้ำกลั่น 300 มล.) เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2- 8 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลาย N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NED)  $C_{10}H_7NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl \cdot CH_3OH$  1g/l ปริมาตร 0.1 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที – 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 543 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ คำนวณหาปริมาณไนไตรต์ จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไนไตรต์ ( $NaNO_2$ ) ความเข้มข้น 0.035 – 0.210 mg  $NO_2^-$ -N/l

### 3.5.2.5 ไนเตรต ( $NO_3^-$ - N)

ใช้วิธีตามเอกสารของ Strickland and Parsons (1972) โดยกรองน้ำตัวอย่างด้วยชุดกรองสุญญากาศและทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่เหมาะสม เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้นปริมาตร 1 มล./น้ำตัวอย่าง 50 มล. แล้วนำน้ำดังกล่าวมาผ่านคอลัมน์แคดเมียมโดยปรับอัตราการไหลของคอลัมน์เท่ากับ 50 มล./ 4-5 นาที ใช้ น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ โดยปล่อยน้ำที่ผ่านออกมาจากคอลัมน์ในช่วง 5 มล. แรกทิ้งไป เนื่องจากมีสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางปนออกมาด้วย หลังจากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์แคดเมียมแล้ว ปริมาตร 5.00 มล. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ปริมาตร 0.1 มล. (เตรียมโดยละลายซัลฟานิลาไมด์  $NH_2C_6H_4SO_2NH_2$  5 ก. ลงในสารละลายผสมของกรดซัลฟิวริก 50 มล. กับน้ำกลั่น 300 มล.) เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลาย N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NED)  $C_{10}H_7NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl \cdot CH_3OH$

1 ก./ลิตร ปริมาตร 0.1 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที - 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 543 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นแบลนด์ คำนวณหาปริมาณไนเตรต จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ ) ความเข้มข้น 0.025 0.050 0.075 0.100 และ 0.200 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/l คำนวณหาค่าไนเตรตที่ได้โดยการลบออกจากค่าไนไตรต์ที่ได้ในข้อ 3.5.2.4

### 3.5.2.6 ออโรฟอสเฟต

ใช้วิธีตามเอกสารของ Strickland and Parsons (1972) โดยปิเปตน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศ 5.00 มล. ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เติมสารละลายผสมปริมาตร 0.5 มล. ที่ผสมกันระหว่าง สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  30 ก./ลิตร) สารละลายกรดซัลฟิวริก (เตรียมโดยละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 140 มล. ในน้ำกลั่น 900 มล.) สารละลายกรดแอสคอบิก (54 ก./ลิตร) และสารละลายโพแทสเซียม แอนติโมนิล ทาเทรต ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{KO}_7\text{Sb}\cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  1.36 g/l) ด้วยอัตราส่วน 2 : 5 : 2 : 1 โดยปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที -2 ชั่วโมง โดยมีน้ำกลั่นเป็นแบลนด์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 885 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณออโรฟอสเฟตจากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนไฮดรัส โพแทสเซียมไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ความเข้มข้น 0.01 0.03 0.10 และ 0.30 โมลาร์

### 3.5.2.7 ความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวเคมี (บีโอดี)

ใช้วิธีตามเอกสารของธงชัยและอุษา (2535) โดยนำน้ำตัวอย่างมาเติมอากาศจนมีออกซิเจนละลายอิ่มตัว ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง รินตัวอย่างน้ำลงใส่ขวดบีโอดีจนเต็มจำนวน 3 ขวด นำขวดหนึ่งมาหาออกซิเจนละลายก่อน โดยเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ( $\text{MnSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  480 ก./ลิตร) และอัลคาไล-ไฮไดรด์-ไฮไดรด์ รีเอเจนต์ (เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 ก. และโซเดียมไฮไดรด์ 135 ก. ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มล. และเติมสารละลายโซเดียมไฮไดรด์ 10 ก. ซึ่งละลายในน้ำกลั่น 40 มล.) ปริมาตร 1 ml ลงในขวดบีโอดีและให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของตัวอย่างน้ำ ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มล. ไทเทรตน้ำดังกล่าว 201 มล. ด้วย สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปแสดงว่าถึงจุดยุติ อีกสองขวดนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำมาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ หากมีการเจือจางน้ำตัวอย่างจะใช้น้ำกลั่นที่เติมอากาศให้มีออกซิเจนละลายอิ่มตัวแล้วมาเป็นตัวทำละลายก่อนทำขั้นตอนอื่นๆตามที่กล่าวมาแล้ว

### 3.5.2.8 ความต้องการใช้ออกซิเจนทางเคมี (ซีไอดี)

ใช้วิธีตามเอกสารของ APHA (1992) โดยเปิดปริมาตรน้ำตัวอย่างและสารเคมีที่ใช้ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว โดยปริมาตรน้ำตัวอย่าง : สารละลายไดโครเมต (เตรียมโดยผสมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต  $K_2Cr_2O_7$  10.216 ก. ในน้ำ 500 มล. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 167 มล. และเมอร์คิวรีซัลเฟต  $HgSO_4$  33.3 ก. แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มล.) : กรดซัลฟิวริก (ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) 8.8 ก. ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 1,000 มล.) เป็น 2.5 : 1.5 : 3.5 มล. ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี ใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ วางหลอดแก้วในบล็อกบนเตาหลอด ตั้งอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทตัวอย่างน้ำลงในหลอดวัดของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณซีไอดี จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต (KHP) ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 80 160 400 800 และ 1,000 มก./ลิตร

### 3.5.2.9 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ใช้วิธีตามเอกสารของ APHA (1992) โดยกรองน้ำตัวอย่างปริมาตรที่เหมาะสมผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มม. ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสและทราบน้ำหนัก (C) แล้วและชุดกรองสูญญากาศ นำกระดาษกรองที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ซึ่งน้ำหนักกระดาษกรอง (D) จนได้น้ำหนักคงที่หรือกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 0.5 มก. ของน้ำหนักครั้งก่อน คำนวณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจากสูตร

$$\text{ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{(D - C) \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (มล.)}}$$

### 3.5.2.10 คลอโรฟิลล์-เอ

ใช้วิธีตามเอกสารของ Strickland and Parsons (1972) โดยกรองน้ำตัวอย่างปริมาตรที่เหมาะสมผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มม. และชุดกรองสูญญากาศ นำกระดาษกรองที่ได้ใส่ไว้ในหลอดทดลองขนาดเล็ก ใส่สารละลายอะซีโตน 90 %v/v

ประมาณ 7 มล. ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม เก็บหลอดทดลองไว้ในตู้เย็นและมีด เป็นเวลา 1 คืน นำหลอดทดลองทั้งหมดมาใส่ในเครื่องโซนิเคเตอร์เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำมาใส่เครื่องปั่นที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ 630, 645 และ 665 นาโนเมตร โดยใช้ 90% อะซีโตนเป็นแบลนด์

### 3.5.3 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อและบนตัวกรองชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างโดยกรองน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 ลิตร ผ่านตาข่ายดักแพลงก์ตอนขนาดตาถี่ 20 ไมโครเมตร ทำการดองตัวอย่างโดยใช้ปริมาตรสารละลายฟอร์มาลินเท่ากับ 2% v/v ของปริมาตรน้ำที่อยู่ในตาข่าย ทำการแยกชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และแผ่นสไลด์นับแพลงก์ตอนสัตว์และฮีมาไซโตมิเตอร์ ตามลำดับ โดยใช้เอกสารของลัดดา (2542) สำหรับแพลงก์ตอนพืชและลัดดา (2541) สำหรับแพลงก์ตอนสัตว์ คำนวณหาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ และทำการเก็บตัวกรองชีวภาพที่มีขนาด 30 ซม. ซึ่งทำการผูกติดไว้กับไม้ไผ่ในบ่อทดลองทุกๆ 2 เดือน มาสังเกตสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในตัวกรองชีวภาพด้วยตาเปล่าและภายใต้กล้องจุลทรรศน์

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ student's *t* test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) และทดสอบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ด้วย Regression analysis ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4 ผลการทดลอง

### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในถังทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในการบำบัดแอมโมเนียในถังทดลองที่บรรจุ น้ำจากบ่อน้ำภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยปริมาตร 45 ลิตร โดยวางถังไว้กลางแจ้ง มีการเป่า อากาศผ่านหัวทรายลงในน้ำตลอดเวลา (ภาพที่ 4-1) เปรียบเทียบระหว่าง (1) ถังที่ไม่มีตัวกรองซึ่ง จัดเป็นชุดควบคุม (2) ถังที่มีตัวกรองใหม่ และ (3) ถังที่มีตัวกรองชีวภาพซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่าง ตัวกรองจากบ่อเลี้ยงปลาชุดทดลอง (ภาพที่ 4-2 และ 4-3) ซึ่งตัวกรองดังกล่าวได้ผ่านการใช้งานใน บ่อเลี้ยงปลามาแล้วเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน



ภาพที่ 4-1 ถังทดลองที่ประกอบด้วย(1) ถังที่ไม่มีตัวกรองซึ่งจัดเป็นชุดควบคุม (2) ถังที่มีตัวกรอง ใหม่ และ (3) ถังที่มีตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการใช้ในบ่อเลี้ยงปลามาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน





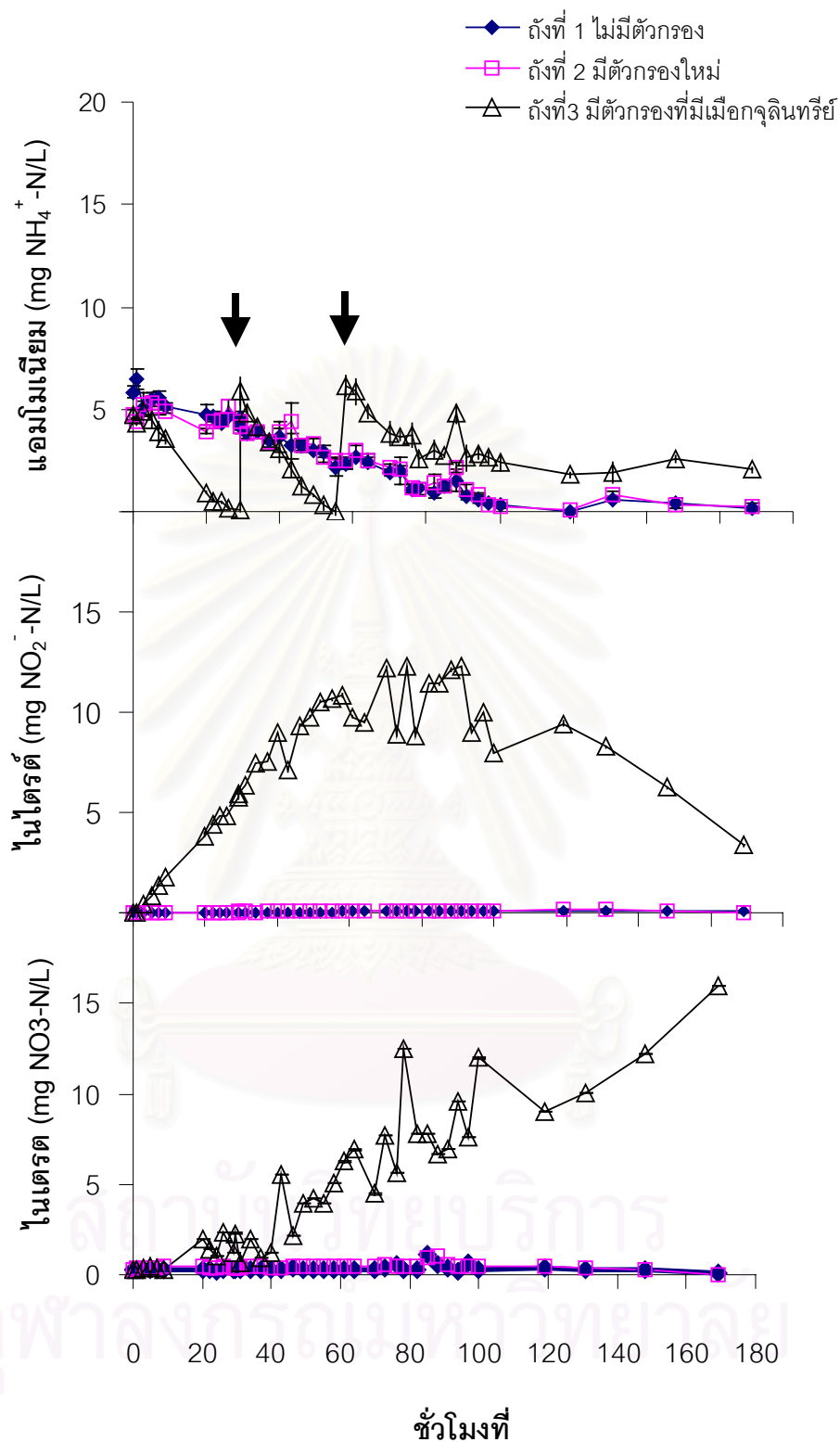
ภาพที่ 4-2 การเก็บตัวอย่างตัวกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาชุดทดลองอายุ 1 เดือน



ภาพที่ 4-3 ภาพระยะใกล้แสดงพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่ในบ่อเลี้ยงปลามาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งมีตะกอนและเมือกจุลินทรีย์เกาะอยู่

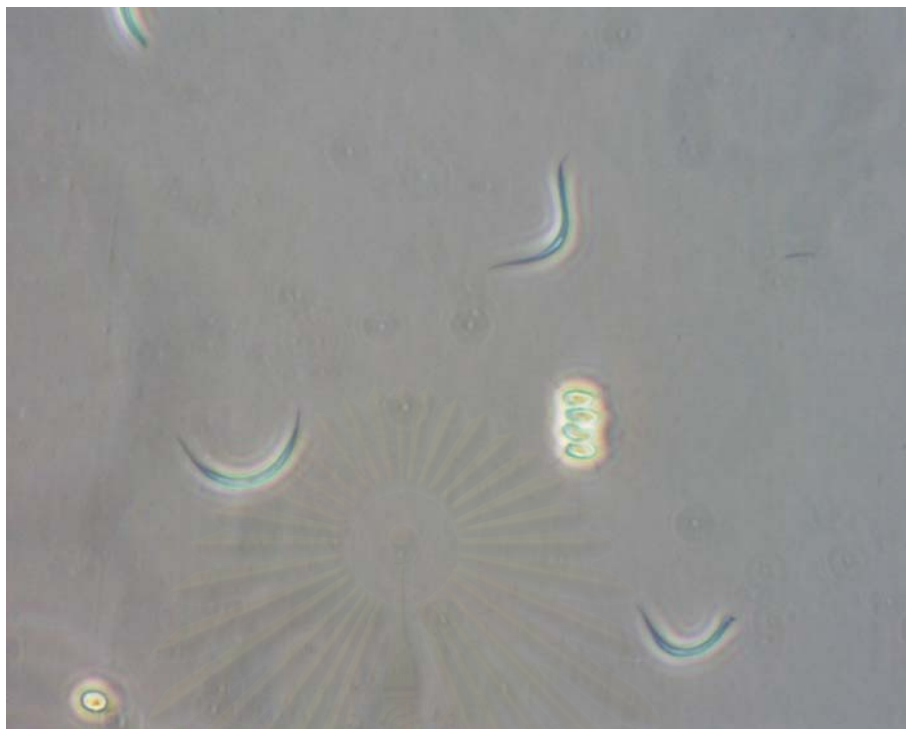
หลังจากการเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ลงในถังทดลองทุกถัง จากนั้นจึงทำการตรวจวัดปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียม ไนไตรต์ และไนเตรต) ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-4 พบว่าปริมาณแอมโมเนียมในถังที่ 3 ที่มีตัวกรองชีวภาพจากบ่อเลี้ยงปลา มีความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในถังที่ 1 และ 2 โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียมในถังที่ 3 ลดลงเหลือ 0.05 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ในเวลา 29 ชั่วโมง ในขณะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในถังที่ 1 และถังที่ 2 ยังคงอยู่ที่ 4.59 และ 4.43 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ตามลำดับ การเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มลงในน้ำของถังที่ 3 ที่มีตัวกรองชีวภาพจากบ่อเลี้ยงปลา จำนวน 2 ครั้ง ในชั่วโมงที่ 29 และ 58 ก็พบว่าตัวกรองดังกล่าวสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียมได้อย่างรวดเร็ว ส่วนในถังที่ 1 และ 2 มีอัตราการลดลงของแอมโมเนียมต่ำกว่าถังที่ 3 มาก

ปริมาณไนไตรต์ในถังที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 0.02 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l เป็น 12.28 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l ในชั่วโมงที่ 76 และหลังจากนั้นพบว่าไนไตรต์ในน้ำมีความเข้มข้นลดลง ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่าปริมาณไนเตรตมีความเข้มข้นสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนในถังชุดควบคุม (ถังที่ 1 และ 2) ปริมาณไนไตรต์และไนเตรตมีความเข้มข้นต่ำมาก นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำในถังชุดควบคุมมีสีเขียวเข้มกว่าน้ำในถังชุดทดลองอย่างเห็นได้ชัด ผลการส่องตรวจแพลงก์ตอนด้วยกล้องจุลทรรศน์พบแพลงก์ตอนพืชชนิด *Ankistodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. (ภาพที่ 4-5) แต่พบว่าแพลงก์ตอนพืชชนิด *Ankistodesmus* sp. เป็นชนิดเด่น



ภาพที่ 4-4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองในถังทดลอง โดยเปรียบเทียบปริมาณ

แอมโมเนียม ไนไตรต์และไนเตรต ในถังที่ไม่ใช้ตัวกรอง (ชุดควบคุม) ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือนซึ่งจะมีเมือกจุลินทรีย์เกาะติดอยู่ ลูกศรแสดงการเติมสารละลาย  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ลงเฉพาะในถังที่มีตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน



ภาพที่ 4-5 แพลงก์ตอนพืช *Ankistodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ที่ตรวจพบในน้ำของ  
ถังทดลองทั้งสามถัง

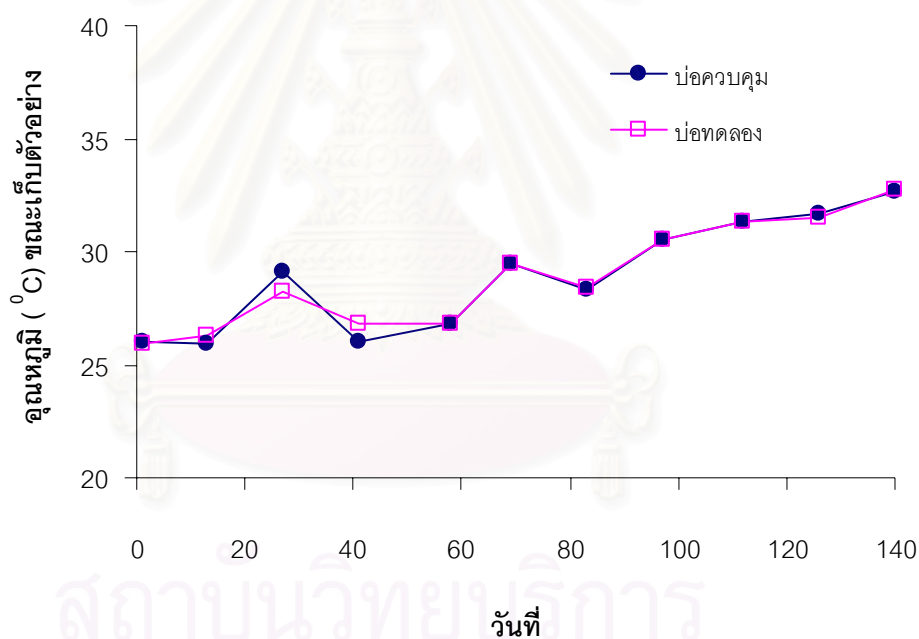
#### 4.2 ผลของตัวกรองชีวภาพในบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมแบบหนาแน่น

การศึกษาผลของการใช้ตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมระบบ  
ปิดแบบหนาแน่น โดยวางตัวกรองเป็นแนวยาวขนานกันในบ่อทดลองจำนวน 10 แถว และผูกตัว  
กรองชีวภาพเข้ากับไม้ไผ่ที่ปักอยู่เป็นแนวเพื่อตั้งให้ตัวกรองจมอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 cm  
และมีการพ่นอากาศจากหัวทรายขึ้นผ่านที่ตัวกรองชีวภาพ สำหรับบ่อควบคุมจะมีระบบเติม  
อากาศแบบเดียวกับบ่อชุดควบคุมทุกประการเพียงแต่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ ผลการศึกษาแบ่งออก  
เป็นหัวข้อหลัก 5 หัวข้อได้แก่ คุณภาพน้ำทางกายภาพทั่วไป (4.2.1) การเปลี่ยนแปลงของสาร  
อาหารในน้ำ (4.2.2) การเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอน (4.2.3) ผลผลิตของปลา (4.2.4) และการ  
ประเมินสมดุลไนโตรเจน (4.2.5)

## 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพทั่วไป

### 4.2.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำในบ่อ ณ เวลาประมาณ 11.00 น. (ภาพที่ 4-6) ซึ่งเป็นเวลาในขณะที่เก็บตัวอย่าง พบว่าอุณหภูมิตลอดการทดลองในทั้งสองบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง 25.9-32.7 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวแม้จะไม่ใช่อุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดของบ่อเลี้ยงปลา แต่ก็แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามฤดูกาล โดยอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และอุณหภูมิในน้ำของบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่มีความแตกต่างกัน

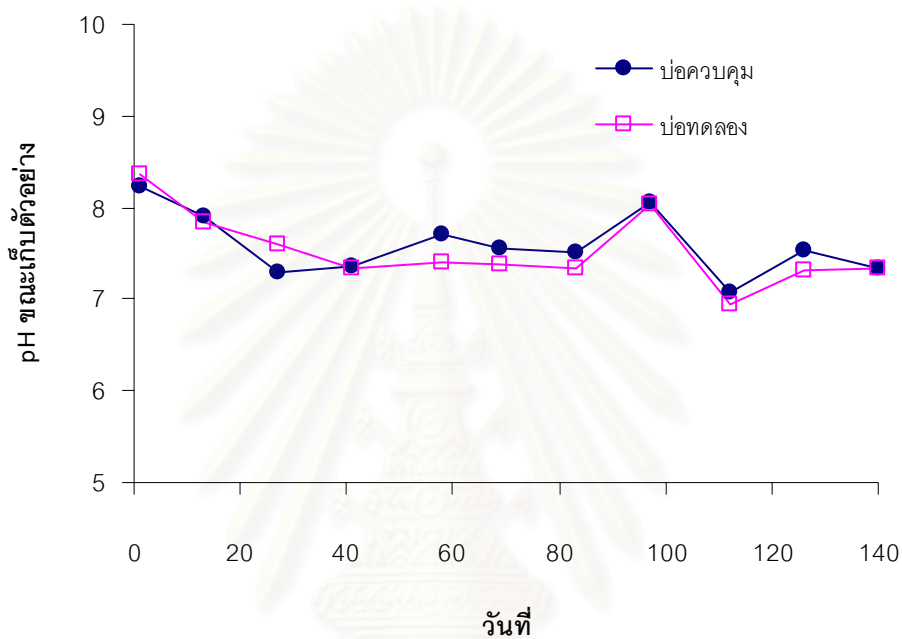


ภาพที่ 4-6 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัดในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.)



#### 4.2.1.2 พีเอช

พีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาระหว่างการทดลองซึ่งตรวจวัด ณ เวลาประมาณ 11.00 น. พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 7- 8 โดยในบ่อชุดทดลองมีแนวโน้มของค่าพีเอชที่ต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย (ภาพที่ 4-7)

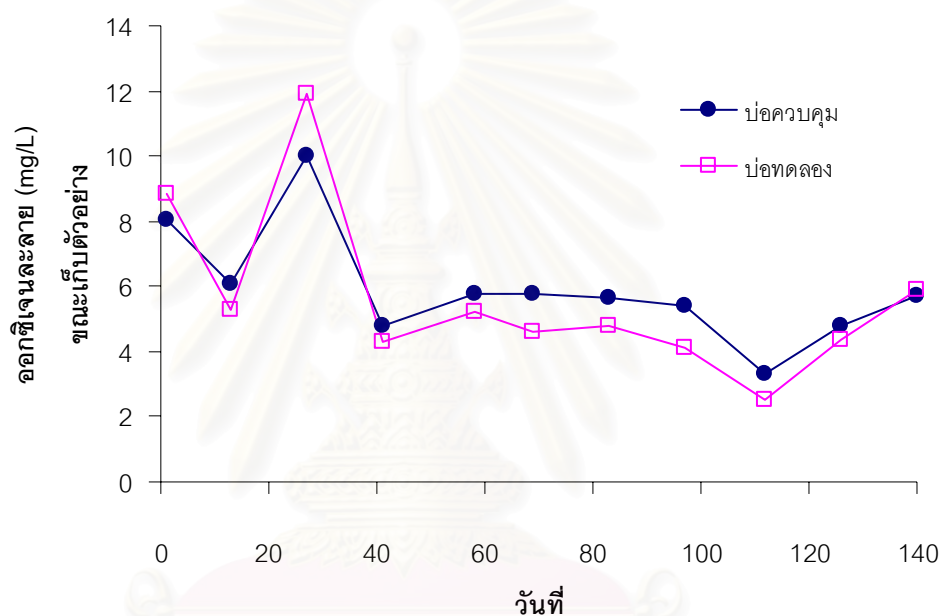


ภาพที่ 4-7 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัดในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.)



