

อิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อเบนทิกฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกอนผ่านรอยต่อระหว่าง
ดินตะกอนและน้ำบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

นางสาวนิรมล ตาอินทร์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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.

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF OXYGEN AND SALINITY ON BENTHIC FLUXES OF PHOSPHORUS
AND SILICON ACROSS SEDIMENT-WATER INTERFACE AT
ANG-SILA COASTAL AREA, CHONBURI PROVINCE

Miss Niramom Ta-in



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อเบนทิกพลั๊กซ์ของ
พอสพอร์สและซิงก์ผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและ
น้ำบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

โดย

นางสาวนิรมล ตาอินทร์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ธรรมวานิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทธีรา สรรพณี)

นิรมล ตาอินทร์ : อิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อเบนทิกฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกอนผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี (EFFECT OF OXYGEN AND SALINITY ON BENTHIC FLUXES OF PHOSPHORUS AND SILICON ACROSS SEDIMENT-WATER INTERFACE AT ANG-SILA COASTAL AREA, CHONBURI PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 55 หน้า.

ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนละลายน้ำและความเค็ม ที่มีผลต่อฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายบริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอน บริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการในการทดลองในสภาวะมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ที่ค่าความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 พบว่าฟลักซ์ของฟอสเฟตมีทิศทางจากดินตะกอนออกสู่มวลน้ำในสภาวะไร้ออกซิเจน ขณะที่ฟลักซ์จะมีทิศทางลงสู่ดินตะกอนในสภาวะที่น้ำมีออกซิเจน ส่วนค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายนั้นไม่แตกต่างกันในทั้งสองสภาวะ แต่ที่ความเค็มสูงการละลายของซิลิกาจะลดลง ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายจากดินตะกอนสู่น้ำลดลง จากการทดลองหาฟลักซ์ของสารอาหารในเบนทิกแคมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินตะกอนและน้ำทะเลความเค็ม 30 จากชายฝั่งอ่างศิลา พบว่าออกซิเจนละลายน้ำในแคมเบอร์ชนิดทึบแสงลดลงตามเวลาจนกระทั่งออกซิเจนละลายน้ำหมดลง เมื่อเวลาผ่านไป 40 ชั่วโมง ส่วนออกซิเจนละลายน้ำในแคมเบอร์ชนิดโปร่งใสเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามรอบวัน ค่าออกซิเจนละลายน้ำในแคมเบอร์ทั้งสองมีค่าต่ำทั้งคู่ เนื่องจากน้ำทะเลและดินตะกอนชายฝั่งอ่างศิลามีสารอินทรีย์สูง ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในแคมเบอร์โปร่งใสจึงถูกแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จนมีค่าต่ำในทั้งสองแคมเบอร์ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเค็มของน้ำในแคมเบอร์ มีผลต่อฟลักซ์ของสารอาหารบริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ โดยฟลักซ์ของฟอสเฟตในแคมเบอร์โปร่งใสและทึบแสง มีค่าอยู่ในช่วง (-94.00) – 474.00 และ (-11.59) – 222.00 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนฟลักซ์ของซิลิกาละลาย มีค่าอยู่ในช่วง (-160.97) – 528.0 และ (-169.24) – 258.0 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ฟลักซ์ของฟอสเฟตมีแนวโน้มออกจากดินตะกอนสู่มวลน้ำ และฟลักซ์ในแคมเบอร์ทึบแสงมีค่าสูงกว่าในแคมเบอร์โปร่งใส ขณะที่ฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแคมเบอร์ทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันน้อย แต่ในช่วง 30 ชั่วโมงแรก ฟลักซ์ของซิลิกาละลายจากตะกอนดินตะกอนสู่มวลน้ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงชั่วโมงที่ 30 ถึง 60 ทิศทางของฟลักซ์จะมีทิศทางจากมวลน้ำลงสู่ดินตะกอน หลังจากนั้น แทบจะไม่มีฟลักซ์ของซิลิกาละลาย ณ บริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอนเลย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5487156420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: PHOSPHORUS / DISSOLVE SILICA / ESTUARY / FLUX

NIRAMON TA-IN: EFFECT OF OXYGEN AND SALINITY ON BENTHIC FLUXES OF PHOSPHORUS AND SILICON ACROSS SEDIMENT-WATER INTERFACE AT ANG-SILA COASTAL AREA, CHONBURI PROVINCE. ADVISOR: ASST. PROF. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, 55 pp.

Effect of oxygen and salinity on fluxes of phosphate and dissolved silica at the sediment-water interface of Ang-sila coastal area, Chonburi province, was investigated in the laboratory. The study of nutrient fluxes was performed at salinity 10, 15, 20, 25 and 30 under oxic and anoxic conditions. The results reveals that under the anoxic condition, the phosphate fluxes had a direction from sediment to water, while the direction of phosphate fluxes was opposite during water was oxygenated. The fluxes of dissolved silica was similar in both conditions, however, dissolution of silica decreases as salinity increases resulting in reducing of dissolved silica fluxes from sediment to water. The study of nutrients fluxes using dark and light chambers was applied to Ang-sila sediment and seawater (salinity 30) in the laboratory. It was found that dissolved oxygen level in the dark chamber decreased through time until no dissolved oxygen left at hour-40, while the dissolved oxygen in the light chamber had a diurnal variation. The oxygen level in both chambers was exceptionally low according to high organic contents in Ang-sila seawater and sediment. Oxygen was rapidly consumed by bacterial degradation processes causing the low oxygen level in both chambers. However, effect of dissolved oxygen and salinity on nutrient fluxes at the sediment-water interface was still observed. The phosphate fluxes in light and dark chamber were in the range of (-94.00) – 474.00 and (-11.59) – 222.00 $\mu\text{mole m}^{-2} \text{hr}^{-1}$, respectively, and the dissolved silica fluxes were in the range of (-160.97) – 528.00 and (-169.24) – 258.00 $\mu\text{mole m}^{-2} \text{hr}^{-1}$, respectively. The phosphate fluxes trended to have a direction from sediment to water, and the fluxes were higher in the dark chamber than in the light chamber. The dissolved silica fluxes in both chambers were similar. In the first 30 hours, the fluxes trended to have a direction from sediment to water. As the time going, during hour-30 to hour-60, the fluxes trended to be from water to sediment. Afterward, there was almost no dissolved silica fluxes can be observed at the sediment-water interface.

Field of Study: Environmental Science

Student's Signature

Academic Year: 2014

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ธรรมวานิช ที่ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือและช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา และกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิรา สรรพณี ที่ให้คำปรึกษาในการปรับแก้เล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และสถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์อุปถัมภ์ สถานที่สำหรับการทดลอง

ขอขอบคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสังคม ตาอินทร์ คุณแม่กาญจนา ตาอินทร์ ที่เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ในการศึกษาครั้งนี้ และเป็นแรงใจที่สำคัญที่ทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 สารอาหารในแหล่งน้ำ	4
2.1.2 ฟอสฟอรัส	5
2.1.3 ซิลิกาละลาย.....	7
2.1.4 เอสทูรี (estuary).....	8
2.1.5 การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของตะกอนกับน้ำ	8
2.1.6 ฟลักซ์ (Flux).....	9
2.1.7 เบนทิกแชมเบอร์ (benthic chamber).....	9
2.1.8 ออกซิเจนละลาย	10

2.1.9 ความเค็ม (salinity).....	10
2.1.10 สภาพทั่วไปของชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	13
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	13
3.2 ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็ม.....	13
3.2.1 การจัดชุดการทดลอง.....	13
3.2.2 การเก็บตัวอย่าง.....	13
3.3 ศึกษาการถ่ายเทของสารอาหารผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ โดยใช้แซมเบอร์ 14	
3.3.1 การจัดชุดการทดลอง.....	14
3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง	15
3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	15
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟต	16
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณซิลิเกต.....	16
3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน.....	16
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	17
4.1 ผลของออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลาย ใน ห้องปฏิบัติการ.....	17
4.1.1 ผลการศึกษาออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของฟอสเฟต	17
4.1.2 ผลการศึกษาออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของซิลิกาละลาย	18
4.2 ผลการศึกษาฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอน และน้ำ โดยใช้แซมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงในสภาวะที่ควบคุม	29
4.2.1 ผลการศึกษาฟลักซ์ของฟอสเฟตในแซมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง	30
4.2.2 ผลการศึกษาฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแซมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง	31

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการศึกษา	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
รายการอ้างอิง	35
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	41
ภาคผนวก ค	42
ภาคผนวก ง.....	47
ภาคผนวก จ	52
ภาคผนวก ฉ	53
ภาคผนวก ช	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	55

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3- 1 การจัดชุดการทดลองการถ่ายเทสารจากดินตะกอนสู่น้ำเหนือผิวดินตะกอน	14
รูปที่ 3- 2 ส่วนประกอบภายในแชมเบอร์ (ซ้าย) และ เบนทิกแชมเบอร์ (ขวา)	14
รูปที่ 4- 1 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30.....	20
รูปที่ 4- 2 ฟลักซ์ของฟอสเฟตในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30	22
รูปที่ 4- 3 ความเข้มข้นของซิลิกาละลายในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30.....	25
รูปที่ 4- 4 ฟลักซ์ของซิลิกาละลายในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30	27
รูปที่ 4- 5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแชมเบอร์แบบโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป	29
รูปที่ 4- 6 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแชมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป.....	30
รูปที่ 4- 7 ฟลักซ์ของฟอสเฟตในแชมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง (ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง) แชมเบอร์ชนิดโปร่งใส (○) แชมเบอร์ชนิดทึบแสง (●).....	31
รูปที่ 4- 8 ความเข้มข้นของซิลิกาละลายในแชมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป	31
รูปที่ 4- 9 ฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแชมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง(ไมโครโมล/ตารางเมตร/ ชั่วโมง) แชมเบอร์ชนิดโปร่งใส (○) แชมเบอร์ชนิดทึบแสง (●).....	32

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2- 1	คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งอ่างศิลาเทียบกับค่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ...	11
ตารางที่ 4- 1	ความเข้มข้นของฟอสเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน	19
ตารางที่ 4- 2	ฟลักซ์ของฟอสเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน	19
ตารางที่ 4- 3	ความเข้มข้นของซิลิกาละลายในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน	24
ตารางที่ 4- 4	ฟลักซ์ของซิลิกาละลายในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน	24
ตารางที่ ค- 1	แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มใน ห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 10	42
ตารางที่ ค- 2	แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มใน ห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 15	43
ตารางที่ ค- 3	แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มใน ห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 20	44
ตารางที่ ค- 4	แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มใน ห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 25	45
ตารางที่ ค- 5	แสดงค่าการเปลี่ยนความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและ ความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 30	46
ตารางที่ ง- 1	แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจนที่ ความเค็ม 10	47
ตารางที่ ง- 2	แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน	48
ตารางที่ ง- 3	แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ที่ความเค็ม 20	49
ตารางที่ ง- 4	แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ที่ความเค็ม 25	50

ตารางที่ ง- 5 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน.....51

ตารางที่ จ- 1 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายภายใน chamber.....52

ตารางที่ ฉ- 1 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายภายใน chamber.....53

ตารางที่ ช- 1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ภายใน chamber.....54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

สารอาหารพืชในน้ำ ได้แก่ ไนโตรเจน (nitrogen) ฟอสฟอรัส (phosphorus) และซิลิกาละลาย (dissolved silica) มีความจำเป็นต่อห่วงโซ่อาหารและการเจริญเติบโตของพืช แม้สารอาหารเหล่านี้มีปริมาณน้อยและเป็นปัจจัยสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช แม่น้ำเป็นแหล่งที่มาของสารอาหารบริเวณชายฝั่งทะเล สารต่าง ๆ จากแผ่นดินที่ถูกแม่น้ำพาลงสู่ทะเล ส่วนใหญ่จะตกตะกอนสะสมอยู่กับดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ในบางสภาวะทางกายภาพและเคมี ดินตะกอนท้องน้ำก็อาจจะเป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของสารอาหารพืชในน้ำทะเลบริเวณนั้น ๆ (มนูดี หังสพฤกษ์, 2532) ในบรรดาสารอาหาร แพลงก์ตอนพืชต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย ส่วนซิลิกาละลายเป็นสารอาหารสำคัญของแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม (diatom) ซึ่งเป็นกลุ่มหลัก (dominant) บริเวณชายฝั่ง ซิลิกาละลายมาจากการกักตัวของหินจากแผ่นดินและมีปริมาณน้อยในทะเล ความสามารถในการละลายของซิลิกาละลายจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของไอออนในน้ำมาก ในน้ำที่มีความเค็มสูงจึงมีซิลิกาละลายอยู่น้อย ดังนั้นฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายจึงเป็นปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่ง ในทางกลับกันหากแหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไปหรือที่เรียกว่าภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) แพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้บริเวณนั้นเกิดสภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxia) หรือขาดออกซิเจน (anoxia)

ชายฝั่งทะเลเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีอยู่ตลอดเวลา ตามวัฏจักรการขึ้นลงของน้ำทะเลและปริมาณน้ำท่า สารอาหารนี้ถ่ายเท (หรือที่เรียกว่า ฟลักซ์ (flux)) ระหว่างดินตะกอนกับมวลน้ำเหนือดินตะกอนจึง กระบวนการถ่ายเทแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างมวลน้ำกับดินตะกอนจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณดังกล่าว (Ditoro, 2001)

พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่างศิลาเป็นพื้นที่ที่มีความลึกของน้ำไม่มาก อยู่ไม่ไกลจากปากแม่น้ำ บางปะกงจึงรองรับสารอินทรีย์ที่พัดพามาจากแม่น้ำ นอกจากนี้บริเวณดังกล่าว ยังมีกิจกรรมการประมงและการเพาะเลี้ยงมายาวนานหลายทศวรรษ มีการสะสมของสารอินทรีย์ที่พื้นท้องทะเลเป็นจำนวนมาก แบบที่เรียกใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมในดินตะกอนและให้สารอาหารอินทรีย์ (ฟอสเฟต ไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และซิลิกาละลาย) ละลายสะสมอยู่ในน้ำระหว่าง

ตะกอนจนมีความเข้มข้นที่สูง สารอาหารเหล่านี้จะแพร่ (diffuse) ออกสู่มวลน้ำผิวหน้าเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น

อย่างไรก็ดีบริเวณใกล้ปากแม่น้ำสภาวะทางกายภาพเคมีของน้ำเหนือดินตะกอนจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องความเค็ม เพราะที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดโดยจะมีความเค็มต่ำในฤดูน้ำหลากและสูงในฤดูแล้ง อีกทั้งภาวะปัจจุบันออกซิเจนบริเวณดังกล่าวลดลงต่ำมากบางฤดูต่ำกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้เกิดภาวะพร่องออกซิเจน ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนกับมวลน้ำเหนือดินตะกอน ทำให้มีการถ่ายเทแลกเปลี่ยนของสารอาหารสู่ อย่งไรก็ดี ถ่ายเทแลกเปลี่ยน หรือฟลักซ์ ของสารอาหารสู่มวลน้ำถูกควบคุมโดยปัจจัยทั้งทางด้านความเค็มของน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำจืด และสภาวะรีดอกซ์ (redox) ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนละลาย

ปัจจุบันพบว่าพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลามีการบลูม (bloom) ของแพลงก์ตอนพืชเป็นบริเวณกว้างและบ่อยครั้ง ส่งผลทั้งทางบวกและทางลบต่อการประมงและการเพาะเลี้ยง ซึ่งการบลูมของแพลงก์ตอนพืชขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารพืชในน้ำทะเล จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าดินตะกอนท้องทะเลเป็นแหล่งที่มาของสารอาหารในมวลน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนต่อฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเค็มต่อฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การลดลงของออกซิเจนและความเค็มที่ต่ำลง มีผลให้ฟลักซ์ของสารอาหารมีทิศทางจากดินตะกอนสู่มวลน้ำ และมีอัตราที่สูงขึ้นเมื่อออกซิเจนและความเค็มลดลง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

เก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน จากบริเวณชายฝั่งอ่างศิลาขึ้นมาทำการทดลองบนฝั่ง โดยใช้ Benthic chamber ชนิดทึบแสงและโปร่งใส ทำการศึกษาอัตราการไหลเข้า (-) หรือไหลออก (+) ของสารผ่านพื้นผิวหน้าดินตะกอนต่อหน่วยเวลาในสภาวะที่กำหนด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบพฤติกรรมและปัจจัยที่ควบคุมการถ่ายเทสารอาหารประเภทฟอสฟอรัสและซิลิกา ละลายจากดินตะกอนสู่น้ำเหนือตะกอน ซึ่งสามารถนำไปประเมินหรือทำนายปริมาณสารอาหารทั้งสองประเภทในน้ำชายฝั่งอ่างศิลาที่สภาวะทางกายภาพเคมีต่าง ๆ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา



บทที่ 2

บททวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สารอาหารในแหล่งน้ำ

สารอาหารปริมาณน้อยที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่ มักจะหมายถึงสารประกอบอนินทรีย์ของไนโตรเจน (nitrogen; N) และฟอสฟอรัส (phosphorus; P) แต่ในความเป็นจริงแล้วยังรวมถึงซิลิกอน (silicon; Si) ที่อยู่ในรูปซิลิกาละลาย (dissolved silica) ที่ได้จากการชะล้างสีกร่อนของดินและหินด้วย สารอาหารเหล่านี้มีอยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบปริมาณมาก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรด์ เป็นต้น (Heggie et al., 2002)

ในแหล่งน้ำ นอกจากปริมาณของไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส จะเป็นปัจจัยจำกัดแล้ว สัดส่วนระหว่าง N : P ก็มีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบและกระบวนการทางชีวธรณีเคมีที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ จึงทำให้ N : P ในแหล่งน้ำแตกต่างกัน (Bernal-Brooks et al., 2003, Beer, 1997) สัดส่วนของ N : P เป็นค่าที่ชี้วัดว่า ในแหล่งน้ำนั้นมีสารอาหารชนิดใดเป็นปัจจัยควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช

สารอาหารในแหล่งน้ำมีที่มาจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การชะล้างอาหารในดินหรือหินจากน้ำฝน หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทิ้งน้ำทิ้งจากทางบ้านเรือน ชุมชน โรงงาน อุตสาหกรรม การทำการเกษตร รวมไปถึงการเลี้ยงสัตว์ ลงสู่แหล่งน้ำ บริเวณปากแม่น้ำจะมีปริมาณสารอาหารสูงที่สุด แพลงก์ตอนพืชจะใช้สารอาหารเหล่านี้ในการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโต แต่ถ้าหากแหล่งน้ำใดมีปริมาณสารอาหารมากเกินไปหรือที่เรียกว่ายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) จะส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำเพิ่มจำนวนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Heggie et al., 2002)

จากรายงานการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และชลบุรี ในปี พ.ศ. 2552 โดยสำนักการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ พบว่า สารอนินทรีย์ไนโตรเจนรวม (แอมโมเนีย + ไนเตรท + ไนไตรท์) ของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน มีค่าระหว่าง 15.2 ถึง 1,801.7 และ 2.0 ถึง 496.6 ไมโครกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 200.1 และ 443.6 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนีย และบริเวณที่พบอนินทรีย์ไนโตรเจนรวมสูง ได้แก่ อ่าวชลบุรี แหลมฉบัง ปากแม่น้ำ (เจ้าพระยา ท่าจีน แม่กลอง และบางปะกง) ปากคลองบ้านบางตะบูน ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัส มีค่าระหว่าง 4.9 ถึง 494.2 และ 13.5 ถึง

15,329.2 ไมโครกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 48.0 และ 52.7 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ พื้นที่ที่มีค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงเป็นที่เดียวกับพื้นที่ที่มีค่าอนินทรีย์ไนโตรเจนรวมสูง สำหรับสัดส่วน N : P นั้นพบว่า ในฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 20.7 และฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 49.6 โดยค่าดังกล่าวส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า Redfield Ratio (N : P = 16 : 1) (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

2.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อห่วงโซ่อาหารและคุณภาพน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีปริมาณค่อนข้างต่ำทำให้ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในปัจจัยจำกัด (limiting factor) ถ้าในแหล่งน้ำขาดฟอสฟอรัสสิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้สิ่งมีชีวิตเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนอาจจะก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำขึ้นในบริเวณนั้น ฟอสฟอรัสมีการใช้อย่างแพร่หลายในการทำอุตสาหกรรม เช่น การผลิตยา ใช้เป็นสารชักล้าง ใช้เป็นสารเคมีในท้องตลาด และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น (Froleich, 1988) ฟอสฟอรัสที่หลงเหลือในแหล่งน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) ซึ่งแพลงก์ตอนพืชและพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที โพลีฟอสเฟตนี้จะถูกย่อยสลายต่อไปเป็นออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate; PO_4^{3-}) ที่พืชนำไปใช้ได้ทันที (Strickland and Parson, 1972)

Strickland and Parson (1972) ได้แบ่งรูปฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำออกเป็น 8 รูปแบบด้วยกัน โดยจำแนกจากความแตกต่างจากการทำปฏิกิริยากับโมลิบเดต (molybdate) ความยากง่ายต่อการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และขนาดอนุภาค ดังนี้

- 1) สารละลายอนินทรีย์ที่ว่องไว (inorganic soluble and reactive) คือ ออร์โธฟอสเฟต เป็นรูปแบบที่ละลายน้ำ และที่มีความว่องไวทางเคมีที่สุด
- 2) สารละลายอินทรีย์ที่ว่องไว (organic soluble and reactive) คือ ฟอสฟอรัสที่เกาะรวมกับสารอินทรีย์ ถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายและทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที
- 3) สารละลายอินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (organic soluble and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในส่วนนี้เกาะกับสารอินทรีย์ส่วนที่ไม่สามารถถูกไฮโดรไลซิสและไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรด ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดนิวคลีอิก (nucleic acid)
- 4) เอนไซม์ไฮโดรไลเซเบิลฟอสเฟต (enzyme hydrolysable phosphate) คือ ฟอสฟอรัสที่ง่ายต่อการถูกไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสโฟโมโนเอสเทอเรส (alkaline

- phosphomonoesterase) ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำตาลฟอสเฟต และส่วนเล็ก ๆ ของอนินทรีย์โพลีฟอสเฟตชนิดเส้นตรง (linear inorganic phosphate)
- 5) โพลีฟอสเฟต (polyphosphate) คือ ฟอสฟอรัสในรูปโพลีเมอร์ (polymer) เชื่อมกันโดยพันธะโพลีฟอสเฟต (phosphate linkage) ทั้งแบบอนินทรีย์และอินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบอนินทรีย์ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการปนเปื้อนจากผงซักฟอก
 - 6) อนุภาคอนินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (inorganic particulate and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในสารแขวนลอยเกิดจากการรวมตัวของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที
 - 7) อนุภาคอินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (organic particulate and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในตะกอนแขวนลอยซึ่งรวมตัวกับอนุภาคอินทรีย์ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที พบในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต เศษดิน หิน และทราย
 - 8) อนุภาคที่ว่องไว (particulate reactive) คือ ฟอสฟอรัสอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ส่วนสารอินทรีย์มีน้อย ได้แก่ เฟอริกฟอสเฟต (ferric phosphate) และฟอสเฟตตัวอื่น ๆ ที่ได้จากเซลล์พืช

ปัจจัยที่ควบคุมความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของแหล่งน้ำ สภาพทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำ ระยะใกล้หรือไกลจากแหล่งปนเปื้อน และความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินตะกอน นอกจากนี้ ในที่แหล่งน้ำที่มีเหล็กสูง ฟอสเฟตจะรวมตัวอยู่กับเหล็ก ความสามารถการละลายของฟอสเฟตขึ้นกับรูปแบบทางเคมีของเหล็ก ซึ่งเปลี่ยนไปตามสภาวะรีดอกซ์ของแหล่งน้ำ ในแหล่งน้ำที่มีสภาวะรีดอกซ์ จะอยู่ในรูปเฟอรัสฟอสเฟต (ferrous phosphate) ซึ่งละลายน้ำได้ดี แต่ในสภาวะออกซิไดซ์ จะอยู่ในรูปเฟอริกฟอสเฟต (ferric phosphate) ที่ไม่ละลายน้ำ ฟอสเฟตจึงตกตะกอนร่วมกับเหล็กที่ท้องน้ำ และถ้าบริเวณท้องน้ำขาดออกซิเจนเฟอริก (ferric; Fe^{3+}) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นเฟอรัส (ferrous; Fe^{2+}) ซึ่งละลายน้ำได้ดี ฟอสเฟตก็จะถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำ แต่ถ้าท้องน้ำมีออกซิเจนอยู่เฟอรัส (ferrous; Fe^{2+}) จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นเฟอริก (ferric; Fe^{3+}) ซึ่งไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสในดินตะกอนยังถูกดูดซับอยู่กับโลหะออกไซด์ (ได้แก่ เหล็กออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์) และสารอินทรีย์ในดินตะกอน (เปี่ยมศักดิ์เมณะเสวต, 2543)

การแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ พีเอช ความเค็ม อุณหภูมิ ศักย์ไฟฟารีดอกซ์ สารอินทรีย์ ขนาดอนุภาคตะกอน อัตราเร็วที่ฟอสฟอรัสเข้าสู่แหล่งน้ำ และระดับผลผลิตทางชีววิทยาในแหล่งน้ำ ค่าพีเอชของน้ำอาจใช้บ่งชี้ได้ว่าฟอสเฟตจะรวมอยู่กับธาตุ

ชนิดใด ตัวอย่างเช่น ถ้าพีเอชของน้ำเป็นด่างเล็กน้อยจะมี calcium phosphate ละลายอยู่มาก แต่ ถ้าพีเอชของน้ำเป็นด่างมากจะพบ sodium phosphate ละลายมาก และถ้าพีเอชเป็นกรดจะพบ ferric phosphate ละลายมาก (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543)

2.1.3 ซิลิกาละลาย

แพลงก์ตอนพืชประเภทไดอะตอม (diatom) และซิลิโกแฟลกเจลเลต (silico-flagellate) ต้องการซิลิกาละลายในการเจริญเติบโตของ (Vonshak, 1986) ทะเลบางแห่งที่มีซิลิกาละลายจำกัด ทำให้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นจะเปลี่ยนจากไดอะตอมไปเป็นแฟลกเจลเลตแทน (Officer and Ryther, 1980)

ซิลิกอนในแหล่งน้ำมี 2 รูป คือ ซิลิกาละลายน้ำ หรือกรดซิลิซิก (H_4SiO_4) เป็นรูปที่ไดอะตอมนำไปใช้สร้างเปลือกและโครงร่างแข็ง ส่วนอีกรูปหนึ่ง คือ ซิลิกาแขวนลอย (particulate silica) ซิลิกาในรูปนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 รูป คือ รูปที่เป็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตและรูปที่ถูกดูดซับอยู่กับดินตะกอนอนินทรีย์หรือในรูปสารประกอบเชิงซ้อน (Wetzel, 2001) ซิลิกาละลายในทะเลมาจากการผุพังของดินและหินจากเปลือกโลก ซึ่งต่างจากฟอสฟอรัส (Humborg, 1997)

จากการศึกษาปริมาณของสารอาหารในแม่น้ำดานูบ (Danube River) ที่ลงสู่ทะเลดำย้อนหลังไป 30 ปี พบว่าซิลิกาละลายจากแม่น้ำดานูบที่ออกสู่ชายฝั่งมีค่าลดลงเหลือเพียง 1 ใน 3 จากปริมาณเดิมที่มีอยู่ก่อนที่จะมีการสร้างเขื่อนบริเวณต้นแม่น้ำดานูบ และพบว่าไดอะตอมที่เป็นแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นชายฝั่งทะเลดำมีปริมาณลดลง แต่มีคอคโคลิโธฟอรัส (coccolithophores) และแฟลกเจลแลต (flagellate) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแพลงก์ตอนพืชกลุ่มหลังนี้เป็นพวกที่ไม่ใช้ซิลิกาละลาย (Humborg, 1997)

ปริมาณของซิลิกาละลายในน้ำธรรมชาติมีมากน้อยจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำความเข้มข้นเฉลี่ยของซิลิกาละลายในน้ำผิวดินทั่วโลกมีค่าประมาณ 220 μM แหล่งกำเนิดหลักของซิลิกา คือ กระบวนการสลายตัว (degradation) ของแร่อะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate minerals) แหล่งน้ำที่องค์ประกอบทางธรณีวิทยาเป็นหินคาร์บอนเนตจะพบว่าความเข้มข้นของซิลิกาละลายต่ำ เนื่องจากซิลิกาจะถูกตรึงไว้เมื่อพีเอชของน้ำต่ำกว่า 3 โดยเกิดเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนเนตกับซิลิกา แต่ถ้าพีเอชอยู่ในช่วง 4-9 ซิลิกาบางส่วนจะถูกปล่อยออกมากระบวนการดูดซับจะสามารถเกิดขึ้นได้มากด้วย แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 10 การดูดซับจะลดลงอย่างมากทำให้การละลายเพิ่มสูงขึ้น (Wetzel, 2001) ส่วนซิลิกาละลายเมื่อถูกพาออกสู่ปากแม่น้ำ การผสมผสานกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางกายภาพเคมี กล่าวคือ ความเข้มข้นของไอออน (ionic strength) ในน้ำสูงขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความเค็มและค่าพีเอชที่สูงขึ้น ทำให้

ความสามารถในการละลายซิลิกาตกลงเป็นเหตุให้กรดซิลิซิกแยกตัวออกจากมวลน้ำในรูปคอลลอยด์ (collids) และตกตะกอนรวมอยู่กับดินตะกอนท้องน้ำในเอสทูรี (estuary) ทำให้ซิลิกาในรูปกรดซิลิซิก เหลือออกสู่ทะเลเพื่อเป็นอาหารสำหรับไดอะตอมและซิลิโคแฟลกเจลเลตบริเวณชายฝั่งมีปริมาณ น้อยลง ดังนั้นบริเวณเอสทูรีจึงเป็นบริเวณหนึ่งที่รองรับหรือสะสมของตะกอนซิลิกา และแม้ว่าซิลิกา ในรูปนี้จะสามารถละลายกลับมาอยู่ในรูปของกรดซิลิซิกหมุนเวียนเป็นวัฏจักร แต่กระบวนการละลาย กลับเกิดขึ้นช้ามาก ซิลิกาที่ถูกตรึงอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็กและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (iron and aluminum hydroxides) จะทำให้กระบวนการละลายกลับเกิดขึ้นได้ยาก โดยเฉพาะใน บริเวณที่มีพีเอชของน้ำระหว่างตะกอนสูงกว่า 7 เช่น บริเวณที่เอสทูรีที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล แต่ ความสามารถในการละลายจะสูงขึ้นถ้าหากมีสารประกอบฮิวมิก (humic compounds) ในน้ำ เนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กและอลูมิเนียมซิลิเคต-ฮิวมิก (iron and aluminum-silicate-humic complexes) (Wetzel, 2001)

2.1.4 เอสทูรี (estuary)

เอสทูรี คือ บริเวณที่น้ำทะเลถูกเจือจางด้วยน้ำจืดจากแผ่นดิน องค์กรประกอบทางเคมีที่ แตกต่างกันระหว่างน้ำทั้งสอง ทำให้เกิดกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ในเอสทูรี (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) กระบวนการเคมีดังกล่าว ได้แก่ การดูดซับ-คายออก การตกตะกอน และการแลกเปลี่ยน ไอออน กระบวนการเคมีเหล่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของมวลสารระหว่างภาวะที่เป็นสารละลาย กับภาวะที่ไม่เป็นสารละลาย มวลสารที่อยู่ในรูปสารละลายก็จะแพร่กระจายในมวลน้ำ เอสทูรีจึงเป็น บริเวณที่มีบทบาทสำคัญทั้งในแง่ของการเป็นแหล่งกำเนิด กำจัด-กักเก็บ และเปลี่ยนรูป (transform) ของสาร (Clark, 2001)

ดินตะกอนเป็นแหล่งสะสมสารต่าง ๆ ที่เข้าสู่มวลน้ำโดยเฉพาะสารอินทรีย์เมื่อแบคทีเรีย ย่อยสลาย จะกลายเป็นสารอาหารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำระหว่างดินตะกอน (Heggie et al., 2002) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำสารอาหารอินทรีย์จะถูกปลดปล่อยจากดินตะกอนสู่น้ำระหว่างดิน ตะกอนและแพร่สู่มวลน้ำ การแลกเปลี่ยนสารอินทรีย์ระหว่างดินตะกอนกับน้ำเหนือดินตะกอน จึงมีอิทธิพลต่อการกระจายของสารอาหารในแหล่งน้ำ (Takayanagi and Yamada, 1999)

2.1.5 การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของตะกอนกับน้ำ

สารอาหารปริมาณน้อยในน้ำระหว่างดินตะกอนจะเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีโดย กระบวนการทางชีวธรณีเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทำให้สารแต่ละรูปแบบในน้ำระหว่างดิน ตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอนซึ่งจะมีความเข้มข้นแตกต่างกันเกิดการแลกเปลี่ยนกัน (Takayanagi and Yamada, 1999) นอกจากจะมีกระบวนการแพร่แล้วยังมีกระบวนการทางกายภาพอื่น ๆ อีก

เช่น การกวนตะกอน ทั้งจากกระแสน้ำและจากการเคลื่อนที่หรือกิจกรรมของสัตว์หน้าดินที่ทำให้ช่วยเกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างตะกอนกับมวลน้ำ ดังนั้นการแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของน้ำกับตะกอนจึงมีความสำคัญในวัฏจักรทางชีวธรณีเคมี

2.1.6 ฟลักซ์ (Flux)

ฟลักซ์ (Flux) หมายถึง การไหลของสารเข้าหรือออกผ่านพื้นที่ผิวหน้าของตะกอน (Dituro, 2001) สารเหล่านี้เกิดจากการย่อยสลายของอนุภาคอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ที่พื้นท้องน้ำ ตัวอย่างเช่น ซากแพลงก์ตอน อนุภาคสิ่งขับถ่าย และตะกอนอินทรีย์จากแผ่นดิน เป็นต้น ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้เกิดจากการที่สัตว์หน้าดิน และจุลชีพที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนกินอนุภาคเหล่านี้เป็นอาหารแล้วเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุ แร่ธาตุเหล่านี้จะมีการสะสมและแลกเปลี่ยนระหว่างมวลน้ำและตะกอนที่บริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนกับน้ำ (Kaspar et al., 1985) โดยมีสูตรการคำนวณฟลักซ์ ดังนี้ (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2543)

$$\text{Flux (N)} = \frac{(N_t - N_0) \times V}{1000 \times A \times T}$$

Flux (N)	=	อัตราการฟลักซ์ของสารประกอบไนโตรเจน (ไมโครโมลาร์/ตารางเมตร / ชั่วโมง)
N ₀	=	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่เวลาเริ่มต้น (ไมโครโมลาร์/ลิตร)
N _t	=	ความเข้มข้นของสารอาหารที่เวลาใด ๆ (ไมโครโมลาร์/ลิตร)
T	=	เวลาใดๆ ของการทดลอง (ชั่วโมง)
V	=	ปริมาตรของน้ำในแชมเบอร์ (มิลลิลิตร)
A	=	พื้นที่ผิวของตะกอนดิน หรือพื้นที่ผิวของถังพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง (ตารางเมตร)

ถ้าฟลักซ์มีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่ามีการปล่อยสารอาหารออกจากดินตะกอน แต่ถ้าเป็นลบ (-) แสดงว่าสารอาหารแพร่จากมวลน้ำลงสู่ดินตะกอน (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2543) อย่างไรก็ตาม บริเวณที่เป็นชายฝั่งมีความเข้มข้นของสารอาหารปริมาณน้อยในมวลน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากอิทธิพลของความเค็ม ปริมาณและทิศทางของฟลักซ์จึงเปลี่ยนแปลงไปมาได้

2.1.7 เบนทิกแชมเบอร์ (benthic chamber)

เบนทิกแชมเบอร์ (benthic chamber) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ที่ท้องน้ำบริเวณที่ต้องการจะศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนสารระหว่างดินตะกอนกับน้ำเหนือดินตะกอน หรือที่เรียกว่า ฟลักซ์ ในสภาวะที่เลียนแบบธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารปริมาณน้อยบริเวณด้านล่างของแหล่งน้ำ (Zago et al., 2000)

ในการติดตั้งเบนทริกแชมเบอร์นั้นสามารถทำได้โดยวางเบนทริกแชมเบอร์ปิดบนผิวดิน ตะกอนท้องน้ำ กดลงไปบนดินตะกอนประมาณ 30 เซนติเมตร และน้ำภายในเบนทริกแชมเบอร์ จะต้องมีการหมุนเวียนเบา ๆ ตลอดเวลา เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำภายนอกเบนทริกแชมเบอร์ซึ่งมักจะ ทำโดยการติดตั้งใบพัดกวนภายในเบนทริกแชมเบอร์ให้น้ำมีการเคลื่อนไหว (Michiel et al., 1984) นอกจากนี้แล้วอาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมตัวอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น ออกซิเจนละลาย พีเอช และความเค็ม เป็นต้น วัสดุที่ใช้ในการทำเบนทริกแชมเบอร์จะมีหลายประเภท ตัวอย่างเช่น polycarbonate plexiglass และ stainless steel เป็นต้น

2.1.8 ออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำมีความแตกต่างกันทำให้เกิดสภาวะทาง นิเวศวิทยาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ออกซิเจนยังมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำปริมาณของ ออกซิเจนละลายที่ระดับความลึกต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน การกระจายของปริมาณออกซิเจนละลาย จะถูกควบคุมด้วยกระบวนการต่าง ๆ และในน้ำชั้นผิวน้ำจะมีการผลิตออกซิเจนโดยกระบวนการ สังเคราะห์แสง ส่วนในชั้นน้ำที่ระดับความลึกลงไปกระบวนการสังเคราะห์แสงนั้นจะลดลงจนไม่มีการ สังเคราะห์แสงเลย (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะทำให้ ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง

2.1.9 ความเค็ม (salinity)

ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูงนั้นการตกตะกอนของสารแขวนลอยในแหล่งน้ำจะเกิดได้เร็ว ขึ้น เนื่องจากสารแขวนลอยที่มีประจุลบเมื่ออยู่ในน้ำจืดจะแยกกันอยู่เพราะจะมีแรงผลักระหว่างกัน ส่วน ในน้ำที่เค็มขึ้นแรงผลักระหว่างกันจะลดลงทำให้เกิดการสลายสภาพเสถียร (destabilization) จึงทำให้มี โอกาสเกิดการเกาะตัวกันมากขึ้นเมื่ออนุภาควิ่งมาชนกัน ถ้าอนุภาคมีจำนวนมากขึ้นโอกาสที่จะชนกัน ก็ยิ่งมากขึ้นจึงเกิดการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงเกิดการตกตะกอน พวก สารอาหารก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการ ละลายของแคลเซียมมีค่าลดลงและจะตกตะกอนมาอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียม ออกไซด์ ซึ่งแคลเซียมทั้ง 2 รูปแบบนี้จะดูดซับฟอสฟอรัสไว้ด้วย (Lopez, 1996) เมื่อความเค็มสูงขึ้น จึงทำให้ฟอสเฟตละลายออกสู่มวลน้ำได้น้อย (Carritt and Goodgal, 1954)

2.1.10 สภาพทั่วไปของชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

ชายฝั่งทะเลอ่างศิลาเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการทำประมงชายฝั่ง บริเวณอ่างศิลาเป็นพื้นที่สำหรับการเลี้ยงหอยแมลงภู่มากที่สุดแห่งหนึ่งของไทย เนื่องจากชายฝั่งทะเลอ่างศิลามีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐาน ดังตารางที่ 2-1 และเมื่อมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยแหล่งอาหารจึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งที่มีการสะสมของเสียที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสัตว์ทะเล และสารอาหารต่าง ๆ ที่เหลือจากกระบวนการที่เกิดขึ้นในมวลน้ำในชั้นดินตะกอนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากมีการรบกวนชั้นดินตะกอน หรือมีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในชั้นดินจนทำให้สารอินทรีย์ที่สะสมถูกเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์และแพร่เข้าสู่มวลน้ำเป็นการเพิ่มสารอาหารในมวลน้ำให้กับชายฝั่งอ่างศิลาให้สูงขึ้นจากเดิมอีก

ตารางที่ 2- 1 คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งอ่างศิลาเทียบกับค่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

ประเภท	ค่ามาตรฐาน	ชายฝั่งอ่างศิลา		
		ก.พ. 2556	ก.พ. 2557	ก.พ. 2558
ออกซิเจนละลาย (mg/l)	ไม่ต่ำกว่า 4	4.6	4.2	5.5
แอมโมเนีย ($\mu\text{g/l}$)	ไม่เกิน 70	68.6	175	96.5
ไนเตรท ($\mu\text{g/l}$)	ไม่เกิน 20	12.0	66.6	47.6
ฟอสเฟต ($\mu\text{g/l}$)	ไม่เกิน 15	13.6	45.1	38.6

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของปิ่นอนงค์ มุสิกพันธ์ (2552) พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเค็มน้ำมีผลต่อการแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสระหว่างมวลน้ำและดินตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยา เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการปลดปล่อยฟอสเฟตออกจากตะกอนจะลดลง ต่อมา กฤติกานต์ คำสุนทร (2553) ได้ติดตั้งเบนทิกแคมเบอร์ที่พื้นทะเลหลังสถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา เพื่อศึกษาฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายบริเวณรอยต่อระหว่างดินตะกอนและมวลน้ำ พบว่า ภายใต้สภาวะออกซิเจนต่ำดินตะกอนจะเป็นแหล่งกำเนิดของฟอสฟอรัส และซิลิกาละลายสู่มวลน้ำผิวหน้าดินตะกอน ฟลักซ์ของฟอสฟอรัสในแคมเบอร์โปร่งใสและทึบแสงมีค่า 363.4 และ 283.3 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่ภายนอกแคมเบอร์ที่มีมีค่าการไหลเวียนแลกเปลี่ยนกับมวลน้ำภายนอกมีค่าเพียง 8.1 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ส่วนฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแคมเบอร์โปร่งใสและทึบแสงมีค่า 1767.1 และ 1562.4 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ และภายนอกแคมเบอร์มีค่า 32.9 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง

จากการศึกษาด้วยวิธีเดียวกัน สุกัญดา ไมตรีแก้ว (2550) พบว่าออกซิเจนละลายและความเค็มมีอิทธิพลต่อฟลักซ์ของสารอาหาร ณ รอยต่อระหว่างตะกอนและน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก โดยมีค่าฟลักซ์ของฟอสฟอรัสเฉลี่ยที่สถานีเกาะยอ (ฤดูฝน) บ้านเขาแดง (ฤดูแล้ง) และบ้านเขาแดง (ฤดูฝน) ในแฮมเบอร์โปร่งแสง มีค่า 0.035, (-22.9) และ 77.1 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมงตามลำดับ และแฮมเบอร์ทึบแสง มีค่า (-31.4), 3.57 และ 66.4 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมงตามลำดับ

ฟลักซ์ระหว่างดินตะกอนกับมวลน้ำมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ ของฟอสฟอรัสโดยใช้เบนทิกแฮมเบอร์ในพื้นที่บริเวณ Mobile Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ระดับความลึก 3 เมตร โดยค่าฟลักซ์ของฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ (-48.0) และ 480 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วัน (Cowan et al., 1996) และการศึกษาฟลักซ์ของฟอสฟอรัสในพื้นที่ Thau lagoon ประเทศฝรั่งเศส ที่ระดับความลึก 5 เมตร พบว่า ฟลักซ์ของฟอสฟอรัสมีค่า (-36.0) และ 1,272 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วัน (Mazouni et al., 1996)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อการถ่ายเทฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ และ 2) ศึกษาการถ่ายเทฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ โดยใช้แซมเบอร์แบบโปร่งใส และทึบแสงในสภาวะที่ควบคุม

3.1 พื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจากพื้นที่ชายฝั่งหลังสถานีวิจัยสัตว์ทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือเก็บดินตะกอนผิวหน้า และเก็บตัวอย่างน้ำทะเล 200 ลิตร สำหรับใช้ตลอดการทดลอง

3.2 ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็ม

3.2.1 การจัดชุดการทดลอง

จัดชุดการทดลองโดยใช้ถังพลาสติกใสแปรค่าความเค็ม โดยผสมน้ำทะเล (ความเค็ม 30) กับน้ำกลั่น ให้ได้ความเค็ม ดังนี้ 10, 15, 20, 25, 30 ในสภาวะที่มีออกซิเจน เต็มอากาศเบา ๆ โดยใช้ปั๊มอากาศและหัวทราย ส่วนในสภาวะไร้ออกซิเจนเติมก๊าซไนโตรเจนแทนอากาศ จัดชุดการทดลองดังรูปที่ 3-1

3.2.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำที่ 1 เซนติเมตรเหนือผิวดินตะกอน โดยใช้หลอดฉีดยา (syringe) ขนาด 60 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำครั้งแรก ณ ชั่วโมงที่ 0 เก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง ใน 24 ชั่วโมงแรก เก็บทุก 4 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 72 เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 108 หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างวันที่ 7 (ชั่วโมงที่ 168) วันที่ 10 (ชั่วโมงที่ 240) และวันที่ 15 (ชั่วโมงที่ 360) กรองตัวอย่างน้ำทันทีหลังการเก็บตัวอย่างด้วยแผ่นกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด หลอดละ 5 มิลลิลิตร สำหรับวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตและซิลิเกตอย่างละหลอด

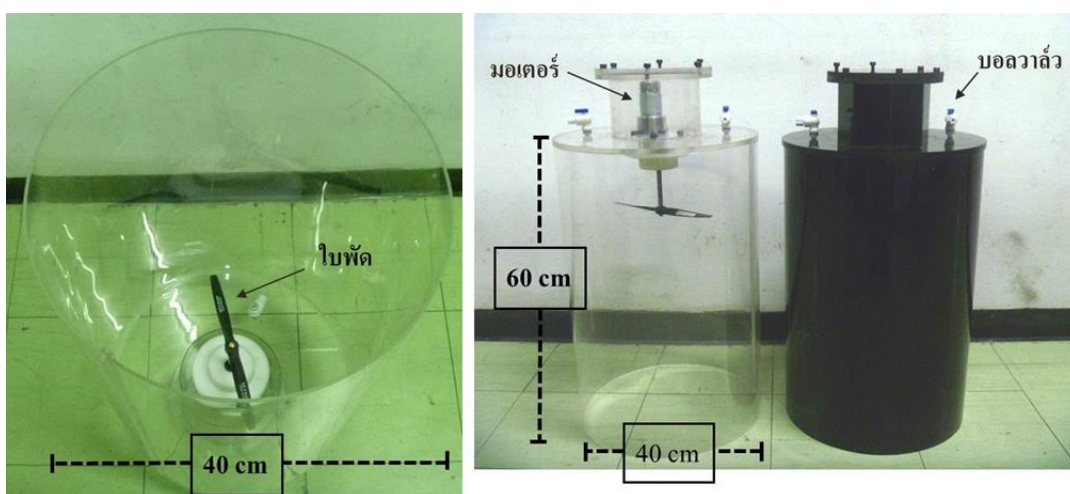


รูปที่ 3- 1 การจัดชุดการทดลองการถ่ายเทสารจากดินตะกอนสู่น้ำเหนือผิวดินตะกอน

3.3 ศึกษาการถ่ายเทของสารอาหารผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ โดยใช้แชมเบอร์

3.3.1 การจัดชุดการทดลอง

เบงทิกแชมเบอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบขึ้นจากท่ออะคริลิก (acrylic tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร มีฝาปิดด้านบนที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง รอบต่ำ (10 rpm) โดยมีเพลยาว 10 เซนติเมตร ติดใบพัดพลาสติกยาว 9 นิ้ว (รูปที่ 3-2) เพื่อกวนน้ำภายในแชมเบอร์เบา ๆ เพื่อให้น้ำภายในแชมเบอร์มีการหมุนเวียนผสมผสานกัน (homogeneous) ที่ฝาด้านบนติดบอลวาล์ว 2 ตัว เพื่อใช้เป็นช่องเก็บตัวอย่างและเติมน้ำเพื่อให้ปริมาตรน้ำภายในเท่าเดิม เบงทิกแชมเบอร์ที่ใช้มี 2 แบบ คือ แบบโปร่งใสและแบบทึบแสง ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3- 2 ส่วนประกอบภายในแชมเบอร์ (ซ้าย) และ เบงทิกแชมเบอร์ (ขวา)

ถ่ายดินตะกอนและน้ำลงในถังขนาดใหญ่ นำแชมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงที่เตรียมไว้กวดลงในถังขนาดใหญ่โดยให้มีความลึก 15 เซนติเมตร จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำทันที (ชั่วโมงที่ 0) และเติมน้ำทดแทนทุกครั้งหลังทำการเก็บตัวอย่าง

3.3.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำทั้งเบนทิกแชมเบอร์แบบโปร่งใสและแบบทึบแสง โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 60 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างน้ำผ่านบอลลูนวาล์วประมาณ 60 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมน้ำที่สภาวะเริ่มต้นให้เท่ากับปริมาตรที่เก็บตัวอย่างเพื่อให้ปริมาตรน้ำภายในแชมเบอร์เท่าเดิม จากนั้นแบ่งน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1. น้ำสำหรับวิเคราะห์ออกซิเจนละลายค่อย ๆ รินน้ำประมาณ 30 มิลลิลิตร ลงหลอดทดลองระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ
2. น้ำสำหรับวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตและซิลิเกต กรองน้ำด้วยกระดาษกรองด้วยแผ่นกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด หลอดละ 5 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตและซิลิกาละลายอย่างละหลอด
3. น้ำสำหรับวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยน้ำส่วนที่เหลือนำมาวัด อุณหภูมิ ความเค็ม และพีเอช เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บตัวอย่างดินจากภายในแชมเบอร์ทั้งสอง และภายนอกแชมเบอร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินตะกอน

3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

นำตัวอย่างน้ำในหลอดทดลองที่เก็บตัวอย่างโดยไม่เกิดฟองอากาศมาเติม manganous sulfate solution 200 ไมโครลิตร และ alkaline iodide solution 200 ไมโครลิตร ปิดฝาให้สนิท แล้วเขย่าให้ละลายผสมกันจะเกิดตะกอนของ managanese (III) hydroxide ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 ใน 3 ของ หลอด แล้วเติมกรด conc. H₂SO₄ 200 ไมโครลิตร ปิดฝาให้สนิทและเขย่าให้ตะกอนละลาย จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.01 N sodium thiosulfate ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย sodium thiosulfate ด้วยสารละลายปฐมภูมิ potassium iodate (Strickland and Parson, 1972) (ดูวิธีการละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟต

นำตัวอย่างน้ำที่กรองแล้วในหลอดทดลองมาเติม mixed reagent 100 ไมโครลิตร และ ascorbic acid 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร (Strickland and Parson, 1972) ทำ reagent blank ด้วยวิธีเดียวกัน แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง (ดูวิธีการละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณซิลิเกต

นำตัวอย่างน้ำที่กรองแล้วในหลอดทดลองมาเติมสารละลาย molybdate 200 ไมโครลิตร เขย่าและทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเติม reducing reagent 300 ไมโครลิตร ผสมสารทันที ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (Strickland and Parson, 1972) ทำ reagent blank ด้วยวิธีเดียวกัน แต่ใช้ synthetic seawater แทนน้ำตัวอย่าง (ดูวิธีการละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน

วิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน ด้วยวิธี Walkey-Black Method โดยชั่งดินตะกอนแห้งที่บดละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย agate mortar 0.5 กรัม โดยชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายมาตรฐานปฏิกิริยา 1 M $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric pipette ใส่ลงในขวดตัวอย่าง เติมกรด conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร แกว่งเบา ๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน ระวังอย่าให้ดินตะกอนติดข้างขวด ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 200 มิลลิลิตร เติม conc. H_3PO_4 10 มิลลิลิตร NaF 0.2 กรัม และอินดิเคเตอร์ diphenylamine 15 หยด ตามลำดับ นำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานหุติยภูมิ 0.5 M ferrous ammonium sulfate จนถึงจุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลไปเป็นสีเขียวใส

เนื่องจากวิธีการหาปริมาณสารอินทรีย์เป็นการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานหุติยภูมิที่หลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยา จึงต้องวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายมาตรฐานหุติยภูมิเมื่อไม่มีตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเดียวกับวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างดินตะกอน วิเคราะห์ความถูกต้องของวิธีการด้วยการวิเคราะห์ dextrose โดยชั่ง dextrose 0.01 กรัม โดยชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และทำตามขั้นตอนเหมือนกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน (ดูวิธีการละเอียดในภาคผนวก ข)

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อเบนทิกพลั๊กซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อการถ่ายเทพลั๊กซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ และศึกษาการถ่ายเทพอสฟอรัสและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำ โดยใช้แซมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสงในสภาวะที่ควบคุม

4.1 ผลของออกซิเจนและความเค็มต่อปลั๊กซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลาย ในห้องปฏิบัติการ

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนเริ่มต้นก่อนการทดลอง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.55 ผลของออกซิเจนและความเค็มต่อปลั๊กซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในห้องปฏิบัติการ โดยแปรค่าความเค็มที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 ใช้ดินตะกอนและน้ำจากชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

4.1.1 ผลการศึกษาออกซิเจนและความเค็มต่อปลั๊กซ์ของฟอสเฟต

ผลการศึกษาความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอนในสภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic) และมีออกซิเจน (oxic) ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 ในระยะเวลา 360 ชั่วโมง มีค่าต่ำสุดถึงสูงสุด ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-1 รายละเอียดค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายตามเวลา รายงานไว้ในภาคผนวก ค ความเข้มข้นของฟอสเฟต โดยเมื่อเวลาเริ่มต้นความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอนมีค่าต่ำสุด และมีค่าสูงสุดที่ประมาณเวลา 60 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีความเข้มข้นที่ โดยค่าสูงสุดของฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอนในสภาวะไร้ออกซิเจนมีค่าสูงกว่าในสภาวะมีออกซิเจน และในทั้งสองกรณี ค่าสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น แสดงว่าในสภาวะของน้ำเหนือดินตะกอนไร้ออกซิเจน ดินตะกอนจะคายฟอสเฟตออกสู่น้ำเหนือตะกอนมากขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำเหนือตะกอนต่ำลง

รูปที่ 4-1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อนำค่าความเข้มข้นดังกล่าวมาคำนวณปลั๊กซ์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปลั๊กซ์ในช่วงชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 60 แต่หลังจากชั่วโมงที่ 60 ไปแล้ว แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าปลั๊กซ์ อย่างไรก็ตาม การทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นระบบเล็กและดินตะกอนที่ใช้มีความหนาเพียง 5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับความหนาของดินตะกอนในธรรมชาติ ความหนาของ

ดินตะกอนที่ใช้ในการทดลองเทียบเท่ากับเพียงแค่ผิวหน้าของดินตะกอนใต้ทะเลเท่านั้น ทำให้การแพร่ของฟอสเฟตระหว่างดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของฟอสเฟตระหว่างน้ำเหนือดินตะกอน (overlying water) กับน้ำระหว่างตะกอน (pore water) สูง เมื่อเวลาผ่านไปความแตกต่างของความเข้มข้นของฟอสเฟตระหว่าง 2 บริเวณลดน้อยลง หรือแทบไม่มีความแตกต่าง ค่าฟลักซ์ที่ได้จึงไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากไปกว่าเดิมมากนัก

ในสภาวะไร้ออกซิเจน ดินตะกอนมีการคายฟอสเฟตออกสู่มวลน้ำ เนื่องจากดินตะกอนที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้มีสารอินทรีย์มาก ออกซิเจนละลายน้ำจึงถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว เมื่อขาดออกซิเจนเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กจึงถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำ ส่วนในสภาวะมีออกซิเจน ฟลักซ์ของฟอสเฟตจะลงสู่ดินตะกอน เนื่องจากเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซึ่งละลายน้ำจะตกลงสู่ดินตะกอน โดยฟอสเฟตในน้ำทะเลส่วนใหญ่จะจับคู่กับแคลเซียมและแมกนีเซียมในรูปของไอออนคู่ (ion pair) เมื่อมีโมเลกุลใหญ่ขึ้นก็จะตกตะกอนสะสมในดินตะกอนด้วยเช่นกัน และที่ความเค็มสูง ๆ จะเห็นว่าฟอสเฟตจะแพร่ออกจากดินตะกอนได้น้อยกว่าที่ความเค็มต่ำ ดังแสดงในรูป 4-2 โดยค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะมีออกซิเจน แสดงในตารางที่ 4-2 (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ฟลักซ์ของฟอสเฟต รายงานไว้ใน ภาคผนวก ง)

4.1.2 ผลการศึกษาออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของซิลิกาละลาย

ผลการศึกษาความเข้มข้นของซิลิกาละลายในน้ำเหนือตะกอนในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 ในระยะเวลา 360 ชั่วโมง มีค่าต่ำสุดถึงสูงสุด ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-3 รายละเอียดค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซิลิกาละลายตามเวลา รายงานไว้ในภาคผนวก ค ความเข้มข้นของซิลิกาละลาย โดยเมื่อเวลาเริ่มต้นความเข้มข้นของซิลิกาละลายในน้ำเหนือตะกอนมีค่าต่ำสุด และมีค่าสูงสุดที่ประมาณเวลา 60 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีความค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 4-3) เมื่อนำค่าความเข้มข้น ณ เวลาต่าง ๆ มาคำนวณฟลักซ์ พบว่าค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายในสภาวะไร้ออกซิเจนและในสภาวะมีออกซิเจนมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากที่ความเค็มสูงขึ้นทำให้การละลายของซิลิกาละลายลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของไอออนในน้ำสูงความเค็มและค่าพีเอชสูงขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายลดลงเป็นเหตุให้กรดซิลิซิกแยกตัวออกจากมวลน้ำในรูปคอลลอยด์เมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงตกตะกอนลง เป็นสาเหตุที่ความเค็มสูง ๆ การละลายของซิลิกาละลายจึงลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4-4 โดยค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายในสภาวะไร้ออกซิเจน และสภาวะมีออกซิเจนดังแสดงในตารางที่ 4-3 (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ฟลักซ์ของซิลิกาละลาย รายงานไว้ใน ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4- 1 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน

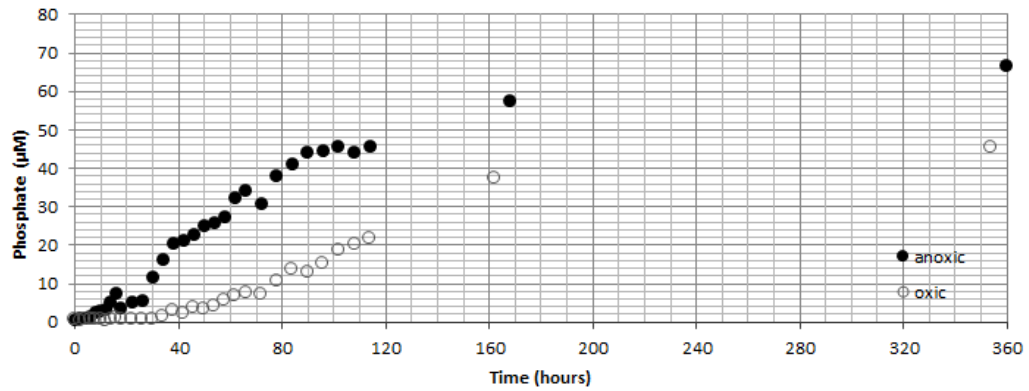
หน่วย: ไมโครโมลต่อลิตร

ความเค็ม	สภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic)		สภาวะมีออกซิเจน (oxic)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
10	0.43	66.45	0.29	45.32
15	0.40	74.89	0.29	41.80
20	0.93	67.48	0.27	27.39
25	0.61	64.26	0.53	22.78
30	0.83	13.99	0.83	14.17

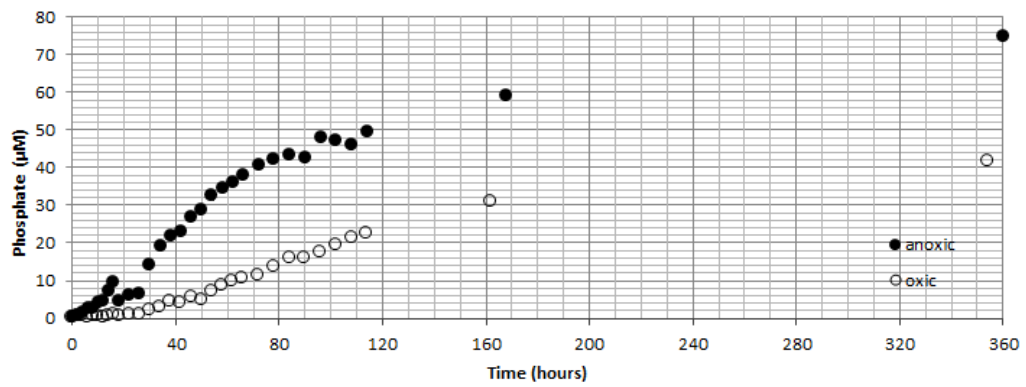
ตารางที่ 4- 2 ฟลักซ์ของฟอสเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน

หน่วย: ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง

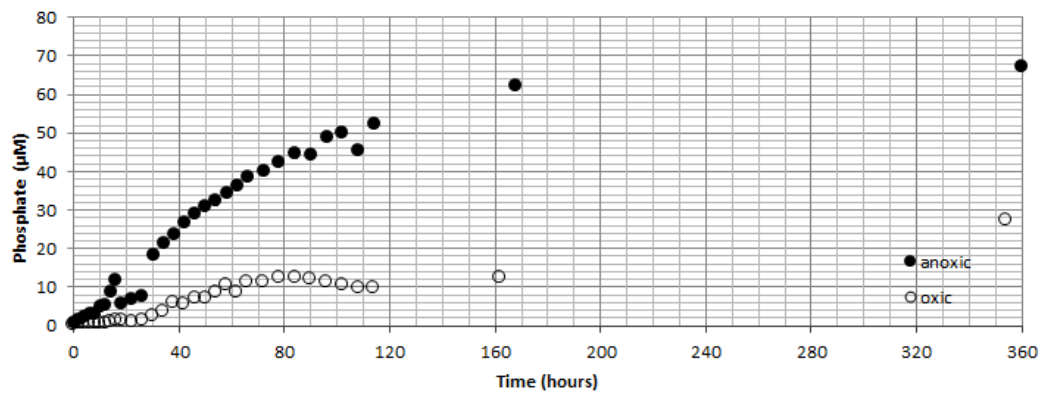
ความเค็ม	สภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic)		สภาวะมีออกซิเจน (oxic)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
10	(-20.77)	18.82	(-17.50)	13.14
15	(-28.74)	25.08	(-2.17)	6.42
20	(-33.08)	36.17	(-2.12)	12.25
25	(-28.04)	24.76	(-6.18)	18.67
30	(-32.49)	38.50	(-5.48)	5.22



(ก) ความเค็ม 10

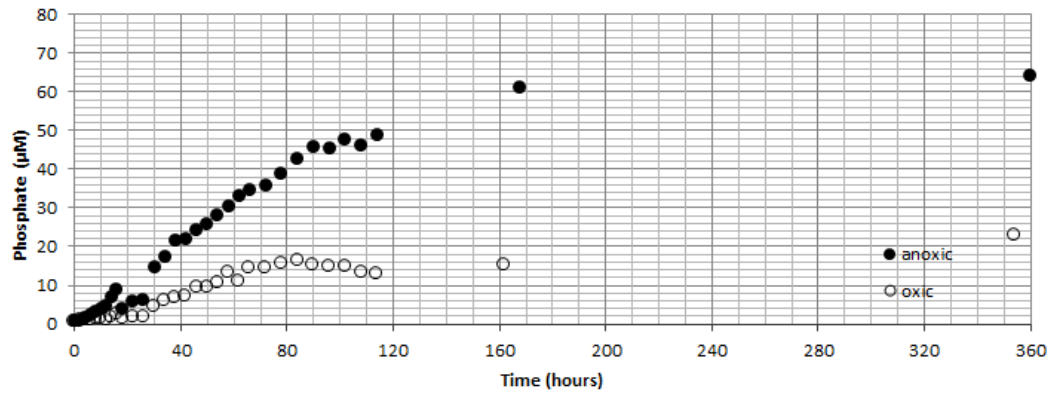


(ข) ความเค็ม 15

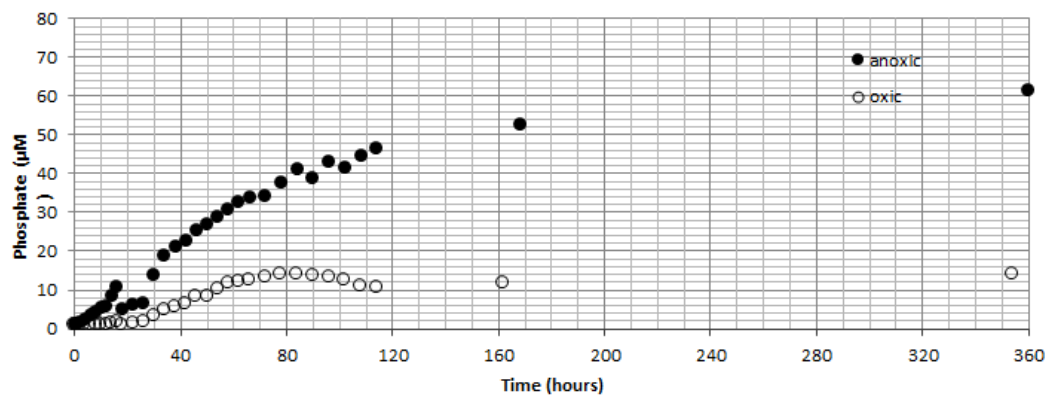


(ค) ความเค็ม 20

รูปที่ 4- 1 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ
ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30

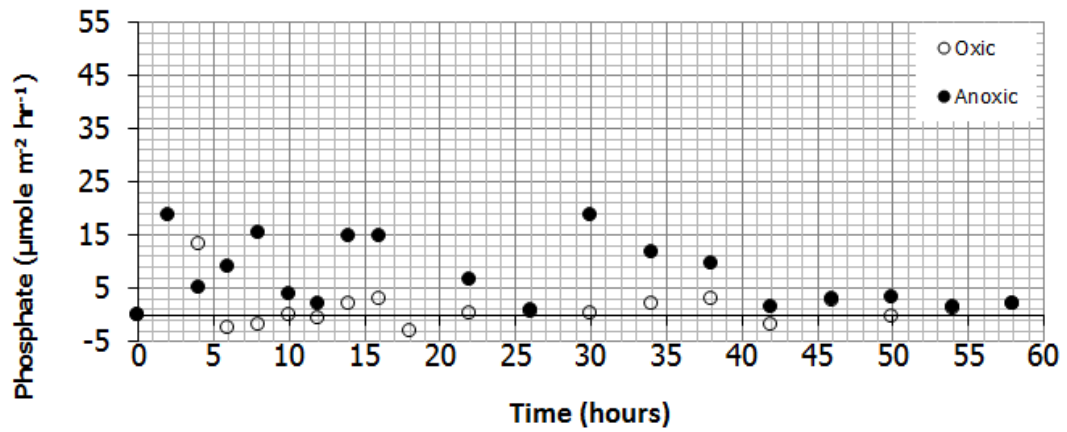


(ง) ความเค็ม 25

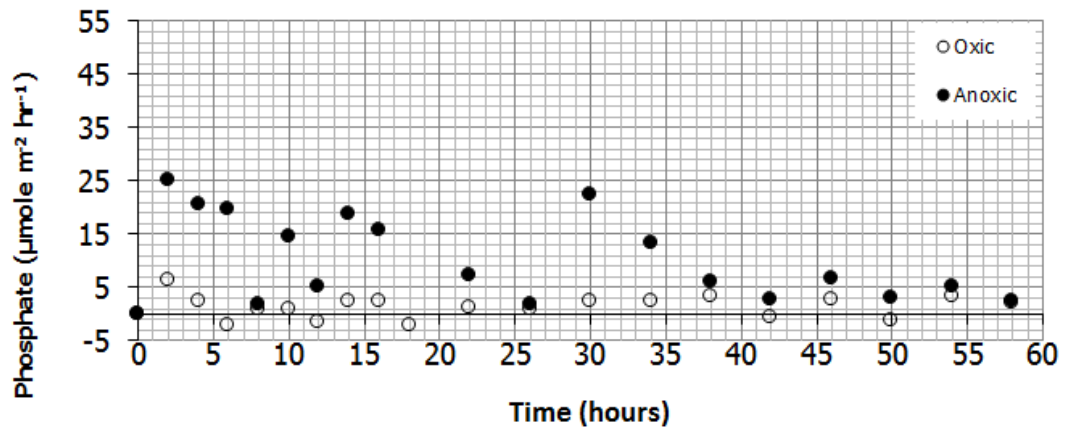


(จ) ความเค็ม 30

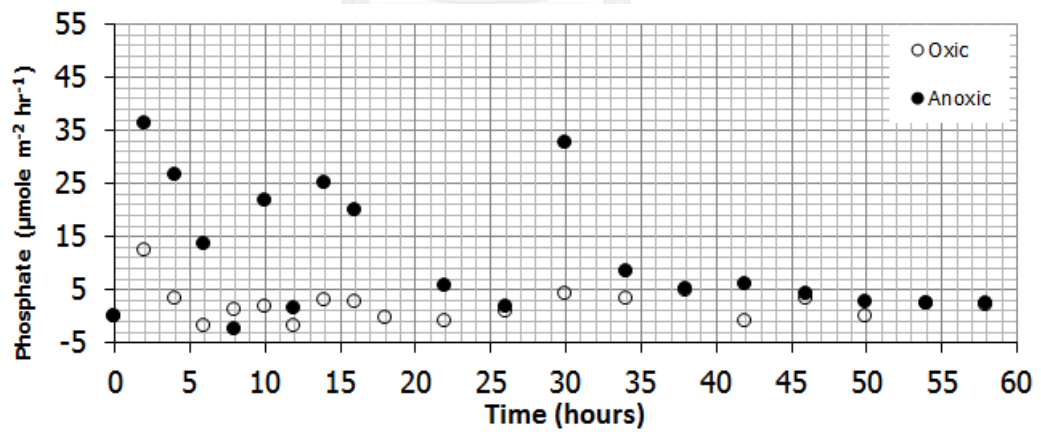
รูปที่ 4- 1 (ต่อ)



(ก) ความเค็ม 10

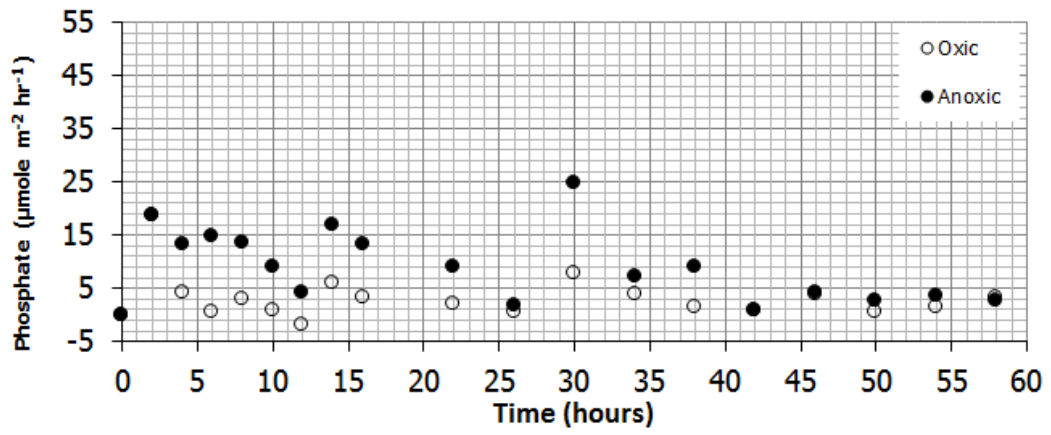


(ข) ความเค็ม 15

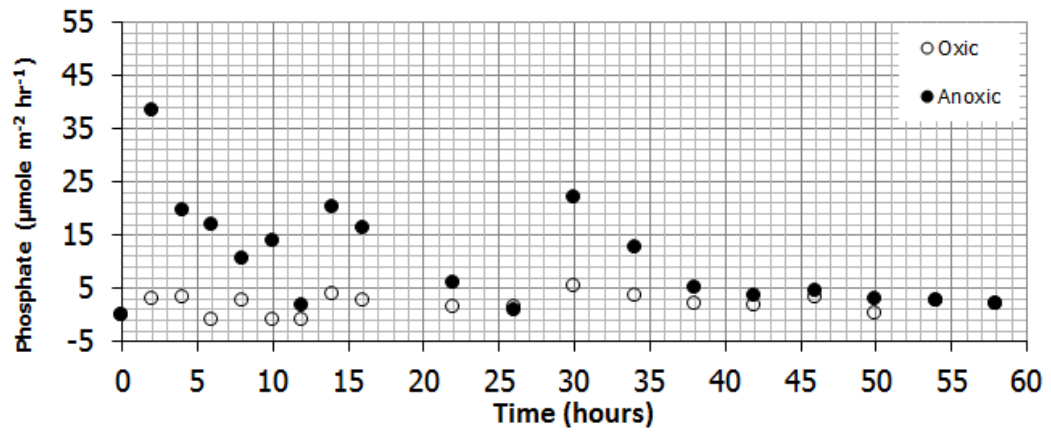


(ค) ความเค็ม 20

รูปที่ 4- 2 ฟลักซ์ของฟอสเฟตในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ
ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30



(ง) ความเค็ม 25



(จ) ความเค็ม 30

ตารางที่ 4- 3 ความเข้มข้นของซัลไฟดิละลายในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน

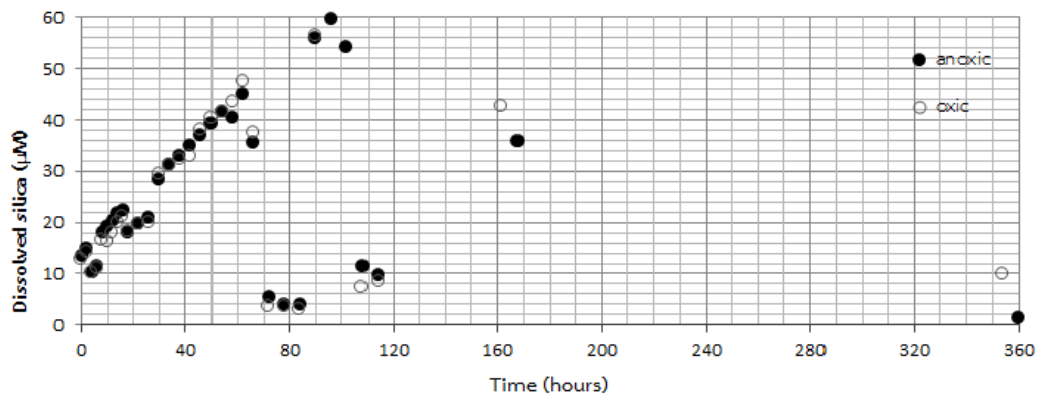
หน่วย: ไมโครโมลต่อลิตร

ความเค็ม	สภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic)		สภาวะมีออกซิเจน (oxic)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
10	1.50	59.60	3.0	67.20
15	1.50	61.80	3.50	65.70
20	3.60	58.50	3.0	57.0
25	1.40	58.40	3.50	60.0
30	2.30	58.50	2.90	60.20

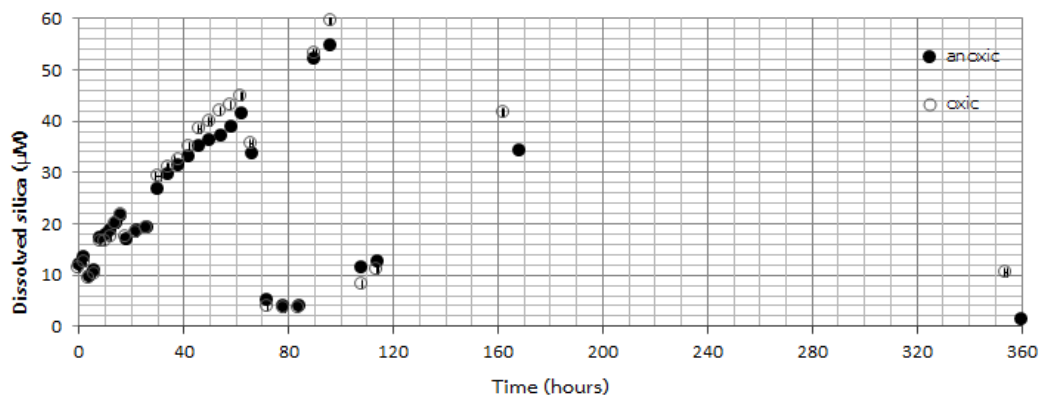
ตารางที่ 4- 4 ฟลักซ์ของซัลไฟดิละลายในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจน

หน่วย: ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง

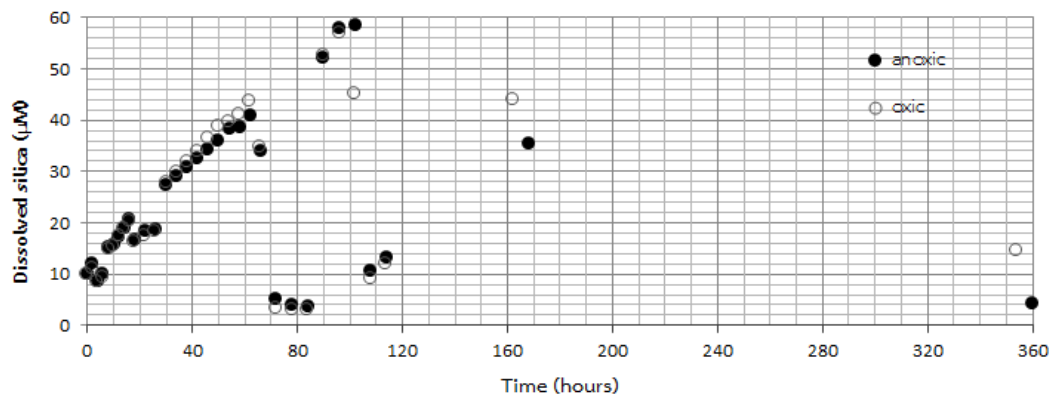
ความเค็ม	สภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic)		สภาวะมีออกซิเจน (oxic)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
10	(-125.71)	90.36	(-117.14)	93.33
15	(-108.57)	88.99	(-88.57)	84.88
20	(-100.00)	122.50	(-74.29)	76.67
25	(-58.33)	57.82	(-60.00)	76.67
30	(-54.29)	93.33	(-45.71)	61.61



(ก) ความเค็ม 10

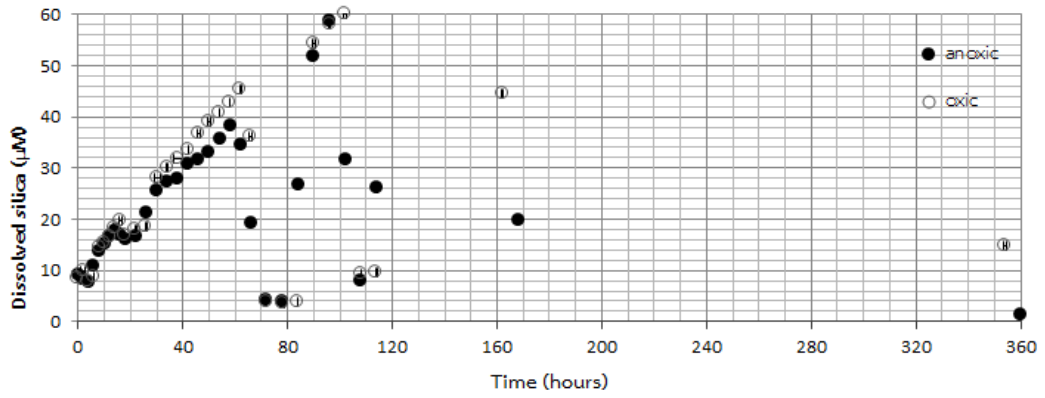


(ข) ความเค็ม 15

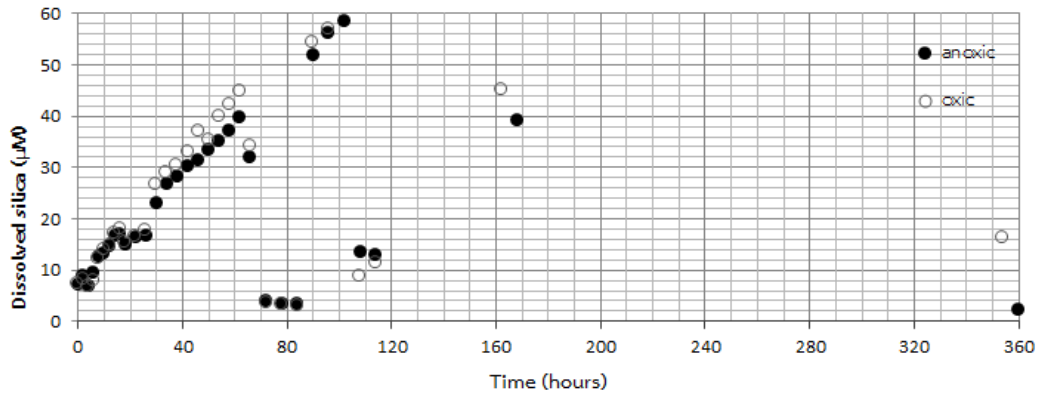


(ค) ความเค็ม 20

รูปที่ 4-3 ความเข้มข้นของซิลิกาละลายในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ
ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30

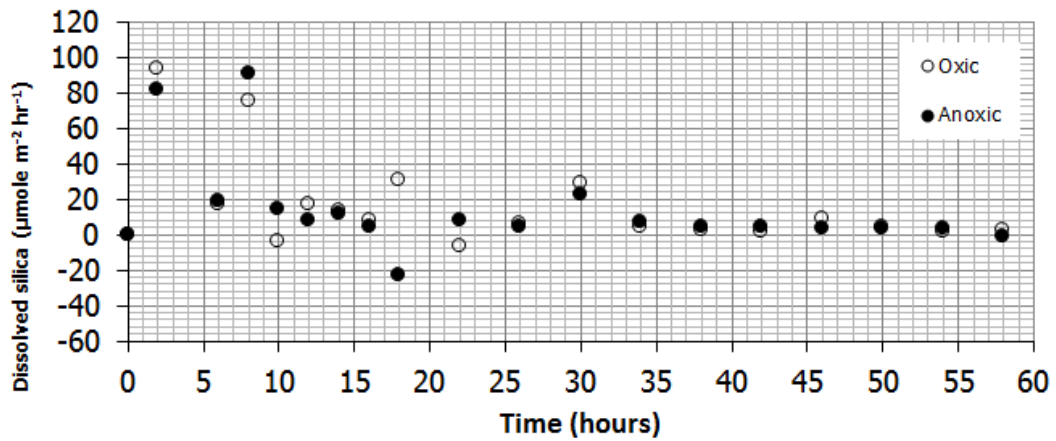


(ง) ความเค็ม 25

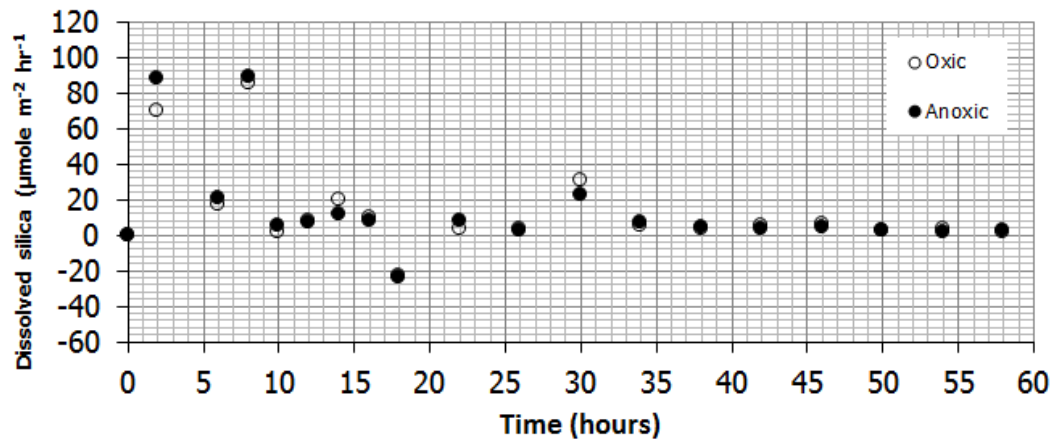


(จ) ความเค็ม 30

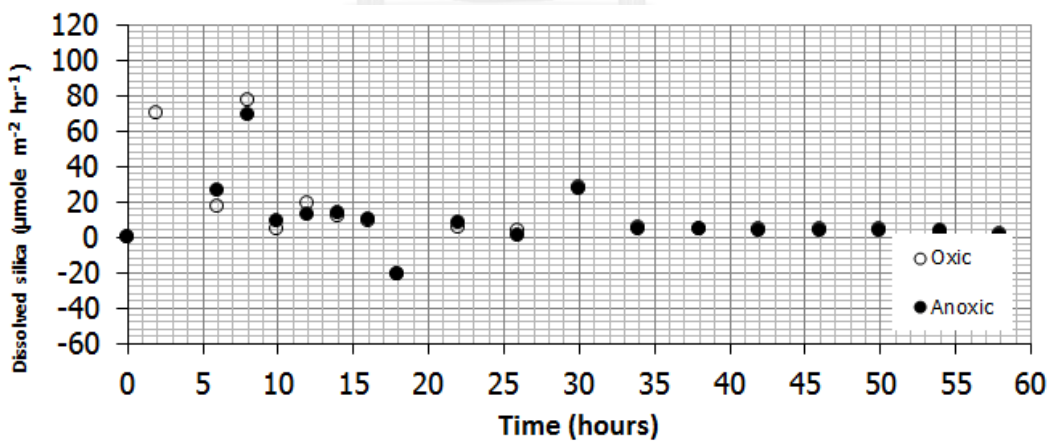
รูปที่ 4-3 (ต่อ)



(ก) ความเค็ม 10

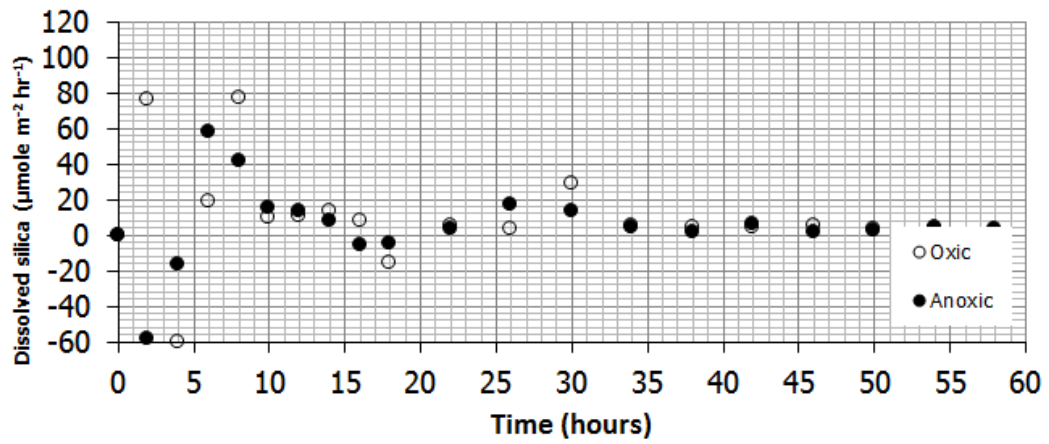


(ข) ความเค็ม 15

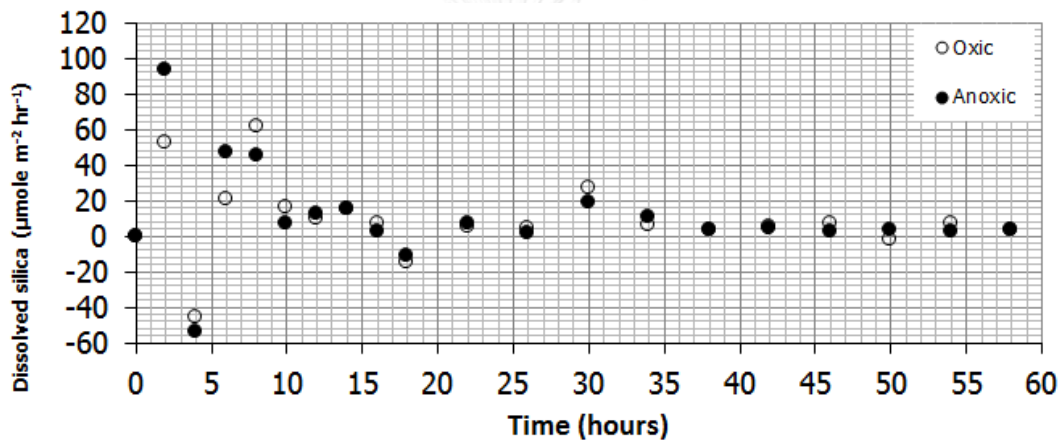


(ค) ความเค็ม 20

รูปที่ 4- 4 พลั๊กซ์ของซิลิกาละลายในน้ำเหนือดินตะกอน ณ เวลาต่าง ๆ
ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30



(ง) ความเค็ม 25



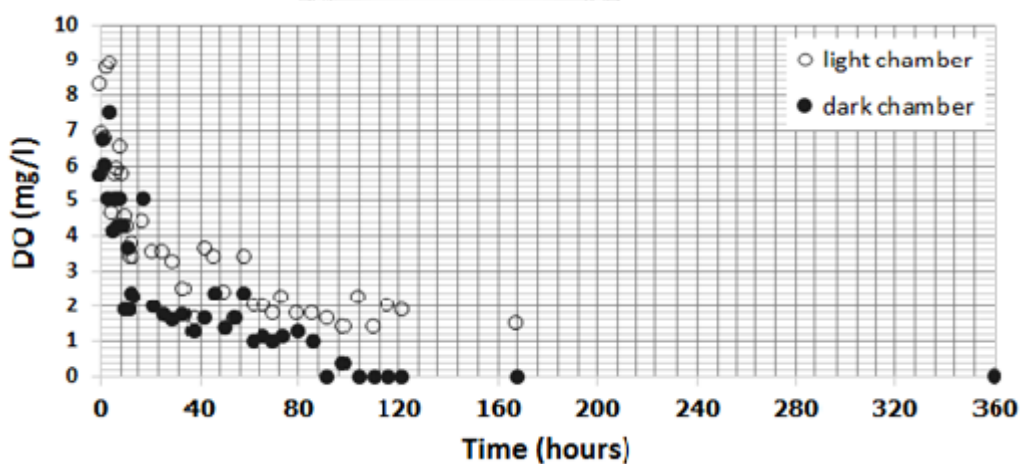
(จ) ความเค็ม 30

รูปที่ 4-4 (ต่อ)

4.2 ผลการศึกษาฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอน และน้ำ โดยใช้แชมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงในสภาวะที่ควบคุม

ฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายระหว่างรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอนโดยใช้เบนทิกแชมเบอร์ชนิดโปร่งใสและแบบทึบแสงทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ได้รับแสงจากธรรมชาติก่อนการทดลองได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในดิน พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 4.74 และน้ำทะเลที่ใช้มีความเค็มเท่ากับ 30

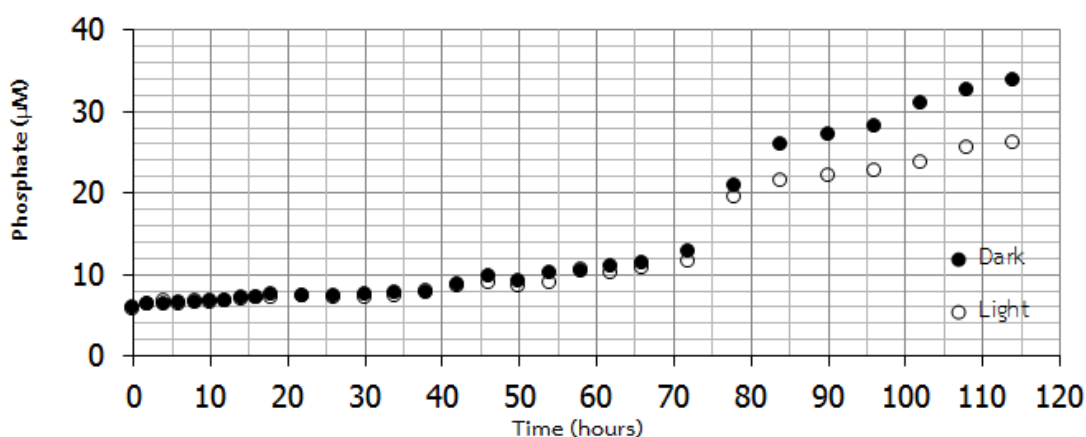
สำหรับการศึกษาฟลักซ์ครั้งนี้ได้วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำควบคู่กับการหาค่าฟลักซ์ตลอดการทดลอง ซึ่งในแชมเบอร์แบบทึบแสงเข้าสู่ภาวะพร่องออกซิเจนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 10 และมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ชั่วโมงที่ 98 ส่วนแชมเบอร์แบบโปร่งใสอยู่ในภาวะพร่องออกซิเจนช้ากว่าในแชมเบอร์แบบทึบแสง โดยจะเริ่มเกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 34 และวัดค่าออกซิเจนละลายเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ชั่วโมงที่ 360 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำภายในแชมเบอร์แบบโปร่งใสมีการรับแสงธรรมชาติในแต่ละช่วงของวันจึงเกิดการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่แชมเบอร์แบบทึบแสงไม่ได้รับแสงสำหรับใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง อีกทั้งยังเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในแชมเบอร์ทำให้ออกซิเจนในน้ำภายในแชมเบอร์แบบทึบแสงลดลงและหมดไปก่อนแชมเบอร์แบบโปร่งใส (รูปที่ 4-5)



รูปที่ 4- 5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแชมเบอร์แบบโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป

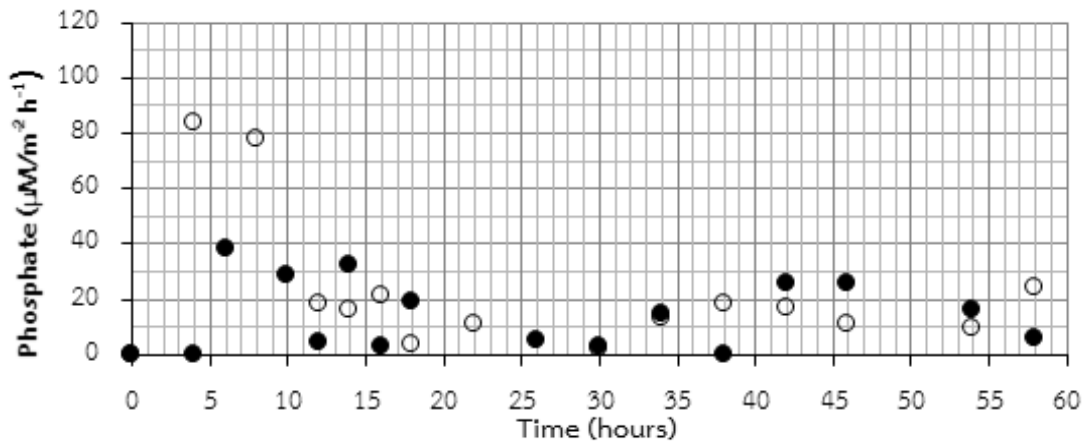
4.2.1 ผลการศึกษาฟลักซ์ของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.61 – 63.37 และ 5.98 – 72.46 ไมโครโมลาร์ (รายละเอียดแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต รายงานไว้ใน ภาคผนวก จ) รูป 4-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป



รูปที่ 4- 6 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป

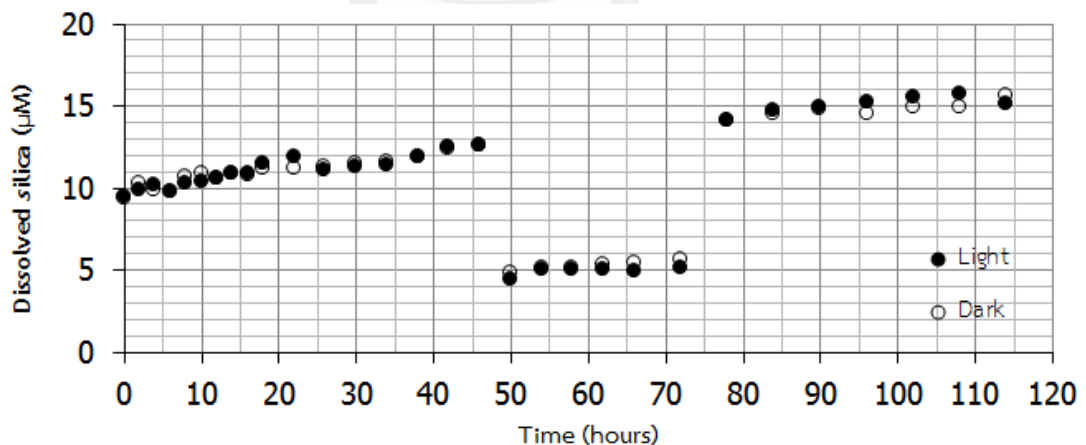
การศึกษาข้างต้นได้ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 จนถึงวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในช่วงชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 60 โดยหลังจากชั่วโมงที่ 60 ไปแล้ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นระบบเล็กและดินตะกอนที่ใช้มีความหนาเพียง 15 เซนติเมตรทำให้ค่าฟลักซ์หลังจากชั่วโมงที่ 60 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าฟลักซ์ในแฮมเบอร์ชนิดทึบแสงมีทิศทางปล่อยสารอาหารจากดินตะกอนออกสู่มวลน้ำเช่นเดียวกับการทดลองในสภาวะไร้ออกซิเจน ส่วนในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส สารอาหารมีทิศทางลงสู่ดินตะกอน โดยค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสง มีค่าอยู่ในช่วง (-94.00) – 474.00 และ (-11.59) – 222.00 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ดังรูปที่ 4-7 (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ฟลักซ์ของฟอสเฟต รายงานไว้ใน ภาคผนวก ฉ) ฟลักซ์ของฟอสเฟตจากดินตะกอนอ่างศิลา มีค่าสูงกว่าฟลักซ์บริเวณปากทะเลสาบสงขลา มาก โดย สุกัญดา ไมตรีแก้ว ที่พบว่าฟลักซ์ของฟอสเฟตจากดินตะกอนปากทะเลสาบสงขลา ในแฮมเบอร์โปร่งแสงและแบบทึบแสง มีค่าอยู่ในช่วง (-22.9) – 77.1 และ (-31.4) – 66.4 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ (สุกัญดา ไมตรีแก้ว, 2549)



รูปที่ 4- 7 พลักซ์ของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง(ไมโครโมล/ตารางเมตร/ ชั่วโมง) แฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส (○) แฮมเบอร์ชนิดทึบแสง (●)

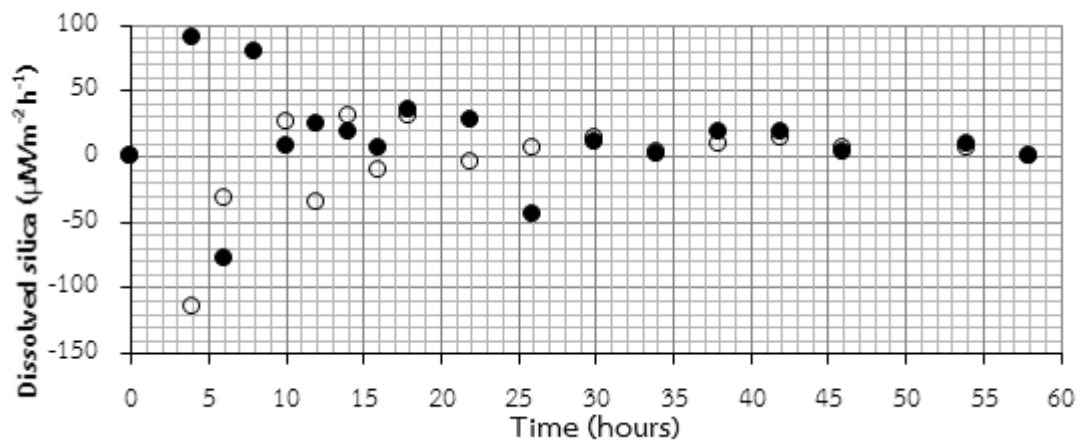
4.2.2 ผลการศึกษาฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 2.03 – 16.62 และ 0.93 – 18.20 ไมโครโมลาร์ (รายละเอียดแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาละลาย รายงานไว้ใน ภาคผนวก จ) รูปที่ 4-8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสเฟตในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป



รูปที่ 4- 8 ความเข้มข้นของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสงเมื่อเวลาผ่านไป

การศึกษาข้างต้นพบว่า ค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใสและทึบแสง ไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับในการทดลองในสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะมีออกซิเจน โดยค่าฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิด โปร่งใสและชนิดทึบแสง มีค่าอยู่ในช่วง (-160.97) – 528.0 และ (-169.24) – 258.0 ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-9 (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ฟลักซ์ของซิลิกาละลายรายงานไว้ใน ภาคผนวก ฉ.)



รูปที่ 4- 9 ฟลักซ์ของซิลิกาละลายในแฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส และทึบแสง(ไมโครโมล/ตารางเมตร/ ชั่วโมง) แฮมเบอร์ชนิดโปร่งใส (O) แฮมเบอร์ชนิดทึบแสง (●)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี โดยการทดลองส่วนที่แปรค่าความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 พบว่าออกซิเจนมีผลอย่างมากต่อฟลักซ์ของฟอสเฟต ส่วนฟลักซ์ของซิลิกาละลายค่าออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จากการทดลองจะพบว่าฟอสเฟตละลายอยู่ในน้ำมากกว่าซิลิกาละลาย และในสภาวะไร้ออกซิเจนสารอาหารปริมาณน้อยจำพวกฟอสเฟตและซิลิกาละลายอยู่ในน้ำในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน และจากอิทธิพลของความเค็มพบว่า ความเค็มไม่มีผลต่อฟลักซ์ของซิลิกาละลาย แต่ฟอสเฟตจะแพร่ออกจากดินตะกอนสู่มวลน้ำน้อยที่ความเค็มสูง

ผลการศึกษาฟลักซ์ในแฮมเบอร์ชนิดทึบแสงและโปร่งใส พบว่าในแฮมเบอร์ชนิดทึบแสงปล่อยสารอาหารจากดินตะกอนสู่มวลน้ำมากกว่าแบบโปร่งใส โดยฟอสเฟตมีการแพร่จากดินตะกอนสู่มวลน้ำมากกว่าซิลิกาละลายเนื่องจากซิลิกาละลายมีทั้งถูกกักเก็บไว้ที่ดินตะกอนและมีถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำ แต่จะเห็นว่าในช่วงแรกของการทดลองพบว่ามีมีการปล่อยออกมาจากดินตะกอนในปริมาณสูง เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองมีการฟุ้งของดินตะกอนอยู่ในมวลน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาที่ Mobile Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา (Cowan et al., 1996) และ Thau lagoon ประเทศฝรั่งเศส (Mazouni et al., 1996) ที่พบว่าในช่วงเริ่มต้นการทดลองสารอาหารจะถูกปล่อยออกจากดินตะกอนสู่มวลน้ำในปริมาณที่สูง อาจเนื่องมาจากระบบได้ถูกรบกวนในช่วงแรกของการติดตั้งเบนทิกแฮมเบอร์ และจากผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงถึงดินตะกอนบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี เป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายให้กับมวลน้ำในบริเวณดังกล่าว

จากการศึกษาพบว่าฟลักซ์ของสารอาหารจากดินตะกอนในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา สู่มวลน้ำเหนือตะกอน มีค่าสูงกว่าฟลักซ์ที่ปากทะเลสาบสงขลา

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อเบนทิกพลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกา ละลายผ่านรอยต่อระหว่างดินตะกอนและน้ำเหนือดินตะกอน บริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ในครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการอธิบายปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำระหว่างดินตะกอนซึ่งในดินตะกอนเป็นแหล่งของสารอาหารปริมาณน้อยจำพวกฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายสำหรับผู้ผลิตเบื้องต้นในพื้นที่ดังกล่าว ควรมีการศึกษาในปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตและซิลิกาละลายเพิ่มเติม เช่น ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ปริมาณคาร์บอนต เป็นต้น นอกจากนี้ควรศึกษาควบคู่ไปกับปริมาณผลผลิตเบื้องต้นที่จะสามารถบอกได้ว่าเบนทิกพลักซ์มีความสำคัญอย่างไรต่อผลผลิตเบื้องต้นต่อบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา



รายการอ้างอิง



รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2552. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล[online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html.
- กฤติกานต์ คำสุนทร. 2553. ฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกาละลายบริเวณรอยต่อระหว่างตะกอนดินและมวลน้ำชายฝั่งบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จุฑารัตน์ ชันทกะพันธ์. 2549. เบนทิกฟลักซ์ของโลหะแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาเคมีวิเคราะห์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. ดินตะกอน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีรพล ลาภเสนา. 2553. ฟลักซ์ของไนโตรเจนบริเวณรอยต่อระหว่างตะกอนดินและมวลน้ำชายฝั่งบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิ่นอนงค์ มุสิกพันธ์. 2552. ปัจจัยความเค็มที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสระหว่างมวลน้ำและตะกอน บริเวณเอสทรีเจ้าพระยา. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พุทธ ส่องแสงจินดา, ลักขณา ละอองศิริวงศ์ และชัชวาล อินทรมนตรี. 2543. ฟลักซ์ของสารประกอบไนโตรเจนที่ผิวสัมผัสของน้ำ-ดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2543. สถาบันวิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเล. กรมประมง.
- มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. 329 หน้า. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาพร รักเขียว. 2532. การกระจายและฟลักซ์ของธาตุอาหารในป่าชายเลน คลองหางาวจังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุกัญดา ไมตรีแก้ว. 2550. อิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รอยต่อระหว่างตะกอนและน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- Beer, T. 1997. *Environmental Oceanography* 2nd ed. CRC Press, Florida.
- Bernal-Brooks, F. W., Dávalos-Lind, L. & Lind, O. T. 2003. Seasonal and spatial variation in algal growth potential and growth-limiting nutrients in a shallow endorheic lake: Lake Pátzcuaro (Mexico). Lakes & Reservoirs: Research & Management, 8, 83-93.
- Carritt & Goodgal 1954. THE EXCHANGE OF PHOSPHATE BETWEEN ESTUARINE WATER AND SEDIMENTS. Limnology and oceanography, 10.
- Clark, R. B. 2001. *Marine Pollution*.
- Cowan, J. L. W., Pennock, J. R. & Boynton, W. R. 1996. Seasonal and Interannual Patterns of Sediment-Water Nutrient and Oxygen Flux in Mobile Bay, Alabama(USA):Regulating Factors And Ecological Significance. Mar Ecol Prog Ser, 141, 229-245.
- Ditoro, D. M. 2001. *Sediment Flux Modeling*. John Wiley&Sons, Inc. NewYork.
- Froleich 1988. Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism. Limnol.Oceanogr, 33.
- Heggie, D., Fredericks, D., Smith, C., Radke, L., Murray, E. & Atkinson, I. 2002. Sediment nutrient fluxes and eutrophication. Coast to Coast.
- Humborg 1997. *The Silicon Cycle: Human Perturbations and Impacts on Aquatic Systems*.
- Kaspar, H. F., Asher, R. A. & Boyer, I. C. 1985. Microbial nitrogen transformation in sedimentsand inorganic nitrogen fluxes across the sediment/water interface on the South Island westcoast, New Zealand. Estuar. Coast. Shelf Science of the total environment, 21, 254-255. Lopez 1996. The Global Burden of Disease and Injury 1.
- Mazouni, N., Gaertner, J. C., Deslous-paoli, J. M., Landrein, S., d'Oedenberg, G. M. & 91-113. 1996. Nutrientand Oxygen Exchanges at the Water-Sediment Interface in a Shellfish FarmingLagoon(Thu, France). J. Exp. Mar Biol. Ecol, 205, 91-113.
- Michiel, M., Rutgers, V. D. L., Leif, G. A., Per, O. J., Ake, I., Alf, B. J., Bijorn, S. & Stig, F. G. W. 1984. The asphyxiation technique:An approach to distinguishing between molecular diffusion and biologically mediate transport at the sediment-water interface. Limnol.Oceanogr, 29, 675-686.

- Officer, C. B. & Ryther, J. H. 1980. The Possible Importance of Silicon in Marine Eutrophication. Marine Ecology Progress Series, 3, 83-91.
- Strickland, J. D. H. & Parson, T. R. 1972. A particle handbook of seawater analysis Fisheries. Research board of Canada. Bulletin, 167.
- Takayanagi, K. & Yamada, H. 1999. Effects of benthic flux on short term variations of nutrient in Aburatsubo Bay. J. of Oceanography, 55, 463-469.
- Wetzel, R. G. 2001. Preface to the Third Edition. In: WETZEL, R. G. (ed.) *Limnology (Third Edition)*. San Diego: Academic Press.
- Zago, C., Capodaglio, G., Ceradini, S., Ciceri, G., Abelmoschi, L., Soggia, F., Cescon, P. & Scarponi, G. 2000. The Benthic fluxes of cadmium, lead, copper and nitrogen species in the northern Adriatic Sea in front of the River Po outflow, Italy. Science of the total environment, 246.





ภาคผนวก ก

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ทั้งหมดเป็น analytical grade (AR grade) ซึ่งมีรายการทั้งหมดดังนี้

- โพแทสเซียมไนเตรต (potassium nitrate, KNO₃) (Carlo Erba, Italy)
- กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) (Lab-scan, Ireland)
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (potassium dihydrogen orthophosphate, KH₂PO₄) (Carlo Erba, Italy)
- กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, H₂SO₄) (J.T.Baker, USA)
- กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid, C₆H₈O₆) (Fluka, Switzerland)
- โพแทสเซียมแอนติโมนีตาเตรต (potassium antimony tartrate, KSbO₃.C₄H₄O₆) (Carlo Erba, Italy)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) (Merck, Germany)
- แมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate, MnSO₄.H₂O) (Merck, Germany)
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide, KI) (Merck, Germany)
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) (Merck, Germany)
- โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodiumthiosulphate, Na₂S₂O₃.5H₂O) (Merck, Germany)
- โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium Iodate, KIO₃) (Merck, Germany)
- ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas, N₂) (ไทยอินดรัสเตรียล จำกัด, ประเทศไทย)
- แป้ง (starch soluble) (CARLO ERBA, Ronado)
- แอมโมเนียมโมลิบเดตเตตราไฮเดรต (ammonium heptamolybdate tetrahydrate, (NH₄)₆Mo₇O₂₄•4H₂O) (MERCK, Germany)
- ออกซาลิกเอซิด ไดไฮเดรต (oxalic acid dehydrate, (COOH)₂•2H₂O) (UNIVAR, Australia)
- ไดโซเดียมเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (disodium hexafluorosilicate, Na₂SiF₆) (Fluka Chemika, Switzerland)

อุปกรณ์

- ชุดกรอง (filter holder)
- แผ่นกรอง GF/C ขนาด 47 มิลลิเมตร
- หลอดฉีดยาขนาด 60 มิลลิลิตร
- Chambers ชนิดทึบแสง และโปร่งแสง

- ถังพลาสติกขนาดใหญ่
- ถังพลาสติกใสขนาด 5 ลิตร

เครื่องมือวิเคราะห์

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)



ภาคผนวก ข

1. การวิเคราะห์ฟอสเฟต

การวิเคราะห์ฟอสเฟตในน้ำทะเล อาศัยปฏิกิริยาระหว่างไอออนของฟอสเฟต อนินทรีย์ (inorganic phosphate ions) กับสารละลาย acidified molybdate ได้เป็น phosphomolybdate heteropoly acid ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ต่อไปอีกกลายเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำเงิน เพื่อให้เกิดสารประกอบที่มีสีนี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และลดการรบกวน (interfere) จากซิลิเกต จะต้องให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ณ $\text{pH} < 1$ และ molar ratio ของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กับ molybdate อยู่ในช่วง 230-330

2. การวิเคราะห์ซิลิเกต

นำตัวอย่างที่กรองแล้ว 5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย molybdate 2 มิลลิลิตร เขย่าและทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเติม reducing reagent 3 มิลลิลิตร ผสมสารทันที ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (Strickland and Parson, 1972)

3. การวิเคราะห์ออกซิเจนละลาย

เก็บตัวอย่างน้ำใส่หลอดทดลองที่เตรียมไว้ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ จากนั้นเติม manganous sulfate solution และ alkaline iodide solution ปิดฝาให้สนิท แล้วเขย่าให้ละลายผสมกัน จะเกิดตะกอนของ manganese (III) hydroxide ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 ใน 3 ของหลอด ต่อมาเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) ปิดฝาให้สนิทและเขย่าให้ตะกอนละลาย นำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.01 N sodium thiosulfate ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย sodium thiosulfate ด้วยสารละลายปฐมภูมิ potassium iodate (Strickland and Parson, 1972)

4. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอน

ชั่งตะกอนดินแห้งที่บดละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย agate mortar ประมาณ 0.5 กรัม โดยชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ 1 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 10 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric pipette ใส่ลงในขวดตัวอย่างเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แก้วเบาๆเพื่อผสมให้เข้ากัน ระวังอย่าให้ตะกอนติดข้างขวด ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 200 มิลลิลิตร เติม conc. H_3PO_4 10 มิลลิลิตร ผง NaF 0.2 กรัม และอินดิเคเตอร์ diphenylamine 15 หยด ตามลำดับ นำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ 0.5 M ferrous ammonium sulfate จนถึงจุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลไปเป็นสีเขียวใส

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค- 1 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 10

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM) ความเค็ม 10 psu			
	PO_4^{-3}		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.59	0.43	12.60	13.40
2	0.29	0.75	14.20	14.80
4	0.75	0.93	10.10	10.40
6	0.61	1.41	11.00	11.40
8	0.48	2.53	16.50	18.00
10	0.48	2.90	16.10	19.30
12	0.40	3.14	18.00	20.20
14	0.67	5.14	19.80	21.70
16	1.12	7.51	21.00	22.30
18	0.56	3.68	18.30	18.00
22	0.61	5.17	19.50	19.80
26	0.72	5.38	19.90	20.90
30	0.77	11.62	29.50	28.40
34	1.60	16.15	31.10	31.20
38	2.96	20.35	32.30	33.10
42	2.05	21.07	32.90	35.00
46	3.57	22.67	37.90	37.00
50	3.41	24.78	40.41	39.20
54	4.13	25.71	41.40	41.50
58	5.70	27.31	43.30	40.50
62	6.79	32.24	47.50	44.90
66	7.46	34.16	37.50	35.50
72	7.14	30.56	3.60	5.30
78	10.55	38.10	3.50	4.00
84	13.64	40.92	3.00	4.10
90	12.79	43.93	56.50	55.90
96	15.11	44.28	67.20	59.60
102	18.73	45.69	66.00	54.20
108	20.06	44.15	7.40	11.30
114	21.55	45.58	8.50	9.60
162	37.38	57.33	42.50	35.70
354	45.32	66.45	9.80	1.50

ตารางที่ ค- 2 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 15

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM) ความเค็ม 15 psu			
	PO_4^{-3}		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.29	0.40	11.20	12.00
2	0.40	0.83	12.40	13.50
4	0.48	1.55	9.30	9.70
6	0.37	2.61	10.20	10.80
8	0.43	2.74	16.40	17.30
10	0.51	4.10	16.50	17.80
12	0.35	4.69	17.40	18.60
14	0.67	7.25	20.10	20.20
16	1.07	9.78	21.60	21.50
18	0.67	4.48	17.40	17.00
22	0.91	6.18	18.20	18.80
26	1.12	6.71	19.00	19.40
30	1.94	14.12	29.20	26.90
34	2.85	19.24	31.00	29.60
38	4.32	21.90	32.40	31.30
42	4.05	23.21	35.00	33.00
46	5.54	26.99	38.60	35.10
50	4.82	28.96	40.00	36.30
54	7.19	32.53	42.00	37.20
58	8.74	34.42	43.00	38.90
62	9.67	36.13	44.70	41.60
66	10.60	38.12	35.50	33.70
72	11.43	40.74	3.80	5.00
78	13.69	42.41	3.50	4.00
84	15.77	43.56	3.50	4.00
90	16.12	42.55	53.10	52.30
96	17.50	48.20	59.40	54.90
102	19.45	47.26	65.70	61.80
108	21.47	46.04	8.30	11.40
114	22.59	49.45	11.00	12.60
162	30.83	59.23	41.50	34.30
354	41.80	74.89	10.40	1.50

ตารางที่ ค- 3 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 20

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM) ความเค็ม 20 psu			
	PO_4^{-3}		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.27	0.40	20.30	12.00
2	0.48	0.83	16.30	13.50
4	0.59	1.55	17.40	9.70
6	0.48	2.61	18.40	10.80
8	0.56	2.74	27.70	17.30
10	0.72	4.10	29.70	17.80
12	0.51	4.69	31.70	18.60
14	0.91	7.25	33.90	20.20
16	1.33	9.78	36.30	21.50
18	1.25	4.48	38.70	17.00
22	1.01	6.18	39.60	18.80
26	1.23	6.71	41.00	19.40
30	2.56	14.12	43.70	26.90
34	3.78	19.24	34.80	29.60
38	5.89	21.90	3.40	31.30
42	5.41	23.21	3.00	33.00
46	7.27	26.99	3.10	35.10
50	7.19	28.96	52.50	36.30
54	8.77	32.53	57.00	37.20
58	10.39	34.42	45.20	38.90
62	8.55	36.13	8.90	41.60
66	11.40	38.12	11.80	33.70
72	11.24	40.74	43.80	5.00
78	12.55	42.41	14.40	4.00
84	12.52	43.56	20.30	4.00
90	11.99	42.55	16.30	52.30
96	11.24	48.20	17.40	54.90
102	10.66	47.26	18.40	61.80
108	9.67	46.04	27.70	11.40
114	9.64	49.45	29.70	12.60
162	12.55	59.23	31.70	34.30
354	27.39	74.89	33.90	1.50

ตารางที่ ค- 4 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 25

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM) ความเค็ม 25 psu			
	PO_4^{-3}		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.53	0.61	8.60	9.30
2	0.85	0.93	9.90	8.30
4	0.99	1.39	7.80	7.70
6	1.01	2.18	8.80	10.80
8	1.23	3.17	14.40	13.80
10	1.31	4.02	15.30	15.20
12	1.09	4.50	16.50	16.70
14	1.89	6.82	18.30	17.80
16	2.42	8.93	19.60	16.90
18	1.28	3.76	16.70	16.00
22	1.76	5.86	17.90	16.70
26	1.89	6.34	18.70	21.40
30	4.50	14.55	28.20	25.70
34	5.94	17.37	30.10	27.30
38	6.61	21.37	31.80	28.00
42	7.09	21.77	33.70	30.80
46	9.30	24.14	36.70	31.80
50	9.59	25.76	38.90	33.00
54	10.58	28.24	40.90	35.70
58	13.19	30.40	42.80	38.40
62	10.92	32.88	45.40	34.70
66	14.57	34.42	36.20	19.20
72	14.55	35.57	3.90	4.20
78	15.69	38.68	3.50	4.10
84	16.15	42.79	3.80	26.90
90	15.32	45.90	54.20	51.80
96	14.79	45.27	58.10	58.80
102	14.87	47.53	60.00	31.70
108	13.13	46.17	9.30	8.10
114	12.89	48.65	9.60	26.20
162	15.19	61.04	44.50	19.90
354	22.78	64.26	14.80	1.40

ตารางที่ ค- 5 แสดงค่าการเปลี่ยนความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายต่อผลของออกซิเจนและความเค็มในห้องปฏิบัติการที่ความเค็ม 30

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM) ความเค็ม 30 psu			
	PO_4^{-3}		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.83	1.73	18.10	7.20
2	0.88	2.42	15.40	8.80
4	0.99	3.33	16.60	6.90
6	0.93	4.10	17.70	9.40
8	1.12	5.38	26.60	12.70
10	1.04	5.59	29.00	13.30
12	0.93	8.37	30.30	14.70
14	1.44	10.95	33.00	16.70
16	1.86	4.96	36.90	17.00
18	0.85	6.34	35.20	14.90
22	1.17	6.58	39.80	16.40
26	1.57	13.93	42.10	16.80
30	3.30	18.76	44.80	22.90
34	4.67	20.97	34.00	26.90
38	5.57	22.75	3.60	28.20
42	6.39	25.26	3.20	30.30
46	8.26	27.07	2.90	31.50
50	8.39	29.01	54.20	33.50
54	10.18	30.64	56.80	35.10
58	11.72	32.64	60.20	37.30
62	12.26	33.89	8.80	39.90
66	12.58	34.40	11.40	32.10
72	13.27	37.57	45.20	3.90
78	14.17	40.98	16.30	3.40
84	14.15	38.68	18.10	3.30
90	13.59	42.92	15.40	51.80
96	13.40	41.48	16.60	56.10
102	12.50	44.49	17.70	58.50
108	11.00	46.49	26.60	13.50
114	10.66	52.83	29.00	13.00
162	11.78	61.36	30.30	39.30
354	13.99	1.73	33.00	2.30

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง- 1 แสดงค่าลักษณะของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจนที่ความเค็ม 10

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง) ความเค็ม 10 psu			
	PO ₄ ⁻³		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.00	0.00	12.60	0.00
2	-17.50	18.67	14.20	81.67
4	13.14	5.14	10.10	-125.71
6	-2.61	8.95	11.00	18.65
8	-1.78	15.33	16.50	90.36
10	0.00	3.96	16.10	13.93
12	-0.70	2.10	18.00	7.86
14	1.97	14.63	19.80	10.97
16	2.81	14.81	21.00	3.75
18	-3.04	-20.77	18.30	-23.32
22	0.22	6.45	19.50	7.79
26	0.39	0.75	19.90	3.93
30	0.15	18.82	29.50	22.62
34	2.15	11.74	31.10	7.25
38	3.07	9.47	32.30	4.29
42	-1.81	1.43	32.90	3.77
46	2.67	2.82	37.90	3.52
50	-0.25	3.32	40.41	3.46
54	1.02	1.31	41.40	3.25
58	2.00	2.04	43.30	-1.27
62	1.26	5.68	47.50	5.07
66	0.70	2.01	37.50	-9.83
72	-0.30	-3.33	3.60	-27.96
78	2.81	6.21	3.50	-1.07
84	2.28	2.08	3.00	0.07
90	-0.56	1.99	56.50	34.26
96	1.38	0.21	67.20	2.20
102	1.94	0.76	66.00	-2.90
108	0.65	-0.75	7.40	-20.81
114	0.65	0.63	8.50	-0.75
162	4.65	3.45	42.50	7.67
354	1.01	1.17	9.80	-4.37

ตารางที่ ง- 2 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน
และไม่มีออกซิเจนที่ความเค็ม 15

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมล/ตารางเมตร/ชั่วโมง) ความเค็ม 15 psu			
	PO ₄ ⁻³		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6.42	25.08	70.00	87.50
4	2.29	20.57	-88.57	-108.57
6	-2.05	19.77	16.79	20.52
8	0.82	1.78	84.88	88.99
10	0.86	14.57	1.07	5.36
12	-1.40	5.15	7.86	6.98
14	2.34	18.72	19.74	11.70
16	2.50	15.81	9.38	8.13
18	-2.17	-28.74	-22.78	-24.40
22	1.04	7.36	3.46	7.79
26	0.75	1.89	2.86	2.14
30	2.47	22.35	30.76	22.62
34	2.36	13.27	4.66	7.00
38	3.32	6.00	3.16	3.83
42	-0.54	2.60	5.16	3.37
46	2.62	6.65	6.34	3.70
50	-1.13	3.10	2.20	1.89
54	3.34	5.04	2.82	1.27
58	1.97	2.41	1.27	2.16
62	1.07	1.97	1.96	3.11
66	0.97	2.08	-9.62	-8.26
72	0.77	2.43	-29.35	-26.57
78	1.86	1.38	-0.25	-0.82
84	1.53	0.85	0.00	0.00
90	0.23	-0.67	32.80	31.94
96	0.82	3.36	3.75	1.55
102	1.05	-0.50	3.38	3.70
108	0.98	-0.59	-27.84	-24.44
114	0.49	1.50	1.18	0.53
162	2.42	2.87	8.97	6.38
354	1.40	2.00	-3.97	-4.19

ตารางที่ ง- 3 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจนที่ความเค็ม 20

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมลาร์/ตารางเมตร/ชั่วโมง) ความเค็ม 20 psu			
	PO ₄ ⁻³		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	12.25	36.17	70.00	122.50
4	3.14	26.57	-74.29	-100.00
6	-2.05	13.43	16.79	26.11
8	1.10	-2.60	76.67	68.45
10	1.71	21.75	4.29	8.57
12	-1.83	1.31	18.33	12.22
14	2.93	25.16	10.97	13.16
16	2.63	19.81	8.75	9.38
18	-0.43	-33.08	-21.69	-21.15
22	-1.04	5.76	4.76	7.36
26	0.79	1.71	3.57	0.71
30	4.01	32.72	28.05	26.54
34	3.16	8.34	5.18	4.15
38	4.76	5.05	4.51	4.06
42	-0.95	6.03	4.37	3.57
46	3.27	4.03	4.22	2.99
50	-0.13	2.64	3.77	2.83
54	2.23	2.24	1.27	2.96
58	2.06	2.42	1.78	0.51
62	-2.12	2.42	3.11	2.53
66	2.98	2.45	-9.31	-7.11
72	-0.15	1.29	-29.07	-26.85
78	1.08	1.78	-0.33	-0.82
84	-0.02	1.67	0.07	-0.29
90	-0.35	-0.09	32.67	32.21
96	-0.45	2.62	2.68	3.27
102	-0.31	0.71	-6.34	0.38
108	-0.48	-2.33	-17.61	-23.23
114	-0.01	3.07	1.27	1.10
162	0.86	2.93	9.41	6.55
354	1.90	0.66	-3.76	-3.96

ตารางที่ ง- 4 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจนที่ความเค็ม 25

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมลาร์/ตารางเมตร/ชั่วโมง) ความเค็ม 25 psu			
	PO ₄ ⁻³		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	18.67	18.67	75.83	-58.33
4	4.00	13.14	-60.00	-17.14
6	0.37	14.73	18.65	57.82
8	3.01	13.55	76.67	41.07
10	0.86	9.11	9.64	15.00
12	-1.92	4.19	10.48	13.10
14	5.85	16.97	13.16	8.04
16	3.31	13.19	8.13	-5.63
18	-6.18	-28.04	-15.73	-4.88
22	2.08	9.09	5.19	3.03
26	0.46	1.71	2.86	16.79
30	7.87	24.76	28.65	12.97
34	3.73	7.31	4.92	4.15
38	1.51	9.02	3.83	1.58
42	0.95	0.79	3.77	5.56
46	3.89	4.17	5.28	1.76
50	0.46	2.55	3.46	1.89
54	1.40	3.50	2.82	3.81
58	3.32	2.75	2.42	3.44
62	-2.62	2.86	3.00	-4.26
66	3.82	1.61	-9.62	-16.22
72	-0.02	1.06	-29.91	-13.89
78	0.94	2.56	-0.33	-0.08
84	0.34	3.03	0.22	16.80
90	-0.55	2.06	33.33	16.47
96	-0.32	-0.37	2.32	4.17
102	0.04	1.21	1.02	-14.55
108	-0.84	-0.66	-24.59	-11.45
114	-0.11	1.09	0.13	7.94
162	0.68	3.64	10.26	-1.85
354	0.97	0.41	-3.80	-2.36

ตารางที่ ง- 5 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายในสภาวะมีออกซิเจน
และไม่มีออกซิเจนที่ความเค็ม 30

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมลาร์/ตารางเมตร/ชั่วโมง) ความเค็ม 30 psu			
	PO ₄ ⁻³		DSi	
	oxic	anoxic	oxic	anoxic
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.92	38.50	52.50	93.33
4	3.14	19.71	-45.71	-54.29
6	-1.12	16.97	20.52	46.63
8	2.60	10.54	61.61	45.18
10	-0.86	13.71	16.07	6.43
12	-0.96	1.83	9.60	12.22
14	3.73	20.33	15.36	14.63
16	2.63	16.13	6.88	1.88
18	-5.48	-32.49	-14.64	-11.39
22	1.39	5.97	5.19	6.49
26	1.43	0.86	3.93	1.43
30	5.22	22.17	26.84	18.40
34	3.55	12.51	6.22	10.36
38	2.03	4.98	2.93	2.93
42	1.63	3.53	5.36	4.17
46	3.29	4.42	6.86	2.11
50	0.20	2.84	-2.67	3.14
54	2.53	2.74	6.49	2.26
58	1.96	2.07	2.93	2.80
62	0.62	2.30	3.11	3.00
66	0.33	1.31	-11.30	-8.16
72	0.64	0.47	-28.15	-26.11
78	0.74	2.61	-0.33	-0.41
84	-0.01	2.51	-0.22	-0.07
90	-0.37	-1.52	33.93	32.08
96	-0.11	2.52	1.55	2.56
102	-0.48	-0.77	1.83	1.29
108	-0.73	1.46	-24.93	-21.83
114	-0.15	0.88	1.14	-0.22
162	0.33	1.86	9.94	7.73
354	0.28	1.09	-3.69	-4.73

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ- 1 แสดงค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและซิลิกาละลายภายใน chamber

เวลา	ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อย (μM)			
	Light chamber		Dark chamber	
	PO_4^{-3}	DSi	PO_4^{-3}	DSi
0	5.61	9.38	5.98	9.43
2	6.40	10.26	6.35	9.86
4	6.68	9.88	6.35	10.16
6	6.21	9.72	6.54	9.77
8	6.73	10.66	6.49	10.30
10	6.45	10.88	6.73	10.36
12	6.63	10.53	6.77	10.60
14	6.82	10.89	7.15	10.82
16	7.10	10.75	7.19	10.91
18	7.15	11.20	7.47	11.43
22	7.33	11.12	7.29	11.89
26	7.01	11.23	7.38	11.07
30	7.05	11.50	7.43	11.30
34	7.33	11.58	7.75	11.35
38	7.85	11.84	7.75	11.86
42	8.45	12.33	8.64	12.48
46	8.92	12.59	9.71	12.62
50	8.45	4.81	9.15	4.44
54	8.97	5.15	10.04	4.97
58	10.46	5.15	10.41	5.01
62	10.08	5.26	10.88	4.97
66	10.78	5.43	11.34	4.94
72	11.58	5.65	12.79	5.09
78	19.50	14.06	20.81	14.12
84	21.37	14.54	25.89	14.70
90	22.07	14.77	27.01	14.92
96	22.72	14.49	28.08	15.24
102	23.65	14.93	30.92	15.46
108	25.52	14.87	32.65	15.73
114	26.12	15.56	33.86	15.14
162	10.78	14.87	14.65	14.50
354	11.95	15.28	16.00	15.27

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ- 1 แสดงค่าฟลักซ์ของฟอสเฟตและซิลิกาละลายภายใน chamber

เวลา	ฟลักซ์ (ไมโครโมลาร์/ตารางเมตร/ชั่วโมง)			
	Light chamber		Dark chamber	
	PO_4^{-3}	DSi	PO_4^{-3}	DSi
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	474.00	528.00	222.00	258.00
4	84.00	-114.00	0.00	90.00
6	-94.00	-32.00	38.00	-78.00
8	78.00	141.00	-7.50	79.50
10	-33.60	26.40	28.80	7.20
12	18.00	-35.00	4.00	24.00
14	16.29	30.86	32.57	18.86
16	21.00	-10.50	3.00	6.75
18	3.33	30.00	18.67	34.67
22	10.80	-4.80	-10.80	27.60
26	-17.45	6.00	4.91	-44.73
30	2.00	13.50	2.50	11.50
34	12.92	3.69	14.77	2.31
38	18.35	9.18	0.00	18.00
42	17.14	14.00	25.43	17.71
46	11.28	6.24	25.68	3.36
50	-9.72	-160.97	-11.59	-169.24
54	9.45	6.18	16.18	9.64
58	24.16	0.00	6.00	0.65
62	-5.56	1.61	6.88	-0.59
66	9.33	2.27	6.13	-0.40
72	9.80	2.69	17.76	1.84
78	89.66	95.21	90.79	102.23
84	19.68	5.05	53.47	6.11
90	6.89	2.26	11.02	2.16
96	6.00	-2.58	9.88	2.95
102	8.09	3.83	24.70	1.91
108	15.37	-0.49	37.56	2.22
114	4.68	5.38	9.43	-4.60
162	-110.89	-4.99	-138.87	-4.63
354	7.89	2.76	9.10	5.19

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข- 1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ภายใน chamber

เวลา	ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	Light chamber	Dark chamber
0	8.25	5.75
2	6.88	6.75
4	6.75	6
6	8.75	5
8	8.88	7.5
10	4.63	4.13
12	5.75	5
14	5.88	4.25
16	6.5	5
18	5.75	4.25
22	4.5	1.88
26	4.25	3.63
30	3.38	1.88
34	3.75	2.38
38	3.38	2.25
42	4.38	5
46	3.5	2
50	3.5	1.75
54	3.25	1.6
58	2.5	1.75
62	1.63	1.25
66	3.63	1.63
72	3.38	2.38
78	2.38	1.38
84	1.63	1.63
90	3.38	2.38
96	2	1
102	2	1.13
108	1.75	1
114	2.25	1.13
162	1.75	1.25
354	1.75	1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ สกุล นางสาวนิรมล ตาอินทร์
รหัสนิสิต 5487156420
ที่อยู่ 3 หมู่ 2 ตำบล วังพร้าว อำเภอ เกาะคา จังหวัด ลำปาง 52130
เบอร์ติดต่อ 081-8959295
e-mail niramon_t@hotmail.com

วุฒิการศึกษา จบการศึกษาปริญญาตรีปี 2551 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี
ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



