ปัจจัยที่มีผลต่อวัฏจักรไนโตรเจนในสภาวะจำลองของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน

นางสาวสุภาวดี อัตถาผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Factors Affecting Nitrogen Cycle in Simulated Earthen Aquaculture Pond

Miss Supavadee Attapun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อวัฏจักรไนโตรเจนในสภาวะจำลองของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน
โดย	นางสาวสุภาวดี อัตถาผล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มะลิวัลย์ คุตะโค)

สุภาวดี อัตถาผล : ปัจจัยที่มีผลต่อวัฏจักรไนโตรเจนในสภาวะจำลองของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน (Factors Affecting Nitrogen Cycle in Simulated Earthen Aquaculture Pond) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข , 186 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดและความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดินในบ่อดินจำลอง แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วง ช่วงแรกศึกษาสภาวะของดินที่เหมาะสมเพื่อประเมินผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งในสภาวะห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่าการบ่มดินเป็นเวลา 30 วันสามารถทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันของผิวดินบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มดินและอัตราการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่าการบ่มดินเป็นเวลา 1 และ 2 เดือน ให้ผลการบำบัดแอมโมเนียที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอัตราการบำบัดแอมโมเนียจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 - 2 มก.ไนโตรเจน/ล. มีค่าระหว่าง 3.16 - 14.93 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./ชม. จากนั้นศึกษาการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัดจากการเติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดปริมาณของเสียไนโตรเจนในระบบที่แตกต่างกัน พบว่าการจำลองสภาวะของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ดินตะกอนพื้นบ่อยังมีประสิทธิภาพในการรองรับของเสียไนโตรเจนได้ และการเติมอากาศแบบเป็นระยะสามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้เช่นเดียวกันกับการให้อากาศตลอดเวลา แต่หากปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นเป็น 3 มก.ไนโตรเจน/ล. การเติมอากาศเพียงบางช่วงเวลาอาจไม่เพียงพอต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้น การทดลองช่วงที่ 3 เป็นการศึกษาผลของการเติมกากน้ำตาลต่อปริมาณออกซิเจนและการบำบัดไนโตรเจนภายในบ่อดินจำลอง พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลงตามสัดส่วนการเติมกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลจนถึง 0.0875 มล./ล. หรือเทียบเท่า 140 ล./ไร่ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าใกล้ศูนย์ภายในเวลา 19 ชม. ในชุดที่ไม่เติมอากาศ และไม่พบการสะสมของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนเนื่องจากการบำบัดโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันยังคงมีประสิทธิภาพดี จากนั้นศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจน พบว่าการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดินตะกอนสามารถบำบัดแอมโมเนียและไนเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ การทดลองช่วงสุดท้ายเป็นการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของเสียไนโตรเจนจากระบบบ่อดินจำลองในการเลี้ยงกุ้ง พบว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. (หรือเทียบเท่า 2,336 กก./ไร่) ผิวดินสามารถรองรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ โดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน (กากน้ำตาล) และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น แต่จะส่งผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา 2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5770479521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: NITROGEN CYCLE / MICROBIAL ACTIVITY / AQUACULTURE POND / ORGANIC CARBON

SUPAVADEE ATTAPUN: Factors Affecting Nitrogen Cycle in Simulated Earthen Aquaculture Pond. ADVISOR: ASSOC. PROF. WIBOONLUK PUNGRASMI, Ph.D., CO-ADVISOR: SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D. , 186 pp.

This research evaluated nitrogen waste treatment and carrying capacity of simulated earthen aquaculture pond under laboratory condition. The study consisted of 4 experiments. The first experiment studied the appropriate soil incubation for inorganic nitrogen treatment of the bottom soil from shrimp pond. It was found that 30 days incubation period was enough for completing nitrification process and reduced ammonia to the acceptable concentration. The second experiment was the effect of soil incubation period on inorganic nitrogen degradation via nitrification process. The results illustrated that the incubation period of 1 or 2 months provided similar ammonia treatment in which the ammonia removal rates after adding 0.5 - 2 mg-N/L ammonium chloride were between 3.16 - 14.93 mg-N/m^2/hr. The following experiment involved the effect of aeration modes on inorganic nitrogen treatment using ammonium chloride and shrimp feed as the nitrogen sources. It was found that the bottom soil could carry out 2 mgN/L of nitrogen waste in which the intermittent aeration showed an ability of nitrogen treatment in similar to the continuous aeration. However, 3 mg-N/L nitrogen waste was too high for natural treatment process with intermittent aeration. The following experiment was the effect of molasses addition on oxygen consumption and nitrogen treatment in simulated earthen pond. It was found that 0.0875 ml/L or 140 L/Rai molasses addition to non-aerated tank caused the reduction of oxygen concentration to near zero within 19 hours. Accumulation of inorganic nitrogen was not found in this experiment because the nitrification and denitrification processes were simultaneously active. The last experiment was the simulation of nitrogen treatment under shrimp culture condition with organic carbon (molasses) addition. It was found that the natural microbial activity in the bottom soil can effectively remove ammonia and nitrate. Finally, the efficiency of nitrogen waste treatment from simulating shrimp culture pond was evaluated. It was found that the nitrogen waste from shrimp culture density equivalent to 1.46 kg/m^3 (or 2,336 kg/rai.) could be treated by natural microbial processes in the bottom soil. Adding external carbon source (molasses) and pre-cultured bacteria had no enhancement effect to the nitrogen waste treatment but it could reduce the dissolved oxygen concentration in the shrimp pond.

Department:	Environmental Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Environmental Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2016	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่มีรายนามดังต่อไปนี้

อันดับแรกขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับหลักวิชาการและองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ในการออกแบบงานวิจัย รวมถึงการให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือในแต่ละขั้นตอนระหว่างการดำเนินงานจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัยพร ภู่ประเสริฐ ประธานกรรมการ ผศ.ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์ และ ผศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ กรรมการ รวมถึง ผศ.ดร.มะลิวัลย์ คุตะโค ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้คำชี้แนะและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์สำหรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีในการทำงานวิจัย รวมถึงขอบคุณ คุณปวีณา ตปนียวรวงศ์ และคุณเสรี ดอนเหนือ ตลอดจนบุคลากรของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเลทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณทองนพคุณฟาร์ม จังหวัดฉะเชิงเทรา สำหรับตัวอย่างดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช และทุนสนับสนุนเพิ่มเติมจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2560 สำหรับค่าใช้จ่ายตลอดการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัว รวมถึงเพื่อนสนิททุกคนที่คอยสนับสนุน เป็นแรงผลักดัน และเป็นกำลังใจที่ดีสำหรับผู้วิจัยเสมอมา จนกระทั่งสามารถสำเร็จการศึกษาได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ 4

2.1.1 ระบบบ่อดินกลางแจ้ง (Outdoor earthen pond) 4

2.1.2 ระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน (Indoor pond) 5

2.1.3 ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง (Outdoor lining pond) 6

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ 8

2.2.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) 8

2.2.2 อุณหภูมิ (Temperature) 9

2.2.3 ความเค็ม (Salinity) 10

2.2.4 ค่าพีเอช (pH) 11

2.2.5 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) 11

หน้า

2.2.6 แอมโมเนีย (Ammonia) 12
2.2.7 ไนไทรต์ (Nitrite) 13
2.2.8 ไนเทรต (Nitrate) 13
2.2.9 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) 14
2.3 ดินและลักษณะที่สำคัญของดิน 14
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของดิน (Soil physical characteristics) 15
2.3.2 คุณลักษณะทางเคมีของดิน (Soil chemical characteristics) 16
2.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของดิน (Soil biological characteristics) 16
2.4 จุลินทรีย์ในดิน 17
2.4.1 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในดิน 17
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในดิน 18
2.5 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน 18
2.6 วัฏจักรไนโตรเจนและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในบ่อดิน 20
2.6.1 การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) 21
2.6.2 ไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน (Nitrogen assimilation) 22
2.6.3 แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) 22
2.6.4 ไนทริฟิเคชัน (Nitrificaion) 23
2.6.5 ดีไนทริฟิเคชัน (Denitrificaion) 24
3.7 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย 38
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 38
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 41
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 41

หน้า

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 42
3.3 การดำเนินการทดลอง.....42
3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการทดลอง.....65
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....67
4.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินที่มีสภาวะต่างกัน.....67
4.1.1 ผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติของดิน 67
4.1.2 ผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติของดินที่มีสภาวะการบ่มแตกต่างกัน 68
4.1.3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบในดินตะกอนที่มีสภาวะต่างกัน 70
4.2 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการบ่มดินต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย.....71
4.2.1 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาที่ต่างกัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. 71
4.2.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาต่างกัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. 74
4.3 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นแอมโมเนียและอาหารกุ้งบดระดับต่างๆ ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด 77
4.3.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ต่างๆ 77
4.3.2 ผลของการจัดการออกซิเจนในระบบบ่อดินจำลองต่อกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน 84
4.4 ผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดินจำลอง.....88
4.4.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยการเติมกากน้ำตาลในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน.....88

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเติมกากน้ำตาลในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน 93

4.5 ผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดิน.....97

4.5.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์.....98

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์..... 100

4.6 การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียจากสัตว์น้ำภายในบ่อดินจำลอง 103

4.6.1 การประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองจากการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน..... 103

4.6.2 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำของบ่อดินจำลอง 108

4.7 สรุปกลไกการบำบัดของเสียไนโตรเจนในบ่อดินจำลอง..... 110

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 111

5.1 สรุปผลการทดลอง 111

5.2 ข้อเสนอแนะ 114

รายการอ้างอิง 115

ภาคผนวก..... 123

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 186

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ 9

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของน้ำตามระดับความเค็ม.....10

ตารางที่ 2.3 ผลของพีเอชต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ.....11

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ 29

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการเติมกากน้ำตาลในฟาร์มเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย.....30

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1.....47

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2.1 50

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบแตกต่างกัน 51

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2.2 53

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3.1 58

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3.2 61

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 4.....65

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ คุณภาพตะกอน.....66

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบในดินตะกอนที่มีสภาวะต่างกัน.....70

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตจากการเติมกากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในวันต่างๆ ของการทดลอง โดยมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกากน้ำตาลเท่ากับ 29.6:1 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อดินกลางแจ้ง.....5

รูปที่ 2.2 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน.....6

รูปที่ 2.3 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง 7

รูปที่ 2.4 แผนผังรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแสดงการกระจายตัวของอนุภาคดิน.....15

รูปที่ 2.5 วัฏจักรของการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนทางชีวภาพ 21

รูปที่ 3.1 แผนผังภาพรวมของงานวิจัย.....40

รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลองช่วงที่ 1.....43

รูปที่ 3.3 พื้นที่เก็บตัวอย่างดินจากทองนพคุณฟาร์ม จังหวัดฉะเชิงเทรา 44

รูปที่ 3.4 บ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ 45

รูปที่ 3.5 การบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติของบ่อดินที่สภาวะแตกต่างกัน.....46

รูปที่ 3.6 บ่อดินจำลองที่แปรค่าระยะเวลาในการบ่มร่วมกับการเติมอากาศ.....48

รูปที่ 3.7 แผนผังการทดลองช่วงที่ 2.1.....49

รูปที่ 3.8 บ่อดินจำลองที่มีสภาวะการเติมอากาศที่ต่างกัน.....51

รูปที่ 3.9 แผนผังการทดลองช่วงที่ 2.2.....53

รูปที่ 3.10 ก) แผนภาพของบ่อดินจำลองที่แปรค่าอัตราส่วนการเติมกากน้ำตาลร่วมกับ
การเติมอากาศ 3 สภาวะ.....55

รูปที่ 3.10 ข) บ่อดินจำลองที่แปรค่าอัตราส่วนการเติมกากน้ำตาลร่วมกับ
การเติมอากาศ 3สภาวะ.....56

รูปที่ 3.11 แผนผังการทดลองช่วงที่ 3.1.....57

รูปที่ 3.12 การเตรียมน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามอัตราส่วนของกรมประมง 59

รูปที่ 3.13 แผนผังการทดลองช่วงที่ 3.2 60

รูปที่ 3.14 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเสมือนจริงในบ่อดินจำลองที่มีการเปิดไฟ
ในเวลากลางวันเพื่อให้แสงสว่างเป็นเวลา 12 ชม./วัน.....62

รูปที่ 3.15 แผนผังการทดลองช่วงที่ 4.....64

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนที่ผ่านการบ่ม เป็นระยะเวลา 30 วัน (ชุดทดลอง).....69

รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนที่ไม่ผ่านการบ่ม (ชุดควบคุม).....69

รูปที่ 4.3 สีของดินตะกอนพื้นบ่อที่มีความเข้มจัด.....71

รูปที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. 73

รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 มก.ไนโตรเจน/ล. 73

รูปที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. 74

รูปที่ 4.7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.....75

รูปที่ 4.8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล.....76

รูปที่ 4.9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล.....76

รูปที่ 4.10 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และ ดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. 78

รูปที่ 4.11 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.....79

รูปที่ 4.12 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.....80

รูปที่ 4.13 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.....81

รูปที่ 4.14 รอยแตกบริเวณผิวดินที่เกิดขึ้นจากก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในชั้นดิน.....82

รูปที่ 4.15 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. 83

รูปที่ 4.16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. 83

รูปที่ 4.17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. 85

รูปที่ 4.18 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติม อาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.19 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.....86

รูปที่ 4.20 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.....87

รูปที่ 4.21 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.....87

รูปที่ 4.22 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. 88

รูปที่ 4.23 แพลงก์ตอนพืชที่ตรวจพบในบริเวณข้างตู้กระจกและที่ผิวดิน 90

รูปที่ 4.24 สิ่งมีชีวิตที่พบเกาะอยู่ด้านข้างตู้กระจกและที่พื้นดินในระบบบ่อดินจำลอง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 400 เท่า.....90

รูปที่ 4.25 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล.....91

รูปที่ 4.26 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) 91

รูปที่ 4.27 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่) 92

รูปที่ 4.28 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่).....92

รูปที่ 4.29 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่).....93

รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำในชุดทดลอง (เติมกากน้ำตาล)
และชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาล).....94
รูปที่ 4.31 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน ในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล.....95
รูปที่ 4.32 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล
อัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) 95
รูปที่ 4.33 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล
อัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่).....96
รูปที่ 4.34 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล
อัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่).....96
รูปที่ 4.35 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล
อัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่) 97
รูปที่ 4.36 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์
ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสีย
ด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์.....99
รูปที่ 4.37 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้
เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วย
การเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์.....99
รูปที่ 4.38 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์
ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสีย
ด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และหัวเชื้อจุลินทรีย์..... 100
รูปที่ 4.39 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
จากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.
ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์..... 102

รูปที่ 4.40 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์.....102

รูปที่ 4.41 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์.....103

รูปที่ 4.42 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ระหว่างการประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองในการบำบัดไนโตรเจนจากการเลี้ยงกุ้งขาว โดย ↓ แสดงการเติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน ในชุดทดลอง..... 107

รูปที่ 4.43 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ระหว่างการประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลอง ในการบำบัดไนโตรเจนจากการเลี้ยงกุ้ง โดย ↓ แสดงการเติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน ในชุดทดลอง..... 109

รูปที่ 4.44 แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบบริเวณผิวหน้าดิน..... 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่ดำเนินการด้วยระบบเปิดในบ่อดิน จึงมีความเสี่ยงสูงต่อการติดโรคของสัตว์น้ำจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและดินตามฤดูกาล การควบคุมคุณภาพน้ำและปัจจัยแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ ทั้งนี้ของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนรูปต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ที่เกิดจากการย่อยสลายเศษอาหารที่เหลือตกค้างและของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ โดยรูปของไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากที่สุด คือ แอมโมเนียและไนไทรต์ โดยทั่วไปจึงควรควบคุมให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำกว่า 0.2 ถึง 2 และไนไทรต์ต่ำกว่า 0.3 มก.ไนโตรเจน/ล. (Boyd, 1990; Timmons และคณะ, 2002) ทั้งนี้ทางเลือกในการบำบัดของเสียไนโตรเจนเหล่านี้นิยมใช้กระบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการดังกล่าวอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเป็นหลัก ในบ่อดินจะมีจุลินทรีย์มากมายในชั้นดินตะกอนก้นบ่อช่วยบำบัดไนเทรตจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกลไกที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติผ่านปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชัน จึงทำให้ปริมาณไนเทรตในน้ำลดลง ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่เติบโตอยู่ในมวลน้ำจะมีบทบาทช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำได้จากการสังเคราะห์แสงในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ตอนกลางคืนการหายใจของแพลงก์ตอนพืช สัตว์น้ำ และจุลินทรีย์ยังคงดำเนินต่อไป ทำให้มีการใช้ออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง ปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงลดลงในเวลากลางคืน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งนิยมเติมสารอินทรีย์คาร์บอน เช่น กากน้ำตาลลงในบ่อระหว่างการเลี้ยง เพราะเชื่อว่าจะช่วยกระตุ้นการทำงานและการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์บำบัดของเสีย ซึ่งการกระทำดังกล่าวเป็นสิ่งที่ต้องพิสูจน์ถึงผลกระทบของการเติมสารอินทรีย์ต่อกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติภายในบ่อดิน

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในน้ำและดินตะกอนพื้นบ่อของระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะธรรมชาติ ตลอดจนตรวจวัดประสิทธิภาพของดินตะกอนพื้นบ่อในการรองรับของเสียไนโตรเจนอันเป็นผลมาจากการเติม

หัวเชื้อจุลินทรีย์และสารอินทรีย์คาร์บอนภายใต้สภาวะจำลองของบ่อเลี้ยงกุ้งกลางแจ้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อันจะเป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะธรรมชาติต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดและความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดินในสภาวะธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเติมอากาศ การเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรไนโตรเจนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่สภาวะธรรมชาติ

1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้บ่อดินจำลองในการศึกษานิเวศวิทยาของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดินกลางแจ้งภายใต้สภาวะที่มีการเติมอากาศ การเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และการเพิ่มปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.3.1 ดินตะกอนที่ใช้ในการวิจัยเป็นดินก้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดำเนินการด้วยระบบบ่อดินกลางแจ้ง โดยเก็บตัวอย่างจากทองนพคุณฟาร์ม จังหวัดฉะเชิงเทรา

1.3.2 สารอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบการทดลอง คือ กากน้ำตาล (Molasses) ส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นหัวเชื้อ ปม.1 ที่พัฒนาโดยกรมประมง

1.3.3 ทำการศึกษาติดตามกระบวนการทางชีวภาพที่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ตลอดจนกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินภายในตู้กระจกขนาด 20×20×35 ซม. โดยจำลองสภาวะของระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดิน

1.3.4 ศึกษาการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในปริมาณเริ่มต้นที่แตกต่างกัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ภายในตู้กระจกที่จำลองสภาวะของระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดิน

1.3.5 วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางกายภาพและเคมีของน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005) และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนพื้นบ่อ ได้แก่ พีเอช เนื้อดิน สารอินทรีย์ในดิน และไนโตรเจนรวม ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Official method analysis (AOAC, 1980) และ Method in soil biology (Schinner และคณะ, 1996)

1.3.6 ประเมินประสิทธิภาพการรองรับของเสียไนโตรเจนของดินตะกอนพื้นบ่อ โดยอาศัยของเสียที่เกิดขึ้นจริงจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดินจำลองขนาด 150 ล. และสัตว์น้ำเค็มที่ใช้ในการทดลอง คือ กุ้งขาวสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ระยะเต็มวัย (Adult)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในบ่อดิน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการคุณภาพดินและน้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะธรรมชาติ

1.4.2 เพื่อให้ได้แนวทางที่เหมาะสมในการจัดการดินตะกอนพื้นบ่อเพื่อการรองรับของเสียไนโตรเจนที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ

1.4.3 เป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปใช้ในการควบคุมของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดินภายใต้สภาวะธรรมชาติ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

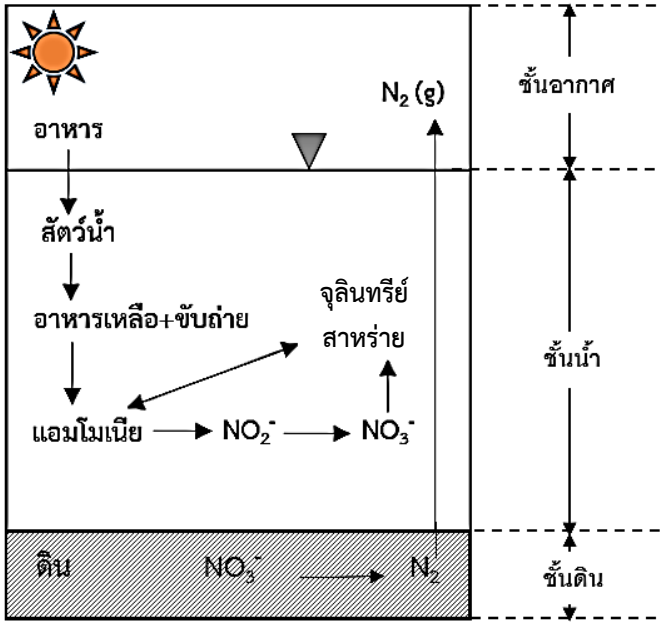
2.1 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมดำเนินการในบ่อดินกลางแจ้งและในกระชังบริเวณริมแม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งจะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสัตว์น้ำทั้งด้านการเจริญเติบโตและการติดโรค เนื่องจากคุณภาพดินและน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามฤดูกาล โดยมุมมองในเชิงนิเวศของบ่อดินจัดเป็นระบบนิเวศแบบซับซ้อนที่อุดมไปด้วยสารอาหารและของเสียไนโตรเจน การเลี้ยงสัตว์น้ำในลักษณะดังกล่าวจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมหากปล่อยน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำออกสู่ธรรมชาติโดยปราศจากการบำบัด เนื่องจากของเสียส่วนใหญ่จัดเป็นสารอนินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต โดยแอมโมเนียจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากที่สุด รองลงมาคือไนไทรต์ และไนเทรต ตามลำดับ ดังนั้นในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยที่ระบบบำบัดของเสียตามธรรมชาติสามารถบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นได้จากการลดปริมาณของเสียและปรับปรุงให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงจะเป็นผลดีและลดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

2.1.1 ระบบบ่อดินกลางแจ้ง (Outdoor earthen pond)

เป็นรูปแบบที่ดำเนินการได้ง่ายและใช้ต้นทุนในการบำบัดต่ำ เกษตรกรจึงเลือกใช้กันอย่างกว้างขวางและพบเห็นได้ทั่วไป ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของระบบนี้ เช่น อุณหภูมิ แสง และปริมาณน้ำฝนมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมปริมาณของเสียไนโตรเจนและปริมาณแพลงก์ตอนพืช (มะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข, 2555) ดังนั้นดินตะกอนก้นบ่อจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติในบ่อรูปแบบนี้ โดยเศษอาหารที่เหลือตกค้างและสิ่งปฏิกูลจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำจะถูกบำบัดจากการเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในระบบได้จากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งก๊าซออกซิเจนดังกล่าวจะถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน ทำให้ของเสียไนโตรเจนในระบบเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ แอมโมเนีย

ไนไทรต์ และไนเทรต แพลงก์ตอนพืชจะนำสารอนินทรีย์เหล่านี้มาใช้ในการเจริญเติบโตจึงเป็นการหมุนเวียนสารตามธรรมชาติ นอกจากนี้การบำบัดไนเทรตจะเกิดขึ้นได้เองด้วยชั้นดินตะกอนก้นบ่อซึ่งเป็นบริเวณไร้อากาศ โดยจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการบำบัดของเสียไนโตรเจนในบ่อดินกลางแจ้งจะขึ้นกับอัตราการเติมก๊าซออกซิเจนคืนแก่ระบบโดยแพลงก์ตอนพืช รวมถึงประสิทธิภาพของไนทริฟายอิงแบคทีเรียและดีไนทริฟายอิงแบคทีเรียในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียให้เป็นไนเทรตและก๊าซไนโตรเจน ตามลำดับ (กษิดิศ หนูทอง, 2551) โดยกลไกในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อดินกลางแจ้งแสดงดังแผนภาพรูปที่ 2.1

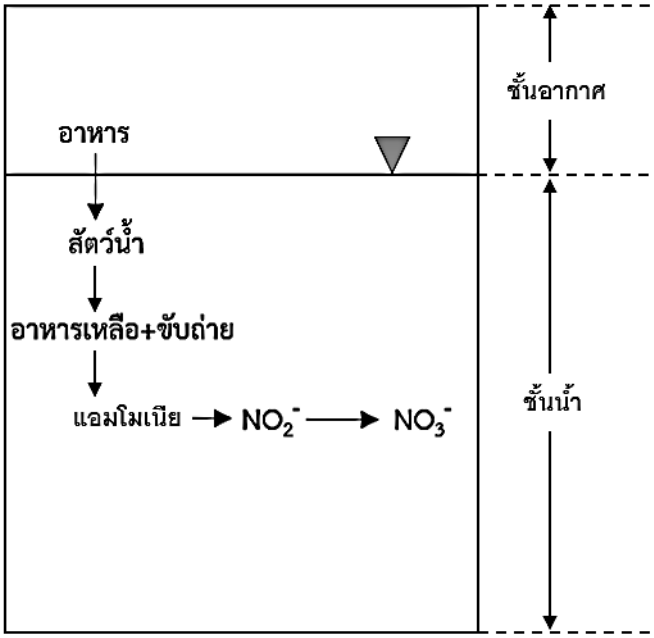


รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อดินกลางแจ้ง
(ที่มา: ชลธิชา พลายชุม, 2553)

2.1.2 ระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน (Indoor pond)

เป็นระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่อยู่ภายในอาคารหรือโรงเรือน ซึ่งเป็นระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมและได้รับแสงน้อยกว่าระบบบ่อดินกลางแจ้ง โดยทั่วไปมักเป็นบ่อดินที่มีการปูทับด้วยผ้าพลาสติก บ่อซีเมนต์ หรือบ่อพลาสติก ทำให้ระบบที่ไม่มีดินตะกอนก้นบ่อนี้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบบ่อดินกลางแจ้งได้ ได้แก่ ปัญหาการติดโรคในสัตว์น้ำเนื่องจากการปนเปื้อน

เชื้อโรคจากดินตะกอน ปัญหาสภาพดิน รวมถึงสามารถควบคุมพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำได้ง่ายกว่าระบบอื่น เป็นต้น แต่ปัญหาที่พบมากในบ่อไร้ดินคือ การบำบัดไนโตรเจนจะเกิดขึ้นได้โดยไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้พบการสะสมตัวของไนเทรตในน้ำจากกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อปริมาณความเข้มข้นของไนเทรตเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เช่น สัตว์น้ำมีอัตราการบริโภคอาหารต่ำลง เจริญเติบโตช้า เป็นต้น ก็จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของไนเทรตที่เกิดขึ้น ทั้งนี้กลไกในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือนแสดงดังแผนภาพรูปที่ 2.2



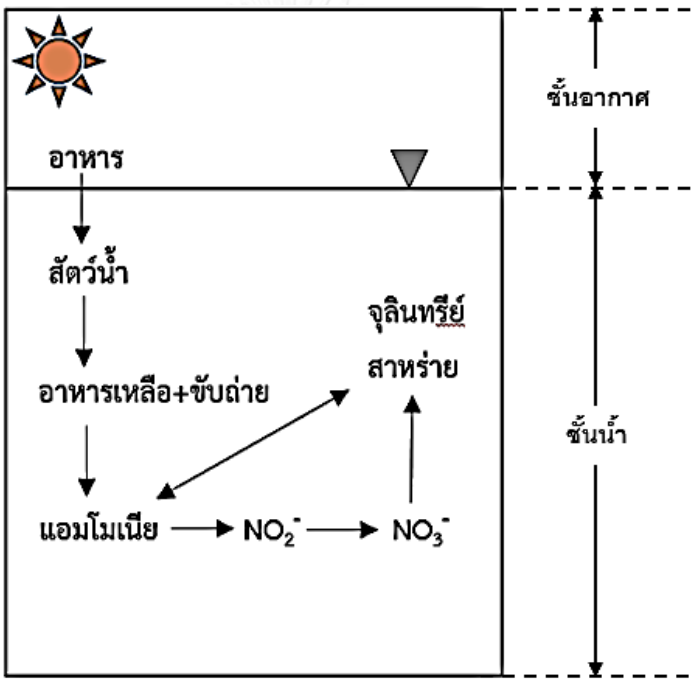
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.2 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน
(ที่มา: ชลธิชา พลายชุม, 2553)

2.1.3 ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง (Outdoor lining pond)

เป็นบ่อกลางแจ้งที่สร้างจากซีเมนต์หรือบ่อดินที่มีการปูทับด้วยวัสดุสังเคราะห์ เช่น ผ้าพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) ปกคลุมพื้นที่ทั่วทั้งบ่อ เนื่องจากไม่มีดินตะกอนก้นบ่อเช่นเดียวกับระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน กลไกการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติจึงเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ แอมโมเนียในระบบจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์และไนเทรตผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยไม่ถูกบำบัดต่อเป็นก๊าซไนโตรเจน แต่เนื่องจากระบบบ่อไร้ดินแบบนี้ได้รับแสง

ต่อเนื่องในช่วงเวลากลางวันเช่นเดียวกับระบบบ่อดินกลางแจ้ง การสังเคราะห์แสงจึงเกิดขึ้นได้ทำให้มีแพลงก์ตอนพืชเติบโตอยู่ในบ่อ ซึ่งเป็นผลดีต่อการช่วยบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของพืช แต่เมื่อเวลาผ่านไปแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นจนเกินขีดความสามารถในการรองรับของระบบจึงเกิดการบดบังแสงกันเอง และสร้างความขุ่นให้กับระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนปริมาณไนเทรตเมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะสะสมตัวอยู่ในระบบ เนื่องจากไม่มีดินตะกอนพื้นบ่อเป็นตัวช่วยบำบัดในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน การรีดิวซ์ไนเทรตจึงเกิดขึ้นได้น้อยมากเมื่อเทียบกับระบบบ่อดินกลางแจ้ง ทั้งนี้กลไกในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งแสดงดังแผนภาพรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง
(ที่มา: ชลธิชา พลายชุม, 2553)

อาจกล่าวได้ว่ารูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบบ่อดินกลางแจ้ง ระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือน และระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง มีวัฏจักรไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบและสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติที่แตกต่างกันอย่างมาก สำหรับระบบที่อยู่กลางแจ้งซึ่งได้รับแสงในช่วงเวลากลางวัน ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลดีในการช่วยบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของพืช ทำให้ของเสียไนโตรเจนในระบบเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่

แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต โดยแพลงก์ตอนพืชจะนำสารอนินทรีย์เหล่านี้มาใช้ในการเจริญเติบโตจึงเป็นการหมุนเวียนสารตามธรรมชาติ และสำหรับระบบที่มีชั้นดินตะกอนก้นบ่อเพิ่มเข้ามาจะส่งผลต่อการหมุนเวียนสสารในวัฏจักรไนโตรเจน การบำบัดไนเทรตจะเกิดขึ้นได้เองภายในชั้นดินตะกอนก้นบ่อซึ่งเป็นบริเวณไร้อากาศ โดยไนโตรเจนรูปนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อสัตว์น้ำหากมีการสะสมตัวจนถึงระดับที่เป็นอันตราย ส่วนระบบบ่อเลี้ยงภายในโรงเรือนที่ไม่ได้รับแสงและไม่มีดินตะกอนก้นบ่อการบำบัดไนโตรเจนจะเกิดขึ้นโดยไม่สมบูรณ์ทำให้พบการสะสมตัวของไนเทรตจากกระบวนการไนทริฟิเคชัน จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของปริมาณไนเทรตที่เกิดขึ้น

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโต กิจกรรมทางชีวเคมี การรักษาสมดุลร่างกาย การขับถ่าย และการสืบพันธุ์ของสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำจึงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำ ดังนั้นการเลี้ยงสัตว์น้ำในเชิงพาณิชย์จึงควรควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามความต้องการ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมีดังนี้

2.2.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำทุกชนิดจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายเพื่อการเจริญเติบโต โดยความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำบริสุทธิ์จะสูงสุดที่อุณหภูมิ 0 °ซ และความสามารถในการละลายนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของก๊าซออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับค่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) (วิรัช จิ๋วแหยม, 2554) เมื่อในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีออกซิเจนละลายน้ำอยู่น้อยเป็นเวลานานอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ทำให้ปลาติดเชื้อโรคจากแบคทีเรียได้ง่าย เป็นต้น และหากภายในบ่อมีออกซิเจนละลายน้ำสูงเกินระดับอิ่มตัวก็จะเป็นโรคได้ง่ายเช่นกัน ทั้งนี้มีรายงานว่าระดับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปและการขยายพันธุ์ควรมีค่ามากกว่า 5 มก/ล. (Boyd,1979) โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อสัตว์น้ำแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	ผลต่อสัตว์น้ำ
น้อยกว่า 1	เป็นอันตรายหากเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน
1 – 5	ทำให้การเจริญเติบโตลดลงและการสืบพันธุ์ผิดปกติถ้าอาศัยอยู่อย่างต่อเนื่อง
มากกว่า 5	เป็นระดับปกติสำหรับสัตว์น้ำทั่วไป เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์

(ที่มา: Boyd, 1979)

2.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของจุลินทรีย์ตามฤดูกาล โดยกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาต่างๆ เช่น การกำจัดซัลเฟต การผลิตมีเทน การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการกำจัดไนเทรต เป็นต้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำยังมีผลต่อสัตว์น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในทางตรงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 °ซ จะทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายของสัตว์เพิ่มขึ้น 10 เท่า ทำให้สัตว์มีความต้องการอาหารและออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่วนในทางอ้อมจะมีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ โดยจะส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนลดลง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจึงลดลงเช่นกัน จุลินทรีย์กลุ่มต้องการออกซิเจนจึงทำงานได้ไม่ดี

เนื่องจากสัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็น อัตราเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำเป็นหลัก โดยสัตว์น้ำต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งเพื่อปรับระดับอุณหภูมิของร่างกายให้เท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามการปรับตัวของสัตว์น้ำย่อมมีขีดจำกัด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะทำให้อุณหภูมิของน้ำกับสัตว์น้ำมีความแตกต่างกันมาก หากสัตว์น้ำไม่สามารถปรับตัวได้ทันจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรง เช่น ระบบควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุในร่างกายผิดปกติ ซึ่งทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2554) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง และสามารถกระตุ้นการดูดซึมสารพิษเข้าสู่ร่างกายของ

สิ่งมีชีวิต และยังส่งผลให้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและการละลายของเกลือแร่ในน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537)

2.2.3 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มของน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย (Water regulation system) ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างน้ำภายในตัวของสัตว์น้ำและน้ำภายนอกร่างกาย สัตว์น้ำจืดจึงพยายามขจัดน้ำส่วนเกินนี้ออกไป ในทางตรงกันข้ามสัตว์น้ำเค็มที่อาศัยอยู่ในทะเลมีแรงดันออสโมติกต่ำกว่าน้ำทะเล ดังนั้นน้ำภายในตัวจะถูกขับออกสู่ภายนอกร่างกายได้ง่าย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528) ส่วนสัตว์น้ำกร่อยนั้นจัดได้ว่าเป็นสัตว์ที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหันจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำไม่ว่าสัตว์น้ำชนิดใดก็ตาม ซึ่งความเค็มของน้ำย่อมมีผลต่อสัตว์น้ำเช่นเดียวกับอุณหภูมิ โดยสัตว์น้ำจืดจะเติบโตได้ในน้ำที่มีค่าความเค็มน้อยกว่า 0.21 ส่วนในพันส่วน และสัตว์ทะเลจะทนความเค็มได้ในช่วงค่าที่มากกว่า 30 ส่วนในพันส่วน ทั้งนี้ความทนทานของสัตว์น้ำกร่อยต่อค่าความเค็มจะอยู่ระหว่าง 0.21 – 30 ส่วนในพันส่วน (Roberts, 1989) โดยมีรายละเอียดการแบ่งระดับความเค็มของน้ำดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของน้ำตามระดับความเค็ม

ชื่อเรียก	ประเภทของน้ำ	ระดับความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)
Hyperhaline	น้ำทะเล (Sea water)	มากกว่า 40
Euryhaline		30 – 40
Polyhaline	น้ำกร่อย (Brackish water)	18 – 30
Mesohaline a		10 – 18
Mesohaline b		1.84 – 10
Oligohaline		0.21 – 1.84
Fresh water	น้ำทั่วไป (Normal water)	น้อยกว่า 0.21

ที่มา: (Roberts, 1989)

2.2.4 ค่าพีเอช (pH)

พีเอชหรือความเป็นกรด-ด่างเป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ในน้ำ ในแหล่งน้ำกร่อยทั่วไปมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7 - 8 และค่าพีเอชที่อยู่ระหว่าง 8 - 8.2 แพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ดีในน้ำ สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 7.5 - 8.5 หากพีเอชมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำเกิดความเครียดได้ บางครั้งอาจถึงขั้นตายในทันที ปลาบางชนิดไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ในน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 6 ส่วนในน้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 8.5 จะเป็นด่างเกินไปจนทำให้ปลาหลายชนิดวางไข่น้อยลง นอกจากนี้น้ำที่เป็นด่างเกินไปจะส่งผลให้เกิดแอมโมเนียอิสระมากขึ้นซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยค่าพีเอชที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำแสดงดังตารางที่ 2.3 นอกจากนี้พีเอชยังมีบทบาทในการช่วยควบคุมการปล่อยสารอาหาร เช่น เหล็กและฟอสฟอรัสจากดินก้นบ่อให้กับน้ำ ซึ่งหากน้ำมีสภาพด่างสูงจะทำให้คุณภาพน้ำนั้นขาดแคลนอิออนเหล็กสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เป็นต้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

ตารางที่ 2.3 ผลของพีเอชต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

พีเอช	การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ
ต่ำกว่า 4	ตาย
4 – 5	ไม่สืบพันธุ์
4 – 6	เจริญเติบโตช้า
6.5 – 9	เจริญเติบโตได้ดี
9 – 11	เจริญเติบโตช้า
9.5 – 11	ไม่สืบพันธุ์
สูงกว่า 11	ตาย

(ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

2.2.5 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำหมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับไฮโดรเจนอิออน (H^+) หรือความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรดให้ได้พีเอชเป็นกลาง โดยความเป็นด่างของน้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) คาร์บอเนตอิออน (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต

อิออน (HCO_3^-) ค่าความเป็นด่างของน้ำมีความสัมพันธุ์กับพีเอชของน้ำและระบบควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ โดยสภาพด่างในน้ำสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชได้ด้วยระบบบัฟเฟอร์ (Buffer system) อีกทั้งยังช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักในแหล่งน้ำอีกด้วย โดยมีกระบวนการเกิดบัฟเฟอร์ (Buffer system) ของอัลคาไลน์แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

$$HCO_3^- \underset{H+}{\overset{OH-}{\rightleftharpoons}} CO_3^{2-} + H_2O \qquad (1)$$

$$CO_3^{2-} \longrightarrow 2OH^- + CO_2 \qquad (2)$$

2.2.6 แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายเศษอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 25 – 30 ดังนั้นการให้อาหารสัตว์น้ำมากเกินความต้องการก่อให้เกิดการสะสมตัวของแอมโมเนียในระบบ โดยแอมโมเนียอยู่ในน้ำได้ 2 รูปแบบ คือ ก๊าซแอมโมเนียซึ่งไม่แตกตัว (Un-ionized ammonia) และแอมโมเนียมอิออนซึ่งแตกตัวได้ง่าย (Ionized ammonia) แอมโมเนียทั้งสองรูปรวมกัน เรียกว่า ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ (Total ammonia) เมื่อพีเอชและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นทำให้อัตราส่วนของแอมโมเนียและแอมโมเนียมอิออนสูงขึ้น ในทางตรงข้ามพบว่าเมื่อปริมาณเกลือแร่สูงขึ้นทำให้สมดุลเคมีย้อนกลับส่งผลให้อัตราส่วนของแอมโมเนียมอิออนต่อแอมโมเนียสูงขึ้น โดยทั่วไปแอมโมเนียจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าแอมโมเนียมอิออน (เพ็ญพิชา สท้านวัตร, 2557) ความเป็นพิษของแอมโมเนียส่วนใหญ่จะมีผลต่อสัตว์น้ำในทางอ้อม เช่น ทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถขับแอมโมเนียที่สะสมภายในร่างกายออกสู่ภายนอกได้ เนื่องจากแอมโมเนียในน้ำมีความเข้มข้นสูงกว่าแอมโมเนียภายในกระแสเลือดของสัตว์น้ำ ส่งผลทำให้พีเอชของเลือดมีค่าสูงขึ้นและส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในสัตว์น้ำ อีกทั้งแอมโมเนียยังสามารถทำลายเหงือกของสัตว์น้ำทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนเข้าสู่ภายในร่างกายลดลง (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) โดยระดับความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียที่มีในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.025 มก.ไนโตรเจน/ล. (Neori และคณะ, 2004; Chen และคณะ, 2006)

2.2.7 ไนไทรต์ (Nitrite)

ไนไทรต์เป็นสารตัวกลางที่เป็นผลจากกระบวนการไนทริฟิเคชันของแอมโมเนีย โดยอาศัยกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas sp.* และ *Nitrobactor sp.* ซึ่งไนไทรต์จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงกว่าไนเทรต ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลควรจะมีไนไทรต์ไม่เกิน 0.1 มก.ไนโตรเจน/ล. (Chen และ Chin, 1992) ความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่ไนไทรต์ไปรวมตัวกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือดกลายเป็นเมทธิโมโกลบิน (Methemoglobin) ซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนไปสู่เซลล์และกล้ามเนื้อได้ สัตว์น้ำจึงตายเนื่องจากขาดออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) โดยระดับความเป็นพิษของไนไทรต์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าพีเอชลดลง ดังนั้นการป้องกันปัญหาความเป็นพิษของไนไทรต์สามารถทำได้โดยการควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.5 – 8.5 และการให้อากาศอย่างเพียงพอ รวมถึงการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดปริมาณการสะสมของไนไทรต์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ (ชลธิชา พลายชุม, 2553)

2.2.8 ไนเทรต (Nitrate)

ไนเทรตเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการออกซิไดซ์ไนไทรต์ผ่านกระบวนการไนเทรเทชัน (Nitratation) โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่มไนไทรต์ออกซิไดซ์ซิงแบคทีเรีย (Nitrite-Oxidizing Bacteria; NOB) โดยไนเทรตนั้นเกิดจากการออกซิไดซ์ที่สมบูรณ์จากสารประกอบไนโตรเจนรูปอื่นๆ ซึ่งหากในน้ำมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอแล้วไนเทรตจัดได้ว่าเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุด (สุนทรี อยู่สถาน, 2550) กล่าวคือเมื่อเกิดไนเทรตขึ้นในแหล่งน้ำ ไนเทรตจะสะสมอยู่ในน้ำปริมาณสูงขึ้นและคงอยู่ได้นาน ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ อัตราการบริโภคอาหารลดลง สัตว์น้ำเกิดความเครียด เจริญเติบโตช้า อัตราการเจริญพันธุ์ลดลง และอาจตายได้ โดยปริมาณไนเทรตที่ความเข้มข้น 30 มก.ไนโตรเจน/ล. อาจจะก่อให้เกิดโรคจุดขาวกับสัตว์น้ำ (Gutierrez-Wing และคณะ, 2006) และระดับความเข้มข้นสูงสุดของไนเทรตที่ยอมให้มีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้คือ 50 มก.ไนโตรเจน/ล. หากไนเทรตมีค่าสูงกว่านี้ควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำที่มีไนเทรตสูงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง เกิดปัญหาคุณภาพน้ำ ส่งผลให้สัตว์น้ำตายและแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการเน่าเสียในที่สุด (ชลธิชา พลายชุม, 2553)

2.2.9 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่าเกิดจากการสะสมของสารอินทรีย์และตะกอนแขวนลอยบริเวณพื้นบ่อ ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดสภาวะไร้อากาศ จากนั้นจะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียกลุ่มรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria; SRB) ในสภาวะไร้อากาศ โดยใช้ซัลเฟตจาก SO_4^{2-} เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากกระบวนการหายใจ ทำให้เกิด S^{2-} ดังแสดงในสมการที่ 3 (Boyd, 1998)

$$\text{Organic matter} + SO_4^{2-} \longrightarrow S^{2-} + H_2O + CO_2 \qquad (3)$$

สารประกอบของซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (Un-ionized form) คือ H_2S จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าที่อยู่ในรูปแตกตัวเป็นอิออน (Ionized form) ได้แก่ HS^- หรือ S^{2-} ซึ่งสัดส่วนของซัลไฟด์ที่พบขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำนั้นมีพีเอชต่ำจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก และแหล่งน้ำที่มีพีเอชเป็นกลางจะพบสารประกอบจำพวกซัลไฟด์อิออน (HS^- และ S^{2-}) ดังสมการที่ 4 และ 5

$$S^{2-} + H^+ \longrightarrow HS^- \qquad (4)$$

$$HS^- + H^+ \longrightarrow H_2S \qquad (5)$$

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำเมื่อน้ำทั้งบ่อถูกผสมรวมกันเนื่องจากเกิดการกระจายของก๊าซ โดยระดับความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำคือ 0.01 – 0.05 มก./ล. ในกรณีที่มีการให้ออกซิเจนอย่างทั่วถึงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2554)

2.3 ดินและลักษณะที่สำคัญของดิน

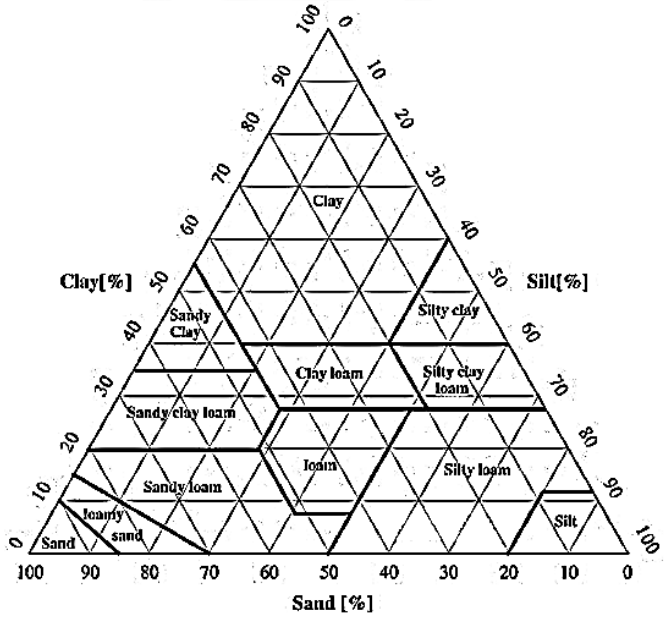
ดินคือบริเวณผิวนอกของเปลือกโลกที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์อยู่รวมกันอย่างหลวมๆ ซึ่งมีความหนาและแตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์ สารอินทรีย์ในดินส่วนใหญ่มาจากการผุพังของซากพืช ซากสัตว์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งลักษณะของดินสามารถจำแนกออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านชีวภาพ (พูลสุข ปรัชญานุสรณ์, 2553)

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของดิน (Soil physical characteristics)

จัดเป็นลักษณะภายนอกของดินที่สามารถมองเห็น จับต้องหรือสัมผัสได้ เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ชั้นของดิน ความหนาแน่น และความพรุน เป็นต้น มีรายละเอียดดังนี้

1. เนื้อดิน (Soil texture) เป็นองค์ประกอบเชิงกายภาพของดิน เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความหยาบ (Coarseness) หรือความละเอียด (Fineness) ของอนุภาคอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดินซึ่งเรียกว่า อนุภาคของดิน อนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ขนาดใหญ่เรียกว่า อนุภาคขนาดทราย (2.0 – 0.05 มม.) ขนาดกลางเรียกว่า อนุภาคขนาดทรายแป้ง (0.05 – 0.002 มม.) และขนาดเล็กที่สุดคือ อนุภาคดินเหนียว (น้อยกว่า 0.002 มม.)

2. การแบ่งกลุ่มดิน เป็นการจำแนกดินตามลักษณะของเนื้อดินด้วยการจัดทำแผนผังรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (Soil texture triangle) ซึ่งพิจารณาจากร้อยละของอนุภาคสามขนาดที่ประกอบกันเป็นดิน คือ ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ดังแผนภาพรูปที่ 2.4 การใช้แผนผังรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแสดงการกระจายตัวของอนุภาคดิน สามารถช่วยระบุประเภทของดินได้ เช่น เมื่อนำดินที่มีองค์ประกอบของดินเหนียวร้อยละ 70 ดินทรายแป้งร้อยละ 20 และดินทรายร้อยละ 10 เมื่อนำทั้งสามสัดส่วนมาลากเส้นจนพบกันบนไดอะแกรมสามเหลี่ยมจะตกอยู่ในกลุ่มที่จัดเป็นดินเหนียว จึงสรุปได้ว่าดินนั้นจัดเป็นประเภทดินเหนียว เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แผนผังรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแสดงการกระจายตัวของอนุภาคดิน
(ที่มา: Wang และคณะ, 2008)

3. สีของดิน (Soil color) สีของดินเป็นคุณสมบัติที่สามารถเห็นได้ชัดเจนกว่าคุณสมบัติอื่นๆ ทำให้สะท้อนถึงสภาพแวดล้อม กระบวนการเกิดดิน แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน หรือวัสดุอื่นๆ ที่อยู่ในดิน ทั้งนี้สีของดินจะกำหนดโดยปริมาณของฮิวมัส ชนิดของสารประกอบธาตุหลัก และปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน โดยดินที่มีสีน้ำตาลเข้มจัดแสดงว่ามีสารอินทรีย์มาก

2.3.2 คุณลักษณะทางเคมีของดิน (Soil chemical characteristics)

คุณสมบัติทางเคมีของดินจะมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของธาตุและมลสารเมื่อเคลื่อนที่ลงสู่ดิน โดยเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น ความเป็นกรด-ด่างของดิน และสภาพออกซิเดชัน – รีดักชันในดิน เป็นต้น ทั้งนี้แต่ละปัจจัยมีความสำคัญแตกต่างกันดังนี้ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

1. ความเป็นกรด – ด่างของดิน (Soil pH) มีความสำคัญมากต่อการละลายของธาตุอาหารในดินและการละลายของอิออนบางชนิด เช่น อลูมิเนียมอิออนจะละลายได้ดีเมื่อดินมีค่าพีเอชลดลง เป็นต้น โดยทั่วไปจุลินทรีย์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อพีเอชของดินอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลาง (6 - 7) และเมื่อดินมีสภาวะเป็นกรดกิจกรรมต่างๆ จะเกิดขึ้นได้ช้าลง

2. สภาพออกซิเดชัน – รีดักชันในดิน สถานะออกซิเดชันของดินเป็นผลมาจากการระบายน้ำและอากาศของดิน สภาพอากาศและน้ำในดินจะเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวการในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเปลี่ยนรูปของธาตุต่างๆ ในดิน โดยเฉพาะสารพิษในดิน เช่น กลุ่มโลหะหนัก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าศักย์รีดอกซ์ (Redox potential) ของดินมีความสำคัญในการกำหนดบทบาทของกระบวนการทางเคมีและชีวเคมีในดิน

2.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของดิน (Soil biological characteristics)

ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในดินจะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของอินทรียสารในดิน โดยมีบทบาทช่วยย่อยสลายซากพืช - ซากสัตว์ให้เป็นธาตุอาหารในดินทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์เหล่านี้ทำให้ได้สารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ เช่น กำมะถัน ฟอสเฟต แคลเซียม เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์นี้เรียกว่า มินเนอรัลไลเซชัน (Mineralization) นอกจากนี้แบคทีเรียบางกลุ่มในดินจะมีบทบาททำให้เกิดกระบวนการต่างๆ อย่างเฉพาะเจาะจง เช่น แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ไนทริฟิเคชัน

(Nitrification) ดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) ไนเทรตรีดักชัน (Nitrate reduction) กระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) ซัลเฟอร์ออกซิเดชัน (Sulphur oxidation) และการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (Organic matter decomposition) เป็นต้น

2.4 จุลินทรีย์ในดิน

โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบในดินเป็นหลัก โดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph) ปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด ปริมาณ และอินทรียวัตถุในดิน มีรายงานว่าอินทรียวัตถุที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตจะมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 3 - 6 โดยปริมาตร หรือไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของดิน ส่วนที่เป็นอินทรียวัตถุนี้เองจะมีอิทธิพลต่อทั้งคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน โดยองค์ประกอบที่เป็นอินทรียวัตถุจะช่วยให้ดินมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเป็นแหล่งอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ในดิน (วิทยา มะเสนา, 2526) บริเวณผิวดินจะมีจุลินทรีย์สูงถึงประมาณ 10^8 โคโลนีต่อน้ำหนักดินแห้ง 1 กรัม โดยที่บริเวณผิวหน้าดินจะมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าชั้นดินที่ลึกลงไป เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหาร ความชื้น และอากาศเพียงพอ (วีรานุช หลาง, 2551)

2.4.1 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในดิน

เนื่องจากบริเวณผิวดินและใต้ดินมีแร่ธาตุและสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของสารอาหารนี้เป็นผลให้เกิดการกระจายตัวของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไปด้วย เนื้อดินและโครงสร้างของดินก็มีผลต่อการแพร่กระจายของจุลินทรีย์เช่นกัน จุลินทรีย์เกือบทุกชนิดที่อยู่ในดินประมาณร้อยละ 80 – 90 มีการยึดเกาะอยู่กับเม็ดดิน โดยส่วนที่เหลือจะอยู่กันอย่างอิสระ ลักษณะดังกล่าวนั้นจะช่วยปกป้องจุลินทรีย์จากการถูกล่าโดยโปรโตซัวและยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการใช้และหมุนเวียนสารอาหารมากกว่าจุลินทรีย์ที่อยู่กันอย่างอิสระ ประโยชน์อีกประการหนึ่ง ได้แก่ จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้อย่างทันท่วงที เช่น การเปลี่ยนแปลงของพีเอชและสภาวะการเจริญเติบโต อีกทั้งยังเกิดการแลกเปลี่ยนทางพันธุกรรมได้มากกว่าเซลล์ที่อยู่เดี่ยวๆ ในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้มักจะพบสาหร่ายบริเวณผิวหน้าดินเนื่องจากต้องการแสงในการสังเคราะห์แสง ส่วนในดินที่อุดมสมบูรณ์จะพบสาหร่ายน้อยมากเนื่องจากกิจกรรมทางด้านชีวเคมีของสาหร่ายจะถูกขัดขวางโดยแบคทีเรียและเชื้อรา (วีรานุช หลาง, 2551)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในดิน

ชนิด ปริมาณ และการกระจายของจุลินทรีย์ในดินจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ทั้งนี้สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในดินอาจจำแนกออกได้ดังนี้

1. ธาตุอาหารในดิน หากมีปริมาณธาตุอาหารสูงมากจะพบแบคทีเรียและเชื้อราในดินมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากแบคทีเรียและเชื้อราเจริญได้เร็วและใช้สารอาหารได้ดีกว่า

2. ความชื้นของดิน อากาศเป็นปัจจัยในการดำรงชีพที่สำคัญของจุลินทรีย์ ดินที่มีความชื้นสูงปริมาณออกซิเจนในดินจะลดลง จุลินทรีย์ในดินแต่ละชนิดมีระดับความชื้นของดินที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพที่ต่างกันไป เช่น แบคทีเรียเจริญได้ดีที่ความชื้นร้อยละ 50 – 75 ของความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity; WHC) แอคติโนมัยซีทจะเจริญได้น้อยหรือไม่เจริญเลยที่ความชื้นร้อยละ 85 – 100 ของ WHC ส่วนเชื้อราเจริญได้ดีที่ความชื้นร้อยละ 27 ของ WHC เป็นต้น

3. อุณหภูมิของดิน อุณหภูมิส่งผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน โดยทั่วไปสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะกระตุ้นกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

4. สภาพพีเอชของดิน โดยทั่วไปแบคทีเรียจะเจริญได้ดีในดินที่มีพีเอชเป็นกลางคือ 6 – 7.5 ที่พีเอชสูงกว่านี้จะพบแอคติโนมัยซีทมากกว่าแบคทีเรีย ถ้าพีเอชต่ำกว่า 5 แอคติโนมัยซีทจะไม่เจริญเลย ส่วนเชื้อราจะเจริญได้ดีในดินที่มีสภาพความเป็นกรดมากกว่าสภาพด่าง

5. ความลึกของดิน ระดับความลึกของชั้นดินจะเกี่ยวเนื่องกับธาตุอาหาร อากาศ และแสง โดยในดินชั้นบนจะมีธาตุอาหาร อากาศ และแสงมากกว่าดินชั้นล่าง ทำให้ดินชั้นบนจะพบจุลินทรีย์กลุ่มใช้อากาศ แอคติโนมัยซีท เชื้อรา สาหร่าย และโปรโตซัวมากกว่าดินชั้นล่าง ในขณะที่ดินชั้นล่างจะพบจุลินทรีย์กลุ่มไร้อากาศเป็นหลัก (วีรานุช หลาง, 2551)

2.5 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน

บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดินที่พบในประเทศไทยมีขนาดหลากหลายตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไร่จนถึงขนาดใหญ่กว่า 100 ไร่ โดยระดับความลึกของบ่อส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ม. ทั้งนี้จุดเด่นในการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน คือ ใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ เนื่องจากการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะเลี้ยงที่ความหนาแน่นต่ำกว่า 1 กก./ลบ.ม. หรือคิดเป็นผลผลิตต่ำกว่า 1,600 กก./ไร่ สำหรับความลึกบ่อประมาณ 1 ม. ส่งผลให้กระบวนการบำบัดทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในบ่อยังสามารถรองรับของ

เสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบได้ ในขณะเดียวกันหากมีการใช้เครื่องตีน้ำแบบใบพัดหรือหัวพ่นอากาศ ซึ่งเป็นเครื่องมือกลที่ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนและทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์ในบ่อกับของเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นการช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับของเสียในบ่อดินได้ ทั้งนี้ในบ่อดินประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตหลากหลายไม่เพียงแต่สัตว์น้ำที่เลี้ยงเท่านั้น แต่ยังมีแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ฟังไจ แบคทีเรีย สัตว์หน้าดิน และสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ที่อาจปะปนเข้ามาในระหว่างการเลี้ยง จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทมากทั้งในด้านที่ก่อให้เกิดประโยชน์และโทษ โดยตัวอย่างกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยขน์ เช่น *Bacillus subtilis* จะช่วยในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลที่มีแป้งและโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในบ่อเลี้ยงกุ้งจะใช้จุลินทรีย์ดังกล่าวเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์จากเศษอาหารที่ตกค้างหรือสิ่งขับถ่ายจากสัตว์น้ำ ทั้งนี้ในการเร่งการทำงานของแบคทีเรียเพื่อควบคุมปริมาณของเสียไนโตรเจนในบ่อดินจะมีการรักษาระดับปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอต่อการหายใจของสัตว์น้ำและจุลินทรีย์ เพื่อกระตุ้นกระบวนการออกซิเดชันของสารอินทรีย์และของเสียอนินทรีย์ไนโตรเจนให้เกิดขึ้นได้ (Burford และ Langmore, 2001; Jangrass และคณะ, 2007) นอกจากนี้อาจใช้วิธีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน เช่น กากน้ำตาล (Molasses) หรือแป้งมันเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างเซลล์แบคทีเรีย (Assimilation) ในทางตรงข้ามจุลินทรีย์บางกลุ่มจัดเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์น้ำทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดโรคง่าย และอาจตายในที่สุด (มะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข, 2555)

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการหมุนเวียนของมลสารภายในบ่อดินจะเกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยาทางชีวภาพต่างๆ ได้แก่ กระบวนการรีดักชัน (Reduction) ออกซิเดชัน (Oxidation) และการสังเคราะห์แสงโดยพืชน้ำ (Photosynthesis) โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงอาจเกิดขึ้นได้ทั้งประเภทที่ผลิตออกซิเจนและไม่ผลิตออกซิเจน สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงประเภทที่มีการผลิตออกซิเจนหรือการสังเคราะห์แสงแบบแอโรบิคนั้นจะเกิดขึ้นโดยพืชสีเขียวต่างๆ รวมทั้งสาหร่ายจากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นวัตถุดิบ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงและได้ผลผลิตคือกลูโคสและออกซิเจน ดังสมการที่ 6

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \qquad (6)$$

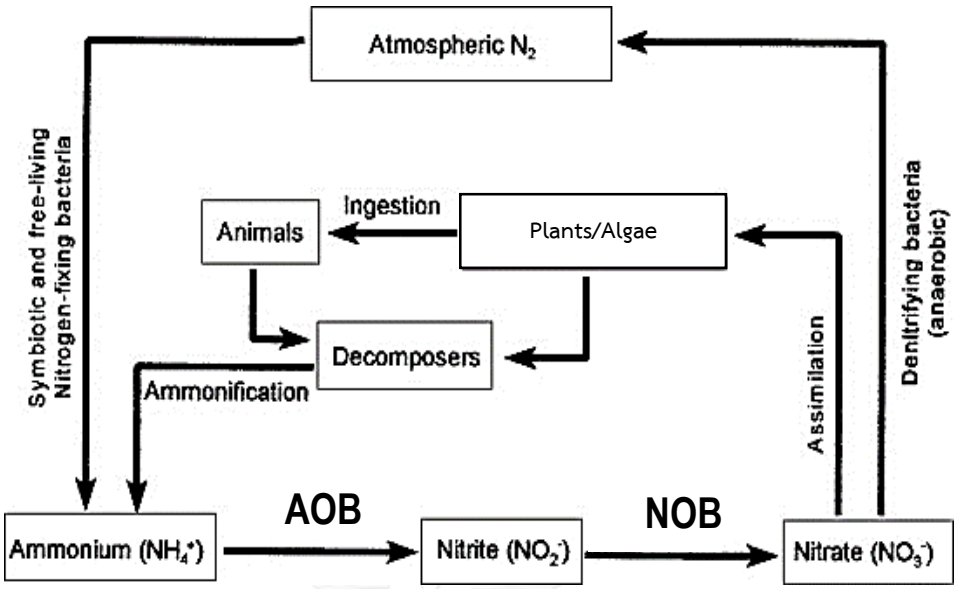
ส่วนกระบวนการสังเคราะห์แสงประเภทที่ไม่ผลิตออกซิเจนหรือการสังเคราะห์แสงแบบแอนแอโรบิค มักเกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศโดยมีซัลเฟอร์ (S) เกิดขึ้นแทนออกซิเจน ทั้งนี้แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ H_2S แทนน้ำในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงและผลิตกลูโคสได้ ดังสมการที่ 7

$$CO_2 + 2H_2S \longrightarrow CH_2O + H_2O + 2S \qquad (7)$$

โดยทั่วไปอัตราเร็วของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (CO_2) ปริมาณฟอสฟอรัส ไนเทรต และแอมโมเนีย เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเป็นผลผลิตของการสังเคราะห์แสง ดังนั้นการวัดอัตราเร็วของการสังเคราะห์แสงจึงอาจดำเนินการได้ในทางอ้อมจากการวัดปริมาณแพลงก์ตอนพืช (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

2.6 วัฏจักรไนโตรเจนและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในบ่อดิน

การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีบทบาทสำคัญที่เป็นทั้งสารอาหารของแพลงก์ตอนพืชและสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยปฏิกิริยาการบำบัดจะอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ได้แก่ ไนตริฟายอิงแบคทีเรียในกลุ่มออกซิไดซ์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria: AOB) เพื่อทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ และแบคทีเรียออกซิไดซ์ไนไทรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria: NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไทรต์ต่อให้เป็นไนเทรต ส่วนดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะทำหน้าที่เปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนในปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชัน (สุธาสินี อ่วมจันทร์, 2546) โดยกระบวนการทางชีวภาพที่ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อดินแสดงได้ดังแผนภาพรูปที่ 3.5 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.5 วัฏจักรของการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนทางชีวภาพ
(Schowalter, 2011)

2.6.1 การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation)

การตรึงไนโตรเจนจากอากาศเกิดได้ดีในน้ำที่มีไนโตรเจนต่ำและมีฟอสเฟตเหลือเฟือ อัตราการตรึงไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในทะเลสาบธรรมชาติพบว่าสูงประมาณ 0 – 0.125 มก./ล.-วัน กระบวนการเช่นนี้มักเกิดในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก (Eutrophic) ได้ดีกว่าแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย (Oligotrophic) และเนื่องจากบ่อปลาเป็นแหล่งน้ำแบบยูโทรฟิคที่มีสาหร่ายซึ่งสามารถดึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศมาใช้สร้างโปรตีนเป็นแหล่งอาหารให้จุลินทรีย์สามารถใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ใหม่และเจริญเติบโต เมื่อจุลินทรีย์ตายและย่อยสลายก็จะกลายเป็นแหล่งไนโตรเจนของสิ่งมีชีวิตอื่น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) ทั้งนี้การตรึงไนโตรเจนจึงเป็นการนำไนโตรเจนเข้าสู่ระบบนิเวศและแหล่งน้ำธรรมชาติ มีรายงานว่าอาจมีการตรึงไนโตรเจนสูงถึงร้อยละ 82 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกนำเข้าสู่แหล่งน้ำ แต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปจะพบเพียงร้องละ 10 เท่านั้น (มะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข, 2555)

2.6.2 ไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน (Nitrogen assimilation)

การนำสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เพื่อสร้างมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช หรือไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน แบคทีเรียจะถูกกระตุ้นให้เจริญเติบโตโดยการเติมสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในสภาวะที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งนอกจากแบคทีเรียแล้วแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายยังสามารถใช้แอมโมเนียและไนเทรตเป็นอาหารได้โดยตรง หากแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตมากจนเกินไปก็จำเป็นต้องมีการจัดการชีวมวลส่วนเกินที่เกิดขึ้นออกจากระบบ เพื่อป้องกันการย่อยสลายตามธรรมชาติหลังจากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลง ซึ่งเป็นการปล่อยแอมโมเนียกลับสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (กษิดิศ หนูทอง, 2551) ทั้งนี้สามารถอธิบายกระบวนการนำไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียและเซลล์สาหร่ายได้ดังสมการที่ 8 และ 9

- *ไนโตรเจนแอสซิมิเลชันในแบคทีเรีย*

$$NH_4^+ + 1.18C_6H_{12}O_6 + HCO_3^- + 2.06O_2 \longrightarrow C_5H_7O_2N + 6.06H_2O + 3.07CO_2 \quad (8)$$

- *ไนโตรเจนแอสซิมิเลชันในจุลสาหร่าย*

$$16NH_4^+ + 92CO_2 + HPO_4^{2-} + 92H_2O + 14HCO_3^- \longrightarrow C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P + 106O_2 \quad (9)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.3 แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน หรือที่เรียกว่าไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน (Nitrogen mineralization) โดยอาศัยแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย ซึ่งเป็นพวกเฮทเทอโรโทรฟที่พบได้ทั่วไปทั้งในชั้นน้ำและดินตะกอนพื้นบ่อ โดยปกติแล้วซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่ตาย มูลของสัตว์น้ำ อาหารที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำ และสารอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งเป็นสารที่ตกตะกอนอยู่ที่ดินตะกอนพื้นบ่อ สารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเป็นการคืนกลับสารประกอบไนโตรเจนสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการย่อยสลายของกระบวนการนี้จะเริ่มจากจุลินทรีย์เปลี่ยนอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ จากนั้นโปรตีนจะถูกปล่อยออกมาและถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน

และถูกย่อยสลายต่อไปเป็นสารประกอบแอมโมเนีย ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ดังสมการที่ 10

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+ \qquad (10)$$

จากสมการข้างต้นจะพบว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือก๊าซแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวและแอมโมเนียมอิออนที่แตกตัวได้ง่าย ดังนั้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอาจสูญเสียไนโตรเจนจากกระบวนการนี้ เนื่องจากก๊าซแอมโมเนียเกิดการระเหยได้ง่ายเพราะไม่มีการแตกตัว ซึ่งสมดุลของแอมโมเนียทั้งสองรูปนั้นจะขึ้นกับอุณหภูมิและพีเอชของน้ำ หากน้ำในบ่อมีพีเอชเป็นกลางแอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้นแอมโมเนียจะอยู่ในรูปก๊าซทำให้ระเหยออกสู่อากาศได้ง่ายขึ้น เนื่องจากในอากาศมีปริมาณแอมโมเนียต่ำ (กชพร กฤติยานันต์, 2554)

2.6.4 ไนทริฟิเคชัน (Nitrificaion)

กระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นการออกซิไดซ์สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมอิออนที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ให้เป็นไนไทรต์และไนเทรตในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ออโตโทรฟ (Autotroph) 2 กลุ่ม คือ แอมโมเนียออกซิไดซ์ซิงแบคทีเรีย (AOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ และไนไทรต์ออกซิไดซ์ซิงแบคทีเรีย (NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไทรต์ให้เป็นไนเทรต โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไทรต์ โดยแบคทีเรียกลุ่ม AOB ได้แก่ *Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosolobus, Nitrosospira* และ *Nitrosovibrio* เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวแสดงดังสมการที่ 11

$$55NH_4^+ + 76O_2 + 5CO_2 \xrightarrow{AOB} C_2H_7O_2N + 54NO_2^- + 52H_2O + 109H^+ \qquad (11)$$

เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการสะสมของไฮโดรเจนอิออนทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีความเป็นกรด โดยถ้าพีเอชของน้ำมีค่าต่ำกว่า 6.0 จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อไนทริฟายอิงแบคทีเรีย ดังนั้นในถังปฏิกรณ์ที่ทำการย่อยสลายด้วยระบวนการไนทริฟิเคชันจะต้องปรับสภาวะให้เป็นกลางด้วยสารละลายไบคาร์บอเนตหรือสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (มนวิกานต์ ขจรบุญ, 2551)

2. การออกซิไดซ์ไนไทรต์เป็นไนเทรต โดยแบคทีเรียกลุ่ม NOB ได้แก่ *Nitrobacter* และ *Nitrospira* เป็นต้น กระบวนการดังนี้แสดงดังสมการที่ 12

$$400\ NO_2^- + NH_4^+ + 5CO_2 + 195O_2 + 2H_2O \xrightarrow{NOB} C_5H_7O_2N + 400NO_3^- + H^+ \quad (12)$$

จากสมการข้างต้นหากปล่อยน้ำที่มีปริมาณไนเทรตสูงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโต จนเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้และในขณะเดียวกันไนเทรตบางส่วนอาจซึมลงสู่ใต้ดินทำให้เกิดการปนเปื้อนน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลได้

โดยทั่วไปไนตริไฟอิงแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า เพราะพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิไดซ์มีค่าต่ำ อีกทั้งแอมโมเนียยังถูกแย่งใช้อย่างรวดเร็วจากสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช นอกจากนี้ความต้องการสภาวะที่มีออกซิเจนสูงของไนตริไฟอิงแบคทีเรียส่งผลให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 1-2 มก./ล. ทั้งนี้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7 - 8 และอุณหภูมิช่วง 25 - 35 °ซ กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เร็วและดีที่สุด (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

2.6.5 ดีไนทริฟิเคชัน (Denitrificaion)

กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไนเทรตให้กลายเป็นก๊าซไนทรัสออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟอิง (Denitrifying bacteria) หรือดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifier) ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันตามลำดับขั้น ดังสมการที่ 13 ถึง 16

1. NO_3^- reduction

$$NO_3^- \xrightarrow{\text{Nitrate reductase}} NO_2^- \quad (13)$$

2. NO_2^- reduction

$$NO_2^- \xrightarrow{\text{Nitrite reductase}} NO \quad (14)$$

3. NO reduction

$$NO \xrightarrow{\text{Nitric reductase}} N_2O \quad (15)$$

4. N_2O reduction

$$N_2O \xrightarrow{\text{Nitrous oxidative reductase}} N_2 \quad (16)$$

โดยทั่วไปแล้วเอนไซม์ทั้งหมดในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมักเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟเออร์เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobic bacteria) ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนแบคทีเรียกลุ่มนี้ก็สามารถใช้ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ทั้งน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมและในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Aquaculture system) เนื่องจากมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการกำจัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียดังกล่าวซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต โดยหากมีการปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ทำการบำบัดจะส่งผลให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชันหรือมีพืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

สำหรับของเสียไนโตรเจนที่มีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของสัตว์น้ำคือ สารประกอบอนินทรีย์ในรูปแอมโมเนียและแอมโมเนียมอิออน (NH_3 และ NH_4^+) ไนไทรต์ (NO_2^-) และไนเทรต (NO_3^-) จึงมีข้อแนะนำถึงแนวทางปฏิบัติในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยควรควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ให้มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.2 - 2 และต่ำกว่า 0.3 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ในส่วนของไนเทรตหากพบว่าความเข้มข้นสูงกว่า 50 มก.ไนโตรเจน/ล. ก็ควรทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Boyd, 1990; Timmons และคณะ, 2002) ทั้งนี้จากการศึกษาสมดุลไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่าเพียงร้อยละ 20 – 30 ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปเท่านั้นที่จะสะสมในตัวของสัตว์น้ำ ในขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะถูกขับถ่ายออกมาสะสมอยู่ในน้ำและตะกอนดินภายในบ่อถึงร้อยละ 70 - 80 (Hargreaves, 1998) จากสัดส่วนดังกล่าวทำให้ต้องอาศัยกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนปริมาณมากที่คงค้างอยู่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งส่วนใหญ่ คือ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารของสัตว์น้ำให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจน จะเห็นได้ว่ายังคงมีของเสียไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้ภายหลังการเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละรุ่นเกษตรกรจึงนิยมสูบน้ำมาฉีดล้างดินตะกอนหรือเลนออกจากบ่อ ซึ่งดินตะกอนนี้หากปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและส่งกระทบมากมาย ดังนั้นสำหรับแนวทางปฏิบัติที่

ถูกต้องดินตะกอนที่ถูกนำออกจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเหล่านี้ควรนำมาพักไว้ในบ่อเก็บภายในฟาร์มระยะหนึ่งเพื่อรอให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติเสียก่อน

3.7 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีงานวิจัยบางส่วนที่ดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยดินตะกอนพื้นบ่อร่วมกับการใช้สารอินทรีย์คาร์บอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงและจัดการคุณภาพดินรวมถึงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ให้เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ทั้งนี้ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดคุณภาพน้ำและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจำแนกตามหัวข้อได้ดังนี้

- *ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน*

Xinglong และ Boyd (2006) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดินกับการหายใจของจุลินทรีย์บริเวณพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยประเมินจากปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน (soil BOD_5) และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 evolved) ซึ่งการหายใจของจุลินทรีย์ในชั้นดินจะเกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 0.77 – 9.05 มก.ออกซิเจน/ก. ซึ่งเพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถสรุปได้ว่าหากออกซิเจนละลายน้ำบริเวณผิวหน้าระหว่างน้ำและดินยังมีค่าสูง ความต้องการออกซิเจนของดินตะกอนจะเท่ากับการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Martin และคณะ (1998) ศึกษาความหนาแน่นในการเลี้ยงและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำที่ส่งผลกระทบต่อดินตะกอน และศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณของเสียไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนสำหรับการเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่นต่ำและสูง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นในการเลี้ยงต่อการเจริญของกุ้ง ปริมาณและลักษณะของของเสีย ตลอดจนลักษณะทางเคมีของดินตะกอน โดยศึกษาความหนาแน่นของกุ้งที่ 1, 4, 7, 15, 22 และ 30 ตัว/ตร.ม. จากผลการทดลองพบว่ากุ้งจะมีอัตราการรอดชีวิตลดลงเมื่อทำการเลี้ยงที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณของเสียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ในดินสะสมเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นในการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นด้วย

สัญธิพร พุ่มคง และคณะ (2550) ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) จากฟาร์มในประเทศไทยจำนวน 44 บ่อ โดยแบ่งออกเป็นบ่อที่มีผลผลิตสูงและผลผลิตต่ำ จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเทรตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยบ่อที่มีผลผลิตสูงจะมีค่าแอมโมเนียและไนเทรตเฉลี่ย 13.38 และ 3.05 มก./กก. ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าบ่อที่มีผลผลิตต่ำที่มีค่าเฉลี่ย 6.11 และ 1.70 มก./กก. ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณไนไทรต์ ออร์โธฟอสเฟต สารอินทรีย์คาร์บอน และสารอินทรีย์ไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณการสะสมของแอมโมเนียและไนเทรตในดินตะกอนพื้นบ่อจะขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตการเลี้ยงกุ้ง

มะลิวัลย์ คุตะโค (2551) ศึกษากระบวนการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) โดยเก็บดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งในจังหวัดปทุมธานี จากนั้นบรรจุลงในภาชนะรูปทรงกระบอก เติมน้ำทะเลและให้อากาศทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรตในน้ำและดินตะกอน รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของแบคทีเรียในดินตะกอน ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนความเค็มน้ำจาก 5 เป็น 20 พีเอสยู อย่างรวดเร็วไม่มีผลต่อกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน แต่กลับมีผลยับยั้งกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เมื่อบ่มด้วยค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำต่ำกว่า 2.5 มก./ล. พบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันถูกยับยั้งและยังส่งผลให้ความหลากหลายของแบคทีเรียในดินตะกอนลดลง การเติมโซเดียมคาร์บอเนตสามารถเร่งกระบวนการแอมโมเนียออกซิเดชัน ไนไทรต์ออกซิเดชัน และดีไนทริฟิเคชันได้ ในขณะที่การเติมเมทานอลกลับส่งผลเสียต่อกระบวนการไนทริฟิเคชัน และเมื่อบ่มในสภาวะที่มีแสงพบว่าแอมโมเนียถูกบำบัดจากการออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียและการดูดซึมแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืช อย่างไรก็ตามกระบวนการหลักในการบำบัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันโดยการทำงานของแบคทีเรียมากกว่ากระบวนการที่เกิดจากการทำงานของแพลงก์ตอนพืช ส่วนการตากดินมีผลอย่างมากในการยับยั้งกระบวนการไนทริฟิเคชัน และเมื่อทดลองเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นตัวแทนของของเสียที่กุ้งปลดปล่อยออกสู่บ่อเลี้ยง เพื่อทดสอบอัตราการบำบัดแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้ง พบว่าที่อัตราการเติมแอมโมเนียเท่ากับ 0.2 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน ถังเลี้ยงกุ้งจำลองสามารถบำบัดแอมโมเนียได้หมดภายในเวลา 1 วัน ผลการ

ทดลองนี้มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วง 0.21 ถึง 0.28 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน หรือมีค่าเท่ากับการเลี้ยงกุ้งที่มีน้ำหนัก 10 ก. ด้วยความหนาแน่น 26 ตัว/ตร.ม.

Ebeling และคณะ (2006) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณสารสัมพันธ์ในเชิงวิศวกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มโฟโตออโตโทรฟ ออโตโทรฟ และเฮทเทอโรโทรฟ ของการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอาศัยกลุ่มจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ การกำจัดแอมโมเนียจากสาหร่ายซึ่งอาศัยแบคทีเรียกลุ่มโฟโตออโตโทรฟ การเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเทรตโดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟ และกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟจะสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นเซลล์ได้โดยตรงซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้จากการกระตุ้นโดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนโดยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) สูงๆ จุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟจะดูดซึมแอมโมเนียไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากจุลินทรีย์ทั้งสามชนิด ความสัมพันธ์ในการใช้ครึ่งปฏิกิริยา และผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ

ยุวดี สุทธิกรัณย์ (2549) ศึกษาแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจน และสมบัติทางเคมี-กายภาพของดินตะกอนบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาที่มีอายุการใช้งานต่างกันจำนวน 4 บ่อ ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 – กุมภาพันธ์ 2548 พบว่า พีเอช การนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนรวม แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ของตะกอนดินบ่อกุ้งที่มีอายุ 3 ปี และ 5 ปี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นแอมโมเนียซึ่งมีสาเหตุมาจากช่วงระยะเวลาในการเลี้ยงมากกว่าจะเกิดจากอายุการใช้งานของบ่อดิน และเมื่อเทียบจากดินชุดควบคุมพบว่าการเลี้ยงกุ้งทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสะสมของแอมโมเนีย นอกจากนี้ผลการศึกษายังบ่งชี้ว่าไนทริไฟเออร์มีความไวต่อสภาวะที่เป็นกรดของตะกอนดินพื้นบ่อ สารเคมี และยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง

อาริสา จั่นสมพงษ์ (2556) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและสมดุลของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยใช้ตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน จังหวัดจันทบุรี มีขนาดบ่อประมาณ 9,500 ตร.ม. ปล่อยกุ้งเริ่มต้นจำนวน 800,000 ตัว ให้อาหารทั้งหมด 5,955 กก. ต่อหนึ่งรอบการเลี้ยง โดยกุ้งมีอัตรารอดตายร้อยละ 43.7 อัตราส่วนการแลกเนื้อ 1.45 ในระยะเวลาการเลี้ยง 92 วัน และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนพบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้นตามความลึกของบ่อและมีค่าสูงสุดในน้ำในดินตะกอน เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสได้แอมโมเนีย ซึ่งเป็นก๊าซที่แพร่ขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบน ทั้งนี้ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากเพียงพอแอมโมเนียจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ

ไนไทรต์และไนเทรตด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชัน ส่วนการทำสมดุลไนโตรเจนจะคำนวณจากอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง ไนโตรเจนที่สะสมในตัวกุ้ง ไนโตรเจนในน้ำ และส่วนที่เหลือถือเป็นไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตะกอนดินรวมทั้งบางส่วนที่หายไปในอากาศจากกระบวนการดีไนทริฟิเคชันและการระเหย พบว่าไนโตรเจนในน้ำที่เข้าสู่บ่อมีเพียงร้อยละ 8.98 และอยู่ในน้ำออกร้อยละ 19.02 โดยไนโตรเจนกว่าร้อยละ 79.19 มาจากอาหารซึ่งเปลี่ยนเป็นผลผลิตกุ้งร้อยละ 23.75 ไนโตรเจนร้อยละ 5.6 ไหลไปกับน้ำฝนล้นบ่อ และไนโตรเจนกว่าร้อยละ 51.63 ตกตะกอนอยู่ก้นบ่อและหายไปในบรรยากาศผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันรวมกับส่วนที่ระเหยได้

- *การใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินและน้ำในบ่อดิน*

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลากหลายเกี่ยวกับการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อช่วยจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 2.4 ส่วนตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณการใช้กากน้ำตาลในฟาร์มเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าปริมาณการใช้กากน้ำตาลจะอยู่ที่ประมาณ 20 ล./ไร่ จึงเลือกสัดส่วนดังกล่าวไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ที่มา	ชนิดของสัตว์น้ำ	ความหนาแน่นในการเลี้ยง (ตัว/ตร.ม.)	ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ (ลิตร/ไร่)
Panjaitan, P. (2010)	*Penaeus monodon shrimp*	30	18.4
Paiva-Maia, E. (2013)	*Litopenaeus vanamei*	98	176.6
Ledwin, S. (2010)	*Litopenaeus vanamei*	Extensive : 8 – 10 Semi-intensive : 11 – 21 Intensive : 41 – 71 Super-intensive : 61 - 162	- - 7.4 7.4
Tendencia, E.A. (2010)	*Penaeus monodon*	20 - 25	0.55
ปัทมา วิริยพัฒนทรัพย์ และคณะ (2549)	*Penaeus monodon* Fabricius	31	138 - 345

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการเติมกากน้ำตาลในฟาร์มเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย

ที่มา	ชนิดของสัตว์น้ำ	ความหนาแน่นในการเลี้ยง (ตัว/ตร.ม.)	ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ (ลิตร/ไร่)
ประเสริฐฟาร์ม (จังหวัดตราด)	*Litopenaeus vanamei*	ไม่ระบุ	20 - 30
มานิตย์ฟาร์ม (จังหวัดเพชรบุรี)	*Litopenaeus vanamei*	ไม่ระบุ	20
เฮียเบ๋งคนเลี้ยงกุ้งฟาร์ม (จังหวัดฉะเชิงเทรา)	*Litopenaeus vanamei*	25	10
ฟาร์มพี่เส (จังหวัดราชบุรี)	*Macrobrachium rosenbergii*	2 - 4	7

- *การเพิ่มประสิทธิภาพบ่อดินด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน*

ชลธิชา พลายชุม (2553) พัฒนาระบบการบำบัดไนเทรตจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังดีไนทริฟิเคชัน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุทดแทนดิน ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมที่บรรจุชั้นดินสูง 5 ซม.ในถังดีไนทริฟิเคชัน และชุดทดลอง 3 ชุดที่บรรจุวัสดุทดแทนดินธรรมชาติแตกต่างกัน คือ ทราย หินพัมมิส และทรายเทียม จากการทดลองพบว่าดินธรรมชาติมีอัตราการรีดิวซ์ไนเทรตสูงสุดเท่ากับ 5,383.01 มก.ไนเทรต-ไนโตรเจน/พื้นที่ผิวก้นถัง/วัน เมื่อทำการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เมทานอลและกากน้ำตาล พบว่าเมทานอลมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องสีของน้ำและความเสี่ยงต่อการขาดออกซิเจนในน้ำ

เอกชัย มาลาพล (2551) ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบถังดินบำบัดไนเทรต ที่ประกอบด้วยถังพลาสติกบรรจุน้ำเค็มและมีชั้นดินที่ก้นถัง โดยแบ่งเป็นชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และชุดทดลองที่มีการเติมเมทานอลหรือกลูโคส จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนสามารถเพิ่มอัตราการบำบัดไนเทรตของดินตะกอนได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการใช้เมทานอลหรือกลูโคสนั้นจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน โดยในชุดควบคุมจะมีอัตราการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ

386 มก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน แต่เมื่อมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนจะทำให้อัตราการบำบัดไนเทรตเพิ่มขึ้นจาก 516 เป็น 2,849 มก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน

เอกชัย มาลาพล และคณะ (2551) ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่ออัตราดีไนทริฟิเคชันของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งในสภาวะห้องปฏิบัติการ โดยการบรรจุดินสูง 8 ซม. ลงในตู้กระจกที่มีน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู ปริมาตร 7 ลิตร การทดลองจะประกอบด้วยชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และชุดทดลองที่มีการเติมเมทานอลหรือกลูโคส จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนสามารถเพิ่มอัตราดีไนทริฟิเคชันของดินตะกอนพื้นบ่อได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมทานอลและกลูโคสนั้นจะให้ผลไม่ต่างกัน นอกจากนี้การคำนวณอัตราดีไนทริฟิเคชันสูงสุด (DNR_{max}) โดยใช้สมการทางจลนพลศาสตร์ พบว่าอัตราดีไนทริฟิเคชันสูงสุดของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการเติมเมทานอลหรือกลูโคสมีค่าเท่ากับ 3,333 และ 5,000 มก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน ตามลำดับ

- *การสะสมของสารอินทรีย์และของเสียในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ*

กฤษฎา หน่อเนื้อ และคณะ (2541) ศึกษารูปแบบและอัตราการสะสมของสารอินทรีย์และแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณพื้นบ่อที่ทำการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่น ดำเนินการวิจัยโดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจังหวัดฉะเชิงเทราจำนวน 13 จุด และทำการสำรวจตัวอย่างดินตะกอน 3 ครั้ง ในระยะเวลาช่วงท้ายของการเลี้ยงกุ้งคือ 11, 14 และ 17 อาทิตย์ หลังจากทำการปล่อยลูกกุ้งลงบ่อผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินและแอมโมเนียไนโตรเจนมีการสะสมแตกต่างกัน 2 บริเวณคือ บริเวณขอบบ่อและกลางบ่อ โดยปริมาณสารอินทรีย์ในบริเวณดังกล่าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.4 และ 14.3 ตามลำดับ และแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 1.56 และ 2.61 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมตามระยะเวลาการเลี้ยงพบว่ามีการสะสมที่พื้นบ่อน้อย แต่ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่พบในน้ำในดิน โดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อมีการสะสมเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเฉลี่ย 0.36 มก./ล./เดือน ซึ่งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดินตะกอนขณะทำการเลี้ยงกุ้ง และเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการวางแผนจัดการบ่อให้มีประสิทธิภาพต่อไป

นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2542) ศึกษาคุณภาพตะกอนดินในคลองราม คลองท่าทอง และอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ทำการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2535 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2537 พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยคลองรามมีค่าสูงสุด รองลงมาได้แก่ คลองท่าทอง และอ่าวบ้านดอน เฉลี่ย 34.4 ± 45.5, 22.4 ± 25.2 และ 10.6 ± 8.9 มก. ไนโตรเจน/กก. ดินแห้ง ตามลำดับ ส่วนตัวแปรอื่นๆ แม้จะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่ความเข้มข้นของไนไทรต์ ไนเทรต ปริมาณไนโตรเจนรวม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตะกอนดินในคลองรามและคลองท่าทองมีค่าแตกต่างจากอ่าวบ้านดอนอย่างชัดเจน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาอาจทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนได้

- *แสงอาทิตย์กับการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในดินตะกอน*

นิมารดี บุญอาพัทธิ์เจริญ และคณะ (2551) ศึกษาผลของแสงอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดและจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในดินบริเวณพื้นบ่อที่มีการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแบบ semi-intensive ในช่วงระยะเวลาที่ทำการตากบ่อประมาณ 1 เดือน ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อและเทคนิค PCR-DGGE จากผลการวิจัยพบว่าแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยพบว่าจำนวนแบคทีเรียในกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟลดลง 10 เท่า ภายหลังการตากบ่อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และซัลไฟด์ นอกจากนี้แสงอาทิตย์ยังมีผลทำให้ชนิดของประชากรจุลินทรีย์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ทำการตากบ่อ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือพัฒนาสำหรับการเตรียมบ่อก่อนทำการเลี้ยงกุ้งให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

Nimrat และคณะ (2008) ศึกษาผลของสภาพดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุด ได้แก่ 1) การตากดินร่วมกับการไถพรวน 2) การตากดินร่วมกับการไถพรวนและเติมปูนขาว 3) การตากดินและเติมปูนขาว 4) การตากดินร่วมกับการเติมจุลินทรีย์ และ 5) การตากดินร่วมกับการไถพรวนและเติมจุลินทรีย์ และมีชุดควบคุมคือการตากดินจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ผลการทดลองพบว่าพีเอชของดินในทุกชุดทดลองและชุดควบคุมมีค่าลดลง โดยปริมาณอินทรียวัตถุของทั้ง

ชุดทดลองและชุดควบคุมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.76 ± 0.05 ของวันที่ 0 เป็นร้อยละ 4.33 ± 0.06 ในวันที่ 15 ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟปรับตัวลดลงเฉพาะในชุดทดลองที่ 5 และเชื้อ *Vibrio* ที่เป็นผลเสียต่อสัตว์น้ำสามารถลดลงได้ภายใน 6 วัน สำหรับชุดทดลองทั้งหมด และไม่พบ *Pseudomonas* หลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการตากดินร่วมกับการไถพรวนและเติมจุลินทรีย์ (ชุดการทดลองที่ 5) เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการกำจัดเชื้อ *Vibrio* และ *Pseudomonas* จากดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง

- *การย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อ*

วารินทร์ พิศโหมก และจารุมาศ เมฆสัมพันธ์ (2545) ศึกษาวิธีบรรเทาปัญหาการสะสมของสารอินทรีย์ (TOM) และซัลไฟด์ (AVS) ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยขั้นแรกเป็นการตรวจสอบอัตราการสะสมและลักษณะการแพร่กระจายของสารอินทรีย์และซัลไฟด์ ในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง ผลการศึกษาพบว่าการสะสมของมลภาวะดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากปริมาณการให้อาหารและลักษณะการวางเครื่องตีน้ำในบ่อ โดยอัตราการเพิ่มของสารอินทรีย์และซัลไฟด์ จะพบสูงสุดที่ระดับร้อยละ 0.09 ต่อวัน และ 0.0004 มก./ก./วัน ตามลำดับ ณ บริเวณกลางบ่อ อัตราการสะสมดังกล่าวทำให้ดินพื้นบ่อหลังจากการเลี้ยงมีปริมาณสารอินทรีย์และซัลไฟด์ เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 10.50 และ 0.0315 มก./ก. ตามลำดับ ผลการศึกษาการสะสมตามความลึกที่มีความลึกเฉลี่ยบริเวณกลางบ่อประมาณ 6 – 10 ซม. ชี้ให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่สะสมมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ โดยมีการศึกษาประสิทธิภาพของปูน $Mg(OH)_2$ ในสภาพการตากบ่อจำลอง พบว่าปูนชนิดนี้บำบัดสารอินทรีย์ได้ดีในดินที่มีปริมาณน้ำในดินสูงหรือเป็นดินเนื้อละเอียด โดยจะมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.42 – 1.48 ต่อวัน ผลการศึกษานี้สามารถใช้ประโยชน์ในการกำหนดรูปแบบและวิธีการใช้ปูน $Mg(OH)_2$ ในสภาพพื้นบ่อจริงต่อไป

วารินทร์ พิศโหมก (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปูนแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินพื้นบ่อและคุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ การใช้ปูนในช่วงการตากดิน (10 วัน) และการใช้ปูนในช่วงหลังการเติมน้ำ (2 เดือน) โดยใช้อัตราส่วนปูน 3 ระดับ คือ 0 ก./ตร.ม. (ชุดควบคุม) 200 และ 600 ก./ตร.ม. (ชุดทดลอง) พบว่าช่วงการตากดินปูนสามารถส่งเสริมกระบวนการแทรกซึมของออกซิเจนลงสู่ดินชั้นล่าง โดยพบปริมาณแอมโมเนียลดลง ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ส่วนผลในช่วงหลังการเติมน้ำพบว่าปูนมี

ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์สูงถึงร้อยละ 4.46 และกระตุ้นการเจริญเติบโตของแอโรบิคแบคทีเรียให้เพิ่มจำนวนได้ประมาณ 50,000 เท่า ขณะที่ปริมาณแอนแอโรบิคแบคทีเรียลดลงประมาณ 600 เท่าในชุดควบคุม นอกจากนั้นยังพบว่าสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและไดอะตอมได้ระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามปูนดังกล่าวมีอิทธิพลน้อยมากต่อคุณภาพน้ำเหนือผิวดิน และการใช้ปูนในอัตราส่วน 200 ก./ตร.ม. จะสามารถฟื้นฟูและควบคุมคุณภาพดินตะกอนในบริเวณที่มีการสะสมได้

Avnimelech และคณะ (1995) ศึกษาอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และไนโตรเจนในดินตะกอนพื้นบ่อสำหรับเลี้ยงปลานิลจำนวน 20 ตัว โดยการเพิ่มอากาศเพื่อช่วยให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ดินจากบ่อควบคุมที่ไม่เติมอากาศมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.6 ต่อวัน และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.087 ต่อวัน ทำให้มีการสะสมสารประกอบอนินทรีย์อยู่ปริมาณมาก ในขณะที่ดินจากบ่อทดลองที่มีการเติมอากาศมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.15 ต่อวัน และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.06 ต่อวัน

- *ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ*

ณัฐพล แก้วละเอียด และ บุญรัตน์ ประทุมชาติ (2553) ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนความเค็มที่ใช้เลี้ยงกุ้งต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความถี่ของการลอกคราบ และความแปรปรวนของขนาดกุ้งขาว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ (1) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 5 พีพีที ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 25 พีพีที และ (2) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 25 พีพีที ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 35 พีพีที ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแร่ธาตุ โดยมีชุดควบคุมทั้ง 2 ความเค็มที่ไม่มีการเติมแร่ธาตุ การทดลองนี้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความหนาแน่น 70 ตัว/ตร.ม. นาน 3 เดือน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ จากการทดลองพบว่าร้อยละของพารามิเตอร์ต่างๆ ในข้างต้นในชุดทดลองจะสูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นอัตราการรอดที่ 25 พีพีที ขณะที่อัตราการแลกเนื้อของชุดการทดลองทั้ง 2 ชุด ต่ำกว่าชุดควบคุมทั้งความเค็ม 5 และ 25 พีพีที ส่วนร้อยละความแปรปรวนของความยาวในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ 25 พีพีที ให้ผลตรงกันข้ามที่ความเค็ม 5 พีพีที ร้อยละความแปรปรวน

ของน้ำหนักไม่แตกต่างกัน การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมแร่ธาตุในอัตราส่วนที่เหมาะสมมีความจำเป็นมากต่อการเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็มต่ำ

ทัศนีย์ นลวชัย และคณะ (2555) ทำการศึกษาผลของระดับออกซิเจน แอมโมเนีย และ พีเอช ต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม โดยศึกษาผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม (7 กรัม) ในตู้ทดลองขนาดความจุ 100 ลิตร (ความเค็ม 25 พีพีที) พบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่เลี้ยงในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 2 มก.ออกซิเจน/ล. มีอาหารเหลือหลังจากให้อาหาร 30 นาทีมากที่สุด (ร้อยละ 73.31 ± 3.65) ซึ่งแตกต่างจากกุ้งในชุดทดลองที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ระหว่าง 2 - 4 มก.ออกซิเจน/ล. (ร้อยละ 13.22 ± 5.67) และในชุดทดลองที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. (ร้อยละ 2.60 ± 3.31) ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองผลของระดับออกซิเจนร่วมกับการควบคุมปริมาณแอมโมเนียรวมให้ได้ 3 มก./ล. และค่าพีเอช 7.5 และ 8.5 ต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม พบว่ากุ้งในชุดทดลองที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 2 มก.ออกซิเจน/ล.ที่พีเอช 8.5 มีอาหารเหลือหลังจากให้อาหาร 30 นาทีมากที่สุด (ร้อยละ 73.38 ± 1.90) ซึ่งไม่แตกต่างจากกุ้งในชุดทดลองที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 2 มก.ออกซิเจน/ล. ที่พีเอช 7.5 (ร้อยละ 73.09 ± 1.44) และแตกต่างจากกุ้งในชุดทดลองที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ระหว่าง 2 - 4 และมากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ทั้งพีเอช 7.5 และ 8.5 การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีผลต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- บทบาทของจุลินทรีย์ต่อคุณภาพน้ำในบ่อดิน

วารุณี แซ่เอี๊ย และคณะ (2549) ทำการศึกษาการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ความเค็มต่ำ โดยอนุบาลกุ้งกุลาดำระยะโพสลาร์วา 15 ในบ่อดินขนาด 3 ไร่ ที่ความหนาแน่นบ่อละ 200,000 ตัว (41 ตัว/ตร.ม.) โดยความเค็มของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอยู่ระหว่าง 2-4 พีพีที ระบบการทดลองประกอบด้วยบ่อทดลองจำนวน 2 บ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน ส่วนบ่อควบคุมจำนวน 2 บ่อไม่มีการเติมจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 102 วัน ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำเฉลี่ยในบ่อดินที่ความเค็มต่ำระหว่างบ่อที่ใช้จุลินทรียและบ่อที่ไมใช่จุลินทรียอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งและไมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และสมเกียรติ ปิยะธีระฐิติวรกุล. (2543) ศึกษาการเสริมโพรไบโอติก *Bacillus* ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระดับบ่อดิน โดยปล่อยกุ้งประมาณ 40,000 ตัว/บ่อ พร้อมทั้งเติมอากาศและให้อาหาร 3 เวลา/วัน ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดคือ 1) ชุดควบคุมที่ให้อาหารกุ้งสำเร็จรูปโดยไม่ผสมเซลล์ *Bacillus* 2) ชุดทดลองที่ให้อาหารสำเร็จรูปผสมเซลล์ *Bacillus* โดยผลการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงกุ้งอยู่ในเกณฑ์ปกติที่ปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง

สรุปประเด็นสำคัญจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ดินตะกอนพื้นบ่อเป็นบริเวณสำคัญที่ช่วยบำบัดไนเทรตในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ทดแทนดินต่างๆ ได้แก่ ทรายหินพัมมิส และทรายเทียม พบว่าดินธรรมชาติมีอัตราการรีดิวซ์ไนเทรตสูงสุด

2. การบำบัดไนเทรตในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชันสามารถลดการสะสมตัวของไนเทรตในระบบได้ จึงเป็นการลดผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำด้วย ซึ่งระยะเวลาในการกักเก็บน้ำและปริมาณออกซิเจนในระบบมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชัน โดยหากมีปริมาณออกซิเจนในระบบมากเกินไปกระบวนการดีไนทริฟิเคชันอาจถูกยับยั้ง

3. การเติมสารอินทรีย์คาร์บอนจะส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยกระตุ้นการเจริญและกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟซึ่งช่วยควบคุมปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ทำให้อัตราดีไนตริฟิเคชันของดินตะกอนพื้นบ่อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถใช้สารอินทรีย์คาร์บอนได้หลายชนิดแตกต่างกัน เช่น แป้ง เมทานอล อะซิติก กากน้ำตาล เป็นต้น

4. ความหนาแน่นของสัตว์น้ำจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณของเสียที่สะสมอยู่ในดินตะกอนพื้นบ่อ ทั้งนี้ลักษณะของของเสียและสมบัติทางเคมีของดินตะกอนจะขึ้นกับความหนาแน่นของสัตว์น้ำด้วย โดยอัตราการรอดชีวิตของสัตว์น้ำจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของสัตว์น้ำในบ่อเพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเสียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ในดิน

5. การเติมอากาศจะช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และไนโตรเจนในดินตะกอนพื้นบ่อ ในขณะที่ดินที่ปราศจากการเติมอากาศจะเกิดการสะสมตัวของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนปริมาณมาก

6. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีผลต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. จะทำให้สัตว์น้ำกินอาหารได้ดีและมีอาหารเหลือน้อยที่สุด ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำกว่า 2 มก.ออกซิเจน/ล. จะมีอาหารเหลือมากที่สุด

7. การเติมวัสดุปูนชนิดแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในช่วงการตากดินจะช่วยส่งเสริมการแทรกซึมของออกซิเจนลงสู่ดินชั้นล่างทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง แต่ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงหลังการเติมน้ำพบว่าปูนมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ได้ และกระตุ้นการเจริญเติบโตของแอโรบิคแบคทีเรียให้เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณแอนแอโรบิคแบคทีเรียจะลดลง นอกจากนี้วัสดุปูนยังสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและไดอะตอมได้ในระดับหนึ่ง

8. แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้จำนวนของเฮทเทอโรโทรฟลดลง 10 เท่าภายหลังการตากบ่อระยะหนึ่ง ซึ่งอาจส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และซัลไฟด์ นอกจากนี้แสงอาทิตย์ยังมีผลทำให้ชนิดของประชากรจุลินทรีย์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ทำการตากบ่อ

9. ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกของบ่อดิน โดยมีค่าสูงสุดในน้ำภายในชั้นดินตะกอน เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสได้ทำให้แอมโมเนียแพร่ขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบน โดยในสภาวะที่มีออกซิเจนมากเพียงพอแอมโมเนียจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนไทรต์ด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชัน

Chulalongkorn University

บทที่ 3
แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ช่วง แสดงรายละเอียดภาพรวมของงานวิจัยดังแผนผังรูปที่ 3.1

การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาลักษณะพื้นฐานของบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่มีสภาวะต่างกัน และวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินและน้ำเพื่อประเมินผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยตัวเองของดินในสภาวะธรรมชาติ

การทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินในสภาวะธรรมชาติ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ

การทดลองที่ 2.1 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มดินร่วมกับการเติมอากาศที่ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ต่ออัตราการบำบัดแอมโมเนียของดิน โดยทำการวิเคราะห์จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

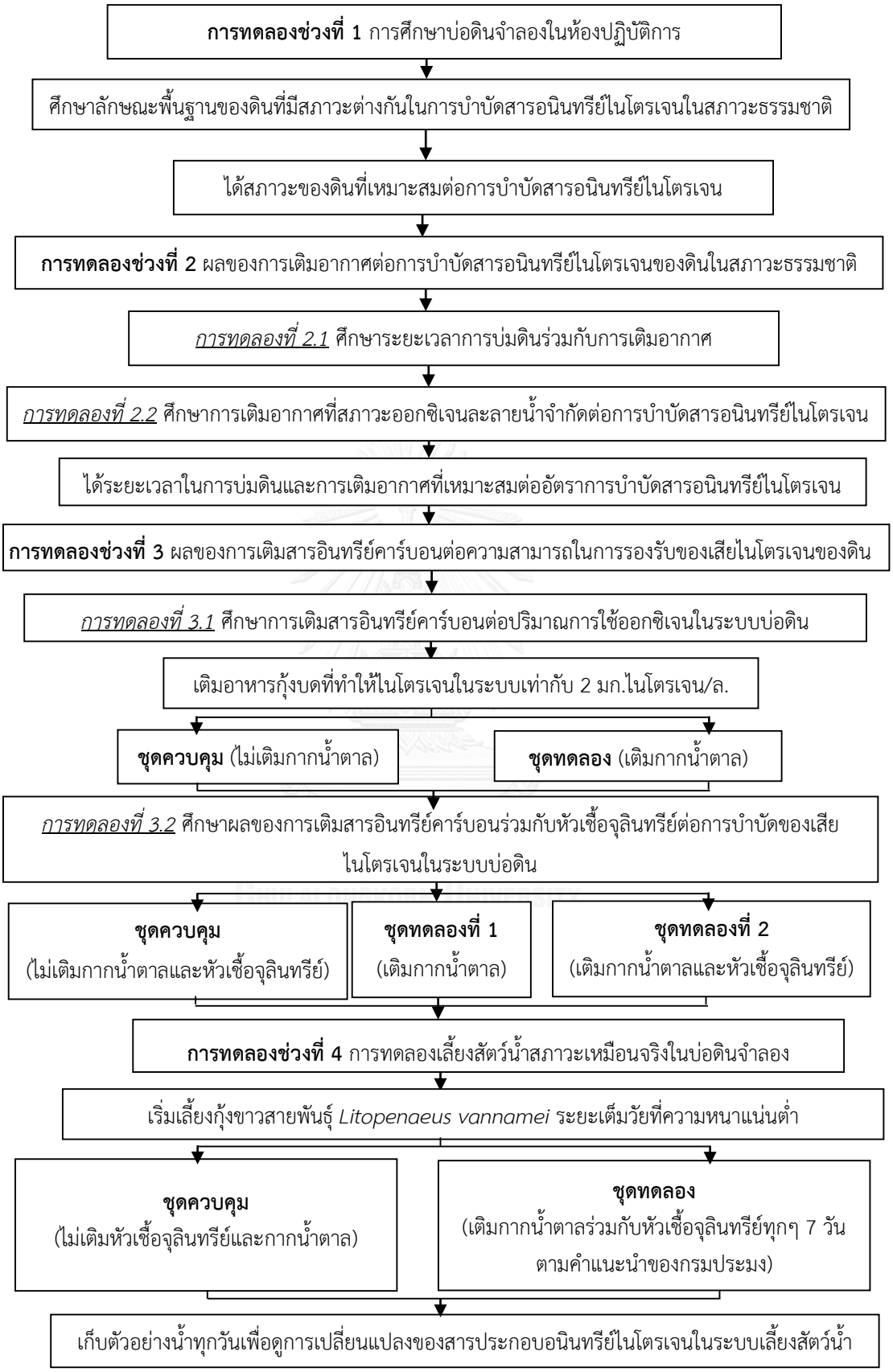
การทดลองที่ 2.2 ศึกษาการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เพื่อประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. เปรียบเทียบกับสภาวะที่เติมอากาศตลอดเวลา และวิเคราะห์อัตราการบำบัดแอมโมเนียจากการเติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.

การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดิน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ

การทดลองที่ 3.1 ศึกษาการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดิน โดยใช้กากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วนเทียบเท่าการเติมกากน้ำตาล 20, 40, 100 และ 140 ล./ไร่ และเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ คือ (1) ไม่เติมอากาศ (2) เติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. และ (3) เติมอากาศตลอดเวลา เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน แต่ควบคุมการเติมอากาศและเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. เช่นเดียวกัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ตลอดเวลาและเก็บตัวอย่างน้ำเป็นระยะเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ร่วมกับการประเมินผลของปริมาณกากน้ำตาลต่อการใช้ออกซิเจนและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบ

การทดลองที่ 3.2 ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจน โดยทดลองเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการผสมอัตราส่วนตามคำแนะนำของกรมประมงลงในระบบการทดลอง 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์) ชุดทดลองที่ 1 (เติมกากน้ำตาล) และชุดทดลองที่ 2 (เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์) เพื่อประเมินการบำบัดของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นร่วมกับการใช้ออกซิเจนและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบ ในสภาวะที่ควบคุมการเติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. เติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 และ 4 มก.ไนโตรเจน/ล.

การทดลองช่วงที่ 4 การทดลองเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยประยุกต์การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์และการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นต่ำ เมื่อเดินระบบการทดลองแบบต่อเนื่องโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และเปรียบเทียบผลการบัดของเสียไนโตรเจนกับชุดควบคุมที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และกากน้ำตาล ร่วมกับการประเมินการใช้ออกซิเจนในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นระยะเวลาประมาณ 45 วัน



รูปที่ 3.1 แผนผังภาพรวมของงานวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร จำนวน 6 ถัง
- ปั๊มเวียนน้ำขนาดเล็กจำนวน 15 ตัว
- ตู้กระจกแก้วสี่เหลี่ยมขนาด 20 × 20 × 35 ซม. จำนวน 9 ตู้
- ขวดสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ
- ถุงพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างดิน
- อุปกรณ์ตักดินแบบมีด้ามจับ
- เข็มฉีดยา
- เครื่องชั่งสารเคมี
- เครื่องชั่งน้ำหนักสัตว์น้ำ
- กระดาษกรอง (Whatman GF/C)
- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- ไมโครปิเปตขนาดต่างๆ
- เครื่องควบคุมศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Hanna BL932700 ORP meter)
- เครื่องแก้วต่างๆ เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ หลอดทดลอง ฯลฯ
- ชุดทดสอบแอมโมเนีย ไนไทรต์ และความเป็นด่าง (ศูนย์วิจัยโรคสัตว์น้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- เครื่องควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Hanna HI8410 D.O. meter)
- เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux meter)
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (WISCO AI 210 Data logger)
- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (WISCO ML 22 Data logger)
- หลอดไฟ LED สีขาว จำนวน 6 ดวง
- เครื่องเติมอากาศ (Air pump)
- อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด เช่น สายไฟ ท่อพีวีซี ข้องอ ไขขวง ฯลฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

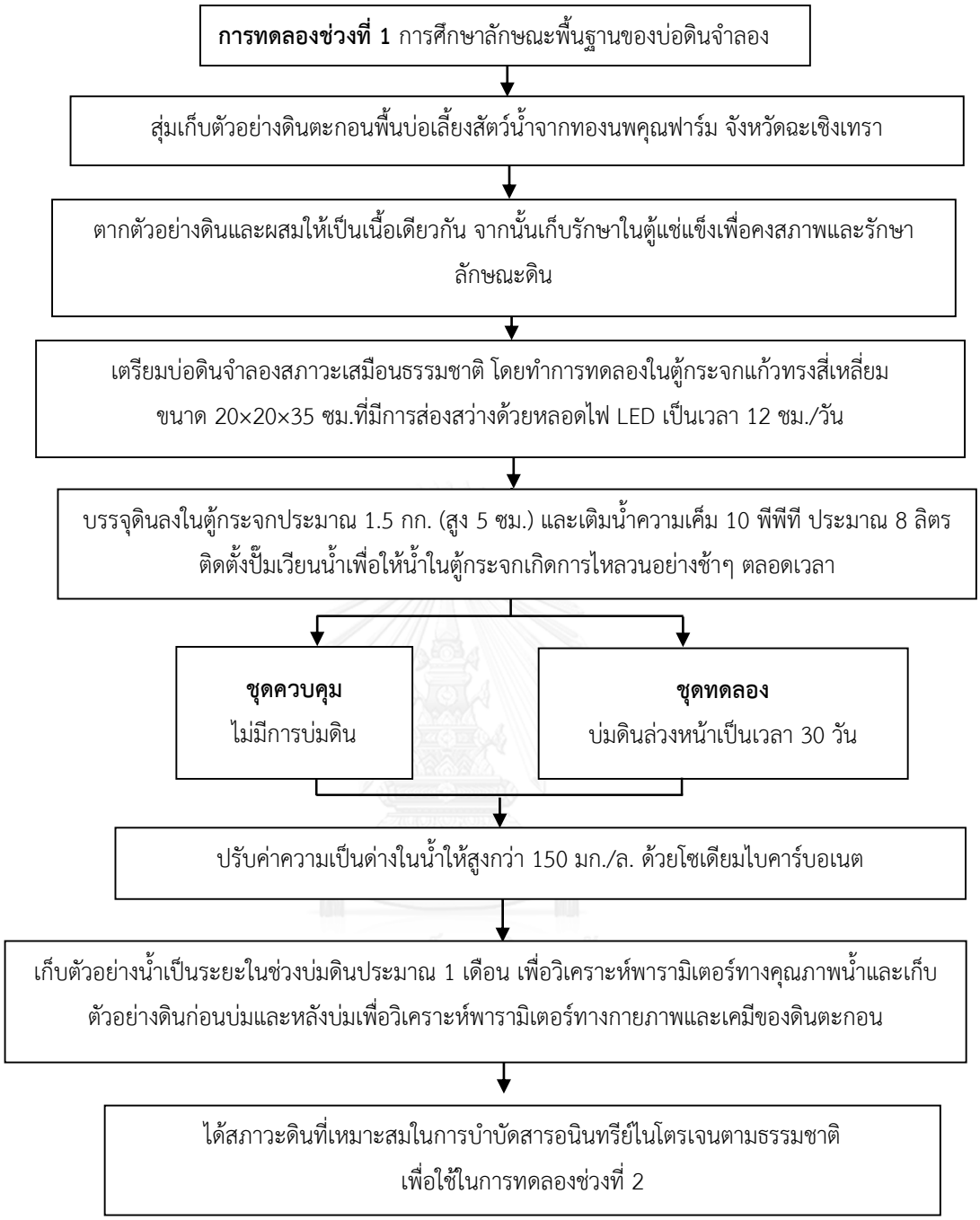
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- Sulphanilamide ($C_6H_8N_2O_2S$)
- NNED solution (N-(1-Naphthy)-Ethylenediamine Dihydrochloride)
- Sodium salicyrate ($C_7H_5NaO_3$)
- Sodium hypochlorite (NaOCl)
- Sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Ammonium chloride (NH_4Cl)
- Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$)
- Potassium Nitrate (KNO_3)
- Sodium Nitrite ($NaNO_2$)
- กากน้ำตาล

3.3 การดำเนินการทดลอง

การทดลองช่วงที่ 1 การศึกษาลักษณะพื้นฐานของบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองส่วนนี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่มีสภาวะต่างกัน เพื่อหาสภาวะการเตรียมดินที่เหมาะสมที่สามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น คือสามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ให้ลดลงได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินและน้ำ เพื่อประเมินผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยตัวเองของดินในสภาวะธรรมชาติ ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จะใช้ระบุความสามารถในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนพื้นบ่อและมวลน้ำที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะธรรมชาติ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองแสดงด้วยแผนผังดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลองช่วงที่ 1

ขั้นตอนการทดลอง

- *ดินและการเตรียมตัวอย่างดิน*

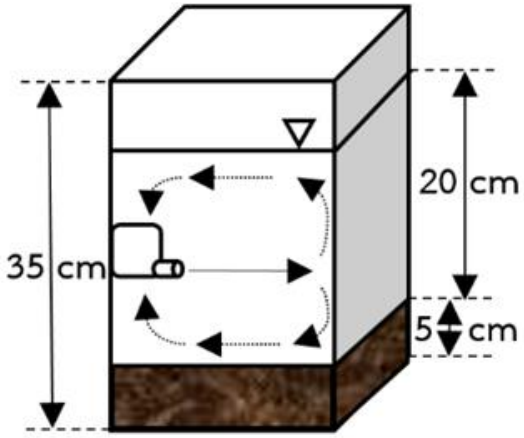
สุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจากทองนพคุณฟาร์ม จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงระยะพักบ่อเพื่อรอทำการเลี้ยงกุ้งในรุ่นต่อไป (ดังรูปที่ 3.3) โดยการเก็บดินแต่ละจุดจะใช้พลั่วขุดดินลึกประมาณ 15 ซม. และดินที่ได้จะเก็บรวบรวมใส่ถุงพลาสติก จากนั้นนำตัวอย่างดินกลับมาตากในที่ร่มจนแห้ง บดและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปเก็บรักษาให้คงสภาพในตู้แช่แข็งเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป หลังจากผ่านการแช่แข็งมาแล้วดินบางส่วนจะแบ่งไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เนื้อดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณอินทรียวัตถุ และพีเอช ซึ่งจะกำหนดให้ดินในส่วนนี้เป็นดินที่ไม่ผ่านการบ่ม (ชุดควบคุม)

รูปที่ 3.3 พื้นที่เก็บตัวอย่างดินจากทองนพคุณฟาร์ม จังหวัดฉะเชิงเทรา

- *การเตรียมบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ*

ถังจำลองสภาวะบ่อดินเลี้ยงกุ้งในงานวิจัยนี้ทำขึ้นจากตู้กระจกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม. ปริมาตรรวมเท่ากับ 14 ล. พื้นที่ผิวด้านก้นถังเท่ากับ 0.04 ตร.ม. บรรจุดินที่ผ่านการคงสภาพในตู้แช่แข็งและทิ้งให้ละลายที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 คืน โดยชั่งน้ำหนักดินที่จะทำให้ดินสูง

จากพื้นตู้กระจกเท่ากับ 5 ซม. ซึ่งจะได้ดินประมาณ 1.5 กก./ตู้กระจก จำนวน 3 ตู้ (3 ซ้ำ) จากนั้นเติมน้ำทะเลปริมาตร 8 ล. ความเค็ม 10 พีพีที ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่เกษตรกรใช้ในการเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) จนได้ความสูงของระดับน้ำจากผิวหน้าดินประมาณ 20 ซม. ติดตั้งปั๊มเวียนน้ำขนาดเล็กภายในตู้กระจกเพื่อให้น้ำเกิดการไหลวนอย่างช้าๆ ตลอดเวลา (ดังรูปที่ 3.4) โดยจะมีการให้แสงวันละ 12 ชม. ด้วยหลอด LED สีขาว (ความเข้มแสงประมาณ 2,000 ลักซ์) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานแสงสำหรับการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชตามธรรมชาติและจำลองสภาวะในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน



รูปที่ 3.4 บ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ

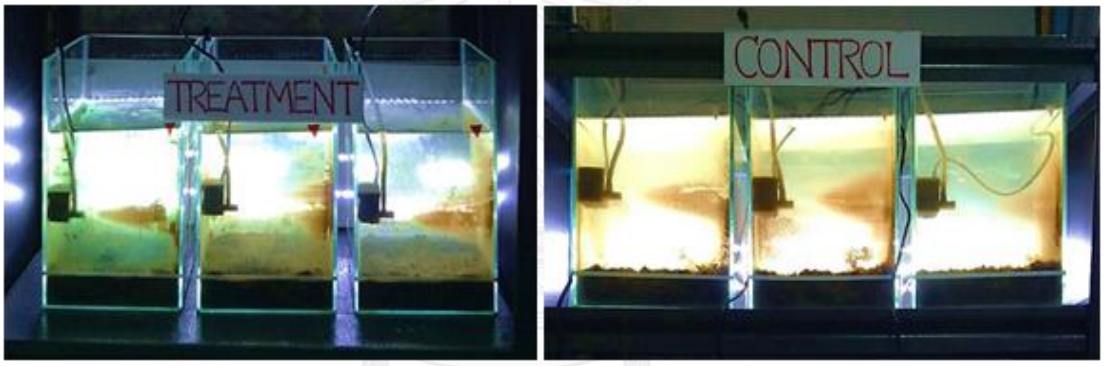
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- *การบ่มดินด้วยสภาวะจำลองในห้องปฏิบัติการ*

เตรียมบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการตามวิธีการข้างต้น โดยปรับค่าความเป็นด่างของน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต และบ่มทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บตัวอย่างน้ำทุกวันเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ตามวิธีมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF (2005) เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 30 วันจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกให้คงเหลือเฉพาะดินตะกอนและทำความสะอาดบริเวณข้างตู้กระจก เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เนื้อดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณอินทรียวัตถุ และพีเอช โดยจะกำหนดให้ดินในส่วนนี้เป็นดินที่ผ่านการบ่มล่วงหน้า 30 วัน (ชุดทดลอง)

- *การบำบัดไนโตรเจนของบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ*

เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 30 วัน จะทำการติดตั้งชุดควบคุมเพื่อเดินระบบควบคู่กับชุดทดลองที่ทำการบ่มดินล่วงหน้า (ดังรูปที่ 3.5) โดยบรรจุดินที่เก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งลงในตู้กระจกอีกชุดหนึ่งจำนวน 3 ตู้ (3 ซ้ำ) เช่นเดียวกับการเตรียมบ่อดินจำลองข้างต้น เติมน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที จนได้ระดับความสูงเหนือผิวดินประมาณ 20 ซม. ปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำจากชุดการทดลองทั้งสองเป็นระยะเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ตามวิธีมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF (2005) จนกว่าสารอนินทรีย์ไนโตรเจนดังกล่าวทุกพารามิเตอร์จะลดลงทั้งหมดจึงจะถือว่าระบบบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองเข้าสู่สภาวะสมดุล



(ก) ชุดทดลอง (ข) ชุดควบคุม
(ดินที่ผ่านการบ่มล่วงหน้า 30 วัน) (ดินที่ไม่ผ่านการบ่ม)

รูปที่ 3.5 การบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติของบ่อดินที่สภาวะแตกต่างกัน

นำผลการทดลองที่ได้ทั้งพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนมาใช้ในการวิเคราะห์สภาวะของดินที่เหมาะสมจากการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต เพื่อใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 โดยมีรายละเอียดตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1

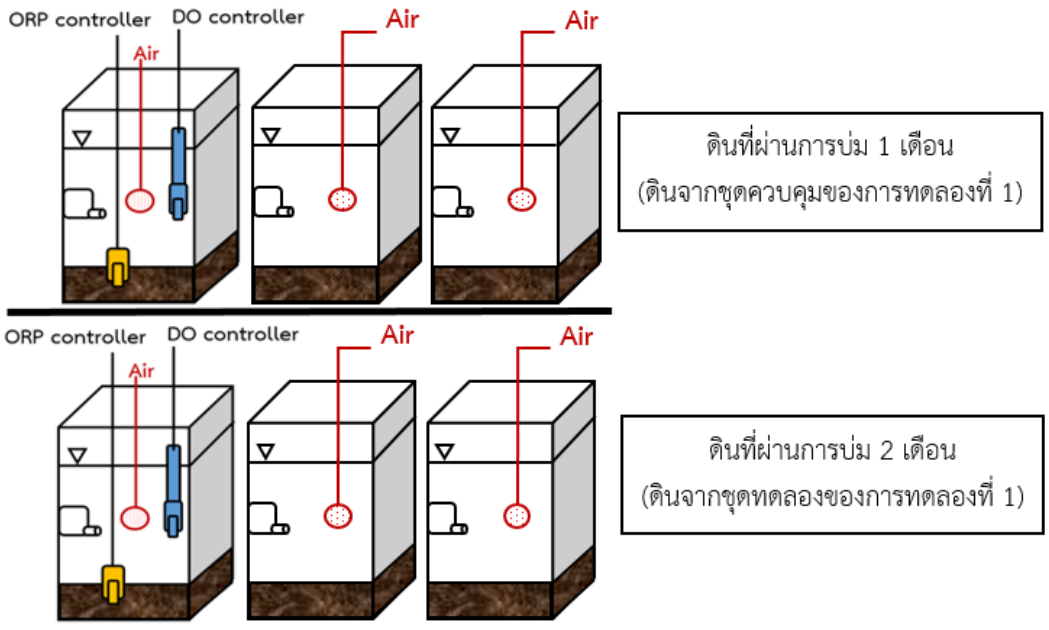
ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
สภาวะดินในตู้กระจก	- ดินที่ไม่ผ่านการบ่ม - ดินที่ผ่านการบ่มประมาณ 30 วัน
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ขนาดตู้กระจก	กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม.
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
ปริมาตรน้ำ	8 ล. (หรือระดับความสูง 20 ซม.จากผิวดิน)
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และค่าความเป็นด่าง
ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	เนื้อดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณอินทรียวัตถุ และพีเอช

การทดลองช่วงที่ 2 ผลของการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินในสภาวะธรรมชาติ

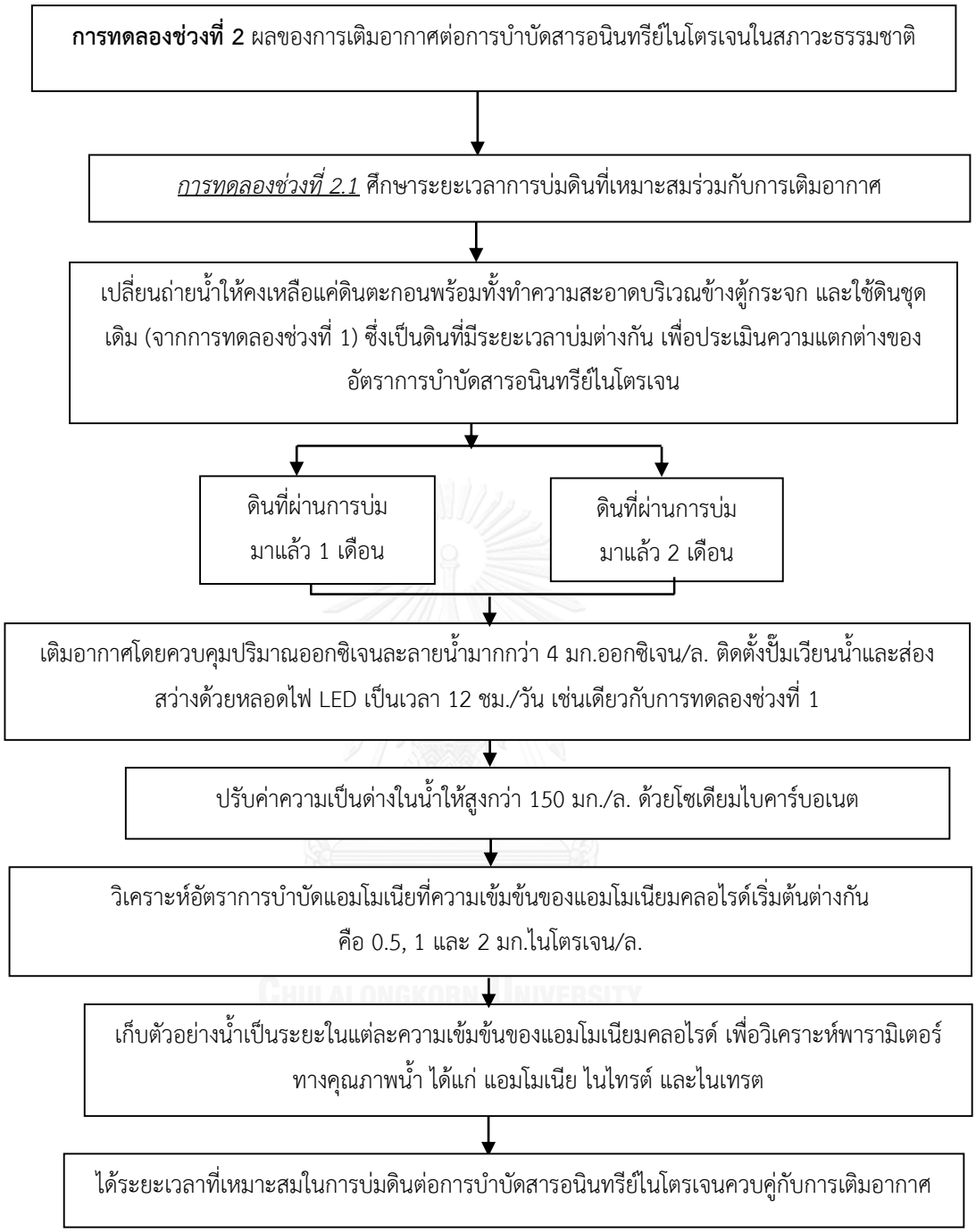
ทำการศึกษาระยะเวลาในการบ่มดินที่เหมาะสมร่วมกับการเติมอากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง มีรายละเอียดดังนี้

<u>การทดลองช่วงที่ 2.1</u> ศึกษาระยะเวลาการบ่มดินที่เหมาะสมร่วมกับการเติมอากาศ โดยทำการทดลองต่อเนื่องกับระบบที่เข้าสู่สมดุลแล้วจากการทดลองช่วงที่ 1 นั่นคือดินที่บรรจุอยู่ในตู้กระจกของชุดควบคุมและชุดทดลองสามารถเกิดปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ เปลี่ยนถ่ายน้ำให้คงเหลือแค่ดินตะกอนพร้อมทั้งทำความสะอาดบริเวณข้างตู้กระจก เติมน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที ปริมาตร 8 ล. ติดตั้งปั๊มเวียนน้ำและส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED เป็นเวลา 12 ชม./วัน เติมอากาศอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาด้วยหัวทรายโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ภายในชั้นดินตะกอน ในการทดลองนี้ระยะเวลาการบ่มดินในชุดควบคุมและชุดทดลองของการทดลองที่ 1 จะเพิ่มขึ้นเป็น 1 เดือนและ 2 เดือน ตามลำดับ (ดังรูปที่ 3.6) ประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียจาก

การเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันคือ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. (1.875, 3.75 และ 7.5 มก. แอมโมเนียมคลอไรด์/ล.) ซึ่งเป็นการจำลองปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นแตกต่างกันในระบบ โดยแต่ละระดับความเข้มข้นจะทำการทดลองทีละครั้งจนกว่าแอมโมเนียจะถูกบำบัดจนหมดแล้วจึงเริ่มทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่อไป และมีการปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นระยะในแต่ละความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ เพื่อศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินตามสภาวะธรรมชาติ หากพบว่าระยะเวลาในการบ่มดินที่ต่างกันสามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ในประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน อาจสรุปได้ว่าระยะเวลาในการบ่มดินอย่างน้อย 1 เดือนเพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุลก็เพียงพอต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ แต่หากพบว่าระยะเวลาในการบ่มดินที่ต่างกันสามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ในประสิทธิภาพต่างกัน ก็ควรจะบ่มดินที่ระยะเวลาเหมาะสมเพื่อให้ดินมีความพร้อมต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนมากที่สุด ดังมีรายละเอียดการทดลองแสดงด้วยแผนผังรูปที่ 3.7 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.6 บ่อดินจำลองที่แปรค่าระยะเวลาในการบ่มร่วมกับการเติมอากาศ



รูปที่ 3.7 แผนผังการทดลองช่วงที่ 2.1

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2.1

ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ระยะเวลาในการบ่มดินที่ต่างกัน	- ดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน - ดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ขนาดตู้กระจก	กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม.
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ดินที่บรรจุในตู้กระจก	สภาวะดินที่ผ่านการบ่มมาแล้วจากการทดลองช่วงที่ 1
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
ปริมาตรน้ำ	8 ล. (หรือระดับความสูง 20 ซม.จากผิวดิน)
ความเข้มข้นแอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น	0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.
การเติมอากาศ	ควบคุมค่า DO มากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ ทางคุณภาพน้ำ	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ค่าความเป็นด่าง พีเอช ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

การทดลองช่วงที่ 2.2 ศึกษาการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด

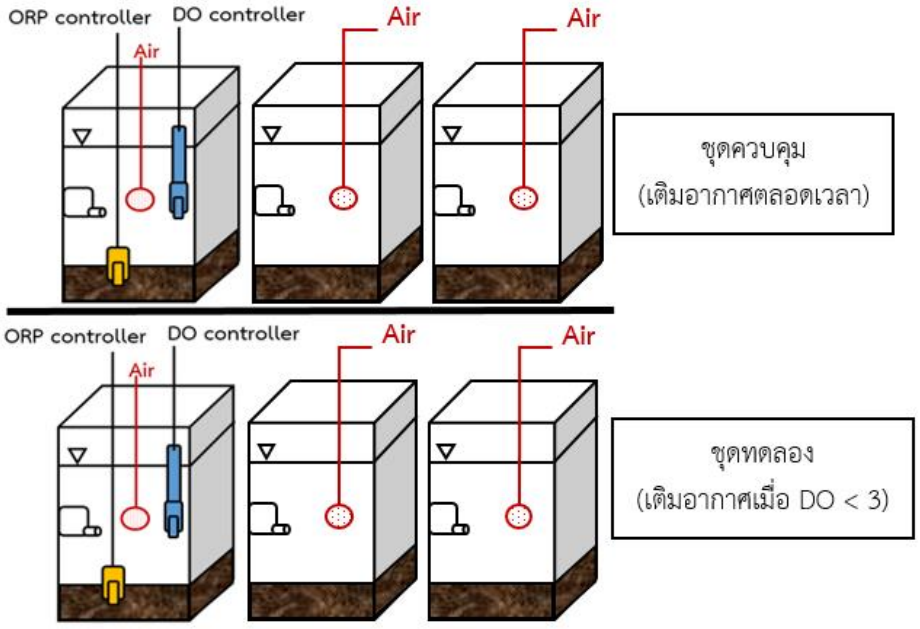
เมื่อได้ระยะเวลาในการบ่มดินที่เหมาะสมจากการทดลองช่วงที่ 2.1 แล้ว จะทำการศึกษาผลของการเติมอากาศเมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ภายในชั้นดินตะกอน ต่อการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยจำลองระดับความหนาแน่นแตกต่างกันในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนแล้วระบบบ่อดินสามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการตามธรรมชาติในสภาวะที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ ติดตามอัตราการบำบัดแอมโมเนียจากเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดในอัตราส่วนเริ่มต้นที่แตกต่างกันเพื่อจำลองของเสียที่จะเกิดขึ้นในระบบเท่ากับ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. (หรือเทียบเท่ากับการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่น 0.365, 1.46 และ 2.19 กก./ลบ.ม. หรือ 584, 2,336 และ 3,504 กก./ไร่ ตามลำดับ) ทั้งนี้ในการแปลค่าแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดจะทำการทดลองคนละรอบ โดยในแต่ละรอบจะวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจนกว่าสารอินทรีย์

ไนโตรเจนในระบบจะถูกบำบัดจนหมด เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบแตกต่างกัน

ปริมาณของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบ (มก.ไนโตรเจน/ล.)	ปริมาณการเติม	
	แอมโมเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)	อาหารกุ้งบด (มก./ล.)
0.5	1.875	2.5
2	7.625	32.9
3	11.38	49.4

เริ่มการทดลองโดยใช้ตัวอย่างดินจากการทดลองช่วงที่ 2.1 ผสมดินและแบ่งบรรจุลงในตู้กระจกจำนวน 6 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม (3 ซ้ำ) และชุดทดลอง (3 ซ้ำ) เติมน้ำความเค็ม 10 พีพีที ลงในตู้กระจกแต่ละใบจนมีความสูงจากผิวดินประมาณ 20 ซม. ปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง (ดังรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 บ่อดินจำลองที่มีสภาวะการเติมอากาศที่ต่างกัน

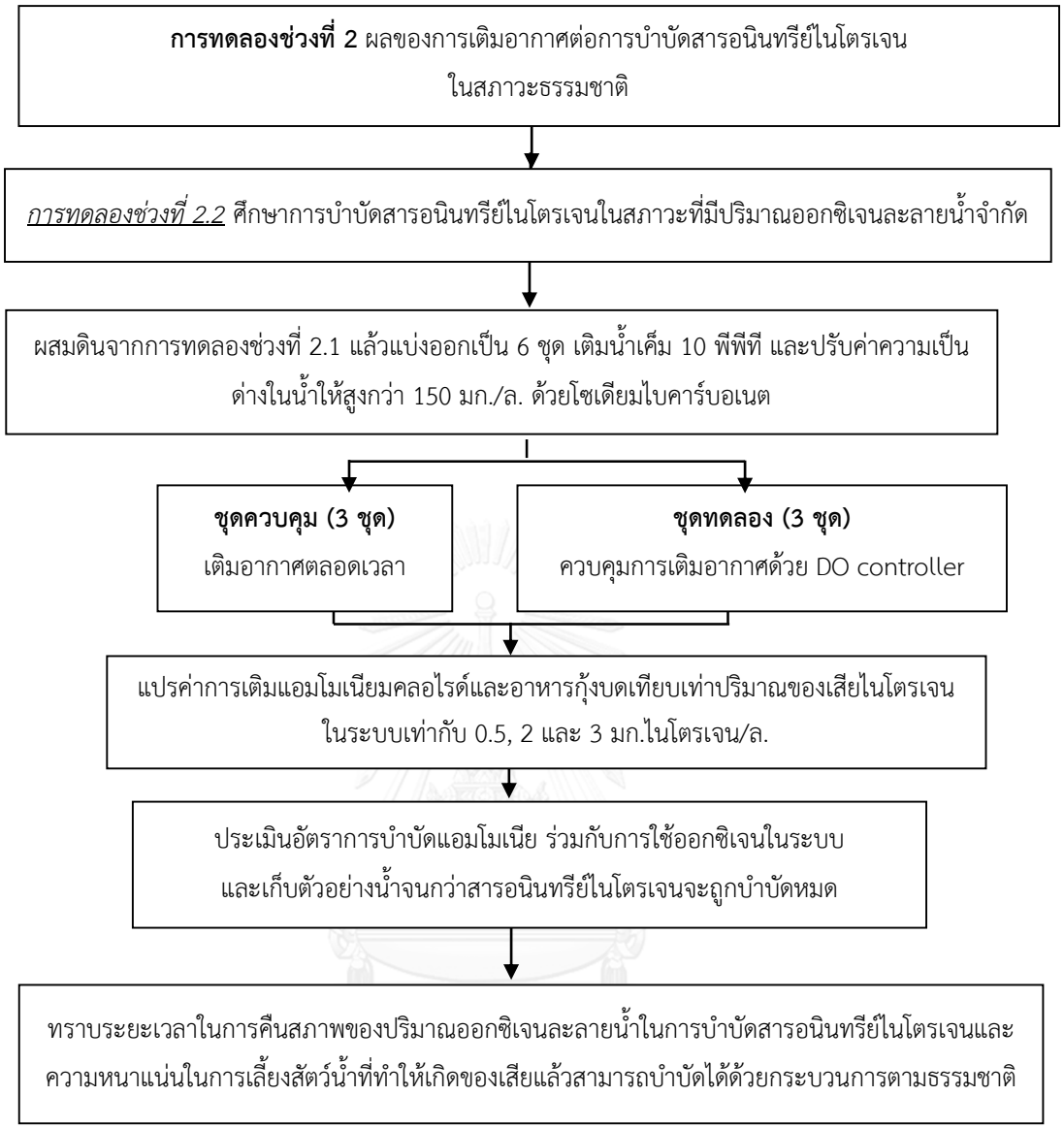
- ชุดควบคุม (3 ซ้ำ)

เดินระบบในสภาวะเติมอากาศตลอดเวลาด้วยหัวทราย และประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบต่างกัน คือ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.

- ชุดทดลอง (3 ซ้ำ)

เดินระบบโดยการควบคุมการเติมอากาศด้วยเครื่องควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO controller) ให้มีการเติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. เพื่อประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบต่างกัน คือ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งในระหว่างการประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียในแต่ละรอบจะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลง และหากว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงต่ำกว่า 2.3 มก.ออกซิเจน/ล. เครื่องเติมอากาศจะเริ่มทำงาน และจะหยุดเติมอากาศเมื่อมีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 2.3 มก.ออกซิเจน/ล. เป็นเช่นนี้จนกว่าสารอนินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกบำบัดจนหมดในแต่ละความเข้มข้น

ภายหลังจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดในแต่ละรอบจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์เป็นระยะจนแน่ใจว่าสารอนินทรีย์ไนโตรเจนถูกบำบัดจนหมด โดยก่อนเริ่มการทดลองที่ความเข้มข้นต่อไปจะทำการชดเชยระดับน้ำที่ระเหยออกไปด้วยการเติมน้ำให้ค่าความเค็มกลับมาอยู่ที่ 10 พีพีที จากนั้นเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต พร้อมทั้งศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ทำให้เกิดปริมาณของเสียไนโตรเจนเท่ากับ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. แล้วระบบสามารถบำบัดของเสียดังกล่าวได้ด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ ร่วมกับการประเมินค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในชั้นดินตะกอน และปริมาณการใช้ออกซิเจนในระบบต่อการบำบัดไนโตรเจนของระบบบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดการทดลองแสดงด้วยแผนผังรูปที่ 3.9 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.9 แผนผังการทดลองช่วงที่ 2.2

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2.2

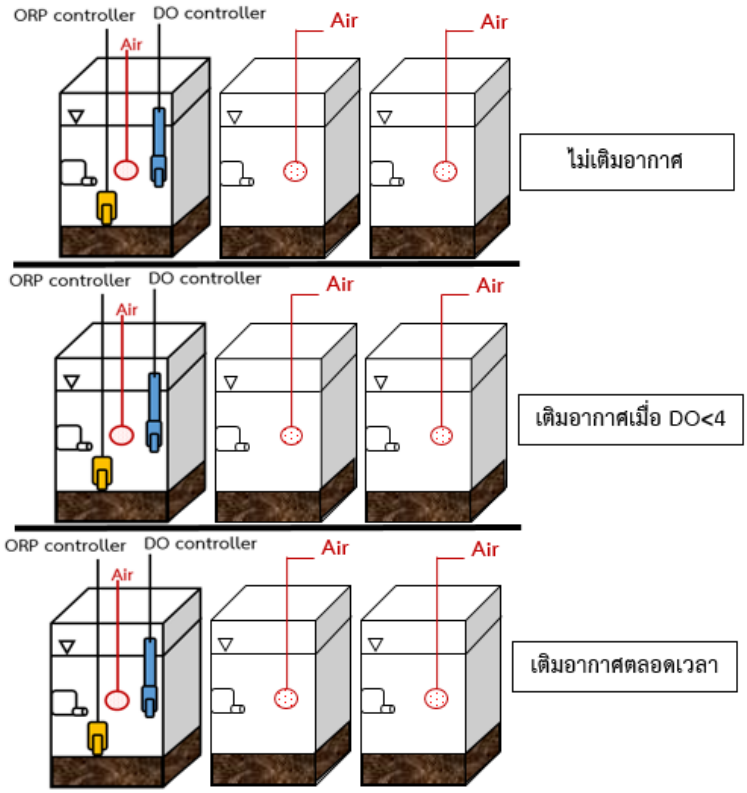
ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
สภาวะการเติมอากาศในตู้กระจก	- เติมอากาศตลอดเวลา - เติมอากาศโดยการควบคุมด้วย DO controller
ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์	0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.
ปริมาณอาหารกุ้งบด	0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ขนาดตู้กระจก	กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม.
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ดินที่บรรจุในตู้กระจก	ดินจากชุดการทดลองที่ 2.1
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
ปริมาตรน้ำ	8 ล. (หรือระดับความสูง 20 ซม.จากผิวดิน)
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ค่าความเป็นด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

การทดลองช่วงที่ 3 ผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดิน

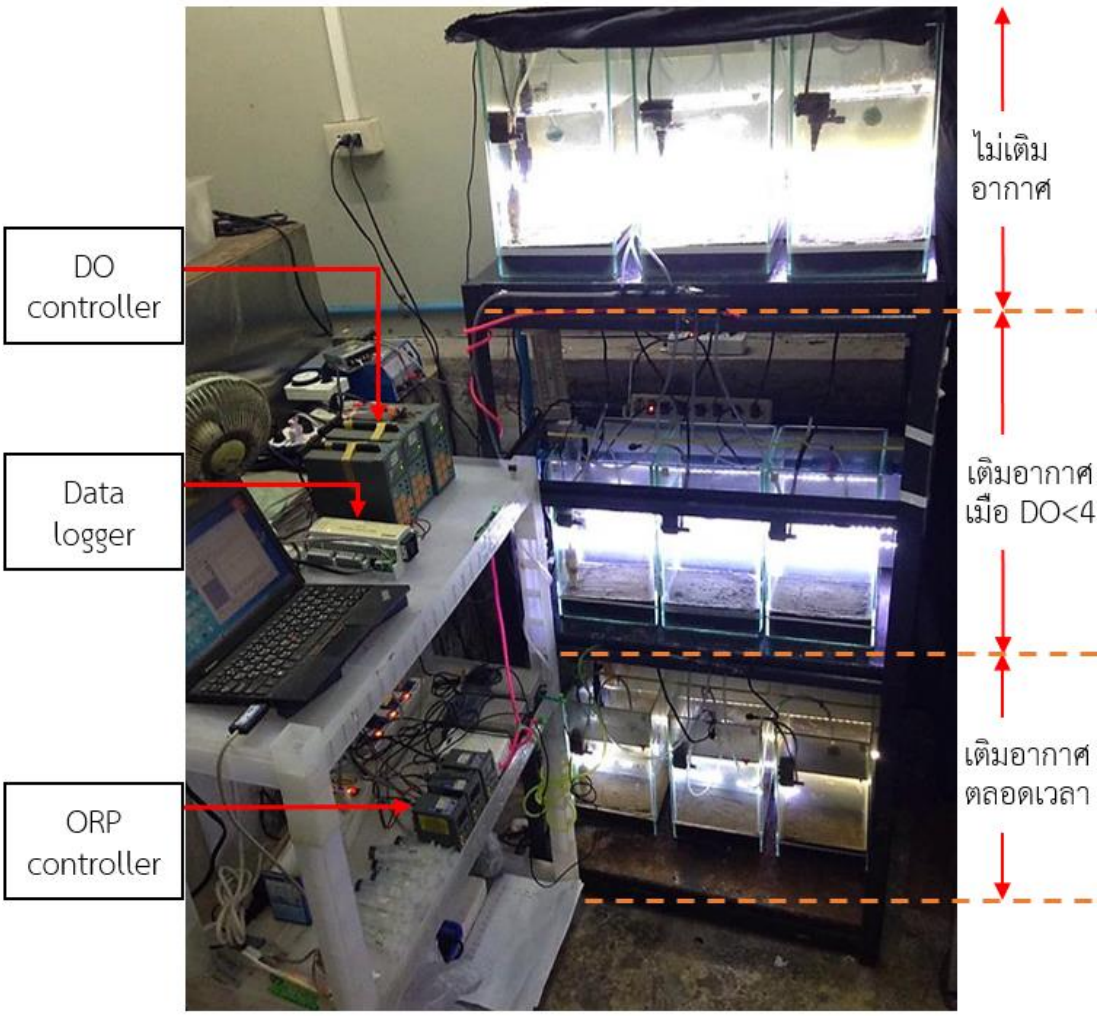
การเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของกากน้ำตาลหรือจุลินทรีย์ในปริมาณที่ไม่เหมาะสมอาจไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ โดยหากมีการเติมสารอินทรีย์มากเกินไปจะส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนในน้ำและกระบวนการไนตริฟิเคชันภายในบ่อดิน การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

การทดลองช่วงที่ 3.1 ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดิน เริ่มการทดลองโดยการผสมดิน 9 ชุด คือ 6 ชุด (จากการทดลองที่ 2.2) และ 3 ชุด (ดินที่เตรียมบ่มสภาพไว้ล่วงหน้าอย่างน้อย 1 เดือน) แบ่งดินเพื่อบรรจุลงตู้กระจกจำนวน 9 ชุด เติมน้ำความเค็ม 10 พีพีที ให้สูงจากผิวดินประมาณ 20 ซม. ทำการปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125, 0.025, 0.0625 และ 0.0875

มล./ล. (เทียบเท่า 20, 40, 100 และ 140 ล./ไร่) โดยทั้งสองชุดการทดลองจะเติมอาหารกุ้งเพื่อให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จากนั้นควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกันคือ (1) ไม่เติมอากาศ (2) เติมอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. และหยุดเติมเมื่อปริมาณออกซิเจนสูงเกิน 4 มก.ออกซิเจน/ล. และ (3) เติมอากาศตลอดเวลา (ดังรูปที่ 3.10 ก) และ 3.10 ข)) ติดตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) บริเวณใกล้ผิวดินตลอดเวลาด้วยเครื่องเก็บและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (WISCO AI 210 Data logger) และเก็บตัวอย่างน้ำเป็นระยะเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ตามวิธีมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF (2005) ร่วมกับการประเมินผลของกากน้ำตาลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ดังมีรายละเอียดการทดลองแสดงด้วยแผนผังรูปที่ 3.11 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.5

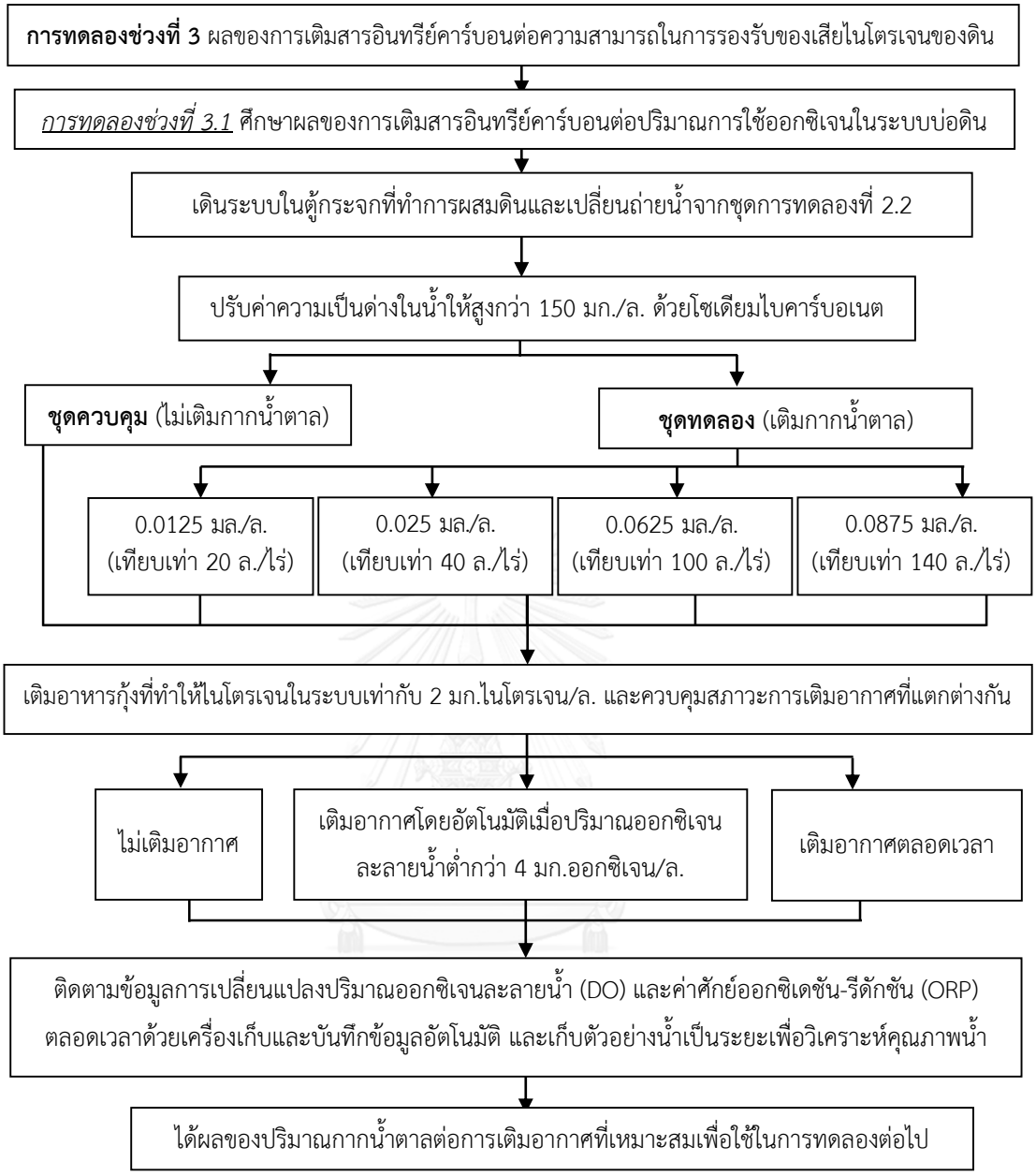


รูปที่ 3.10 ก) แผนภาพของบ่อดินจำลองที่แปรค่าอัตราส่วนการเติมกากน้ำตาลร่วมกับการเติมอากาศ 3 สภาวะ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.11 ข) บ่อดินจำลองที่แปรค่าอัตราส่วนการเติมกากน้ำตาลร่วมกับการเติมอากาศ 3 สภาวะ



รูปที่ 3.11 แผนผังการทดลองช่วงที่ 3.1

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3.1

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
การเติมสารอินทรีย์คาร์บอน	- ชุดควบคุม : ไม่เติมกากน้ำตาล - ชุดทดลอง : เติมกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.0125, 0.025, 0.0625 และ 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่า 20, 40, 100 และ 140 ล./ไร่)
สภาวะการเติมอากาศ	- ไม่เติมอากาศ - เติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. - เติมอากาศตลอดเวลา
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ขนาดตู้กระจก	กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม.
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ดินที่บรรจุในตู้กระจก	ดินที่ทำการผสมจากดินในชุดการทดลองที่ 2.2
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
ปริมาตรน้ำ	8 ล. (หรือระดับความสูง 20 ซม.จากผิวดิน)
ปริมาณอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.	0.0329 กรัม/ล.
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ค่าความเป็นด่าง พีเอช ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

การทดลองช่วงที่ 3.2 ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดิน

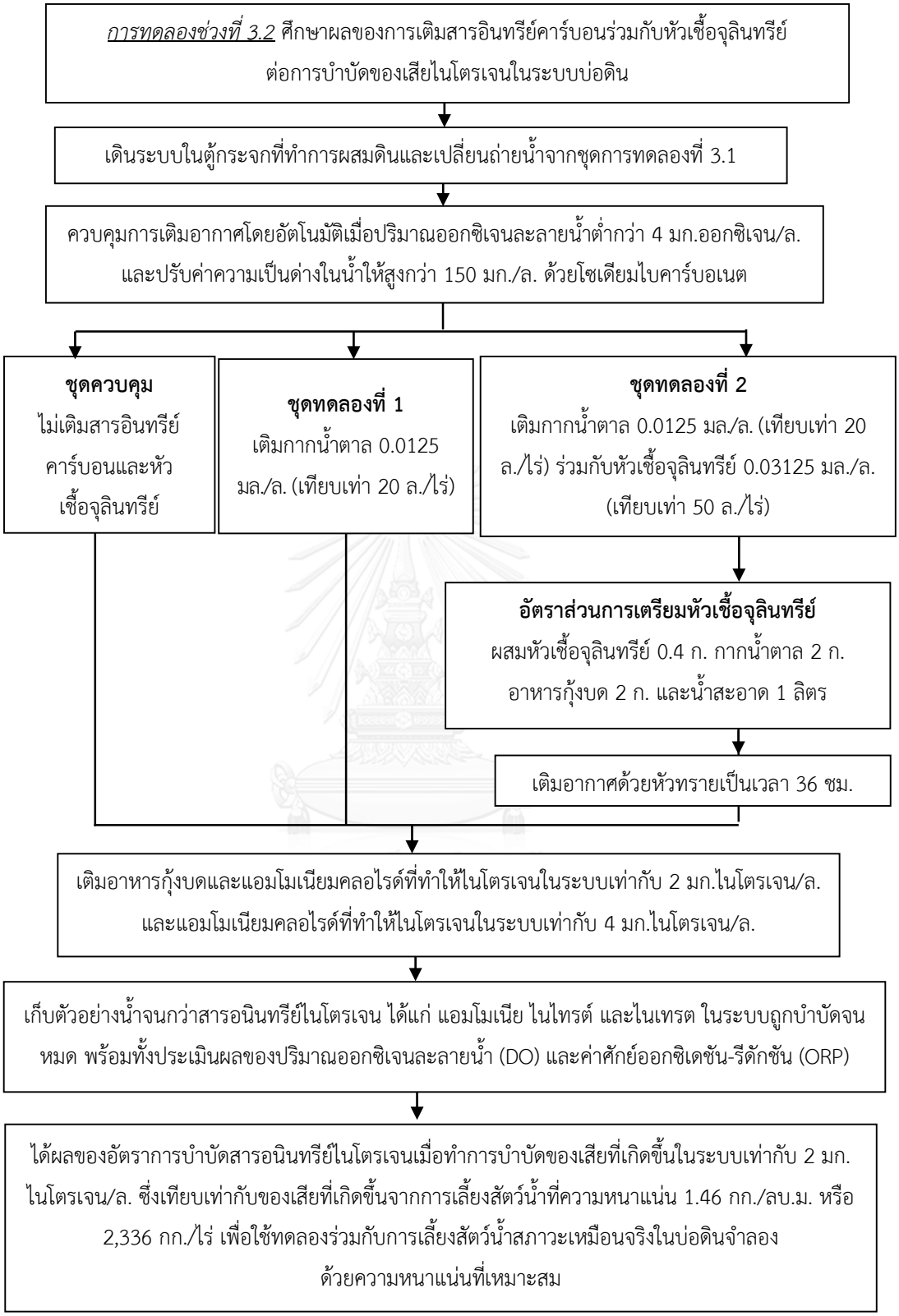
เมื่อได้ผลของปริมาณกากน้ำตาลต่อการเติมอากาศที่เหมาะสมจากการทดลองช่วงที่ 3.1 จะทำการศึกษาการบำบัดของเสียไนโตรเจนของระบบบ่อดินจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ เริ่มต้นการทดลองโดยนำดินจากการทดลองช่วงที่ 3.1 มาผสมกันและแบ่งดินออกเป็น 9 ชุด (เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1) เติมน้ำความเค็ม 10 พีพีที ให้สูงจากผิวดินประมาณ 20 ซม. ควบคุมสภาวะการเติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. และปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต แบ่งการทดลอง

ออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดควบคุม (3 ซ้ำ) ชุดทดลองที่ 1 (3 ซ้ำ) และชุดทดลองที่ 2 (3 ซ้ำ) โดยมีรายละเอียดในแต่ละชุดการทดลองดังนี้

- ชุดควบคุม : ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์
- ชุดทดลองที่ 1 : เติมกากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่า 20 ล./ไร่)
- ชุดทดลองที่ 2 : เติมกากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่า 20 ล./ไร่) ร่วมกับน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผสมตามอัตราส่วนของกรมประมง คือ ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 0.4 ก. กากน้ำตาล 2 ก. อาหารกุ้งบด 2 ก. และน้ำสะอาด 1 ล. เติมอากาศด้วยหัวทรายเป็นเวลา 36 ชม. (ดังรูปที่ 3.12) โดยอัตราส่วนของน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่จะนำไปผสมกับกากน้ำตาลคือ 0.03125 มล./ล. (เทียบเท่ากับอัตราส่วนตามคำแนะนำของกรมประมง คือ 50 ล./ไร่) เมื่อกำหนดความลึกของน้ำเท่ากับ 1 ม.

จากนั้นเติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ เพื่อเลียนแบบสถานการณ์จำลองของปริมาณไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 และ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์จะทำการทดลองคนละรอบ และในแต่ละรอบจะเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์จนกว่าสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในระบบจะถูกบำบัดจนหมด ร่วมกับการประเมินผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) โดยมีรายละเอียดการทดลองแสดงดังแผนภาพรูปที่ 3.13 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.6

รูปที่ 3.12 การเตรียมน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามอัตราส่วนของกรมประมง



รูปที่ 3.13 แผนผังการทดลองช่วงที่ 3.2

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 3.2

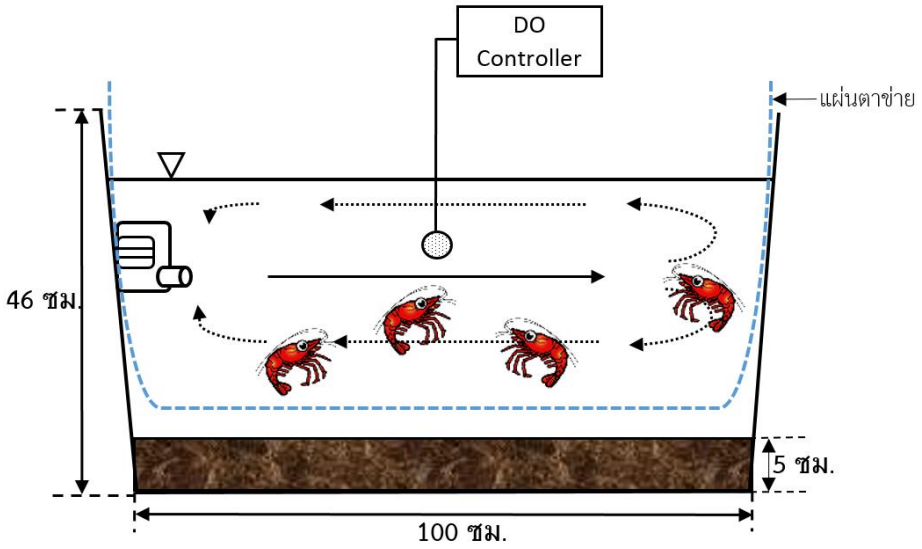
ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
สภาวะการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และหัวเชื้อจุลินทรีย์	- ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ - เติมกากน้ำตาล - เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ขนาดตู้กระจก	กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 35 ซม.
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ดินที่บรรจุในตู้กระจก	ดินที่ทำการผสมจากชุดการทดลองที่ 3.1
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
ปริมาตรน้ำ	8 ล. (หรือที่ระดับความสูง 20 ซม.จากผิวดิน)
สภาวะการเติมอากาศ	ควบคุมการเติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.
ปริมาณอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 และแอมโมเนียมคลอไรด์ 4 มก.ไนโตรเจน/ล.	- อาหารกุ้งบด 0.0329 กรัม/ล. - แอมโมเนียมคลอไรด์ 0.0076 ก./ล. และ 0.0153 ก./ล.
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ค่าความเป็นด่าง พีเอช ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทดลองช่วงที่ 4 การทดลองเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง

เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และศักยภาพของบ่อดินจำลองกลางแจ้งในการบำบัดและรองรับของเสียอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และสารอินทรีย์คาร์บอน เดินระบบการทดลองโดยเริ่มทำการบ่มดินในบ่อพลาสติกขนาด 150 ล. ในสภาวะที่ส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED สีขาวเป็นเวลา 12 ชม./วัน ตามสภาวะธรรมชาติ โดยบรรจุดินที่คงสภาพไว้ในตู้แช่แข็งประมาณ 25 กก. ให้สูงจากพื้นบ่อ 5 ซม. เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ และเติมน้ำความเค็มประมาณ 10 พีพีที ปริมาตร 80 ล. ติดตั้งปั๊มเวียนน้ำเพื่อให้น้ำภายในบ่อไหลวนอย่างช้าๆ และปรับค่าความเป็นด่างในน้ำให้สูงกว่า 150 มก./ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (ดังรูปที่ 3.14) เดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน เพื่อให้

ดินตะกอนมีความพร้อมต่อการบำบัดของเสียที่จะเกิดขึ้น และจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อป้องกันไม่ให้ดินตะกอนก้นบ่อฟุ้งกระจายจากกิจกรรมของสัตว์น้ำ โดยขึงแผ่นตาข่ายบริเวณปากบ่อ ซึ่งสามารถให้อาหารสัตว์น้ำได้โดยไม่ตกสู่ดินตะกอนก้นบ่อ และควบคุมสภาวะการเติมอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ



รูปที่ 3.14 ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเสมือนจริงในบ่อดินจำลอง ที่มีการเปิดไฟในเวลากลางวันเพื่อให้แสงสว่างเป็นเวลา 12 ชม./วัน

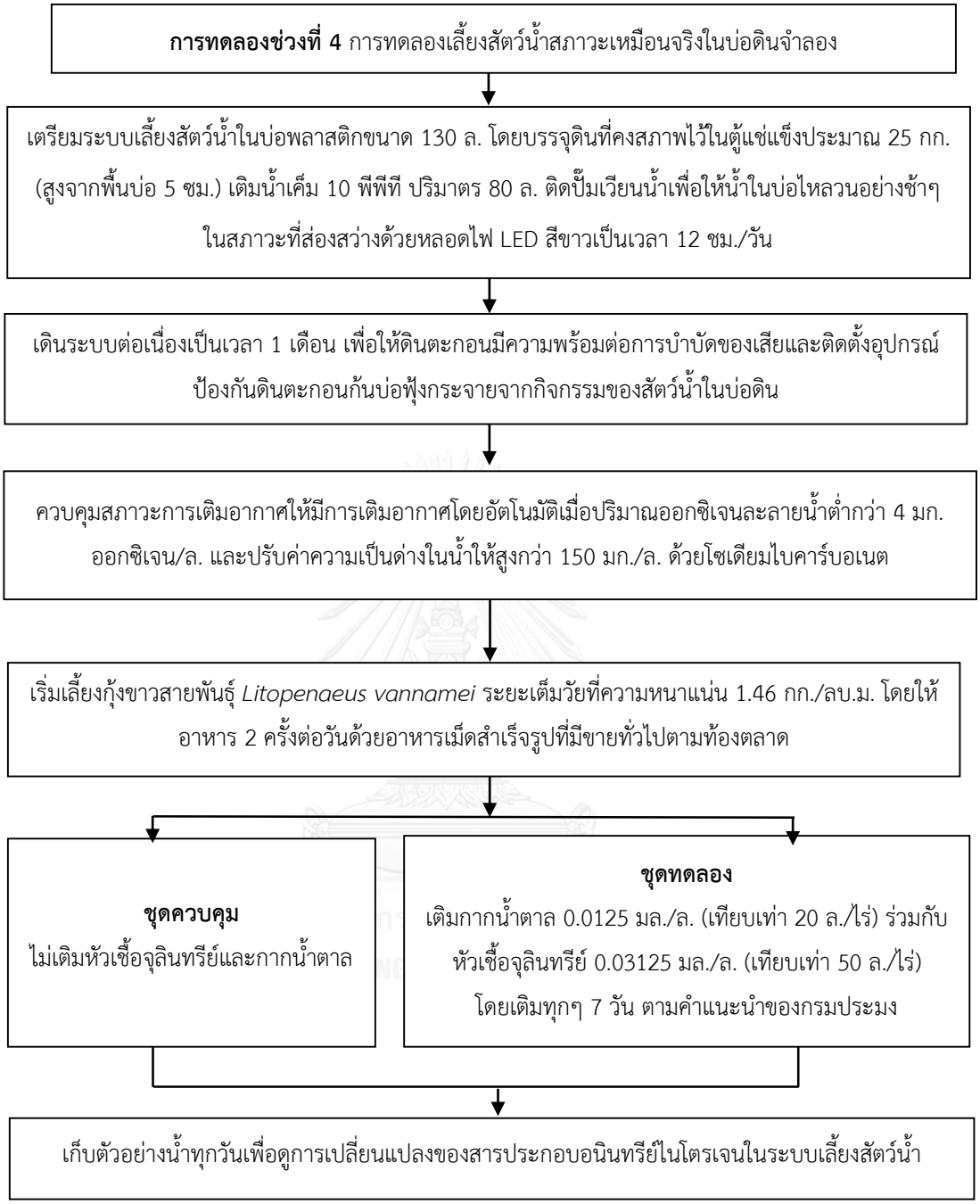
ทำการเลี้ยงกุ้งขาวสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ระยะเต็มวัย (Adult) ในบ่อดินที่ผ่านการเตรียมสภาพที่ความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่ทำให้เกิดของเสียในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยความหนาแน่นดังกล่าวเป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นด้วยกระบวนการตามธรรมชาติโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ให้อาหาร 2 ครั้งต่อวันด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

- ชุดควบคุม : ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในระหว่างการเลี้ยง

- ชุดทดลอง : เติมกากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) ร่วมกับน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เตรียมขึ้นตามอัตราส่วนของกรมประมง คือ 0.03125 มล./ล. (เทียบเท่ากับอัตราส่วน 50 ล./ไร่) ที่ความถี่ทุกๆ 7 วัน

เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อดินจำลองทุกวันเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นตามกระบวนการธรรมชาติ ควบคู่กับการติดตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ตลอดเวลาด้วยเครื่องเก็บและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (WISCO ML22 Data logger) เป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน จากนั้นทดลองเพิ่มอัตราการให้อาหารเป็นสองเท่าเพื่อประเมินการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ร่วมกับการประเมินปริมาณออกซิเจนละลายน้ำระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยมีรายละเอียดแสดงดังแผนภาพการทดลองดังรูปที่ 3.15 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.7

Chulalongkorn University



รูปที่ 3.15 แผนผังการทดลองช่วงที่ 4

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 4

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
สภาวะของการเลี้ยงสัตว์น้ำ	- ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ - เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
ระยะเวลาในการเดินระบบ	1 เดือน
ระยะเวลาในการส่องสว่างด้วยหลอดไฟ LED	12 ชม./วัน
ปริมาตรถังเลี้ยงสัตว์น้ำ	150 ลิตร
ดินที่บรรจุในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ	ดินที่บ่มเตรียมสภาพประมาณ 1 เดือน
สภาวะการเติมอากาศในถัง	ควบคุมการเติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.
ชนิดของสัตว์น้ำ	กุ้งขาวสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ระยะเต็มวัย
ความสูงของชั้นดิน	5 ซม.
ค่าความเค็มของน้ำ	10 พีพีที
อาหารสัตว์น้ำ	อาหารเม็ดสำเร็จรูป
ความหนาแน่นเริ่มต้นของสัตว์น้ำ	1.46 กก./ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำ	80 ล.
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์**
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และค่าออกซิเจนละลายน้ำ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในระหว่างการทดลองแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พีเอช และค่าความเป็นด่าง และในส่วนของคุณภาพตะกอนจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช เนื้อดิน สารอินทรีย์ในดิน และไนโตรเจนรวม ซึ่งจะทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งช่วงก่อนและภายหลังการบ่มดิน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ คุณภาพตะกอน

พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ		
พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือวิเคราะห์**	**อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์**
แอมโมเนีย (NH_4^+ - N)	Colorimetric and Spectrophotometric method	Standard method (2005)
ไนไทรต์ (NO_2^- - N)	Colorimetric and Spectrophotometric method	Standard method (2005)
ไนเทรต (NO_3^- - N)	Colorimetric and Spectrophotometric method	Standard method (2005)
ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)	ORP meter method	Standard method (2005)
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	DO meter method	Standard method (2005)
พีเอช (pH)	pH meter method	Standard method (2005)
ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)	Test kid	-

พารามิเตอร์ทางคุณภาพตะกอน			
พารามิเตอร์	**ความถี่ในการวิเคราะห์**	**วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือวิเคราะห์**	**อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์**
Soil texture	ก่อนและหลังบ่มดิน	Hydrometer	AOAC (1980)
pH	ก่อนและหลังบ่มดิน	Soil pH meter	AOAC (1980)
Organic matter	ก่อนและหลังบ่มดิน	Combustion method	Schinner et al. (1996)
Total Nitrogen	ก่อนและหลังบ่มดิน	Proximate analysis	AOAC (1980)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินที่มีสภาวะต่างกัน

การทดลองส่วนนี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินภายใต้สภาวะธรรมชาติ ระหว่างดินที่ไม่ผ่านการบ่ม และดินที่ผ่านการบ่มมาแล้วประมาณ 30 วัน เพื่อหาสภาวะของดินที่เหมาะสมต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติของดิน

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติของดินในระยะเวลาประมาณ 30 วัน ซึ่งเป็นการบ่มดินล่วงหน้าเพื่อใช้เป็นชุดทดลอง ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 พบว่ามีแอมโมเนียเกิดขึ้นในระดับความเข้มข้นสูงกว่า 20 มก.ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 3 ของการทดลอง เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (Ammonification) ในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีปริมาณของเสียอินทรีย์สะสมที่ดินตะกอนพื้นบ่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์สูงขึ้น และทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง จึงเกิดการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Steeby และคณะ, 2004) จากนั้นแอมโมเนียในน้ำจะลดลงและเกิดการสะสมไนไทรต์ในน้ำช่วงวันที่ 5 - 11 ของการทดลอง ก่อนที่แอมโมเนียและไนไทรต์จะมีค่าลดลงหลังจากวันที่ 10 เป็นต้นไป จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ 1) แบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ภายในมวลน้ำและเกาะติดอยู่ตามผนังตู้และที่ผิวดินก้นถัง ซึ่งสามารถนำแอมโมเนียไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ (Nitrogen Assimilation) และ 2) ไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนเทรต โดยมีไนไทรต์เป็นสารตัวกลาง (Nitrification) ซึ่งในที่สุดจะทำให้แอมโมเนียลดลงจนถึงระดับที่สามารถยอมรับได้สำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ (Gutierrez-Wing และ Malone, 2006) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันของผิวดินมีความพร้อมที่จะบำบัดแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเทรต และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในดินตะกอนชั้นล่าง

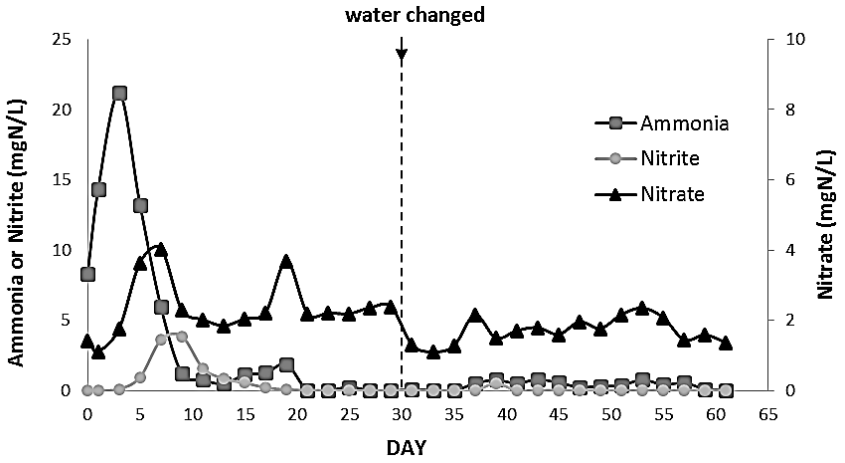
ที่ขาดออกซิเจนสามารถบำบัดไนเทรตที่เกิดให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ จึงไม่พบการสะสมของไนเทรตในน้ำ

4.1.2 ผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนตามธรรมชาติของดินที่มีสภาวะการบ่มแตกต่างกัน

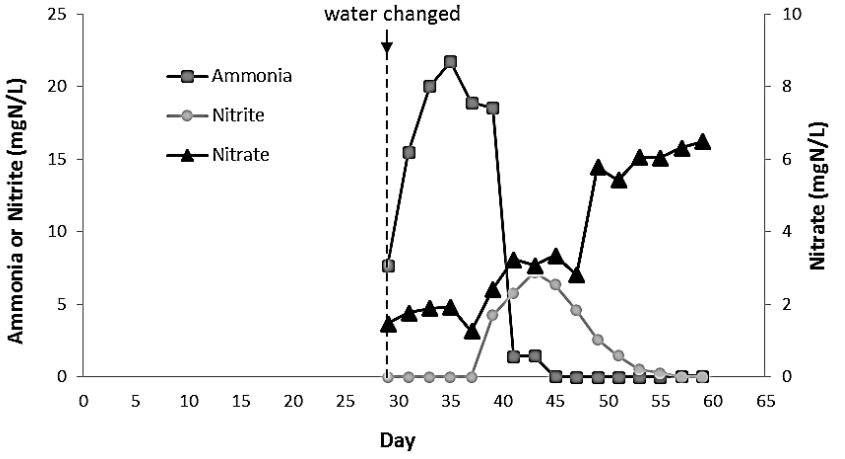
จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบ่มล่วงหน้าเป็นเวลา 30 วัน (ชุดทดลอง วันที่ 1 - 30 ดังรูปที่ 4.1) กับดินที่ไม่ได้ผ่านการบ่มล่วงหน้า (ชุดควบคุม วันที่30 - 61 ดังรูปที่ 4.2) ผลการทดลองพบว่าดินที่ยังไม่ผ่านการบ่มของชุดควบคุมจะเกิดการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในน้ำเช่นเดียวกันกับชุดทดลองในช่วงแรก ต่างกันที่จะใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้ปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเก็บรักษาดินในตู้แช่แข็งเป็นระยะเวลานาน ซึ่งจากการรายงานของมะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข (2555) ระบุว่ากระบวนการกำจัดของเสียไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณดินตะกอนก้นบ่อ โดยมีกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ที่เปลี่ยนของเสียอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย หลังจากนั้นแอมโมเนียจะถูกบำบัดโดยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม ได้แก่ แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Ammonia Oxidizing Bacteria, AOB) และไนไทรต์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Nitrite Oxidizing Bacteria, NOB) ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นไนเทรต (McCarty, 1999) และไนเทรตที่เกิดขึ้นจะถูกบำบัดต่อที่บริเวณชั้นดินตะกอนที่ขาดออกซิเจน และเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน สำหรับพีเอชตลอดการทดลองนี้จะมีค่าประมาณ 8 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และเป็นระดับพีเอชที่ทำให้แอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำ ทั้งนี้หากพีเอชสูงขึ้นมากกว่า 9 จะส่งผลให้พิษของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) และการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำสู่บรรยากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชสูงกว่า 9.25 (Timmons และคณะ, 2002) ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าการลดลงของแอมโมเนียในการทดลองนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ไม่ใช่มาจากการระเหยของแอมโมเนียสู่ชั้นบรรยากาศ

นอกจากนี้จากการศึกษาของ Kutako และคณะ (2009 a, b) ยังพบว่าการนำดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งไปตากแดดเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (จำลองการตากบ่อเลี้ยงกุ้งหลังจากจบการเลี้ยง 1 รอบ) จะทำให้ไนทริไฟอิงแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนตายลงจนสูญเสียความสามารถในการบำบัดไป และการบ่มดินเพื่อให้กระบวนการไนทริฟิเคชันกลับมามีประสิทธิภาพ

จะต้องใช้เวลานานกว่าที่พบในการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาดินด้วยการแช่แข็งเป็นระยะเวลานานประมาณ 2 เดือนไนทริไฟอิงแบคทีเรียในดินจะยังสามารถคืนสภาพให้เกิดการบำบัดได้ ซึ่งความรู้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเก็บรักษาหัวเชื้อไนทริไฟอิงแบคทีเรียให้คงสภาพเพื่อใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ในอนาคต



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 30 วัน (ชุดทดลอง)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนที่ไม่ผ่านการบ่ม (ชุดควบคุม)

4.1.3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบในดินตะกอนที่มีสภาวะต่างกัน

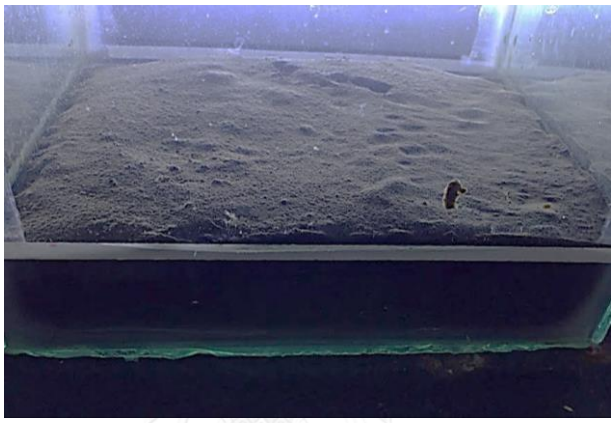
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงกายภาพของดินทั้งตัวอย่างดินที่ไม่ผ่านการบ่ม (ชุดควบคุม) และตัวอย่างดินที่ผ่านการบ่มประมาณ 30 วัน (ชุดทดลอง) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบในดินตะกอนที่มีสภาวะต่างกัน

ตัวอย่าง	จำแนกลักษณะเนื้อดิน			ลักษณะเนื้อดิน	พีเอช	อินทรียวัตถุ (%)	ไนโตรเจนรวม (%)
	ทราย (%)	ทรายแป้ง (%)	ดินเหนียว (%)				
ดินไม่บ่ม (ชุดควบคุม)	28	39	33	clay loam	7.3	8.88	0.32
ดินบ่ม (ชุดทดลอง)	28	37	35	clay loam	7.4	9.21	0.28

ผลการทดลองพบว่าดินจากชุดควบคุมมีลักษณะของเนื้อดินที่เป็นอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับร้อยละ 28, 39 และ 33 ตามลำดับ ส่วนในชุดทดลองเท่ากับร้อยละ 28, 37 และ 35 ตามลำดับ โดยทั้งสองชุดการทดลองเมื่อจำแนกดินตามลักษณะของเนื้อดินด้วยการจัดทำแผนผังรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (Soil texture triangle) พบว่ามีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของวีณา เคยพุดซา (2547) ที่รายงานไว้ว่าลักษณะเนื้อดินของบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อพักน้ำในจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นดินเหนียว และจากผลของพีเอชทั้งตัวอย่างดินที่เป็นชุดควบคุมและชุดทดลอง พบว่ามีค่า 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากพีเอชของดินอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลางและกิจกรรมต่างๆ จะเกิดขึ้นได้ช้าลงเมื่อดินมีสภาวะเป็นกรด (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) ในส่วนของอินทรียวัตถุในดินของชุดควบคุมและชุดทดลองพบว่าเท่ากับร้อยละ 8.88 และ 9.21 ตามลำดับ ซึ่งดินทั้งสองชุดการทดลองจัดว่ามีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง เนื่องมาจากการสะสมของเศษอาหารที่เหลือตกค้างและของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งรวมกับซากของสิ่งมีชีวิตในบ่อ เมื่อย่อยสลายไม่หมดจะกลายเป็นสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่บริเวณดินตะกอนพื้นบ่อ (ยนต์ มุสิก และพรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล, 2534) ประกอบกับสีของดินที่มีความเข้มจัด (ดังรูปที่ 4.3) ซึ่งแสดงถึงความอุดม

สมบูรณ์และปริมาณอินทรียวัตถุที่ปะปนอยู่และแปรสภาพเป็นฮิวมัสในดินจึงทำให้สีของดินมีความเข้ม (พูลสุข ปรัชญานุสรณ์, 2553) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินจากชุดควบคุมและชุดทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.32 และ 0.28 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าในชุดทดลองที่มีการบ่มดินล่วงหน้าประมาณ 30 วัน จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวม (อินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน) ที่สะสมอยู่ภายในดินตะกอนลดลง เนื่องจากในช่วงการบ่มดินจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดินตะกอน จึงทำให้ไนโตรเจนรวมในชุดทดลองลดลง



รูปที่ 4.3 ดินตะกอนพื้นบ่อที่มีสีเข้มจัด

4.2 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการบ่มดินต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย

ผลจากการทดลองช่วงที่ 1 ชี้ให้เห็นว่าการบ่มดินในเวลาที่เหมาะสมจะทำให้บ่อดินจำลองสามารถบำบัดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองส่วนนี้จึงศึกษาระยะเวลาในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยแปรค่าปริมาณการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ลงในชุดการทดลองที่เดินระบบต่อมาจากการทดลองช่วงแรก (หัวข้อ 4.1)

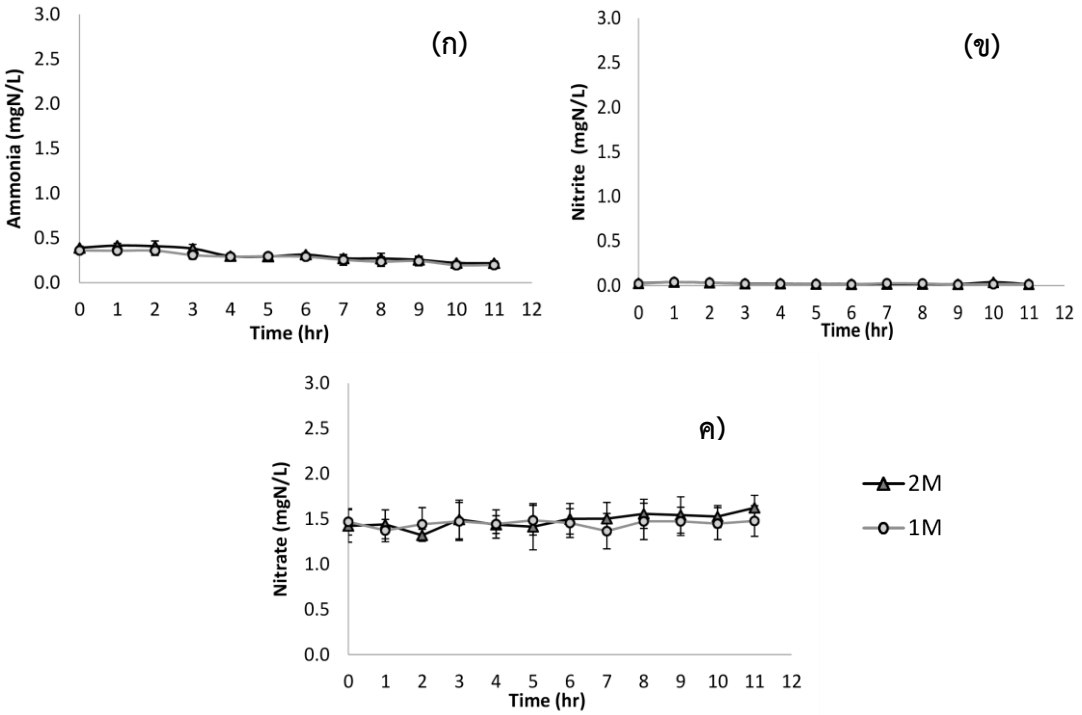
4.2.1 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาที่ต่างกัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

การประเมินอัตราการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน คือ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. (1.88, 3.75 และ 7.50 มก.แอมโมเนียมคลอไรด์/ล.) ลงในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองเปรียบเทียบระหว่างดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาที่

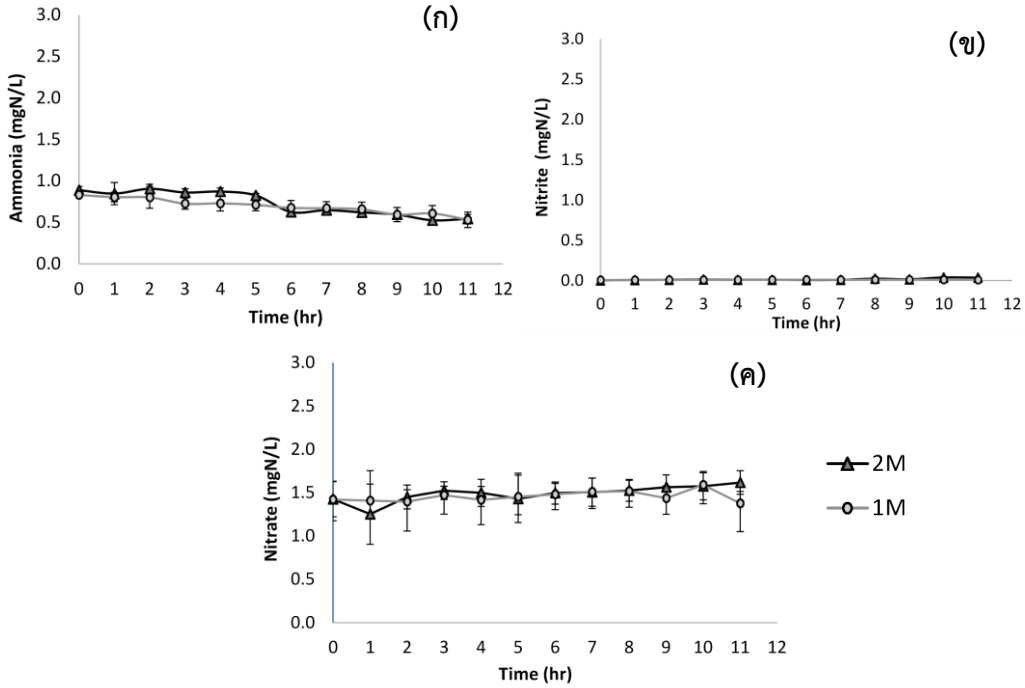
ต่างกันคือ 1 และ 2 เดือน พบว่าดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือนที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วงชั่วโมงที่ 0 - 11 เท่ากับ 3.167±0.0036, 4.947±0.0043 และ 11.660±0.0141 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม.(พื้นที่ก้นถัง)/ชม. ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือนที่สัดส่วนการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากันจะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 3.713±0.0024, 7.620±0.0085 และ 14.927±0.0138 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม.(พื้นที่ก้นถัง)/ชม. ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลของอัตราการบำบัดแอมโมเนียมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี T-test พบว่าระยะเวลาในการบ่มดิน 1 และ 2 เดือน มีอัตราการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากรูปที่ 4.4 (ก), 4.5 (ก) และ 4.6 (ก) แสดงให้เห็นว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Ammonia Oxidizing Bacteria, AOB) สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไทรต์ได้ (McCarty, 1999) แต่เนื่องจากความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้นไม่สูงมาก ระบบสามารถรองรับของเสียดังกล่าวได้ จึงไม่พบการสะสมของไนไทรต์ทั้งสามความเข้มข้น ดังรูปที่ 4.4 (ข), 4.5 (ข) และ 4.6 (ข) ตามลำดับ และไนเทรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันจะถูกบำบัดโดยอาศัยชั้นดินตะกอนที่มีสภาวะไร้อากาศซึ่งจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันที่สามารถบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ จึงไม่พบการสะสมของไนเทรตดังรูปที่ 4.4 (ค), 4.5 (ค) และ 4.6 (ค) ตามลำดับ

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการบ่มดินอย่างน้อย 1 เดือนก่อนเริ่มทำการเลี้ยงสัตว์น้ำในรุ่นต่อไปก็เพียงพอต่อการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดินตะกอน โดยเฉพาะไนทริไฟอิงแบคทีเรียที่ผิวดิน เพื่อให้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปริมาณแอมโมเนียที่จำลองขึ้นในการทดลองนี้จะเทียบเท่าการเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นประมาณ 0.365 - 1.46 กก./ลบ.ม. หรือเทียบเท่า 584 - 2,336 กก./ไร่ ในบ่อที่มีน้ำลึก 1 ม. โดยมีตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง

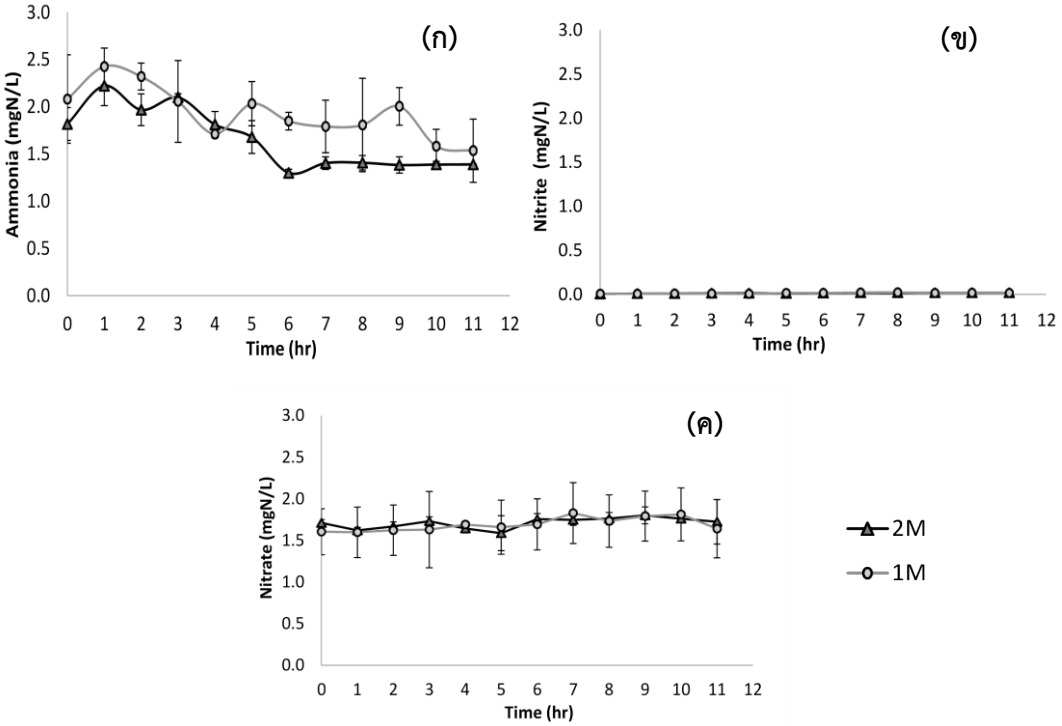
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 มก.ไนโตรเจน/ล.



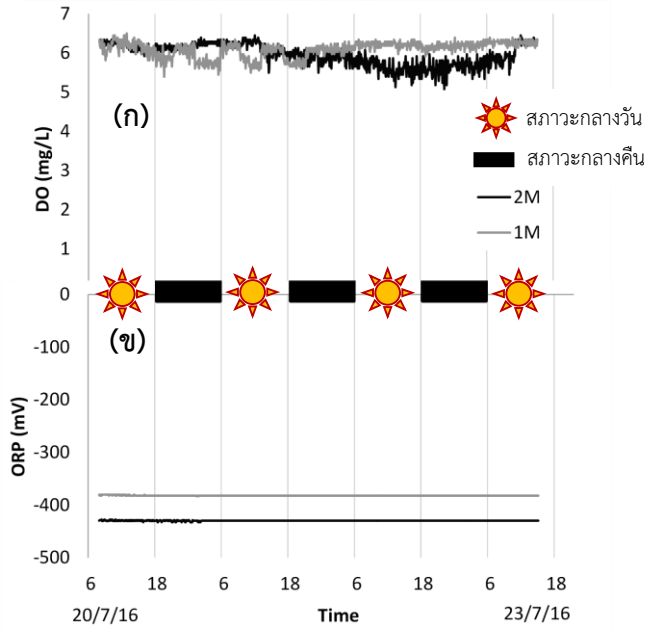
รูปที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

4.2.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาต่างกัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก. ไนโตรเจน/ล.

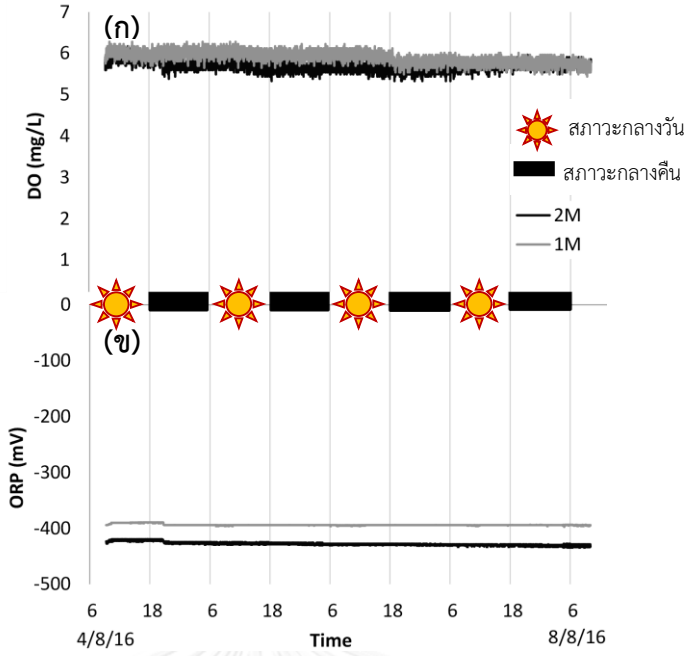
จากการประเมินปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา พบว่ามีค่ามากกว่า 5 มก.ออกซิเจน/ล. ตลอดการทดลองทั้งในชุดดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ทั้งนี้โดยทั่วไประดับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 5 มก. ออกซิเจน/ล. (Boyd, 1979) ซึ่งเป็นค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (Tucker และ Ploeg, 1993) ดังรูปที่ 4.7 (ก), 4.8 (ก) และ 4.9 (ก) ตามลำดับ ส่วนค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในบริเวณชั้นดินตะกอนที่ลึกลงไป 2 ซม. ดังรูปที่ 4.7 (ข), 4.8 (ข) และ 4.9 (ข) ตามลำดับ พบว่าอยู่ในช่วง –380 ถึง -460 มิลลิโวลต์ ตลอดการทดลองทั้งในชุดดินที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศโดยสมบูรณ์จึงเหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการ

ดีไนทริฟิเคชัน (Lee และคณะ, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 ที่สามารถบำบัดไนเทรตให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ จึงไม่พบการสะสมของไนเทรตดังรูปที่ 4.4 (ค), 4.5 (ค) และ 4.6 (ค) ตามลำดับ

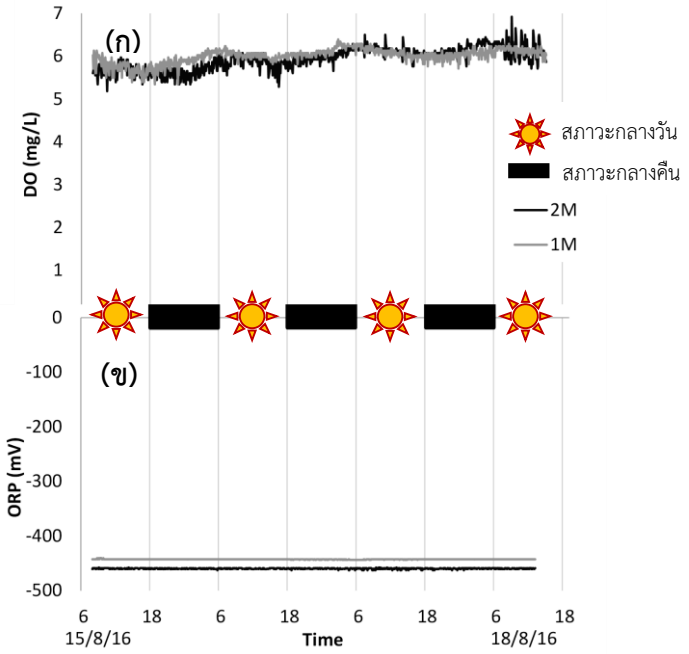
สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตลอดการทดลองนี้ทั้งในชุดดินที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จะอยู่ในช่วง 6 - 9 โดยส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 8 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของทัศนีย์ นลวชัย และคณะ (2555) ที่พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวในห้องปฏิบัติการภายใต้ระดับออกซิเจนที่สูงกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. และควบคุมพีเอชที่ 7.5 และ 8.5 จะมีร้อยละอาหารเหลือจากการกินของกุ้งขาวแวนนาไมน้อยที่สุดหลังจากทำการให้อาหารไปแล้ว 30 นาที และเป็นระดับพีเอชที่ทำให้แอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำ



รูปที่ 4.7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มในระยะเวลา 1 เดือน (1M) และ 2 เดือน (2M) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

4.3 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นแอมโมเนียและอาหารกุ้งบดระดับต่างๆ ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด

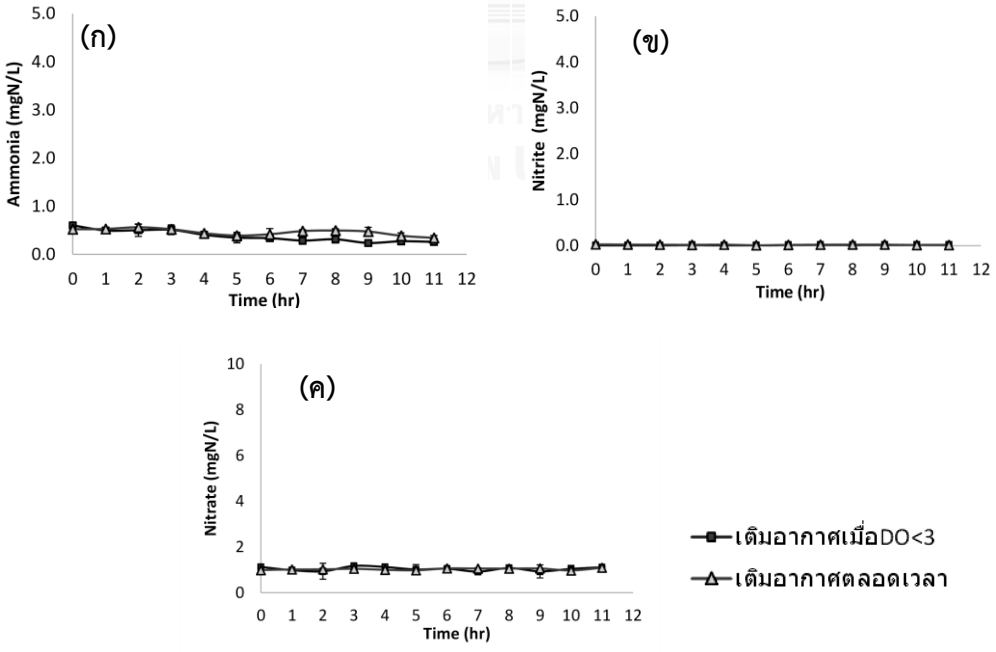
เมื่อได้ระยะเวลาในการบ่มดินที่เหมาะสมจากการทดลองช่วงที่ 2.1 แล้ว ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในสภาวะที่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะศึกษาการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. เพื่อจำลองของเสียที่จะเกิดขึ้นในระบบ ทั้งนี้การลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจะใช้อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบได้ โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ต่างๆ

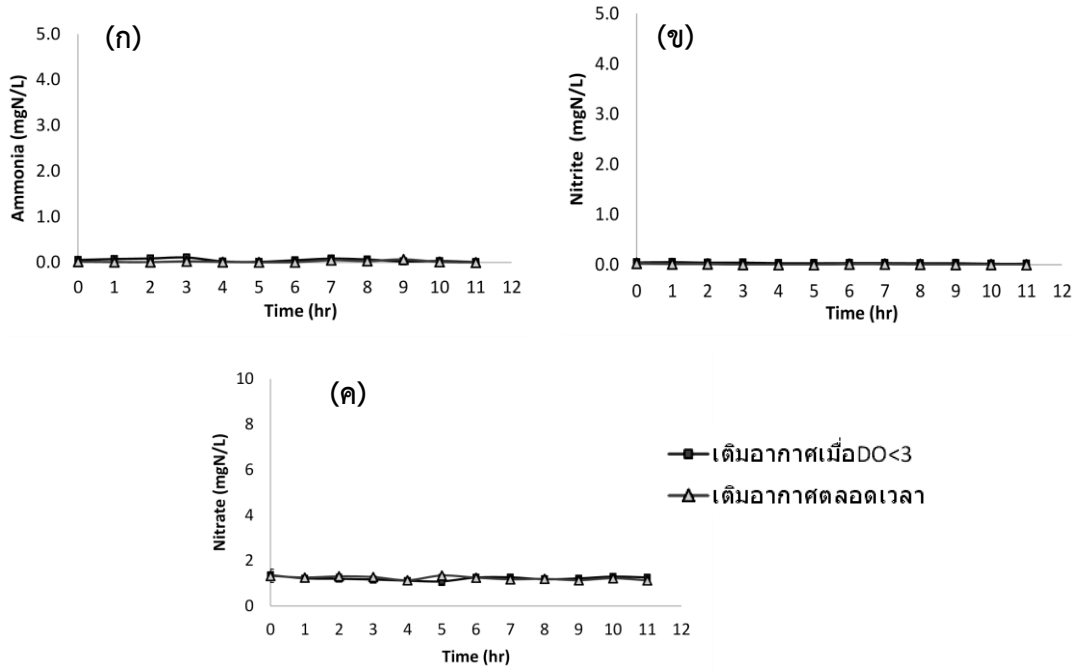
- อัตราการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.

การประเมินอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. (1.9 มก. แอมโมเนียมคลอไรด์/ล.) ลงในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. พบว่าปริมาณแอมโมเนียภายในระบบลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.10 (ก) โดยความเข้มข้นเริ่มต้นในชุดควบคุมและชุดทดลองเท่ากับ 0.524±0.027 และ 0.604±0.060 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ซึ่งลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0.343±0.049 และ 0.262±0.041 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ภายใน 11 ชม. โดยชุดทดลองมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียดีกว่าชุดควบคุม เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม AOB บางชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนจำกัดสามารถใช้ไนไทรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) หรือไนตริกออกไซด์ (NO) เช่น *Nitrosomonas eutropha* และ *Nitrosomonas europaea* (Bothe และคณะ, 2000; Schmidt และคณะ, 2003) ในขณะที่การเติมอาหารกุ้งบดจะเกิดการย่อยสลายอาหารกุ้งและค่อยๆ ปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในน้ำ ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์และ

ไนเทรตได้อย่างรวดเร็ว ทำให้พบแอมโมเนียสูงสุดในชุดควบคุมและชุดทดลองเพียง 0.066±0.036 และ 0.108±0.031 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11 (ก) โดยไม่มีการสะสมตัวของไนไทรต์ในระบบทั้งในส่วนของแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบด ดังนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. จึงเป็นความเข้มข้นที่ระบบบ่อดินสามารถรองรับได้ จึงไม่พบการสะสมตัวของไนไทรต์ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง ดังรูปที่ 4.10 (ข) และ 4.11 (ข) และในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณไนเทรตจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองซึ่งมีค่าไม่เกิน 1.092±0.054 และ 1.172±0.063 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 (ค) เนื่องจากภายในชั้นดินตะกอนเป็นบริเวณที่ไร้อากาศโดยสมบูรณ์ กระบวนการดีไนทริฟิเคชันจึงสามารถบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ตลอดเวลา เช่นเดียวกับปริมาณไนเทรตจากการเติมอาหารกุ้งบดในชุดควบคุมและชุดทดลองซึ่งมีค่าไม่เกิน 1.344±0.044 และ 1.360±0.160 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11 (ค) และพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่อคำนวณจากการเลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 38 ในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักกุ้งต่อวันในบ่อที่มีความลึก 1 เมตร จะเทียบเท่ากับการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นประมาณ 0.365 กก./ลบ.ม. (หรือเทียบเท่าผลผลิต 584 กก./ไร่)



รูปที่ 4.10 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.

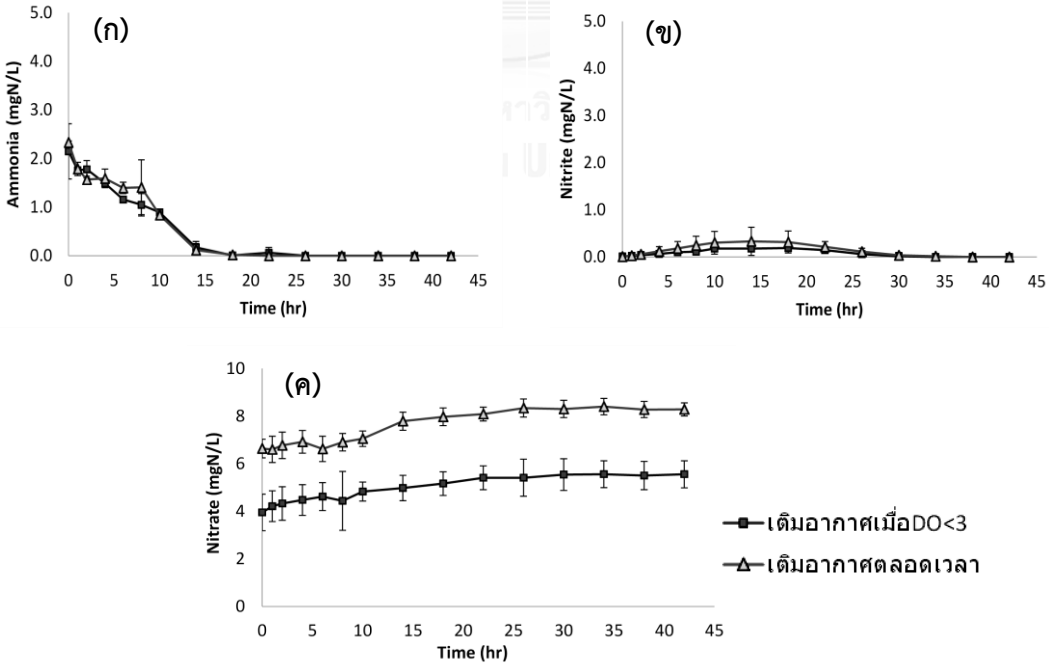


รูปที่ 4.11 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.

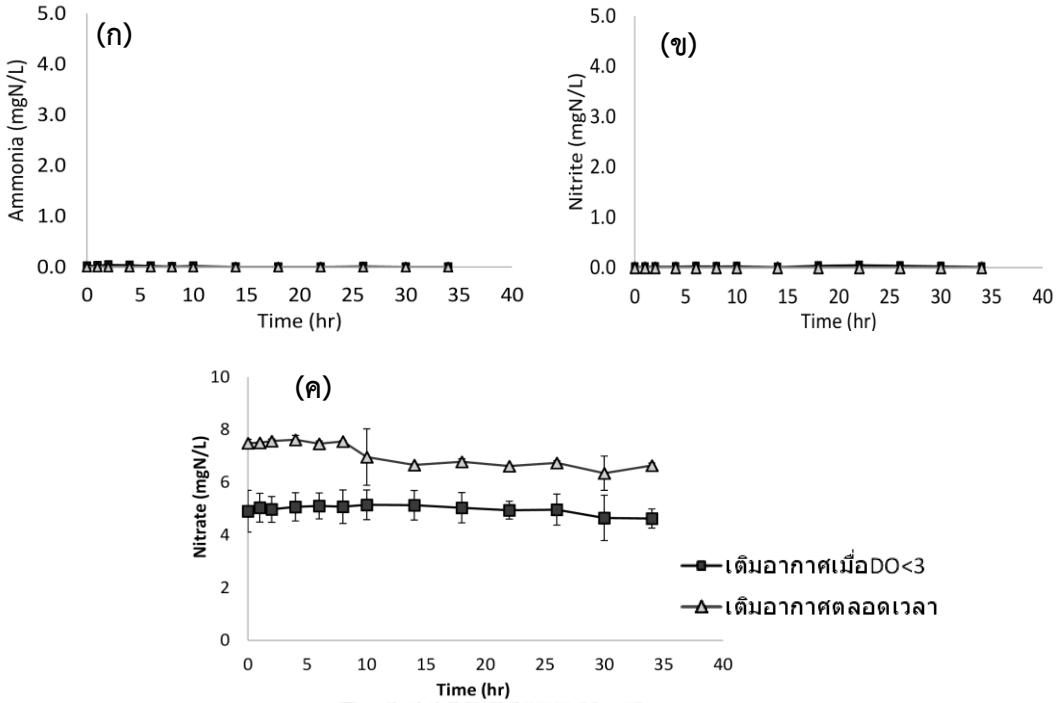
- อัตราการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจากการทดลองก่อนหน้านี้ ให้เป็น 2 มก.ไนโตรเจน/ล. (7.6 มก. แอมโมเนียมคลอไรด์/ล.) พบว่าในชุดควบคุมและชุดทดลองมีการบำบัดแอมโมเนียใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง โดยความเข้มข้นเริ่มต้นในชุดควบคุมและชุดทดลองเท่ากับ 2.331±0.032 และ 2.147±0.565 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ซึ่งแอมโมเนียจะถูกบำบัดจนหมดภายใน 18 ชม. ดังรูปที่ 4.12 (ก) ในขณะที่การเติมอาหารกุ้งบดจะไม่พบแอมโมเนียสะสมในชุดควบคุม และชุดทดลอง ซึ่งจะมีแอมโมเนียสูงสุดเพียง 0.040±0.002 มก.ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่ 4.13 (ก) จากนั้นจะพบว่ามีการสะสมตัวของไนไทรต์เกิดขึ้นทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 4.12 (ข) ซึ่งแตกต่างจากความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. ที่ไม่พบการสะสมตัวของไนไทรต์ เนื่องจากเมื่อแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไทรต์แล้วจุลินทรีย์ในกลุ่ม NOB จะนำไนไทรต์มาเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต แต่มีอัตราการเติบโตที่ช้าจึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม NOB เพิ่มจำนวนไม่ทันส่งผลให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ขึ้นในระบบ (Lawson, 1995) ซึ่งทั้งสองชุดการทดลองสามารถบัดไนไทรต์จนหมดได้ภายใน

ระยะเวลา 30 ชม. ในขณะที่ปริมาณไนไทรต์จากการเติมอาหารกุ้งบดจะไม่พบการสะสมในชุดควบคุมและชุดทดลอง ซึ่งจะมีไนไทรต์สูงสุดเพียง 0.048±0.017 มก.ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่ 4.13 (ข) และในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณไนเทรตพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบด ดังรูปที่ 4.12 (ค) และ 4.13 (ค) ตามลำดับ เพราะภายในชั้นดินตะกอนเป็นบริเวณที่ไร้อากาศโดยสมบูรณ์ จึงสามารถบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ตลอดเวลา แต่พบว่ามีค่าแตกต่างกันเพราะอาจเป็นไปได้ว่าในสภาวะการเติมอากาศตลอดเวลาจะส่งผลต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจึงทำให้การบำบัดไนเทรตในชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม และพบว่าในชุดทดลองที่มีการเติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. มีปริมาณไนเทรตสะสมอยู่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kodata และคณะ (1983) ที่ทำการบำบัดน้ำในทะเลสาบโดยอาศัยจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น ไนทริไฟอิงแบคทีเรียและดีไนทริไฟอิงแบคทีเรีย พบว่าการให้อากาศแบบเป็นระยะสามารถบำบัดน้ำได้ดีกว่าการให้อากาศตลอดเวลา และของเสียที่เกิดขึ้นในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่อคำนวณจากการเลี้ยงกุ้งที่ให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 38 ในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักกุ้งต่อวันในบ่อที่มีความลึก 1 ม. จะเทียบเท่ากับการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นประมาณ 1.46 กก./ลบ.ม. (หรือเทียบเท่าผลผลิต 2,336 กก./ไร่)



รูปที่ 4.12 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.13 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

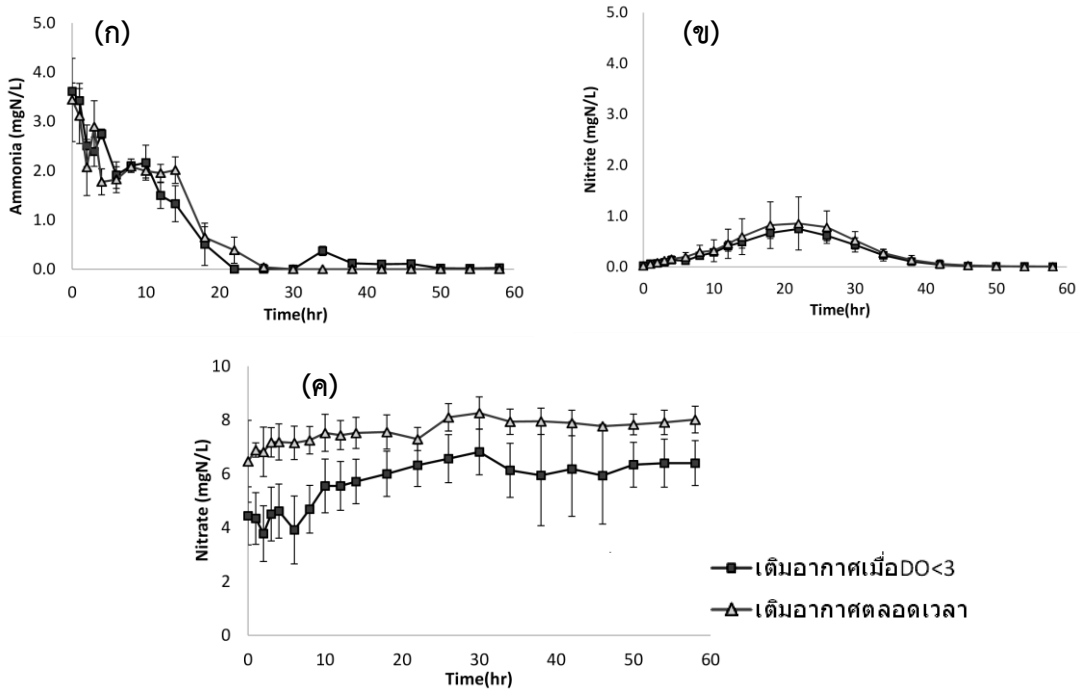
- อัตราการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์เป็น 3 มก.ไนโตรเจน/ล. (11.38 มก.แอมโมเนียมคลอไรด์/ล.) พบว่าปริมาณแอมโมเนียทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองลดลงอย่างต่อเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้น 3.437±0.847 และ 3.609±0.171 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และถูกบำบัดจนหมดภายใน 22 ชม. ซึ่งเห็นได้ว่าจะใช้เวลาในการบำบัดแอมโมเนียนานกว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ประมาณ 4 ชม. ดังรูปที่ 4.15 (ก) แต่ในส่วนของปริมาณแอมโมเนียจากการเติมอาหารกุ้งบดพบว่าในชุดควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลามีปริมาณแอมโมเนียสะสมมากกว่าในชุดทดลองที่เติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. ดังรูปที่ 4.16 (ก) จากนั้นจะพบว่ามีการสะสมตัวของไนไทรต์เกิดขึ้นทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 4.15 (ข) เนื่องมาจากแอมโมเนียที่ลดลงถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. แต่

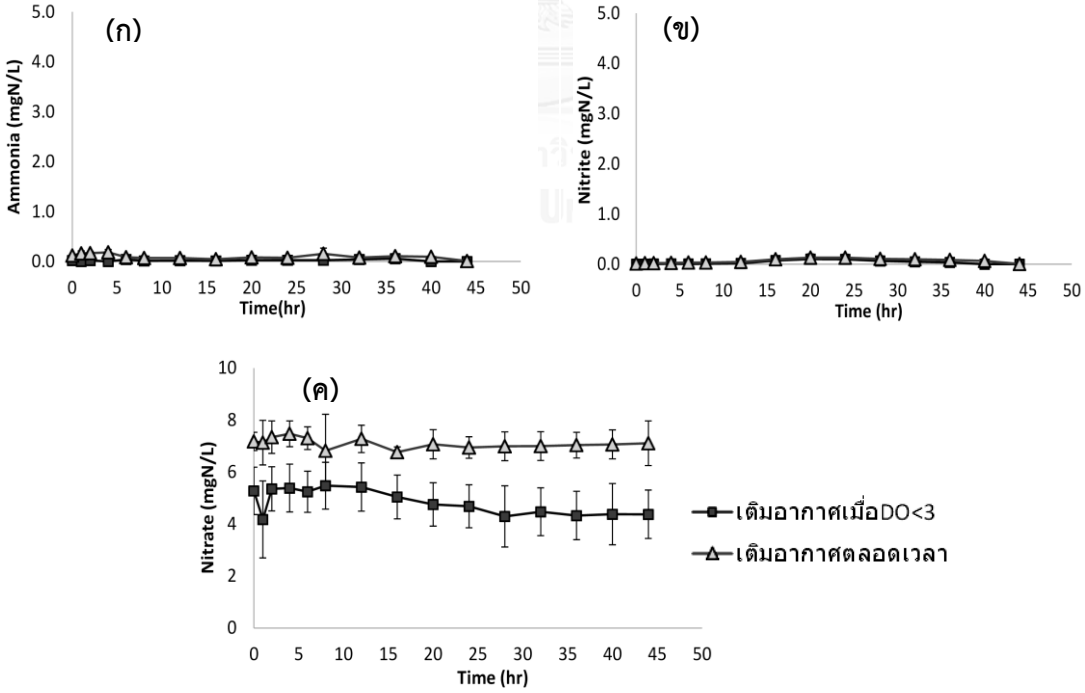
จะมีการสะสมในระดับที่สูงกว่าจนเกือบถึง 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และด้วยความเข้มข้นเริ่มต้นที่สูงถึง 3 มก.ไนโตรเจน/ล. การเติมอากาศแค่บางช่วงเวลาอาจไม่เพียงพอต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เกินความสามารถในการบำบัดได้ด้วยกระบวนการตามธรรมชาติของผิวดิน โดยทั้งสองชุดการทดลองสามารถบำบัดไนไทรต์จนหมดได้ภายในระยะเวลา 45 ชม. ในขณะที่ปริมาณไนไทรต์จากการเติมอาหารกุ้งบดก็พบการสะสมตัวเช่นกันทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง แต่จะพบการสะสมในปริมาณน้อยกว่า ดังรูปที่ 4.16 (ข) ในส่วนของปริมาณไนเทรตพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองเช่นเดียวกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่ 4.15 (ค) และ 4.16 (ค) ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในส่วนนี้พบว่ามีรอยแยกบริเวณผิวดินเกิดขึ้น (ดังรูปที่ 4.14) ซึ่งน่าจะเกิดจากกระบวนการดีไนทริฟิเคชันที่ไนเทรตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะดันผ่านชั้นดินและระเหยออกสู่บรรยากาศจึงไม่พบการสะสมของปริมาณไนเทรตในระบบ

รูปที่ 4.14 รอยแตกบริเวณผิวดินที่เกิดขึ้นจากก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในชั้นดิน

ผลการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดของระบบบ่อดินที่จะมีความสามารถในการรองรับปริมาณของเสียไนโตรเจน (Carrying capacity) ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น โดยพบว่าระบบบ่อดินจำลองไม่สามารถบำบัดของเสียไนโตรเจนที่มีความเข้มข้น 3 มก.ไนโตรเจน/ล. ได้ในเวลา 1 วัน ซึ่งเมื่อคำนวณจากการเลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 38 ในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักกุ้งต่อวันในบ่อที่มีความลึก 1 ม. จะเทียบเท่ากับการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นประมาณ 2.19 กก./ลบ.ม. หรือ 3,504 กก./ไร่



รูปที่ 4.15 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.



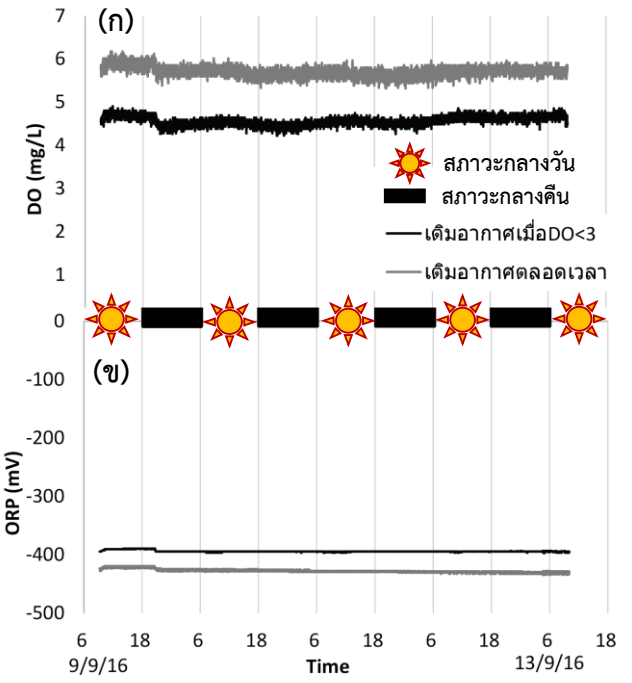
รูปที่ 4.16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.

4.3.2 ผลของการจัดการออกซิเจนในระบบบ่อดินจำลองต่อกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน

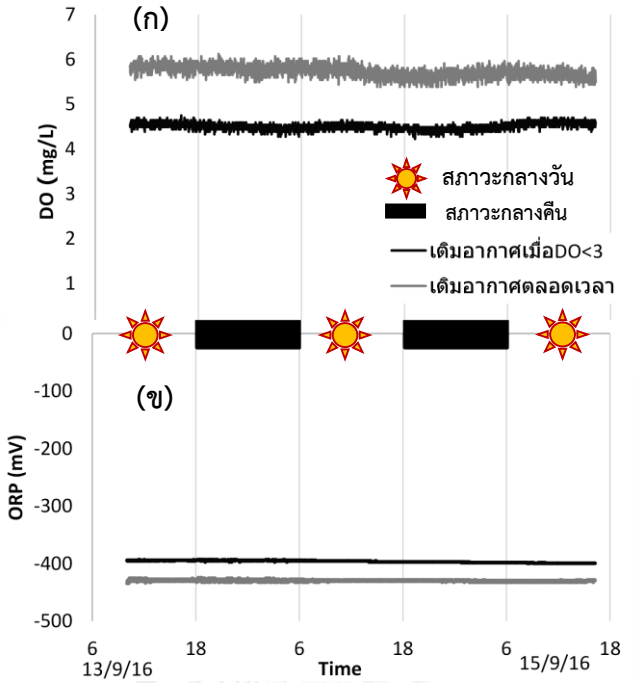
จากการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายในระบบที่ความเข้มข้น 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 4.17 (ก), 4.19 (ก) และ 4.21 (ก) ตามลำดับ และจากการเติมอาหารกุ้งบด ดังรูปที่ 4.18 (ก), 4.20 (ก) และ 4.22 (ก) ตามลำดับ พบว่าในชุดควบคุมมีปริมาณออกซิเจนมากกว่า 5 มก.ออกซิเจน/ล. ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มไนทริฟายเออร์ โดยจากการรายงานของชลธิชา พลายชุม (2553) ระบุว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าประมาณ 1 มก.ออกซิเจน/ล. ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนนี้ที่อัตราการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนไทรต์สามารถเกิดขึ้นได้จากการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าว และพบว่าชุดทดลองที่มีการเติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. ไม่มีการลดลงของปริมาณออกซิเจนแต่อย่างใด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. จะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงในช่วงแรกและสามารถคืนสู่สภาวะปกติได้เมื่อเวลาผ่านไปจากการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนก์พืชในช่วงเวลาที่มีแสง (กลางวัน) แต่จะใช้ระยะเวลาในการคืนสภาพต่างกัน กล่าวคือที่ความเข้มข้น 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์จะทำให้ปริมาณออกซิเจนสามารถคืนสู่สภาวะปกติได้ภายใน 30 และ 56 ชม. ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. จากการเติมอาหารกุ้งบดจะทำให้ปริมาณออกซิเจนสามารถคืนสู่สภาวะปกติได้ในเวลาใกล้เคียงกันคือประมาณ 80 ชม.

ในส่วนของการติดตามค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ภายในดินตะกอนพื้นบ่อจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่ 4.17 (ข), 4.19 (ข) และ 4.21 (ข) ตามลำดับ และจากการเติมอาหารกุ้งบด ดังรูปที่ 4.18 (ข), 4.20 (ข) และ 4.22 (ข) ตามลำดับ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง -380 ถึง -450 มิลลิโวลต์ ตลอดการทดลอง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยจะสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของการบำบัดไนเทรตข้างต้นที่พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากเกิดการบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ตลอดเวลา

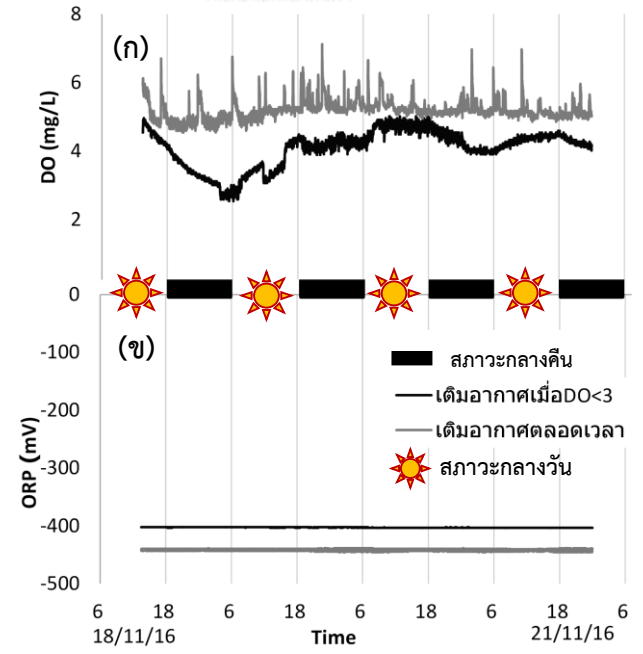
สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มไนทริฟายเออร์จะอยู่ในช่วง 6-9 (Lawson, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองที่มีค่าประมาณ 8 และเนื่องจากกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผลิตกรด (Wheaton, 1977) การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตจะสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้ และไบคาร์บอเนตจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของไนทริไฟอิงแบคทีเรีย จึงต้องรักษาระดับค่าความเป็นด่างให้มีค่าประมาณ 150 มก./ล. ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตก่อนเริ่มทำการทดลอง ซึ่งจากการรายงานของ Hart และ O'sullivan (1993) กล่าวว่าไนทริไฟเออร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดแอมโมเนียเมื่อมีสภาพความเป็นด่างไม่น้อยกว่า 100 มก./ล. การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณที่เหมาะสมจึงสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำได้



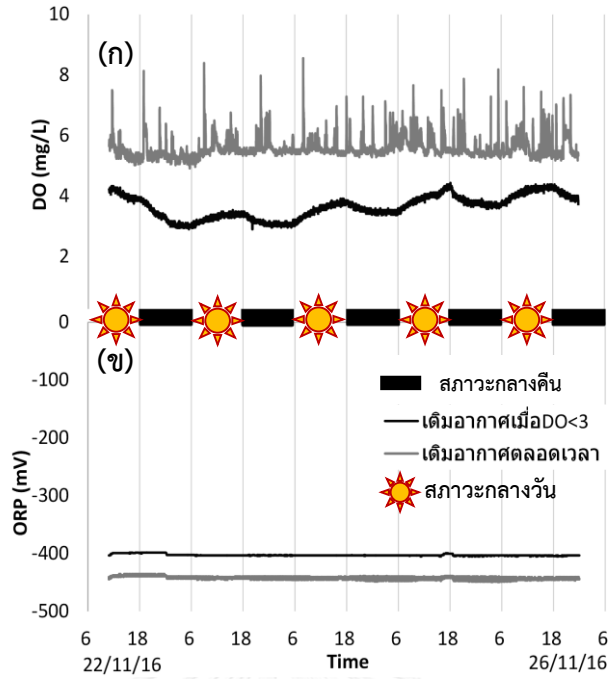
รูปที่ 4.17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.



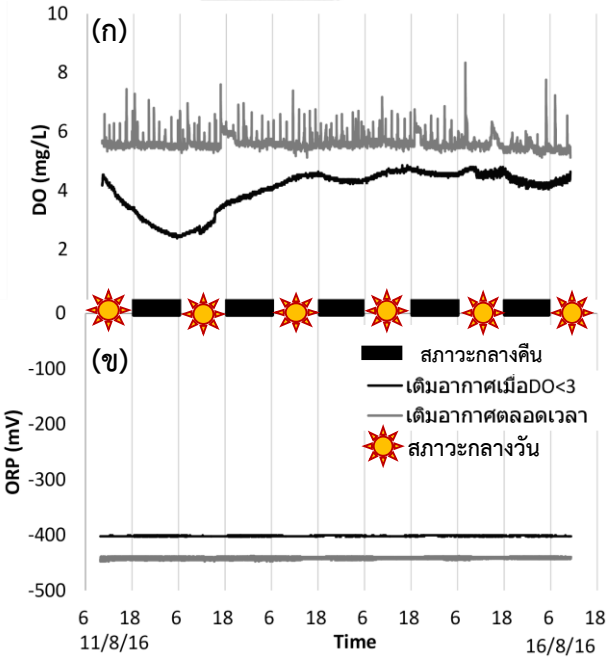
รูปที่ 4.18 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.



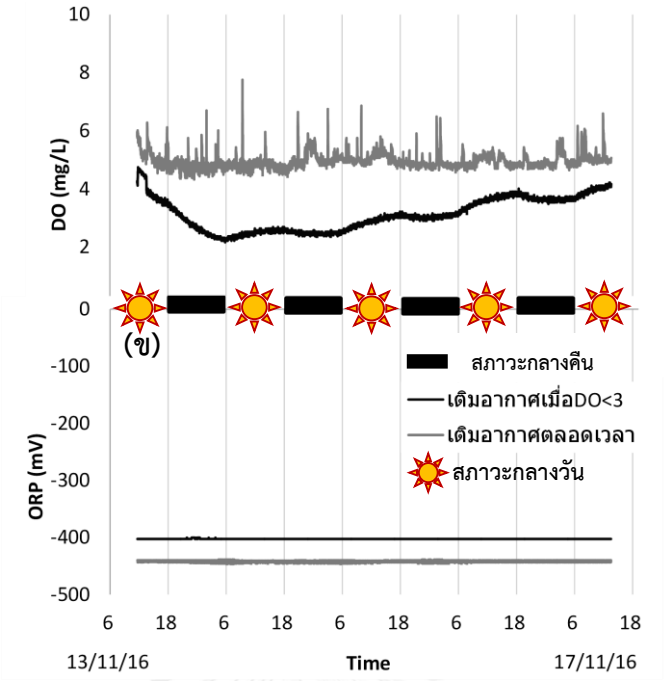
รูปที่ 4.19 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.20 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.21 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4.22 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.

4.4 ผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดินจำลอง

จากการประเมินการใช้ปริมาณออกซิเจนในระบบจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ร่วมกับการศึกษากระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันภายในบ่อดินจำลอง โดยติดตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) บริเวณใกล้ผิวดินตลอดเวลา ซึ่งผลของการเติมกากน้ำตาลในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนภายในระบบอย่างเห็นได้ชัด โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

4.4.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยการเติมกากน้ำตาลในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน

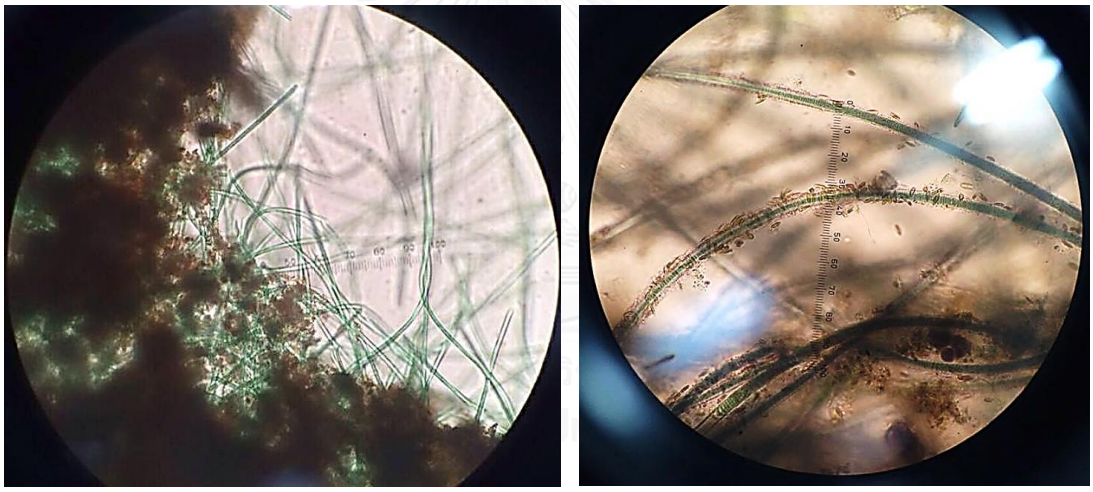
ในการวิเคราะห์สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมอาหารกุ้งบดเพื่อทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จากชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วนต่างๆ คือ 0.0125, 0.025, 0.0625 และ 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมกากน้ำตาล 20, 40, 100 และ 140 ล./ไร่) ทั้งในชุดที่ไม่เติมอากาศ เติมอากาศเมื่อ

ปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 4 มก./ล. และเติมอากาศตลอดเวลา พบว่าไม่มีการสะสมของแอมโมเนียทั้ง 4 อัตราส่วน ดังรูปที่ 4.25 (ก) 4.26 (ก) 4.27 (ก) 4.28 (ก) และ 4.29 (ก) ตามลำดับ อาจเป็นไปได้ว่าการบำบัดโดยไนทริไฟอิงแบคทีเรียในกระบวนการไนทริฟิเคชันของผิวดินที่ผ่านการบ่มมาแล้วล่วงหน้า มีความพร้อมที่จะบำบัดแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไทรต์และไนเทรต จึงไม่พบการสะสมของปริมาณไนไทรต์ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองดังรูปที่ 4.25 (ข) 4.26 (ข) 4.27 (ข) 4.28 (ข) และ 4.29 (ข) และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในดินตะกอนชั้นล่างที่ขาดออกซิเจนสามารถบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ตลอดเวลา จึงไม่พบการสะสมของปริมาณไนเทรตเช่นกัน ดังรูปที่ 4.25 (ค) 4.26 (ค) 4.27 (ค) 4.28 (ค) และ 4.29 (ค) ตามลำดับ

นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชที่ตรวจพบในน้ำและที่ผิวดิน (ดังรูปที่ 4.23) ยังมีส่วนช่วยในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้งในรูปของแอมโมเนียและไนเทรต จากการดูดซึมไนโตรเจนเหล่านี้เข้าสู่เซลล์เพื่อสร้างมวลชีวภาพผ่านขั้นตอนไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน (Nitrogen assimilation) (มะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข (2555) ; Jangrassa และคณะ (2007)) โดยเมื่อนำคราบสิ่งมีชีวิตที่พบเกาะติดอยู่บริเวณด้านข้างตู้กระจกไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถพบได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม และไดอะตอมขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวีรานุช ปลื้มทรัพย์ และคณะ (2554) ที่พบว่ามีไซยาโนแบคทีเรียเกิดขึ้นมากตลอดระยะเวลาในการศึกษาในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่ความเค็มต่ำ ซึ่งไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชในระบบแต่อย่างใด จึงสอดคล้องกับค่าพีเอชในระบบการทดลองที่มีค่าประมาณ 8 ตลอดการทดลอง และพบว่าบริเวณโดยรอบของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีไดอะตอมเกาะอยู่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นไดอะตอมที่อยู่ตามพื้นดิน โคลน และเกาะอยู่กับวัสดุในน้ำหรือพันธุ์ไม้น้ำ จึงจัดเป็นพวกไดอะตอมหน้าดิน (Benthic diatom) (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2554) จึงอาจกล่าวได้ว่าการลดลงของแอมโมเนียอาจไม่เกี่ยวข้องกับการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน แต่อาจส่งผลต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และชี้ให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชที่พบในน้ำและที่ผิวดินในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมีส่วนอย่างมากในการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ในการเจริญเติบโตเพื่อสร้างมวลชีวภาพ

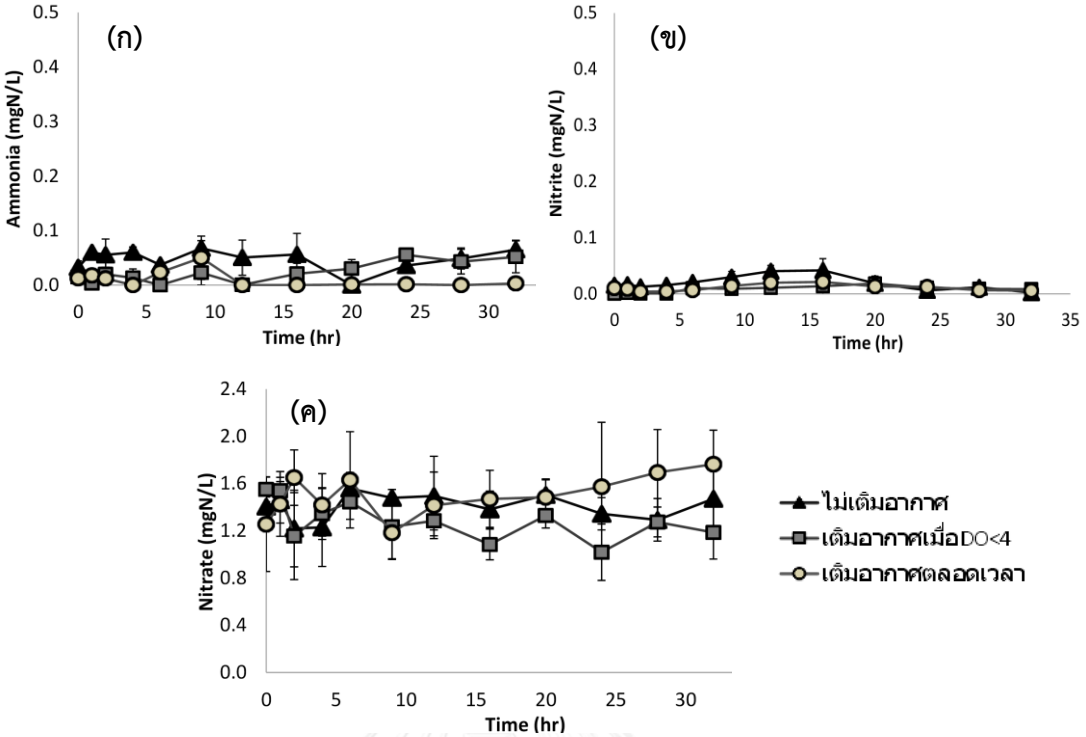
(ด้านข้างตู้กระจก) (ด้านบนผิวดิน)

รูปที่ 4.23 แพลงก์ตอนพืชที่ตรวจพบในบริเวณข้างตู้กระจกและที่ผิวดิน

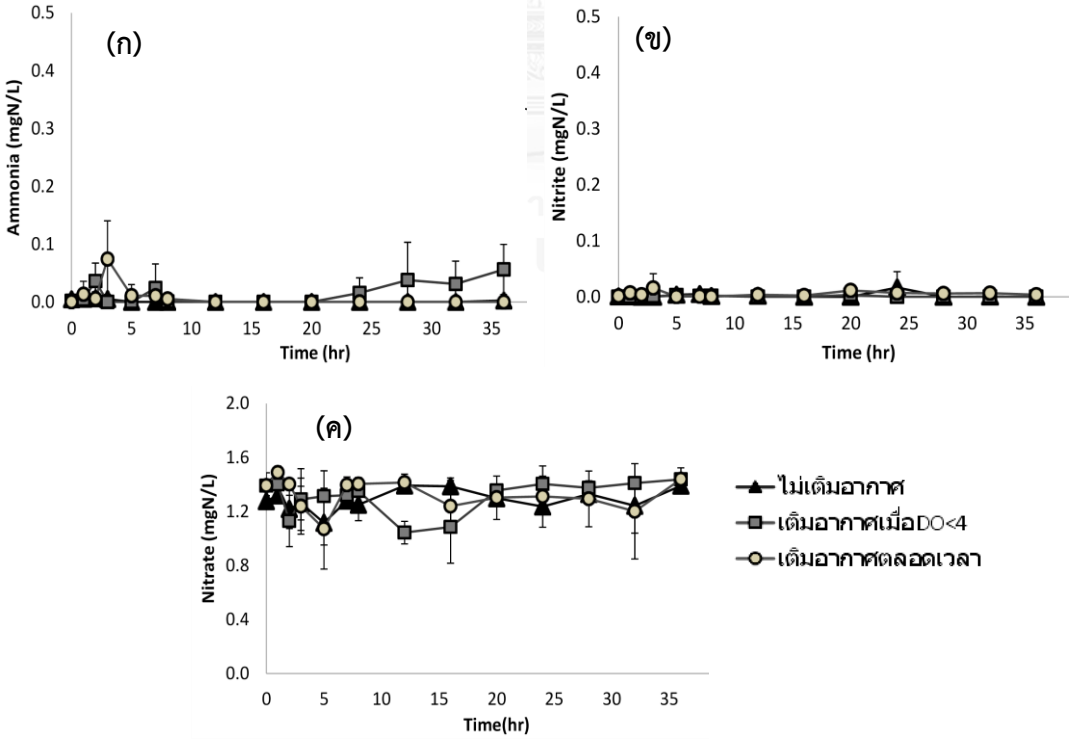


(กำลังขยาย 100 เท่า) (กำลังขยาย 400 เท่า)

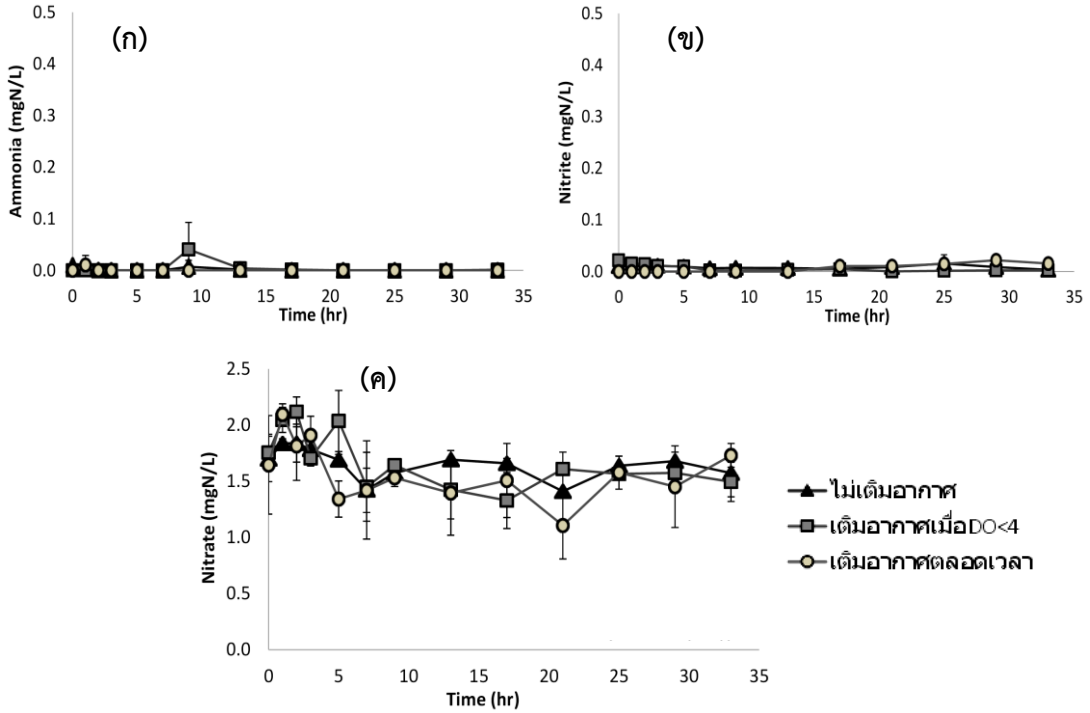
รูปที่ 4.24 สิ่งมีชีวิตที่พบเกาะอยู่ด้านข้างตู้กระจกและที่พื้นดินในระบบบ่อดินจำลอง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 400 เท่า



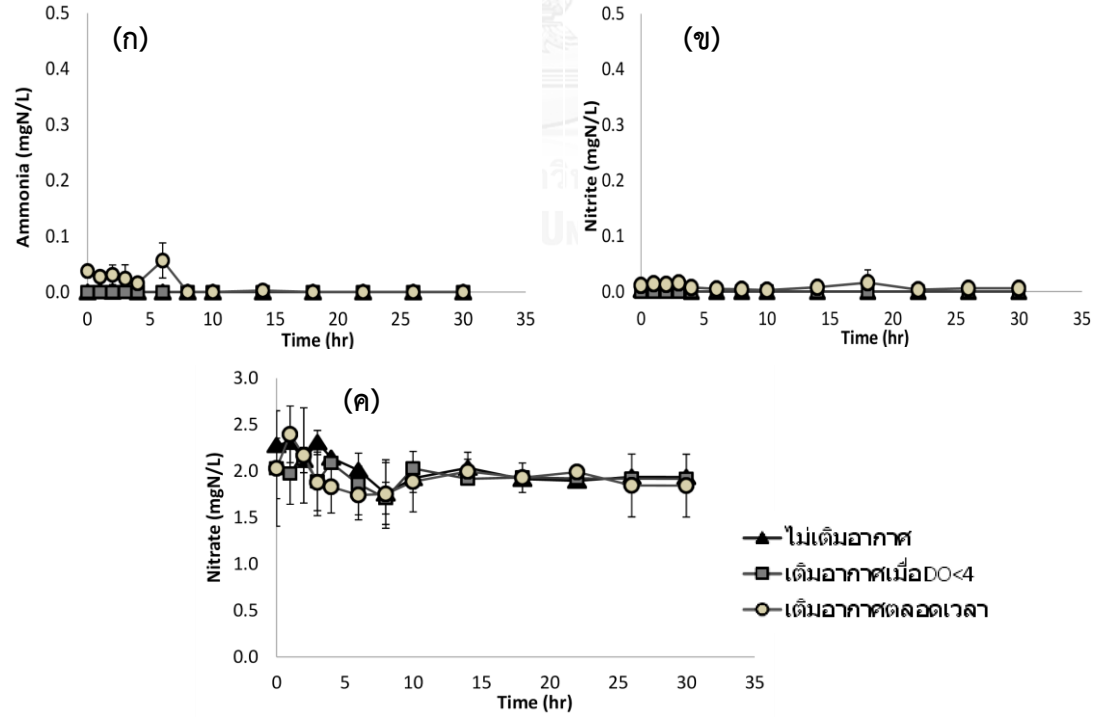
รูปที่ 4.25 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล



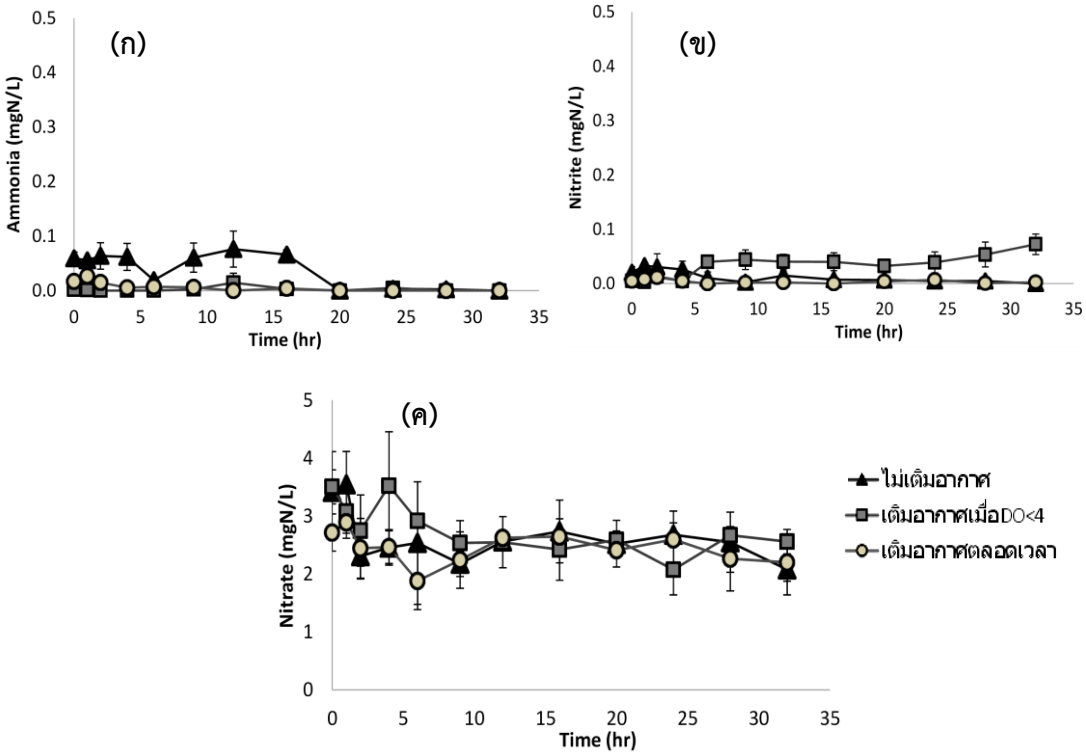
รูปที่ 4.26 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่)



รูปที่ 4.27 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่)



รูปที่ 4.28 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่)



รูปที่ 4.29 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่)

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเติมกากน้ำตาลในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน

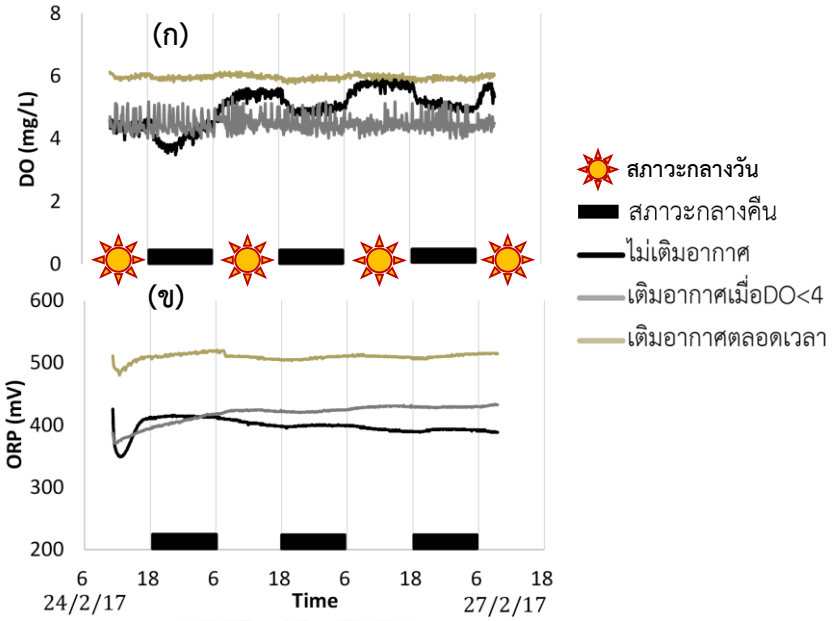
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.32 (ก) 4.33 (ก) 4.34 (ก) และ 4.35 (ก) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเติมกากน้ำตาลจะส่งผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตามสัดส่วนการเติมกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลจนถึงประมาณ 140 ล./ไร่ (ดังรูปที่ 4.35 (ก)) จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำเข้าใกล้ศูนย์ภายในเวลา 19 ชม. ในสภาวะที่ไม่เติมอากาศ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (Boyd, 1979) แต่หลังจากนั้นออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นได้จากการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายตามธรรมชาติในช่วงเวลาที่มีแสง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล (ดังรูปที่ 4.31 (ก)) พบว่าออกซิเจนในน้ำตามธรรมชาติจะเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (Tucker และ Ploeg, 1993) และจากการศึกษาของทัศนีย์ นลวชัย และคณะ (2555) พบว่าระดับออกซิเจนต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมในระดับออกซิเจนที่ต่ำกว่า 4 มก. ออกซิเจน/ล. (พีพีเอ็ม) ทำให้กุ้งกินอาหารได้ไม่ดี และมีปริมาณอาหารเหลือตกค้างภายในบ่อซึ่งจะมีผลในการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับน้ำ และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไทรต์และต่อไปเป็นไนเทรต ดังนั้นการเติมอากาศโดย

อัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการควบคุมสภาวะในบ่อดินสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

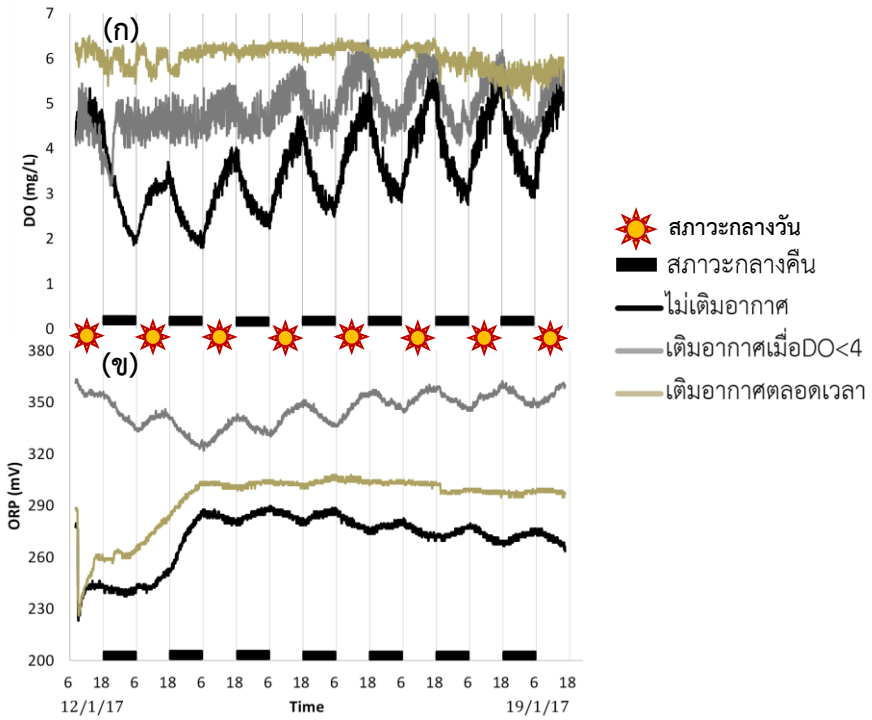
ในส่วนของค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) บริเวณใกล้ผิวดินทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองจะลดลงในช่วงแรกและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.31 (ข) 4.32 (ข) 4.33 (ข) 4.34 (ข) และ 4.35 (ข) ตามลำดับ และการเติมกากน้ำตาลจะส่งผลให้สีของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลสีของน้ำยังคงปกติดังรูปที่ 4.30 (ขวา) แต่เมื่อมีการเติมกากน้ำตาลลงในถังปฏิกรณ์พบว่าสีของน้ำมีความเข้มขึ้นดังรูปที่ 4.30 (ซ้าย) ดังนั้นการเติมกากน้ำตาลในบ่อกุ้งจำลองนี้จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณออกซิเจนอย่างชัดเจน หากไม่มีระบบเติมอากาศก็จะมีความเสี่ยงที่ออกซิเจนในน้ำจะลดลงต่ำจนส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำในบ่อ และยังชี้ให้เห็นว่าการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในน้ำและที่ผิวดินในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มีส่วนในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนคืนให้แก่ระบบในช่วงเวลากลางวัน

ชุดทดลอง (เติมกากน้ำตาล)　　ชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาล)

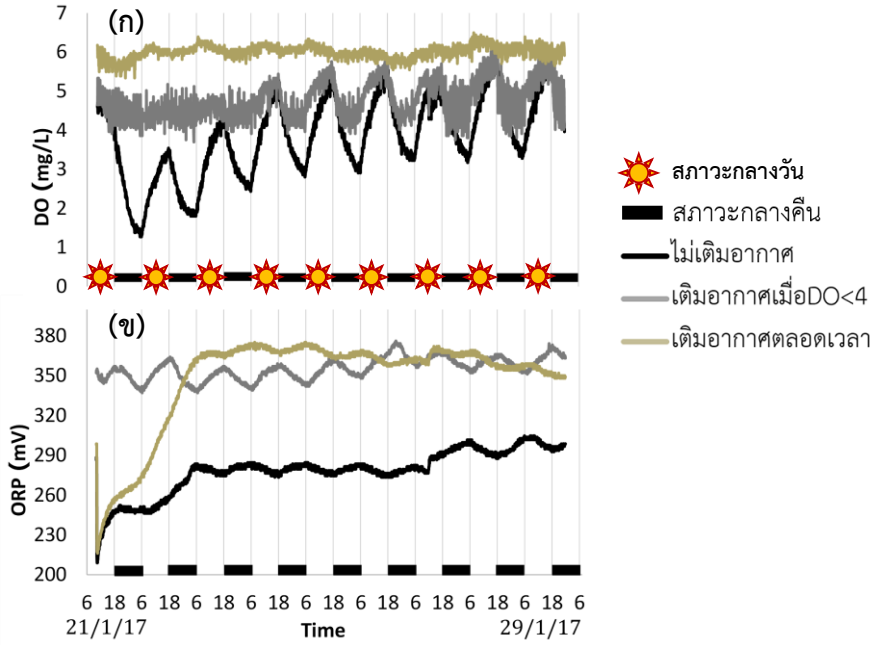
รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำในชุดทดลองและชุดควบคุม



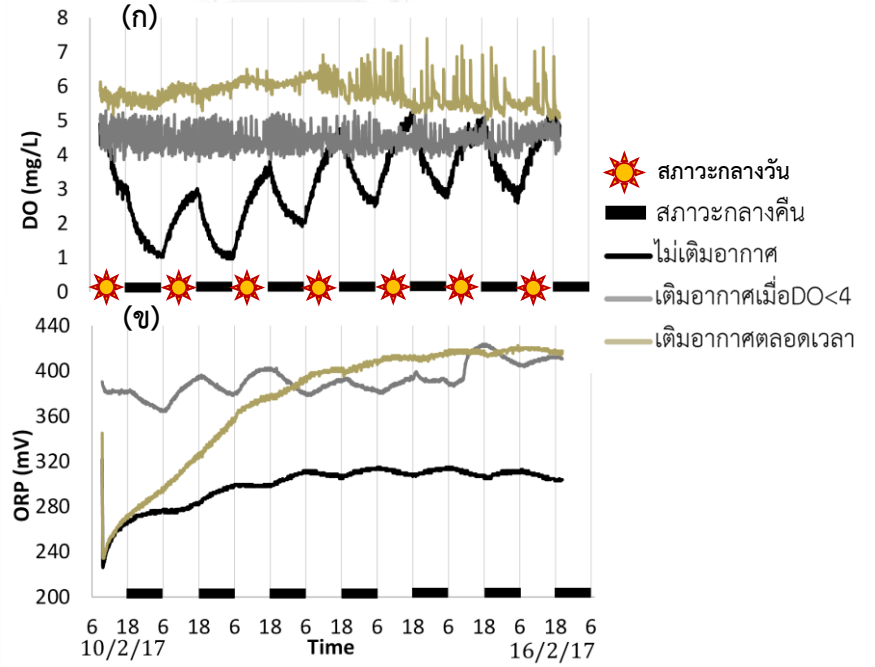
รูปที่ 4.31 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน ในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล



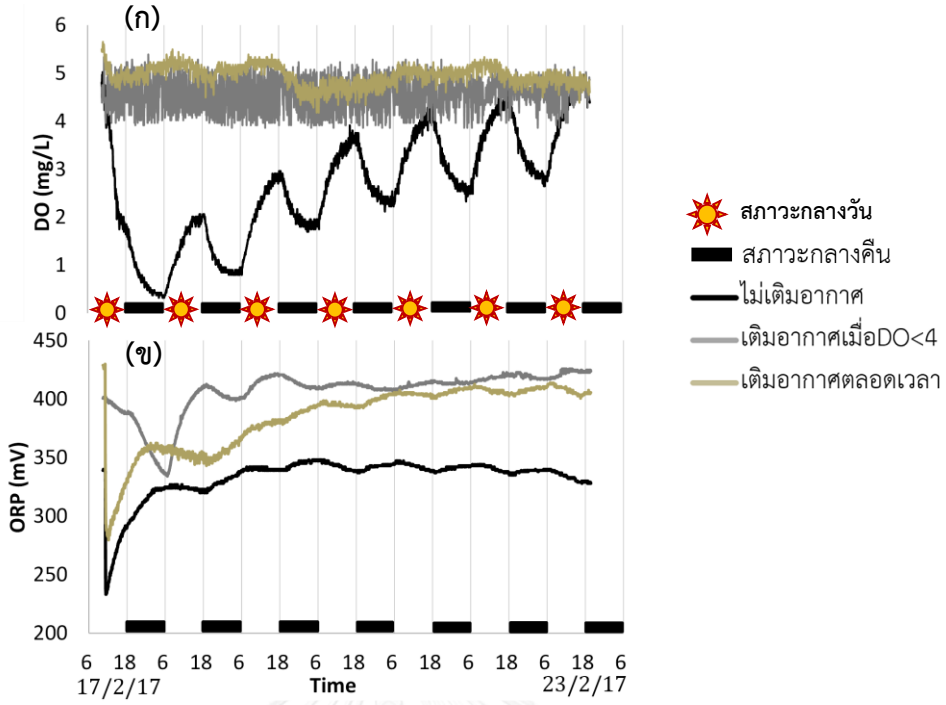
รูปที่ 4.32 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่)



รูปที่ 4.33 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่)



รูปที่ 4.34ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาลอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่)



รูปที่ 4.35 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในสภาวะที่มีการเติมอากาศต่างกัน จากชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาล อัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่)

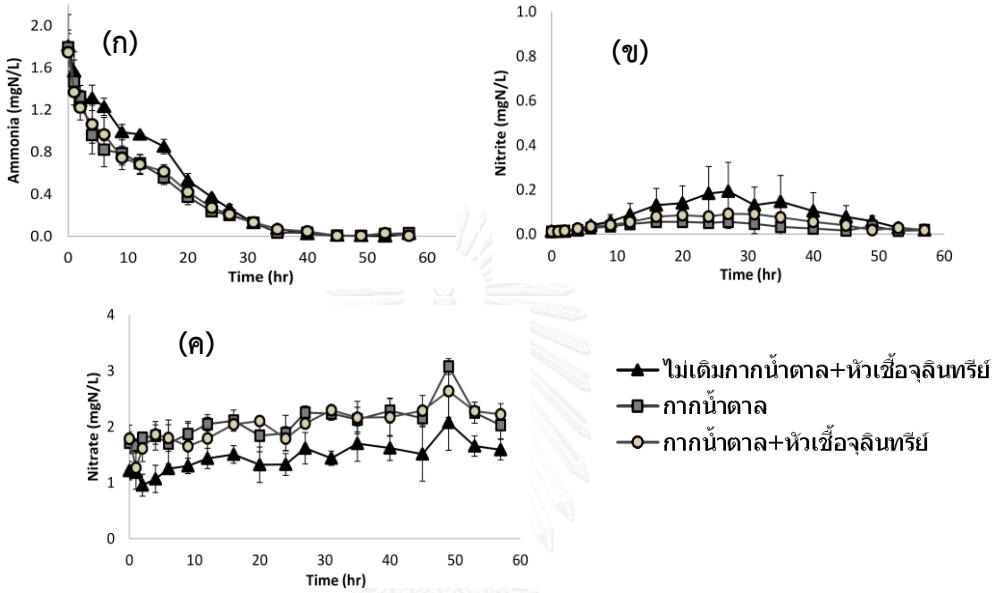
4.5 ผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดิน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนร่วมกับการเติมอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. โดยเติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 และ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. และแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์) ชุดทดลองที่ 1 (เติมกากน้ำตาล) และชุดทดลองที่ 2 (เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์) เพื่อประเมินการบำบัดของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นร่วมกับการประเมินผลของการใช้ออกซิเจนและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบ โดยมีผลการทดลองดังนี้

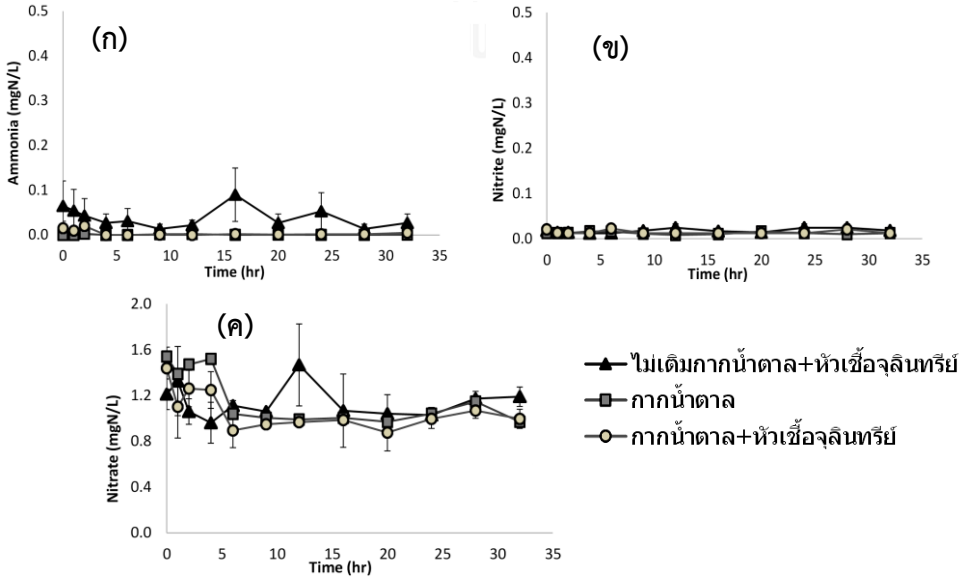
4.5.1 การบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

เมื่อทดลองเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. พบว่าปริมาณแอมโมเนียทั้งในชุดควบคุม ชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 ลดลงอย่างต่อเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้น 1.811±0.295, 1.793±0.166 และ 1.747±0.178 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และทุกชุดการทดลองจะถูกบำบัดจนหมดภายใน 35 ชม. จากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) (ดังรูปที่ 4.36 (ก)) จากนั้นจะพบว่าไนไทรต์ของทั้งสามชุดการทดลองเกิดการสะสมเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังรูปที่ 4.36 (ข)) ในส่วนของปริมาณไนเทรตพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในชุดควบคุม ชุดทดลองที่ 1 และ ชุดทดลองที่ 2 แต่ในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์จะมีปริมาณไนเทรตสะสมน้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนทริไฟเออร์ที่อยู่ภายในดินตะกอนสามารถบำบัดไนเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการตามธรรมชาติโดยปราศจากกากน้ำตาลหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ดังรูปที่ 4.36 (ค)) และเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. พบว่าในชุดควบคุม ชุดทดลองที่ 1 และ ชุดทดลองที่ 2 มีการบำบัดแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรูปที่ 4.37 (ก) 4.37 (ข) และ 4.37 (ค) ตามลำดับ เนื่องจากสารอินทรีย์จากอาหารกุ้งจะใช้เวลาในการย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนีย (Ammonification) โดยแอมโมเนียและไนไทรต์ที่เกิดขึ้นจะถูกบำบัดได้โดยไนทริไฟอิงแบคทีเรียในกระบวนการไนทริฟิเคชัน จากนั้นพบว่าปริมาณไนเทรตคงที่ไม่เกิน 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง เพราะถูกบำบัดด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชันได้ตลอดเวลาจากดินตะกอนพื้นบ่อที่เป็นบริเวณไร้อากาศใต้ชั้นผิวดินลงไป เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. เพื่อต้องการให้เห็นถึงการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งพบว่าปริมาณแอมโมเนียจากชุดควบคุม ชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 ลดลงอย่างต่อเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้น 3.570±0.090, 4.294±0.295 และ 3.657±0.188 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และทุกชุดการทดลองแอมโมเนียจะถูกบำบัดจนหมดภายใน 40 ชม. ซึ่งเป็นการบำบัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังรูปที่ 4.38 (ก)) เช่นเดียวกับไนไทรต์ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยพบว่ามีการสะสมเนื่องมาจากแอมโมเนียที่ลดลงถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์จากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม AOB (ดังรูปที่ 4.38 (ข)) ในส่วนของปริมาณไนเทรตพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองเช่นเดียวกับความเข้มข้น

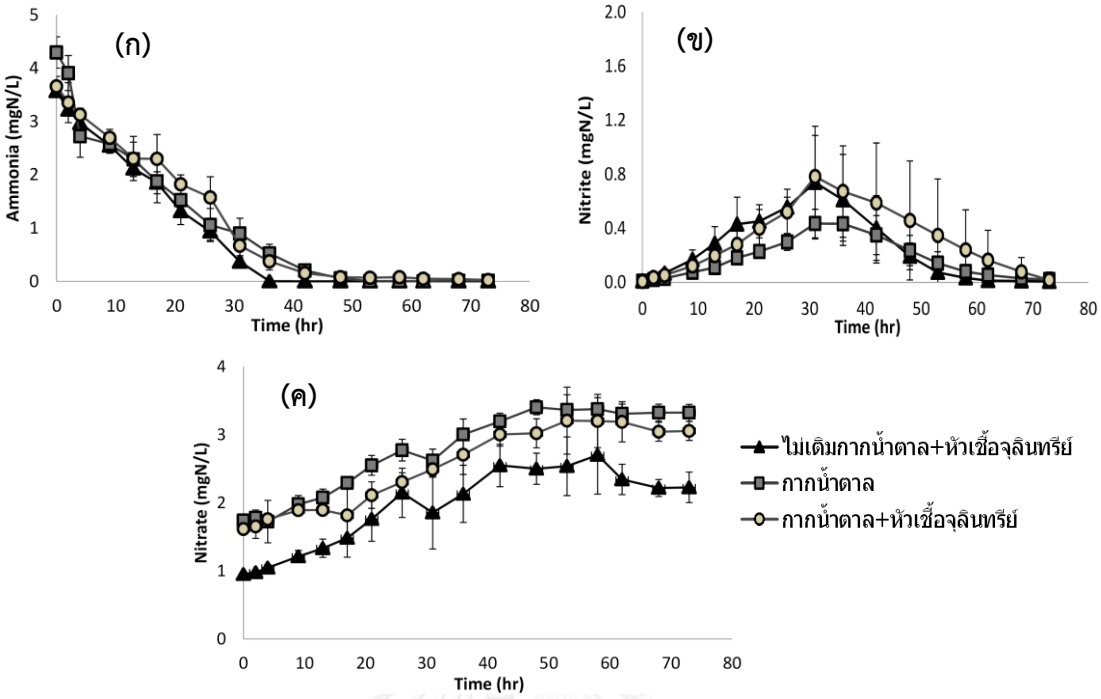
แอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. (ดังรูปที่ 4.38 (ค)) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวารุณี แซ่เอี๊ย และคณะ (2549) ที่ทำการศึกษาผลของการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus sp.* ต่อคุณภาพน้ำในบ่อดินที่ความเค็มต่ำ ซึ่งพบว่าคุณภาพน้ำเฉลี่ยระหว่างบ่อที่ใช้จุลินทรียและบ่อที่ไมใชจุลินทรียมีคุณสมบัติของน้ำทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งและไมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.36 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4.37 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์



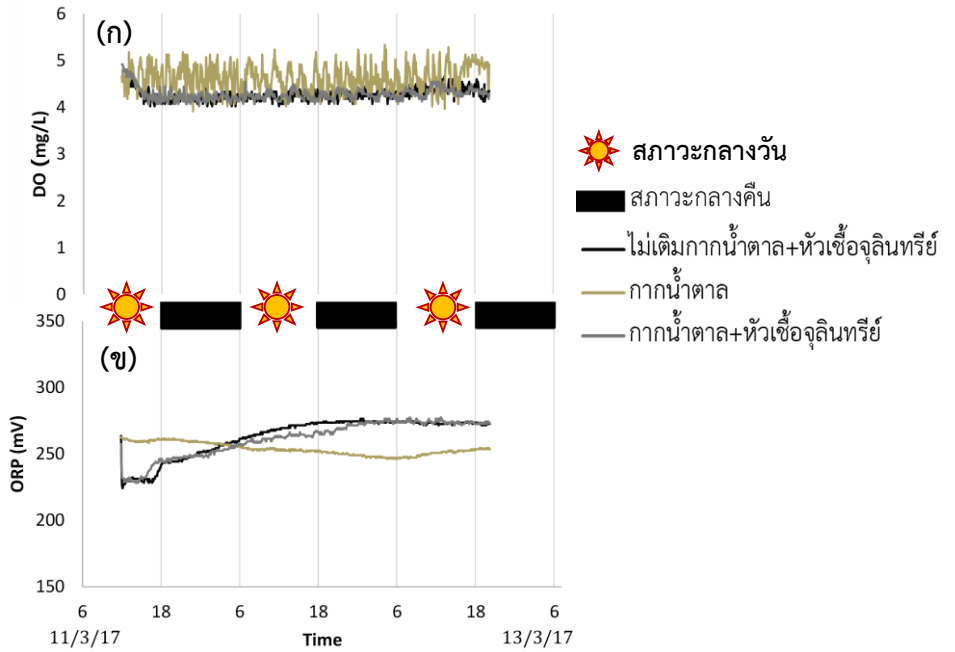
รูปที่ 4.38 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

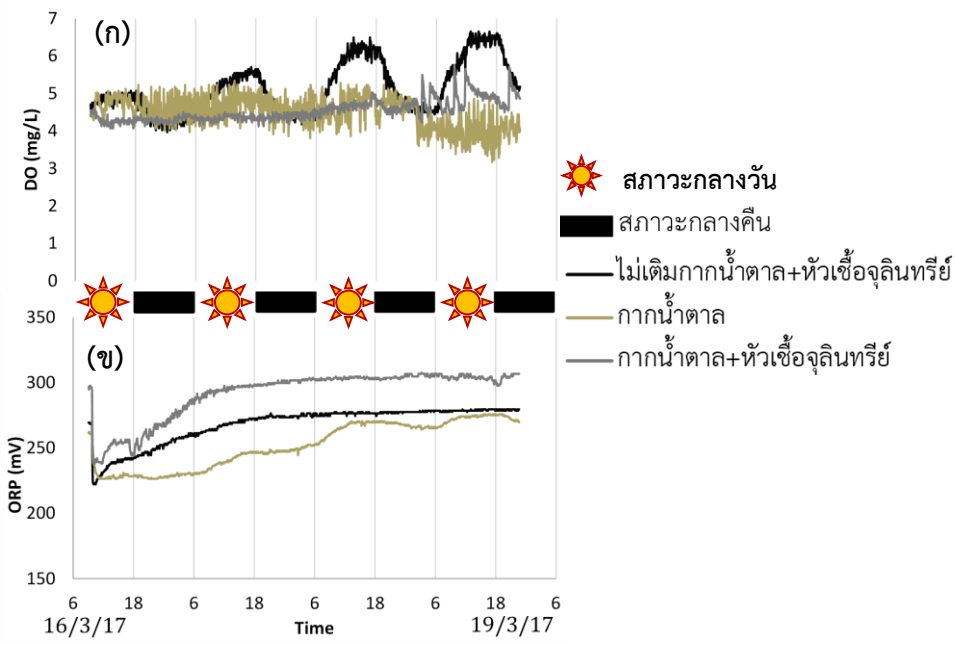
จากการติดตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเมื่อเติมอาหารกุ้งบดเพื่อจำลองของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. (ดังรูปที่ 4.39 (ก)) พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งสามชุดการทดลอง โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 มก.ออกซิเจน/ล. แต่ไม่พบแนวโน้มเพิ่มขึ้นของกราฟในช่วงให้แสง (กลางวัน) เนื่องจากก่อนทำการทดลองส่วนนี้ได้มีการผสมดินและเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในระบบบางส่วนหายไป และเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์เพื่อจำลองของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. และประเมินเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าคือ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่ 4.40 (ก) และ 4.41 (ก) ตามลำดับ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์สามารถเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาให้แสง (กลางวัน) เพราะเมื่อเวลาผ่านไปจะมีแพลงก์ตอนพืชค่อยๆ เกิดขึ้นภายในระบบ จึงพบแนวโน้มเพิ่มขึ้นของกราฟในช่วงกลางวันจากกระบวนการสังเคราะห์แสง และในช่วงเวลาไม่ให้แสง (กลางคืน) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลงเนื่องจากไม่เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่จุลินทรีย์ภายใน

ระบบยังคงใช้ออกซิเจนจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลงตั้งแต่หลังหกโมงเย็นจนถึงหกโมงเช้า ในขณะที่ชุดทดลองที่ 1 ที่มีการเติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 ที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการเติมกากน้ำตาลให้แก่ระบบจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนภายในระบบลดลงจึงทำให้เครื่องเติมอากาศทำงานอยู่ตลอดเวลา เพราะมีการควบคุมการให้อากาศด้วยเครื่องควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO controller) โดยอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.

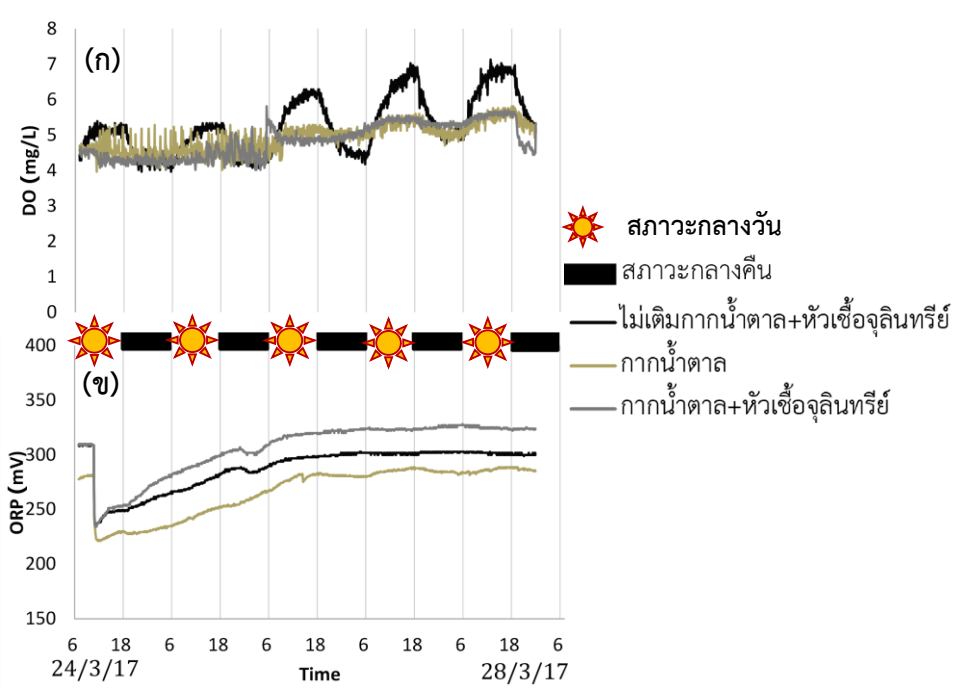
ในส่วนของค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) บริเวณใกล้ผิวดินจากการเติมอาหารกุ้งบดเพื่อจำลองของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. แอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. และแอมโมเนียมคลอไรด์ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. พบว่าจะลดลงในช่วงแรกจากค่าเริ่มต้นประมาณ 250 – 300 มิลลิโวลต์ และมีค่าต่ำสุดประมาณ 230 มิลลิโวลต์ จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปดังรูปที่ 4.39 (ข) 4.40 (ข) และ 4.41 (ข) ตามลำดับ และการปรับสภาพความเป็นด่างด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตก่อนเริ่มทำการทดลองให้มีค่าความเป็นด่างประมาณ 150 มก./ล. สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำได้ จึงส่งผลให้ค่าพีเอชในส่วนนี้มีค่าประมาณ 8 ซึ่งเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์กลุ่มไนทริฟายเออร์ ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับการบำบัดแอมโมเนียและไนไทรต์ในหัวข้อ 4.5.1 ที่อาศัยกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวเพื่อการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการบำบัดของเสียด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ โดยปราศจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์จะเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการควบคุมของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อดินสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และไม่เป็นการทำลายสมดุลของธรรมชาติ



รูปที่ 4.39 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) จากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4.40 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4.41 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ในการบำบัดของเสียด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์

4.6 การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียจากสัตว์น้ำภายในบ่อดินจำลอง

ทำการทดลองเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเสมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยศึกษาการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. (หรือเทียบเท่า 2,336 กก./ไร่) และเปรียบเทียบผลการบำบัดของเสียไนโตรเจนกับชุดควบคุมที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และกากน้ำตาล ร่วมกับการประเมินผลของการใช้ออกซิเจนในระบบระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.6.1 การประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองจากการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน

การทดลองในส่วนนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อดิน ซึ่งเป็นดินที่ผ่านการบ่มมาแล้วอย่างน้อย 1 เดือน (สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองช่วงที่ 1 และ 2.1) และอาศัยการเติมอากาศบางช่วงเวลาจากการทดลองช่วงที่ 2.2 แต่เนื่องจากการทดลองของทัศนี นลวชัย และคณะ (2555) รายงานว่ากุ้งขาวสามารถกินอาหารได้ดีเมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ในการทดลองส่วนนี้จึงเลือก

การเติมอากาศเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 คือการเติมอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. ควบคุมด้วย DO controller จากนั้นเริ่มเดินระบบโดยการเลี้ยงกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei* ระยะเต็มวัยที่ความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. โดยใช้กุ้งขนาดประมาณ 4 กรัม (ความหนาแน่นประมาณ 30 ตัว ในบ่อที่มีปริมาตรน้ำ 80 ล.) เมื่อเริ่มมีของเสียเกิดขึ้นภายในระบบจะทำการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน ในชุดทดลอง (สภาวะจากการทดลองช่วงที่ 3.2) ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน พบว่า ช่วงแรกของการทดลอง (วันที่ 0–10 ของการทดลอง) ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองมีแอมโมเนียเกิดขึ้นตามธรรมชาติ (ดังรูปที่ 4.42 (ก)) จากการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารของสัตว์น้ำและสิ่งขับถ่ายให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียหรือกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) จากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟที่แขวนลอยอยู่ในระบบ ซึ่งจากการรายงานของ Kroom (1991) และ Gross และคณะ (2000) พบว่าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย (Ammonification rate) ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.000001–0.059 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน โดยปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจพบในชุดควบคุมและชุดทดลองมีระดับความเข้มข้นสูงกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลองเท่ากับ 1.04±0.29 และ 1.30±0.37 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และภายหลังจากวันที่ 10 ของการทดลองปริมาณแอมโมเนียจะค่อนข้างคงที่ซึ่งไม่เกิน 0.4 มก.ไนโตรเจน/ล. แสดงให้เห็นว่าระบบบ่อดินจำลองที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. ทั้งที่เลี้ยงด้วยระบบธรรมชาติ (ชุดควบคุม) และระบบที่ทำการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน (ชุดทดลอง) สามารถรองรับของเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มอัตราการให้อาหารเป็น 2 เท่า (ร้อยละ 6) (ช่วงวันที่ 31-35 ของการทดลอง) พบว่ามีอาหารเหลืออยู่ภายในบ่อดินทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง จึงทำให้อาหารที่คงค้างอยู่ภายในบ่อย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันทำให้มีปริมาณแอมโมเนียสูงสุดถึง 2.05±0.31 และ 2.76±0.48 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และหยุดให้อาหารในช่วงวันที่ 36-39 ของการทดลอง เนื่องจากอาหารภายในบ่อที่เหลือเป็นจำนวนมากส่งผลให้คุณภาพน้ำผิดปกติ น้ำเริ่มมีกลิ่น และพบกุ้งตายจำนวนหนึ่ง ภายหลังจากวันที่ 39 ของการทดลองจึงเริ่มให้อาหารในอัตราส่วนปกติ (ร้อยละ 3) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 40-45 ของการทดลอง) และพบว่าการให้อาหารในอัตราส่วนดังกล่าวไม่พบอาหาร

เหลือตกค้างภายในบ่อ จึงไม่เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้น ทำให้บ่อดินสามารถรองรับของเสียที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับวันที่ 1-30 ของการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนไทรต์ (ดังรูปที่ 4.42 (ข)) ผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยอาศัยการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Ammonia Oxidizing Bacteria, AOB) จึงตรวจพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองที่มีค่าสูงสุดในวันที่ 7 ของการทดลอง เท่ากับ 1.06±0.02 และ 1.11±0.01 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ จะเห็นว่ามีปริมาณไนไทรต์สะสมในช่วงวันที่ 7-25 ของการทดลองทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง เนื่องจากไนไทรต์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Nitrite Oxidizing Bacteria, NOB) จะทำงานช้ากว่าแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย และสามารถลดลงได้เท่ากับ 0.54±0.35 และ 0.50±0.25 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ในวันที่ 26-31 ของการทดลอง เมื่อเพิ่มอัตราการให้อาหารเป็น 2 เท่า (ร้อยละ 6) จนถึงช่วงสิ้นสุดการหยุดให้อาหาร (ช่วงวันที่ 31-39 ของการทดลอง) จะพบว่าปริมาณไนไทรต์เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 0.93±0.20 และ 1.03±0.03 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียในการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย และหลังจากวันที่ 39 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่ให้อาหารในอัตราส่วนปกติ (ร้อยละ 3) ระบบบ่อดินสามารถบำบัดไนไทรต์ที่เกิดขึ้นได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองจนมีค่าเท่ากับ 0.42±0.16 และ 0.32±0.07 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (Boyd, 1990; Timmons และคณะ, 2002)

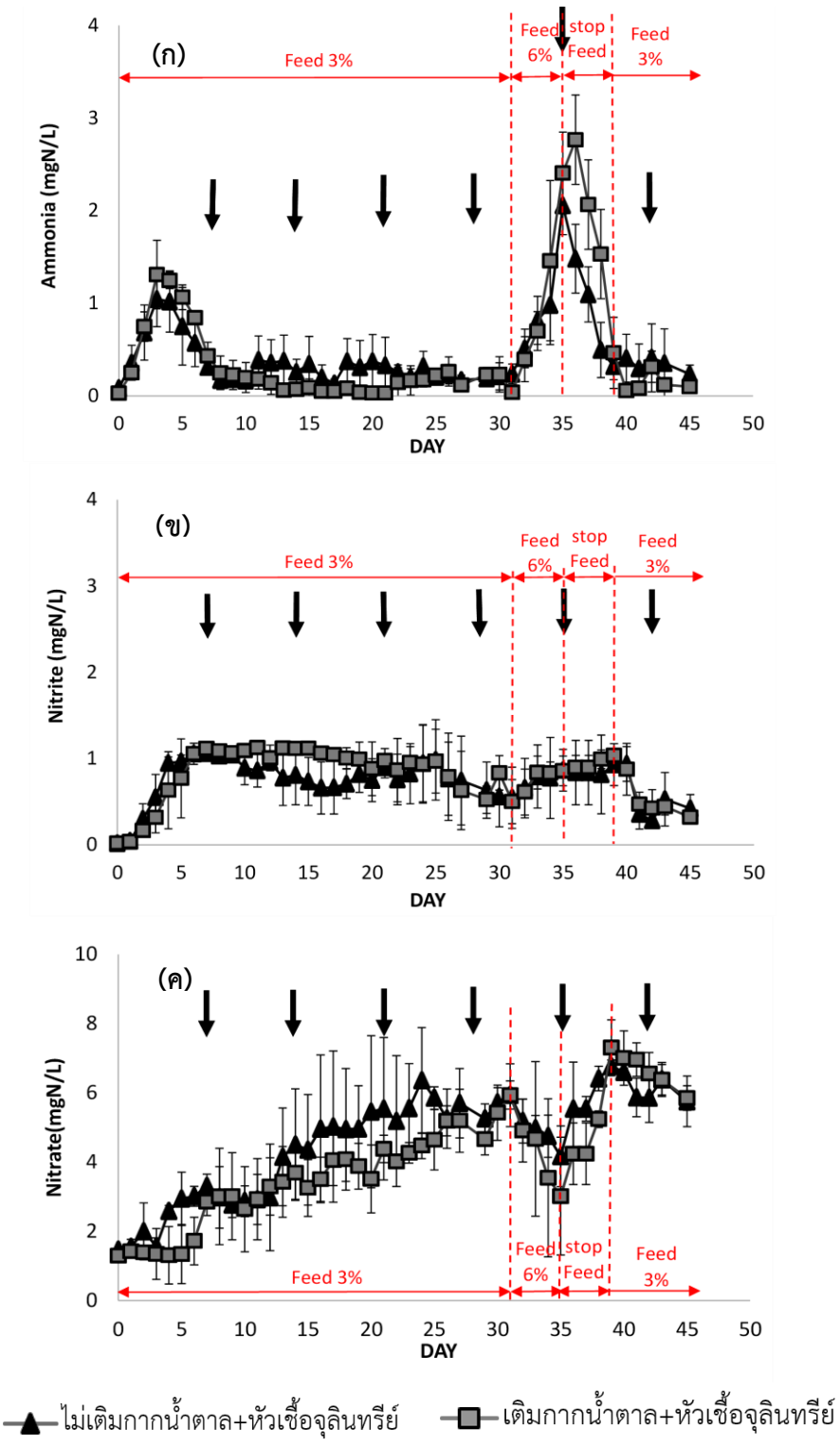
รูปที่ 4.42 (ค) แสดงให้เห็นว่าไนไทรต์ที่เกิดขึ้นถูกออกซิไดซ์ต่อจนอยู่ในรูปของไนเทรต ซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน 8 มก.ไนโตรเจน/ล. ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองตลอดระยะเวลาในการเดินระบบ 45 วัน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณไนเทรตสะสมค่อนข้างน้อย เนื่องจากบริเวณดินตะกอนพื้นบ่ออยู่ในสภาวะไร้อากาศอย่างสมบูรณ์ ซึ่งยืนยันได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 และ 4.3.2 ในส่วนของการตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ภายในดินตะกอนพื้นบ่อที่พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง -380 ถึง -450 มิลลิโวลต์ ตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นสภาพวะที่ดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ทำหน้าที่เปลี่ยนไนเทรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และช่วงที่ทำการเพิ่มอัตราการให้อาหารเป็น 2 เท่า (ร้อยละ 6) (ช่วงวันที่ 31-35 ของการทดลอง) พบว่าปริมาณไนเทรตในชุดควบคุมและชุดทดลองลดลงเท่ากับ

4.16±0.87 และ 3.01±1.70 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ เนื่องจากอาหารที่เหลือภายในบ่อเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในระบบ ซึ่งสารอินทรีย์นั้นเป็นความต้องการของจุลินทรีย์ในกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟเพื่อจะใช้ในการเจริญเติบโต ผนวกกับการเติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน (ชุดทดลอง) จึงอาจเป็นไปได้ว่ากากน้ำตาลมีส่วนช่วยในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในการบำบัดไนเทรตที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ ปริมาณไนเทรตในชุดทดลองจึงมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมในวันที่ 35 ของการทดลอง และเมื่อหยุดให้อาหารในวันที่ 36-39 ของการทดลอง พบว่าปริมาณไนเทรตเริ่มเพิ่มขึ้นเพราะไม่มีสารอินทรีย์ส่วนเกินจากการให้อาหาร และเมื่อให้อาหารในอัตราส่วนปกติ (ร้อยละ 3) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 40-45 ของการทดลอง) พบว่าปริมาณไนเทรตกลับสู่สภาวะเช่นเดียวกับในช่วงวันที่ 24-30 ของการทดลอง เมื่อเทียบสัดส่วนซีโอดีต่อไนเทรตทุกๆ 7 วัน (ดังตารางที่ 4.2) พบว่ามีสัดส่วนที่ใช้น้อยมากเมื่อเทียบการทดลองของเอกชัย มาลาพล (2551) ที่ทำการศึกษาสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 0.061:1, 0.3:1, และ 3.3:1 จากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อเร่งกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งพบว่าอัตราดีไนทริฟิเคชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอน แต่จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงเมื่อเติมสารอินทรีย์คาร์บอน ผลจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเช่นกากน้ำตาลในปริมาณมากเพื่อเร่งกระบวนการดีไนทริฟิเคชันนั้นนอกจากจะเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นแล้ว ยังส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยตรงอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตจากการเติมกากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในวันต่างๆ ของการทดลอง

วันที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์	สัดส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจน	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ (มล./ล.)
วันที่ 7 ของการทดลอง	0.25 : 1	29.6:1	0.0125 (เทียบเท่า 20 ล./ไร่)
วันที่ 14 ของการทดลอง	0.19 : 1		
วันที่ 21 ของการทดลอง	0.16 : 1		
วันที่ 28 ของการทดลอง	0.15 : 1		
วันที่ 35 ของการทดลอง	0.24 : 1		
วันที่ 42 ของการทดลอง	0.11 : 1		



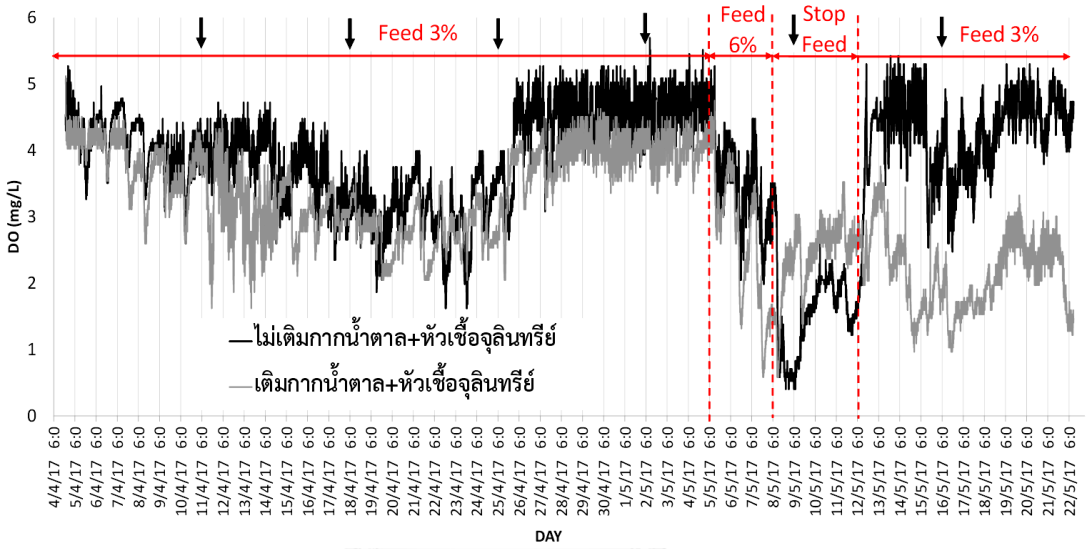
รูปที่ 4.42 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ระหว่างการประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองในการบำบัดไนโตรเจนจากการเลี้ยงกุ้งขาว โดย ↓ แสดงการเติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน ในชุดทดลอง

ผลจากการทดลองนี้จึงเป็นข้อบ่งชี้ว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นมากเกินความสามารถในการรองรับของบ่อดิน หรือการให้อาหารเกินความต้องการของสัตว์น้ำ แม้ว่าจะใช้สารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มบำบัดของเสีย ก็ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น ในทางกลับกันการใช้กากน้ำตาลเพื่อเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนสำหรับบ่อดินจะส่งผลเสียต่อสมดุลธรรมชาติภายในบ่อ ดังนั้นการบำบัดของเสียด้วยระบบธรรมชาติโดยเฉพาะกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยไม่ต้องเติมสารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมและยั่งยืนสำหรับควบคุมและจัดการของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดินที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.6.2 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำของบ่อดินจำลอง

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำระหว่างการประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองในการบำบัดไนโตรเจนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นเวลาประมาณ 45 วัน พบว่าในชุดทดลอง (เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับกากน้ำตาล) มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างต่ำกว่าชุดควบคุม (ดังรูปที่ 4.43) แต่พบว่าในวันที่ 14 เมษายน – 26 พฤษภาคม มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงทั้งสองชุดการทดลอง เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปจะมีจุลินทรีย์มาเกาะอยู่บริเวณหัวโพรบที่ใช้ในการตรวจวัด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณออกซิเจนที่ต่ำลงมาจากการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่มายึดเกาะ และเมื่อทำความสะอาดหัวโพรบที่ใช้ในการตรวจวัดในวันที่ 26 พฤษภาคม จึงทำให้ระดับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกลับสู่สภาวะปกติ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณการให้อาหารเป็น 2 เท่า (วันที่ 5 ถึง 8 พฤษภาคม) ปริมาณออกซิเจนทั้งสองชุดการทดลองลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการสะสมของสารอินทรีย์ในระดับที่มากเกินไปจนทำให้เกิดการเน่าเสียส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดลงและทำให้เกิดสารพิษต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นอันตรายต่อกุ้ง (Avnimelech และคณะ, 1981; Chein และ Lai, 1988; และ Wyban และคณะ, 1988) และเมื่อลดปริมาณอาหารกลับมาให้ในอัตราเท่าเดิม (ร้อยละ 3) (วันที่ 12 ถึง 22 พฤษภาคม) พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในชุดควบคุมสามารถกลับสู่สภาวะปกติได้ซึ่งแตกต่างจากชุดทดลองที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่สามารถคืนสู่สภาวะปกติได้ในระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.4.2 ในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในสภาวะที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ สำหรับค่าพีเอชจะมีค่าประมาณ 8 ตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มไนทริฟายเออร์ที่สามารถ

ทำงานได้ดีที่พีเอชช่วง 6-9 (Lawson, 1995) และจากการปรับสภาพความเป็นด่างด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตก่อนเริ่มทำการทดลองให้มีค่าความเป็นด่างประมาณ 150 มก./ล. จะเป็นการชดเชยค่าความเป็นด่างที่ลดลงจากกระบวนการไนทริฟิเคชันภายในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่เนื่องจากบริเวณชั้นดินตะกอนพื้นบ่อที่เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ส่งผลให้สภาพความเป็นด่างในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้ตลอดระยะเวลาประมาณ 1 เดือนค่าความเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 4.43 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ระหว่างการประเมินประสิทธิภาพของบ่อดินจำลองในการบำบัดไนโตรเจนจากการเลี้ยงกุ้ง โดย ↓ แสดงการเติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน ในชุดทดลอง

ผลการส่องตรวจเซลล์สิ่งมีชีวิตบริเวณผิวดินด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ดังรูปที่ 4.44) พบว่ามีแพลงก์ตอนพืชที่สามารถนำสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้งในรูปของแอมโมเนียและไนเทรตเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเติบโตและสร้างมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช (Nitrogen assimilation) ซึ่งสอดคล้องกับหัวข้อ 4.4.1 ที่พบว่าเป็นไซยาโนแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และยังพบโคพีพอด (Copepod) ซึ่งเป็นสัตว์หน้าดินขนาดเล็กที่มีความสำคัญในระบบนิเวศ ที่จะทำหน้าที่เป็นผู้บริโภคลำดับแรกโดยการกินไดอะตอม สาหร่าย แบคทีเรีย และโปรโตซัว ในขณะเดียวกันโคพีพอดก็สามารถเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น ลูกกุ้ง และลูกปลา ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจต่อไป

รูปที่ 4.44 แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบบริเวณผิวหน้าดิน

4.7 สรุปกลไกการบำบัดของเสียไนโตรเจนในบ่อดินจำลอง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนในบ่อดินโดยเลียนแบบสภาวะธรรมชาติ ซึ่งพบว่าการเติมอากาศเป็นสภาวะหลักที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงกลไกการบำบัดที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เมื่อทดลองเติมอากาศที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ 1) การเติมอากาศตลอดเวลา 2) การเติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 3 และ 4 มก.ออกซิเจน/ล. และ 3) ไม่เติมอากาศ สามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน (ทั้งในรูปของอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาล) หรือการเติมแอมโมเนียให้กับระบบด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งเป็นการจำลองของเสียที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา พบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 5 มก.ออกซิเจน/ล. ซึ่งมีแนวโน้มในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับการเติมอากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 3 และ 4 มก.ออกซิเจน/ล. แต่หากว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นมากเกินกว่า 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จากการเติมคาร์บอนทั้งในรูปของอาหารกุ้งบดและกากน้ำตาล หรือการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นมากเกินกว่า 1.46 กก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นการเติมแอมโมเนียให้กับระบบบ่อดินจำลอง อาจส่งผลให้การเติมอากาศแค่บางช่วงเวลาไม่เพียงพอต่อการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น และในส่วนของการเดินระบบในสภาวะที่ไม่เติมอากาศการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนอาจไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เนื่องจากการบำบัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกับทั้งสองสภาวะในข้างต้น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะจำลองของระบบบ่อดินกลางแจ้ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดและความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดิน ร่วมกับการเติมอากาศ การเติมสารอินทรีย์คาร์บอน และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรไนโตรเจนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยในช่วงแรกของการทดลองเป็นการศึกษาลักษณะพื้นฐานของบ่อดินจำลองที่มีสภาวะต่างกัน เพื่อประเมินผลการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยตัวเองของดินในสภาวะธรรมชาติ การทดลองต่อมาเป็นการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มดินร่วมกับการเติมอากาศ และการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากนั้นศึกษาการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดิน และการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจน และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับสารอินทรีย์คาร์บอนในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นต่ำ ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

การศึกษาลักษณะพื้นฐานของบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินที่มีสภาวะต่างกัน พบว่าดินที่ผ่านการบ่มประมาณ 30 วัน เป็นสภาวะของดินที่เหมาะสมต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เพราะการบ่มดินในระยะแรกจะเกิดการปลดปล่อยแอมโมเนียจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ออกมาในน้ำ โดยสามารถพบแอมโมเนียได้ในระดับความเข้มข้นสูงถึง 20 มก.ไนโตรเจน/ล. และต่อมาเมื่อไนทริไฟอิงแบคทีเรียเริ่มทำงาน แอมโมเนียจะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ในเวลาประมาณ 10 วัน และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินพบว่า ดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ค่าพีเอชเป็นกลาง มีอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง แต่ไนโตรเจนรวมของดินที่มีการบ่มล่วงหน้าประมาณ 30 วัน มีค่าน้อยกว่าดินที่ไม่ผ่านการบ่ม กล่าวคือดินที่ไม่ผ่านการบ่มและดินที่ผ่านการบ่มล่วงหน้ามี

ไนโตรเจนรวมร้อยละ 0.32 และ 0.28 ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงการบ่มดินจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดินตะกอนจึงทำให้ไนโตรเจนรวมลดลง

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มดินร่วมกับการเติมอากาศจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.5, 1 และ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. พบว่าทั้งสามความเข้มข้นมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 1 และ 2 เดือน ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือนมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วงชั่วโมงที่ 0 - 11 เท่ากับ 3.167± 0.00355, 4.947±0.00434 และ 11.660±0.0141 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม.(พื้นที่ก้นถัง)/ชม. ตามลำดับ และดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือนมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 3.713±0.00237, 7.620±0.00854 และ 14.927±0.0138 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม.(พื้นที่ก้นถัง)/ชม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าระยะเวลาในการบ่มดิน 1 และ 2 เดือนมีอัตราการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการบ่มดินอย่างน้อย 1 เดือนก่อนเริ่มทำการเลี้ยงสัตว์น้ำในรุ่นต่อไป ก็เพียงพอต่อการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดินตะกอนโดยเฉพาะไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่ผิวดิน เพื่อให้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน เพื่อประเมินอัตราการบำบัดแอมโมเนียในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำกัด จากการเติมอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5, 2 และ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. พบว่าดินตะกอนพื้นบ่อมีประสิทธิภาพในการรองรับของเสียได้ถึง 2 มก.ไนโตรเจน/ล. และการให้อากาศเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 3 มก.ออกซิเจน/ล. สามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ดีกว่าการให้อากาศตลอดเวลา แต่การจำลองสภาวะการเติมสารอินทรีย์ไนโตรเจนความเข้มข้นสูง 3 มก.ไนโตรเจน/ล. การเติมอากาศแค่บางช่วงเวลาอาจไม่เพียงพอต่อการบำบัดสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เกินความสามารถในการบำบัดได้ด้วยกระบวนการตามธรรมชาติของผิวดิน

การเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในบ่อดินจำลอง โดยใช้กากน้ำตาลในอัตราส่วนต่างๆ คือ 0.0125, 0.025, 0.0625 และ 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมกากน้ำตาล 20, 40, 100 และ 140 ล./ไร่) พบว่าการเติมกากน้ำตาลจะส่งผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตามสัดส่วนการเติมกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่ม

ปริมาณกากน้ำตาลจนถึงประมาณ 140 ล./ไร่ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำเข้าใกล้ศูนย์ภายในเวลา 19 ชม. ในสภาวะที่ไม่เติมอากาศ และจะไม่พบการสะสมของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เนื่องจากกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ รวมกับกิจกรรมของแพลงก์ตอนพืชที่ตรวจพบในน้ำและที่ผิวดินที่อาศัยกระบวนการไนโตรเจนแอสซิมิเลชันเพื่อสร้างมวลชีวภาพ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมกากน้ำตาลในบ่อกุ้งจำลองนี้ไม่มีส่วนช่วยในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ แต่อาจชี้ให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชที่พบในน้ำและที่ผิวดินในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมีส่วนอย่างมากในการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ในการเจริญเติบโตเพื่อสร้างมวลชีวภาพ

การเติมสารอินทรีย์คาร์บอน (กากน้ำตาล) ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจน ในบ่อดินจำลองที่มีการเติมอากาศอัตโนมัติเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล. โดยมีแหล่งไนโตรเจนเป็นอาหารกุ้งบดและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 และ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยพบว่าของเสียไนโตรเจน 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ตลอดการทดลองในชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์จะมีปริมาณไนเทรตสะสมเฉลี่ย 1.43±0.225 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งน้อยกว่าชุดทดลองที่มีไนเทรตเฉลี่ย 1.99±0.239 มก.ไนโตรเจน/ล. และของเสียไนโตรเจน 4 มก.ไนโตรเจน/ล. ตลอดการทดลองในชุดควบคุมและชุดทดลองมีปริมาณไนเทรตสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 1.88±0.257 และ 2.47±0.200 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนทริไฟเออร์ที่อยู่ภายในดินตะกอนสามารถบำบัดไนเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ

การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของเสียไนโตรเจนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะจำลองของระบบบ่อดินกลางแจ้งที่เลี้ยงกุ้งขาว โดยประยุกต์การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์และการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นต่ำ พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวที่ความหนาแน่น 1.46 กก./ลบ.ม. (หรือเทียบเท่า 2,336 กก./ไร่) ผิวดินสามารถรองรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการให้อาหารเป็นสองเท่า (2.92 กก./ลบ.ม หรือ 4,672 กก./ไร่) จะส่งผลต่อคุณภาพน้ำ โดยน้ำมีกลิ่นเหม็น และมีการตายของกุ้ง ดังนั้นการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นมากเกินความสามารถในการรองรับของบ่อดิน (มากกว่า 1.46 กก./ลบ.ม.) หรือการให้อาหารเกินความต้องการของสัตว์น้ำ แม้ว่าจะใช้สารอินทรีย์คาร์บอนหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์

เพื่อเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มบำบัดของเสีย ก็ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดของเสียไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนไทรต์ที่เกิดขึ้น ในทางกลับกันการใช้กากน้ำตาลเพื่อเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนสำหรับบ่อดินจะส่งผลเสียต่อสมดุลธรรมชาติ ดังนั้นการบำบัดของเสียด้วยระบบธรรมชาติโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมและยั่งยืนสำหรับควบคุมและจัดการของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดินที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำควรมีการทำความสะอาดและปรับตั้งค่าหัวโพรบที่ใช้ในการตรวจวัดทุกวัน เพราะจะมีจุลินทรีย์มายึดเกาะบริเวณหัวโพรบจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเป็นค่าการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่มายึดเกาะ

2. ควรศึกษารูปแบบการหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำบริเวณผิวหน้าดินเพียงพอและอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากการเติมอาหารกุ้งบดซึ่งเป็นสารอินทรีย์อาจทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและไนไทรต์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

3. ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการพื้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งในการจัดการก่อนเริ่มเลี้ยงและระหว่างการเลี้ยง โดยเน้นความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนของดินตะกอนพื้นบ่อด้วยสภาวะธรรมชาติ

4. บ่อดินจำลองที่นำมาใช้งานควรมีขนาดที่เหมาะสมไม่เล็กจนเกินไป ทั้งนี้หากว่าเล็กเกินไปบริเวณชั้นดินและชั้นน้ำจะน้อยลง ส่งผลต่อกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่อาจเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ และควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมตลอดการทดลองให้มีความใกล้เคียงกับบ่อจริงมากที่สุด

5. การศึกษาในบ่อดินจริงควรดูสภาพอากาศก่อนทำการทดลอง หากว่าในช่วงที่ทำการทดลองเป็นช่วงหน้าฝน มีแดดน้อย จะส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อดิน และหากไม่มีแพลงก์ตอนพืชเจริญอยู่ภายในบ่อดินก็จะส่งผลต่อการนำแอมโมเนียและไนเทรตเข้าสู่เซลล์ (Nitrogen assimilation)

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กชพร กฤติยานันต์. 2554. การพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็กสำหรับการเลี้ยงปลาน้ำจืด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา, สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 27 หน้า.

กษิดิศ หนูทอง. 2551. การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 16 1: 11-12

กฤษฎา หน่อเนื้อ, ชุติมา ขมวิลัย และจารุมาศ เจริญพานิช. 2541. การสะสมของสารอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณพื้นบ่อที่ทำการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่น. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34: สาขาพืช ประมง 2541: 280-289.

ชลธิชา พลายชุม. 2553. การบำบัดไนเทรตในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังดีไนทริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: เมจิค พลับบลิเคชัน.

ณัฐพล แก้วละเอียด และบุญรัตน์ ประทุมชาติ. 2553. การเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความถี่ของการลอกคราบ และความแปรปรวนของขนาดกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40: สาขาประมง 2553: 83-91.

ทัศนีย์ นลวชัย, วัชริยา ภูรีวิโรจน์กุล, นิติ ชูเชิด, เกศินี หลายสุทธิสาร และชะลอ ลิ้มสุวรรณ. 2555. ผลของระดับออกซิเจน แอมโมเนีย และพีเอช ต่อการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 6:1. 44-52

นิคม ละอองศิริวงศ์, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และทองเพชร สันบูกา. 2542. คุณภาพตะกอนดินในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาจังหวัดสุราษฎร์ธานี. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37: สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม 2542: 139-146.

นิมารดี บุญอาพัทธิ์เจริญ, สมเกียรติ เตชกาญจนารักษ์, ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และวิวัฒน์ เรืองเลิศปัญญากุล. 2551. ผลของแสงอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในดินบริเวณพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 31:3. 451-462.

ปัทมา วิริยพัฒนทรัพย์. 2549. ผลของสารอินทรีย์ในการเตรียมบ่อเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon Fabricius*) ด้วยความเค็มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง), สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พูลสุข ปรัชญานุสรณ์. 2553. เคมีสิ่งแวดล้อม**.** กรุงเทพฯ: สาละ

เพ็ญพิชา สท้านวัตร. 2557. การบำบัดไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดผ่านกระบวนการร่วมไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชันด้วยตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนวิกานต์ ขจรบุญ. 2551. การคัดเลือกหัวเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรียเพื่อการประยุกต์ใช้กับตัวกรองชีวภาพสำหรับระบบน้ำหมุนเวียนของบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มะลิวัลย์ คุตะโค. 2551. องค์ประกอบและบทบาทของจุลินทรีย์ต่อวัฏจักรไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มะลิวัลย์ คุตะโค และสรวิศ เผ่าทองศุข. 2555. บทบาทของกระบวนการทางชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในบ่อดินสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30:3. 103-112.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางประมง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ยนต์ มุสิก และพรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอน และดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณก้นอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1(1): 47-55.

ยุวดี สุทธิกรัณย์. 2549. แบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนของตะกอนดินบ่อกุ้งแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. แพลงก์ตอนพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารินทร์ พิศโหมก. 2546. ประสิทธิภาพของวัสดุปูนชนิดแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินพื้นบ่อและคุณภาพน้ำในระบบจำลองบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง), สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วารินทร์ พิศโหมก และจารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2545. การเกิดมลภาวะในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและการศึกษาเบื้องต้นในการใช้ปูนแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ชนิดก้อนผลึกเพื่อการบำบัดมลภาวะ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40: สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาประมง 2545: 583-590.

วารุณี แซ่เอี๊ย, ชลอ ลิ้มสุวรรณ, นิติ ชูเชิด และพรเลิศ จันทร์รัชกูล. 2549. ผลของการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus sp*. ต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตกุ้งกุลาดำในน้ำความเค็มต่ำ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44: สาขาประมง 2549: 196-204.

วิทยา มะเสนา. 2526. จุลชีววิทยาของดิน. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีรานุช หลาง. 2551. จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วีรานุช ปลื้มทรัพย์, มาโนชน์ เจริญหงษ์ทอง, จิระศักดิ์ ภู่รุ่งเจริญ และธเนศ วงศ์ยะรา. 2544. การกระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดสุพรรณบุรี. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39: สาขาวิทยาศาสตร์ 2544: 161-167.

ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และสมเกียรติ ปิยะธีระฐิติวรกุล. 2543. การให้โพรไบโอติก *Bacillus* สายพันธุ์ S11 เลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อดิน. โครงการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธาสินี อ่วมจันทร์. 2546. การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มแบคทีเรียในตัวกรองชีวภาพแบบไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนทรี อยู่สถาน. 2550. ผลของแหล่งคาร์บอนต่อการลดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2549. จุลชีววิทยาทางดิน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตว์

อาริสา จั่นสมพงษ์. 2556. การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนในตะกอนดินของบ่อเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกชัย มาลาพล. 2551. การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งโดยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกชัย มาลาพล, มะลิวัลย์ คุตะโค, สรวิศ เผ่าทองศุข และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2551. ผลของเมทานอลและกลูโคสต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งในสภาวะห้องปฏิบัติการ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2551: 482-489.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาษาอังกฤษ

AOAC (Association of official analytical Chemist). 1980. Official method analysis. 13th edition. Washington: Association of official analytical chemist.

APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. Washington DC: American Public Health Association.

Avimelech, Y., M. Lacher, A. Ravehand and O. Zur. 1981. A method for the evaluation in a fish pond sediment. Aquaculture. 23: 361-365.

Avnimelech, Y., Noam, M., Diab, S. and Kochba, M. 1995. Rate of organic carbon and nitrogen degradation in intensive fish ponds. Aquaculture. 134: 211-216.

Bothe, H., Jost, G., Schloter, M., Ward, B.B., Witzel, K.P. 2000. Molecular analysis of ammonia oxidation and denitrification in natural environments. FEMS microbiology reviews. 24: 673-690.

Boyd, C. E. 1979. Water quality in warm water fish ponds. Alabama: Agricultural Experiment Station of Auburn University.

Boyd, C. E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham Publishing Company, Birmingham, Alabama.

Boyd, C. E. 1998. Pond water aeration systems. Aquacultural Engineering. 18: 9-40

Burford, M.A. and M.R. Longmore. 2001. High ammonium production from sediments in hypereutrophic shrimp ponds. Marine Ecology Progress Series 224: 187-195.

Chen, J. C. and chin, S. E. 1992. Accumulation of nitrite in the haemolymph of *Penaeus monodon* exposed to ambient nitrite. Comparative Biochemistry and Physiology 103c: 477-481.

Chen, S. and Ling, J. P. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. Aquacultural Engineering 34: 179-197.

Chen, Y.H. and H.T. Lai. 1988. The effect of aged sediments and stocking density on fresh water prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture. Journal of the World aquaculture Society. 19 (1): 22A-23A.

Gross, A., C. Boyd and C.W. Wood. 2000. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. Aquacultural Engineering 24: 1–14.

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

Hargreaves, J. A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166: 181-212.

Hart, P. and O'sullivan, D. 1993. Recirculation system: Design, construction and management. Australia: Turtle press pty.

Jangrassa, S., M. Kutako, S. Powtongsook and P. Manasveta. 2007. Effect of aeration on inorganic nitrogen released fromsediment in artificial outdoor shrimp pond. In Proceeding: 33nd Congress on Science and Technology of Thailand. Walailuk University.

Kroom, M.D. 1991. Importance of benthic productivity in controlling the flux of dissolved inorganic nitrogen through the sediment-water interface in a hypertrophic marine ecosystem. Marine Ecology Progress Series 78: 163-172.

Lawson, T.B. 1995. Fundamentals of aquacultural engineering. New York: Chapman & hall.

Ledwin, S. 2010. Assessment of the Ecological Impacts of Two Shrimp Farms in Southern Belize. Degree of Master of Science, Natural Resources and Environment. Michigan University.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Martin, J. L. M., Veran, Y., Guelorget, O. and Pham, D.1998. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture 164: 135-149.

Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel, M. and Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture 231: 361-391.

Nimrat, S., Suksawat, S., Maleeweach, P. and Vuthiphandchai, V. 2008. Effect of different shrimp pond bottom soil treatments on the change of physical characteristics and pathogenic bacteria in pond bottom soil. Aquaculture. 285: 123-129.

Paiva-Maia, E. D., Alves-Modesto, G., Otavio-Brito, L., Olivera, A. and Vasconcelos-Gesteira, T. C. 2013. Effect of a commercial probiotic on bacterial and phytoplankton concentration in intensive shrimp farming *(Litopenaeus vannamei)* recirculation systems. Latin American Journal of Aquatic Research. 41(1): 126-137.

Panjaitan, P. Shrimp culture of *Penaeus monodon* with zero water exchange model (ZWEM) using molasses. Journal of Coastal Development. 14: 35 – 44.

Roberts, R. J. 1989. Fish Pathology. London: Bailliere Tindall.

Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E. and Margesin, R. 1996. Methods in soil biology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Schmidt, I., Sliekers, O., Schmidt, M., Bock, E., Fuerst, J., Kuenen, J.G., Jetten, M.S.M., Strous, M. 2003. New concept of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. FEMS microbiology reviews. 27: 481-492.

Schowalter, T. D. 2011. Ecosystem Structure and Function. Insect Ecology. 3rd edition, 327-358.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Steeby, J.A., J.A. Hargreaves, C.S. Tucker and S. Kingsbury. 2004. Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds. Aquacultural Engineering. 30: 115-126.

Tendencia, E. A. and Verreth, Johan A. J. 2010. Identification of Stressors that Affect White Spot Syndrome Virus (WSSV) Infection and Outbreak in Pond Cultured *Penaeus monodon*. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh. 1-7.

Timmons, M. B., Ebeling, J. M. Wheaton, F. W., Summerferlt, S. T. and Vinci, B. J. 2002. Recirculating Aquaculture systems. 2nd edition. New York: Cayuca Aqua Ventures.

Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th edition. New York: Macmillan Publishing Co.

Wang, D., Fu, B., Zhao, W., Hu, H. and Wang, Y. 2008. Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau. China. Catena. 72(1): 29-36.

Wheaton, W.F. 1977. Aquacultural engineering. Canada: Wiley & sons.

Wyban, J.A., J.N. Weeney and R.A. Kanna. 1998. Shrimp yields and economic potential of intensive pond systems. Journal of the world aquaculture society. 19: 210-217.

Xinglong, J. and Boyd, C. E.2006. Relationship between organic carbon concentration and potential pond bottom soil respiration. Aquacultural Engineering 35: 147-151.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำดัดแปลงมาจากวิธีของ Bower และ Holm-Hansen (1980) โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและการวิเคราะห์ดังนี้

- การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายซาลิไซเลตคะตะลิสต์ (Salicylate-catalyst solution) เตรียมโดยการละลายโซเดียมซาลิไซเลต (Sodium salicylate; $C_6H_4(OH)COONa$) ปริมาณ 440 ก. และโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ (Sodium nitroprusside dehydrate; $Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$) ปริมาณ 0.28 ก. ลงในน้ำปราศจากไอออน (De-ionized water) และปรับปริมาตรสารละลายซาลิไซเลตคะตะลิสต์ให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 ล. เก็บรักษาสารละลายโดยเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °ซ และควรเตรียมสารละลายใหม่ทุก 3 เดือน

2. สารละลายอัลคาไลน์ซิเทรต (Alkaline-citrate solution) เตรียมโดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ปริมาณ 18.5 ก. และโซเดียมซิเตรต (Sodium citrate dehydrate; $Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$) ปริมาณ 100 ก. ลงในน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรสารละลายอัลคาไลน์ซิเทรตให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 ล. เก็บรักษาสารละลายโดยเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °ซ

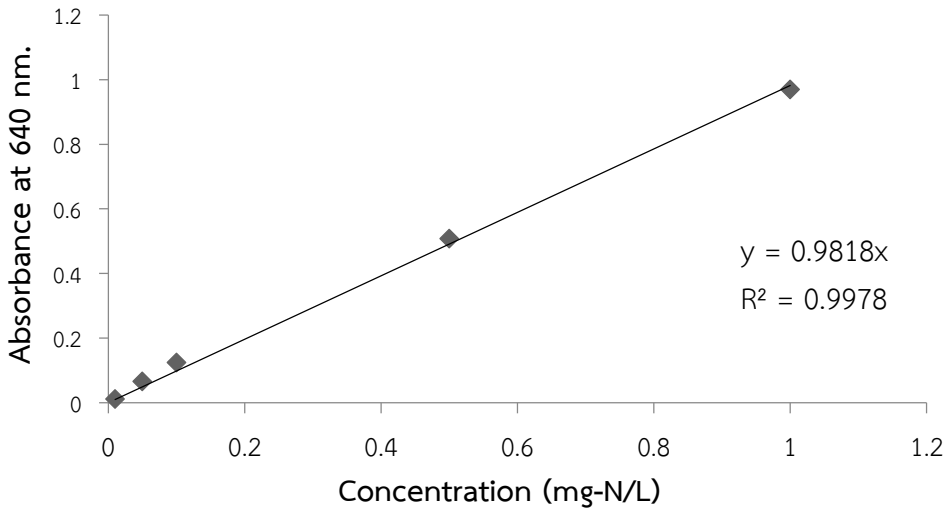
3. สารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ (Sodium hypochlorite solution) สามารถใช้สารละลายไฮโปรคลอไรด์ทางการค้าความเข้มข้น 1.5 นอร์มอล

4. สารละลายอัลคาไลน์ไฮโปรคลอไรด์ (Alkaline-hypochlorite solution) เตรียมโดยการผสมสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์และสารละลายอัลคาไลน์ซิเทรตในอัตราส่วน 1:9 เมื่อผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกันแล้ว ควรใช้สารละลายอัลคาไลน์ไฮโปรคลอไรด์ในกระบวนการวิเคราะห์ภายใน 1 ชม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ขั้นตอนการวิเคราะห์

ในการเก็บน้ำตัวอย่างควรเก็บใส่ขวดพลาสติกปริมาตร 30 มล. ทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C และควรทำการวิเคราะห์ทันที หากไม่สามารถทำได้ควรเก็บน้ำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -15 °ซ จากนั้นปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท เติมสารละลายซาลิไซเลตคะตะลิสต์ปริมาตร 30 ไมโครลิตร และเติมสารละลายอัลคาไลน์ไฮโปรคลอไรด์ (สารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์กับสารละลายอัลคาไลน์ซิเทรต ในอัตราส่วน 1:9) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและนำไปเก็บไว้ในที่มืด โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชม. และไม่เกิน 3 ชม. สำหรับแบลงค์ (Blank) ใช้น้ำปราศจากไอออนที่เติมสารเคมีเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นสำหรับน้ำเค็ม โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานดังรูปที่ ก-1 ซึ่งได้จากการดูดกลืนแสงสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน (Standard ammonia solution) ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน (Standard ammonia solution) เตรียมได้จากสารละลายสต็อกแอมโมเนีย (Stock ammonia solution) ความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

ก.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนไทรต์

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของไนไทรต์ไนโตรเจนในน้ำดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงจาก Strickland และ Parsons (1972) โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและการวิเคราะห์ดังนี้

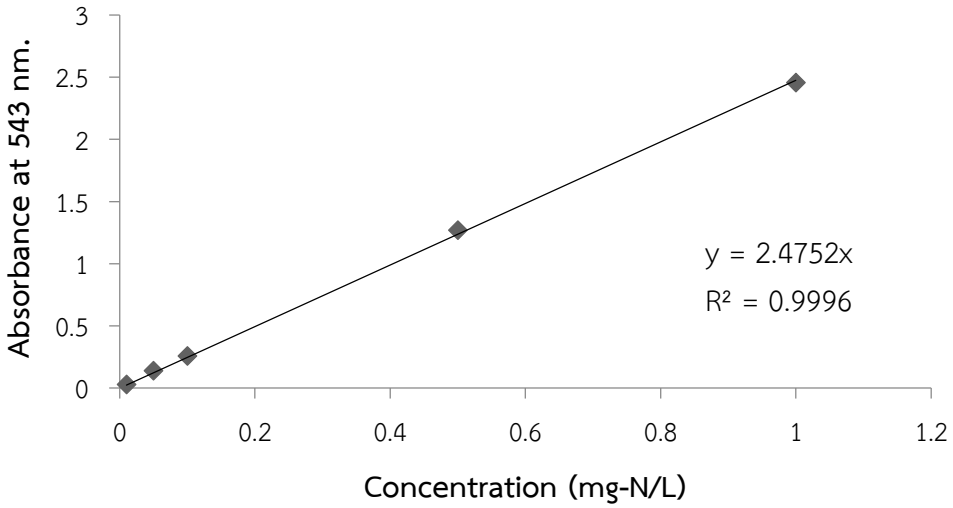
- การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide solution) สามารถเตรียมได้โดยการละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulphanilamide; $C_6H_8N_2O_2S$) ปริมาณ 5 ก. ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric acid; HCl) ปริมาตร 50 มล. และปรับปริมาตรสารละลายซัลฟานิลาไมด์ให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 ล. เก็บรักษาสารละลายในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °ซ

2. สารละลายเอ็นเอ็นอีดี (Naphthylethylenediamine solution) สามารถเตรียมได้โดยการละลายเอ็นเอ็นอีดี (NNED; N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride) ปริมาณ 0.5 ก. ในน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรสารละลายเอ็นเอ็นอีดีให้มีปริมาตรเท่ากับ 500 มล. เก็บรักษาสารละลายในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °ซ และควรเตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือน

- ขั้นตอนการวิเคราะห์

ในการเก็บน้ำตัวอย่างควรเก็บใส่ขวดพลาสติกปริมาตร 30 มล. ทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C และควรทำการวิเคราะห์ทันที หากไม่สามารถทำได้ควรเก็บน้ำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -15 °ซ จากนั้นปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ปริมาตร 5 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 2 นาที แต่ไม่ควรเกิน 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายเอ็นเอ็นอีดีปริมาตร 5 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที แต่ไม่ควรเกิน 2 ชม. สำหรับการวิเคราะห์แบลงค์สามารถทำได้โดยใช้น้ำปราศจากไอออนที่มีการเติมสารละลายเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่างและใช้กระบวนการวิเคราะห์เช่นเดิม จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 543 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไนไทรต์มาตรฐาน (Standard nitrite solution) ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1 มก.ไนไทรต์-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ดังรูปที่ ก-2 ซึ่งเตรียมจากสารละลายสต็อกไนไทรต์ (Stock nitrite solution) ความเข้มข้น 100 มก.ไนไทรต์-ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนไทรต์ไนโตรเจน

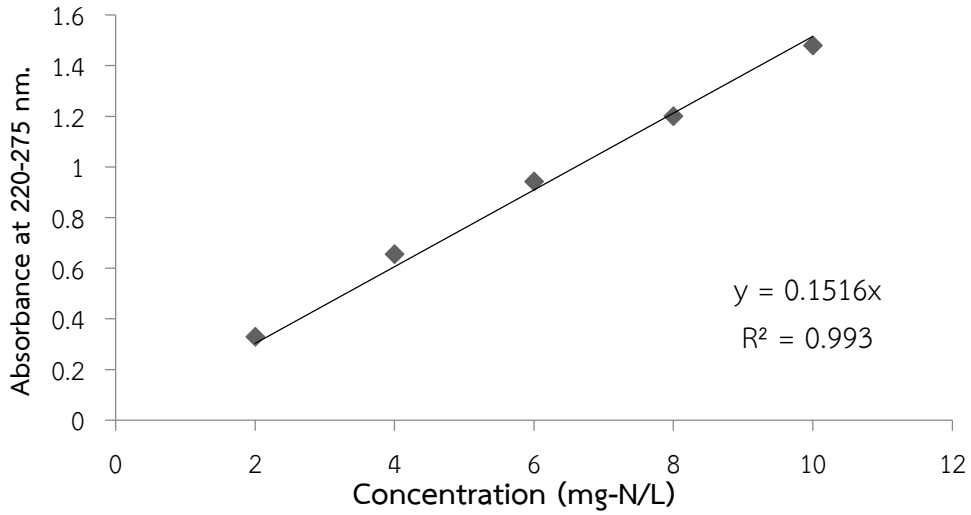
ก.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเทรต

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของไนเทรตไนโตรเจนในน้ำดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงจาก Standard Method (2005) โดยมีกระบวนการวิเคราะห์ดังนี้

- กระบวนการวิเคราะห์

ในการเก็บน้ำตัวอย่างควรเก็บใส่ขวดพลาสติกปริมาตร 30 มล. ทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C และควรทำการวิเคราะห์ทันที หากไม่สามารถทำได้ควรเก็บน้ำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -15 °ซ จากนั้นปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร สำหรับแบลงค์ (Blank) ใช้น้ำปราศจากไอออนโดยจะใช้ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นในการคำนวณหาปริมาณไนเทรต โดยค่าที่คำนวณได้จะต้องทำการหักลบกับปริมาณไนไทรต์ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างเดียวกันเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ไนเทรตตาม Standard Method (2005) จะมีปริมาณไนไทรต์รวมอยู่ด้วย เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไนเทรตมาตรฐาน (Standard nitrate solution) ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มก.ไนเทรต-ไนโตรเจน/ล. ดังรูปที่

ก-3 จากสารละลายสต็อกไนเทรต (Stock nitrate solution) ความเข้มข้น 100 มก.ไนเทรต-ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนเทรตไนโตรเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

<u>การทดลองช่วงที่ 1</u> การศึกษาลักษณะพื้นฐานของบ่อดินจำลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันเบื้องต้นของดินที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 1 เดือน จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
	(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
16/1/2558	8.333	2.194	0.012	0.005	1.431	0.094
18/1/2558	14.348	3.200	0.005	0.001	1.126	0.201
20/1/2558	21.188	6.595	0.106	0.057	1.870	0.108
22/1/2558	13.226	2.374	0.946	0.191	4.592	1.453
24/1/2558	5.957	3.512	3.598	2.466	7.639	1.444
26/1/2558	1.197	0.537	3.860	0.514	6.147	0.728
28/1/2558	0.753	0.225	1.598	0.787	3.621	0.803
30/1/2558	0.472	0.333	0.851	0.709	2.697	0.828
1/2/2558	1.117	0.947	0.546	0.320	2.591	0.455
3/2/2558	1.260	1.652	0.209	0.053	2.433	0.325
5/2/2558	1.871	0.820	0.067	0.014	3.757	0.702
7/2/2558	0.000	0.010	0.020	0.005	2.213	0.267
9/2/2558	0.000	0.024	0.007	0.004	2.218	0.170
11/2/2558	0.247	0.215	0.008	0.005	2.198	0.214
13/2/2558	0.000	0.000	0.005	0.005	2.365	0.283
15/2/2558	0.000	0.000	0.001	0.001	2.387	0.296

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชันที่เปรียบเทียบระหว่างดินที่ผ่านการบ่มดินเป็นเวลา 1 เดือน จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ) และดินที่ไม่ผ่านการบ่ม จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	ดินที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 1 เดือน						ดินที่ไม่ผ่านการบ่ม					
	แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
	(มก.ไนโตรเจน/ล.)						(มก.ไนโตรเจน/ล.)					
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
16/2/2558	0.055	0.066	0.003	0.001	1.302	0.019	7.649	2.839	0.001	0.002	1.476	0.112
18/2/2558	0.010	0.017	0.002	0.004	1.102	0.106	15.488	3.012	0.004	0.002	1.771	0.125
20/2/2558	0.000	0.000	0.000	0.000	1.274	0.035	20.018	2.429	0.004	0.003	1.900	0.142
22/2/2558	0.496	0.641	0.002	0.001	2.155	0.186	21.745	2.970	0.004	0.004	1.937	0.068
24/2/2558	0.760	0.602	0.515	0.532	1.499	0.076	18.918	6.725	0.018	0.030	1.270	0.143
26/2/2558	0.510	0.332	0.008	0.002	1.705	0.134	18.525	8.718	4.257	1.931	2.424	2.126
28/2/2558	0.798	0.906	0.006	0.001	1.792	0.110	1.423	2.465	5.787	2.429	3.246	1.810
1/3/2558	0.548	0.530	0.019	0.031	1.600	0.325	1.454	2.518	7.215	1.295	3.075	1.217
3/3/2558	0.256	0.073	0.026	0.041	1.957	0.084	0.051	0.089	6.350	1.392	3.344	1.494
5/3/2558	0.309	0.113	0.005	0.001	1.770	0.538	0.000	0.000	4.598	2.151	2.822	2.928
7/3/2558	0.365	0.150	0.008	0.001	2.162	0.198	0.000	0.000	2.579	1.498	5.788	1.825
9/3/2558	0.767	0.217	0.006	0.004	2.350	0.460	0.000	0.000	1.487	1.050	5.434	1.070
11/3/2558	0.420	0.197	0.017	0.005	2.081	0.369	0.000	0.000	0.514	0.822	6.049	0.571
12/3/2558	0.548	0.197	0.014	0.009	1.444	0.241	0.004	0.007	0.279	0.483	6.038	0.452
14/3/2558	0.110	0.104	0.012	0.005	1.585	0.373	0.088	0.128	0.009	0.016	6.316	0.466
16/3/2558	0.021	0.036	0.011	0.003	1.368	0.597	0.086	0.136	0.001	0.001	6.496	0.929

<u>การทดลองช่วงที่ 2.1</u> ศึกษาระยะเวลาการบ่มดินที่เหมาะสมร่วมกับการเติมอากาศ

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน โดยเติมเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน					
		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
20/7/2559	9.25	0.361	0.025	0.020	0.012	1.488	0.146
20/7/2559	10.25	0.357	0.007	0.038	0.013	1.410	0.123
20/7/2559	11.25	0.357	0.052	0.032	0.006	1.474	0.182
20/7/2559	12.25	0.309	0.047	0.020	0.006	1.493	0.210
20/7/2559	13.25	0.292	0.012	0.020	0.011	1.464	0.156
20/7/2559	14.25	0.295	0.024	0.017	0.007	1.503	0.164
20/7/2559	15.25	0.290	0.035	0.013	0.005	1.468	0.159
20/7/2559	16.25	0.256	0.059	0.025	0.008	1.391	0.195
20/7/2559	17.25	0.235	0.053	0.022	0.007	1.496	0.201
20/7/2559	18.25	0.243	0.055	0.012	0.006	1.486	0.156
20/7/2559	19.25	0.196	0.042	0.017	0.013	1.465	0.156
20/7/2559	20.25	0.197	0.024	0.015	0.010	1.492	0.170

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน โดยเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
20/7/2559	9.25	0.390	0.018	0.025	0.012	1.448	0.180
20/7/2559	10.25	0.416	0.025	0.039	0.010	1.478	0.160
20/7/2559	11.25	0.408	0.059	0.032	0.004	1.352	0.066
20/7/2559	12.25	0.382	0.046	0.023	0.006	1.516	0.214
20/7/2559	13.25	0.297	0.027	0.022	0.017	1.460	0.098
20/7/2559	14.25	0.293	0.023	0.019	0.013	1.433	0.254
20/7/2559	15.25	0.314	0.018	0.016	0.011	1.519	0.168
20/7/2559	16.25	0.273	0.004	0.018	0.004	1.522	0.178
20/7/2559	17.25	0.271	0.057	0.018	0.010	1.574	0.162
20/7/2559	18.25	0.256	0.038	0.015	0.011	1.559	0.201
20/7/2559	19.25	0.221	0.005	0.038	0.015	1.565	0.122
20/7/2559	20.25	0.218	0.024	0.016	0.012	1.639	0.138

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน โดยเติมเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
4/8/2559	8.25	0.830	0.028	0.006	0.004	1.427	0.247
4/8/2559	9.25	0.803	0.058	0.006	0.004	1.412	0.207
4/8/2559	10.25	0.800	0.131	0.008	0.005	1.405	0.339
4/8/2559	11.25	0.725	0.067	0.009	0.006	1.482	0.220
4/8/2559	12.25	0.728	0.092	0.010	0.005	1.425	0.286
4/8/2559	13.25	0.711	0.072	0.008	0.006	1.460	0.206
4/8/2559	14.25	0.674	0.090	0.010	0.006	1.490	0.176
4/8/2559	15.25	0.670	0.080	0.010	0.007	1.518	0.193
4/8/2559	16.25	0.657	0.086	0.011	0.006	1.528	0.185
4/8/2559	17.25	0.593	0.085	0.011	0.008	1.448	0.187
4/8/2559	18.25	0.607	0.095	0.010	0.009	1.600	0.218
4/8/2559	19.25	0.530	0.092	0.009	0.002	1.386	0.326

ตารางที่ ข-6 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน โดยเติมเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
4/8/2559	8.25	0.887	0.045	0.003	0.004	1.429	0.205
4/8/2559	9.25	0.846	0.134	0.007	0.006	1.258	0.348
4/8/2559	10.25	0.904	0.054	0.010	0.004	1.460	0.137
4/8/2559	11.25	0.859	0.044	0.013	0.003	1.536	0.102
4/8/2559	12.25	0.871	0.042	0.009	0.005	1.507	0.157
4/8/2559	13.25	0.825	0.022	0.010	0.005	1.438	0.274
4/8/2559	14.25	0.624	0.035	0.007	0.005	1.503	0.128
4/8/2559	15.25	0.646	0.033	0.009	0.005	1.514	0.162
4/8/2559	16.25	0.619	0.003	0.024	0.022	1.550	0.126
4/8/2559	17.25	0.593	0.015	0.016	0.017	1.579	0.141
4/8/2559	18.25	0.525	0.055	0.039	0.008	1.612	0.156
4/8/2559	19.25	0.542	0.053	0.036	0.004	1.653	0.137

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน โดยเติมเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 เดือน					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
15/8/2559	9.00	2.082	0.468	0.006	0.003	1.610	0.276
15/8/2559	10.00	2.427	0.194	0.008	0.007	1.605	0.303
15/8/2559	11.00	2.320	0.042	0.010	0.007	1.632	0.303
15/8/2559	12.00	2.057	0.433	0.010	0.001	1.239	0.459
15/8/2559	13.00	1.712	0.016	0.006	0.003	1.297	0.039
15/8/2559	14.00	2.033	0.235	0.016	0.008	1.674	0.324
15/8/2559	15.00	2.194	0.094	0.016	0.011	1.709	0.307
15/8/2559	16.00	1.791	0.278	0.021	0.007	1.849	0.365
15/8/2559	17.00	1.807	0.494	0.023	0.012	1.756	0.315
15/8/2559	18.00	2.004	0.198	0.017	0.012	1.809	0.301
15/8/2559	19.00	1.582	0.179	0.018	0.008	1.831	0.318
15/8/2559	20.00	1.536	0.334	0.016	0.013	1.657	0.350

ตารางที่ ข-8 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน โดยเติมเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล. จำนวน 3 ตู้กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 2 เดือน					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
15/8/2559	9.00	1.817	0.174	0.005	0.001	1.717	0.041
15/8/2559	10.00	2.222	0.210	0.010	0.003	1.629	0.036
15/8/2559	11.00	1.968	0.068	0.011	0.005	1.679	0.053
15/8/2559	12.00	2.099	0.038	0.013	0.001	1.743	0.052
15/8/2559	13.00	1.811	0.139	0.014	0.004	1.656	0.053
15/8/2559	14.00	1.679	0.174	0.013	0.004	1.599	0.209
15/8/2559	15.00	1.300	0.038	0.015	0.001	1.771	0.067
15/8/2559	16.00	1.404	0.066	0.018	0.001	1.765	0.065
15/8/2559	17.00	1.408	0.075	0.018	0.002	1.781	0.072
15/8/2559	18.00	1.384	0.087	0.019	0.004	1.819	0.101
15/8/2559	19.00	1.389	0.033	0.019	0.001	1.778	0.019
15/8/2559	20.00	1.390	0.004	0.018	0.002	1.741	0.267

ตารางที่ ข-9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน
20/07/16	9:25:34	3.958289	5.014256	-384.229	-424.421
20/07/16	10:25:36	4.697466	5.014256	-384.229	-425.426
20/07/16	11:25:38	3.535903	5.014256	-384.229	-428.44
20/07/16	12:25:40	3.641499	4.908659	-384.229	-429.445
20/07/16	13:25:41	3.535903	4.855861	-384.229	-429.445
20/07/16	14:25:43	3.430306	4.961457	-384.229	-433.464
20/07/16	15:25:45	6.281415	5.014256	-382.219	-430.45
20/07/16	16:25:47	4.433474	5.119852	-380.21	-428.44
20/07/16	17:25:48	3.958289	4.908659	-382.219	-428.44
20/07/16	18:25:50	3.588701	4.961457	-380.21	-430.45
20/07/16	19:25:52	3.694298	5.014256	-382.219	-429.445
20/07/16	20:25:54	3.694298	5.014256	-382.219	-430.45
20/07/16	21:25:55	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
20/07/16	22:25:57	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
20/07/16	23:25:59	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	0:25:01	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	1:25:02	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	2:25:04	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	3:25:06	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	4:25:08	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	5:25:09	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	6:25:11	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	7:25:13	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	8:25:15	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445
21/07/16	9:25:16	3.535903	4.803062	-382.219	-429.445

ตารางที่ ข-10 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล.

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน
5/8/2016	8:25:20	5.595037	5.700634	-424.421	-455.57
5/8/2016	9:25:22	5.647835	5.014256	-424.421	-457.579
5/8/2016	10:25:24	5.647835	4.539071	-424.421	-454.565
5/8/2016	11:25:25	5.383844	4.063886	-424.421	-454.565
5/8/2016	12:25:27	5.542239	3.852693	-424.421	-455.57
5/8/2016	13:25:29	5.542239	3.694298	-424.421	-459.589
5/8/2016	14:25:31	5.647835	3.694298	-424.421	-455.57
5/8/2016	15:25:32	5.542239	3.535903	-424.421	-459.589
5/8/2016	16:25:34	5.436642	3.430306	-424.421	-458.584
5/8/2016	17:25:36	5.383844	3.377508	-424.421	-458.584
5/8/2016	18:25:38	5.48944	3.271911	-424.421	-455.57
5/8/2016	19:25:39	5.595037	3.271911	-424.421	-457.579
5/8/2016	20:25:41	5.014256	3.271911	-424.421	-459.589
5/8/2016	21:25:43	4.750264	3.060718	-424.421	-458.584
5/8/2016	22:25:45	4.855861	3.060718	-424.421	-458.584
5/8/2016	23:25:46	4.644667	2.955121	-424.421	-454.565
6/8/2016	0:25:48	4.697466	3.00792	-424.421	-458.584
6/8/2016	1:25:50	4.433474	2.902323	-424.421	-458.584
6/8/2016	2:25:52	4.275079	2.902323	-424.421	-455.57
6/8/2016	3:25:53	4.275079	2.849525	-424.421	-454.565
6/8/2016	4:25:55	4.380676	2.849525	-424.421	-458.584
6/8/2016	5:25:57	4.380676	2.902323	-424.421	-459.589
6/8/2016	6:25:59	4.433474	2.796727	-424.421	-458.584
6/8/2016	7:25:00	4.275079	2.849525	-424.421	-454.565
6/8/2016	8:25:02	4.591869	2.796727	-425.426	-454.565

ตารางที่ ข-11 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของดินที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 และ 2 เดือน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล.

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 1 เดือน	ดินที่ผ่านการบ่ม 2 เดือน
12/8/2016	9:00:38	3.430306	2.47994	-435.474	-460.594
12/8/2016	10:00:40	2.955121	2.37434	-435.474	-458.584
12/8/2016	11:00:42	5.647835	2.47994	-435.474	-459.589
12/8/2016	12:00:44	4.961457	2.42714	-435.474	-460.594
12/8/2016	13:00:46	4.961457	2.42714	-435.474	-459.589
12/8/2016	14:00:48	4.644667	2.37434	-435.474	-459.589
12/8/2016	15:00:51	4.486272	2.42714	-435.474	-458.584
12/8/2016	16:00:53	4.591869	2.42714	-435.474	-462.603
12/8/2016	17:00:55	4.697466	2.42714	-435.474	-460.594
12/8/2016	18:00:57	4.380676	2.47994	-437.483	-459.589
12/8/2016	19:00:59	4.327878	2.42714	-437.483	-458.584
12/8/2016	20:00:01	4.433474	2.37434	-437.483	-458.584
12/8/2016	21:00:03	4.433474	2.37434	-437.483	-458.584
12/8/2016	22:00:05	3.535903	2.37434	-437.483	-462.603
12/8/2016	23:00:07	3.377508	2.37434	-437.483	-458.584
13/08/16	0:00:09	3.271911	2.42714	-437.483	-458.584
13/08/16	1:00:11	3.060718	2.37434	-437.483	-460.594
13/08/16	2:00:13	3.00792	2.32154	-437.483	-459.589
13/08/16	3:00:15	3.166315	2.32154	-437.483	-458.584
13/08/16	4:00:17	2.902323	2.37434	-437.483	-460.594
13/08/16	5:00:19	2.902323	2.37434	-438.488	-460.594
13/08/16	6:00:21	2.902323	2.37434	-438.488	-460.594
13/08/16	7:00:23	2.849525	2.32154	-438.488	-460.594
13/08/16	8:00:26	3.060718	2.37434	-438.488	-460.594
13/08/16	9:00:28	2.955121	2.42714	-438.488	-460.594

<u>การทดลองช่วงที่ 2.2</u> ศึกษาการเติมอากาศต่อการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน

ตารางที่ ข-12 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
9/9/2559	9.30	0.524	0.027	0.026	0.008	0.989	0.033
9/9/2559	10.30	0.529	0.036	0.022	0.004	1.016	0.020
9/9/2559	11.30	0.564	0.063	0.018	0.004	1.022	0.017
9/9/2559	12.30	0.523	0.082	0.016	0.006	1.044	0.026
9/9/2559	13.30	0.440	0.035	0.020	0.015	1.000	0.031
9/9/2559	14.30	0.392	0.037	0.006	0.006	0.978	0.115
9/9/2559	15.30	0.420	0.115	0.014	0.001	1.062	0.044
9/9/2559	16.30	0.485	0.026	0.020	0.005	1.057	0.037
9/9/2559	17.30	0.497	0.035	0.022	0.007	1.053	0.018
9/9/2559	18.30	0.476	0.087	0.020	0.007	1.060	0.009
9/9/2559	19.30	0.388	0.056	0.012	0.012	0.973	0.183
9/9/2559	20.30	0.343	0.049	0.008	0.006	1.113	0.024

ตารางที่ ข-13 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
9/9/2559	9.30	0.604	0.060	0.003	0.002	1.127	0.008
9/9/2559	10.30	0.498	0.054	0.002	0.002	0.985	0.106
9/9/2559	11.30	0.503	0.127	0.003	0.003	0.936	0.348
9/9/2559	12.30	0.512	0.102	0.010	0.005	1.172	0.063
9/9/2559	13.30	0.408	0.072	0.002	0.004	1.126	0.008
9/9/2559	14.30	0.349	0.107	0.001	0.001	1.016	0.211
9/9/2559	15.30	0.338	0.062	0.012	0.001	1.048	0.075
9/9/2559	16.30	0.289	0.080	0.013	0.003	0.922	0.121
9/9/2559	17.30	0.315	0.076	0.011	0.002	1.078	0.024
9/9/2559	18.30	0.238	0.049	0.013	0.007	0.934	0.287
9/9/2559	19.30	0.274	0.063	0.013	0.003	1.043	0.155
9/9/2559	20.30	0.262	0.041	0.016	0.003	1.113	0.024

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-14 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก. ไนโตรเจน/ล. สำหรับควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
13/9/2559	10.00	0.015	0.022	0.029	0.013	1.329	0.290
13/9/2559	11.00	0.008	0.014	0.017	0.004	1.257	0.045
13/9/2559	12.00	0.007	0.009	0.015	0.015	1.308	0.092
13/9/2559	13.00	0.024	0.010	0.001	0.002	1.277	0.029
13/9/2559	14.00	0.010	0.017	0.000	0.000	1.139	0.106
13/9/2559	15.00	0.003	0.006	0.001	0.001	1.344	0.044
13/9/2559	16.00	0.005	0.008	0.013	0.006	1.250	0.086
13/9/2559	17.00	0.051	0.033	0.011	0.011	1.175	0.023
13/9/2559	18.00	0.032	0.043	0.007	0.006	1.196	0.038
13/9/2559	19.00	0.066	0.036	0.003	0.003	1.136	0.060
13/9/2559	20.00	0.012	0.020	0.002	0.003	1.224	0.054
13/9/2559	21.00	0.000	0.000	0.001	0.001	1.130	0.134

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-15 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
13/9/2559	10.00	0.053	0.006	0.042	0.003	1.360	0.160
13/9/2559	11.00	0.074	0.012	0.048	0.001	1.219	0.035
13/9/2559	12.00	0.087	0.025	0.037	0.005	1.200	0.031
13/9/2559	13.00	0.108	0.031	0.039	0.008	1.168	0.155
13/9/2559	14.00	0.023	0.032	0.027	0.009	1.116	0.116
13/9/2559	15.00	0.013	0.022	0.026	0.013	1.087	0.182
13/9/2559	16.00	0.047	0.008	0.029	0.011	1.256	0.015
13/9/2559	17.00	0.083	0.038	0.029	0.001	1.265	0.027
13/9/2559	18.00	0.064	0.008	0.025	0.007	1.179	0.152
13/9/2559	19.00	0.023	0.016	0.026	0.006	1.216	0.022
13/9/2559	20.00	0.031	0.020	0.016	0.008	1.297	0.046
13/9/2559	21.00	0.008	0.015	0.015	0.003	1.259	0.093

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-16 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
18/11/2559	13.30	1.586	0.032	0.007	0.006	6.632	0.392
18/11/2559	14.30	1.787	0.138	0.026	0.019	6.599	0.551
18/11/2559	15.30	1.569	0.066	0.057	0.045	6.768	0.555
18/11/2559	17.30	1.592	0.191	0.121	0.094	6.917	0.477
18/11/2559	19.30	1.398	0.116	0.179	0.147	6.620	0.531
18/11/2559	21.30	1.409	0.563	0.243	0.196	6.904	0.366
18/11/2559	23.30	0.839	0.050	0.300	0.242	7.048	0.325
19/11/2559	3.30	0.119	0.137	0.329	0.299	7.785	0.380
19/11/2559	7.30	0.020	0.035	0.316	0.233	7.971	0.374
19/11/2559	11.30	0.000	0.000	0.214	0.111	8.087	0.291
19/11/2559	15.30	0.000	0.000	0.113	0.073	8.338	0.380
19/11/2559	19.30	0.000	0.000	0.035	0.060	8.299	0.365
19/11/2559	23.30	0.000	0.000	0.015	0.027	8.397	0.341
20/11/2559	3.30	0.000	0.000	0.000	0.000	8.276	0.338
20/11/2559	7.30	0.000	0.000	0.000	0.000	8.282	0.273

ตารางที่ ข-17 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
18/11/2559	13.30	2.147	0.565	0.009	0.005	3.948	0.768
18/11/2559	14.30	1.761	0.047	0.024	0.000	4.210	0.646
18/11/2559	15.30	1.779	0.181	0.040	0.004	4.329	0.706
18/11/2559	17.30	1.491	0.031	0.064	0.005	4.472	0.648
18/11/2559	19.30	1.158	0.021	0.099	0.011	4.615	0.586
18/11/2559	21.30	1.050	0.228	0.110	0.012	4.438	1.236
18/11/2559	23.30	0.896	0.035	0.176	0.031	4.825	0.398
19/11/2559	3.30	0.173	0.126	0.177	0.019	4.975	0.535
19/11/2559	7.30	0.008	0.007	0.188	0.038	5.163	0.496
19/11/2559	11.30	0.064	0.110	0.144	0.048	5.407	0.502
19/11/2559	15.30	0.000	0.000	0.059	0.047	5.409	0.779
19/11/2559	19.30	0.000	0.000	0.015	0.009	5.539	0.667
19/11/2559	23.30	0.000	0.000	0.000	0.000	5.557	0.565
20/11/2559	3.30	0.000	0.000	0.000	0.000	5.500	0.594
20/11/2559	7.30	0.000	0.000	0.000	0.000	5.553	0.568

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-18 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
22/11/2559	10.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.494	0.142
22/11/2559	11.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.510	0.026
22/11/2559	12.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.568	0.076
22/11/2559	13.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.622	0.166
22/11/2559	15.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.469	0.100
22/11/2559	17.50	0.000	0.000	0.000	0.000	7.554	0.039
22/11/2559	19.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.964	1.072
22/11/2559	23.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.666	0.043
23/11/2559	3.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.785	0.111
23/11/2559	7.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.623	0.009
23/11/2559	11.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.745	0.077
23/11/2559	15.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.350	0.648
23/11/2559	19.50	0.000	0.000	0.000	0.000	6.641	0.093

ตารางที่ ข-19 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
22/11/2559	10.50	0.020	0.005	0.015	0.004	4.910	0.792
22/11/2559	11.50	0.028	0.004	0.013	0.001	5.042	0.545
22/11/2559	12.50	0.040	0.002	0.019	0.008	4.977	0.490
22/11/2559	13.50	0.034	0.013	0.018	0.001	5.071	0.536
22/11/2559	15.50	0.021	0.020	0.024	0.004	5.109	0.491
22/11/2559	17.50	0.010	0.014	0.022	0.003	5.078	0.635
22/11/2559	19.50	0.022	0.035	0.025	0.008	5.152	0.567
22/11/2559	23.50	0.000	0.000	0.010	0.004	5.133	0.563
23/11/2559	3.50	0.000	0.000	0.035	0.009	5.038	0.574
23/11/2559	7.50	0.004	0.006	0.048	0.017	4.946	0.337
23/11/2559	11.50	0.012	0.016	0.035	0.015	4.968	0.587
23/11/2559	15.50	0.003	0.005	0.026	0.012	4.653	0.861
23/11/2559	19.50	0.002	0.004	0.014	0.003	4.631	0.366

ตารางที่ ข-20 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
8/11/2559	9.55	3.437	0.847	0.021	0.010	6.469	1.523
8/11/2559	10.55	2.510	0.558	0.057	0.003	6.887	0.263
8/11/2559	11.55	2.066	0.570	0.086	0.039	6.819	0.916
8/11/2559	12.55	2.894	0.526	0.124	0.038	7.175	0.545
8/11/2559	13.55	1.773	0.263	0.155	0.060	7.183	0.670
8/11/2559	15.55	1.818	0.265	0.194	0.087	7.152	0.623
8/11/2559	17.55	2.082	0.093	0.291	0.133	7.247	0.509
8/11/2559	19.55	1.993	0.142	0.317	0.213	7.525	0.685
8/11/2559	22.55	1.949	0.181	0.454	0.287	7.441	0.539
9/11/2559	2.55	2.012	0.270	0.594	0.352	7.521	0.579
9/11/2559	6.55	0.646	0.219	0.821	0.459	7.558	0.637
9/11/2559	10.55	0.386	0.265	0.854	0.521	7.292	0.431
9/11/2559	14.55	0.036	0.062	0.780	0.319	8.102	0.507
9/11/2559	18.55	0.000	0.000	0.522	0.172	8.259	0.599
9/11/2559	22.55	0.000	0.000	0.270	0.077	7.939	0.472
10/11/2559	2.55	0.000	0.000	0.135	0.090	7.955	0.489
10/11/2559	6.55	0.000	0.000	0.061	0.075	7.889	0.474
10/11/2559	10.55	0.000	0.000	0.028	0.044	7.775	0.059
10/11/2559	14.55	0.000	0.000	0.016	0.022	7.836	0.383
10/11/2559	18.55	0.000	0.000	0.006	0.011	7.911	0.453

ตารางที่ ข-21 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
8/11/2559	9.55	3.609	0.171	0.025	0.009	4.440	1.076
8/11/2559	10.55	3.419	0.352	0.064	0.012	4.342	0.958
8/11/2559	11.55	2.505	0.425	0.069	0.019	3.778	1.035
8/11/2559	12.55	2.385	0.296	0.088	0.018	4.507	0.999
8/11/2559	13.55	2.747	0.100	0.132	0.034	4.617	1.005
8/11/2559	15.55	1.910	0.270	0.123	0.037	3.916	1.263
8/11/2559	17.55	2.100	0.136	0.220	0.039	4.690	0.886
8/11/2559	19.55	2.163	0.356	0.285	0.059	5.552	0.998
8/11/2559	22.55	1.496	0.262	0.407	0.099	5.550	0.908
9/11/2559	2.55	1.329	0.366	0.488	0.119	5.716	0.827
9/11/2559	6.55	0.506	0.429	0.666	0.108	6.001	0.842
9/11/2559	10.55	0.000	0.000	0.745	0.063	6.317	0.784
9/11/2559	14.55	0.000	0.000	0.614	0.102	6.562	0.894
9/11/2559	18.55	0.000	0.000	0.431	0.140	6.819	0.852
9/11/2559	22.55	0.371	0.095	0.228	0.114	6.130	1.005
10/11/2559	2.55	0.121	0.049	0.104	0.076	5.945	1.874
10/11/2559	6.55	0.101	0.040	0.043	0.040	6.181	1.758
10/11/2559	10.55	0.109	0.035	0.015	0.016	5.934	1.797
10/11/2559	14.55	0.020	0.011	0.010	0.007	6.338	0.832
10/11/2559	18.55	0.015	0.009	0.011	0.004	6.399	0.895

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-22 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับควบคุมที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม					
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)		ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
13/11/2559	11.40	0.116	0.009	0.010	0.003	7.183	0.351
13/11/2559	12.40	0.163	0.047	0.018	0.003	7.134	0.858
13/11/2559	13.40	0.166	0.042	0.022	0.006	7.345	0.622
13/11/2559	15.40	0.183	0.056	0.024	0.007	7.472	0.493
13/11/2559	17.40	0.084	0.008	0.033	0.003	7.301	0.436
13/11/2559	19.40	0.067	0.046	0.031	0.007	6.820	1.401
13/11/2559	23.40	0.068	0.007	0.046	0.026	7.278	0.527
14/11/2559	3.40	0.042	0.011	0.096	0.043	6.767	0.201
14/11/2559	7.40	0.080	0.013	0.131	0.073	7.070	0.559
14/11/2559	11.40	0.074	0.046	0.128	0.069	6.947	0.412
14/11/2559	15.40	0.151	0.114	0.104	0.060	6.991	0.554
14/11/2559	19.40	0.074	0.011	0.098	0.048	6.997	0.554
14/11/2559	23.40	0.107	0.015	0.085	0.040	7.036	0.495
15/11/2559	3.40	0.092	0.015	0.066	0.003	7.066	0.495
15/11/2559	7.40	0.008	0.015	0.005	0.003	7.112	0.858

ตารางที่ ข-23 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมอากาศบางช่วงเวลา จำนวน 3 ตู้ กระจก (วิเคราะห์ตู้กระจกละ 3 ซ้ำ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลอง					
		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)		(มก.ไนโตรเจน/ล.)	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
13/11/2559	11.40	0.019	0.017	0.000	0.000	5.279	0.911
13/11/2559	12.40	0.000	0.000	0.000	0.000	4.178	1.483
13/11/2559	13.40	0.021	0.036	0.003	0.003	5.356	0.851
13/11/2559	15.40	0.000	0.000	0.006	0.005	5.388	0.917
13/11/2559	17.40	0.042	0.072	0.002	0.003	5.244	0.791
13/11/2559	19.40	0.011	0.019	0.006	0.005	5.477	0.903
13/11/2559	23.40	0.017	0.030	0.016	0.011	5.423	0.927
14/11/2559	3.40	0.010	0.017	0.072	0.032	5.043	0.840
14/11/2559	7.40	0.022	0.014	0.102	0.039	4.757	0.833
14/11/2559	11.40	0.023	0.029	0.097	0.043	4.685	0.830
14/11/2559	15.40	0.025	0.023	0.065	0.036	4.296	1.178
14/11/2559	19.40	0.038	0.033	0.048	0.025	4.477	0.920
14/11/2559	23.40	0.055	0.065	0.035	0.012	4.328	0.931
15/11/2559	3.40	0.000	0.065	0.000	0.036	4.382	0.931
15/11/2559	7.40	0.000	0.065	0.000	0.005	4.377	0.931

ตารางที่ ข-24 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
9/9/2559	9:30:39	5.647835	4.591869	-394.277	-394.277
9/9/2559	10:30:41	5.80623	4.697466	-390.258	-390.258
9/9/2559	11:30:43	5.911827	4.803062	-390.258	-390.258
9/9/2559	12:30:45	5.911827	4.644667	-390.258	-390.258
9/9/2559	13:30:47	6.017423	4.697466	-390.258	-390.258
9/9/2559	14:30:49	5.911827	4.697466	-390.258	-390.258
9/9/2559	15:30:52	5.964625	4.697466	-394.277	-394.277
9/9/2559	16:30:54	5.964625	4.644667	-390.258	-390.258
9/9/2559	17:30:56	5.964625	4.591869	-390.258	-390.258
9/9/2559	18:30:58	5.700634	4.803062	-390.258	-390.258
9/9/2559	19:31:00	5.964625	4.644667	-390.258	-390.258
9/9/2559	20:30:02	5.911827	4.697466	-394.277	-394.277
9/9/2559	21:30:03	5.700634	4.539071	-390.258	-390.258
9/9/2559	22:30:05	5.753432	4.380676	-390.258	-390.258
9/9/2559	23:30:08	5.859029	4.433474	-394.277	-394.277
10/9/2559	0:30:10	5.647835	4.380676	-390.258	-390.258
10/9/2559	1:30:12	5.700634	4.486272	-390.258	-390.258
10/9/2559	2:30:14	5.595037	4.539071	-390.258	-390.258
10/9/2559	3:30:16	5.700634	4.539071	-390.258	-390.258
10/9/2559	4:30:18	5.859029	4.486272	-390.258	-390.258
10/9/2559	5:30:20	5.80623	4.433474	-394.277	-394.277
10/9/2559	6:30:22	5.647835	4.539071	-390.258	-390.258
10/9/2559	7:30:25	5.753432	4.539071	-390.258	-390.258
10/9/2559	8:30:27	5.80623	4.486272	-390.258	-390.258

ตารางที่ ข-25 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	อาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
13/09/16	10:00:00	5.859029	4.539071	-434.469	-394.277
13/09/16	11:00:02	6.017423	4.644667	-430.45	-394.277
13/09/16	12:00:04	5.964625	4.539071	-429.445	-394.277
13/09/16	13:00:06	5.911827	4.591869	-429.445	-394.277
13/09/16	14:00:08	5.964625	4.539071	-429.445	-394.277
13/09/16	15:00:10	5.964625	4.591869	-430.45	-394.277
13/09/16	16:00:12	5.753432	4.750264	-429.445	-394.277
13/09/16	17:00:14	5.911827	4.539071	-427.435	-394.277
13/09/16	18:00:16	5.753432	4.539071	-427.435	-394.277
13/09/16	19:00:18	5.700634	4.380676	-425.426	-394.277
13/09/16	20:00:21	5.80623	4.539071	-429.445	-394.277
13/09/16	21:00:22	5.80623	4.486272	-430.45	-394.277
13/09/16	22:00:24	5.753432	4.591869	-430.45	-394.277
13/09/16	23:00:26	5.859029	4.486272	-427.435	-395.282
14/09/16	0:00:28	5.753432	4.433474	-428.44	-394.277
14/09/16	1:00:31	5.964625	4.486272	-427.435	-394.277
14/09/16	2:00:33	5.80623	4.539071	-427.435	-394.277
14/09/16	3:00:35	5.859029	4.486272	-425.426	-395.282
14/09/16	4:00:37	5.80623	4.433474	-430.45	-395.282
14/09/16	5:00:39	5.80623	4.433474	-428.44	-394.277
14/09/16	6:00:41	5.80623	4.486272	-428.44	-395.282
14/09/16	7:00:43	5.753432	4.539071	-428.44	-395.282
14/09/16	8:00:46	5.859029	4.380676	-432.459	-395.282
14/09/16	9:00:48	5.80623	4.539071	-430.45	-395.282
14/09/16	10:00:50	5.753432	4.539071	-430.45	-395.282

ตารางที่ ข-26 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 2 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
18/11/16	13:30:59	5.911827	4.539071	-442.507	-402.315
18/11/16	14:30:01	5.647835	4.697466	-443.512	-402.315
18/11/16	15:30:03	4.961457	4.539071	-440.498	-402.315
18/11/16	16:30:05	4.803062	4.327878	-440.498	-402.315
18/11/16	17:30:07	5.225449	4.169483	-442.507	-402.315
18/11/16	18:30:09	4.750264	4.063886	-439.493	-402.315
18/11/16	19:30:10	4.697466	3.852693	-440.498	-402.315
18/11/16	20:00:11	4.644667	3.641499	-439.493	-402.315
18/11/16	21:00:13	4.750264	3.588701	-440.498	-402.315
18/11/16	22:00:14	5.753432	3.483105	-442.507	-402.315
18/11/16	23:00:16	4.855861	3.377508	-439.493	-402.315
19/11/16	0:00:17	5.542239	3.271911	-440.498	-402.315
19/11/16	1:00:20	4.803062	3.166315	-440.498	-402.315
19/11/16	2:00:22	4.803062	3.113516	-442.507	-402.315
19/11/16	3:00:25	4.697466	3.00792	-443.512	-402.315
19/11/16	4:00:27	5.067054	2.638332	-443.512	-402.315
19/11/16	5:00:30	4.961457	2.69113	-442.507	-402.315
19/11/16	6:00:32	6.281415	2.69113	-442.507	-402.315
19/11/16	7:00:35	5.119852	2.585533	-440.498	-402.315
19/11/16	8:00:37	4.908659	3.219113	-439.493	-402.315
19/11/16	9:00:40	5.067054	3.32471	-440.498	-402.315
19/11/16	10:00:42	4.961457	3.483105	-440.498	-402.315
19/11/16	11:00:44	5.700634	3.535903	-443.512	-402.315
19/11/16	12:00:46	5.647835	3.113516	-440.498	-402.315
19/11/16	13:00:48	5.278247	3.271911	-439.493	-402.315
19/11/16	13:30:49	5.119852	3.271911	-439.493	-402.315

ตารางที่ ข-27 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	อาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
22/11/16	10:50:50	5.647835	4.222281	-440.498	-403.32
22/11/16	11:50:52	5.964625	4.275079	-437.483	-399.301
22/11/16	12:50:54	5.436642	4.222281	-440.498	-399.301
22/11/16	13:50:56	5.48944	4.011088	-437.483	-399.301
22/11/16	14:50:57	5.278247	3.958289	-435.474	-399.301
22/11/16	15:50:59	5.278247	3.905491	-439.493	-398.296
22/11/16	16:50:01	5.225449	4.011088	-438.488	-399.301
22/11/16	17:50:03	5.17265	3.905491	-435.474	-399.301
22/11/16	18:50:04	5.225449	3.905491	-439.493	-398.296
22/11/16	19:50:06	5.278247	3.694298	-439.493	-398.296
22/11/16	20:50:07	5.225449	3.483105	-437.483	-398.296
22/11/16	21:50:09	5.278247	3.377508	-438.488	-398.296
22/11/16	22:50:11	5.542239	3.32471	-437.483	-398.296
22/11/16	23:50:12	5.436642	3.377508	-437.483	-398.296
23/11/16	0:50:14	5.119852	3.060718	-443.512	-402.315
23/11/16	1:50:16	5.278247	3.060718	-442.507	-402.315
23/11/16	2:50:18	5.119852	3.00792	-439.493	-402.315
23/11/16	3:50:20	5.331045	3.060718	-442.507	-402.315
23/11/16	4:50:22	5.331045	3.00792	-443.512	-402.315
23/11/16	5:50:24	5.067054	3.060718	-443.512	-402.315
23/11/16	6:50:26	5.119852	3.113516	-443.512	-403.32
23/11/16	7:50:29	5.278247	3.113516	-443.512	-403.32
23/11/16	8:50:31	5.48944	3.271911	-443.512	-403.32
23/11/16	9:50:32	5.48944	3.271911	-444.517	-403.32
23/11/16	10:50:34	6.334213	3.271911	-440.498	-403.32

ตารางที่ ข-28 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนียมคลอไรด์เริ่มต้น 3 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
8/11/2559	9:55:26	5.700634	4.327878	-439.493	-402.315
8/11/2559	10:55:28	5.542239	4.327878	-444.517	-402.315
8/11/2559	11:55:30	5.647835	4.116684	-442.507	-402.315
8/11/2559	12:55:31	5.595037	4.011088	-440.498	-402.315
8/11/2559	13:55:33	5.595037	3.799894	-442.507	-402.315
8/11/2559	15:55:37	5.542239	3.535903	-439.493	-402.315
8/11/2559	17:55:41	5.48944	3.377508	-438.488	-402.315
8/11/2559	19:55:44	5.383844	3.113516	-442.507	-400.306
8/11/2559	22:55:49	5.542239	2.796727	-438.488	-402.315
9/11/2559	2:55:58	5.48944	2.585533	-442.507	-402.315
9/11/2559	6:55:08	5.542239	2.532735	-445.522	-400.306
9/11/2559	10:55:17	5.595037	2.743928	-444.517	-402.315
9/11/2559	14:55:25	5.436642	3.00792	-445.522	-402.315
9/11/2559	18:55:32	5.911827	3.641499	-444.517	-400.306
9/11/2559	22:55:38	5.595037	3.799894	-440.498	-402.315
10/11/2559	2:55:47	5.542239	4.011088	-438.488	-402.315
10/11/2559	6:55:57	5.542239	4.222281	-439.493	-402.315
10/11/2559	10:55:06	5.542239	4.380676	-445.522	-402.315

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-29 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันจากการเติมอาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับชุดควบคุมที่เติมอากาศตลอดเวลา และชุดทดลองที่เติมอากาศบางช่วงเวลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	อาหารกุ้งที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 3 มก.ไนโตรเจน/ล.			
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
13/11/2559	11:40:31	5.859029	4.222281	-443.512	-402.315
13/11/2559	12:40:33	5.278247	4.539071	-442.507	-402.315
13/11/2559	13:40:35	5.067054	3.958289	-439.493	-402.315
13/11/2559	15:40:39	4.961457	3.747096	-442.507	-402.315
13/11/2559	17:40:43	4.908659	3.535903	-439.493	-402.315
13/11/2559	19:40:12	4.855861	3.219113	-440.498	-402.315
13/11/2559	23:40:18	4.750264	2.638332	-439.493	-402.315
14/11/2559	3:40:28	4.803062	2.321542	-439.493	-402.315
14/11/2559	7:40:38	4.961457	2.321542	-439.493	-402.315
14/11/2559	11:40:47	4.697466	2.479937	-443.512	-402.315
14/11/2559	15:40:55	4.803062	2.585533	-439.493	-402.315
14/11/2559	19:40:02	4.908659	2.532735	-440.498	-402.315
14/11/2559	23:40:08	5.17265	2.479937	-443.512	-402.315
15/11/2559	3:40:17	5.014256	2.532735	-444.517	-402.315
15/11/2559	7:40:27	4.961457	2.638332	-445.522	-402.315
15/11/2559	11:40:35	5.014256	2.902323	-440.498	-402.315
15/11/2559	15:40:43	5.014256	3.060718	-442.507	-402.315
15/11/2559	19:40:50	4.908659	3.060718	-443.512	-402.315
15/11/2559	23:40:57	4.855861	3.113516	-439.493	-402.315
16/11/2559	3:40:06	4.855861	3.060718	-439.493	-402.315
16/11/2559	7:40:17	4.697466	3.271911	-440.498	-402.315
16/11/2559	11:40:26	5.067054	3.747096	-439.493	-402.315
16/11/2559	15:40:34	4.908659	3.747096	-439.493	-402.315
16/11/2559	19:40:42	5.278247	3.799894	-439.493	-402.315
16/11/2559	23:40:48	4.803062	3.588701	-439.493	-402.315
17/11/2559	3:40:58	5.278247	3.588701	-442.507	-402.315
17/11/2559	7:40:08	5.17265	3.799894	-443.512	-402.315
17/11/2559	11:40:17	4.961457	4.011088	-443.512	-402.315

<u>การทดลองช่วงที่ 3.1</u> ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดิน

ตารางที่ ข-30 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาล)																	
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
24/2/2560	11.15	0.033	0.011	0.014	0.021	0.012	0.021	0.016	0.001	0.000	0.001	0.011	0.002	1.405	0.081	1.551	0.104	1.255	0.401
24/2/2560	12.15	0.060	0.007	0.003	0.002	0.018	0.010	0.016	0.003	0.002	0.002	0.009	0.006	1.458	0.194	1.539	0.078	1.427	0.274
24/2/2560	13.15	0.056	0.029	0.020	0.024	0.012	0.021	0.013	0.002	0.001	0.002	0.004	0.002	1.219	0.324	1.155	0.368	1.650	0.234
24/2/2560	15.15	0.060	0.010	0.013	0.017	0.000	0.000	0.015	0.004	0.001	0.001	0.004	0.001	1.228	0.329	1.345	0.220	1.419	0.264
24/2/2560	17.15	0.037	0.005	0.000	0.000	0.024	0.012	0.020	0.004	0.010	0.005	0.007	0.005	1.557	0.136	1.444	0.147	1.631	0.408
24/2/2560	20.15	0.068	0.014	0.023	0.023	0.050	0.040	0.030	0.010	0.009	0.004	0.014	0.018	1.479	0.071	1.234	0.271	1.185	0.227
24/2/2560	23.15	0.051	0.032	0.001	0.001	0.000	0.000	0.040	0.010	0.011	0.003	0.020	0.021	1.494	0.337	1.285	0.078	1.415	0.282
25/2/2560	3.15	0.056	0.038	0.021	0.019	0.000	0.000	0.042	0.021	0.014	0.006	0.021	0.026	1.382	0.154	1.083	0.130	1.469	0.243
25/2/2560	7.15	0.000	0.000	0.030	0.016	0.001	0.002	0.019	0.006	0.019	0.013	0.013	0.009	1.503	0.127	1.328	0.105	1.484	0.154
25/2/2560	11.15	0.036	0.012	0.056	0.007	0.002	0.003	0.006	0.003	0.011	0.003	0.012	0.006	1.344	0.136	1.019	0.239	1.574	0.544
25/2/2560	15.15	0.049	0.019	0.043	0.023	0.000	0.000	0.012	0.002	0.009	0.007	0.006	0.003	1.292	0.181	1.274	0.127	1.694	0.362
25/2/2560	19.15	0.065	0.017	0.052	0.029	0.003	0.006	0.002	0.002	0.008	0.005	0.006	0.001	1.472	0.285	1.186	0.225	1.763	0.288

ตารางที่ ข-31 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาล โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดควบคุม (ไม่เติมกากน้ำตาล)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
24/02/2560	11:08:31	4.598945	4.704485	6.129288	425.6802	387.3876	511.3347
24/02/2560	12:08:32	4.387863	5.126649	5.970976	352.1181	374.2875	486.1422
24/02/2560	13:08:32	4.335092	4.229551	5.865435	353.1258	379.326	491.1807
24/02/2560	14:08:32	4.282322	4.229551	5.970976	368.2413	381.3414	499.2423
24/02/2560	16:08:33	4.440633	4.124011	6.023747	404.5185	389.403	506.2962
24/02/2560	18:08:33	4.546174	4.968338	6.023747	412.5801	395.4492	509.3193
24/02/2560	20:08:34	3.754617	5.021108	5.918206	413.5878	398.4723	509.3193
25/02/2560	0:08:35	3.701847	4.282322	5.970976	414.5955	408.5493	514.3578
25/02/2560	4:08:36	4.282322	4.651715	5.918206	412.5801	415.6032	518.3886
25/02/2560	8:08:37	5.073879	4.546174	6.129288	409.557	421.6494	511.3347
25/02/2560	12:08:38	5.443272	4.493404	6.023747	403.5108	423.6648	509.3193
25/02/2560	16:08:40	5.443272	4.598945	5.970976	399.48	422.6571	505.2885
25/02/2560	20:08:42	4.862797	4.440633	5.865435	397.4646	421.6494	505.2885
26/02/2560	1:08:44	5.073879	5.021108	5.970976	399.48	421.6494	509.3193
26/02/2560	5:08:46	5.021108	4.387863	5.970976	399.48	424.6725	510.327
26/02/2560	9:08:47	5.707124	4.176781	5.970976	395.4492	428.7033	511.3347
26/02/2560	13:08:49	5.654354	4.387863	6.076517	392.4261	430.7187	510.327
26/02/2560	17:08:51	5.601583	4.440633	5.918206	389.403	429.711	509.3193
26/02/2560	21:08:53	5.23219	4.282322	5.865435	392.4261	428.7033	509.3193
27/02/2560	1:08:55	4.968338	4.493404	5.918206	392.4261	428.7033	513.3501
27/02/2560	5:08:57	4.968338	4.335092	5.865435	392.4261	429.711	513.3501
27/02/2560	9:08:58	5.601583	4.704485	5.970976	388.3953	432.7341	515.3655

ตารางที่ ข-32 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่)																	
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
12/1/2560	9.00	0.005	0.008	0.002	0.003	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	1.277	0.040	1.391	0.022	1.392	0.094
12/1/2560	10.00	0.005	0.007	0.004	0.008	0.014	0.022	0.001	0.001	0.000	0.000	0.007	0.001	1.320	0.037	1.399	0.047	1.490	0.047
12/1/2560	11.00	0.006	0.011	0.036	0.031	0.006	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	1.218	0.145	1.130	0.190	1.402	0.040
12/1/2560	12.00	0.005	0.008	0.000	0.000	0.074	0.066	0.000	0.000	0.001	0.002	0.016	0.026	1.262	0.124	1.289	0.229	1.240	0.207
12/1/2560	14.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.019	0.004	0.006	0.003	0.003	0.000	0.001	1.116	0.165	1.314	0.188	1.073	0.299
12/1/2560	16.00	0.000	0.000	0.024	0.042	0.011	0.014	0.005	0.006	0.001	0.002	0.001	0.002	1.281	0.050	1.320	0.102	1.397	0.059
12/1/2560	17.00	0.000	0.000	0.001	0.001	0.005	0.009	0.002	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	1.250	0.117	1.352	0.033	1.405	0.048
12/1/2560	21.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.004	0.003	1.393	0.044	1.043	0.083	1.414	0.062
13/1/2560	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	1.387	0.061	1.085	0.267	1.240	0.190
13/1/2560	5.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.012	0.009	1.299	0.051	1.356	0.041	1.302	0.161
13/1/2560	9.00	0.000	0.000	0.016	0.026	0.000	0.000	0.017	0.029	0.000	0.000	0.007	0.003	1.237	0.052	1.405	0.056	1.311	0.227
13/1/2560	13.00	0.000	0.000	0.038	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.007	1.329	0.054	1.375	0.053	1.294	0.207
13/1/2560	17.00	0.000	0.000	0.031	0.040	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.007	0.006	1.242	0.202	1.410	0.011	1.201	0.353

ตารางที่ ข-33 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
12/1/2560	8:03:20	4.229551	4.229551	6.340369	277.5483	361.1874	288.633
12/1/2560	10:04:50	4.704485	4.704485	6.076517	233.2095	357.1566	234.2172
12/1/2560	13:04:51	5.126649	4.493404	6.234828	243.2865	356.1489	248.325
12/1/2560	15:04:51	4.968338	4.440633	6.234828	243.2865	354.1335	259.4097
12/1/2560	17:04:52	4.335092	3.965699	5.812665	242.2788	353.1258	259.4097
12/1/2560	21:04:53	3.385224	3.279683	5.812665	243.2865	350.1027	258.402
13/1/2560	1:04:54	2.540897	4.598945	6.287599	241.2711	342.0411	261.4251
13/1/2560	5:04:55	2.065963	4.387863	5.759894	239.2557	335.9949	263.4405
13/1/2560	9:04:57	2.751979	4.598945	6.234828	243.2865	338.0103	268.479
13/1/2560	13:05:00	3.279683	5.126649	5.601583	243.2865	343.0488	277.5483
13/1/2560	17:05:03	3.437995	4.968338	6.023747	252.3558	343.0488	281.5791
13/1/2560	21:05:05	2.646438	5.17942	5.601583	262.4328	334.9872	288.633
14/1/2560	1:05:06	2.171504	4.862797	6.076517	276.5406	330.9564	296.6946
14/1/2560	5:05:07	1.960422	4.546174	6.076517	282.5868	323.9025	302.7408
14/1/2560	9:05:08	2.488127	5.126649	6.182058	283.5945	326.9256	303.7485
14/1/2560	10:05:08	3.068602	5.021108	6.287599	287.6253	329.9487	301.7331
14/1/2560	14:05:10	3.754617	4.968338	5.970976	283.5945	337.0026	299.7177
14/1/2560	18:05:11	4.01847	4.968338	6.287599	281.5791	341.0334	299.7177
14/1/2560	22:05:12	2.699208	4.546174	6.129288	283.5945	338.0103	301.7331
15/1/2560	2:05:13	2.540897	4.387863	6.023747	286.6176	333.9795	303.7485
15/1/2560	6:05:14	2.224274	4.282322	6.234828	287.6253	330.9564	304.7562
15/1/2560	10:05:15	2.91029	4.968338	6.340369	287.6253	339.018	302.7408
15/1/2560	14:05:17	3.912929	5.443272	6.182058	284.6022	346.0719	301.7331
15/1/2560	18:05:18	4.598945	5.759894	6.287599	282.5868	351.1104	299.7177

ตารางที่ ข-33 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0125 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 20 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
16/1/2560	1:05:20	3.174142	4.862797	6.234828	286.6176	341.0334	302.7408
16/1/2560	5:05:21	2.751979	4.651715	6.234828	286.6176	335.9949	306.7716
16/1/2560	9:05:22	3.701847	5.021108	6.287599	282.5868	341.0334	303.7485
16/1/2560	13:05:23	4.176781	6.023747	6.182058	279.5637	350.1027	303.7485
16/1/2560	17:05:24	5.073879	6.287599	6.182058	274.5252	353.1258	304.7562
16/1/2560	22:05:26	3.754617	5.17942	6.234828	279.5637	354.1335	302.7408
17/1/2560	3:05:27	3.174142	4.757256	6.182058	278.556	348.0873	303.7485
17/1/2560	9:05:28	4.440633	5.654354	6.287599	278.556	351.1104	301.7331
17/1/2560	14:05:30	5.073879	6.076517	6.234828	271.5021	356.1489	303.7485
17/1/2560	19:05:31	4.862797	5.812665	5.970976	273.5175	359.172	301.7331
18/1/2560	0:05:33	3.385224	4.335092	5.918206	273.5175	351.1104	297.7023
18/1/2560	5:05:35	3.015831	4.546174	5.707124	276.5406	346.0719	299.7177
18/1/2560	10:05:36	4.704485	5.28496	5.865435	274.5252	354.1335	297.7023
18/1/2560	15:05:40	4.757256	5.548813	5.707124	269.4867	355.1412	298.71
18/1/2560	20:05:44	4.387863	5.601583	5.443272	267.4713	355.1412	298.71
19/1/2560	1:05:48	3.226913	4.440633	5.548813	272.5098	351.1104	297.7023
19/1/2560	6:05:52	3.332454	4.387863	5.918206	274.5252	348.0873	297.7023
19/1/2560	11:05:56	4.704485	5.28496	5.654354	271.5021	353.1258	298.71
19/1/2560	16:06:00	5.28496	5.496042	5.759894	264.4482	358.1643	297.7023

ตารางที่ ข-34 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่)																	
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
21/1/2560	10.25	0.010	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.002	0.022	0.003	0.000	0.000	1.698	0.202	1.755	0.163	1.645	0.438
21/1/2560	11.25	0.005	0.008	0.000	0.000	0.011	0.018	0.010	0.003	0.016	0.003	0.000	0.000	1.837	0.041	2.046	0.112	2.095	0.095
21/1/2560	12.25	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.005	0.014	0.005	0.000	0.000	1.839	0.168	2.118	0.132	1.816	0.307
21/1/2560	13.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.004	0.011	0.002	0.000	0.000	1.784	0.071	1.704	0.069	1.909	0.168
21/1/2560	15.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.004	0.010	0.002	0.000	0.000	1.691	0.048	2.036	0.272	1.342	0.161
21/1/2560	17.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	1.422	0.437	1.450	0.306	1.419	0.197
21/1/2560	19.25	0.007	0.012	0.040	0.053	0.000	0.000	0.007	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000	1.575	0.064	1.642	0.017	1.530	0.077
21/1/2560	23.25	0.002	0.003	0.004	0.006	0.000	0.000	0.007	0.002	0.003	0.006	0.000	0.000	1.692	0.024	1.424	0.259	1.396	0.377
22/1/2560	3.25	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.005	0.008	0.005	0.007	0.011	0.002	1.658	0.045	1.328	0.249	1.507	0.330
22/1/2560	7.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.005	0.000	0.000	0.011	0.001	1.410	0.349	1.608	0.028	1.106	0.298
22/1/2560	11.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.017	0.002	0.003	0.015	0.006	1.637	0.086	1.566	0.018	1.578	0.147
22/1/2560	15.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.008	0.002	0.003	0.022	0.003	1.679	0.079	1.574	0.017	1.451	0.363
22/1/2560	19.25	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.003	0.001	0.002	0.003	0.016	0.003	1.573	0.212	1.495	0.175	1.730	0.106

ตารางที่ ข-35 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
21/1/2560	10:02:29	4.757256	4.651715	5.812665	286.6176	352.1181	298.71
21/1/2560	11:02:29	4.651715	5.17942	5.654354	219.1017	350.1027	219.1017
21/1/2560	12:02:29	4.704485	4.862797	5.707124	228.171	350.1027	231.1941
21/1/2560	13:02:30	4.598945	4.704485	6.023747	231.1941	345.0642	239.2557
21/1/2560	15:02:30	4.229551	4.335092	5.707124	242.2788	351.1104	246.3096
21/1/2560	17:02:31	4.493404	4.493404	5.496042	247.3173	355.1412	253.3635
21/1/2560	19:02:31	3.332454	4.598945	5.707124	249.3327	356.1489	257.3943
21/1/2560	21:02:32	2.963061	4.176781	5.496042	251.3481	357.1566	261.4251
22/1/2560	0:02:32	1.960422	4.440633	5.654354	251.3481	351.1104	263.4405
22/1/2560	4:02:33	1.432718	4.176781	5.918206	247.3173	340.0257	269.4867
22/1/2560	8:02:35	2.013193	5.021108	6.182058	246.3096	342.0411	279.5637
22/1/2560	12:02:36	2.646438	4.546174	6.023747	248.325	353.1258	296.6946
22/1/2560	16:02:37	3.279683	3.912929	5.970976	254.3712	358.1643	312.8178
22/1/2560	20:02:38	2.91029	4.176781	5.918206	264.4482	361.1874	324.9102
23/1/2560	0:02:39	2.171504	4.282322	6.076517	269.4867	348.0873	343.0488
23/1/2560	4:02:40	1.960422	4.335092	6.076517	278.556	340.0257	359.172
23/1/2560	8:02:41	2.435356	4.757256	6.182058	278.556	340.0257	365.2182
23/1/2560	13:02:42	3.543536	4.598945	6.076517	279.5637	350.1027	365.2182
23/1/2560	18:02:43	4.229551	4.915567	6.023747	277.5483	357.1566	364.2105
23/1/2560	23:02:45	2.91029	4.546174	6.076517	279.5637	347.0796	368.2413
24/1/2560	4:02:46	2.593668	4.124011	5.812665	283.5945	344.0565	370.2567
24/1/2560	9:02:47	3.543536	4.862797	6.129288	283.5945	347.0796	370.2567
24/1/2560	14:02:49	4.757256	4.651715	6.182058	278.556	355.1412	369.249
24/1/2560	19:02:50	4.810026	4.810026	6.076517	276.5406	356.1489	368.2413

ตารางที่ ข-35 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.025 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 40 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
25/1/2560	0:02:51	3.385224	4.229551	6.129288	282.5868	351.1104	369.249
25/1/2560	5:02:52	3.015831	4.07124	6.129288	281.5791	343.0488	374.2875
25/1/2560	10:02:54	4.01847	5.126649	6.129288	282.5868	351.1104	370.2567
25/1/2560	15:02:55	4.915567	5.337731	6.023747	277.5483	360.1797	367.2336
25/1/2560	20:02:56	4.440633	4.704485	5.918206	278.556	360.1797	364.2105
26/1/2560	1:02:58	3.490765	4.176781	5.865435	279.5637	352.1181	365.2182
26/1/2560	6:02:59	3.121372	4.546174	5.970976	283.5945	350.1027	365.2182
26/1/2560	11:03:00	4.335092	5.443272	5.970976	276.5406	356.1489	367.2336
26/1/2560	16:03:02	5.28496	5.654354	6.023747	273.5175	362.1951	362.1951
26/1/2560	21:03:03	4.387863	4.810026	5.812665	277.5483	374.2875	359.172
27/1/2560	2:03:04	3.490765	4.387863	5.654354	278.556	364.2105	362.1951
27/1/2560	7:03:05	3.754617	4.810026	5.865435	281.5791	358.1643	362.1951
27/1/2560	12:05:27	4.704485	4.810026	5.970976	282.5868	362.1951	364.2105
27/1/2560	17:05:28	4.915567	5.390501	6.023747	288.633	366.2259	370.2567
27/1/2560	22:05:29	4.176781	5.021108	5.970976	296.6946	364.2105	364.2105
28/1/2560	3:05:31	3.543536	4.810026	6.023747	298.71	357.1566	365.2182
28/1/2560	8:05:32	4.01847	4.968338	6.234828	294.6792	354.1335	368.2413
28/1/2560	13:05:33	5.021108	5.654354	6.287599	293.6715	363.2028	360.1797
28/1/2560	18:05:35	5.759894	5.970976	6.182058	291.6561	366.2259	357.1566
28/1/2560	23:05:36	4.387863	5.28496	6.076517	293.6715	361.1874	354.1335
29/1/2560	4:05:37	3.596306	5.021108	6.234828	298.71	353.1258	358.1643
29/1/2560	9:05:38	4.493404	5.337731	6.287599	303.7485	357.1566	357.1566
29/1/2560	14:05:40	5.443272	5.548813	6.076517	298.71	365.2182	353.1258
29/1/2560	19:05:41	5.337731	5.126649	5.970976	294.6792	370.2567	350.1027

ตารางที่ ข-36 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่)																	
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
10/2/2560	9.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.012	0.003	0.001	0.000	0.000	0.011	0.007	2.280	0.010	2.029	0.324	2.028	0.621
10/2/2560	10.40	0.002	0.004	0.000	0.000	0.028	0.006	0.004	0.004	0.000	0.000	0.014	0.006	2.313	0.069	1.973	0.329	2.396	0.305
10/2/2560	11.40	0.001	0.001	0.000	0.000	0.031	0.018	0.003	0.001	0.000	0.000	0.013	0.003	2.119	0.136	2.129	0.075	2.169	0.513
10/2/2560	12.40	0.008	0.014	0.000	0.000	0.024	0.025	0.006	0.003	0.000	0.000	0.016	0.006	2.308	0.130	1.890	0.316	1.877	0.356
10/2/2560	13.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.005	2.144	0.010	2.087	0.040	1.830	0.282
10/2/2560	15.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	2.009	0.045	1.862	0.332	1.742	0.267
10/2/2560	17.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	1.758	0.333	1.708	0.171	1.752	0.368
10/2/2560	19.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	1.923	0.154	2.029	0.067	1.886	0.325
10/2/2560	23.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.011	2.034	0.168	1.916	0.039	1.996	0.132
11/2/2560	3.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.023	1.915	0.047	1.932	0.010	1.929	0.158
11/2/2560	7.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	1.894	0.061	1.921	0.039	1.990	0.049
11/2/2560	11.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	1.939	0.027	1.918	0.025	1.845	0.338
11/2/2560	15.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	1.936	0.027	1.917	0.025	1.844	0.338

ตารางที่ ข-37 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
10/02/17	9:28:52	4.915567	5.021108	5.865435	321.8871	390.4107	345.0642
10/02/17	10:28:52	4.493404	5.126649	5.654354	236.2326	383.3568	238.248
10/02/17	11:28:52	4.493404	4.335092	5.654354	244.2942	381.3414	248.325
10/02/17	12:28:53	3.965699	4.704485	5.812665	249.3327	381.3414	253.3635
10/02/17	13:28:53	3.807388	4.493404	5.707124	254.3712	381.3414	258.402
10/02/17	15:28:54	3.174142	4.546174	5.654354	262.4328	382.3491	263.4405
10/02/17	17:28:54	3.121372	3.860158	5.918206	264.4482	381.3414	271.5021
10/02/17	19:28:55	2.382586	5.021108	5.654354	267.4713	380.3337	274.5252
10/02/17	23:28:56	1.538259	4.915567	5.496042	273.5175	373.2798	281.5791
11/02/17	3:28:57	1.221636	4.124011	5.390501	274.5252	367.2336	291.6561
11/02/17	7:28:58	1.327177	4.282322	5.759894	276.5406	367.2336	299.7177
11/02/17	11:28:59	2.171504	4.546174	5.759894	277.5483	381.3414	307.7793
11/02/17	15:29:00	2.751979	4.335092	6.023747	279.5637	389.403	319.8717
11/02/17	19:29:01	2.593668	4.546174	5.812665	286.6176	394.4415	327.9333
11/02/17	23:29:02	1.485488	5.126649	5.812665	291.6561	386.3799	338.0103
12/02/17	3:29:03	1.168865	4.07124	5.970976	296.6946	380.3337	352.1181
12/02/17	7:29:04	1.538259	4.176781	6.076517	299.7177	383.3568	363.2028
12/02/17	11:29:05	2.751979	4.176781	6.234828	298.71	396.4569	370.2567
12/02/17	15:29:06	3.174142	4.176781	6.182058	297.7023	400.4877	377.3106
12/02/17	19:29:07	3.174142	4.440633	6.182058	299.7177	399.48	378.3183
13/02/17	0:29:08	2.277045	4.493404	6.129288	304.7562	389.403	384.3645
13/02/17	5:29:10	2.118734	4.968338	6.287599	311.8101	380.3337	390.4107
13/02/17	10:29:11	3.332454	4.493404	6.234828	309.7947	384.3645	395.4492
13/02/17	15:29:12	4.282322	4.387863	6.023747	307.7793	390.4107	399.48

ตารางที่ ข-37 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0625 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 100 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
13/02/17	20:29:13	4.07124	4.387863	5.601583	308.787	392.4261	399.48
14/02/17	1:29:15	2.91029	4.176781	5.601583	312.8178	385.3722	405.5262
14/02/17	6:29:16	2.646438	5.021108	6.287599	313.8255	381.3414	408.5493
14/02/17	11:29:17	3.965699	4.229551	6.129288	311.8101	387.3876	412.5801
14/02/17	16:29:19	5.073879	4.546174	5.548813	308.787	393.4338	409.557
14/02/17	21:29:20	4.01847	4.387863	5.390501	308.787	391.4184	413.5878
15/02/17	2:29:21	3.174142	4.176781	5.654354	313.8255	391.4184	413.5878
15/02/17	7:29:22	3.332454	4.493404	5.548813	313.8255	388.3953	417.6186
15/02/17	12:29:24	4.598945	4.810026	5.496042	308.787	411.5724	418.6263
15/02/17	17:30:24	4.810026	4.493404	5.337731	307.7793	422.6571	417.6186
15/02/17	22:30:26	3.754617	4.335092	5.390501	309.7947	416.6109	415.6032
16/02/17	3:30:27	2.963061	4.862797	5.601583	311.8101	408.5493	418.6263
16/02/17	8:30:28	3.649077	4.810026	5.496042	308.787	404.5185	420.6417
16/02/17	13:30:30	4.387863	4.598945	5.337731	306.7716	411.5724	418.6263
16/02/17	18:32:59	4.968338	4.915567	5.548813	303.7485	412.5801	417.6186

ตารางที่ ข-38 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่)																	
		แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา		ไม่เติมอากาศ		เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.		เติมอากาศตลอดเวลา	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
17/2/2560	11.15	0.059	0.012	0.002	0.003	0.017	0.002	0.020	0.010	0.005	0.007	0.005	0.003	3.419	0.694	3.506	0.293	2.717	0.322
17/2/2560	12.15	0.056	0.004	0.001	0.002	0.026	0.004	0.033	0.006	0.003	0.004	0.008	0.006	3.548	0.569	3.079	0.376	2.890	0.274
17/2/2560	13.15	0.064	0.024	0.000	0.000	0.015	0.011	0.031	0.024	0.014	0.021	0.012	0.008	2.307	0.390	2.750	0.612	2.445	0.514
17/2/2560	15.15	0.062	0.025	0.000	0.000	0.005	0.003	0.026	0.015	0.005	0.005	0.005	0.004	2.459	0.307	3.524	0.934	2.465	0.283
17/2/2560	17.15	0.019	0.000	0.000	0.000	0.007	0.005	0.010	0.011	0.040	0.010	0.000	0.000	2.537	1.058	2.918	0.070	1.881	0.496
17/2/2560	20.15	0.061	0.027	0.002	0.004	0.006	0.005	0.002	0.002	0.044	0.018	0.002	0.001	2.177	0.218	2.538	0.386	2.243	0.487
17/2/2560	23.15	0.076	0.033	0.015	0.017	0.000	0.000	0.015	0.009	0.040	0.014	0.002	0.004	2.565	0.117	2.550	0.442	2.627	0.047
18/2/2560	3.15	0.066	0.008	0.003	0.005	0.004	0.007	0.007	0.004	0.040	0.016	0.000	0.000	2.737	0.542	2.423	0.531	2.646	0.116
18/2/2560	7.15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.006	0.033	0.012	0.004	0.007	2.523	0.403	2.592	0.152	2.413	0.085
18/2/2560	11.15	0.003	0.006	0.005	0.008	0.000	0.000	0.005	0.005	0.039	0.020	0.007	0.012	2.679	0.203	2.076	0.434	2.598	0.487
18/2/2560	15.15	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.053	0.023	0.001	0.001	2.547	0.519	2.671	0.067	2.266	0.555
18/2/2560	19.15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.019	0.003	0.004	2.081	0.438	2.559	0.211	2.200	0.321

ตารางที่ ข-39 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก. ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
17/2/2560	10:25:33	4.810026	4.704485	5.496042	339.018	400.4877	428.7033
17/2/2560	11:25:33	4.757256	4.387863	5.23219	233.2095	400.4877	291.6561
17/2/2560	12:25:34	4.229551	4.968338	5.126649	246.3096	397.4646	284.6022
17/2/2560	13:25:34	3.807388	5.17942	4.810026	258.402	396.4569	292.6638
17/2/2560	15:25:35	2.329815	4.07124	4.915567	278.556	391.4184	311.8101
17/2/2560	17:25:36	1.69657	4.915567	5.021108	291.6561	388.3953	327.9333
17/2/2560	19:25:37	1.432718	5.073879	4.810026	296.6946	385.3722	339.018
17/2/2560	21:25:38	0.905013	4.810026	5.126649	304.7562	377.3106	350.1027
18/2/2560	1:25:40	0.53562	4.01847	5.126649	317.8563	354.1335	362.1951
18/2/2560	5:25:42	0.377309	4.01847	5.021108	322.8948	337.0026	359.172
18/2/2560	9:25:43	1.010554	4.335092	5.337731	326.9256	368.2413	355.1412
18/2/2560	13:25:45	1.69657	4.176781	5.17942	322.8948	396.4569	352.1181
18/2/2560	17:25:47	2.065963	4.862797	5.021108	321.8871	408.5493	355.1412
18/2/2560	21:25:49	1.168865	4.651715	4.810026	326.9256	408.5493	349.095
19/2/2560	1:25:50	0.957784	4.598945	4.968338	331.9641	401.4954	355.1412
19/2/2560	5:25:52	0.905013	4.01847	5.073879	338.0103	401.4954	364.2105
19/2/2560	9:25:54	1.74934	4.01847	5.28496	339.018	409.557	377.3106
19/2/2560	14:25:56	2.646438	4.810026	5.337731	339.018	418.6263	380.3337
19/2/2560	19:25:58	2.804749	4.862797	5.073879	340.0257	419.634	379.326
20/2/2560	0:26:01	1.854881	4.651715	4.651715	345.0642	411.5724	389.403
20/2/2560	5:26:03	1.907652	4.546174	4.704485	347.0796	408.5493	394.4415
20/2/2560	10:26:05	2.91029	4.07124	4.598945	344.0565	410.5647	397.4646
20/2/2560	15:26:08	3.437995	4.651715	4.440633	339.018	413.5878	394.4415

ตารางที่ ข-39 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียของบ่อดิน จากชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่) โดยควบคุมสภาวะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลในอัตราส่วน 0.0875 มล./ล. (เทียบเท่าสัดส่วนการเติมสารอินทรีย์ 140 ล./ไร่)					
		ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)			ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)		
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา	ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศเมื่อ DO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	เติมอากาศตลอดเวลา
20/2/2560	20:26:10	3.121372	4.493404	4.651715	338.0103	410.5647	394.4415
21/2/2560	1:26:12	2.382586	4.387863	4.546174	343.0488	408.5493	399.48
21/2/2560	6:26:14	2.329815	4.915567	4.810026	345.0642	408.5493	404.5185
21/2/2560	11:26:17	3.437995	3.965699	5.073879	343.0488	411.5724	405.5262
21/2/2560	16:26:19	4.01847	4.546174	4.862797	339.018	413.5878	403.5108
21/2/2560	21:26:21	3.226913	4.862797	4.915567	340.0257	413.5878	403.5108
22/2/2560	2:26:23	2.593668	4.493404	5.073879	343.0488	414.5955	408.5493
22/2/2560	7:26:26	3.015831	4.862797	5.126649	343.0488	414.5955	410.5647
22/2/2560	12:26:28	4.124011	4.810026	5.17942	342.0411	418.6263	405.5262
22/2/2560	17:26:30	4.387863	3.965699	5.126649	338.0103	420.6417	404.5185
22/2/2560	22:26:31	3.385224	4.757256	4.757256	338.0103	417.6186	407.5416
23/2/2560	3:26:32	2.963061	4.176781	4.862797	339.018	417.6186	409.557
23/2/2560	8:26:34	3.596306	4.124011	5.073879	338.0103	417.6186	412.5801
23/2/2560	13:26:35	4.335092	4.862797	4.862797	331.9641	423.6648	407.5416
23/2/2560	18:26:37	4.704485	4.915567	4.915567	328.941	423.6648	404.5185
23/2/2560	19:26:37	4.493404	4.757256	4.651715	327.9333	424.6725	405.5262
23/2/2560	19:31:37	4.440633	4.915567	4.862797	328.941	424.6725	404.5185
23/2/2560	19:36:37	4.440633	4.862797	4.757256	328.941	424.6725	405.5262
23/2/2560	19:41:37	4.387863	4.862797	4.598945	327.9333	423.6648	405.5262

<u>การทดลองช่วงที่ 3.2</u> ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการบำบัดของเสียไนโตรเจนในระบบบ่อดิน

ตารางที่ ข-40 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 1 เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
11/3/2560	11.55	0.065	0.056	0.000	0.000	0.015	0.015	0.018	0.001	0.013	0.004	0.020	0.003	1.212	0.134	1.540	0.050	1.438	0.184
11/3/2560	12.55	0.054	0.048	0.000	0.000	0.010	0.006	0.014	0.003	0.012	0.006	0.013	0.003	1.326	0.302	1.388	0.157	1.102	0.274
11/3/2560	13.55	0.043	0.038	0.003	0.005	0.020	0.021	0.014	0.002	0.013	0.003	0.012	0.001	1.060	0.111	1.471	0.182	1.261	0.159
11/3/2560	15.55	0.027	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.003	0.016	0.005	0.012	0.002	0.962	0.178	1.519	0.094	1.248	0.161
11/3/2560	17.55	0.031	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.006	0.016	0.001	0.022	0.006	1.112	0.043	1.040	0.045	0.896	0.152
11/3/2560	20.55	0.014	0.010	0.002	0.003	0.001	0.001	0.018	0.006	0.011	0.005	0.012	0.009	1.059	0.013	1.005	0.074	0.949	0.044
11/3/2560	23.55	0.022	0.011	0.002	0.004	0.000	0.000	0.024	0.009	0.008	0.004	0.012	0.008	1.467	0.358	0.990	0.087	0.967	0.016
12/3/2560	3.55	0.090	0.060	0.000	0.000	0.002	0.002	0.016	0.004	0.010	0.003	0.012	0.003	1.067	0.321	1.004	0.036	0.987	0.016
12/3/2560	7.55	0.027	0.020	0.001	0.001	0.001	0.002	0.014	0.003	0.016	0.001	0.012	0.001	1.041	0.168	0.970	0.108	0.876	0.160
12/3/2560	11.55	0.053	0.042	0.000	0.000	0.002	0.003	0.024	0.009	0.013	0.004	0.012	0.008	1.029	0.067	1.041	0.058	0.996	0.084
12/3/2560	15.55	0.014	0.010	0.000	0.000	0.002	0.002	0.024	0.009	0.010	0.003	0.020	0.003	1.172	0.064	1.146	0.022	1.068	0.068
12/3/2560	19.55	0.027	0.020	0.001	0.001	0.005	0.005	0.018	0.001	0.012	0.006	0.012	0.003	1.190	0.085	0.970	0.108	0.996	0.084

ตารางที่ ข-41 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ2 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 1 เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
16/3/2560	9.50	1.326	0.030	1.467	0.130	1.344	0.090	0.013	0.010	0.009	0.002	0.012	0.001	1.216	0.165	1.716	0.197	1.786	0.243
16/3/2560	10.50	1.300	0.006	1.422	0.171	1.168	0.073	0.012	0.002	0.012	0.002	0.011	0.003	1.183	0.079	1.658	0.129	1.267	0.382
16/3/2560	11.50	1.142	0.091	1.323	0.108	1.222	0.117	0.013	0.004	0.014	0.001	0.016	0.006	0.955	0.197	1.802	0.104	1.614	0.237
16/3/2560	13.50	1.169	0.107	0.961	0.096	1.064	0.179	0.022	0.011	0.017	0.002	0.025	0.007	1.067	0.244	1.838	0.255	1.860	0.172
16/3/2560	15.50	1.094	0.073	0.822	0.085	0.967	0.162	0.040	0.017	0.027	0.007	0.034	0.008	1.252	0.082	1.700	0.420	1.797	0.239
16/3/2560	18.50	0.990	0.073	0.788	0.150	0.745	0.111	0.057	0.031	0.035	0.007	0.042	0.015	1.300	0.137	1.869	0.191	1.652	0.442
16/3/2560	21.50	0.967	0.017	0.693	0.080	0.683	0.096	0.087	0.051	0.046	0.007	0.055	0.020	1.434	0.182	2.046	0.123	1.792	0.425
17/3/2560	1.50	0.852	0.069	0.557	0.020	0.615	0.066	0.131	0.075	0.056	0.009	0.079	0.013	1.504	0.156	2.109	0.189	2.042	0.057
17/3/2560	5.50	0.530	0.066	0.374	0.035	0.421	0.074	0.139	0.078	0.056	0.015	0.085	0.022	1.321	0.318	1.839	0.285	2.104	0.061
17/3/2560	9.50	0.371	0.024	0.238	0.039	0.272	0.025	0.183	0.121	0.051	0.021	0.079	0.014	1.327	0.193	1.886	0.317	1.789	0.213
17/3/2560	13.50	0.261	0.042	0.202	0.026	0.210	0.053	0.193	0.130	0.056	0.021	0.091	0.030	1.616	0.281	2.252	0.118	2.057	0.079
17/3/2560	17.50	0.129	0.012	0.128	0.024	0.133	0.038	0.130	0.081	0.047	0.013	0.090	0.044	1.438	0.127	2.237	0.123	2.296	0.092
17/3/2560	21.50	0.072	0.013	0.035	0.012	0.067	0.025	0.147	0.117	0.033	0.010	0.075	0.049	1.699	0.317	2.128	0.219	2.163	0.291

ตารางที่ ข-41 (ต่อ) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 1 เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
18/3/2560	2.50	0.022	0.005	0.032	0.027	0.047	0.005	0.104	0.082	0.025	0.004	0.055	0.033	1.620	0.222	2.284	0.218	2.172	0.340
18/3/2560	7.50	0.009	0.006	0.007	0.009	0.005	0.004	0.077	0.051	0.016	0.001	0.040	0.019	1.512	0.484	2.153	0.097	2.289	0.270
18/3/2560	11.50	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.008	0.059	0.023	0.036	0.018	0.019	0.008	2.075	0.495	3.076	0.139	2.637	0.473
18/3/2560	15.50	0.000	0.000	0.023	0.004	0.029	0.021	0.029	0.015	0.016	0.005	0.028	0.001	1.655	0.183	2.252	0.188	2.277	0.091
18/3/2560	19.50	0.024	0.021	0.030	0.028	0.006	0.008	0.019	0.005	0.018	0.010	0.018	0.004	1.590	0.184	2.027	0.243	2.222	0.190

ตารางที่ ข-42 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ4 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 1 เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
24/3/2560	9.50	3.570	0.090	4.294	0.295	3.657	0.188	0.011	0.001	0.008	0.000	0.007	0.006	0.952	0.037	1.740	0.052	1.615	0.035
24/3/2560	11.50	3.222	0.100	3.907	0.328	3.353	0.375	0.036	0.009	0.020	0.002	0.036	0.006	0.978	0.013	1.780	0.115	1.653	0.175

ตารางที่ ข-42 (ต่อ) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จากการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 4 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 1 เติมกากน้ำตาล และชุดทดลองที่ 2 เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	แอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนไทรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)						ไนเทรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)					
		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2		ชุดควบคุม		ชุดทดลองที่ 1		ชุดทดลองที่ 2	
		ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
24/3/2560	13.50	2.969	0.059	2.721	0.392	3.127	0.118	0.068	0.025	0.030	0.001	0.053	0.017	1.047	0.048	1.724	0.311	1.758	0.084
24/3/2560	18.50	2.548	0.091	2.574	0.171	2.693	0.160	0.169	0.071	0.075	0.009	0.122	0.037	1.210	0.087	1.977	0.128	1.892	0.064
24/3/2560	22.50	2.117	0.098	2.288	0.324	2.303	0.414	0.288	0.124	0.110	0.013	0.197	0.059	1.332	0.134	2.076	0.126	1.895	0.043
25/3/2560	2.50	1.849	0.206	1.877	0.401	2.299	0.457	0.431	0.200	0.181	0.043	0.281	0.117	1.482	0.283	2.290	0.062	1.815	0.419
25/3/2560	6.50	1.316	0.249	1.524	0.296	1.823	0.176	0.452	0.123	0.228	0.051	0.400	0.139	1.760	0.325	2.550	0.145	2.113	0.195
25/3/2560	11.50	0.936	0.167	1.056	0.311	1.572	0.388	0.556	0.074	0.299	0.063	0.522	0.167	2.147	0.361	2.773	0.159	2.305	0.136
25/3/2560	16.50	0.368	0.112	0.896	0.288	0.669	0.223	0.739	0.417	0.436	0.106	0.783	0.305	1.857	0.538	2.619	0.170	2.491	0.116
25/3/2560	21.50	0.003	0.005	0.524	0.172	0.376	0.163	0.611	0.337	0.434	0.129	0.672	0.339	2.131	0.420	3.003	0.228	2.707	0.290
26/3/2560	3.50	0.000	0.000	0.202	0.083	0.153	0.090	0.402	0.240	0.350	0.145	0.588	0.444	2.548	0.311	3.196	0.120	3.003	0.171
26/3/2560	9.50	0.000	0.000	0.056	0.043	0.079	0.063	0.192	0.099	0.236	0.112	0.458	0.440	2.500	0.228	3.403	0.111	3.021	0.213
26/3/2560	14.50	0.000	0.000	0.004	0.006	0.066	0.041	0.073	0.045	0.142	0.084	0.347	0.418	2.537	0.431	3.364	0.221	3.206	0.492
26/3/2560	19.50	0.000	0.000	0.003	0.005	0.078	0.069	0.032	0.020	0.079	0.049	0.241	0.297	2.700	0.574	3.376	0.169	3.202	0.391
26/3/2560	23.50	0.000	0.000	0.001	0.002	0.049	0.031	0.012	0.004	0.054	0.020	0.165	0.220	2.342	0.223	3.306	0.142	3.189	0.295
27/3/2560	5.50	0.000	0.000	0.011	0.011	0.043	0.003	0.010	0.004	0.030	0.012	0.077	0.107	2.217	0.125	3.325	0.124	3.043	0.138

ตารางที่ ข-43 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	ชุดควบคุม						ชุดทดลอง					
	แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
	(มก.ไนโตรเจน/ล.)						(มก.ไนโตรเจน/ล.)					
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
04/4/2560	0.082	0.029	0.017	0.008	1.471	0.099	0.029	0.004	0.019	0.012	1.296	0.103
05/4/2560	0.357	0.188	0.045	0.018	1.555	0.213	0.249	0.051	0.036	0.012	1.424	0.114
06/4/2560	0.684	0.298	0.299	0.178	1.999	0.824	0.748	0.160	0.167	0.040	1.393	0.193
07/4/2560	1.044	0.298	0.550	0.266	1.565	0.250	1.309	0.371	0.318	0.179	1.349	0.735
08/4/2560	1.018	0.330	0.948	0.070	2.590	0.159	1.246	0.088	0.633	0.446	1.310	0.830
09/4/2560	0.750	0.419	0.963	0.077	2.943	0.770	1.064	0.134	0.770	0.459	1.345	0.851
10/4/2560	0.572	0.257	1.057	0.025	3.014	0.289	0.844	0.032	1.055	0.123	1.724	0.688
11/4/2560	0.311	0.056	1.060	0.025	3.306	0.345	0.431	0.148	1.116	0.016	2.858	0.395
12/4/2560	0.172	0.094	1.033	0.011	2.983	0.888	0.249	0.180	1.089	0.005	3.007	1.392
13/4/2560	0.181	0.079	1.044	0.013	2.775	0.375	0.226	0.157	1.065	0.061	3.017	1.259
14/4/2560	0.163	0.066	0.890	0.193	2.874	0.443	0.197	0.162	1.090	0.021	2.643	1.229
15/4/2560	0.387	0.259	0.861	0.191	2.925	0.725	0.182	0.109	1.127	0.014	2.931	1.170
16/4/2560	0.357	0.249	0.963	0.103	2.982	1.538	0.142	0.127	1.008	0.148	3.298	0.826
17/4/2560	0.377	0.278	0.775	0.320	4.149	1.410	0.062	0.034	1.121	0.026	3.429	1.022
18/4/2560	0.258	0.136	0.808	0.344	4.506	1.608	0.070	0.028	1.115	0.030	3.694	0.769
19/4/2560	0.342	0.298	0.735	0.279	4.354	1.595	0.089	0.094	1.119	0.006	3.257	0.820
20/4/2560	0.196	0.137	0.659	0.302	4.963	2.131	0.049	0.027	1.062	0.008	3.507	0.636
21/4/2560	0.134	0.050	0.664	0.306	5.025	2.181	0.050	0.080	1.045	0.046	4.055	0.734
22/4/2560	0.373	0.244	0.707	0.172	4.949	1.755	0.082	0.071	1.003	0.122	4.084	0.639
23/4/2560	0.308	0.289	0.819	0.212	4.971	1.239	0.038	0.033	0.991	0.198	3.881	0.660
24/4/2560	0.373	0.288	0.748	0.248	5.452	2.195	0.032	0.044	0.882	0.311	3.516	0.979
25/4/2560	0.330	0.303	0.898	0.121	5.542	2.054	0.031	0.034	0.978	0.138	4.380	0.397
26/4/2560	0.258	0.077	0.757	0.293	5.186	1.890	0.146	0.158	0.865	0.367	4.015	0.050
27/4/2560	0.201	0.090	0.825	0.348	5.556	1.289	0.167	0.158	0.954	0.183	4.269	0.297
28/4/2560	0.321	0.159	0.945	0.447	6.357	1.526	0.173	0.076	0.934	0.452	4.475	0.375
29/4/2560	0.203	0.025	0.985	0.466	5.854	0.323	0.223	0.065	0.969	0.369	4.645	0.870

ตารางที่ ข-43 (ต่อ) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	ชุดควบคุม						ชุดทดลอง					
	แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต		แอมโมเนีย		ไนไทรต์		ไนเทรต	
	(มก.ไนโตรเจน/ล.)						(มก.ไนโตรเจน/ล.)					
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
30/4/2560	0.233	0.104	0.766	0.424	5.254	0.856	0.263	0.157	0.788	0.506	5.191	0.435
01/5/2560	0.172	0.050	0.745	0.515	5.704	1.001	0.117	0.052	0.630	0.454	5.196	0.907
02/5/2560	0.188	0.060	0.633	0.325	5.254	0.429	0.229	0.076	0.523	0.157	4.665	0.457
03/5/2560	0.211	0.146	0.557	0.350	5.722	0.429	0.231	0.191	0.834	0.200	5.426	0.798
04/5/2560	0.238	0.106	0.546	0.355	5.940	0.409	0.038	0.056	0.500	0.256	5.933	0.904
05/5/2560	0.512	0.208	0.657	0.345	5.185	0.632	0.396	0.243	0.611	0.266	4.912	0.909
06/5/2560	0.814	0.259	0.792	0.366	4.976	0.371	0.700	0.210	0.838	0.190	4.671	2.233
07/5/2560	0.980	0.429	0.775	0.470	4.749	0.610	1.459	0.864	0.833	0.126	3.547	2.282
08/5/2560	2.057	0.318	0.864	0.242	4.168	0.876	2.405	0.442	0.857	0.173	3.016	1.701
09/5/2560	1.880	0.372	0.837	0.373	5.540	1.350	2.764	0.483	0.898	0.138	4.243	0.891
10/5/2560	1.095	0.298	0.837	0.373	5.540	0.354	2.064	0.483	0.898	0.138	4.243	0.891
11/5/2560	0.495	0.298	0.816	0.457	6.413	0.354	1.530	0.483	0.992	0.106	5.241	0.238
12/5/2560	0.321	0.148	0.929	0.243	6.767	0.178	0.465	0.384	1.037	0.031	7.304	0.807
13/5/2560	0.407	0.258	0.936	0.201	6.605	0.105	0.057	0.060	0.875	0.300	7.007	0.785
14/5/2560	0.295	0.264	0.357	0.173	5.869	0.553	0.083	0.051	0.472	0.139	6.960	0.485
15/5/2560	0.410	0.367	0.282	0.091	5.859	0.712	0.314	0.168	0.423	0.217	6.555	0.609
16/5/2560	0.354	0.370	0.528	0.310	6.387	0.491	0.121	0.057	0.445	0.100	6.380	0.439
18/5/2560	0.235	0.097	0.421	0.161	5.755	0.731	0.099	0.044	0.320	0.075	5.851	0.355

ตารางที่ 44 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชันร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง			ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
		เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.				เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	
04/4/2560	19:24	4.541996348	4.998478393	10/4/2560	5:04	3.629032258	3.355143031
05/4/2560	0:04	4.907181984	4.328971394	10/4/2560	10:04	3.568167985	3.11168594
05/4/2560	5:04	4.724589166	4.146378576	10/4/2560	15:04	3.507303713	3.476871576
05/4/2560	10:04	4.724589166	4.328971394	10/4/2560	20:04	3.750760803	3.598600122
05/4/2560	15:04	4.420267803	4.328971394	11/4/2560	1:04	3.811625076	4.02465003
05/4/2560	20:04	3.629032258	4.02465003	11/4/2560	6:04	3.629032258	3.78119294
06/4/2560	1:04	4.298539257	4.146378576	11/4/2560	11:04	3.994217894	3.842057212
06/4/2560	6:04	4.481132075	4.268107121	11/4/2560	16:04	3.994217894	2.350882532
06/4/2560	11:04	4.541996348	4.146378576	11/4/2560	21:04	3.689896531	3.963785758
06/4/2560	16:04	4.298539257	4.328971394	12/4/2560	2:04	3.994217894	4.02465003
06/4/2560	21:04	4.115946439	3.963785758	12/4/2560	7:04	4.055082167	3.78119294
07/4/2560	2:04	4.541996348	4.328971394	12/4/2560	12:04	3.507303713	2.989957395
07/4/2560	7:04	4.602860621	4.268107121	12/4/2560	17:04	4.055082167	3.11168594
07/4/2560	12:04	4.663724893	4.085514303	12/4/2560	22:04	4.298539257	3.476871576
07/4/2560	17:04	3.933353621	3.78119294	13/4/2560	3:04	4.055082167	3.172550213
07/4/2560	22:04	4.298539257	3.294278758	13/4/2560	8:04	3.994217894	2.655203895
08/4/2560	3:04	4.481132075	3.598600122	13/4/2560	13:04	3.507303713	2.107425441
08/4/2560	8:04	4.481132075	3.842057212	13/4/2560	18:04	3.507303713	2.594339623
08/4/2560	13:04	3.507303713	2.776932441	13/4/2560	23:04	3.811625076	3.537735849
08/4/2560	18:04	3.994217894	3.355143031	14/4/2560	4:04	3.994217894	2.350882532
08/4/2560	23:04	3.994217894	3.659464394	14/4/2560	9:04	4.298539257	3.233414486
09/4/2560	4:04	4.055082167	3.842057212	14/4/2560	14:04	3.689896531	2.472611077
09/4/2560	9:04	4.055082167	3.963785758	14/4/2560	19:04	2.959525259	2.776932441
09/4/2560	14:04	3.933353621	3.78119294	15/4/2560	0:04	3.44643944	3.294278758
09/4/2560	19:04	3.324710895	3.355143031	15/4/2560	5:04	3.324710895	3.598600122
10/4/2560	0:04	3.44643944	3.355143031	15/4/2560	10:04	3.507303713	3.537735849

ตารางที่ 44 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง			ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
		เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.				เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	
15/4/2560	15:04	3.994217894	2.472611077	20/4/2560	20:04	3.081253804	2.776932441
15/4/2560	20:04	3.994217894	2.53347535	21/4/2560	1:04	3.507303713	2.776932441
16/4/2560	1:04	3.994217894	2.86822885	21/4/2560	6:04	3.568167985	2.989957395
16/4/2560	6:04	3.994217894	3.11168594	21/4/2560	11:04	3.750760803	3.172550213
16/4/2560	11:04	3.750760803	3.11168594	21/4/2560	16:04	3.081253804	2.776932441
16/4/2560	16:04	3.263846622	2.594339623	21/4/2560	21:04	3.142118077	2.107425441
16/4/2560	21:04	3.933353621	2.989957395	22/4/2560	2:04	3.263846622	2.168289714
17/4/2560	2:04	3.507303713	3.050821668	22/4/2560	7:04	2.959525259	2.594339623
17/4/2560	7:04	2.959525259	3.355143031	22/4/2560	12:04	3.081253804	3.355143031
17/4/2560	12:04	3.081253804	3.11168594	22/4/2560	17:04	2.107425441	2.594339623
17/4/2560	17:04	3.142118077	3.050821668	22/4/2560	22:04	2.290018259	2.776932441
17/4/2560	22:04	3.081253804	3.050821668	23/4/2560	3:04	2.959525259	2.776932441
18/4/2560	3:04	2.776932441	3.11168594	23/4/2560	8:04	2.837796713	2.655203895
18/4/2560	8:04	3.44643944	3.294278758	23/4/2560	13:04	3.020389531	2.350882532
18/4/2560	13:04	3.324710895	2.776932441	26/4/2560	6:04	4.541996348	4.02465003
18/4/2560	18:04	3.081253804	2.776932441	26/4/2560	11:04	4.420267803	3.537735849
18/4/2560	23:04	3.44643944	2.776932441	26/4/2560	16:04	4.541996348	3.537735849
19/4/2560	4:04	3.142118077	2.776932441	26/4/2560	21:04	4.481132075	3.902921485
19/4/2560	9:04	3.020389531	3.11168594	27/4/2560	2:04	4.481132075	3.963785758
19/4/2560	14:04	2.53347535	2.86822885	27/4/2560	7:04	4.724589166	4.085514303
19/4/2560	19:04	2.53347535	2.107425441	27/4/2560	12:04	4.055082167	3.11168594
20/4/2560	0:04	2.837796713	2.290018259	27/4/2560	17:04	5.02891053	3.78119294
20/4/2560	5:04	3.081253804	2.168289714	27/4/2560	22:04	4.602860621	3.537735849
20/4/2560	10:04	3.44643944	2.655203895	28/4/2560	3:04	3.994217894	3.78119294
20/4/2560	15:04	3.081253804	2.86822885	28/4/2560	8:04	4.724589166	4.146378576

ตารางที่ 44 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง			ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
		เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.				เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	
28/4/2560	13:04	4.541996348	4.02465003	03/5/2560	18:04	4.724589166	3.537735849
28/4/2560	18:04	4.724589166	4.328971394	03/5/2560	23:04	4.481132075	4.02465003
28/4/2560	23:04	5.02891053	4.268107121	04/5/2560	4:04	4.724589166	4.02465003
29/4/2560	4:04	4.420267803	4.328971394	04/5/2560	9:04	4.481132075	4.268107121
29/4/2560	9:04	4.785453439	4.511564212	04/5/2560	14:04	5.211503348	3.963785758
29/4/2560	14:04	4.115946439	4.02465003	04/5/2560	19:04	4.602860621	4.02465003
29/4/2560	19:04	4.420267803	3.842057212	05/5/2560	0:04	4.481132075	4.146378576
30/4/2560	0:04	4.481132075	3.78119294	05/5/2560	5:04	4.541996348	4.450699939
30/4/2560	5:04	4.298539257	4.572428484	05/5/2560	10:04	4.968046257	4.328971394
30/4/2560	10:04	4.907181984	4.146378576	05/5/2560	15:04	3.750760803	3.11168594
30/4/2560	15:04	4.298539257	4.02465003	05/5/2560	20:04	3.507303713	3.050821668
30/4/2560	20:04	4.481132075	3.78119294	06/5/2560	1:04	3.811625076	3.537735849
01/5/2560	1:04	5.27236762	3.963785758	06/5/2560	6:04	4.055082167	3.659464394
01/5/2560	6:04	4.907181984	3.963785758	06/5/2560	11:04	3.994217894	2.989957395
01/5/2560	11:04	4.602860621	4.328971394	06/5/2560	16:04	2.837796713	1.863968351
01/5/2560	16:04	4.602860621	3.842057212	06/5/2560	21:04	3.081253804	2.046561169
01/5/2560	21:04	4.481132075	4.146378576	07/5/2560	2:04	3.750760803	2.350882532
02/5/2560	2:04	4.724589166	4.268107121	07/5/2560	7:04	4.055082167	3.050821668
02/5/2560	7:04	4.298539257	4.268107121	07/5/2560	12:04	3.324710895	2.290018259
02/5/2560	12:04	4.541996348	3.537735849	07/5/2560	17:04	2.837796713	1.62051126
02/5/2560	17:04	4.237674985	4.146378576	07/5/2560	22:04	2.776932441	1.072732806
02/5/2560	22:04	4.541996348	4.02465003	08/5/2560	3:04	2.594339623	1.498782715
03/5/2560	3:04	4.724589166	4.085514303	08/5/2560	8:04	3.324710895	1.377054169
03/5/2560	8:04	4.541996348	4.268107121	08/5/2560	13:03	0.646682897	0.893183201
03/5/2560	13:04	4.298539257	4.328971394	08/5/2560	18:03	0.829275715	2.055690809

ตารางที่ 44 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในการทดสอบอัตราไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน ร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำสภาวะเหมือนจริงในบ่อดินจำลอง โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)		วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก.ออกซิเจน/ล.)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง			ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
		เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.				เติมอากาศเมื่อDO ต่ำกว่า 4 มก.ออกซิเจน/ล.	
08/5/2560	23:03	0.585818624	2.545648205	14/05/17	4:03	4.923971096	2.536286522
09/5/2560	4:03	0.585818624	2.302191114	14/05/17	9:03	4.798303487	2.536286522
09/5/2560	9:03	0.829275715	2.974741327	14/05/17	14:03	3.541627396	1.719447063
09/5/2560	14:03	1.62051126	2.055690809	14/05/17	19:03	4.735469683	1.468111844
09/5/2560	19:03	1.498782715	1.873097991	15/05/17	0:03	5.11247251	1.27961043
10/5/2560	0:03	1.62051126	2.302191114	15/05/17	5:03	4.484134464	1.593779453
10/5/2560	5:03	1.62051126	2.363055386	15/05/17	10:03	4.986804901	1.719447063
10/5/2560	10:03	2.046561169	2.66737675	15/05/17	15:03	2.724787936	1.530945649
10/5/2560	15:03	2.046561169	2.728241023	15/05/17	20:03	3.792962614	1.907948476
10/5/2560	20:03	2.046561169	2.363055386	16/05/17	1:03	3.730128809	2.536286522
11/5/2560	1:03	2.290018259	2.66737675	16/05/17	6:03	4.232799246	1.719447063
11/5/2560	6:03	1.62051126	2.789105295	16/05/17	11:03	4.735469683	2.284951304
11/5/2560	11:03	2.046561169	3.0356056	16/05/17	16:03	3.478793591	1.216776626
11/05/17	16:03	2.222117499	2.599120327	16/05/17	21:03	3.478793591	1.530945649
11/05/17	21:03	1.27961043	2.410618913	17/05/17	2:03	3.6044612	1.468111844
12/05/17	2:03	1.530945649	2.724787936	17/05/17	7:03	4.295633051	1.719447063
12/05/17	7:03	1.719447063	3.007540057	17/05/17	12:03	3.918630223	1.782280867
12/05/17	12:03	2.78762174	2.222117499	17/05/17	17:03	3.478793591	1.593779453
12/05/17	17:03	3.730128809	2.284951304	17/05/17	22:03	4.107131637	1.782280867
12/05/17	22:03	4.484134464	3.007540057	18/05/17	3:03	4.295633051	1.719447063
13/05/17	3:03	4.609802074	3.070373861	18/05/17	8:03	3.730128809	1.970782281
13/05/17	8:03	4.484134464	3.761545712	18/05/17	13:03	3.290292177	1.719447063
13/05/17	13:03	4.107131637	2.944706252	18/05/17	18:03	4.107131637	2.09644989
13/05/17	18:03	4.735469683	2.222117499	18/05/17	23:03	4.798303487	2.284951304
13/05/17	23:03	4.169965441	2.473452718	19/05/17	4:03	4.546968269	2.536286522

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการส่งวิเคราะห์

ค-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในดินที่มีสภาวะต่างกัน

โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
SOIL-FERTILIZER-ENVIRONMENT SCIENTIFIC DEVELOPMENT PROJECT.
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY
Tel. 0-2942-8104-5, 0-2561-4670 Fax: 0-2942-8106

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

เลขที่ใบเสร็จ : 4049/0049
วันที่เสนอรายงาน : 14 /03/2560
Date of report :
วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 9/02/2560
Date of sample submitted :
ผู้ควบคุมตรวจสอบผลการวิเคราะห์
ดร.ดาวรัส เกตุโรจน์

ตัวอย่างของ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Sample submitted by :
ตัวอย่างจาก : ตำบล
อำเภอ
จังหวัด จะเชิงเทรา

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ S.41

ชนิดตัวอย่าง : ดินตะกอน (บ่อเลี้ยงกุ้ง)

ตัวอย่าง	Particle size distribution %Sand	%Silt	%Clay	Soil Texture	pH	O.M. (%)	Total N (%)
ดินไม่ปม	28	39	33	CL	7.3	8.88	0.32
ดินปม	28	37	35	CL	7.4	9.21	0.28

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. ๒๔๘๖ โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

(ผศ.ดร.เสาวนุช ถาวรพฤกษ์)
หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ
ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

ค-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ในกากน้ำตาล

ผลการวิเคราะห์ CHN เลขที่ 602103-5401

ตัวอย่าง molasses

เจ้าของตัวอย่าง สุภาวดี อัตถาผล

วัตถุประสงค์ วิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

เครื่องมือวิเคราะห์ CHNS/O Analyzer (Thermo Scientific™ FLASH 2000)

วิธีวิเคราะห์ Gaseous products freed by pyrolysis in high-purity oxygen and were chromatographically separated by elution development with quantitatively detected by thermal conductivity detector.

วันที่วิเคราะห์ 23 มีนาคม 2560

ผลการวิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง		%Carbon	%Hydrogen	%Nitrogen
molasses	(1)	30.94	6.91	1.06
	(2)	31.22	6.59	1.04
	average	**31.08**	**6.75**	**1.05**

(นางสาวอัมพร อึ้งปกรณ์แก้ว)
ผู้วิเคราะห์

(นางสุนันท์ รังษีกาญจน์ส่อง)
หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์

หมายเหตุ ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบจากศูนย์เครื่องมือวิจัย

ออ/อพ

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างรายการคำนวณ

ง-1 ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบด เพื่อจำลองสถานการณ์การเกิดของเสียในระบบ

<u>วิธีการคำนวณการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์</u>

การเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรน้ำ 8 ล.

ต้องการให้เกิดไนโตรเจนในระบบ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. × 8 ล. = 16 มก.ไนโตรเจน/ถังปฏิกรณ์

∴ ไนโตรเจนมีมวลโมเลกุล 14 ก. ใช้ 16 มก.

แอมโมเนียมคลอไรด์มีมวลโมเลกุล 35.5 ก. ใช้ 61.14 มก. <u>(0.061 ก. แอมโมเนียมคลอไรด์)</u>

<u>วิธีการคำนวณการเติมอาหารกุ้งบด และความหนาแน่นในการเลี้ยงสัตว์น้ำ</u>

การเติมอาหารกุ้งบดที่ทำให้ไนโตรเจนในระบบเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรน้ำ 8 ล.

∴ ในปริมาตรน้ำ 1 ล. มีไนโตรเจน 2 มก.ไนโตรเจน

ถ้าปริมาตรน้ำ 8 ล. มีไนโตรเจน 16 มก.ไนโตรเจน (เท่ากับ 0.016 ก. ไนโตรเจน)

∴ ของเสียร้อยละ 75 เทียบเท่า 0.016 ก. ไนโตรเจน

ถ้าให้กินอาหารร้อยละ 100 เทียบเท่า 0.0213 ก. ไนโตรเจน

∴ มีไนโตรเจน 16 ก. ในโปรตีน 100 ก.

ถ้ามีไนโตรเจน 0.0213 ก. ต้องใช้โปรตีน 0.133 ก.

∴ มีโปรตีน 38 ก. ในอาหาร 100 ก.

ถ้าต้องการโปรตีน 0.133 ก. <u>ต้องใช้อาหาร 0.35 ก.</u>

∴ อาหาร 0.35 ก. ในน้ำ 8 ล. เทียบเท่ากับความหนาแน่นของกุ้ง ดังนี้

กุ้งกินอาหารร้อยละ 3 ของ นน.ตัว = 0.35 ก.

ดังนั้น $\frac{3}{100}x = 0.35$

∴ x = 11.67 ก.กุ้ง ต้องเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่น 11.68 ก./8 ล. <u>(เทียบเท่า 1.46 กก./ลบ.ม.)</u>

ง-2 การศึกษาอัตราไนทริฟิเคชันของระบบบ่อดินจำลองเพื่อเปรียบเทียบสภาวะของดินที่มีระยะเวลาการบ่มต่างกัน

- อัตราการบำบัดแอมโมเนียต่อพื้นที่ก้นถังต่อชั่วโมง (มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./ชม.)

$$= \frac{\text{ความชันของกราฟ (มก.-ไนโตรเจน/ล./ชม.)} \times \text{ปริมาตรน้ำในถังปฏิกรณ์ (ล.)}}{\text{พื้นที่ผิวของถังปฏิกรณ์ (ตร.ม.)}}$$

$$= \frac{(0.0186 \text{ มก.-ไนโตรเจน/ล./ชม.}) \times 8 \text{ ล.}}{0.04 \text{ ตร.ม.}}$$

$$= 3.72 \text{ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./ชม.}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาวดี อัตถาผล เกิดเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 3534 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันอายุ 25 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

1) สุภาวดี อัตถาผล, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี และสรวิศ เผ่าทองศุข. 2560. *ผลของการบ่มเตรียมสภาพดินตะกอนต่ออัตราการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในถังจำลองสภาวะบ่อเลี้ยงกุ้ง.* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 55, 31 มกราคม – 3 กุมภาพันธ์ 2560: 386-393. (นำเสนอผลงานแบบบรรยายมีเรื่องเต็ม)

2) สุภาวดี อัตถาผล, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี และสรวิศ เผ่าทองศุข. 2560. *ผลของการเติมกากน้ำตาลต่อการใช้ออกซิเจนในระบบบ่อดินจำลอง.* การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 16, 17-18 พฤษภาคม 2560. จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร
(นำเสนอผลงานแบบบรรยายมีเรื่องเต็ม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University