#### 4.2.1.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ผลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ณ เวลาประมาณ 11.00 น. พบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าสูงในช่วงระยะ 30 วันแรกของการเลี้ยง หลังจากนั้นปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 4-6 มก./ลิตร และปริมาณออกซิเจนในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย แม้ว่าในบ่อทั้งสองจะมีการพ่นอากาศผ่านหัวทรายในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4-8)

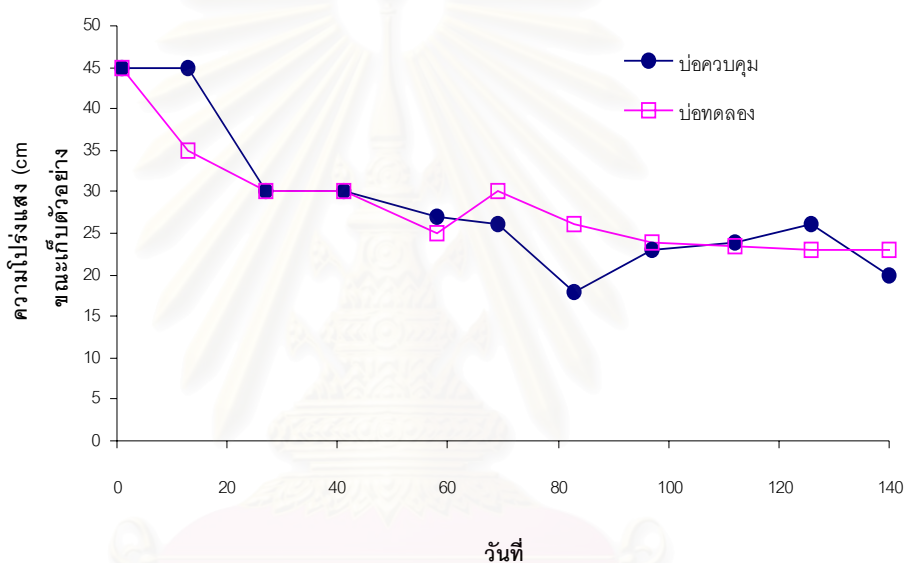


ภาพที่ 4-8 ออกซิเจนละลายในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการวัดในภาคสนาม ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1.4 ความโปร่งแสงของน้ำ

ในระหว่างการทดลองเลี้ยงปลา พบว่าค่าความโปร่งแสงของน้ำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการทดลอง โดยความโปร่งแสงของน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีแนวโน้มคล้ายกัน โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 25 ซม. (ภาพที่ 4-9)

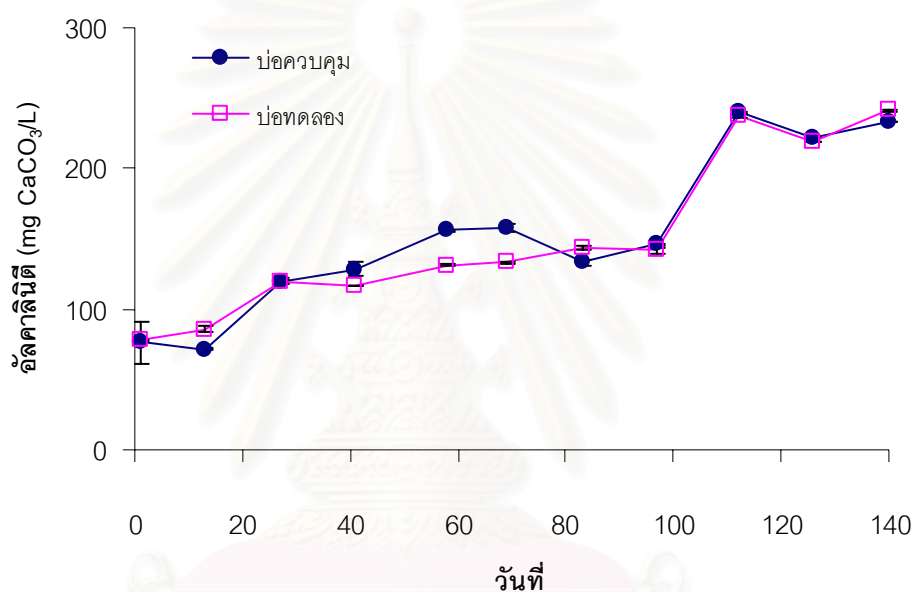


ภาพที่ 4-9 ความโปร่งแสงของน้ำ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1.5 อัลคาลินิตี

ค่าอัลคาลินิตีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อดังแสดงในภาพที่ 4-10 แสดงให้เห็นว่าอัลคาลินิตีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเลี้ยง และมีแนวโน้มของการเพิ่มไม่แตกต่างกันโดย บ่อควบคุมมีค่าอัลคาลินิตีเพิ่มขึ้นจาก 71.67 เป็น 240.08 mg CaCO<sub>3</sub>/l และในบ่อทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 77.50 เป็น 241.00 mg CaCO<sub>3</sub>/l

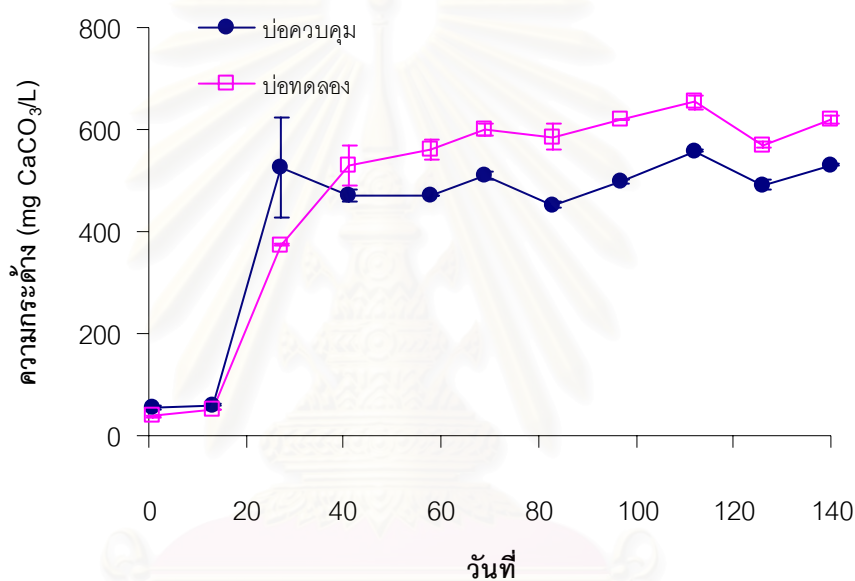


ภาพที่ 4-10 ปริมาณอัลคาลินิตีในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1.6 ความกระด้าง

ผลการวิเคราะห์ความกระด้างในภาพที่ 4-11 แสดงให้เห็นว่าความกระด้างหรือปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ในน้ำมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างวันที่ 13 - 27 ของการเลี้ยงปลา หลังจากนั้นพบว่าความกระด้างของน้ำมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยความกระด้างของบ่อควบคุมหลังจากวันที่ 41 ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 452.51 ถึง 558.24  $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$  และความกระด้างของบ่อทดลองมีค่าสูงกว่า คือมีค่าอยู่ระหว่าง 529.06 ถึง 653.03  $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$

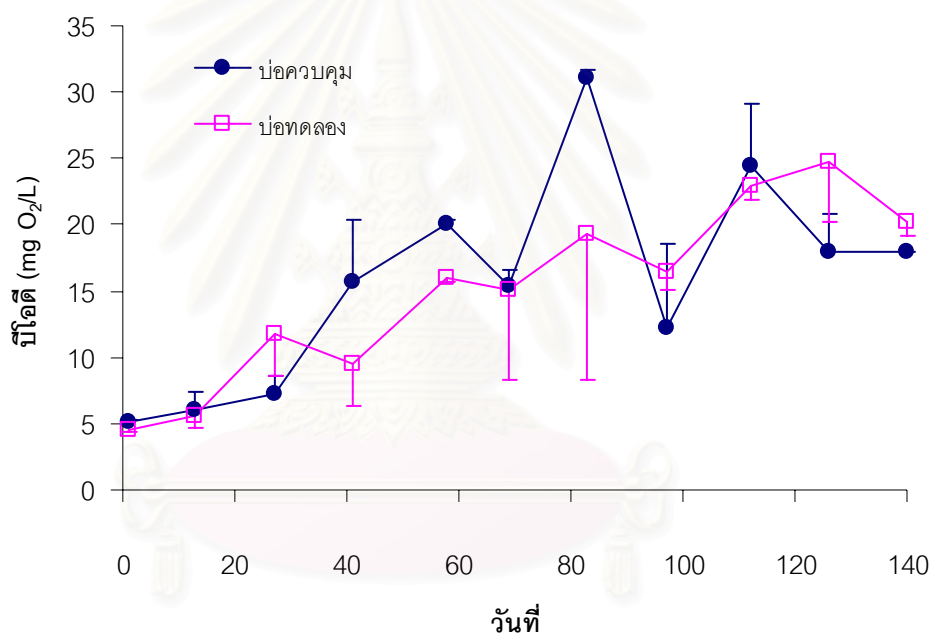


ภาพที่ 4-11 ปริมาณความกระด้างในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1.7 ค่าบีโอดี

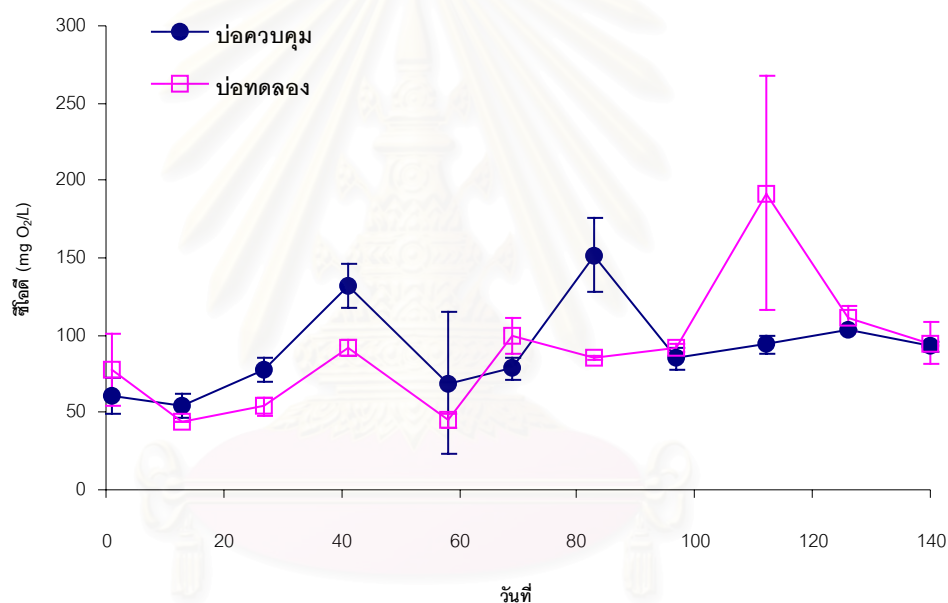
ผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในภาพที่ 4-12 แสดงให้เห็นว่าค่าบีโอดีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยค่าบีโอดีเริ่มต้นของบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 5 มก./ลิตร) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 20.25 และ 18.00 มก./ลิตร สำหรับบ่อทดลองและบ่อควบคุมตามลำดับ โดยค่าบีโอดีจากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละครั้งมีค่าความแปรปรวนสูง



ภาพที่ 4-12 ค่าบีโอดี ( $BOD_5$  20 °C) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.;  $n = 2$ ) แต่เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมาก จึงแสดงเฉพาะค่าการเบี่ยงเบนในค่าบวกสำหรับข้อมูลของบ่อควบคุม และแสดงเฉพาะค่าการเบี่ยงเบนในค่าลบสำหรับข้อมูลของบ่อทดลอง

#### 4.2.1.8 ค่าซีไออดี

ผลการวิเคราะห์ค่าซีไออดีในภาพที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่าค่าซีไออดีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเริ่มต้นการทดลองค่าซีไออดีในบ่อควบคุมและในบ่อทดลองมีค่าเป็น 60.63 และ 77.50 mgO<sub>2</sub> / l ตามลำดับ ค่าซีไออดีในบ่อควบคุมมีค่าสูงสุด (151.67 mgO<sub>2</sub> / l) ในวันที่ 83 และในบ่อทดลองมีค่าสูงสุดเป็น 191.67 mgO<sub>2</sub> / l ในวันที่ 112 ของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าซีไออดีในบ่อทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าซีไออดีจากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละครั้งมีค่าความแปรปรวนสูง



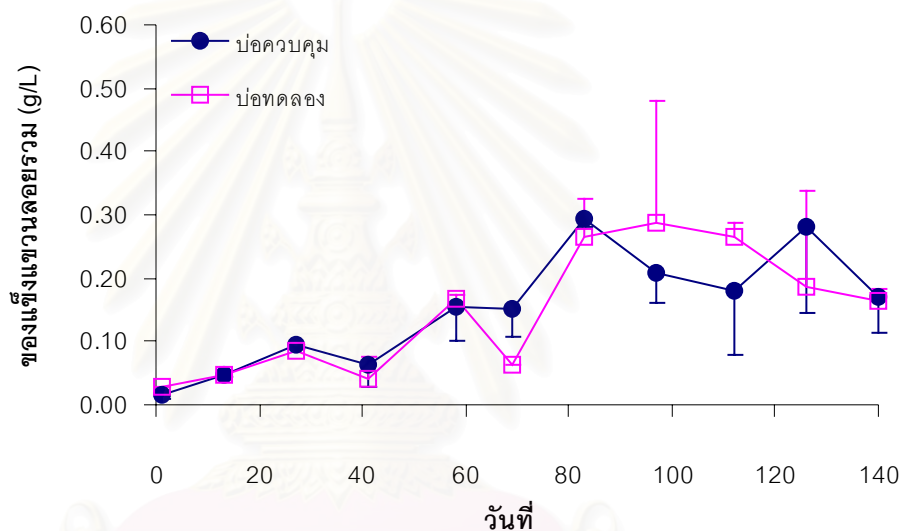
ภาพที่ 4-13 ค่าซีไออดี (COD) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.2.1.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในภาพที่ 4-14 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเริ่มต้นการทดลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในบ่อควบคุมและในบ่อทดลองมีค่าเป็น 0.02 และ 0.03 ก./ลิตร ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในบ่อควบคุมมีค่าสูงสุด 0.29 ก./ลิตร ในวันที่ 83 และในบ่อทดลองมีค่าสูงสุดเป็น 0.29 ก./ลิตร ในวันที่ 97 ของการทดลอง โดยค่าของแข็งแขวนลอยรวมจากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละครั้งมีค่าความแปรปรวนสูง



ภาพที่ 4-14 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.;  $n = 3$ )

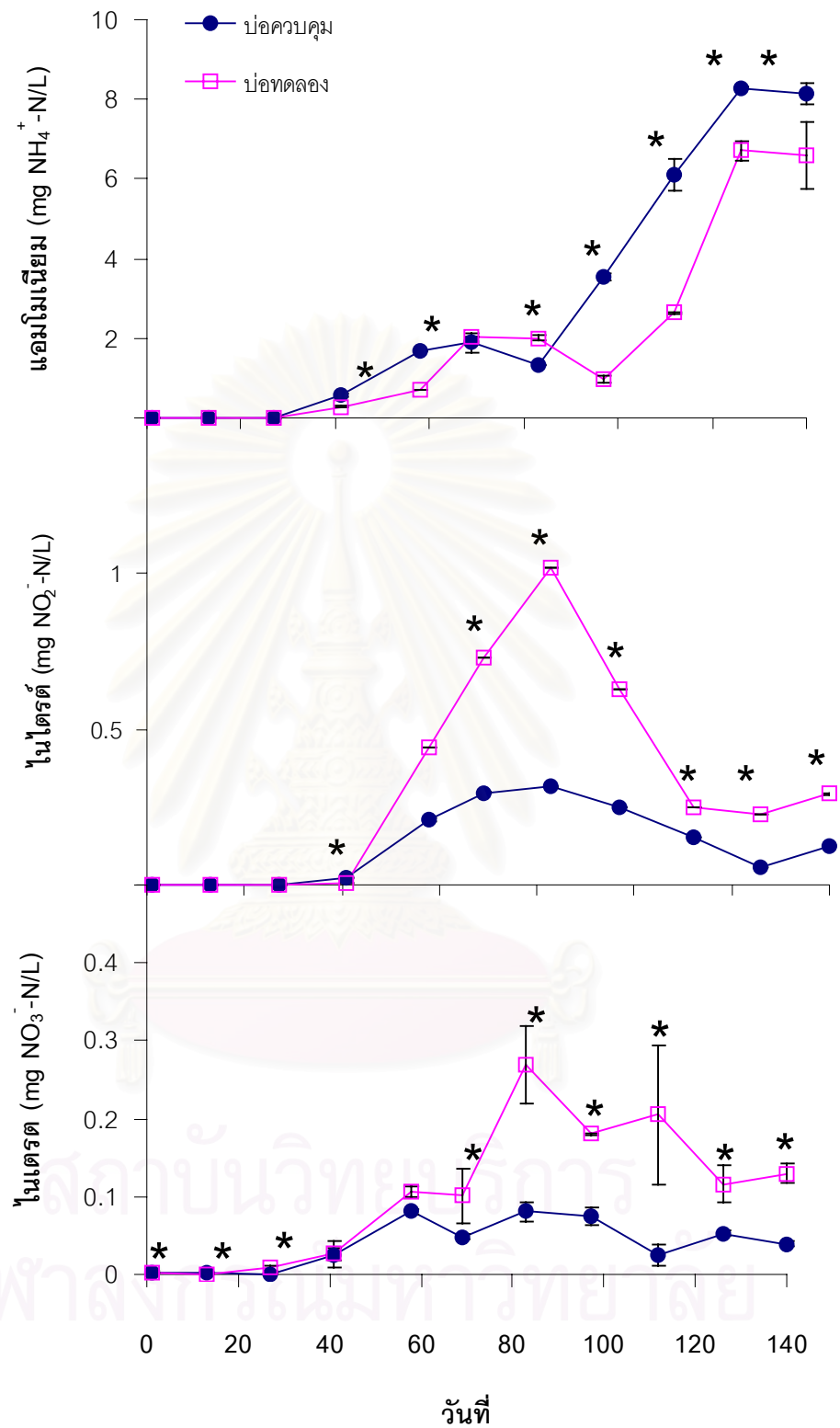
สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร

### 4.2.2.1 ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจน

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองทั้งสอง พบการสะสมของแอมโมเนียมเกิดขึ้นทั้งในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง (ภาพที่ 4-15ก) โดยในระหว่างสามสัปดาห์แรกของการเลี้ยงจะมีปริมาณแอมโมเนียมในน้ำต่ำมาก หลังจากนั้นจะตรวจพบปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างวันที่ 41-83 และปริมาณแอมโมเนียมจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 97 เป็นต้นไป ซึ่งในภาพที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่า แอมโมเนียมในน้ำของบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุม โดยปริมาณแอมโมเนียมในบ่อทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพตลอดการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0-7.5 mg  $\text{NH}_4^+ \text{-N/l}$  ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมในบ่อควบคุมมีค่าระหว่าง 0 - 8.3 mg  $\text{NH}_4^+ \text{-N/l}$  ซึ่งความแตกต่างจะเห็นได้อย่างชัดเจนหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลอง และเป็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

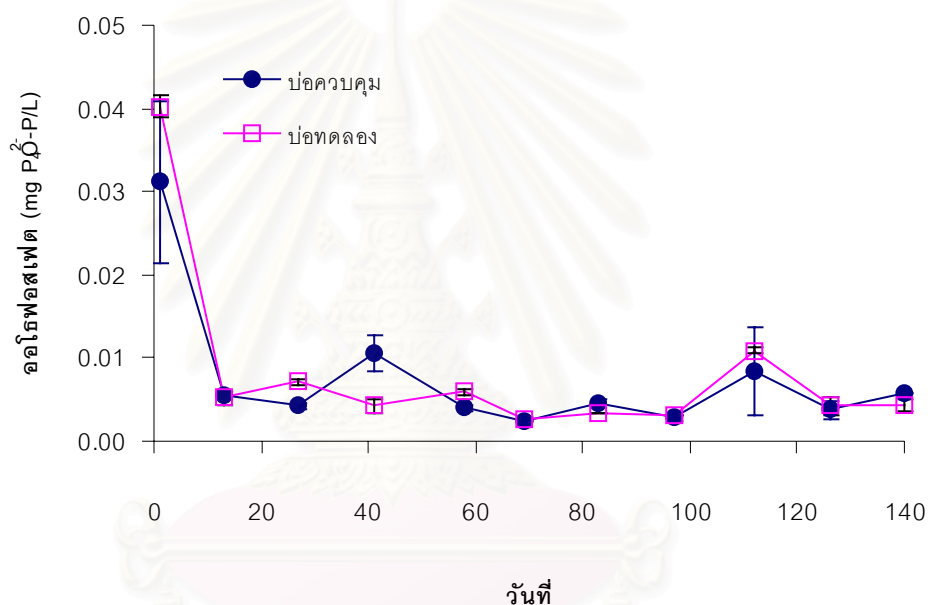
ปริมาณไนไตรต์ในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 58 และมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 83 (ภาพที่ 4-15ข) หลังจากนั้นพบว่าความเข้มข้นของไนไตรต์จะลดลงจนคงที่ในวันที่ 112 โดยปริมาณไนไตรต์สูงสุดที่พบในบ่อแม้จะมีค่าไม่เกิน 1 mg  $\text{NO}_2^- \text{-N/l}$  แต่ไนไตรต์ในบ่อชุดทดลองมีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณไนเตรตซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบว่าไนเตรตในบ่อทดลองมีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมโดยเริ่มพบไนเตรตในน้ำในเวลาเดียวกับที่พบไนไตรต์คือตั้งแต่วันที่ 58 เป็นต้นไป แต่มีความเข้มข้นไม่สูงนัก กล่าวคือมีความเข้มข้นไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 0.08 และ 0.27 mg  $\text{NO}_3^- \text{-N/l}$  ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองตามลำดับ (ภาพที่ 4-15 ค)



ภาพที่ 4-15 ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบ  
 ความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6) และ \*  
 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละวันที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

#### 4.2.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

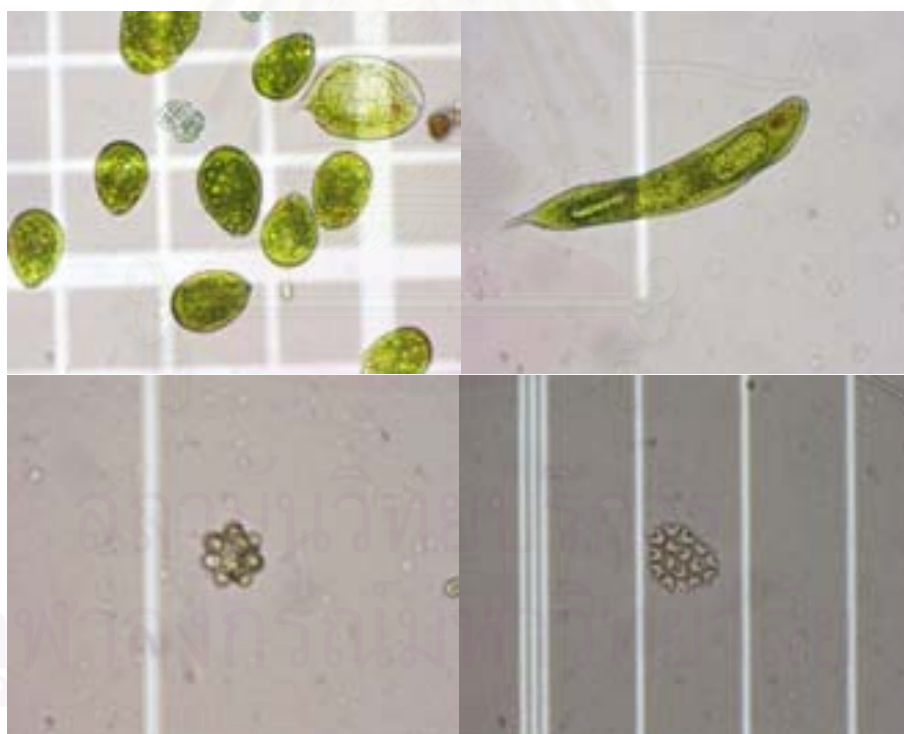
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิฟอสเฟตในน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลอง แสดงได้ดังภาพที่ 4-16 พบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในวันเริ่มต้นการเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 และ 0.04 mg PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-P/l สำหรับบ่อควบคุมและบ่อทดลองตามลำดับ ภายหลังจากการเริ่มทดลองเลี้ยงปลาพบการลดลงของฟอสเฟตอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีความเข้มข้นคงที่หลังจากวันที่ 13 เป็นต้นไป โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอสเฟตในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 2.46 ถึง 5.93 µg PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-P/l ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



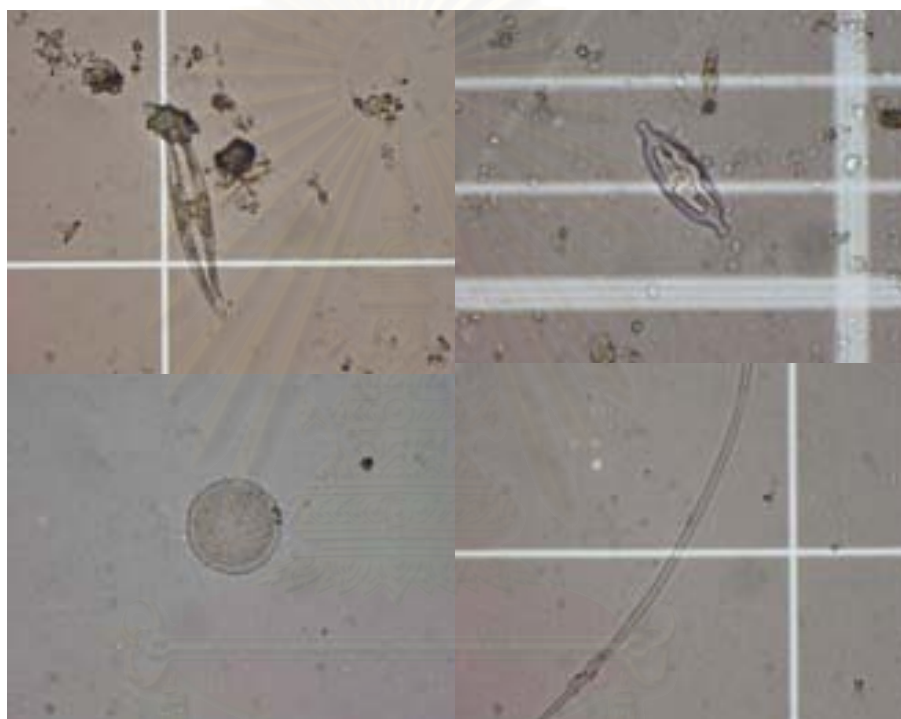
ภาพที่ 4-16 ปริมาณออกซิฟอสเฟตในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง แถบความผิดพลาดในแกน Y แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.; n = 6)

#### 4.2.3 ชนิดและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแพลงก์ตอน

ผลการส่องตรวจตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชจากบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อ พบว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่นในน้ำจะเป็นแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Chlorophyta และ Bacillariophyta (diatom) และพบแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta และ Chromophyta ในปริมาณที่น้อยกว่า ภาพถ่ายของแพลงก์ตอนพืชที่พบมากแสดงในภาพที่ 4-17 และ 4-18 โดยตลอดการทดลองพบแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Chlorophyta เป็นกลุ่มเด่นที่มีปริมาณมากกว่าแพลงก์ตอนพืชในดิวิชันอื่นอย่างชัดเจนในทั้งสองบ่อ (ภาพที่ 4-19) โดยพบว่ามี的增加จำนวนของแพลงก์ตอนพืชอย่างมาก (bloom) ของบ่อควบคุมในวันที่ 69 ของการทดลอง ในขณะที่การบลูมของแพลงก์ตอนพืชในบ่อทดลองเกิดขึ้นในวันที่ 97 โดยที่แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบบลูมในทั้งสองบ่อเป็นสาหร่ายสีเขียวในลำดับ (Class) Euglenophyceae ได้แก่ *Euglena* sp.1 และ *Phacus* sp. (ภาพที่ 4-17 บนซ้าย)



ภาพที่ 4-17 ตัวอย่างของแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta ได้แก่ *Phacus* sp., *Euglena* sp.1 (บนซ้าย) ซึ่งพบมาก เป็นชนิดเด่นในบ่อเลี้ยงปลาในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ยังพบ *Euglena* sp.2 (บนขวา) *Coelastrum* sp. (ล่างซ้าย) และ *Pediastrum* sp. (ล่างขวา)

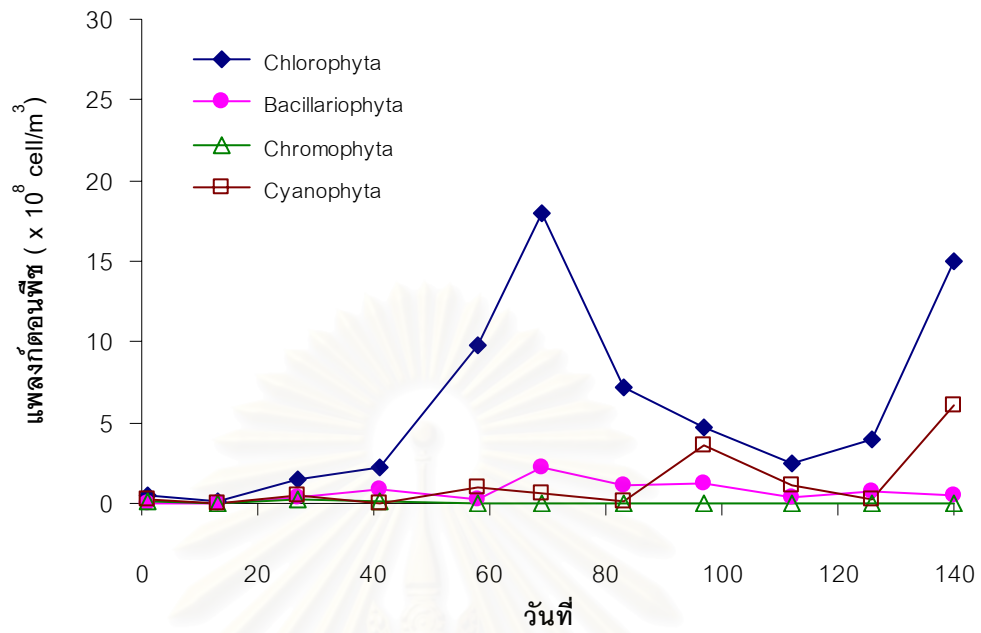


ภาพที่ 4-18 ตัวอย่างของแพลงก์ตอนพืชใน Division Bacillariophyta (ภาพบนซ้าย บนขวาและล่างซ้าย) และ Division Cyanophyta (ล่างขวา)

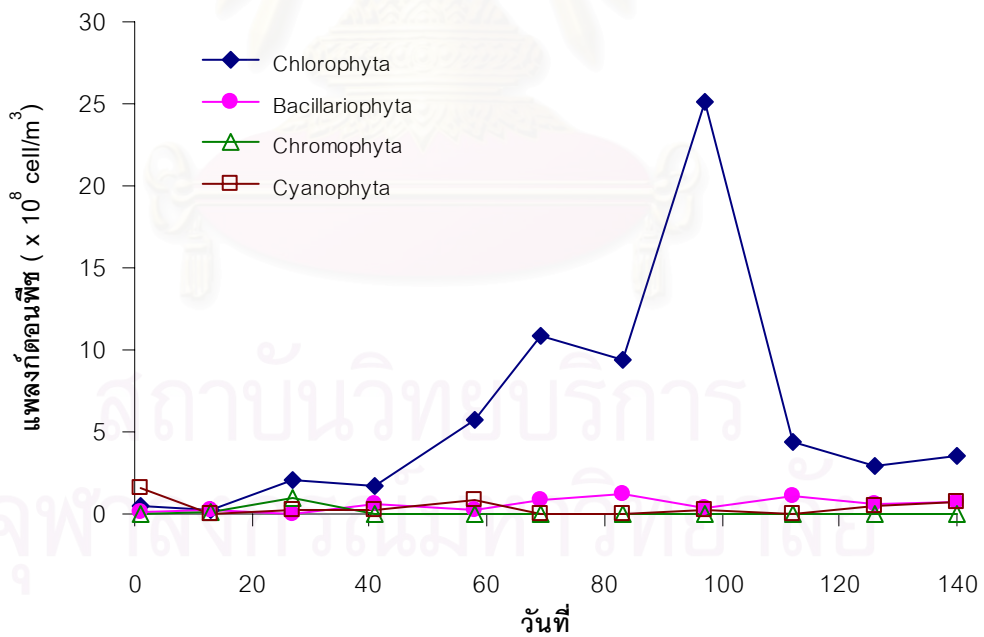
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ก. บ่อควบคุม

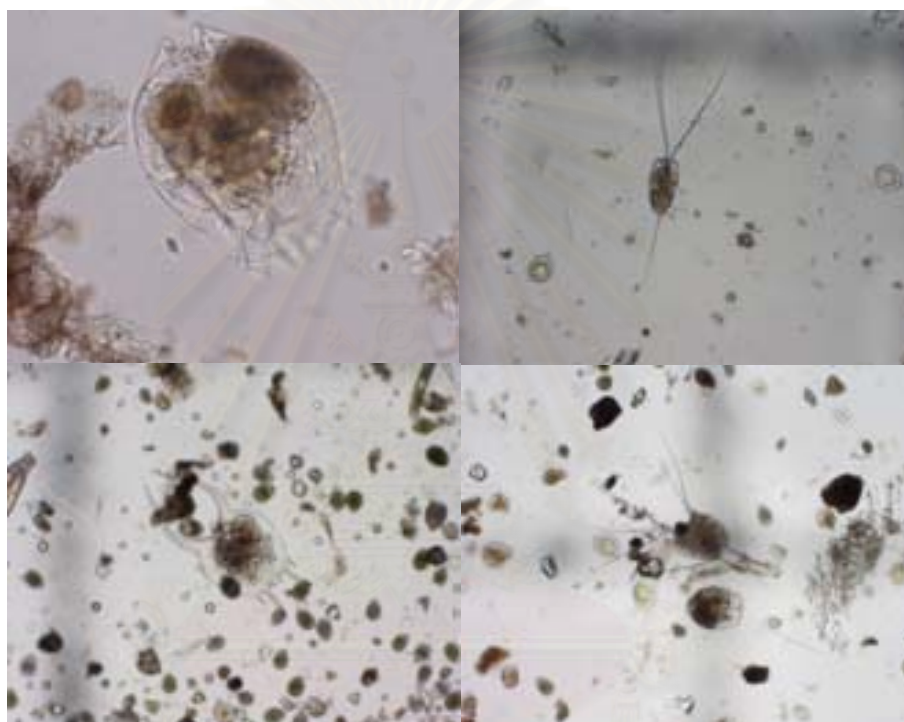


## ข. บ่อดทดลอง



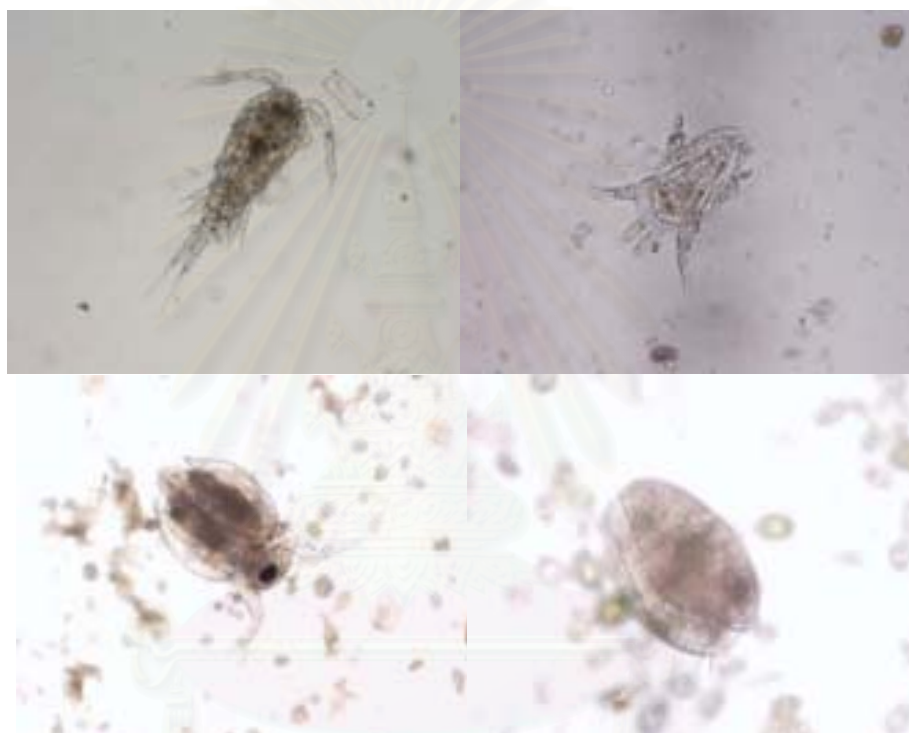
ภาพที่ 4-19 กลุ่มและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในบ่อควบคุม (ภาพ ก.) และบ่อดทดลอง (ภาพ ข.)

สำหรับกลุ่มของแพลงก์ตอนสัตว์ที่ตรวจพบในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อได้แก่ copepod, nauplius, rotifer, cladocera และostracod (ภาพที่4-20และ4-21) โดยแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบมาก คือ nauplius และ rotifer (ภาพที่ 4-22)



ภาพที่ 4-20 แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Rotifer ที่พบเป็นชนิดเด่นในบ่อเลี้ยงปลาของการศึกษานี้

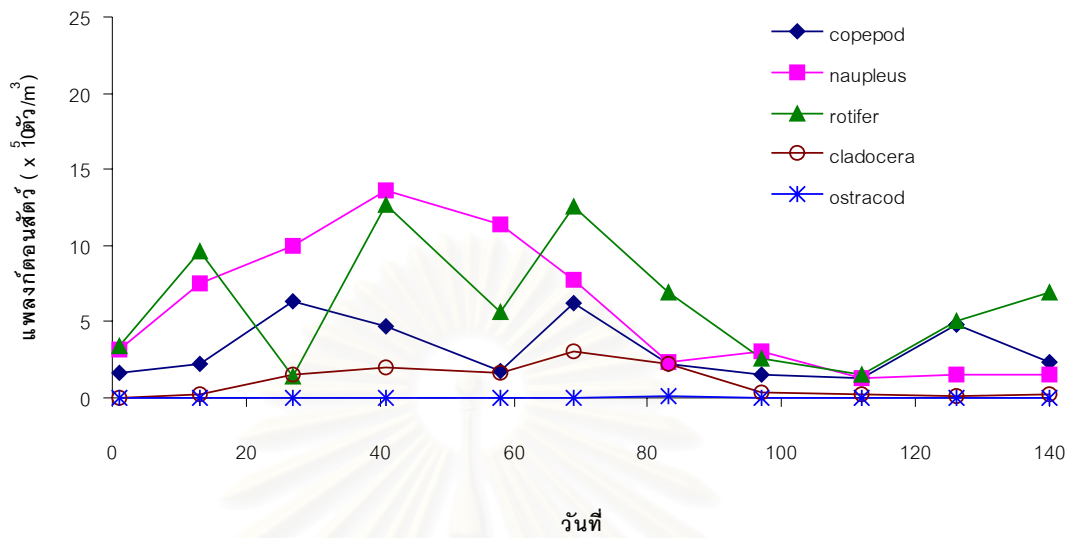
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



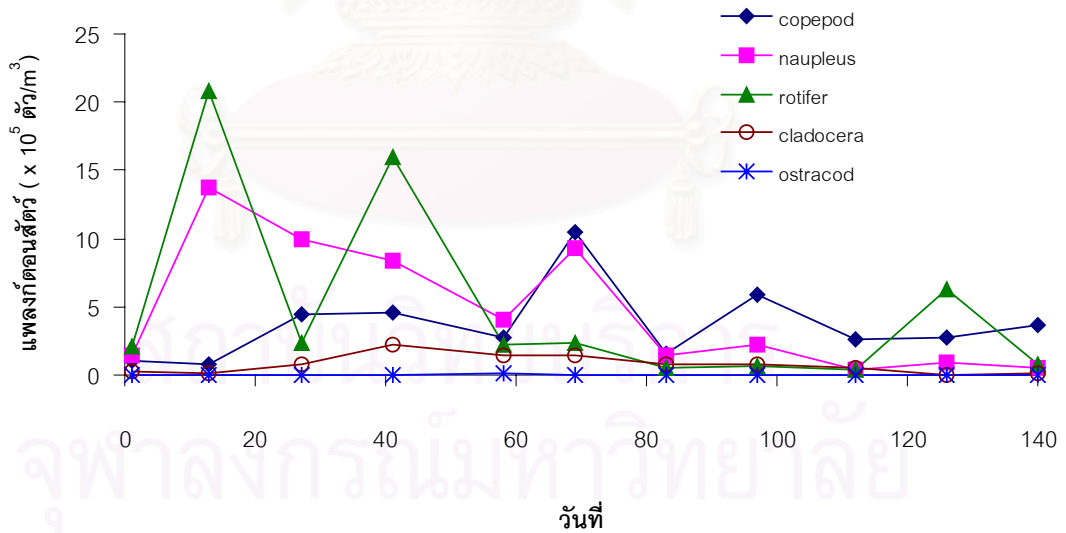
ภาพที่ 4-21 แพลงก์ตอนสัตว์ กลุ่ม Copepod (บนซ้าย) Nauplius (บนขวา) ซึ่งพบเป็นชนิดเด่น  
ในบ่อเลี้ยงปลาของการศึกษานี้ Cladocera (ล่างซ้าย) และ Ostracod (ล่างขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ก. บ่อควบคุม



## ข. บ่อทดลอง



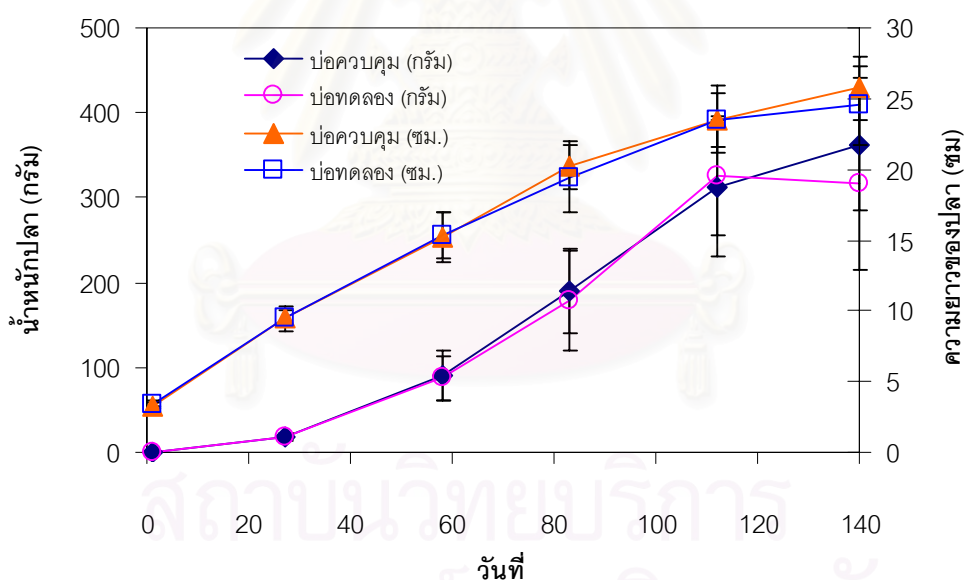
ภาพที่ 4-22 กลุ่มและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อควบคุม (ภาพ ก.) และบ่อทดลอง (ภาพ ข.)

#### 4.2.4 ผลผลิตปลา

การทดลองเลี้ยงปลาที่บ่อบำบัดความหนาแน่น 11 ตัว/ $m^2$  ในบ่อดินเลี้ยงปลาที่มีพื้นที่ 900  $m^2$  ปริมาณน้ำประมาณ 1,080  $m^3$  ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง โดยมีจำนวนปลาเริ่มต้น 10,000 ตัว/บ่อ และน้ำหนักเฉลี่ยของปลา 0.59 g เป็นเวลา 140 วัน ได้ผลการศึกษากการเติบโตและผลผลิตของปลาดังแสดงในหัวข้อ 4.2.4.1 และ 4.2.4.2 ตามลำดับ

##### 4.2.4.1 อัตราการเติบโต

ผลการเก็บข้อมูลการเติบโตของปลาที่บ่อบำบัดด้วยการสูบลบประมาณ 50 ตัว มาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวตัวปลาทุกเดือน พบว่าการเติบโตของปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลองไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักหรือความยาวมีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4-23) และปลามีอัตราการเพิ่มของน้ำหนักในช่วงเดือนสุดท้าย (วันที่ 126 - 140) ลดต่ำลง



ภาพที่ 4-23 การเติบโตของปลาแสดงด้วยความยาวและน้ำหนักปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

##### 4.2.4.2 ผลผลิตและอัตราแลกเนื้อ

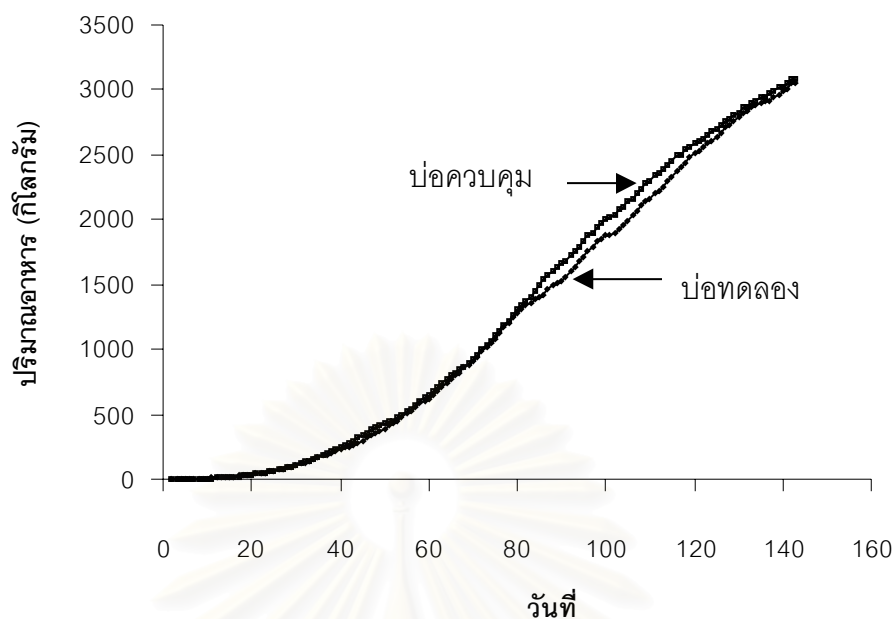
ผลการประเมินผลผลิตของปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลองพบว่ามีความใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4-1 โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ผลผลิตปลา 2,453.91 kg และ 2,429.80 kg ในบ่อควบคุมและในบ่อทดลองตามลำดับ สำหรับอัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ (FCR) ของปลา

ทั้งสองบ่อมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีอัตราการรอดร้อยละ 63.33 และ 65.17 โดยมีอัตราแลกเนื้อประมาณ 1.27 และ 1.24 และในระหว่างการทดลองพบจำนวนปลาที่ตายในบ่อควบคุมมีน้อยกว่าที่พบในบ่อทดลอง

**ตารางที่ 4-1** ผลผลิตปลาที่จับได้และการคำนวณอัตราแลกเนื้อของปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 140 วัน

	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กก./บ่อ)	5.95	5.99
น้ำหนักปลาที่จับได้ (กก./บ่อ)	2,453.9	2,429.8
น้ำหนักอาหารปลาที่ให้ (กก./บ่อ)	3,046.5	3,082.8
<b>อัตราแลกเนื้อ</b>	1.24	1.27
จำนวนปลาเริ่มต้น (ตัว/บ่อ)	10,000	10,000
จำนวนปลาที่จับได้ (ตัว/บ่อ)	6,517	6,333
จำนวนปลาตายที่พบ (ตัว)	94	134
<b>อัตราการรอด (ร้อยละ)</b>	65.17	63.33
อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ก./ตัว/วัน)	2.69	2.74
ผลผลิตปลา (กก./ม <sup>2</sup> (กก./ไร่))	2.73 (4,368)	2.70 (4,320)
น้ำหนักเฉลี่ยของปลาเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (ก./ตัว)	377.43	384.57





ภาพที่ 4-24 ปริมาณสะสมของอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลองระหว่างการทดลอง

#### 4.2.5 การประเมินสมดุลไนโตรเจน

การประเมินสมดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อ เริ่มจากการคำนวณปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (ตารางที่ 4-2) ปริมาณไนโตรเจนในอาหารปลาทั้งหมดที่ใช้ (ตารางที่ 4-3) และไนโตรเจนในปลา ณ เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง (ตาราง 4-4) เมื่อนำมาประมวลเข้าด้วยกันในตารางที่ 4-5 พบว่าในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีปริมาณไนโตรเจนขาออกจากบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ผลผลิตปลารวมกับไนโตรเจนในน้ำ) สูงกว่าไนโตรเจนขาเข้า (ไนโตรเจนในปลา น้ำ และในอาหาร) โดยค่าที่คำนวณได้จากบ่อทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-2 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

บ่อ		ปริมาณไนโตรเจน (kg/บ่อ)			
		แอมโมเนียม	ไนไตรต์	ไนเตรต	รวม
บ่อควบคุม	ก่อนทดลอง	0.00	0.0003	0.0037	0.0040
	สิ้นสุดการทดลอง	8.79	0.14	0.04	8.97
บ่อทดลอง	ก่อนทดลอง	0.00	0.0001	0.0027	0.0028
	สิ้นสุดการทดลอง	7.72	0.31	0.14	7.57

ตารางที่ 4-3 ปริมาณไนโตรเจนในอาหารในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

แหล่งของไนโตรเจน	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
%โปรตีนในอาหาร	31.69%	31.69%
ปริมาณอาหารสะสม (กก./บ่อ)	3,046.5	3,082.8
โปรตีนในอาหาร (กก./บ่อ)	965.44	976.94
ไนโตรเจนในอาหาร (กก./บ่อ)	154.47	156.31

ตารางที่ 4-4 ปริมาณไนโตรเจนในตัวปลาในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

	แหล่งของไนโตรเจน	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
เริ่มต้นการทดลอง	%โปรตีนในตัวปลา	48.87%	51.52%
	น้ำหนักแห้งปลาเริ่มต้น (กก./บ่อ)	0.99	0.99
	โปรตีนในตัวปลา (กก./บ่อ)	0.48	0.51
	ไนโตรเจนในตัวปลา (กก./บ่อ)	0.08	0.08
ผลผลิตที่ได้	%โปรตีนในตัวปลา	48.87%	51.52%
	น้ำหนักแห้งปลา (กก./บ่อ)	409.98	405.97
	โปรตีนในตัวปลา (กก./บ่อ)	200.36	209.15
	ไนโตรเจนในตัวปลา (กก./บ่อ)	32.06	33.46

ตารางที่ 4-5 ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบการเลี้ยงปลาในบ่อ

		บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
ขาเข้าระบบ	ไนโตรเจนในน้ำเมื่อเริ่มการทดลอง (กก./บ่อ)	0.0040	0.0028
	ไนโตรเจนในอาหารปลา (กก./บ่อ)	154.47	156.31
	ไนโตรเจนในปลา (กก./บ่อ)	0.08	0.08
	<b>รวมปริมาณไนโตรเจน (กก./บ่อ)</b>	<b>154.55</b>	<b>156.39</b>
ขาออกระบบ	ไนโตรเจนในน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง(กก./บ่อ)	8.97	7.57
	ไนโตรเจนในปลา (กก./บ่อ)	32.06	33.46
	<b>รวมปริมาณไนโตรเจน (กก./บ่อ)</b>	<b>41.03</b>	<b>41.03</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง

### 5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองในถังทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในการบำบัดแอมโมเนียในถังทดลอง 3 ถัง ซึ่งประกอบด้วย (1) ถังที่ไม่มีตัวกรองซึ่งจัดเป็นชุดควบคุม (2) ถังที่มีตัวกรองใหม่ และ (3) ถังที่มีตัวกรองชีวภาพซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างตัวกรองจากบ่อเลี้ยงปลาชุดทดลอง จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำในเบื้องต้น พบว่า สีของน้ำในถังที่ 1 และ 2 มีสีเขียวเข้มกว่าถังที่ 3 มาก เพราะเกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในถังทั้งสองอันเนื่องมาจากปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำซึ่งแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ในการเจริญเติบโตมีอยู่เป็นปริมาณมาก และจากการตรวจหาชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดการบลูมพบว่ามี *Ankistodesmus* เป็นชนิดเด่น แต่ในถังที่ 3 ไม่เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืช นอกจากนี้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าในถังที่ 3 มีไนไตรต์เกิดขึ้น รวมทั้งมีการสะสมของปริมาณไนเตรต ในขณะที่ในถังที่ 1 และ 2 ไม่พบการเกิดขึ้นของไนไตรต์และไนเตรต (ภาพที่ 4-4) จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นในถังที่ 3 ตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่อยู่ในบ่อปลาเป็นเวลา 1 เดือน มีความสามารถในการบำบัดแอมโมเนียในน้ำได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าจะมีการเติมแอมโมเนียเพิ่มเติมลงไปอีกถึงสองครั้ง ในชั่วโมงที่ 29 และ 58) และการบำบัดแอมโมเนียเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งกลางวันและกลางคืน อัตราการลดลงของแอมโมเนียมีค่าเป็น 12.83 และ 19.20 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l/day ตามลำดับ โดยสามารถคำนวณอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน ในถังทดลองขนาด 45 ลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 720 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m/day จะเห็นได้ว่าการลดลงของแอมโมเนียในครั้งที่ 3 มีอัตราช้าลงกว่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 มาก ซึ่งอาจเกิดมาจากสภาพที่ไม่เหมาะสมในถังทดลอง เช่น อัลคาลินิตีลดลงและในการทดลองไม่ได้มีการเติมอัลคาลินิตีเข้าสู่ระบบ หรือมีปัจจัยอื่นๆ เนื่องจากการเติมเฉพาะแอมโมเนียลงในน้ำเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตามมีการลดลงของแอมโมเนียเกิดขึ้นในถังที่ 1 และ 2 เพราะแพลงก์ตอนพืชสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ ซึ่งในภาพที่ 4-1 จะเห็นว่าน้ำในถังชุดควบคุมมีสีเขียวแตกต่างจากชุดทดลอง เนื่องมาจากปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและบางส่วนเกิดจากการระเหยไปในบรรยากาศ ในการทดลองของ Marina (1996) รายงานว่าการเกิดขึ้นของฟิล์มชีวภาพต้องใช้เวลาประมาณ 100 วันและการยึดติดกับผิวของตัวกลางในตอนเริ่มต้นจะเป็นแบบหลวม ๆ และหลังจากนั้น 20 วัน 80-100% ของฟิล์มชีวภาพจะเกิดการยึดติดแบบแน่น และจากการทดลองของ Otte และ Rosenthal (1979) พบ

ว่าต้องใช้เวลาประมาณ 1 เดือนเพื่อให้โคโลนีของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียเกาะตัวอย่างมั่นคงก่อน จึงจะสามารถทำการบำบัดไนโตรเจนในระบบที่มีค่า 2.7 มก./ลิตร ให้ลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 1 มก./ลิตร เช่นเดียวกับรายงานของ Zohar *et al.* (1988) ที่พบว่าปริมาณของแอมโมเนียและไนไตรต์มีค่าสูงในช่วง 6 สัปดาห์แรกของการทดลองซึ่งเป็นช่วงก่อนที่จะมีการจับกันอย่างมั่นคงของไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย ดังนั้นถึงแม้ในถังที่ 2 จะมีตัวกรองชีวภาพอยู่เช่นกัน แต่ตัวกรองนั้นยังไม่มีฟิล์มชีวภาพเกิดขึ้น ผลการทดลองการบำบัดแอมโมเนียในถังที่ 2 และ 3 จึงแตกต่างกัน

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาไนโตรฟิกชัน ปริมาณไนไตรต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียที่ลดลง เนื่องจากแอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ จึงทำให้ความเข้มข้นของไนไตรต์มีเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากในช่วงแรกของการทดลองในถังที่ 3 (ที่มีตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่ในบ่อเลี้ยงปลาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน) ที่ปริมาณไนไตรต์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณสูงสุดในชั่วโมงที่ 91 ( $12.26 \text{ mg NO}_2^-/\text{N/l}$ ) ดังแสดงในภาพที่ 5-1 และต่อจากนั้นความเข้มข้นของไนเตรตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อแอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์แล้วก็จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นไนเตรต ดังนั้นความเข้มข้นของไนเตรตในถังที่ 3 จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ( $0.28 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/l}$ ) จนเพิ่มเป็น  $15.92 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/l}$  เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณของสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปทั้งหมด ( $16.78 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/l}$ ) ดังนั้นปริมาณไนเตรตในน้ำจึงสามารถสรุปได้ว่ามาจากกรณีที่แอมโมเนียที่เติมลงในน้ำถูกเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปของไนเตรตโดยกระบวนการไนโตรฟิกชัน และเมื่อนำข้อมูลจากภาพ 4-4 มาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมของแต่ละถัง (ภาพที่ 5-1) จะพบว่าไนโตรเจนรวมในน้ำของถังที่ 1 และ 2 จะลดลง แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนหายไปจากน้ำเข้าไปอยู่ในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่ในถังที่ 3 มีการสะสมของไนโตรเจนรวมเกิดขึ้นตามปริมาณแอมโมเนียที่เติมลงในถัง แสดงว่าเกิดจากปฏิกิริยาไนโตรฟิกชัน ส่วนความเข้มข้นของไนเตรตในถังที่ 1 และ 2 มีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ 3 คือ อยู่ในช่วง  $0.12\text{-}1.13 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/l}$  ในถังที่ 1 และ  $0.01\text{-}0.99 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/l}$  ในถังที่ 2 นั่นคือการเปลี่ยนแอมโมเนียให้มาอยู่ในรูปของไนเตรตเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดกระบวนการไนโตรฟิกชันในถังที่ 1 และ 2

กระบวนการไนโตรฟิกชันเป็นกระบวนการที่อาศัยแบคทีเรียชนิดออโตโทรฟิก (Autotrophic Bacteria) เป็นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียชนิดเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic Bacteria) ที่เติบโตได้เร็วและเกาะติดกับตัวกลางได้เร็วกว่าไนโตรไฟอิงแบคทีเรียซึ่งเป็นชนิดออโตโทรฟิก (เกรียงศักดิ์, 2539) จากรายงานของ Furumai และ Rittmann (2002) กล่าวว่าแบคทีเรียชนิดออโตโทรฟิกชนิดอื่นๆ จะพบได้ที่ผิวด้านนอกของฟิล์มชีวภาพ ส่วนไนโตรไฟอิงแบคทีเรียจะพบบริเวณด้านล่างลงไปด้านในของฟิล์มชีวภาพ นอกจากนี้ Fabino *et al.* (2002) รายงานว่าการเกิดฟิล์มชีวภาพจะเริ่มต้นด้วยการเกิดของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก (0–

$1.48 \times 10^7$ /มก.ของฟิล์มชีวภาพ) หลังจากนั้นแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกชนิด filamentous จะเกิดขึ้นตามมา

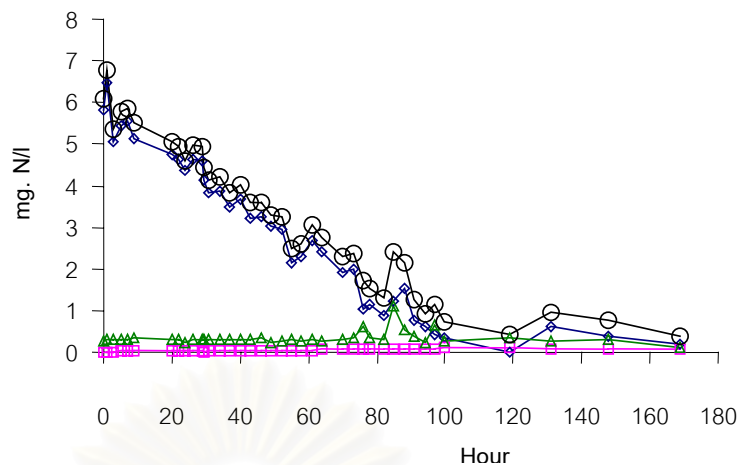
นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ที่พบว่าเป็นชนิดเด่นบนฟิล์มชีวภาพได้แก่ pennate diatom (*Amphora*, *Campylopyxis*, *Navicula*, *Sinedra*, *Hantzschia Gyrosigma* และ *Cylindrotheca*) และ filamentous cyanobacteria (*Oscillatoria* และ *Spirulina*) หรือแม้แต่แบคทีเรียชนิดอื่นๆ หรือ flagellates และ ciliates ด้วย (Otte และ Rosenthal, 1979) และการทดลองของ Shrestha และ Knud-Hansen (1994) ใช้วัสดุยึดเกาะสำหรับแบคทีเรียเป็นแผ่นพลาสติกขนาดเล็กต่อกันเป็นแผง พบสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เกาะอยู่ คือ *Cosmarium*, *Coelastrum*, *Scenedesmus*, *Anabaena*, *Nostoc* และ *Anacystis* จากการทดลองชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบบนฟิล์มชีวภาพคือ แพลงก์ตอนพืชชนิด pennate diatom, *Euglena* sp.1 แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์ขนาดเล็ก เช่น หนอนแดง และตัวอ่อนของแมลงบางชนิดอาศัยอยู่



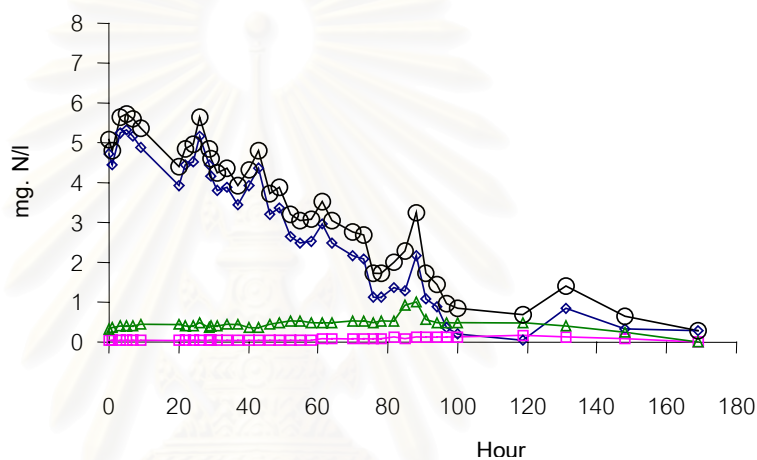
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



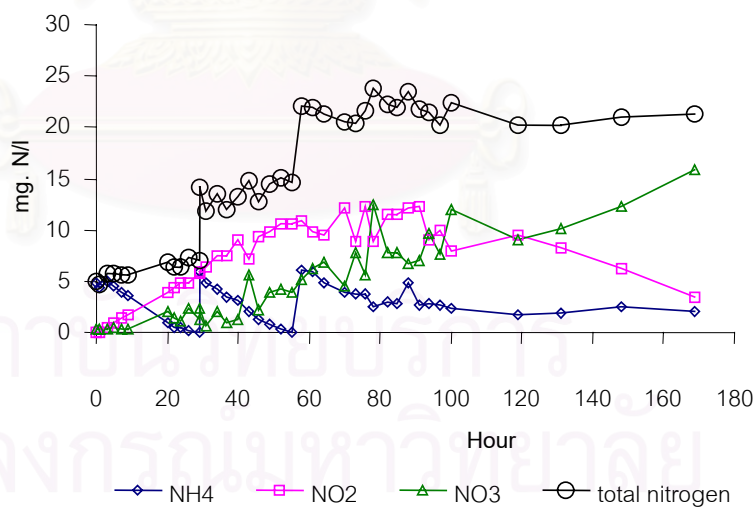
(ก.)



(ข.)



(ค.)



ภาพที่ 5-1 ก-ค ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจนและผลรวมของอนินทรีย์ไนโตรเจน ในถังทดลองที่ไม่มีตัวกรองซึ่งจัดเป็นชุดควบคุม (รูป ก) ถึงที่มีตัวกรองใหม่ (รูป ข) และถึงที่มีตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการแช่ในบ่อเลี้ยงปลามาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน (รูป ค) ตามลำดับ

## 5.2 การทดสอบการใช้ตัวกรองในบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมแบบหนาแน่น

### 5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทั่วไป

#### 5.2.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำตลอดการทดลองเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ขึ้นกับสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ อุณหภูมิของน้ำมีความสำคัญต่อปลาที่เลี้ยง โดยอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลา เช่น การย่อยอาหาร การกินอาหาร การเคลื่อนไหว การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการละลายของแก๊สต่างๆ ในน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน ซึ่งโดยทั่วไปหากอุณหภูมิสูงจะทำให้แก๊สชนิดต่างๆ สามารถละลายน้ำได้น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าไนตริไฟอิงแบคทีเรียสามารถเจริญได้ภายใต้อุณหภูมิในช่วง 8-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 30 องศาเซลเซียส (Hitdlebaugh and Miller, 1981 อ้างถึงใน Bitton, 1994) ส่วนมันดินและไพพรอน (2536) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีค่าอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ระหว่างการทดลองก็มีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

ปลาแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกันไป ปลานิลสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง 21.1-42.0 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 5-1) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 19-28 องศาเซลเซียส (มานพ, 2536) และจากการทดลองผลของอุณหภูมิที่วัดได้แสดงในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก และดังภาพที่ 4-6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในบ่อทดลองทั้งสองบ่อ ณ เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง (ประมาณ 11.00 น.) มีค่าอยู่ระหว่าง 25.9-32.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ปลานิลสามารถทนได้ และไม่เป็นอุปสรรคต่อการกินอาหารของปลา เพราะปลานิลจะกินอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่า 24 องศาเซลเซียส (มานพ, 2536)

อุณหภูมิของน้ำในทั้งสองบ่อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามฤดูกาล โดยมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปลายเดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นมา ในวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2545 วัดอุณหภูมิของน้ำขณะเก็บตัวอย่างได้ 30.5 องศาเซลเซียส หากพิจารณาถึงอุณหภูมิเพียงปัจจัยเดียวก็จะเห็นว่าเป็นช่วงที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีผลทำให้ปลาอยู่ในภาวะเครียดและอุณหภูมียังส่งผลต่อพารามิเตอร์อื่นๆ ในน้ำซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติบางประการของน้ำที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุทำให้ปลาตายได้ โดยมีจำนวนปลาตายสูงสุดเกิดขึ้นในบ่อทดลอง มีจำนวน 29 ตัว ในวันที่ 6 เมษายน 2545 และจำนวนปลาตายสูงสุดในบ่อควบคุม มีจำนวน 14 ตัว

ในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2545 ด้วยเหตุนี้หากทำการเลี้ยงต่อไปอาจมีผลกระทบต่อผลผลิตปลาและเพราะปลาที่มีขนาดที่ตลาดต้องการแล้ว จึงยุติการเลี้ยงในวันที่ 8 เมษายน 2545 รวมระยะเวลาการเลี้ยงทั้งหมด 140 วัน

### 5.2.1.2 พีเอช

จากการทดลองพบว่าในบ่อชุดทดลองมีแนวโน้มของค่าพีเอชที่ต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ค่าพีเอชในระบบลดลง คือ (1) การผลิตกรดของแบคทีเรียจากระบวนการไนตริฟิเคชัน และ (2) การเกิดกรดคาร์บอนิก เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการหายใจของปลา สิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แบคทีเรียและแพลงก์ตอนในบ่อ (Al-Hafedh *et al.*, 2003) หากพิจารณาถึงปลาและแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ในทั้งสองบ่อที่มีปริมาณใกล้เคียงกันแล้ว ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจจึงน่าจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มค่าพีเอชของบ่อควบคุมที่มีค่าต่ำกว่าจึงน่าจะมาจากกิจกรรมของแบคทีเรียที่มีอยู่มากที่ตัวกรองชีวภาพในบ่อทดลอง คือ การเกิด  $H^+$  จากระบวนการไนตริฟิเคชันและการหายใจของแบคทีเรีย

ค่าพีเอชที่ใช้แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำนั้น เป็นค่าคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญต่อระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะพีเอชมีความเกี่ยวข้องกับหลาย ๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ กระบวนการต่างๆอาจเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือไม่อาจเกิดขึ้นได้หากค่าพีเอชในระบบไม่เหมาะสม เช่น ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาคอรรมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 และ 8.0 และหากพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.8 จะมีผลยับยั้งการทำงานของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย นอกจากนี้การที่ปลาจะมีสุขภาพดีและสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ก็เกี่ยวข้องกับค่าพีเอชด้วยเช่นกัน (Michael *et al.*, 1995 อ้างถึงใน Al-Hafedh *et al.*, 2003, Jones และ Paskins, 1982, Painter และ Locless, 1983, Antoniou *et al.*, 1990) และจากการศึกษาของ Alleman (1984) รายงานว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อ *Nitrosomonas* มีค่าระหว่าง 7.9-8.2 และ *Nitrobacter* มีค่าระหว่าง 7.2-7.6 ส่วนปลานิลสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 7.2-8.3 ส่วนในช่วงพีเอช 4-6 และ 9-11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ (มานพ, 2536)

ดังนั้นจากค่าที่สรุปไว้ใน ตารางที่ 5-1 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาและไม่เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

### 5.2.1.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ตลอดระยะเวลาการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย แม้ว่าในบ่อทั้งสองจะมีการพ่นอากาศผ่านหัวทรายในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งความโปร่งแสงของน้ำ ปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในบ่อทดลองซึ่งมีค่าต่ำกว่าจึงน่าจะเป็นผลมาจากความจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในกิจกรรมต่าง ๆ ของแบคทีเรียที่มีอยู่มากที่ตัวกรองชีวภาพในบ่อทดลอง จากภาพที่ 4-8 สังเกตได้ว่าในวันที่ 112 ของการทดลอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำ เนื่องจากในขณะทำการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำนั้นไม่มีแสงแดดและมีเมฆค่อนข้างมาก จึงทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้ไม่ดี ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำแม้จะวัดตอนประมาณ 11.00 น. เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงปลาของม้านสินและไพพรรณ (2539) พบว่าค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำเช่นนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเช้าตรู่ แสดงว่าในน้ำมีกิจกรรมของแบคทีเรียอยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) ในน้ำที่มีค่าค่อนข้างสูง

ความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สออกซิเจนขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความดันอากาศ และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น ในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก และดังภาพที่ 4-8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อช่วงเริ่มต้นการทดลองจนถึงวันที่ 27 ของการทดลอง ค่าออกซิเจนละลายน้ำของบ่อทดลองทั้งสองมีค่าสูงกว่าช่วงท้ายการทดลอง เนื่องจากช่วงแรกของการเลี้ยงปลายังมีของเสีย เช่น ของเสียจากการขับถ่ายของปลา อาหารที่ปลากินไม่หมด ซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สะสมอยู่ในบ่อไม่มากนัก จึงมีการใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสิ่งเหล่านี้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าบีโอดีที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงท้ายการทดลอง (ภาพที่ 4-12)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญมากในการเลี้ยงปลาระบบปิด เนื่องจากปลาต้องใช้ในการหายใจและสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องในการบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อ เช่น ไนตริไฟอิงแบคทีเรียก็ต้องใช้ในการหายใจและใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันด้วย ถ้าจะให้กระบวนการไนตริฟิเคชันประสบความสำเร็จ ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่ควรต่ำกว่า 2 มก./ลิตร แต่ยอมรับได้ถึง 1 มก./ลิตร (Bitton, 1994) ดังนั้นในน้ำย่อมจะขาดออกซิเจนไม่ได้ โดยปกติแล้วปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เหมาะสมสำหรับปลานิลจะอยู่ระหว่าง 5 มก./ลิตร จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าหากปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำอยู่เป็นระยะเวลานาน ทำให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตไม่ดีและพบว่าถ้าต่ำกว่า 1 มก./ลิตร ปลาจะตายภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง (มานพ, 2536)

จากค่าออกซิเจนละลายน้ำของบ่อทั้งสองในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย คือมีค่าเป็น 5.96 มก./ลิตร ในบ่อ

ควมคุมและ 5.60 มก./ลิตรในบ่อดลองและเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับปลานิลหรือปลาทบทีม ยกเว้นในวันที่มีการลดลงของแพลงก์ตอน (วันที่ 112) ค่าออกซิเจนละลายมีค่าลดลงน้อยกว่า 5 มก./ลิตรทั้งสองบ่อ คือ ค่าออกซิเจนละลายในบ่อดลองและบ่อควบคุมเป็น 2.54 และ 3.30 มก./ลิตรและเป็นค่าที่ไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้

#### 5.2.1.4 ความโปร่งแสงของน้ำ

ค่าความโปร่งแสงของน้ำที่วัดโดยวิธี Secchi Disc ในบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 18-45 ซม. ในบ่อดลองมีค่า 23-45 ซม. โดยความขุ่นส่วนใหญ่ในบ่อเลี้ยงปลาเกิดจากแพลงก์ตอนที่อยู่ในน้ำ ค่าที่วัดได้มีค่าลดลงและในขณะเดียวกันก็มีตะกอนแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นด้วย (ภาพที่ 4-14) หากวัดค่าความโปร่งแสงของน้ำได้ประมาณ 30-80 ซม. แสดงว่าน้ำมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชอุดมสมบูรณ์และขุ่นถึงระดับที่พืชน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ หากมีค่าต่ำกว่า 30 ซม. แสดงว่าแพลงก์ตอนพืชมีมากเกินไปและมีโอกาสเกิดการขาดแคลนออกซิเจนได้ (มันลินและไพพรรณ, 2539)

#### 5.2.1.5 อัลคาลินิตี

จากภาพที่ 4-10 พบว่าค่าอัลคาลินิตี มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการทดลองในบ่อดลองทั้งสอง ตามปกติการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในแหล่งน้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชเป็นปริมาณหนาแน่น มีผลทำให้อัลคาลินิตีมีค่าลดลง แต่ถ้าในบ่อมีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น โดยเฉพาะที่ตะกอนพื้นบ่อ ก็อาจทำให้อัลคาลินิตีมีค่าเพิ่มขึ้นได้

ในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะมีการบริโภคอัลคาลินิตีในบ่อ ดังนั้นค่าอัลคาลินิตีควรมีค่าตั้งแต่ 50 mg CaCO<sub>3</sub>/l ขึ้นไป และจากการทดลองพบว่าค่าอัลคาลินิตีในบ่อดลองทั้งสองมีค่าค่อนข้างสูง ในบ่อควบคุมมีค่า 71.67-240.08 mg CaCO<sub>3</sub>/l และในบ่อดลองมีค่า 77.50-241.00 mg CaCO<sub>3</sub>/l ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง จึงสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่า พีเอช เมื่อเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้

#### 5.2.1.6 ความกระด้าง

น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาควรมีค่าความกระด้างปานกลาง (75-150 มก./ลิตร) หรือสูง (150-300 มก./ลิตร) จึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (ไมตรีและจาวรพรรณ, 2528)



ความกระด้างของน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 452.51 ถึง 558.24 mg CaCO<sub>3</sub>/l และ 529.06 ถึง 653.03 mg CaCO<sub>3</sub>/l ตามลำดับซึ่งจัดว่าเป็นน้ำที่มีค่าความกระด้างสูง น้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีค่าความเป็นด่างและความกระด้างอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน จากการทดลองอัลคาลินิตีของน้ำค่อนข้างมีค่าสูงดังนั้นระบบบัพเพอร์รี่ในน้ำจึงพอเพียงในการสะเทิน H<sup>+</sup> ที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หากแต่ค่าความกระด้างของน้ำมีค่าสูงกว่าอัลคาลินิตีประมาณ 3 เท่า

#### 5.2.1.7 ค่าบีโอดี

ค่าบีโอดีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยค่าบีโอดีเริ่มต้นของบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 5 มก./ลิตร) ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพในบ่อมีสาเหตุมาจากความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่เกิดขึ้นในบ่อ เช่น แผลงก์ตอน อาหารที่เหลือจากการกินของปลา ของเสียจากการขับถ่ายของปลา หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าบีโอดีใช้สำหรับวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ (มันส์และไพพอร์น, 2536) เมื่อเลี้ยงปลาไประยะหนึ่งอินทรีย์สารต่างๆ เกิดขึ้นมากเป็นลำดับ ดังนั้นความต้องการออกซิเจนของบ่อทดลองทั้งสองจึงสูงขึ้น และมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานสำหรับน้ำที่มีคุณภาพดี (20 mg O<sub>2</sub>/l) ในบางสัปดาห์ที่ทำการตรวจวัด ในบ่อควบคุม ค่า BOD ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานมี 3 ครั้ง คือ 20.13 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 58 ของการเลี้ยง) 31.13 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 83 ของการเลี้ยง) และ 24.50 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 112 ของการเลี้ยง) ในบ่อทดลอง ค่า BOD ที่สูงกว่า 20 mg O<sub>2</sub>/l 3 ครั้ง คือ 23.00 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 112 ของการเลี้ยง) 24.75 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 126 ของการเลี้ยง) และ 20.25 mg O<sub>2</sub>/l (วันที่ 140 ของการเลี้ยง)

#### 5.2.1.8 ค่าซีโอดี

การวัดปริมาณอินทรีย์สารในบ่อปลาด้วยค่าบีโอดีอาจไม่เหมาะสมและไม่ถูกต้อง เนื่องจากมีการใช้ออกซิเจนของแผลงก์ตอนเกิดขึ้นภายในขวดวัดบีโอดี ซีโอดีน่าจะเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงปริมาณอินทรีย์สารได้ดีกว่า เนื่องจากอินทรีย์สารส่วนใหญ่ในบ่อเลี้ยงปลามักจะเป็นแผลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นแหล่งของสารอินทรีย์คาร์บอนหรือซีโอดีที่มากกว่าของเสียที่เกิดจากอาหารปลาโดยตรงถึง 5 เท่า (มันส์และไพพอร์น, 2536) ค่าซีโอดีในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ค่าซีโอดีในบ่อควบคุมมีค่าสูงสุด (151.67 mgO<sub>2</sub> /l) ในวันที่ 83 และในบ่อทดลองมีค่าสูงสุดเป็น 191.67 mgO<sub>2</sub> /l ในวันที่ 112 ของการทดลอง ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับค่าบี



โอดีที่มีค่าค่อนข้างสูงในวันดังกล่าว อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อทดลองทั้งสองบ่อพบว่า เป็นช่วงที่มีการลดลงของจำนวนแพลงก์ตอนหลังเกิดการบลูมในช่วง 2 สัปดาห์ก่อนหน้านั้น ดังนั้นการตายแพลงก์ตอนมีผลต่อค่าซีโอดีที่สูงขึ้น

จากการศึกษาถึงประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าพีเอชและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา รวมทั้งค่าอัลคาลินิตีและความกระด้างที่มีผลต่อปลาทางอ้อม ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5 - 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป

พารามิเตอร์	ปริมาณในบ่อ		ค่าที่เหมาะสม	อ้างอิง
	ควบคุม	ทดลอง		
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			19-28	มานพ (2536)
ค่าสูงสุด	32.65	32.70	23-32	กรมควบคุมมลพิษ (2540) (สัตว์น้ำจืดทั่วไป)
ค่าต่ำสุด	26.00	25.90		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	28.51	28.52	28-30	Balarin และ Haller (1982)
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	32.65	32.70		อ้างอิงใน delos Reyes <i>et al.</i> (1996)
2. พีเอช			7.2 - 8.3	มานพ (2536)
ค่าสูงสุด	8.24	8.36	5-9	กรมควบคุมมลพิษ (2540) (สัตว์น้ำจืดทั่วไป)
ค่าต่ำสุด	7.09	6.95		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	7.63	7.56	6.5-8.5	ทัศนีย์ (2524)อ้างอิงใน ทิพวรรณ (2530)
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	7.34	7.34	7-8	Chervinski (1982) อ้างอิงใน delos Reyes <i>et al.</i> (1996)
3. ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ลิตร)			5 จนถึงจุดอิ่มตัว $\geq 3$	มานพ (2536) กรมควบคุมมลพิษ (2540) (สัตว์น้ำทั่วไป)
ค่าสูงสุด	8.06	8.87		
ค่าต่ำสุด	3.30	2.54		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	5.96	5.60		
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	5.73	5.91		

ตารางที่ 5 - 1 (ต่อ) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป

พารามิเตอร์	ปริมาณในบ่อ		ค่าที่เหมาะสม	อ้างอิง
	ควบคุม	ทดลอง		
4. ความโปร่งแสงของน้ำ (cm)			30-60	กรมควบคุมมลพิษ (2540) (สัตว์น้ำทั่วไป)
ค่าสูงสุด	45	45		
ค่าต่ำสุด	18	23		
5. ค่าอัลคาลินิตี (mg CaCO <sub>3</sub> /l)			100-120	ไมตรีและจรรยาธรณ (2528) (สัตว์น้ำทั่วไป)
ค่าสูงสุด	240.08	241.00		
ค่าต่ำสุด	71.67	77.50	200-300	Wetzel (1975) อ้างถึงในทิพวรรณ (2530) (ปลาน้ำจืดทั่วไป)
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	145.17	140.65		
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	233.25	241.00		
6. ความกระด้าง (mg CaCO <sub>3</sub> /l)			75-300	ไมตรีและจรรยาธรณ (2528) (สัตว์น้ำทั่วไป)
ค่าสูงสุด	558.24	653.03		
ค่าต่ำสุด	54.02	37.35		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	408.87	458.26		
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	530.78	619.54		

## 5.2.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในบ่อ

### 5.2.2.1 สารอนินทรีย์ไนโตรเจน

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองทั้งสอง พบการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้นทั้งในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยช่วงแรกจะมีปริมาณแอมโมเนียสะสมในทั้งสองบ่อไม่มากนักจนกระทั่งหลังจากวันที่ 27 ซึ่งปลามีการเติบโตขึ้นและปริมาณอาหารที่ให้มากขึ้นตามน้ำหนักของปลาทำให้มีการขับถ่ายของปลา มีอาหารที่เหลือจากการกินของปลา และจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตในบ่อเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในบ่อทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0- 6.71 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l มีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณแอมโมเนียในบ่อควบคุมที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-8.28 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ตลอดการทดลอง โดยความแตกต่างจะเห็นได้อย่างชัดเจนหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลอง และหากพิจารณาปริมาณแพลงก์ตอนพืชในทั้งสองบ่อที่มีค่าไม่แตก

ต่างกัน (ตารางก-11 และ ก-12 ในภาคผนวก ก) ดังนั้นการนำแอมโมเนียมไปใช้ของแพลงก์ตอนจึงน่าจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียมที่มีแนวโน้มต่ำกว่าของบ่อทดลองนั้นจึงน่าจะมาจากปัจจัยอื่น และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนรวมด้วย พบว่ามีความเข้มข้นของไนโตรเจนในบ่อชุดทดลอง (0.00-1.02 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l) สูงกว่าบ่อควบคุม (0.00-0.32 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l) โดยในช่วงแรกของการทดลองยังไม่มีไนโตรเจนเกิดขึ้นในทั้งสองบ่อ จนกระทั่งถึงวันที่ 58 ของการทดลองจึงเริ่มมีไนโตรเจนเกิดขึ้น และความเข้มข้นของไนโตรเจนในบ่อทดลองเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.02 มก./ลิตร และหลังจากนั้นความเข้มข้นของไนโตรเจนจึงลดลง แสดงให้เห็นว่าการที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าที่พบในบ่อชุดควบคุมเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นที่ตัวกรองชีวภาพ ซึ่งทำการเปลี่ยนแอมโมเนียมให้เป็นไนเตรตและเป็นไนเตรตในที่สุด ส่วนไนบ่อควบคุมปริมาณของไนโตรเจนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับบ่อทดลองแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า สอดคล้องกับการเติบโตของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการไนตริฟิเคชันบนพื้นผิวของตัวกรองชีวภาพในบ่อทดลองซึ่งเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวให้แบคทีเรียเกาะได้มากทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียจนเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพขึ้นจึงเป็นตัวช่วยให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ดีขึ้น แต่จากภาพที่ 4-14 ข. สังเกตได้ว่าประมาณ 7 สัปดาห์หลังจากเริ่มการทดลองปริมาณไนโตรเจนจึงมีการลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Otte และ Rosenthal (1979) ที่พบว่าต้องใช้เวลาประมาณ 1 เดือนเพื่อให้โคโลนีของไนตริไฟอิงแบคทีเรียเกาะตัวอย่างมั่นคงที่ตัวกลาง นอกจากนี้ Otte และ Rosenthal (1979) และ Zohar *et al.* (1988) พบว่าระยะเวลา ประมาณ 4-6 สัปดาห์แอกทิวิตีของไนตริไฟอิงแบคทีเรียจึงจะเริ่มเกิดขึ้น

เริ่มมีการเกิดไนเตรตขึ้นในบ่อทั้งสองในวันที่ 58 ของการทดลองแต่ไม่มีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้น (ภาพที่ 4-14) เนื่องจากไนเตรตในน้ำจะถูกแพลงก์ตอนพืชใช้เป็นสารอาหารในการเติบโต และส่วนหนึ่งถูกกำจัดออกจากบ่อไปโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ที่ตะกอนพื้นบ่อ โดยพบว่าตัวอย่างตะกอนพื้นบ่อมีสีดำและมีกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพที่ 5-2) การเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรตแสดงดังตารางที่ ก-2 ในภาคผนวก

ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5-2 สีสดำของดินตะกอนพื้นบ่อ

กระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในบ่อทดลองส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียมในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าในบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $t$ -test,  $P < 0.05$ ) ในวันที่ 41, 58, 83, 97, 112, 126 และ 140 ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนและไนเตรตที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่สอดคล้องและสนับสนุนการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในบ่อทดลอง ได้แก่

**พีเอช** ในช่วงวันที่ 69 – 97 ในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าในบ่อควบคุม อาจเนื่องมาจากในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะได้  $H^+$  ออกมาเป็นผลผลิต ดังนั้น พีเอช ของน้ำในบ่อทดลองจึงมีค่าต่ำลงและต่ำกว่าในบ่อควบคุม

**ปริมาณออกซิเจนละลาย** ในบ่อทดลองซึ่งเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันดังนั้นออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจึงถูกดึงไปใช้ในกระบวนการดังกล่าว ซึ่งเป็นผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุม แม้ว่าในบ่อทั้งสองจะมีการพ่นอากาศผ่านหัวทรายในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

**ค่าอัลคาไลน์ตี** ถึงแม้ค่าอัลคาไลน์ตีในบ่อทั้งสองมีแนวโน้มของการเพิ่มไม่แตกต่างกันแต่ในช่วงวันที่ 69 – 97 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงและมีความแตกต่างของสารอาหารในบ่อทั้งสองเป็นอย่างมาก ค่าอัลคาไลน์ตีในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุม

นอกจากนี้ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่ตรวจนับได้ในบ่อทั้งสองมีจำนวนไม่แตกต่างกัน ( $t$ -test,  $p = 0.74$ ) คือ มีจำนวน  $78 \times 10^8$  และ  $87 \times 10^8$  เซลล์ ในบ่อทดลองและบ่อควบคุม

ตามลำดับ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวันที่ 69 จนถึงเมื่อสิ้นสุดการทดลองซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณแอมโมเนียมที่ตรวจวัดได้ในบ่อทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่พบในทดลองมีจำนวน  $63 \times 10^8$  เซลล์ และ ในบ่อควบคุมมีจำนวน  $69 \times 10^8$  เซลล์ ดังนั้นการลดลงของแอมโมเนียมในบ่อทดลองจึงไม่น่าจะต่างกันเนื่องจากถูกนำไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช

ในการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น ต้องมีการให้อาหารปลาอย่างเต็มที่ประกอบกับการขับถ่ายของปลาก็มีปริมาณมากด้วย การสะสมของของเสียเหล่านี้จะเกิดมากขึ้นเรื่อยๆในบ่อ โดยธรรมชาติแล้วสิ่งมีชีวิตต่างๆในน้ำจะมีความสามารถในการใช้ของเสียเหล่านั้นเพื่อการเจริญเติบโตได้ หากแต่การเพิ่มตัวกรองชีวภาพเข้าไปในระบบการเพาะเลี้ยงจะช่วยให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 5-2 ได้สรุปปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อปลาในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 2 บ่อ พร้อมทั้งค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการให้อาหารปลา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5-2 ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

พารามิเตอร์	ปริมาณในบ่อ		ค่าที่เหมาะสม (mgN/l)	อ้างอิง
	ควบคุม	ทดลอง		
1. แอมโมเนียม (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/l )			ไม่เกิน 1	Lawson (1995), van Rijn และ Rivera (1990 )อ้างอิงถึงใน Al-Hafedh <i>et al.</i> (2003) ไนโตรและจากรูวรรณ (2528), มานพ (2536) มั่นสินและไพพรรณ (2536)
ค่าสูงสุด	8.28	6.71		
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	2.34	1.54	NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> ไม่เกิน 0.02	
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	8.14	6.59	NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> ไม่เกิน 0.025	
2. ไนไตรต์ (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/l )			ไม่เกิน 0.5	Ebeling <i>et al.</i> (1993)อ้างอิงถึงใน Al-Hafedh <i>et al.</i> (2003) Balarin และ Haller (1979) อ้างถึงโดย พรพันธ์ (2538)
ค่าสูงสุด	0.32	1.02		
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00	0.45-2.1	
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	0.13	0.33		
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	0.13	0.29		
3. ไนเตรต (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/l )			> 100	Ebeling <i>et al.</i> (1993) อ้างถึงใน Al-Hafedh <i>et al.</i> (2003)
ค่าสูงสุด	0.08	0.27		
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00		
ค่าเฉลี่ยวันที่(1-126)	0.04	0.10		
ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	0.04	0.13		

ปริมาณแอมโมเนียมเฉลี่ยตลอดการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลองของน้ำในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าในบ่อควบคุม และเกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตรต์ขึ้นในบ่อทดลองอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ แต่ในช่วงท้ายของการทดลองมีการสะสมของแอมโมเนียมมากขึ้นเป็นลำดับจนสูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสม ( 1 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ) ในการเลี้ยงปลาไปมาก คือ มีค่า 8.14 และ 6.59 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l ในบ่อควบคุมและทดลองตามลำดับ ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมากเกินกว่าประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพจะทำการบำบัดได้ ในขณะที่รายงานของ Ridha และ Cruz (2001) ซึ่งทำการทดสอบบ่อดักตัวกรองชีวภาพที่ทำจากพลาสติกเช่นเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนรวมในบ่อที่ใช้เม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนและชนิดพอลิเอทิลีนบดอัดเป็นที่เกาะของแบคทีเรียมีค่าเป็น 1.93 และ 1.86 มก./ลิตรตามลำดับ และการศึกษาของ Al-Hafedh *et al.* (2003) ซึ่งเปรียบเทียบตัวกลางพลาสติก 3 ชนิด คือ พลาสติกทรงกระบอก Scrub pads และ PVC pipes พบว่าค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน



รวมของน้ำขาออกที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็น 0.65 0.69 และ 0.67 มก./ลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียจากการทดลองครั้งนี้ก็มีค่าต่ำกว่าค่า LC 50 ที่ 96 ชั่วโมง ของแอมโมเนียไนโตรเจนรวมในปลาชนิดแดงที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.64 ก. ซึ่งมีค่าเป็น 88.2 มก./ลิตร (Hassan, 1992 อ้างถึงใน Ridha และ Cruz, 2001)

ไนโตรต์เป็นผลที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ขั้นที่ 1 โดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนโตรต์ การสะสมตัวของไนโตรต์ในน้ำเป็นพิษต่อปลาอย่างมาก เนื่องจากไนโตรต์ไปออกซิไดซ์เหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเลือดปลาได้เมทธิโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่ได้รับไนโตรต์จึงไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ เนื่องจากขาดออกซิเจน ความเข้มข้นของไนโตรต์ที่ปลาสามารถทนได้มีค่าไม่สูงกว่า 0.5 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l ค่าไนโตรต์ในบ่อทดลองมีค่าสูงกว่าในบ่อควบคุม เนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้น แต่ปริมาณไนโตรต์ในทั้งสองบ่อมีค่าต่ำกว่า 0.5 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l ยกเว้นในบ่อทดลองในช่วงที่มีการสะสมของไนโตรต์สูงสุดซึ่งมีค่าสูงระหว่าง 0.63-1.02 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l จากการทดลองนี้ค่าเฉลี่ยของไนโตรต์ที่วิเคราะห์ได้มีค่า 0.33 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/l ซึ่งต่ำกว่าค่าไนโตรต์จากรายงานของ Ridha และ Cruz (2001) โดยค่าเฉลี่ยของไนโตรต์ในบ่อที่ใช้เม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนและชนิดพอลิเอทิลีนบดออกเป็นทีเกาะของแบคทีเรียมีค่าเป็น 0.59 และ 0.72 มก./ลิตร.ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าในการศึกษาของ Al-Hafedh *et al.* (2003) ซึ่งเปรียบเทียบตัวกลางพลาสติก 3 ชนิด คือ พลาสติกทรงกระบอก Scrub pads และ PVC pipes พบว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรต์ของน้ำขาออกที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็น 0.16 0.18 และ 0.22 มก./ลิตร ตามลำดับ

ปริมาณไนเตรตในน้ำของทั้งสองบ่อมีค่าต่ำมาก และไม่มีการสะสมของไนเตรตในน้ำ การที่ปริมาณไนเตรตในน้ำมีค่าต่ำ อาจมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นน้อยหรือไนเตรตถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ดินตะกอนพื้นบ่อ แต่จากการทดลองนี้เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากอาหารปลาที่ให้และปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อพบว่ามีความโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเกิดของแอมโมเนียเป็นเพราะอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อ และอีกทั้งพบการสะสมของแอมโมเนียในบ่อ (ภาพที่ 4-14 ก) จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นน้อยหรือเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ คือแอมโมเนียควรถูกออกซิไดซ์ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นไนเตรต แต่ในบางกรณีการออกซิเดชันได้เพียงไนโตรต์เท่านั้น

### 5.2.2.2 สารประกอบฟอสฟอรัส

จากการทดลองค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของบ่อทั้งสองเท่ากับ 0.01 มก./ลิตร ปริมาณออกซิฟอสเฟตในน้ำมีค่าต่ำเพราะแพลงก์ตอนพืชมีความสามารถในการดูดซับออกซิฟอสเฟตได้รวดเร็วมากและอาจมีการดูดซับฟอสเฟตมากเกินไปกว่าความต้องการใช้เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ออกซิฟอสเฟตที่เหลืออยู่จะถูกตะกอนเลนดูดซับไว้อย่างรวดเร็วและถ้าหากน้ำมีพีเอช สูงและปริมาณแคลเซียมมีมากซึ่งดูจากค่าของความกระด้างที่สูง(150-300 มก./ลิตร) ฟอสเฟตจะตกผลึกในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ทำให้มีออกซิฟอสเฟตละลายอยู่ในน้ำน้อยลง (มันลินและไพพรรณ, 2536) จากการทดลองพบว่าค่าความกระด้างของน้ำในทั้งสองบ่อมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่าสูงสุดเป็น 558.24 มก./ลิตร ในบ่อควบคุมและ 653.03 มก./ลิตร ในบ่อทดลอง และประกอบกับค่าพีเอชที่สูงเนื่องมาจากแพลงก์ตอนในบ่อทั้งสองมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำลดลง ความเป็นกรดของน้ำจึงลดลงและจากการทดลอง พีเอช ขณะทำการเก็บตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.29-8.24 ในบ่อควบคุมและ 6.95-8.36 ในบ่อทดลอง ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงอาจเกิดการตกตะกอนกับไอออนที่มีประจุบวกได้ในดิน จึงเป็นผลให้เหลือปริมาณของฟอสฟอรัสละลายน้ำอยู่น้อยมาก

### 5.2.3 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) ในตารางที่ 5-3 ก และ 5-3 ข แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำ ได้แก่ แอมโมเนียม ไนไตรต์ ไนเตรต คลอโรฟิลล์-เอ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ บีโอดี และออกซิฟอสเฟต ในบ่อทดลองและบ่อควบคุม ตามลำดับ และได้สรุปความสัมพันธ์เป็นสมการ ดังแสดงในตาราง 5-4 พบว่าค่าแอมโมเนียม ไนเตรตและคลอโรฟิลล์-เอในบ่อทดลอง มีความสัมพันธ์กับค่าบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรตและคลอโรฟิลล์-เอ มีค่ามากขึ้น ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายจึงมีมากขึ้นหรือค่าบีโอดีมีค่ามากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ปริมาณไนไตรต์ก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนพืชด้วยเช่นกัน ในช่วงวันที่ 83 การสะสมของไนไตรต์มีค่าสูงสุด และลดลงหลังจากนั้นซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่มีค่าสูงสุดในวันที่ 97 และลดปริมาณลงเช่นเดียวกัน ปริมาณไนเตรตที่เพิ่มสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ แต่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่แปรผกผันกับปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนชนิดหนึ่งที่แพลงก์ตอนสามารถนำเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ของ

เซลล์ได้ ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่เกิดจากการสร้างในกระบวนการของเซลล์จึงน่าจะเกิดขึ้นได้มาก ตามปริมาณไนเตรตที่มีมาก

ในบ่อควบคุมค่าไนโตรเจน ไนเตรตและคลอโรฟิลล์-เอ มีความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี แบบแปรผันตามกัน ค่าไนโตรเจนยังแปรผันโดยตรงกับค่าคลอโรฟิลล์-เอ และปริมาณแพลงก์ตอนพืชอีกด้วย ส่วนไนเตรตก็มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าคลอโรฟิลล์-เอ เช่นเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-3 ก ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยแสดงค่า significance F ที่ความเชื่อมั่น 95% (บ่อทดลอง)

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Chl- a	Phyto P <sup>*</sup>	Zoo P <sup>**</sup>	BOD	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>								
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.629							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.218	0.003						
Chl- a	0.088	0.104	0.0003					
Phyto P	0.931	0.019	0.067	0.074				
Zoo P	0.188	0.292	0.044	0.029	0.445			
BOD	0.005	0.133	0.005	0.001	0.378	0.066		
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.401	0.223	0.265	0.323	0.347	0.344	0.132	

ตารางที่ 5-3 ข ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยแสดงค่า significance F ที่ความเชื่อมั่น 95% (บ่อควบคุม)

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Chl- a	Phyto P <sup>*</sup>	Zoo P <sup>**</sup>	BOD	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>								
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.676							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.399	0.002						
Chl- a	0.606	0.010	0.025					
Phyto P	0.218	0.031	0.115	0.279				
Zoo P	0.119	0.915	0.842	0.666	0.682			
BOD	0.213	0.025	0.023	0.004	0.315	0.704		
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.385	0.149	0.126	0.298	0.207	0.497	0.241	

หมายเหตุ ช่องสีเทาหมายถึงพารามิเตอร์ที่ศึกษามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(p < 0.05)

\* Phyto P = Phytoplankton

\*\* Zoo P = Zooplankton

ตารางที่ 5-4 สมการความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน

พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กัน		Significant F	สมการความสัมพันธ์	R <sup>2</sup>	หมายเหตุ
x	y				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	BOD	0.005	y = 2.092x + 10.934	0.6006	บ่อทดลอง
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Phyto P	0.019	y = 14.122x + 2.4882	0.474	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Chl- a	0.0003	y = 214.51x + 8.5521	0.7829	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zoo P	0.044	y = -8E+06x + 2E+06	0.3793	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	BOD	0.005	y = 57.816x + 9.0866	0.6039	
Chl- a	Zoo P	0.029	y = -33797x + 2E+06	0.4263	
Chl- a	BOD	0.001	y = 0.2551x + 7.2273	0.6911	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Chl-a	0.010	y = 273.32x + 6.5117	0.5386	บ่อควบคุม
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Phyto P	0.031	y = 39.139x + 2.822	0.4192	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	BOD	0.025	y = 43.333x + 10.126	0.4436	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Chl-a	0.025	y = 985.58x + 3.2843	0.4467	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	BOD	0.023	y = 173.8x + 8.9208	0.4552	
Chl- a	BOD	0.004	y = 0.1374x + 9.9841	0.6189	

#### 5.2.4 การประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ

จากการทดสอบหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน ในถังทดลองพบว่ามีความเฉลี่ยอยู่ที่ 720 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m/day (หัวข้อ 5.1) ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้มาหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพขนาดความยาว 27 ม. จำนวน 10 แถว หรือ 270 ม. ได้ค่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียเป็น 194,400 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/dayนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากการขับถ่ายของปลาที่คำนวณจากไนโตรเจนในอาหารปลา (ปริมาณโปรตีน 31.69%) ของวันที่ 27, 83 และ 126 ของการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5 – 5 โดยปริมาณแอมโมเนียในน้ำจากการขับถ่ายของปลา มีค่าประมาณ 0.025 กก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อ 1 กก. ของอาหารปลาที่ให้ (Hart และ O'Sullivan, 1993)

ตารางที่ 5- 5 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากอาหารในบ่อทดลอง ณ วันที่ 27, 83 และ 126 ของการทดลอง

วันที่	ปริมาณอาหารปลา (กก./วัน)	ปริมาณไนโตรเจนในอาหาร (มก.)	ปริมาณแอมโมเนียในไนโตรเจนที่ปลาขับถ่าย (mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)
27	8.6	436,054	258,000
83	28.5	1,445,064	855,000
126	25.5	1,292,952	765,000

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าต่ำกว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อ ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจึงเกินความสามารถที่ตัวกรองจะทำการบำบัดได้และอาจทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ เกิดการสะสมของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นตามมา ดังนั้นรูปแบบของการใช้ตัวกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาจึงยังมีจุดที่ยังคงเป็นปัญหาดังนี้

1. ปริมาณของตัวกรองชีวภาพมีไม่เพียงพอ จากการทดลองได้ใช้ตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวทั้งหมด 270 ม. คิดอัตราการบำบัดแอมโมเนียเป็น 194,400 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/day ซึ่งไม่เพียงพอในการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เช่น ในวันที่ 27, 83 (วันที่ปริมาณไนโตรเจนมีค่าสูงสุด) และวันที่ 126 ของการทดลอง แต่การคำนวณอัตราการบำบัดแอมโมเนียในน้ำนั้นคิดจากการบำบัดที่เกิดจากฟิล์มชีวภาพที่มีอายุประมาณ 1 เดือน เมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้นฟิล์มชีวภาพก็มีความหนาเพิ่มมากขึ้นด้วยทำให้ประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลง Furumai และ Rittmann (2002) กล่าวว่า ไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะพบบริเวณด้านลึกลงไปด้านในของฟิล์มชีวภาพดังนั้นการบำบัดอาจทำได้ยากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้ในน้ำในวันที่ 126 มีค่ามากกว่าในวันที่ 83 (ภาพที่ 4 – 14ก) ถึงแม้ว่าปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากอาหารในวันที่ 126 มีค่าน้อยกว่า วันที่ 83 ของการทดลอง (ตารางที่ 5-5)

2. การจัดการปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ตัวกรองชีวภาพยังไม่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่น ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอเนื่องจากการจัดวางหัวทรายลงไปใต้น้ำทุกๆ ระยะตัวกรอง 1.5 ม. โดยที่หัวทรายทุกหัวจะถูกต่อท่อให้หย่อนลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ 30 ซม. มีระยะห่างของหัวทรายแต่ละหัวมากเกินไปและนอกจากนี้แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อ



สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดระยะเวลาความลึกของบ่อ รวมทั้งบริเวณพื้นบ่อที่ซึ่งมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาจากดินตะกอน ณ บริเวณนี้ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะไม่ได้รับการบำบัดเพราะน้ำในบ่อไม่ได้ถูกผสมกันอย่างทั่วถึงเนื่องจากอากาศที่พ่นผ่านหัวทรายไม่แรงพอที่จะกวนน้ำในบ่อให้ผสมกันได้อย่างดี

อย่างไรก็ตามอัตราการบำบัดที่ได้จากการทดลองนี้มีค่า  $720 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/m}^2 \text{/day}$  (ตัวกรองชีวภาพความยาว 1 ม. มีพื้นที่ผิว 1 ตร.ม.) ซึ่งมีค่ามากกว่าการบำบัดแอมโมเนียรวมที่รายงานในการศึกษาของ delos Reyes และ Lawson (1996) ที่ใช้วัสดุกลมแบบลอยตัว (Floating bead filter; FBF) เป็นตัวกรองซึ่งมีค่าเป็น  $56.2 \text{ mg TAN/m}^2 \text{/day}$  (ตารางที่ 5-6) และจากการทดลองครั้งนี้พบว่ามีความแตกต่างที่ข้อยู่ในน้ำทั้ง 3 ถัง อัตราการลดลงของแอมโมเนียส่วนหนึ่งมีผลมาจากการนำเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนด้วย แต่จากผลการทดลองอื่นๆ ในตารางที่ 5-6 เป็นการทดลองในโรงเรือน ปริมาณแพลงก์ตอนที่เกิดขึ้นในถังจึงมีน้อย การลดลงของแอมโมเนียจึงมาจากตัวกรองชีวภาพแต่เพียงปัจจัยเดียว

**ตารางที่ 5-6** เปรียบเทียบผลการบำบัดแอมโมเนียจากเอกสารที่ได้มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

ชนิดของตัวกรอง	อัตราการกำจัดแอมโมเนีย/ อัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน	อ้างอิง
Embossed plastic plate	$7.89 \text{ g N/m}^3 \text{/day}$	Kim <i>et al.</i> (1987)
Corrugated plastic	$6.1 \text{ g N/m}^3 \text{/day}$	Suresh และ Lin (1992)
Floating bead filter RBC	$56.2 \text{ mg TAN/m}^2 \text{/day}$ $257 \text{ mg TAN/m}^2 \text{/day}$	delos Reyes และ Lawson (1996)
PP plastic chips PE blocks	$9.3 \text{ g N/m}^3 \text{- media/day}$ $8.9 \text{ g N/m}^3 \text{- media/day}$	Ridha และ Cruz (2001)
Plastic rolls	$3.46 \text{ g TAN/m}^3 \text{/day}$	Al-Hafedh <i>et al.</i> (2003)
Hyperdrain	$720 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/m}^2 \text{/day}$	ผลจากการศึกษาครั้งนี้

หมายเหตุ  $\text{m}^3$  หมายถึง ปริมาตรของตัวกลาง (media) (ลูกบาศก์เมตร)

$\text{m}^2$  หมายถึง พื้นที่ผิวของตัวกลาง (ตารางเมตร)

## 5.2.5 ผลผลิตปลาทับทิม

### 5.2.5.1 อัตราการเติบโต

อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวันของปลาทับทิมในบ่อทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 2.69 ก./ตัว/วัน และ 2.74 ก./ตัว/วัน ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) และมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเติบโตของปลาทับทิมในบ่อดินที่รายงานโดย ทองพูลและอัมพา (ม.ป.ป.) ที่มีค่าเป็น 3 ก./ตัว/วัน แต่มีค่าน้อยกว่าปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังซึ่งมีอัตราการเติบโตเป็น 5 ก./ตัว/วัน (ตารางที่ 5-7)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเติบโตของปลา คือ ความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยง จากการศึกษาของ Surech and Lin (1992) พบว่า ที่ความหนาแน่นของปลาน้อย ค่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวัน (DWG) มีค่ามากกว่าเมื่อความหนาแน่นของปลามีค่ามาก

ตารางที่ 5-7 ค่า DWG จากเอกสารที่ได้มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

DWG (กรัม/ตัว/วัน)	ความหนาแน่น	เลี้ยงใน	อ้างอิง
0.77	50 ตัว/ลบ.ม.	ถังคอนกรีต	Surech and Lin (1992)
0.65	100 ตัว/ลบ.ม.		
0.64	200 ตัว/ลบ.ม.		
1.17-1.18	166 ตัว/ลบ.ม.	ถังไฟเบอร์ กลาส	Ridha and Cruz (2001)
5	25-50, 50-100 ตัว/ลบ.ม.	กระชัง บ่อดิน	ทองพูลและอัมพา (ม.ป.ป.)
3	2-5 ตัว/ลบ.ม.		
2.69	11 ตัว/ตร.ม.	บ่อดิน	ผลจากการศึกษาครั้งนี้ (บ่อควบคุม) ผลจากการศึกษาครั้งนี้ (บ่อทดลอง)
2.74	(9.25ตัว/ลบ.ม.)		

ในระหว่างการทดลองมีจำนวนปลาตายดังแสดงในตารางที่ ก-23 ภาคผนวก ก พบว่าจำนวนปลาตายสะสมของบ่อทดลองมีมากกว่าบ่อควบคุม สาเหตุที่ทำให้ปลาในบ่อตาย อาจเป็นเพราะว่าในช่วงเวลาดังกล่าว น้ำในบ่อมีปริมาณแอมโมเนีย สะสมอยู่ในบ่อเป็นปริมาณมาก ซึ่งระดับของแอมโมเนียอิสระไม่ควรเกิน 0.025 มก./ลิตร (Boyd, 1984) โดยช่วงทำของ

การทดลองที่มีการตายของปลาเกิดขึ้นมากเนื่องจาก ค่าแอมโมเนียที่วัดได้ในแต่ละบ่อมีค่าสูงกว่าระดับความเป็นพิษที่กล่าวมาแล้วหลายเท่าตัวและปลาอาจความเครียดมากขึ้นเนื่องจากการเลี้ยงแบบหนาแน่นเมื่อปลาโตมากขึ้นจึงยิ่งเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ปลามากขึ้น รวมทั้งในช่วงท้ายการทดลองเป็นช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิของน้ำสูง

#### 5.2.5.2 ผลผลิตและอัตราแลกเนื้อ

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิม ได้แก่ คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา คุณภาพหรือชนิดของอาหารปลาและปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลา เป็นต้น ซึ่งหากน้ำในบ่อมีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทับทิม ก็จะทำให้ปลาที่เลี้ยงมีอัตราการเจริญเติบโตสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และสุดท้ายได้ผลผลิตปลาที่สูงด้วยนั่นเอง

จากการทดลองพบว่าอัตราแลกเนื้อของปลาทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันโดยอัตราแลกเนื้อของปลาในบ่อควบคุมเป็น 1.24 และในบ่อทดลองมีค่าเป็น 1.27 พบว่ามีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราแลกเนื้อของปลาทับทิมที่มีการเลี้ยงในกระชังขนาด 3 x 3 x 2.5 ม. ด้วยอัตรา 4.4 ตัว/ตร.ม. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจากการเลี้ยงของเกษตรกรทั่วประเทศเป็น 1.4 (ธวัชชัย อรรถกรจิระ, สัมภาษณ์, 18 มิถุนายน 2545) ซึ่งเมื่อพิจารณาในทางการประมงแล้ว ค่าอัตราแลกเนื้อไม่ควรเกิน 2 ซึ่งค่า FCR ต่ำหมายถึงการเลี้ยงปลาที่ได้ผลผลิตสูง จากการที่ให้อาหารแก่ปลาน้อย จากตารางที่ 5-8 แสดงผลผลิตปลาจากเอกสารที่ได้มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ผลผลิตปลาที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็น 2,453.91 กก. (4,368 กก./ไร่) และ 2,429.80 กก. (4,320 กก./ไร่) ในบ่อควบคุมและในบ่อทดลองลำดับ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลี้ยงปลาทับทิมที่ความหนาแน่นค่อนข้างสูงและผลผลิตที่ได้มีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า FCR ที่คำนวณได้มีค่าค่อนข้างต่ำในทั้งสองบ่อที่ทำการทดลอง

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการ  
จุกุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-8 เปรียบเทียบผลผลิตปลาจากเอกสารที่มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

ชนิดปลา	ระยะเวลา (วัน)	เลี้ยงใน	ประเทศ	ความหนาแน่น	ผลผลิต	FCR	อ้างอิง
Nile tilapia	70	ถังพลาสติก	ซาอุดีอาระเบีย	20 กก./ลบ.ม.		1.9	Al-Hafedh <i>et al.</i> (2003)
Nile tilapia	172	ถังไฟเบอร์กลาส	คูเวต	166 ตัว/ลบ.ม.	42.78 กก./ลบ.ม. 43.59 กก./ลบ.ม.	2.04 1.98	Ridha and Cruz (2001)
Red tilapia	70	ถังคอนกรีต	ไทย	50 ตัว/ลบ.ม. 100 ตัว/ลบ.ม. 200 ตัว/ลบ.ม.		2.25 2.57 2.61	Surech and Lin (1992)
<i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i>	331	ถังพลาสติก	อิสราเอล	10.4 กก./ลบ.ม.	81.1 กก./ลบ.ม.	2.03	van Rijn <i>et al.</i> (2001)
Nile tilapia	180	บ่อดิน	ไทย	2-3 ตัว/ตร.ม.	449.8-454.9 กก./ไร่ (0.187-0.189 กก./ลบ.ม.)	3.77- 4.54	ไพศาล, 2513 อ้างถึงใน มานพ (2536)
Red tilapia	244	บ่อดิน	ไทย	5-10 ตัว/ตร.ม.	1,339-1,467 กก./ไร่ (0.56-0.61 กก./ลบ.ม.)	2.47-3.67	กิจจาและสุจินต์, 2536 อ้างถึงใน มานพ (2536)
ปลาทับทิม	75- 90	กระชัง	ไทย	50-120 ตัว/ลบ.ม.	25-60 กก./ลบ.ม.	≤ 1.5	ทองพูลและอัมพา (ม.ป.ป.)
ปลาทับทิม	140	บ่อดิน	ไทย	11 ตัว/ตร.ม. (9.25ตัว/ลบ.ม.)	4,368 กก./ไร่ (2.27 กก./ลบ.ม.) 4,320 กก./ไร่ (2.24 กก./ลบ.ม.)	1.24 1.27	จากการศึกษาครั้งนี้ (บ่อควบคุม) จากการศึกษาครั้งนี้ (บ่อทดลอง)

### 5.2.6 การประเมินสมดุลไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าและขาออกในบ่อ จากการประเมินสมดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อ (ตารางที่ 4-5) พบว่าในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองบ่อมีปริมาณไนโตรเจนขาออกจากบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ผลผลิตปลารวมกับไนโตรเจนในน้ำ) ต่ำกว่าไนโตรเจนขาเข้า (ไนโตรเจนในปลา น้ำ และในอาหาร) โดยค่าที่คำนวณได้จากบ่อทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

พบว่าแหล่งที่มาของปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบมาจากอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อเป็นส่วนใหญ่คือประมาณ 99% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ มันลีนและไพพรรณ (2539) กล่าวว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ในบ่อปลามักพบอยู่ในสิ่งมีชีวิตในบ่อและสารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย แต่จากการศึกษาถึงปริมาณไนโตรเจนขาออกจากบ่อครั้งนี้ได้คำนวณหาเฉพาะปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำในบ่อและปริมาณไนโตรเจนที่คิดจากน้ำหนักแห้งของผลผลิตปลาที่ได้เท่านั้น ไม่ได้รวมถึงอินทรีย์ไนโตรเจนที่อยู่ในแพลงก์ตอนพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในบ่อ อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนที่ออกมากับสิ่งขับถ่ายของปลา ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนขาออกต่ำกว่าไนโตรเจนขาเข้า

นอกจากนี้ไนโตรเจนบางส่วนเมื่อเข้ามาสู่บ่อแล้ว ถูกดูดซับได้ด้วยดินตะกอนพื้นบ่อและจากการเก็บตัวอย่างดินตะกอนพื้นบ่อพบว่าดินตะกอนมีสีดำเนื่องจากขาดออกซิเจนดังนั้นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่ดินตะกอนพื้นบ่อนั้นด้วย จึงทำให้มีไนโตรเจนบางส่วนออกไปจากระบบในรูปของแก๊สไนโตรเจน ซึ่งไม่ได้ทำการตรวจวัดในการทดลองครั้งนี้ ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ไนโตรเจนขาออกมีค่าต่ำกว่าไนโตรเจนขาเข้า

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพรูปทรงระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 ซม. ในถังทดลองพบว่า ตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือนมีความสามารถในการลดแอมโมเนียในน้ำได้ โดยตัวกรองชีวภาพความยาว 30 ซม. มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยอัตราเฉลี่ย  $16.01 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/day}$  หรือเท่ากับ  $720 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/m}$  ของตัวกรอง/day ซึ่งการลดลงของแอมโมเนียเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้น โดยจะมีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้นในถัง

2. จากการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมระบบปิดเป็นระยะเวลา 140 วัน พบว่าสามารถทำการเลี้ยงปลาได้โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเพิ่มระบบตัวกรองชีวภาพให้แก่บ่อทดลองสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำทำให้ปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่ประสิทธิภาพของตัวกรองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในบ่อ

3. จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสงของน้ำ อัลคาไลน์ดีกรีดี ซีไอดี พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันในทั้งสองบ่อ พีเอชและออกซิเจนละลายในบ่อทดลองมีค่าต่ำกว่าในบ่อควบคุมเล็กน้อย ความกระด้างในบ่อทดลองมีค่าสูงกว่าในบ่อควบคุมเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ เหล่านี้ก็อยู่ในช่วงที่ปลาจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

4. อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวันของปลาทับทิมและผลผลิตในบ่อทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน โดยอัตราการเติบโตเฉลี่ยของปลาในบ่อทดลองและบ่อควบคุมมีค่าเป็น 2.74 ก./ตัว/วัน และ 2.69 ก./ตัว/วัน ตามลำดับ ผลผลิตปลาในบ่อทดลองเป็น 4,320 กก./ไร่ และในบ่อควบคุม 4,368 กก./ไร่ อัตราแลกเนื้อในบ่อทดลองเป็น 1.27 และในบ่อควบคุมเป็น 1.24

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาเพื่อส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพมีมากขึ้นหรือสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น โดยพิจารณาถึงอัตราการบำบัด จำนวนของตัวกรองชีวภาพที่เหมาะสมกับปริมาตรของน้ำและสารอาหารที่เกิดขึ้นในน้ำ รวมทั้งรูปแบบการจัดวางตัว



กรองชีวภาพที่เหมาะสมและระบบการเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้จานพ่นอากาศที่สามารถกวนน้ำในบ่อให้มีการผสมกันได้ทั่วถึง

2. การวัดอุณหภูมิ พีเอช และออกซิเจนละลายน้ำ ควรมีการวัดในรอบวัน เพื่อได้ข้อมูลที่สามารถแสดงความเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ในรอบวันซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3. ควรมีการทดลองใช้ตัวกรองชีวภาพในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ

4. ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมากพอสำหรับจุลินทรีย์ราคาถูกและคงทนเพื่อเพิ่มทางเลือกในการใช้งาน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิจจา ไชยเย็น และสุจินต์ หนูขวัญ. 2536. การเลี้ยงปลานิลสีแดงในบ่อดิน. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด, กรมประมง.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- คณิต ไชยาคำ และคณะ. 2537. คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. พิมพ์ครั้งที่1. สงขลา: มงคลการพิมพ์.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2540. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร. กรมควบคุมมลพิษ. (อัดสำเนา)
- ศิริ กอนันตกุล. 2542. การเพาะเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ. กรุงเทพฯ: กองประมงน้ำจืด กรมประมง
- ชลิตา เลี่ยมสงวน. 2540. การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนโดยระบบไบโอดรัม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทองพูล วรธนโพธิ์ และ อัมพา คำวงษา. (ม.ป.ป.). ปลาที่บ่มในกระชัง. กรุงเทพมหานคร: บ.ก.พล(1996) จำกัด.
- ทัศนีย์ ภูพิพัฒน์. 2524. ชีวประวัติของปลานิล. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 34 น.
- ทิพวรรณ แฝ่วสกุล. 2530. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำโดยสาหร่ายในระบบน้ำหมุนเวียนของถังปลานิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุนน. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธวัชชัย อรรถกรจิระ. รองผู้จัดการฝ่ายการตลาด บริษัท กรุงเทพฯ ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำกัด. สัมภาษณ์, 18 มิถุนายน 2545.
- นภาพร กิตติศักดิ์. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัมและแบบได้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปกรณีย์ อุ่นประเสริฐ. 2527. ปลานิลแดง. วารสารการประมง 37(3): 229-234.

- พรพันธ์ ยุทธรักษาณกุล. 2538. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินและน้ำกับสารรีดิวซ์ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ. เน้นการศึกษาปลาไนและกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่นในตู้กระจก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพศาล จ้วงพานิช. 2513. การหาผลผลิตของปลาไน. รายงานประจำปีสถานีประมงจังหวัดชัยนาท 2513: 34-50.
- มันสิน ตันตกุลเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล พรรณศรี จริโมภาส สุจินต์ หนูขวัญ กำชัย ลาวันยวุฒิ วีระ วัชรกรโยธิน และ วิมล จันทโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาไน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 23. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง. 96 น.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, สุภัทรา อุไรวรรณ และพรรณศรี เชิดชูพันธ์เสรี. 2527. ปลาไนสีแดง. เอกสารฝ่ายวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 20 น.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจรรุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. เพลงก่ตอนพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 น.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. เพลงก่ตอนสัตว์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 787 น.
- วิมล จันทโรทัย และ กิจจา ใจเย็น. 2535. การศึกษาชนิดของอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการเลี้ยงลูกปลาไนสีแดง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 123. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด, กรมประมง. 13 น.
- อำไพเทพิน สิงหะพันธุ์. 2543. ระบบบำบัดในเตรดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

- Al-Hafedh, Y.S., Alam, A. and Alam, 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.
- Alleman J.E. 1984. Elevated nitrite occurrence in biological wastewater treatment systems. Water Science and Technology 17: 409-419.
- Antoniou P., Hamilton J., Koopman B., Jain R., Holloway B., Lyberatos G. 1990. Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. Water research 24: 97-101.
- APHA, 1992. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 18 th ed. Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. and Eaton, A.D.(Eds.). American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. Washington DC. pp.10-137.
- Balarin, J.D. and Haller J.P. 1979. Tilapia: A guide to their Biology and Culture in Africa. University of Stirling, Stirling, Scotland. 174pp.
- Bitton, G. 1994. Wastewater microbiology. New York: Wiley-Liss.
- Boyd, C.E. 1981. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Department of Fisheries of Allied Aquacultures. Auburn University. Auburn, Alabama. 359 pp.
- Boyd, C.E. 1984. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Chervinski, J. 1982. Environmental physiology of tilapias. In The biology and Culture of Tilapias, R. S. V. Pullin and R.H. Lowe-McConnel. (Eds.) ICLARM, Makati, Philippines.
- DeBoer, J.A. 1981. Nutrients. In C.S. Lobban and M.J. Wynne (Eds.), The Biology of Seaweeds, pp.356-391. Berkely: University of California Press.
- delos Reyes, A. A., Lawson J. and Lawson T. B. 1996. Combination of a bead Filter and Rotating Biological Contractor in a Recirculating Fish Culture System. Aquacultural Engineering 15: 27-39.
- Dobson, M., and Frid, C. 1998. Ecology of Aquatic systems. Harlow, Essex, England: Addison Wesley Longman.

- Ebeling, J.M., Losordo, T.M., Delong, D.P. 1993. Engineering design and performance of a model aquaculture recirculating system (MARS) for secondary school aquaculture education programs. In: Proceedings of the Aquaculture Engineering Conference, Spokane, Washington, USA, pp. 211-220.
- Fabino, L.P., Paulo, C.A. and Wilson, W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. Aquaculture 203: 263-278.
- Food and Agriculture organization of the united nations. Fishery statistic. Available from: <http://www.fao.org/fi/statist/summtab/default.asp> [2002, June 22]
- Garbisu, C. et al. 2000. Immobilization of living Microalgae and their Use for Inorganic Nitrogen and Phosphorus Removal from Water. In E.J. Olguin, G. Sanchez, and E. hernandez (eds.), Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses, pp. 107-121. London: Taylor and Francis Limited.
- Griner, 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.
- Guerrero, R.D. III. 1997. A guide to Tilapia farming. Laguna: Aquatic biosystems.
- Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166: 181-212.
- Hart, P. and O'Sullivan, D. 1993. Recirculation systems: design, construction and management. An aquaculture Sourcebook Publication, Australia, p. 62.
- Hassan, R. 1992. Acute ammonia toxicity of red tilapia and seabass. Fish Bull. Dept. fish. Malaysia, No. 73, p. 8.
- Hittlebaugh, J.A. and Miller, R.D. 1981. Operational problems with rotating biological contractors. Water Pollut. Control. 53: 1283-1293.
- Jones G. L. and Paskins A. R. 1982. Influence of high partial pressure of carbon dioxide and/or oxygen on nitrification. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 32: 213-223.
- Keeney, D.R. 1970. Nitrate in plants and water. Milk Food Techno 33: 425-432.
- Kikuchi, K., Honda, H. and Kiyono, M. 1994. Ammonia oxidation in marine biological filters with plastic filter media. Fisheries Science 60:133-136.

- Kim, I.B., Kim, P.K., Chee, Y.O., 1987. The ammonia removal capacity of a few kinds of filter media in a water reuse aquaculture system. Bull Korean Fish. Soc. 20:561-568.
- Krom, M.D., Erez, J., Porter, C.B. and Ellner, S. 1989. Phytoplankton nutrient uptake dynamics in earthen marine fishponds under winter and summer conditions. Aquaculture 76: 237-253.
- Langis, R., Proulx, D., de la Noue, J., Couture, P. 1988. Effects of bacterial biofilm on intensive *Daphnia* culture. Aquacultural Engineering 7: 21-38.
- Lawson, T.B. 1995. Fundamentals of Aquacultural Engineering. Chapman and Hall, New York. 355 p.
- Mattson, J. and Linden, O. 1983. Benthic microfauna succession under mussel, *Mytilus edulis*, cultured on hanging long line, sarsia, 68: 97-102.
- Michael, P.M., James, R., Losordo, T.M. 1995. Recirculating Aquaculture Tank production systems: management of recirculation systems. Louisiana State University Agricultural Center and Louisiana Cooperative Extension Service. Publication. No. 2584 (500) 2/95. pp.1-12.
- Muir, J.F. 1982. Recirculated water systems in aquaculture. In: J.F. Muir and R.J. Roberts (Eds.), Recent Advances in Aquaculture. Westview Press, Boulder, CO, pp. 357-447.
- Otte, G., Rosenthal, H. 1979. Management of a close brackish water system for high density fish culture by biological and chemical water treatment. Aquaculture 18: 169-181.
- Painter H. A. and Loveless J. E. 1983. Effect of temperature and pH value on the activated-sludge process. Water Research 17: 237-248.
- Ramesh, M.R., Shankar, K.M., Mohan, C.V., Varghese, T.J. 1999. Comparison of three plant substrates for enhancing carp growth through bacterial biofilm. Aquacultural Engineering 19: 119-131.
- Reyes, A.A. and Lawson, B.L. 1996. Combination of bead filter and rotating biological filter contactor in recirculating fish culture system. Aquacultural Engineering 15: 27-39.
- 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.
- Shrestha, M.K. and Knud-Hansen, C.F. 1994. Increasing Attached Microorganism Biomass as a Management Strategy for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production. Aquacultural Engineering 13: 101-108.
- Strickland, J. D.H. and Parsons, T.R. 1972. 2<sup>nd</sup> ed. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research board of Canada. Ottawa. 310pp.
- Surech, A.V. and Lin, C.K. 1992. Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in recirculating water system. Aquacultural Engineering. 11: 1-22.
- Tucker, C.S., van der Ploeg, M. 1993. Seasonal changes in water quality in commercial channel catfish ponds in Mississippi. Journal of the World aquaculture society. 24: 473-481.
- Tucker, C.S., Lloyd, S.W. and Busch, R.L. 1984. Relationships between phytoplankton periodicity and the concentrations of total and unionized ammonia in channel catfish ponds. Hydrobiologia. 111: 75-79.
- Van Rijn, J., Rivera, G. 1990. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. Aquacultural Engineering. 9: 217-234.
- Van Rijn, J., Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z. and Snir, I. 2001. Tilapia Recirculating Systems: Design and Performance of a Zero Discharge System. In Aquaculture 2001: The International Triennial Conference and Exposition of The World Aquaculture Society. The National Shellfisheries Association' and The American Fisheries Society, Fish Culture Section, January 23, 2001, Disney's Coronado Springs Resort Orlando, Florida, Aquaculture Eng.Soc. pp.17-26.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. Saunders Company, Philadelphia. 357 p.
- Yanagita, T. 1990. Natural microbial communities ecological and physiological features. Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
- Zohar, G., Arieli, Y., Cochba, Y., Avnimelech, Y. 1988. Intensive growth of fish with minimal water exchange and using a vertical water circulation. Fish and fishbreeding in Israel 21: 6-15.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) pH ออกซิเจนละลาย (mg/l) และค่าความโปร่งแสง  
ของน้ำในบ่อควบคุมและบ่อดลอง ณ เวลาที่เก็บตัวอย่างประมาณ 11.00 น.

วันที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)		pH		D.O.(mg/L)		ความโปร่งแสง(cm.)	
	บ่อควบคุม	บ่อดลอง	บ่อควบคุม	บ่อดลอง	บ่อควบคุม	บ่อดลอง	บ่อควบคุม	บ่อดลอง
1	26	25.9	8.24	8.36	8.06	8.87	45	45
13	25.9	26.3	7.9	7.83	6.1	5.3	45	35
27	29.1	28.2	7.29	7.6	10	11.9	30	30
41	26	26.8	7.36	7.34	4.76	4.3	30	30
58	26.8	26.8	7.71	7.41	5.79	5.24	27	25
69	29.5	29.5	7.55	7.39	5.78	4.6	26	30
83	28.3	28.4	7.52	7.33	5.66	4.76	18	26
97	30.5	30.5	8.06	8.04	5.38	4.1	23	24
112	31.3	31.3	7.08	6.95	3.3	2.54	24	23.5
126	31.7	31.5	7.54	7.32	4.76	4.34	26	23
140	32.65	32.7	7.34	7.34	5.73	5.91	20	23

ตารางที่ ก-2 ปริมาณแอมโมเนียม (mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l) ไนไตรต์ (mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>N/l) และไนเตรต  
(mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N/l) ในบ่อควบคุมและบ่อดลอง

ว/ด/ป	วันที่	แอมโมเนียม				ไนไตรต์				ไนเตรต			
		บ่อควบคุม		บ่อดลอง		บ่อควบคุม		บ่อดลอง		บ่อควบคุม		บ่อดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/2544	1	0.00	0.0092	0.00	0.0066	0.00	0.0001	0.00	0.0000	0.00	0.0002	0.00	0.0007
27/11/2544	13	0.00	0.0105	0.00	0.0049	0.00	0.0001	0.00	0.0000	0.00	0.0001	0.00	0.0001
11/12/2544	27	0.02	0.0163	0.02	0.0026	0.00	0.0015	0.00	0.0000	0.00	0.0012	0.01	0.0034
25/12/2544	41	0.57	0.0335	0.27	0.0135	0.02	0.0003	0.01	0.0000	0.03	0.0160	0.03	0.0079
11/1/2545	58	1.69	0.0035	0.72	0.0000	0.21	0.0060	0.44	0.0000	0.08	0.0040	0.11	0.0074
22/1/2545	69	1.88	0.2430	2.05	0.0110	0.30	0.0017	0.73	0.0008	0.05	0.0034	0.10	0.0355
5/2/2545	83	1.33	0.0043	2.01	0.0601	0.32	0.0037	1.02	0.0002	0.08	0.0128	0.27	0.0497
19/2/2545	97	3.54	0.0722	0.97	0.0862	0.25	0.0013	0.63	0.0003	0.08	0.0110	0.18	0.0007
6/3/2545	112	6.11	0.3977	2.65	0.0200	0.15	0.0017	0.25	0.0007	0.02	0.0141	0.21	0.0895
20/3/2545	126	8.28	0.0216	6.71	0.2347	0.06	0.0000	0.23	0.0007	0.05	0.0032	0.12	0.0242
3/4/2545	140	8.14	0.2708	6.59	0.8504	0.13	0.0043	0.29	0.0013	0.04	0.0035	0.13	0.0118

ตารางที่ ก-3 ปริมาณออกซิฟอสเฟต( $\text{mg PO}_4^{2-}\text{P/l}$ ) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	0.03	0.0097	0.04	0.0013
27/11/44	13	0.01	0.0005	0.01	0.0009
11/12/44	27	0.00	0.0004	0.01	0.0004
25/12/44	41	0.01	0.0022	0.00	0.0009
11/1/45	58	0.00	0.0003	0.01	0.0003
22/1/45	69	0.00	0.0000	0.00	0.0003
5/2/45	83	0.00	0.0003	0.00	0.0000
19/2/45	97	0.00	0.0004	0.00	0.0000
6/3/45	112	0.01	0.0053	0.01	0.0003
20/3/45	126	0.00	0.0011	0.00	0.0011
3/4/45	140	0.01	0.0000	0.00	0.0007

ตารางที่ ก-4 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ( $\text{mg/m}^3$ ) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	4.51	0.1119	6.52	0.8681
27/11/44	13	3.27	0.0925	4.18	1.8918
11/12/44	27	14.12	1.4366	15.68	1.2656
25/12/44	41	8.00	0.7747	14.02	1.3408
11/1/45	58	32.26	3.6232	19.35	2.1334
22/1/45	69	58.56	2.7521	18.90	0.1432
5/2/45	83	165.68	5.9499	50.26	1.1278
19/2/45	97	40.55	3.6148	59.37	3.0980
6/3/45	112	35.28	7.2949	63.92	14.4553
20/3/45	126	53.10	8.3095	41.27	6.3825
3/4/45	140	48.96	2.3870	46.72	1.6770

ตารางที่ ก-5 ปริมาณอัลคาลินิตี (mg CaCO<sub>3</sub>/l) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	76.25	14.9671	77.50	0.4714
27/11/44	13	71.67	0.7071	86.00	2.3570
11/12/44	27	119.17	1.6499	120.08	2.0035
25/12/44	41	128.33	4.7140	117.00	0.2357
11/1/45	58	155.83	0.2357	131.25	0.5893
22/1/45	69	158.42	2.9463	133.17	0.4714
5/2/45	83	133.25	1.7678	143.83	1.1785
19/2/45	97	146.17	0.9428	141.67	1.6499
6/3/45	112	240.08	0.8250	237.33	1.1785
20/3/45	126	222.50	0.7071	218.67	0.2357
3/4/45	140	233.25	0.3536	241.00	0.9428

ตารางที่ ก-6 ปริมาณความกระด้าง (mg CaCO<sub>3</sub>/l) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	54.02	3.3325	37.35	1.4811
27/11/44	13	60.48	0.6171	51.14	0.2468
11/12/44	27	524.79	98.0215	373.22	2.1543
25/12/44	41	470.06	11.3551	529.06	39.2490
11/1/45	58	470.71	1.2259	560.87	18.3892
22/1/45	69	509.72	7.3557	600.74	11.0335
5/2/45	83	452.51	4.9038	586.01	24.5189
19/2/45	97	496.33	3.8078	621.08	0.0000
6/3/45	112	558.24	1.3541	653.03	13.5414
20/3/45	126	491.81	8.2941	570.06	6.6353
3/4/45	140	530.78	2.5619	619.54	7.6857



ตารางที่ ก-7 ปริมาณบีโอดี (mg O<sub>2</sub>/l) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	5.11	0.1874	4.54	0.1520
27/11/44	13	6.09	1.2905	5.63	0.9546
11/12/44	27	7.31	1.3258	11.75	3.1820
25/12/44	41	15.75	4.5962	9.50	3.1820
11/1/45	58	20.13	0.1768	16.00	0.3536
22/1/45	69	15.38	1.2374	15.13	6.8943
5/2/45	83	31.13	0.5303	19.25	10.9602
19/2/45	97	12.25	6.3640	16.50	1.4142
6/3/45	112	24.50	4.5962	23.00	1.0607
20/3/45	126	18.00	2.8284	24.75	4.5962
3/4/45	140	18.00	0.0000	20.25	1.0607

ตารางที่ ก-8 ปริมาณซีโอดี (mg O<sub>2</sub>/l) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	60.63	11.4905	77.50	22.9810
27/11/44	13	54.17	8.2496	43.33	0.0000
11/12/44	27	77.50	8.2496	54.17	5.8926
25/12/44	41	131.67	14.1421	91.67	4.7140
11/1/45	58	69.17	45.9619	45.00	4.7140
22/1/45	69	78.33	7.0711	100.00	11.7851
5/2/45	83	151.67	23.5702	85.83	1.1785
19/2/45	97	85.00	7.0711	91.67	2.3570
6/3/45	112	94.17	5.8926	191.67	75.4247
20/3/45	126	103.33	0.0000	110.83	8.2496
3/4/45	140	92.50	3.5355	95.00	14.1421

ตารางที่ ก-9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม (g/L) ในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

ว/ด/ป	วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
15/11/44	1	0.02	0.0073	0.03	0.0003
27/11/44	13	0.05	0.0013	0.05	0.0072
11/12/44	27	0.10	0.0088	0.08	0.0095
25/12/44	41	0.06	0.0343	0.04	0.0344
11/1/45	58	0.15	0.0527	0.17	0.0049
22/1/45	69	0.15	0.0422	0.06	0.0000
5/2/45	83	0.29	0.0099	0.27	0.0594
19/2/45	97	0.21	0.0474	0.29	0.1907
6/3/45	112	0.18	0.1011	0.27	0.0232
20/3/45	126	0.28	0.1351	0.19	0.1501
3/4/45	140	0.17	0.0557	0.16	0.0191

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-10 กลุ่มและปริมาณแพลงก์ตอนพืชบ่อควบคุม

วันที่	Chlorophyta เซลล์/ลบ.ม.	Bacillariophyta เซลล์/ลบ.ม.	Chromophyta เซลล์/ลบ.ม.	Cyanophyta เซลล์/ลบ.ม.	รวมทั้งหมด เซลล์/ลบ.ม.
1	55,555,556	0	11,111,111	22,222,222	88,888,889
13	17,481,481	0	2,185,185	0	19,666,666.67
27	146,629,630	38,370,370	24,666,667	47,962,963	257,629,630
41	224,000,000	84,000,000	10,000,000	4,000,000	322,000,000
58	984,722,222	25,000,000	2,777,778	94,444,444	1,106,944,444
69	1,796,222,222	222,888,889	0	56,814,815	2,075,925,926
83	717,888,889	111,222,222	0	16,851,852	845,962,963
97	472,592,593	121,481,481	0	358,518,519	952,592,593
112	252,046,296	37,731,481	0	116,212,963	405,990,741
126	397,250,000	78,750,000	0	22,750,000	498,750,000
140	1,496,722,222	43,500,000	0	612,222,222	2,152,444,444

ตารางที่ ก-11 กลุ่มและปริมาณแพลงก์ตอนพืชบ่อทดลอง

วันที่	Chlorophyta เซลล์/ลบ.ม.	Bacillariophyta เซลล์/ลบ.ม.	Chromophyta เซลล์/ลบ.ม.	Cyanophyta เซลล์/ลบ.ม.	รวมทั้งหมด เซลล์/ลบ.ม.
1	46,666,667	6,666,667	0	160,000,000	213,333,333
13	22,333,333	18,611,111	16,129,630	2,481,481	59,555,556
27	202,222,222	4,814,815	98,222,222	21,185,185	326,444,444
41	175,055,556	63,425,926	5,074,074	25,370,370	268,925,926
58	570,833,333	22,222,222	2,777,778	84,722,222	680,555,556
69	1,084,722,222	84,027,778	2,546,296	0	1,171,296,296
83	939,222,222	117,037,037	0	0	1,056,259,259
97	2,507,555,556	42,129,630	1,685,185	26,962,963	2,578,333,333
112	442,055,556	105,444,444	0	4,055,556	551,555,556
126	292,037,037	64,555,556	0	44,574,074	401,166,667
140	359,074,074	75,185,185	0	75,185,185	509,444,444

ตารางที่ ก-12 กลุ่มและปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์บ่อควบคุม

วันที่	copepod ตัว/ลบ.ม.	nauplius ตัว/ลบ.ม.	rotifer ตัว/ลบ.ม.	cladocera ตัว/ลบ.ม.	ostracod ตัว/ลบ.ม.	รวมทั้งหมด ตัว/ลบ.ม.
1	160,000	320,000	340,000	0	0	820,000
13	224,200	751,267	967,600	23,600	0	1,966,667
27	629,000	996,533	145,533	155,400	0	1,926,467
41	475,200	1,357,200	1,270,800	194,400	3,600	3,301,200
58	175,000	1,137,500	567,500	165,000	5,000	2,050,000
69	617,533	778,800	1,254,733	302,867	0	2,953,933
83	218,400	233,567	691,600	224,467	6,067	1,374,100
97	157,333	306,667	256,000	37,333	2,667	760,000
112	124,967	130,400	152,133	19,017	5,433	431,950
126	475,650	151,200	504,000	15,750	0	1,146,600
140	237,800	156,600	696,000	20,300	0	1,110,700

ตารางที่ ก-13 กลุ่มและปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์บ่อทดลอง

วันที่	copepod ตัว/ลบ.ม.	nauplius ตัว/ลบ.ม.	rotifer ตัว/ลบ.ม.	cladocera ตัว/ลบ.ม.	ostracod ตัว/ลบ.ม.	รวมทั้งหมด ตัว/ลบ.ม.
1	108,000	144,000	204,000	24,000	0	480,000
13	80,400	1,375,733	2,074,767	17,867	0	3,548,767
27	447,200	993,200	237,467	78,000	0	1,755,867
41	461,233	835,700	1,598,333	219,200	0	3,114,467
58	277,500	407,500	222,500	147,500	7,500	1,062,500
69	1,049,583	930,417	238,333	142,083	4,583	2,365,000
83	155,367	147,467	55,300	84,267	0	442,400
97	585,433	227,500	63,700	84,933	6,067	967,633
112	255,500	36,500	38,933	48,667	0	379,600
126	273,900	85,767	622,500	0	0	982,167
140	361,667	46,667	81,667	16,333	0	506,333

ตารางที่ ก-14 ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{mg NH}_4^+ \text{-N/l}$ ) ในถังควบคุม ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน

ชั่วโมง	ถังควบคุม		ถังที่มีตัวกรองใหม่		ถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	5.82	0.2838	4.73	0.2212	4.75	0.2990
1	6.45	0.4972	4.44	0.1520	4.29	0.0870
3	5.04	0.3593	5.25	0.5264	4.90	0.2804
5	5.45	0.3435	5.33	0.3142	4.49	0.4435
7	5.54	0.3830	5.15	0.3830	3.86	0.5670
9	5.15	0.1570	4.89	0.0557	3.55	0.2054
20	4.73	0.5219	3.94	0.0858	0.95	0.0721
22	4.63	0.2721	4.42	0.3538	0.53	0.0067
24	4.35	0.0487	4.51	0.3138	0.46	0.0244
26	4.64	0.1702	5.15	0.3245	0.18	0.0559
29	4.59	0.2897	4.43	0.2589	0.05	0.0472
29.4	4.12	0.3341	4.17	0.2231	5.89	0.6381
31	3.82	0.0529	3.80	0.2231	4.84	0.3687
34	3.88	0.1726	3.88	0.3008	4.16	0.2089
37	3.49	0.0774	3.43	0.2630	3.42	0.2821
40	3.67	0.7300	3.90	0.1786	3.06	0.6762
43	3.23	0.6244	4.36	0.9670	2.09	0.3889
46	3.25	0.2959	3.21	0.2702	1.22	0.2801
49	3.03	0.1336	3.35	0.2439	0.79	0.0416
52	2.93	0.2812	2.63	0.2200	0.32	0.2109
55	2.16	0.4437	2.47	0.1894	-0.19	0.1671
58	2.30	0.1946	2.52	0.1260	6.14	0.4864
61	2.70	0.1349	2.95	0.2890	5.88	0.6264
64	2.41	0.2816	2.49	0.2960	4.83	0.2264
70	1.90	0.1745	2.15	0.1832	3.82	0.5947

ตารางที่ ก-14 (ต่อ) ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{mg NH}_4^+ \text{-N/l}$ ) ในถังควบคุม ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน

ชั่วโมง	ถังควบคุม		ถังที่มีตัวกรองใหม่		ถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
73	1.98	0.6867	2.07	0.2111	3.68	0.2072
76	1.04	0.1192	1.14	0.1723	3.76	0.5749
78	1.14	0.2762	1.12	0.0752	2.53	0.4142
82	0.89	0.2443	1.37	0.4852	3.03	0.4340
85	1.21	0.2108	1.27	0.1725	2.73	0.0603
88	1.52	0.5583	2.16	0.2281	4.78	0.4660
91	0.78	0.1743	1.08	0.2576	2.63	0.6436
94	0.61	0.1801	0.87	0.0509	2.85	0.3223
97	0.42	0.0681	0.37	0.0681	2.62	0.2539
100	0.34	0.0855	0.22	0.0717	2.39	0.3848
119	-0.29	0.0463	0.05	0.0715	1.79	0.1609
131	0.60	0.1232	0.84	0.1773	1.90	0.5026
148	0.38	0.2432	0.31	0.1205	2.54	0.1654
169	0.20	0.0562	0.27	0.1529	2.05	0.1293

หมายเหตุ มีการเติมสารละลายแอมโมเนียซัลเฟต  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  ลงเฉพาะในถังที่มีตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน ในชั่วโมงที่ 29.4 และ 58 ปริมาณน้ำในถัง 45 ลิตร



ตารางที่ ก-15 ปริมาณไนไตรต์ ( $\text{mg NO}_2^-/\text{N/l}$ ) ในถังควบคุม ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน

ชั่วโมง	ถังควบคุม		ถังที่มีตัวกรองใหม่		ถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	0.02	0.0005	0.02	0.0002	0.02	0.0000
1	0.02	0.0004	0.02	0.0009	0.04	0.0005
3	0.02	0.0004	0.02	0.0007	0.46	0.0096
5	0.02	0.0018	0.02	0.0000	0.86	0.0158
7	0.02	0.0018	0.02	0.0018	1.35	0.0018
9	0.02	0.0018	0.03	0.0047	1.74	0.0031
20	0.02	0.0002	0.03	0.0017	3.85	0.0252
22	0.02	0.0033	0.04	0.0061	4.40	0.0222
24	0.03	0.0084	0.04	0.0081	4.86	0.0145
26	0.02	0.0010	0.03	0.0004	4.86	0.0145
29	0.02	0.0004	0.05	0.0079	5.72	0.0168
29.4	0.02	0.0097	0.04	0.0092	5.91	0.0222
31	0.03	0.0023	0.04	0.0067	6.37	0.0303
34	0.03	0.0002	0.04	0.0006	7.46	0.0366
37	0.03	0.0008	0.04	0.0037	7.50	0.0000
40	0.03	0.0058	0.05	0.0180	9.00	0.0084
43	0.03	0.0029	0.05	0.0145	7.10	0.0291
46	0.03	0.0000	0.04	0.0003	9.35	0.0222
49	0.04	0.0013	0.05	0.0047	9.78	0.0222
52	0.04	0.0021	0.05	0.0003	10.52	0.0303
55	0.04	0.0003	0.05	0.0009	10.64	0.0468
58	0.05	0.0064	0.06	0.0010	10.83	0.0718
61	0.05	0.0002	0.07	0.0025	9.79	0.0366
64	0.07	0.0070	0.06	0.0003	9.50	0.0468
70	0.07	0.0070	0.08	0.0023	12.18	0.0810
73	0.07	0.0016	0.08	0.0006	8.89	0.0385
76	0.09	0.0163	0.09	0.0046	12.28	0.0168
78	0.08	0.0030	0.10	0.0013	8.84	0.0551
82	0.09	0.0005	0.11	0.0058	11.45	0.0252
85	0.07	0.0010	0.08	0.0006	11.43	0.0433
88	0.07	0.0098	0.10	0.0011	12.11	0.0995
91	0.08	0.0016	0.11	0.0004	12.26	0.0713
94	0.09	0.0007	0.11	0.0028	9.02	0.0433
97	0.08	0.0003	0.12	0.0007	10.01	0.0164
100	0.10	0.0013	0.12	0.0007	7.99	0.0491
119	0.10	0.0010	0.15	0.0012	9.43	0.1021
131	0.08	0.0007	0.14	0.0019	8.27	0.0283
148	0.09	0.0010	0.10	0.0003	6.26	0.0491
169	0.07	0.0004	0.01	0.0003	3.35	0.0327

ตารางที่ ก-16 ปริมาณไนเตรต ( $\text{mg NO}_3^-/\text{N/l}$ ) ในถังควบคุม ถังที่มีตัวกรองใหม่และถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน

ชั่วโมง	ถังควบคุม		ถังที่มีตัวกรองใหม่		ถังที่มีตัวกรองอายุ 1 เดือน	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	0.26	0.0031	0.33	0.0018	0.28	0.0000
1	0.29	0.0028	0.35	0.0034	0.30	0.0193
3	0.30	0.0038	0.38	0.0026	0.35	0.0251
5	0.31	0.0031	0.38	0.0080	0.48	0.0158
7	0.31	0.0030	0.42	0.0049	0.36	0.0180
9	0.33	0.0031	0.43	0.0058	0.32	0.0191
20	0.30	0.0034	0.44	0.0050	1.98	0.0566
22	0.29	0.0039	0.38	0.0048	1.41	0.0553
24	0.23	0.0096	0.40	0.0102	1.01	0.0608
26	0.32	0.0029	0.46	0.0012	2.30	0.0806
29	0.32	0.0034	0.37	0.0101	1.20	0.0205
29.4	0.32	0.0100	0.40	0.0061	2.29	0.0773
31	0.30	0.0073	0.39	0.0036	0.62	0.0452
34	0.32	0.0023	0.43	0.0080	1.97	0.0380
37	0.32	0.0028	0.43	0.0060	0.97	0.0373
40	0.31	0.0049	0.34	0.0181	1.19	0.0270
43	0.32	0.0052	0.37	0.0149	5.55	0.0794
46	0.33	0.0025	0.45	0.0008	2.15	0.0635
49	0.24	0.0078	0.46	0.0067	3.94	0.0616
52	0.27	0.0023	0.51	0.0037	4.18	0.1520
55	0.30	0.0035	0.51	0.0034	3.96	0.0759
58	0.27	0.0063	0.50	0.0021	5.08	0.1467
61	0.31	0.0032	0.49	0.0058	6.24	0.1097
64	0.27	0.0060	0.47	0.0665	6.91	0.1431
70	0.31	0.0081	0.52	0.0131	4.46	0.1381
73	0.33	0.0043	0.53	0.0025	7.72	0.2221
76	0.60	0.0188	0.49	0.0057	5.62	0.0536
78	0.33	0.0029	0.52	0.0037	12.46	0.1330
82	0.32	0.0033	0.51	0.0015	7.78	0.2659
85	1.13	0.0103	0.93	0.0043	7.80	0.0949
88	0.55	0.0108	0.99	0.0083	6.66	0.2097
91	0.40	0.0064	0.54	0.0025	6.95	0.1258
94	0.23	0.0054	0.48	0.0053	9.57	0.1770
97	0.63	0.0092	0.46	0.0013	7.63	0.1132
100	0.28	0.0054	0.50	0.0047	11.98	0.0649
119	0.34	0.0017	0.47	0.0052	9.02	0.1051
131	0.26	0.0027	0.41	0.0029	10.08	0.1300
148	0.30	0.0040	0.25	0.0033	12.23	0.1201
169	0.12	0.0029	0.01	0.0019	15.92	0.1576

ตารางที่ ก-17 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่เลี้ยงในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
1	0.60	0.6245	0.59	0.4683
27	18.23	3.3799	18.41	4.7778
58	89.90	29.3525	87.95	26.0698
83	189.35	48.7615	179.19	59.7605
112	311.61	80.2536	325.71	70.8057
140	362.50	77.9496	317.32	103.3735

ตารางที่ ก-18 ความยาวเฉลี่ยของปลาที่เลี้ยงในบ่อควบคุมและบ่อทดลอง

วันที่	บ่อควบคุม		บ่อทดลอง	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
1	3.32	0.2472	3.45	0.2232
27	9.51	0.5560	9.45	0.8596
58	15.25	1.7654	15.32	1.5877
83	20.19	1.5360	19.45	2.4878
112	23.54	2.3321	23.50	1.9187
140	25.73	2.2824	24.54	2.7614

ตารางที่ ก-19 ปริมาณอาหารสะสมที่ให้แก่ปลาในบ่อควบคุม

วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)
2	0.20	38	203.8	74	1046.80	110	2166.00
3	0.40	39	218.5	75	1083.80	111	2206.00
4	0.60	40	231.45	76	1122.30	112	2222.00
5	1.10	41	239.85	77	1165.30	113	2253.00
6	1.70	42	252.8	78	1202.30	114	2298.00
7	2.60	43	267.65	79	1241.30	115	2327.50
8	3.60	44	284.3	80	1283.00	116	2373.50
9	4.80	45	298.05	81	1316.50	117	2398.50
10	6.40	46	317.55	82	1348.50	118	2441.00
11	8.30	47	337.55	83	1353.50	119	2476.00
12	10.00	48	353.75	84	1393.50	120	2512.00
13	12.00	49	372.75	85	1395.50	121	2527.50
14	14.20	50	390.95	86	1425.50	122	2557.50
15	17.00	51	411.60	87	1457.50	123	2587.00
16	19.70	52	430.10	88	1488.50	124	2612.00
17	23.20	53	453.10	89	1513.00	125	2641.00
18	26.40	54	480.10	90	1530.00	126	2672.50
19	30.40	55	503.10	91	1559.50	127	2710.50
20	35.00	56	531.60	92	1600.50	128	2734.00
21	39.70	57	557.60	93	1639.00	129	2764.00
22	45.30	58	584.20	94	1683.00	130	2798.00
23	50.80	59	608.50	95	1715.00	131	2824.00
24	57.30	60	624.40	96	1760.00	132	2844.00
25	64.50	61	654.40	97	1785.50	133	2868.00
26	72.10	62	683.95	98	1830.50	134	2888.50
27	78.90	63	710.80	99	1846.50	135	2898.50
28	86.20	64	742.20	100	1874.50	136	2907.50
29	96.80	65	770.95	101	1881.50	137	2917.50
30	107.80	66	794.95	102	1895.50	138	2943.50
31	118.70	67	821.95	103	1928.00	139	2964.50
32	130.00	68	861.95	104	1958.00	140	2986.50
33	141.10	69	879.35	105	1992.50	141	3001.50
34	152.95	70	912.55	106	2033.00	142	3046.50
35	164.50	71	944.55	107	2071.00	143	3046.50
36	178.15	72	983.25	108	2107.00		
37	190.50	73	1015.80	109	2146.00		

ตารางที่ ก-20 ปริมาณอาหารสะสมที่ให้แก่ปลาในบ่อดลอง

วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)	วันที่	ปริมาณสะสม (Kg.)
2	0.20	38	216.40	74	1066.30	110	2296.80
3	0.40	39	234.70	75	1103.30	111	2336.80
4	0.60	40	249.95	76	1145.30	112	2355.80
5	0.90	41	258.80	77	1185.30	113	2386.80
6	1.20	42	278.10	78	1224.30	114	2415.30
7	1.80	43	297.25	79	1267.30	115	2446.30
8	2.60	44	320.15	80	1308.30	116	2492.30
9	3.60	45	333.80	81	1341.80	117	2504.80
10	4.95	46	354.80	82	1378.30	118	2538.80
11	6.55	47	379.20	83	1406.80	119	2559.30
12	8.15	48	398.00	84	1450.80	120	2593.80
13	10.15	49	411.60	85	1494.80	121	2609.30
14	12.35	50	427.20	86	1540.80	122	2628.30
15	15.15	51	439.75	87	1571.80	123	2651.80
16	18.20	52	454.55	88	1608.80	124	2675.80
17	21.65	53	475.60	89	1631.80	125	2703.80
18	25.60	54	495.60	90	1658.80	126	2729.30
19	29.70	55	517.60	91	1684.30	127	2757.30
20	34.40	56	546.85	92	1722.80	128	2777.80
21	39.40	57	574.25	93	1754.30	129	2804.80
22	45.30	58	597.50	94	1795.30	130	2826.80
23	51.40	59	627.50	95	1835.30	131	2860.80
24	57.80	60	652.45	96	1874.30	132	2874.30
25	65.50	61	682.75	97	1898.30	133	2901.30
26	72.20	62	713.75	98	1943.30	134	2920.30
27	80.80	63	742.75	99	1970.80	135	2940.30
28	89.40	64	777.55	100	2002.30	136	2943.80
29	99.80	65	803.95	101	2025.30	137	2972.80
30	112.80	66	813.45	102	2039.30	138	2992.80
31	121.95	67	840.45	103	2076.80	139	3021.80
32	134.35	68	868.70	104	2100.30	140	3027.80
33	144.65	69	893.50	105	2138.30	141	3052.80
34	159.35	70	929.30	106	2164.30	142	3082.80
35	172.05	71	961.30	107	2209.30	143	3082.80
36	187.05	72	1001.30	108	2235.30		
37	200.90	73	1036.80	109	2278.80		

ตารางที่ ก-21 จำนวนปลาตายในบ่อควบคุมและบ่อทดลองตลอดการทดลอง

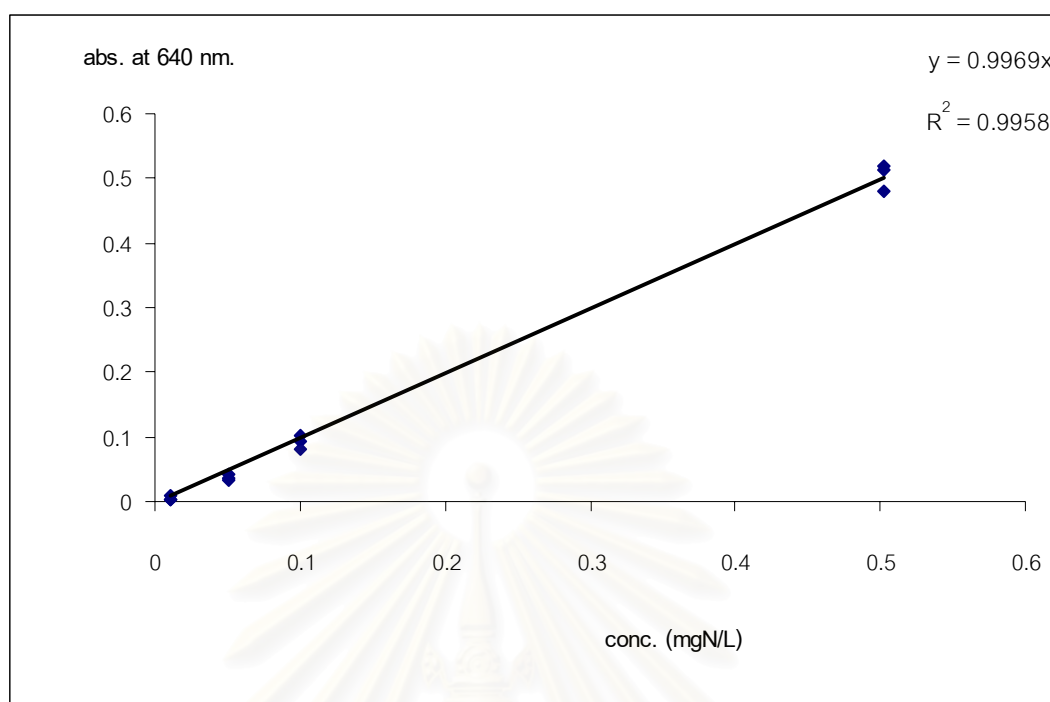
วันที่	จำนวนปลาตาย (ตัว)		วันที่	จำนวนปลาตาย (ตัว)		วันที่	จำนวนปลาตาย (ตัว)		วันที่	จำนวนปลาตาย (ตัว)	
	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง		บ่อควบคุม	บ่อทดลอง		บ่อควบคุม	บ่อทดลอง		บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
16/11/44	0	0	22/12/44	0	0	27/1/45	0	0	4/3/45	0	0
17/11/44	0	0	23/12/44	0	0	28/1/45	0	0	5/3/45	0	0
18/11/44	0	0	24/12/44	0	0	29/1/45	2	0	6/3/45	1	0
19/11/44	0	0	25/12/44	0	0	30/1/45	0	0	7/3/45	0	0
20/11/44	0	0	26/12/44	0	0	31/1/45	0	0	8/3/45	0	0
21/11/44	0	0	27/12/44	0	0	1/2/45	1	1	9/3/45	0	0
22/11/44	0	0	28/12/44	0	0	2/2/45	0	0	10/3/45	0	0
23/11/44	0	0	29/12/44	0	0	3/2/45	2	2	11/3/45	0	0
24/11/44	0	0	30/12/44	0	0	4/2/45	0	0	12/3/45	0	0
25/11/44	0	0	31/12/44	0	0	5/2/45	0	0	13/3/45	0	0
26/11/44	0	0	1/1/45	0	0	6/2/45	0	0	14/3/45	0	0
27/11/44	0	0	2/1/45	0	0	7/2/45	0	0	15/3/45	0	0
28/11/44	0	0	3/1/45	0	0	8/2/45	0	0	16/3/45	0	0
29/11/44	0	0	4/1/45	0	0	9/2/45	0	0	17/3/45	0	0
30/11/44	2	0	5/1/45	0	0	10/2/45	0	0	18/3/45	0	0
1/12/44	0	0	6/1/45	0	0	11/2/45	0	0	19/3/45	0	0
2/12/44	0	0	7/1/45	0	0	12/2/45	0	0	20/3/45	0	0
3/12/44	0	0	8/1/45	0	0	13/2/45	1	0	21/3/45	0	1
4/12/44	4	0	9/1/45	0	0	14/2/45	0	0	22/3/45	1	3
5/12/44	0	4	10/1/45	0	0	15/2/45	1	0	23/3/45	0	2
6/12/44	0	0	11/1/45	1	1	16/2/45	0	0	24/3/45	2	4
7/12/44	0	1	12/1/45	3	0	17/2/45	0	1	25/3/45	0	2
8/12/44	0	0	13/1/45	0	0	18/2/45	0	1	26/3/45	2	0
9/12/44	0	0	14/1/45	0	1	19/2/45	0	1	27/3/45	0	1
10/12/44	0	0	15/1/45	1	0	20/2/45	0	0	28/3/45	1	1
11/12/44	0	0	16/1/45	0	1	21/2/45	0	0	29/3/45	1	4
12/12/44	0	0	17/1/45	0	0	22/2/45	0	1	30/3/45	10	6
13/12/44	0	0	18/1/45	0	0	23/2/45	0	0	31/3/45	3	0
14/12/44	2	0	19/1/45	0	0	24/2/45	4	0	1/4/45	3	8
15/12/44	0	0	20/1/45	0	2	25/2/45	14	0	2/4/45	12	8
16/12/44	0	0	21/1/45	1	2	26/2/45	0	0	3/4/45	0	0
17/12/44	0	0	22/1/45	0	0	27/2/45	0	0	4/4/45	0	0
18/12/44	0	0	23/1/45	0	3	28/2/45	0	0	5/4/45	5	18
19/12/44	0	0	24/1/45	0	1	1/3/45	0	0	6/4/45	5	29
20/12/44	0	0	25/1/45	0	0	2/3/45	0	0	7/4/45	5	6
21/12/44	0	0	26/1/45	0	0	3/3/45	0	0	8/4/45	4	18



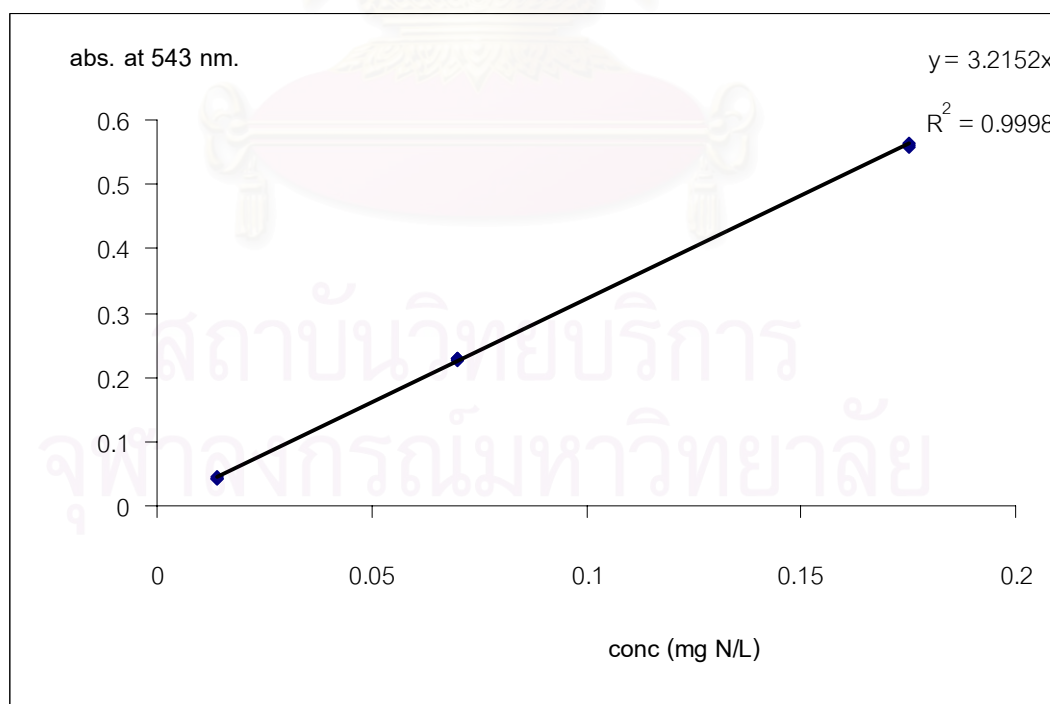


ภาคผนวก ข  
กราฟมาตรฐาน

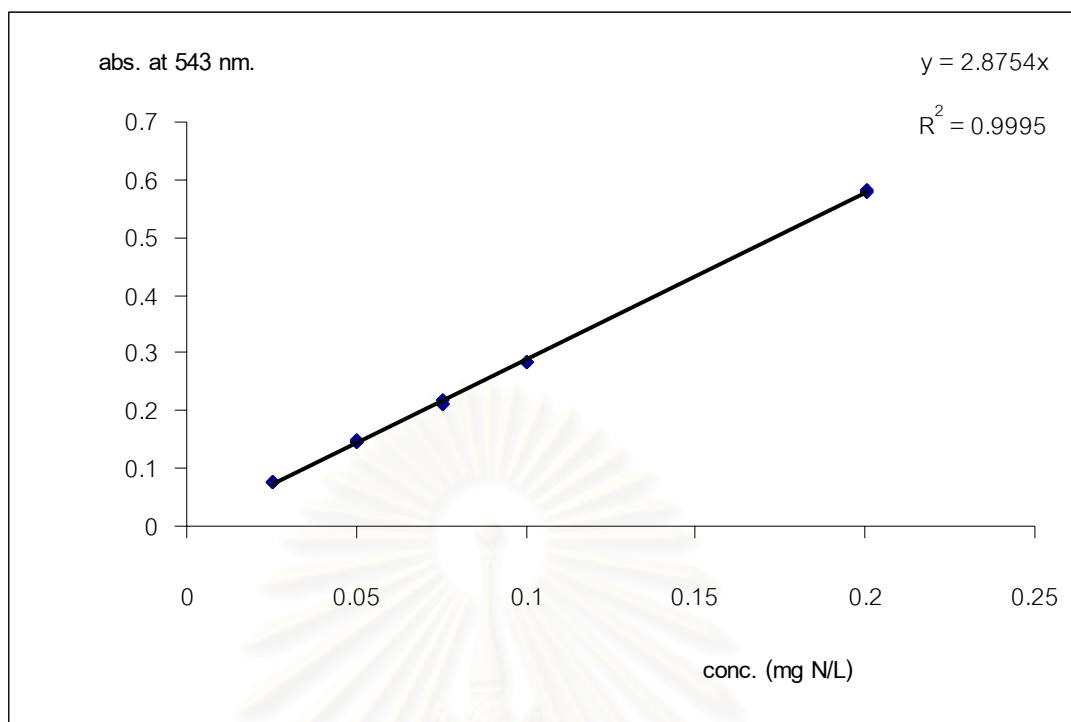
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



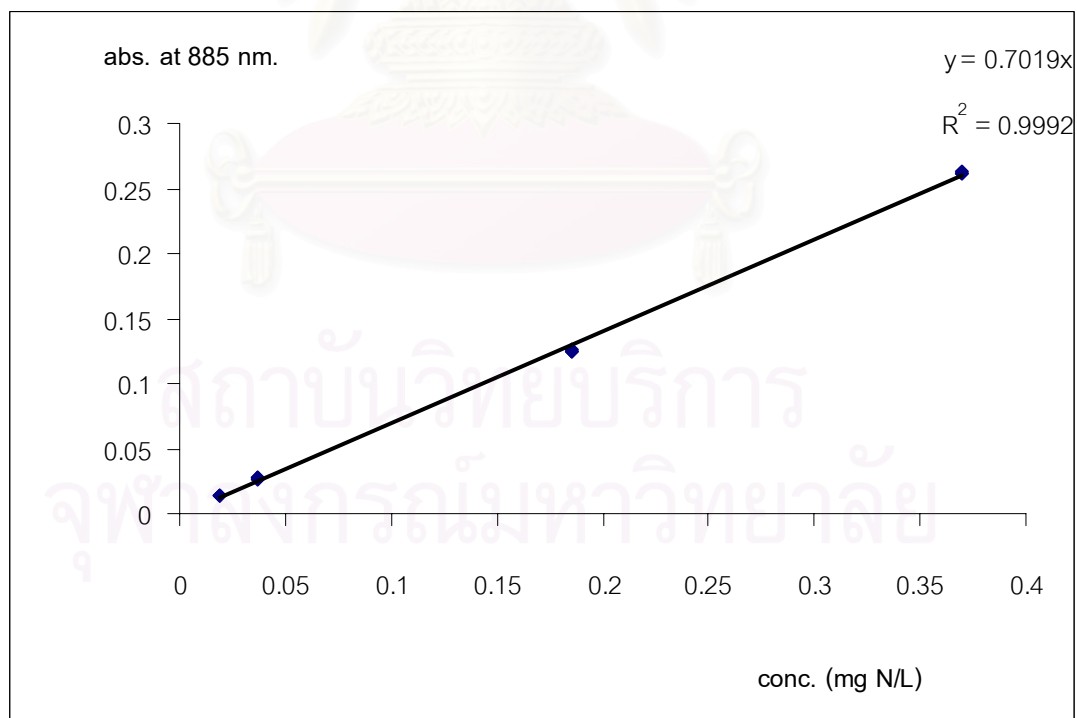
ภาพที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียม



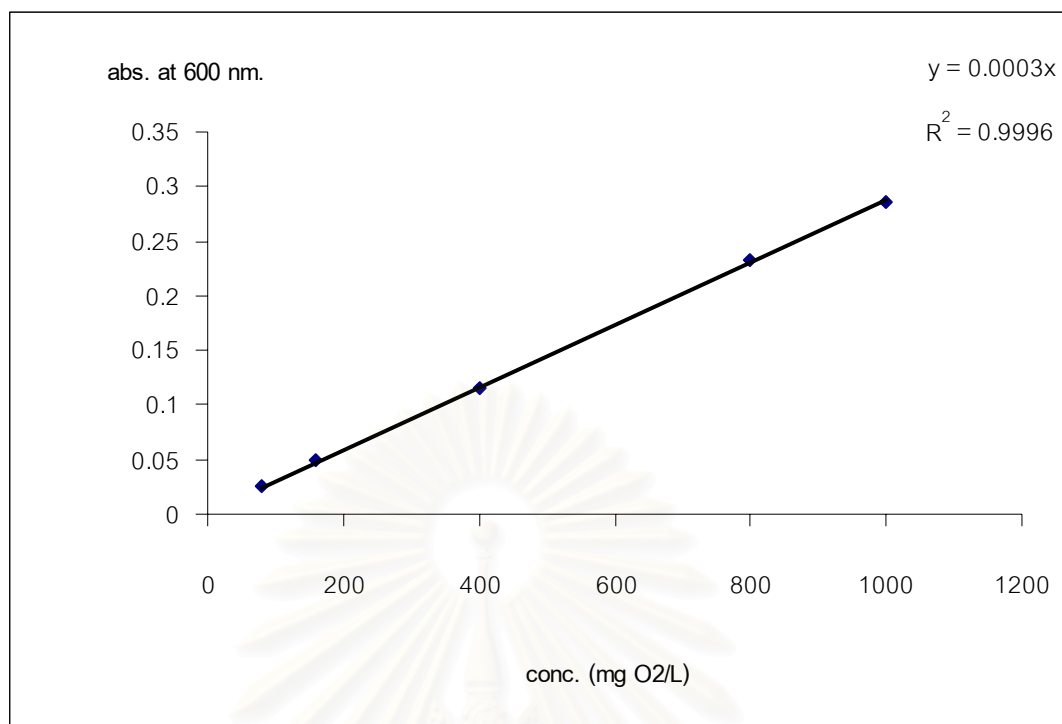
ภาพที่ ข-2 กราฟมาตรฐานของไนไตรต์



ภาพที่ ข-3 กราฟมาตรฐานของไนเตรต



ภาพที่ ข-4 กราฟมาตรฐานของฟอสเฟต



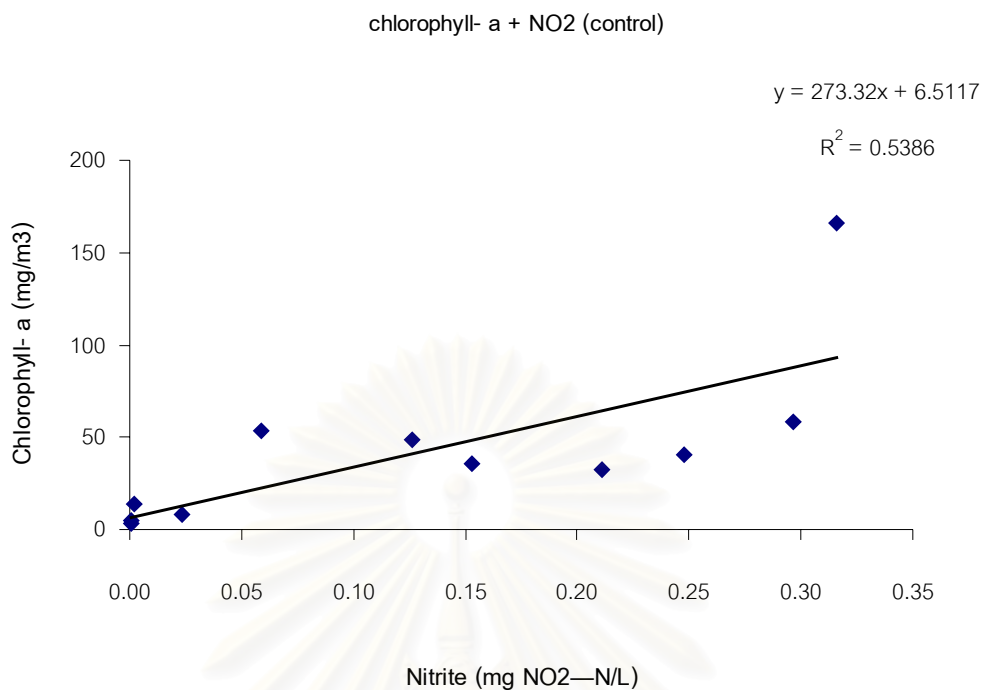
ภาพที่ ข-5 กราฟมาตรฐานของซีไอดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

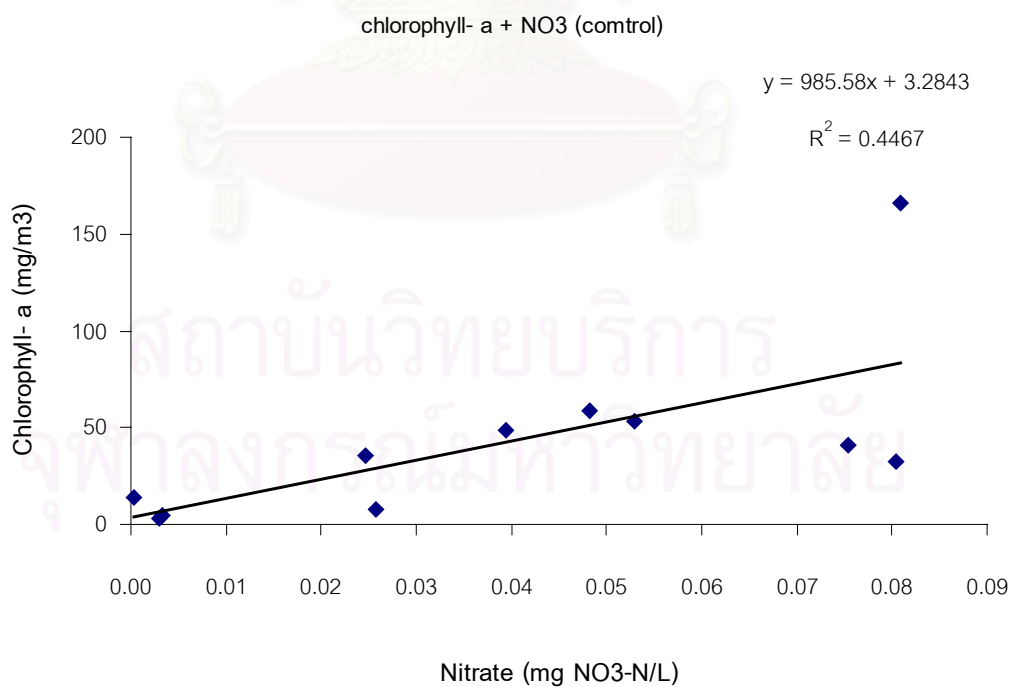


ภาคผนวก ค  
กราฟความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

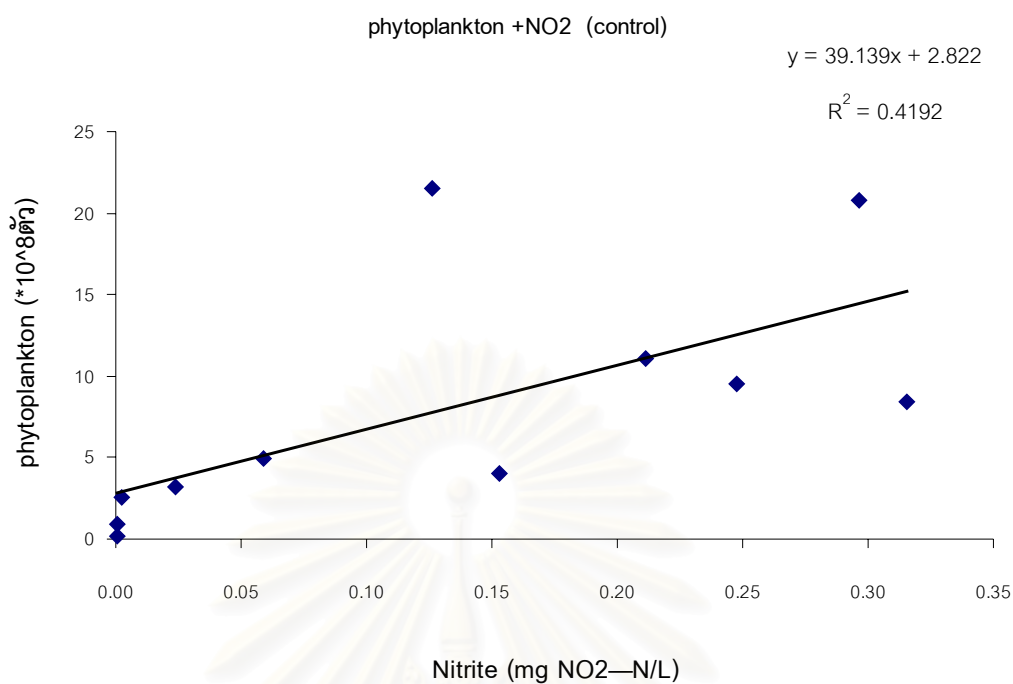


ภาพที่ ค-1 กราฟความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์- เอ และไนไตรต์ของบ่อควบคุม ( t- test,  $p < 0.05$ )

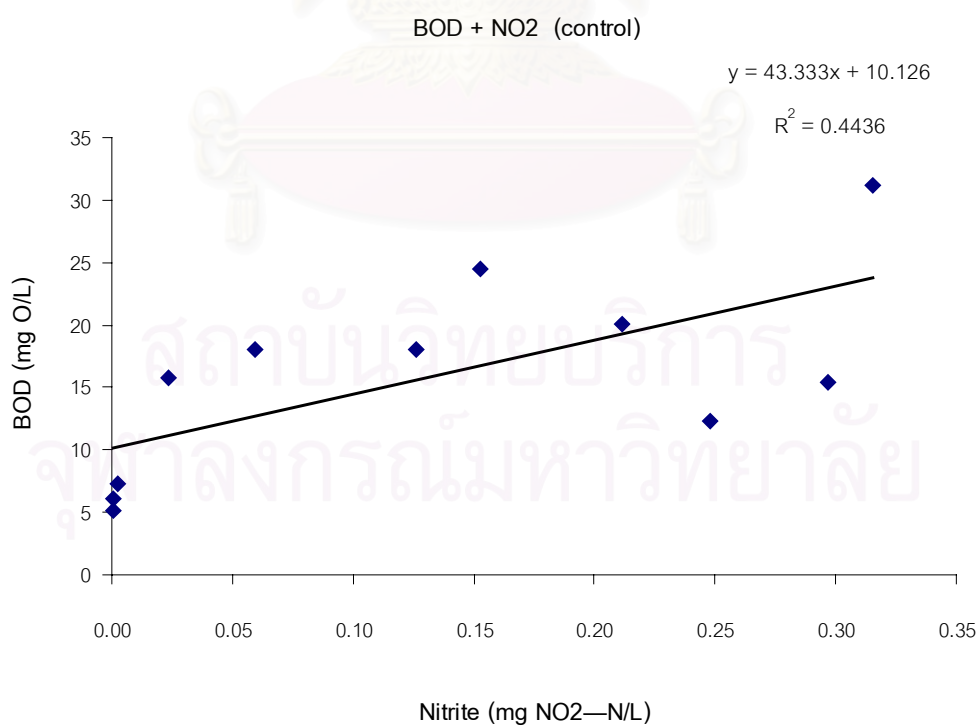


ภาพที่ ค-2 กราฟความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์- เอ และไนเตรตของบ่อควบคุม ( t- test,  $p < 0.05$ )

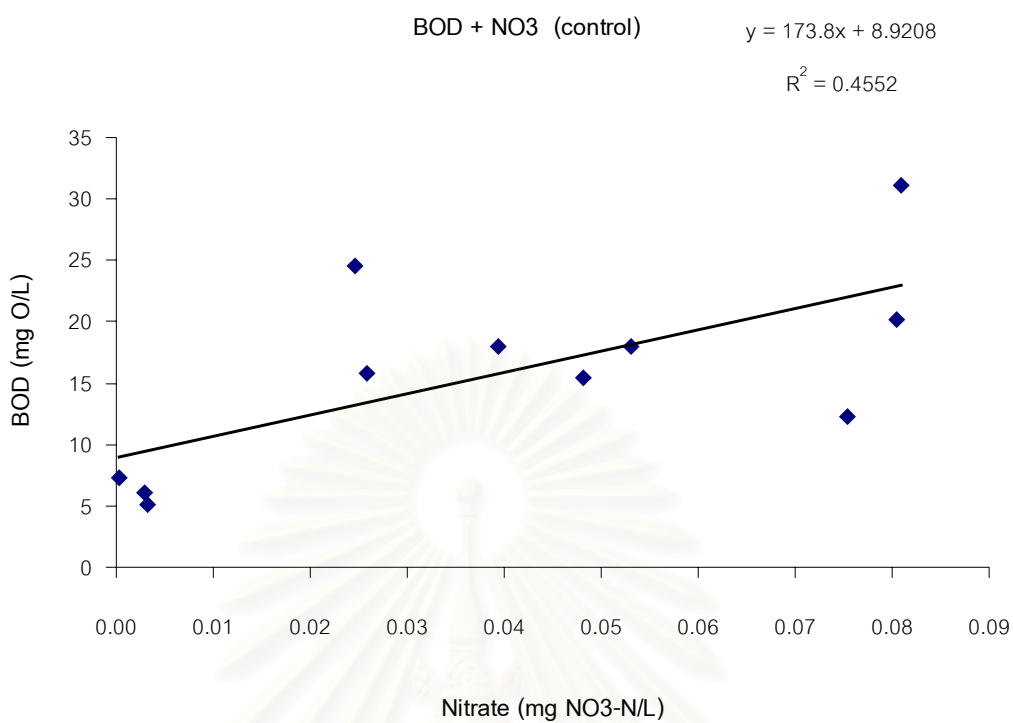




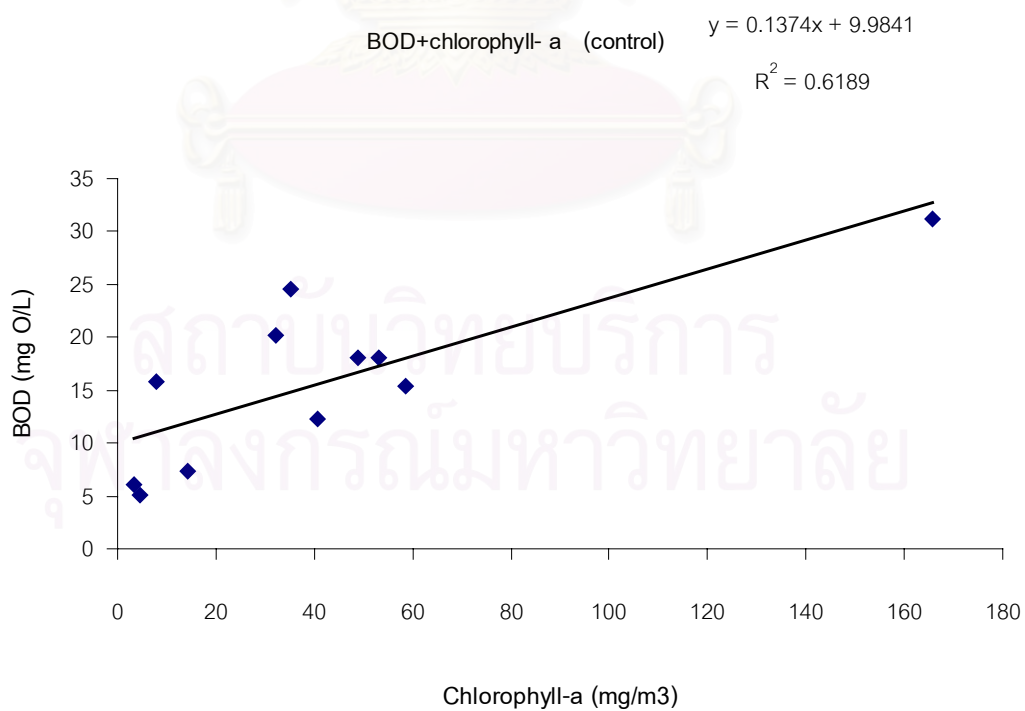
ภาพที่ ค-3 กราฟความสัมพันธ์แฟลงก์ตอนพืชและไนไตรต์ของบ่อควบคุม ( t- test, p< 0.05)



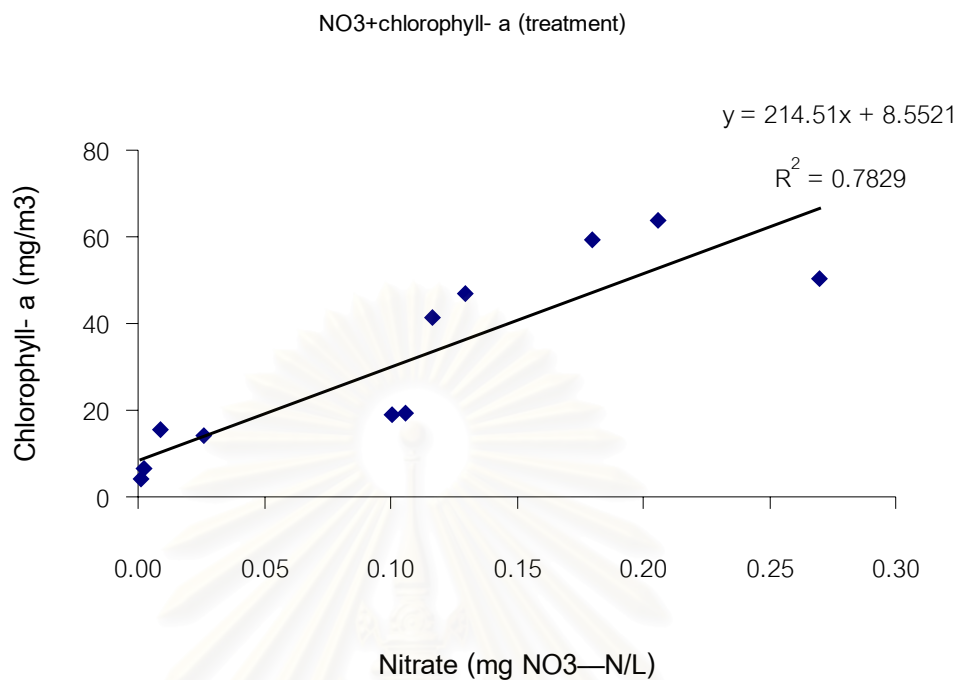
ภาพที่ ค-4 กราฟความสัมพันธ์บีโอดีและไนไตรต์ของบ่อควบคุม ( t- test, p< 0.05)



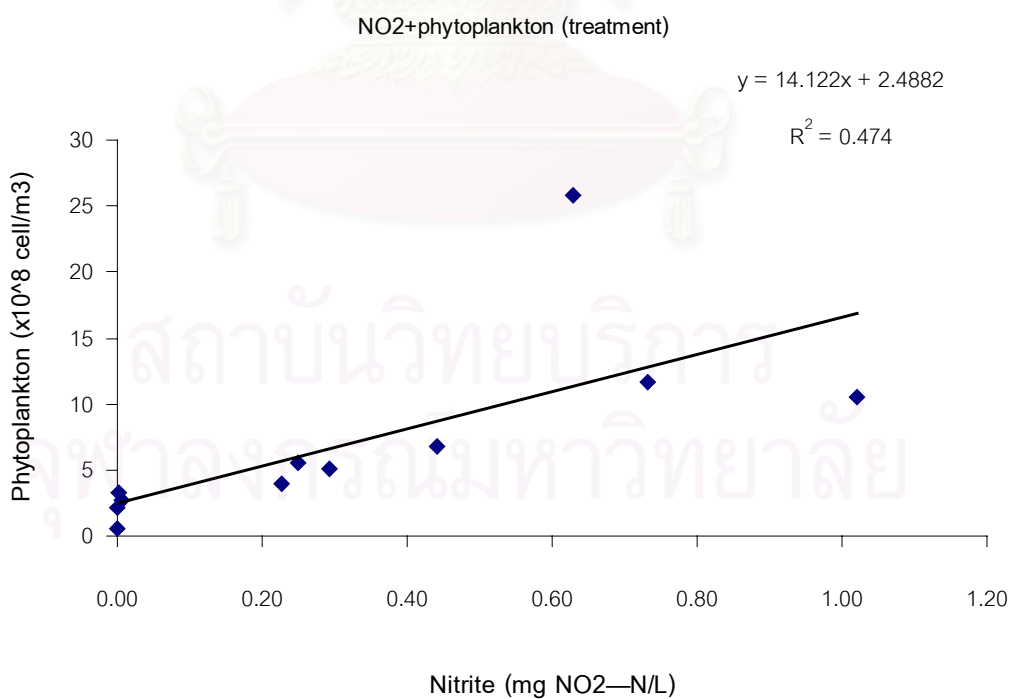
ภาพที่ ค-5 กราฟความสัมพันธ์บีโอดีและไนเตรตของบ่อควบคุม ( t- test,  $p < 0.05$ )



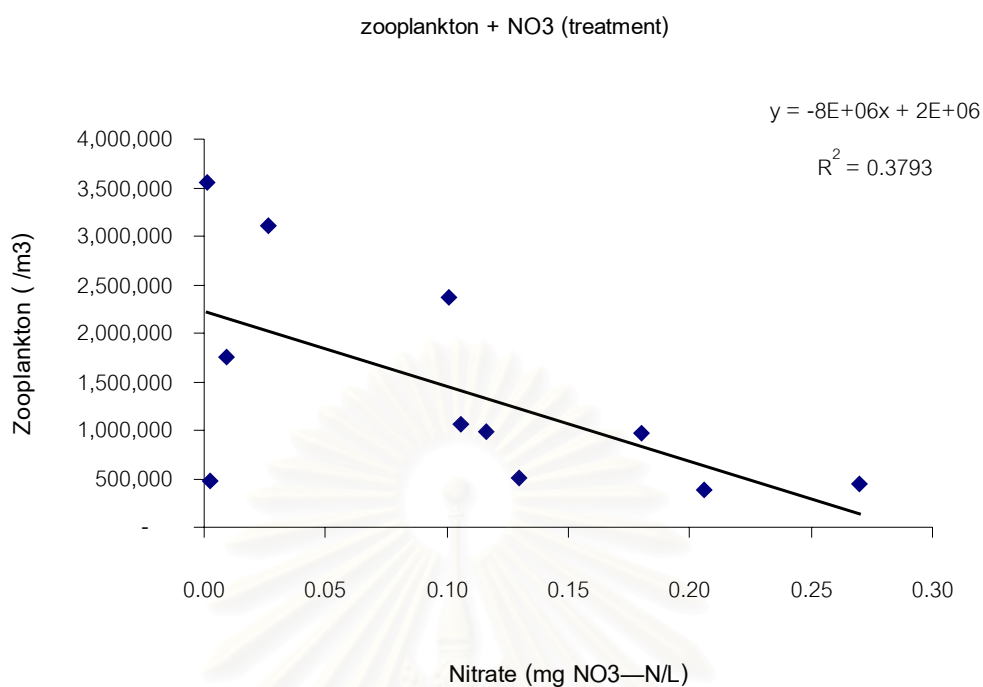
ภาพที่ ค-6 กราฟความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์- เอ และบีโอดีของบ่อควบคุม ( t- test,  $p < 0.05$ )



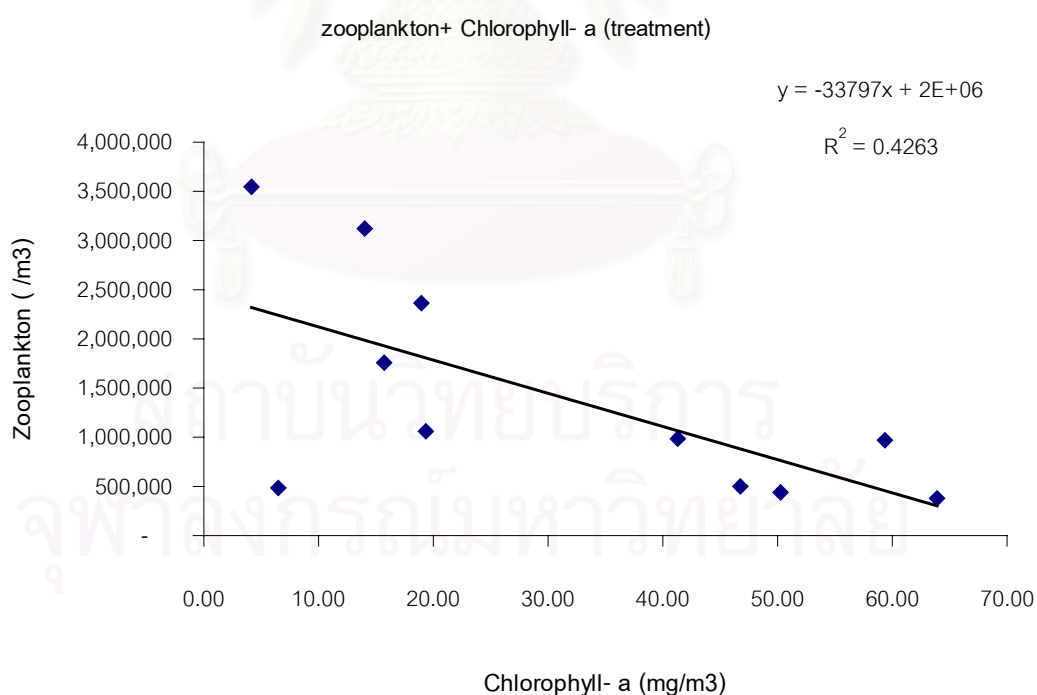
ภาพที่ ค-7 กราฟความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์- เอ และไนเตรตของบ่อกทดลอง ( t- test,  $p < 0.05$ )



ภาพที่ ค-8 กราฟความสัมพันธ์แพลงก์ตอนพืชและไนไตรต์ของบ่อกทดลอง ( t- test,  $p < 0.05$ )

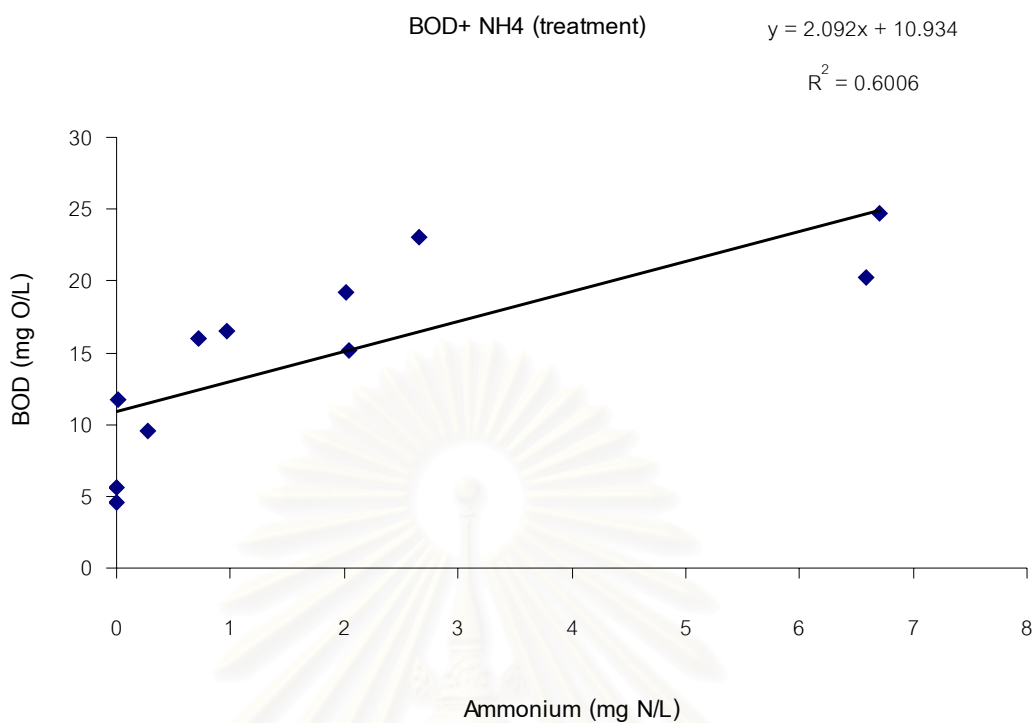


ภาพที่ ค-9 กราฟความสัมพันธ์แพลงก์ตอนสัตว์และไนเตรตของบ่อดทดลอง ( t- test,  $p < 0.05$ )

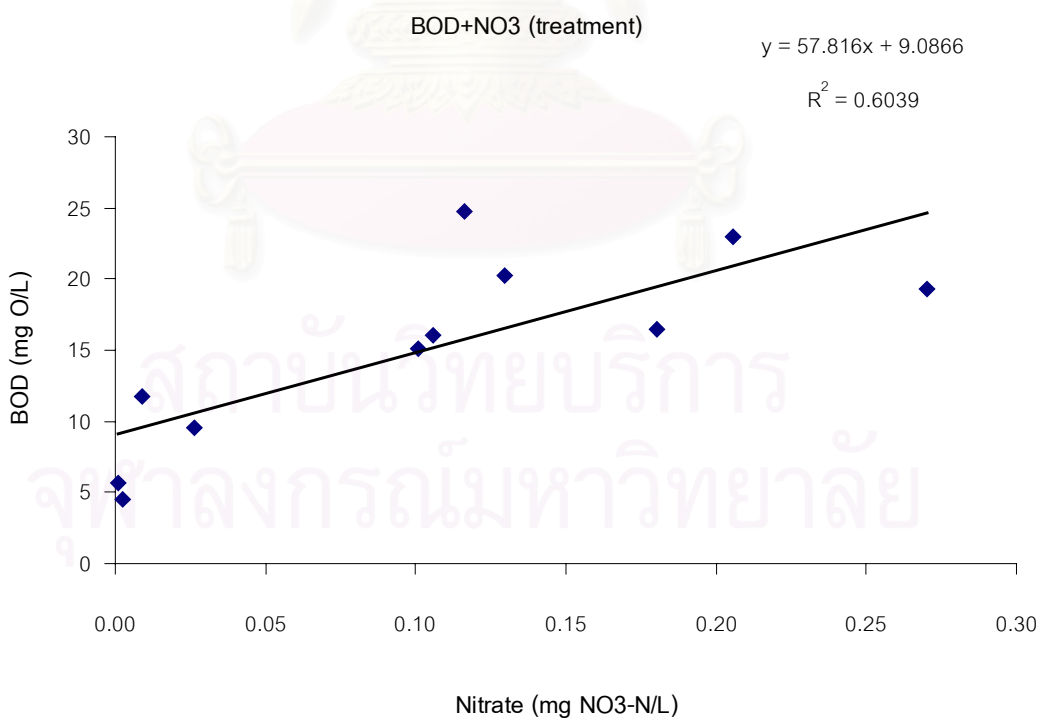


ภาพที่ ค-10 กราฟความสัมพันธ์แพลงก์ตอนสัตว์และคลอโรฟิลล์- เอ ของบ่อดทดลอง

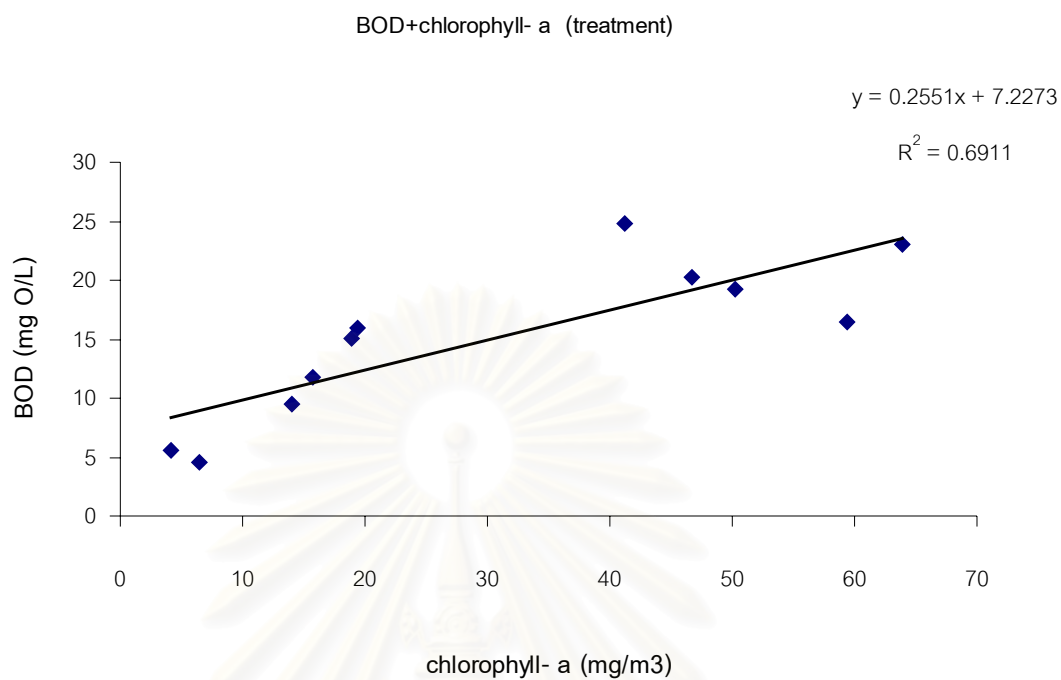
( t- test,  $p < 0.05$ )



ภาพที่ ค-11 กราฟความสัมพันธ์บีโอดีและแอมโมเนียมของบ่อดอง ( t- test, p< 0.05)



ภาพที่ ค-12 กราฟความสัมพันธ์บีโอดีและไนเตรตของบ่อดอง ( t- test, p< 0.05)



ภาพที่ ค-13 กราฟความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์- เอ และบีโอดีของบ่อทดลอง ( t- test,  $p < 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ง  
การคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค-1 การคำนวณอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตัวกรองชีวภาพอายุ 1 เดือน

$$\text{อัตราการลดลงเมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตครั้งที่ 1} = \frac{4.75 - 0.05}{29.0 - 0.0} = 0.16$$

$$\text{อัตราการลดลงเมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตครั้งที่ 2} = \frac{5.89 - 0.32}{52.0 - 29.0} = 0.24$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = (0.16 + 0.24) / 2 = 0.2 \text{ mg/l/hr}$$

$$= 0.2 \times 45 \text{ mg/hr}$$

$$= 0.2 \times 45 \times 24 \text{ mg/day}$$

$$= (0.2 \times 45 \times 24 \times 100) / 30 \text{ mg/m/day}$$

$$= 720 \text{ mg/m/day}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ค-2 การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำ ในอาหารและในตัวปลาที่บ่ม

### การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในบ่อควบคุม

ก่อนทดลอง

$$\text{น้ำ 1 ลิตร} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาตรน้ำในบ่อเป็น } 30 \times 30 \times 1.2 = 1080 \text{ m}^3 \text{ ดังนั้น}$$

ไนโตรเจนเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่า  $2.445 \times 10^{-4} \text{ mg/l}$  จะได้ว่า

$$\text{ปริมาตรน้ำ } 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ มีไนโตรเจน } 2.445 \times 10^{-4} \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\text{น้ำในบ่อ } 1080 \text{ m}^3 \text{ มีไนโตรเจน } [(2.445 \times 10^{-4} \times 10^{-6})/10^{-3}] \times 1080 = 0.0003$$

และสามารถคำนวณปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในบ่อควบคุม บ่อทดลองทั้งก่อนและเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ในทำนองเดียวกัน ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ ค-1

### การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในอาหารปลาในบ่อควบคุม

โปรตีนในอาหาร 31.69%

ปริมาณอาหารสะสม 3046.5 kg

$$\text{ดังนั้นปริมาณโปรตีน} = 31.69\% \times 3046.5 = 965.43 \text{ kg}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน} = 965.43/6.25 = 154.47 \text{ kg}$$

การคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนของอาหารปลาในบ่อทดลองสามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน ค่าที่ได้แสดงดังตาราง ค-1

### การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในตัวปลาในบ่อควบคุม

โปรตีนในตัวปลา 48.87%

$$\text{น้ำหนักแห้ง } 2459.86/3 = 409.98 \text{ kg}$$

$$\text{ดังนั้นปริมาณโปรตีน} = 48.87\% \times 409.98 = 200.36 \text{ kg}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน} = 200.06/6.25 = 32.06 \text{ kg}$$

การคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนของตัวปลาในบ่อทดลองสามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1

ปริมาณไนโตรเจน(kg.)	ปริมาณไนโตรเจน (kg)	
	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง
ไนโตรเจนเมื่อเริ่มการทดลอง	0.0040	0.0028
ไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	8.9748	7.5708
ไนโตรเจนในอาหารปลา	154.47	156.31
ไนโตรเจนในตัวปลา	32.06	33.46

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวมูทิตา วุฒิกัมพล เกิดเมื่อวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2522 จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยเรื่องระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเลี้ยงปลาในบ่อดินจากทบวงมหาวิทยาลัย และทุนผู้ช่วยวิจัยของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544 ได้เข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยในการสัมมนาโครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี จัดโดยทบวงมหาวิทยาลัยและในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 28 ของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย 2545 ได้รับทุนนักเรียนแลกเปลี่ยนระยะสั้น ณ Tokyo University of agriculture and Technology (STEP at TUAT) กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น เป็นระยะเวลา 1 ปี จากสมาคมการศึกษานานาชาติแห่งประเทศไทย (Association of International Education, Japan; AIEJ) เมื่อปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย