โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบน

Total Dissolved Nitrogen in Upper Gulf of Thailand

ชื่อนิสิต นางสาวกุลศรัณย์ ประจงมูล **เลขประจำตัว** 5932802523

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบน

กุลศรัณย์ ประจงมูล

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

Total Dissolved Nitrogen in Upper Gulf of Thailand

Kulsarun Prajongmul

A Senior Project in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science in Marine Science
Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2019

หัวข้อโครงการ ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบน

โดย นางสาวกุลศรัณย์ ประจงมูล

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก อาจารย์ ดร.ชวลิต เจริญพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต ในรายวิชา 2309499 โครงงานวิทยาศาสตร์

..... หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์)

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานหลัก

(อาจารย์ ดร.ชวลิต เจริญพงษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี จิตประไพ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ ดร.อิชฌิกา ศิวายพราหมณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุจารี บุรีกุล)

Project Title	Total Dissolved Nitrogen in Upper Gulf of Thailand
By	Miss Kulsarun Prajongmul
Field of Study	Marine Science
Advisor	Chawalit Charoenpong, Ph.D.
Co-advisor	Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.

Accepted by the Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Bachelor's Degree.

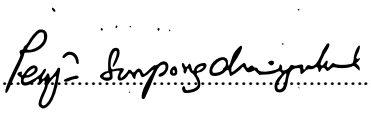
..... Head of Marine Science Department

(Assoc. Prof. Voranop Viyakarn, Ph.D.)

PROJECT COMMITTEE

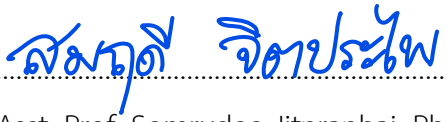
..... Project Advisor

(Chawalit Charoenpong, Ph.D.)



..... Project Co-advisor

(Asst. Prof. Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.)

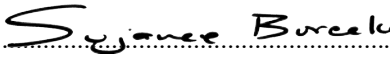


..... Member

(Asst. Prof. Somrudee Jitpraphai, Ph.D.)

..... Member

(Asst. Prof. Itchika Sivaipram, Ph.D.)



..... Member

(Sujaree Bureekul, Ph.D.)

ชื่อโครงการ ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบน
ชื่อนิสิต นางสาวกุลศรัณย์ ประจงมูล
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ชวลิต เจริญพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
ปีการศึกษา 2562
ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนละลายรวม (total dissolved nitrogen, TDN) ในมวลน้ำคือผลรวมของไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (dissolved inorganic nitrogen, DIN) และไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (dissolved organic nitrogen, DON) ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญของแพลงก์ตอนพืชและจุลินทรีย์ การศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบนในครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลตามระดับความลึกจาก 12 สถานี ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี persulfate oxidation ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยตอนบนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.49–29.72 μM และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 13.54 μM โดยมีค่าสูงบริเวณใกล้ปากแม่น้ำและชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยและมีค่าลดลงเมื่อห่างออกจากปากแม่น้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งมวลน้ำในแต่ละสถานี เนื่องจากบริเวณที่ศึกษาไม่มีการแบ่งชั้นของมวลน้ำ และเมื่อทำการคำนวณความเข้มข้นของไนโตรเจนอินทรีย์ละลายพบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่พบในน้ำตัวอย่างอยู่ในรูปของไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 78 ของปริมาณไนโตรเจนละลายรวม

คำสำคัญ: สารอาหาร ไนโตรเจนละลายรวม ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย อ่าวไทย

Project Title Total Dissolved Nitrogen in Upper Gulf of Thailand
Name Miss Kulsarun Prajongmul
Advisor Chawalit Charoenpong, Ph.D.
Co-advisor Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.
Academic Year 2019
Department Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

---

Abstract

Total dissolved nitrogen (TDN) consists of dissolved inorganic nitrogen (DIN) and dissolved organic nitrogen (DON). Both components are important sources of nitrogen to marine organisms including phytoplankton and microbes. This study used persulfate oxidation to analyze TDN concentrations in the seawater samples collected from different depths of 12 stations in the upper Gulf of Thailand in October 2018. TDN values from these samples range between 6.49 to 29.72 μM and average 13.54 μM. The northernmost stations near the river mouths exhibit higher TDN concentrations and these concentrations decrease southward. No depth variation in TDN is observed as supported by the lack of water stratification. Furthermore, DON accounts for the majority of the TDN with the average of 78%.

Keywords: nutrients, total dissolved nitrogen, dissolved organic nitrogen, Gulf of Thailand

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ชวลิต เจริญพงษ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการทำการทดลอง และตรวจสอบแก้ไขโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ Southeast Asia Fisheries Development Center (SEAFDEC) ที่เอื้อเฟื้อการเก็บตัวอย่างในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์สารเคมีในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี จิตประไพ ที่สละเวลาอันมีค่าในการจัดการและประสานงานรายวิชา และขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกนิสิตในการนำเสนอผลงาน

ขอขอบคุณ คุณศุภรัตน์ ศรีสอาด และคุณธนกร อุบลแย้ม ที่คอยช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึง คุณปรีชา เสนสิทธิ์ ที่คอยช่วยเหลือในอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ในการทำการทดลองและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนๆ มารีน 50 ในความเข้าใจ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา รวมถึงสัตว์เลี้ยงทุกตัว ศิลปินและนักเขียนทุกท่านที่เป็นความสบายใจ ความผ่อนคลายและช่วยสร้างบรรยากาศดีๆ และสุดท้ายขอขอบคุณตัวเองในความอดทน ความพยายาม และความตั้งใจในการดำเนินโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

กุลศรัณย์ ประจงมูล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....ก

Abstract.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญรูป .....ช

สารบัญตาราง.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 อ่าวไทย.....3

2.2 ไนโตรเจนในทะเล.....3

2.2.1 การหมุนเวียนไนโตรเจนในทะเล.....3

2.3 ไนโตรเจนละลายรวมในทะเล.....5

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเล.....5

2.4 การศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทย.....6

บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....8

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล.....8

3.1.1 พื้นที่ศึกษา.....8

3.1.2 วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง.....8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การเตรียมและทำความสะอาดอุปกรณ์....8
3.3 การเตรียมสารเคมี....9
3.3.1 วิธีการตกผลึก potassium persulfate ($K_2S_2O_8$)....9
3.3.2 วิธีการเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR)....9
3.4 การเตรียมสารมาตรฐาน....9
3.4.1 Stock standard nitrate (10,000 µM)....9
3.4.2 Stock standard Na-EDTA (5,000 µM)....10
3.5 วิธีการทดลอง....10
3.5.1 การทดสอบการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทะเลเทียม....10
3.5.2 การทดสอบการเตรียมสารเคมี POR....10
3.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ Na-EDTA ของ POR....10
3.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเลตัวอย่าง....10
3.5.5 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายในน้ำทะเลตัวอย่าง....12
บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล....13
4.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ....13
4.1.1 ผลการทดสอบการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทะเลเทียม....13
4.1.2 ผลการทดสอบการเตรียมสารเคมี POR....13
4.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ Na-EDTA ของ POR....13
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเลตัวอย่าง....14
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายในน้ำทะเลตัวอย่าง....17
บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ....18
5.1 สรุปผลการศึกษา....18
5.2 ข้อเสนอแนะ....18
เอกสารอ้างอิง....19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....21

ภาคผนวก ก.....22

ภาคผนวก ข.....23

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การหมุนเวียนไนโตรเจนในทะเล.....5

3.1 พื้นที่ศึกษา.....8

3.2 การตกผลึก potassium persulfate ($K_2S_2O_8$).....9

3.3 (ก) การเติมสารเคมี POR (ข) เครื่อง autoclave.....11

3.4 (ก) เก็บตัวอย่างที่ผ่านจาก cadmium column (ข) วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer.....11

4.1 การกระจายของ (ก) ไนโตรเจนละลายรวมเฉลี่ย (ข) ไนโตรเจนละลายรวมที่ความลึกผิวน้ำ และ (ค) ไนโตรเจนละลายรวมที่ความลึกท้องน้ำในแต่ละสถานี.....14

4.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (สีฟ้า) ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (สีแดง) และไนโตรเจนละลายรวม (สีเขียว) ในน้ำทะเลตามความลึกในแต่ละสถานี.....16

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ก.1 สถานีเก็บตัวอย่าง และพิกัดที่ศึกษา.....22

ข.1 ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ตามความลึกในสถานี 1 และสถานี 3 – 7.....23

ข.2 ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ตามความลึกในสถานี 8 – 13.....24

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา

อ่าวไทยตอนบนเป็นอ่าวกึ่งปิด มีลักษณะคล้ายรูปตัว ก มีแม่น้ำสำคัญ 4 สาย อยู่ทางเหนือของอ่าว ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ไหลลงสู่อ่าวไทยที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศและเป็นจุดเริ่มต้นของสายใยอาหารในระบบนิเวศ

ไนโตรเจน (nitrogen) เป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนในทะเลมีทั้งในรูปสารไนโตรเจนอนินทรีย์ (inorganic nitrogen) และสารไนโตรเจนอินทรีย์ (organic nitrogen) ซึ่งไนโตรเจนละลายรวม (total dissolved nitrogen: TDN) หมายถึงผลรวมของสารไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (dissolved inorganic nitrogen: DIN) และสารไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (dissolved organic nitrogen: DON)

การหมุนเวียนไนโตรเจนในระบบนิเวศน์ทางทะเลจะเริ่มจากการสร้างผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชที่เปลี่ยนสารไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (DIN) ที่อยู่ในรูปของไนเตรต (nitrate) ไนไตรต์ (nitrite) และแอมโมเนีย (ammonia) ให้เป็นสารไนโตรเจนอินทรีย์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และถ่ายทอดธาตุอาหารไนโตรเจนเหล่านี้ไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นในสายใยอาหารเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน (ATP) และสร้างมวลชีวภาพ เช่น เนื้อเยื่อ และสารพันธุกรรม เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต และสิ่งมีชีวิตจะปล่อยสารไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) เช่น กรดอะมิโน และยูเรีย เป็นต้น ออกมาสู่มวลน้ำผ่านสิ่งขับถ่าย สารคัดหลั่งของสิ่งมีชีวิต หรือการที่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตแตกโดยไวรัส ซึ่งสารไนโตรเจนอินทรีย์ละลายที่อยู่ในมวลน้ำแพลงก์ตอนพืชจะไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง เพื่อให้มีการหมุนเวียนสารอาหารซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้โดย microbial loop สารไนโตรเจนอินทรีย์ละลายจะเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญของ heterotrophic bacteria ซึ่งเป็นฐานของ microbial loop และถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นสารไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า Remineralization และเมื่อมีการผสมกันของชั้นน้ำจึงเกิดการหมุนเวียนสารอาหารในทะเล

ดังนั้นไนโตรเจนละลายรวม (TDN) จึงเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทั้งแพลงก์ตอนพืชและจุลินทรีย์ ซึ่งปัจจุบันการศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยมีจำกัด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเชิงพื้นที่ของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบน และเป็นข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของแหล่งอาหารที่สำคัญของแพลงก์ตอนพืชและจุลินทรีย์ในทะเล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการกระจายของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบน ด้วยวิธี persulfate oxidation รวมทั้งสิ้น 12 สถานี โดยมีพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ระหว่าง 11°–14°N และ 100°–103°E และเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบน และทราบถึงการแพร่กระจายของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบน

บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 อ่าวไทย

อ่าวไทย (Gulf of Thailand) เป็นทะเลชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด ตั้งอยู่ภายในทะเลจีนใต้ มีพื้นที่เชื่อมต่อกับอาณาเขตประเทศไทย มาเลเซีย กัมพูชา และเวียดนาม มีความลึกเฉลี่ย 45 เมตร ความลึกสูงสุดประมาณ 80 เมตร อ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางทรัพยากรสัตว์น้ำ เป็นแหล่งทำการประมงที่เป็นรายได้หลักของประเทศไทย (มินตรา มารบุญ และคณะ, 2560) และเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่ได้รับความนิยมสูง

อ่าวไทยตอนบน (Upper Gulf of Thailand) มีพื้นที่ครอบคลุมละติจูด 12.5°-13.5°N และลองจิจูด 100°-101°E มีลักษณะคล้ายรูปตัว ก ที่มีด้านเปิดทางทิศใต้ ติดต่อกับอ่าวไทยตอนกลาง โดยแนวโน้มของความลึกเพิ่มขึ้นจากฝั่งตะวันตกสู่ฝั่งตะวันออก มีความลึกเฉลี่ย 15 เมตร (ธวัชชัย นาอุดม และคณะ, 2556) อ่าวไทยตอนบนเป็นพื้นที่ที่รองรับสารอาหารจากแม่น้ำสำคัญสายหลัก 4 สายทางตอนเหนือของอ่าว คือ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำบางประกง นับเป็นจุดเริ่มต้นของการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศน์ทางทะเล และมีความสำคัญต่อการหมุนเวียนวัฏจักรชีวธรณีเคมีในอ่าวไทย ประกอบกับอ่าวไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนที่มีแสงอาทิตย์ตลอดปี ส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ตลอดปีจึงมีผลผลิตขั้นต้นสูง รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งที่มีกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การขนส่งทางเรือ การปล่อยน้ำเสีย การเกษตรกรรม และการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ทำให้อ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ และมีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารและทรัพยากรทางธรรมชาติสูง

การศึกษาด้านสมุทรศาสตร์เคมีในอ่าวไทยในปัจจุบัน พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดเป็นประจำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ออกซิเจนละลาย ตะกอนแขวนลอย คาร์บอนอินทรีย์ละลาย ปริมาณสารอาหาร เช่น ไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส และซิลิเกต เป็นต้น การศึกษาไนโตรเจนในอ่าวไทยส่วนใหญ่ไม่มีการรายงานข้อมูลไนโตรเจนละลายรวม ซึ่งรวมถึงไนโตรเจนอินทรีย์ละลายด้วยเช่นกัน

2.2 ไนโตรเจนในทะเล

ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นในน้ำทะเล จึงเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเล อัตราส่วนของไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเลจะเป็นไปตาม Redfield ratio ซึ่งคืออัตราเฉลี่ยของธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (C:N:P) เท่ากับ 106:16:1 (Redfield, 1958)

2.2.1 การหมุนเวียนไนโตรเจนในทะเล

ในน้ำทะเลทั่วๆ ไป สารไนโตรเจนอนินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรต (NO_3^-) โดยไนเตรตสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) หรือแอมโมเนียม (NH_4^+) ได้โดยแบคทีเรีย ซึ่งมีบทบาทอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ (มนุวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546) โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้สารไนโตรเจนอนินทรีย์ในการ

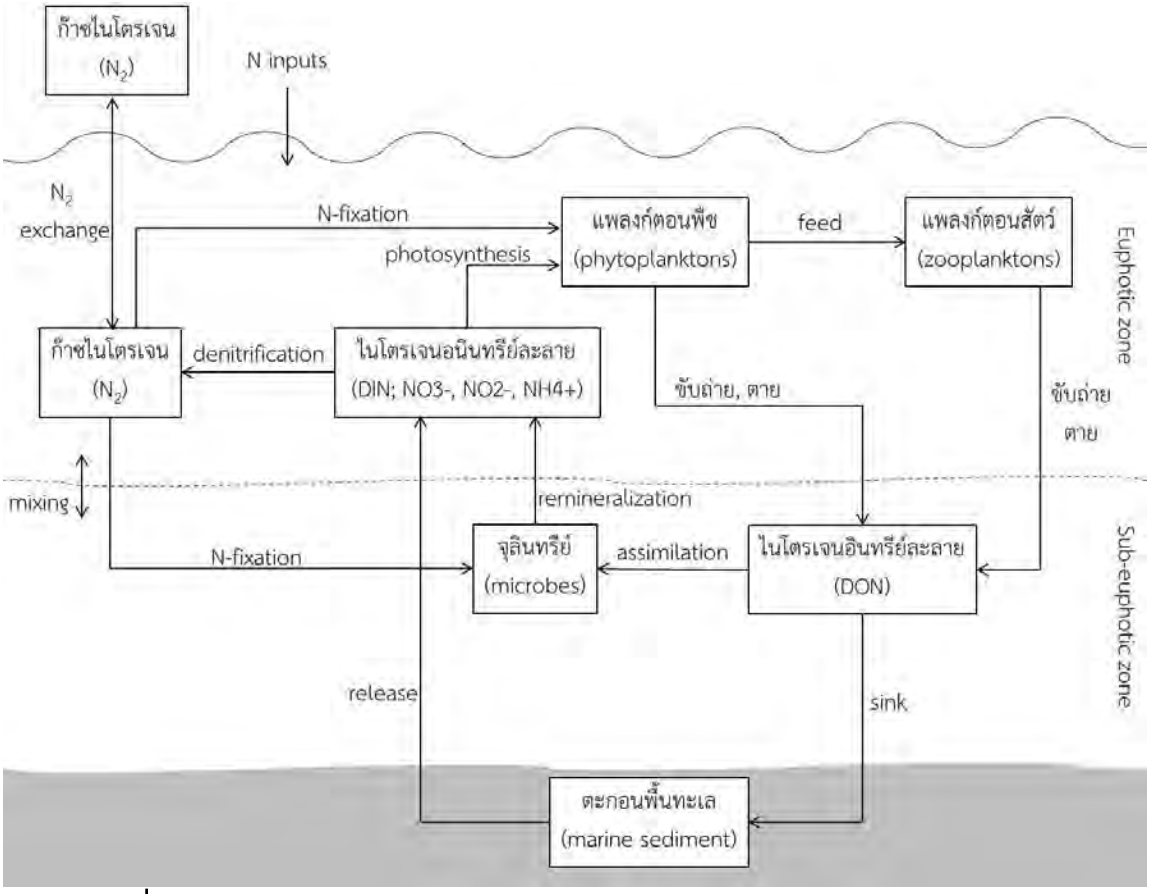
สร้างชีวมวล (biomass) แต่แบคทีเรียจะใช้สารไนโตรเจนอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ดังนั้นการหมุนเวียนของไนโตรเจนในทะเล (รูปที่ 2.1) จะเริ่มต้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชที่เปลี่ยนสารอนินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์และส่งต่อสารอาหารไปตามสายใยอาหารเพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ดังสมการ 2.1 (Redfield, 1958; Thornton, 2012)

$$122H_2O + 106CO_2 + 16HNO_3 + H_3PO_4 \longrightarrow (CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 138O_2 \qquad \textbf{(2.1)}$$

ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น ซึ่งเป็นสารไนโตรเจนอินทรีย์จะถูกปลดปล่อยกลับสู่น้ำทะเลในรูปที่ละลายน้ำผ่านสิ่งขับถ่าย สารคัดหลั่ง หรือการที่เซลล์สิ่งมีชีวิตแตกโดยไวรัส ซึ่งสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่จะไม่สามารถนำไนโตรเจนอินทรีย์ละลายที่อยู่ในมวลน้ำไปใช้ได้โดยตรง จึงต้องมีกระบวนการย่อยสลายสารไนโตรเจนอินทรีย์ที่เรียกว่า Remineralization เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ละลายให้เป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งกระบวนการนี้มีการขับเคลื่อนโดยจุลินทรีย์ (heterotrophic bacteria) ที่เป็นฐานของ microbial loop ทำให้ไนโตรเจนอินทรีย์สามารถถูกนำกลับมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชได้อีก ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต อื่นๆ ในสายใยอาหาร โดยการย่อยสลายสารไนโตรเจนอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนละลายในน้ำ แสดงดังสมการ 2.2

$$(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 138O_2 \longrightarrow 106CO_2 + 122H_2O + 16HNO_3 + H_3PO_4 \qquad \textbf{(2.2)}$$

ทั้งนี้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช สาหร่ายบางชนิดอาจไม่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่จำเป็นบางอย่างได้เอง จะดูดซึมสารอินทรีย์จากน้ำทะเลโดยรอบเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต การหมุนเวียนของไนโตรเจนในทะเลจึงมีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มผลผลิตทางชีวภาพในทะเล (มนุวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546)



รูปที่ 2.1 การหมุนเวียนไนโตรเจนในทะเล (ดัดแปลงจาก มนูวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546)

2.3 ไนโตรเจนละลายรวมในทะเล

ไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen; TDN) หมายถึงผลรวมของไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic nitrogen; DON) และไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (Dissolved inorganic nitrogen; DIN) ได้แก่ ไนไตรต์ (N_2O^-) ไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าไนโตรเจนละลายรวมเป็นสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งแพลงก์ตอนพืชและกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมจะมีวิธีการดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (total dissolved nitrogen, TDN) มี 3 วิธี ได้แก่ Ultraviolet oxidation (UV; Armstrong and Tibbitts, 1968) Persulfate oxidation (PO; Valderrama, 1981) และ High-temperature oxidation (HTO; Sharp, 1973; Suzuki and Sugimura, 1985) นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม คือ Kjeldahl digestion ที่ใช้กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ในการเปลี่ยน DON เป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นวิธีที่มี blank สูง และให้ผลที่มีความแม่นยำต่ำ จึงไม่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทะเล (D'Elia et al., 1977)

Ultraviolet oxidation (UV) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนโตรเจนอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำด้วยกระบวนการ photochemical โดยใช้รังสี ultraviolet และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ตัวอย่างน้ำทะเลจะถูกออกซิไดซ์เป็นเวลา 20-24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 85°C โดยใช้หลอด UV พลังงานสูง (1,200 วัตต์) จากนั้นทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (DIN) ด้วยวิธีมาตรฐาน วิธีการนี้มีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายรวม (total dissolved phosphorus, TDP) พร้อมกันได้ แต่มีข้อเสียคือหลอดที่มีอายุการใช้งานจะมีประสิทธิภาพของการปล่อยรังสี UV ทำให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ลดลง

Persulfate oxidation (PO) หลักการวิธีนี้คือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) โดยใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) กระบวนการนี้จะดำเนินการภายใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100°C-120°C ประมาณ 30-60 นาที ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไนโตรเจนอินทรีย์ในตัวอย่างขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารไนโตรเจนอินทรีย์ในตัวอย่าง อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างในการออกซิเดชัน เพื่อควบคุมการออกซิเดชันไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียเป็นไนเตรตได้ทั้งหมด (Cozzi and Giani, 2007) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันคือไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งจะถูกวิเคราะห์ต่อไปตามวิธีการวิเคราะห์ไนเตรตในน้ำทะเล วิธี Persulfate oxidation เป็นวิธีที่มีมาตั้งแต่ในอดีต มีข้อดีคือให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำ และประหยัด แต่มีข้อเสียคือใช้ระยะเวลานานในการวิเคราะห์ และไม่ใช่วิธีอัตโนมัติเป็นวิธีที่ต้องทำด้วยมือ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมตามวิธีการของ Valderrama (1981) และใช้วิธี cadmium column reduction ในการวิเคราะห์ไนเตรตที่ได้หลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

High-temperature oxidation (HTO) เป็นวิธีที่ใช้เครื่อง HTC ในการวิเคราะห์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง (650°C-900°C) และใช้ตัวเร่ง (catalysts) เช่น aluminium oxide เคลือบ platinum (Pt-Al_2O_3) (Cozzi and Giani, 2007) วิธีนี้มีความแม่นยำสูง สามารถวิเคราะห์ได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เนื่องจากเป็นวิธีแบบอัตโนมัติ และใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำทะเลปริมาณน้อยในการวิเคราะห์

2.4 การศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทย

ปัจจุบัน การศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งผู้ศึกษาได้รวบรวมการศึกษาที่ค้นพบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขนิษฐา อุทัยพันธ์ (2557) ศึกษาความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิกับปัจจัยแสงและปัจจัยสารอาหารซึ่งจะรวมถึงไนโตรเจนละลายรวม โดยศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมใช้วิธี Digestion, Cadmium reduction, Diazotization and Colorimetric method (Strickland and Parsons, 1972) และรายงานผลการวิเคราะห์

ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยตอนกลาง มีค่าอยู่ในช่วง 10.6-179.1 μM ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.2±18.9 μM โดยปริมาณไนโตรเจนละลายรวมมีค่าสูงสุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา และผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับปริมาณไนโตรเจนละลายรวม มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 6.71–177.1 μM มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.2±18.8 μM และไม่มีความต่างแตกกันในระหว่างชั้นน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

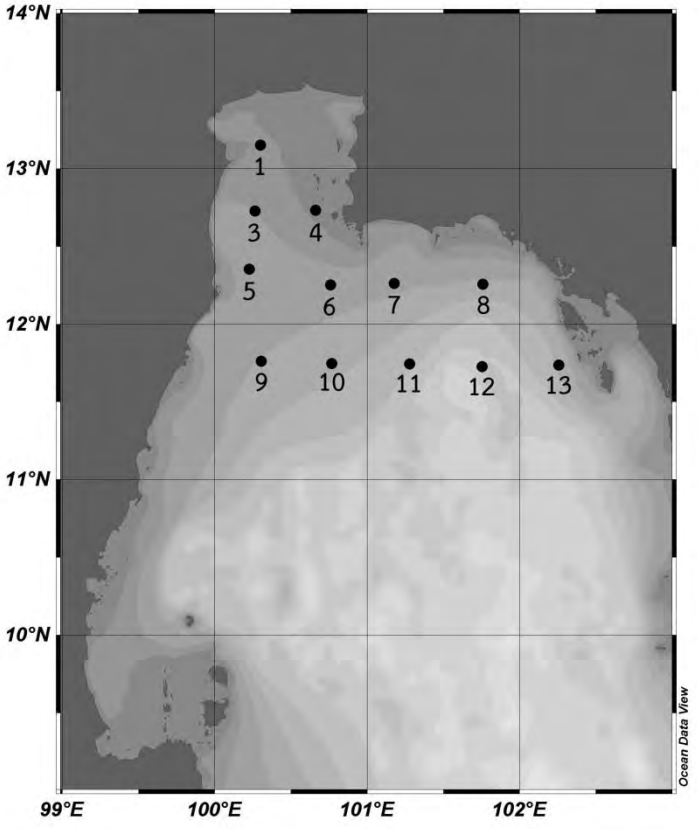
Burnett et al. (2007) ศึกษาปริมาณสารอาหารจากน้ำใต้ดินที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบน โดยศึกษาบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างไปจนถึงปากแม่น้ำ และชายฝั่งศรีราชาและหัวหิน ในเดือนมกราคมและเดือนกรกฎาคม ปี 2004 พบว่าปริมาณฟลักซ์ของไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (DIN) จากน้ำใต้ดินเป็น 40-50% ของที่ส่งมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ฟอสเฟตอนินทรีย์เป็น 60-70% ซิลิกาเป็น 15-40% และฟลักซ์ของไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายจากน้ำใต้ดินเท่ากับ 30-40% และ 30–130% ของที่มาจากแม่น้ำตามลำดับ ในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมด้วยวิธี persulfate oxidation และได้รายงานสัดส่วนของไนโตรเจนอินทรีย์ละลายต่อไนโตรเจนละลายรวม (DON/TDN) พบว่าที่ความเค็มต่ำกว่า 20 psu. มีสัดส่วน DON/TDN น้อยว่าร้อยละ 50 และมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อออกสู่ทะเล โดยบริเวณชายฝั่ง (coastal) มีสัดส่วน DON/TDN ประมาณร้อยละ 80 และเพิ่มขึ้นในบริเวณนอกชายฝั่ง (offshore) ถึงร้อยละ 95 ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้งสองฤดูกาล

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

3.1.1 พื้นที่ศึกษา

การเก็บตัวอย่างครั้งนี้ใช้เรือสำรวจซีฟเดค (M.V. SEAFDEC) โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณทะเลอ่าวไทยตอนบนทั้งสิ้น 12 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1 และสถานีที่ 3-13 (รูปที่ 3.1) ตามความลึก สถานีละ 5-6 ความลึก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ระหว่าง 11°–14°N และ 100°–103°E ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561



รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.2 วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำทะเลจาก Niskin bottle ถูกกรองโดยใช้กระดาษกรอง GF/C จากนั้นนำมาเก็บใส่หลอดเซนตริฟิวจ์ ขนาด 50 มิลลิลิตร และแช่แข็ง จนกว่าจะนำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.2 การเตรียมและทำความสะอาดอุปกรณ์

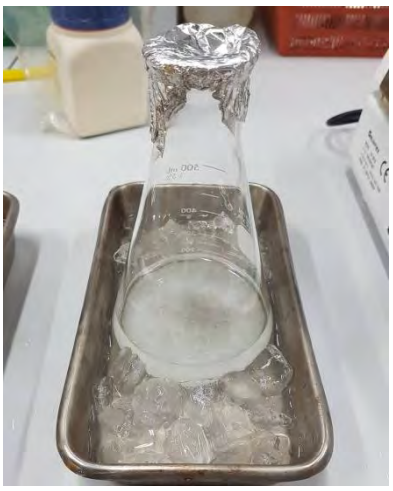
ทำความสะอาดด้วยทีโพล จากนั้นนำไปแช่กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 10% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชะด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง และนำอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องแก้ว (ยกเว้นเครื่องแก้วที่ใช้สำหรับการวัดปริมาตร) เผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.3 การเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR) ในการทดลองนี้ ทำตามวิธีของ Valderrama (1981) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.3.1 วิธีการตกผลึก potassium persulfate ($K_2S_2O_8$)

ใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) 120 กรัม ละลายใน Milli-Q water 500 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 55°C (ไม่เกิน 60°C) จนละลายหมด และนำไปใส่ในอ่างน้ำแข็ง รอจนสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 4°C สารละลายจะตกผลึกออกมา เทน้ำด้านบนออก และเติมน้ำลงไปใหม่ในปริมาณที่ลดลง นำกลับไปต้มจนผลึกละลายทั้งหมด และนำไปใส่ในอ่างน้ำแข็ง รอจนสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 4°C สารละลายจะตกผลึกออกมาอีกครั้ง ตกผลึกจนครบ 3 ครั้ง จึงนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/F และเก็บผลึก potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ได้ไว้ในตู้ดูดความชื้น (desiccator)



รูปที่ 3.2 การตกผลึก potassium persulfate ($K_2S_2O_8$)

3.3.2 วิธีการเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR)

ละลาย potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ผ่านการตกผลึกแล้ว 50 กรัม และ boric acid (H_3BO_3) 30 กรัม ในสารละลาย sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (NaOH 40 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) 350 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย Milli-Q water เป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

3.4 การเตรียมสารมาตรฐาน

3.4.1 Stock standard nitrate (10,000 µM)

ละลาย KNO_3 (อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) 0.1011 กรัม ใน synthetic seawater (ความเค็ม 30 ppt.) และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

3.4.2 Stock standard Na-EDTA (5,000 µM)

ละลาย Na-EDTA (อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) 0.1861 กรัม ใน synthetic seawater (ความเค็ม 30 ppt.) และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การทดสอบการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทะเลเทียม (synthetic seawater)

เตรียมน้ำทะเลเทียม 2 แบบ คือ ใช้เกลือ (NaCl) ที่ไม่ถูกเผา และใช้เกลือ (NaCl) ที่เผาที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณไนไตรต์และไนเตรตผ่าน cadmium column

3.5.2 การทดสอบการเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR)

เตรียมสารเคมี POR 3 วิธี ได้แก่ 1) เตรียมสารเคมี POR โดยใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ผ่านการตกผลึกแล้ว และใส่ boric acid 2) เตรียมสารเคมี POR โดยใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ผ่านการตกผลึกแล้ว และไม่ใส่ boric acid และ 3) เตรียมสารเคมี POR โดยใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ไม่ผ่านการตกผลึก และใส่ boric acid โดยใช้ Milli-Q water 10 มิลลิลิตร เป็นตัวถูกออกซิไดซ์เหมือนกันทั้ง 3 วิธี นำไปเข้า autoclave และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมที่ปนเปื้อนใน POR ทั้ง 3 วิธี

3.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ Na-EDTA ของ persulfate oxidation reagent (POR)

เปรียบเทียบกราฟค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน KNO_3 และ Na-EDTA หลังจาก oxidation โดยเตรียมความเข้มข้นของ KNO_3 เป็นสองเท่าของความเข้มข้นของ Na-EDTA เนื่องจากใน Na-EDTA 1 โมเลกุลจะมี N 2 อะตอม

3.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเลตัวอย่าง

1) การออกซิไดซ์น้ำทะเลตัวอย่าง

นำน้ำทะเลตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ persulfate oxidation reagent (POR) 1.33 มิลลิลิตร และนำไปเข้าเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักไว้ให้เย็น

(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 (ก) การเติมสารเคมี POR (ข) เครื่อง autoclave

2) การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (TDN)

2.1) น้ำทะเลตัวอย่างที่ผ่านการออกซิเดชันด้วย POR ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม ammonium buffer solution 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.2) ผ่านสารละลายลงใน cadmium column และปล่อยทิ้ง 10 มิลลิลิตรแรก

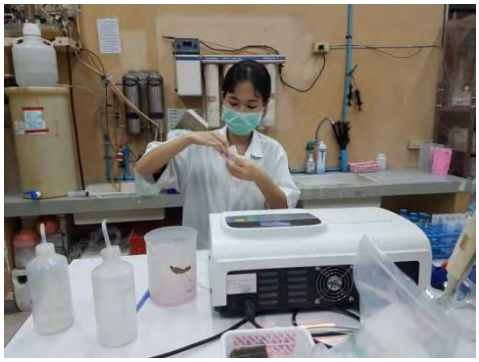
2.3) เก็บตัวอย่างที่ผ่าน cadmium column แล้ว 5 มิลลิลิตร

2.4) เติม sulfanilamide 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 1 นาที

2.5) เติม (1-Napthyl) ethylenediamine dihydrocloride 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที จะได้สารละลายสีชมพู (ห้ามโดนแสง)

2.6) วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm และคำนวณความเข้มข้นไนโตรเจนละลายรวมจาก calibration curve

2.7) นำความเข้มข้นไนโตรเจนละลายรวมที่ได้มาทำเป็นแผนภาพแสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายรวม ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และ Ocean Data View

(ก) (ข) 

รูปที่ 3.4 (ก) เก็บตัวอย่างที่ผ่านจาก cadmium column (ข) วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer

3.5.5 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายในน้ำทะเลตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) จากการคำนวณ ดังนี้

$$[DON] = [TDN] - ([NO_2^-] + [NO_3^-] + [NH_4^+]) \quad \textbf{(3.1)}$$

โดย [DON] คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย

[TDN] คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายรวม

$[NO_2^-]$, $[NO_3^-]$, $[NH_4^+]$ คือ ความเข้มข้นของไนไตรต์ ไนเตรต และแอมโมเนียม ตามลำดับ

บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในทะเลอ่าวไทยตอนบนในครั้งนี้ ครอบคลุมพื้นที่ระหว่าง 11°–14°N และ 100°–103°E เก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 โดยสถานีการเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.1 และพิกัดแสดงดังภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1 และรายงานผลการศึกษาที่ได้โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเลตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 ผลการทดสอบการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทะเลเทียม (synthetic seawater)

ผลการทดสอบการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทะเลเทียม (synthetic seawater) ระหว่างน้ำทะเลเทียมที่เตรียมด้วยเกลือ (NaCl) ที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และน้ำทะเลเทียมที่เตรียมด้วยเกลือที่ไม่ถูกเผา พบว่าน้ำทะเลเทียมที่เตรียมด้วยเกลือที่ถูกเผามีการปนเปื้อนของไนไตรต์และไนเตรตน้อยกว่าน้ำทะเลเทียมที่เตรียมด้วยเกลือที่ไม่ถูกเผาประมาณ 3 เท่า แสดงให้เห็นว่าการเผาเกลือก่อนนำมาเตรียมน้ำทะเลเทียมเป็นการกำจัดอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ปนเปื้อนในเกลือให้ลดลง ซึ่งจะช่วยลด blank ของกราฟมาตรฐานให้ต่ำลงได้

4.1.2 ผลการทดสอบการเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR)

การทดสอบการเตรียมสารเคมี persulfate oxidation reagent (POR) ทั้ง 3 วิธี หลังจาก oxidation และนำมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (TDN) พบว่า POR ที่เตรียมด้วย potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ผ่านการตกผลึกแล้ว มีการปนเปื้อนของไนโตรเจนละลายรวมน้อยกว่าการใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ไม่ผ่านการตกผลึกประมาณ 2 เท่า และวัดความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างหลังจาก oxidation พบว่าตัวอย่างที่ใส่ POR ที่ผสม boric acid มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 ซึ่งตัวอย่างที่ใส่ POR ที่ไม่ผสม boric acid มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 13 แสดงให้เห็นว่าการตกผลึกสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนใน potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่อาจมีไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่ได้ ทำให้สารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และการผสม boric acid ใน POR จะช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างให้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดเป็นไนเตรตได้ดีกว่าการใช้ POR ที่ไม่ผสม boric acid

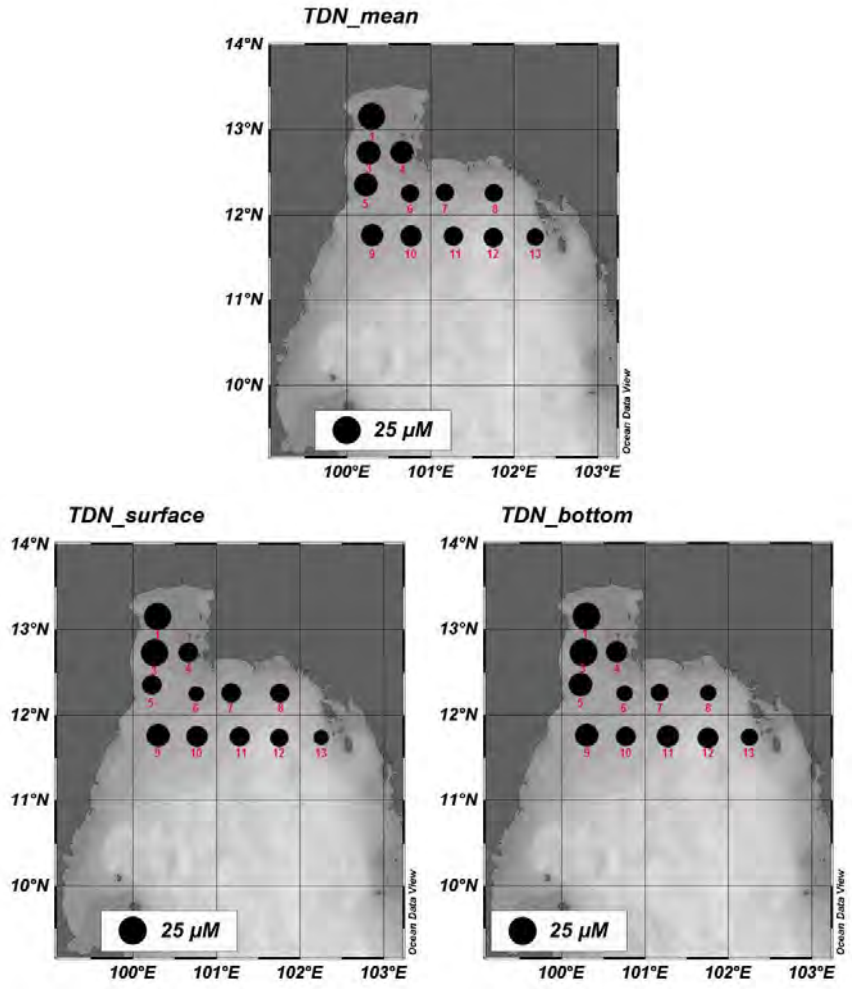
4.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ Na-EDTA ของ persulfate oxidation reagent (POR)

การทดสอบประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ Na-EDTA ของ persulfate oxidation reagent (POR) โดยการเปรียบเทียบกราฟค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน KNO_3 และ Na-EDTA หลังจาก oxidation พบว่าสารมาตรฐาน Na-EDTA มีค่าดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน KNO_3 ที่เตรียมความเข้มข้นเป็นสองเท่าของความเข้มข้นของ Na-EDTA และความชันของกราฟมาตรฐาน Na-EDTA มีค่าเป็นสองเท่าของความชันของ

กราฟมาตรฐาน KNO_3 เนื่องจาก Na-EDTA 1 โมเลกุลจะมี N 2 อะตอม หมายความว่าถ้าเตรียม Na-EDTA ความเข้มข้น 1 µM เมื่อผ่านการออกซิไดซ์แล้วจะมีความเข้มข้นเท่ากับ KNO_3 ที่เตรียมความเข้มข้น 2 µM ทำให้เห็นว่า persulfate oxidation reagent (POR) สามารถออกซิไดซ์ Na-EDTA ที่มี N 2 อะตอม เป็นไนเตรต (NO_3^-) 2 โมเลกุล ได้ค่อนข้างสมบูรณ์

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ในน้ำทะเลตัวอย่าง

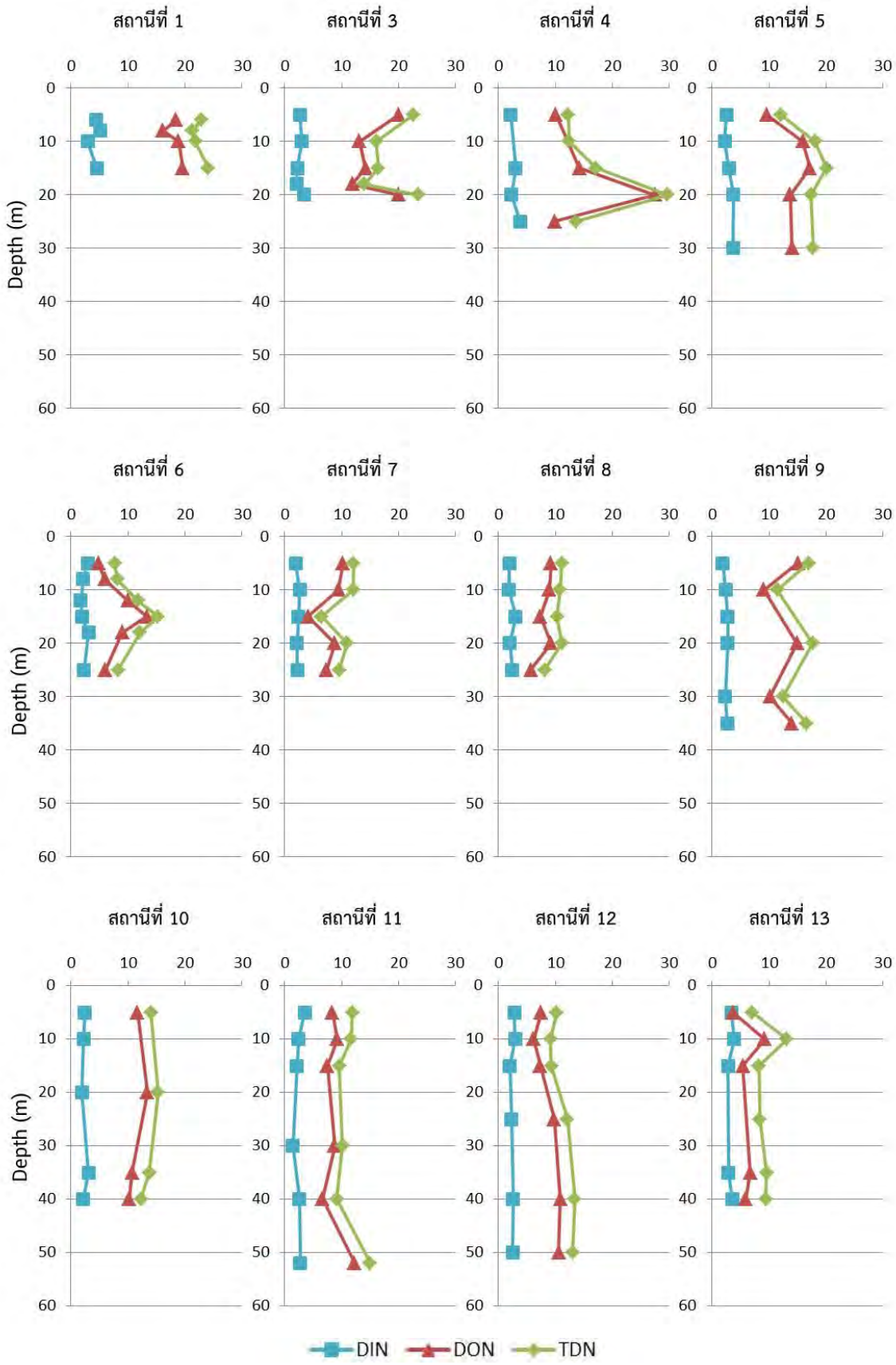
ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ทั้ง 12 สถานี ตามความลึกต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 และ ข.2 พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยตอนบนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.49–29.72 µM มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.54 µM โดยสถานี 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมสูงสุด เท่ากับ 22.53 µM และสถานี 9 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมต่ำสุด เท่ากับ 9.27 µM



รูปที่ 4.1 การกระจายของ (ก) ไนโตรเจนละลายรวมเฉลี่ย (ข) ไนโตรเจนละลายรวมที่ความลึกผิวน้ำ และ (ค) ไนโตรเจนละลายรวมที่ความลึกท้องน้ำในแต่ละสถานี

จากรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายของไนโตรเจนละลายรวมเฉลี่ย ไนโตรเจนละลายรวมที่ความลึกผิวน้ำและความลึกท้องน้ำในแต่ละสถานี พบว่ามีลักษณะคล้ายกัน คือ การกระจายของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมมีค่าสูงบริเวณใกล้ปากแม่น้ำและชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน โดยมีความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมสูงสุดที่สถานี 1 ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับปากแม่น้ำทางเหนือของอ่าวมากที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อห่างออกจากปากแม่น้ำ เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนเป็นบริเวณที่รองรับสารอาหารจากแม่น้ำ 4 สายทางเหนือของอ่าว คือ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง (สมภพ รุ่งสภา และคณะ, 2546) รวมถึงแม่น้ำเพชรบุรีทางด้านตะวันตกของอ่าว (Burnett et al., 2007)

ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในน้ำทะเลตามความลึกในแต่ละสถานีแสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าในแต่ละสถานีมีค่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมใกล้เคียงกันทุกความลึก ซึ่งมีส่วนที่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่เก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2556 (ขนิษฐา อุทัยพันธ์, 2557) ที่ได้วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยตอนกลาง ยกเว้นสถานี 4 พบว่าที่ความลึก 20 เมตร มีค่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมสูงแตกต่างจากความลึกอื่น และจากการศึกษาในครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลทางสมุทรศาสตร์อื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และความหนาแน่น เป็นต้น โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกูล บูรณประทีปรัตน์ มหาวิทยาลัยบูรพา และอาจารย์ ดร.จิราภรณ์ ฟักโสภา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าบริเวณที่ศึกษาไม่มีการแบ่งชั้นกันของมวลน้ำ ยกเว้นสถานี 1 และสถานี 4 มีการแบ่งชั้นของมวลน้ำเล็กน้อยที่ผิวน้ำ เนื่องจากอาจได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลลงมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนละลายรวมสามารถมีการหมุนเวียนในมวลน้ำ ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การปนเปื้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หรือประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของคอลัมน์แคดเมียมที่เปลี่ยนไป เป็นต้น



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (สีฟ้า) ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (สีแดง) และไนโตรเจนละลายรวม (สีเขียว) ในน้ำทะเลตามความลึกในแต่ละสถานี

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic nitrogen) ในน้ำทะเลตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic nitrogen) ในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ทั้ง 12 สถานี ตามความลึกต่างๆ ได้จากการนำข้อมูลปริมาณไนโตรเจนละลายที่กล่าวไปข้างต้นและข้อมูลปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย ได้แก่ ไนไตรต์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และแอมโนเนียม (NH_4^+) มาคำนวณตามสมการ 3.1

รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ละลาย (DIN) ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) และไนโตรเจนละลายรวม (TDN) ในน้ำทะเลตามความลึกในแต่ละสถานี พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนอินทรีย์ละลายมีแนวโน้มเดียวกันกับความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายรวม และสามารถบอกได้ว่าไนโตรเจนละลายรวมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 78 ของปริมาณไนโตรเจนละลายรวม สอดคล้องกับการศึกษาของ Burnett et al. (2007) ที่พบว่าบริเวณชายฝั่ง (coastal) มีสัดส่วนของ DON/TDN ประมาณร้อยละ 80 และมีค่าเพิ่มขึ้นในบริเวณนอกชายฝั่ง (offshore) ประมาณร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลด์เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สามารถประมาณปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่เป็นผู้สร้างไนโตรเจนอินทรีย์ได้ พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลด์เอสูงในสถานี 1 และสถานี 5 สถานีที่เหลือมีปริมาณคลอโรฟิลด์เอน้อยกว่าและมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งมวลน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายและไนโตรเจนละลายรวมที่มีค่าสูงที่สถานี 1 ทั้งนี้การศึกษาในครั้งนี้ยังขาดข้อมูลปริมาณแบคทีเรียที่อาจส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายที่เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรีย ซึ่งแสดงถึงการหมุนเวียนของไนโตรเจนละลายรวมที่เกิดขึ้นโดย microbial loop นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบการวิเคราะห์ เนื่องจากในแต่ละบริเวณจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนละลายรวมและประสิทธิภาพในการหมุนเวียนไนโตรเจนแตกต่างกัน

บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนละลายรวมบริเวณอ่าวไทยตอนบนทั้ง 12 สถานี พบว่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในอ่าวไทยตอนบนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.49–29.72 μM มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.54 μM การกระจายของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมมีค่าสูงบริเวณใกล้ปากแม่น้ำและชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยและมีค่าลดลงเมื่อห่างออกจากปากแม่น้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนละลายรวมในแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งมวลน้ำเนื่องจากบริเวณที่ศึกษาไม่มีการแบ่งชั้นของมวลน้ำ และจากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนอินทรีย์ละลายมีแนวโน้มเดียวกันกับความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายรวมและสามารถบอกได้ว่าไนโตรเจนละลายรวมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไนโตรเจนอินทรีย์ละลายโดยมีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 78 ของปริมาณไนโตรเจนละลายรวม อย่างไรก็ตามการกระจายของสารอาหารในมวลน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาลที่อาจส่งผลต่อปริมาณสารอาหารที่ไหลลงสู่อ่าวไทย กิจกรรมของแพลงก์ตอนพืชที่มีการนำไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายไปใช้ และปริมาณแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อการหมุนเวียนสารอาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมสามารถปนเปื้อนได้ง่ายตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งถึงระหว่างการวิเคราะห์ จึงต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนให้มากที่สุดเพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำ การศึกษาวิธีการลดการปนเปื้อนในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญอย่างมาก การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมควรมีการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์มากขึ้น เช่น การทำซ้ำเพื่อให้มั่นใจในผลการวิเคราะห์ที่ได้ ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับไนโตรเจนในอ่าวไทยส่วนใหญ่ไม่มีการรายงานข้อมูลไนโตรเจนละลายรวมทำให้การศึกษาในครั้งนี้ยังขาดข้อมูลในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนละลายรวมขึ้นอยู่ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ เช่น ฤดูกาล กระแสน้ำ ปริมาณแพลงก์ตอนพืช ปริมาณแบคทีเรีย และกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้นการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพประกอบไปด้วยจึงมีความสำคัญอย่างมากในการสนับสนุนผลการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ขนิษฐา อุทัยพันธ์. 2557. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยในช่วงมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

ธวัชชัย นาอุดม, อนุกูล บูรณประทีปรัตน์, กิตติยา หอมหวน และประสาร อินทเจริญ. 2556. การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ของคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในสองฤดูกาลช่วงปี พ.ศ. 2552. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 18: หน้า 32-42.

มนุวดี หังสพฤกษ์, กัลยา วัฒยากร, วิไลวรรณ อุทุมพฤกษ์พร และพิชาญ สว่างวงศ์. 2546. หน่วยการเรียนรู้ที่ 2: เคมีในทะเล. ใน อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, จันทิรา รัตนรัตน์ และกิตติกา กังวานไกล (บรรณาธิการ). สาระวิทยาศาสตร์ทางทะเล. หน้า 123-164. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

มินตรา มารบุญ, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, ณิศรา ถาวรโสตร์ และจารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2560. การแพร่กระจายของธาตุอาหารในอ่าวไทย. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55, หน้า 686-693. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมภพ รุ่งสุภา, ชลธยา ทรงรูป, อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์, ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์, อานุภาพ พานิชผล และเอนก โสภณ. 2546. สถานการณ์การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในประเทศไทย. การตรวจเฝ้าระวังการเกิดปรากฏการณ์ น้ำทะเลเปลี่ยนสีในประเทศไทย. หน้า 74-104. กรมควบคุม มลพิษ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ภาษาอังกฤษ

Armstrong, F.A.J., and Tibbitts, S. 1968. Photochemical combustion of organic matter in seawater, for nitrogen, phosphorus, and carbon determination. J. Mar. Biol. Assays 48: 143–152.

Bronk D.A., Lomas M.W., Glibert P.M., Schukert K.J., and Sanderson M.P. 2000. Total dissolved nitrogen analysis: comparisons between the persulfate, UV and high temperature oxidation methods. Marine Chemistry 69: 163–178.

Burnetta W.C., Wattayakorn G., Taniguchic M., Dulaiovaa H., Sojisuporn P., Rungsupad S., and Ishitobi T. 2007. Groundwater-derived nutrient inputs to the Upper Gulf of Thailand. Continental Shelf Research 27: 176–190.

Cozzi S., and Giani M. 2007. Determination of organic nitrogen and urea. Handbook of water analysis, 367-392, Boca Raton: CRC Press.

D'Elia, C.F., Steudler, P.A., and Corwin, N. 1977. Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. Limnol. Oceanogr. 22: 760–764.

Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. American Science. 46: 205-221.

Sharp, J.H. 1973. Total organic carbon in seawater - comparison of measurements using persulfate oxidation and high temperature combustion. Mar. Chem. 1: 211–229.

Strickland, J.D.H., and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fishery Research Board: Canada.

Suzuki, Y., and Sugimura, Y. 1985. A catalytic oxidation method for the determination of total nitrogen dissolved in seawater. Mar. Chem. 16: 83–97.

Thornton, D.C.O. 2012. Primary production in the ocean, advances in photosynthesis -fundamental aspects, 563-588.

Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. Mar. Chem. 10: 109–122.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. สถานีเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ ก.1 สถานีเก็บตัวอย่าง และพิกัดที่ศึกษา

Station	Latitude	Longtitude
1	13°09'04.3"	100°18'04.9"
3	12°43'38.3"	100°15'51.2"
4	12°43'55.9"	100°39'44.9"
5	12°21'11.9"	100°13'32.6"
6	12°15'01.4"	100°45'35.1"
7	12°15'37.1"	101°10'40.7"
8	12°15'22.7"	101°45'30.8"
9	11°45'35.3"	100°18'20.0"
10	11°44'42.0"	100°46'08.4"
11	11°44'40.9"	101°16'43.0"
12	11°43'38.3"	101°45'12.5"
13	11°44'08.5"	102°15'22.5"

ภาคผนวก ข. ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ตามความลึกในสถานี 1 และสถานี 3 – 7

ความลึก	Total dissolved nitrogen (μM)					
(เมตร)	สถานี 1	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6	สถานี 7
5		22.66	12.21	12.04	7.69	12.11
6	22.87					
8	21.32				8.12	
10	21.85	16.08	12.35	18.11		12.00
12					11.72	
15	24.07	16.39	17.15	20.13	15.25	6.49
18		13.96			12.07	
20		23.42	29.72	17.36		10.94
25			13.70		8.26	9.53
30				17.70		
35						
40						
50						
52						
พิสัย	21.32 - 24.07	13.96 - 23.42	12.21 - 29.72	12.04 - 20.13	7.69 - 15.25	6.49 - 12.11
ค่าเฉลี่ย	22.53	18.50	17.03	17.07	10.52	10.21

ตารางที่ ข.2 ปริมาณไนโตรเจนละลายรวม (Total dissolved nitrogen) ตามความลึกในสถานี 8 – 13

ความลึก	Total dissolved nitrogen (µM)					
(เมตร)	สถานี 8	สถานี 9	สถานี 10	สถานี 11	สถานี 12	สถานี 13
5	11.15	16.89	14.06	11.86	10.24	7.06
6						
8						
10	10.80	11.43	40.77*	11.65	9.11	13.13
12						
15	10.31	34.19*		9.60	9.28	8.19
18						
20	11.15	17.63	15.28			
25	8.12				12.07	8.33
30		12.44		10.17		
35		16.59	13.76			9.53
40			12.34	9.11	13.41	9.39
50					13.06	
52				14.97		
พิสัย	8.12 - 11.15	11.43 - 17.63	12.34 - 15.28	9.11 - 14.97	9.11 - 13.41	7.06 - 13.13
ค่าเฉลี่ย	10.31	15.00	13.86	11.22	11.20	9.27

*ไม่ได้นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย