

ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการแยกจุลสารห้ำและ
อนุภาคสารแขวนลอยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



นางสาวปณัฏฐ์ ชุตินันท์

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 0 8 2 6 5 2 1

**EFFICIENCY OF CROSS-FLOW FILTRATION IN THE SEPARATION OF
MICROALGAE AND PARTICULATE MATTERS FROM AQUACULTURE SYSTEM**



Miss Pokchat Chutivisut

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

**Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering**

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

522143

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการแยกจุล
สาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำใน
ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

โดย

นางสาวปกฉัตร ชูติวิสุทธิ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์)

.....
(อาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข)

.....
(อาจารย์ ดร. พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล)

.....
(อาจารย์ ดร. มณฑล แก่นมณี)

ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์ : ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการแยกจุลสาหร่าย และอนุภาคสารแขวนลอยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.

(EFFICIENCY OF CROSS-FLOW FILTRATION IN THE SEPARATION OF MICROALGAE AND PARTICULATE MATTERS FROM AQUACULTURE

SYSTEM) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. วิบูลย์ลักษณะ ฟังรัมย์, อ. ที่ปริกษา วิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข, 187 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นตัวบำบัดสารประกอบไนโตรเจนร่วมกับการแยกจุลสาหร่ายส่วนเกินและอนุภาคสารแขวนลอยอื่นๆ ออกไปจากระบบ โดยใช้วิธีการกรองแบบแบ่งส่วน ซึ่งการหาสภาวะในการกรองจุลสาหร่ายที่เหมาะสมของระบบกรองแบบแบ่งส่วนนี้ ได้ใช้โคอะตอม *Chaetoceros gracilis* เป็นตัวแทนเนื่องจากเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็ก (ขนาด 6 ไมครอน) และไม่สามารถแยกออกด้วยวิธีการกรองทั่วไป โดยจากผลการทดลองพบว่าระบบกรองแบบแบ่งส่วนสามารถแยกโคอะตอมออกได้แม้ว่าขนาดของเซลล์จะเล็กกว่ารูพรุนของไส้กรอง และพบว่าสภาวะในการกรองที่ดีที่สุดคือการใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเริ่มต้นที่ 50:50 นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที จะทำให้ค่าฟลักซ์ในการกรองมีความคงที่ได้ยาวนานกว่าการใช้ความเร็วน้ำที่ 0.0016 เมตร/วินาที

ในส่วนของการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้กรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบไร่ดินกลางแจ้ง พบว่าเครื่องกรองสามารถแยกคลอโรฟิลล์เอและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคสารแขวนลอยสูงสุดที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวมีค่าเท่ากับ 61.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าสูงสุดเท่ากับ 76.6 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณตั้งต้น ในส่วนของสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่เหมาะสมพบว่าในถังเลี้ยงกุ้งขาวสามารถใช้สัดส่วนน้ำกรองได้สูงสุดเท่ากับ 45:55 และ 25:75 เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ตามลำดับ สำหรับถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำสามารถใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนได้เท่ากับ 40:60 และ 30:70 เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าไนโตรดและไนเตรดในน้ำยังคงมีอยู่ในความเข้มข้นสูง และจำเป็นต้องมีการบำบัดด้วยวิธีการอื่นๆ ต่อไปก่อนจะทำการปล่อยน้ำทิ้งหรือหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในระบบ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2552.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4970826521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : CROSS-FLOW FILTRATION / MICROALGAE / PARTICULATE MATTERS / NITROGEN COMPOUNDS / SHRIMP POND

POKCHAT CHUTIVISUT : EFFICIENCY OF CROSS-FLOW FILTRATION IN THE SEPARATION OF MICROALGAE AND PARTICULATE MATTERS FROM AQUACULTURE SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WIBOONLUK PUNGRASMI, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 187 pp.

This study involved the water quality control in aquaculture system using natural microalgae to remove nitrogen compounds, coupling with the separation of excess microalgal cells and particulate matters by cross-flow filtration process. Optimization experiments for cross-flow filtration were performed using the diatom *Chaetoceros gracilis* due to its small cell size (6 microns) and could not be removed by simple filtration. It was found that cross-flow filtration could remove diatom cells even its cell size was smaller than pore size of the filter. The best operating condition for *C. gracilis* removal was at filtrate to concentrate ratio of 50:50. It should also be noted that cross-flow velocity of 0.0007 m/s could maintain high filtrate flux than that of the high velocity of 0.0016 m/s. When applying cross-flow filtration system to White shrimp (*Litopenaeus vannamei*) tank and Black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) tank, the removal of natural microalgal cells and particulate matters was found to be effective, with 61.6 and 76.6 percent removal in White shrimp and Black tiger shrimp tanks, respectively. The highest value of filtrate to concentrate ratios obtained from White shrimp trials were 45:55 and 25:75 for water velocities at 0.0007 and 0.0016 m/s respectively, while for Black Tiger shrimp tank they were 40:60 and 30:70 for water velocities at 0.0007 and 0.0016 m/s respectively. Nevertheless, accumulations of nitrite and nitrate in all tanks were found, hence further treatment was necessary before water recirculating or discharging from the system.

Department :Environmental Engineering...	Student's Signature Pokchat C.
Field of Study : ..Environmental Engineering...	Advisor's Signature Wiboonluk P.
Academic Year :2009.....	Co-Advisor's Signature Sorawit P.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟังรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ชี้แนะให้ความรู้ คำแนะนำ และ คำปรึกษา ตลอดจนได้ให้ความช่วยเหลือในแต่ละขั้นตอนของการทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล และ ดร. มณฑล แก่นมณี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณา ตรวจทานวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่สำหรับทำการวิจัย ตลอดจนให้ความกรุณาสำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี รวมทั้งคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณามอบความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และ ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษา ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมูลนิธิกระจกอาชาสี ประจำปี 2551 และทุนอุดหนุน วิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเงินทุนสำหรับการ ทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่มะลิวัลย์ พี่ปวีณา และพี่เสรี ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องเทคนิคการวิเคราะห์ คุณภาพน้ำ การจัดหาหัวเชื้อจุลินทรีย์ และเทคนิคการเพาะเลี้ยง ตลอดจนการใช้เครื่องมือต่างๆ และขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทุกคน ที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำหรับมิตรภาพ กำลังใจ ตลอดจน ความช่วยเหลือทั้งในด้านการเรียนและในด้านการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่มอบความรัก กำลังใจ และสนับสนุน ข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	6
2.3 ไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	11
2.4 จุลสาหร่าย.....	19
2.5 จุลสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	23
2.6 อนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	33
2.7 กระบวนการเชื่อมกรอง.....	35
2.8 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	50
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	50
3.2 การดำเนินการทดลอง.....	52
การทดลองช่วงที่ 1 การศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ.....	52
การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่ายของระบบ กรองแบบแบ่งส่วน.....	55

การทดลองช่วงที่ 3 การประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้งไร้ ดินระบบปิด.....	61
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	70
4.1 การบำบัดสารประกอบไนโตรเจน โดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ.....	70
4.2 การศึกษาระบบกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุล สาหร่าย.....	76
4.3 การประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้งระบบปิด.....	90
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	136
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	136
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	137
รายการอ้างอิง.....	139
ภาคผนวก.....	146
ภาคผนวก ก.....	147
ภาคผนวก ข.....	153
ภาคผนวก ค.....	156
ภาคผนวก ง.....	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	187

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับสภาวะของสัตว์น้ำ.....	6
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ.....	10
2.3	รงควัตถุนิโคตินต่างๆ และชนิดของสาหร่ายที่พบ.....	20
2.4	สารที่ถูกใช้และที่เกิดขึ้นในการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายตามสมการสโตยชิโอเมทริก.....	27
2.5	ปริมาณการตรึงคาร์บอนและการกำจัดแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประเภทต่างๆ.....	28
2.6	อัตราการกักเก็บและอัตราการปล่อยสารอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ โดยคิดจากเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารของสัตว์น้ำ.....	34
2.7	ลักษณะของเข็กรองและกลไกในการแยกของเข็กรอง.....	36
2.8	การเปรียบเทียบการกรองโดยตรงและการกรองแบบแบ่งส่วน.....	39
2.9	ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองไมโครฟิลเตรชัน.....	43
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1.....	54
3.2	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2.....	57
3.3	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3.....	63
3.4	พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ความถี่ และวิธีการวิเคราะห์สำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้ง.....	69
4.1	การกรองโคอะตอม <i>C. gracilis</i> ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	80
4.2	การกรองโคอะตอม <i>C. gracilis</i> ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที.....	86
4.3	การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1.....	92
4.4	การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาคำด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1.....	94
4.5	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งช่วงที่ 1.....	98

4.6	ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2.....	99
4.7	ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2.....	100
4.8	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวช่วงที่ 2.....	105
4.9	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าช่วงที่ 2.....	106
4.10	พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้งที่ได้ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 102 วัน.....	119
4.11	การเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาค่าในถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและไม่มีการกรองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	130
4.12	การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง 5 ชุด ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 102 วัน.....	135
ข-1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายจากผลการทดลองที่ 4.1.....	153
ข-2	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย จากผลการทดลองที่ 4.1.....	154
ข-3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายจากผลการทดลองที่ 4.1.....	155
ค-1	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 1.....	156
ค-2	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 1.....	156
ค-3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 1.....	157
ค-4	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 2.....	157
ค-5	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 2.....	157
ค-6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงโคอะคอม <i>C. gracilis</i> ครั้งที่ 2.....	158

ก-7	การกรองที่ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	158
ก-8	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	159
ก-9	การกรองที่ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	159
ก-10	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	160
ก-11	การกรองที่ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 75:25 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	160
ก-12	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 75:25 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	161
ก-13	การกรองที่ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที.....	161
ก-14	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้ตัดส่วนระหว่างน้ำกรองค่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที.....	162
ง-1	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังควบคุม.....	163
ง-2	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการกรอง.....	165
ง-3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง.....	167
ง-4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ทำการกรอง.....	169
ง-5	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่ทำการกรอง.....	171
ง-6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังควบคุม.....	173
ง-7	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการกรอง.....	174

ง-8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในดั่งเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง.....	175
ง-9	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในดั่งเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ทำการกรอง.....	176
ง-10	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในดั่งเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่ทำการกรอง.....	177
ง-11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในดั่งควบคุมน.....	178
ง-12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในดั่งเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการกรอง.....	179
ง-13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในดั่งเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง.....	180
ง-14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในดั่งเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ทำการกรอง.....	181
ง-15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในดั่งเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่ทำการกรอง.....	182
ง-16	น้ำหนักรและควมขาวเจลี่ยของกุ้งขาวในดั่งที่ทำการกรอง.....	183
ง-17	น้ำหนักรและควมขาวเจลี่ยของกุ้งขาวในดั่งที่ไม่ทำการกรอง.....	184
ง-18	น้ำหนักรและควมขาวเจลี่ยของกุ้งกุลาค่าในดั่งที่ทำการกรอง.....	185
ง-19	น้ำหนักรและควมขาวเจลี่ยของกุ้งกุลาค่าในดั่งที่ไม่ทำการกรอง.....	186

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	วัฏจักรไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	12
2.2	หลักการของการแยกด้วยเชื้อกรอง.....	36
2.3	ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองโดยตรง.....	38
2.4	ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองแบบแบ่งส่วน.....	39
2.5	ลักษณะของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันที่มีโมดูลแบบไส้กรอง.....	44
3.1	แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 1.....	53
3.2	แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 2.....	56
3.3	ลักษณะของไส้กรองแบบจิบที่ใช้ในการทดลอง.....	58
3.4	ลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ใช้ในการ ทดลอง.....	59
3.5	แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบกรองแบบแบ่งส่วนกับถังเพาะเลี้ยง จุลสาหร่าย.....	60
3.6	แผนผังสรุปการทดลองในช่วงที่ 3.....	62
3.7	รูปถ่ายกึ่งอายุประมาณ 3 เดือนที่ใช้ในการทดลอง.....	64
3.8	รูปถ่ายของระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่นำมาใช้ในการทดลองและแผนภาพของ การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน ถังพัก และบ่อเพาะเลี้ยงกึ่ง.....	66
3.9	การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของกึ่งในบ่อเพาะเลี้ยง โดยการวัดความยาวและซั้ง น้ำหนัก.....	68
4.1	จุลสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวรูปทรงกลมที่เติบโตขึ้นในถังเพาะเลี้ยง เมื่อส่องดูด้วย กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ตามลำดับ.....	71
4.2	การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่พบในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาใน การเพาะเลี้ยง 20 วัน	72
4.3	การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน	74
4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน.....	76
4.5	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>C. gracilis</i>	78

4.6	ภาพถ่ายแสดงลักษณะและสีของน้ำจากถังเพาะเลี้ยง <i>C. gracilis</i>	79
4.7	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำกรองที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที.....	82
4.8	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที.....	83
4.9	การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที.....	84
4.10	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที.....	87
4.11	การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที.....	88
4.12	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที.....	89
4.13	อนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งขาวและจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....	94
4.14	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาวในวันที่ 16 19 และ 41 ของการเลี้ยงกุ้ง.....	96
4.15	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำในวันที่ 23 42 และ 43 ของการเลี้ยงกุ้ง.....	97
4.16	รูปถ่ายเปรียบเทียบระหว่างน้ำกรองและน้ำที่มีอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นจากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....	101
4.17	รูปถ่ายการสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยบนพื้นผิวไส้กรองในการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....	102
4.18	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาวในวันที่ 74 81 และ 92 ของการเลี้ยงกุ้ง.....	103
4.19	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำในวันที่ 75 82 และ 93 ของการเลี้ยงกุ้ง.....	104
4.20	ภาพถ่ายจุลทรรศน์สำหรับกลุ่มโคอะคอมที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวและฟล็อกที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำในช่วงระยะแรกของการเลี้ยง กุ้ง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	107

4.21	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัดดูในถังควบคุม ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	109
4.22	รูปถ่ายจุลสาหร่ายที่พบในถังเพาะเลี้ยงในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลอง เมื่อต้องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า.....	111
4.23	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัดดูในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	112
4.24	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัดดูในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	113
4.25	รูปถ่ายเปรียบเทียบน้ำจากถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและถังเพาะเลี้ยงที่ไม่มีการกรอง และการวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้ง.....	115
4.26	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังควบคุม ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	116
4.27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	117
4.28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	118
4.29	ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงกลางวันระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง.....	121
4.30	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังควบคุม ตลอดการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	122
4.31	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	123
4.32	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่มีการกรองและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน.....	124
4.33	น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวและกุ้งกุลาค่าในถังที่มีการกรองและไม่มี การกรอง ซึ่งได้ทำการตรวจวัดในวันที่ 0 29 71 และ 102 ของการเพาะเลี้ยง.....	132
ก-1	กราฟมาตรฐานสำหรับแอม โมเนีย.....	148
ก-2	กราฟมาตรฐานสำหรับไน ไทรีด.....	149
ก-3	กราฟมาตรฐานสำหรับไนเทรต.....	150

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยทั้งในแง่ของการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ดังนั้นระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจึงเป็นสิ่งที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปและมักมีอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำสูง จึงส่งผลให้มีการใช้น้ำเป็นปริมาณมากเพื่อ ถ่ายน้ำที่มีการสะสมของของเสีย ออกจากไปจากระบบ ของเสียในน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดขึ้นทั้งจากอาหารที่เหลืออยู่และจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของเสียประเภทสารอินทรีย์และสารประกอบไนโตรเจน โดยน้ำที่มีไนโตรเจนความเข้มข้นสูง สามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างมากภายในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ทั้งจากสารพิษที่สาหร่ายผลิตขึ้นและต่อห่วงโซ่อาหารที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ (Anderson และคณะ, 2002) นอกจากนี้การปล่อยน้ำทิ้งที่มีสารประกอบไนโตรเจน ในระดับความเข้มข้นสูงยังผิดต่อกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน การบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีความสำคัญ เพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำที่อยู่ในบริเวณของระบบเพาะเลี้ยงนั้นๆ

สารประกอบไนโตรเจนหลักที่จะพบในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งสารเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้เมื่อมีอยู่ในน้ำเป็นความเข้มข้นต่างๆ กัน ดังนั้นการพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเพาะเลี้ยงในระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Aquaculture System ; RAS) โดยไม่มีน้ำทิ้งหรือมีน้ำทิ้งในปริมาณน้อยจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและลดปริมาณน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้คือการใช้จุลสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาบำบัดสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบ จุลสาหร่ายเหล่านี้ เติบโตขึ้นจากสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารของสัตว์น้ำและจากของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา โดยจุลสาหร่ายสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปเก็บสะสมในเซลล์ได้เป็นปริมาณมากเนื่องจากไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของจุลสาหร่าย จากนั้นเมื่อจุลสาหร่ายมีการเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้นการแยก เซลล์ของจุลสาหร่ายออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเป็นการนำสารประกอบไนโตรเจนออกไปจากระบบโดยทางอ้อม ซึ่งแนวความคิดนี้ได้มีการอธิบายและ

รายงานไว้โดย Chuntapa และคณะ (2003) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้จุลสาหร่ายในการบำบัดคือการแยกเซลล์จุลสาหร่ายออกจาก ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่สามารถทำได้โดยง่าย เนื่องจากจุลสาหร่ายมีขนาดเล็กและไม่สามารถจับกลุ่มตกตะกอนได้เองอย่างเช่นเซลล์ จุลินทรีย์อื่นๆ นอกจากนี้ปัญหาอีกประการหนึ่งที่พบในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปคือต้องมีการบำบัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยโดยการแยกออกจากรู้น้ำก่อนการหมุนเวียนน้ำมาใช้หรือการปล่อยทิ้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการแยกจุลสาหร่ายและอนุภาคของแข็งแขวนลอยอื่นๆ ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วน โดย เครื่องกรองแบบแบ่งส่วนจะแยก อนุภาคสารแขวนลอยออกจากรู้น้ำด้วยการกักส่วนของ อนุภาคแขวนลอยเข้มข้นไว้ที่ด้านหนึ่งของ ใส้กรอง และปล่อยให้น้ำรวมทั้งอนุภาคขนาดเล็กบางส่วนไหลผ่าน ใส้กรองไป ดังนั้นจึงสามารถนำเครื่องกรองชนิดนี้มาใช้ใน การควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้ โดย จุลสาหร่าย และอนุภาคของแข็งแขวนลอยจะถูกกรอง ออกจากรู้น้ำ เพื่อเป็นการรักษาความเข้มข้นของไนโตรเจนในระบบให้มีระดับต่ำ นอกจากนี้การแยกจุลสาหร่าย และอนุภาคของแข็งแขวนลอย ยังเป็นการป้องกันการย่อยสลายของจุลสาหร่าย และจุลชีพอื่นๆ ซึ่งจะทำให้ไนโตรเจนในเซลล์ถูกปล่อยกลับออกมาสู่น้ำอีกครั้ง

การใช้เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนในอนาคต ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีเพื่อการหมุนเวียนน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนน้ำส่วนใหญ่ก็มีความซับซ้อนและมีราคาแพงเกินกว่าที่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปจะสามารถหามาใช้ได้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอเทคโนโลยีอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนสำหรับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการใช้อุจลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและนำ ระบบกรอง แบบแบ่งส่วนมาแยกจุลสาหร่าย และอนุภาคของแข็งแขวนลอยอื่นๆ เพื่อกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกไปจากระบบเพาะเลี้ยง โดยในงานวิจัยจะทำการทดสอบระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่สภาวะต่างๆ กัน รวมทั้งทดลองนำระบบกรองมาใช้กับ ถังเพาะเลี้ยงกุ้งเพื่อศึกษาผลของการกรองต่อระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการใช้เทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพงและสามารถใช้งานได้ง่ายเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ ระบบกรอง แบบแบ่งส่วนในการแยกจุลสาหร่าย และอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษา ความสามารถของจุลสาหร่ายในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกลางแจ้ง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ ระบบกรอง แบบแบ่งส่วนมาใช้ร่วมกับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับทดลอง (Pilot scale) โดยการทดลองช่วงที่ 1 และ 2 จะเป็นการทดลองแบบแบทช์ (Batch) ส่วนการทดลองช่วงที่ 3 เป็นการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) การทดลองทั้งหมดดำเนินการ ณ อุณหภูมิห้อง ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

- 1.3.1 จุลสาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนจะเป็นจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติใน น้ำที่มีการใส่อาหารกุ้ง โดยใช้อาหาร ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป
- 1.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนในช่วงแรก จะทำการทดลองโดยใช้ไดอะตอม *Chaetoceros gracilis* เป็นตัวทดลองกรอง โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองที่สัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 50:50 และ 75:25 รวมทั้งความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที
- 1.3.3 แหล่งของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำมาจากการใส่อาหารกุ้ง ซึ่งในการทดลองช่วงที่ 1 จะใส่อาหารกุ้ง 0.15 กรัม/วัน โดยการให้อาหารจะพิจารณาจากปริมาณที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำ ส่วน ในการทดลองช่วงที่ 3 จะให้อาหารเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกุ้งที่เพาะเลี้ยงในระบบ

- 1.3.4 เครื่องกรองที่ใช้ในการทดลอง เพื่อทำการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำ เป็นเครื่องกรอง แบบแบ่งส่วน ซึ่งมีไส้กรองเส้นใย แบบจิบ ขนาดรูพรุน 30 ไมครอน
- 1.3.5 กุ้งที่นำมาใช้ ในการ ทดลองคือกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) อายุประมาณ 3 เดือน ซึ่งจะเพาะเลี้ยงที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม.
- 1.3.6 น้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทะเลที่มีค่าความเค็มเท่ากับ 20 พีเอสยู
- 1.3.7 การติดตั้งชุดอุปกรณ์เครื่องกรองแบบแบ่งส่วนเข้ากับถังเพาะเลี้ยงกุ้งจะดำเนินการโดยใช้ถังไร้น้ำขนาด 500 ลิตรในการเพาะเลี้ยง ซึ่งถังเพาะเลี้ยงนี้จะตั้งไว้ภายนอกอาคารในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทและมีแสงแดดส่องถึง และจะดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำหมุนเวียนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยีที่ประยุกต์การบำบัดด้วยจุลสาหร่ายและการกรองด้วย ระบบกรองแบบแบ่งส่วน เข้าด้วยกัน
- 1.4.2 เป็นการพัฒนาชุดอุปกรณ์การกรองที่ง่ายและมีราคาถูกเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานจริงสำหรับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถแบ่งตามวิธีการเพาะเลี้ยงได้เป็น 2 ประเภท (มันสิน ตันกุล เวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538) ดังต่อไปนี้

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือบ่อน้ำ การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีนี้จะมีการใส่ปุ๋ย เพื่อเพิ่มปริมาณแพลงก์ตอนพืชหรือจุลสาหร่ายในน้ำ เพื่อให้เป็นแหล่งอาหารแก่สัตว์น้ำทางอ้อม เนื่องจากสัตว์น้ำไม่สามารถใช้ปุ๋ยเป็นอาหารได้แต่ปุ๋ยจะทำหน้าที่เป็นสารอาหารให้แก่จุลสาหร่าย ซึ่งจะเป็อาหารของสัตว์น้ำอีกต่อหนึ่ง โดยการเติมปุ๋ยจะต้องคำนึงถึงลักษณะของน้ำ เช่น ค่าพีเอช และปริมาณความขุ่น เนื่องจากถ้าค่าพีเอชต่ำเกินไปควร จะมีการเติมปูนขาวก่อน ทำการใส่ปุ๋ย หรือ ถ้าความขุ่นของน้ำมีค่ามากเกินไปจะเกิดการปิดกั้นแสง ทำให้จุลสาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสง ได้ นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงชนิดของปุ๋ยและปริมาณที่เหมาะสมด้วย เนื่องจากในน้ำอาจมี สารอาหารบางชนิดเพียงพออยู่แล้ว การเลือกใส่ปุ๋ยจึงควรเลือก ชนิดสารอาหารที่ขาดแคลน ส่วน ปริมาณปุ๋ยควรเติมในจำนวนที่พอเหมาะกับความต้องการของสัตว์น้ำ เนื่องจาก การเติมปุ๋ยมาก เกินไปจะทำให้จุลสาหร่ายเพิ่มจำนวนมากเกินความจำเป็น แต่ถ้าเติมปุ๋ยน้อยเกินไปอาจทำให้จุล สาหร่ายที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำได้

การเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำ ในบ่อที่จำกัดขนาด การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีนี้จะทำการให้อาหาร สำเร็จรูปกับสัตว์น้ำโดยตรงเพื่อให้สัตว์น้ำเจริญเติบโต โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงแบบหนาแน่นจะมี การให้อาหารในปริมาณมากเพื่อเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องน้ำเสียตามมา เนื่องจากมีอาหารตกค้างและ มีของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมามาก สารอินทรีย์ในอาหาร เหล่านี้จะ ทำให้น้ำมีความต้องการออกซิเจนสูงขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการย่อยสลายตามธรรมชาติ ส่วนของเสียที่ สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาจะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส และสารอาหาร ต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้จุลสาหร่ายเจริญเติบโต แอม โมเนียที่เกิดขึ้นอาจถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรดซึ่งมี ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลงและมีผลต่อการ หายใจของสัตว์น้ำ การใส่อาหารในปริมาณมากจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณจุลสาหร่ายและ สารพิษต่างๆ ในน้ำ ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำใน

บ่อเพาะเลี้ยงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งปัญหาที่ควรให้ความสนใจ ได้แก่ การเกิดจุลสาหร่ายมากเกินไป การขาดแคลนออกซิเจน และการสะสมของของเสียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เป็นต้น

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเป็นอยู่และสุขภาพของสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นสิ่งแวดล้อมที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ การควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้ผลผลิตของสัตว์น้ำที่ดีและมี คุณภาพ โดยปัจจัยหลักที่ควรนำมาพิจารณาในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ สารอินทรีย์ สารอาหาร ก๊าซละลายน้ำ และสารพิษต่างๆที่เกิดขึ้นในน้ำ ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหรือค่าพีเอช

พีเอชเป็น พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญโดยตรงกับสภาพความเป็นกรด -ด่างของน้ำ โดยการเพิ่มความเป็นกรดจะทำให้ค่าพีเอชลดลง และการเพิ่มความเป็นด่างจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น โดยความสัมพันธ์ของค่าพีเอชกับสภาวะของสัตว์น้ำแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับสภาวะของสัตว์น้ำ

ระดับพีเอช	สภาวะของสัตว์น้ำ
ต่ำกว่า 4	ตาย
4-5	ไม่สืบพันธุ์
4-6	เติบโตช้า
6.5-9	เติบโตได้ดี
9-11	เติบโตช้า
9.5-11	ไม่สืบพันธุ์
สูงกว่า 11	ตาย

(ที่มา: มั่นสิน ตันจุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)

โดยทั่วไปสัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในช่วงพีเอชเป็นกลางคือ ที่พีเอชประมาณ 6 ถึง 9 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชไปจากระดับที่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำได้ โดยน้ำที่มีค่าเป็นด่างมากเกินไปจะทำให้เกิดแอมโมเนียอิสระมากขึ้น ซึ่ง

มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นอาหารของสัตว์น้ำจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมากกว่าตัวของสัตว์น้ำเอง ทำให้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของสัตว์น้ำได้ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสามารถเกิดขึ้นได้จากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.2.1.1 ความเป็นกรด

ความเป็นกรดหมายถึง ความสามารถของน้ำในการทำให้ด่างเป็นกลาง โดยการให้ไฮโดรเจนไอออน ซึ่งน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมีค่าความเป็นกรดมาก อย่างไรก็ตามน้ำที่มีพีเอชเท่ากันอาจมีค่าความเป็นกรดแตกต่างกันได้ เนื่องจากยังมีพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลต่อความเป็นกรดและค่าพีเอชของน้ำ ซึ่งค่าความเป็นกรดในน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

สภาพกรดอ่อน (Carbondioxide acidity) เป็นสภาพกรดที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก น้ำที่มีสภาพกรดอ่อนเพียงอย่างเดียวจะมีค่าพีเอชสูงกว่า 4.3 ถึง 4.5

สภาพกรดแร่ (Mineral acidity) เป็นสภาพกรดที่เกิดจากกรดแร่ซึ่งเป็นกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก น้ำธรรมชาติมักไม่มีสภาพกรดแร่ และเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถลดค่าพีเอชของน้ำให้ต่ำกว่า 4.5 ได้ น้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.5 จึงเป็นน้ำที่มีกรดแร่ละลายอยู่

2.2.1.2 ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างหมายถึง ความสามารถของน้ำในการทำให้กรดเป็นกลางโดยการรับไฮโดรเจนไอออน น้ำที่มีพีเอชสูงจะมีค่าความเป็นด่างมาก อย่างไรก็ตาม น้ำที่มีพีเอชเท่ากันอาจมีค่าความเป็นด่างแตกต่างกันได้ เนื่องจากยังมีพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ค่าความเป็นกรดที่มีผลต่อความเป็นด่างและค่าพีเอชของน้ำ ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่ามากกว่า 20 ถึง 40 มก.-แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร จึงจะให้ผลผลิตของสัตว์น้ำที่ดี

2.2.1.3 คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีแต่เนื่องจากมีอยู่ในชั้นบรรยากาศค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซชนิดอื่นๆ จึงไม่พบในน้ำเป็นปริมาณมากนัก เมื่อละลายน้ำคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลงแต่มักไม่ทำให้พีเอชต่ำกว่า 4.5 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางคืนเนื่องจากการหายใจของพืชน้ำและจุลสาหร่าย ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงมีค่าต่ำสุดในช่วงเช้า และจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ในแง่ความเป็นพิษพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอย่างเพียงพอ แต่ถ้าในน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายลดลงคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถขัดขวางการใช้ออกซิเจนของสัตว์น้ำได้ และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มักมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าลดต่ำลง

2.2.1.4 ความกระด้างทั้งหมด

ความกระด้างทั้งหมดของน้ำคือ ผลรวมทั้งหมดของ ไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน เท่ากับ 2 เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น โดยความกระด้างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเป็นด่างของน้ำเนื่องจาก ไอออนประจุบวกของความกระด้างและ ไอออนประจุลบของความเป็นด่างเกิดจากการแตกตัวของคาร์บอเนตชนิดต่างๆ โดยความกระด้างสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

ความกระด้างชั่วคราว (Carbonate hardness) คือความกระด้างที่เกิดจากคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^{2-}) ในน้ำ ความกระด้างชนิดนี้จะสลายตัวไปเมื่อได้รับความร้อนสูงกว่า 100°C

ความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness) คือความกระด้างที่เกิดจาก ไอออนประจุลบอื่นๆ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คลอไรด์ (Cl^-) ไนเตรต (NO_3^-) และซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ความกระด้างชนิดนี้จะไม่สลายตัวเมื่อโดนความร้อน

โดยทั่วไปน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีความกระด้างทั้งหมดประมาณ 20 มก.-แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร จึงจะมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเพียงพอต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.2.2 สารอินทรีย์

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสารอินทรีย์ละลายอยู่หลากหลายชนิด ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสารอินทรีย์ที่พบในน้ำได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน น้ำตาล กรดไขมัน วิตามิน และกรดแทนนิน ส่วนสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยได้แก่ แบคทีเรีย จุลสาหร่าย แพลงก์ตอนสัตว์ และซากจุลินทรีย์ที่เน่าเปื่อย โดยปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ควรมีการควบคุมเนื่องจากถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้

2.2.3 สารอาหาร

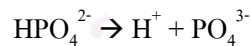
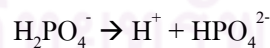
สารอาหารที่มีบทบาทสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งรายละเอียดของสารอาหารแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่มักพบอยู่ในสิ่งมีชีวิตและสารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ซึ่งรูปแบบของไนโตรเจนที่พบได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน แอมโมเนียอิสระ (NH_3) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนไตรต์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และสารอินทรีย์ไนโตรเจน แหล่งของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่เกิดจากปุ๋ยและอาหารสำเร็จรูป ซึ่งปุ๋ยมักมีแอมโมเนียหรือไนเตรตเป็นองค์ประกอบ ปุ๋ยเหล่านี้ละลายน้ำได้ง่ายและแตกตัวให้ ไอออนซึ่งจะถูกพืชและจุลสาหร่ายนำไปใช้ในการผลิตโปรตีนหรือสารอินทรีย์ไนโตรเจนรูปอื่นๆ จากนั้นจะถูกแปลงกักตุนสัตว์หรือสัตว์น้ำบริโภคเข้าไปอีกต่อหนึ่ง และในท้ายที่สุดแล้วโปรตีนจากทั้งพืชและสัตว์น้ำจะกลายเป็นซากสารอินทรีย์ที่จะถูกจุลินทรีย์ในน้ำย่อยสลายต่อไป

2.2.3.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่พบในธรรมชาติมักเกิดจากการแตกตัวเป็น ไอออนของกรดออร์โธฟอสเฟต (H_3PO_4) ดังสมการต่อไปนี้



รูปของฟอสฟอรัสที่พบจะเปลี่ยนไปตามค่าพีเอชของน้ำ โดยในน้ำธรรมชาติจะมี H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนน้ำที่มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 2 ถึง 7 จะมี H_2PO_4^- เป็นหลัก แต่ถ้ามีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7 ถึง 12 จะพบฟอสฟอรัสในรูปของ HPO_4^{2-} เป็นหลัก

ฟอสฟอรัสที่พบในน้ำจะมีปริมาณไม่มากนัก แต่เป็นธาตุอาหารที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากมีความสำคัญและจำเป็นต่อผลผลิตของสัตว์น้ำ ซึ่งฟอสฟอรัสสามารถพบได้ทั้งในรูปสารละลายและอนุภาคแขวนลอย โดยฟอสฟอรัสที่ ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสมักเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในขณะที่

สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟต สำหรับอนุภาคแขวนลอยในน้ำที่มี ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ จุลสาหร่าย แพลงก์ตอนสัตว์ และแบคทีเรียชนิดต่างๆ โดย แบคทีเรียในน้ำจะสามารถย่อยสลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของสารละลายหรือตะกอนแขวนลอยให้เป็นออร์โทฟอสเฟตได้ โดยทั่วไปปริมาณของออร์โทฟอสเฟตที่เหมาะสมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 มก.-ฟอสฟอรัส/ลิตร ถ้าในน้ำมีปริมาณออร์โทฟอสเฟตน้อยกว่านี้ควรเติมปุ๋ยลงในน้ำเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ

2.2.4 ก๊าซ

ก๊าซละลายน้ำที่มีบทบาทสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไนโตรเจน ซึ่งรายละเอียดของก๊าซแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.2.4.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเนื่องจากออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ทำให้การรักษาปริมาณออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงมีความสำคัญต่อผลผลิตของสัตว์น้ำมาก โดยเฉพาะในน้ำเค็มซึ่งมีปริมาณคลอไรด์ในน้ำสูงจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลงมาก ปริมาณออกซิเจนที่น้อยเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำแต่ปริมาณของออกซิเจนที่สูงเกินไปก็สามารถก่อให้เกิดโรคในสัตว์น้ำได้เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลต่อสัตว์น้ำแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

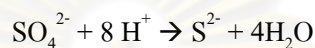
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
< 1 มก./ลิตร	อาจมีอันตรายถึงตายต่อสัตว์น้ำถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานหลายชั่วโมง
1-5 มก./ลิตร	สัตว์น้ำสามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่จะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ดี
> 5 มก./ลิตร แต่ไม่เกินระดับอิ่มตัว	เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ
สูงเกินระดับอิ่มตัว	ทำให้เกิดฟองก๊าซในเลือดของสัตว์น้ำ ทำให้เกิดอันตรายถึงตายได้

(ที่มา: มั่นสิน ตันจุลเวศม์และไพพรรณ พรประภา, 2538)

โดยสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนต่อการขาดแคลนออกซิเจนได้ไม่เท่ากัน แต่โดยทั่วไปไม่ควรให้ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่า 3 มก./ลิตร และควรมีออกซิเจนละลายน้ำอย่างน้อย 5 มก./ลิตร สัตว์น้ำจึงจะมีชีวิตได้ตามปกติ

2.2.4.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในสภาวะไร้ออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดในน้ำจะสามารถเปลี่ยนซัลเฟตให้กลายเป็นซัลไฟด์ ดังสมการต่อไปนี้



โดยค่าพีเอชจะเป็นตัวกำหนดชนิดและความเข้มข้นของซัลไฟด์ในน้ำ ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นหลัก ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นการรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการควบคุมปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนน้ำที่มีค่าพีเอชเป็นกลางจะพบซัลไฟด์ในรูปไอออน ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

2.2.4.3 ก๊าซไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่พบได้มากที่สุดในน้ำเนื่องจากเป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุด ในอากาศ ทำให้มีไนโตรเจนละลายอยู่ในน้ำได้มากกว่าออกซิเจน แต่สิ่งมีชีวิตต่างๆ ในน้ำจะไม่สามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนในการดำรงชีวิตได้เนื่องจากพันธะระหว่างอะตอมของไนโตรเจนเป็นพันธะสามซึ่งมีความแข็งแรงมาก ก๊าซไนโตรเจนจึงต้องถูกตรึงให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนก่อนที่จะถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ แต่การมีก๊าซไนโตรเจนในน้ำมากเกินไปจะเป็นผลเสียต่อสัตว์น้ำโดยจะส่งผลให้เกิดฟองก๊าซในเลือดของสัตว์น้ำและทำให้เกิดโรคได้ เช่นเดียวกับในกรณีของออกซิเจนละลายน้ำ

2.3 ไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Boyd และ Tucker, 1998)

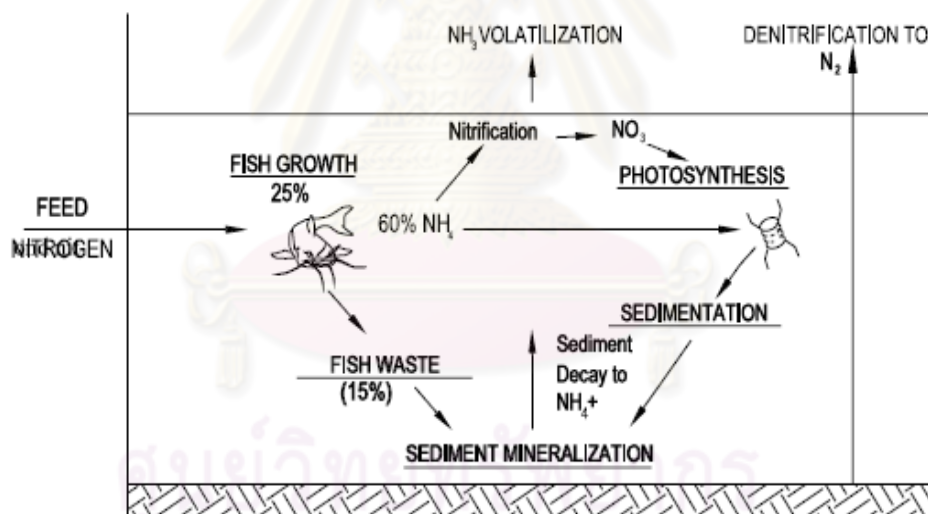
ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญในระบบนิเวศน์สัตว์น้ำเนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนและเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีกา รให้อาหารสำเร็จรูป ไนโตรเจนจะอยู่ในรูป ของ โปรตีนจากอาหารและในรูป ของของเสียที่ถูกขับออกมาจากสัตว์น้ำ โดยไนโตรเจนจะส่งผลให้เกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจน 3 ชนิดคือแอมโมเนีย

ไนโตรเจน และไนเตรต ซึ่งทั้งแอมโมเนียและไนโตรเจนเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำแม่ในปริมาณน้อยและสามารถทำลายสภาพแวดล้อมในน้ำได้เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ในระยะแรกไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของจุลสาหร่าย แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์น้ำ และแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในน้ำ จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ เพื่อใช้ดำเนินกิจกรรมภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ซึ่งการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยวัฏจักรไนโตรเจนซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 วัฏจักรไนโตรเจนในน้ำ

วัฏจักรไนโตรเจนคือความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบต่างๆ ของสารประกอบไนโตรเจน ที่อยู่ในระบบนิเวศน์ โดยการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุของไนโตรเจนในแต่ละขั้นของปฏิกิริยา (ไนโตรเจนมีประจุอิเล็กตรอนอยู่ในช่วงตั้งแต่ -3 ถึง +5) ซึ่งจะถูกควบคุมจากกิจกรรมทางชีวภาพเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Brune และคณะ, 2003)

วัฏจักรไนโตรเจนในน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน การนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย ปฏิกิริยาแอมโมเนียฟิเคชัน การระเหยของแอมโมเนีย ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และปฏิกิริยาคีไนตริฟิเคชัน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การตรึงไนโตรเจน

การตรึงไนโตรเจนเป็นการเปลี่ยนรูปก๊าซไนโตรเจนละลายน้ำให้กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญต่อระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่

ไนโตรเจนจากแหล่งภายนอก ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยและอาหารของสัตว์น้ำ โดยในระบบที่มีการใส่ปุ๋ยจะพบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยสังเคราะห์หรือมูลสัตว์ที่มีไนโตรเจนสูง ส่วนในบ่อที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป ไนโตรเจนเกือบทั้งหมดจะมาจากโปรตีนที่อยู่ในอาหาร โดยประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกบริโภคโดยสัตว์น้ำ ในขณะที่ 75 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจะสูญเสียไปในน้ำในรูปของแอมโมเนีย และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่เป็นของเสียนี้จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งเป็นของเสียหลักที่ถูกขับออกมาจากสัตว์น้ำ

การตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในรากพืชตระกูลถั่ว เป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากระบบเพาะเลี้ยงในปัจจุบันมักใช้อาหารสำเร็จรูปที่ประกอบด้วยถั่วเหลืองเป็นหลัก

การตรึงไนโตรเจนโดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่อย่างอิสระในน้ำ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่การตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะถูกยับยั้งในสถานะที่มีแอมโมเนียหรือไนเตรตในระบบ ดังนั้นการตรึงไนโตรเจนจึงเกิดขึ้นน้อยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใส่ปุ๋ยหรืออาหารสำเร็จรูปเพราะมีแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่แล้ว

2.3.1.2 การนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย

จุลสาหร่ายเป็นแหล่งรองรับสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนหลักในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจุลสาหร่ายสามารถสะสมไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตได้ในระดับความเข้มข้น 1 ถึง 2 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งไนไตรต์และไนเตรตจะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นแอมโมเนีย ก่อนที่แอมโมเนียจะถูกประกอบขึ้นเป็นกรดอะมิโนเพื่อให้จุลสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ได้ แต่เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของไนไตรต์และไนเตรตนี้จำเป็นต้องใช้พลังงาน ดังนั้นจุลสาหร่ายจึงมักเลือกใช้แอมโมเนียก่อนสารประกอบไนโตรเจนชนิดอื่นในน้ำ อัตราการสะสมไนโตรเจนในเซลล์จุลสาหร่ายจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายในระบบ ยกตัวอย่างเช่น อัตราการสะสมไนโตรเจนจะลดลง ใน

ช่วงเวลาที่มิแสวงอาทิตย์ต่ำ อุณหภูมิของน้ำลดลง และเมื่อสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายมีจำกัด

2.3.1.3 แอมโมเนียฟิเคชัน

โดยปกติแล้วที่ บริเวณ พื้นของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสารต่างๆ ตกตะกอนอยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งได้แก่ เซลล์ของจุลสาหร่ายที่ตายแล้ว มูลของสัตว์น้ำ อาหารที่ไม่ถูกบริโภค และสารอินทรีย์อื่นๆ สารเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนกลับไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการย่อยสลายจะเริ่มจากการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนอนุภาคไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลาย จากนั้น โปรตีนจะถูกปล่อยออกมาจากอนุภาคและถูกย่อยสลายให้กลายเป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกลดปล่อยต่อไปจน กลายเป็นแอมโมเนีย ขั้นตอนที่ทำให้แอมโมเนียออกมา ผู้ระบบนี้รวมเรียกว่ากระบวนการแอมโมเนียฟิเคชัน ซึ่งอัตราการเกิดแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ค่าพีเอช ออกซิเจน ปริมาณและประเภทของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการเกิดแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 40 °ซ และที่พีเอชเป็นกลางจนถึงเป็นด่างเล็กน้อย และจะ เกิดในอัตราใกล้เคียงกันทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศในระบบ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวภาพอื่นๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น การสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์และการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย

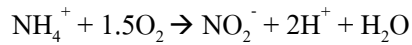
2.3.1.4 การระเหยของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่ไม่มีประจุจะอยู่ในสภาวะของก๊าซที่ละลายน้ำและสามารถระเหยไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ แต่เนื่องจากแอมโมเนียเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดีมากจึงไม่สามารถระเหยไปสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็วนัก อัตราการระเหยของแอมโมเนียจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแอมโมเนียในน้ำ ความเข้มข้นสูง ค่าพีเอชสูง และอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้ายของก๊าซ เช่น เกิดการปั่นป่วนของน้ำในช่วงที่มีลม

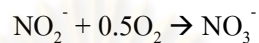
2.3.1.5 ไนตริฟิเคชัน

ไนตริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากการเปลี่ยนแอมโมเนียไปสู่ไนเตรต ซึ่งเกิดจากไนตริฟายอิงแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. โดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะได้รับพลังงานในการเมตาบอลิซึมมาจากการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และได้คาร์บอนในการสร้างเซลล์มาจากคาร์บอนไดออกไซด์ ขั้นตอนแรกของ

กระบวนการไนตริฟิเคชันคือการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* sp. เป็นหลัก และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



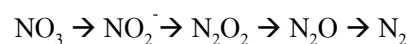
ขั้นตอนต่อมาคือการเปลี่ยนรูปไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียชนิด *Nitrobacter* sp. เป็นหลัก ปฏิกริยาเขียนได้ดังนี้



ปฏิกริยาต่อเนื่องนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากอัตราเร็วของทั้ง 2 ปฏิกริยาอาจเกิดขึ้นไม่เท่ากันจึงอาจทำให้มีการสะสมของไนไตรต์ในระบบ ซึ่งไนไตรต์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำหลายชนิด และโดยทั่วไปไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ช้าเพราะพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันมีค่าต่ำ เนื่องจากแอมโมเนียมักถูกแย่งใช้อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์อื่น ๆ เมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม นอกจากนี้ไนตริฟายอิงแบคทีเรียยังมีความต้องการออกซิเจนสูง โดยปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 1 ถึง 2 มก./ลิตร สำหรับอุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้ในช่วง 5 ถึง 40 °ซ แต่ปฏิกริยาจะเกิดได้ดีที่สุดที่ 25 ถึง 35 °ซ ส่วนค่าพีเอชที่ดีที่สุดคือระหว่าง 7 ถึง 8.5 แต่เนื่องจากปฏิกริยาการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์จะมีกรดเกิดขึ้น ซึ่งปริมาณกรดที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำปฏิกริยากับสภาพความเป็นด่างในน้ำได้จึงส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลงอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการใส่ปูนขาวลงในบ่อเพาะเลี้ยง

2.3.1.6 ดีไนตริฟิเคชัน

ในสภาวะไร้อากาศ แบคทีเรียหลายชนิดสามารถใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจได้ โดยในกระบวนการนี้ไนเตรตจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์และกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่าดีไนตริฟิเคชันเมื่อมีก๊าซไนโตรเจนเกิดขึ้นในระบบ และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



กระบวนการเปลี่ยนรูปของไนเตรตที่เกิดขึ้นนี้เป็นปฏิกริยาแบบไร้อากาศ โดยอัตราการเกิดปฏิกริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณไนเตรตในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งโดยทั่วไปดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นควบคู่ไปกับไนตริฟิเคชัน ที่เป็นกระบวนการสร้างไนเตรต นอกจากนี้อัตราการเกิดดีไนตริ

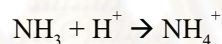
พีเคชันยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ เนื่องจากคิโนรีฟายอิงแบคทีเรียต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนในการเจริญเติบโต โดยกระบวนการนี้จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 25 ถึง 35 °C และที่พีเอช 6 ถึง 8

2.3.2 สารประกอบไนโตรเจนที่มีความสำคัญต่อระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สารประกอบไนโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งเป็นกลุ่มของสารประกอบไนโตรเจนที่มีผลต่อคุณภาพน้ำและสามารถก่อความเป็นพิษในสัตว์น้ำได้ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ซึ่งรายละเอียดของสารประกอบไนโตรเจนแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากปฏิกิริยาของอาหารสำเร็จรูป และของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา โดยค่าพีเอชจะเป็นตัวกำหนดรูปของแอมโมเนียดังสมการต่อไปนี้



แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เมื่อพีเอชของน้ำมีค่าเป็นกลางหรือมีค่าต่ำ แต่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) เมื่อน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้น ซึ่งแอมโมเนียอิสระหรือก๊าซแอมโมเนียจะสามารถถ่ายเทไปสู่อากาศได้ แต่เนื่องจากน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักมีค่าพีเอชเป็นกลาง แอมโมเนียที่พบจึงมักอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออนมากกว่าแอมโมเนียอิสระ

แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนชนิดหลักที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของปฏิกิริยาของอาหารสำเร็จรูป และของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา นอกจากนี้แอมโมเนียยังเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการสะสมของแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์เนื่องจากแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และจะส่งผลให้ผลผลิตของระบบลดน้อยลง อย่างไรก็ตาม แอมโมเนียยังคงมีความสำคัญต่อระบบเพาะเลี้ยงเนื่องจากเป็นแหล่งของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สาหร่าย ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตของสัตว์น้ำในระบบนั้น โดยทั่วไปแอมโมเนียในแหล่งน้ำมักมีความเข้มข้นต่ำ แต่อาจพบแอมโมเนียความเข้มข้นสูงในแหล่งน้ำที่ถูกปนเปื้อนจากน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม หรือน้ำเสียจากการเกษตร

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใส่ปุ๋ยมักพบแอมโมเนียในความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ ยกเว้นในช่วงที่มีการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์สาหร่ายมาก การมีแอมโมเนียความเข้มข้นสูง

อย่างต่อเนื่อง (มากกว่า 1 มก.-ในโตรเจน/ลิตร) เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปจนความต้องการของจุลสาหร่ายในน้ำ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองปุ๋ยและ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง สำหรับ ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป โปรตีนในอาหารจะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนีย และจะเป็นแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ในน้ำ อัตราการเกิดของแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้อาหาร ซึ่ง โดยเฉลี่ยแล้วจะมีแอมโมเนียถูกขับออกมา 0.03 กก. ต่อ 1 กก. ของอาหารที่ถูกบริโภค (ถ้ามีโปรตีนในอาหารทั้งหมด 25 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักถูกควบคุมโดยการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่สูงจนเกินไปภายในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ จุลสาหร่ายจึงเป็นแหล่งกักเก็บแอมโมเนียที่สำคัญในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่

ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำจะถูกควบคุมจากความเข้มข้นของแอมโมเนีย ค่าพีเอช และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งทั้งค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำจะ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในแต่ละวัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียจึงมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา โดยจะมีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณผิวน้ำในช่วงบ่ายที่มีแสงแดด จัดซึ่งทั้งค่าพีเอชและอุณหภูมิมียุคค่าสูงสุด จากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดลงในช่วงกลางคืนเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกผลิตออกมาจากกระบวนการหายใจของจุลสาหร่ายซึ่งทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง

ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำทั่วไป มักมีของเสียประเภทไนโตรเจนอยู่ในเลือดในรูปของแอมโมเนีย และจะขับออกมาสู่ภายนอกในรูปของแอมโมเนียไม่มีประจุ ซึ่งแอมโมเนียจะแพร่ผ่านเยื่อ เยื่อเหงือกของสัตว์น้ำโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียในเลือด กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อม เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อยู่ภายนอกมีค่าต่ำ แอมโมเนียในกระแสเลือดของสัตว์น้ำจะแพร่ออกมาสู่น้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้แอมโมเนียในกระแสเลือดมี ค่าลดลง แต่เมื่อสิ่งแวดล้อมภายนอกมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง การแพร่ของแอมโมเนียระหว่างกระแสเลือดกับน้ำจะลดน้อยลงและแอมโมเนียจะเริ่มสะสมในเลือดและเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียภายนอกสูงจนถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียเป็นตรงกันข้ามกับปกติ คืออาจเกิดการแพร่จากในน้ำเข้าสู่กระแสเลือดซึ่งจะทำให้มีแอมโมเนียในเลือดของสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นความเป็นพิษของแอมโมเนียจึงเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเป็นหลักเนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดทิศทางการแพร่ของแอมโมเนีย

2.3.2.2 ไนไตรต์

ไนไตรต์เป็นสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนจากแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตโดยแบคทีเรีย (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) ซึ่งโดยทั่วไปไนไตรต์มักไม่สะสมในสิ่งแวดล้อม เพราะจะถูกเปลี่ยนให้ เป็นไนเตรตอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในบางสภาวะอัตราการย่อยสลายแอมโมเนียอาจเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าอัตราการเปลี่ยนรูปไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ขึ้นในระบบ ซึ่งไนไตรต์ที่สะสมในบ่อเพาะเลี้ยงจะสามารถก่อความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ได้ ส่วนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติมักมีไนไตรต์ในปริมาณไม่มากนัก นอกจากนี้ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนจากของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งโดยปกติความเข้มข้นของไนไตรต์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะ มีค่าต่ำมาก คือน้อยกว่า 0.1 มก./ลิตร เนื่องจากจุลสาหร่ายและพืชชนิดอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำจะนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่จะเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชันมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามไนไตรต์จะสามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้นจากการตายของจุลสาหร่าย เนื่องจากการย่อยสลายซากจุลสาหร่ายจะเป็นการปลดปล่อยแอมโมเนียจำนวนมากคืนออกมาสู่แหล่งน้ำ

ความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำ

ไนไตรต์จากน้ำสามารถเข้าสู่กระแสเลือดของปลาได้ทางเหงือกในรูปของกรดไนตริก (HNO_2) เมื่อน้ำมีค่าพีเอชต่ำมาก โดยกรดไนตริกจะแพร่ผ่านเนื้อเยื่อของเหงือกได้อย่างอิสระเนื่องจากกรดไนตริกไม่มีประจุและสามารถละลายในไขมันได้ดี แต่ในน้ำที่มีค่าพีเอชปกติจะมีกรดไนตริกในปริมาณน้อยมาก และไนไตรต์จะเข้าสู่กระแสเลือดของสัตว์น้ำได้ในรูปของไนไตรต์ประจุลบ โดยไนไตรต์จะผ่านเข้าสู่เหงือกด้วยกลไกเดียวกับการขนส่งคลอไรด์ เข้าสู่กระแสเลือดเนื่องจากทั้งไนไตรต์และคลอไรด์ ต่างเป็นไอออนประจุลบ 1 ที่มีน้ำล้อมรอบ และกลไกในการขนส่งไอออนของปลาบางชนิดไม่สามารถแยกความแตกต่างของ ไอออนทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ เมื่อไนไตรต์เข้าสู่กระแสเลือด แล้วจะเกิดการ ออกซิไดซ์ กับเหล็กในโมเลกุลของฮีโมโกลบินทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลซึ่งเรียกว่าโรคเลือดสีน้ำตาล (Brown Blood Disease) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้ จะไม่สามารถจับ ตัวกับออกซิเจนได้จึงทำให้ สัตว์น้ำจำพวก ปลาสูญเสียความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ไป โดยความทนทานต่อไนไตรต์ของปลาจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการแยกความแตกต่างระหว่าง ไอออนของคลอไรด์กับ ไอออนของไนไตรต์ที่อยู่ในน้ำ ส่วนสัตว์จำพวกกุ้งจะมีโมเลกุลโปรตีนที่ใช้ในการขนส่งออกซิเจนแตกต่างจากในปลา คือมีฮีโมไซยานินแทนฮีโมโกลบิน ผลการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างฮีโมไซยานินกับ ไนไตรต์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด ดังนั้นกลไกความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อกุ้งจึงไม่เป็นที่เข้าใจนัก อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาพบว่าไนไตรต์มีความเป็นพิษต่อ

กึ่งบางชนิดในระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับในปลาและสามารถก่อความเป็นพิษต่อกุ้งทะเลได้
อย่างมากแม้ว่าในน้ำทะเลจะมีความเข้มข้นของคลอไรด์สูง

2.3.2.3 ไนเตรต

ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำและในบ่อ
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยไนเตรตที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงมักเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและจากปุ๋ยบาง
ประเภทที่ใช้เกลือของไนเตรตเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย ไนเตรตถือเป็นสารประกอบ
ไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ และความเข้มข้น
ของไนเตรตที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและ
มีการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายมาก เนื่องจากการเติบโตของจุลสาหร่ายจะทำให้เกิดการใช้
แอมโมเนียในน้ำจึงเป็นการจำกัดการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ความเข้มข้นของไนเตรตที่พบใน
บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายมากจึงมักมีค่าน้อยกว่า 1 มก.-ไนโตรเจน/
ลิตร อย่างไรก็ตาม ถ้า มีการสะสมของไนเตรตเป็นความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้เกิดความเครียด ใน
สัตว์น้ำได้ การเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงจึงเป็นสิ่งที่จะต้องปฏิบัติโดยเฉพาะเมื่อความ
เข้มข้นของไนเตรตมีค่ามากกว่า 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (Hart และ O'Sullivan, 1993)

