



ความผันแปรของฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนใน

โดย

นางสาวณัชชา สุปวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ความผันแปรของฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนใน

โดย

นางสาวณัชชา สุพวานิช



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

VARIATION OF PHOSPHORUS IN THE INNER GULF OF THAILAND

BY

MISS NATCHA SUPAWANICH



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2017

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวณัชชา สุพวานิช

เรื่อง

ความผันแปรของฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนใน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

เมื่อ วันที่ 29 มิถุนายน

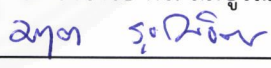
พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



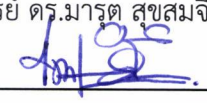
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ กิรติประยูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



(อาจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



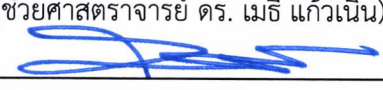
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิชโยโกวิทเทน)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เมธี แก้วเนิน)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชคตระการ)

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ความผันแปรของฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนใน |
| ชื่อผู้เขียน | นางสาวณัชชา สุพานิช |
| ชื่อปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) |
| สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย | สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | อาจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน |
| ปีการศึกษา | 2560 |

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัส มีบทบาทสำคัญเป็นปัจจัยจำกัดในการควบคุมปริมาณผู้ผลิตขั้นต้นบริเวณชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของผลผลิตทางการประมงในแหล่งน้ำ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสและคุณภาพน้ำในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.326 3.717 และ 2.177 μM ตามลำดับ โดยรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบในฤดูร้อนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอยและเปลี่ยนเป็นฟอสฟอรัสในรูปสารละลายทั้งหมดในฤดูฝนและฤดูหนาว นอกจากนี้พบว่าในฤดูร้อนปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลายทั้งหมด ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีความสัมพันธ์กับความเค็ม ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และคลอโรฟิลล์ เอ ส่วนในฤดูฝนและฤดูหนาวพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอยทั้งหมดกับความเค็ม แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของแม่น้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนใน ผลการศึกษาของปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสจะช่วยให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต และเป็นส่วนประกอบที่ช่วยในการบริหารและการจัดการสิ่งแวดล้อมในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

คำสำคัญ: ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ, ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ, สารแขวนลอยอินทรีย์ฟอสฟอรัส, สารแขวนลอยอินทรีย์ฟอสฟอรัส, อ่าวไทยตอนใน

| | |
|-------------------------------|--|
| Thesis Title | VARIATION OF PHOSPHORUS IN THE INNER GULF OF THAILAND |
| Author | Miss NATCHA SUPAWANICH |
| Degree | Master of Science (Environmental Science) |
| Department/Faculty/University | Environmental Science Faculty of Science and Technology Thammasat University |
| Thesis Advisor | Mr. Marut Suksomjit, Ph.D. |
| Thesis Co-Advisor | Assistant Professor Tritep Vichkovitten, Ph.D. |
| Academic Year | 2017 |

ABSTRACT

Phosphorus has an important role as a limiting factor of primary producer in the coastal water. The variation of phosphorus also affects to the abundance of fishery production in the water body. This study investigated the abundance of phosphorus and form in the Inner Gulf of Thailand. The relationships between phosphorus and water quality was also studied. The average total phosphorus (TP) in summer, rainy and winter were 2.326 3.717 and 2.177 μM respectively. Phosphorus in dissolved and particulate forms were found in the water bodies. Particulate form was major form in summer and changed to dissolved form in other seasons. Strong relationship between Total Dissolved Phosphorus, Dissolved Inorganic Phosphorus, Dissolved Organic Phosphorus and salinity, total suspended solid, chlorophyll a was found in summer season. In rainy and winter season, strong negative relationship between Total Particulate Phosphorus, Particulate Organic Phosphorus and salinity was also observed. This suggested the effect of river runoff on the variation of phosphorus abundance in the Inner Gulf of Thailand. The variation the abundance and chemical speciation that found in this study provide a better understanding of this bioactive element and, will support the establishment of water management and regulation in the Gulf of Thailand

Keywords: Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP), Dissolved Organic Phosphorus (DOP), Particulate Inorganic Phosphorus (PIP), Particulate Organic Phosphorus (POP), Inner Gulf of Thailand

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความกรุณาของ อาจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการให้ความรู้ทางวิชาการ แนวคิด และคำปรึกษาตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรเทพ วิชัยโกวิทแทน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ กิรติประยูร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เมธี แก้วเนิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำ เพื่อให้มีความเข้าใจในงานวิทยานิพนธ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งการตรวจทานแก้ไขเพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้และการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนข้อมูลคุณภาพน้ำทั่วไปและการเก็บตัวอย่าง จากโครงการ “การพัฒนานโยบายการจัดการประมงอย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานนิเวศ – สังคมภายใต้ธรรมาภิบาลที่ดีเพื่อความยั่งยืนทางการประมงในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน” ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำเรือเกษตรศาสตร์ 1 ในการให้ความช่วยการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

นางสาวณัชชา สุพวานิช

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | [1] |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | [2] |
| กิตติกรรมประกาศ | [3] |
| สารบัญตาราง | [8] |
| สารบัญภาพ | [9] |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 สมมติฐาน | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ฟอสฟอรัสในธรรมชาติ | 4 |
| 2.2 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำและบทบาท | 5 |
| 2.3 ฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน | 7 |
| 2.3.1 พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย (Gulf of Thailand) | 7 |
| 2.3.2 อ่าวไทยตอนใน (Inner Gulf of Thailand) | 8 |
| 2.3.2.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ | 8 |
| 2.3.2.2 ลักษณะทางสมุทรศาสตร์ | 9 |
| 2.3.2.3 การใช้ประโยชน์และปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเล | 10 |

| | |
|--|----|
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 10 |
| 2.4.1 การศึกษาฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน | 10 |
| 2.4.2 การศึกษาฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อื่น ๆ | 12 |
| 2.4.3 ความสามารถในการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต | 15 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย | 16 |
| 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย | 16 |
| 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย | 16 |
| 3.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง | 17 |
| 3.4 วิธีการเก็บตัวอย่าง | 19 |
| 3.4.1 การเก็บตัวอย่างฟอสฟอรัส | 19 |
| 3.4.2 การเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยทั้งหมด | 19 |
| 3.4.3 การเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์ เอ | 20 |
| 3.5 การตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไป | 20 |
| 3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง | 20 |
| 3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำ | 20 |
| 3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสแขวนลอย | 21 |
| 3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด | 23 |
| 3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ | 23 |
| 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล | 24 |
| | |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล | 25 |
| 4.1 คุณภาพน้ำทั่วไป | 25 |
| 4.2 ปริมาณฟอสฟอรัส | 26 |
| 4.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสรวม | 26 |
| 4.2.2 ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 27 |
| 4.2.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ | 28 |
| 4.2.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ | 30 |

| | |
|--|----|
| 4.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย | 31 |
| 4.2.3.1 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย | 32 |
| 4.2.3.2 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย | 33 |
| 4.2.4 รูปแบบฟอสฟอรัสรวม | 34 |
| 4.2.4.1 รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 35 |
| 4.2.4.2 รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย | 36 |
| 4.3 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัส | 37 |
| 4.3.1 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 37 |
| 4.3.1.1 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 39 |
| 4.3.1.2 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 41 |
| 4.3.2 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปแขวนลอย | 42 |
| 4.3.2.1 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย | 43 |
| 4.3.2.2 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย | 44 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับปัจจัยแวดล้อม | 45 |
| 4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในรูปสารละลายกับปัจจัยแวดล้อม | 45 |
| 4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอยกับปัจจัยแวดล้อม | 47 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 50 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 50 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 51 |
| รายการอ้างอิง | 52 |
| ภาคผนวก | 56 |



| | |
|---|----|
| ภาคผนวก ก. วิธีการเตรียมสาร | 57 |
| ภาคผนวก ข. ปริมาณค่าที่ทำการศึกษาโดยละเอียดทั้ง 28 สถานี | 58 |
| ภาคผนวก ค. แผนภาพเส้นแนวระดับของความเค็ม คลอโรฟิลล์ เอ และ ปริมาณ TSS ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ.2560 | 62 |
| ประวัติผู้เขียน | 63 |







สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 พิกัด ชื่อสถานี ระยะห่าง และการแบ่งกลุ่มตามระยะห่าง ของทั้ง 28 สถานี | 18 |
| 4.1 ปริมาณ TDP DIP และ DOP ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม(ฤดูหนาว) | 28 |
| 4.2 ปริมาณ TPP PIP และ POP ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) | 31 |
| 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณ DIP และ DOP ในแต่ละกลุ่ม บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม(ฤดูหนาว) | 40 |
| 4.4 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณ DIP และ DOP ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน | 41 |
| 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณ DIP และ DOP ในแต่ละกลุ่ม บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) | 44 |
| 4.6 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณ DIP และ DOP ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน | 45 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูร้อน (เดือนเมษายน) | 46 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) | 46 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูหนาว (เดือนธันวาคม) | 47 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูร้อน (เดือนเมษายน) | 48 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) | 48 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูหนาว (เดือนธันวาคม) | 49 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus Cycle) | 5 |
| 2.2 รูปแบบของฟอสฟอรัสที่ลงสู่ทะเล การเปลี่ยนแปลง และบทบาท | 7 |
| 2.3 พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนใน | 9 |
| 2.4 การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยตอนใน | 10 |
| 3.1 แผนที่สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล | 17 |
| 3.2 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย | 21 |
| 3.3 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย | 22 |
| 4.1 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ----- เส้นประแสดงค่ามาตรฐาน Environmental standards relating to the conservation of the living environment of the sea areas ของประเทศญี่ปุ่น | 27 |
| 4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว | 29 |
| 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ----- เส้นประแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ | 29 |
| 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว | 30 |
| 4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว | 32 |
| 4.6 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว | 33 |
| 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว | 34 |
| 4.8 สัดส่วนร้อยละ TDP/TP และ TPP/TP ที่ตรวจพบในอ่าวไทยตอนใน ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ ค). ฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วนร้อยละ TDP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ TPP ต่อปริมาณ TP) | 35 |

- 4.9 สัดส่วนร้อยละ DIP/TDP และ DOP/TDP ที่ตรวจพบในอ่าวไทยตอนใน 36
ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ ค). ฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วน
ร้อยละ DIP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ DOP ต่อปริมาณ TDP)
- 4.10 สัดส่วนร้อยละ PIP/TPP และ POP/TPP ที่ตรวจวัดได้ในอ่าวไทยตอนใน 37
ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ ค). ฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วน
ร้อยละ PIP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ POP ต่อปริมาณ TPP)
- 4.11 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณ DIP ที่พบใน ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ 38
ค). ฤดูหนาว และปริมาณ DOP ที่พบใน ง). ฤดูร้อน จ). ฤดูฝน และ
ฉ). ฤดูหนาว ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน
- 4.12 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณ PIP ที่พบใน ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ 42
ค). ฤดูหนาว และปริมาณ POP ที่พบใน ง). ฤดูร้อน จ). ฤดูฝน และ
ฉ). ฤดูหนาว ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งในแหล่งน้ำจืดและชายฝั่งทะเล ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญโดยเป็นปัจจัยจำกัดในการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ (Wu, Sunda, Boyle & Karl, 2000) นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อวัฏจักรชีวธรณีเคมีของธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น คาร์บอน และไนโตรเจน เป็นต้น (Lin & Guo, 2016; Lin, Klump & Guo, 2016) ฟอสฟอรัสเมื่อลงสู่แหล่งน้ำ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตทางชีวภาพ การหมุนเวียนแร่ธาตุ และบทบาทในการควบคุมคุณภาพน้ำและคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล (Lin, Guo, Chen & Cai, 2013) แหล่งน้ำใดที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง แหล่งน้ำนั้นจะอยู่ในสภาวะความอุดมสมบูรณ์ (Eutrophication) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ เนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช ทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง ในทางตรงข้ามในแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำจะส่งผลให้มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชต่ำ (Lin et al., 2013; Duan, Song, Yuan, X.G. Li & Li, 2016)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะศึกษาปริมาณและความผันแปรของฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP) เนื่องจากเป็นรูปแบบของฟอสฟอรัสที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวน (Lin & Guo, 2016; Lin et al., 2016) อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายฉบับระบุว่าแพลงก์ตอนพืชสามารถนำฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Phosphorus; DOP) ที่มีในแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ ในสภาวะที่ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีไม่เพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต (Correll, 1998) ส่วนฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย (Particulate Inorganic Phosphorus; PIP) และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย (Particulate Organic Phosphorus; POP) แม้ว่าเมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำตามความเร็วของกระแสน้ำและขนาดของตะกอน แต่ในบางกรณี เช่น การเปลี่ยนแปลงความเค็ม ความเป็นกรด - ด่าง หรือในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ถูกดูดซับบริเวณพื้นผิวของสารแขวนลอยจะหลุดออกและเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ (Suzumura, Kokubun & Arata, 2004) ซึ่งแพลงก์ตอนพืช

สามารถนำฟอสฟอรัสเหล่านี้ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้เช่นกัน ดังนั้นฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชได้ (Lin et al., 2016)

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปริมาณของฟอสฟอรัส โดยทำการศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน (Inner Gulf of Thailand) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งรองรับน้ำที่ระบายจากแม่น้ำ 4 สายหลัก ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และ แม่น้ำแม่กลอง ซึ่งมีสารอาหารรวมทั้งฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยลงมาพร้อมกัน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน ข้อมูลที่ได้้นอกจากจะทำให้เราทราบถึงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสที่มีในพื้นที่อ่าวไทยตอนในแล้ว ยังทำให้เราทราบถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ รวมทั้งความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนการจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนในได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน
- 1.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ของปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน
- 1.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

1.3 สมมติฐาน

ปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสที่ทำการศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยตอนในมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่และมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาปริมาณของฟอสฟอรัสแยกตามรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ DIP, DOP, PIP และ POP ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน
- 1.4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของฟอสฟอรัส โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง เพื่อเป็นตัวแทนแต่ละช่วงฤดูกาล คือ ครั้งที่ 1 เดือนเมษายน (ช่วงฤดูร้อน) ครั้งที่ 2 เดือนกรกฎาคม (ช่วงฤดูฝน) และครั้งที่ 3 เดือนธันวาคม (ช่วงฤดูหนาว)
- 1.4.3 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่บริเวณผิวน้ำ (Surface Water) ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสที่มีในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน และทราบถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนการจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน นอกจากนี้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม จะทำให้สามารถอธิบายแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในพื้นที่อ่าวไทยตอนในได้อีกด้วย



บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟอสฟอรัสในธรรมชาติ

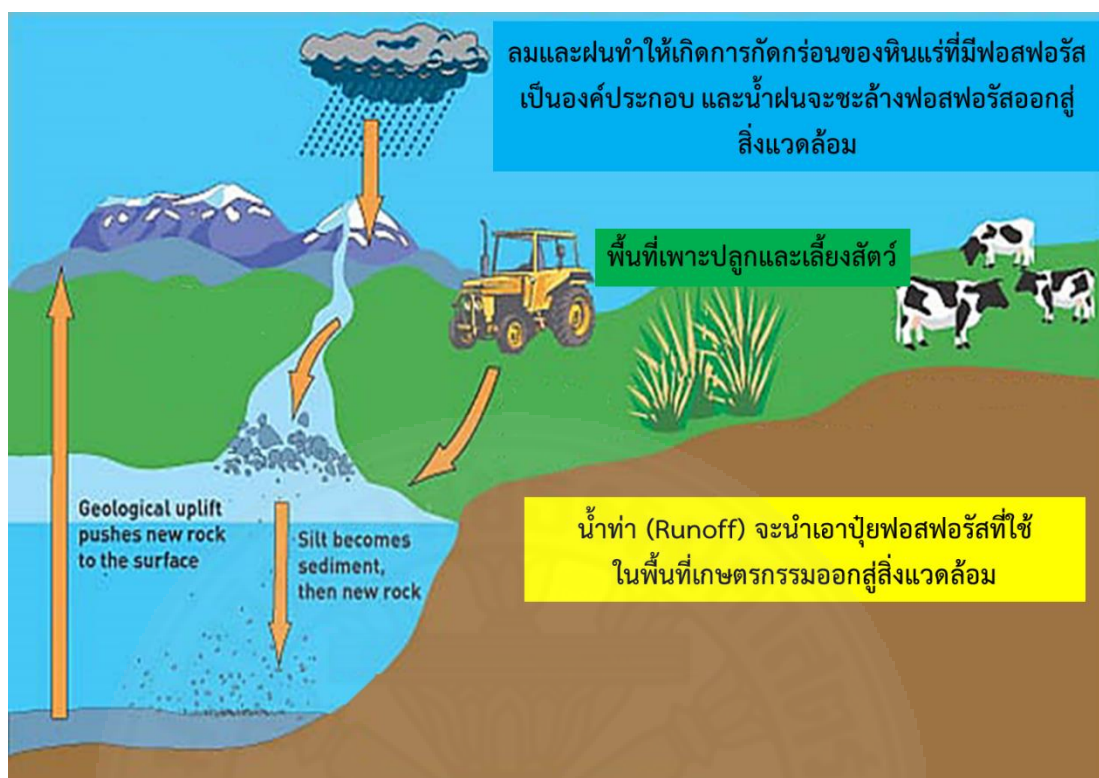
ฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ของทั้งพืชและสัตว์ โดยอยู่ในรูปของสารฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) เป็นองค์ประกอบของสารอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate; ATP) ที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของ DNA (Deoxyribonucleic Acid) และ RNA (Ribonucleic Acid) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมและการถ่ายทอดพันธุกรรม

ในสิ่งแวดล้อมเราจะไม่พบฟอสฟอรัสในรูปธาตุอิสระ แต่จะพบฟอสฟอรัสในรูปของแข็ง (Solid Phosphorus) เช่น Hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), Kaolinite ($\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{PO}_4)$) เป็นต้น และฟอสฟอรัสในรูปสารละลาย (Soluble Phosphorus) เช่น ออร์โทฟอสเฟต ($\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$, PO_4^{3-}), Pyrophosphate ($\text{P}_2\text{O}_4^{4-}$) เป็นต้น (วัฏจักรฟอสฟอรัส (phosphorus cycle), 2016) โดยฟอสฟอรัสเหล่านี้มีที่มาจาก 2 แหล่งสำคัญ (ภาพที่ 2.1) ได้แก่

1. กระบวนการตามธรรมชาติ เช่น อิทธิพลจากลมและฝนทำให้เกิดการกัดกร่อนของหินแร่ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบก่อนที่น้ำฝนจะชะล้างฟอสฟอรัสออกสู่สิ่งแวดล้อม การที่สิ่งมีชีวิตนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการดำรงชีวิตและขับถ่ายส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ หรือถูกย่อยสลายเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นตายลง เป็นต้น

2. กิจกรรมของมนุษย์ เช่น มนุษย์นำฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และทิ้งของเสียหรือปล่อยน้ำเสียที่มีฟอสฟอรัสปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม การชะล้างจากน้ำท่า (Runoff) จะนำเอาปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ฟอสฟอรัสที่พบในสิ่งแวดล้อมจะถูกผู้ผลิตขั้นต้นนำไปใช้ประโยชน์ โดยผู้ผลิตขั้นต้นจะนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปโมโนฟอสเฟตไอออน (H_3PO_4^-) และในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ก่อนที่จะถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคที่จะได้รับฟอสฟอรัสจากการบริโภคผู้ผลิตขั้นต้น และเมื่อผู้ผลิตขั้นต้นและผู้บริโภคเหล่านั้นตายลง ฟอสฟาไทซิงแบคทีเรีย (Phosphatizing bacteria) จะย่อยสลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสหมุนเวียนกลับไปสู่สิ่งแวดล้อม



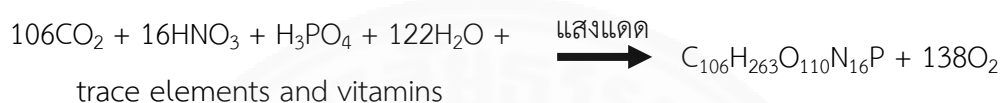
ภาพที่ 2.1 วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus Cycle) (ดัดแปลงจาก “Phosphorus Cycle”, สืบค้นจาก <https://migardener.com/wp-content/uploads/2014/12/phosphorous-cycle-e1420062082372.jpg>)

2.2 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำและบทบาท

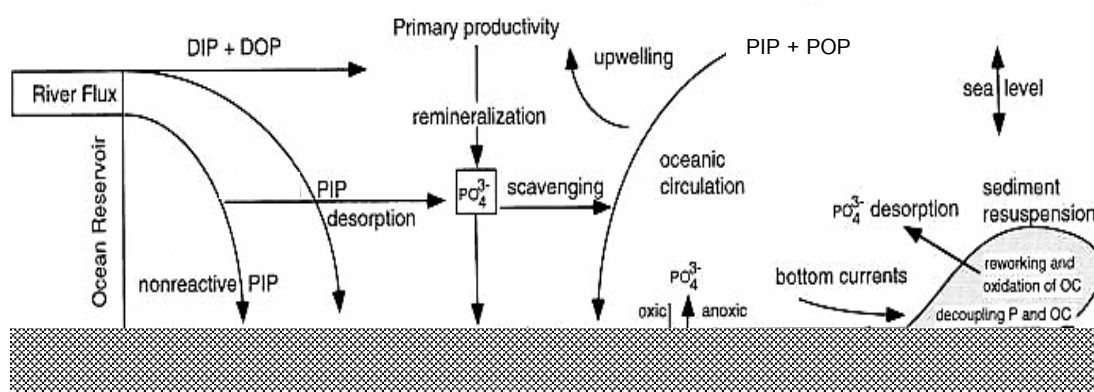
ฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการตามธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนหนึ่งจะเข้าสู่ระบบนิเวศบนบกและถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ในขณะที่ฟอสฟอรัสอีกส่วนหนึ่ง จะเข้าสู่แหล่งน้ำ โดยไหลลงสู่ลำคลอง แม่น้ำ ก่อนออกสู่ทะเลและมหาสมุทรในที่สุด Compton, Mallinson, Glenn, Filippelli, Follmi, Shields and Zanin (2000) ได้แบ่งรูปแบบของฟอสฟอรัส ที่ไหลจากแม่น้ำลงสู่ทะเลออกเป็น 2 รูปแบบสำคัญ โดยรูปแบบแรกได้แก่ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย (Dissolved form) ประกอบด้วย ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ ส่วนรูปแบบที่สองได้แก่ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย (Particulate form) ประกอบด้วย ฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และ ฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และได้ประเมินปริมาณฟอสฟอรัสรูปแบบต่าง ๆ ที่ลงสู่ทะเลทั่วโลก โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ ที่ลงสู่ทะเลมีค่าอยู่ในช่วง $0.8 - 1.4 \times 10^{12}$ g/y และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่ลงสู่ทะเลมีค่า

เท่ากับ 0.2×10^{12} g/y ในขณะที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยลงสู่ทะเลมีค่าอยู่ในช่วง $15.8 - 27.9 \times 10^{12}$ g/y และมีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยลงสู่ทะเลมีค่าเท่ากับ 0.9×10^{12} g/y

ฟอสฟอรัสที่ลงสู่ทะเลเหล่านี้จะถูกผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ประโยชน์ โดยแพลงก์ตอนพืชจะดูดซึมฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ (Huang & Zhang, 2009) ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อดำรงชีวิต เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน (Lin & Guo, 2016; Lin et al., 2016) ดังแสดงในสมการด้านล่าง (Paytan & McLaughlin, 2007)



อย่างไรก็ตาม Correll (1998) รายงานว่าแพลงก์ตอนพืชหลายชนิดสามารถนำฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่มีในแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ได้เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในแหล่งน้ำไม่เพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต ในส่วนของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย แม้ว่าเมื่อออกสู่ทะเลแล้วจะตกลงสู่พื้นท้องน้ำ และสะสมกลายเป็นดินตะกอนในทะเลก็ตาม (Compton et al., (2000), ภาพที่ 2.2) แต่ฟอสฟอรัสที่ดูดซับอยู่บริเวณผิวด้านนอกสามารถหลุดออกและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเค็ม หรือภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนน้อย (Hypoxia) (Correll, 1998; Fox, Sager & Wofsey, 1986; Lin et al., 2016; Suzumura et al., 2004) และแพลงก์ตอนพืชสามารถนำฟอสฟอรัสเหล่านั้นไปใช้ในการดำรงชีวิตและเจริญเติบโต เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและหมุนเวียนฟอสฟอรัสกลับมาใช้ประโยชน์



ภาพที่ 2.2 รูปแบบของฟอสฟอรัสที่ลงสู่ทะเล การเปลี่ยนแปลง และบทบาท (ดัดแปลงจาก Compton et al., 2000)

ฟอสฟอรัสเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญโดยทำหน้าที่เป็นหนึ่งในปัจจัยจำกัด (Limiting Factor) ควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชในทะเล นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อวัฏจักรชีวธรณีเคมี (Biogeochemical cycle) ของธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน เป็นต้น (Lin & Guo, 2016; Lin et al., 2016)

2.3 ฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

2.3.1 พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย (Gulf of Thailand)

ประเทศไทยมีอาณาเขตที่ติดต่อกับทะเล 2 ด้าน ได้แก่ อ่าวไทย มีความยาวชายฝั่งทะเลทั้งสิ้น 1,784 กิโลเมตร และทะเลอันดามัน มีความยาวชายฝั่งทั้งสิ้น 740 กิโลเมตร โดยอ่าวไทยมีลักษณะเป็นชายฝั่งน้ำตื้น ความลึกสูงสุดกลางอ่าวไทยลึกประมาณ 80 เมตร และมีแม่น้ำขนาดใหญ่และสายยาวไหลลงสู่อ่าวไทย อ่าวไทยถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- อ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวไทยรูปตัว “ก” หรืออ่าวไทยตอนใน มีแนวเส้นเล็งตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เป็นขอบเขตด้านใต้ ครอบคลุมชายฝั่งทะเลของอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ขึ้นไปทางทิศเหนือผ่านชายฝั่งทะเลของจังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และสิ้นสุดที่แหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
- อ่าวไทยตอนกลาง มีเขตตั้งแต่แนวเส้นเล็งอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร ลงไปทางใต้จนถึงแนวเส้นเล็งจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี ไปจรดขอบฝั่งด้านตะวันออก

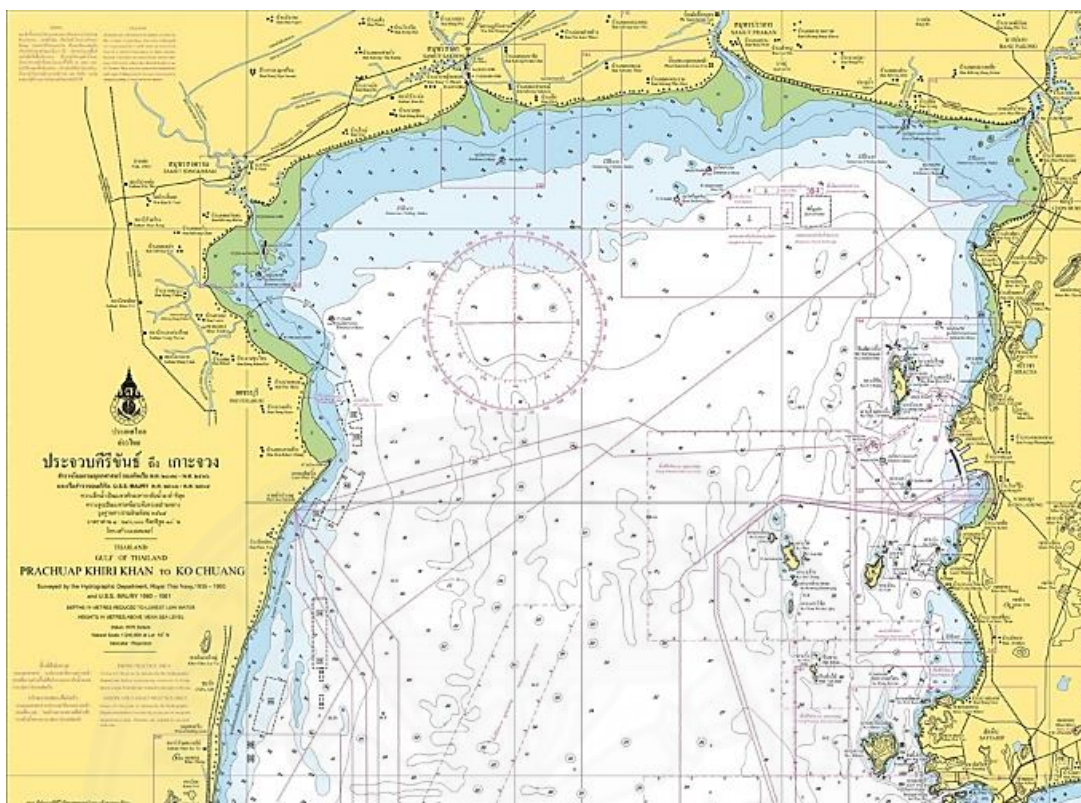
ครอบคลุมชายฝั่งทะเลเริ่มตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ลงไปทางทิศใต้ผ่านชายฝั่งทะเลของจังหวัดชุมพร และสิ้นสุดที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

- อ่าวไทยตอนล่าง เป็นบริเวณตั้งแต่แนวเส้นรุ้งจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี ไปจรดขอบฝั่งทางตะวันออก ครอบคลุมชายฝั่งทะเลเริ่มตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ลงไปทางทิศใต้ผ่านชายฝั่งทะเลของจังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส (สำนักเทคโนโลยีธรณี, 2555)

2.3.2 อ่าวไทยตอนใน (Inner Gulf of Thailand)

2.3.1.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์

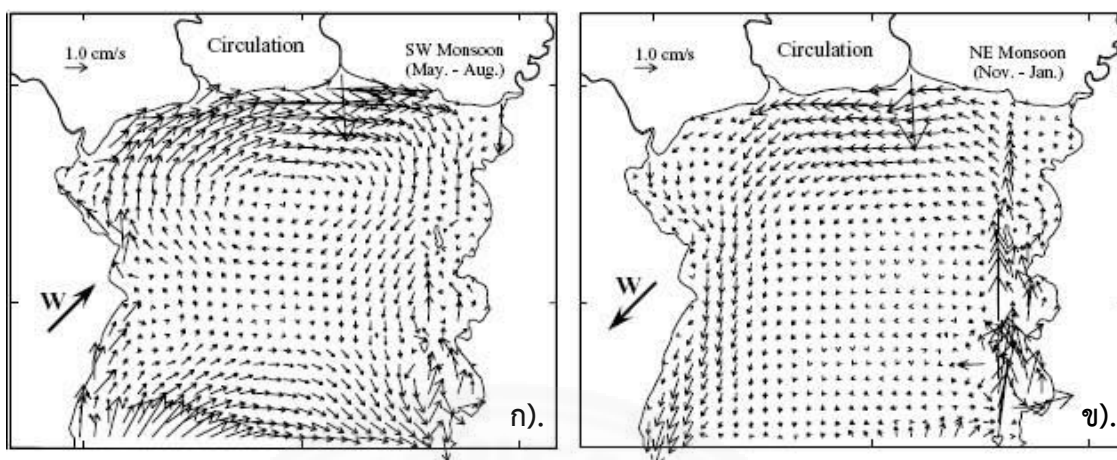
อ่าวไทยตอนใน มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิดรูปสี่เหลี่ยม มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 10,360 ตารางกิโลเมตร มีระดับความลึกเฉลี่ย 20 เมตร มีพื้นที่ครอบคลุมตั้งแต่ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และชลบุรี (ภาพที่ 2.3) เนื่องจากอ่าวไทยตอนใน มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิดจึงได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น - น้ำลง โดยในพื้นที่อ่าวไทยตอนในมีการขึ้น-ลงของระดับน้ำเป็นแบบน้ำเดียว (Diurnal tide) คือน้ำขึ้น 1 ครั้งและลง 1 ครั้งต่อวัน ความต่างของความสูงช่วงน้ำขึ้นเต็มที่กับน้ำลงเต็มที่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1- 0.8 เมตร โดยทั้งชนิดและช่วงความสูงของน้ำขึ้นน้ำลงมีผลต่อการสะสมตะกอน นอกจากนี้อ่าวไทยตอนในยังเป็นแหล่งรองรับน้ำที่ปล่อยจากแม่น้ำสำคัญ 4 สาย และแม่น้ำสายอื่นๆ ตามแนวชายฝั่ง ซึ่งส่งผลต่อความเค็มของทะเล ปริมาณตะกอนและธาตุอาหารจากการพัดพาจากแผ่นดิน ทำให้พื้นที่อ่าวไทยมีลักษณะเป็นโคลนปนทราย โคลน ทรายปนโคลนและทราย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)



ภาพที่ 2.3 พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนใน (จาก “อ่าวไทยตอนใน”, สืบค้นจาก <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/th/5/53/AoThai-Ratchakitcha.jpg>, 2017)

2.3.1.2 ลักษณะทางสมุทรศาสตร์

เนื่องจากอ่าวไทยตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรทำให้มีความชื้นสูงตลอดปี อุณหภูมิค่อนข้างสูงในช่วงฤดูร้อน ประมาณ 33 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำในฤดูหนาว ประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยบริเวณใกล้ชายฝั่งจะมีอุณหภูมิสูงกว่ากลางอ่าวไทย (กรมอุทกศาสตร์, 2536) ส่วนทิศทางของกระแสน้ำภายในอ่าวไทยตอนในมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล (ภาพที่ 2.4) โดยในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคม-กันยายน) กระแสน้ำในอ่าวไทยตอนในจะมีทิศทางวนรอบตามเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์) กระแสน้ำในอ่าวไทยจะมีทิศทางวนรอบทวนเข็มนาฬิกา (ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล (Marine Knowledge Hub, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.4 การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยตอนใน ก). ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และ ข). ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (อนุกุล บุรณะประทีปรัตน์, 2551)

2.3.1.3 การใช้ประโยชน์และปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ที่ดินชายทะเลรอบอ่าวไทยตอนในถูกใช้ประโยชน์ทั้งเพื่อเป็นที่อยู่อาศัย แหล่งท่องเที่ยวและพักผ่อน แหล่งอุตสาหกรรม ท่าเรือ รวมทั้งการทำเกษตรกรรม ในส่วนของทะเลอ่าวไทยตอนในยังเป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญ เนื่องจากเป็นชายฝั่งน้ำตื้นและมีแม่น้ำขนาดใหญ่ที่พัดพาธาตุอาหารปริมาณมหาศาลไหลลงสู่อ่าวไทย ทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพในระดับสูง แต่ในปัจจุบันคุณภาพน้ำทะเลภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่เสื่อมโทรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) โดยพบปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มค่อนข้างสูง ปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ และมีปริมาณสารอาหาร ได้แก่ ไนเตรทและฟอสเฟตค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสีเขียว โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุ ได้แก่ *Noctiluca scintillans*, *Ceratium furca* และ *Chaetoceros spp.* (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การศึกษาฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

การศึกษาวินิจฉัยเกี่ยวกับฟอสฟอรัสในบริเวณอ่าวไทยตอนในมีอยู่ไม่มากนัก และส่วนใหญ่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและความผันแปรของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และยังทำการศึกษาเฉพาะในบริเวณปากแม่น้ำและบริเวณทะเลชายฝั่ง เช่น

Lirdwitayaprasit, Meksumpun, Rungsupa, and Furuya (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชากร *N. scintillans* ตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ถึงอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี โดยสำรวจพบ *N. scintillans* และ *C. furca* ที่ความเค็มของน้ำทะเลในช่วง 22 - 33 psu และ 12 - 27 psu ตามลำดับ โดยพบ *N. scintillans* ในบริเวณนอกชายฝั่งที่มีความลึกน้ำมากกว่า 10 เมตร ยกเว้นช่วงเวลาที่น้ำมีลมแรงจะสามารถพบ *N. scintillans* ได้ในบริเวณชายฝั่ง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการถูกพัดพาจากด้านนอกชายฝั่ง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของ *N. scintillans* จะมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่ความเข้มข้นของไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำทะเลมีค่าสูง

Loassachan, Meksumpun, Ichimi and Tada (2008) ศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยในแม่น้ำบางปะกงและปากแม่น้ำ และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยทั้งหมดบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในปี 2545 และ 2547 มีค่าอยู่ในช่วง 1.13 - 7.33 และ 0.35 - 1.91 $\mu\text{mol-P/L}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยจะมีสัดส่วนน้อยกว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 11 - 48

รัชชัย นาอุดม, อนุกุล บูรณประทีปรัตน์, กิตติยา หอมหวาน และประสาร อินทเจริญ (2013) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในเดือนมีนาคม และ สิงหาคม 2552 และพบว่าอุณหภูมิของน้ำทะเลในเดือนสิงหาคมจะมีค่าสูงกว่าเดือนมีนาคม ในส่วนของความเค็ม พบว่าความเค็มในเดือนสิงหาคมมีค่าต่ำกว่าเดือนมีนาคมซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของกระแสน้ำภายในอ่าว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสเฟตในน้ำทะเลในเดือนสิงหาคมมีค่าสูงกว่าเดือนมีนาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.42 และ 1.21 μM ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณฟอสเฟตกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แสดงให้เห็นว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชในน้ำทะเลจะมีผลต่อปริมาณของฟอสเฟตในน้ำทะเล

รพีพรรณ เจียวกีก, เศรษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ (2014) ศึกษาการแพร่กระจายและการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดเพชรบุรี พบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในช่วงฤดูมรสุมมีค่าอยู่ในช่วง 0.15 - 0.87 $\mu\text{mol-P/L}$ และมีค่าลดลงในฤดูแล้งโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.14 - 0.41 $\mu\text{mol-P/L}$ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำทั้งสองช่วงฤดูมีค่าอยู่ระหว่าง 0.63 - 5.03 $\mu\text{mol-P/L}$ โดยปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในช่วงฤดูแล้งทุกสถานีมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ซึ่งสรุปได้ว่าบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

Somsap, Gajaseni and Piumsomboon (2015) ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Chaetoceros spp.* และ *C. furca* ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์) และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคม-กันยายน) บริเวณเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี และพบว่าปริมาณ *Chaetoceros spp.* และ *C. furca* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) และฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ *Chaetoceros spp.* มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.13×10^5 cell/L ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็น 2.27×10^5 cell/L ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เช่นเดียวกับปริมาณ *C. furca* ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.08×10^3 cell/L ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็น 7.14×10^5 cell/L ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

2.4.2 การศึกษาฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่อื่น ๆ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟอสฟอรัสในพื้นที่อื่น ๆ มีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและความผันแปรของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ รวมทั้งฟอสฟอรัสในรูปแบบอื่น โดยส่วนใหญ่พบว่ารูปแบบของฟอสฟอรัสที่พบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่ โดยพื้นที่ปากแม่น้ำ หรือใกล้ชายฝั่ง รูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย และจะมีปริมาณลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นที่พบในฤดูฝนจะมากกว่าฤดูร้อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสที่พบได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ในทางตรงข้ามรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบในบริเวณที่ไกลจากชายฝั่งกลับอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย โดยตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

Fang (2004) ศึกษา รูปแบบและปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณ East China Sea ในเดือนมีนาคมปี 2001 พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง $0.05 - 3.01$ และ $0.01 - 0.54 \mu\text{M}$ โดยรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายที่พบในบริเวณชายฝั่งได้แก่ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 70 ในขณะที่รูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายที่พบที่พบในบริเวณนอกชายฝั่งกลับเป็นฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ

Huang and Zhang (2009) ศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายทั้งหมดในอ่าวฟลอริดา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $103 - 553 \text{ nM}$ โดยรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ

Van Beusekom and de Jonge (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในเชิงฤดูกาล ในบริเวณทางตอนใต้และทางเหนือของทะเล wedden ระหว่างปี 1991 - 2009 และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำจะมีค่าต่ำในช่วงฤดูหนาว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 - 0.2 μM และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 - 0.6 μM นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในฤดูหนาวมีค่าประมาณ 1 μM ซึ่งต่ำกว่าความเข้มข้นในช่วงฤดูใบไม้ผลิที่มีค่าประมาณ 0.2 μM อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในฤดูร้อน นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำกับค่าคลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงฤดูร้อน

Lin, Guo, Chen, Tong, and Lin (2012) ศึกษาปริมาณ การกระจายตัวเชิงพื้นที่ และรูปแบบของฟอสฟอรัส ในทะเล Bering และทะเล Chukchi-Beaufort โดยพบว่ารูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบในทะเล Bering ได้แก่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย โดยมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 89 และ 71 ตามลำดับ เช่นเดียวกับรูปแบบของฟอสฟอรัสที่พบในทะเล Chukchi-Beaufort ที่พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นที่พบ โดยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 82 และ 74 ตามลำดับ

Yu, Song, Li, Yuan, and Li (2012) ศึกษาการกระจายตัว แหล่งที่มา และปริมาณของสารแขวนลอย ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน บริเวณ East China Sea พบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1.527 mg/g และ 0 - 0.504 mg/g ตามลำดับ โดยรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พบได้แก่ฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 57 นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย กับความเค็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และคลอโรฟิลล์ เอ ในบริเวณชายฝั่งของเกาะ Zhoushan ซึ่งให้เห็นว่าแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรีย

Lin et al. (2013) ศึกษาพฤติกรรมของการกระจายตัวและการรวมตัวของฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำ Jiulong และพบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่พบในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.52 - 2.14 μM และจะมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.47 - 0.62 μM และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และ

ฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.12 - 4.38 และ 0.09 - 1.81 μM ตามลำดับ และจะมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น

Meng et al. (2015) ศึกษาการกระจายตัว การรวมตัวและการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสบริเวณปากแม่น้ำ Changting ในเดือนมิถุนายน ปี 2011 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.53 - 0.32 $\mu\text{mol/L}$ อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นผลมาจากการผสมกันของมวลน้ำในบริเวณปากแม่น้ำ หรือเป็นผลมาจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การดูดซึมไปใช้ประโยชน์โดยแพลงก์ตอนพืช หรือการถูกดูดซับบนสารแขวนลอย

Lin et al. (2016) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน ในอ่าว Green Bay และทะเลสาบมิชิแกน ในเดือนมิถุนายนและสิงหาคม ปี 2014 ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายที่พบตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษาได้แก่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ โดยมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 88 และ 87 ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของแพลงก์ตอนพืชที่จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำออกสู่แหล่งน้ำ ในขณะที่รูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พบตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา โดยฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยจะเป็นรูปแบบเด่นที่พบในเดือนมิถุนายน โดยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 76 แต่ในเดือนสิงหาคมกลับพบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นที่พบ โดยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 57 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พบอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ เนื่องจากพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่เก็บตัวอย่างในเดือนมิถุนายนสูงกว่าเดือนสิงหาคม เช่นเดียวกับค่าสัดส่วนระหว่างฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยและฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยทั้งหมด (PIP/TPP) ที่มีค่าเท่ากับ 0.24 ในเดือนมิถุนายน และเพิ่มเป็น 0.57 ในเดือนสิงหาคม

Duan et al. (2016) ศึกษาฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายและรูปสารแขวนลอยในพื้นที่ตอนเหนือของทะเล Yellow Sea ในเดือนกันยายน ปี 2012 พบว่ารูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายที่พบในพื้นที่ศึกษาได้แก่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 83 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 μM ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 μM นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำและคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในพื้นที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ ในส่วนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป

สารแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.23 \mu\text{M}$ โดยมีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่น มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 65

2.4.3 ความสามารถในการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต

ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญโดยเป็นปัจจัยจำกัดในการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ ซึ่งการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะศึกษาปริมาณและความผันแปรของฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสในรูปแบบดังกล่าวเป็นรูปแบบที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวน (Lin & Guo, 2016; Lin et al., 2016) อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยหลายฉบับระบุว่าแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถนำฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่มีในแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

Wang, Liang, and Kang (2011) ศึกษาความสามารถของแพลงก์ตอนพืชชนิดต่างๆ ในการนำฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมาใช้ประโยชน์ของ และพบว่า *Prorocentrum micans* และ *Chattonella marina* สามารถใช้ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำได้หลายรูปแบบ เช่น adenosine 5-triphosphate (ATP), adenosine 5-monophosphate (AMP), cytidine 5-monophosphate (CMP), guanosine 5-monophosphate (GMP), uridine 5-monophosphate (UMP) และ phosphomonoesters เช่นเดียวกับ *Alexandrium tamarense* และ *Heterosigma akashiwo* อย่างไรก็ตาม *Skeletonema costatum* สามารถใช้ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำได้เพียงบางรูปแบบเท่านั้น ซึ่งความแตกต่างนี้จะมีผลต่อการแก่งแย่งแข่งขันเพื่อเป็นแพลงก์ตอนชนิดเด่นเมื่อเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่ง (Algae bloom) ในแหล่งน้ำ

Ren, Wang, Wang, Chen, Hou, and Qian (2016) พบว่า *Trichodesmium erythraeum* ซึ่งเป็นสาหร่ายในกลุ่มของ Harmful algal bloom (HABS) สามารถใช้ฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ โดยสาหร่ายชนิดนี้จะสร้างเอนไซม์ Alkaline Phosphatase (AP) เพื่อใช้ในการย่อยฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ เมื่อแหล่งน้ำอยู่ในสภาวะขาดแคลนสารอาหาร หรือ Oligotrophic

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยในเชิงการสำรวจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสภายในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับผิวน้ำ
- 3.1.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Spectrophotometer (ยี่ห้อ PG Instruments Limited รุ่น T80 UV/Vis Spectrometer)
- 3.1.3 ตู้บลมร้อน (ยี่ห้อ JS Research รุ่น JSOF-150)
- 3.1.4 เตาเผาอุณหภูมิสูง (ยี่ห้อ Nabertherm GmbH รุ่น LE 14/11/B150)
- 3.1.5 เครื่อง Multi-parameter water quality monitor รุ่น (YSI 6600)
- 3.1.5 กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter, GF/F) ขนาด 47 มิลลิเมตร
- 3.1.6 กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter, GF/F) ขนาด 25 มิลลิเมตร
- 3.1.7 กระดาษกรองใยแก้ว (Glass microfiber filter, GF/C) ขนาด 0.45 ไมครอน
- 3.1.8 หลอดพลาสติก PPCO (Nalgene) แบบมีฝาปิด ขนาด 30 mL
- 3.1.9 ขวดแก้วสีชา (สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อใช้วิเคราะห์)
- 3.1.10 ขวดแก้วทนความร้อนสูง
- 3.1.11 เครื่องชั่งดิจิตอล
- 3.1.12 ลังน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง
- 3.1.13 ป้อมกรองตัวอย่าง
- 3.1.14 ชุดกรอง (Filter Holder)
- 3.1.15 กระบอขวด

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

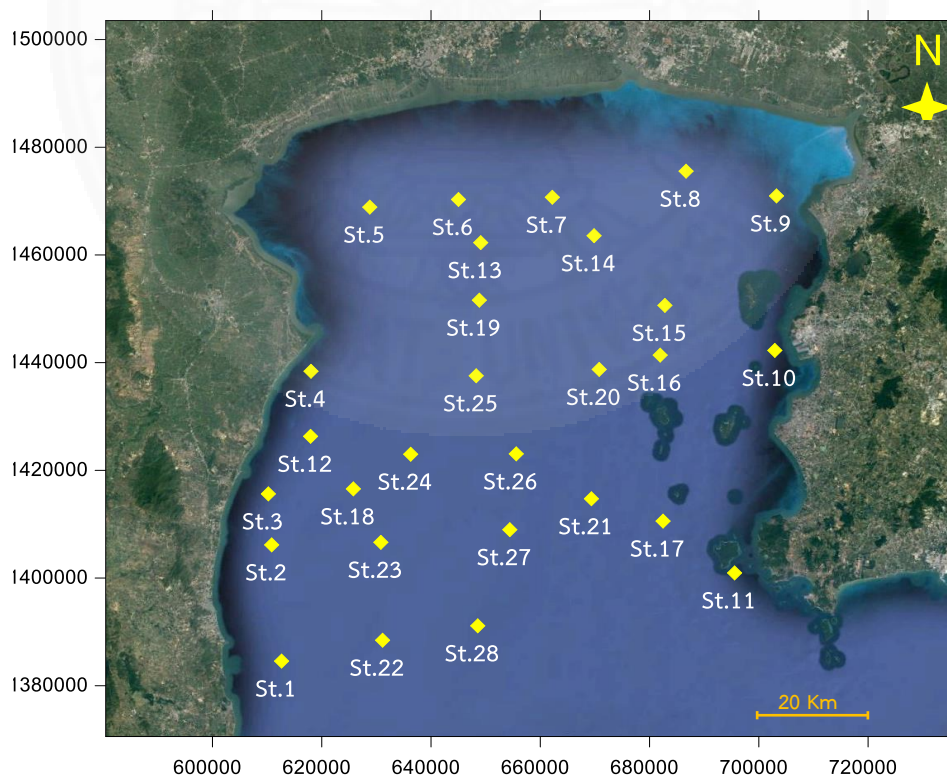
- 3.2.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl)
- 3.2.2 โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulphate; Na_2SO_4)
- 3.2.3 อะซิโตน (Acetone; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)

- 3.2.4 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulphate; $K_2S_2O_8$)
- 3.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH)
- 3.2.6 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate; KH_2PO_4)
- 3.2.7 แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate; $[NH_4]_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)
- 3.2.8 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid; H_2SO_4)
- 3.2.9 แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรท (Antimony Potassium Tartrate; $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2$)
- 3.2.10 กรดแอล-แอสคอร์บิก (L-ascorbic acid; $C_6H_8O_6$)

3.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน ด้วยเรือเกษตรศาสตร์ 1 โดยทำการเก็บ 3 ครั้ง ในเดือนเมษายน กรกฎาคม และ ธันวาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นตัวแทนของ ฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว โดยมีสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสิ้น 28 สถานี รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ ภาพที่ 3.1

3.1 ครอบคลุมพื้นที่ทะเลชายฝั่งของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และชลบุรี



ภาพที่ 3.1 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ([แผนที่], สืบค้นจาก

<https://www.google.co.th/maps/@13.1983108,100.3858643,107017m/data=!3m1!1e3>)

ตารางที่ 3.1 พิกัด ชื่อสถานี ระยะห่าง และการแบ่งกลุ่มตามระยะห่าง ของทั้ง 28 สถานี

| (E) | (N) | สถานี | ระยะห่างจากชายฝั่ง (km) | กลุ่ม |
|--------|---------|-------|-------------------------|-------|
| 612651 | 1384579 | 1 | 7.50 | 1 |
| 610837 | 1406157 | 2 | 8.33 | 1 |
| 610228 | 1415626 | 3 | 5.83 | 1 |
| 618036 | 1438402 | 4 | 3.33 | 1 |
| 628794 | 1468882 | 5 | 14.17 | 2 |
| 645029 | 1470301 | 6 | 15.00 | 2 |
| 662200 | 1470718 | 7 | 15.83 | 2 |
| 686685 | 1475557 | 8 | 11.67 | 2 |
| 703236 | 1470962 | 9 | 5.83 | 1 |
| 702930 | 1442275 | 10 | 1.67 | 1 |
| 695566 | 1400950 | 11 | 7.50 | 1 |
| 617956 | 1426323 | 12 | 8.33 | 1 |
| 649099 | 1462285 | 13 | 23.33 | 3 |
| 669847 | 1463573 | 14 | 23.33 | 3 |
| 682810 | 1450634 | 15 | 21.67 | 3 |
| 681948 | 1441398 | 16 | 22.50 | 3 |
| 682471 | 1410575 | 17 | 17.50 | 2 |
| 625786 | 1416557 | 18 | 20.83 | 3 |
| 648845 | 1451604 | 19 | 32.50 | 4 |
| 670784 | 1438746 | 20 | 39.17 | 4 |
| 669358 | 1414723 | 21 | 35.00 | 4 |
| 631140 | 1388455 | 22 | 26.67 | 3 |
| 630824 | 1406633 | 23 | 28.33 | 3 |
| 636282 | 1422993 | 24 | 27.50 | 3 |
| 648271 | 1437562 | 25 | 34.17 | 4 |
| 655601 | 1423059 | 26 | 46.67 | 4 |
| 654426 | 1408978 | 27 | 50.83 | 4 |
| 648555 | 1391124 | 28 | 45.83 | 4 |

หมายเหตุ. กลุ่มที่ 1 มีระยะห่างจากฝั่งน้อยกว่า 10 กิโลเมตร กลุ่มที่ 2 ระยะห่างจากฝั่ง 10 – 20 กิโลเมตร
กลุ่มที่ 3 ระยะห่างจากฝั่ง 20 – 30 กิโลเมตร และ กลุ่มที่ 4 ระยะห่างจากฝั่งมากกว่า 30 กิโลเมตร

3.4 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.4.1. การเก็บตัวอย่างฟอสฟอรัส

เก็บตัวอย่างน้ำที่ผิวน้ำ (ไม่เกิน 0.5 m จากผิวน้ำ) โดยใช้ถังพลาสติกที่ผ่านการล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว กรองตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter, GF/F) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่อาจตกค้าง และล้างด้วยกรด HCl เข้มข้น 1N อีกครั้งก่อนกรอง บันทึกรายการปริมาณน้ำที่กรอง นำตัวอย่างน้ำที่กรองได้เก็บในขวดแก้วสีชาที่ผ่านการแช่กรด HCl เข้มข้น 1N นาน 24 ชั่วโมงและล้างทำความสะอาด เก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมดในที่เย็น (4 °C) ระหว่างการขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะนำไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ หยตสารละลาย Na_2SO_4 เข้มข้น 0.17 M ลงบนกระดาษกรองให้ชุ่ม เพื่อตรึงฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยให้ติดบนกระดาษกรองตามวิธีการของ Suzumura et al. (2004) พับกระดาษกรองก่อนเก็บในซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่เตรียมไว้และทำซ้ำอีกครั้ง เก็บตัวอย่างกระดาษกรองทั้งหมดในที่เย็น (4 °C) ระหว่างการขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะนำไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย พร้อมกันนี้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไปในภาคสนามขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง

3.4.2 การเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

เก็บตัวอย่างน้ำที่ผิวน้ำ (ไม่เกิน 0.5 m จากผิวน้ำ) โดยใช้ถังพลาสติกที่ผ่านการล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว กรองตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass microfiber filter, GF/C) ขนาด 45 mm ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103 –105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนัก ทำการกรองน้ำตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสม บันทึกรายการปริมาณน้ำที่กรอง ล้างด้วยน้ำกลั่น พับกระดาษกรองก่อนเก็บในซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่เตรียมไว้ เก็บตัวอย่างกระดาษกรองทั้งหมดในที่เย็น (4 °C) ระหว่างการขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะนำไปตรวจวัดหาปริมาณปริมาณของแข็งแขวนลอย

3.4.4 การเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์เอ

เก็บตัวอย่างน้ำที่ผิวน้ำ (ไม่เกิน 0.5 m จากผิวน้ำ) โดยใช้ถังพลาสติกที่ผ่านการล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว กรองตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter, GF/F) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm เก็บตัวอย่างกระดาษกรองในหลอดพลาสติก แช่ในอะซิโตนเข้มข้น 90% ปริมาตร 5 mL เก็บตัวอย่างในสภาพปราศจากแสงและเย็น (4 °C) ระหว่างการขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ

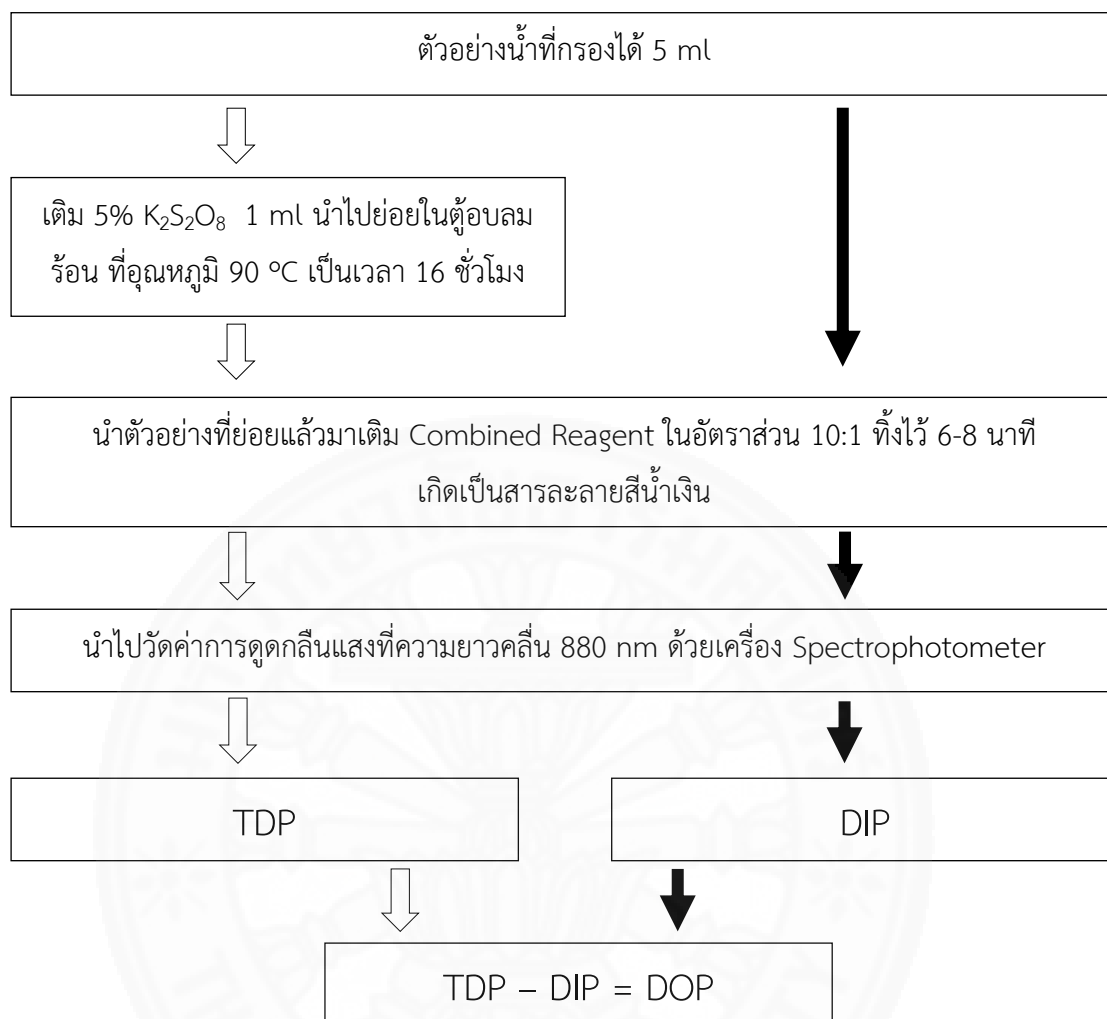
3.5 การตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไป

ตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไปในจุดที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำ โดยตรวจวัดอุณหภูมิ (°C) ความเค็ม (psu) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องตรวจวัดภาคสนาม Multi-parameter water quality monitor รุ่น (YSI 6600)

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำ

วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายทั้งหมด (Total Dissolved Phosphorus; TDP) ในตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธีการย่อยด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่อุณหภูมิต่ำ ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Huang and Zhang (2009) โดยตวงตัวอย่างน้ำ 5 mL ใส่ในหลอดพลาสติก PPCO (Nalgene) แบบมีฝาปิด ขนาด 30 mL เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 5% 1 mL ปิดฝาให้แน่นก่อนนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 16 ชั่วโมง โดยใช้ตุ๋นบลูร้อน สารฟอสฟอรัสอินทรีย์น้ำในตัวอย่างน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นสารฟอสฟอรัสอินทรีย์ทั้งตัวอย่างที่ย่อยเรียบร้อยแล้วให้เย็น จากนั้นนำไปวัดหาปริมาณฟอสเฟตตามวิธีการของ Murphy and Riley (1962) และ Parsons, Maita, and Lalli (1984) โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วเติม Combined Reagent ในอัตราส่วน 10:1 ทิ้งไว้ 6-8 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ สามารถวัดโดยวิธีการเดียวกันได้โดยตรงไม่ต้องนำไปย่อย ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายทั้งหมด และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ (ภาพที่ 3.2)

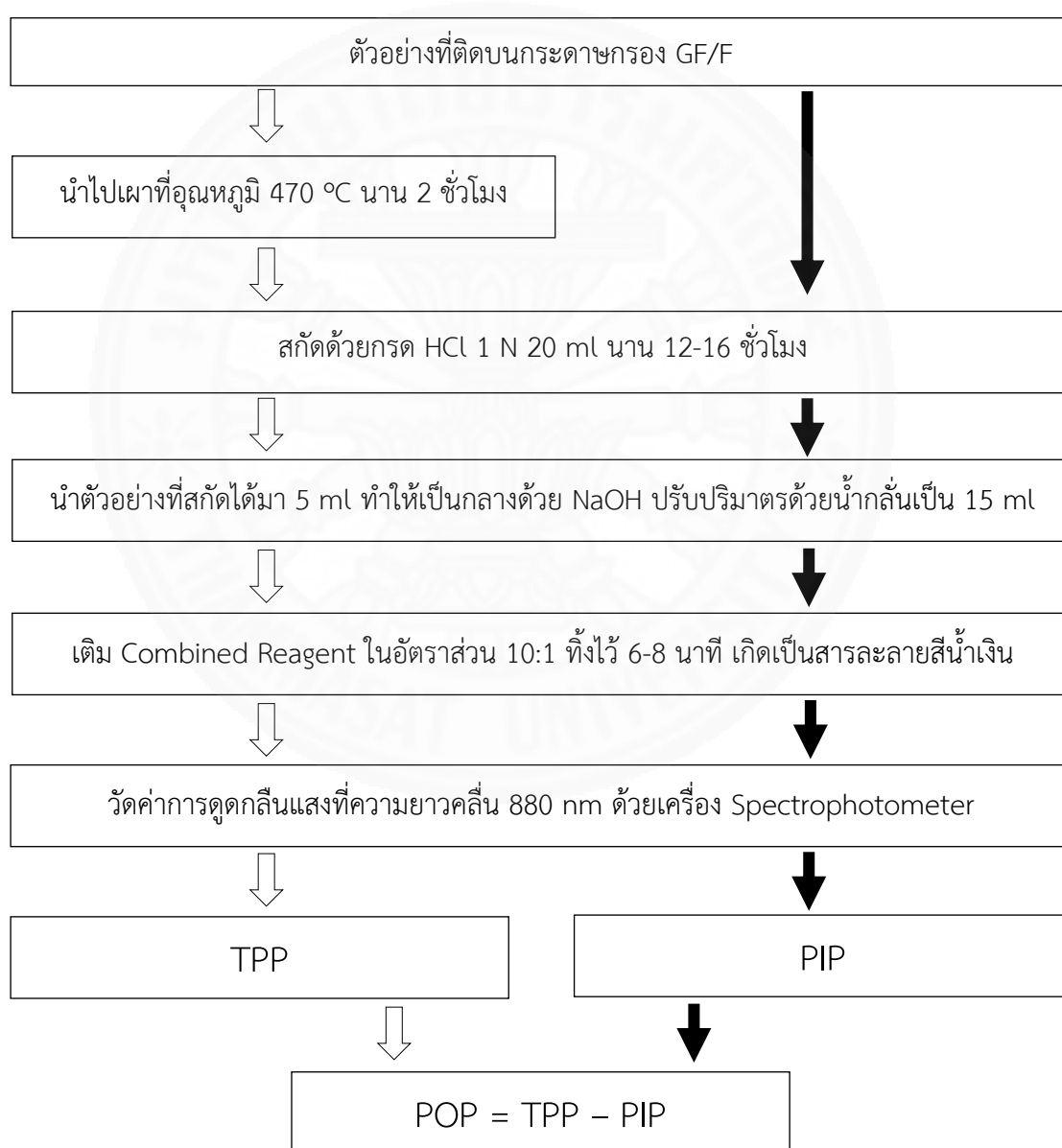


ภาพที่ 3.2 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสแขวนลอย

วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Particulate Phosphorus; TPP) ในตัวอย่างน้ำ โดยนำกระดาษกรองแผ่นแรกใส่ในขวดแก้วทนความร้อนสูงและเผาที่อุณหภูมิ 470 °C นาน 2 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนสารฟอสฟอรัสอินทรีย์ในสารแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองเป็นสารฟอสฟอรัสอนินทรีย์ ทั้งตัวอย่างให้เย็นก่อนนำไปสกัดโดยเติมกรด HCl เข้มข้น 1 N ปริมาตร 20 mL ทิ้งไว้ นาน 12 - 16 ชั่วโมง ตามวิธีการของ Aspila, Agemian and Chau (1976); Loassachan et al. (2014); Loh and Bauer (2000); Suzumura et al. (2004) นำสารละลายที่สกัดได้ไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7 ด้วย NaOH เข้มข้น 1 M และนำไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟตตามวิธีการของ Murphy and Riley (1962)

และ Parsons, Maita, and Lalli (1984) โดยนำตัวอย่างที่สกัดได้ ผ่านการย่อยแล้ว เติม Combined Reagent ในอัตราส่วน 10:1 ทิ้งไว้ 6-8 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer พอสเฟดตามวิธีการของ Murphy and Riley (1962) และ Parsons et al. (1984) ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยสามารถวัดโดยวิธีการเดียวกันโดยไม่ต้องนำไปเผา ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยทั้งหมด และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

นำตัวอย่างกระดาษกรองที่มีของแข็งแขวนลอยติดค้างอยู่ไปทำให้แห้ง โดยการอบที่อุณหภูมิ 103 -105 °C จนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งหาน้ำหนักของกระดาษกรองอีกครั้ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณของแข็งแขวนลอยต่อปริมาตรตัวอย่างน้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) คำนวณหาปริมาณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ตามสูตร

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็งแขวนลอย (g)} - \text{น้ำหนักกระดาษกรอง (g)}}{\text{ปริมาตร (mL)}} \times 10^6$$

3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

นำตัวอย่างกระดาษกรองไปวิเคราะห์หาค่าคลอโรฟิลล์ เอ โดยวิธี Spectrophotometric method ที่ดัดแปลงจากวิธีการวิเคราะห์ของ Parson, Takahashi, and Hargrane (1997) โดยนำหลอดที่มีกระดาษกรองที่แช่ในอะซิโตนเข้มข้น 90% นาน 24 ชั่วโมง ใส่ในเครื่อง Ultrasonic Sonicator เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เซลล์ของแพลงก์ตอนแตกอย่างสมบูรณ์ นำไปทำให้ตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที นาน 10 นาที ดูดสารละลายส่วนที่ใสและนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ก่อนนำไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ตามสมการ

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/L)} = 11.85 E_{664} - 1.54 E_{647} - 0.08 E_{630}$$

หมายเหตุ. E_{664} E_{647} และ E_{630} คือ ค่าความยาวคลื่นที่ 664 647 และ 630 นาโนเมตร ค่าที่ปรับแก้ด้วยค่าความยาวคลื่นที่ 750 แล้ว

$$\text{chlorophyll a (mg / m}^3\text{)} = \frac{\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/L)} - \text{ปริมาตรอะซิโตนที่ใช้ในการสกัด (ml)}}{\text{ปริมาตรน้ำทะเลที่กรอง (L)} \times 10}$$

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงฤดูกาลและเชิงพื้นที่ของข้อมูลโดยใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Minitab 14 ทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) แบบ Tukey's Honestly Difference ด้วย Minitab 14 และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสกับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2016



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 คุณภาพน้ำทั่วไป

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทั่วไป ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และคลอโรฟิลล์ เอ ภายในอ่าวไทยตอนใน 28 สถานี ทั้ง 3 ช่วงการเก็บตัวอย่างมีรายละเอียดดังนี้

อุณหภูมิ

อุณหภูมิน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในมีค่าสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.9 ± 0.4 °C (ค่าต่ำสุด 30.2 และค่าสูงสุด 31.6 °C) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.8 ± 0.5 °C (ค่าต่ำสุด 28.6 และค่าสูงสุด 30.6 °C) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.9 ± 0.5 °C (ค่าต่ำสุด 25.0 และค่าสูงสุด 26.9 °C) โดยค่าที่ตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับผลการศึกษาของสำนักเทคโนโลยีธรณี (2555) ที่ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในและพบว่าอุณหภูมิน้ำทะเลมีค่าสูงในฤดูร้อนและลดลงในฤดูหนาวโดยมีค่าอยู่ในช่วง 25 - 33 °C

ความเค็ม

ความเค็มน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในมีค่าสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูฝน โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.5 ± 0.7 psu (ค่าต่ำสุด 30.4 และค่าสูงสุด 33.3 psu) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 ± 4.6 psu (ค่าต่ำสุด 16.5 และค่าสูงสุด 34.0 psu) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.7 ± 1.2 psu (ค่าต่ำสุด 27.7 และค่าสูงสุด 32.9 psu) โดยการเปลี่ยนแปลงของความเค็มที่พบเป็นผลมาจากปริมาณจืดที่ไหลลงสู่พื้นที่อ่าวไทยที่จะมีมากในช่วงฤดูฝน โดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2556) ระบุว่าความเค็มของน้ำทะเลปกติจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 35 ppt แต่ค่าความเค็มจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ปริมาณน้ำฟ้า อัตราการระเหย ตำแหน่งที่ตั้ง และระยะทางที่ห่างจากปากแม่น้ำหรือชายฝั่ง

DO

ปริมาณ DO ของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในทั้งในฤดูร้อน ฝน และหนาว มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่กำหนดค่า DO ในน้ำทะเลต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 4.0 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.3 ± 0.8 mg/L (ค่าต่ำสุด 5.3 และค่าสูงสุด 8.2 mg/L) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 ± 0.7 mg/L (ค่าต่ำสุด 5.7 และค่าสูงสุด 8.7 mg/L) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.1 ± 0.8 mg/L (ค่าต่ำสุด 6.2 และค่าสูงสุด 9.3 mg/L)

pH

ค่า pH ของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในทั้งในฤดูร้อน ฝน และหนาวส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่กำหนดค่า pH ในน้ำทะเลต้องมีค่าอยู่ในช่วง 7.0 -8.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) โดยในฤดูร้อนค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 7.4 – 9.3 ในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 8.0 – 8.6 และในฤดูหนาวมีค่าอยู่ในช่วง 8.0 – 8.3 โดยสาเหตุที่ค่า pH บางพื้นที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานฯ ที่กำหนดอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณนั้น ซึ่งกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2556) ระบุว่าค่า pH ของน้ำทะเลส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 8.0 แต่ค่า pH ของน้ำทะเลอาจมีค่าสูงขึ้นได้หากในบริเวณนั้นมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูง ซึ่งส่งผลทำให้มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงสูง

TSS

ค่า TSS ของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในทั้งในฤดูร้อน และฝนมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า TSS ในฤดูหนาวมีค่าต่ำที่สุด โดยในฤดูร้อน และฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.4 mg/L (ค่าต่ำสุด 1.5 และค่าสูงสุด 35.6 mg/L) และ 11.1 mg/L (ค่าต่ำสุด 1.3 และค่าสูงสุด 33.6 mg/L) ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 mg/L (ค่าต่ำสุด 1.0 และค่าสูงสุด 28.9 mg/L)

คลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในทั้งในฤดูร้อน ฝน และหนาวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 µg/L (ค่าต่ำสุด 0.1 และค่าสูงสุด 14.6 µg/L) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.9 µg/L (ค่าต่ำสุด 0.2 และค่าสูงสุด 9.1 µg/L) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 µg/L (ค่าต่ำสุด 0.3 และค่าสูงสุด 24.7 µg/L)

โดยรายละเอียดของค่าอุณหภูมิ ความเค็ม DO pH TSS และคลอโรฟิลล์ เอ ที่ตรวจวัดได้แยกตามสถานีเก็บตัวอย่างและช่วงเวลา แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.

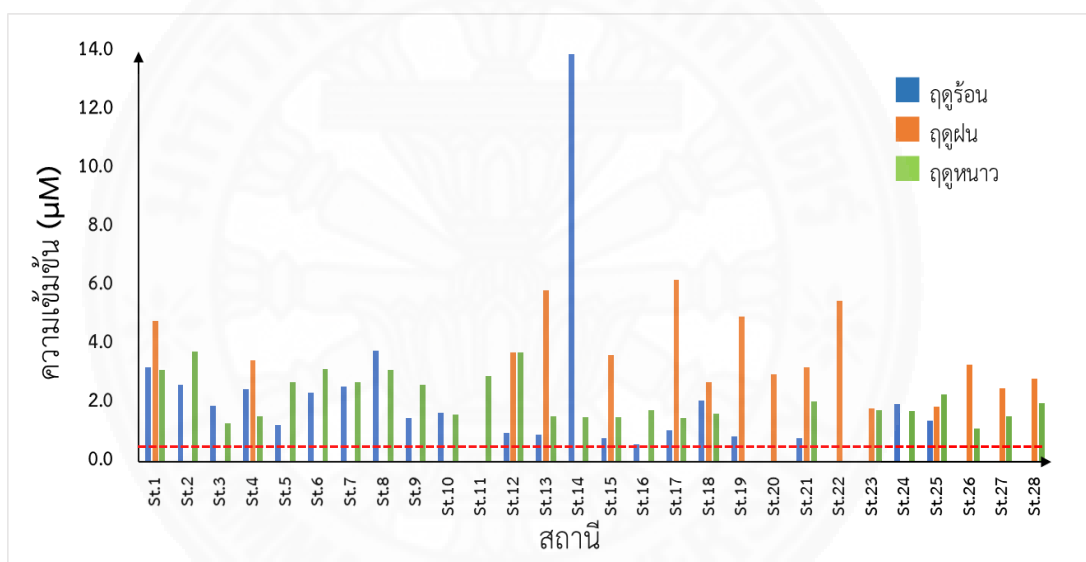
4.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

4.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสรวม

ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย + ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย) ของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูฝน ในขณะที่ฤดูร้อนและหนาวมีค่าต่ำกว่า โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.326 µM (ค่าต่ำสุด 0.613 และค่าสูงสุด 13.926 µM) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.717 µM (ค่าต่ำสุด 1.835 และค่าสูงสุด 6.199 µM) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.177 µM (ค่าต่ำสุด 1.122 และค่าสูงสุด 3.765 µM) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่พบสอดคล้องกับการศึกษาของรัชชัย นาอูตม และคณะ (2556)

ที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในเดือนมีนาคม และ สิงหาคม 2552 และพบว่าปริมาณฟอสเฟตในน้ำทะเลที่เก็บตัวอย่างในเดือนสิงหาคมซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝน มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บในเดือนมีนาคมซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน

ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนบน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน Environmental standards relating to the conservation of the living environment of the sea areas ของประเทศญี่ปุ่น พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมในอ่าวไทยตอนบนที่พบบางส่วนมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ ที่ต้องมีค่าไม่เกินกว่า $0.645 \mu\text{M}$ (International EMECS Center, 2008)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนบน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ----- เส้นประแสดงค่ามาตรฐาน Environmental standards relating to the conservation of the living environment of the sea areas ของประเทศญี่ปุ่น

4.2.2 ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนบนส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูฝน ในขณะที่ฤดูร้อนและหนาวมีค่าต่ำกว่า (ภาพที่ 4.2) โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.756 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.001 และค่าสูงสุด $3.983 \mu\text{M}$) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.218 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.188 และค่าสูงสุด $5.057 \mu\text{M}$) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.201 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.572 และค่าสูงสุด $1.904 \mu\text{M}$) ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในรูปแบบสารละลาย

ที่พบบางช่วงเวลามีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Winterkorn and Jaiboon (2014) ศึกษาพลวัตของสารอาหารในอ่าวไทยตอนใน ในเดือนตุลาคม ปี 2011 และกุมภาพันธ์ ปี 2012 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปแบบสารละลายในตัวอย่างน้ำทะเลในเดือนตุลาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.68 \mu\text{M}$ และในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.04 \mu\text{M}$

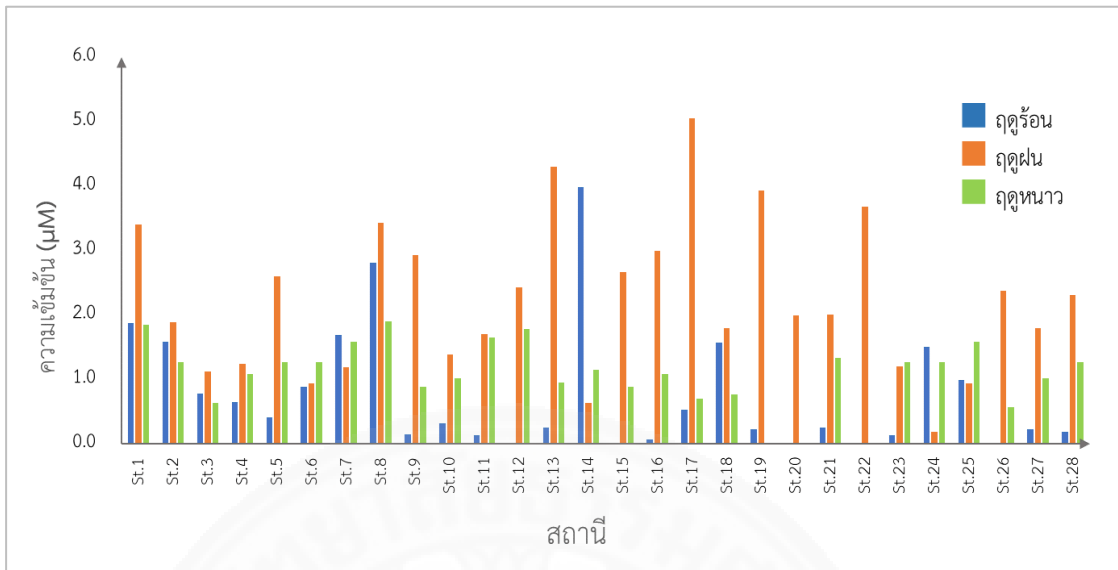
ตารางที่ 4.1 ปริมาณ TDP DIP และ DOP ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม(ฤดูหนาว)

| | เดือนเมษายน (ช่วงฤดูร้อน) | | | เดือนกรกฎาคม (ช่วงฤดูฝน) | | | เดือนธันวาคม (ช่วงฤดูหนาว) | | |
|------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) |
| Min | 0.001 | 0.001 | n.d. | 0.188 | 0.107 | 0.029 | 0.572 | n.d. | 0.254 |
| Max | 3.983 | 1.482 | 2.706 | 5.057 | 1.376 | 4.897 | 1.904 | 0.582 | 1.681 |
| เฉลี่ย | 0.756 | 0.159 | 0.597 | 2.218 | 0.305 | 1.913 | 1.201 | 0.190 | 1.011 |
| \pm S.D. | ± 0.96 | ± 0.28 | ± 0.77 | ± 1.18 | ± 0.26 | ± 1.16 | ± 0.37 | ± 0.15 | ± 0.40 |

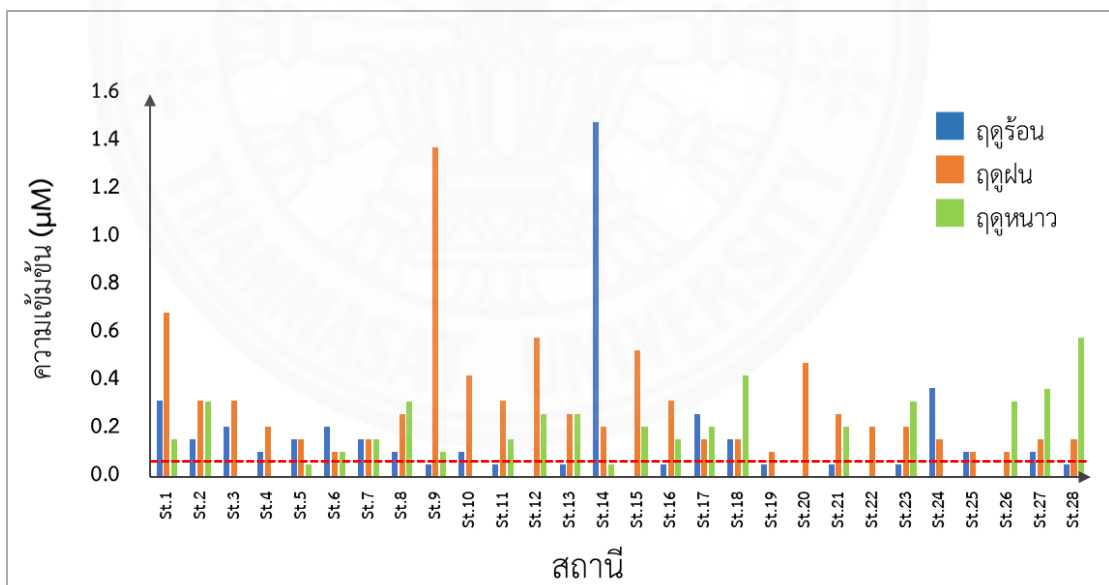
4.2.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ

ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูฝน ในขณะที่ฤดูร้อนและหนาวมีค่าต่ำกว่า โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.159 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.001 และค่าสูงสุด $1.482 \mu\text{M}$) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.305 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.107 และค่าสูงสุด $1.376 \mu\text{M}$) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.190 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด n.d. และค่าสูงสุด $0.582 \mu\text{M}$) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสในรูปแบบสารละลายที่พบมีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Wattayakorn and Jaiboon (2014) ศึกษาพลวัตของสารอาหารในอ่าวไทยตอนใน ในเดือนตุลาคม ปี 2011 และกุมภาพันธ์ ปี 2012 พบว่าปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำทะเลในเดือนตุลาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.46 \mu\text{M}$ และในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.55 \mu\text{M}$

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว (ภาพที่ 4.3) กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมในอ่าวไทยตอนในที่พบในบางสถานีมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่กำหนดไว้เพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ ที่ต้องมีค่าไม่เกินกว่า $0.5 \mu\text{M}$ (มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล, 2560)



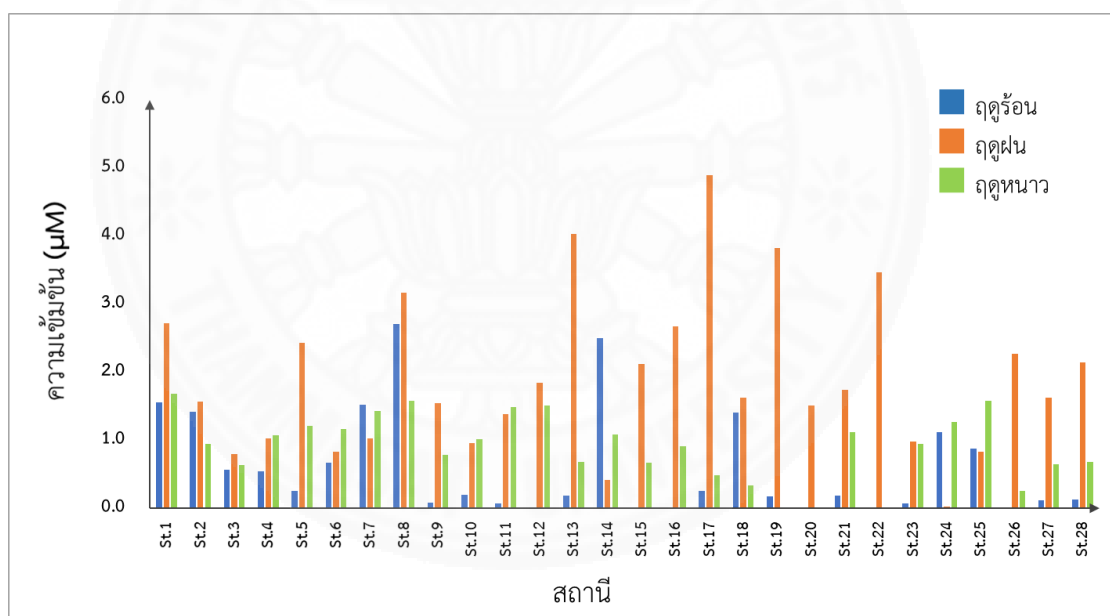
ภาพที่ 4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤตุร้อน ฤตุฝน และฤตุหนาว



ภาพที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤตุร้อน ฤตุฝน และฤตุหนาว ----- เส้นประแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ

4.2.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ

ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำของน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูฝนเช่นเดียวกับฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ ในขณะที่ฤดูร้อนและหนาวมีค่าต่ำกว่า (ภาพที่ 4.4) โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.597 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด n.d. และค่าสูงสุด $2.706 \mu\text{M}$) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.913 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.029 และค่าสูงสุด $4.897 \mu\text{M}$) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.011 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.254 และค่าสูงสุด $1.681 \mu\text{M}$) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลายที่พบมีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Wattayakorn and Jaiboon (2014) ศึกษาพลวัตของสารอาหารในอ่าวไทยตอนใน ในเดือนตุลาคม ปี 2011 และกุมภาพันธ์ ปี 2012 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำทะเลในเดือนตุลาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.22 \mu\text{M}$ และในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.49 \mu\text{M}$ โดยมีค่าสูงในเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและมีค่าต่ำในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนคล้ายกับผลการวิจัยที่พบในครั้งนี้



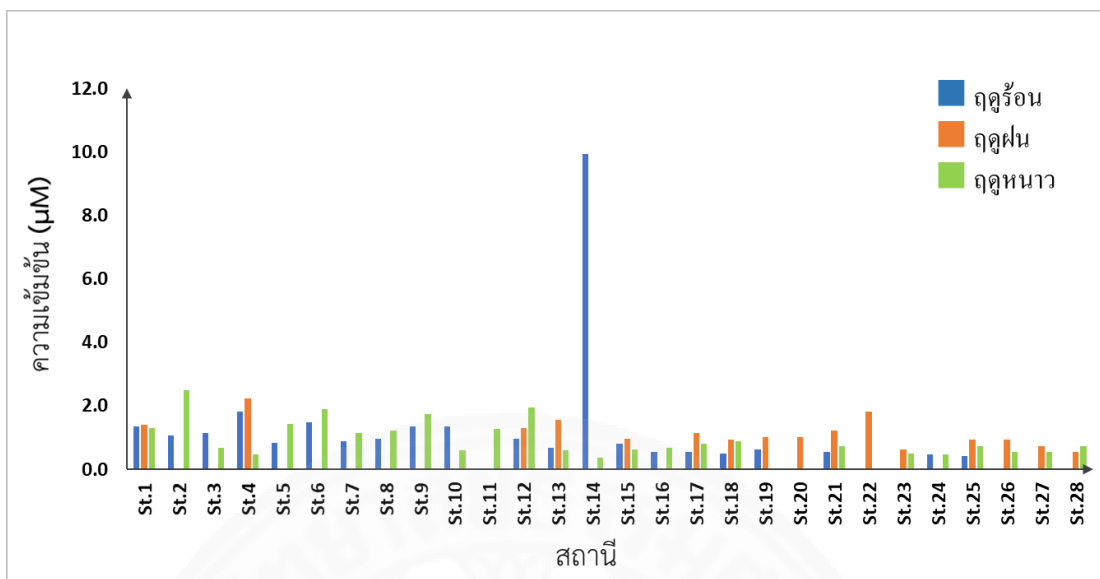
ภาพที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

4.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยในน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูร้อน ในขณะที่ฤดูฝนและหนาวมีค่าต่ำกว่า มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5 โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.350 μM (ค่าต่ำสุด 0.424 และค่าสูงสุด 9.943 μM) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.149 μM (ค่าต่ำสุด 0.551 และค่าสูงสุด 2.222 μM) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.976 μM (ค่าต่ำสุด 0.380 และค่าสูงสุด 2.495 μM) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยภายในอ่าวไทยใกล้เคียงการวิจัยของ Loassachan et al. (2008) ศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยปากแม่น้ำบางปะกง ในปี 2545 และ 2547 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 1.13 - 7.33 และ 0.35 - 1.91 $\mu\text{mol-P/L}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ TPP PIP และ POP ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว)

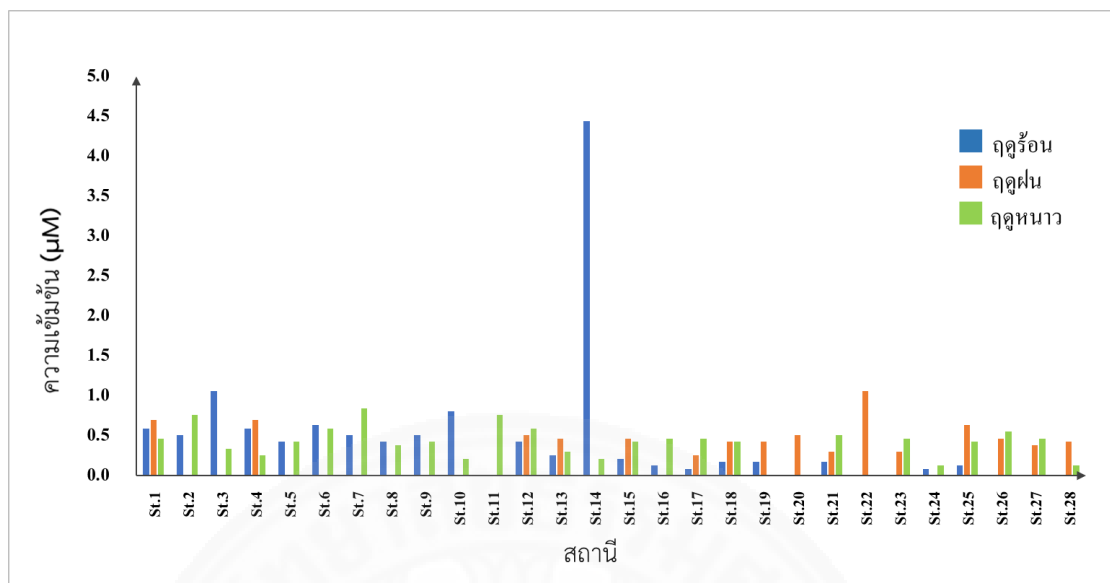
| | เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) | | | เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) | | | เดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) | | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | TPP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) | TPP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) | TPP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) |
| Min | 0.424 | 0.085 | 0.085 | 0.551 | 0.254 | 0.127 | 0.380 | 0.127 | n.d. |
| Max | 9.943 | 4.443 | 5.500 | 2.222 | 1.056 | 1.523 | 2.495 | 0.845 | 1.735 |
| เฉลี่ย | 1.350 | 0.587 | 0.764 | 1.149 | 0.500 | 0.649 | 0.976 | 0.440 | 0.536 |
| ± S.D. | ± 2.01 | ± 0.92 | ± 1.11 | ± 0.44 | ± 0.20 | ± 0.35 | ± 0.56 | ± 0.18 | ± 0.47 |



ภาพที่ 4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวน้ำ ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤตุร้อน ฤตุฝน และฤตุหนาว

4.2.3.1 ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย

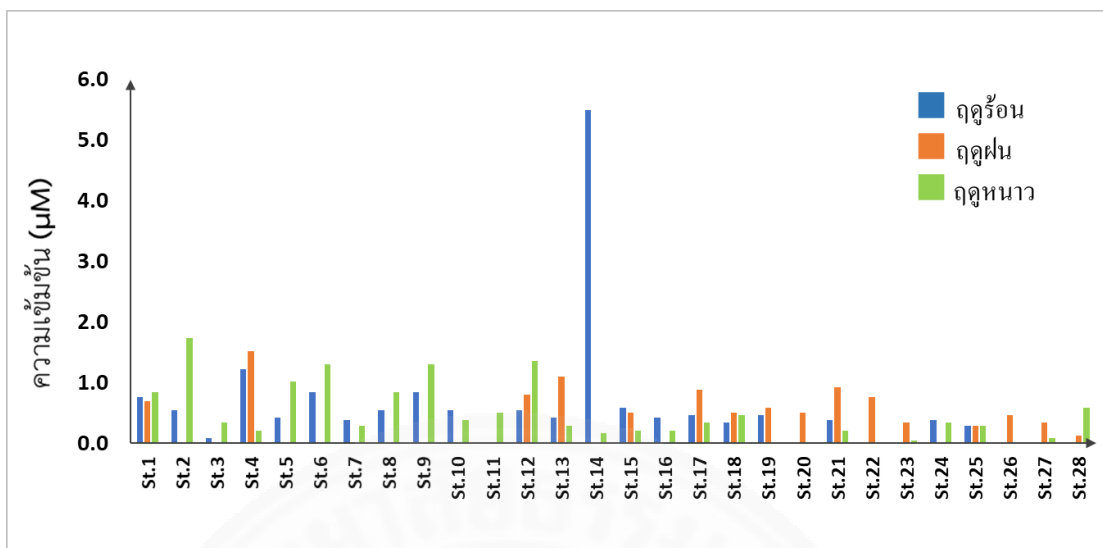
ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอยในน้ำทะเลที่ผิวน้ำภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤตุร้อน ในขณะที่ฤตุฝนและหนาวมีค่าต่ำกว่า (ภาพที่ 4.6) โดยในฤตุร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.587 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.085 และค่าสูงสุด $4.443 \mu\text{M}$) ในฤตุฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.500 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.254 และค่าสูงสุด $1.056 \mu\text{M}$) และในฤตุหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.440 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.127 และค่าสูงสุด $0.845 \mu\text{M}$) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอยภายในอ่าวไทยใกล้เคียงการวิจัยของ Lin et al. (2013) ศึกษาพฤติกรรมและการกระจายตัวและการรวมตัวของฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำ Jiulong พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $0.12 - 4.38 \mu\text{M}$ แต่มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Duan et al. (2016) ศึกษาฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายและรูปสารแขวนลอย บริเวณ North Yellow Sea ในเดือนกันยายน ปี 2012 พบว่าฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.23 \mu\text{M}$



ภาพที่ 4.6 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

4.2.3.2 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย

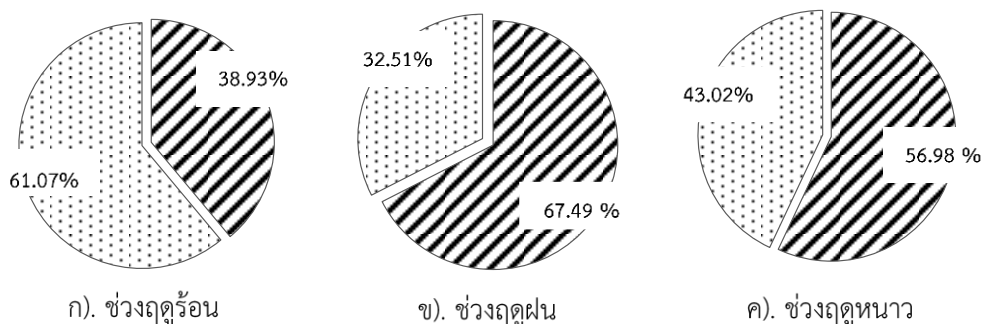
ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในน้ำทะเลที่ผิวหน้าภายในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่มีค่าสูงในฤดูร้อน ในขณะที่ฤดูฝนและหนาวมีค่าต่ำกว่า (ภาพที่ 4.7) โดยในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.764 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.085 และค่าสูงสุด $5.500 \mu\text{M}$) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.649 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด 0.127 และค่าสูงสุด $1.523 \mu\text{M}$) และในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.536 \mu\text{M}$ (ค่าต่ำสุด n.d. และค่าสูงสุด $1.735 \mu\text{M}$) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยภายในอ่าวไทยมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lin et al. (2013) ที่ศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวและการรวมตัวของฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำ Jiulong พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $0.09 - 1.81 \mu\text{M}$





ภาพที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบในน้ำทะเลที่ผิวหน้า ตามสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยตอนใน ในฤดูแล้ง ฤดูฝน และฤดูหนาว

4.2.4 รูปแบบฟอสฟอรัสรวม

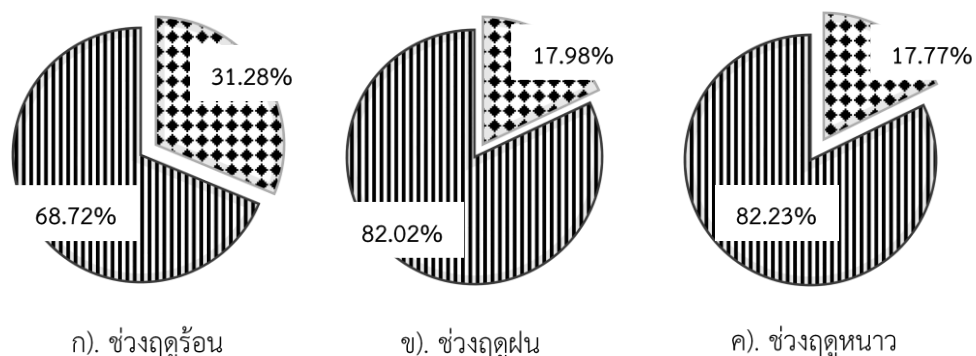
รูปแบบฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนในมีความผันแปรตามช่วงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 4.8 โดยในฤดูแล้งรูปแบบเด่นที่พบคือ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยโดยมีปริมาณร้อยละ 61.07 ซึ่งมากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายที่มีปริมาณเพียงร้อยละ 38.93 ส่วนในฤดูฝนและฤดูหนาวรูปแบบเด่นที่พบคือฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายคิดเป็นร้อยละ 67.49 และ 56.98 มากกว่าฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย คิดเป็นร้อยละ 32.51 และ 43.02 ตามลำดับ โดยรูปแบบของฟอสฟอรัสในอ่าวไทยตอนในที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin et al. (2012) ศึกษาในทะเล Bering และทะเล Chukchi-Beaufort พบว่าฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายมีแหล่งกำเนิดจากแม่น้ำทำให้พบเป็นรูปแบบเด่นในช่วงฤดูฝน ส่วนรูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยส่วนใหญ่ที่พบจะถูกผลิตจากกิจกรรมของแพลงก์ตอนพืช





ภาพที่ 4.8 สัดส่วนร้อยละ TDP/TP และ TPP/TP ที่ตรวจพบในอ่าวไทยตอนใน
 ก). ช่วงฤดูร้อน ข). ช่วงฤดูฝน และ ค). ช่วงฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วนร้อยละ TDP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ TPP ต่อปริมาณ TP)

4.2.4.1 รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

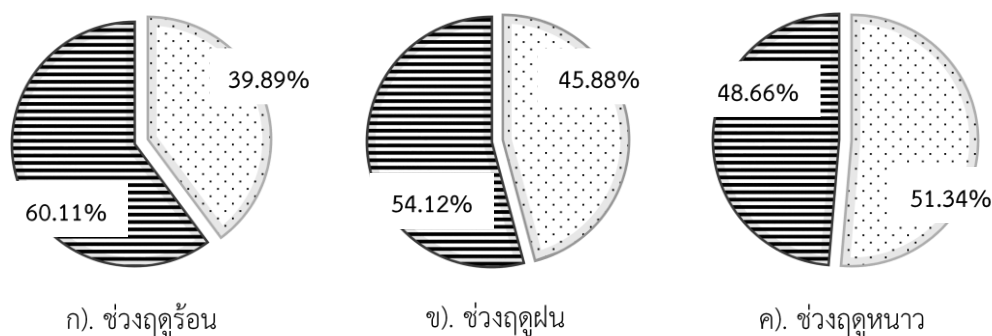
รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายมีความผันแปรไปตามฤดูกาลที่เก็บตัวอย่าง โดยในฤดูร้อนรูปแบบเด่นที่พบคือ ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำโดยมีปริมาณร้อยละ 68.72 โดยสัดส่วนที่พบมีค่าไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lin et al. (2016) ที่ศึกษาในอ่าว Green Bay พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่น มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 88 ในขณะที่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 31.28 ส่วนในฤดูฝนรูปแบบเด่นที่พบคือฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำคิดเป็นร้อยละ 82.02 ส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 17.98 ส่วนในฤดูหนาวรูปแบบเด่นที่พบคือฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเช่นเดียวกัน โดยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 82.23 ส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 17.77 ดังแสดงในภาพที่ 4.9 โดยในภาพรวมสัดส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในฤดูฝนและฤดูหนาวมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Duan et al. (2016) ศึกษาทางตอนเหนือของ Yellow Sea พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่น มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 83 และงานวิจัยของ Lin et al. (2016) ศึกษาในอ่าว Green Bay พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่นคิดเป็นร้อยละ 87 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแพลงก์ตอนพืชมีการนำฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโต และปลดปล่อยฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำออกสู่มวลน้ำทำให้พบฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน





ภาพที่ 4.9 สัดส่วนร้อยละ DIP/TDP และ DOP/TDP ที่ตรวจพบในอ่าวไทยตอนใน ก). ช่วงฤดูร้อน ข). ช่วงฤดูฝน และ ค). ช่วงฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วนร้อยละ DIP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ DOP ต่อปริมาณ TDP)

4.2.4.2 รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

รูปแบบฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยมีความผันแปรไปตามฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างพบว่า ในฤดูร้อนมีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นคิดเป็นร้อยละ 60.11 โดยสัดส่วนที่พบมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lin et al. (2016) ศึกษาในอ่าว Green Bay ทะเลสาบมิชิแกน พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นในช่วงฤดูร้อน คิดเป็นร้อยละ 76 ส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 39.89 ในฤดูฝนมีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นคิดเป็นร้อยละ 54.12 เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 45.88 ต่างจากฤดูหนาวมีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นคิดเป็นร้อยละ 51.34 ผลการวิจัยที่ได้จะเห็นได้ว่าในฤดูร้อนและฤดูฝนรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยต่างจากหลายงานวิจัยที่พบว่า ฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นของฟอสฟอรัสแขวนลอย โดยปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบอาจเป็นผลมาจากแพลงก์ตอนพืช (Yu et al., 2012) ส่วนในฤดูหนาวฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่นที่พบอาจเป็นผลมาจากสภาพอากาศในขณะเก็บตัวอย่างที่มีฝนตกหนักและคลื่นลมแรง (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561) สัดส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบอาจมาจากการไหลเข้าของแม่น้ำและพื้นที่ชายฝั่ง (Lin et al., 2013)



ภาพที่ 4.10 สัดส่วนร้อยละ PIP/TPP และ POP/TPP ที่ตรวจวัดได้ในอ่าวไทยตอนใน
 ก). ช่วงฤดูร้อน ข). ช่วงฤดูฝน และ ค). ช่วงฤดูหนาว ตามลำดับ (โดย  แทนสัดส่วนร้อยละ PIP และ  แทนสัดส่วนร้อยละ POP ต่อปริมาณ TPP)

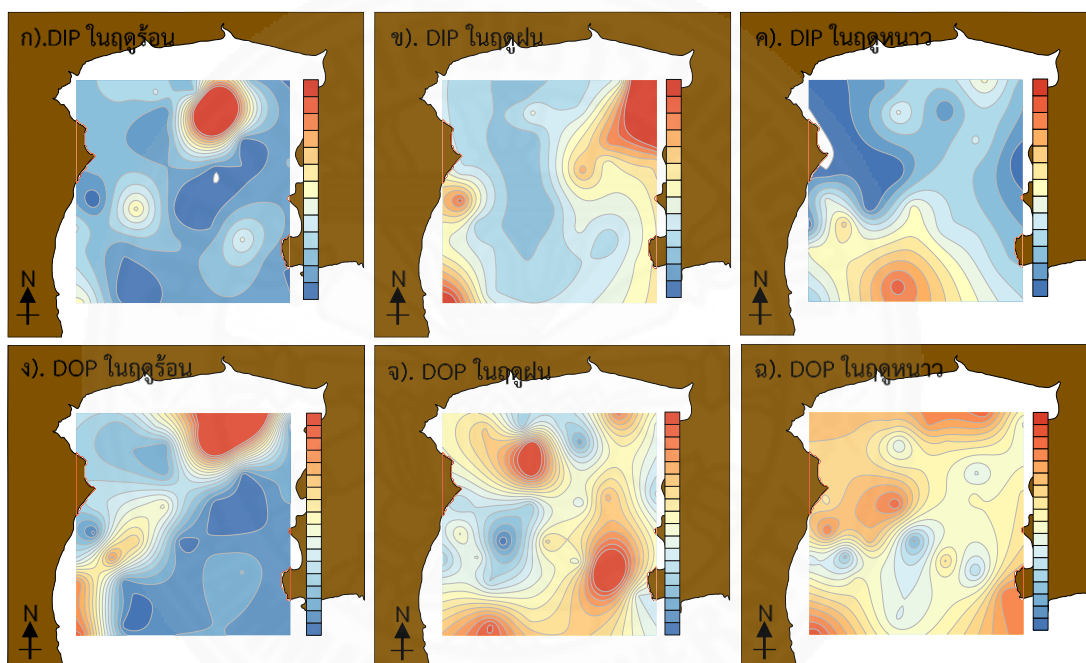
ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสในบริเวณอ่าวไทยตอนใน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและสัดส่วนของฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่าง สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการบ่งชี้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของอ่าวไทยตอนใน การจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำ และใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัสในบริเวณอ่าวไทยตอนใน นอกจากนี้ข้อมูลฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่ตรวจพบยังเป็นประโยชน์ต่อการคาดการณ์บทบาทของฟอสฟอรัสในรูปแบบดังกล่าวในระบบนิเวศ เนื่องจาก Huang (1999); Ren et al. (2016) ศึกษาวิจัยพบว่าแพลงก์ตอนพืชบางชนิด เช่น *Trichodesmium erythraeum* สามารถสร้างเอนไซม์ Alkaline Phosphatase (AP) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำให้เป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic)

4.3 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัส

4.3.1 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.11 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ ที่พบในฤดูร้อนมีค่าสูงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือใกล้กับบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกง ซึ่งในช่วงที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้คลื่นลมภายในอ่าวไทยค่อนข้างสงบ อิทธิพลจากแม่น้ำมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบ ส่วนในฤดูฝนพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์

ละลายน้ำและปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีค่าสูงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาบริเวณใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่ส่งผลให้กระแสน้ำมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา และในฤดูหนาวปริมาณปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ พบว่ามีค่าสูงทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวไทยตอนใน อาจเป็นผลมาจากการไหลของกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาเนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งความผันแปรดังกล่าวต่างจากความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งมีค่าสูงในหลายพื้นที่ตามแนวชายฝั่งและมีทิศทางที่ไม่แน่นอน



หมายเหตุ. สีแดงคือ ความเข้มข้นสูง และ สีน้ำเงินคือ ความเข้มข้นต่ำ โดยมีความต่างระหว่างเส้นชั้นแนวระดับของ DIP และ DOP เท่ากับ 0.05 และ 0.1 μM ตามลำดับ

ภาพที่ 4.11 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณ DIP ที่พบใน ก).ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ ค). ฤดูหนาว และปริมาณ DOP ที่พบใน ง).ฤดูร้อน จ). ฤดูฝน และ ฉ). ฤดูหนาว ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

4.3.1.1 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำพบว่าในฤดูร้อนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.500$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.127 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.180 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.272 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.054 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.021$) โดยความเข้มข้นเฉลี่ยในกลุ่มที่ 1 แตกต่างจากความเข้มข้นเฉลี่ยในกลุ่มที่ 2 3 และ 4 โดยในกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.530 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.170 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.258 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.197 \mu\text{M}$ และในฤดูหนาวความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.779$) กลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.126 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.169 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.178 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.211 \mu\text{M}$ ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสถานีไกลชายฝั่ง (ตารางที่ 4.3) อาจจะมาจากการปลดปล่อยฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำจากฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย Huang and Zhang (2009) พบว่า “phosphorus buffering” ซึ่งเป็นกลไกการรักษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำ ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มหรือการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยจากพื้นผิวของสารแขวนลอยออกสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจากจากฤดูฝนปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงในสถานีไกลจากชายฝั่ง สอดคล้องกับงานวิจัย Lin et al. (2013) และ Meng et al. (2015) ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าสูงบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่ง และมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลเข้าของแม่น้ำบริเวณชายฝั่ง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณ DIP และ DOP ในแต่ละกลุ่ม บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน

| กลุ่มที่ | เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) | | เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) | | เดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) | |
|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | DIP (μM) | DOP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) |
| 1 (< 10 m) | 0.127 | 0.558 | 0.530 | 1.482 | 0.126 | 1.144 |
| 2 (10 - 20 m) | 0.180 | 1.084 | 0.170 | 2.473 | 0.169 | 1.176 |
| 3 (20 - 30 m) | 0.272 | 0.665 | 0.258 | 1.922 | 0.178 | 0.848 |
| 4 (> 30 m) | 0.054 | 0.215 | 0.197 | 1.993 | 0.211 | 0.859 |
| P-value | 0.500 | 0.288 | 0.021* | 0.535 | 0.779 | 0.326 |

(ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว)

หมายเหตุ. * มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำพบว่าในฤดูร้อน ความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.288$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.558 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.084 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.665 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.215 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.535$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.482 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $2.473 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.922 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.993 \mu\text{M}$ และในฤดูหนาวความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.326$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.144 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.176 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.848 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.859 \mu\text{M}$ ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในฤดูร้อนและฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานีไกลชายฝั่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin et al. (2013) ศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวและการรวมตัวของฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำและสารแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำ Jiulong พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีอยู่ในช่วง $0.47 - 0.62 \mu\text{M}$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Lin et al. (2016) พบว่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่นที่พบบริเวณชายฝั่ง แต่ในบริเวณกลาง

อ่าวกรีนรูปแบบเด่นที่พบคือฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ ทั้งในเดือนมิถุนายนและสิงหาคม ซึ่งเป็นผลมาจากการปลดปล่อยของแพลงก์ตอนพืช

4.3.1.2 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย

ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีความเข้มข้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (($p=0.198$), $n= 20$) ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.326 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.175 และ $0.238 \mu\text{M}$ ในภาพที่ 4.11 (ก. ข. และ ค.) ส่วนความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (($p=0.000$), $n= 25$) ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดขึ้น โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝนต่างจากฤดูร้อนและฤดูหนาว โดยในฤดูฝนมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.790 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.661 และ $1.011 \mu\text{M}$ ในภาพที่ 4.11 (ง. จ. และ ฉ.) ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของแม่น้ำต่อปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin et al. (2013) ศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวและการรวมตัวของฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำบริเวณปากแม่น้ำ Jiulong พบว่า ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง $0.52 - 2.14 \mu\text{M}$ ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง $0.47-0.62 \mu\text{M}$ มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

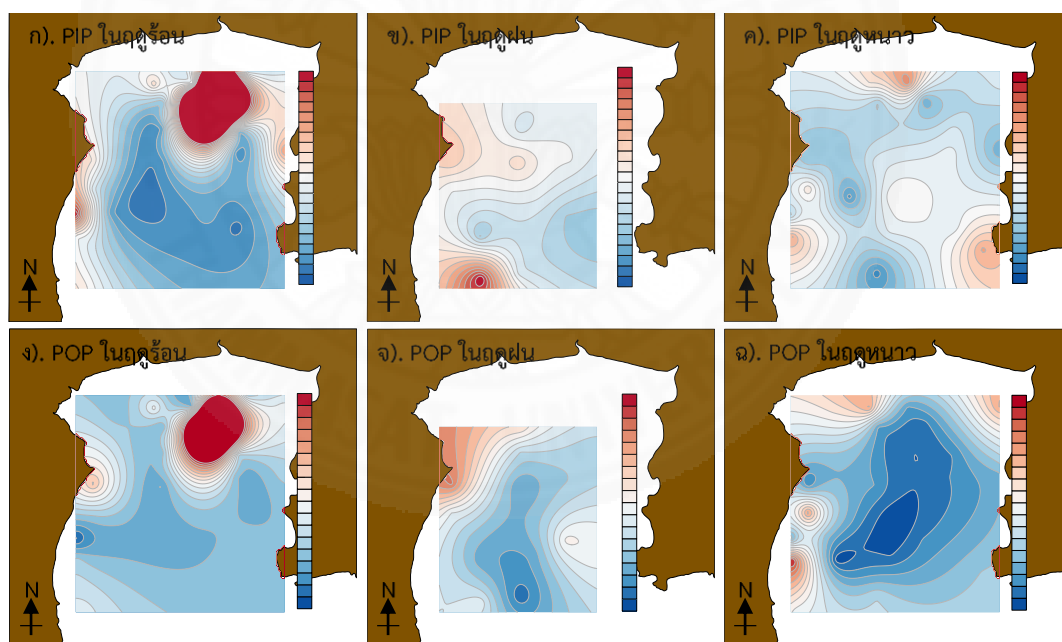
ตารางที่ 4.4 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณ DIP และ DOP ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

| | DIP (μM) | | | DOP (μM) | | |
|-----------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | เดือนเม.ย (ฤดูร้อน) | เดือนก.ค (ฤดูฝน) | เดือนธ.ค (ฤดูหนาว) | เดือนเม.ย (ฤดูร้อน) | เดือนก.ค (ฤดูฝน) | เดือนธ.ค (ฤดูหนาว) |
| ค่าเฉลี่ย | 0.175 | 0.326 | 0.238 | 0.661 | 1.790 | 1.101 |
| P-value | 0.198 | | | 0.000** | | |

หมายเหตุ. ** มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.01$)

4.3.2 ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

ความผันแปรของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยและฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในฤดูฝนมีข้อจำกัดในด้านของสภาพอากาศ ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ในสถานีที่ 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 14 16 และ 25 ดังนั้นในภาพที่ 4.12 จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลเพียงบางส่วนเท่านั้น แต่ยังสามารถยืนยันได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยและฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นไปตามอิทธิพลของลมมรสุมในช่วงการเก็บตัวอย่าง โดยในฤดูร้อนมีค่าสูงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือใกล้กับบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกง คล้ายกับปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำและฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของแม่น้ำที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยและฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย ส่วนในฤดูฝนมีค่าสูงทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นผลมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในฤดูหนาวปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีค่าสูงทางทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอ่าว เป็นผลมาจากการไหลของกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาเนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยโดยมีค่าสูงทางตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้



หมายเหตุ. - สีแดงคือ ความเข้มข้นสูง และ สีน้ำเงินคือ ความเข้มข้นต่ำ โดยมีความต่างระหว่างเส้นชั้นแนวระดับของ PIP และ POP เท่ากับ 0.05 และ 0.1 μM ตามลำดับ

ภาพที่ 4.12 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณ PIP ที่พบใน ก). ฤดูร้อน ข). ฤดูฝน และ ค). ฤดูหนาว และปริมาณ POP ที่พบใน ง). ฤดูร้อน จ). ฤดูฝน และฉ). ฤดูหนาว ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

4.3.2.1 ความผันแปรเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

ความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยพบว่า ในฤดูร้อนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.567$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.561 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.415 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.662 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.067 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.112$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.238 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.051 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.338 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.447 \mu\text{M}$ และในฤดูหนาวความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.103$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.476 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.541 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.302 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.296 \mu\text{M}$ ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีแนวโน้มลดลงในสถานีไกลชายฝั่ง (ตารางที่ 4.5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fang (2004) ศึกษาแบบและปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณ North China Sea ในเดือนมีนาคมปี 2001 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย มีค่าอยู่ในช่วง $0.05 - 0.45 \mu\text{M}$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อออกนอกชายฝั่งชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลจากแม่น้ำและแผ่นดิน

ส่วนความผันแปรเชิงพื้นที่ของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยพบว่า ในฤดูร้อนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.536$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.571 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.533 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.957 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.163 \mu\text{M}$ ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.712$) โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.378 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.178 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.402 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.465 \mu\text{M}$ ต่างจากในฤดูหนาวพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.003$) โดยความเข้มข้นเฉลี่ยในกลุ่มที่ 1 และ 2 ต่างจากกลุ่มที่ 3 และ 4 โดยกลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.836 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.761 \mu\text{M}$ กลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.217 \mu\text{M}$ และกลุ่มที่ 4 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.169 \mu\text{M}$ ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในหนาวมีค่าลดลงในสถานีไกลชายฝั่ง ต่างจากในฤดูร้อนและฤดูฝน

ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานีไกลชายฝั่ง (ตารางที่ 4.5) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยในสถานีไกลชายฝั่งอาจเป็นผลมาจากแพลงก์ตอนพืช เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yu et al. (2012) ศึกษาลักษณะการกระจายตัว แหล่งที่มา และปริมาณของสารแขวนลอยฟอสฟอรัส บริเวณ East China Sea พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยและคลอโรฟิลล์ ทางเหนือของ East China Sea ซึ่งให้เห็นแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นผลมาจากกิจกรรมทางชีวภาพของแพลงก์ตอน และ แบคทีเรีย

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณ DIP และ DOP ในแต่ละกลุ่ม บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว)

| กลุ่มที่ | เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) | | เดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) | | เดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) | |
|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | PIP (μM) | POP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) |
| 1 (< 10 m) | 0.561 | 0.571 | 0.238 | 0.378 | 0.476 | 0.836 |
| 2 (10 - 20 m) | 0.415 | 0.533 | 0.051 | 0.178 | 0.541 | 0.761 |
| 3 (20 - 30 m) | 0.662 | 0.957 | 0.338 | 0.402 | 0.302 | 0.217 |
| 4 (> 30 m) | 0.067 | 0.163 | 0.447 | 0.465 | 0.296 | 0.169 |
| P-value | 0.567 | 0.536 | 0.112 | 0.712 | 0.103 | 0.003* |

หมายเหตุ. * มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.3.2.2 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย

ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย มีความเข้มข้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.036$, $n = 9$) ระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.494 \mu\text{M}$ รองลงมาคือฤดูหนาว มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.011 \mu\text{M}$ และมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดในฤดูร้อน มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.292 \mu\text{M}$ ในภาพที่ 4.12 (ก. ข. และ ค.) ส่วนความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยมีความเข้มข้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p = 0.130$, $n = 9$) ระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.806 \mu\text{M}$ และมีค่าต่ำลงในฤดูร้อนและฤดูหนาว มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.5593 และ $0.4701 \mu\text{M}$ ในภาพที่ 4.12 (ง. จ. และ ฉ.) ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และ ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย

มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน (ตารางที่ 4.6) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของแม่น้ำต่อปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin et al. (2016) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอยในเดือนมิถุนายน มีค่าต่ำกว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอนินทรีย์แขวนลอยในเดือนสิงหาคม และพบว่า มีแหล่งที่มาจากแผ่นดิน จากการไหลเข้าของแม่น้ำ

ตารางที่ 4.6 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของปริมาณ PIP และ POP ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

| | PIP (μM) | | | POP (μM) | | |
|-----------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | เดือนเม.ย (ฤดูร้อน) | เดือนก.ค (ฤดูฝน) | เดือนธ.ค (ฤดูหนาว) | เดือนเม.ย (ฤดูร้อน) | เดือนก.ค (ฤดูฝน) | เดือนธ.ค (ฤดูหนาว) |
| ค่าเฉลี่ย | 0.292 | 0.494 | 0.428 | 0.559 | 0.806 | 0.470 |
| P-value | 0.036* | | | 0.130 | | |

หมายเหตุ. * มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับปัจจัยแวดล้อม

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในรูปสารละลายกับปัจจัยแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปสารละลายทั้งในรูปฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และ ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ พบว่าในฤดูร้อนปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลายมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับความเค็ม ($r = -0.57, -0.56$ และ -0.43 ($p \leq 0.05$)) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3 คล้ายกับการศึกษาของ Meng *et al.* (2015) ที่ศึกษาพฤติกรรมของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำบริเวณปากแม่น้ำ Changjiang และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมผสานระหว่างน้ำจืดที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำสูงกับน้ำทะเล ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีแหล่งที่มาจากแม่น้ำ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ ($r = 0.93$ ($p \leq 0.01$)) และปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ ($r = 0.49$ ($p \leq 0.05$)) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยเมื่อแพลงก์ตอนพืชมีการเพิ่มจำนวนในช่วงเวลาหนึ่ง จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำบางส่วนออกสู่มวลน้ำทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีค่าสูงขึ้น (Van Beusekom and de Jonge, 2012)

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูร้อน (เดือนเมษายน)

| | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | Chl-a ($\mu\text{g/l}$) | Sal (psu) | TSS (mg/l) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|------------|
| TDP (μM) | 1.00 | | | | | |
| DIP (μM) | 0.78** | 1.00 | | | | |
| DOP (μM) | 0.97** | 0.62* | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/l}$) | 0.65** | 0.93** | 0.49* | 1.00 | | |
| Sal (psu) | -0.57* | -0.43* | -0.56* | -0.31 | 1.00 | |
| TSS (mg/l) | 0.55** | 0.50* | 0.51* | 0.44* | -0.80** | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ในฤดูฝนพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำกับความเค็ม ($r = 0.40$ ($p \leq 0.05$)) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่พบในช่วงเวลาดังกล่าวไม่ได้มีแหล่งที่มาจากแผ่นดิน

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม)

| | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | Chla ($\mu\text{g/l}$) | Sal (psu) | TSS (mg/l) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|
| TDP (μM) | 1.00 | | | | | |
| DIP (μM) | 0.18 | 1.00 | | | | |
| DOP (μM) | 0.98** | -0.04 | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/l}$) | -0.23 | 0.22 | -0.29 | 1.00 | | |
| Sal (psu) | 0.33 | -0.28 | 0.40* | -0.82** | 1.00 | |
| TSS (mg/l) | -0.24 | 0.26 | -0.31 | 0.54** | -0.42* | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ส่วนฤดูหนาวปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารละลายและฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็ม ($r = -0.56$ และ -0.60 ($p \leq 0.05$)) ต่างจากปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำพบความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็ม ($r = 0.22$)

($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับสภาพอากาศในขณะเก็บตัวอย่างที่ได้รับอิทธิพลทางอ้อมจากพายุไต้ฝุ่น ทำให้มีรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่ปกคลุมอ่าวไทยมีกำลังแรงเกิดฝนตกหนักและมีคลื่นลมรุนแรง แม้จะอยู่ในช่วงปลายปีก็ตาม (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำไม่ได้มีที่มาจากแม่น้ำเหมือนในฤดูร้อนและฤดูฝน แต่อาจจะมาจากการปลดปล่อยจากกระบวนการ Phosphate buffering ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม หรือบริเวณที่มีการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (Huang & Zhang, 2009)

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TDP DIP และ DOP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูหนาว (เดือนธันวาคม)

| | TDP (μM) | DIP (μM) | DOP (μM) | Chla ($\mu\text{g/L}$) | Sal (psu) | TSS (mg/L) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|
| TDP (μM) | 1.00 | | | | | |
| DIP (μM) | -0.01 | 1.00 | | | | |
| DOP (μM) | 0.93** | -0.39 | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/L}$) | 0.23 | -0.05 | 0.23 | 1.00 | | |
| Sal (psu) | -0.56* | 0.22 | -0.60* | -0.36 | 1.00 | |
| TSS (mg/L) | 0.08 | -0.23 | 0.17 | -0.03 | -0.09 | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอยกับปัจจัยแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย ทั้งในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย พบว่าในฤดูร้อนปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย พบความสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็ม ($r = -0.02$ และ -0.06 ($p > 0.05$)) ต่างจากปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ($r = 0.05$ ($p > 0.05$)) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย และฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย ได้รับอิทธิพลมาจากแม่น้ำ สอดคล้องกับ Yu *et al.* (2012) ศึกษาลักษณะการกระจายตัว แหล่งที่มา และปริมาณของสารแขวนลอยฟอสฟอรัส บริเวณ East China Sea พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย กับความเค็ม แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลการไหลเข้าจากแม่น้ำ Changjiang

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูร้อน (เดือนเมษายน)

| | TPP (μM) | PIP(μM) | POP (μM) | Chl-a ($\mu\text{g/L}$) | Sal (psu) | TSS (mg/L) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|------------|
| TPP (μM) | 1.00 | | | | | |
| PIP (μM) | 0.98** | 1.00 | | | | |
| POP (μM) | 0.99** | 0.95** | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/L}$) | -0.05 | -0.02 | -0.07 | 1.00 | | |
| Sal (psu) | -0.02 | -0.06 | 0.01 | -0.36 | 1.00 | |
| TSS (mg/L) | 0.01 | -0.03 | 0.05 | -0.05 | -0.05 | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ในฤดูฝนปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย มีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความเค็ม ($r = -0.68$ ($p \leq 0.01$) -0.33 ($p > 0.05$) และ -0.66 ($p \leq 0.05$)) และพบความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ($r = 0.42$ 0.46 และ 0.27 ($p > 0.05$)) และนอกจากนี้พบ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย และคลอโรฟิลล์ เอ ($r = 0.25$ ($p > 0.05$)) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งให้เห็นว่าแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในรูป สารแขวนลอย ส่วนใหญ่ในฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำ และปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย บางส่วนได้รับอิทธิพลมาจากการปลดปล่อยของแพลงก์ตอนพืช

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความ เค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม)

| | TPP (μM) | PIP(μM) | POP (μM) | Chla ($\mu\text{g/L}$) | Sal (psu) | TSS (mg/L) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|
| TPP (μM) | 1.00 | | | | | |
| PIP (μM) | 0.63 | 1.00 | | | | |
| POP (μM) | 0.90** | 0.23 | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/L}$) | 0.36 | 0.35 | 0.25 | 1.00 | | |
| Sal (psu) | -0.68** | -0.33 | -0.66* | 0.08 | 1.00 | |
| TSS (mg/L) | 0.42 | 0.46 | 0.27 | 0.39 | -0.35 | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ส่วนในฤดูหนาวพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย ทั้งในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์และอินทรีย์แขวนลอยกับความเค็ม ($r = -0.64$ ($p \leq 0.01$) -0.37 ($p > 0.05$) และ -0.61 ($p \leq 0.01$)) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอย ทั้งในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์และอินทรีย์แขวนลอย ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำบริเวณชายฝั่งเช่นเดียวกับในฤดูร้อนและฤดูฝน

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TPP PIP และ POP กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความเค็ม และ ปริมาณ TSS ที่พบในฤดูหนาว (เดือนธันวาคม)

| | TPP (μM) | PIP (μM) | POP (μM) | Chl-a ($\mu\text{g/l}$) | Sal (psu) | TSS (mg/l) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|------------|
| TPP (μM) | 1.00 | | | | | |
| PIP (μM) | 0.60 | 1.00 | | | | |
| POP (μM) | 0.95** | 0.32 | 1.00 | | | |
| Chl-a ($\mu\text{g/l}$) | 0.14 | 0.50* | -0.03 | 1.00 | | |
| Sal (psu) | -0.64** | -0.37 | -0.61** | -0.36 | 1.00 | |
| TSS (mg/l) | 0.01 | -0.12 | 0.06 | -0.03 | -0.09 | 1.00 |

หมายเหตุ. * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากการศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม ทำให้ทราบว่าปริมาณ TDP และ TPP ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลหลักจากแม่น้ำและแผ่นดิน (land base) จะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ได้รับอิทธิพลที่เกิดขึ้นในทะเล (marine base) เช่น จากแพลงก์ตอนพืช ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ในช่วงฤดูร้อนรูปแบบเด่นที่พบ คือฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย คิดเป็นร้อยละ 61.07 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.350 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอย เป็นรูปแบบเด่นคิดเป็นร้อยละ 60.11 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.764 μM ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายคิดเป็นร้อยละ 38.93 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.201 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่น คิดเป็นร้อยละ 68.72 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.597 μM

ในฤดูฝนรูปแบบเด่นที่พบ คือฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย คิดเป็นร้อยละ 67.49 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.201 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่น คิดเป็นร้อยละ 82.02 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.913 μM ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย คิดเป็นร้อยละ 32.51 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.149 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่น คิดเป็นร้อยละ 54.12 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.649 μM

ในฤดูหนาวรูปแบบเด่นที่พบ คือ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย คิดเป็นร้อยละ 56.98 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.176 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเป็นรูปแบบเด่น คิดเป็นร้อยละ 82.23 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.011 μM ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย คิดเป็นร้อยละ 43.02 ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.976 μM มีฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยเป็นรูปแบบเด่น คิดเป็นร้อยละ 51.34 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.440 μM

ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย และฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย ส่วนใหญ่มีที่มาจากแม่น้ำและแผ่นดิน เนื่องจากพบความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็ม นอกจากนี้พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำกับคลอโรฟิลล์ เอ ในฤดูหนาว และความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยกับคลอโรฟิลล์เอ ในฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำและฟอสฟอรัสอินทรีย์แขวนลอยบางส่วนมีที่มาจากแพลงก์ตอนพืช ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลาย และฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเรื่องของการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในอ่าวไทยตอนใน เพราะงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ศึกษาภายในอ่าวไทยตอนในจะศึกษาในรูปของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำเท่านั้น เนื่องจากเป็นรูปแบบที่แพลงก์ตอนพืชเลือกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตมากกว่ารูปแบบอื่น แต่จากผลการศึกษาพบว่าในอ่าวไทยตอนในรูปแบบเด่นที่พบส่วนใหญ่คือฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ และมีงานวิจัยบางส่วนที่พบว่าแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถใช้ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำในการเจริญเติบโตได้เช่นกัน



รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- กรมอุทกศาสตร์. (2536). นำร่องน่านน้ำไทย เล่ม 1 อ่าวไทย: กองทัพเรือ, 187 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2548). กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2548 รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. กรุงเทพฯ, 159 หน้า
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2560) กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. เล่ม 134 หน้า 28
- สำนักเทคโนโลยีธรณี. (2555). ธรณีวิทยากายภาพพื้นทะเลอ่าวไทยตอนบน ส่วนธรณีวิทยาทางทะเล กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. กรุงเทพฯ
- ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2561). สรุปสภาวะอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2560.
- International EMECS Center. (n.d.). ENVIRONMENTAL CONSERVATION OF THE SETO INLAND SEA.
- Parson, J.R., Takahashi, M. & Hargrane, B. (1997). Biological Oceanographic Process (2nd edition) Pergamon Press.
- Parson, T.R., Maita, Y. & Lalli, C.M. (1984). A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford.

บทความวารสาร

- ธวัชชัย นาอูตม, อนุกุล บุรณะประทีปรัตน์, กิตติยา หอมหวน และ ประसार อินทเจริญ. (2556). การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ของคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในสองฤดูการช่วงปี พ.ศ. 2552. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 18: 32-42.
- อนุกุล บุรณะประทีปรัตน์. (2551). การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 13(1): 75-83.
- รพีพรรณ เจียวก๊ก, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2557). การแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์ เอ และฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: 55-62
- Aspila K.I., Agemian, H., & Chau, A. S. Y. (1976). A Semi-automated Method for the

- Determination of Inorganic Organic and Total Phosphate in Sediments. *The Analyst*, 101(1200) :187-97
- Bogé, G., Lespilette, M., Jamet, D., & Jamet, J.L. (2014) Analysis of the role of DOP on the particulate phosphatase activity in Toulon Bay (N.W. Mediterranean Sea, France). *Marine Pollution Bulletin*, 86: 342–348
- Compton, J., Mallinson, D., Glenn C.R., Filippelli, G., Follmi, K., Shields, G. & Zanin, Y. (2000). VARIATIONS IN THE GLOBAL PHOSPHORUS CYCLE. *Marine Authigenesis: From Global to Microbial*, SEPM Special Publication No. 66: 21-33.
- Correll, D.L. (1998). The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2).
- Duan, L.Q., Song, J.M., Yuan, H.M., Li, X.G. & Li, N. (2016). Distribution, partitioning and sources of dissolved and particulate nitrogen and phosphorus in the north Yellow Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 181: 182-195.
- Fang, T.H. (2004). Phosphorus speciation and budget of the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 24: 1285–1299
- Fox L.E., Sager, S.L., & Wofsey, S.C. (1986). The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon estuary. *Geochim Cosmochim Acta*, 50: 783-794.
- Huang, B. & Hong, H. (1999). Alkaline Phosphatase Activity and Utilization of Dissolved Organic Phosphorus by Algae in Subtropical Coastal Waters. *Marine Pollution Bulletin*, 39: 205 – 211.
- Huang, X.L. & Zhang, J.Z. (2009). Neutral persulfate digestion at sub-boiling temperature in an oven for total Dissolved phosphorus determination in natural waters. *Talanta*, 78: 1129-1135.
- Johannes, R.E. (1964). Uptake and release of dissolved organic phosphorus by Representatives of a coastal marine ecosystem. *Limnology and Oceanography*, 9: 224–234.
- Karl, M.D., Björkman, K.M., Dore, J.E., Fujieki, L., Hebel, D.V., Houlihan, T., ... Tupas, L.M. (2001). Ecological nitrogen-to-phosphorus stoichiometry at station ALOHA. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48: 1529-1566.

- Lin, P., Guo, L., Chen, M., & Cai, Y. (2013). Distribution, partitioning and mixing behavior of phosphorus species in the Jiulong River estuary. *Marine Chemistry*, 157: 93-105.
- Lin, P., Guo, L., Chen, M., Tong, J., & Lin, F. (2012). The distribution and chemical speciation of dissolved and particulate phosphorus in the Bering Sea and the Chukchi–Beaufort Seas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 81–84: 79-94.
- Lin, P., Klump, V.J. & Guo, L. (2016). Dynamics of dissolved and particulate phosphorus influenced by seasonal hypoxia in Green Bay, Lake Michigan. *Science of the Total Environment*, 541: 1070-1082.
- Lirdwitayaprasit, T., Meksumpun, S., Rungsupa S., & Furuya, K. (2006). Seasonal variations in cell abundance of *Noctiluca scintillans* in the coastal waters off Chonburi Province, the upper Gulf of Thailand. *Coast Mar Sci*, 30: 80–84.
- Loassachan, N., Meksumpun, S., Ichimi, K. & Tada, K. (2008) Elemental composition of suspended particulate matter in bangpakong river estuary, Thailand. *Mer*, 46(1-2): 19-27
- Loh, A.N. & Bauer, J.E. (2000). Distribution, partitioning and fluxes of dissolved and particulate organic C, N and P in the eastern North Pacific and Southern Oceans. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 47(12): 2287-2316
- Meng, J., Yu, Z., Yao, Q., Bianchi, T.S., Paytan, A., Zhao, B., ... Peng, Y. (2015). Distribution, mixing behavior, and transformation of dissolved inorganic phosphorus and suspended particulate phosphorus along a salinity gradient in the Changjiang Estuary. *Marine Chemistry*, 168: 124-134.
- Murphy, J. & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Analytica Chimica Acta*, 27:31-36.
- Paytan A., & McLaughlin K. (2007). The Oceanic Phosphorus Cycle. *Chem. Rev.*, 107(2): 563-576
- Ren, L., Wang, P., Wang, C., Chen, J., Hou, J., & Qian, J. (2016). Algal growth and utilization of phosphorus studied by combined mono-culture and co-culture experiments. *Environmental Pollution*, 220: 274-285.

- Somsap, N., Gajasen, N., & Piumsomboon, A. (2015). Physico-Chemical Factors Influencing Blooms of *Chaetoceros* spp. and *Ceratium furca* in the Inner Gulf of Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 49: 200 – 210.
- Suzumura, M., Kokubun, H., & Arata, N. (2004). Distribution and characteristics of suspended particulate matter in a heavily eutrophic estuary, Tokyo Bay, Japan Article in *Marine Pollution Bulletin*, 49(5-6): 496-503.
- Van Beusekom, J.E.E., & de Jonge, V.N. (2012) Dissolved organic phosphorus: An indicator of organic matter turnover? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108
- Wang, Z.H., Liang, Y., & Kang, W. (2011). Utilization of dissolved organic phosphorus by different groups of phytoplankton taxa. *Harmful Algae*, 12: 113–118
- Wattayakorn, G., & Jai boon, P. (2014). AN ASSESSMENT OF BIOGEOCHEMICAL CYCLES OF NUTRIENTS IN THE INNER GULF OF THAILAND. *Eur. Chem. Bull.*, 3(1), 50-54.
- Wu, J., Sunda, W., Boyle, E.A., & Karl, D.M. (2000). Phosphate Depletion in the Western North Atlantic Ocean. *Science*, 289: 759-762.
- Yu, Y., Song, Li., Yuan, X.G., & Li, N. (2012) Distribution, sources and budgets of particulate phosphorus and nitrogen in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 43: 142–155

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- ครรรพพัชร ว่องอนุกุล. (2548). อุตุณิยมิวิทยาเบื้องต้น (Meteorology) สืบค้นจาก http://oservice.skru.ac.th/ebook/lesson.asp?title_code=418
- ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และประโยชน์ฟอสฟอรัส. (2016) สืบค้นจาก <http://www.siamchemi.com/ฟอสฟอรัส/>
- อ่าวไทยตอนบน. (2017). สืบค้นจาก <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/th/5/53/AoThai-Ratchakitcha.jpg>,
ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล (Marine Knowledge Hub). สืบค้นจาก <http://www.mkh.in.th>



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมสาร

การเตรียม Combined Reagent

1. เตรียมสารละลาย Ammonium Molybdate
ละลาย Ammonium Molybdate 3 g และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ในขวดปรับปริมาตร 100 ml เก็บใส่ขวดสีชา
2. เตรียมสารละลายกรด H_2SO_4 5 N
โดยเติม conc. H_2SO_4 15.6 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 100 ml
3. เตรียมสารละลาย Antimonyl Potassium Tartrate
ละลาย Antimonyl Potassium Tartrate 0.34 g และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 250 ml
4. เตรียมกรด Ascorbic
ละลายกรด Ascorbic 2.7 g ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตร 50 ml (เตรียมใหม่ในทุกวันที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง)
หมายเหตุ. Combined Reagent ผสมตามลำดับ 1 – 4 และเมื่อผสมเสร็จสีที่ได้จะมีสีเหลืองและใช้งานได้ไม่เกิน 4 ชั่วโมง

การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

1. ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate; KH_2PO_4) ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 3 ชั่วโมง ชั่งมา 1.3609 g ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น 100 mM
2. นำสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ที่ได้จากข้อที่ 1 มา 0.1 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 ml จะได้ Stock standard ที่มีความเข้มข้น 0.1 mM หรือ 100 μ M
3. แบ่งสารละลาย Stock standard ที่ได้จากข้อที่ 2 มา 0 1 2 3 4 และ 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 μ M

ภาคผนวก ข.

ตารางภาคผนวก ข. 1 ค่าอุณหภูมิ (°C) ความเค็ม (psu) ปริมาณ DO (mg/l) pH ปริมาณ TSS (mg/l) และ คลอโรฟิลล์ (µg/l) ในฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ. 2560

| St. | Temp (°C) | | | Sal (psu) | | | DO (mg/l) | | | pH | | | Chl-a (µg/l) | | | TSS (mg/l) | | |
|-----|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-------|------|------|--------------|------|-------|------------|-------|-------|
| | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. |
| 1 | 31.3 | 29.4 | 25.1 | 32.1 | 30.7 | 29.7 | 5.6 | 6.8 | 7.1 | 8.6 | 8.2 | 8.2 | 1.87 | 1.69 | 1.72 | 13.05 | 19.07 | 6.70 |
| 2 | 31.6 | 29.7 | 25.6 | 32.1 | 30.6 | 29.8 | 5.6 | 7.0 | 8.1 | 8.4 | 8.2 | 8.1 | 0.67 | 3.38 | 1.91 | 29.70 | 18.27 | 6.64 |
| 3 | 31.0 | 29.0 | 26.1 | 31.9 | 21.4 | 31.9 | 5.3 | 8.0 | 7.3 | 8.4 | 8.6 | 8.1 | 1.20 | 5.74 | 0.40 | 21.30 | 18.50 | 2.00 |
| 4 | 31.4 | 29.2 | 26.5 | 31.7 | 25.1 | 32.0 | 5.5 | 6.2 | 7.2 | 8.3 | 8.6 | 8.1 | 1.14 | 1.07 | 0.80 | 6.33 | 16.13 | 28.86 |
| 5 | 30.3 | 29.4 | 25.0 | 31.9 | 31.7 | 30.2 | 6.2 | 6.6 | 7.3 | 7.4 | 8.2 | 8.1 | 1.60 | 0.89 | 1.34 | 19.00 | 20.07 | 1.20 |
| 6 | 30.9 | 29.2 | 25.3 | 32.1 | 31.0 | 30.4 | 5.5 | 6.5 | 7.1 | 8.5 | 8.1 | 8.1 | 1.47 | 0.98 | 1.87 | - | 20.33 | 2.60 |
| 7 | 31.3 | 30.1 | 25.8 | 32.0 | 30.7 | 30.0 | 5.7 | 6.9 | 8.4 | 8.6 | - | - | 0.67 | 3.56 | 24.70 | 11.35 | 17.07 | 2.60 |
| 8 | 31.6 | 30.5 | 25.0 | 31.8 | 29.6 | 29.2 | 5.3 | 8.7 | 8.4 | 8.0 | - | 8.2 | 1.34 | 3.62 | 0.27 | 17.29 | 33.57 | 2.78 |
| 9 | 30.8 | 30.0 | 25.6 | 31.9 | 26.0 | 30.6 | 5.4 | 8.2 | 9.3 | 8.4 | 8.1 | 8.3 | 0.80 | 4.01 | 1.84 | 16.40 | 25.67 | 3.33 |
| 10 | 31.0 | 28.8 | 25.6 | 31.8 | 16.5 | 32.2 | 5.7 | 5.8 | 7.2 | 8.0 | 8.4 | 8.1 | 1.47 | 9.08 | 0.40 | 35.60 | 18.20 | 2.75 |
| 11 | 30.7 | 29.9 | 25.9 | 31.9 | 31.1 | 31.1 | 5.8 | 6.3 | 8.2 | 8.5 | 8.1 | | 1.34 | 0.49 | 0.89 | 11.55 | 20.20 | 3.60 |
| 12 | 30.4 | 30.0 | 25.5 | 33.2 | 28.3 | 32.7 | 7.0 | 5.7 | 6.2 | 8.6 | 8.1 | 8.1 | 1.87 | 0.67 | 0.76 | 4.05 | 3.15 | 6.10 |
| 13 | 30.7 | 30.2 | 25.8 | 33.3 | 26.2 | 32.7 | 6.3 | 6.6 | 6.8 | 8.7 | 8.2 | 8.1 | 1.17 | 0.95 | 0.88 | 3.85 | 1.60 | 3.24 |
| 14 | 31.0 | 28.6 | 26.2 | 31.6 | 17.4 | 32.1 | 5.8 | 7.4 | 7.4 | 8.1 | 8.5 | 8.1 | 14.59 | 6.82 | 0.67 | 30.44 | 18.56 | 1.43 |
| 15 | 30.9 | 30.5 | 26.1 | 33.3 | 29.9 | 32.7 | 8.1 | 6.4 | 7.0 | 8.9 | 8.1 | 8.2 | 0.71 | 0.45 | 0.57 | 1.65 | 2.30 | 2.50 |

ตารางภาคผนวก ข. 1 (ต่อ) ค่าอุณหภูมิ (°C) ความเค็ม (psu) ปริมาณ DO (mg/l) pH ปริมาณ TSS (mg/l) และ คลอโรฟิลล์ (µg/l) ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ. 2560

| St. | Temp (°C) | | | Sal (psu) | | | DO (mg/l) | | | pH | | | Chl-a (µg/l) | | | TSS (mg/l) | | |
|-----|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-------|------|------|--------------|------|------|------------|-------|------|
| | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. | เม.ย. | ก.ค. | ธ.ค. |
| 16 | 31.3 | 29.9 | 26.3 | 33.2 | 31.4 | 32.7 | 8.2 | 6.4 | 6.4 | 9.0 | 8.2 | 8.2 | 0.67 | 0.17 | 0.53 | 2.25 | 1.30 | 2.37 |
| 17 | 31.0 | 30.0 | 25.9 | 33.1 | 34.0 | 32.9 | 7.1 | 6.3 | 6.6 | 9.3 | 8.1 | 8.3 | 0.80 | 0.89 | 0.80 | 1.80 | 3.55 | 1.03 |
| 18 | 30.9 | 30.0 | 25.7 | 33.2 | 33.6 | 32.9 | 6.9 | 6.0 | 6.4 | 8.7 | 8.0 | 8.3 | 0.53 | 1.34 | 0.67 | 1.50 | 2.25 | 1.80 |
| 19 | 30.4 | 30.4 | - | 33.1 | 33.3 | - | 6.7 | 6.3 | - | 8.8 | 8.1 | - | 1.34 | 1.74 | - | 2.60 | 4.40 | - |
| 20 | 30.9 | 30.6 | 25.7 | 33.2 | 29.4 | - | 6.3 | 6.1 | - | 8.6 | 8.1 | - | 2.00 | 0.61 | - | 4.25 | 1.55 | - |
| 21 | 31.5 | 30.2 | 26.4 | 33.2 | 31.7 | 32.7 | 6.5 | 6.4 | 6.2 | 8.7 | 8.1 | 8.2 | 0.40 | 0.38 | 0.27 | 2.50 | 2.20 | 1.67 |
| 22 | 30.9 | 30.4 | - | 33.2 | 32.2 | - | 7.0 | 7.0 | - | 8.8 | 8.0 | - | 0.93 | 1.20 | - | 2.75 | 3.25 | - |
| 23 | 30.2 | 29.5 | 26.7 | 32.8 | 33.0 | 32.6 | 6.6 | 6.2 | 6.2 | 8.8 | 8.1 | 8.2 | 0.33 | 0.71 | 1.22 | 3.45 | 2.20 | 1.38 |
| 24 | 30.7 | 29.2 | 26.9 | 31.7 | 29.7 | 31.9 | 6.0 | 6.1 | 7.4 | 8.4 | 8.3 | 8.1 | 0.67 | 0.67 | 0.27 | 16.72 | 12.72 | 2.94 |
| 25 | 30.5 | 29.2 | 26.4 | 31.6 | 30.4 | 32.0 | 5.9 | 5.7 | 6.3 | 8.3 | 8.2 | 8.0 | 0.53 | 0.59 | 0.53 | 14.50 | 14.44 | 1.88 |
| 26 | 30.8 | 29.8 | 26.2 | 33.1 | 33.9 | 32.8 | 7.1 | 6.4 | 6.4 | 9.0 | 8.1 | 8.1 | 0.13 | 0.89 | 0.40 | 2.50 | 3.45 | 1.00 |
| 27 | 30.3 | 29.7 | 26.4 | 33.1 | 33.5 | 32.7 | 7.3 | 6.1 | 6.4 | 8.6 | 8.1 | 8.3 | 0.53 | 0.67 | 0.27 | 2.10 | 3.30 | 1.60 |
| 28 | 30.4 | 29.8 | 26.3 | 33.2 | 33.1 | 32.8 | 6.6 | 6.2 | 6.4 | 8.8 | 8.1 | 8.3 | 0.56 | 0.40 | 0.40 | 2.65 | 2.95 | 2.65 |

หมายเหตุ. “ - ” คือ จุดที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้

ตารางภาคผนวก ข. 2 ปริมาณ TDP DIP และ DOP ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

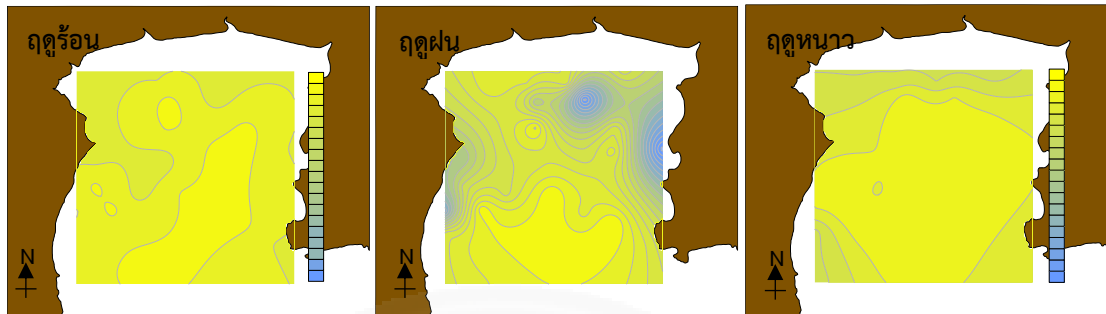
| สถานี | เดือนเมษายน (ช่วงฤดูร้อน) | | | เดือนกรกฎาคม (ช่วงฤดูฝน) | | | เดือนธันวาคม (ช่วงฤดูหนาว) | | |
|-------|------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | TDP | DIP | DOP | TDP | DIP | DOP | TDP | DIP | DOP |
| | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) |
| 1 | 1.873 | 0.318 | 1.555 | 3.405 | 0.688 | 2.717 | 1.840 | 0.159 | 1.681 |
| 2 | 1.581 | 0.159 | 1.421 | 1.887 | 0.318 | 1.569 | 1.269 | 0.317 | 0.952 |
| 3 | 0.784 | 0.212 | 0.572 | 1.122 | 0.318 | 0.804 | 0.635 | 0.000 | 0.635 |
| 4 | 0.652 | 0.107 | 0.546 | 1.239 | 0.212 | 1.027 | 1.079 | 0.000 | 1.079 |
| 5 | 0.415 | 0.159 | 0.255 | 2.595 | 0.159 | 2.436 | 1.269 | 0.053 | 1.216 |
| 6 | 0.887 | 0.212 | 0.674 | 0.940 | 0.107 | 0.834 | 1.269 | 0.106 | 1.163 |
| 7 | 1.687 | 0.159 | 1.527 | 1.193 | 0.159 | 1.033 | 1.586 | 0.158 | 1.428 |
| 8 | 2.812 | 0.107 | 2.706 | 3.432 | 0.265 | 3.167 | 1.904 | 0.317 | 1.587 |
| 9 | 0.140 | 0.054 | 0.086 | 2.929 | 1.376 | 1.553 | 0.888 | 0.106 | 0.783 |
| 10 | 0.312 | 0.107 | 0.206 | 1.386 | 0.424 | 0.962 | 1.015 | 0.000 | 1.015 |
| 11 | 0.130 | 0.054 | 0.076 | 1.701 | 0.318 | 1.383 | 1.650 | 0.158 | 1.491 |
| 12 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 2.426 | 0.583 | 1.844 | 1.777 | 0.264 | 1.513 |
| 13 | 0.249 | 0.054 | 0.195 | 4.295 | 0.265 | 4.029 | 0.952 | 0.264 | 0.688 |
| 14 | 3.983 | 1.482 | 2.502 | 0.631 | 0.212 | 0.419 | 1.142 | 0.053 | 1.089 |
| 15 | 0.004 | 0.001 | 0.003 | 2.659 | 0.530 | 2.130 | 0.889 | 0.211 | 0.677 |
| 16 | 0.062 | 0.054 | 0.008 | 2.996 | 0.318 | 2.678 | 1.079 | 0.158 | 0.921 |
| 17 | 0.524 | 0.265 | 0.259 | 5.057 | 0.159 | 4.897 | 0.698 | 0.211 | 0.487 |
| 18 | 1.570 | 0.159 | 1.410 | 1.793 | 0.159 | 1.634 | 0.762 | 0.423 | 0.339 |
| 19 | 0.231 | 0.054 | 0.177 | 3.932 | 0.107 | 3.825 | - | - | - |
| 20 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 1.986 | 0.477 | 1.509 | - | - | - |
| 21 | 0.249 | 0.054 | 0.195 | 2.005 | 0.265 | 1.740 | 1.333 | 0.211 | 1.122 |
| 22 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 3.684 | 0.212 | 3.472 | - | - | - |
| 23 | 0.127 | 0.054 | 0.073 | 1.200 | 0.212 | 0.987 | 1.270 | 0.317 | 0.952 |
| 24 | 1.498 | 0.371 | 1.127 | 0.188 | 0.159 | 0.029 | 1.269 | 0.000 | 1.269 |
| 25 | 0.986 | 0.107 | 0.879 | 0.940 | 0.107 | 0.834 | 1.586 | 0.000 | 1.587 |
| 26 | 0.004 | 0.001 | 0.003 | 2.375 | 0.107 | 2.269 | 0.572 | 0.317 | 0.254 |
| 27 | 0.227 | 0.107 | 0.120 | 1.793 | 0.159 | 1.634 | 1.016 | 0.370 | 0.646 |
| 28 | 0.186 | 0.054 | 0.133 | 2.302 | 0.159 | 2.143 | 1.270 | 0.582 | 0.688 |

ตารางภาคผนวก ข. 3 ปริมาณ TPP PIP และ POP ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำในบริเวณพื้นที่อ่าวไทย
ตอนใน ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

| สถานี | เดือนเมษายน (ช่วงฤดูร้อน) | | | เดือนกรกฎาคม (ช่วงฤดูฝน) | | | เดือนธันวาคม (ช่วงฤดูหนาว) | | |
|-------|------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | TPP | PIP | POP | TPP | PIP | POP | TPP | PIP | POP |
| | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) | (μM) |
| 1 | 1.354 | 0.593 | 0.762 | 1.397 | 0.699 | 0.698 | 1.311 | 0.465 | 0.846 |
| 2 | 1.058 | 0.508 | 0.550 | - | - | - | 2.495 | 0.761 | 1.735 |
| 3 | 1.143 | 1.058 | 0.085 | - | - | - | 0.676 | 0.338 | 0.338 |
| 4 | 1.820 | 0.593 | 1.227 | 2.222 | 0.699 | 1.523 | 0.465 | 0.253 | 0.212 |
| 5 | 0.847 | 0.424 | 0.423 | - | - | - | 1.438 | 0.422 | 1.015 |
| 6 | 1.481 | 0.635 | 0.846 | - | - | - | 1.903 | 0.592 | 1.311 |
| 7 | 0.889 | 0.508 | 0.381 | - | - | - | 1.142 | 0.845 | 0.296 |
| 8 | 0.974 | 0.424 | 0.550 | - | - | - | 1.226 | 0.380 | 0.846 |
| 9 | 1.354 | 0.508 | 0.846 | - | - | - | 1.734 | 0.422 | 1.311 |
| 10 | 1.354 | 0.804 | 0.550 | - | - | - | 0.592 | 0.211 | 0.381 |
| 11 | - | - | - | - | - | - | 1.270 | 0.762 | 0.508 |
| 12 | 0.974 | 0.424 | 0.550 | 1.311 | 0.507 | 0.804 | 1.947 | 0.593 | 1.354 |
| 13 | 0.678 | 0.254 | 0.423 | 1.565 | 0.465 | 1.100 | 0.592 | 0.296 | 0.296 |
| 14 | 9.943 | 4.443 | 5.500 | - | - | - | 0.380 | 0.211 | 0.169 |
| 15 | 0.804 | 0.212 | 0.592 | 0.973 | 0.465 | 0.508 | 0.635 | 0.424 | 0.212 |
| 16 | 0.551 | 0.128 | 0.423 | - | - | - | 0.678 | 0.466 | 0.212 |
| 17 | 0.551 | 0.085 | 0.465 | 1.143 | 0.254 | 0.888 | 0.804 | 0.466 | 0.338 |
| 18 | 0.508 | 0.170 | 0.338 | 0.930 | 0.423 | 0.508 | 0.889 | 0.424 | 0.465 |
| 19 | 0.635 | 0.170 | 0.465 | 1.016 | 0.424 | 0.592 | - | - | - |
| 20 | - | - | - | 1.015 | 0.507 | 0.508 | - | - | - |
| 21 | 0.550 | 0.169 | 0.381 | 1.228 | 0.297 | 0.931 | 0.720 | 0.508 | 0.212 |
| 22 | - | - | - | 1.818 | 1.056 | 0.762 | - | - | - |
| 23 | - | - | - | 0.635 | 0.297 | 0.338 | 0.508 | 0.466 | 0.042 |
| 24 | 0.466 | 0.085 | 0.381 | - | - | - | 0.465 | 0.127 | 0.338 |
| 25 | 0.424 | 0.128 | 0.296 | 0.929 | 0.633 | 0.296 | 0.719 | 0.422 | 0.296 |
| 26 | - | - | - | 0.930 | 0.465 | 0.465 | 0.551 | 0.551 | 0.000 |
| 27 | - | - | - | 0.719 | 0.380 | 0.338 | 0.551 | 0.466 | 0.085 |
| 28 | - | - | - | 0.551 | 0.424 | 0.127 | 0.719 | 0.127 | 0.592 |

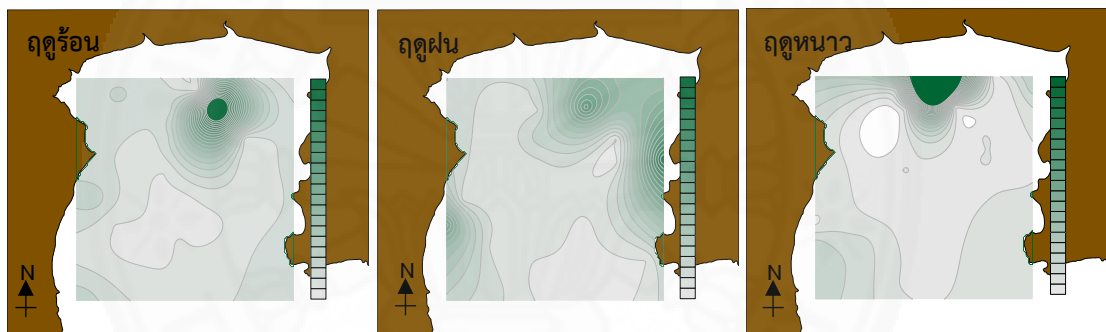
ภาคผนวก ค.

แผนภาพเส้นแนวระดับของความเค็ม ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ. 2560



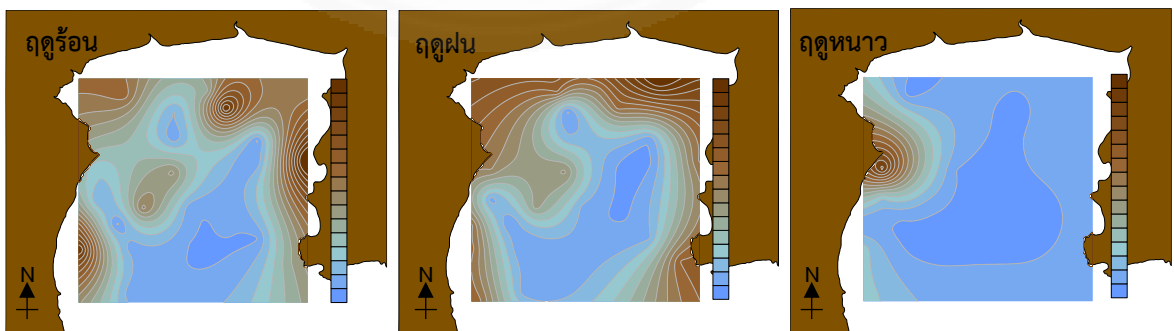
หมายเหตุ. สีเหลือง คือ ความเข้มข้นสูง มีค่าเท่ากับ 34 psu สีฟ้า คือ ความเข้มข้นต่ำ มีค่าเท่ากับ 16 psu ความต่างระหว่างเส้นชั้นแนวระดับเท่ากับ 1 psu

แผนภาพเส้นแนวระดับของคลอโรฟิลล์ ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ. 2560



หมายเหตุ. สีเขียวเข้ม คือ ความเข้มข้นสูง มีค่าเท่ากับ 16 µg/L สีเทา คือ ความเข้มข้นต่ำ มีค่าเท่ากับ 0 µg/L ความต่างระหว่างเส้นชั้นแนวระดับเท่ากับ 0.5 µg/L

แผนภาพเส้นแนวระดับของปริมาณ TSS ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในอ่าวไทยตอนใน ปี พ.ศ.2560



หมายเหตุ. สีนํ้าตาล คือ ความเข้มข้นสูง มีค่าเท่ากับ 30 mg/L สีฟ้า คือ ความเข้มข้นต่ำ มีค่าเท่ากับ 0 mg/L ความต่างระหว่างเส้นชั้นแนวระดับเท่ากับ 2 mg/L

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวณัชชา สุพวานิช
วันเดือนปีเกิด 2 กันยายน พ.ศ. 2536
วุฒิการศึกษา ปีการศึกษา 2558: ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ

ณัชชา สุพวานิช และ มารุต สุขสมจิตร. (2018). การเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัส
ละลายน้ำในอ่าวไทยตอนใน (Variation of Dissolved Phosphorus and Form in the
Inner Gulf of Thailand). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56:
913 - 920