2.4 จุลสาหร่าย

สาหร่ายเป็นพืชที่มีองค์ประกอบไม่ซับซ้อนสามารถสังเคราะห์แสงได้ด้วยคลอโรฟิลล์เอ
(Chlorophyll *a*) และมีการปล่อยออกซิเจนออกมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง สาหร่ายเป็น
สิ่งมีชีวิตที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดย
สาหร่ายสามารถดำรงชีวิตได้หลายรูปแบบ เช่น สาหร่ายที่ดำรงชีวิตโดยการลอยอยู่ในน้ำหรือที่
เรียกว่าแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) หรือที่ดำรงชีวิตโดยการยึดเกาะกับพื้นน้ำหรือสิ่งอื่นๆ เช่น
สาหร่ายทะเล (Seaweeds) นอกจากนี้ยังสามารถพบสาหร่ายได้ในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ในดิน หิมะ
น้ำพุร้อน หรือสาหร่ายที่ใช้ชีวิตร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น ไลเคน (Lichen) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่อยู่
ร่วมกับรา และ Zooxanthella ซึ่งเป็นสาหร่ายที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการัง (สรวิศ เผ่าทองสุข,
2543)

สาหร่ายสามารถจำแนกออกได้ตามขนาดเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ จุลสาหร่าย (Microalgae)
และมหาสาหร่าย (Macroalgae) โดยจุลสาหร่ายหมายถึงสาหร่ายขนาดเล็กที่ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า
และต้องอาศัยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ส่วนมหาสาหร่ายหมายถึงสาหร่ายขนาดใหญ่ เช่น
สาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่บางชนิด ซึ่งสาหร่ายที่สามารถพบได้ในบ่อเพาะเลี้ยง

สัตว์น้ำทั่วไปจะเป็นจุลสาหร่ายที่เจริญเติบโตขึ้นจากสารอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหรืออาหารของสัตว์น้ำที่เติมลงไปบ่อเพาะเลี้ยง

การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะเกิดขึ้นในส่วนที่เรียกว่าคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นออร์แกเนลที่มีรงควัตถุอยู่ภายใน รงควัตถุจะทำหน้าที่ดูดซับแสงเพื่อให้คลอโรพลาสต์นำพลังงานนั้นไปใช้ในปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ต่อไป รงควัตถุที่พบในสาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน ซึ่งรงควัตถุเหล่านี้จะส่งผลให้สาหร่ายมีสีแตกต่างกันเนื่องจากการดูดซับและสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน (ยูดี พีรพรพิศาล , 2549) โดยรงควัตถุที่พบในสาหร่ายแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รงควัตถุชนิดต่างๆ และชนิดของสาหร่ายที่พบ

ชนิดของรงควัตถุ	ชนิดของสาหร่าย
คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll <i>a</i>) คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll <i>b</i>) คลอโรฟิลล์ซี (Chlorophyll <i>c</i>) คลอโรฟิลล์ดี (Chlorophyll <i>d</i>)	สาหร่ายทุกชนิด สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม สาหร่ายสีแดง
แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) บีตาแคโรทีน (<i>Beta</i> -carotene) แอลฟาแคโรทีน (<i>Alpha</i> -carotene) ลูเทออิน (Lutein) ฟูโคแซนธิน (Fucoxanthin)	สาหร่ายส่วนใหญ่ สาหร่ายบางชนิด สาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม
ไฟโคบิลิน (Phycobilin) ไฟโคอีริทริน (Phycocerythrin) ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) แอลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin)	สาหร่ายสีแดงและสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสีแดงบางชนิด สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดง

(ที่มา: ยูดี พีรพรพิศาล, 2549)

2.4.1 ประเภทของสาหร่าย

สาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 9 กลุ่มตามการจัดหมวดหมู่ของ Bold และ Wynne (1985) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ยูดี พีรพรพิศาล, 2549)

2.4.1.1 Division Cyanophyta

ได้แก่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งสาหร่ายชนิดนี้มีโครงสร้างของนิวเคลียสคล้ายแบคทีเรียและบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่นเดียวกับแบคทีเรีย แต่จะแตกต่างจากแบคทีเรียตรงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมี คลอโรฟิลล์เอ เป็นองค์ประกอบ และมีการปล่อยออกซิเจนสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พบในแบคทีเรียทั่วไป รงควัตถุที่พบในสาหร่ายกลุ่มนี้ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นกลุ่มสาหร่ายที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดเมื่อเทียบกับสาหร่ายกลุ่มอื่นๆ โดยส่วนใหญ่มักพบในน้ำจืดและพบได้บ้างในน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย นอกจากนี้สาหร่ายกลุ่มนี้ยังสามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งและ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าปกติ เช่น ในบ่อน้ำพุร้อนหรือในหิมะ โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมี รูปร่าง 2 แบบ คือชนิดที่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนีที่ไม่เป็นเส้นสายกับชนิดที่มีโครงสร้างเป็นเส้นสาย

2.4.1.2 Division Chlorophyta

ได้แก่สาหร่ายสีเขียวซึ่งเป็นสาหร่ายที่สามารถพบได้ทั่วไป โดยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นสาหร่ายทะเลที่มักพบบริเวณน้ำตื้นตามแนวชายฝั่ง อีก 90 เปอร์เซ็นต์จะเป็นสาหร่ายน้ำจืด รงควัตถุที่พบในสาหร่ายกลุ่มนี้ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเป็นจำนวนมากทำให้มองเห็นสาหร่ายชนิดนี้เป็นสีเขียว รูปร่างที่พบมีหลากหลายรูปแบบได้แก่ ชนิดที่เป็นเซลล์เดี่ยว โคโลนี เส้นสาย หลอด หรือท่อที่ต่อเนื่องกันตลอด สาหร่ายสีเขียวที่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนีทั้งที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ มักจะพบในน้ำจืดเป็นส่วนใหญ่ ส่วนพวกที่เป็นเส้นสายมักพบในน้ำจืดเช่นกันแต่มีบ้างที่พบในน้ำทะเล ในขณะที่พวกที่เป็นหลอดหรือท่อต่อเนื่องกันมักจะพบในน้ำทะเลเป็นส่วนใหญ่

2.4.1.3 Division Charophyta

ได้แก่สาหร่ายไฟซึ่งเป็นสาหร่ายที่มีความใกล้เคียงกับพืชชั้นสูง พบมากในน้ำจืด และมีน้อยชนิดที่พบในน้ำกร่อย รูปร่างของสาหร่ายไฟมีส่วนที่เป็นข้อและปล้องชัดเจน และมีรงควัตถุชนิดเดียวกับที่พบในสาหร่ายสีเขียว คือคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์

2.4.1.4 Division Euglenophyta

ได้แก่สาหร่ายยูกลีโนอยด์ซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีสีเขียว เนื่องจากมีคลอโรพลาสต์และคลอโรพลาสต์บีมากเช่นเดียวกับ กลุ่มของสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายชนิดนี้เคลื่อนที่โดยอาศัยแฟลกเจลลัมซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเซลล์ บางชนิดว่ายน้ำเป็นอิสระ ส่วนชนิดอื่นๆ อาจสร้างก้านยึดติดกับพื้นผิวหรือสร้างเมือกอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม รงควัฑูที่พบในเซลล์ประกอบด้วยคลอโรพลาสต์เอ คลอโรพลาสต์บี และแคโรทีนอยด์

2.4.1.5 Division Phaeophyta

ได้แก่สาหร่ายสีน้ำตาลซึ่งมีคลอโรพลาสต์ที่ทำให้เกิดสีเขียวและฟูโคแซนทีนที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล สาหร่ายในกลุ่มนี้เกือบทั้งหมดเป็นสาหร่ายทะเลและสาหร่าย ที่พบในน้ำกร่อย และส่วนมากมักเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นสาย รงควัฑูที่ พบในสาหร่ายชนิดนี้ประกอบด้วย คลอโรพลาสต์เอ คลอโรพลาสต์ซี และแคโรทีนอยด์

2.4.1.6 Division Chrysophyta

ได้แก่สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง และไดอะตอม ซึ่งเป็นกลุ่มของสาหร่ายที่มีความหลากหลายของรูปร่างมาก โดยมีทั้งกลุ่มที่เป็นเซลล์เดียวและที่อยู่กันเป็นกลุ่ม เซลล์ที่มีหรือไม่มีแฟลกเจลลัม ผนังเซลล์มีลวดลายและอาจมีสารซิลิกาอยู่ภายในผนังเซลล์ ซึ่งทั้งสาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง และไดอะตอมจะมีรงควัฑูชนิดแคโรทีนอยด์มากกว่าคลอโรพลาสต์ โดยคลอโรพลาสต์ของสาหร่ายกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยคลอโรพลาสต์เอ และคลอโรพลาสต์ซี

2.4.1.7 Division Pyrrophyta

ได้แก่สาหร่ายไดโนแฟลกเจลเลตซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่ใช้แฟลกเจลลัมในการเคลื่อนที่ โดยสาหร่ายกลุ่มนี้จะมีแฟลกเจลลัม 2 เส้นอยู่ในตำแหน่งคนละระนาบที่ดึงจากซึ่งกันและกัน ดำรงชีวิตอิสระ สามารถพบได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม

2.4.1.8 Division Cryptophyta

ได้แก่สาหร่ายคริปโตโมแนดส์ซึ่งเป็นสาหร่ายกลุ่มเล็กๆ ที่มีลักษณะเซลล์เดี่ยว ว่ายน้ำอิสระ ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน สามารถพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีลักษณะ

ของเซลล์เบนจากด้านบนไป ทางด้านท้ายและมีแฟลกเจลลัม 2 เส้น รงควัตถุในสาหร่ายชนิดนี้ ประกอบด้วยรงควัตถุสีน้ำเงินและสีแดงที่เรียกว่าไฟโคบิลิโพรตีน คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์ซี และแคโรทีนอยด์

2.4.1.9 Division Rhodophyta

ได้แก่สาหร่ายสีแดงซึ่งเป็นสาหร่ายที่พบในน้ำทะเลมากกว่าน้ำจืด และสามารถพบได้ที่ระดับความลึกมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้ มีรงควัตถุประเภทไฟโคบิลินเป็นปริมาณมาก ซึ่งรงควัตถุชนิดนี้ สามารถสังเคราะห์แสงด้วยแสงสีเขียวและ แสงสีเหลืองที่ผ่านไปยังทะเลส่วนลึกได้ ในขณะที่แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินจะถูกคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีของสาหร่าย บนบริเวณผิวน้ำดูดซับไปใช้ ในปริมาณมาก ซึ่งรงควัตถุในสาหร่ายชนิดนี้ ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน

2.5 จุลสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จุลสาหร่ายเป็นพืชชนิดหลักที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่ ผลผลิตที่ได้จากจุลสาหร่ายจะเป็นฐานของห่วงโซ่อาหารในบ่อเพาะเลี้ยงที่มีการใส่ปุ๋ยเป็นหลัก ส่วนในระบบที่มีการให้อาหารสำเร็จรูปจุลสาหร่ายก็ยังคงมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มจุลชีพที่ทำหน้าที่รักษาภาวะแวดล้อมใน บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มของจุลสาหร่ายจะให้ออกซิเจนละลายและเก็บสะสมแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเข้ามาสู่เซลล์ อย่างไรก็ตาม ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ในบ่อเพาะเลี้ยงมักเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายโดยไม่มีการควบคุม ซึ่งจะนำไปสู่ความไม่สมดุลของออกซิเจนละลายและทำให้เกิดช่วงเวลาที่มีออกซิเจนในน้ำต่ำซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ การควบคุมปริมาณจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญและผู้เพาะเลี้ยงควรมีความเข้าใจเบื้องต้นในเรื่องของจุลสาหร่ายที่สามารถพบได้ในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีดังต่อไปนี้

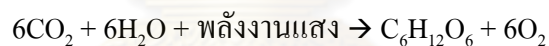
2.5.1 การเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย

จุลสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและสามารถสังเคราะห์แสงได้เอง บางชนิดเคลื่อนไหวได้โดยอาศัยแฟลกเจลลัมหรือซิเลียซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากเซลล์ บางชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในเซลล์ทำให้เคลื่อนที่ขึ้นลงในน้ำได้ ในขณะที่บางชนิดไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ต้องอาศัยกระแสน้ำเป็นตัวพาไป การมีจุลสาหร่ายในระบบมากจะทำให้สี

ของน้ำเปลี่ยนและทำให้เกิดความขุ่นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำได้

จุลสาหร่ายที่พบเป็นหลักในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (Chlorophyta) ยูกลีนาออยด์ (Euglenophyta) ไคโนแฟลกเจลเลต (Pyrrophyta) สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง ไคอะตอม (Chrysophyta) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) การแยกประเภทของจุลสาหร่ายเบื้องต้นสามารถดูได้จากการมีหรือไม่มีนิวเคลียส เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่มีนิวเคลียส จึงไม่จัดเป็นพืชแต่จัดว่าเป็นแบคทีเรียแกรมลบหรือที่เรียกว่าไซยาโนแบคทีเรียซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคลอโรฟิลล์คล้ายกับพืช ส่วนสาหร่ายอีกกลุ่มซึ่งเป็นพืชแท้จริงที่มีนิวเคลียสสามารถแยกประเภทได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของรงควัตถุ การจัดกลุ่มและปริมาณของรงควัตถุ ชนิดของอาหารที่สะสมไว้ในเซลล์ การมีอยู่และจำนวนของแฟลกเจลลา และองค์ประกอบของผนังเซลล์

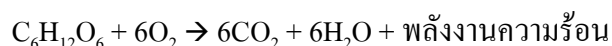
จุลสาหร่าย จะใช้คลอโรฟิลล์และรงควัตถุที่ดูดซับแสงอื่นๆ ในการดักจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานเคมีหรือสารที่มีพลังงานสูง พลังงานเคมีที่ผลิตได้จะถูกใช้เพื่อเปลี่ยนสารอนินทรีย์คาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของน้ำตาล กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่าการสังเคราะห์แสงซึ่งสามารถสรุปได้เป็นสมการดังนี้



สิ่งที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แสงอาทิตย์ และแร่ธาตุต่างๆ กระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการรีดักชันคือใช้พลังงานในปฏิกิริยาและปลดปล่อยออกซิเจนออกมาในระบบ สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำการสังเคราะห์แสงมีบทบาทสำคัญ 3 ข้อ ได้แก่

1. เป็นแหล่งพลังงานหลักในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
2. เป็นแหล่งของสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารในระบบบึงน้ำ
3. ออกซิเจนละลายจำนวนมากถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง

น้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกใช้เพื่อผลิตสารอินทรีย์อื่นๆ ที่จุลสาหร่ายต้องใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมและการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ ดังนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นทั้งแหล่งพลังงานและเป็นตัวกลางในกา รสร้างมวลของจุลสาหร่าย กระบวนการที่จุลสาหร่ายใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เรียกว่ากระบวนการหายใจ (Respiration) ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นสมการดังนี้



กระบวนการหายใจเป็นกระบวนการที่ตรงกันข้ามกับกระบวนการสังเคราะห์แสงคือเป็นกระบวนการออกซิเดชัน กล่าวคือปลดปล่อยพลังงานและใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยา

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย

ความต้องการหลักของจุลสาหร่ายในการเจริญเติบโตได้แก่ ปริมาณแสงที่จะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสง สารอนินทรีย์ที่เป็นธาตุอาหาร และอุณหภูมิ งบน้ำที่พอเหมาะ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

2.5.2.1 แสงอาทิตย์

แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย มาก โดยช่วงคลื่นที่กระตุ้นการสังเคราะห์แสงจะอยู่ในช่วง 400 ถึง 700 นาโนเมตร เมื่อเดินทางผ่านน้ำแสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ทำให้ปริมาณแสงลดลงเมื่อความลึกของน้ำเพิ่มมากขึ้น และคุณภาพของแสงจะลดลงเนื่องจากแสงในช่วงอินฟราเรด กับแสงสีแดงจะถูกดูดซับจากน้ำไว้ได้มาก ในขณะที่แสงในช่วงสีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงินจะถูกดูดซับไว้น้อยกว่ามากจึงผ่านไปใต้น้ำได้ลึกกว่าช่วงแสงสีแดง ดังนั้นประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงใต้น้ำของจุลสาหร่ายจึงขึ้นอยู่กับการมีอยู่ของรงควัตถุ ซึ่งจะใช้แสงในช่วงคลื่นต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น คลอโรฟิลล์สามารถดูดซับแสงได้มากในช่วงแสงสีน้ำเงินและแดง แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ซึ่งมีมากในไดอะตอมและสาหร่ายสีเหลืองแกมเขียวจะดูดซับแสงได้มากที่สุดในช่วงแสงสีเขียว ส่วนไฟโคบิลินและไฟโคอิทรินในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะดูดซับแสงในช่วงแสงสีเขียวและเหลือง

ความต้องการแสงในการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายขึ้นอยู่กับชนิดของจุลสาหร่าย การได้รับสารอาหาร อุณหภูมิของน้ำ และปัจจัยอื่นๆ เนื่องจากจุลสาหร่ายต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาวะใต้น้ำซึ่งได้รับแสงน้อยกว่าบนพื้นดิน แสงที่มีความเข้มสูงจึงสามารถยับยั้งการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายได้ นอกจากนี้ การมีจุลสาหร่ายมาก จะก่อให้เกิดการสกัดกั้นแสงหรือที่เรียกว่าการบังกันเองของจุลสาหร่าย (Self-shading) การบังแสงนี้จะทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลงและส่งผลให้มีการตรึงคาร์บอนและการผลิตออกซิเจนน้อยลง การบังแสงยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะกำหนดชนิดของจุลสาหร่ายในระบบ เพราะจุลสาหร่ายบางชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีแสงน้อย เนื่องจากมีรงควัตถุที่สามารถดูดซับแสงได้ในช่วงคลื่นที่จุลสาหร่ายชนิดอื่นไม่ใช่ และจุลสาหร่ายบางชนิดยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในน้ำได้เมื่อปริมาณแสงมีจำกัด จุลสาหร่ายเหล่านี้จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นและกลายเป็นจุลสาหร่ายชนิดหลักในระบบเมื่อความหนาแน่นของจุลสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น

2.5.2.2. สารอาหาร

สารอาหารที่มีความสำคัญกับจุลสาหร่ายมีอยู่ด้วยกันประมาณ 20 ชนิด แบ่งออกได้เป็นสารอาหารหลักซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเนื้อเยื่อในเซลล์ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และคลอไรด์ นอกจากนี้ยังมีซิลิกาซึ่งเป็นสารอาหารหลักสำหรับจุลสาหร่ายบางชนิด เช่น ไดอะตอมซึ่งมีซิลิกาในผนังเซลล์มาก สารอาหารอีกประเภทหนึ่งคือสารอาหารรองซึ่งใช้ในการทำงานของเซลล์ แต่จุลสาหร่ายต้องการในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม วานาเดียม และโคบอลต์ สารอาหารเหล่านี้จุลสาหร่ายจะรับมาจากน้ำและสะสมไว้ในเซลล์ โดยปกติแล้วการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายจะถูกจำกัดจากสารอาหารหลักที่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการ เมื่อสารอาหารที่มีจำกัดนี้ถูกเติมลงในน้ำ จุลสาหร่ายจะเติบโตขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับการเจริญเติบโตสูงสุดในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การเพิ่มสารอาหารลงไปอีกจะไม่สามารถกระตุ้นให้จุลสาหร่ายเจริญเติบโตมากขึ้นและอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษในน้ำได้ นอกจากนี้ การเพิ่มสารอาหารชนิดหนึ่งขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้เกิดการขาดแคลนสารอาหารอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากถูกจุลสาหร่ายนำไปใช้ในการสร้างเซลล์หรือใช้ในการทำงานภายในเซลล์อย่างต่อเนื่อง การเติบโตของจุลสาหร่ายจะดำเนินต่อไปได้ก็ต่อเมื่อมีการใส่สารอาหารทั้ง 2 ชนิดนั้นลงไปเพิ่มในน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฟอสฟอรัสและไนโตรเจนคือสารอาหารหลักที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย และการเข้าถึงสารอาหาร ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อชนิดของจุลสาหร่ายเนื่องจากจุลสาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถในการรับอาหารจากสิ่งแวดล้อมต่างกัน

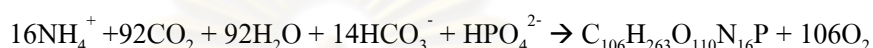
2.5.2.3. อุณหภูมิของน้ำ

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ได้ดี โดยสามารถพบสาหร่ายได้ในทั้งในน้ำแข็ง หิมะ และน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 °ซ ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของจุลสาหร่าย ความเข้มของแสง สารอาหารและปัจจัยอื่นๆ จุลสาหร่ายที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป อัตราการเติบโตจะเพิ่มขึ้น 1.8 ถึง 3 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °ซ ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 5 ถึง 25 °ซ (Boyd และ Tucker, 1998) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดชนิดของจุลสาหร่ายในแหล่งน้ำ ยกตัวอย่างเช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดจะเจริญเติบโตได้มากในน้ำอุ่นแต่จะพบน้อยในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ

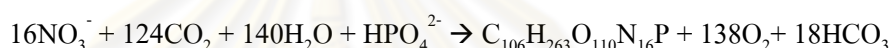
2.5.3 การนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายและเป็นสารที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สารประกอบไนโตรเจนที่จุลสาหร่ายใช้ได้มีหลายรูป แต่ที่มักเลือกใช้ก่อนคือแอมโมเนียเนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ การใช้แอมโมเนีย และไนเตรตเพื่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย (โดย $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$ เป็นสูตรทางเคมีของจุลสาหร่ายทะเล) สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

- เมื่อจุลสาหร่ายใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจน



- เมื่อจุลสาหร่ายใช้ไนเตรตเป็นแหล่งของไนโตรเจน



ซึ่งปริมาณของสารที่ถูกใช้และที่เกิดขึ้น จากการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย เมื่อมีการใช้แหล่งไนโตรเจนต่างกันจะมีความแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 สารที่ถูกใช้และที่เกิดขึ้นในการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายตามสมการสตอยชิโอเมตริก

สารที่เกี่ยวข้องในการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย	เมื่อแอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจน	เมื่อไนเตรตเป็นแหล่งของไนโตรเจน
ความเป็นด่าง	- 3.13 กรัมแคลเซียมคาร์บอเนต/กรัมไนโตรเจน	+ 4.02 กรัมแคลเซียมคาร์บอเนต/กรัมไนโตรเจน
คาร์บอนไดออกไซด์	- 18.07 กรัม/กรัมไนโตรเจน	- 24.4 กรัม/กรัมไนโตรเจน
ออกซิเจน	+ 15.14 กรัม/กรัมไนโตรเจน	+ 19.71 กรัม/กรัมไนโตรเจน
มวลของจุลสาหร่าย	+ 15.85 กรัม/กรัมไนโตรเจน	+ 15.85 กรัม/กรัมไนโตรเจน

หมายเหตุ: - หมายถึงสารที่ถูกใช้ และ + หมายถึงสารที่เกิดขึ้น

(ที่มา: Ebeling และคณะ, 2006)

การนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่ายสามารถประมาณได้จากการวัดอัตราคาร์บอนแล้วจึงนำไปเทียบกับ Redfield stoichiometric ratio (C:N:P = 106:16:1) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการสรุปและรายงานไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการตรึงคาร์บอนและการกำจัดแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประเภทต่างๆ

ระบบเพาะเลี้ยง	ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึง (กรัมคาร์บอน/ ตร.ม.-วัน)	ปริมาณแอมโมเนียที่ถูก กำจัด (กรัมไนโตรเจน/ ตร.ม.-วัน)	เอกสารอ้างอิง
บ่อเพาะเลี้ยง กึ่งหนาแน่น	1-3	176 -528	Tucker, 1996
บ่อเพาะเลี้ยงปลา กึ่งหนาแน่น	-	450	Hargreaves, 1997
บ่อเลี้ยงกุ้ง	-	600-1500	Burford และคณะ, 2003
ระบบ PSG	12	1760-2113	Brune และคณะ., 2003

หมายเหตุ : PSG (Photosynthetic suspended growth system) คือระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการควบคุมคุณภาพน้ำโดยอาศัยจุลสาหร่าย แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

(ที่มา: Hargreaves, 2006)

อัตราการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ (กรัมของคาร์บอนที่ถูกตรึงต่อตารางเมตรต่อวัน) จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณจุลสาหร่ายในน้ำเพิ่มมากขึ้นและสุดท้ายจะถูกจำกัดจากปริมาณแสงที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงต่อมวลของจุลสาหร่าย (กรัมของคาร์บอนที่ถูกตรึงต่อกรัมของจุลสาหร่ายต่อวัน) จะลดลงเมื่อปริมาณของจุลสาหร่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความขุ่นซึ่งจะปิดกั้นแสง นอกจากนี้ยังมีการแก่งแย่งสารอาหารและทรัพยากรอื่นๆ ที่ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง แต่อัตราการหายใจต่อมวลของจุลสาหร่ายจะไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของจุลสาหร่ายมากนักเพราะแสงไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหายใจ

แม้ว่าจุลสาหร่ายจะสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้ในปริมาณมาก แต่ก็เพียงการเก็บไนโตรเจนไว้ในเซลล์ชั่วคราวในรูปของโปรตีน เมื่อจุลสาหร่ายตายไปสารอินทรีย์ในเซลล์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียทำให้ไนโตรเจนถูกปล่อยกลับออกมาสู่น้ำในรูปของแอมโมเนีย การ

จัดการแยกจุลสาหร่ายออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดการแยกแอมโมเนียออกจากน้ำอย่างถาวร

2.5.4 จุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใส่ปุ๋ย

ความอุดมสมบูรณ์ของจุลสาหร่ายและผลผลิตของสัตว์น้ำจะมีความสัมพันธ์กันมากในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่พึ่งพาอาหารตามธรรมชาติเป็นหลัก การใส่ปุ๋ยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตของสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุลสาหร่ายสามารถเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงได้ แต่ปริมาณของจุลสาหร่ายที่เหมาะสมในบ่อเพาะเลี้ยงยังไม่เป็นที่แน่ชัดและในการปฏิบัติโดยทั่วไปมักมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของน้ำสูงเกินไปเพราะจะทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมลงได้

2.5.5 จุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูปกับสัตว์น้ำจุลสาหร่ายจะมีบทบาทในการรักษาภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำลงได้ถ้าสามารถควบคุมจุลสาหร่ายให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม แต่ปัญหาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่มักเกิดจากการเจริญเติบโตโดยไม่มีการควบคุมของจุลสาหร่าย เช่น การขาดแคลนออกซิเจนละลายและการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ปัญหาเหล่านี้เกิดจากธรรมชาติของจุลสาหร่ายที่จะเจริญเติบโตในระบบที่มีสารอาหารมาก และเป็นเรื่องจัดการได้ยากในบ่อเพาะเลี้ยงที่มีอัตราการให้อาหารสูง

บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูปสามารถเกิดจุลสาหร่ายในปริมาณมากได้ เนื่องจากในระบบมีสารอาหารมากเกินไป ต่างจากบ่อเพาะเลี้ยงที่มีการใส่ปุ๋ยซึ่งมักจะมีจุลสาหร่ายในระดับปานกลาง สารอาหารที่มากเกินไปมาจากอาหารสำเร็จรูปที่เหลืออยู่ในระบบและจากของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาในน้ำ ปริมาณของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงจึงควบคุมได้ยากเพราะการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายไม่ได้ถูกควบคุมจากอัตราการเติมสารอาหารอย่างในกรณีของการใส่ปุ๋ย การแก้ปัญหาคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับจุลสาหร่ายจึงมักใช้วิธีการ แก้ปัญหาที่ปลายเหตุมากกว่าการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เนื่องจากปริมาณจุลสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยง

2.5.6 ปริมาณจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เนื่องจาก คลอโรฟิลล์เอเป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในจุลสาหร่ายทุกชนิด จึงมักถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาปริมาณของจุลสาหร่ายในตัวอย่างน้ำ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว สารอินทรีย์ในเซลล์ของจุลสาหร่ายจะประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์แต่มักไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของจุลสาหร่ายในระบบนั้นๆ ค่าคลอโรฟิลล์เอที่เหมาะสมในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใส่ปุ๋ยจะอยู่ที่ประมาณ 50 ถึง 250 ไมโครกรัม-คลอโรฟิลล์เอ/ลิตร ส่วนปริมาณเฉลี่ยของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปมักมีค่าตั้งแต่ 0 ไปจนถึงมากกว่า 500 ไมโครกรัม-คลอโรฟิลล์เอ/ลิตร (Boyd และ Tucker, 1998) และแม้ว่าปริมาณของจุลสาหร่ายโดยเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับสารอาหารที่ทำให้เป็นหลัก แต่มวลของจุลสาหร่ายก็มีความแตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละบ่อเพาะเลี้ยง ความเปลี่ยนแปลงของจุลสาหร่ายในระบบเกิดได้จากปริมาณของสารอาหาร สภาพภูมิอากาศ และความเปลี่ยนแปลงในกลุ่มประชากรของจุลสาหร่ายเอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของจุลสาหร่ายนี้ส่งผลให้บ่อเพาะเลี้ยงแต่ละบ่อมีความแตกต่างกันมากแม้ว่าจะมีลักษณะและการจัดการแบบเดียวกัน ในบ่อเพาะเลี้ยงที่มีอัตราการให้อาหารสูงจะมีสารอาหารสำหรับจุลสาหร่ายในปริมาณมากอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงของมวลจุลสาหร่ายตามฤดูกาลจึงขึ้นอยู่กับปริมาณแสงและอุณหภูมิของน้ำเป็นหลัก ปริมาณจุลสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในฤดูร้อนเมื่อมีแสงอาทิตย์มากและน้ำมีอุณหภูมิสูง จากนั้นจะลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาว แต่การเปลี่ยนแปลงของจุลสาหร่ายตามฤดูกาลมักไม่มีผลหรือมีผลกระทบน้อยในประเทศเขตร้อน ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาล ไม่มากนัก ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากประชากรของจุลสาหร่ายเป็นผลมาจากการเพิ่มและการตายอย่างต่อ เนื่องของจุลสาหร่ายในระบบ ความเปลี่ยนแปลงนี้มักเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีสารอาหารและจำนวนจุลสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น ประชากรจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงเสมอ จึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในบ่อเพาะเลี้ยงที่มีลักษณะเหมือนกันสามารถแตกต่างกันได้หลายเท่าตัว

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับจุลสาหร่ายมีความสำคัญต่อการจัดการระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลสาหร่ายมีผลต่อสภาพแวดล้อมในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักเป็นการเปลี่ยนแปลงจากประชากรจุลสาหร่ายที่มีความหลากหลายมาก แต่มีปริมาณปานกลางไปสู่ประชากรที่มีความหลากหลายน้อยแต่มีปริมาณมาก ซึ่งกลุ่มของจุลสาหร่ายที่มีความหลากหลายน้อยมักไม่มีความเสถียรเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับจุลสาหร่ายที่มีอยู่เพียงไม่กี่ชนิดจะส่งผลอย่างมากต่อกลุ่มประชากรทั้งหมดในระบบ

2.5.7 โครงสร้างของกลุ่มจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จุลสาหร่ายที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีมากมายหลายชนิดและมักเป็นจุลสาหร่ายที่พบได้ทั่วไป องค์ประกอบของกลุ่มจุลสาหร่ายจะแตกต่างกันในแต่ละบ่อเพาะเลี้ยงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของจุลสาหร่ายดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สารอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อชนิดของจุลสาหร่ายมาก น้ำที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยถึงปานกลางมักจะมีสาหร่ายสีเขียว ยูกลีโนอยด์ และไดอะตอมหลากหลายชนิดปนกันอยู่ เมื่อสารอาหารเพิ่มมากขึ้นความหลากหลายของจุลสาหร่ายในน้ำมักลดลงและมักจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประเภทที่จับตัวเป็นโคโลนีหรือประเภทที่มีเส้นใยเป็นหลัก นอกจากนี้ แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์น้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของกลุ่มจุลสาหร่ายได้มากเนื่องจากทั้งแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์น้ำสามารถบริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหารได้ โดยส่วนใหญ่แล้วผู้บริโภคหลักของจุลสาหร่ายจะเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ ผลกระทบจากแพลงก์ตอนสัตว์ต่อกลุ่มจุลสาหร่ายจะมาจากอัตราการบริโภค ขนาดของจุลสาหร่าย และอัตราการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย อัตราการเติบโตของจุลสาหร่ายมีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวกำหนดความสามารถของประชากรจุลสาหร่ายในการอยู่รอดจากการถูกบริโภค ตัวอย่างเช่น กลุ่มจุลสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ช้าจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วถ้ามีอัตราการถูกบริโภคสูง ในขณะที่กลุ่มจุลสาหร่ายที่เติบโตได้เร็วอาจสามารถเจริญเติบโตทดแทนการถูกบริโภคได้ ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความสามารถของจุลสาหร่าย ในการทนทานต่อการถูกบริโภค ตัวอย่างเช่น จุลสาหร่ายขนาดเล็กจะมีความเสี่ยงต่อการถูกบริโภคโดยแพลงก์ตอนสัตว์มากกว่าจุลสาหร่ายที่ก่อตัวเป็นโคโลนีขนาดใหญ่ ดังนั้นขนาดและรูปร่างของจุลสาหร่ายจึงมีความสำคัญต่อการอยู่รอดและ ต่อปริมาณของจุลสาหร่ายชนิดนั้นในน้ำ ส่วนสัตว์น้ำที่บริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหารก็เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญเนื่องจากสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงมักเป็นสัตว์กินพืช จึงสามารถบริโภคจุลสาหร่ายขนาดใหญ่และจุลสาหร่ายที่สร้างโคโลนีขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจุลสาหร่ายขนาดเล็กจึงมักกลายเป็นสาหร่ายชนิดหลักเนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและสามารถใช้แสงและสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าจุลสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่ มวลของจุลสาหร่ายขนาดเล็กจึงมักเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพาะเลี้ยงสัตว์กินพืชในน้ำ

2.5.8 กระบวนการแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำ

กระบวนการที่ได้มีการนำมาใช้แยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยง และการกรอง ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการแยกแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.5.8.1 การแยกด้วยกระบวนการฟลอคคูเลชัน (Flocculation)

ฟลอคคูเลชันคือกระบวนการเพิ่มขนาดของสารที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวโดยการใส่สารเคมีที่เรียกว่าสารฟลอคคูแลนต์ลงไป ทำให้สารแขวนลอยเกิดการรวมตัวกันจนตกตะกอนเพื่อให้สามารถแยกสารนั้นออกจากน้ำได้ ฟลอคคูเลชันเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับประจุของสารแขวนลอยซึ่งจะเกิดการรวมตัวกันเมื่อแรงดึงดูดระหว่างมวลหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) มีค่ามากกว่าแรงผลักระหว่างประจุหรือที่เรียกว่าเสถียรภาพของสารคอลลอยด์ และเนื่องจากจุลสาหร่ายมีประจุบนพื้นผิวของเซลล์เป็นลบ ทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ การจะให้จุลสาหร่ายมารวมตัวกันเพื่อตกตะกอนจึงต้องปรับประจุบนเซลล์ของจุลสาหร่ายให้เป็นกลาง โดยการใส่สารฟลอคคูแลนต์ เช่น สารที่มีประจุบวกหรือ โพลิเมอร์ ซึ่งกระบวนการฟลอคคูเลชันได้ถูกนำมาใช้ในแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำ ยกตัวอย่าง เช่น ใช้ในการเก็บเกี่ยวจุลสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Knuckey และคณะ, 2006)

2.5.8.2 การแยกด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation)

การตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยงเป็นการแยกสารที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวโดยใช้ความเร่งจากแรงเหวี่ยง ทำให้สารตกตะกอนแยกจากส่วน ที่เป็นของเหลว การตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยงเป็นวิธีการที่สามารถทำได้รวดเร็วแต่ต้องใช้พลังงาน มาก แต่ยังคงเป็นวิธีที่ใช้กันมากในการแยกจุลสาหร่าย โดยเฉพาะเมื่อต้องการเก็บจุลสาหร่ายไว้ใช้เป็นระยะเวลา นาน เช่น ใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Grima และคณะ, 2003)

2.5.8.3 การแยกด้วยกระบวนการเยื่อกรอง (Membrane filtration)

การกรองคือกระบวนการแยกอนุภาคของสารที่อยู่ในของเหลวโดยการใช้นา ขนาดของอนุภาคเป็นเกณฑ์ในการแยก ของเหลวจะถูกนำไปไหลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนซึ่งมีความดันที่แตกต่างกันระหว่างทั้ง 2 ด้าน ทำให้ของเหลวไหลผ่านไปอีกด้านหนึ่งของตัวกรอง ในขณะที่อนุภาคที่ต้องการแยกจะถูกกักไว้บนผิวหรือภายในตัวกรอง ขนาดของอนุภาคที่ถูกกักไว้จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนของตัวกรองที่นำมาใช้งานซึ่งจะสามารถกักสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเอาไว้ได้ การเลือกใช้ตัวกรองจึงต้องคำนึงถึงขนาดของสารที่ต้องการแยกเป็นหลัก โดยการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันได้มีการนำมาใช้เพื่อแยกจุลสาหร่ายออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อนำจุลสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ (Rossignol และคณะ, 1999) และใช้ในการแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำเพื่อนำน้ำจืดไปใช้ (Hung และ Liu, 2006)

2.6 อนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เนื่องจากในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปมักมีการให้อาหารในปริมาณมากเกินไปเพื่อให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ จึงส่งผลให้เกิดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ได้แก่ อาหารที่เหลืออยู่ ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา เซลล์ของจุลินทรีย์ รวมถึงเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งอนุภาคของแข็งเหล่านี้สามารถลดทอนคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงและมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการปล่อยทิ้งไปโดยไม่ได้อำนาจ ดังนั้นการจัดการกับอนุภาคของแข็งในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 ปริมาณและสารอาหารที่พบในอนุภาคของแข็งแขวนลอย

ต้นกำเนิดของของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นล้วนมาจากอาหารของสัตว์น้ำที่ใส่ลงไปในระบบ โดยส่วนหนึ่งของอาหารจะถูกสัตว์น้ำบริโภคและถูกขับถ่ายออกมาประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่บริโภคไปทั้งหมด ทั้งในรูปของของแข็ง ของเหลว และในรูปของก๊าซ ในขณะที่อาหารส่วนที่เหลือจะกลายเป็นของเสีย ซึ่งโดยทั่วไปการประมาณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะคิดจาก 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่ใส่ลงไปในระบบ (เมื่อคิดจากน้ำหนักแห้ง) และได้มีการแนะนำไว้ว่าความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรควบคุมให้มีค่าต่ำกว่า 80 มก./ลิตร (Timmons และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกักเก็บสารอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันและยังขึ้นอยู่กับสภาวะของการเพาะเลี้ยงในแต่ละแห่ง ตัวอย่างการประมาณค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกกักเก็บและถูกปล่อยออกมาโดยสัตว์น้ำชนิดต่างๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 2.6 โดยจะเห็นได้ว่าไนโตรเจนในรูปอนุภาคของแข็งจะถูกพบอยู่ในช่วงระหว่าง 5.4 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหาร ส่วนฟอสฟอรัสในรูปอนุภาคของแข็งจะถูกพบอยู่ในช่วง 15 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในอาหารของสัตว์น้ำ (Piedrahita และคณะ, 2003)

2.6.2 คุณสมบัติของอนุภาคของแข็งแขวนลอย

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเมื่อคำนึงถึงการควบคุมเป็นหลักมี 2 ประการ คือความถ่วงจำเพาะ (Particle specific gravity) และการกระจายขนาดของอนุภาคของแข็ง (Particle size distribution) โดยความถ่วงจำเพาะจะถูกกำหนดจากแหล่งกำเนิดของอนุภาค ในขณะที่การกระจายขนาดจะถูกควบคุมจากหลายๆ ปัจจัย เช่น แหล่งของอนุภาค ขนาดของสัตว์น้ำ อุณหภูมิของน้ำ และความปั่นป่วนของระบบ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Timmons และคณะ (2002) พบว่าประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ของอาหารที่เหลืออยู่ จะถูกย่อยสลาย กลายเป็นอนุภาคที่มี

ขนาดใหญ่กว่า 60 ไมโครเมตร และประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์จะเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มม. ซึ่งอนุภาคของแข็งที่เกิดจากอาหารกับอนุภาคของแข็งที่เกิดจากของเสียของสัตว์ วัณน้ำจะมีขนาดและความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน โดยในระบบเพาะเลี้ยงแบบมีการหมุนเวียนน้ำจะพบอนุภาคขนาดเล็กกว่า 30 ไมโครเมตรมากที่สุด

ตารางที่ 2.6 อัตราการกักเก็บและอัตราการปล่อยสารอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ โดยคิดจากเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารของสัตว์น้ำ

ปริมาณที่ถูกกักเก็บ		ปริมาณที่ถูกปล่อยในรูปของแข็ง		ปริมาณที่ถูกปล่อยในรูปสารละลาย		ชนิดของสัตว์น้ำ	เอกสารอ้างอิง
N*	P*	N*	P*	N*	P*		
49	36	14	55	37	9	ปลาแซลมอน	Johnsen และคณะ, 1993 Berggheim และ Asgard, 1996
10	40	35	15	55	45	ปลากระพง	Lemarie และคณะ, 1998
25	30	15	70	60	0	ปลาเทราท์สายรุ้ง	Hakanson, 1988 Pillay, 1992
22	18.8	5.4	22	72	62	ปลานิลพันธุ์ผสม	Siddiqui และ Al-Harbi, 1999

หมายเหตุ : *N หมายถึงไนโตรเจนและ P หมายถึงฟอสฟอรัสในหน่วยของเปอร์เซ็นต์

(ที่มา: Piedrahita, 2003)

2.6.3 การจัดการอนุภาคของแข็งแขวนลอยในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

กระบวนการแยกอนุภาคของแข็งที่ได้มีการนำมาใช้กับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอยู่ 3 กระบวนการด้วยกัน ได้แก่ การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง การกรอง และกระบวนการลอยตัว (Timmons และคณะ, 2002) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกระบวนการมีดังต่อไปนี้

2.6.3.1 การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation)

ใช้หลักการของการตกตะกอนและความเร็วในการตกตะกอน (Settling velocity) เป็นตัวแยกของแข็งแขวนลอยออกจากระบบ โดยใช้ถังตกตะกอนร่วมกับแผ่นกรอง (Screen) ตัวกรองแบบเม็ด (Granular media) หรือตัวกรองที่มีรูพรุน (Porous media)

2.6.3.2 การแยกด้วยระบบกรอง (Filtration)

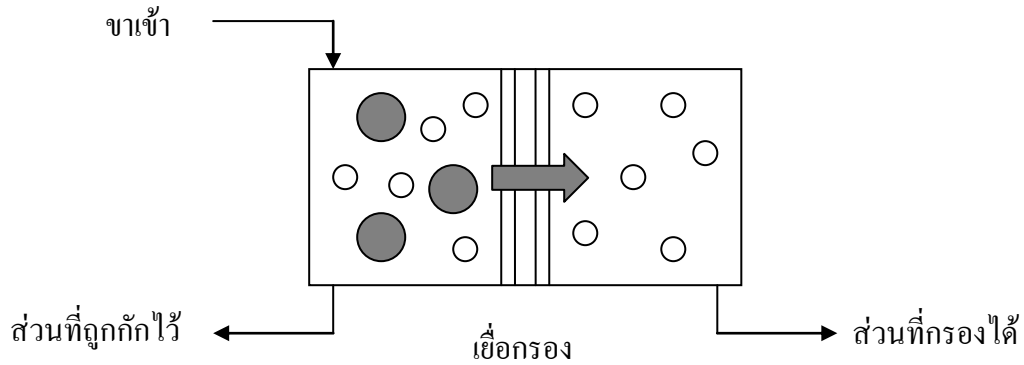
ใช้หลักการแยกของแข็งแขวนลอยด้วยการกรองโดยใช้แผ่นกรอง ตัวกรองแบบเม็ด หรือตัวกรองที่มีรูพรุน ซึ่งกระบวนการกรองอาจมีมากกว่า 1 ขั้นตอนเพื่อให้สามารถแยกอนุภาคของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.3.3 การแยกด้วยกระบวนการลอยตัว (Floatation)

การแยกด้วยกระบวนการลอยตัวนี้อนุภาคของแข็งแขวนลอยจะถูกดูดติดไปกับฟองอากาศที่ถูกใส่เข้าไปในระบบ จากนั้นของแข็งแขวนลอยจึงจะถูกพาแยกออกไปจากน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.7 กระบวนการเยื่อกรอง

กระบวนการเยื่อกรองหมายถึงกระบวนการที่อาศัยเยื่อกรองแบบเลือกผ่าน (Semi-permeable membrane) เพื่อแยกอนุภาคสาร (Solute) ออกจากของเหลว โดยใช้แรงขับเคลื่อน (Driving force) บังคับให้ของเหลวไหลซึมผ่านเยื่อกรองไปและกักสารต่างๆ ไว้บนเยื่อกรองหรือกักไว้ในรูปของสารละลายเข้มข้น ที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ ซึ่งเยื่อกรองจะเป็นตัวกลางขวางกั้นระหว่างเฟสการไหล 2 เฟสที่มีคุณสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่าน และการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นตามความหนาของชั้นเยื่อกรอง โดยหลักการของเทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อกรองได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการของการแยกด้วยเยื่อกรอง

แรงขับที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างเยื่อกรอง ได้แก่ ความดันระหว่างเยื่อกรอง และความเข้มข้นของของเหลวที่นำมากรอง ซึ่งเยื่อกรองที่มีประสิทธิภาพ ดีจะมีค่าฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านสูง มีความแข็งแรงทนต่อสารเคมีและความร้อนภายใต้สภาวะการเดินระบบ ได้ดี รวมทั้งมีแนวโน้มในการอุดตันต่ำ และมีราคาไม่แพง กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทตามขนาด ของรูพรุนและแรงขับที่ใช้ในการถ่ายโอนมวล โดยในที่นี้จะกล่าวถึงกระบวนการแยกอนุภาคออกจากของเหลวซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเยื่อกรองตามขนาดรูพรุนได้เป็นไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ ซึ่งรายละเอียดลักษณะของเยื่อกรองและกลไกในการแยกของเยื่อกรองแต่ละประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 2.7 ดังนี้

ตารางที่ 2.7 ลักษณะของเยื่อกรองและกลไกในการแยกของเยื่อกรองแต่ละประเภท

กระบวนการแยก	ขนาดรูพรุน (อังสตรอม)	กลไกการแยก
ไมโครฟิลเตรชัน	500-20,000	การคัดขนาด
อัลตราฟิลเตรชัน	30-1,000	การคัดขนาด
นาโนฟิลเตรชัน	10-50	การคัดขนาด
ออสโมซิสผันกลับ	5-20	การคัดขนาด
	< 5	การละลาย-การแพร่

(ที่มา: Baker, 2004)

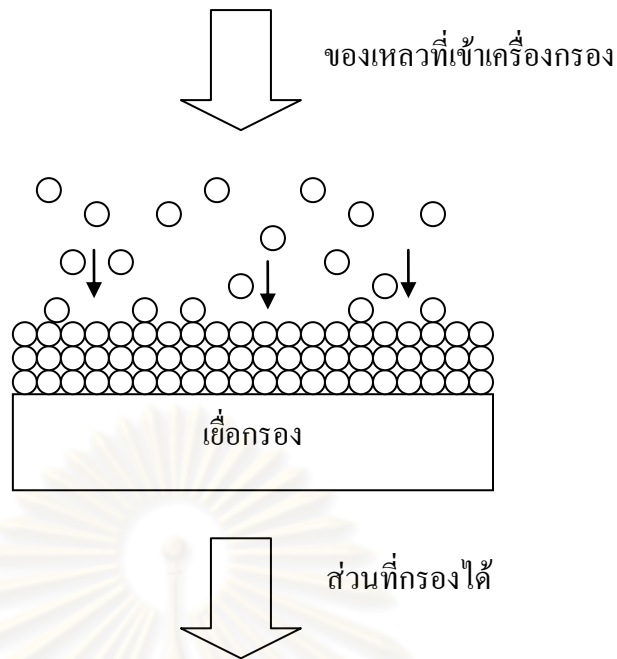
วัสดุที่ใช้ทำ เยื่อกรองสามารถแบ่งตาม คุณสมบัติทางเคมีออกได้เป็นเยื่อกรองที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยเมื่อเยื่อกรองสัมผัสกับน้ำจะแสดงการตอบสนองต่อโมเลกุลของน้ำในลักษณะที่สร้างพันธะกับ โมเลกุลของน้ำหรือผลักโมเลกุลของน้ำให้

ห่างออกไป ซึ่งอนุภาคแขวนลอยในน้ำมักมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำและมีแนวโน้มชอบจับตัวกันเป็นอนุภาคคอลลอยด์ ที่มักเข้าไปจับติดกับผิวของเยื่อกรอง ส่งผลให้เกิดการอุดตันของรูพรุนบนเยื่อกรองหรือภายในเยื่อกรอง จึงต้องทำการเปลี่ยนหรือทำการล้างย้อนเพื่อให้สามารถดำเนินการกรองต่อไปได้ สำหรับวัสดุชนิดไม่ชอบน้ำจะมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ เช่น โพรตีน แบคทีเรีย จุลสาหร่าย และอนุภาคแขวนลอยได้สูง แต่จะยอมให้น้ำผ่านได้น้อยกว่าเยื่อกรองชนิดชอบน้ำ จึงก่อให้เกิดการอุดตันได้ง่ายกว่าเมื่อนำมาใช้ในการกรองสารอินทรีย์ ดังนั้นการเลือกชนิดของเยื่อกรองจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก

2.7.1 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)

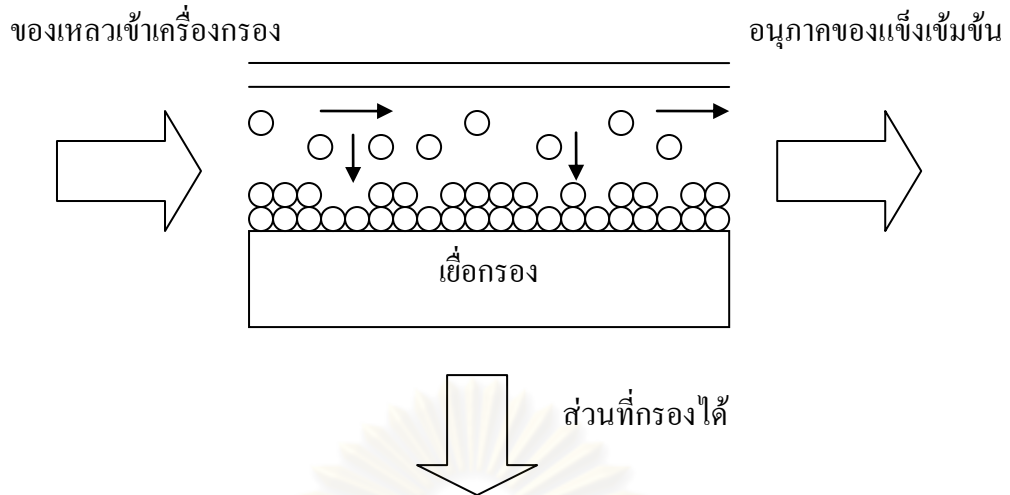
ไมโครฟิลเตรชันคือกระบวนการกรองที่ใช้เยื่อกรองเป็นตัวแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดระหว่าง 0.01 ถึง 10 ไมโครเมตรออกจากของเหลว โดยไมโครฟิลเตรชันเป็นกระบวนการทางกายภาพที่อาศัยแรงดันเป็นตัวขับเคลื่อนให้ของเหลวไหลผ่านรูพรุนของเยื่อกรอง ที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นกระบวนการไมโครฟิลเตรชันนี้จึงสามารถนำมาใช้แยกแบคทีเรีย จุลสาหร่าย และจุลินทรีย์ต่างๆ ออกจากน้ำ ซึ่งขนาดของรูพรุนที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่ต้องการแยกออกจากน้ำ ส่วนการแบ่งประเภทของการกรองในไมโครฟิลเตรชันสามารถแบ่งตามทิศทางการไหลของของเหลวได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

การกรองโดยตรง (Dead-end microfiltration) เป็นลักษณะของการกรองที่ของเหลวจะไหลผ่านเยื่อกรองในแนวตั้งฉากภายใต้ความดัน สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อกรองจะถูกกักไว้บนผิวหน้าของเยื่อกรอง เมื่อเวลาผ่านไปจึงเกิดการสะสมของอนุภาคของแข็งบนผิวหรือภายในเยื่อกรอง จนเกิดการอุดตัน ซึ่งส่งผลให้ของเหลวที่กรองได้มีปริมาณลดลงและต้องมีการใช้ความดันในการเดินระบบเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ของเหลวสามารถไหลผ่านเยื่อกรองไปได้ จนในที่สุดจะถึงจุดที่ต้องมีการเปลี่ยนเยื่อกรองหรือต้องทำการล้างย้อนเพื่อทำความสะอาดเยื่อกรอง ซึ่งการกรองชนิดนี้เหมาะสำหรับของเหลวที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองโดยตรงแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองโดยตรง

การกรองแบบแบ่งส่วน (Cross-flow microfiltration) เป็นลักษณะของการกรองที่ของเหลวจะไหลเวียนอยู่รอบๆ เรือนกรอง ในลักษณะที่ขนานกับเยื่อกรอง โดยอนุภาคของแข็งที่ไม่สามารถไหลผ่านเยื่อกรองได้จะถูกกักไว้ที่ อีกด้านหนึ่งของเยื่อกรองทำให้เกิดการไหลของของเหลวเป็น 2 ทาง คือ ด้าน ที่ของเหลวไหลผ่านเยื่อกรอง (Permeate) และด้านที่มีอนุภาคของแข็งเข้มข้น (Retentate หรือ Concentrate) การกรองประเภทนี้จะช่วยลดปัญหาการทับถมของอนุภาคบน เยื่อกรองเนื่องจากเกิดแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าทำให้เกิดการอุดตันช้าลง ปริมาณของเหลวที่กรองได้จึงสูงกว่าการกรอง โดยตรงเมื่อใช้ความดันในการเดินระบบเท่ากัน ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองแบบแบ่งส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของของเหลวในการกรองแบบแบ่งส่วน

สำหรับการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียและประสิทธิภาพของการกรอง โดยตรงและแบบแบ่งส่วนแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.8 ดังนี้

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบการกรองโดยตรงและการกรองแบบแบ่งส่วน

การกรองโดยตรง	การกรองแบบแบ่งส่วน
ต้นทุนต่ำ	ต้นทุนสูง
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง เนื่องจากต้องเปลี่ยนเยื่อกรองหลังการใช้งาน	ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบปานกลาง เนื่องจากเยื่อกรองมีอายุในการใช้งานยาวนานกว่าเมื่อมีการทำความสะอาดเยื่อกรองอย่างสม่ำเสมอ
การเดินระบบทำได้ง่าย	การเดินระบบมีความยุ่งยาก ต้องมีการทำความสะอาดเยื่อกรองอย่างสม่ำเสมอ
เหมาะสมกับของเหลวที่เจือจาง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเยื่อกรองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มมากขึ้น	เหมาะสมกับของเหลวที่มีปริมาณของแข็งมาก โดยค่าใช้จ่ายจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของของเหลวที่เข้าระบบ
มักใช้กรองสารละลายที่มีความเข้มข้นของแข็งน้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์	มักใช้กรอง สารละลาย ที่มีของแข็งเจือปนอยู่ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

(ที่มา: Baker, 2004)

2.7.2 ประเภทของเยื่อกรอง

ประเภทของเยื่อกรองที่ใช้ในการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เยื่อกรองแบบติดค้ำในชั้นกรอง และเยื่อกรองแบบติดผิวชั้นกรอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เยื่อกรองแบบติดค้ำในชั้นกรอง (Depth filter) เป็นเยื่อกรองที่มีขนาดรูพรุนค่อนข้างใหญ่ ทำให้อนุภาคสามารถผ่านไปถึงด้านในของเยื่อกรองได้ โดยอนุภาคเหล่านี้จะถูกดักจับไว้ในเยื่อกรองหรือถูกดูดติดอยู่กับผนังของรูพรุน ซึ่งกลไกในการกักอนุภาคของเยื่อกรองชนิดนี้คือการดูดซับ (Adsorption) และการดักติด (Entrapment) และเนื่องจากความสามารถในการกักอนุภาคของเยื่อกรองแบบติดค้ำในชั้นกรองขึ้นอยู่กับความคดเคี้ยวของการไหล จึงสามารถกักสารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนไว้ได้ นอกจากนี้เยื่อกรองแบบติดค้ำในชั้นกรองจะมีพื้นที่ผิวในการกรองอนุภาคมากกว่าเยื่อกรองแบบติดผิวชั้นกรองทำให้เกิดการอุดตันได้ช้ากว่า เยื่อกรองชนิดนี้มักถูกนำมาใช้กับการกรองโดยตรง

เยื่อกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (Screen filter) เป็นเยื่อกรองที่ส่วนของพื้นผิวด้านนอกสุดจะมีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการสะสมตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน เยื่อกรองแบบติดผิวชั้นกรองจะเกิดการอุดตันได้อย่างรวดเร็วจากการทับถมของอนุภาคที่ถูกกักอยู่ที่ด้านนอกของเยื่อกรอง จึงมักถูกนำมาใช้กับการกรองแบบแบ่งส่วนเนื่องจากของเหลวที่ไหลเข้าเครื่องกรองจะก่อให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งจะพาอนุภาคบนเยื่อกรองออกไป จึงเป็นการช่วยทำความสะอาดเยื่อกรองอีกทางหนึ่ง

2.7.3 ทฤษฎีการอุดตันของเยื่อกรอง

โครงสร้างของเยื่อกรองมีความสำคัญต่อค่าฟลักซ์ของของเหลว เนื่องจากรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกจะสามารถเข้าสู่รูพรุนของเยื่อกรองได้และทำให้เกิดการอุดตันแบบถาวร (Irreversible fouling) ในทางตรงกันข้ามถ้ารูพรุนของเยื่อกรองมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของสารในของเหลว โมเลกุลเหล่านั้นจะเกิดการสะสมอยู่บนพื้นผิวของเยื่อกรองทำให้เกิดการปิดกั้นหรืออาจเกิดการสร้างชั้นเจลขึ้นบนผิวของเยื่อกรอง ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูพรุนของเยื่อกรองจะทำให้เกิดการอุดตันบางส่วนขึ้น ซึ่งทฤษฎีการอุดตันของเยื่อกรองสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ทฤษฎี (Cinta Vincent Vela และคณะ, 2009) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.3.1 Complete blocking model

ทฤษฎีนี้มีสมมติฐานว่าโมเลกุลที่เข้ามายังพื้นผิวของเยื่อกรองจะทำให้เกิดการอุดตัน โดยการปิดกั้นรูพรุนบนเยื่อกรอง และสารโมเลกุลแต่ละตัวจะไม่ทับถมลงบนโมเลกุลตัวก่อนหน้า จึงไม่กระทบกับค่าฟลักซ์ของของเหลวที่ไหลผ่านรูพรุนซึ่งไม่ถูกปิดกั้น ดังนั้นสัดส่วนการลดลงของพื้นผิวเยื่อกรองจึงขึ้นอยู่กับจำนวนของรูพรุนที่ถูกปิดกั้น การอุดตันชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อนำขนาดโมเลกุลของสารที่เข้าสู่การกรองมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อกรอง ซึ่งการอุดตันจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวเยื่อกรองไม่ใช่ที่ด้านในของรูพรุน

2.7.3.2 Intermediate blocking model

ทฤษฎีนี้มีสมมติฐานว่ารูพรุนหนึ่งๆ ของเยื่อกรองไม่จำเป็นจะต้องถูกอุดตันจากสารโมเลกุลเพียงตัวเดียว เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการทับกันของโมเลกุลบนพื้นผิวของเยื่อกรอง ซึ่งการอุดตันชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสารมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของรูพรุนบนเยื่อกรอง ดังนั้นโมเลกุลของสารบางตัวจึงสามารถปิดกั้นรูพรุนไว้ได้โดยไม่ได้อุดตันรูพรุนนั้นทั้งหมด

2.7.3.3 Standard blocking model

ทฤษฎีนี้มีสมมติฐานว่าสารโมเลกุลได้เข้าสู่รูพรุนของเยื่อกรองและทับถมอยู่ที่ผนังของรูพรุนเนื่องจากความไม่เรียบของเส้นทางในรูพรุนทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลงและโมเลกุลบางตัวอาจเกิดการติดขัดกับผนังของรูพรุน ซึ่งการอุดตันชนิดนี้จะเกิดได้จากสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเยื่อกรอง และการอุดตันจะเกิดขึ้นภายในรูพรุน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขนาดของรูพรุนจะลดลงเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของปริมาตรน้ำกรอง และเนื่องจากการอุดตันนี้เกิดขึ้นภายในรูพรุนของเยื่อกรอง การอุดตันจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำเข้า

2.7.3.4 Gel layer formation model

ในกรณีนี้สารโมเลกุลจะไม่ได้มีการเข้าสู่รูพรุนของเยื่อกรองแต่จะมีการสร้างชั้นเจลขึ้นบนพื้นผิวของเยื่อกรองแทน ซึ่งการอุดตันชนิดนี้จะเกิดกับโมเลกุลของสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนและไม่ได้เข้าไปภายในรูพรุนของเยื่อกรอง

2.7.4 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน

ไมโครฟิลเตรชันคือกระบวนการแยกอนุภาคสารซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วงไมครอน อันได้แก่ของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดตั้งแต่ 0.10 ถึง 5 ไมโครเมตร โดยมักนำมาใช้กับการกรองน้ำให้ใส การแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากสารผสม และการแยกอนุภาคอื่นๆ ซึ่งสามารถแยกได้โดยตัวกรองชนิดไมโครฟิลเตรชัน (Cheryan, 1998)

หลักการในการดำเนินระบบกรองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบหลักด้วยกัน คือระบบความดันคงที่และระบบค่าฟลักซ์คงที่ (AWWA, 2005) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระบบความดันคงที่ (Constant pressure) คือการควบคุมความดันให้คงที่ไว้ที่ค่าๆ หนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเดินระบบ ซึ่งในระบบนี้ อัตราการไหลของส่วนที่กรองได้จะมีค่าลดลงตามเวลาที่ผ่านไป เนื่องจากความดันในการกรองจะเพิ่มมากขึ้นจากการอุดตันของอนุภาคสารบนเยื่อกรอง ข้อดีของระบบความดันคงที่คือสามารถเลือกขนาดของเครื่องสูบน้ำได้ตามค่าความดันที่ต้องการ แต่อัตราการไหลที่ลดลงของส่วนที่กรองได้ก็จะมีผลให้ผลผลิตมีปริมาณลดลงเช่นกัน

ระบบค่าฟลักซ์คงที่ (Constant flux) คือการควบคุมค่าฟลักซ์ให้คงที่ไว้ที่ค่าๆ หนึ่ง โดยการเพิ่มความดันเข้าสู่ระบบเมื่อเวลาผ่านไปเพื่อเป็นการรักษาค่าฟลักซ์ให้อยู่ในระดับเดิม ข้อดีของระบบคือไม่จำเป็นต้องออกแบบเครื่องกรองให้มีขนาดใหญ่สำหรับรองรับสารละลายทั้งหมดที่ต้องทำการกรอง แต่ความดันที่เพิ่มสูงขึ้นก็มีผลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องสูบน้ำหลากหลายขนาดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนนี้ได้ และโรงงานกรองน้ำดื่มส่วนใหญ่ก็มักใช้ระบบค่าฟลักซ์คงที่ในการดำเนินการกรอง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการดำเนินระบบกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันได้แก่ ฟลักซ์ลักษณะการไหลของของเหลวที่เข้าเครื่องกรอง และความเข้มข้นของสารละลายที่ทำการกรอง (Cheryan, 1998) ซึ่งลักษณะการไหลของของเหลวแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) จะมีผลทำให้ฟลักซ์ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ของการกรองลดต่ำลง โดยค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพการกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบแบ่งส่วน ซึ่งแสดงในรูปของปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านรูพรุนของเยื่อกรองต่อหน่วยพื้นที่ ต่อเวลา ซึ่งปกติการหาค่าฟลักซ์จะทำการทดสอบที่ สภาวะ ความดันต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา (Baker, 2004) การคำนวณค่าฟลักซ์สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$J = Q / A\Delta t$$

- โดยที่ J = ค่าฟลักซ์
 Q = ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านเยื่อกรอง
 A = พื้นที่ผิวของเยื่อกรองที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล
 Δt = เวลาที่เก็บของเหลว

ส่วนประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรองสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกรอง} = [(C_0 - C_1) / C_0] \times 100$$

- โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำที่เข้าเครื่องกรอง
 C_1 = ความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำที่กรองได้

ซึ่งทั้งค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาและประสิทธิภาพ ในการกรองสามารถนำมาใช้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันได้ โดยค่าฟลักซ์ที่ลดลงจะบ่งชี้ว่าน้ำที่กรองได้ต่อพื้นที่ของเยื่อกรองมีปริมาตรลดลงเนื่องจากการอุดตันเพิ่มมากขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการกรองจะบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำที่ เยื่อกรองสามารถกรองได้ ซึ่งข้อดีและข้อเสียของระบบกรองไมโครฟิลเตรชันแสดงไว้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองไมโครฟิลเตรชัน

ข้อดี	ข้อเสีย
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมีค่าต่ำ เนื่องจากมีความต้องการในการเปลี่ยนตัวกรองน้อยกว่าระบบอัลตราฟิลเตรชันและออสโมซิสผันกลับ	การติดตั้งระบบมีค่าใช้จ่ายสูง
สามารถแยกโมเลกุลในขนาดที่กำหนดไว้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะกับการแยกอนุภาคสารต่างขนาดและการฆ่าเชื้อ	ขนาดของรูพรุนทำให้มีความสามารถในการกักอนุภาคสารได้น้อยกว่าเยื่อกรองชนิดอื่นๆ

(ที่มา: Cheremisinoff, 1995)

2.7.5 โมดูลของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration module)

โมดูลของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันสามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 แบบดังนี้

- โมดูลแบบแผ่น (Plate and frame module)
- โมดูลแบบท่อ (Tubular module)
- โมดูลแบบม้วน (Spiral wound module)
- โมดูลแบบเส้นใยกลาง (Hollow fiber module)

ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ โมดูลแบบท่อที่มีลักษณะเป็นแท่งกรอง เนื่องจากเป็น โมดูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รายละเอียดของโมดูลแบบแท่งกรองมีดังนี้

โมดูลแบบไส้กรอง (Cartridge type filter)

ไส้กรองคือแท่งวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งใช้ในการแยกของแข็ง ที่ไม่สามารถไหลผ่านรูพรุนของไส้กรองออกจากของเหลว ตัวอย่างของเครื่องกรองประเภทนี้ได้แก่ เครื่องกรองน้ำสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายเพื่อใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป โดย ไส้กรองสามารถกรองได้ทั้งแบบติดค้างในชั้นกรองและแบบติดผิวชั้นกรอง ลักษณะของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันชนิดนี้แสดงไว้ดังรูปที่

2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันที่มีโมดูลแบบไส้กรอง

วัสดุที่มีการนำมาใช้ทำ ไส้กรองได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fiber) ไนลอน (Nylon) โพลีซัลโฟน (Polysulfone) พีทีเอฟอี (Polytetrafluoroethylene, PTFE) โพลีเอไมด์ (Polyamide) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) พีวีดีเอฟ (Polyvinylidene fluoride, PVDF) เซลลูโลส ลิงทอ และกระดาษชนิดต่างๆ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุควรเลือกให้เข้ากันได้กับของเหลวที่นำมากรองและสามารถทนต่ออุณหภูมิ อัตราการไหล และความดันที่ใช้ในการทำงาน โดย ไส้กรองจะถูกใส่ไว้ใน เรือนกรอง (Filter housing) และควรเลือกเรือนกรองที่มีขนาดเพียงพอกับอัตราการไหลของของเหลว และสามารถทนต่อความดันที่ใช้ในการเดินระบบได้

2.8 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การศึกษาการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย

Aslan และ Kapdan (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของจุลสาหร่าย *Chlorella vulgaris* โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียความเข้มข้นระหว่าง 13.2 ถึง 410 มก./ลิตร และมีความเข้มข้นของฟอสเฟตระหว่าง 7.7 ถึง 199 มก./ลิตร ซึ่งในแต่ละตัวอย่างได้มีการควบคุมอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ให้มีค่าเท่ากับ 2/1 ตลอดการทดลอง โดยการทดลองทั้งหมดดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 °ซ) กำหนดค่าพีเอชเท่ากับ 7 และใช้แสงสังเคราะห์ที่มีความเข้มแสงเท่ากับ 4,100 ลักซ์ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย จากผลการทดลองพบว่าจุลสาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ได้มากกว่าฟอสฟอรัส โดยแอมโมเนียจะถูกบำบัดจนหมดไปที่ความเข้มข้นระหว่าง 13.2 ถึง 21.2 มก./ลิตร แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจะลดลงเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียให้สูงขึ้นในช่วง 41.8 ถึง 92.8 มก./ลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าน้อยกว่า 24 เปอร์เซ็นต์เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 129 มก./ลิตร ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสพบว่ามีค่าประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์เมื่อมีปริมาณฟอสเฟตอยู่ที่ 7.7 มก./ลิตร แต่ประสิทธิภาพจะเหลือน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์เมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอจะเพิ่มจาก 10.7 เป็น 27.3 มก./ลิตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 13.2 เป็น 410 มก./ลิตร งานวิจัยนี้จึงเสนอแนะว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่ลดลงของจุลสาหร่ายเมื่อสารอาหารมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดจากจุลสาหร่าย แบ่งตัวเพิ่มจำนวนจนมีปริมาณมากเกินไปทำให้แสงไม่สามารถลอดผ่านไปได้ และสรุปผลจากการทดลองว่า *Chlorella vulgaris* สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีแอมโมเนียในน้ำน้อยกว่า 22 มก./ลิตร และมีฟอสเฟตน้อยกว่า 7.7 มก./ลิตร

Voltoлина และคณะ (2005) ได้ศึกษาการใช้จุลสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยนำจุลสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่องในน้ำเสียที่ถูกเจือจางให้มีความเข้มข้น 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะที่มีแสงเป็นเวลา 14 ชม. และภายใต้สภาวะไร้แสงเป็นเวลา 10 ชม./วัน เพื่อวิเคราะห์การบำบัดไนโตรเจนของจุลสาหร่ายและการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนไปเป็นโปรตีนในเซลล์ (Single cell protein) จากการทดลองพบว่ามวลของจุลสาหร่ายและปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาที่ได้รับแสงเท่านั้น โดยน้ำเสียที่มีความเจือจาง 30 เปอร์เซ็นต์ มีมวลจุลสาหร่ายเกิดขึ้น 39.3 มก./ลิตร และเกิดโปรตีน 24.9 มก./ลิตร ส่วนน้ำเสียที่มีความเจือจาง 40 เปอร์เซ็นต์ มีมวลจุลสาหร่ายเกิดขึ้น 25.2 มก./ลิตร และเกิดโปรตีน 16.7 มก./ลิตร ในขณะที่ปริมาณการใช้ไนโตรเจนของจุลสาหร่ายในน้ำเสียทั้งสองความเข้มข้นในช่วงเวลาที่มีแสงอยู่ที่ 71 ถึง 73

เปอร์เซ็นต์ แต่ในเตรตจะถูกขับออกจากเซลล์ของจุลสาหร่ายในช่วงเวลาไร้แสง เนื่องจากพบว่าเมื่อครบ 24 ชม. แล้วมีไนเตรตในน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ที่ 64 ถึง 66 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนเตรตตั้งต้น ส่วนการบำบัดแอมโมเนียของจุลสาหร่ายพบว่า *Scenedesmus obliquus* สามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ 14.5 ถึง 23 เปอร์เซ็นต์

2.8.2 การศึกษาการใช้จุลสาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Chuntapa และคณะ (2003) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina platensis*) ร่วมกับกุ้งกุลาดำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง โดยเปรียบเทียบผลของสาหร่าย ที่มีต่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง 3 บ่อที่มีความหนาแน่นของกุ้งเท่ากัน ได้แก่ บ่อที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย บ่อที่ไม่มีการแยกสาหร่ายออกจากระบบ และบ่อที่แยกสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่องโดยใช้แพลงก์ตอนเน็ต ขนาดรูพรุน 60 ไมโครเมตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายสไปรูลิน่าจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.6 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร มีไนเตรตที่ความเข้มข้นประมาณ 16 ถึง 18 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และมีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยกว่า 0.02 มก./ลิตร ตลอดการทดลอง ส่วนในบ่อที่ไม่มีการแยกสาหร่ายสไปรูลิน่าพบว่ามีความเข้มข้นของไนโตรเจนค่อนข้างหลากหลาย โดยปริมาณไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 จนถึงมากกว่า 15 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ความเข้มข้นของไนไตรต์อยู่ในช่วงตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 จนถึงมากกว่า 3 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และพบว่าปริมาณแอมโมเนียมีค่าน้อยกว่า 0.1 มก.-ไนโตรเจน /ลิตร ส่วนในบ่อที่มีการแยกสาหร่ายสไปรูลิน่าแบบกึ่งต่อเนื่องพบว่าปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมีค่าลดลงมากที่สุด โดยมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ที่ 0 ถึง 0.15 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และมีไนเตรตอยู่ที่ 4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอนในการทดลองที่มีสาหร่ายสไปรูลิน่าทั้งที่มีการแยกและไม่มีการแยกสาหร่ายพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 ถึง 0.13 มก./ลิตร

Burford และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของจุลชีพและแพลงก์ตอนพืชต่อคุณภาพน้ำ โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 3 อาทิตย์ในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแบบหนาแน่น (กุ้ง 120 ตัว/ตร.ม.) เป็นจำนวน 5 บ่อ โดยบ่อเพาะเลี้ยงเหล่านี้เป็นบ่อที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พื้นบ่อปูด้วยพลาสติก และมีอัตราการให้อาหารสูง ไนโตรเจนและสารอินทรีย์คาร์บอนถูกใส่ลงในบ่อเพาะเลี้ยงในรูปของอาหารสำเร็จรูป เมล็ดพืช และกากน้ำตาล ส่งผลให้มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจน ในระดับความเข้มข้นสูง (2.29 ถึง 5.56 และ 0.17 ถึง 10.66 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ) และมีสารละลายอินทรีย์ในความเข้มข้นสูงเช่นกัน (14.20 ถึง 48.10 มก./ลิตร) สารอาหารจำนวนมากในน้ำจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช และโปรโตซัว โดยแบคทีเรียที่เกิดขึ้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของฟล็อก และอีก 50 เปอร์เซ็นต์เป็นพวกที่

ดำรงชีวิตอย่างอิสระ ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่พบส่วนใหญ่เป็นไดโนแฟลกเจลเลต นาโนแฟลกเจลเลต ไชยาโนแบคทีเรีย และไดอะตอม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าทั้งแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชมีบทบาทสำคัญในการนำแอมโมเนียไปใช้ในเซลล์ โดยพบปริมาณแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยง 3.35 ถึง 5.42×10^7 ตัว/มล. พบแพลงก์ตอนพืชประเภทไดโนแฟลกเจลเลต 0.11 ถึง 7.43×10^4 ตัว/มล. พบนาโนแฟลกเจลเลต 9.14 ถึง 107.91×10^4 ตัว/มล. พบไชยาโนแบคทีเรีย 0.07 ถึง 5.45×10^4 ตัว/มล. และพบไดอะตอมตั้งแต่ 0 ถึง 643 ตัว/มล. ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอมีค่าประมาณ 134.29 ถึง 435.10 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งจากการวิเคราะห์การใช้แอมโมเนียของแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชโดยเปรียบเทียบอัตราการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ในสถานะที่มีแสงและสถานะที่ไม่มีแสงพบว่าแบคทีเรียสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้ประมาณ 11.72 ถึง 40.54 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. ส่วนแพลงก์ตอนพืชสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 63.32 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. และสามารถนำไนเตรตเข้าสู่เซลล์ได้ประมาณ 0.33 ถึง 2.18 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม.

2.8.3 การศึกษาการใช้เครื่องกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำ

Rossignol และคณะ (1999) ได้ศึกษาการใช้ไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แบบแบ่งส่วนเพื่อนำมาแยกจุลชีพในงานเทคโนโลยีชีวภาพต่างๆ โดยผู้วิจัยได้นำเยื่อกรองที่มีขายตามท้องตลาดหลายชนิดมาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการแยกจุลสาหร่าย 2 ชนิดคือ *Haslea ostrearia* และ *Skeletonema costatum* ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยในแต่ละการทดลองจุลสาหร่ายจะถูกควบคุมให้มีความเข้มข้น 50×10^6 เซลล์ / ลิตร เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเยื่อกรองแต่ละชนิดได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบจากความเร็วของของเหลวที่เข้าเครื่องไมโครฟิลเตรชัน ความดันระหว่างเยื่อกรอง และ ความเข้มข้นของของเหลวที่เข้าเครื่องกรอง โดยเยื่อกรองที่ใช้ในการทดลองมีพื้นที่เท่ากับ 0.01 ตร.ม. เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันที่ใช้เป็นเยื่อกรองที่ทำมาจากพีวีดีเอฟ มีขนาดรูพรุนเท่ากับ $0.1, 0.2, 0.4, 0.8$ และ 1.5 ไมโครเมตร ส่วนเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน ที่ใช้เป็นเยื่อกรองที่ทำมาจากพีเอเอ็น (40,000 ดาลตัน) พีวีดีเอฟ (40,000 ดาลตัน) และพีอีเอส (30,000 ดาลตัน) โดยในการเดินระบบผู้วิจัยได้ใช้ความเร็วเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 1.5 และ 2.5 เมตร/วินาที สำหรับไมโครฟิลเตรชัน และ $1.0, 1.5$ และ 2.5 เมตร/วินาที สำหรับอัลตราฟิลเตรชัน ส่วนความดันระหว่างเยื่อกรองที่ใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง 50 ถึง 300 กิโลปาสคาล ซึ่งในกระบวนการกรอง อาหารเลี้ยงเชื้อจะถูกหมุนเวียนเข้าเครื่องกรองอย่างต่อเนื่อง จากนั้นส่วนที่กรองได้จะถูกเวียนกลับไปยังถังเก็บอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อควบคุมให้เซลล์ในถังมีความเข้มข้นคง ที่ ส่วนการควบคุมความดันในการกรองใช้วิธีการปรับวาล์วของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องกรอง จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการแยกจุลสาหร่ายขึ้นอยู่กับสถานะในการไหลของของเหลว ความเข้มข้นและลักษณะของจุลสาหร่าย เช่น รูปร่าง อายุ และซากของจุลสาหร่ายที่

ตายแล้ว ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันพบว่าเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่ทำมาจากพีเอเอ็ม (40,000 ดาลตัน) มีประสิทธิภาพสูงกว่าเยื่อกรองชนิดอื่นๆ เมื่อทดลองใช้ในระยะเวลา โดยการทดลองได้เดินระบบที่ความดันและความเร็วต่ำ และพบว่าค่าฟลักซ์ในอัลตราฟิลเตรชันมีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 60 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ซึ่งเป็นค่าฟลักซ์ในช่วงเดียวกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพส่วนใหญ่ เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยา

Hung และ Liu (2006) ได้ศึกษาการใช้ไมโครฟิลเตรชันแบบแบ่งส่วนเพื่อแยกจุลสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ออกจากน้ำจืด พารามิเตอร์หลักที่นำมาใช้ในการทดลองคือค่าความดันระหว่างเยื่อกรองและความเร็วของน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรอง โดยค่าความดันระหว่างเยื่อกรองถูกกำหนดไว้ที่ 40, 50 และ 60 กิโลปาสกาล ส่วนความเร็วถูกกำหนดไว้ 2 ค่าคือที่ 0.43 เมตร/วินาที และ 0.84 เมตร/วินาที ในขณะที่ปริมาณของจุลสาหร่ายในน้ำได้ถูกควบคุมไว้ให้มีความขุ่นเท่ากับ 13.3 เอ็นทียู ตลอดจนการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของจุลสาหร่าย 400,000 เซลล์/มล. โมดูลของเยื่อกรองเป็นโมดูลชนิดแผ่นซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 4 ตร.ชม. ส่วนเยื่อกรองที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ชนิดคือเยื่อกรองชนิดไม่ชอบน้ำ ที่ทำจากพีวีดีเอฟ และเยื่อกรองชนิดชอบน้ำที่ทำจากเซลลูโลส โดยเยื่อกรองทั้ง 2 ชนิดมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.22 ไมโครเมตร ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็วของน้ำ 0.43 เมตร/วินาที มีค่าเท่ากับ 44.7×10^{-5} 59.8×10^{-5} และ 59.2×10^{-5} ลบ.ม./ตร.ม.-วินาที ที่ความดันเท่ากับ 40, 50 และ 60 กิโลปาสกาลตามลำดับ ส่วนค่าฟลักซ์ที่ความเร็วของน้ำ 0.84 เมตร/วินาที มีค่าเท่ากับ 8.5×10^{-5} 9.7×10^{-5} และ 7.9×10^{-5} ลบ.ม./ตร.ม.-วินาที ที่ความดันเท่ากับ 40, 50 และ 60 กิโลปาสกาลตามลำดับ และจากผลการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันระหว่างเยื่อกรองเพิ่มจาก 40 เป็น 50 กิโลปาสกาล แต่ค่าฟลักซ์จะลดลงอย่างมากเมื่อใช้ความดันเท่ากับ 60 กิโลปาสกาล ส่วนความเร็วที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่ายอยู่ที่ 0.43 เมตร/วินาที

จากการรวบรวมผลงานวิจัยทั้งหมดที่ ผ่านมา ข้อมูลส่วนใหญ่ระบุอย่างชัดเจนว่าจุลสาหร่ายสามารถช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ดี โดยกลไกที่เกิดขึ้นเป็นการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่ายเพื่อใช้ในการเติบโตเพิ่มจำนวน ส่วนการจะกำจัดไนโตรเจนอย่างถาวรนั้นจำเป็นต้องแยกจุลสาหร่ายออกไปจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งการกรองโดยใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ และได้มีงานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่าสามารถนำมาใช้แยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขนาดรูพรุนของตัวกรองที่นำมาใช้ในการทดลองนี้จะอยู่ในช่วงของไมโครฟิลเตรชัน แม้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่มักนิยมใช้อัลตราฟิลเตรชันในการแยกอนุภาคสารชีวภาพออกจากสารละลาย แต่ตัวกรองอัลตราฟิลเตรชันมักมีราคาสูงและเกิดการอุดตันได้ง่ายเนื่องจากรูพรุนของตัวกรองมีขนาดเล็ก ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ไส้กรองในช่วงรูพรุนของไมโครฟิลเตรชันและ ใช้เครื่องกรองที่ดัดแปลงมาจากเครื่องกรองน้ำ

ทั่วไปในการแยกอุตสาหกรรมและอนุภาคสารแขวนลอยอื่นๆ ออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนสำหรับการติดตั้งเครื่องกรองและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการกรอง รวมทั้ง ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการหมุนเวียนน้ำ กลับมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยง ซึ่งในการทดลองจะ ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนและศึกษา ความเป็นไปได้ในการนำระบบ กรองนี้ไปใช้กับอุตสาหกรรม เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จริงต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้สามารถ นำไปปรับใช้กับเกษตรกรในพื้นที่ของประเทศไทยได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- ถังพลาสติกใสปริมาตร 6 ลิตร
- ถังพลาสติกปริมาตร 150 ลิตร และ 500 ลิตร
- เครื่องเติมอากาศ (RESUN® LP-100)
- ตัวเรือนกรองขนาด 1.5 ลิตร (ขนาด 4 และ 6 หุน)
- ไส้กรองเส้นใยแบบจิบขนาดรูพรุน 30 ไมครอน (Sediment Filter Cartridge)
- เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กกำลังสูบสูงสุด 2,800 ลิตร/ชม. (RESUN® SP-6800) และ 3,500 ลิตร/ชม. (RESUN® KING-3B)
- หัววาล์วและข้อต่อทองเหลือง
- สายยางพลาสติกสำหรับเติมอากาศ
- สายยางสำหรับต่อกับเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน
- หัวทรายสำหรับเติมอากาศ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- อุปกรณ์วัดความยาว

3.1.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

- บีกเกอร์
- ขวดวัดปริมาตร
- ขวดรูปชมพู
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
- กระจกบอกตวง
- หลอดทดลอง

- กระดาษกรอง Whatman GF/C ขนาด 25 และ 47 มม.
- กล้องจุลทรรศน์
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (D.O. meter)
- เครื่องวัดความเค็ม (Refractometer)
- เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- เครื่องอบ
- เครื่องชั่งสารเคมี

3.1.3 สารเคมี

- Phenol solution (Phenol 20 g ใน 95 % V/V ethyl alcohol)
- Sodium nitropusside solution ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Oxidizing solution (Sodium citrate 100 g และ NaOH 5 g ในน้ำ DI 500 ml)
- Sodium hypochlorite (NaOCl)
- Sodium nitrite (NaNO_2)
- Sodium bicarbonate (NaHCO_3)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Ammonium chloride (NH_4Cl)
- Sulphanilamide (Sulphanilamide 5 g และ HCl 50 ml)
- NNED solution (N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride)
- Sulfuric acid (H_2SO_4)
- Purified potassium peroxdisulphate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)
- Boric acid (H_3BO_3)
- Chlorine
- 90% Acetone
- De-ionized water (DI water)

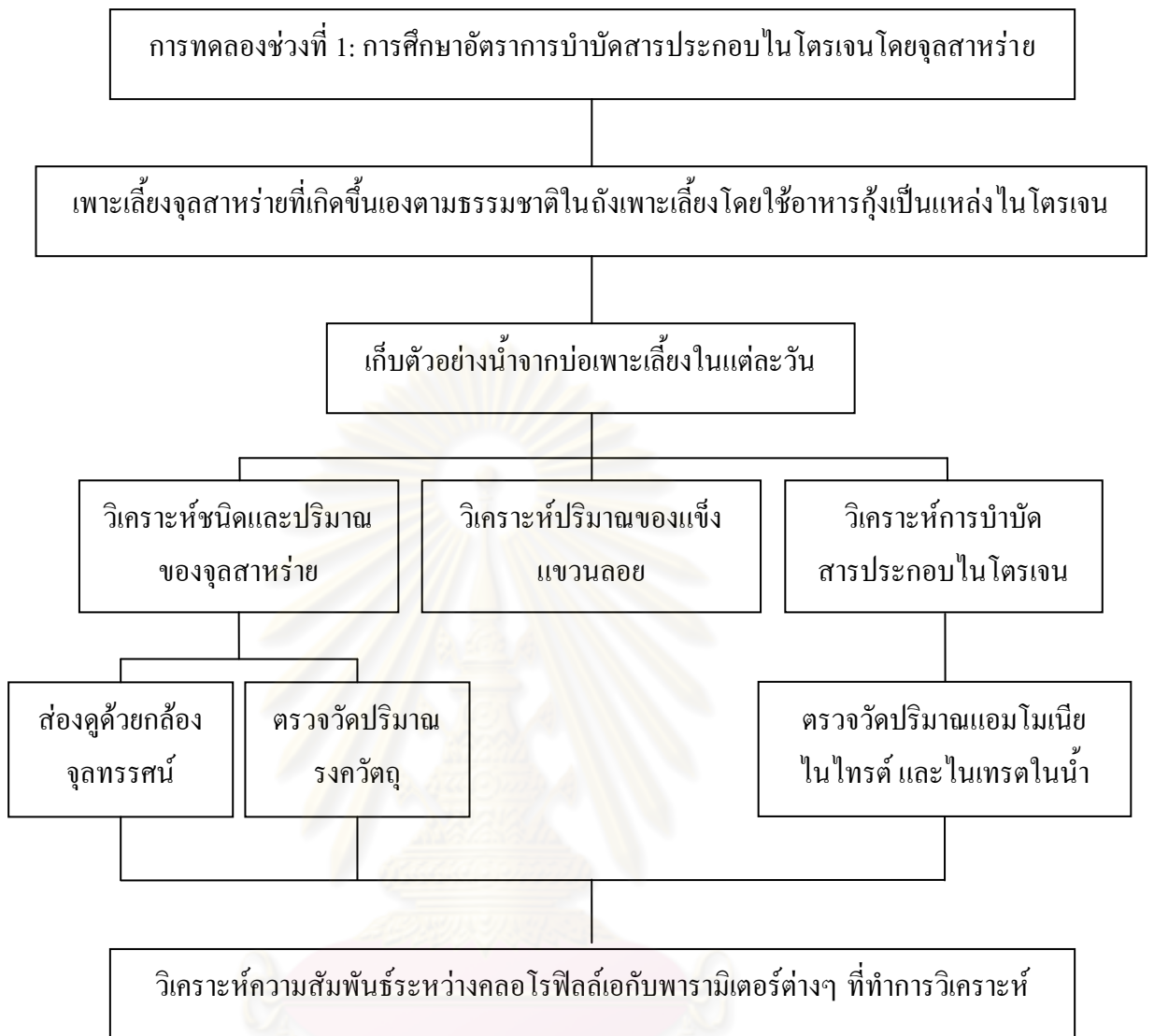
3.2 การดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ ดำเนิน การทดลองที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง การทดลองช่วงที่ 1 เป็นการศึกษาอัตราการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ในบ่อจำลองที่มีการใส่อาหารกุ้งลงไปใต้น้ำเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนของจุลสาหร่าย การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาการแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำโดยใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองก่อนนำไปใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง และการทดลองช่วงที่ 3 เป็นการศึกษาการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ร่วมกับระบบเพาะเลี้ยงกุ้ง โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อเทียบเคียงปริมาณและลักษณะของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้ง 2 ระบบ ทั้งในถังที่มีการกรองและไม่มีการกรอง โดยการเพาะเลี้ยงได้ดำเนินการเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน ดังมีรายละเอียดในแต่ละช่วงของการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองช่วงที่ 1 : การศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

การทดลองช่วงนี้เป็นการศึกษาความสามารถของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ที่มีอยู่ในน้ำ โดยแหล่งของสารประกอบไนโตรเจน จะมาจากอาหารกุ้ง บดที่มีการ ใส่ลงไปใต้น้ำ ถึงเพาะเลี้ยง ดำเนินการ ทดลอง แบบเบทซ์ ภายใต้แสงจากธรรมชาติโดยไม่มีการเวียนน้ำออกจากถังเพาะเลี้ยง ซึ่งแผนผังของการทดลองในช่วงที่ 1 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1 และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ในการชุดทดลองนี้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดและปริมาณของจุลสาหร่าย	- จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ปริมาณอาหารกุ้ง	- 0.15 กรัม/วัน
2. ค่าความเค็มของน้ำทะเล	- 20 พีเอสยู
3. ปริมาตรน้ำทะเล	- 6 ลิตร
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์
1. อัตราการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน	- วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในน้ำ
2. ปริมาณจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้น	- ต้องด้วยกล้องจุลทรรศน์และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคาโรทีนอยด์
3. ปริมาณอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้น	- ตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ

- การเตรียมระบบเพื่อใช้ในการทดลอง

ชุดการทดลองประกอบด้วยถังพลาสติกใสปริมาตร 6 ลิตร จำนวน 3 ถัง (การทดลอง 3 ซ้ำ) ซึ่งบรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยูที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ตั้งไว้กลางแจ้งในบริเวณที่อากาศถ่ายเทสะดวกและมีแสงแดดส่องถึง โดยแหล่งอาหารของจุลสาหร่ายมาจากการใส่อาหารกุ้ง บดละเอียดเป็นปริมาณ 0.15 กรัม/วัน ซึ่งเสมือนเป็นการจำลองระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อติดตามชนิดของจุลสาหร่ายที่จะเกิดขึ้น โดยการใส่อาหารกุ้งจะพิจารณาจากปริมาณอาหารที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำและจะให้อาหารในช่วงเช้าของแต่ละวัน เพื่อให้จุลสาหร่ายสามารถนำอาหารไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นประจำทุกวันตลอดการทดลอง จนกระทั่งจุลสาหร่ายในน้ำมีการเจริญเติบโตถึงจุดสูงสุด

- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่าย

1. การตรวจวัดชนิดและปริมาณจุลสาหร่ายในน้ำใช้วิธีการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์และ วิเคราะห์รงควัตถุที่อยู่ในเซลล์ของจุลสาหร่าย โดยการส่องตัวอย่างภายใต้ กล้องจุลทรรศน์ จะเป็น

การตรวจสอบชนิดของจุลสาหร่าย ในถังเพาะเลี้ยง ส่วนการตรวจวัดรงควัตถุในน้ำจะเป็นการบ่งชี้กลุ่มของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้น ซึ่งรงควัตถุที่ได้ทำการวิเคราะห์ในการทดลองนี้ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคาโรทีนอยด์ โดย การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 645 665 และ 480 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำทะเลของ Strickland และ Parsons (1972) (ภาคผนวก ก) โดยสัดส่วนของรงควัตถุแต่ละชนิดจะเป็นตัวบ่งบอกถึงกลุ่มจุลสาหร่ายชนิดหลักที่เติบโตขึ้นในน้ำ

2. การตรวจวัด ปริมาณของ อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำใช้วิธีการวิเคราะห์ ค่าของแข็งแขวนลอย โดยการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มม. และอบภายใต้อุณหภูมิ 103 ถึง 105 °ซ เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นจึงทำการชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งเพื่อตรวจหาน้ำหนักของของแข็งบนกระดาษกรอง
3. การตรวจวัดสารประกอบไนโตรเจนใช้วิธีการ วิเคราะห์ความเข้มข้นของ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในน้ำจากถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย ซึ่งการวิเคราะห์ได้ดำเนินการ โดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำทะเลของ Strickland และ Parsons (1977) เพื่อทำการเปรียบเทียบ ปริมาณอาหารกึ่งที่ใส่ลงในถัง กับปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งจะเป็พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ ถึงการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่าย
4. พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์อื่นๆ ในการทดลองชุดนี้คือคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่มีในจุลสาหร่ายทุกชนิดและเป็นตัวแทนของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยง โดยพารามิเตอร์แต่ละตัวได้ถูกนำมาเขียนกราฟการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาและทำการเปรียบเทียบกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

การทดลองช่วงที่ 2 : การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่ายของระบบกรองแบบแบ่งส่วน

การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของ ระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้ ในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกรองของเครื่องกรองที่สภาวะต่างๆ กัน โดยแผนภาพสรุปการดำเนินงานในช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.2 และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ในชุดการทดลองนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

การทดลองช่วงที่ 2: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสารห้ำยของระบบกรองแบบแบ่งส่วน

ต่อเครื่องกรองเข้ากับบ่อเพาะเลี้ยงจุลสารห้ำย โดยใช้เครื่องสูบน้ำเป็นตัวนำน้ำเข้าสู่เครื่องกรอง

ปรับสัดส่วนอัตราการไหลของน้ำขาออกระหว่างช่องน้ำกรองกับช่องน้ำเวียนให้เท่ากับ
25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ

ตรวจวัดค่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการกรองเทียบกับเวลา

ตรวจวัดปริมาณจุลสารห้ำยที่เข้าเครื่องกรองและปริมาณ
จุลสารห้ำยในน้ำที่ออกจากเครื่องกรองทั้ง 2 ช่อง

คำนวณอัตราการกรองจุลสารห้ำยที่สัดส่วนระหว่างช่องน้ำ
กรองกับช่องน้ำเวียนแต่ละค่า

เลือกสัดส่วนระหว่างช่องน้ำกรองกับช่องน้ำเวียนที่เหมาะสมต่อการ
แยกจุลสารห้ำยออกจากน้ำ

รูปที่ 3.2 แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 2
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2

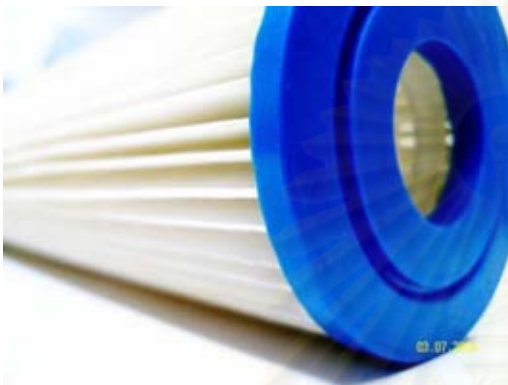
ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. สัดส่วนระหว่างช่องน้ำกรองกับช่องน้ำเวียน	- 25:75 50:50 และ 75:25
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ความเร็วน้ำที่เข้าเครื่องกรอง	- 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์
1. ประสิทธิภาพของเครื่องกรอง	- วิเคราะห์จากค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา และอัตราการกรองจุลสาหร่ายที่สัดส่วนระหว่างช่องน้ำกรองกับช่องน้ำเวียนต่างๆ กัน
2. คุณภาพของน้ำกรอง	- วิเคราะห์จากการเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์เอระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียน

- การเตรียมจุลสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดลอง

จุลสาหร่ายที่ใช้ในการทดลองคือ *Chaetoceros gracilis* ซึ่งเป็นไดอะตอมน้ำเค็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 6 ไมโครเมตร (FAO, 2007) โดยทำการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณ *C. gracilis* ในห้องปฏิบัติการด้วยอาหาร เลี้ยงเชื้อสูตร F/2 จากขวดเลี้ยงขนาด 100 มล. และขยายให้เป็น 1 ลิตร และ 10 ลิตร ตามลำดับ ภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการที่มีการเติมอากาศในขวด และให้แสงสว่าง 3,000 ลักซ์ ตลอด 24 ชม. จากนั้นจึงนำเซลล์ *C. gracilis* ปริมาตร 10 ลิตร มาใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการเพาะเลี้ยง ภายในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ซึ่งบรรจุน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยการเติมคลอรีน มีการให้แสงสว่าง 3,000 ลักซ์ และทำการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยตอนเริ่มต้นได้ใส่ปุ๋ยสูตรน้ำ สำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นปริมาตร 10 มล. แล้วจึงดำเนินการ การเพาะเลี้ยงจน *C. gracilis* เติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น จนมีความหนาแน่นเซลล์ อยู่ที่ประมาณ 6 ถึง 7×10^5 เซลล์/มล. ก่อนนำมาใช้ในการทดสอบ การกรองกับเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนต่อไป

- เครื่องกรองแบบแบ่งส่วนและการติดตั้งชุดอุปกรณ์

ไส้กรองที่ใช้ในการทดลองเป็นไส้กรองเส้นใยแบบจิบที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 30 ไมครอน (Sediment Filter Cartridge) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยไส้กรองนี้จะถูกประกอบเข้ากับเรือนกรองพลาสติกใสที่สามารถบรรจุน้ำได้ เป็นปริมาตร 1.5 ลิตร โดยรูปและหลักการทำงานของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 3.4



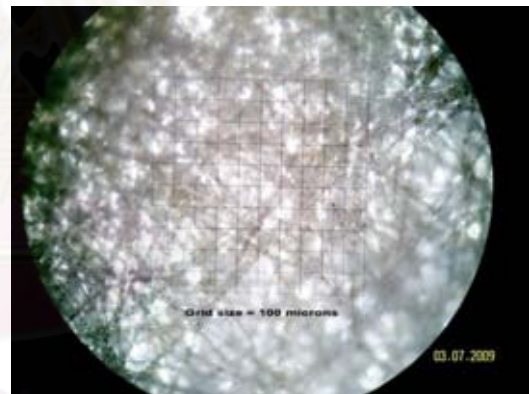
(ก)



(ข)



(ค)



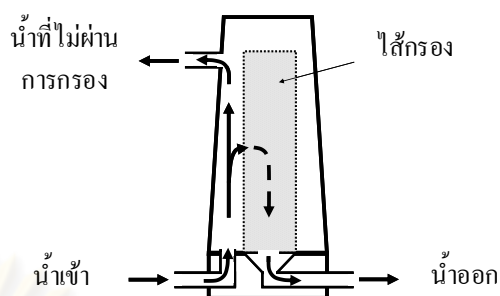
(ง)

รูปที่ 3.3 ลักษณะของไส้กรองแบบจิบที่ใช้ในการทดลอง

(ก) เส้นใยแบบจิบขนาดรูพรุนประมาณ 30 ไมครอน

(ข) ภาพขยายของเส้นใยกรองภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 4 เท่า

(ค) และ (ง) ภาพขยายของเส้นใยกรองภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 3.4 ลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ใช้ในการทดลอง

ในช่วงแรกของการทดลองระบบกรองแบบแบ่งส่วน น้ำเพาะเลี้ยงจุลชีพ หารายจะถูกสูบเข้าสู่เครื่องกรองทางช่องน้ำเข้าซึ่งอยู่ทางด้านล่าง จากนั้นน้ำส่วนหนึ่งจะไหลผ่านไส้กรองไปสู่ช่องทางออกอีกทางซึ่งอยู่ที่ด้านล่างเช่นกัน ในขณะที่น้ำอีกส่วนพร้อมด้วยจุลชีพสำหรับที่ไม่สามารถผ่านไส้กรองไปได้จะไหลล้นขึ้นไปยังช่องน้ำออกอีกช่องที่อยู่ทางด้านบนของเรือนกรอง โดยช่องทางน้ำออกนี้ได้ถูกเจาะและใส่วาล์วควบคุมเอาไว้เพื่อใช้ในการปรับสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างช่องน้ำออกทางด้านล่างหรือส่วนของน้ำกรอง กับช่องน้ำออกทางด้านบนหรือส่วนของน้ำที่จะถูกเวียนกลับไปยังถังเพาะเลี้ยงจุลชีพสำหรับ ซึ่งแผนภาพการเชื่อม ต่อระบบกรองแบบแบ่งส่วนกับถังเพาะเลี้ยงจุลชีพสำหรับได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 โดยการปรับสัดส่วนจะใช้อัตราการไหลเป็นตัววัดเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสองช่อง และเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำทั้งหมดที่เข้าเครื่องกรอง ยกตัวอย่างเช่นการควบคุมสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้มีค่าเท่ากับ 25:75 คือเป็นการปรับให้อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้สัดส่วนของน้ำเวียนมีค่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ที่เข้าเครื่องกรอง

เริ่มเดินระบบกรองโดยใช้เครื่องสูบน้ำ ขนาดเล็กที่มีกำลังในการสูบน้ำสูงสุด 2,800 ลิตร/ชม. (RESUN® SP-6800) สูบน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงจุลชีพสำหรับเข้าสู่เครื่องกรอง ทำการปรับสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียนให้มีค่าเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ซึ่งในช่วงแรกของการทดลองได้กำหนดความเร็วของน้ำเข้าเครื่องกรองให้มีค่าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที จากนั้นจึงทำการทดลองกรอง *C. gracilis* ที่เพาะเลี้ยงภายในถังปริมาตร 200 ลิตร โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองในแต่ละสัดส่วนเป็น ระยะเวลาทั้งหมด 60 นาที การตรวจสอบจำนวนของจุลชีพสำหรับทำ โดยการวิเคราะห์ปรีมาณคลอโรฟิลล์เอ ในถังเพาะเลี้ยง ใน ส่วนของน้ำกรองและ ใน ส่วนของน้ำเวียน เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการกรองของ ไส้กรอง หลังจากนั้นจะนำสถานะการ

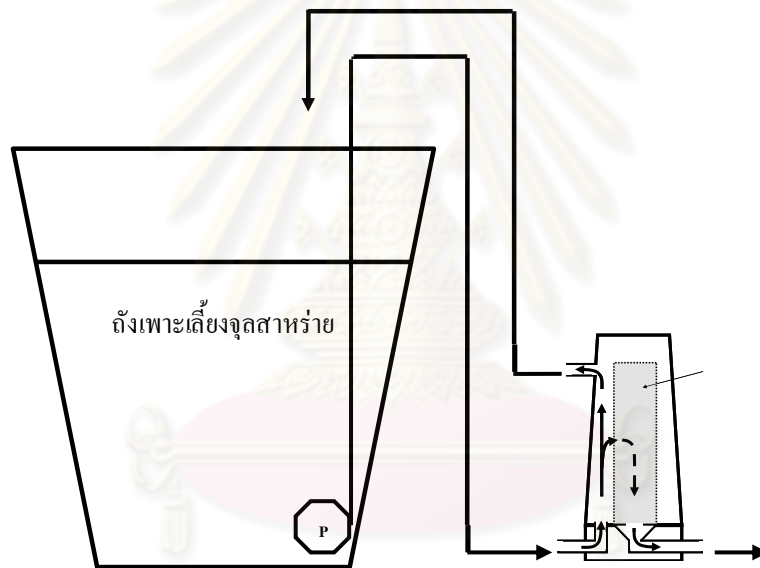
กรองที่เหมาะสมจากการทดลองในขั้นแรก มาทำการกรอง *C. gracilis* อีกครั้งแต่ปรับความเร็วของน้ำเข้าเครื่องกรองให้เพิ่มขึ้นเป็น 0.0016 เมตร/วินาที โดยคงสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียนไว้ที่ 25:75 และเพิ่มระยะเวลาในการกรองขึ้นเป็น 120 นาที



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบกรองแบบแบ่งส่วนกับถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

(ก) เครื่องกรองแบบแบ่งส่วน (ข) ถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายขนาด 200 ลิตร

(ค) แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการทดลองช่วงที่ 2

- การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วน

1. วิเคราะห์ค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาเมื่อเดินระบบ กรองที่ความเร็วของน้ำเข้าเครื่องกรองและสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียนต่างๆ กัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำ

- วิเคราะห์อัตราการกรองจุลสาหร่ายของเครื่องกรองโดยการตรวจวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอที่เข้าเครื่องกรองและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ ในน้ำที่กรองได้ จากนั้นจึงนำมาคำนวณประสิทธิภาพในการกรองดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกรอง} = [(C_0 - C_1) / C_0] \times 100$$

โดยที่ C_0 = คลอโรฟิลล์เอในน้ำที่เข้าเครื่องกรอง
 C_1 = คลอโรฟิลล์เอในน้ำที่กรองได้

- วิเคราะห์สัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียน ที่เหมาะสมต่อการกรองจุลสาหร่ายเพื่อนำไปใช้ในการทดลองช่วงที่ 3 โดยพิจารณาจากอัตราการกรองและค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

การทดลองช่วงที่ 3 : การประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้งไร้ดินระบบปิด

การทดลองช่วงที่ 3 เป็นการศึกษา การนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้เพื่อ กรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการทดลองกับกุ้ง 2 ชนิดที่มีรูปแบบการเจริญในถังเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน ได้แก่ กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยกุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำที่บริโภคทั้งอาหารสำเร็จรูปและจุลสาหร่าย ที่มีในน้ำเป็นอาหาร ไปพร้อมกัน ในขณะที่กุ้งกุลาดำจะอาศัยอยู่ที่พื้นของ ถังเพาะเลี้ยงและ บริโภคเฉพาะอาหารเม็ดแต่ ไม่บริโภคจุลสาหร่าย ดังนั้น การ ทำการทดลองกับถัง เลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำเปรียบเทียบกัน จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของชนิดกุ้งต่อปริมาณแ ละประเภทของจุลสาหร่าย ที่เกิดขึ้น ตลอดจนเป็นการศึกษาปริมาณและความหนาแน่นของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยงแต่ละบ่อ โดยการทดลองในช่วงนี้เป็นการกรอง แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยแบ่ง ถังเพาะเลี้ยงออกเป็น 5 ชุด ได้แก่ ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายที่ไม่มีการกรอง (ชุดควบคุม) ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง และ ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง ทำการทดลองต่อเนื่องโดยเพาะเลี้ยงกุ้ง เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน ทำการวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจน (Nitrogen budget analysis) ของระบบเพาะเลี้ยงแต่ละ ถัง เพื่อหาสัดส่วนของสารประกอบไนโตรเจนที่ถูกบำบัดโดยจุลสาหร่ายและจุลินทรีย์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำ ซึ่งแผนผังการทดลองในช่วงนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.6 แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 3

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
<ol style="list-style-type: none"> ชนิดกึ่งที่เพาะเลี้ยง ชนิดและปริมาณของจุลสาหร่าย ปริมาณของอนุภาคสารแขวนลอย 	<ul style="list-style-type: none"> - กึ่งขาวและกึ่งกุดาคำ - จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ - ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเองตามธรรมชาติ
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
<ol style="list-style-type: none"> ปริมาณของอาหารกึ่งที่ใส่ในแต่ละเพาะเลี้ยง อายุและความหนาแน่นของกึ่ง ความเร็วของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง สัดส่วนของอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียน ค่าความเค็มของน้ำทะเล 	<ul style="list-style-type: none"> - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกึ่งที่มีในถังเพาะเลี้ยง - กึ่งอายุ 3 เดือน โดยเพาะเลี้ยงที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. - 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที - ค่าในช่วงระหว่าง 10:90 ถึง 50:50 - 20 พีเอสยู
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์
<ol style="list-style-type: none"> ประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน ชนิดและปริมาณของจุลสาหร่ายในเพาะเลี้ยง ปริมาณของ อนุภาคสารแขวนลอย ในถังเพาะเลี้ยง สมดุลไนโตรเจนของถังเพาะเลี้ยง การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายและจุลชีพในถังเพาะเลี้ยง อัตราการรอดของกึ่ง อัตราการเติบโตของกึ่งต่อวัน 	<ul style="list-style-type: none"> - ตรวจวัดค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา อัตราการกรองจุลสาหร่ายและระยะเวลาการใช้งานของแท่งกรองก่อนต้องทำการล้างย้อน - ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์และวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในน้ำ - วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ - ตรวจวัดปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบ - ตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรดในน้ำ - จำนวนกึ่งที่เหลืออยู่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักและความยาวของกึ่ง

- การเตรียมระบบเพื่อใช้ในการทดลอง

ทำการเพาะเลี้ยง กุ้งขาวและกุ้งกุลาดำที่มีอายุประมาณ 3 เดือนดังแสดงในรูปที่ 3.7 ที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. ในถังไร้น้ำขนาด 500 ลิตรจำนวน 5 ถัง (สำหรับ 5 ชุดการทดลอง) ซึ่งบรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู และ ตั้งไว้ในบริเวณภายนอกอาคารในที่ที่มีอากาศถ่ายเทและมีแสงแดดส่องถึง ภายในถังเพาะเลี้ยงจะมีการให้อากาศอย่างเพียงพอตลอดเวลาด้วยเครื่องเติมอากาศ (RESUN® LP-100) ตลอดการทดลอง ซึ่งในแต่ละถังจะมีหัวทรายเติมอากาศจำนวนถึงละ 4 หัวกระจายอยู่ทั่วถังเพาะเลี้ยงเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอสำหรับกุ้งและจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในน้ำ โดยได้ติดตั้งตะแกรงตาข่ายพลาสติกไว้ที่ก้นถัง เพื่อให้กุ้งได้ใช้เป็นที่ยึดเกาะและเป็นแหล่งหลบภัยในเวลาลอกราบ นอกจากนี้ยังได้ใช้ตะแกรงเหล็กหุ้มพลาสติกใสเป็นตัวปิดปากถังเพื่อป้องกันน้ำและสิ่งอื่นจากภายนอกเข้าไปปนเปื้อนกับน้ำภายในถังเพาะเลี้ยง

สำหรับการให้อาหารกุ้ง ได้ใช้อาหารที่มีขายตามท้องตลาด ทั่วไป โดยคำนวณปริมาณอาหารที่ให้จาก 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวกุ้ง และเปลี่ยนแปลงปริมาณให้มากขึ้นหรือน้อยลง เมื่อกุ้งมีการเจริญเติบโตหรือมีการตายเกิดขึ้น ซึ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งในชุดการทดลองนี้ใช้ ระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน โดยวันเริ่มต้นการทดลองนับจาก วันที่เริ่มปล่อยกุ้งลงในถังเพาะเลี้ยง ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำตลอดการทดลองโดย ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ยกเว้นการเติมน้ำเพื่อชดเชยความเค็มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระเหยของน้ำในถังเพาะเลี้ยง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 รูปถ่ายกุ้งอายุประมาณ 3 เดือนที่ใช้ในการทดลอง

(ก) กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) (ข) กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

- การทำงานของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้ร่วมกับถังเลี้ยงกุ้ง

ระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 3 นี้เป็นระบบเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 กล่าวคือแบ่งกรองที่ใช้เป็นไส้กรองเส้นใยแบบจิบขนาดจุลินทรีย์ประมาณ 30 ไมครอน (Sediment Filter Cartridge) ซึ่งถูกบรรจุไว้ในเรือนกรองพลาสติกใสปริมาตร 1.5 ลิตร โดยในการทดลองได้ใช้เครื่องกรองทั้งหมด 2 ชุดด้วยกัน ดังนี้

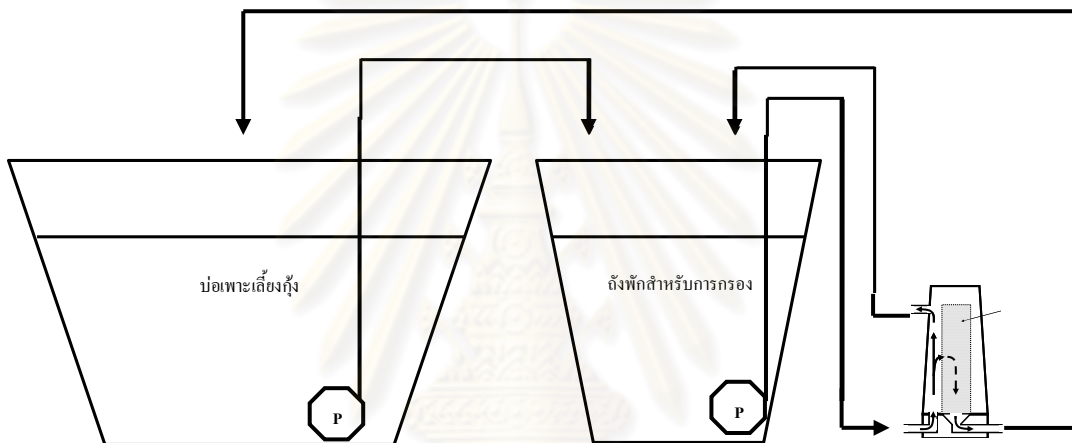
1. ชุดกรองชุดที่ 1 ใช้เรือนกรองซึ่งมีช่องน้ำเข้าและช่องน้ำออกขนาด 4 หุน ร่วมกับเครื่องสูบน้ำที่มีกำลังในการสูบสูงสุด 2,800 ลิตร/ชม. (RESUN® SP-6800) โดยชุดกรองนี้มีความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที
2. ชุดกรองชุดที่ 2 ใช้เรือนกรองซึ่งมีช่องน้ำเข้าและช่องน้ำออกขนาด 6 หุน ร่วมกับเครื่องสูบน้ำที่มีกำลังในการสูบสูงสุด 3,500 ลิตร/ชม. (RESUN® KING-3B) โดยชุดกรองนี้มีความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

น้ำจากถังเลี้ยงกุ้งจะถูกสูบมาเก็บไว้ในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ก่อนเริ่มทำการกรองแบบแบ่งส่วน จากนั้นน้ำในถังพักจะถูกสูบเข้าสู่เครื่องกรองทางช่องน้ำเข้าทางด้านล่าง โดยน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกส่งกลับไปยังถังเลี้ยงกุ้ง ในขณะที่น้ำซึ่งอยู่รอบนอกแห่งกรองพร้อมด้วยอนุภาคของแข็งแขวนลอยจะถูกเวียนกลับไปยังถังพัก และเดินระบบการกรองต่อเนื่องไปจนกระทั่งเครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำจากถังพักขึ้นมาได้ อีก จากนั้นจึงวัดปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่ในถังพักและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคสารแขวนลอย โดยแผนภาพแสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่นำมาใช้กับถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำ แสดงไว้ดังรูปที่

3.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) รูปถ่ายของระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่นำมาใช้ในการทดลอง และ (ข) แผนภาพของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน ถังพัก และถังเลี้ยงกุ้ง

- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้ง

1. ตรวจสอบความเข้มข้นของรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงทั้ง 5 ถัง ซึ่งได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ซี และคาโรทีนอยด์ และนำน้ำตัวอย่างมาส่อง ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษา ชนิดของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยงแต่ละถัง
2. ตรวจสอบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบ ผลระหว่างถังเลี้ยงกุ้งที่มีการกรองและไม่มีกรอง และเป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งขาวและในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

3. วิเคราะห์อัตราการกรอง อนุภาคของแข็งแขวนลอย ของเครื่องกรอง แบบแบ่งส่วนเปรียบเทียบระหว่างชุดกรองที่มีค ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลของการกรองระหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาบกับถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังทำการกรอง ตลอดจนปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกออกไปจากถังเพาะเลี้ยงด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน
4. วิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งโดยการตรวจวัดปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบ ซึ่งแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ได้แก่ อาหารกุ้งในไนโตรเจนที่มีอยู่ในกุ้ง และสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนที่ออกจากระบบ ได้แก่ อาหารที่เหลืออยู่ใน ถังเพาะเลี้ยง ของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมา และไนโตรเจนที่กุ้ง จุลชีพ และจุลสาหร่ายนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบเพาะเลี้ยงจะถูกนำมาใช้ในการหาสัดส่วนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในระบบทั้งหมด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ การใช้จุลสาหร่ายและจุลชีพตามธรรมชาติในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
5. วิเคราะห์การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่าย โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในน้ำตัวอย่างจาก ถังเพาะเลี้ยงแต่ละถัง โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนใน ถังเลี้ยงกุ้งเปรียบเทียบกับ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณของแข็งแขวนลอยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

- การประเมินอัตราการเติบโตของกุ้ง

ทำการประเมินอัตราการเติบโตของกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำโดยการ ชั่งน้ำหนักและวัด ความยาวของกุ้งทุกตัวใน ถังเพาะเลี้ยงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่งและอุปกรณ์วัดความยาวกุ้ง เป็นระยะตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 3.9) เพื่อใช้คำนวณน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของกุ้งในแต่ละถัง ตลอดจนใช้ในการคำนวณ อัตราการเติบโตของกุ้งต่อวัน (Daily weight gain) เปอร์เซ็นต์อัตราการรอดของกุ้ง (Survival rate of shrimp) อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio) และผลผลิตของกุ้ง (Production of shrimp) จากสูตรต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

$$\text{อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่เหลือ} \times 100}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการผลิตเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้กุ้งทั้งหมด (กก.)}}{\text{น้ำหนักรวมของกุ้งที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (กก.)}}$$

$$\text{ผลผลิต (กก./ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของกุ้งทั้งหมด (กก.)}}{\text{พื้นที่บ่อ (ไร่)}}$$



รูปที่ 3.9 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งในถังเพาะเลี้ยง โดยการวัดความยาวและชั่งน้ำหนัก

- การตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้ง

ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้งแต่ละถังเป็นระยะ ตามรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งได้แก่ ค่าแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ไนโตรเจนทั้งหมด รงควัตถุ ของแข็งแขวนลอย ปริมาณออกซิเจนละลาย อุณหภูมิ ความเค็ม ความเข้มแสง อัตราการรอดของกุ้ง และอัตราการเติบโตของกุ้ง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ความถี่ และวิธีการวิเคราะห์สำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้ง

พารามิเตอร์	ความถี่	วิธีการวิเคราะห์/ เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิงวิธีการ วิเคราะห์
แอมโมเนีย	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectrophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนไตรต์	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectrophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนเตรต	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectrophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนโตรเจนทั้งหมด	เริ่มต้นและ สิ้นสุดการ ทดลอง	Colorimetric และ Spectrophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
รงควัตถุ	ทุก 5 วัน	Solvent extraction และ Spectrophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ของแข็งแขวนลอย	ทุก 2 วัน	กรองบนกระดาษกรอง GF/C และชั่งน้ำหนักด้วย เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Standard Method (1998)
ปริมาณออกซิเจน ละลาย	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด ปริมาณออกซิเจนละลาย	
อุณหภูมิ	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	
ความเค็ม	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความ เค็ม	
อัตราการรอดของกุ้ง	ทุก 1 เดือน	นับจำนวนกุ้งที่เหลือในบ่อ เพาะเลี้ยง	
อัตราการเติบโตของกุ้ง	ทุก 1 เดือน	ชั่งน้ำหนักกุ้งและวัดความ ยาวของตัวกุ้ง	

บทที่ 4

ผลการทดลอง

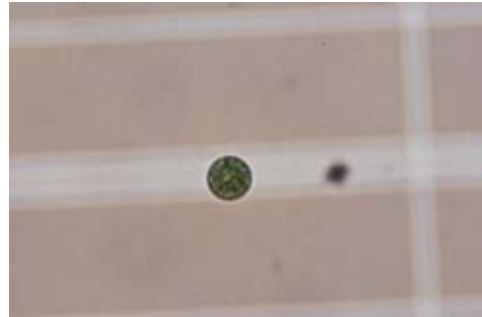
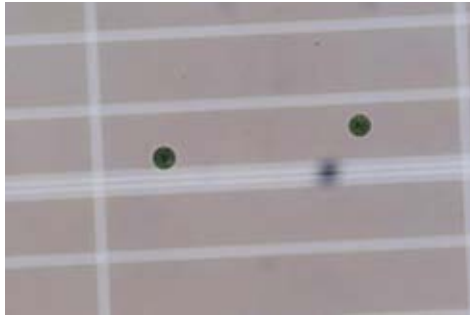
4.1 การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่กระตุ้นการเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งการดูดซึมสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่ายจะช่วยลดความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำลงได้ การทดลองนี้ จึงเป็นการศึกษาเพื่อประเมินการเติบโตของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในถังพลาสติกปริมาตร 6 ลิตร ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู ในสภาวะกลางแจ้ง โดยวางถังไว้ในบริเวณที่มีแสงแดดส่องถึงและอากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีการพ่นอากาศตลอดเวลา ส่วนแหล่งอาหารของจุลสาหร่ายจะมาจากการใส่อาหารกุ้งที่มีโปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 0.15 กรัม/วัน (0.025 กรัม/ลิตร-วัน) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหารเท่ากับ 0.009 กรัม-ไนโตรเจน/วัน (0.0015 กรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน)

จากการวิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายตลอดช่วงเวลาการทดลอง พบว่าได้ผลการทดลองแยกตามพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประเมินการเติบโตของจุลสาหร่ายและการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้ดังนี้

- จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง

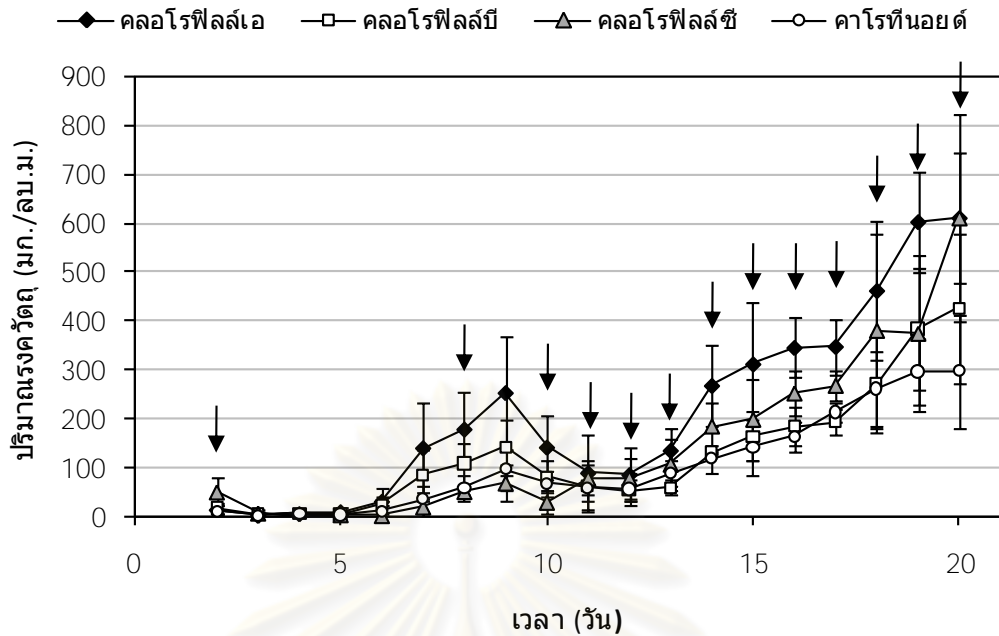
จากผลการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อติดตามการเติบโตของจุลสาหร่ายในถังเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 20 วัน เมื่อมีการใช้อาหารกุ้งบดเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าน้ำในถังเพาะเลี้ยงได้เปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่อเข้าสู่วันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งจากการนำตัวอย่างน้ำมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าสีเขียวของน้ำเกิดจากจุลสาหร่ายสีเขียวลักษณะรูปทรงกลม ขนาดประมาณ 80 ถึง 100 ไมครอน โดยจุลสาหร่ายชนิดนี้เป็นชนิดหลักที่พบในถังเพาะเลี้ยง ส่วนจุลสาหร่ายชนิดอื่นๆ ที่พบมีจำนวนน้อยมากและค่อยๆ หายไปในช่วงหลังของการทดลอง คงเหลือเพียง จุลสาหร่ายสีเขียวรูปทรงกลมนี้เพียงชนิดเดียวที่ตรวจสอบได้เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยภาพของจุลสาหร่ายชนิดหลักนี้ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 จุลสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวรูปทรงกลมที่เติบโตขึ้นในถึงพะาะเลี้ยง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ตามลำดับ

- รงควัสดุในถึงพะาะเลี้ยง

ผลการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในถึงพะาะเลี้ยงจุลสาหร่ายพบว่า คลอโรฟิลล์เอเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับสีของน้ำที่เปลี่ยนไปพร้อมทั้งเริ่มตรวจพบจุลสาหร่ายสีเขียวจากถึงพะาะเลี้ยงในชุดการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นจาก 32 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 6 เป็น 141 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 7 และขึ้นไปถึง 254 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 9 ของการทดลอง ก่อนจะลดลงในช่วงวันที่ 9 ถึงวันที่ 12 แต่หลังจากนั้นได้เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ จนมีปริมาณสูงสุดที่ 611 มก./ลบ.ม.ในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และ คาร์ทีนอยด์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในถึงพะาะเลี้ยงจุลสาหร่ายที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดช่วงเวลา 20 วัน แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในช่วงก่อนและหลังวันที่ 10 ซึ่งเป็นผลมาจากการใส่อาหารกึ่งบดลงในถึงพะาะเลี้ยง ทั้งนี้เนื่องจากการให้อาหารจะค้ำจนถึงปริมาณอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำเป็นหลัก โดยอาหารกึ่งบดที่ใส่ลงไปจะใช้เวลาช่วงหนึ่งในการย่อยสลายเป็นแอมโมเนียออกมาสู่น้ำก่อนที่จุลสาหร่ายจะสามารถดูดซึมแอมโมเนียไปใช้ในการเติบโตได้ ดังนั้นการใส่อาหารติดต่อกันทุกวันจึงไม่เป็นผลดีเนื่องจากการเร่งให้เกิดจุลชีพชนิดอื่นๆ ที่เติบโตได้เร็วกว่าจุลสาหร่าย ซึ่งส่งผลให้น้ำเน่าเสียและทำให้จุลสาหร่ายไม่สามารถเติบโตได้ ดังนั้นในระหว่างการทดลองจึงมีการหยุดเติมอาหารกึ่งในระหว่างวันที่ 3 ถึง 7 และในวันที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟิลล์จะมีความสัมพันธ์กับการเติมอาหารกึ่งลงในน้ำ



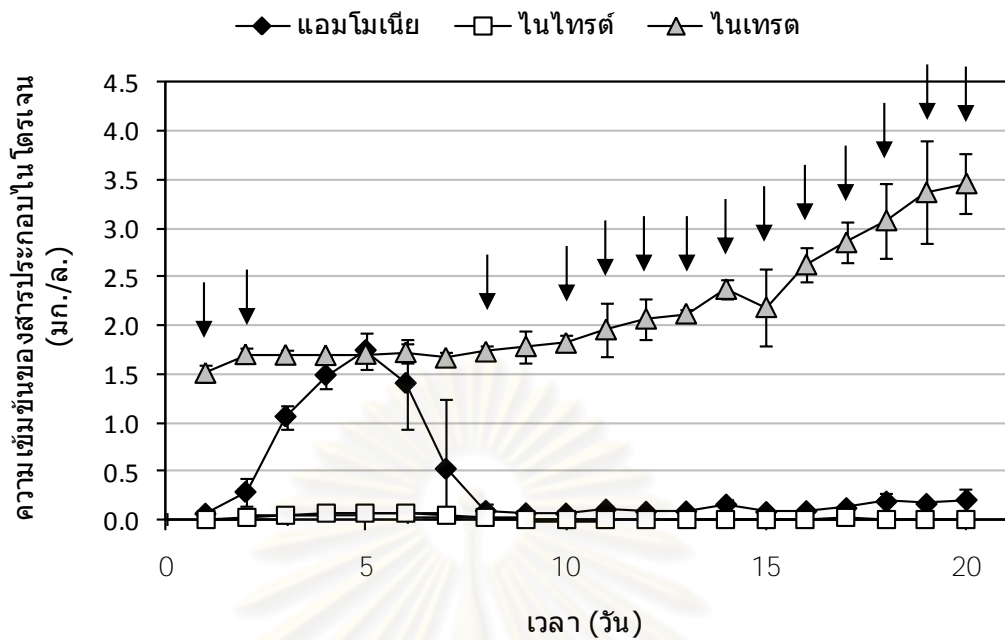
รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่พบในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกุ้งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน)

นอกจากนี้ผลการตรวจวัดรงควัตถุจากกราฟในรูปที่ 4.2 ยังแสดงให้เห็นว่ารรงควัตถุที่พบมากที่สุดถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายคือคลอโรฟิลล์เอ เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอเป็นรงควัตถุชนิดหลักที่พบได้ในสาหร่ายทุกชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคาร์ทีนอยด์มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงของการทดลอง โดยในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงพบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์บีมีค่าสูงสุดรองลงมาจากคลอโรฟิลล์เอ คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 24.5 ถึง 81.9 มก./ลบ.ม. แต่หลังจากวันที่ 11 เป็นต้นไปกลับพบว่ารงควัตถุที่มีค่ารองลงมาจากคลอโรฟิลล์เอเปลี่ยนไปเป็นคลอโรฟิลล์ซี โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 78.8 ถึง 610.5 มก./ลบ.ม. ซึ่งระบุให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเป็นรงควัตถุที่พบได้ในสาหร่ายสีเขียว ในขณะที่คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีเป็นรงควัตถุที่พบได้ในจุลสาหร่ายประเภทไดอะตอม (ยูดี ฟิรพร พิศาล, 2549) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ซีจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณไดอะตอมในน้ำ นอกเหนือจากจุลสาหร่ายสีเขียวซึ่งเจริญเติบโตในถังเพาะเลี้ยงมาตั้งแต่ช่วงต้นของการทดลอง อย่างไรก็ตามผลจากการส่องดูตัวอย่างน้ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์ในช่วงท้ายของการเพาะเลี้ยงกลับไม่พบจุลสาหร่ายชนิดอื่นมากนัก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไดอะตอมเหล่านี้กำลังอยู่ในระยะของการเพิ่มจำนวน และบางส่วนอาจเป็นไดอะตอมชนิดเกาะติด (Benthic diatom) ซึ่งจะเติบโตอยู่บริเวณก้นถังหรือบริเวณข้างถัง

- สารประกอบไนโตรเจนในถ้ำเพาะเลี้ยง

การเติบโตของจุลสาหร่ายในช่วงก่อนวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของอาหารกุ้งในวันที่ 1 และวันที่ 2 ของการทดลอง โดยผลการวิเคราะห์แอมโมเนีย (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 5 โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.73 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร แล้วจึงค่อยๆ ลดลงจนเหลือ 0.098 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 8 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มจำนวนขึ้นของจุลสาหร่ายจากการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในน้ำภายหลังวันที่ 5 จนสูงสุดในวันที่ 8 และลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการลดลงของปริมาณรงควัตถุนี้ น่าจะสืบเนื่องมาจากการลดลงของแอมโมเนียในน้ำซึ่งมีค่าลดลงต่ำมากหลังจากวันที่ 8 นั่นคือค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้มีค่าเพียง 0.07 ถึง 0.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียดังกล่าวถือว่าเป็นความเข้มข้นต่ำที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ โดย Boyd และ Tucker (1998) รายงานว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ถือว่าอยู่ในช่วงสูงเกินไป และมีอันตรายต่อสัตว์น้ำคือมากกว่า 1 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ Timmons และคณะ (2002) ได้แนะนำเกณฑ์ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำว่าปริมาณแอมโมเนียสำหรับน้ำในเขตอบอุ่นควรมีค่า ต่ำกว่า 3 มก./ลิตร ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่พบในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าตัวเลขดังกล่าวมาก

ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในถ้ำเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายนี้ พบว่า มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.003 ถึง 0.075 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดระยะเวลา 20 วัน ซึ่งถือเป็นค่าปกติที่พบได้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป นั่นคือ มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.1 มก./ลิตร (Boyd และ Tucker, 1998) ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรตพบว่ามีค่าเริ่มต้น อยู่ที่ 1.51 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และค่อยๆ เพิ่มปริมาณมากขึ้นจนมีความเข้มข้นเท่ากับ 3.46 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรในวันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยง ซึ่งตัวเลขดังกล่าวถือว่ายังอยู่ในช่วงความเข้มข้นต่ำที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจน ที่จัดว่ามีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแอมโมเนียและไนไตรต์ โดย Hart และ O'Sullivan (1993) ได้แนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเมื่อไนเตรตมีความเข้มข้นมากกว่า 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เนื่องจากเป็นปริมาณที่จะทำให้เกิดความเครียดในสัตว์น้ำได้



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกึ่งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน)

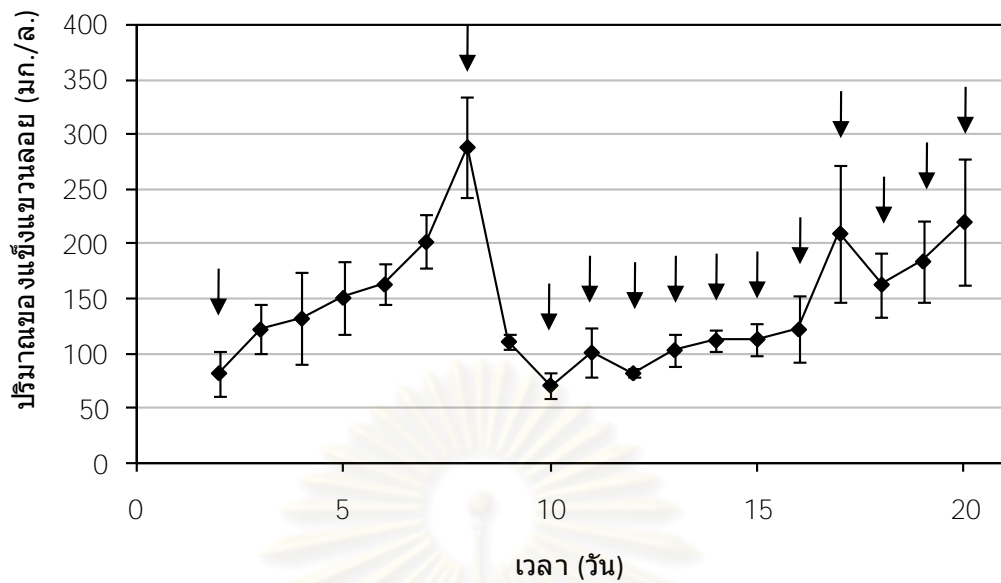
นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปที่ 4.3 ยังแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในระหว่างการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย โดยเฉพาะตั้งแต่วันที่ 11 เป็นต้นมา ซึ่งคาดว่ามีความสำคัญจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่เติบโตขึ้นในถังเพาะเลี้ยง เพราะโดยปกติแล้วจุลสาหร่ายจะเลือกนำแอมโมเนียเข้าสูเซลล์เป็นอันดับแรก เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้เร็วกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ ส่วนไนเตรตนั้นจุลสาหร่ายจะนำไปใช้ได้ก็ต่อเมื่อเปลี่ยนรูปไนเตรตให้กลายเป็นแอมโมเนียแล้ว ด้วยเหตุนี้ไนเตรตในน้ำจึงไม่ถูกใช้ไปโดยจุลสาหร่ายเนื่องจากในการทดลองมีการให้แอมโมเนียผ่านทางโปรตีนในอาหารกึ่งบดตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในถังเพาะเลี้ยงจึงน่าจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียส่วนหนึ่งในน้ำเป็นไนเตรตผ่านทางกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตร่วมกันของจุลสาหร่ายและแบคทีเรียในถังเพาะเลี้ยง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำคือกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันระหว่างจุลสาหร่ายและไนตริฟายอิงแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติในถังเพาะเลี้ยง โดยจุลสาหร่ายจะมีบทบาทมากในการลดปริมาณแอมโมเนีย ในช่วงต้นของการทดลอง และต่อมากกระบวนการไนตริฟิเคชันจะมีบทบาทมากขึ้นหลังจากที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นแล้ว ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 10 วัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าหากไม่มีการจัดวัฏศูชีพเกาะ

ให้กับแบคทีเรียที่เหมาะสม ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้แบบไม่สมบูรณ์ คือแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ แต่ไนไตรต์จะไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต ทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ขึ้นในน้ำ

- ของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยง

จากผลการตรวจวัดอนุภาคของแข็งในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์เอ แสดงให้เห็นว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากเซลล์ของจุลสาหร่าย โดยของแข็งแขวนลอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 82.2 มก./ลิตร ในวันที่ 2 ไปอยู่ที่ 288.9 มก./ลิตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง นอกจากนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นยังอาจมาจากเซลล์ของแบคทีเรียที่เติบโตในน้ำและจากอาหารกึ่งบดที่ใส่ลงไปเพื่อเป็นแหล่งอาหารของจุลสาหร่าย โดยเมื่อถึงวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดที่ 220.6 มก./ลิตร แสดงให้เห็นถึงการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องของจุลสาหร่ายในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรงควัตถุที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วงสุดท้ายจะพบว่ามีย่านน้อยกว่าปริมาณในช่วงแรก (โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับวันที่ 8 ของการทดลอง) ซึ่งอาจเกิดจากการที่จุลสาหร่ายส่วนหนึ่งไปเกาะอยู่บนผนังด้านข้างถังเพาะเลี้ยง หรือที่เรียกว่าไดอะตอมชนิดเกาะติด (Benthic diatom) ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงอาจทำให้ของแข็งแขวนลอยในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาวิเคราะห์มีค่าลดลงกว่าปริมาณที่ตรวจพบได้ในช่วงแรก

จากผลการทดลองในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นว่าจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการใช้อาหารกึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนสามารถช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้น้ำมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่มีการแนะนำไว้สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจะเห็นได้จากการลดลงของแอมโมเนียทันทีที่พบจุลสาหร่ายเติบโตขึ้นในน้ำ ซึ่งจุลสาหร่ายที่พบมีทั้งสาหร่ายสีเขียวและไดอะตอม อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดลองก็เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียในน้ำด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกึ่งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน)

4.2 การศึกษาระบบกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่าย

การทดลองชุดนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของ ระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำ โดยได้เลือกใช้ไคอะตอมชนิด *Chaetoceros gracilis* เป็นตัวแทนของจุลสาหร่ายในน้ำเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรอง เนื่องจากจุลสาหร่ายชนิดนี้มีขนาดเซลล์เล็กมาก (6 ไมครอน) ซึ่งไม่สามารถทำการกรองแยกออกจากน้ำได้ด้วยผ้ากรองทั่วไป สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองเป็นการทดลองที่สภาวะต่างๆ อันได้แก่ การเปรียบเทียบสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ รวมทั้งศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพการกรองระหว่างการใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที

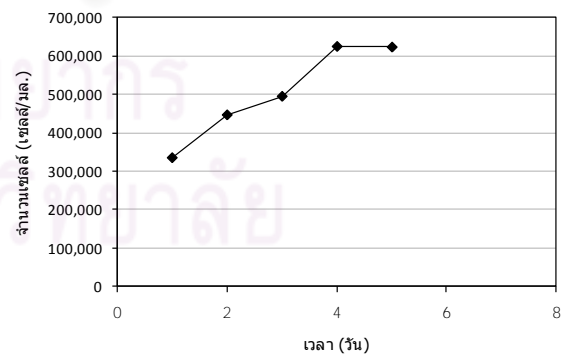
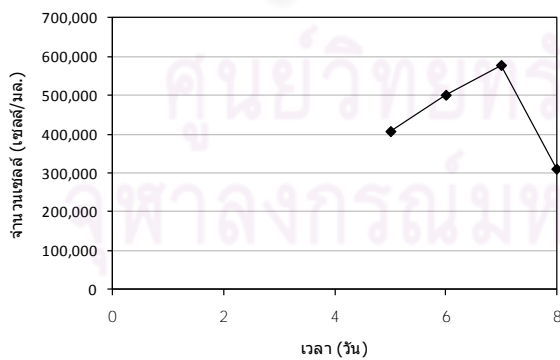
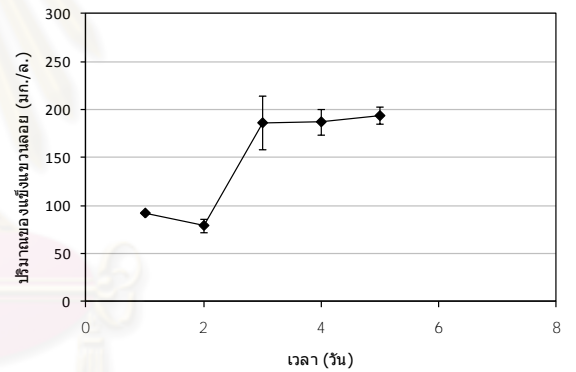
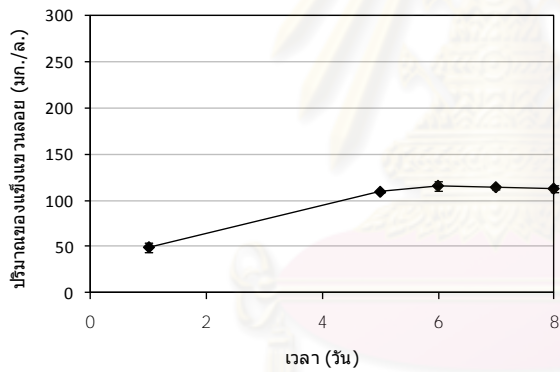
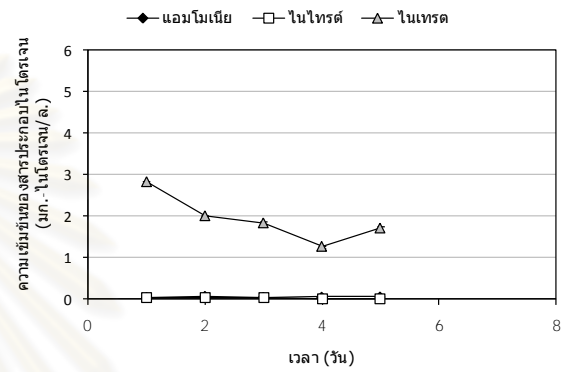
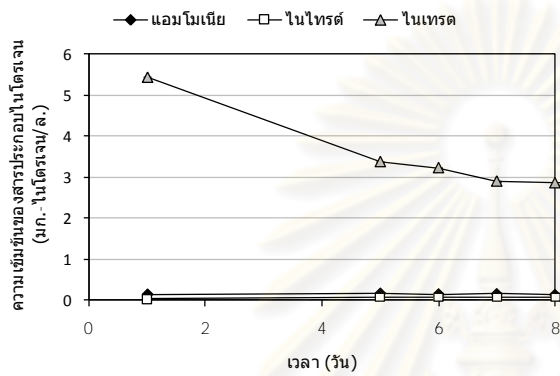
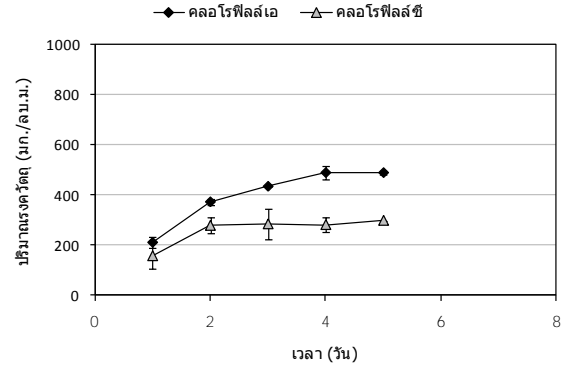
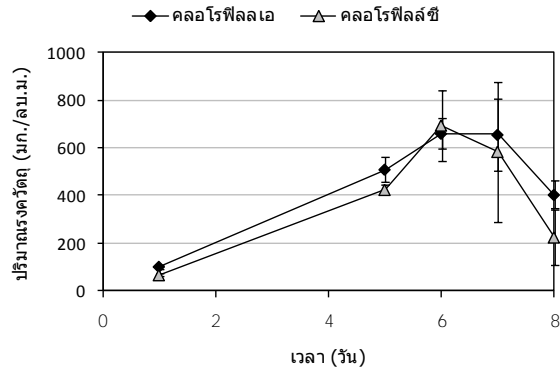
4.2.1 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดสอบระบบกรองแบบแบ่งส่วน

การทดลองเริ่มต้นจากการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* ในถังบรรจุน้ำทะเลปริมาตร 200 ลิตร ภายใต้สภาวะกลางแจ้งที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้เซลล์เติบโตเพิ่มความหนาแน่น จนถึงระดับที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์ซี

สารประกอบไนโตรเจน ในน้ำ รวมทั้งปริมาณของแข็งแขวนลอย และจำนวนเซลล์ในระหว่างการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* แสดงดังรูปที่ 4.5

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของ *C. gracilis* ภายหลังจากใส่หัวเชื้อเพื่อเพาะเลี้ยง ในถังปริมาตร 200 ลิตร โดยใส่สารอาหารเฉพาะวันแรกของการเพาะเลี้ยง พบว่า *C. gracilis* ใช้เวลาในการเติบโตในช่วง 4 ถึง 6 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของหัวเชื้อตั้งต้น โดยมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุดเฉลี่ย 6.25×10^5 เซลล์/มล. และพบว่า *C. gracilis* จะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อสารอาหารในน้ำหมดไป ดังจะเห็นได้จากการลดลงของปริมาณรงควัตถุเมื่อเข้าสู่ วันที่ 8 ของการทดลองในการเพาะเลี้ยงครั้งที่ 1 ทั้งนี้จะเห็นได้ถึงความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ในการเพาะเลี้ยงทั้ง 2 ครั้งมีค่าต่ำมาก เนื่องจากอาหารที่ใส่ลงไปให้ *C. gracilis* ประกอบด้วยไนเตรตเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรต จะมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจาก *C. gracilis* ได้ใช้ในเตรตแทนการใช้แอมโมเนียที่มีปริมาณน้อยมากในน้ำ

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ซีที่พบในถังเพาะเลี้ยงจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของคลอโรฟิลล์เอตลอดระยะเวลาการทดลอง คือพบคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีสูงสุดในช่วง 490 ถึง 660 มก./ลบ.ม. ทั้งนี้เป็นเพราะ *C. gracilis* เป็นจุลสาหร่ายประเภทไดอะตอมที่อยู่ในดิวิชัน นคริสโซไฟตา ซึ่งรงควัตถุของสาหร่ายกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีเป็นหลัก (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549) และเนื่องจากการทดลองชุดนี้เป็นการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพียงชนิดเดียวโดยการใส่หัวเชื้อลงในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว รวมทั้งสารอาหารที่ใส่ในวันแรกของการทดลองยังเป็นปุ๋ยสูตรน้ำที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยง *Chaetoceros* โดยเฉพาะ ผลการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำจากการเพาะเลี้ยงชุดนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนเซลล์ที่เติบโตขึ้นของจุลสาหร่าย ซึ่งต่างจากการทดลองในหัวข้อ 4.1 ที่มีการใส่อาหารกึ่งลงไปเป็นแหล่งไนโตรเจนในน้ำที่ไม่มีการฆ่าเชื้อ ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อพบคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 400 ถึง 600 มก./ลบ.ม. จะพบของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 มก./ลิตร อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงเนื่องจากการตายของ *C. gracilis* พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำยังคงมีค่าคงที่ เนื่องจากเมื่อจุลสาหร่ายตายไปรงควัตถุในเซลล์จะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้ตรวจพบคลอโรฟิลล์ได้น้อยลง ในขณะที่ตัวเซลล์ของ *C. gracilis* ซึ่งมีเปลือกหุ้มเซลล์เป็นซิลิกานั้นยังคงอยู่ในน้ำ จึงสามารถตรวจพบได้จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในถังเพาะเลี้ยง ซึ่งจุลสาหร่ายที่เลี้ยงได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองต่อไป



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* ครั้งที่ 1 (ซ้าย) และครั้งที่ 2 (ขวา)

4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อกำหนดให้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

ผลจากการทดลองกรองน้ำในถังเพาะเลี้ยง ไคอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ โดยใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที (593 ลิตร/ชม.) และทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แสดงจะเป็นตัวแทนของเซลล์จุลสาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนรูปที่ 4.6 คือภาพถ่ายแสดงลักษณะและสีของน้ำที่มองเห็นได้จากถังเพาะเลี้ยงไคอะตอม *C. gracilis* ก่อนและหลังการกรอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายแสดงลักษณะและสีของน้ำจากถังเพาะเลี้ยง *C. gracilis*

(ก) น้ำในถังเพาะเลี้ยงก่อนการกรอง และ (ข) น้ำหลังการกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 การกรองไคอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)		
	25 : 75	50 : 50	100 : 0
ปริมาณน้ำในถังเพาะเลี้ยง (ลิตร)	200	200	200
ปริมาณน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	24	62	88
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	79.5	54.9	0
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	24.5	63.6	93.6
สัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองที่แท้จริง (เปอร์เซ็นต์)	23.6	53.7	100
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	78.9	204.8	303.4
ค่าฟลักซ์ที่ 60 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	77.1	197.1	276.6
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 60 นาที	2.2	3.7	8.8
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดในถังจุลสาหร่ายก่อนการกรอง (มก.)	250.7	238.2	275.9
คลอโรฟิลล์ที่เหลือในถังจุลสาหร่ายหลังการกรอง (มก.)	220.6	164.4	154.5
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ออกไปกับน้ำกรอง (มก.)	0.95	1.48	37.25
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ติดอยู่บนไส้กรอง (มก.)	3.1	8.7	46.9
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์ที่ติดอยู่บนไส้กรอง	10.3	11.8	38.6
คลอโรฟิลล์เอในถังจุลสาหร่ายต่อปริมาตร (มก./ลิตร)	1.25	1.19	1.38
คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาณน้ำกรอง (มก./ลิตร)	1.21	1.17	0.96
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาณน้ำกรอง	96.8	98.0	69.3

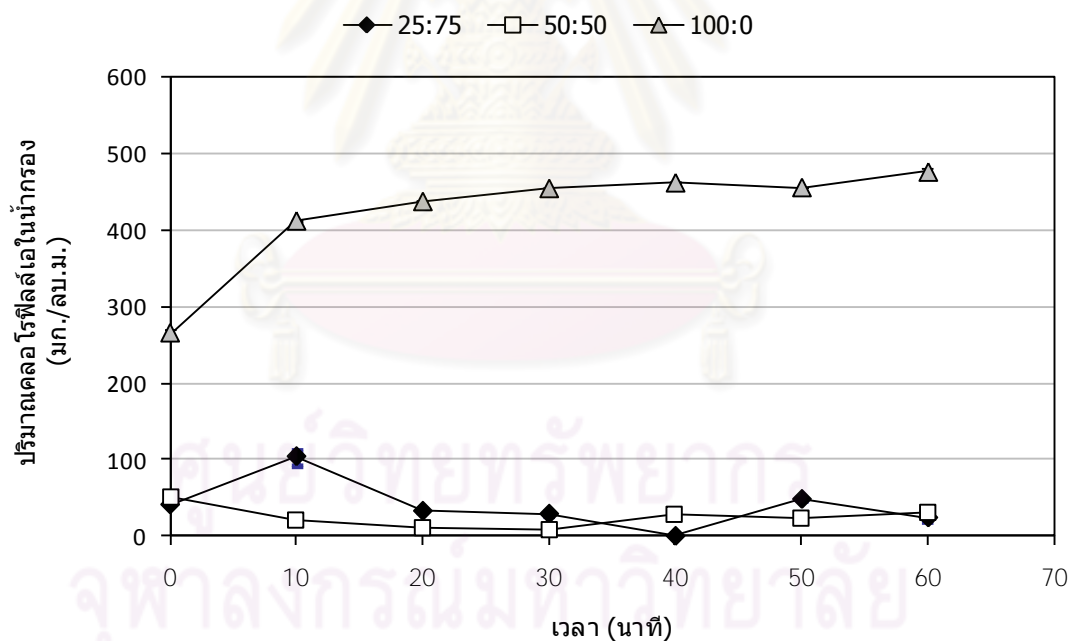
จากผลการทดลอง พบว่าการปรับสัดส่วน น้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 25:75 หรือให้มีน้ำผ่านไส้กรองเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำเข้า นั้น จะทำให้เกิดการกรองน้ำจากถังเพาะเลี้ยงเป็นปริมาณทั้งหมด 24 ลิตรจาก 200 ลิตรภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่าฟลักซ์เริ่มต้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 78.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ในขณะที่การ ปรับสัดส่วน น้ำกรองให้เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เกิดการกรองเพิ่มขึ้นเป็น 62 ลิตรในเวลา 1 ชม. และมีค่าฟลักซ์เริ่มต้นเท่ากับ 204.8 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ซึ่งมากกว่าค่าฟลักซ์ของน้ำกรองที่ 25 เปอร์เซ็นต์มากกว่าหนึ่งเท่าตัว นอกจากนี้เมื่อปรับสัดส่วนน้ำกรองให้เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์แล้ว พบว่าจะส่งผลให้เกิดอัตราการกรอง 88 ลิตรในเวลา 1 ชม. ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนน้ำกรองที่เหลือ แต่อย่างไรก็ตาม ในสภาพความเป็นจริงพบว่าการ

ปรับสัดส่วนน้ำกรองให้เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์นั้น เมื่อนำมาใช้ในการกรองน้ำ จากถังเพาะเลี้ยง *C. gracilis* จะทำให้น้ำทั้งหมดไหลผ่าน ใส้กรอง ไปโดย ไม่มี น้ำอีกส่วนไหลล้นขึ้น สู่อ่างน้ำเวียน ดังนั้นสัดส่วนน้ำที่ผ่าน ใส้กรองที่แท้จริงจึงเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และการกรองที่เกิดขึ้นในชุด การทดลอง 75:25 นี้จึงไม่ใช่การกรองแบบแบ่งส่วนแต่กลายเป็นการกรองโดยตรงทั้งหมดผ่าน ใส้กรอง

นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าการกรอง *C. gracilis* ทั้งหมดผ่าน ใส้กรองเมื่อ กำหนดสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 75:25 หรือในความเป็นจริงคือ 100:0 นั้น จะทำให้มีเซลล์ ของจุลสาหร่ายติดอยู่บน ใส้กรองประมาณ 38.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่เข้าเครื่อง กรอง ในขณะที่การกรองด้วย ระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 จะมีเซลล์ของจุลสาหร่ายติดอยู่บน ใส้กรองประมาณ 11.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับที่สัดส่วน 25:75 ที่มีปริมาณเซลล์ของจุลสาหร่ายติดอยู่บน ใส้กรองประมาณ 10.3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ คลอโรฟิลล์เอที่เข้าเครื่องกรอง โดยสาเหตุที่มีเซลล์ของ *C. gracilis* ติดอยู่บน ใส้กรองเป็นปริมาณ น้อยเมื่อใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนนั้นคาดว่า เป็นผลมาจากแรงเฉือนของน้ำที่ไหลอยู่รอบนอก ใส้ กรอง หรืออีกนัยหนึ่งคือแรงจากอัตราการไหลของน้ำเวียนที่ไหลออกทางช่องด้านบนของเครื่อง กรองกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ส่งผลให้อุณหภูมิของเซลล์บน ใส้กรองถูกพาไปกับน้ำมากกว่าจะติดอยู่ บนพื้นผิวของ ใส้กรอง ซึ่งต่างจากการใช้วิธีการกรองโดยตรงที่พบว่า มีเซลล์ของ *C. gracilis* ติดอยู่บน ใส้กรองมากกว่าวิธีการกรองแบบแบ่งส่วนประมาณ 3 เท่าตัว แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำทั้งหมดถูกบังคับ ให้ไหลผ่าน ใส้กรองไปจะส่งผลให้เกิดการสะสมของเซลล์บนพื้นผิว ใส้กรองมากกว่าเมื่อมีการแบ่ง น้ำส่วนหนึ่งเวียนกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ด้วยเหตุนี้ระบบกรองโดยตรงจึงสามารถเกิดการอุดตัน ของ ใส้กรองได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานในลักษณะของการกรองแบบแบ่งส่วน

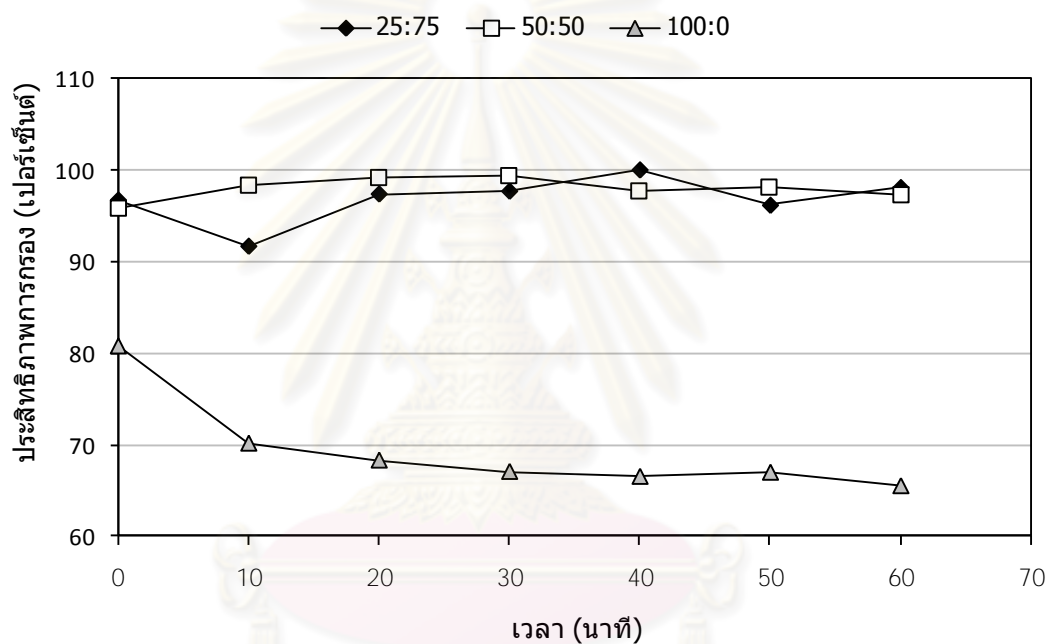
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 แล้วจะพบว่าภายในระยะเวลา 1 ชม. นั้น การปรับสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เท่ากับ 25:75 จะสามารถกรองน้ำออกมาได้เพียง 24 ลิตร จากปริมาณน้ำในถังเพาะเลี้ยง 200 ลิตร เนื่องจากค่าฟลักซ์หรือก็คือปริมาณน้ำที่ผ่าน พื้นผิว ใส้กรองต่อเวลานั้นมีค่าต่ำ เพราะปรับให้มิน้ำผ่าน ใส้กรองเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ น้ำเข้าทั้งหมด ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แยกได้มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกรองที่สัดส่วน อื่นๆ ในเวลาเท่ากัน แต่ถ้าทำการพิจารณาจุลสาหร่ายในน้ำแต่ละลิตรที่กรองได้จะพบว่าการใช้ สัดส่วนน้ำกรอง 25 เปอร์เซ็นต์นั้น จะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แยกได้มีค่าเท่ากับ 1.21 กรัม/ ลิตร จากความเข้มข้น 1.25 กรัม/ลิตรในถังเพาะเลี้ยง หรือคิดเป็น 96.8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ คลอโรฟิลล์เอต่อปริมาณน้ำที่ผ่าน ใส้กรอง ซึ่งใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้เมื่อใช้ สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 คือสามารถแยกคลอโรฟิลล์เอออกมาได้ 1.17 กรัม/ลิตร จาก ทั้งหมด 1.19 กรัม/ลิตร ในถังเพาะเลี้ยง หรือคิดเป็น 98.0 เปอร์เซ็นต์จากความเข้มข้นของ คลอโรฟิลล์เอในน้ำ และเมื่อพิจารณาผลจากการใช้สัดส่วนน้ำกรองที่ 100:0 แล้วจะพบว่าปริมาณ

คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำ ที่ผ่านการกรองนั้นมีค่าต่ำสุดคือแยกคลอโรฟิลล์ออกได้ 0.14 จาก 0.22 กรัม/ลิตร ของน้ำเข้า หรือคิดเป็น 63.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อ ปริมาตรน้ำ ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการกรองน้ำทั้งหมดผ่าน ใส้กรอง (กรองโดยตรง) แม้จะ สามารถกรองน้ำได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับการกรองแบบแบ่งส่วนในระยะเวลาเท่ากัน แต่ ประสิทธิภาพการแยกคลอโรฟิลล์เอหรือก็คือเซลล์ของจุลสาหร่ายในน้ำกลับมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจาก ใส้กรองที่ใช้ซึ่งมีเส้นใย ขนาดรูพรุน 30 ไมครอนนั้นยังไม่สามารถกั้น เซลล์ของ *C. gracilis* ทั้งหมดที่มีขนาดประมาณ 6 ไมครอนได้อย่างสมบูรณ์ การกรอง โดยตรงผ่าน ใส้กรอง 100 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เซลล์ของ *C. gracilis* หลุดรอดผ่านรูพรุนของ ใส้กรองไปได้มาก ต่างจากการ ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่เซลล์ของ *C. gracilis* ส่วนใหญ่จะถูกพาเวียนกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่าน ใส้กรองทุกๆ 10 นาที ทำให้พบว่าที่สัดส่วน น้ำกรอง 100 เปอร์เซ็นต์มีการหลุดรอดของเซลล์ จุลสาหร่ายผ่าน ใส้กรองไป ในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของน้ำกรองมีค่าสูงกว่าการกรองที่สัดส่วน น้ำกรองต่อ น้ำเวียน 25:75 และ 50:50 อย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำกรองที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

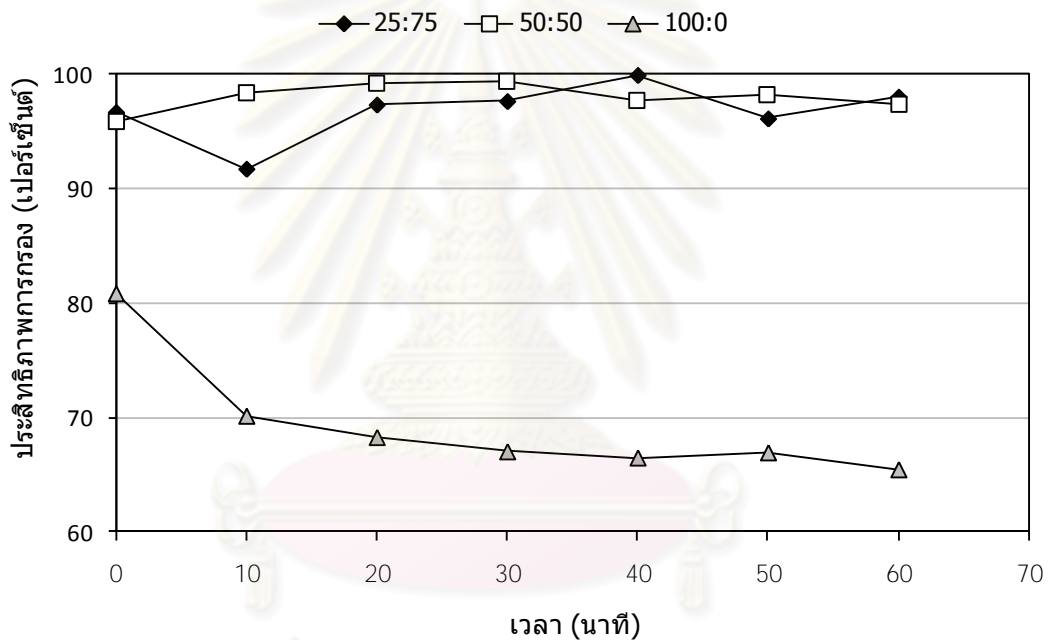
นอกจากนี้ในระหว่างทำการทดลองยังได้มี การตรวจวัดค่าฟลักซ์ทุก ๆ 10 นาทีตลอดระยะเวลาการกรอง ทำให้พบว่าการกำหนดสัดส่วนน้ำกรองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์นั้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วค่าฟลักซ์จะลดลงไปอยู่ที่ 276.6 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลงเหลือ 91.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์เริ่มต้น (รูปที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่ามีการอุดตันเกิดขึ้นบนไส้กรองและมีเซลล์บางส่วนที่หลุดรอดผ่าน ไส้กรองออกไปได้ ส่วนการกรองแบบ แบ่งส่วนนั้นพบการลดลงของ ค่าฟลักซ์เพียงเล็กน้อย คือเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากรองได้ 97.7 และ 96.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 และ 50:50 ตามลำดับ จึงสามารถใช้ไส้กรองไปได้เป็นระยะเวลา นานกว่า ก่อนที่จะต้องมีการล้างทำความสะอาดต่อไป



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

ในส่วนประสิทธิภาพการกรองเซลล์ *C. gracilis* นั้นได้ทำการตรวจวัด โดยการเปรียบเทียบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่กรองได้ ณ เวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาทีกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ กรองได้ในตอนเริ่มต้นของการทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยจะเห็นได้ว่าสภาวะ การกรองที่มีประสิทธิภาพคงที่ที่สุดคือ ที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน เท่ากับ 50:50 ส่วนที่สัดส่วน น้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 นั้นพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการทดลอง แต่ ยังคงมีประสิทธิภาพการกรองเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลา 60 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อ พิจารณาสภาวะการกรองที่ให้น้ำทั้งหมดไหลผ่านไส้กรองแล้วจะพบว่าประสิทธิภาพการกรองของ

ระบบมีค่าเริ่มต้นต่ำกว่าที่สภาวะการกรองอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 80.8 เปอร์เซ็นต์และลดลงเหลือ 70.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที จากนั้นจึงไปสิ้นสุดลงที่ 65.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งข้อมูลจากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิผลการกรองของระบบกรองโดยตรงนั้นมีค่าลดลงได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ประสิทธิภาพการกรองของระบบกรองแบบแบ่งส่วนมีค่าคงที่ได้ยาวนานกว่า หรืออีกนัยหนึ่งคือ มีเซลล์ของจุลสาหร่ายหลุดรอดออกไปได้น้อยกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการทำงานของระบบกรองแบบแบ่งส่วนจะช่วยให้น้ำส่วนหนึ่งในเครื่องกรองสามารถไหลออกทางช่องน้ำเวียนได้ น้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองจึงไม่ได้ถูกบังคับให้ไหลผ่านไส้กรองไปทั้งหมดเหมือนในระบบกรองโดยตรง ที่ส่งผลให้เซลล์ของจุลสาหร่ายถูกแรงขับเคลื่อนจากการไหลของน้ำจันทะลุผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้จำนวนหนึ่ง



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า สัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนของระบบการกรองแบบ แบ่งส่วน นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกรอง จุลสาหร่ายขนาดเล็กออกจากน้ำ ซึ่งแม้ว่าการกรองที่ สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน 75:25 (หรือในความเป็นจริงคือ 100:0) จะให้ค่าฟลักซ์ในการกรองมากที่สุด แต่กลับมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำสุด เนื่องจากมีเซลล์ของจุลสาหร่ายหลุดรอดออกมากับน้ำกรองเป็นปริมาณสูงกว่าการกรองที่สัดส่วนอื่นๆ ทั้งยังมีปริมาณเซลล์จุลสาหร่ายสะสมบนพื้นผิวไส้กรองมากที่สุดและยังเกิดการอุดตันได้เร็วที่สุดอีกด้วย ในขณะที่การกรองแบบ แบ่งส่วน ด้วยสัดส่วน น้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 นั้นพบว่ามีความฟลักซ์สูงกว่าที่สัดส่วน 25:75 มากกว่าเท่าตัว นอกจากนี้ เมื่อคิดประสิทธิภาพการกรองโดยรวมแล้ว จะพบว่าที่สัดส่วน 50:50 สามารถแยกคลอโรฟิลล์ เอหรือเซลล์ของ จุลสาหร่ายออกจากน้ำได้ เป็นปริมาณใกล้เคียงกับที่ สัดส่วน 25:75 แต่การกรองที่สัดส่วน 50:50 นั้นใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าเกือบ 3 เท่าตัว ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพการกรอง ของระบบกรองแบบ แบ่งส่วนก็คือ การปรับสัดส่วนน้ำขาออกจากเครื่อง กรองให้เหมาะสม ซึ่งในการทดลองชุดนี้พบว่า สัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 เป็นสภาวะการกรองที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพการกรองเซลล์ *C. gracilis* ได้สูงที่สุด

ทั้งนี้ในการทดลองยังได้มีการติดตั้งเครื่องวัดความดันไว้ที่วาล์วน้ำทั้งทางน้ำเข้าและทางน้ำออกจากเรือนกรองเพื่อตรวจวัดและปรับแรงดันของน้ำในส่วน ของน้ำกรอง และ น้ำเวียน แต่เนื่องจากแรงดัน ของน้ำที่ใช้ใน การทดลอง นี้มีค่าต่ำ จนไม่สามารถวัด ค่าความดัน ได้อย่างถูกต้อง และหากใช้แรงดันสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดการหลุดรอดของเซลล์จุลสาหร่ายผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้มาก ในการทดลองกรองจึงจำเป็นต้องใช้การปรับสัดส่วนด้วยอัตราการไหลของน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งสัดส่วนที่ระบุในงานวิจัยนี้ทั้งหมดเป็นสัดส่วนของน้ำที่ทำการวัดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และ สัดส่วนเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหลังทำการกรอง เนื่องจากค่าฟลักซ์ที่ลดลงจะมีผลให้สัดส่วนของน้ำกรองที่ผ่านไส้กรองลดลงตามไปด้วย

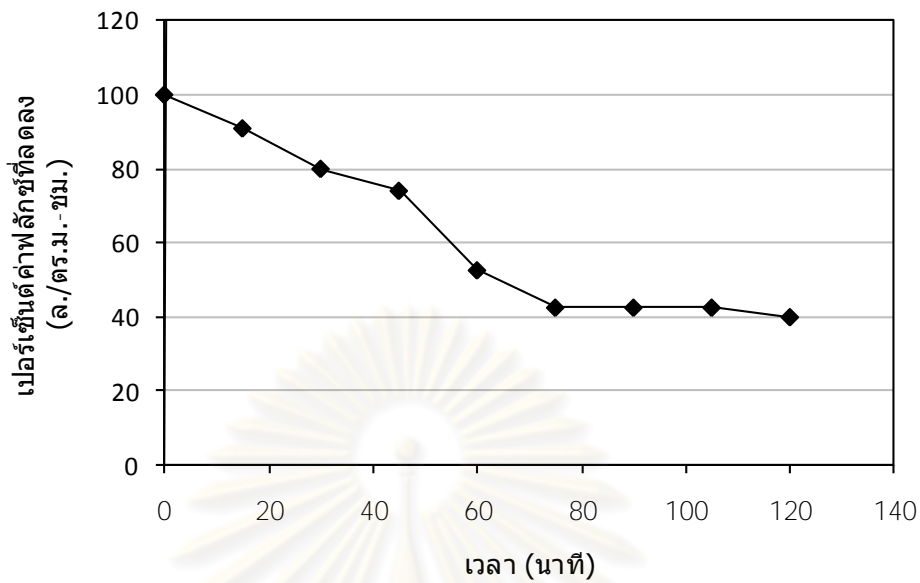
4.2.3 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อกำหนดให้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อเพิ่มความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองให้เท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที (2,206 ลิตร/ชม.) ซึ่งเร็วขึ้นประมาณสองเท่าตัวจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 โดยกำหนดสัดส่วนของน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้ เป็น 25:75 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การกรองไคอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็ว
น้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

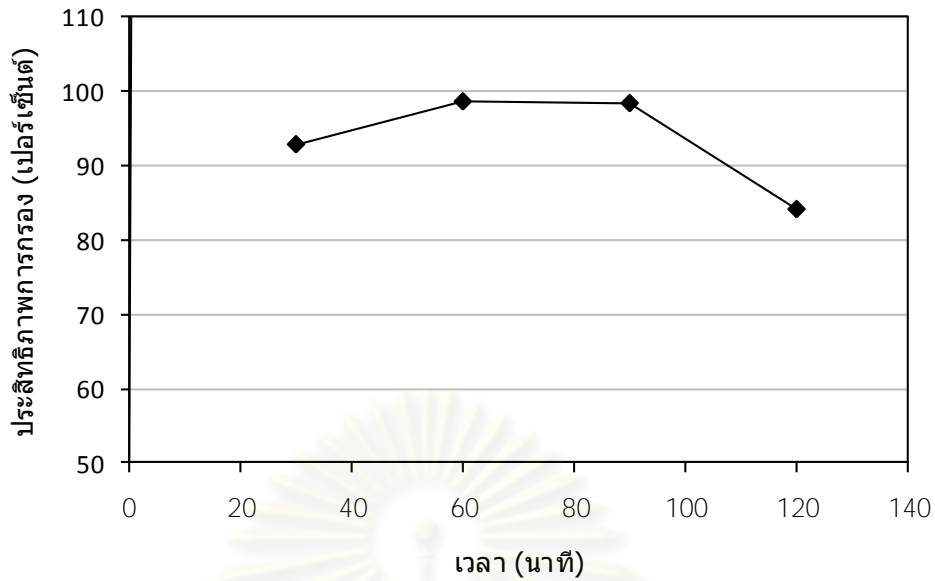
พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ค่าที่วัดได้
ปริมาณน้ำในถังเพาะเลี้ยง (ลิตร)	170
ปริมาณน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	105
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	225
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	90
สัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองที่แท้จริง (เปอร์เซ็นต์)	30
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	289.8
ค่าฟลักซ์ที่ 60 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	152.5
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 60 นาที	47.4
ค่าฟลักซ์ที่ 120 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	115.9
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 120 นาที	60.0
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดในถังจุลสาหร่ายก่อนการกรอง (มก.)	104.8
คลอโรฟิลล์ที่เหลือในถังจุลสาหร่ายหลังการกรอง (มก.)	42.0
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ออกไปกับน้ำกรอง (มก.)	4.1
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ติดอยู่บนไส้กรอง (มก.)	0.4
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์ที่ติดอยู่บนไส้กรอง	0.6
คลอโรฟิลล์เอในถังจุลสาหร่ายต่อปริมาตร (มก./ลิตร)	0.62
คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง (มก./ลิตร)	0.58
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง	93.6

ผลจากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเป็น 0.0016 เมตร/วินาทีจะทำให้ค่าฟลักซ์เริ่มต้นของการกรองมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 289.8 ลิตร/ตร.ม.-ชม. (จาก 78.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที หรือมีค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเกือบ 4 เท่าตัว) แต่เมื่อทำการกรอง *C. gracilis* ไปเป็นเวลา 60 นาที พบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้ลดลงมาอยู่ที่ 152.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลงเท่ากับ 47.4 เปอร์เซ็นต์จากค่าฟลักซ์เริ่มต้น จากนั้นค่าฟลักซ์จึงเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 75 นาที และลดลงเหลือ 56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วหน้า 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที

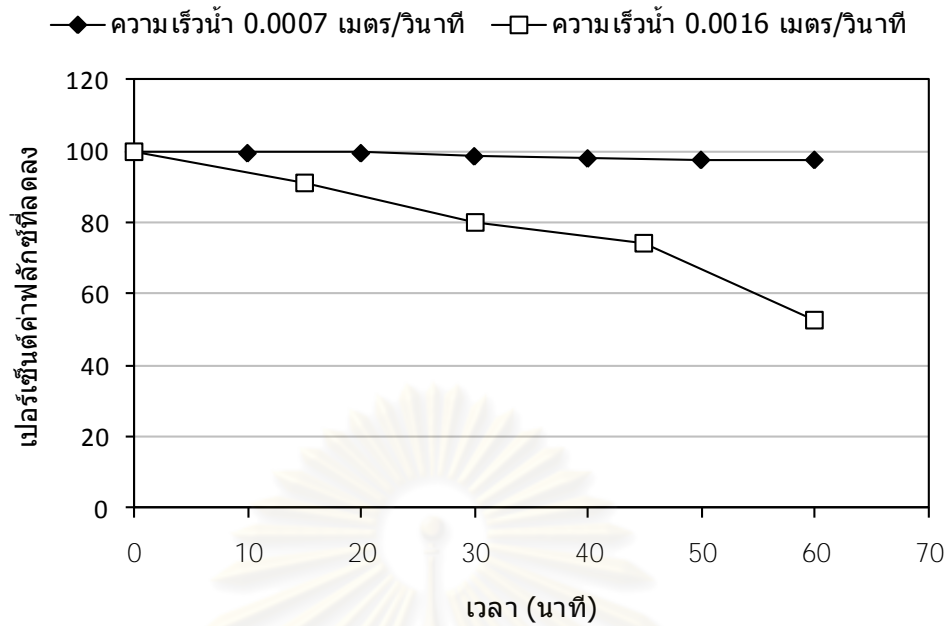
เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์ที่เริ่มคงที่ระหว่างกรรอน ณ เวลา 75 ถึง 120 นาทีนี้ แสดงให้เห็นถึงการคงตัวของสภาวะการอุดตันของ ใส้กรอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการสะสมของเซลล์ *C. gracilis* ที่ด้านบนพื้นผิวและที่ด้านในของตัวกรอง เนื่องจากเซลล์ของ *C. gracilis* มีขนาดเพียง 6 ไมโครเมตร ในขณะที่รูพรุนของ ใส้กรองที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดเท่ากับ 30 ไมครอน เซลล์ของ *C. gracilis* จึงอาจเกิดการสะสมตัวอยู่บนผิวของผนังรูพรุนของ ใส้กรองจึงก่อให้เกิดการอุดตันขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกรองมีค่าลดลงไปอยู่ที่ 84.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังผลการทดลองในรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงถึงการหลุดรอดของเซลล์จุลสาหร่ายออกมากับน้ำกรรอนเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการที่เซลล์ของ *C. gracilis* ถูกแรงผลักดันจากน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรรอน เป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เซลล์เหล่านี้ หลุดรอดผ่านรูพรุนของ ใส้กรองออกมากับน้ำกรรอน



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ของคลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บน ใส้กรองเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาทีนั้นมีค่าเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่คลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บน ใส้กรองเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที มีค่าเท่ากับ 10.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากแรงเฉือนของน้ำบนพื้นผิว ใส้กรองที่ก่อให้เกิดการชะเซลล์ *C. gracilis* ที่สะสมอยู่ให้ออกไปกับน้ำ โดยความแตกต่างนี้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่มีต่อการสะสมตัวของเซลล์จุลสาหร่าย บนใส้กรอง อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ยังชี้ให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์เอที่หลุดออกไปกับน้ำที่ความเร็ว 0.0016 เมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าที่ 0.0007 เมตร/วินาที (เท่ากับ 4.1 และ 0.95 มก. ตามลำดับ) จึงเป็นไปได้ว่าความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการปลดปล่อยเซลล์จุลสาหร่ายให้ออกไปกับน้ำกรองเช่นกัน อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีค่าไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรองแล้วจะพบว่าที่ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาทีนั้นสามารถแยกเซลล์ *C. gracilis* ออกไปได้เท่ากับ 93.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที ที่สามารถแยกคลอโรฟิลล์เอออกไปได้เท่ากับ 96.8 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 60 นาทีของความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองทั้ง 2 ค่าแล้วจะพบว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาที มีแนวโน้มลดลงรวดเร็วกว่าที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที ซึ่งยังคงมีแนวโน้มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าความเร็วของน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทั้งต่อแรงเสียดทานบนพื้นผิวของไส้กรองและต่อแรงผลักดันที่ให้น้ำผ่าน ไส้กรองไป การลดลงของค่าฟลักซ์นี้จึงอาจเป็นผลมาจากการสะสมของเซลล์ *C. gracilis* ภายในรูพรุนของไส้กรองมากกว่าการสะสมบนพื้นผิว และเป็นไปได้ว่าแรงดันจากความเร็วของน้ำได้ทำให้เซลล์ของ *C. gracilis* หลุดออกไปกับน้ำกรองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการกรองแบบแบ่งส่วนในการทดลอง นี้เป็นการใช้ไส้กรองเส้นใยที่มีราคาไม่แพง โดยได้ตัดแปลงจาก ไส้กรองตะกอนของเครื่องกรองน้ำดื่มที่ใช้กันในครัวเรือน ทัวไป ซึ่งตามปกติไส้กรองที่มีรูพรุนขนาด 30 ไมครอนนี้จะไม่สามารถใช้กรองเซลล์จุลสาหร่ายที่มีขนาดเล็กเช่น *C. gracilis* ได้ เพราะหากใช้การกรองโดยตรงจะทำให้เกิดการหลุดรอดของเซลล์ผ่านรูพรุนไปมากซึ่งเป็นสิ่งที่พบในการทดลองที่ 4.2.2 และเมื่อเปรียบเทียบระบบกรอง ชุดนี้กับการทดลองของ Morineau-Thomas และคณะ (2001) ที่ได้ใช้ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันแบบแบ่งส่วนร่วมกับเยื่อกรอง Polyvinylidene difluoride (PVDF) รวมทั้งทำการปรับปรุงลักษณะการไหลของของเหลวภายในเครื่องกรองเพื่อลดการสะสมของอนุภาคสารบนเยื่อกรอง ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาฟลักซ์ของระบบ แม้จะสามารถลดการทับถมของอนุภาคสารบนพื้นผิวเยื่อกรองและเพิ่มค่า ฟลักซ์ในการกรองได้ แต่ก็มีความยุ่งยากในการใช้งานสูง เนื่องจากต้องใช้ความรู้ในเรื่องการไหลของของเหลวและการออกแบบเครื่องกรองที่มีลักษณะเฉพาะตัว นอกจากนี้แล้วยังพบว่า การใช้ เยื่อ กรอง Polyacrylonitrile ร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดย Rossignol และคณะ (1999) ในการกรองจุลสาหร่าย *Haslea ostrearia* และ *Skeletonema costatum* แม้จะมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อ เติมนระบบ

โดยใช้ความดันและความเร็วต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรวดกรอง ในงานวิจัยนี้แล้วจะพบว่าการใช้ไส้กรองเส้นใยขนาด 30 ไมครอนมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ากันมาก เนื่องจากไส้กรองเส้นใยนี้ทำจากวัสดุที่มีราคาไม่แพง ต่างจากเยื่อกรอง Polyvinylidene difluoride และ Polyacrylonitrile ที่มีราคาสูงกว่า ทั้งยังหาซื้อได้ยาก จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรในประเทศไทยซึ่งต้องการระบบบำบัดที่ใช้งานได้ง่ายและมีราคาไม่แพง ดังนั้นการใช้ไส้กรองเส้นใยร่วมกับเครื่องกรองน้ำที่มีการปรับปรุงอย่างง่ายให้เป็นระบบกรองแบบแบ่งส่วนจึงถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการนำไปใช้บำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในอนาคต

4.3 การประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้งระบบปิด

การทดลองนี้เป็นการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยงกุ้งออกจากน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลสาหร่ายรวมทั้งปริมาณและลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ตลอดจนติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลที่เกิดขึ้นหลังทำการกรองแต่ละครั้ง ซึ่งกุ้ง 2 ชนิดนี้มีรูปแบบการเจริญในถังเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน โดยกุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำที่บริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหาร ในขณะที่กุ้งกุลาดำจะอาศัยอยู่ที่พื้นของถังเพาะเลี้ยงและไม่บริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหาร ดังนั้นการทำการทดลองกับถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำเปรียบเทียบกันจึงเป็นการศึกษาผลกระทบของชนิดกุ้งต่อปริมาณและประเภทของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้น ตลอดจนเป็นการศึกษาปริมาณและความหนาแน่นของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยงแต่ละถัง ชุดการทดลองประกอบด้วยถังเพาะเลี้ยงขนาด 500 ลิตร จำนวน 5 ถัง ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู ทำการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.46 ± 0.91 กรัม และกุ้งกุลาดำที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 12.64 ± 2.96 กรัม โดยทุกถังเพาะเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. แบ่งเป็นถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำอย่างละ 2 ถัง และมีถังควบคุมซึ่งเป็นถังที่มีการใส่อาหารแต่ไม่มีการเลี้ยงกุ้ง ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ปริมาณการให้อาหารกุ้งในแต่ละวัน จะเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวมของกุ้งในถังเพาะเลี้ยง (สำหรับถังควบคุมคือน้ำหนักกุ้งจากความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. และการให้อาหารจะพิจารณาจากอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำ)

4.3.1 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้กรองตะกอนในถังเลี้ยงกุ้ง

การกรองจุลสารหยาบและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งเป็นการทดสอบการใช้งานไส้กรองเป็นระยะเวลาติดต่อกันยาวนานหลายชั่วโมง เพื่อติดตามการลดลงของค่าฟลักซ์และระยะเวลาการทำงานของไส้กรองก่อนต้องมีการล้างทำความสะอาด และการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นการติดตามการลดลงของค่าฟลักซ์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการกรอง โดยในการทดลองช่วงที่ 2 นี้จะใช้ระยะเวลาในการกรองสั้นกว่าการทดลองช่วงที่ 1 และมีการวัดค่าฟลักซ์โดยละเอียดตลอดเวลา ซึ่งในการทดลองทั้ง 2 ช่วงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองระหว่างความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ตลอดจนมีการวัดปริมาณอนุภาคสารแขวนลอยที่ถูกแยกออกไปจากถังเลี้ยงกุ้ง

- การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

จากการทดลองกรองจุลสารหยาบและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 ในวันที่ 16 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยสูบน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งมาใส่ในถังพักก่อนทำการทดลองกรอง พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 12:88 และใช้ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที จะใช้เวลาทั้งหมด 720 นาที ในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตร โดยค่าฟลักซ์ได้ลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าเริ่มต้นที่ 95.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ไปอยู่ที่ 39.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หลังเวลาผ่านไป 180 นาที จึงได้มีการปรับสัดส่วนน้ำกรองให้มีน้ำไหลผ่านไส้กรองมากขึ้น จาก สัดส่วน 6:94 เป็น 10:90 ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 60.4 ลิตร/ตร.ม.-ชม. อย่างไรก็ตามพบว่าค่าฟลักซ์ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องแม้จะมีการปรับสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 18:82 และยังทำให้น้ำผ่านไส้กรองมีสีเข้มขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากแรงดันที่ทำให้จุลสารหยาบในน้ำ หลุดรอดผ่านไส้กรองออกมา และเมื่อเวลาผ่านไป 360 นาที พบว่าค่าฟลักซ์ลดลงไปอยู่ที่ 9.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลง 90 เปอร์เซ็นต์จากค่าฟลักซ์เริ่มต้น จากนั้นจึงได้มีการทำความสะอาดไส้กรองโดยนำมาล้างตะกอนออกด้วยน้ำสะอาด แล้วนำมาใช้กรองต่อเนื่องจากเดิมแต่ปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เพิ่มขึ้นเป็น 15:85 พบว่าค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 78.6 ลิตร/ตร.ม.-ชม. จากนั้นจึงลดลงอย่างต่อเนื่องและไปสิ้นสุดลงที่ 14.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อเวลาผ่านไป 720 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	12:88	15:85	22:78	15:85	9:91	14:86
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	208.3	204.1	209.8	382.2	480.0	400.0
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	29.7	35.7	57.5	71.1	46.8	63.5
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	95.5	114.9	185.0	228.9	150.8	204.6
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	14.5	35.9	128.3	16.7	15.4	29.5
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	84.6	68.8	30.7	92.7	89.7	85.6
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	720*	300	180	90**	300	180

* มีการล้างไส้กรองหนึ่งครั้งหลังผ่านไป 360 นาที

** เกิดการอุดตันจนไม่สามารถกรองต่อได้อีก

การทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 2 ในวันที่ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 15:85 และใช้ไส้กรองอันเดิมจากการกรองครั้งที่ 1 ที่มีการล้างทำความสะอาดให้ดียิ่งขึ้นด้วยการใช้น้ำฉีดล้างเศษตะกอนที่ติดอยู่ออกไปจนหมด พบว่าทำให้ค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 114.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ก่อนจะลดลงเหลือ 35.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลง 68.8 เปอร์เซ็นต์ หลังทำการกรองเป็นระยะเวลา 300 นาที และเมื่อทำการทดลองกรองครั้งที่ 3 ในวันที่ 41 ของการทดลอง โดยใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 22:78 พบว่าค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 185.1 ลิตร/ตร.ม.-ชม. และลดลงไปอยู่ที่ 128.3 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลง 30.7 เปอร์เซ็นต์ หลังเวลาผ่านไป 180 นาที ซึ่งระยะเวลาการกรองในทั้ง 3 การทดลองนี้ใช้ปริมาณน้ำเป็นตัวกำหนด คือเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตรจากถังเลี้ยงกุ้งขาว โดยจะเห็นได้ว่าไส้กรองชนิด ไส้ขนาดรูพรุน 30 ไมครอนนี้สามารถนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้งและให้ค่าฟลักซ์ในระดับที่ดี นอกจากนี้การเพิ่มค่าฟลักซ์ยังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง ทำให้ค่าฟลักซ์ในการทดลองยังไม่ลดต่ำลงจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำการกรองได้ เช่นเดียวกับเมื่อทำการทดลองโดยใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0016 เมตร/วินาที ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.3

ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวในตารางที่ 4.3 เป็นแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองและเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงเมื่อสิ้นสุดการ

ทดลอง ทั้งนี้พบว่าค่าฟลักซ์ของความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0016 เมตร/วินาที จะมีอัตราเร็วในการลดลงมากกว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที ในทุกครั้งที่ทำการกรอง โดยเฉพาะในการกรองบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการใช้งานไส้กรองก่อนเกิดการอุดตันจะพบว่าเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที จะสามารถใช้ไส้กรองไปได้เป็นระยะเวลา 360 นาทีก่อนจะต้องมีการล้างทำความสะอาด ในขณะที่ไส้กรองที่ใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที สามารถใช้งานไปได้เพียง 90 นาทีก่อนจะเกิดการอุดตันจนไม่สามารถทำการกรองต่อไปได้

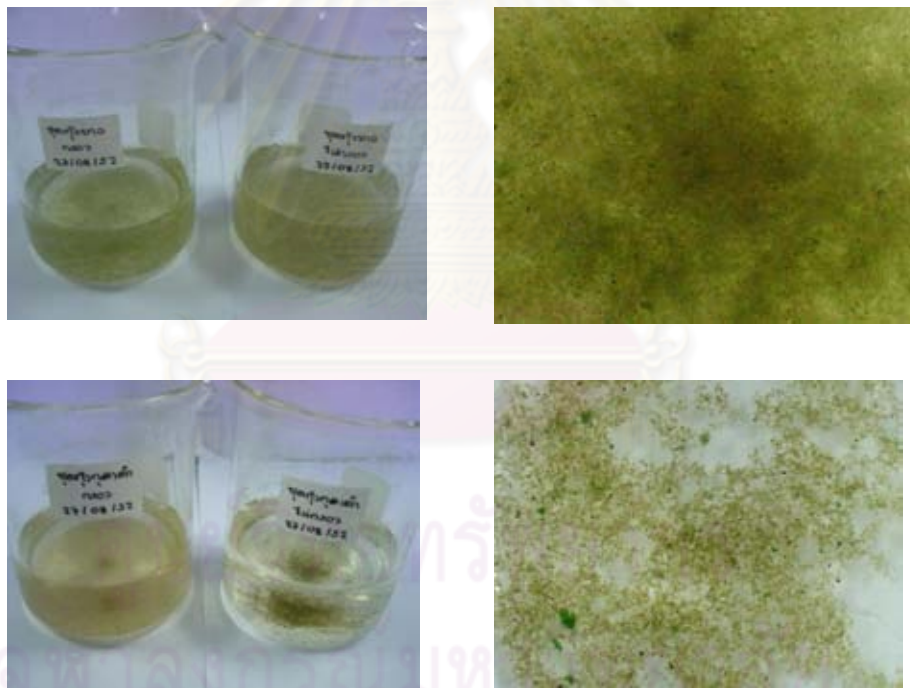
ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่น จาก 12:88 เป็น 22:78 จะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการกรองลงได้มาก (จาก 720 นาที เหลือ 300 นาที) และจะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่าฟลักซ์ (หรือการเพิ่มสัดส่วนของน้ำที่ผ่าน ไส้กรอง) ขึ้นหนึ่งเท่าตัว จะช่วยลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการกรองลงไปได้ถึง 4 เท่า คือลดลงจาก 720 นาที เหลือ 180 นาทีในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตร

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะพบว่าการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าถังเลี้ยงกุ้งขาวมาก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน โดยอนุภาคสารแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะเกาะกันเป็นกลุ่มในลักษณะที่ไม่หนาแน่นมากนัก ในขณะที่อนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีความฟุ้งกระจายมากกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าอนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งความแตกต่างของอนุภาคสารแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดนี้ส่งผลต่อการอุดตันของไส้กรองและคุณภาพของน้ำกรองอย่างมาก เนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ฟุ้งกระจายในถังเลี้ยงกุ้งขาวสามารถก่อให้เกิดการอุดตันในไส้กรองและการหลุดรอดของอนุภาคผ่านไส้กรองได้มากกว่าอนุภาคสารที่เกาะตัวกันในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ การปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนจากถังเลี้ยงกุ้งขาวจึงต้องกำหนดให้มีปริมาณน้ำผ่านไส้กรอง (หรือก็คือค่าฟลักซ์) น้อยกว่าที่ใช้ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้หลุดรอดออกไปกับน้ำกรองได้มากเกินไป จึงกล่าวได้ว่าความแตกต่างของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกาะตัวกันในน้ำ จากถังเลี้ยงกุ้งต่างชนิดจะมีผลต่อการเลือกใช้สัดส่วนการกรองที่เหมาะสม หากสารแขวนลอยมีการเกาะตัวกันแน่นเป็นกลุ่มก้อนจะช่วยให้สามารถกรองของแข็งแขวนลอยเหล่านั้นออกไปจากระบบเพาะเลี้ยง ได้ง่ายกว่าอนุภาคที่อยู่ในลักษณะกระจายตัว ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2

ตารางที่ 4.4 การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยระบบ

กรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	13:87	22:78	35:65	12:88	21:79	23:77
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	204.1	204.1	184.0	454.5	441.2	384.6
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	31.6	58.8	98.0	60.4	118.6	117.2
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	101.7	189.4	315.7	194.3	381.8	377.3
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	74.5	153.1	257.6	66.3	106.3	302.8
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	26.7	19.2	18.4	65.9	72.2	19.7
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	240	120	60	240	120	60



รูปที่ 4.13 อนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งขาว (บน) และจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง)

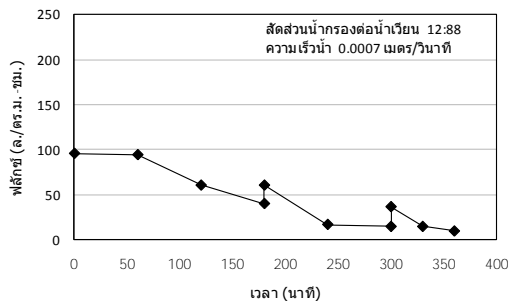
ในส่วนของการลดลงของค่าฟลักซ์ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.14 และ 4.15 จะพบว่า ค่าฟลักซ์ที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที จะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์ที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที โดยเฉพาะเมื่อปรับให้มีสัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองมากขึ้น

จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์มีอัตราการลดลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งตรงกับที่ Koltuniewicz และคณะ (1995) ได้กล่าวไว้ว่าความเร็วน้ำเข้าจะมีผลต่อค่าฟลักซ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ความดันระหว่างเยื่อกรอง (Transmembrane pressure) ที่สูงขึ้น ส่วนการทดลองกรองน้ำด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที พบว่าค่าฟลักซ์จะลดลงในอัตราค่อนข้างคงที่ และเมื่อถึงจุดหนึ่งค่าฟลักซ์จะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว

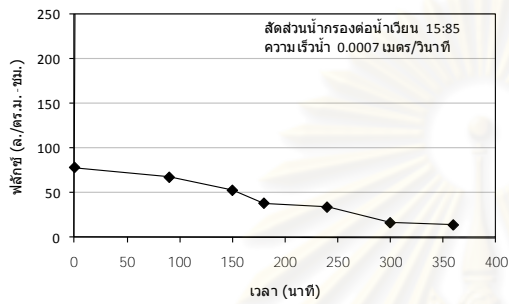
จากการทดลองกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำช่วงที่ 1 จะเห็นได้ว่าไส้กรองเส้นใย ขนาดรูพรุน 30 ไมครอนสามารถนำมาใช้กรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งได้เป็นระยะเวลาสูงสุด 360 นาที ก่อนต้องมีการล้างทำความสะอาด และในการทดลอง นี้ได้ใช้งานไส้กรองสูงสุดเป็น ระยะเวลาทั้งหมด 1,200 นาที โดยทำการล้างไส้กรองทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งพบว่าไส้กรองสามารถกรองน้ำได้ดี และยังคงให้ค่าฟลักซ์ที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก



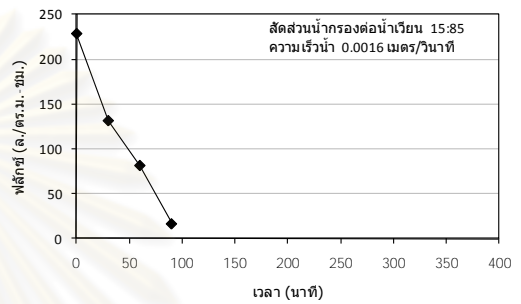
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



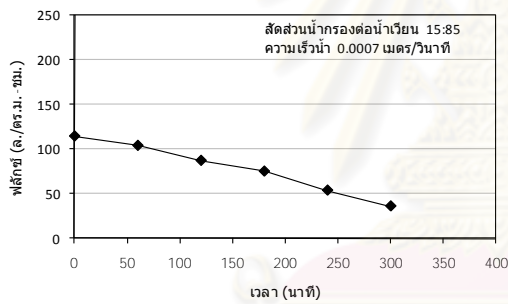
(ก)



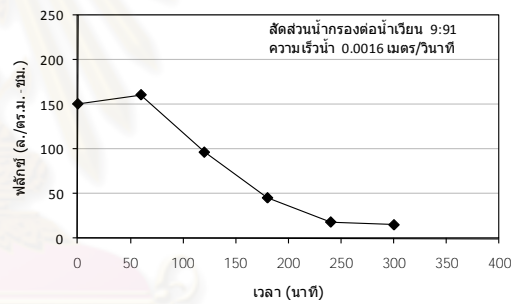
(ข)



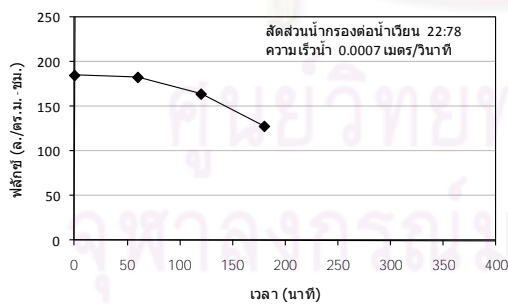
(ค)



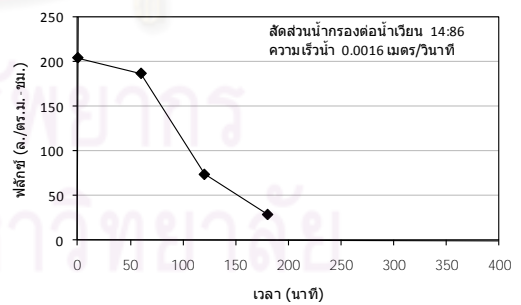
(ง)



(จ)

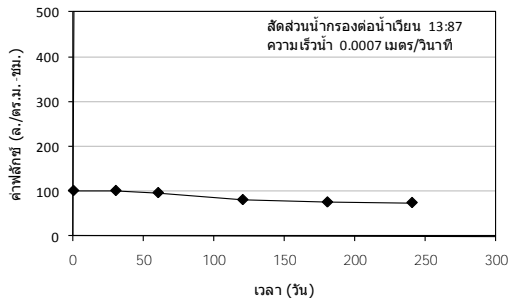


(ฉ)

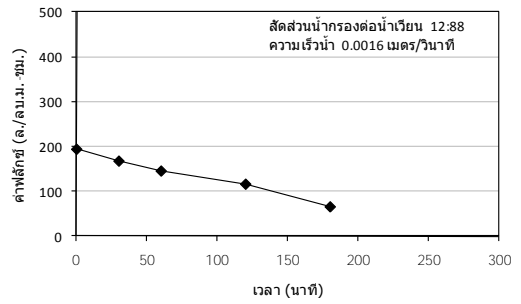


(ช)

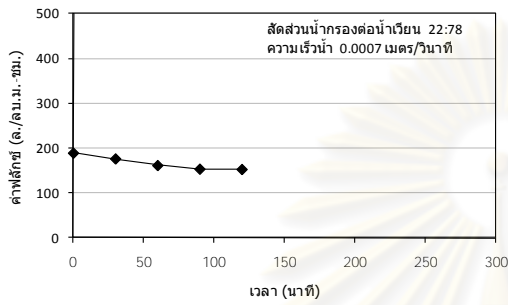
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาว ในวันที่ 16 (ก ข และ ค) วันที่ 19 (ง และ จ) และวันที่ 41 (ฉ และ ช) ของการเลี้ยงกุ้ง



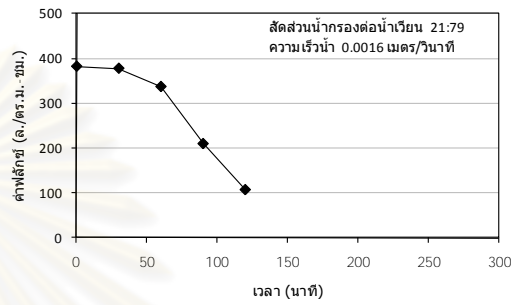
(ก)



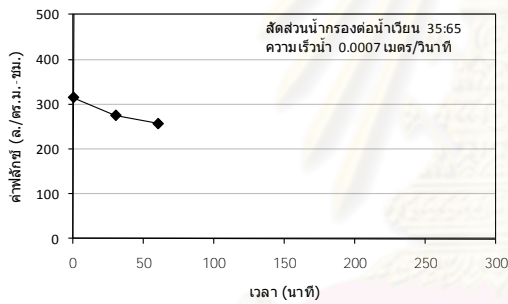
(ข)



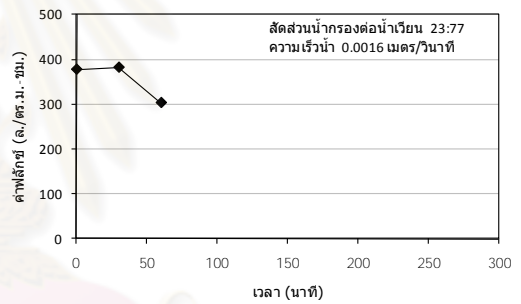
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในวันที่ 23 (ก และ ข) วันที่ 42 (ค และ ง) และวันที่ 43 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง

- อนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

จากการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากถังเลี้ยงกุ้งพบว่าในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 (วันที่ 16 และ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง) สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกมาได้ 22.7 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าผลจากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกมาได้ถึง 69.5 เปอร์เซ็นต์ในการกรองครั้งที่ 1 และ 76.6 เปอร์เซ็นต์ในการกรองครั้งที่ 2 (วันที่ 23 และ 42 ของการเลี้ยงกุ้ง) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมใน ถังเลี้ยงกุ้งขาวยังคงมีค่าใกล้เคียงกับก่อนการกรองครั้งแรกแม้จะทำการกรองไปแล้วถึง 2 ครั้ง (ดังแสดงในตารางที่ 4.5)

แสดงให้เห็นว่ายังคงมีอนุภาคสารแขวนลอยเหลืออยู่ในระบบเป็นปริมาณมาก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาว 19 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อพิจารณาจากวันที่ทำการทดลองกรองครั้งที่ 1) แต่เมื่อทำการกรองผ่านไป 2 ครั้งพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก ซึ่งใช้ในการทดลองกรองของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าลดลงจาก 21,500 มก. ในวันแรกที่ทำการกรองเหลือ 11,500 มก. หรือลดลง 46.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่าลักษณะที่แตกต่างกันของอนุภาคในถังเลี้ยงกุ้งมีผลต่อประสิทธิภาพการแยกตะกอนแขวนลอยเหล่านี้ออกจากรูน้ำ

ปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่ที่ก้นถังพัก (ซึ่งเครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำขึ้นมาได้อีก) คือส่วนของอนุภาคของแข็งเข้มข้นที่จะถูกแยกออกไปจากระบบ โดยในถังเลี้ยงกุ้งขาวได้ทำการแยกอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นออกไปเป็นปริมาตรทั้งหมด 42.5 ลิตร จากการกรองทั้งสิ้น 3 ครั้ง และสามารถแยกเอาของแข็งแขวนลอยออกไปได้ทั้งหมด 18,255 มก. ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำสามารถแยกอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นออกไปได้เป็นปริมาตร 42.5 ลิตรเช่นกัน แต่สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกไปได้ถึง 38,425 มก. หรือมากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งขาว 52.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์	ถังเลี้ยงกุ้งขาว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	17,400	15,000	17,500
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	3,955	3,520	10,780
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	17.5	11	14
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	22.7	23.5	61.6
พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์	ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	21,500	25,000	11,500
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	14,950	19,140	4,335
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	23	11	8.5
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	69.5	76.6	37.7

- การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งในช่วงที่ 2 จะมีการตรวจวัดค่าฟลักซ์โดยละเอียดเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการกรอง ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 โดยได้ทำการกรองเปรียบเทียบทั้งความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที และศึกษาสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียน นในช่วง 20:80 ถึง 45:55 ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองได้ทำการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งเป็นปริมาตรเท่ากัน คือสูบน้ำ ปริมาตร 150 ลิตรมาไว้ในถังพักก่อนทำการกรอง และดำเนินการกรองไปจนกระทั่งเครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำที่เหลืออยู่ในถังพักได้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	35:65	40:60	45:55	20:80	25:75	25:75
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	174.4	167.1	142.5	659.3	618.5	645.2
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	90.9	109.1	114.1	157.9	218.9	229.0
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	292.7	351.2	367.3	508.4	705.1	737.4
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	172.5	281.6	299.9	66.6	453.5	182.9
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	41.1	19.8	18.3	86.9	35.7	75.2
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	177	147	140	155	75	95

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่า ด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	40:60	40:60	40:60	20:80	30:70	30:70
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	110.5	178.0	160.0	681.8	480.0	638.3
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	82.6	107.9	121.5	184.0	217.4	240.0
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	266.1	347.5	391.1	592.6	772.7	772.7
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	249.6	328.5	302.8	418.1	715.5	705.1
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	6.2	5.4	22.6	29.4	7.4	8.7
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาท)	165	135	133	80	60	60

ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเร็ว น้ำ 0.0007 เมตร/วินาที โดยใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน 45:55 พบว่าตรวจวัดค่าฟลักซ์เริ่มต้น ได้ เท่ากับ 367.3 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ในขณะที่การใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที จะวัดค่าฟลักซ์ เริ่มต้นได้เท่ากับ 737.4 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 ซึ่งค่าฟลักซ์ที่สูง กว่าเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที สามารถพบได้ทั้งในการกรองถึง เลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่า แม้จะใช้สัดส่วนน้ำกรองต่ำกว่าที่ 0.0007 เมตร/วินาที แต่อย่างไรก็ ตาม ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวพบความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0016 เมตร/วินาที จะทำให้ค่าฟลักซ์ ลดลงอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 4.18) โดยตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนคือเมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรอง ต่อน้ำเวียนที่ 20:80 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์ต่อเวลาจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วง ระหว่างนาทที่ 60 ถึงนาทที่ 100 จากนั้นค่าฟลักซ์จึงค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างนาทที่ 100 ถึง นาทที่ 155 ซึ่งเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์ต่อเวลาที่พบได้ทั่วไป และมักเกิดขึ้นจา กการอุดตันของตัวกรอง (Field และคณะ, 1995) ส่วนการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 5 และครั้ง ที่ 6 โดยใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้จะยังคงอยู่ในช่วงของ การลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ยังไม่เข้าสู่ช่วงของการค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งคาดว่าน่าจะต้องใช้ เวลาเกินกว่า 100 นาทขึ้นไปที่จะทำให้การลดลงของค่าฟลักซ์เริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว เนื่องจากการ กรองทั้ง 2 ครั้งนี้ใช้เวลาเพียง 75 และ 95 นาท ในการกรองน้ำปริมาตร 150 ลิตร ตามลำดับ

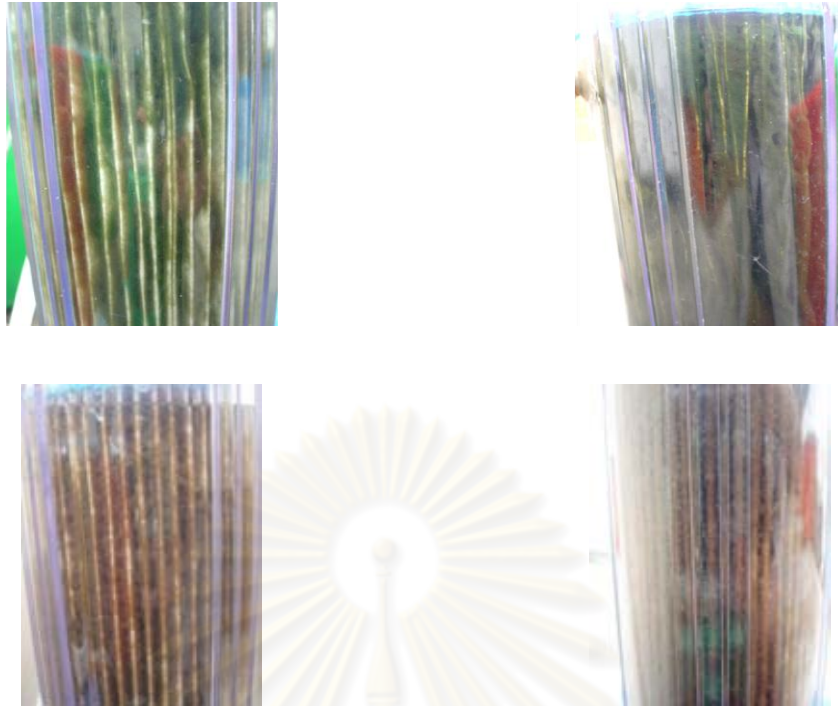
ในส่วนของการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที พบว่าค่า ฟลักซ์ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาไม่มากนัก โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับผลการลดลงอย่าง

เห็นได้ชัดที่ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที และจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงจากการกรองด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที จะมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงเมื่อใช้ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาที ยกเว้นกรณีของสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 35:65 ที่พบว่าค่าฟลักซ์มีค่าลดลงเท่ากับ 41.1 เปอร์เซ็นต์ โดยคาดว่าเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยซึ่งยังคงมีปริมาณมากในถังเพาะเลี้ยง ทำให้ไส้กรองเกิดการอุดตันขึ้นเร็วกว่าการกรองในครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 ซึ่งรายละเอียดของอนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้จะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าค่าฟลักซ์ทั้งที่ความเร็ว 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ไม่ได้มีค่าลดลงตามเวลามากนัก (ดังแสดงในรูปที่ 4.19) โดยพบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 5.4 ถึง 29.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าเกิดจากลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่แตกต่างกันระหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่อย่างไรก็ตาม การทดลองในช่วงที่ 2 นี้ได้ดำเนินการหลังผ่านการเพาะเลี้ยงกุ้งมาแล้ว 2 เดือน ซึ่งจุลสาหร่ายและลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่พบในช่วงเวลานี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4.16) และยังพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวมีปริมาณมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอนุภาคสารบนพื้นผิวไส้กรองและอาจก่อให้เกิดชั้นเค้ก (Cake layer formation) บนไส้กรอง ซึ่งจะเพิ่มแรงต้านทานต่อการกรองให้สูงขึ้น เนื่องจากแรงต้านทานในการกรองจะมาจากทั้งตัวกรองและจากชั้นเค้กที่ก่อตัวขึ้นระหว่างการกรอง (Huang และ Morrissey, 1998) โดยลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่สะสมตัวบนพื้นผิวไส้กรองในการทดลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.17



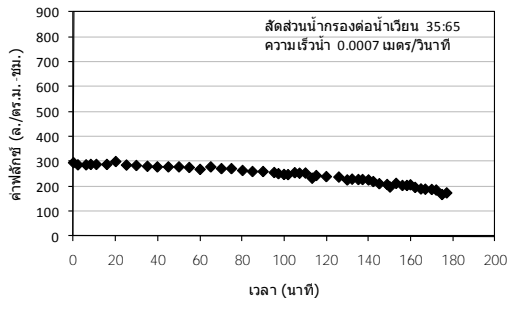
รูปที่ 4.16 รูปถ่ายเปรียบเทียบระหว่างน้ำกรองและน้ำที่มีอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นจากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาว (ซ้าย) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ขวา)



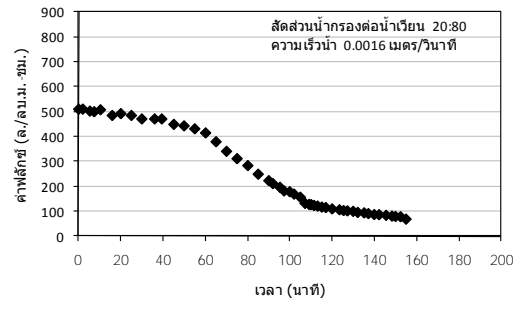
รูปที่ 4.17 รูปถ่ายการสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยบนพื้นผิวไส้กรองในการกรอง
ถังเลี้ยงกุ้งขาว (บน) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง)

การสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยบนพื้นผิวไส้กรองจากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่า การกรองน้ำ จากถังเลี้ยงกุ้งขาวจะก่อให้เกิดการสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยขึ้นอย่าง หนาแน่น และบีบอัดตัวกันอยู่ระหว่างแผ่นจีบของไส้กรอง ในขณะที่การสะสมตัวของอนุภาคสาร แขวนลอยจากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะเกิดขึ้นอย่างเบาบางกว่า และไม่เกิดการบีบอัดกัน ระหว่างรอยจีบของไส้กรองอย่างที่เกิดขึ้นในกรณีของถังเลี้ยงกุ้งขาว

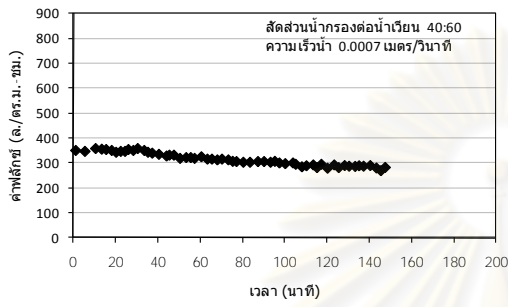
ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองระหว่างการใช้ความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที รวมทั้งการทดลองกรองน้ำที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนค่าต่างๆ กัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวคือที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/ วินาที และใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 40:60 หรือ 45:55 เนื่องจากสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน ทั้ง 2 ค่านี้ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือตรวจพบค่าฟลักซ์ลดลง 19.8 และ 18.3 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งใช้เวลาในการกรอง 147 และ 140 นาที ตามลำดับ ในส่วนของการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้ง กุลาดำพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที และใช้สัดส่วน น้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 30:70 เนื่องจากสามารถกรองน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/ วินาที ประมาณหนึ่งเท่าตัว และตรวจพบค่าฟลักซ์ลดลงเพียง 7.4 ถึง 8.7 เปอร์เซ็นต์



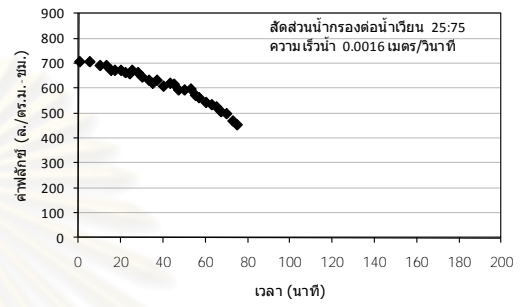
(ก)



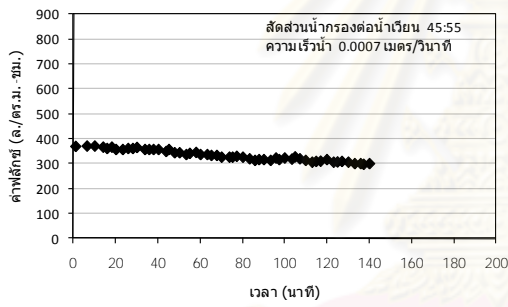
(ข)



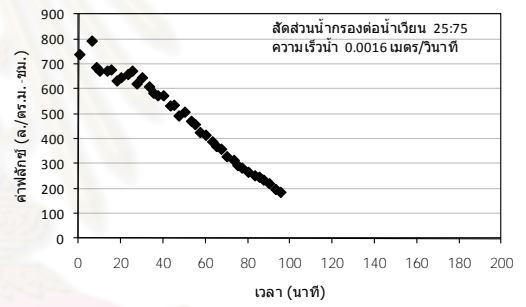
(ค)



(ง)



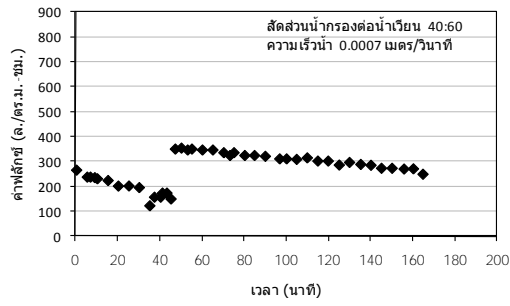
(จ)



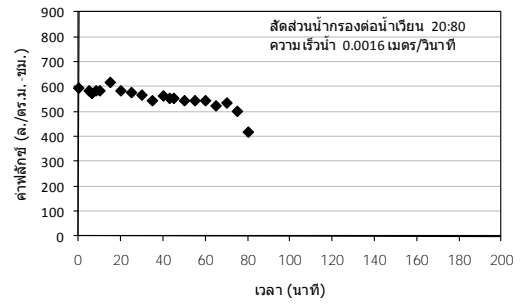
(ฉ)

รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาว
ในวันที่ 74 (ก และ ข) วันที่ 81 (ค และ ง) และวันที่ 92 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง

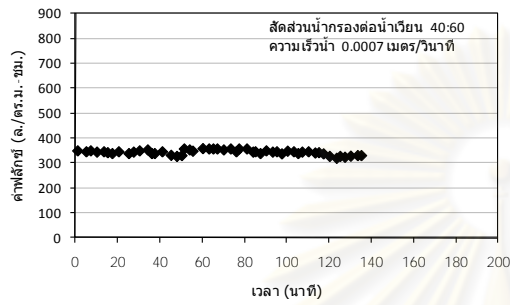
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



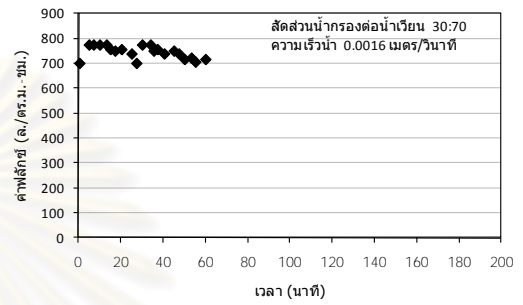
(ก)



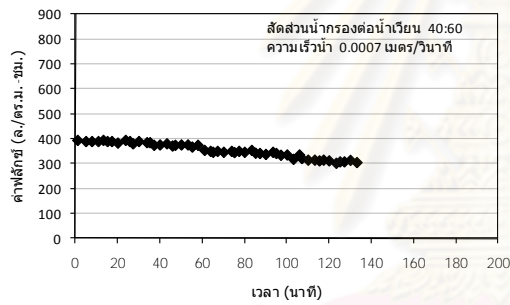
(ข)



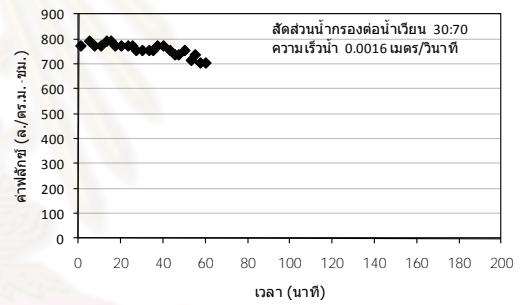
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
ในวันที่ 75 (ก และ ข) วันที่ 82 (ค และ ง) และวันที่ 93 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- อนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่กรองแยกจากถังเลี้ยงกุ้งในช่วงที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพการแยกที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 และ 4.9 โดยพบว่าจากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้งหมด 3 ครั้ง สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกได้ทั้งหมด 34,215.5 มก. ส่วนการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 3 ครั้ง สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกได้ 22,840 มก. ซึ่งเมื่อรวมกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองในช่วงที่ 1 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่แยกออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีค่าเท่ากับ 52,470.5 มก. และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่แยกออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะมีค่าเท่ากับ 61,265 มก. จากการกรองทั้งหมดถึงละ 6 ครั้ง ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้ง 102 วัน ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกออกจากระบบนี้คือส่วนของของเสียที่จะมีการนำไปทิ้งในภายหลัง โดยเมื่อคิดจากปริมาตรน้ำทั้งหมดที่แยกออกจากถังเพาะเลี้ยงพบว่าได้แยกน้ำออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นปริมาตร 69 ลิตร และแยกน้ำออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นปริมาตร 64 ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำทั้งหมด 500 ลิตรแล้ว ถือว่าอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นที่ถูกแยกออกไปนี้มีปริมาตรน้อยมาก นั่นคือไม่ถึง 1 ใน 5 ของปริมาตรน้ำทั้งหมด ดังนั้นเมื่อมองจากปริมาณของเสียที่ต้องแยกทิ้งจากระบบแล้ว จะพบว่าการใช้วิธีการกรองอนุภาคสารแขวนลอยจากถังเพาะเลี้ยงด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน จะช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่จะถูกทิ้งจากระบบเพาะเลี้ยงสู่สิ่งแวดล้อมไปได้มาก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5		ครั้งที่ 6	
	ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)					
	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	29,500		21,500		9,000	
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	8,100	7,245	5,145	4,180	4,698	4,847.5
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	6.75	7	3	3.5	2.7	3.5
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	27.5	24.6	23.9	19.4	52.2	53.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถึงเลียงกุ้งกุลาดำช่วงที่ 2

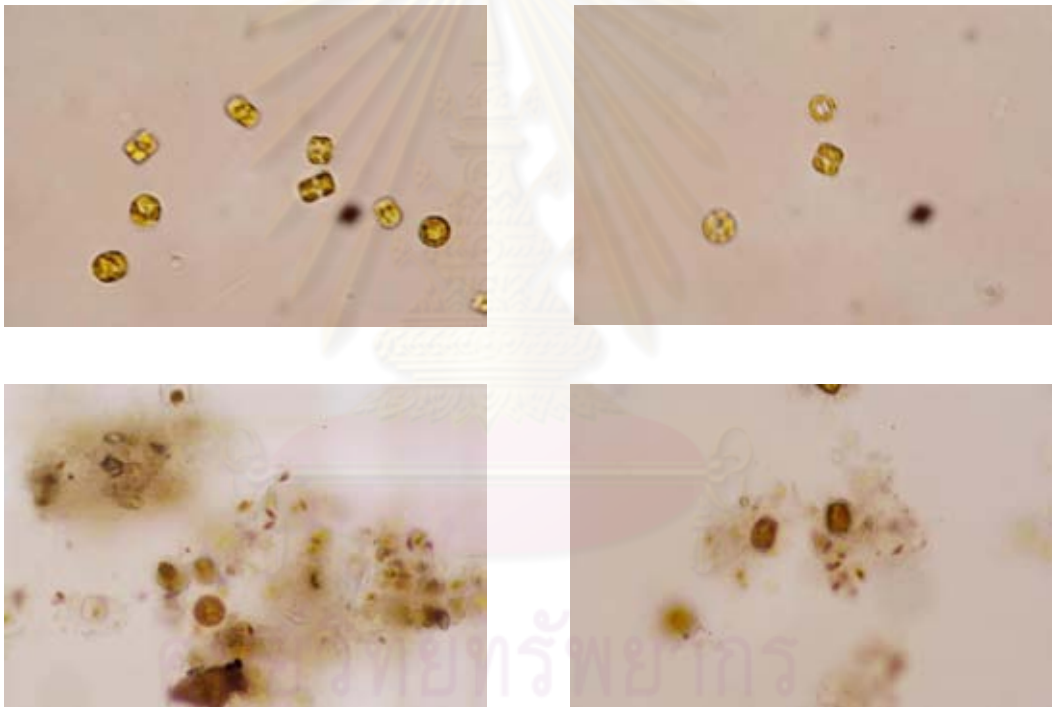
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5		ครั้งที่ 6	
	ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)					
	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016
ของแข็งแขวนลอยในระบบ (มก.)	27,500		12,000		11,500	
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	2,497.5	4,257.5	4,320	2,870	5,025	3,870
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจาก ระบบ (ลิตร)	1.5	6.5	4.5	3.5	2.5	3.0
เปอร์เซ็นต์ของของแข็ง แขวนลอยที่แยกได้	9.1	15.5	36.0	23.9	43.7	33.6

4.3.2 รงควัตถุและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้ง

- รงควัตถุและจุลสาหร่ายที่พบในถังเลี้ยงกุ้ง

ผลการตรวจวัดปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำตลอดระยะเวลา 102 วัน พบว่าคลอโรฟิลล์เอในน้ำได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในช่วง 2 ถึง 3 สัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยง ซึ่งลักษณะและปริมาณของจุลสาหร่ายที่พบจะแตกต่างกันไประหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 21 ของการเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ถัง (ยังไม่มีกรองเกิดขึ้นในช่วงเวลานี้) คือมีค่าเท่ากับ 783.64 และ 822.48 มก./ลบ.ม. ภายในถังที่กำหนดให้มีการกรองและไม่มีการกรองตามลำดับ ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้ง 2 ถัง พบว่าคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 13 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1,814.22 และ 1,890.72 มก./ลบ.ม. ภายในบ่อที่กำหนดให้มีการกรองและไม่มีการกรองตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอหรือจุลสาหร่ายที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวมีปริมาณมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำถึงหนึ่งเท่าตัว ซึ่งทั้งนี้อาจเกิดจากจุลสาหร่ายที่ติดมากับตัวกุ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยง เนื่องจากกุ้งขาวที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงแบบบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งเป็นระบบที่เกิดจุลสาหร่ายในน้ำได้มาก จึงอาจทำให้จุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาวเติบโตได้รวดเร็วและมีปริมาณมากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยจุลสาหร่ายที่พบหลังการเพาะเลี้ยง 1 สัปดาห์จากถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นจุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมสีน้ำตาลที่มีลักษณะเซ็นทริก (Centric diatom) ซึ่งเมื่อส่องตัวอย่าง

น้ำคั่วยกล้างจุลทรรศน์จะมองเห็นจุลสาหร่ายเป็นรูปทรงกลม (ด้านบนของเซลล์) และรูปทรงกระบอก (ด้านข้างของเซลล์) ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้พบจุลสาหร่ายชนิดนี้เช่นกัน แต่เป็นการพบหลังผ่านการเพาะเลี้ยงไปเป็นเวลา 1 เดือน นอกจากนี้จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นยังมีการรวมตัวกันอยู่ในลักษณะเป็นฟล็อก (Floc) โดยฟล็อกที่เกิดในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป จะมาจากส่วนผสมของจุลชีพหลายชนิด เช่น แบคทีเรียเส้นใย รวมทั้งเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอย สารอินทรีย์โพลีเมอร์ ไอออนประจุบวก และเซลล์ที่ตายแล้ว (Jorand และคณะ, 1995) ซึ่งฟล็อกที่พบอาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 1,000 ไมโครเมตร (Schryver และคณะ, 2008) และจากงานวิจัยของ Burford และคณะ (2003) ได้มีการรายงานไว้ว่าแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะรวมกลุ่มอยู่ร่วมกับอนุภาคของฟล็อกมากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งฟล็อกที่มีส่วนผสมของจุลสาหร่ายสีน้ำตาลที่พบในถังเลี้ยงกุ้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.20



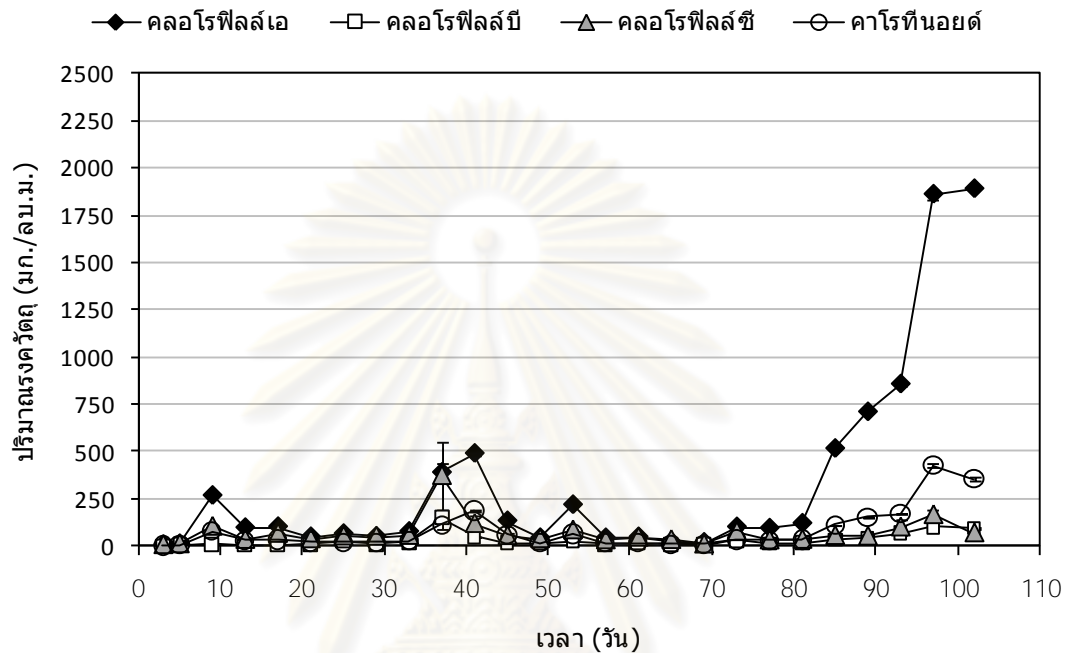
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาว (บน) และฟล็อกที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง) ในช่วงระยะแรกของการเลี้ยงกุ้ง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

ผลการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำ ในช่วงต้นของการทดลองพบว่าไม่ได้สร้างความแตกต่างระหว่างถังที่มีการกรองและไม่มีการกรองมากนัก ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งพบว่าปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังมีค่าลดต่ำลงหลังจากจุลสาหร่ายเติบโตจนถึงจุดสูงสุด โดยเฉพาะในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะเห็นได้ชัดเจน

ว่าจุลสาหร่ายลดลงต่ำมากทั้งในถังที่ทำการกรองและไม่ทำการกรองในทิศทางเดียวกัน ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบการลดลงของปริมาณรงควัตถุเช่นกัน แต่เกิดขึ้นในสัปดาห์ที่น้อยกว่าถังเลี้ยงกุ้งขาว ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุนี้คาดว่าเกิดจากการตายของจุลสาหร่ายในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อถึงระยะการกรองในถังเลี้ยงกุ้งขาวหลังทำการกรอง 2 ครั้งในวันที่ 16 และ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง พบว่าจะเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและไม่มีการกรอง นั่นคือในถังที่มีการกรองพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 348.85 มก./ลบ.ม. ส่วนถังที่ไม่มีการกรองพบคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 582.15 มก./ลบ.ม. ในวันที่ 37 ของการเลี้ยงกุ้งก่อนที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังที่ทำการกรองจะลดลงเหลือ 177.72 มก./ลบ.ม. หลังการกรองในวันที่ 41 ในขณะที่ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรองพบคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 854.20 มก./ลบ.ม. และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 381.55 มก./ลบ.ม. ส่วนถังที่ไม่กรองมีค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์เออยู่ที่ 717.17 มก./ลบ.ม. หรือมากกว่าถังที่ทำการกรอง 46.8 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการกรองพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 227.74 มก./ลบ.ม. ในขณะที่ถังที่ไม่ทำการกรองมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 372.37 มก./ลบ.ม. หรือแตกต่างกับถังที่ทำการกรอง 38.8 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าคลอโรฟิลล์เอหรือจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีปริมาณมากกว่าที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำประมาณหนึ่งเท่าตัว (เมื่อเปรียบเทียบจากถังที่ไม่ทำการกรอง)

นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการเว้นระยะการกรองในถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นเวลา 32 วัน (ภายหลังการกรองในวันที่ 41) คลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้จากถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองก็ยังคงมีปริมาณน้อยกว่าถังที่ไม่กรอง นั่นคือพบคลอโรฟิลล์เอ 620.97 มก./ลบ.ม. ในถังที่กรอง และพบคลอโรฟิลล์เอ 1,122.95 มก./ลบ.ม. ในถังที่ไม่กรอง (ในวันที่ 73 ของการเลี้ยงกุ้ง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแยกจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งออกไปส่วนหนึ่งจะช่วยลดการเพิ่มจำนวนของจุลสาหร่ายในภายหลังได้มาก ส่วนการกรองเพิ่มอีก 3 ครั้งในช่วงท้ายของการทดลองพบว่าแม้จะได้ดำเนินการกรองอย่างต่อเนื่องแต่จุลสาหร่ายก็ยังคงเติบโตเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังจะสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอทุกครั้งหลังการกรอง (รูปที่ 4.23) ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นหลังเว้นระยะการกรองเป็นเวลา 22 วัน พบว่าคลอโรฟิลล์เอในถังที่ทำการกรองเพิ่มจำนวนขึ้นไปอยู่ที่ 406.61 มก./ลบ.ม. ซึ่งมากกว่าถังที่ไม่ทำการกรองที่พบคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 339.75 มก./ลบ.ม. แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้งที่ทำการกรองและไม่ทำการกรองนั้นมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยควบคุมจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นตัวกำหนดปริมาณสูงสุดที่จุลสาหร่ายในแต่ละถังเพาะเลี้ยงจะสามารถเติบโตได้ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปนั้นมีการรายงานไว้โดย Boyd และ Tucker (1998) ว่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 500 มก./ลบ.ม. และจากงานวิจัยอื่นๆ เช่น Teichert-Coddington และคณะ (1999)

ได้รายงานไว้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 431.2 ถึง 678.3 มก./ลบ.ม. นอกจากนี้ Burford และคณะ (2003) ยังได้รายงานว่าพบคลอโรฟิลล์เอจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวในช่วง 134.29 ถึง 435.10 มก./ลบ.ม. ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ทำการกรองในการทดลองนี้จึงถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พบได้ปกติทั่วไป



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังควบคุม ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน

ในส่วนของถังควบคุมพบว่าการใส่อาหารกุ้งลงในถังจะทำให้เกิดการสะสมของอาหารที่กินบ่อเป็นปริมาณมาก จุลสาหร่ายในระบบจึงใช้เวลานานในการเติบโตเนื่องจากสารอาหารที่สามารถนำไปใช้ได้ยังคงอยู่ในรูปของอาหารเม็ดเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลังของการทดลองพบว่าจุลสาหร่ายในถังควบคุมได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 4.21) และในวันสุดท้ายของการทดลองได้ตรวจพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่มากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งทุกถัง คือมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1,891.13 มก./ลบ.ม. โดยจุลสาหร่ายที่พบมีลักษณะเป็นเส้นสีเขียวซึ่งแตกต่างจากที่พบในถังเลี้ยงกุ้งถังอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ผลจากการส่องตรวจตัวอย่างน้ำในถังเพาะเลี้ยงด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าจุลสาหร่ายที่พบในแต่ละช่วงเวลามักมีชนิดหนึ่งเป็นชนิดหลัก เช่น จุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่พบในช่วงต้นของการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาค่า แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลองพบว่าจุลสาหร่ายที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวกลับเปลี่ยนเป็นจุลสาหร่ายรูปทรงกลมสีเขียว ทั้งที่มีเมือกหุ้มเกาะติดกันเป็นคู่และที่เป็นเซลล์เดี่ยว ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าพบจุลสาหร่ายสีเขียวรูปทรงกลมเช่นกัน แต่จากการ

สองตัวอย่างนำคู่มือด้วยกล้องจุลทรรศน์ทำให้พบว่าจุลสาหร่ายที่อยู่แยกเป็นเซลล์เดี่ยวมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในช่วงแรกของการเลี้ยงกุ้งมาก เนื่องจากจุลสาหร่ายส่วนใหญ่จะอยู่รวมกัน เป็นฟล็อกร่วมกับจุลสาหร่ายอื่นๆ รวมทั้งแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ซึ่งการอยู่ร่วมกันของจุลสาหร่ายและแบคทีเรียนี้จะนำไปในลักษณะของการเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน คือจุลสาหร่ายจะผลิตออกซิเจนให้กับแบคทีเรียเพื่อให้แบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และในขณะที่เดียวกันจุลสาหร่ายก็จะนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจของแบคทีเรียมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการที่เกิดขึ้นจึงเป็นการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนระหว่างจุลสาหร่ายและแบคทีเรีย (Munoz และ Guieysse, 2006)

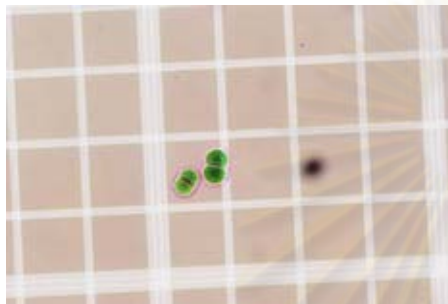
ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาค่าที่ไม่มีการกรอง พบว่าจุลสาหร่ายในน้ำในช่วงหลังของการทดลองจะอยู่ในลักษณะของฟล็อกขนาดใหญ่ (ดังแสดงในรูปที่ 4.22) และพบแบคทีเรียเส้นใยเกาะกลุ่มอยู่ร่วมกับจุลสาหร่ายเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เป็นเพราะถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ถังไม่ได้มีการกรองและไม่มีการบำบัดด้วยวิธีใดๆ เลยตลอดการทดลอง จึงทำให้เกิดฟล็อกจากแบคทีเรียที่เติบโตขึ้นจากของเสียในน้ำเป็นปริมาณมาก ในส่วนของถังที่มีการกรองแม้จะพบฟล็อกเช่นกัน แต่ก็ยังเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้ได้ถูกกรองออกไปด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนแล้วจำนวนหนึ่ง จึงช่วยลดจำนวนฟล็อกส่วนเกินในระบบไปได้มาก



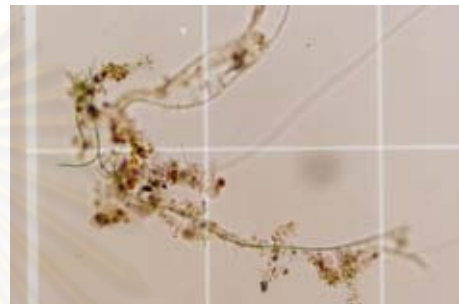
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุดสาหร่ายที่พบในถังควบคุม



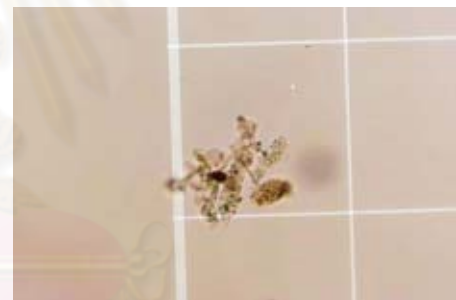
จุดสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง



ฟลอคในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง



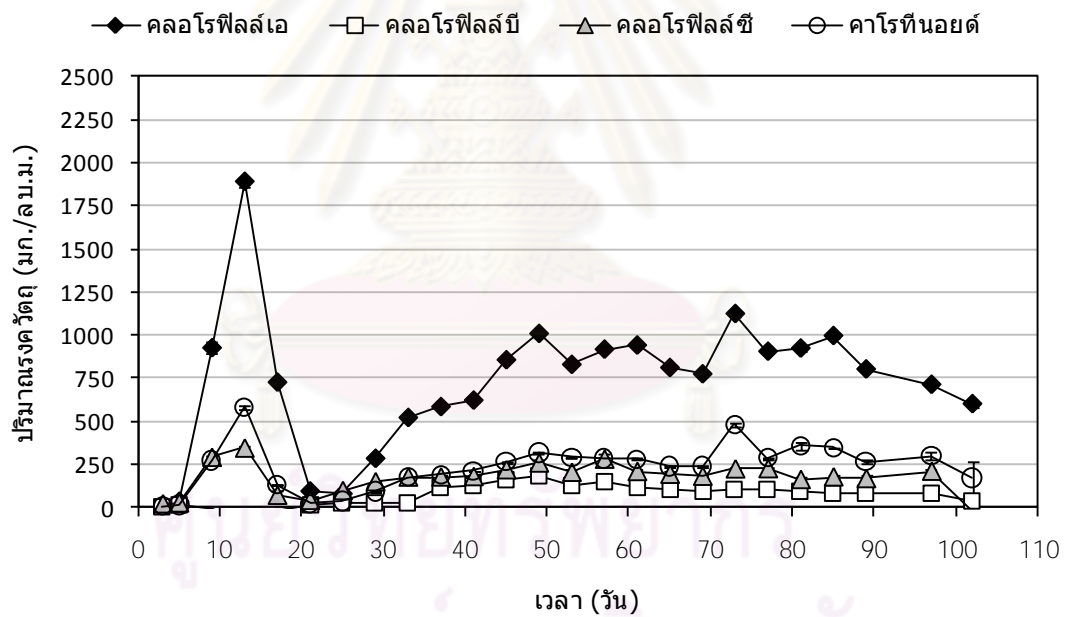
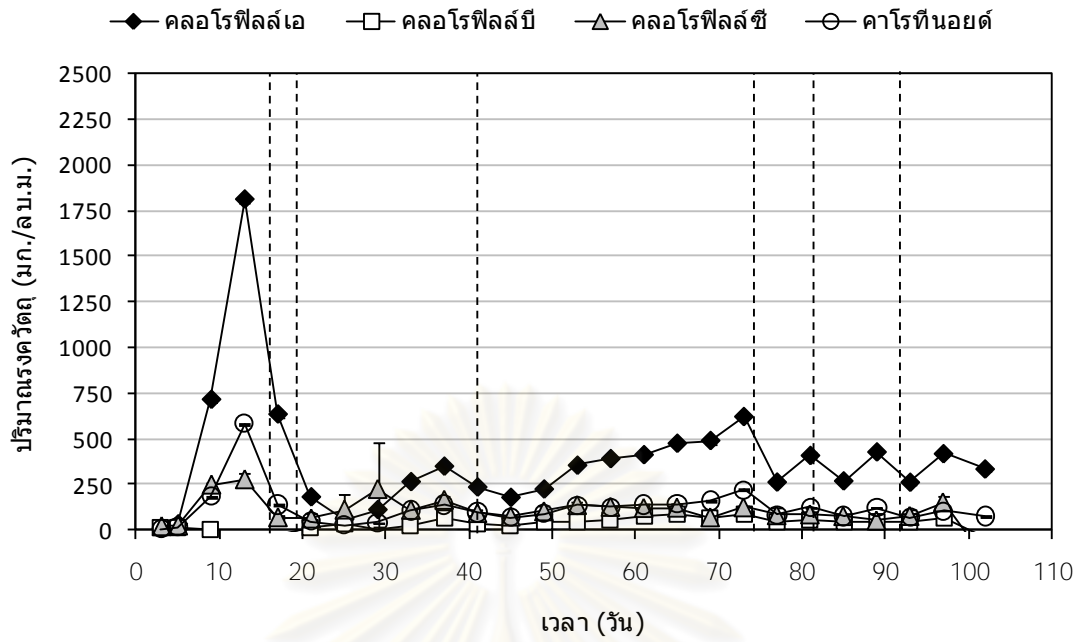
จุดสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง



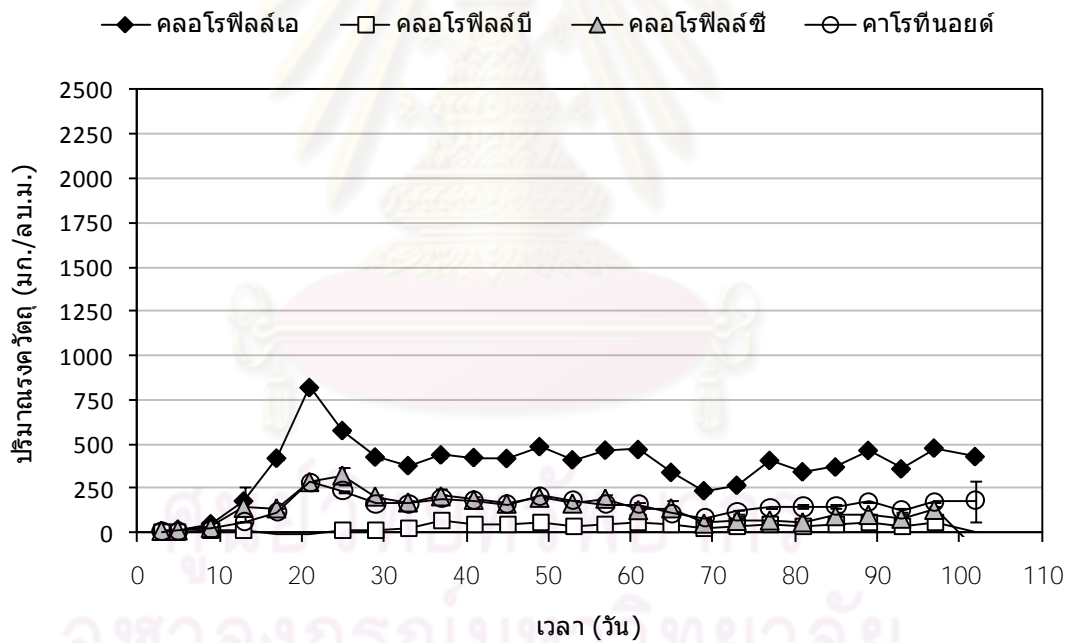
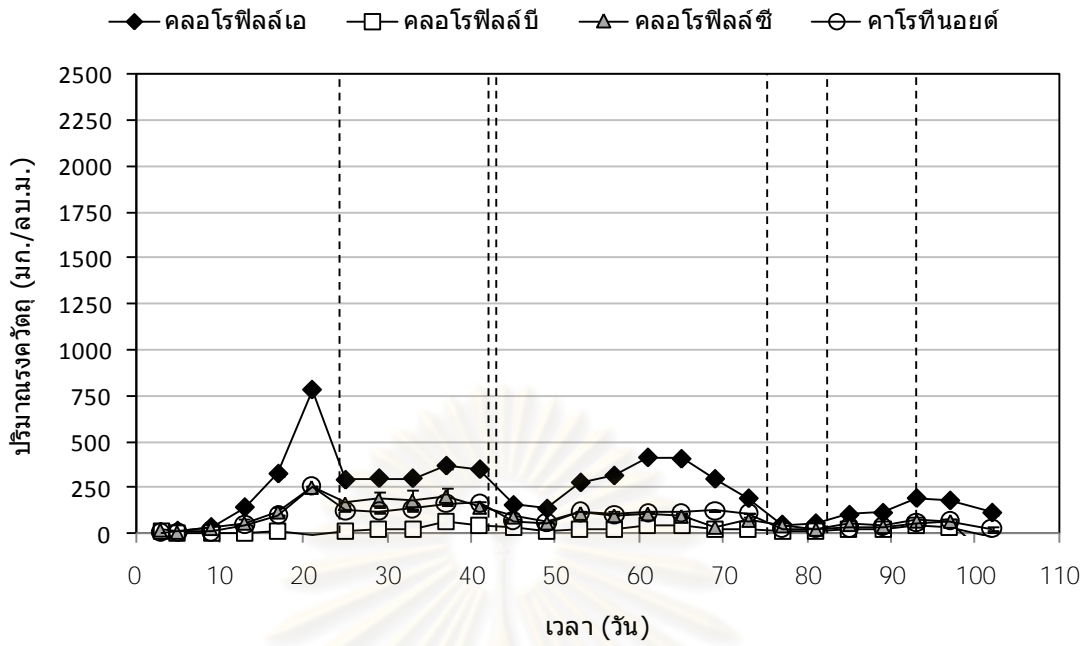
ฟลอคในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง

รูปที่ 4.22 รูปถ่ายจุดสาหร่ายที่พบในถังเพาะเลี้ยงในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลอง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถั่วงอกข้าวที่มีการกรอง (บน) และถั่วงอกข้าวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถัสดึงกุ่มกุลาคำที่มีการกรอง (บน) และถัสดึงกุ่มกุลาคำที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง

- อนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้ง

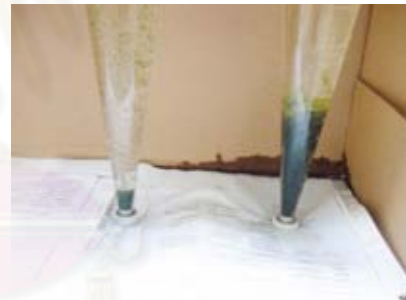
ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ถังเพาะเลี้ยงที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุดในวันสุดท้ายของการทดลองคือถังควบคุม โดยพบอยู่ที่ 410.0 มก./ลิตร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยในถังควบคุมนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอในช่วงเวลาเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.26) จึงกล่าวได้ว่าจุลสาหร่ายเป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิดสารแขวนลอยขึ้นในถังควบคุม ในส่วนของ ถังเลี้ยงกุ้งขาวพบว่าการกรองในช่วงที่ 1 (วันที่ 16 19 และ 41) ยังไม่สามารถสร้างความแตกต่างระหว่างถังที่กรองและไม่กรองได้มากนัก แต่เมื่อทำการกรองในช่วงที่ 2 (วันที่ 74 81 และ 92) พบว่าของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีปริมาณน้อยกว่าถังที่ไม่กรองอย่างเห็นได้ชัด (ดังแสดงในรูปที่ 4.27) โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าเท่ากับ 115.0 มก./ลิตร ในวันสุดท้ายของการเลี้ยงกุ้ง ในขณะที่ถังที่ไม่กรองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 375.0 มก./ลิตร หรือมากกว่าถังกรอง 69.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำนี้ พบว่าระบบกรองแบบแบ่งส่วนสามารถแยกอนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้ได้ดีตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลอง คือพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดทุกครั้งหลังทำการกรอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่กรองแยกได้ง่ายกว่าอนุภาคที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาว เนื่องจากมีลักษณะเป็นฟล็อกเกาะกันเป็นกลุ่ม ซึ่งในวันสุดท้ายของการเลี้ยงกุ้งพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่กรองมีค่าเท่ากับ 100.0 มก./ลิตร ส่วนในถังที่ไม่กรองมีค่าเท่ากับ 300.0 มก./ลิตร หรือมากกว่าถังที่กรอง 66.7 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่าการกรองด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนสามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกไปได้มาก และสามารถนำมาใช้รักษาระดับของอนุภาคสารแขวนลอยให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่ง Timmons และคณะ (2002) ได้มีการแนะนำเอาไว้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ไม่ควรมีค่าเกิน 80 มก./ลิตร ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าหลังการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวแบบแบ่งส่วนในวันที่ 81 และ 92 ของการเลี้ยงกุ้ง สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงเหลือ 56.7 และ 76.7 มก./ลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวสามารถเพิ่ม จำนวนไปอยู่ที่ประมาณ 100 มก./ลิตรได้ภายในเวลา 4 ถึง 6 วัน ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่าหลังการกรองของแข็งแขวนลอยในวันที่ 82 และวันที่ 93 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงเหลือ 36.7 และ 50.0 มก./ลิตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะใช้เวลาดำเนินการ 6 ถึง 10 วันในการเพิ่มปริมาณให้เท่ากับ 100 มก./ลิตร ซึ่งการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยที่จะเกิดขึ้นในระบบนี้จะช่วยให้สามารถวางแผนการกรองได้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวในชุดการทดลองนี้ควรทำทุกๆ 4 วัน และการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีการทำทุกๆ 6 วัน เพื่อให้อนุภาคสารแขวนลอยในระบบมีค่าอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนดอยู่เสมอ ซึ่งกำหนดการกรองนี้

จะแตกต่างกันไปตามระบบเพาะเลี้ยงแต่ละระบบ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเกิดอนุภาคสารและลักษณะของของแข็งแขวนลอยในระบบนั้นๆ นอกจากนี้จากผลการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นในประเทศไทยโดย Dierberg และ Kiattisimkul (1996) พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ตรวจพบมีค่าตั้งแต่ 92 จนถึง 797 มก./ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งหลังทำการกรองในงานวิจัยนี้มีปริมาณที่ต่ำกว่านั้นมาก

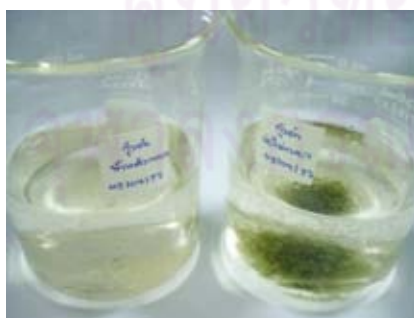
นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (SV 30) ในวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าตัวอย่างน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองมีปริมาตรตะกอนที่ 30 นาทีเท่ากับ 2 มล./ลิตร ในถังที่ไม่มีกรองพบปริมาตรตะกอนเท่ากับ 45 มล./ลิตร ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่า มีปริมาตรตะกอนอยู่ที่ 4 มล./ลิตร สำหรับถังที่มีการกรองและ 25 มล./ลิตร สำหรับถังที่ไม่มีกรอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีในแต่ละถังเพาะเลี้ยงดังได้กล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนี้ผลการวัดปริมาตรตะกอนยังแสดงให้เห็นว่ามีตะกอนในถังเลี้ยงกุ้งขาว มากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอนุภาคที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นเช่นนี้มักมีสัดส่วนของจุลสาหร่ายอยู่สูงกว่าสัดส่วนของแบคทีเรีย (Hargreaves, 2006) ดังนั้นการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำจึงเป็นการแยกจุลสาหร่ายส่วนใหญ่ออกไปจากระบบด้วยเช่นกัน



น้ำตัวอย่างจากถังเลี้ยงกุ้งขาว



การวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้งขาว

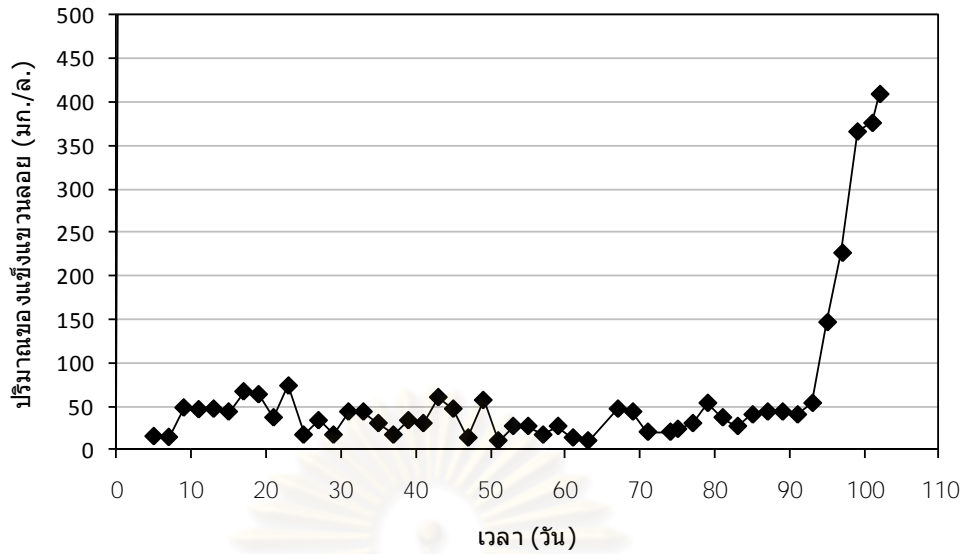


น้ำตัวอย่างจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ



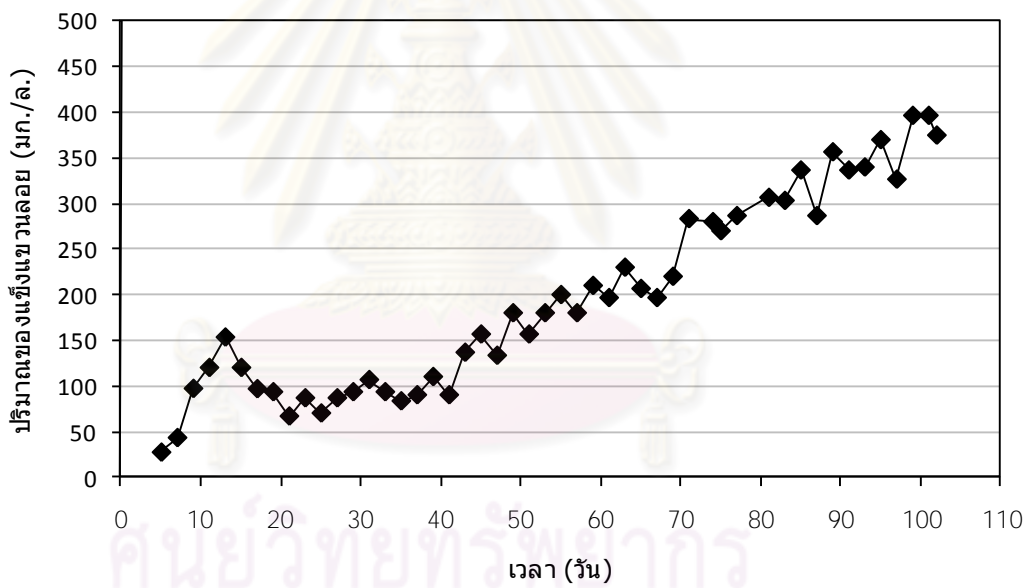
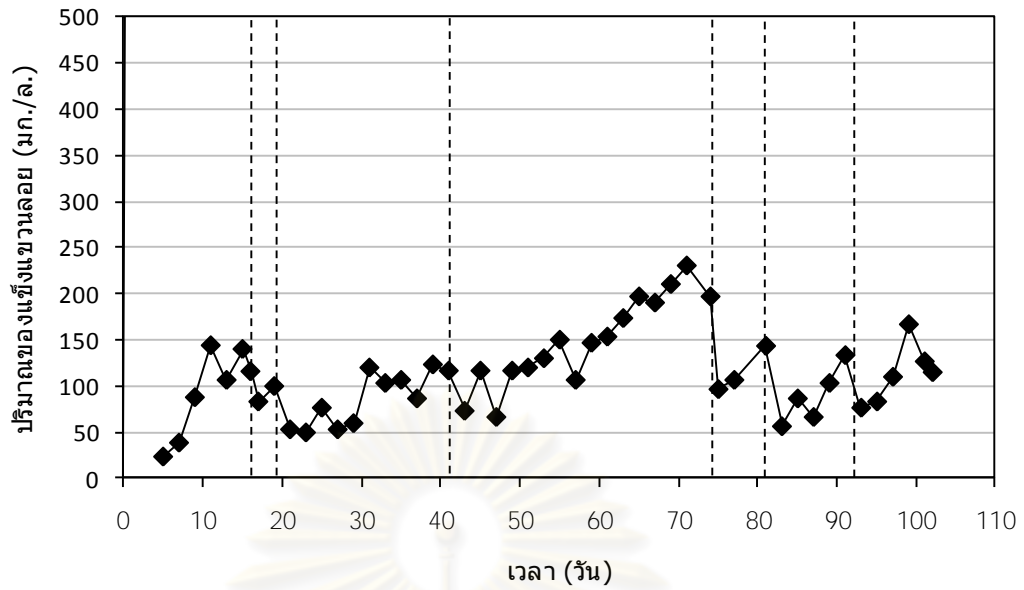
การวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

รูปที่ 4.25 รูปถ่ายเปรียบเทียบน้ำจากถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและถังเพาะเลี้ยงที่ไม่มีกรอง (ซ้าย) และการวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้ง (ขวา)

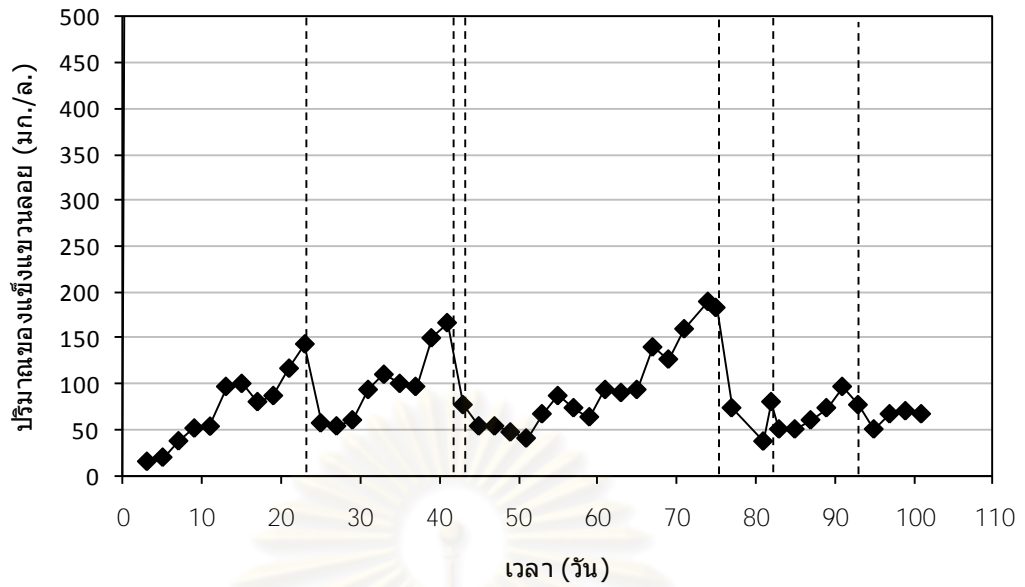


รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังควบคุม
ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งจะพบว่าสามารถแยกทั้ง จุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำได้ดี ทำให้ทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอและของแข็งแขวนลอยที่พบมีปริมาณน้อยกว่าในถังที่ไม่มีการกรองอย่างเห็นได้ชัด (หลังทำการกรองทั้งสิ้น 6 ครั้ง ในระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งทั้งหมด 102 วัน) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับกระบวนการตกตะกอนในงานวิจัยของ Teichert-Coddington และคณะ (1999) จะพบว่าแม้กระบวนการตกตะกอนจะสามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดีคือแยกตะกอนได้เท่ากับ 1,285 กก. จากปริมาตรน้ำทั้งหมด 10,000 ลบ.ม. แต่ก็พบว่า 68 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่ แยกได้นี้คือสารอินทรีย์ เนื่องจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยที่กล่าวถึงนี้เป็นแบบบ่อดินกลางแจ้ง จึงมีสารอินทรีย์ในระบบมาก ในขณะที่จุลสาหร่ายแบคทีเรีย และอนุภาคสารอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำนั้นไม่สามารถตกตะกอนได้โดยง่าย เพราะสามารถลอยตัวตามธรรมชาติหรือมีค่าค วามถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำทะเล (Funge-Smith และ Briggs, 1998) ดังนั้นการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้งานร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์น้ำเค็ม จึงเป็นสิ่งที่สามารถทำได้และสามารถนำมาใช้แยกสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำหนดความถี่ที่ต้องการกรองได้จากอัตราการเพิ่มจำนวนของคลอโรฟิลล์เอและอนุภาคสารแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยง เพื่อรักษาปริมาณจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำให้มีอยู่ในระดับที่เหมาะสม และเพื่อรักษาสภาพน้ำในระบบให้มีคุณภาพดีอยู่เสมอ



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแห้งแฉวนลอยในถึงเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง (บน) และถึงเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแวนลอยในถังเลี้ยงกึ่งกูลาดำที่มีการกรง (บน) และถังเลี้ยงกึ่งกูลาดำที่ไม่มีกรง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรง

4.3.3 คุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยง

การทดลองในช่วงนี้ แบ่งถังเพาะเลี้ยง ออกเป็น 5 ชุด ได้แก่ ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายที่ไม่มีการกรอง (ชุดควบคุม) ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง และ ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง ทำการทดลองต่อเนื่องโดยเพาะเลี้ยงกุ้ง เป็นระยะเวลา 102 วัน และตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ค่าความเป็นด่าง และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งพบว่าได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้งที่ได้ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 102 วัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าสูงสุด – ค่าต่ำสุด)				
	ถังควบคุม	ถังเลี้ยงกุ้งขาว (กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งขาว (ไม่กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ไม่กรอง)
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ลิตร)	6.35±0.22 (6.64-6.00)	6.30±0.25 (6.61-5.98)	6.14±0.36 (6.61-5.62)	6.17±0.15 (6.39-6.04)	6.01±0.25 (6.49-5.68)
ความเป็นด่าง (มก./ลิตร)	107.50±23.63 (140-90)	110.00±24.49 (140-90)	110.00±18.36 (130-90)	116.67±15.28 (130-100)	116.67±5.77 (120-110)
อุณหภูมิ (°ซ)	30.04±1.34 (31.80-28.10)	29.99±1.30 (31.80-28.10)	30.56±1.25 (32.30-28.60)	29.93±1.14 (31.50-28.10)	30.11±1.27 (31.70-28.30)

- ออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลายในถังเลี้ยงกุ้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การกินอาหาร และสุขภาพของกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น มีค่าต่ำกว่า 2.50 มก./ลิตร จะทำให้กุ้งเริ่มเกิดการตาย ส่วนค่าออกซิเจนละลายที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งคือตั้งแต่ 3.60 ถึง 5.00 มก./ลิตร ส่วนการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในการทดลองนี้พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในแต่ละ ถังจะอยู่ในช่วง 5.62 ถึง 6.64 มก./ลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายในถังเลี้ยงกุ้งจึงถือได้ว่ามีอย่างเพียงพอ (สุบัณฑิต นิมรรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย , 2552) ซึ่งออกซิเจนในน้ำส่วนหนึ่งจะมาจากการเติมอากาศผ่านหัวทรายลงในถัง และอีกส่วนหนึ่งจะมาจากการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายในน้ำ อย่างไรก็ตามหากในน้ำมีจุลสาหร่ายความหนาแน่นสูง จำนวนจุลสาหร่ายที่มากเกินไป ก็อาจทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำในช่วงเช้ามืด เนื่องจากใน

เวลากลางคืนจุดสาหร่ายต้องใช้ ออกซิเจนละลายเพื่อการหายใจ เมื่อมีแสงสว่างจุดสาหร่ายจึงจะทำการสังเคราะห์แสงเพิ่มปริมาณ ออกซิเจนในน้ำมากขึ้น แต่เนื่องจากการเพาะเลี้ยงนี้มีการให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศอย่างเพียงพอตลอดเวลา จึงไม่พบปัญหาดังกล่าว

- ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างในถังเพาะเลี้ยงเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง เนื่องจากคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของความเป็นด่างเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการลอกคราบของกุ้งและสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง (Wurts, 2002) โดยค่าความเป็นด่างเฉลี่ยในการทดลองนี้อยู่ ในช่วงระหว่าง 107 ถึง 116 มก./ลิตร และค่าที่พบต่ำสุดในถังเลี้ยงกุ้งระหว่างทำการทดลองคือเท่ากับ 90 มก./ลิตร ซึ่งโดยทั่วไปความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำคือไม่ต่ำกว่า 100 มก./ลิตร (Hart และ O'sullivan, 1993) โดยในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง เมื่อมีการตรวจพบค่าความเป็นด่างของน้ำที่ต่ำกว่า 100 มก./ลิตร จะทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ลงไปในถังเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาความเป็นด่างให้สูงกว่า 100 มก./ลิตร ตลอดช่วงเวลากการทดลอง เพื่อให้กุ้งขาวและกุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ

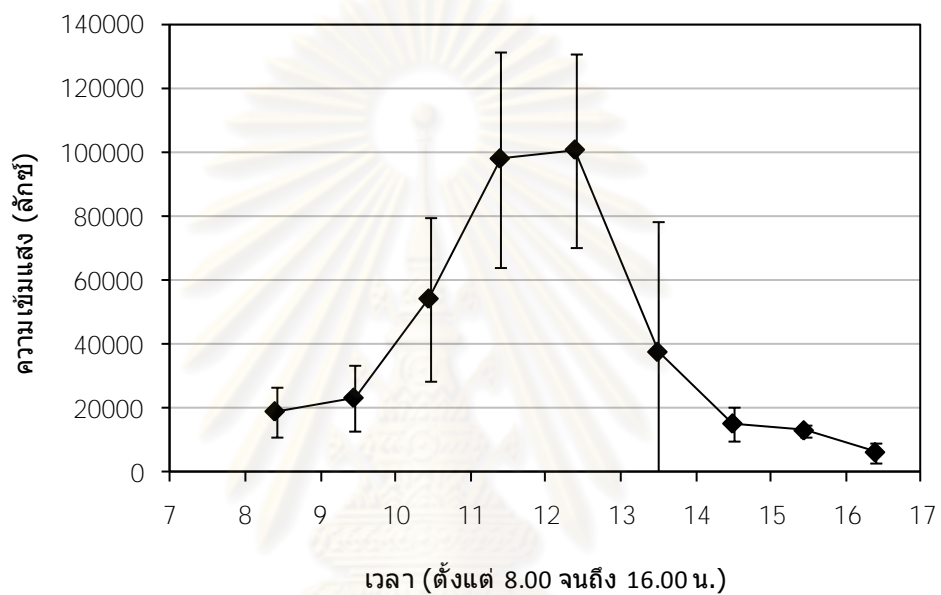
- อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำโดยทั่วไปจะมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศ และเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ จุดสาหร่าย และต่อการละลายของออกซิเจน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือตั้งแต่ 25 ถึง 33 °ซ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้กุ้งเกิดการงอตัว ส่วนอุณหภูมิที่ลดลงต่ำกว่า 18 °ซ จะทำให้กุ้งไม่ว่ายน้ำและหยุดการกินอาหาร และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 14 °ซ จะทำให้กุ้งตายได้ (สุบัตินิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย , 2552) ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิในถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำในการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิของน้ำจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 28 ถึง 32 °ซ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำ (ชลอ ลิมสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์ชกุล, 2547)

- ปริมาณแสงสว่าง

จากผลการวัดแสงสว่างในบริเวณที่ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงตลอดช่วงเวลากลาง วัน ได้ผลการทดลองดัง แสดงใน รูปที่ 4.29 โดยพบว่าความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 ถึง 13.00 น. คือมีปริมาณตั้งแต่ 101,100 ลักซ์ ไปจนถึง 119,400 ลักซ์ จากนั้นจึงจะลดต่ำลงจนเหลือประมาณ 1,700 ถึง 9,300 ลักซ์ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 16.00 น. เป็นต้นไป

อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มแสงในช่วงเวลากลางวันมีความผันแปรค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน (ในการทดลองได้เริ่มทำการเลี้ยงกุ้งตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายนจนถึงปลายเดือนกันยายน) ในบางวันจึงพบความเข้มแสงต่ำแม้ในช่วงเที่ยงวัน (49,300 ลักซ์) แต่โดยปกติแล้วในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่ความเข้มแสงสูงอยู่เสมอ และจุลสาหร่ายที่ตรวจพบในถังเพาะเลี้ยงทุกถังก็มีปริมาณมากตลอดการทดลอง ดังนั้นปริมาณของแสงสว่างจึงไม่ใช่ปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของจุลสาหร่ายในการทดลองนี้



รูปที่ 4.29 ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงกลางวันระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง

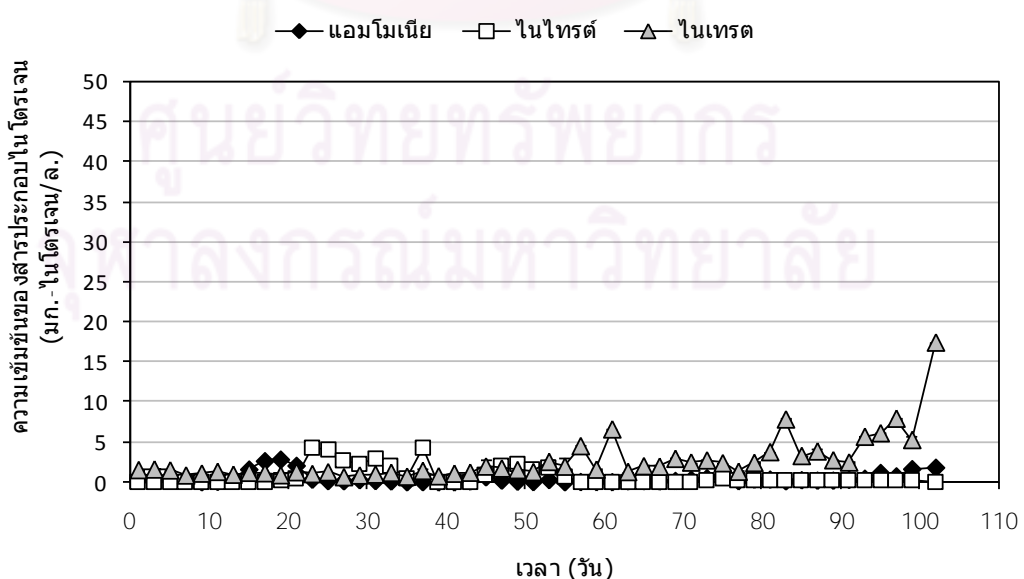
- สารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง

จากการติดตาม การเปลี่ยนแปลง ของสารประกอบไนโตรเจนต่างๆ ทั้งความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเตรตในถังควบคุมเปรียบเทียบกับถังเลี้ยงกุ้งขาวและ ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองและไม่มีการกรอง พบว่ามีรายละเอียดแยกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

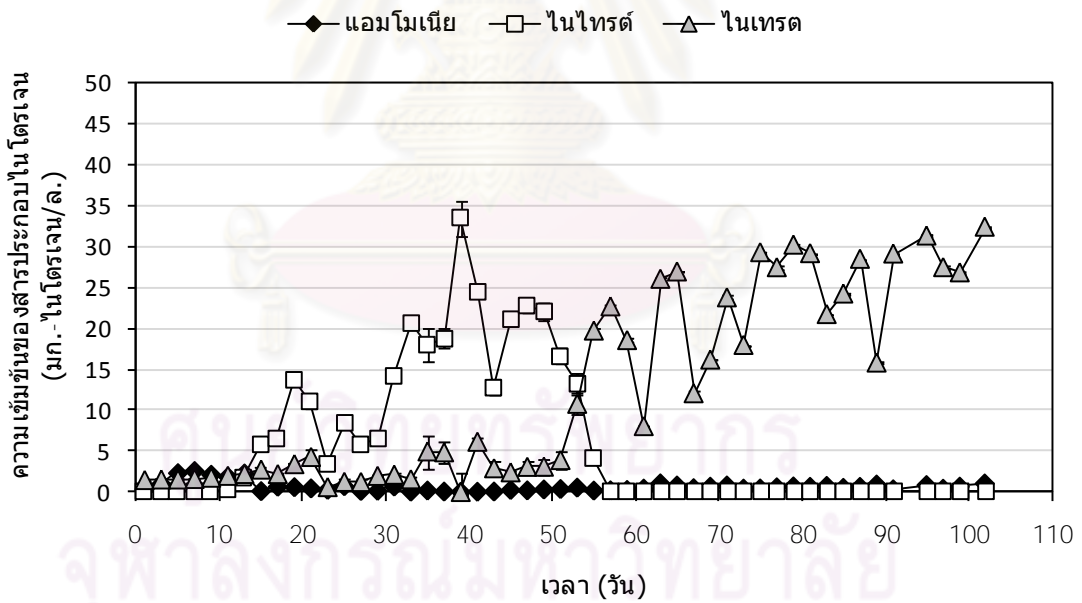
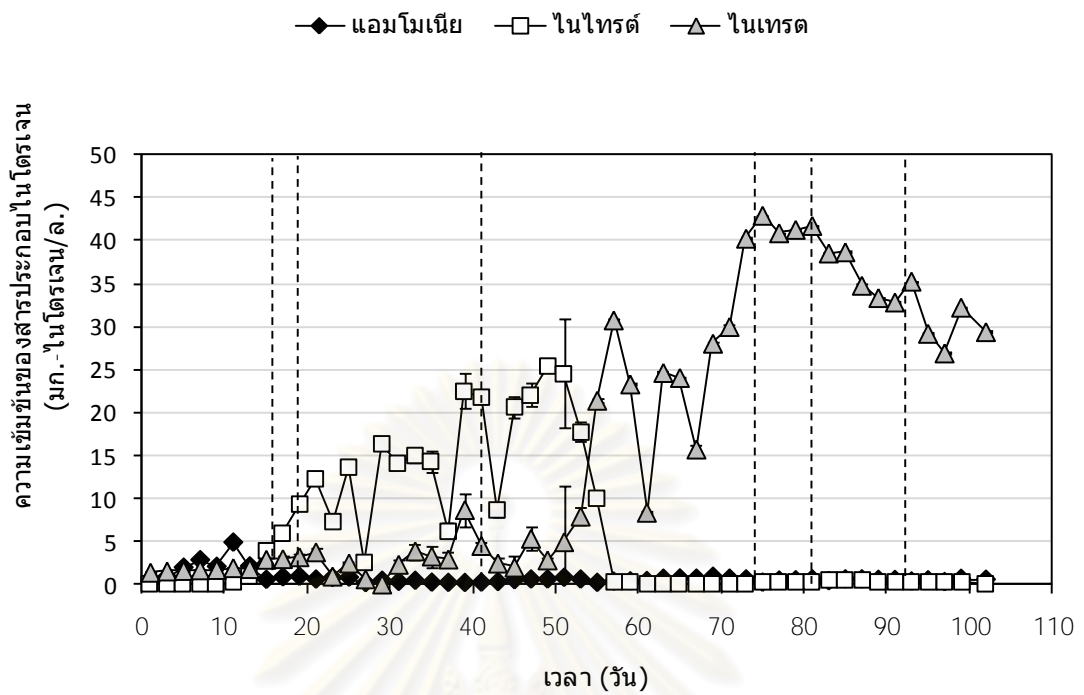
1) แอมโมเนีย

การตรวจวัดความเข้มข้น ของแอมโมเนียรวม (Total ammonia nitrogen: TAN) ในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง 102 วัน แสดงผลดังรูปที่ 4.31 โดยพบว่าแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 4.891 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 11 ของการเลี้ยงกุ้ง (ยังไม่มีอาการกรองเกิดขึ้น) ส่วนถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำ

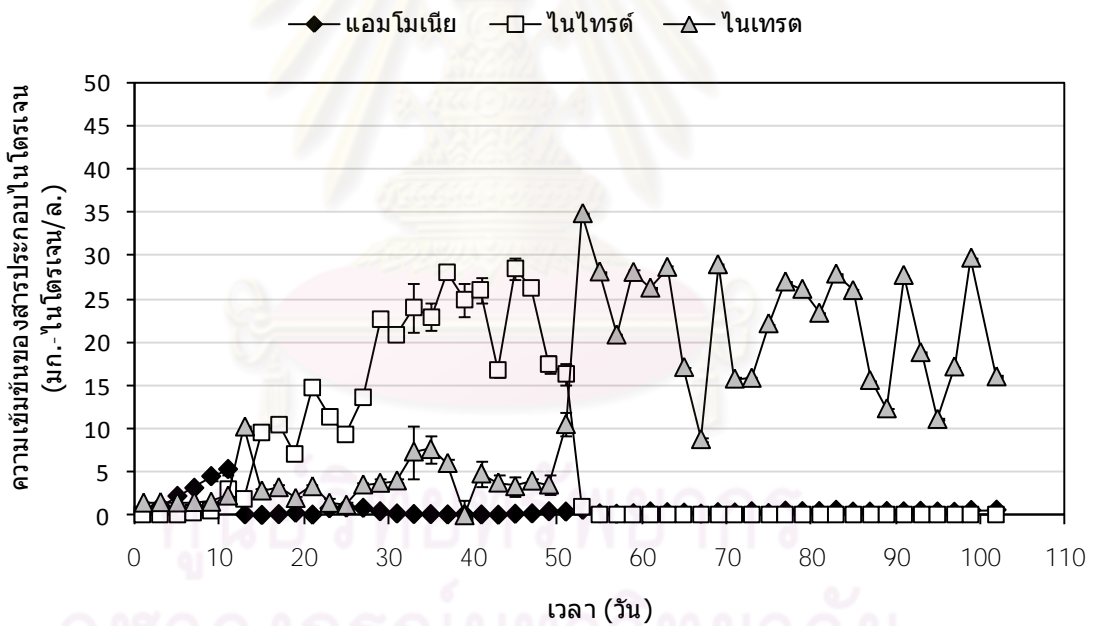
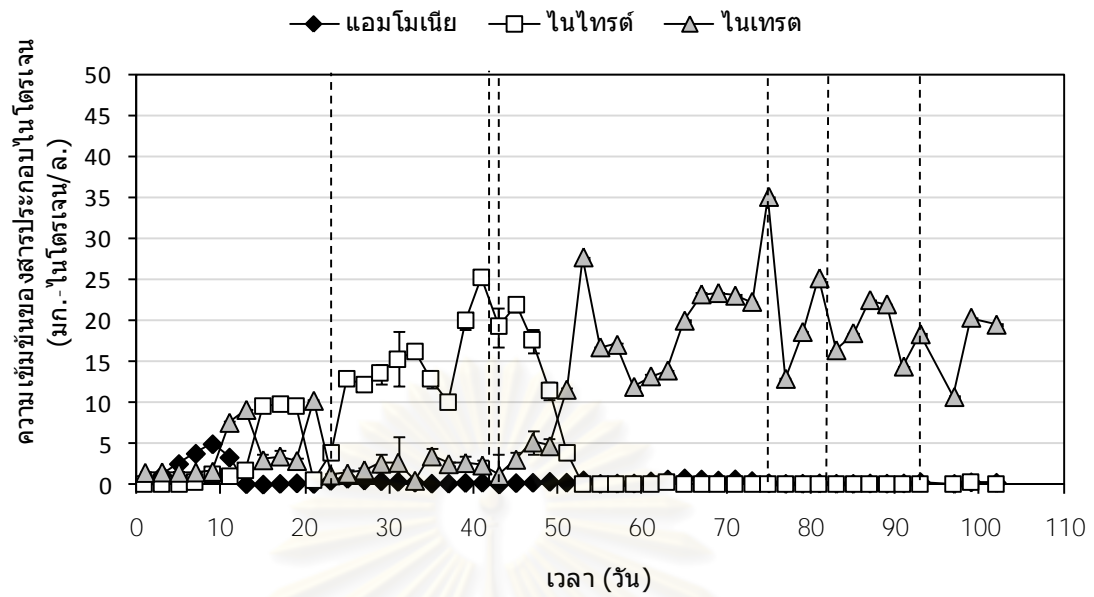
การกรองพบแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 2.605 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอนในช่วงเวลาเดียวกัน จะพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรอมมีค่าลดลงเมื่อคลอโรฟิลล์เอนเพิ่มจำนวนขึ้นถึงจุดสูงสุด (ในวันที่ 13 ของการเลี้ยงกุ้ง) คือตรวจวัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 2.069 และ 0.482 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 13 และ 15 ตามลำดับ และเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกันในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง ซึ่งการลดลงของแอมโมเนียทันทีที่พบการเติบโตของจุลสาหร่ายนี้สอดคล้องกับผลการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายตามธรรมชาติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 หลังจากนั้นจึงพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรอมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.665 ± 0.802 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดการเพาะเลี้ยง ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งขาวไม่กรอมมีแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.673 ± 0.605 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้ง 2 ถังนี้ยังคงมีค่าต่ำกว่า 1 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงจัดว่ายังคงอยู่ในช่วงที่ไม่สูงเกินไป (Boyd และ Tucker, 1998) ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองพบความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดอยู่ที่ 4.974 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง (รูปที่ 4.32) และมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.585 ± 0.979 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่กรองพบความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 5.244 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 11 ของการเลี้ยงกุ้ง และตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียตลอดการเพาะเลี้ยงได้เท่ากับ 0.625 ± 1.003 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร โดยพบว่าปริมาณแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าลดลงเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอนเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้นเช่นเดียวกับในถังเลี้ยงกุ้งขาว แสดงให้เห็นถึงการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเติบโตของจุลสาหร่ายซึ่งเป็นหนึ่งใน วัฏจักรไนโตรเจนที่มีความสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังควบคุม ตลอดการเพาะเลี้ยง 102 วัน



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจน จนถึงเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง (บน) และถึงเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถั้ว เลี้ยงกึ่งกุลาดำที่มีการกรอง (บน) และถั้วเลี้ยงกึ่งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประ แสดงวันที่ทำการกรอง

เนื่องจากการศึกษานี้เน้นการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่าย ซึ่งเมื่อแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำโดยการกรองก็จะเป็นการกำจัดแอมโมเนียออกไปจากระบบ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่ายและไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่พบตามธรรมชาติในน้ำจากการทดลองนี้กับผลการบำบัดแอมโมเนียจากตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการตรึงหิวเชื้อในงานวิจัยของมนวิ กานต์ ขจรบุญ (2551) จะพบว่าถึงแม้สิ่งกึ่งที่มีตัวกรองชีวภาพสามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงจนมีค่าเฉลี่ยในน้ำเท่ากับ 0.25 ± 0.45 มก.-ในโตรเจน/ลิตร ภายในระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งขาว 90 วัน ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีตัวกรองชีวภาพให้ยึดเกาะ จึงสามารถเติบโตเพิ่มจำนวนและบำบัดแอมโมเนียผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในขณะที่เดียวกันในรายงานการวิจัยของ Burford และคณะ (2003) ก็ได้มีการกล่าวถึงการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (จุลสาหร่าย) และแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาว โดยการศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในสถานะที่มีแสงและไร้แสงในงานวิจัยนี้ ทำให้พบว่าทั้งแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียต่างมีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ คือเกิดการบำบัดแอมโมเนีย 84.72 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. ในสถานะมีแสง (จุลสาหร่ายสังเคราะห์แสงและใช้แอมโมเนียในกิจกรรมของเซลล์) และ 40.54 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. ในสถานะที่ไร้แสง หลังการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวเป็นเวลา 55 ถึง 75 วัน อย่างไรก็ตาม การใส่ตัวกรองชีวภาพลงในถังเลี้ยงกุ้งเพื่อให้แบคทีเรียมีแหล่งยึดเกาะน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดแอมโมเนียในระบบได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าจุลสาหร่ายและแบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ตามธรรมชาติ ยังไม่สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียให้มีค่าต่ำกว่า 0.5 มก.-ในโตรเจน/ลิตร การลดปริมาณแอมโมเนียจากการเลี้ยงกุ้งจึงทำได้เพียงการลดความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยงลงจากเดิม

สำหรับผลการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบ พบว่าปริมาณแอมโมเนียในถังกรองและไม่กรอง ของถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำไม่ได้มีความแตกต่างกัน และไม่มีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียอย่างเห็นได้ชัดในระหว่างการเพาะเลี้ยงในแต่ละถัง เนื่องจากจุลสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ในสถานะของการเปลี่ยนแปลง เสมอ คือมีการตายและการเพิ่มจำนวนอยู่ตลอดเวลา และจุลสาหร่ายชนิดหลักที่จะพบในน้ำก็สามารถเปลี่ยนไปได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วัน (Burford และคณะ, 2003) อย่างไรก็ตาม ผลการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอย จากถังเลี้ยงกุ้งด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนแสดงให้เห็นว่า แม้การกรองจะทำให้อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำลดปริมาณลงได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 4.27 และ 4.28) แต่ก็ไม่ได้ทำให้แอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งที่มีการกรองลดลงกว่าถังที่ไม่มีการกรองแต่อย่างใด

2) ไนไตรต์

ผลการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของไนไตรต์ในถังเลี้ยงกุ้งขาที่มีการกรองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน พบว่าปริมาณไนไตรต์เพิ่มสูงขึ้นมากในช่วงวันที่ 15 ถึงวันที่ 55 ของการเลี้ยงกุ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 4.31) โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 25.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 49 ซึ่งถือเป็นความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Hargreaves, 1998) และไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งควรมีความเข้มข้นของไนไตรต์ไม่เกิน 1.0 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (ชโล ลิมสุวรรณ, 2535) แม้จะได้มีการกรองอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาในวันที่ 16 และ 19 ของการเพาะเลี้ยงก็ไม่พบการลดลงของไนไตรต์หลังทำการกรอง แต่หลังการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาในวันที่ 41 พบว่ามีการลดลงของไนไตรต์จากความเข้มข้น 21.8 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เหลือ 8.5 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อแยกอนุภาคของแข็งออกไป 61.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณทั้งหมดในถังพัก ซึ่งสูงกว่าการกรองในวันที่ 16 และ 19 (แยกของแข็งแขวนลอยได้ 22.7 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณไนไตรต์ได้เพิ่มกลับมาอยู่ที่ 20.7 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 45 ของการเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มปริมาณของไนไตรต์ในถังเลี้ยงกุ้งขาที่ไม่มีการกรองในช่วงระยะเวลาเดียวกัน คือตั้งแต่วันที่ 13 ถึง 55 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 33.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 39 ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นสูงสุดของบ่อที่กรองอยู่ 24.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองพบว่าไนไตรต์เพิ่มปริมาณสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 9 ถึงวันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 4.32) และพบความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ 25.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 41 ส่วนในถังที่ไม่กรองพบว่าไนไตรต์เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 11 ถึงวันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 28.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 45 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไนไตรต์ในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของไนตริฟายอิงแบคทีเรียกลุ่มออกซิไดส์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria: AOB) เช่น *Nitrosomonas* sp. ที่เปลี่ยนรูปของแอมโมเนียในน้ำให้เป็นไนไตรต์ ทำให้ความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำเพิ่มสูงขึ้นมาก ก่อนที่ไนไตรต์จะลดปริมาณลงเมื่อแบคทีเรียกลุ่มออกซิไดส์ไนไตรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria: NOB) เช่น *Nitrobacter* sp. เติบโตขึ้นและเปลี่ยนไนไตรต์ในน้ำให้กลายเป็นไนเตรต ในช่วงหลังจากวันที่ 50 ของการเลี้ยงกุ้งไปแล้ว ทำให้ไนไตรต์ในทุกถังลดลงต่ำกว่า 1.0 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ไปจนจบการเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งดังกล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไนเตรตเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ที่พบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับในงานวิจัยของมนวิกันต์ ขจรบุญ (2551) อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ตัวกรองชีวภาพจะช่วยร่นระยะเวลาการสะสมของไนไตรต์ (งานวิจัยนี้พบไนไตรต์สะสมในช่วงวันที่ 8 ถึงวันที่ 22 ของการเลี้ยงกุ้ง) และไนไตรต์ที่สะสมก็มีปริมาณต่ำกว่าในการทดลองนี้มาก คือสะสมอยู่ในช่วง 1.40 ถึง 5.33 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และเนื่องจากจุลสาหร่ายในถังเพาะเลี้ยงจะเลือกใช้แอมโมเนีย

มากกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ ยกเว้นเมื่อแอมโมเนียในน้ำลดลงต่ำกว่า 0.03 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงจะเกิดการสะสมไนเตรตเข้าสู่เซลล์ในปริมาณมาก (Hargreaves, 1998) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดหาแหล่งยึดเกาะให้กับไนตริฟายอิงแบคทีเรียร่วมกับการแยกจุลสาหร่ายที่เติบโตในถังเลี้ยงกุ้งหลังเกิดการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์แล้ว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำให้ดียิ่งขึ้น

3) ไนเตรต

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น ของไนเตรตตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 102 วัน แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในถังเลี้ยงกุ้งขาที่มีการกรองตั้งแต่วันที่ 55 เป็นต้นไป (ดังแสดงในรูปที่ 4.31) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณไนไตรต์ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยตรวจพบว่าไนเตรตมีความเข้มข้นสูงสุด เท่ากับ 42.9 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 75 ของการเลี้ยงกุ้ง ส่วนถังเลี้ยงกุ้งขาที่ไม่มีการกรองพบการสะสมตัวของไนเตรตตั้งแต่วันที่ 53 ของการเพาะเลี้ยง และพบความเข้มข้นของไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 32.3 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 102 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณไนเตรตสูงสุดที่ พบในถังเลี้ยงกุ้งขาที่มีการกรอง ส่วนไนถังเลี้ยงกุ้งกลาดำที่มีการกรอง พบว่าไนเตรตเริ่มสะสมตัวมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง (รูปที่ 4.32) โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 35 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 75 และพบการสะสมของไนเตรตในถังเลี้ยงกุ้งกลาดำที่ไม่มีการกรองตั้งแต่วันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้งเช่นกัน โดยพบความเข้มข้นสูงสุด 34.8 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรในวันที่ 53 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือเพิ่มปริมาณมากขึ้นหลังเกิดการสะสมตัวของไน ไตรต์ เป็นระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็น ปฏิกริยาที่มี 2 ขั้นตอนต่อเนื่องและอาจเกิดได้เร็วไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการสะสมของไน ไตรต์ ขึ้นได้ นอกจากนี้ ไนตริฟายอิงแบคทีเรียยังเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ช้า เพราะพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันมีค่าต่ำ (Boyd และ Tucker, 1998) การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์จึงต้องรอให้ AOB และ NOB เพิ่มจำนวนมากขึ้นจนสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไน ไตรต์ และไน ไตรต์เป็นไนเตรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะสามารถลดความเข้มข้นของไน ไตรต์ที่สะสมในน้ำลงได้ และการเพิ่มขึ้นของจุลชีพในถังเพาะเลี้ยงจะทำให้ระบบมีความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียมีบทบาทในวัฏจักรสารอาหารมากขึ้น แม้ว่าการบำบัดสารอาหารในน้ำโดยจุลสาหร่ายจะยังคงเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในระบบที่มีการสังเคราะห์แสงก็ตาม (Hargreaves, 2006)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่ตรวจพบในถังเลี้ยงกุ้งขาและกุ้งกลาดำมีค่าไม่เกิน 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดการเพาะเลี้ยง ซึ่งความเข้มข้นที่ 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร นี้ได้มีการแนะนำไว้โดย Hart และ O'Sullivan (1993) ว่าควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อความปลอดภัยของสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของไนเตรตในถัง

เพาะเลี้ยงแต่ละถังจะมีความผันแปรไปในแต่ละวันค่อนข้างมาก ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรมี การติดตั้งระบบดีไนตริฟิเคชันเพื่อการบำบัดไนเตรต เพราะแม้ว่าไนเตรตจะมีความเป็นพิษต่อ สัตว์ น้ำน้อยกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ (Boyd และ Tucker, 1998) แต่ถ้าไนเตรตสะสมตัวใน ปริมาณมากเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดความเครียดในสัตว์น้ำได้ นอกจากนี้ไนเตรตในน้ำที่จากบ่อ เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลให้เกิดการเติบโตอย่างมากของสาหร่าย (Algal bloom) ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Jackson และ Lochmann, 1992) ดังนั้นการบำบัดไนเตรตในระบบ เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและก่อนจะมีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีความสำคัญ เพื่อรักษา สภาพแวดล้อมของระบบเพาะเลี้ยงนั้นๆ ให้อยู่ในสภาวะที่ดีอยู่เสมอ

ผลการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในแต่ละถังเพาะเลี้ยงแสดงให้เห็นถึงการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่ายที่เติบโตขึ้นในระบบ และการเกิดกระบวนการไนตริ ฟิเคชันจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียในน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม ได้พบการสะสมตัวของไนไตรต์ในระบบ เป็นระยะเวลานานและ ยังมีการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลอง ส่งผลให้ คุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงมีค่าลดต่ำลง ซึ่งในงานวิจัยของ Chuntapa และคณะ (2003) ได้มี การศึกษาการนำสาหร่ายชนิดไซยาโนแบคทีเรีย *Spirulina platensis* มาเพาะเลี้ยงร่วมกับกุ้งกุลาดำ เพื่อบำบัดไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง และพบว่า *S. platensis* สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรต์ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.6 มก./ลิตร และควบคุมระดับของไนเตรตให้อยู่ในช่วง 16 ถึง 18 มก./ลิตรได้ โดยมีการเก็บเกี่ยวเซลล์ของ *S. platensis* ออกจากระบบแบบกึ่งต่อเนื่องด้วยผ้ากรอง ขนาดรูกรอง 60 ไมครอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้แล้วจะพบว่าจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาว และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำยังไม่สามารถลดความเข้มข้นของไนไตรต์และไนเตรตลงได้ เนื่องจากไม่พบ ความสอดคล้องกันระหว่างการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์เอกับปริมาณของไนไตรต์และไนเตรตใน น้ำ ความสามารถในการควบคุมสารประกอบไนโตรเจนแต่ละชนิดจึงน่าจะขึ้นอยู่กับประเภทของ จุลสาหร่ายที่มีอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม การนำระบบกรองแบบแบ่งส่วน มาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำจะช่วยให้สามารถทำการกรองได้สะดวกและรวดเร็วมาก ยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถติดตั้งเครื่องกรองคู่กับถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและสามารถทำการเดินระบบเมื่อ ถึงเวลาที่ต้องการแยกจุลสาหร่าย ตลอดจนของแข็งแขวนลอยอื่นๆ ออกจากน้ำ นอกจากนี้ ระบบ กรองแบบแบ่งส่วนยังสามารถนำไปใช้ได้กับการแยกไบโอฟลอค ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เริ่มมีการ นำมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งนี้ ไบโอฟลอคคือการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดย่อยสลาย สารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นพลังงาน (Heterotrophic bacteria) ร่วมกับจุลสาหร่ายในลักษณะที่เป็น ฟลอค ภายใต้อาหารที่มีการควบคุม (Schryver และคณะ, 2008) ซึ่งการกรองแบบแบ่งส่วนจะสามารถแยก ฟลอคจำนวนมากที่เกิดขึ้นออกไปจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ เช่นเดียวกับที่ได้ดำเนินการใน งานวิจัยนี้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ประยุกต์จากเครื่องกรองน้ำทั่วไป และใช้ กรองน้ำชนิดไส้ขนาดรูพรุน 30 ไมครอน มีศักยภาพในการนำไปใช้งานทั้งในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์

น้ำแบบปิดที่มี การหมุนเวียนน้ำและในระบบไบโอ ฟล๊อค เพื่อเป็น หนึ่งใน ทางเลือก สำหรับการนำไปใช้งานจริงของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไปในอนาคต

4.3.4 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งทดลอง

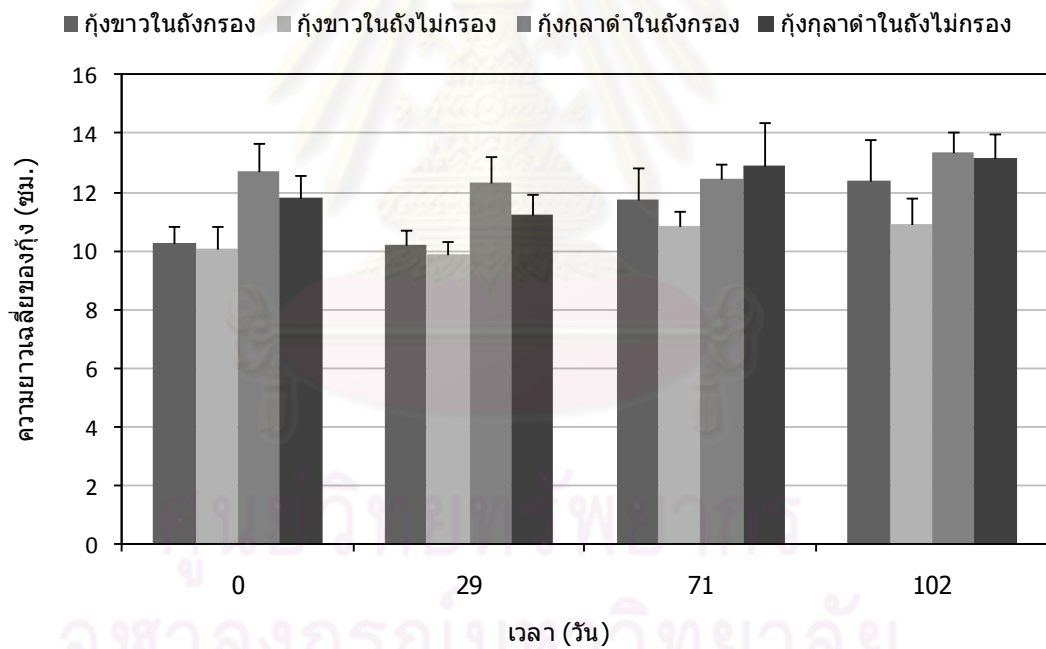
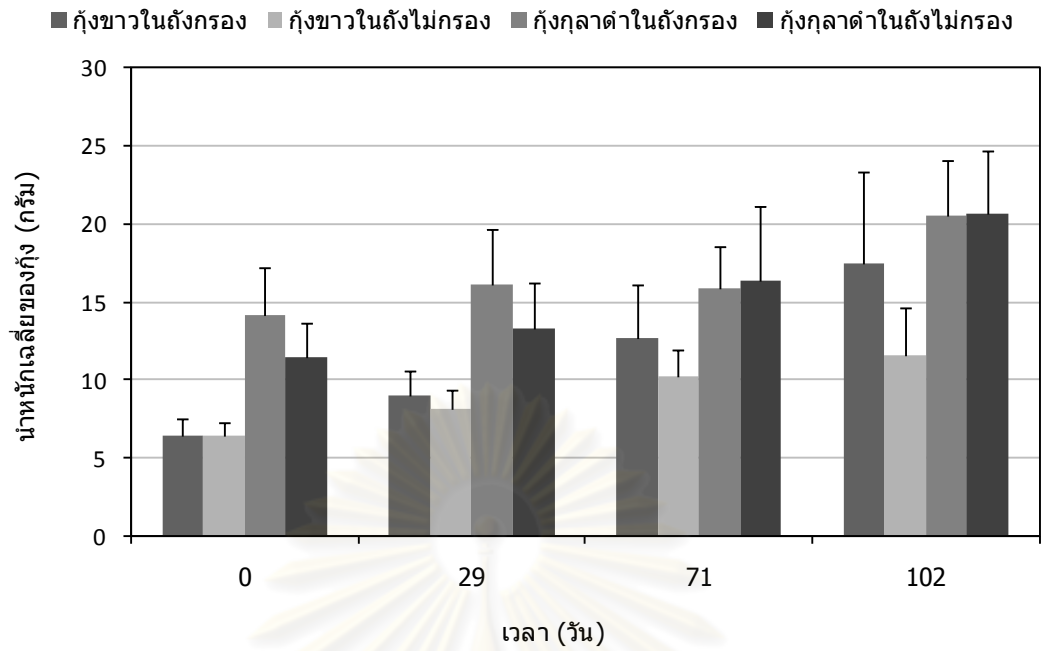
ผลการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและไม่มีการกรองเป็นระยะเวลา 102 วัน โดยปล่อยกุ้งเริ่มต้นในถังเพาะเลี้ยงที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. (0.35 ตัว/ตารางเมตร) และทำการตรวจวัดจำนวนกุ้ง น้ำหนัก และความยาวของกุ้งในแต่ละถังทุกๆ 1 เดือน แสดงในรูปที่ 4.33 โดยพบว่ากุ้งในแต่ละถังเพาะเลี้ยงมีการเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ ชัดเจนจากน้ำหนักเฉลี่ยที่วัดได้ในวันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยง แต่อย่างไรก็ตาม ผลการเลี้ยงกุ้งในตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรอดของทั้งกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงทุกถังมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าอัตราการรอดของกุ้งขาวในถังไม่กรองตะกอนมีค่าเพียง 23.08 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนกุ้งเริ่มต้นทั้งหมด และแม้จะได้ทำการกรองแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกไปจากถังเพาะเลี้ยงกุ้งขาว ก็พบว่าอัตราการรอดในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าไม่แตกต่างกัน คือเท่ากับ 25.64 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่าอัตราการรอดที่สูงกว่าการเลี้ยงกุ้งขาว คือพบกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรองเท่ากับ 44.44 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนกุ้งเริ่มต้น และพบกุ้งกุลาดำในถังที่ไม่มีการกรองเท่ากับ 31.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการตายของกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำนี้คาดว่าเกิดจากการสะสมตัวของไนโตรเจน ในช่วงประมาณวันที่ 10 ถึงวันที่ 55 ของการเพาะเลี้ยง โดยจากรายงานการวิจัยของ Lin และ Chen (2003) พบว่าระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ปลอดภัยสำหรับการเลี้ยงลูกกุ้งขาวคือเท่ากับ 15.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อใช้น้ำทะเลความเค็ม 25 พีเอสยู แต่ในการเพาะเลี้ยงนี้พบไนโตรเจนสูงสุดอยู่ในช่วง 25.2 ถึง 33.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อกุ้งในระบบได้ ส่วนความเป็นพิษของไนเตรตต่อกุ้งได้มีการรายงานไว้โดย Muir และคณะ (1991) ว่าความเข้มข้นของไนเตรตที่ 10 มก./ลิตร จะส่งผลให้ลูกกุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดเท่ากับ 29.46 ถึง 65.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรตที่ 100 มก./ลิตร จะส่งผลให้ลูกกุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดอยู่ที่ 4.98 ถึง 63.64 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรตในการทดลองนี้แล้วจะพบว่าแม้ไนเตรตในทุกถังเพาะเลี้ยงจะมีความเข้มข้นสูงสุดไม่เกิน 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร แต่การสะสมของไนเตรตในช่วงระยะหลังของการเพาะเลี้ยงก็อาจส่งผลต่อสุขภาพของกุ้งได้เช่นกัน ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Muir และคณะ (1991) ว่าไนเตรตสามารถส่งผลต่ออัตราการรอดของกุ้งได้ในช่วงค่อนข้างกว้าง และมีความผันแปรสูงในแต่ละความเข้มข้น การรักษาระดับปริมาณของไนเตรตในถังเพาะเลี้ยงให้มีระดับต่ำจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของกุ้งในระบบให้มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4.11 การเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและไม่มีการกรองตลอด
ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน

ผลการเลี้ยงกุ้ง	บ่อเพาะเลี้ยง กุ้งขาวที่มีการ กรอง	บ่อเพาะเลี้ยง กุ้งขาวที่ไม่มี การกรอง	บ่อเพาะเลี้ยง กุ้งกุลาดำที่มี การกรอง	บ่อเพาะเลี้ยง กุ้งกุลาดำที่ไม่ มีการกรอง
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	102	102	102	102
จำนวนกุ้งเริ่มต้น (ตัว)	39	39	18	22
จำนวนกุ้งในวันสุดท้าย (ตัว)	10	9	8	7
ขนาดน้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	6.47±1.02	6.45±0.81	14.13±3.08	11.41±2.27
ขนาดความยาวเริ่มต้น (ซม.)	10.26±0.57	10.09±0.74	12.73±0.96	11.80±0.76
ขนาดน้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	17.42±5.91	11.58±3.03	20.56±3.47	20.70±4.05
ขนาดความยาวสุดท้าย (ซม.)	12.41±1.42	10.93±0.90	13.33±0.75	13.17±0.84
น้ำหนักอาหารทั้งหมด (กรัม)	1,301.45	1,068.26	1,106.60	936.58
น้ำหนักกุ้งที่ปล่อย (กก./ตร.ม., กก./ลบ.ม.)	0.35, 0.50	0.35, 0.50	0.36, 0.51	0.35, 0.50
น้ำหนักกุ้งวันสุดท้าย (กก./ตร.ม., กก./ลบ.ม.)	0.24, 0.35	0.15, 0.21	0.23, 0.33	0.20, 0.29
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว- วัน)	17.36	11.52	20.42	20.59
ผลผลิต (กก./ไร่)	398.17	238.17	376.00	331.20
อัตราการรอดตายวันที่ 29 (เปอร์เซ็นต์)	79.49	82.05	88.89	63.64
อัตราการรอดตายวันที่ 71 (เปอร์เซ็นต์)	48.72	28.21	50.00	36.36
อัตราการรอดตายวันที่ 102 (เปอร์เซ็นต์)	25.64	23.08	44.44	31.82

ผลการตรวจวัดความยาวของกุ้งในแต่ละถังเพาะเลี้ยง แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของกุ้งในทุกถัง โดยเฉพาะกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรองและไม่มีกรอง พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 20.42 และ 20.59 กรัม/ตัว-วัน ตามลำดับ ส่วนกุ้งขาวในถังที่กรองพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 17.36 กรัม/ตัว-วัน ในขณะที่กุ้งขาวในบ่อที่ไม่มีกรองมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด คือเท่ากับ 11.52 กรัม/ตัว-วัน จึงอาจเป็นไปได้ว่ากุ้งกุลาดำมีความสามารถในการทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่ากุ้งขาว และจากการเปรียบเทียบผลการเลี้ยงกุ้งในทุกถังเพาะเลี้ยงจะเห็นได้ว่าถังที่มีการกรองและไม่มีกรองมีอัตราการรอดไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในถังเลี้ยงกุ้งขาว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกรองน้ำจากถังเพาะเลี้ยงด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วน แม้จะสามารถแยกจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกไปจากระบบได้มาก แต่ก็ยังไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำในระบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งได้ โดยเฉพาะไนโตรเจนและไนเตรดที่มีความเข้มข้นสูงจนอาจเป็นอันตรายต่อกุ้ง เนื่องจากจุลสาหร่ายจะกำจัดแอมโมเนียในน้ำเป็นหลัก ดังนั้นการจะรักษาอัตราการรอดของกุ้งและควบคุมคุณภาพน้ำก่อนจะมีการปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดไนโตรเจนและไนเตรดด้วย เช่นการใช้ตัวกรองชีวภาพร่วมกับการบำบัดด้วยจุลสาหร่ายและการใช้ระบบบำบัดคิโนรีฟิเคชัน เพื่อให้กุ้งสามารถอยู่รอดได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยน ถ่ายน้ำเป็นปริมาณมาก และลดการปล่อยน้ำที่ไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำ

เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้มีความหนาแน่นระดับปานกลาง คือ 0.35 กก./ตร.ม. หรือคิดเป็นความหนาแน่นของกุ้งขาวเท่ากับ 54 ตัว/ตร.ม. และกุ้งกุลาดำเท่ากับ 24 ถึง 30 ตัว/ตร.ม. แต่เนื่องจากการปล่อยกุ้งขนาดใหญ่ คือมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 6 ถึง 14 กรัม จึงไม่อาจเทียบได้กับการปล่อยลูกกุ้งขนาด P15 ซึ่งเป็นกุ้งที่มีความยาวตั้งแต่ 1.5 ซม. ขึ้นไป (ประจวบ หล้าอุบล, 2546) ที่มีกปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งแม้จะมีความหนาแน่นสูงถึง 50 ถึง 100 ตัว/ตร.ม. แต่กุ้ง P15 นั้นมีน้ำหนักเพียง 0.07 กรัม/ตัว หรือคิดเป็น 0.0035 ถึง 0.007 กก./ตร.ม. เท่านั้น หลังจากนั้นกุ้งจะเจริญเติบโตจนมีน้ำหนักถึง 6 กรัมได้ในเวลาประมาณ 2 เดือน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นที่ใช้ในการทดลองนี้จะทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนเป็นปริมาณมากกว่าที่จะสามารถบำบัดได้ด้วยจุลสาหร่ายเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.33 น้ำหนักเฉลี่ย (บน) และความยาวเฉลี่ย (ล่าง) ของกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรอง และไม่มีกรอง ซึ่งได้ทำการตรวจวัดในวันที่ 0 29 71 และ 102 ของการเพาะเลี้ยง

4.3.5 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง

ผลการประเมิน สมดุลไนโตรเจน (Nitrogen budget analysis) โดยการเปรียบเทียบปริมาณ และสัดส่วนทั้งหมดของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบเพาะเลี้ยงทั้ง 5 ชุด ตลอดระยะเวลา 102 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ซึ่งไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงประกอบด้วย อาหารกุ้งทั้งหมดที่ใส่ในถังเพาะเลี้ยง ไนโตรเจนที่มีอยู่ในเนื้อกุ้ง และไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำ โดยในระหว่างการเพาะเลี้ยง กุ้ง ไนโตรเจนในแต่ละส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงถ่ายโอนมวล เช่นจากไนโตรเจนในเม็ดอาหารจะเข้าไปสะสมอยู่ในตัวกุ้งเมื่อกุ้งมีการเจริญเติบโต รวมทั้งสะสมอยู่ในจุลสาหร่ายและจุลินทรีย์อื่นๆ ในน้ำ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบจะอยู่ในส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ (Unaccounted nitrogen) โดยไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์จะมาจากอาหารกุ้ง ในขณะที่อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จะเป็น ไนโตรเจนที่อยู่ในเนื้อเยื่อของกุ้ง และอีกประมาณ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์จะเป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายที่ทำการทดลองจะพบว่าในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำจะมีไนโตรเจนอยู่ในน้ำตั้งแต่ 17.92 ถึง 24.53 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ส่วนถังควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงกุ้งพบไนโตรเจนในน้ำ 24.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสะสมของไนโตรเจนในตัวกุ้งพบว่า มีสัดส่วนเพียง 4.52 ถึง 7.02 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้มีอัตราการรอดต่ำ และไม่ได้มีการชั่งน้ำหนักของกุ้งที่ตายไป น้ำหนักรวมของกุ้งที่เหลือรอดในวันสุดท้ายของการทดลองจึงไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกกุ้งนำไปสะสมไว้ได้ อย่างไรก็ตาม คาดว่าไนโตรเจนจำนวนมากที่ไม่สามารถระบุได้ในระบบน่าจะอยู่ในส่วนของอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากพบว่าในถังเลี้ยงกุ้งมีปริมาณจุลสาหร่ายและของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นมาก ไนโตรเจนส่วนหนึ่งจึงน่าจะถูกนำไปเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ของจุลสาหร่ายและภายในฟล็อก (floc) ที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง โดยฟล็อกในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักประกอบไปด้วยแบคทีเรีย สารอินทรีย์ และเซลล์ที่ตายแล้ว (Jorand และคณะ, 1995) และได้มีการรายงานไว้โดย Burford และคณะ (2003) ว่าสามารถตรวจพบไนโตรเจนจากตะกอนในบ่อเลี้ยง กุ้งขาวในช่วง 16.42 ถึง 18.65 กรัม/กก. นอกจากนี้ไนโตรเจนส่วนหนึ่งในถังเพาะเลี้ยงอาจมีการระเหยไปในรูปแบบของก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และอาจมีการระเหยไปบางส่วนในรูปแบบของก๊าซแอมโมเนียได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.12 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง 5 ชุด ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 102 วัน

องค์ประกอบ ไนโตรเจน	ถังควบคุม		ถังเลี้ยงกุ้งขาที่มี การกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งขาที่ไม่ มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ ไม่มีการกรอง	
	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (%)
<u>ไนโตรเจนที่</u> <u>เข้าสู่ระบบ</u>										
อาหารกุ้ง	41.80	95.63	79.13	88.60	64.95	86.62	67.28	86.49	56.94	84.87
กุ้ง	-	-	8.20	9.18	8.18	10.91	8.27	10.63	8.16	12.16
ไนโตรเจนรวม ทั้งหมด (TN)	1.03	2.36	1.06	1.19	0.95	1.27	1.30	1.67	1.08	1.61
อนินทรีย์ ไนโตรเจน ละลายน้ำ ทั้งหมด (DIN)	0.88	2.01	0.92	1.03	0.90	1.20	0.94	1.21	0.91	1.36
ไนโตรเจนที่ เข้าระบบ ทั้งหมด	43.71	100.00	89.31	100.00	74.98	100.00	77.79	100.00	67.09	100.00

ตารางที่ 4.12 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง 5 ชุด ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็ระยะ
เวลา 102 วัน (ต่อ)

องค์ประกอบ ไนโตรเจน	ถังควบคุม		ถังเลี้ยงกุ้งขาที่มี การกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งขาที่ไม่ มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ ไม่มีการกรอง	
	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตร เจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตร เจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตร เจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตร เจน (%)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตร เจน (%)
ไนโตรเจนใน วันสุดท้าย										
ไนโตรเจนรวม ทั้งหมด (TN)	10.87	24.87	16.37	18.33	18.39	24.53	13.94	17.92	12.83	19.12
อนินทรีย์ ไนโตรเจน ละลายน้ำ ทั้งหมด (DIN)	9.61	21.98	15.00	16.79	16.75	22.34	9.96	12.80	8.32	12.40
กุ้ง	-	-	5.66	6.34	3.39	4.52	5.35	6.88	4.71	7.02
ส่วนที่ไม่ สามารถระบุได้	31.96	73.12	66.36	74.30	52.30	69.75	57.56	73.99	48.64	72.50

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง การทดลองช่วงที่ 1 เป็นการศึกษาอัตราการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาการแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำโดยใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองก่อนนำไปใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง และการทดลองช่วงที่ 3 เป็นการศึกษาการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ร่วมกับ ถังเพาะเลี้ยงกุ้ง โดยทำการทดลอง เปรียบเทียบระหว่าง ถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติพบว่าจุลสาหร่ายสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำลงได้อย่างรวดเร็ว และพบการเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียร่วมกับจุลสาหร่ายจากการเพิ่มปริมาณขึ้นของไนเตรดในน้ำ รวมทั้งยังพบว่าของแข็งแขวนลอยในน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากเซลล์ของจุลสาหร่ายที่เพิ่มจำนวนขึ้นในน้ำ

5.1.2 ผลการศึกษาระบบกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำโดยใช้ไส้กรองเส้นใยขนาดรูพรุน 30 ไมครอน พบว่าการปรับสัดส่วนให้มีน้ำไหลผ่านไส้กรองมากเกินไปจะทำให้ระบบกรองกลายเป็นการกรองน้ำทั้งหมดผ่านไส้กรอง และทำให้มีเซลล์ของจุลสาหร่ายหลุดรอดผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้มาก ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนก็คือการปรับสัดส่วน ระหว่าง น้ำขาออกจากเครื่องกรองให้เหมาะสม ซึ่งในการทดลองชุดนี้พบว่าสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 เป็นสภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพการกรองเซลล์ จุลสาหร่าย น้ำเค็มชนิด *Chaetoceros gracilis* ได้สูงที่สุด และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที พบว่าความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นจะช่วยชะ เซลล์ของจุลสาหร่าย ที่สะสม บน ไส้กรอง ได้ดียิ่ง ขึ้น แต่ทำให้ค่าฟลักซ์ในการกรองลดลงได้เร็วมากขึ้นเช่นกัน

5.1.3 ผลการประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้ง ไร้ดินระบบปิด พบว่าการกรองแบบแบ่งส่วนโดยใช้ไส้กรองเส้นใยขนาดรูพรุน 30 ไมครอน สามารถแยกจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากรูน้ำได้ดี และทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างถังที่ทำการกรองและไม่ทำการกรองอย่างเห็นได้ชัด ส่วนชนิดของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละถังเพาะเลี้ยงพบว่ามีความแตกต่างกันในช่วงแรกของการทดลอง แต่ในช่วงเดือนสุดท้ายจะเกิดอนุภาคสารแขวนลอยในลักษณะที่เป็นฟล็อก (Floc) เกิดขึ้นในทุกถังเลี้ยงกุ้ง และจุลสาหร่ายที่พบตลอดการเลี้ยงกุ้งก็มีลักษณะแตกต่างกับจุลสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงได้ในการทดลองช่วงที่ 1 อย่างไรก็ตามพบว่าจุลสาหร่ายและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นร่วมกันในถังเลี้ยงกุ้งยังไม่สามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ทั้งหมดในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์และไนเตรตขึ้นในน้ำ ส่งผลให้อัตรารอดของกุ้งในระบบเพาะเลี้ยงมีค่าต่ำ

5.1.4 จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการทดลองนี้ พบว่าระบบกรองที่ดัดแปลงจากเครื่องกรองน้ำทั่วไปและใช้ไส้กรองเส้นใยขนาดรูพรุน 30 ไมครอนสามารถแยกทั้งจุลสาหร่ายที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของไส้กรองและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดี โดยการแยกเซลล์ของจุลสาหร่ายที่มีขนาดเล็กจะเกิดจากกลไกของระบบแบบแบ่งส่วนที่ช่วยเหวี่ยงน้ำส่วนหนึ่งออกไปจากเครื่องกรอง จึงช่วยลดแรงผลักดันที่จะทำให้เซลล์จุลสาหร่ายหลุดรอดผ่านรูพรุนไปเมื่อใช้ระบบกรองแบบปกติ ส่วนการแยกอนุภาคสารแขวนลอยก็สามารถจัดการได้ง่ายและสามารถแยกเอาส่วนของสารแขวนลอยเข้มข้นออกไปจากระบบได้ จึงเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำทิ้งและยังช่วยให้การใช้น้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระบบกรองแบบแบ่งส่วนนี้จึงมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง เพื่อให้เกษตรกรไทยได้ใช้เทคโนโลยีที่ทำได้ง่ายและมีราคาย่อมเยาเพื่อการเกษตรกรรมที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนำจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ และการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการแยกจุลสาหร่ายรวมทั้งอนุภาคสารแขวนลอยออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในครั้งต่อไปได้ดังนี้

5.2.1 ความเร็วน้ำที่ใช้ในการกรองและสัดส่วนระหว่างน้ำกรอง ต่อน้ำเวียนที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเพาะเลี้ยงนั้นๆ เช่น อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และกรองออกจาก

น้ำได้ง่าย สามารถจะใช้ความเร็วน้ำเข้าและสัดส่วนน้ำกรองที่สูงขึ้นได้ เนื่องจากสามารถกรองเสร็จได้เร็วโดยที่ค่าฟลักซ์ในระหว่างการกรองยังไม่ลดลงมากนัก ในขณะที่อนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กและกรองออกจากน้ำได้ยาก จะต้องใช้ความเร็วและสัดส่วนน้ำกรองที่ลดลงเพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กหลุดรอดผ่านไส้กรองไปได้มาก การเลือกสภาวะในการกรองของระบบกรองแบบแบ่งส่วนจึงต้องคำนึงถึงสภาวะของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหลัก เพื่อให้เครื่องกรองสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2.2 เนื่องจากการใช้จุลสาหร่ายเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนและในเตรดในน้ำให้ลดลงจนถึงระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำได้ การใช้ระบบบำบัดอื่นๆ เช่น ตัวกรองชีวภาพที่มีการตรึงไนตริฟายอิงแบคทีเรีย และระบบดีไนตริฟิเคชันร่วมไปกับการใช้จุลสาหร่ายในน้ำ จะช่วยให้การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น และช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบ รวมทั้งลดปริมาณน้ำทิ้งที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.2.3 ระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่ใช้ในการทดลองนี้ สามารถนำไปใช้ติดตั้งคู่กับถังเลี้ยงกุ้งและเดินระบบกรองเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด เพื่อรักษาระดับของจุลสาหร่ายรวมทั้งอนุภาคสารแขวนลอยให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณของของแข็งแขวนลอยที่เหมาะสมนี้จะแตกต่างกันไปตามอัตราเร็วในการเติบโตและการตายของจุลสาหร่าย ปริมาณของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ และปริมาณอาหารที่สะสมอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นๆ การกำหนดช่วงเวลาทำการกรองจึงต้องศึกษาจากปริมาณอนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้เป็นหลัก เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.4 จากการประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงกุ้งจากการทดลองนี้ พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองจะอยู่ในส่วนซึ่งไม่สามารถระบุได้เป็นส่วนใหญ่ โดยคาดว่าไนโตรเจนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของอนุภาคสารแขวนลอยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในน้ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรมีการตรวจวัดไนโตรเจนในอนุภาคสารแขวนลอยในระบบรวมทั้งศึกษาสัดส่วนการบำบัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากจุลสาหร่ายและสัดส่วนที่ถูกบำบัดโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในน้ำ เพื่อให้ทราบถึงบทบาทความสำคัญของจุลชีพแต่ละชนิดที่เติบโตขึ้นในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชลอ ลิมสุวรรณ. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ฐานเศรษฐกิจ, 2535.

ชลอ ลิมสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย.

กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2547.

นลินี เหลืองรุ่งรอง. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, 2544.

ประจวบ หล้าอุบล. เสวนาวิชาการเรื่องกุ้ง, [ออนไลน์], 2546. แหล่งที่มา:

http://www.nicaonline.com/articles2/site/view_article.asp?idarticle=134 [27 มกราคม 2553]

มนวิกันต์ ขจรบุญ. การคัดเลือกหัวเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรียเพื่อการประยุกต์ใช้กับตัวกรองชีวภาพ

สำหรับระบบน้ำหมุนเวียนของบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

มันสิน ตันทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อ

เลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร :

โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ยุวดี พิรพรพิศาล. สาหร่ายวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.

สุบันจิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน บทบาทของจุลินทรีย์

และการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

2552.

สรวิศ เผ่าทองสุข. สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายใน

ประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ “อุตสาหกรรม

สัตว์น้ำ” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ชุดที่ 2, 2543.

อรัญช ฆวาลภาฤทธิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : คณะกรรมการ

วิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545.

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, D.M., Glibert, P.M. and Burkholder, J.M. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. Estuaries. 25 (2002) : 704-726.
- APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Maryland : Victor Graphics, 1998.
- AWWA. American Water Works Association. Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water. Denver : Glacier Publishing Services, Inc., 2005.
- Arnot, T.C., Field, R.W. and Koltuniewicz, A.B. Cross-flow and dead-end microfiltration of oily-water emulsions Part II. Mechanisms and modelling of flux decline. Journal of Membrane Science. 169 (2000) : 1–15.
- Aslan, S. and Kapdan, I.K. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. Ecological Engineering. 28 (2006) : 64-70.
- Bae, T.H. and Tak, T.M. Interpretation of fouling characteristics of ultrafiltration membranes during the filtration of membrane bioreactor mixed liquor. Journal of Membrane Science. 264 (2005) : 151–160.
- Baker, R.W. Membrane technology and applications. 2nd edition. New York : J. Wiley, 2004.
- Barsanti, L. and Gualtieri, P. Algae: Anatomy Biochemistry, and Biotechnology. Boca Raton : Taylor & Francis, 2006.
- Bold, H.C. and Wynne, M.J. Introduction to the algae: structure and reproduction. New Jersey : Prentice–Hall, 1985.
- Bowen, W.R., Calvo, J.I. and Hermindez, A. Steps of membrane blocking in flux decline during protein microfiltration. Journal of Membrane Science. 101 (1995) : 153-165.
- Boyd, C.E. and Tucker, C.S. Pond aquaculture water quality management. Boston : Kluwer Academic, 1998.
- Brune, D.E., Schwartz, G., Eversole, A.G., Collier, J.A. and Schwedler, T.E. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. Aquacultural Engineering. 28 (2003) : 65-86.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H. and Pearson, D.C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. Aquaculture. 219 (2003) : 393– 411.

- Chang, I.S., Clech, P.L., Jefferson, B. and Judd, S. Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. Journal of Environmental Engineering. 128 (2002) : 1018-1029.
- Cheremisinoff, P.N. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology. New York : MARCEL DEKKER, INC., 1995
- Cherman, M. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. 2nd edition. Florida : CRC Press LLC, 1998.
- Chuntapa, B., Powtongsook, S., and Menasveta, P. Water quality control using *Spirulina platensis* in shrimp culture tanks. Aquaculture. 220 (2003) : 355–366.
- Cripps, S.J. and Bergheim, A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquacultural Engineering. 22 (2000) : 33–56.
- Dierberg, F.E. and Kiattisimkul, W. Issues, impacts, and implications of shrimp aquaculture in Thailand. Environmental Management. 20 (1996) : 649-666.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Installation and operation of a modular bivalve hatchery. Rome : FAO, 2007.
- Field , R.W., WU, D., Howell, J.A. and Gupta, B.B. Critical flux concept for microfiltration fouling. Journal of Membrane Science. 100 (1995) : 259-272.
- Franco-Nava, M.A., Blancheton, J.P., Deviller, G., Charrier, A. and Le-Gall, J.Y. Effect of fish size and hydraulic regime on particulate organic matter dynamics in a recirculating aquaculture system: elemental carbon and nitrogen approach. Aquaculture. 239 (2004) : 179–198.
- Funge-Smith, S.J. and Briggs, M.R.P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. Aquaculture. 164 (1998) : 117–133.
- Grasshoff, K., Kremling, K. and Ehrhaedt, M. Methods of seawater analysis. 3rd edition. Weinheim : Wiley-VCH, 1999.
- Grima, E.M., Belarbi, E.H., Acien Fernandez, F.G., Medina, A.R. and Chisti, Y. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. Biotechnology Advances. 20 (2003) : 491–515.
- Hargreaves, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. Aquacultural Engineering. 34 (2006) : 344–363.
- Hargreaves, J.A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture. 166 (1998) : 181–212.

- Harison, R.G., Todd, P., Rudge S.R. and Petrides, D.P. Bioseparations science and engineering.
New York : Oxford University Press, 2003.
- Hart, P. and O'Sullivan, D. Recirculation systems: design, construction and management.
Launceston : An Aquaculture Sourcebook Publication in Association with the National
Key Centre for Aquaculture, University of Tasmania, 1993.
- Ho, C.C. and Zydney, A.L. Effect of membrane morphology on the initial rate of protein fouling
during microfiltration. Journal of Membrane Science. 155 (1999) : 261-275.
- Ho, C.C. and Zydney, A.L. A Combined Pore Blockage and Cake Filtration Model for Protein
Fouling during Microfiltration. Journal of Colloid and Interface Science. 232 (2000) :
389-399.
- Howell, J.A. Sub-critical flux operation of microfiltration. Journal of Membrane Science. 107
(1995) : 165-171.
- Huang, L. and Morrissey, M.T. Fouling of membranes during microfiltration of surimi wash
water: Roles of pore blocking and surface cake formation. Journal of Membrane Science.
144 (1998) : 113-123.
- Hung, M.T. and Liu, J.C. Microfiltration for separation of green algae from water. Colloids and
Surfaces B: Biointerfaces. 51 (2006) : 157-164.
- Hwang, K.J. and Lin, T.T. Effect of morphology of polymeric membrane on the performance of
cross-flow microfiltration. Journal of Membrane Science. 199 (2002) : 41-52.
- Jackson, G.A. and Lochmann, S.E. Effect of coagulation on nutrient and light limitation of an
algal bloom. Limnology and Oceanography. 37 (1992) : 77-89.
- Jorand, F., Zartarian, F., Thomas, F., Block, J.C., Bottero, J.Y., Villemin, G., Urbain, V. and
Manem, J. Chemical and structural (2d) linkage between bacteria within
activated-sludge flocs. Water Research. 29 (1995) : 1639-1647.
- Keskinler, B., Yildiz, E., Erhan, E., Dogru, M., Bayhan, Y.K. and Akay, G. Crossflow
microfiltration of low concentration-nonliving yeast suspensions. Journal of Membrane
Science. 233 (2004) : 59-69.
- Knuckey, R.M., Brown, M.R., Robert, R. and Frampton, D.M.F. Production of microalgal
concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds. Aquacultural
Engineering. 35 (2006) : 300-313.

- Koltuniewicz, A.B., Field, R.W. and Arnot, T.C. Cross-flow and dead-end microfiltration of oily-water emulsion. Part I: Experimental study and analysis of flux decline. Journal of Membrane Science. 102 (1995) : 193-207.
- Koltuniewicz, A.B. and Field, R.W. Process factors during removal of oil-in-water emulsions with cross-flow microfiltration. Desalination. 105 (1996) : 79- 89.
- Kosvintsev, S., Holdich, R.G., Cumming, I.W. and Starov, V.M. Modeling of dead-end microfiltration with pore blocking and cake formation. Journal of Membrane Science. 208 (2002) : 181-192.
- Krichnavaruk, S., Loataweesup, W., Powtongsook, S., and Pavasant, P. Optimal growth conditions and the cultivation of *Chaetoceros calcitrans* in airlift photobioreactor. Chemical Engineering Journal. 105 (2005) : 91-98.
- Kuberkar, V.T. and Davis, R.H. Modeling of fouling reduction by secondary membranes. Journal of Membrane Science. 168 (2000) : 243-258.
- Li, H., Fane, A.G., Coster, H.G.L. and Vigneswaran, S. Direct observation of particle deposition on the membrane surface during cross-flow microfiltration. Journal of Membrane Science. 149 (1998) : 83-97.
- Lim, A.L. and Bai, R. Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater. Journal of Membrane Science. 216 (2003) : 279-290.
- Lin, Y.C. and Chen, J.C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. Aquaculture. 224 (2003) : 193-201.
- Molina Grima, E., Belarbi, E.H., Acie'n Ferna'ndez, F.G., Robles Medina, A., and Chisti, Y. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. Biotechnology Advances. 20 (2003) : 491-515.
- Morineau-Thomas, O., Legentilhomme, P. and Jaouen, P. Improvement of the performance of the ultrafiltration of bentonite suspensions using a swirling decaying annular flow: comparison with tangential plane and axial annular flows. Journal of Membrane Science. 193 (2001) : 19-33.
- Muir, P.R., Sutton, D.C. and Owens, L. Nitrate toxicity to *Penaeus monodon* protozoa. Marine Biology. 108 (1991) : 67-71.
- Muller-Feuga, A. The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. Journal of Applied Phycology. 12 (2000) : 527-534.

- Munoz, R., and Guieysse, B. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. Water Research. 40 (2006) : 2799 – 2815.
- Ohya, H., Kim, J.J., Chinen, A., Aihara, M., Semenova, S.I., Negishi, Y., Mori, O. and Yasuda, M. Effects of pore size on separation mechanisms of microfiltration of oily water, using porous glass tubular membrane. Journal of Membrane Science. 145 (1998) : 1-14.
- Prafidanos, P., Hernandez, A., Calvo, J.I. and Tejerina, F. Mechanisms of protein fouling in cross-flow UF through an asymmetric inorganic membrane. Journal of Membrane Science. 114 (1996) : 115-126.
- Pe´rez, O.M., Telfer, T.C., Beveridge, M.C.M. and Ross, L.G. Geographical Information Systems (GIS) as a simple tool to aid modeling of particulate waste distribution at marine fish cage sites. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 54 (2002) : 761–768.
- Piedrahita, R.H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture. 226 (2003) : 35–44.
- Rossignol, N., Vandanjon, L., Jaouen, P. and Que´me´neur, F. Membrane technology for the continuous separation microalgae culture medium: compared performances of cross-flow microfiltration and ultrafiltration. Aquacultural Engineering. 20 (1999) : 191–208.
- Rushton, A., Ward A.S. and Holdich, R.G. Solid-liquid filtration and separation technology. 2nd edition. Weinheim : Wiley-VCH, 2000.
- Sara, G., Scilipoti, D., Mazzola, A. and Modica, A. Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study (d13C and d15N). Aquaculture. 234 (2004) : 199–213.
- Schryver, P. D., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N. and Verstraete, W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. Aquaculture. 277 (2008) : 125–137.
- Seminario, L., Rozas, R., B´orquez, R. and Toledo, P.G. Pore blocking and permeability reduction in cross-flow microfiltration. Journal of Membrane Science. 209 (2002) : 121–142.
- Song, L. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling. Journal of Membrane Science. 139 (1998) : 183-200.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2nd edition. Ottawa : Fisheries Research Board of Canada, 1972.
- Teichert-Coddington, D.R., Rouse, D.B., Potts, A. and Boyd, C.E. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. Aquacultural Engineering. 19 (1999) : 147–161.

- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. Recirculating Aquaculture Systems. 2nd edition. New York : Northeastern Regional Aquaculture Center, 2002.
- Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M.P. and Garcia-Vargas, M. Environmental implications of intensive marine aquaculture in earthen ponds. Marine Pollution Bulletin. 40 (2000) : 981-988.
- Vela, M.C.V., Blanco, S.A., Garça, J.L. and Rodríguez, E.B. Analysis of membrane pore blocking models adapted to crossflow ultrafiltration in the ultrafiltration of PEG. Chemical Engineering Journal. 149 (2009) : 232–241.
- Voltolina, D., Gomez-Villa, H. and Correa, G. Nitrogen removal and recycling by *Scenedesmus obliquus* in semicontinuous cultures using artificial wastewater and a simulated light and temperature cycle. Bioresource Technology. 96 (2005) : 359–362.
- Wurts, W.A. Alkalinity and hardness in production ponds. World Aquaculture. 33(2002) : 16-17.
- Ye, Y., Le Clech, P., Chen, V., and Fane, A.G. Evolution of fouling during crossflow filtration of model EPS solutions. Journal of Membrane Science. 264 (2005) : 190–199.
- Zhou, Q., Li, K., Jun, X. and Bo, L. Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture. Bioresource Technology. 100 (2009) : 3780–3786.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก.1 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

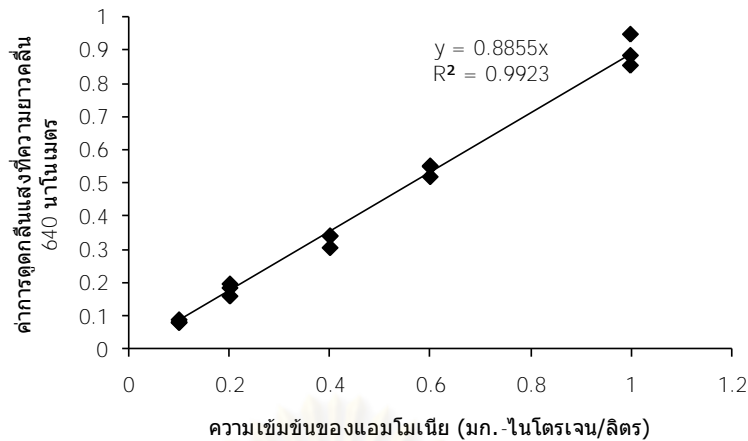
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำใช้วิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่อ้างอิงจาก Strickland และ Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการกรองก่อนเก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 30 มล. ควรทำการวิเคราะห์ทันทีหลังเก็บตัวอย่าง แต่หากยังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรนำตัวอย่างน้ำแช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิ -15 °ซ

- การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายฟีนอล เตรียมโดยการละลายฟีนอล 20 กรัม ใน 95 เปอร์เซ็นต์เอทิลแอลกอฮอล์ และปรับให้ได้ปริมาตร 200 มล.
2. สารละลายโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ เตรียมโดยละลาย $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 กรัม ในน้ำ D.I. และปรับปริมาตรให้เท่ากับ 200 มล.
3. สารละลายออกซิไดซ์ซิงค์ เตรียมโดยการผสมอัลคาไลนรีเอเจนต์ (ละลายโซเดียมซิงค์เตรต 100 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ในน้ำ D.I. ปริมาตร 500 มล.) กับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (ใช้สารละลายไฮโปคลอไรต์ทางการค้าซึ่งมีความเข้มข้น 1.5 นอร์มอล) ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1

- ขั้นตอนการวิเคราะห์

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอลปริมาตร 0.2 มล. และสารละลายโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ปริมาตร 0.2 มล. ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลายออกซิไดซ์ซิงค์ แล้วจึงปิดฝาหลอดทดลองด้วยฟาราฟิล์มและเขย่าให้เข้ากัน (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชม. ก่อนทำการวิเคราะห์ สำหรับ Blank ใช้น้ำกลั่น (De-ionized water) ที่ใส่สารเคมีแบบเดียวกับตัวอย่างน้ำ จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร สำหรับสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานเตรียมที่ความเข้มข้น 0.1 0.2 0.4 0.6 และ 1.0 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น (ความเข้มข้น 100 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานสำหรับแอมโมเนีย

ก.2 วิธีวิเคราะห์ไนไตรต์

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่อ้างอิงมาจาก Strickland และ Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการกรองก่อนเก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 30 มล. ควรทำการวิเคราะห์ทันทีหลังเก็บตัวอย่าง แต่หากยังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรนำตัวอย่างน้ำแช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิ -15 °ซ

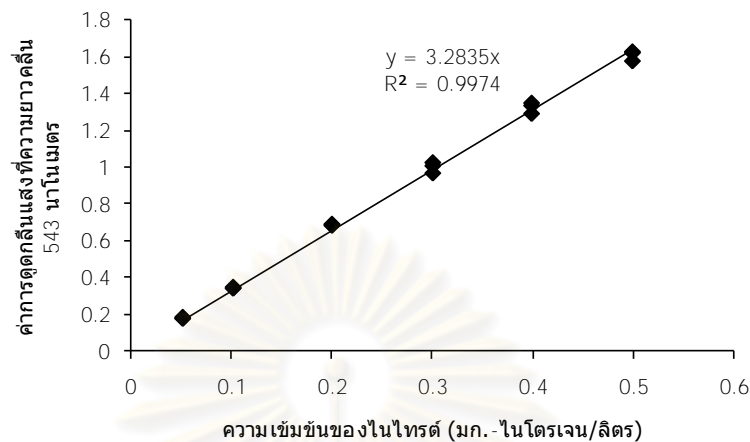
- การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ เตรียมโดยละลายซัลฟานิลาไมด์ 5 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มล. จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เท่ากับ 500 มล. เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 ถึง 8 นาที
2. สารละลายเอ็นเอ็นอีดี เตรียมโดยละลาย N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เท่ากับ 500 มล.

- ขั้นตอนการวิเคราะห์

เปิดน้ำตัวอย่าง 5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง ทำการเติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ ปริมาตร 0.1 มล. และสารละลายเอ็นเอ็นอีดีปริมาตร 0.1 มล. ตามลำดับ ปิดหลอดทดลองด้วยฟาราฟิล์มและเขย่าให้เข้ากัน (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ก่อนทำการวิเคราะห์ โดยใช้ น้ำกลั่น (De-ionized water) เป็น Blank และใส่สารเคมีแบบเดียวกันกับตัวอย่างน้ำ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร สำหรับสารละลายไนไตรต์มาตรฐานเตรียมที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4

และ 0.5 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ จากสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนเข้มข้น (ความเข้มข้น 100 มก.-ไนโตรเจน/ล.) ดังแสดงในรูปที่ ก-2

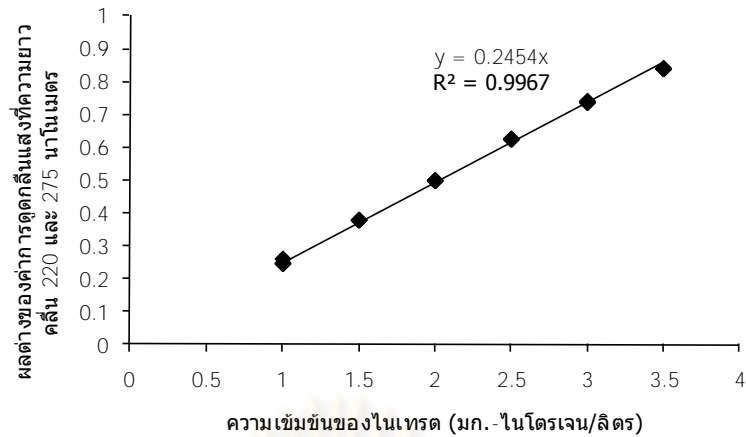


รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานสำหรับไนโตรเจน

ก.3 วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรตใช้วิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่อ้างอิงมาจาก Strickland และ Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการกรองก่อนเก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 30 มล. ควรทำการวิเคราะห์ทันทีหลังเก็บตัวอย่าง แต่หากยังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรนำตัวอย่างน้ำแช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิ -15 °ซ

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนเตรตดำเนินการโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร ตามลำดับ และใช้น้ำกลั่นเป็น Blank โดยไม่มีการเติมสารเคมี จากนั้นจึงนำผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงทั้งสองค่าไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณไนเตรต ซึ่งค่าไนเตรตที่คำนวณได้ต้องนำไปลบด้วยปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำเดียวกัน เนื่องจาก การวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธีการนี้จะเป็นการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวมไปด้วย สำหรับสารละลายไนเตรตมาตรฐานได้เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ จากสารละลายมาตรฐานไนเตรตเข้มข้น (ความเข้มข้น 100 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) ดังแสดงในรูปที่ ก-3



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานสำหรับไนเตรต

ก.4 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด

- การเตรียมสารเคมี

1. สารออกซิไดซ์ซิงค์ เตรียมโดยละลาย Purified potassium peroxdisulphate ($K_2S_2O_8$) 5 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 กรัม ในน้ำ D.I. จากนั้นปรับปริมาตรให้เท่ากับ 250 มล. และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องภายในขวดพลาสติกที่หุ้มด้วยแผ่นอะลูมิเนียม
2. บอเรตบัฟเฟอร์ เตรียมโดยละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 15.45 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ในน้ำ D.I. จากนั้นปรับปริมาตรให้เท่ากับ 250 มล. และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องภายในขวดพลาสติกที่หุ้มด้วยแผ่นอะลูมิเนียม

การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำใช้วิธีการซึ่งดัดแปลงมาจาก Grasshoff (1999) โดยนำตัวอย่าง (ทั้งที่กรองและไม่ได้กรอง) ปริมาตร 2.5 มล. มาบรรจุในหลอดทดลอง และเติมสารออกซิไดซ์ซิงค์ปริมาตร 1.25 มล. ก่อนนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนเติมบอเรตบัฟเฟอร์ปริมาตร 0.25 มล. และนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ไนเตรต คือวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 220 และ 275 นาโนเมตร ซึ่งตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรองจะเป็นตัวแทนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนตัวอย่างน้ำที่กรองแล้วจะเป็นตัวแทนของปริมาณไนโตรเจนละลายทั้งหมดในน้ำ

ก.5 วิธีวิเคราะห์รังควัตถุ

การวิเคราะห์รังควัตถุใช้วิธีการซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland และ Parson (1972) โดยการกรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาด 25 มม. จากนั้นนำแผ่นกรองที่ได้ไปสกัดหารังควัตถุ (หากต้องการเก็บตัวอย่างไว้ให้พับแผ่นกระดาษกรองแล้วห่อด้วยกระดาษอลูมิเนียม แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างไว้ได้ 2 ถึง 3 สัปดาห์) การสกัดใช้วิธีการนำแผ่นกรองแช่ลงในสารละลายอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มล. จากนั้นแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 ชม. แล้วจึงนำแผ่นกรองมาบดจนละเอียด เทสารละลายที่ได้กลับลงในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรให้เป็น 5 มล. ด้วยอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสารละลายมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 630 645 และ 665 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ เป็น Blank ซึ่งการคำนวณหาปริมาณรังควัตถุใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)} = \frac{[11.6(A-665)-1.31(A-645)-0.14(A-630)] \times \text{ปริมาตรอะซีโตน (มล.)}}{\text{ปริมาตรน้ำกรอง (ล.)} \times \text{ความยาวของหลอดคววเวทที่ใช้วัดตัวอย่าง (ซม.)}}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี (มก./ลบ.ม.)} = \frac{[20.7(A-645)-4.34(A-665)-4.42(A-630)] \times \text{ปริมาตรอะซีโตน (มล.)}}{\text{ปริมาตรน้ำกรอง (ล.)} \times \text{ความยาวของหลอดคววเวทที่ใช้วัดตัวอย่าง (ซม.)}}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ซี (มก./ลบ.ม.)} = \frac{[55(A-630)-4.64(A-665)-16.3(A-645)] \times \text{ปริมาตรอะซีโตน (มล.)}}{\text{ปริมาตรน้ำกรอง (ล.)} \times \text{ความยาวของหลอดคววเวทที่ใช้วัดตัวอย่าง (ซม.)}}$$

$$\text{คาโรทีนอยด์ (มก./ลบ.ม.)} = \frac{4.0(A-480) \times \text{ปริมาตรอะซีโตน (มล.)}}{\text{ปริมาตรน้ำกรอง (ล.)} \times \text{ความยาวของหลอดคววเวทที่ใช้วัดตัวอย่าง (ซม.)}}$$

ก.6 วิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธีการซึ่งอ้างอิงมาจาก Standard Method (1998) โดยการนำกระดาษกรอง GF/C ขนาด 47 มม. มาอบและชั่งน้ำหนักจนคงที่ จากนั้นนำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. เมื่อนำกระดาษกรองออกจากตู้อบให้นำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระดาษกรองเย็นลง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{\text{นน.กระดาษกรองหลังกรองน้ำ} - \text{นน.กระดาษกรองก่อนกรองน้ำ}}{\text{ปริมาตรน้ำที่กรอง (มล.)}} \times 10^6$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ในผลการทดลองที่ 4.1 ได้ทำการศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน โดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยการตรวจวัดปริมาณรงควัตถุ ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจน และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลงในระบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ ข-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายจากผลการทดลองที่ 4.1

วันที่	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์บี (มก./ลบ.ม.)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ทีนอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
13/3/52	15.11	6.70	17.78	12.63	50.71	28.26	10.93	5.85
14/3/52	3.27	2.83	6.02	3.15	7.46	7.82	3.29	0.67
15/3/52	6.76	3.85	7.65	3.64	-1.68	9.03	5.16	3.11
16/3/52	10.72	2.11	3.68	5.62	4.11	17.36	4.80	2.54
17/3/52	32.06	28.07	24.45	16.11	2.37	21.64	11.29	12.16
18/3/52	141.35	92.30	86.03	51.77	19.93	18.98	36.76	25.22
19/3/52	179.67	73.51	108.63	43.58	51.51	4.46	59.20	24.41
20/3/52	254.03	116.73	141.87	55.38	68.82	36.24	97.87	41.38
21/3/52	142.68	64.68	81.92	32.83	29.49	22.89	67.73	28.11
22/3/52	90.37	76.06	61.92	31.04	78.80	35.20	59.20	47.74
23/3/52	86.49	55.18	53.04	21.67	78.71	41.71	57.07	32.23
24/3/52	136.17	44.05	60.22	15.85	107.38	51.87	88.18	26.66
25/3/52	268.77	83.81	131.00	3.13	185.39	46.05	118.52	27.11
26/3/52	312.81	127.89	164.65	50.21	199.07	82.41	142.37	55.95
27/3/52	346.23	59.84	184.37	39.10	252.78	47.64	164.07	29.04
28/3/52	348.40	57.19	193.38	27.00	268.40	31.57	213.78	18.41
29/3/52	462.75	141.37	271.70	99.90	380.79	199.17	261.56	75.13
30/3/52	603.18	104.01	384.65	123.87	374.67	157.97	296.67	69.67
31/3/52	611.31	213.22	426.00	154.35	610.49	132.27	297.78	116.58

ตารางที่ ข-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถึงเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย
จากผลการทดลองที่ 4.1

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
12/3/52	0.070	0.013	0.008	0.002	1.510	0.092
13/3/52	0.292	0.136	0.023	0.004	1.702	0.077
14/3/52	1.062	0.116	0.050	0.008	1.696	0.054
15/3/52	1.485	0.130	0.066	0.014	1.693	0.013
16/3/52	1.739	0.193	0.070	0.008	1.705	0.053
17/3/52	1.403	0.457	0.075	0.007	1.723	0.103
18/3/52	0.528	0.707	0.044	0.036	1.666	0.069
19/3/52	0.098	0.059	0.027	0.039	1.729	0.057
20/3/52	0.074	0.009	0.007	0.007	1.784	0.175
21/3/52	0.072	0.003	0.003	0.003	1.819	0.079
22/3/52	0.113	0.041	0.006	0.003	1.958	0.283
23/3/52	0.090	0.029	0.014	0.011	2.068	0.218
24/3/52	0.093	0.021	0.003	0.002	2.121	0.055
25/3/52	0.163	0.058	0.013	0.006	2.375	0.102
26/3/52	0.087	0.007	0.008	0.004	2.187	0.388
27/3/52	0.096	0.027	0.013	0.002	2.628	0.168
28/3/52	0.126	0.041	0.022	0.006	2.856	0.209
29/3/52	0.194	0.083	0.014	0.001	3.083	0.386
30/3/52	0.170	0.028	0.007	0.004	3.373	0.528

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายจากผลการทดลองที่ 4.1

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
13/3/52	82.22	20.37
14/3/52	122.22	22.19
15/3/52	132.22	41.41
16/3/52	151.11	33.55
17/3/52	163.33	18.56
18/3/52	202.22	24.57
19/3/52	288.89	45.26
20/3/52	111.11	7.70
21/3/52	71.11	11.71
22/3/52	101.11	22.19
23/3/52	82.22	3.85
24/3/52	103.33	15.28
25/3/52	112.22	10.18
26/3/52	113.33	14.53
27/3/52	122.22	30.25
28/3/52	210.00	62.45
29/3/52	163.33	29.63
30/3/52	184.44	36.72
31/3/52	220.56	56.87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ในผลการทดลองที่ 4.2 ได้ทำการศึกษาระบบกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อหา สภาวะที่เหมาะสม ในการกรองจุลสาหร่าย โดยเลือกใช้ไดอะตอมชนิด *Chaetoceros gracilis* มาทำการทดสอบ ประสิทธิภาพของระบบกรอง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณของรงควัตถุ ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจน ปริมาณของแข็งแขวนลอย และจำนวนเซลล์ในถังเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบกรองแบบแบ่งส่วน ได้แก่ ค่าฟลักซ์ในการกรอง และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่แยกได้ที่สำคัญการกรองต่างๆ กัน ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ ค-1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงไดอะตอม *C. gracilis* ครั้งที่ 1

วันที่	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8/5/51	99.08	7.90	66.82	5.29
12/5/51	509.66	53.23	424.86	21.05
13/5/51	661.65	63.14	695.01	148.87
14/5/51	656.75	150.13	584.35	294.12
15/5/51	402.92	58.00	225.09	113.72

ตารางที่ ค-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงไดอะตอม *C. gracilis* ครั้งที่ 1

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
8/5/51	0.140	0.020	0.028	0.001	5.437	0.033
12/5/51	0.164	0.022	0.074	0.014	3.369	0.008
13/5/51	0.146	0.018	0.068	0.004	3.221	0.005
14/5/51	0.151	0.024	0.064	0.002	2.892	0.021
15/5/51	0.130	0.009	0.067	0.007	2.851	0.024

ตารางที่ ค-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยและจำนวนเซลล์ในถังเพาะเลี้ยงไคอะตอม *C. gracilis* ครั้งที่ 1

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนเซลล์ (เซลล์/มล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8/5/51	49.33	5.55	-	-
12/5/51	109.50	0.00	406,666.67	23,570.23
13/5/51	116.00	4.95	500,000.00	47,140.45
14/5/51	114.50	2.12	576,666.67	42,426.41
15/5/51	113.00	3.54	310,000.00	28,284.27

ตารางที่ ค-4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงไคอะตอม *C. gracilis* ครั้งที่ 2

วันที่	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	คลอโรฟิลล์บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
27/6/51	209.02	21.39	27.97	18.47	157.11	50.90
28/6/51	372.51	12.45	51.04	26.43	277.69	32.13
29/6/51	435.11	0.85	60.88	31.95	283.87	61.53
30/6/51	490.60	26.28	32.43	2.33	280.87	28.26
1/7/51	490.35	8.37	33.99	0.03	297.68	0.49

ตารางที่ ค-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงไคอะตอม *C. gracilis* ครั้งที่ 2

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
27/6/51	0.043	0.001	0.028	0.001	2.825	0.029
28/6/51	0.073	0.010	0.027	0.001	2.003	0.006
29/6/51	0.047	0.004	0.031	0.001	1.831	0.031
30/6/51	0.053	0.005	0.005	0.001	1.264	0.034
1/7/51	0.057	0.005	0.005	0.001	1.706	0.054

ตารางที่ ค-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยและจำนวนเซลล์ในถังเพาะเลี้ยงไคอะตอม
C. gracilis ครั้งที่ 2

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนเซลล์ (เซลล์/มล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
27/6/51	92.00	1.41	335,000.00	49,497.47
28/6/51	79.00	7.07	446,666.67	9,428.09
29/6/51	186.50	27.58	495,000.00	82,495.79
30/6/51	187.50	13.44	625,000.00	58,925.57
1/7/51	194.00	8.49	623,333.33	98,994.95

ตารางที่ ค-7 การกรองที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาที)	อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/วินาที)	ฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	เปอร์เซ็นต์ของค่าฟลักซ์ที่ลดลง
0	0.0068	78.91	100
10	0.0068	78.59	99.59
20	0.0068	78.59	99.59
30	0.0067	77.90	98.72
40	0.0067	77.43	98.13
50	0.0067	77.12	97.74
60	0.0067	77.12	97.74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-8 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้สัดส่วนระหว่าง น้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาทื)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ประสิทธิภาพการกรอง (เปอร์เซ็นต์)
0	40.93	0.00	96.74
10	103.16	10.13	91.77
20	32.70	1.54	97.39
30	28.95	2.54	97.69
40	0.29	0.41	99.98
50	47.94	1.92	96.18
60	24.13	4.13	98.08

ตารางที่ ค-9 การกรองที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาทื)	อัตราการไหลของน้ำ กรอง (ลิตร/วินาที)	ฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	เปอร์เซ็นต์ของค่าฟลักซ์ ที่ลดลง
0	0.01767	204.79	100
10	0.01748	202.65	98.95
20	0.01799	208.48	101.80
30	0.01761	204.07	99.65
40	0.01748	202.65	98.95
50	0.01718	199.16	97.25
60	0.01701	197.13	96.26

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค- 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาทื)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ประสิทธิภาพการกรอง (เปอร์เซ็นต์)
0	49.56	2.00	95.84
10	19.78	3.66	98.34
20	9.85	4.18	99.17
30	7.19	1.79	99.40
40	27.90	2.28	97.66
50	21.81	0.23	98.17
60	31.36	1.33	97.37

ตารางที่ ค- 11 การกรองที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 75:25 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาทื)	อัตราการไหลของน้ำ กรอง (ลิตร/วินาที)	ฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	เปอร์เซ็นต์ของค่าฟลักซ์ ที่ลดลง
0	0.0262	303.44	100
10	0.0256	296.45	97.70
20	0.0250	289.78	95.50
30	0.0246	285.50	94.09
40	0.0241	279.31	92.05
50	0.0244	282.72	93.17
60	0.0239	276.64	91.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค- 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 75:25 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

เวลา (นาที)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ประสิทธิภาพการกรอง (เปอร์เซ็นต์)
0	264.57	5.52	80.82
10	411.91	1.70	70.15
20	437.58	0.21	68.29
30	454.75	0.54	67.04
40	462.21	1.36	66.50
50	455.97	0.02	66.95
60	476.38	5.36	65.47

ตารางที่ ค- 13 การกรองที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

เวลา (นาที)	อัตราการไหลของน้ำ กรอง (ลิตร/วินาที)	ฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	เปอร์เซ็นต์ของค่าฟลักซ์ ที่ลดลง
0	0.0250	289.78	100
15	0.0227	263.44	90.91
30	0.0200	231.83	80.00
45	0.0185	214.65	74.07
60	0.0132	152.52	52.63
75	0.0106	123.31	42.55
90	0.0106	123.31	42.55
105	0.0106	123.31	42.55
120	0.0100	115.91	40.00

ตารางที่ ค- 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้และประสิทธิภาพการกรอง เมื่อใช้สัดส่วน
ระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 และความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/
วินาที

เวลา (นาที)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)	ประสิทธิภาพการกรอง (เปอร์เซ็นต์)
30	43.06	92.80
60	8.65	98.55
90	10.08	98.32
120	95.06	84.10



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การทดลองที่ 4.3 เป็นการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยงกุ้งออกจากน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลสาหร่ายรวมทั้งปริมาณและลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้ง ขาว และกุ้งกุลาดำ ตลอดจนติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลที่เกิดขึ้นหลังทำการกรองแต่ละครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ ง-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังควบคุม

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
16/6/52	0.252	0.025	0.031	0.001	1.485	0.001
18/6/52	0.271	0.041	0.042	0.001	1.560	0.004
20/6/52	0.512	0.039	0.036	0.001	1.443	0.002
22/6/52	0.295	0.001	0.027	0.000	0.815	0.002
24/6/52	0.011	0.009	0.010	0.001	1.047	0.009
26/6/52	0.065	0.022	0.010	0.001	1.263	0.001
28/6/52	0.514	0.020	0.009	0.001	0.908	0.005
30/6/52	1.586	0.138	0.017	0.001	1.148	0.007
2/7/52	2.623	0.197	0.063	0.000	1.092	0.006
4/7/52	2.819	0.020	0.151	0.004	0.841	0.005
6/7/52	2.048	0.153	0.407	0.029	1.221	0.033
8/7/52	0.336	0.106	4.177	0.102	0.989	0.099
10/7/52	0.152	0.000	3.969	0.070	1.217	0.074
12/7/52	0.137	0.053	2.569	0.069	0.603	0.072
14/7/52	0.273	0.191	2.193	0.061	0.814	0.049
16/7/52	0.168	0.139	2.980	0.044	0.935	0.052
18/7/52	0.117	0.020	1.990	0.082	1.141	0.080
20/7/52	0.010	0.018	0.525	0.060	0.658	0.056
22/7/52	0.022	0.003	4.187	0.177	1.380	0.175
24/7/52	0.000	0.000	0.058	0.014	0.709	0.010
26/7/52	0.000	0.000	0.057	0.006	1.035	0.008
28/7/52	0.113	0.004	0.065	0.002	1.159	0.008
30/7/52	0.632	0.063	0.982	0.791	1.927	0.798

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1/8/52	0.223	0.032	2.003	0.458	1.684	0.458
3/8/52	0.086	0.016	2.139	0.062	1.487	0.115
5/8/52	0.033	0.010	1.562	0.470	1.233	0.746
7/8/52	0.292	0.021	1.704	0.262	2.501	0.262
9/8/52	0.011	0.004	0.634	1.019	1.913	1.018
11/8/52	0.041	0.001	0.011	0.006	4.468	0.216
13/8/52	0.034	0.005	0.008	0.005	1.540	0.088
15/8/52	0.021	0.002	0.007	0.002	6.554	0.115
17/8/52	0.126	0.042	0.006	0.003	1.245	0.046
19/8/52	0.142	0.006	0.015	0.009	1.970	0.074
21/8/52	0.117	0.003	0.006	0.007	1.908	0.226
23/8/52	0.174	0.006	0.007	0.005	2.885	0.184
25/8/52	0.317	0.036	0.041	0.026	2.420	0.025
27/8/52	0.517	0.039	0.132	0.067	2.692	0.028
29/8/52	0.912	0.024	0.406	0.200	2.339	0.098
31/8/52	0.149	0.028	0.129	0.074	1.276	0.148
2/9/52	0.346	0.023	0.209	0.107	2.373	0.093
4/9/52	0.342	0.038	0.308	0.034	3.722	0.042
6/9/52	0.132	0.017	0.212	0.092	7.792	0.131
8/9/52	0.266	0.008	0.126	0.026	3.237	0.026
10/9/52	0.212	0.001	0.113	0.007	3.807	0.242
12/9/52	0.211	0.035	0.136	0.028	2.708	0.044
14/9/52	0.313	0.059	0.130	0.013	2.432	0.117
16/9/52	0.450	0.022	0.221	0.090	5.637	0.098
18/9/52	1.163	0.025	0.232	0.069	6.075	0.154
20/9/52	0.741	0.023	0.136	0.043	7.888	0.156
22/9/52	1.636	0.179	0.092	0.037	5.231	0.509
25/9/52	1.812	0.163	0.046	0.006	17.369	0.058

ตารางที่ ง-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการ
กรอง

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
16/6/52	0.330	0.024	0.132	0.168	1.372	0.165
18/6/52	0.802	0.027	0.040	0.003	1.518	0.006
20/6/52	1.915	0.227	0.039	0.002	1.581	0.004
22/6/52	2.804	0.108	0.060	0.002	1.652	0.003
24/6/52	2.020	0.381	0.109	0.002	1.693	0.006
26/6/52	4.891	0.432	0.211	0.004	1.907	0.006
28/6/52	2.069	0.079	0.931	0.004	1.799	0.006
30/6/52	0.482	0.020	3.867	0.195	2.881	0.148
2/7/52	0.774	0.028	5.838	0.290	2.957	0.363
4/7/52	0.846	0.027	9.246	0.289	3.177	0.343
6/7/52	0.509	0.094	12.149	0.362	3.751	0.365
8/7/52	0.695	0.119	7.267	0.499	0.920	0.435
10/7/52	0.738	0.020	13.602	0.236	2.448	0.115
12/7/52	0.086	0.041	2.436	0.010	0.605	0.008
14/7/52	0.367	0.179	16.385	0.376	0.000	0.195
16/7/52	0.230	0.069	13.978	0.452	2.297	0.540
18/7/52	0.359	0.088	14.985	0.845	3.855	0.909
20/7/52	0.143	0.023	14.291	1.173	3.260	1.294
22/7/52	0.116	0.010	6.225	0.904	2.908	0.750
24/7/52	0.105	0.011	22.499	1.995	8.673	1.958
26/7/52	0.140	0.008	21.826	0.486	4.487	0.490
28/7/52	0.213	0.011	8.584	0.687	2.435	0.746
30/7/52	0.430	0.050	20.705	1.277	1.978	1.230
1/8/52	0.515	0.060	22.064	1.376	5.324	1.292
3/8/52	0.518	0.057	25.440	0.460	2.804	0.356
5/8/52	0.719	0.051	24.553	6.352	4.927	6.429
7/8/52	0.512	0.042	17.781	1.057	7.907	0.999
9/8/52	0.118	0.002	9.995	0.221	21.396	0.227
11/8/52	0.259	0.009	0.209	0.002	30.753	0.127
13/8/52	0.292	0.052	0.178	0.002	23.296	0.149
15/8/52	0.335	0.030	0.035	0.002	8.352	0.152

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
17/8/52	0.607	0.105	0.110	0.002	24.632	0.151
19/8/52	0.635	0.051	0.127	0.007	24.049	0.066
21/8/52	0.616	0.012	0.033	0.001	15.713	0.392
23/8/52	0.840	0.037	0.083	0.002	28.034	0.200
25/8/52	0.611	0.025	0.019	0.001	29.981	0.176
27/8/52	0.524	0.034	0.029	0.001	40.264	0.151
29/8/52	0.141	0.071	0.231	0.021	42.938	0.097
31/8/52	0.391	0.014	0.218	0.001	40.897	0.066
2/9/52	0.421	0.071	0.151	0.002	41.296	0.138
4/9/52	0.524	0.082	0.157	0.002	41.751	0.128
6/9/52	0.316	0.040	0.379	0.008	38.544	0.050
8/9/52	0.526	0.020	0.383	0.006	38.685	0.106
10/9/52	0.526	0.036	0.383	0.010	34.786	0.278
12/9/52	0.474	0.016	0.265	0.023	33.354	0.107
14/9/52	0.453	0.097	0.206	0.002	32.839	0.128
16/9/52	0.279	0.005	0.292	0.018	35.266	0.048
18/9/52	0.416	0.025	0.207	0.026	29.193	0.114
20/9/52	0.210	0.022	0.193	0.003	26.907	0.147
22/9/52	0.593	0.039	0.270	0.030	32.236	0.117
25/9/52	0.486	0.034	0.133	0.002	29.387	0.128

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการ
กรอง

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
16/6/52	0.313	0.032	0.033	0.001	1.462	0.008
18/6/52	1.029	0.019	0.031	0.001	1.532	0.009
20/6/52	2.343	0.295	0.040	0.000	1.532	0.006
22/6/52	2.605	0.053	0.055	0.001	1.591	0.006
24/6/52	2.148	0.149	0.100	0.001	1.746	0.006
26/6/52	1.889	0.274	0.289	0.002	1.976	0.003
28/6/52	2.301	0.176	1.773	0.025	2.203	0.131
30/6/52	0.145	0.018	5.909	0.196	2.735	0.203
2/7/52	0.685	0.050	6.576	0.103	2.192	0.117
4/7/52	0.631	0.072	13.736	0.045	3.401	0.131
6/7/52	0.480	0.097	11.087	0.880	4.277	0.895
8/7/52	0.305	0.127	3.489	0.125	0.598	0.045
10/7/52	0.754	0.448	8.314	0.489	1.240	0.410
12/7/52	0.168	0.088	5.809	0.231	1.223	0.357
14/7/52	0.188	0.112	6.596	0.243	1.972	0.180
16/7/52	0.707	0.018	14.106	0.371	2.113	0.310
18/7/52	0.082	0.031	20.638	0.513	1.556	0.410
20/7/52	0.220	0.016	18.009	2.032	4.959	2.033
22/7/52	0.094	0.018	18.836	1.187	4.846	1.206
24/7/52	0.056	0.005	33.492	2.156	0.000	2.281
26/7/52	0.069	0.004	24.580	0.600	6.135	0.506
28/7/52	0.098	0.001	12.852	0.884	2.898	0.923
30/7/52	0.291	0.022	21.094	0.224	2.403	0.196
1/8/52	0.239	0.010	22.728	0.696	3.073	0.691
3/8/52	0.351	0.028	22.077	1.031	3.092	0.886
5/8/52	0.406	0.015	16.588	0.976	3.904	1.010
7/8/52	0.575	0.029	13.263	1.187	10.768	1.164
9/8/52	0.212	0.016	4.040	0.369	19.710	0.282
11/8/52	0.244	0.036	0.038	0.000	22.670	0.149
13/8/52	0.287	0.023	0.022	0.001	18.552	0.171
15/8/52	0.457	0.048	0.022	0.001	8.047	0.091

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
17/8/52	1.096	0.050	0.039	0.002	26.036	0.152
19/8/52	0.832	0.131	0.055	0.002	26.932	0.042
21/8/52	0.508	0.053	0.022	0.001	12.060	0.285
23/8/52	0.688	0.068	0.009	0.001	16.172	0.067
25/8/52	0.836	0.077	0.015	0.001	23.771	0.223
27/8/52	0.454	0.036	0.017	0.002	17.960	0.024
29/8/52	0.469	0.042	0.011	0.003	29.286	0.043
31/8/52	0.610	0.034	0.010	0.003	27.453	0.132
2/9/52	0.720	0.105	0.011	0.001	30.205	0.109
4/9/52	0.670	0.045	0.009	0.002	29.169	0.068
6/9/52	0.785	0.122	0.009	0.002	21.730	0.064
8/9/52	0.545	0.036	0.013	0.001	24.235	0.026
10/9/52	0.665	0.090	0.000	0.000	28.478	0.043
12/9/52	0.953	0.096	0.005	0.001	15.807	0.044
14/9/52	0.368	0.034	0.003	0.001	29.121	0.044
18/9/52	0.888	0.072	0.032	0.011	31.319	0.141
20/9/52	0.439	0.016	0.001	0.000	27.457	0.152
22/9/52	0.693	0.048	0.025	0.014	26.824	0.073
25/9/52	1.081	0.161	0.019	0.003	32.397	0.045

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการ
กรอง

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
16/6/52	0.359	0.005	0.023	0.017	1.495	0.023
18/6/52	1.196	0.136	0.050	0.002	1.550	0.004
20/6/52	2.549	0.202	0.111	0.004	1.517	0.002
22/6/52	3.812	0.282	0.285	0.002	1.553	0.010
24/6/52	4.974	0.222	1.183	0.026	1.628	0.020
26/6/52	3.343	0.119	1.084	0.026	7.576	0.178
28/6/52	0.085	0.012	1.736	0.018	9.146	0.008
30/6/52	0.037	0.005	9.532	0.162	3.029	0.608
2/7/52	0.128	0.042	9.831	0.120	3.485	0.725
4/7/52	0.191	0.003	9.445	0.444	2.937	0.407
6/7/52	0.110	0.017	0.497	0.030	10.250	0.027
8/7/52	0.489	0.026	3.755	0.175	1.191	0.091
10/7/52	0.745	0.023	12.786	0.341	1.403	0.347
12/7/52	0.535	0.015	12.069	0.425	1.811	0.342
14/7/52	0.451	0.007	13.533	1.217	2.616	1.063
16/7/52	0.376	0.075	15.344	3.325	2.721	3.240
18/7/52	0.272	0.014	16.154	0.269	0.530	0.146
20/7/52	0.147	0.022	12.895	0.999	3.498	0.983
22/7/52	0.154	0.019	9.968	0.206	2.552	0.160
24/7/52	0.239	0.028	19.936	0.911	2.689	0.915
26/7/52	0.269	0.006	25.235	0.433	2.393	0.570
28/7/52	0.054	0.003	19.195	2.487	1.144	2.476
30/7/52	0.218	0.008	21.924	0.840	3.090	0.816
1/8/52	0.258	0.021	17.590	1.463	5.191	1.429
3/8/52	0.378	0.026	11.476	0.987	4.732	0.949
5/8/52	0.271	0.018	3.868	0.145	11.596	0.189
7/8/52	0.549	0.029	0.153	0.019	27.684	0.073
9/8/52	0.124	0.001	0.089	0.029	16.751	0.067
11/8/52	0.162	0.021	0.132	0.007	17.055	0.141
13/8/52	0.168	0.023	0.120	0.014	11.943	0.115
15/8/52	0.423	0.054	0.099	0.003	13.228	0.268

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
17/8/52	0.657	0.033	0.205	0.003	13.933	0.135
19/8/52	0.794	0.040	0.135	0.004	19.985	0.155
21/8/52	0.659	0.040	0.135	0.003	23.187	0.212
23/8/52	0.530	0.062	0.102	0.002	23.350	0.138
25/8/52	0.676	0.057	0.022	0.009	23.025	0.116
27/8/52	0.464	0.042	0.042	0.001	22.274	0.043
29/8/52	0.190	0.048	0.024	0.009	35.031	0.201
31/8/52	0.124	0.004	0.069	0.001	12.920	0.066
2/9/52	0.141	0.018	0.083	0.002	18.615	0.102
4/9/52	0.183	0.022	0.063	0.001	25.136	0.025
6/9/52	0.135	0.010	0.110	0.004	16.397	0.051
8/9/52	0.125	0.003	0.038	0.002	18.473	0.087
10/9/52	0.172	0.047	0.039	0.001	22.493	0.044
12/9/52	0.145	0.017	0.113	0.044	21.974	0.072
14/9/52	0.174	0.025	0.065	0.002	14.411	0.044
16/9/52	0.307	0.028	0.102	0.009	18.338	0.113
20/9/52	0.119	0.014	0.089	0.001	10.711	0.066
22/9/52	0.313	0.042	0.229	0.002	20.347	0.118
25/9/52	0.257	0.013	0.162	0.016	19.497	0.063

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่ทำการกรอง

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนโตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
16/6/52	0.338	0.018	0.036	0.001	1.454	0.009
18/6/52	1.052	0.412	0.050	0.001	1.511	0.009
20/6/52	2.185	0.128	0.091	0.002	1.474	0.003
22/6/52	3.111	0.121	0.182	0.002	1.525	0.015
24/6/52	4.438	0.531	0.535	0.007	1.553	0.002
26/6/52	5.244	0.442	2.929	0.138	2.264	0.123
28/6/52	0.099	0.025	1.923	0.043	10.219	0.052
30/6/52	0.030	0.003	9.642	0.267	2.850	0.280
2/7/52	0.116	0.016	10.415	0.179	3.232	0.219
4/7/52	0.283	0.007	7.152	0.161	1.987	0.202
6/7/52	0.063	0.034	14.701	0.370	3.343	0.327
8/7/52	0.790	0.070	11.433	0.568	1.433	0.523
10/7/52	0.868	0.073	9.379	0.382	1.204	0.217
12/7/52	0.836	0.068	13.573	0.193	3.547	0.170
14/7/52	0.447	0.037	22.611	0.657	3.740	0.556
16/7/52	0.193	0.068	20.944	0.209	4.011	0.314
18/7/52	0.131	0.016	23.982	2.861	7.343	3.001
20/7/52	0.123	0.010	22.931	1.596	7.626	1.561
22/7/52	0.084	0.008	27.964	0.466	6.023	0.510
24/7/52	0.114	0.014	24.895	1.885	0.000	1.820
26/7/52	0.081	0.005	25.945	1.447	4.813	1.433
28/7/52	0.051	0.001	16.805	0.834	3.762	0.879
30/7/52	0.161	0.001	28.434	1.237	3.350	1.162
1/8/52	0.206	0.028	26.264	0.257	3.989	0.291
3/8/52	0.445	0.059	17.418	1.024	3.537	1.042
5/8/52	0.408	0.040	16.294	1.298	10.503	1.311
7/8/52	0.613	0.025	0.996	0.126	34.805	0.165
9/8/52	0.202	0.034	0.045	0.022	28.087	0.082
11/8/52	0.158	0.018	0.033	0.000	20.821	0.127
13/8/52	0.220	0.029	0.054	0.000	28.035	0.256
15/8/52	0.425	0.114	0.054	0.003	26.223	0.107

วันที่	แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนไตรต์ (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ไนเตรต (มก./ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
17/8/52	0.338	0.057	0.092	0.002	28.618	0.138
19/8/52	0.286	0.003	0.047	0.001	17.076	0.044
21/8/52	0.170	0.005	0.023	0.001	8.770	0.261
23/8/52	0.338	0.046	0.053	0.003	28.918	0.107
25/8/52	0.298	0.041	0.005	0.001	15.741	0.153
27/8/52	0.444	0.236	0.051	0.003	15.835	0.130
29/8/52	0.237	0.006	0.001	0.001	22.114	0.065
31/8/52	0.515	0.110	0.008	0.001	26.936	0.074
2/9/52	0.451	0.042	0.018	0.001	26.089	0.091
4/9/52	0.464	0.059	0.012	0.003	23.328	0.103
6/9/52	0.605	0.020	0.009	0.001	27.843	0.131
8/9/52	0.399	0.024	0.008	0.002	25.941	0.186
10/9/52	0.399	0.065	0.000	0.000	15.581	0.025
12/9/52	0.468	0.123	0.000	0.000	12.322	0.043
14/9/52	0.435	0.045	0.000	0.000	27.688	0.099
16/9/52	0.495	0.017	0.006	0.002	18.792	0.067
18/9/52	0.412	0.048	0.011	0.002	11.094	0.095
20/9/52	0.381	0.035	0.002	0.000	17.145	0.075
22/9/52	0.586	0.018	0.011	0.000	29.674	0.052
25/9/52	0.621	0.053	0.011	0.006	16.002	0.108

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในถังควบคุม

วันที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ที นอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
18/6/52	3.52	1.66	2.99	1.10	3.55	7.63	1.67	0.58
20/6/52	8.11	0.20	3.90	2.73	8.06	7.06	4.33	0.58
24/6/52	264.25	3.35	6.78	1.25	100.87	1.34	75.67	0.58
28/6/52	93.56	4.30	0.21	1.10	31.43	15.50	27.67	1.15
2/7/52	98.71	4.66	3.35	8.41	63.57	42.83	30.67	0.58
6/7/52	45.20	1.45	7.07	7.14	34.52	13.95	21.00	3.00
10/7/52	61.94	1.47	21.03	1.72	49.41	4.92	20.33	1.15
14/7/52	47.73	1.67	9.68	0.63	47.62	0.67	19.33	0.58
18/7/52	73.40	3.86	17.68	6.15	52.58	7.17	27.00	1.73
22/7/52	386.34	46.16	148.78	57.17	369.60	179.54	110.67	19.43
26/7/52	487.25	7.71	49.92	7.92	115.45	41.34	186.67	3.06
30/7/52	129.77	2.92	16.81	3.18	51.61	15.42	59.67	1.53
3/8/52	40.15	1.84	12.20	2.75	35.26	3.63	14.44	2.04
7/8/52	215.27	2.94	25.09	3.81	82.06	9.04	64.33	3.21
11/8/52	39.75	1.12	9.73	0.42	29.07	5.53	16.22	0.77
15/8/52	44.73	1.48	12.86	2.12	42.84	6.94	14.33	1.53
19/8/52	18.85	4.71	8.69	2.62	30.58	8.00	10.00	1.00
23/8/52	15.61	3.12	4.09	0.46	6.84	12.18	8.67	3.51
27/8/52	97.57	7.40	27.68	5.77	72.59	16.90	32.44	1.54
31/8/52	90.96	3.26	10.92	2.60	28.64	3.24	29.67	0.58
4/9/52	116.87	0.00	15.83	0.00	31.73	0.00	31.67	2.52
8/9/52	513.42	1.69	31.88	0.01	52.10	8.61	109.67	3.06
12/9/52	707.76	1.89	44.18	2.71	48.72	12.32	151.00	2.00
16/9/52	855.10	10.17	65.09	16.32	97.23	43.63	169.00	1.00
20/9/52	1862.04	25.67	100.33	11.19	162.49	33.50	424.00	9.61
25/9/52	1891.13	21.39	93.73	5.87	66.20	9.87	354.00	7.81

ตารางที่ ง-7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการกรอง

วันที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ที นอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
18/6/52	8.70	1.26	7.24	4.07	21.93	10.50	6.00	1.73
20/6/52	32.04	1.36	8.43	2.98	25.68	16.54	14.00	1.00
24/6/52	715.92	14.18	2.89	2.96	245.18	11.22	182.22	4.29
28/6/52	1814.22	16.71	-88.15	13.44	273.74	37.68	581.78	2.04
2/7/52	634.67	13.31	-31.43	4.88	69.76	10.78	139.11	1.54
6/7/52	180.76	12.73	10.85	5.26	62.98	25.99	47.33	3.21
10/7/52	58.83	21.85	31.39	26.47	111.29	84.61	26.00	7.81
14/7/52	110.93	0.66	-1.91	20.74	221.46	258.09	41.00	0.00
18/7/52	264.06	1.57	21.83	2.60	109.82	6.42	106.67	1.15
22/7/52	348.85	6.32	64.64	13.18	163.26	25.71	136.67	2.52
26/7/52	234.34	3.88	37.43	3.75	92.37	23.69	96.89	3.85
30/7/52	177.72	3.65	26.41	2.83	73.54	4.54	67.11	2.78
3/8/52	223.41	8.42	40.59	9.25	101.79	34.24	88.33	2.08
7/8/52	354.02	1.06	47.54	6.76	135.40	13.93	136.00	1.73
11/8/52	390.24	8.52	54.01	6.61	125.58	10.74	123.00	1.73
15/8/52	411.88	1.67	71.88	5.43	119.50	14.00	136.89	3.36
19/8/52	474.48	0.02	84.47	0.64	121.40	7.94	141.33	2.52
23/8/52	489.59	20.33	62.14	10.35	69.48	18.70	157.67	6.81
27/8/52	620.97	5.60	87.02	7.94	123.18	13.83	219.56	6.71
31/8/52	261.48	11.78	48.80	11.86	80.67	39.47	83.33	5.03
4/9/52	407.61	16.01	51.81	6.46	85.18	37.58	124.67	3.06
8/9/52	267.95	4.44	41.83	2.52	76.18	8.80	76.00	1.33
12/9/52	426.88	6.96	44.03	9.18	52.34	33.47	119.11	1.54
16/9/52	260.52	7.40	40.61	14.15	76.78	37.94	68.89	5.39
20/9/52	417.10	14.52	65.19	13.60	149.81	39.35	102.67	8.33
25/9/52	333.14	13.91	-36.86	10.87	-150.85	33.09	76.67	6.11

ตารางที่ ง-8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง

วันที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ที นอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
18/6/52	7.98	0.00	4.89	0.00	15.87	0.00	7.00	0.00
20/6/52	32.06	3.04	8.80	3.05	21.09	8.54	13.67	1.15
24/6/52	924.14	32.54	-10.08	3.65	289.96	12.65	269.78	9.65
28/6/52	1890.72	26.17	-81.04	4.03	344.29	16.25	581.78	8.04
2/7/52	724.08	11.31	-21.44	9.64	66.13	28.66	128.44	1.54
6/7/52	91.79	2.92	11.54	0.62	36.06	8.96	19.67	0.58
10/7/52	76.15	2.59	27.34	7.76	93.80	20.01	35.33	2.08
14/7/52	281.76	4.72	19.53	3.25	146.10	3.15	91.00	1.00
18/7/52	518.91	11.83	19.76	3.13	173.53	7.35	173.67	2.89
22/7/52	582.15	7.46	108.61	0.79	174.09	9.92	188.00	3.61
26/7/52	619.82	5.69	119.79	2.00	176.40	7.39	210.00	2.65
30/7/52	854.20	7.47	158.31	2.19	216.61	12.62	264.44	6.16
3/8/52	1007.15	10.87	184.98	6.57	256.32	21.18	315.56	7.81
7/8/52	827.47	5.43	130.62	3.49	201.77	14.65	289.33	2.67
11/8/52	915.78	7.64	147.04	6.15	278.94	28.51	282.22	4.07
15/8/52	939.65	6.15	118.11	4.25	206.35	11.49	278.67	4.81
19/8/52	809.31	3.63	105.46	1.45	190.10	15.13	237.78	5.39
23/8/52	772.51	11.84	96.26	7.46	178.42	13.04	237.78	1.54
27/8/52	1122.95	15.39	107.22	3.11	221.60	5.22	480.44	12.95
31/8/52	903.92	5.86	108.27	4.17	222.89	4.27	285.33	6.11
4/9/52	922.18	15.28	87.20	7.27	159.15	17.89	356.00	19.64
8/9/52	995.01	7.74	81.42	4.26	174.74	8.06	345.78	3.08
12/9/52	800.85	5.83	81.66	4.67	164.71	17.71	264.33	8.08
20/9/52	711.75	11.93	85.05	3.45	208.21	11.21	297.33	23.25
25/9/52	599.45	16.34	30.75	28.44	-16.70	76.46	169.33	90.64

ตารางที่ ง-9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการกรอง

วันที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ที นอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
18/6/52	8.70	1.58	7.24	2.11	21.93	5.28	5.67	0.58
20/6/52	15.49	1.49	5.44	2.36	10.06	3.02	7.33	0.58
24/6/52	35.04	1.47	5.25	1.72	30.46	4.92	13.00	1.00
28/6/52	142.98	10.53	1.39	9.05	59.32	18.62	47.67	3.51
2/7/52	325.91	13.59	8.44	9.46	119.65	28.42	101.00	3.61
6/7/52	783.64	8.70	-4.91	3.26	253.29	3.48	257.67	1.53
10/7/52	292.33	6.94	13.71	1.39	164.76	6.78	124.67	3.51
14/7/52	301.03	11.58	20.95	14.16	186.70	45.20	120.33	3.51
18/7/52	300.59	10.43	27.85	19.76	181.26	57.66	133.33	3.21
22/7/52	369.20	15.61	63.97	18.49	204.83	44.53	162.00	3.61
26/7/52	349.84	5.43	38.99	5.29	145.49	12.19	165.33	7.57
30/7/52	154.90	5.25	28.39	4.66	92.38	22.72	69.00	1.00
3/8/52	135.32	1.58	16.99	2.11	60.32	5.28	58.33	2.52
7/8/52	277.75	1.49	27.01	2.36	112.85	3.02	117.00	5.57
11/8/52	315.51	2.53	25.24	3.17	100.26	18.11	104.67	3.21
15/8/52	414.15	4.23	40.32	2.84	110.00	13.73	112.89	2.78
19/8/52	406.61	1.97	42.39	2.82	96.58	9.25	113.33	2.67
23/8/52	297.12	11.45	22.67	7.49	37.23	12.00	122.67	1.33
27/8/52	191.43	5.17	27.02	6.08	74.66	17.34	111.11	3.85
31/8/52	48.48	1.49	12.77	2.36	44.52	3.02	26.67	1.15
4/9/52	55.51	5.42	8.26	1.38	26.19	14.77	27.67	3.21
8/9/52	101.93	1.93	21.30	1.45	52.03	17.14	33.78	6.58
12/9/52	112.53	1.59	23.07	2.73	41.59	2.75	38.00	2.00
16/9/52	192.53	8.06	43.14	2.07	70.41	6.98	59.00	4.00
20/9/52	179.55	2.56	36.45	6.72	69.56	15.36	67.56	1.54
25/9/52	113.08	7.07	-17.07	26.87	-143.07	40.21	27.67	15.18

ตารางที่ ง-10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่ทำการกรอง

วันที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ บี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คลอโรฟิลล์ ซี (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	คาร์ที นอยด์ (มก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
18/6/52	6.90	1.59	6.97	2.73	14.90	2.75	5.67	0.58
20/6/52	16.32	0.02	6.07	0.64	17.48	7.94	8.00	0.00
24/6/52	46.92	4.60	9.79	2.82	31.03	9.16	19.00	1.00
28/6/52	176.88	4.72	17.01	25.22	141.71	122.34	60.00	2.00
2/7/52	420.40	8.86	-3.31	3.31	139.04	3.54	114.33	1.15
6/7/52	822.48	11.36	-13.80	0.68	284.28	5.08	284.67	3.06
10/7/52	577.86	14.11	18.36	10.71	320.57	44.13	238.00	5.57
14/7/52	427.01	9.63	15.40	2.46	204.13	10.74	163.67	4.51
18/7/52	378.23	4.04	19.03	3.18	171.79	9.52	163.67	3.06
22/7/52	439.14	10.55	70.01	11.99	205.53	41.35	194.00	24.43
26/7/52	424.18	4.95	44.71	10.69	186.01	21.73	183.00	4.36
30/7/52	418.77	4.14	43.92	3.80	164.91	9.95	159.67	3.21
3/8/52	486.26	6.04	54.63	2.26	197.61	2.41	206.00	3.61
7/8/52	410.98	5.48	34.48	3.94	165.50	15.81	180.00	2.00
11/8/52	466.15	5.47	47.55	3.49	192.20	19.16	160.33	2.08
15/8/52	469.49	14.64	51.83	6.45	129.35	24.46	157.78	9.46
19/8/52	339.75	5.81	49.88	14.08	139.34	40.42	109.67	1.53
23/8/52	235.17	3.13	25.50	0.95	54.76	10.71	81.67	1.53
27/8/52	266.29	11.17	30.47	10.30	69.74	23.57	119.56	11.95
31/8/52	407.47	7.12	41.94	3.42	72.16	15.15	141.00	3.61
4/9/52	343.12	4.61	37.55	5.26	61.84	13.43	146.33	9.81
8/9/52	370.02	5.85	46.84	5.61	96.14	22.84	148.00	11.55
12/9/52	464.56	5.83	53.91	0.56	102.67	3.29	174.00	1.73
16/9/52	359.66	11.98	40.17	9.71	82.04	29.58	126.67	14.50
20/9/52	477.90	7.52	56.67	4.73	130.72	17.60	173.78	4.07
25/9/52	429.73	20.15	-2.21	8.30	-94.75	53.07	181.00	117.04

ตารางที่ ง-11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังควบคุม

วันที่	ปริมาณของแข็ง แขวนลอย (มก./ลิตร)	วันที่	ปริมาณของแข็ง แขวนลอย (มก./ลิตร)
18/6/52	15.50	7/8/52	26.67
20/6/52	15.00	9/8/52	26.67
22/6/52	14.00	11/8/52	16.67
24/6/52	48.00	13/8/52	26.67
26/6/52	46.00	15/8/52	13.33
28/6/52	46.67	17/8/52	10.00
30/6/52	43.33	21/8/52	46.67
2/7/52	66.67	23/8/52	43.33
4/7/52	63.33	25/8/52	20.00
6/7/52	36.67	28/8/52	20.00
8/7/52	73.33	29/8/52	23.33
10/7/52	16.67	31/8/52	30.00
12/7/52	33.33	2/9/52	53.33
14/7/52	16.67	4/9/52	36.67
16/7/52	43.33	6/9/52	26.67
18/7/52	43.33	8/9/52	40.00
20/7/52	30.00	10/9/52	43.33
22/7/52	16.67	12/9/52	43.33
24/7/52	33.33	14/9/52	40.00
26/7/52	30.00	16/9/52	53.33
28/7/52	60.00	18/9/52	146.67
30/7/52	46.67	20/9/52	226.67
1/8/52	13.33	22/9/52	366.67
3/8/52	56.67	24/9/52	376.67
5/8/52	10.00	25/9/52	410.00

ตารางที่ ง-12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ทำการกรอง

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)
18/6/52	14.00	7/8/52	130.00
20/6/52	24.00	9/8/52	150.00
22/6/52	39.00	11/8/52	106.67
24/6/52	88.00	13/8/52	146.67
26/6/52	144.00	15/8/52	153.33
28/6/52	106.67	17/8/52	173.33
30/6/52	140.00	21/8/52	196.67
1/7/52	116.00	23/8/52	190.00
2/7/52	83.33	25/8/52	210.00
4/7/52	100.00	28/8/52	230.00
6/7/52	53.33	29/8/52	196.67
8/7/52	50.00	31/8/52	96.67
10/7/52	76.67	2/9/52	106.67
12/7/52	53.33	4/9/52	143.33
14/7/52	60.00	6/9/52	56.67
16/7/52	120.00	8/9/52	86.67
18/7/52	103.33	10/9/52	66.67
20/7/52	106.67	12/9/52	103.33
22/7/52	86.67	14/9/52	133.33
24/7/52	123.33	16/9/52	76.67
26/7/52	116.67	18/9/52	83.33
28/7/52	73.33	20/9/52	110.00
30/7/52	116.67	22/9/52	166.67
1/8/52	66.67	24/9/52	126.67
3/8/52	116.67	25/9/52	115.00
5/8/52	120.00		

ตารางที่ ง-13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)
18/6/52	13.00	7/8/52	180.00
20/6/52	27.00	9/8/52	200.00
22/6/52	43.00	11/8/52	180.00
24/6/52	97.00	13/8/52	210.00
26/6/52	120.00	15/8/52	196.67
28/6/52	153.33	17/8/52	230.00
30/6/52	120.00	21/8/52	206.67
2/7/52	96.67	23/8/52	196.67
4/7/52	93.33	25/8/52	220.00
6/7/52	66.67	28/8/52	283.33
8/7/52	86.67	29/8/52	280.00
10/7/52	70.00	31/8/52	270.00
12/7/52	86.67	2/9/52	286.67
14/7/52	93.33	4/9/52	306.67
16/7/52	106.67	6/9/52	303.33
18/7/52	93.33	8/9/52	336.67
20/7/52	83.33	10/9/52	286.67
22/7/52	90.00	12/9/52	356.67
24/7/52	110.00	14/9/52	336.67
26/7/52	90.00	16/9/52	340.00
28/7/52	136.67	18/9/52	370.00
30/7/52	156.67	20/9/52	326.67
1/8/52	133.33	22/9/52	396.67
3/8/52	180.00	24/9/52	396.67
5/8/52	156.67	25/9/52	375.00

ตารางที่ ง-14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการกรอง

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)
18/6/52	14.50	9/8/52	86.67
20/6/52	19.00	11/8/52	73.33
22/6/52	37.00	13/8/52	63.33
24/6/52	51.00	15/8/52	93.33
26/6/52	53.00	17/8/52	90.00
28/6/52	96.67	19/8/52	93.33
30/6/52	100.00	21/8/52	140.00
2/7/52	80.00	23/8/52	126.67
4/7/52	86.67	25/8/52	160.00
6/7/52	116.67	28/8/52	190.00
8/7/52	143.33	29/8/52	183.33
10/7/52	56.67	31/8/52	73.33
12/7/52	53.33	2/9/52	36.67
14/7/52	60.00	4/9/52	80.00
16/7/52	93.33	6/9/52	50.00
18/7/52	110.00	8/9/52	50.00
20/7/52	100.00	10/9/52	60.00
22/7/52	96.67	12/9/52	73.33
24/7/52	150.00	14/9/52	96.67
26/7/52	166.67	16/9/52	76.67
28/7/52	76.67	18/9/52	50.00
30/7/52	53.33	20/9/52	66.67
1/8/52	53.33	22/9/52	70.00
3/8/52	46.67	24/9/52	66.67
5/8/52	40.00	25/9/52	100.00
7/8/52	66.67		

ตารางที่ ง-15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่ทำการกรอง

วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	วันที่	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)
18/6/52	9.00	7/8/52	146.67
20/6/52	16.00	9/8/52	163.33
22/6/52	27.00	11/8/52	103.33
24/6/52	42.00	13/8/52	146.67
26/6/52	54.00	15/8/52	123.33
28/6/52	86.67	17/8/52	96.67
30/6/52	83.33	21/8/52	83.33
2/7/52	93.33	23/8/52	130.00
4/7/52	103.33	25/8/52	160.00
6/7/52	113.33	28/8/52	106.67
8/7/52	100.00	29/8/52	183.33
10/7/52	106.67	31/8/52	183.33
12/7/52	113.33	4/9/52	236.67
14/7/52	113.33	6/9/52	240.00
16/7/52	113.33	8/9/52	236.67
18/7/52	103.33	10/9/52	180.00
20/7/52	120.00	12/9/52	266.67
22/7/52	113.33	14/9/52	260.00
24/7/52	133.33	16/9/52	223.33
26/7/52	110.00	18/9/52	226.67
28/7/52	136.67	20/9/52	233.33
30/7/52	123.33	22/9/52	256.67
1/8/52	120.00	24/9/52	280.00
3/8/52	106.67	25/9/52	300.00
5/8/52	113.33		

ตารางที่ ง-16 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวในถังที่ทำกรกรอง

จำนวน	ก่อนเริ่มการทดลอง		วันที่ 29		วันที่ 71		วันที่ 102	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	6.8	9.6	11	11	22.2	14.2	12.7	11.8
2	4.9	10	8.5	10	14.8	12.3	17.7	12.5
3	8.8	10.3	8.6	10	12.7	12	17.9	12.6
4	7.3	10.8	8.4	10.1	16.3	13	21.2	13.2
5	6.6	9.2	6.8	9.8	11.6	11.5	28.5	15
6	7.4	10.6	8.8	10	17	13	7.6	9.5
7	7.1	9.5	11	10.7	11.2	11	21.3	12.7
8	6.5	10.4	11.4	11.1	13.2	12.2	14.6	12.5
9	7.4	10	7.7	10	11.9	11.7	20.4	13.1
10	4.8	9.4	9.2	10	12.5	11.8	12.3	11.2
11	6.2	9.5	9.4	10	10.3	11.3	-	-
12	5.3	9.9	8.7	10	15.3	12.6	-	-
13	6.3	9.5	10.4	10.7	9.3	10.7	-	-
14	7.1	10.7	7	9	11.3	11	-	-
15	7.8	11	13.3	11.8	13.9	12	-	-
16	5.9	10.1	9.9	10.2	8.6	9.5	-	-
17	5.5	10	6.8	10.2	7.9	10.4	-	-
18	7.6	11.3	9.1	10.2	8.4	10.5	-	-
19	6.3	10.4	6.7	9.5	12.5	11.9	-	-
20	6.2	10.3	8.4	10.2	-	-	-	-
21	4.1	9.2	7.7	9.8	-	-	-	-
22	6.9	10.9	9.2	10.2	-	-	-	-
23	5.1	9.8	9.5	10.6	-	-	-	-
24	6.4	10.5	7.8	9.6	-	-	-	-
25	5.4	10	9.8	10.5	-	-	-	-
26	6.7	10.7	7	9.8	-	-	-	-
27	7.6	11.4	9.3	10	-	-	-	-
28	6.5	10.6	6.5	9.5	-	-	-	-
29	7.7	10.9	8.8	10	-	-	-	-
30	5.2	10.1	9.7	10.5	-	-	-	-
31	7.2	11	12	11	-	-	-	-

32	6.6	10.6	-	-	-	-	-	-
33	6.5	10.4	-	-	-	-	-	-
34	6.3	10.1	-	-	-	-	-	-
35	7.6	11	-	-	-	-	-	-
36	6	10	-	-	-	-	-	-
37	6	9.9	-	-	-	-	-	-
38	5	9.8	-	-	-	-	-	-
39	7.8	10.7	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ง-17 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวในถังที่ไม่ทำการกรอง

จำนวน	ก่อนเริ่มการทดลอง		วันที่ 29		วันที่ 71		วันที่ 102	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	6.7	9.5	7.1	9.5	12.7	11.7	8.8	10.2
2	6.6	10.8	7.5	9.5	10.9	11.3	16.5	12.4
3	5.5	9.4	8.2	9.7	10.2	10.6	13.7	12
4	7	10.9	6.8	9.1	11.1	11	14.9	11.5
5	4.9	9.4	7.7	9.7	10.4	10.5	7.4	9.9
6	6.2	10.4	8.3	10.2	13.4	11.6	12.1	11
7	6.2	9.3	7.1	9.5	8.4	10.4	11	10.8
8	6.7	10.6	8.8	10.5	8	10.3	11	10.8
9	7	9.5	8.2	9.5	8.8	10.7	8.8	9.8
10	5.5	10.2	11.4	11	9.9	10.6	-	-
11	6.1	9.4	8.9	10	9.3	10.4	-	-
12	6.8	10.7	7	9.2	-	-	-	-
13	5.6	9.4	6.7	9.4	-	-	-	-
14	7.1	11	10	10	-	-	-	-
15	7.1	9.9	8.4	10	-	-	-	-
16	7.4	11	10.2	10.6	-	-	-	-
17	6.3	9.5	7.3	9.5	-	-	-	-
18	7.7	9.6	10.5	11	-	-	-	-
19	6.6	9.7	8.9	10	-	-	-	-
20	5.5	9.5	7	9.5	-	-	-	-
21	5.4	9	7.7	9.7	-	-	-	-
22	6.9	10.8	7.3	9.5	-	-	-	-

23	6.6	9.6	9	10.2	-	-	-	-
24	6.4	10.5	7.7	10	-	-	-	-
25	5.4	9.3	7.2	9.8	-	-	-	-
26	6.5	9.2	8.4	10	-	-	-	-
27	6.8	10.5	7.3	9.5	-	-	-	-
28	4.7	8.4	7.8	10	-	-	-	-
29	6.9	10	7.5	9.8	-	-	-	-
30	6.7	9.8	8.7	10	-	-	-	-
31	6	10.9	8.1	10	-	-	-	-
32	6.7	11.5	9.6	10.7	-	-	-	-
33	6.5	10.9	-	-	-	-	-	-
34	6.6	10.5	-	-	-	-	-	-
35	6.7	10.6	-	-	-	-	-	-
36	5.7	9.9	-	-	-	-	-	-
37	6	10	-	-	-	-	-	-
38	8.1	11.1	-	-	-	-	-	-
39	8.6	11.3	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ง-18 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำในถังที่ทำการกรอง

จำนวน	ก่อนเริ่มการทดลอง		วันที่ 29		วันที่ 71		วันที่ 102	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	12	10.5	13.6	12	13.1	12.1	16.2	12.9
2	11.2	12.1	21.9	13.5	17	13.1	25.8	14.4
3	14.4	13.2	21.1	13	15.5	12.5	17.6	12.5
4	11.7	12.4	20.8	13	15.7	12.5	17	12.4
5	14	13.1	11.7	11.5	15.8	12	20.2	13.1
6	20.5	14.6	17.7	12.5	12	11.8	24.2	14.3
7	12.7	12.5	14.3	12	15.8	12.5	21.8	13.5
8	13.8	13	17.1	12.6	21.8	13.5	21.7	13.5
9	9.4	11.5	15.7	12.5	16	12	-	-
10	13.6	12.5	17.8	13	-	-	-	-
11	13.1	12.7	14.4	12.2	-	-	-	-
12	16.3	13.2	17.9	13.7	-	-	-	-
13	21.1	14.5	9.1	10	-	-	-	-

14	12.2	12.4	12.1	11	-	-	-	-
15	12.5	12.1	16.8	12.2	-	-	-	-
16	12.9	12.4	14.9	12.4	-	-	-	-
17	17.7	13.5	-	-	-	-	-	-
18	15.3	13	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ง-19 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำในถังที่ไม่ทำการกรอง

จำนวน	ก่อนเริ่มการทดลอง		วันที่ 29		วันที่ 71		วันที่ 102	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	12.5	11.6	14.5	11	13	11.7	27.3	14.5
2	16.4	13.2	20.9	13	24.8	15.1	16.7	12.8
3	10.2	11.4	10.2	10.3	19.2	13.6	22.8	13.5
4	13.3	12.4	12.3	11	17.1	13	22	13.5
5	14.5	13	11.1	11.2	19.2	14.5	22.4	13.5
6	9.8	11.5	11.8	11	10.1	11	16.8	12
7	13.7	13	14.4	11.4	12.4	11.1	16.9	12.4
8	9.9	11.6	14.8	11.5	15.4	13	-	-
9	10.7	11.2	12.3	11.3	-	-	-	-
10	13	12.2	15.5	11.8	-	-	-	-
11	11.8	12	10.3	10.5	-	-	-	-
12	12	12	14.2	12	-	-	-	-
13	9.4	11.2	13.9	11	-	-	-	-
14	9.1	10.7	10.4	10.6	-	-	-	-
15	12	12	-	-	-	-	-	-
16	8.5	11	-	-	-	-	-	-
17	14.6	12.7	-	-	-	-	-	-
18	9.4	11	-	-	-	-	-	-
19	9.8	11.1	-	-	-	-	-	-
20	12.7	12.5	-	-	-	-	-	-
21	10.4	11.6	-	-	-	-	-	-
22	7.4	10.7	-	-	-	-	-	-

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปกฉัตร ชุติวิศุทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2527 ที่กรุงเทพมหานคร ได้รับการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนราชินีบน และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2548 และได้รับการคัดเลือกเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2549 โดยได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต และทุนจากมูลนิธิกระจกเงา ประจำปี 2551 มาใช้ในการทำงานวิจัยนี้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

ปกฉัตร ชุติวิศุทธิ์ วิบูลย์ลักษณ์ พังรัศมี และ สรวิศ เผ่าทองสุข. (2552) การแยกจุลสารหายจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเครื่องกรองชนิดไหลตามขวาง. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 8 25-27 มีนาคม 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (นำเสนอผลงานแบบบรรยายมีเรื่องเต็ม)

Chutivisut, P., Pungrasmi, W. and Powtongsook, S. Separation of Particulate Organic Matters from Aquaculture System by using Partial Filtration. **Environmental Science and Technology Conference (ESTEC2009)** Kuala Terengganu, Malaysia, December 7-8, 2009 (Oral presentation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย