

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยในช่วงมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556

นางสาวชนิษฐา อุทัยพันธ์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INFLUENTIAL FACTORS ON PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE GULF OF THAILAND
DURING MARCH TO APRIL 2013

Miss Khanittha Uthaipan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยในช่วง มีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556
โดย	นางสาวชนิษฐา อุทัยพันธ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ธรรมวานิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์)

ชินชรา อุทัยพันธ์ : ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยในช่วงมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556 (INFLUENTIAL FACTORS ON PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE GULF OF THAILAND DURING MARCH TO APRIL 2013) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์, 142 หน้า.

ศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง จำนวน 45 สถานี ด้วยวิธีการขวดสว่าง-ขวดมืด ครอบคลุมพื้นที่ระหว่าง 6° – 14° N และ 99° – 104° E เก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 14 มี.ค. ถึง 12 เม.ย. พ.ศ. 2556 โดยเรือสำรวจซีพีเดค เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตปฐมภูมิกับ ปัจจัยแสง (PAR) และปัจจัยสารอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต) และเปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตปฐมภูมิที่ได้จริงกับข้อมูลที่ได้จากโมเดล VGPM จำนวน 20 สถานี ผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแสงในช่วงคลื่น PAR ที่ระดับความลึกสุดท้าย มีค่าอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 20.27 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 เปอร์เซ็นต์ (ความลึกเฉลี่ย 49.02 m) ดังนั้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา แสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดสำหรับการสังเคราะห์แสง ค่าต่ำสุด-สูงสุด (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.) ของสารอาหารจาก 45 สถานี มีค่าดังนี้ ฟอสเฟต 0.02 – 2.26 (0.41 ± 0.36) μM , ไนโตรเจน 0 – 1.71 (0.12 ± 0.22) μM , ไนเตรต 0.38 – 8.65 (1.97 ± 1.20) μM , แอมโมเนีย 0.03 – 5.58 (0.94 ± 0.22) μM และซิลิเกต 5.4 – 44.0 (10.7 ± 5.5) μM ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิจาก 20 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง 12.6 ถึง 574.1 $\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ เฉลี่ย 120.2 $\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ และผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 217.8 ถึง 6,066.6 $\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ เฉลี่ย 2,044.0 $\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ คลอโรฟิลล์ต่ำสุดในน้ำผิวหน้าและเพิ่มขึ้นตามความลึก ยกเว้นสถานีที่ 24 ผลผลิตปฐมภูมิมีค่าสูงพบบริเวณชายฝั่งทะเลและสถานีนอกชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ ทั้งคลอโรฟิลล์และผลผลิตปฐมภูมิสุทธิลดลงเมื่อค่า E_p ของ PAR เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบยกกำลังเชิงลบ ($R^2 > 0.75$) ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับสารอาหาร PO_4^{3-} , NO_3^- และ DSi มีความสัมพันธ์กันต่ำ ขณะที่ NO_2^- และ NH_4^+ มีความสัมพันธ์กับผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูง สอดคล้องกับความแตกต่างขององค์ประกอบชนิดและความหนาของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละบริเวณ จากความสัมพันธ์ตาม Red field ration ค่า N : P ในมวลน้ำ บ่งชี้ว่า DIN เป็นปัจจัยจำกัดต่อผลผลิตปฐมภูมิ ผลจากโมเดล VGPM ประเมินผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ ได้ในช่วง 189.8 ถึง 1,263.8 $\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (เฉลี่ยเท่ากับ 343.1 $\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาจริงในพื้นที่ ความแตกต่างและคลาดเคลื่อนนี้มาจากข้อมูลที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม และในสภาวะจริงค่าคลอโรฟิลล์สูงสุดพบในชั้นน้ำใกล้พื้นทะเล

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5571927323 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS: PRIMARY PRODUCTIVITY / DOWNWARD IRRADIANCE / INORGANIC NUTRIENTS / VGPM MODEL

KHANITTHA UTHAIPAN: INFLUENTIAL FACTORS ON PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE GULF OF THAILAND DURING MARCH TO APRIL 2013. ADVISOR: ASST. PROF. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: PATAMA SINGHRUCK, Ph.D., 142 pp.

This study investigated primary productivity at 45 stations in the middle regional part of the Gulf of Thailand by light-dark bottle incubation method, from 14 March to 12 April 2013 aboard the M.V. SEAFDEC. The objectives of the research were to 1) study the relationship of primary productivity, downward irradiance (E_d) of PAR and inorganic nutrients (phosphorus, nitrogen and silicate), and 2) compare primary productivity data from 20 stations in the Gulf of Thailand obtained with the Vertically Generalized Production Model (VGPM) output. The percentage of E_d (PAR) was found observed to an average 4.95 % (range = 0.58-20.27 %) decreased with increasing depth at the deepest (average depth 49 m) of 45 stations; this suggests light intensity was generally non-limiting factor for photosynthetic in this area. The observed minimum-maximum concentrations (average \pm SD) of phosphate 0.02-2.26 (0.41 \pm 0.36) μ M, nitrite 0-1.71 (0.12 \pm 0.22) μ M, nitrate 0.38-8.65 (1.97 \pm 1.20) μ M, ammonium 0.03-5.58 (0.94 \pm 0.22) μ M and dissolved silica 5.4 -44.0 (10.7 \pm 5.5) μ M at the 45 station. For 20 stations the minimum-maximum rate (average) of net primary productivity (NPP) at the chlorophyll maxima were 12.6 – 574.1 (120.2) mg-C m⁻³ d⁻¹; the integrated primary productivity (IPP) were 217.8 – 6,066.6 (2,044.0) mg-C m⁻² d⁻¹. Chlorophyll levels were lower at surface and increased at lower depths, except station 24. Primary productivity was highest concentration at nearshore stations and also higher at offshore station that were influence by South China Sea intrusion. Both Chlorophyll concentration and NPP decreased with increasing E_d in a negative power function ($R^2 > 0.75$). The relationship of primary productivity and PO_4^{3-} , NO_3^- and DSI was low whereas the relationship with NO_2^- and NH_4^+ were high, which was associated with changes in phytoplankton density and species composition. The water column N : P ratio suggested DIN limits primary productivity relative to the Redfield ratio. VGPM model data represented that IPP was 189.8 - 1,263.8 (average 343.1) mg-C m⁻² d⁻¹ at, which was lower in than situ data likely because data used average monthly from satellite and in situ founded chlorophyll maxima near bottom.

Department: Marine Science

Field of Study: Marine Science

Academic Year: 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และอาจารย์ ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และประสบการณ์ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ธรรมวานิช สำหรับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และอาจารย์ ดร. วิโรจน์ ละอองมณี ที่อนุเคราะห์ข้อมูลแสงในรอบวันและข้อมูล PAR สำหรับการวิเคราะห์

ขอขอบคุณโครงการสำรวจและฝึกภาคทะเล "ทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง" โดยเรือสำรวจ SEAFDEC รวมทั้งนักวิจัยทุกท่านที่คอยสนับสนุนในการเก็บตัวอย่าง และให้คำแนะนำแนวทางในการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ปรีชา เสนสิทธิ์ สมาชิกห้องปฏิบัติการ 423 และคู่ปฏิบัติการคุณพิสุทธิ์ เทศสวัสดิ์ ที่ช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจเสมอมาจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณแม่ คุณแม่ และทุก ๆ คนในครอบครัวให้คอยให้การสนับสนุนในการศึกษาถึงแม้จะมีความยากลำบาก และพร้อมที่จะสู้ต่อไปด้วยกันจนสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย ซึ่งเป็นหนึ่งในก้าวอย่างของชีวิต ทั้งยังคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาทั้งในยามที่ท้อแท้ และร่วมยินดีในความสำเร็จ สุดท้ายขอขอบคุณความรักที่สอนให้รู้ว่าชีวิตนี้งดงามเสมอ หากเรามีจุดมุ่งหมายและปลายทาง ถึงแม้จะต้องพยายาม อดทน และมีสติปัญญาเพื่อไปถึงจุดมุ่งหมาย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ผลผลิตปฐมภูมิ.....	3
2.1.1 ปัจจัยแสงต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ.....	8
2.1.2 ปัจจัยสารอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ.....	9
2.2 ผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทย.....	12
2.3 วิธีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในปัจจุบัน.....	15
2.3.1 วิธีการวัดออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen method).....	16
2.3.2 การศึกษาสีน้ำทะเลด้วยดาวเทียม (ocean color)	17
2.3.3 การวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence).....	19
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	21
3.1 พื้นที่ทำการศึกษา	21

3.2 ระยะเวลาในการศึกษา.....	22
3.3 วิธีการศึกษา.....	22
3.3.1 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ	22
3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ค่าผลผลิตปฐมภูมิ.....	22
3.3.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และตะกอนแขวนลอย	24
3.3.4 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์	24
3.3.5 การคำนวณผลผลิตปฐมภูมิในทะเล	27
3.3.6 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อผลผลิตปฐมภูมิ	28
3.3.7 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของสารอาหารต่อผลผลิตปฐมภูมิ.....	28
3.3.8 การวิเคราะห์ผลผลิตปฐมภูมิโดยการใช้โมเดล VGPM.....	28
3.3.9 การสอบเทียบและหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณผลผลิตปฐมภูมิรวม ทั้งหมดต่อพื้นที่น้ำ.....	30
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	31
4.1 คุณภาพน้ำทั่วไป.....	31
4.1.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของคุณภาพน้ำทั่วไป	31
4.1.2 อิทธิพลของคุณภาพน้ำทั่วไปที่ส่งผลต่อการแบ่งชั้นน้ำในอ่าวไทย	43
4.1.3 ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทั่วไป.....	45
4.2 แสง.....	48
4.2.1 ความเข้มแสงบริเวณผิวน้ำทะเล.....	48
4.2.2 ค่า $E_d(Z)$ ของ PAR ในน้ำทะเล.....	49
4.2.3 ค่า K_{PAR} ในน้ำทะเล.....	51
4.3 สารอาหาร.....	53
4.3.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารอาหารในแนวระดับ.....	54

4.3.2 การแพร่กระจายของสารอาหารในแนวตั้งตามความลึกพื้นที่ศึกษา	74
4.3.3 อัตราส่วนสัมพันธ์ของสารอาหารในแต่ละชั้นน้ำ.....	76
4.4 ผลผลิตปฐมภูมิ	77
4.4.1 ผลผลิตปฐมภูมิในแต่ละสถานีที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima	77
4.4.2 ผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำในแต่ละสถานี	80
4.5 ปัจจัยแสงและสารอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ.....	82
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_d(Z)$ กับค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ	82
4.5.2 ความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและสารอาหาร	85
4.5.3 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยแสงและสารอาหาร.....	87
4.6 ผลการประเมินผลผลิตปฐมภูมิด้วยโมเดล VGPM เบื้องต้น.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปผลการศึกษา	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
รายการอ้างอิง	96
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก. สถานีเก็บตัวอย่างและคุณภาพน้ำทั่วไป	110
ภาคผนวก ข. ค่า downward irradiance ของ PAR.....	118
ภาคผนวก ค. ความเข้มข้นของสารอาหาร.....	127
ภาคผนวก ง. ผลผลิตปฐมภูมิ.....	137
ภาคผนวก จ. ความสัมพันธ์ของปัจจัยแสงและสารอาหาร กับผลผลิตปฐมภูมิ	141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	142

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2 - 1	การแพร่กระจายของผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรโลก (Behrenfeld et al., 2006)	5
รูปที่ 2 - 2	ช่วงคลื่นของ PAR ที่ดูดกลืนโดยรงควัตถุ (สีเขียว) และอัตราการสังเคราะห์แสงที่ ความยาวคลื่นต่าง ๆ (ขวา)	9
รูปที่ 2 - 3	แนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ก) และผลผลิตปฐมภูมิ ในพื้นที่อ่าวไทย (ข) (Heileman & Chuenpagdee, 2008).....	13
รูปที่ 3 - 1	สถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง จำนวน 45 สถานี	21
รูปที่ 3 - 2	ขวดในชุดการทดลองเพื่อหาค่าผลผลิตปฐมภูมิ	23
รูปที่ 3 - 3	แผนภาพแสดงการคำนวณหาค่า IPP โดยการใช้โมเดล VGPM (Ishizaka, 2007).....	29
รูปที่ 4 - 1	ความลึกน้ำ (เมตร) ในอ่าวไทย.....	32
รูปที่ 4 - 2	การแพร่กระจายของอุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข).....	35
รูปที่ 4 - 3	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร	35
รูปที่ 4 - 4	การแพร่กระจายของความเค็ม ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข).....	36
รูปที่ 4 - 5	ความแตกต่างของความเค็ม ที่ระดับความลึก 5 เมตร และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร....	36
รูปที่ 4 - 6	การแพร่กระจายของความหนาแน่น (kg m^{-3}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข).....	37
รูปที่ 4 - 7	ความแตกต่างของความหนาแน่น (kg m^{-3}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้น ทะเล 5 เมตร	37
รูปที่ 4 - 8	การแพร่กระจายของความเป็นกรดต่างที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้น ทะเล 5 เมตร (ข).....	38
รูปที่ 4 - 9	ความแตกต่างของความเป็นกรดต่างที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร	38
รูปที่ 4 - 10	การแพร่กระจายของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)	39
รูปที่ 4 - 11	ความแตกต่างของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร	39

รูปที่ 4 - 12	การแพร่กระจายของของแข็งแขวนลอย (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข).....	40
รูปที่ 4 - 13	ความแตกต่างของของแข็งแขวนลอย (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือ พื้นทะเล 5 เมตร.....	40
รูปที่ 4 - 14	การแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 m (ก) และเหนือ พื้นทะเล 5 m (ข).....	41
รูปที่ 4 - 15	ความแตกต่างของคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้น ทะเล 5 เมตร.....	41
รูปที่ 4 - 16	การแพร่กระจายของฟิโอฟิติน ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้น ทะเล 5 เมตร (ข).....	42
รูปที่ 4 - 17	ความแตกต่างของฟิโอฟิติน ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร.....	42
รูปที่ 4 - 18	การแพร่กระจายในแนวตั้งของปัจจัยที่ต่อการแบ่งชั้นน้ำของอ่าวไทยตอนกลาง	44
รูปที่ 4 - 19	การแพร่กระจายของค่าออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) และคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$).....	45
รูปที่ 4 - 20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) และ คลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$).....	46
รูปที่ 4 - 21	T-S diagram ในอ่าวไทย.....	47
รูปที่ 4 - 22	ความสัมพันธ์ระหว่าง T-S diagram และออกซิเจนละลาย.....	48
รูปที่ 4 - 23	ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อเวลาในรอบวันระหว่าง 6 โมงเช้า ถึง 6 โมงเย็น	49
รูปที่ 4 - 24	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ เฉลี่ยต่อความลึก.....	50
รูปที่ 4 - 25	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$).....	51
รูปที่ 4 - 26	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ K_{PAR} เฉลี่ยต่อความลึก (ซ้าย) และ ความสัมพันธ์ ระหว่าง K_{PAR} กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) (ขวา).....	53
รูปที่ 4 - 27	การแพร่กระจายของฟอสเฟตในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	60
รูปที่ 4 - 28	การแพร่กระจายของไนโตรเจนในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	61
รูปที่ 4 - 29	การแพร่กระจายของไนเตรทในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	62

รูปที่ 4 - 30	การแพร่กระจายของแอมโมเนียมในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycno- cline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	63
รูปที่ 4 - 31	การแพร่กระจายของ DIN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	64
รูปที่ 4 - 32	การแพร่กระจายของ DSi ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	65
รูปที่ 4 - 33	การแพร่กระจายของ TDN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	66
รูปที่ 4 - 34	การแพร่กระจายของ TDP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	67
รูปที่ 4 - 35	การแพร่กระจายของ DON ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	68
รูปที่ 4 - 36	การแพร่กระจายของ DOP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	69
รูปที่ 4 - 37	การแพร่กระจายของ PN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	70
รูปที่ 4 - 38	การแพร่กระจายของ PP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	71
รูปที่ 4 - 39	การแพร่กระจายของ TN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	72
รูปที่ 4 - 40	การแพร่กระจายของ TP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM).....	73
รูปที่ 4 - 41	การแพร่กระจายในแนวตั้งของสารอาหาร ได้แก่ ก. PO_4^{3-} ข. NO_2^- ค. NO_3^- ง. DSi (μM) จ. คลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ฉ. ออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) ช. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ ซ. ความเค็ม อันเป็นผลมาจากการแบ่งชั้นน้ำ.....	75

รูปที่ 4 - 42 ปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) ในอ่าวไทย ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima 78

รูปที่ 4 - 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง fluorometer ณ เวลาจริงที่ทำการศึกษา กับวิธีการทางเคมี (JGOFS, 1994)..... 80

รูปที่ 4 - 44 ปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ ($\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ในอ่าวไทย..... 82

รูปที่ 4 - 45 กราฟแสดงค่า ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) (ก.) $E_d(Z)$ (ข.) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_d(Z)$ กับ ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) (ค.) ของ สถานีที่ 10..... 84

รูปที่ 4 - 46 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) เปอร์เซ็นต์ $E_d(\text{PAR})$ สารอาหารอินทรีย์ ได้แก่ PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- และ DSi (μM) ณ สถานีที่ 10 88

รูปที่ 4 - 47 การแพร่กระจายของข้อมูลผิวน้ำทะเลจากการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม ระบบ MODIS-Aqua ได้แก่ ก. คลอโรฟิลล์ (mg m^{-3}) ข. PAR ($\text{E m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) และ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)..... 89

รูปที่ 4 - 48 ค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ประเมินได้จากการใช้โมเดล VGPM (กราฟแท่ง) และค่าที่ได้จากการศึกษาจริงในพื้นที่ (กราฟเส้น)..... 91

รูปที่ 4 - 49 ค่า IPP ที่ประเมินได้จากการใช้โมเดล VGPM ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง 2556 (กราฟแท่งคือค่าเฉลี่ย) 92

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2 - 1	เปรียบเทียบประวัติการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรโลก ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$).....	6
ตารางที่ 2 - 2	เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของทะเลกึ่งปิดทั่วโลก (Urban et al., 2008).....	7
ตารางที่ 2 - 3	ผลผลิตขั้นปฐมภูมิในทะเล (Xhittaker, 2001; Thurman & Trujillo, 2002).....	8
ตารางที่ 2 - 4	สารอาหารหลักในบริเวณทะเลกึ่งปิดทั่วโลกที่มีแหล่งที่มาจากแม่น้ำ (กิโโลโมล ต่อปี: Gmol y^{-1}) (Urban et al., 2008).....	11
ตารางที่ 2 - 5	เปรียบเทียบประวัติการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในประเทศไทย ($\text{g-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$).....	13
ตารางที่ 2 - 6	ผลผลิตปฐมภูมิ และศักยภาพการผลิตสัตว์น้ำในอ่าวไทย (อำพัน เหลือสินทรัพย์, 2524).....	14
ตารางที่ 2 - 7	การประเมินผลผลิตสุทธิโดยการใช้โมเดล VGPM.....	16
ตารางที่ 2 - 8	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการในการตรวจวัดผลผลิตปฐมภูมิ ดัดแปลงจาก Cullen (2001)	20
ตารางที่ 3 - 1	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและตะกอนแขวนลอยในน้ำ	25
ตารางที่ 3 - 2	ชนิดสารอาหาร (nutrients species) ทั้งหมดที่ทำการศึกษา	26
ตารางที่ 4 - 1	ค่าต่ำสุด - สูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษา	31
ตารางที่ 4 - 2	ค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของสารอาหาร.....	54
ตารางที่ 4 - 3	อัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ของสารอาหารหลักในแต่ละชั้นน้ำ	76
ตารางที่ 4 - 4	ค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำที่ได้จากการเทียบของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับคลอโรฟิลล์-เอ ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima	81
ตารางที่ 4 - 5	ความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับ $E_d(Z)$	83
ตารางที่ ก - 1	สถานีทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ทำการศึกษา และพิกัด	110
ตารางที่ ก - 2	คุณภาพน้ำทะเลทั่วไป.....	111
ตารางที่ ข - 1	เปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$, K_{PAR} (m^{-1}) และ คลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ในแต่ละสถานี.....	118
ตารางที่ ค - 1	ค่าความเข้มข้นของสารอาหารในพื้นที่ทำการศึกษา	127
ตารางที่ ค - 2	ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Biogenic layer	134
ตารางที่ ค - 3	ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Subpycnocline layer....	135
ตารางที่ ค - 4	ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Biolythic layer.....	136

ตารางที่ ง - 1 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) และผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ ($\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)..... 137

ตารางที่ จ - 1 ความสัมพันธ์ของสารอาหารแต่ละชนิด โดยใช้วิธีของ Pearson correlation 141



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อ่าวไทยจัดได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เป็นแหล่งประมงสำคัญ และเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ศักยภาพเหล่านี้เกิดจากแพลงก์ตอนพืชที่สามารถสังเคราะห์ และให้ผลผลิตเป็นสารอินทรีย์ ที่เรียกว่า ผลผลิตปฐมภูมิ (primary productivity) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของระบบห่วงโซ่อาหาร และเป็นตัวการสำคัญในการขับเคลื่อนการหมุนเวียนวัฏจักรชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycle) ของธาตุต่าง ๆ ในมหาสมุทร ไม่ว่าจะเป็นคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอื่น ๆ อันเป็นองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช โดยมีแสงและสารอาหารเป็นปัจจัยจำกัด ซึ่งจะต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่และเวลาที่แตกต่างกัน จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงและสารอาหาร จะส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ เนื่องจากการเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงได้นั้นจำเป็นต้องมีทั้งแสง และสารอาหารในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งแสงและสารอาหารจะผันแปรไปตามสถานที่และเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในพื้นที่นั้น ๆ และมักจะมีลักษณะเฉพาะตามสภาพเขตภูมิศาสตร์

กระบวนการสังเคราะห์ผลผลิตขั้นปฐมภูมิเกิดจากแพลงก์ตอนพืชดึงเอาสารอาหารในมวลน้ำตาม Redfield ratio ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต ในอัตราส่วน 16 : 1 : 16 เข้าสู่เซลล์และเริ่มการสังเคราะห์แสง เมื่อรงควัตถุสีเขียวที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และรงควัตถุอื่น ซึ่งอยู่ในแพลงก์ตอนพืชถูกกระตุ้นโดยพลังงานแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ของธาตุภายในเซลล์ เพื่อเปลี่ยนอนินทรีย์คาร์บอน น้ำ และสารอาหารอนินทรีย์ให้เป็นอินทรีย์คาร์บอนและออกซิเจน

ดังนั้นการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิจึงมีความสำคัญ วิธีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิทำได้หลายวิธี ทั้งทางตรงและทางอ้อม แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธีศึกษาโดยตรง ได้แก่ วิธีขวดสว่างและขวดมืด (light and dark bottle) และติดตามด้วยไอโซโทป (isotope tracer) นั้นเป็นวิธีการศึกษาที่ยุ่งยาก ลงทุนสูง และใช้เวลานาน แตกต่างจากวิธีการทางอ้อม เช่น การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ ดาวเทียม และการใช้โมเดล ซึ่งทำได้ง่ายกว่า และสามารถทำในพื้นที่ขนาดใหญ่ แต่วิธีการนี้จะมีเฉพาะในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ชายฝั่ง การใช้โมเดลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการหาค่าผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทย ซึ่งโมเดล Vertically Generalized Production Model (VGPM) นั้น นิยมใช้ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในหลายพื้นที่ โดยทำการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิด้วย

วิธีการทางเคมีเพื่อนำไปปรับปรุงค่าคงที่ในสมการ ซึ่งจะทำให้การประเมินผลผลิตปฐมภูมิในอนาคตสามารถทำได้ง่ายขึ้น เพียงแค่ใช้ข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ คลอโรฟิลล์-เอ และความเข้มแสง ก็สามารถหาค่าผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาคความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตปฐมภูมิกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและสารอาหารในอ่าวไทยตอนกลาง
2. สอบเทียบมาตรฐาน Vertically Generalized Production Model (VGPM) เบื้องต้นสำหรับใช้ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง ด้วยวิธี light and dark bottle พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยจำกัดหลักของผลผลิตปฐมภูมิ ได้แก่ แสง และธาตุอาหารอนินทรีย์ รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ได้กับโมเดล VGPM ในช่วงที่ทำการศึกษาระหว่างวันที่ 14 มีนาคม ถึง 12 เมษายน พ.ศ. 2556

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทย ซึ่งจะนำไปสู่การหาประสิทธิภาพการถ่ายทอดพลังงาน (transfer efficiency) ในระบบห่วงโซ่อาหารในพื้นที่อ่าวไทย รวมถึงทราบความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิกับปัจจัยแสงและสารอาหารในพื้นที่อ่าวไทย ซึ่งทำให้เข้าใจกระบวนการชีวธรณีเคมีของอ่าวไทยได้มากขึ้น และสามารถนำค่าผลผลิตปฐมภูมิที่คำนวณได้จากพื้นที่จริงมาสอบเทียบเบื้องต้นกับโมเดล VGPM เพื่อพัฒนาโมเดลนี้ให้เหมาะสมกับพื้นที่อ่าวไทยต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

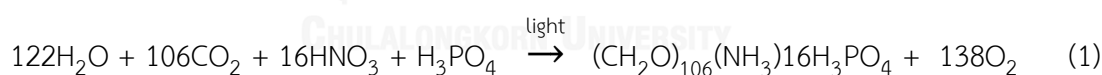
ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลผลิตปฐมภูมิ

การศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรมีความสำคัญยิ่ง เนื่องจากผลผลิตปฐมภูมิเกิดขึ้นมายาวนานกว่า 3 พันล้านปี ดังนั้นการเข้าใจหรืออธิบายกระบวนการของระบบนิเวศมหาสมุทรที่มีความเชื่อมโยงกับวัฏจักรชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycle) ได้อย่างลึกซึ้ง (Guosheng et al., 2004) จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตปฐมภูมิ

ในแต่ละปีการตรึงคาร์บอนเพื่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชมีปริมาณมากถึง 45 พันล้านตันต่อปี จึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และความยั่งยืนของผลผลิตประมง เนื่องจากผลผลิตปฐมภูมินั้นเป็นพื้นฐานของระบบห่วงโซ่อาหารในทะเล (Falkowski et al., 1998)

ผลผลิตปฐมภูมิเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยโมเลกุลของรงควัตถุในเซลล์แพลงก์ตอนพืชจะดูดกลืนพลังงานแสง เพื่อกระตุ้นการทำงานภายในเซลล์เปลี่ยนสารอาหารอนินทรีย์ปริมาณน้อย และคาร์บอนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide: CO₂) ให้เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีศักยภาพทางพลังงานสูง สมการที่ 1 เป็นสมการการสังเคราะห์สารอินทรีย์ในทะเล (Falkowski et al., 2007; Redfield, 1958; Thornton, 2012)



ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังสมการที่ 1 จำเป็นต้องใช้พลังงานประมาณ 120 Kcal ต่อการสร้างคาร์โบไฮเดรตทุก 1 โมล (Parsons & Takahashi, 1973) พลังงานนี้ได้มาจากการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์-เอ (chlorophyll-a) และสารสีบางชนิดที่อยู่ในโครมาโตพอร์ (chromatophore) ของเซลล์แพลงก์ตอนพืช (มนูวดี ห้างสพฤกษ์, 2532)

ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ได้ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยเวลา เรียกว่า Gross primary production (GPP) ซึ่งจะรวมถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (respiration: R) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือจากการกระบวนการหายใจ เรียกว่า Net primary production (NPP) ซึ่งจะเป็นส่วนที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ไปสำหรับการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ (Levinton, 2001)

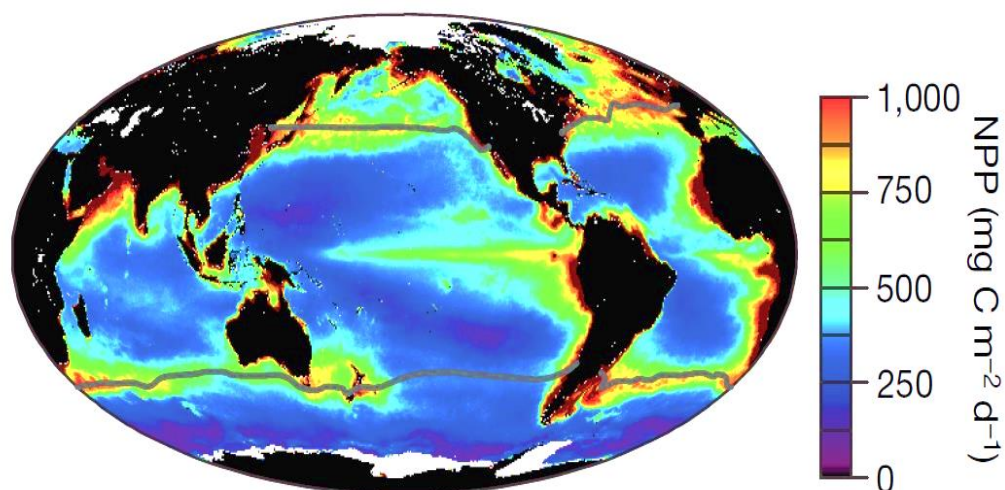
การพิจารณาปริมาณผลผลิตปฐมภูมิจำเป็นต้องพิจารณาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่มีอยู่ในแต่ละขณะ (standing crop) และอัตราการผลิตที่เกิดขึ้นโดยแพลงก์ตอนพืชด้วย ซึ่งปริมาณที่มีอยู่ในแต่ละขณะนั้น คือ ปริมาณของแพลงก์ตอนพืช (หน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอน: mg-C) ในน้ำทะเล 1 ลูกบาศก์เมตร หรือภายใต้พื้นที่ผิวน้ำทะเล 1 ตารางเมตร ดังนั้นอัตราการเกิดผลผลิตปฐมภูมิ คือน้ำหนักของคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์แสงใน 1 หน่วยเวลา ต่อ 1 หน่วยปริมาตร หรือภายใต้ 1 หน่วยพื้นที่ของผิวน้ำทะเล หรือผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ (integrated primary production: IPP) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) หรือ กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อปี ($\text{g-C m}^{-2} \text{y}^{-1}$) (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

แพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักที่มีความสำคัญต่อการผลิตผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทร (Falkowski et al., 2004) แพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่มีความสำคัญได้แก่ ไดอะตอม (diatom) ไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellates) ไพรเนสิโอไฟต์ (prymnesiophytes) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) องค์ประกอบของชนิดแพลงก์ตอนพืชและความเด่นของชนิด จะแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่และเวลาที่ต่างกัน ไดอะตอมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อปริมาณผลผลิตปฐมภูมิทั้งในระดับภูมิภาคและระดับโลก โดยคิดเป็น 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตทั้งหมดในทะเล (ประมาณ 20 Pg C yr^{-1} ; $1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$) หรือคิดเป็น 1 ใน 4 ของคาร์บอนทั้งหมดที่ถูกตรึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด (Sarhou et al., 2005) ไดอะตอมจัดเป็นชนิดเด่นที่มีมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตปฐมภูมิที่เกิดในบริเวณน้ำผุด และชายฝั่งทะเล ขณะที่ในทะเลเปิดมีเพียง 35 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (Nelson et al., 1995) ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่มีปริมาณมากในทะเลเปิดมักเป็นกลุ่มพิกโคแพลงก์ตอน (picoplankton) (Chisholm et al., 1988) ประวัติการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรโลกเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 2 - 1

กำลังผลิตของผลผลิตปฐมภูมิและการแพร่กระจายในแต่ละเขตภูมิภาคของโลกจะแตกต่างกัน และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่แตกต่างกันออกไป (รูปที่ 2 - 1) บริเวณทะเลเปิดในเขตร้อน (tropical zone) ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี แต่มีค่าผลผลิตปฐมภูมิต่ำ เนื่องจากมีชั้นเทอร์โมไคลด์แบบถาวร (permanent thermocline) ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ ส่งผลให้มวลน้ำชั้นล่างที่มีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ ไม่สามารถขึ้นมาสู่ผิวน้ำชั้นบนได้ ดังนั้นบริเวณทะเลเปิดในเขตร้อนจะมีข้อจำกัดเรื่องธาตุอาหาร (Thurman & Trujillo, 2002) แต่เขตร้อนบางบริเวณมีค่าผลผลิตสูง ได้แก่ บริเวณเขตน้ำผุดแถบศูนย์สูตร (equatorial upwelling) เขตน้ำผุดบริเวณชายฝั่ง (coastal upwelling) แนวปะการัง (coral reefs) และบริเวณเอสทูรี (estuary) บางพื้นที่ ตารางที่ 2 - 2 เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของทะเลกึ่งปิดทั่วโลก (Urban et al., 2008)

ปริมาณและการแพร่กระจายของผลผลิตปฐมภูมิแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน และเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยมีสารอาหาร แสง และอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัด (Thornton, 2012) ในพื้นที่ที่เกิดน้ำผุด (upwelling) ชายฝั่งทะเล (coastal zone) มีปริมาณผลผลิตปฐมภูมิประมาณ $420 \text{ g-C m}^{-3} \text{ y}^{-1}$ และทะเลเปิด (open ocean) มีปริมาณผลผลิตปฐมภูมิประมาณ 250 และ $130 \text{ g-C m}^{-3} \text{ y}^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 2 - 3) อย่างไรก็ตามทะเลเปิดนั้นมีพื้นที่คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่มหาสมุทรทั้งหมด ทำให้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรแต่ละปีมีค่ามากกว่าบริเวณชายฝั่งทะเลรวมกับบริเวณที่มีน้ำผุดเกิดขึ้น (Martin et al., 1987; Rocha, 2004) (รูปที่ 2 - 1)

ปัจจัยจำกัดของการสังเคราะห์ผลผลิตปฐมภูมิในน้ำทะเล คือ สารอาหาร แสง และอุณหภูมิ ปัจจัยจำกัดนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ซึ่งอัตราการเกิดผลผลิตปฐมภูมิในทะเลและมหาสมุทรทั่วโลกอาจแตกต่างกันได้มากถึง 100 เท่า (รูปที่ 2 - 1 และตารางที่ 2 - 3) อัตราสูงสุดมักจะพบในพื้นที่ที่มีสารอาหารในระดับที่เหมาะสม มีแสงสว่างพอดี ทั้งในแง่ของความเข้มของแสง ระยะเวลาที่มีแสงสว่าง และอุณหภูมิที่เหมาะสม



รูปที่ 2 - 1 การแพร่กระจายของผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรโลก (Behrenfeld et al., 2006)

ตารางที่ 2 - 1 เปรียบเทียบประวัตินิการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในมหาสมุทรโลก ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

พื้นที่	ค่าเฉลี่ย	ปี ค.ศ. ที่ศึกษา	วิธีการ	อ้างอิง
ทะเลเหลือง (yellow sea)	425	1984 - 1985	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Mingyuan et al., 1994)
ปากแม่น้ำแยงซีเกียง (estuary of Yangtze)	778.5	1985 - 1986	ประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์-เอ	(Yujie & Youlian, 1992)
ทะเลจีนตะวันออก (East China Sea)	200 - 2770	1994	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Nianzhi et al., 1998)
ทะเลจีนตะวันออก	560	1998	ประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์-เอ	(Guosheng et al., 2004)
ทะเลจีนตะวันออก	529	1984	ประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์-เอ	(Zunle & Xinghua, 1987)
ทะเลเหนือ (North Sea)	225	2007-2009	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Hirawake et al., 2012)
ทะเลดำ (Black Sea)	341	1992-1999	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean sea)	658	1990-2007	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
ทะเลอาหรับ (Arabian Sea)	1075	1995	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
มหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ (North Pacific ocean)	489	1989-2005	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
มหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันตกเฉียงเหนือ	460	1988-2003	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
มหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันออกเฉียงเหนือ	978	1989-1999	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)
มหาสมุทรใต้ (Southern ocean)	1274	1996-2006	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(Saba et al., 2011)

ตารางที่ 2 - 2 เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของทะเลกึ่งปิดทั่วโลก (Urban et al., 2008)

พื้นที่	พื้นที่ต่อเนื่องกับทะเลเปิด (เปอร์เซ็นต์)	เขตภูมิอากาศ	พื้นที่ทั้งหมด (km ²)	ความลึกเฉลี่ย (m.)	ผลผลิตปฐมภูมิ (mg-C)	ผลจับสัตว์น้ำ (กลางน้ำ) (mg-C m ⁻² d ⁻¹)	ผลจับสัตว์น้ำ (หน้าดิน) (mg-C m ⁻² d ⁻¹)	ดัชนีความอุดมสมบูรณ์ (Trophic Index: -)	ประสิทธิภาพการถ่ายทอดพลังงาน (Transfer Efficiency: %)
ทะเลบอลติก (Baltic Sea)	0.61	เขตอบอุ่น	412,560	52	1,804	0.58	0.03	3.35	3.35
อ่าวเบงกอล (Bay of Bengal)	19.23	เขตกึ่งร้อนชื้น	3,660,127	2,600	568	0.15	0.19	3.51	5.16
ทะเลดำ (Black Sea)	0.06	เขตอบอุ่น	460,151	1,189	882	0.27	0.03	3.08	2.15
ทะเลจีนตะวันออก	23.33	เขตอบอุ่น	1,212,441	188	1,058	1.54	0.32	3.30	6.31
อ่าวเม็กซิโก (Gulf of Mexico)	7.20	กึ่งเขตร้อน	1,529,669	1,486	417	0.13	0.06	2.60	0.82
อ่าวไทย (Gulf of Thailand)	16.07	เขตร้อนชื้น	386,878	45	700	0.33	0.40	3.52	6.54
อ่าวฮัดสัน (Hudson Bay)	4.55	กึ่งเขตร้อน	841,214	100	442	0.00	0.00	4.26	0.53
ทะเลคารา (Kara Sea)	13.97	เขตขั้วโลก	883,000	111	63	0.00	0.00	-	-
ทะเลลัปเตฟ (Laptev Sea)	28.16	เขตขั้วโลก	662,000	55	120	0.00	0.00	-	-
ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน	0.18	กึ่งเขตร้อน	2,516,484	2,000	385	0.08	0.03	3.25	2.73
ทะเลเหนือ (North Sea)	7.60	เขตอบอุ่น	575,000	94	1,067	0.70	0.08	3.26	4.09
ทะเลโอค็อตสค์ (Sea of Okhotsk)	9.09	เขตอบอุ่น	1,552,663	838	774	0.30	0.09	3.47	4.62
อ่าวเซนต์ลอว์เรนซ์ (Gulf of St. Lawrence)	4.67	เขตอบอุ่น	155,000	152	1,044	0.25	0.28	3.00	2.27

ตารางที่ 2 - 3 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิในทะเล (Xhittaker, 2001; Thurman & Trujillo, 2002)

ระบบนิเวศ	พื้นที่ (km ²)	ผลผลิตปฐมภูมิ (g-C m ⁻² y ⁻¹)	
		กำลังผลิต	ค่าเฉลี่ย
ทะเลเปิด	326 × 10 ⁶	1 - 400	125
บริเวณไหล่ทวีป (continental shelf)	26.6 × 10 ⁶	300 - 600	360
บริเวณที่เกิดน้ำผุด	0.4 × 10 ⁶	400 - 1,000	500
เอสทูรี	1.4 × 10 ⁶	500 - 4,000	1,500
แหล่งสาหร่ายทะเลและแนวปะการัง	0.6 × 10 ⁶	1,000 - 3,000	2,500
ทะเลทั้งหมด	361 × 10⁶	ค่าเฉลี่ย	152

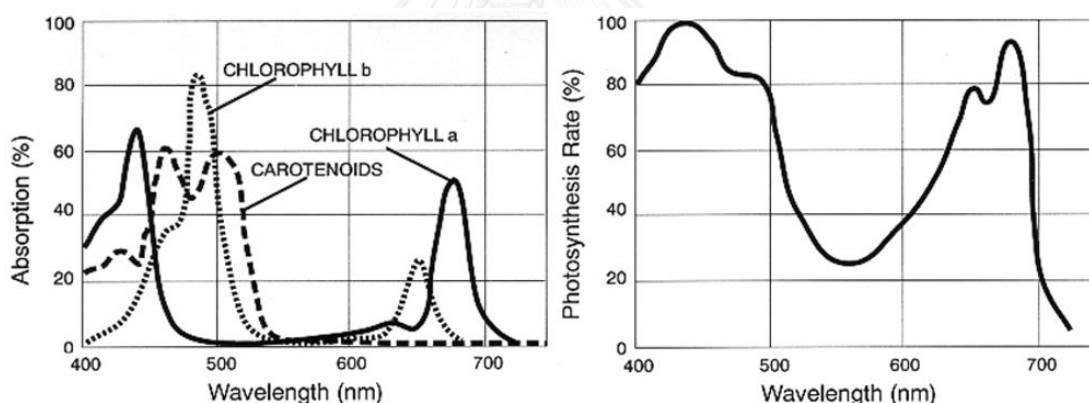
2.1.1 ปัจจัยแสงต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ

การผันแปรของผลผลิตปฐมภูมิในชั้นที่แสงส่องถึง ส่งผลต่อกระบวนการหมุนเวียนคาร์บอนในมหาสมุทรโดยสิ่งมีชีวิต (biological pump) (Honda et al., 2009) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตจำพวกแพลงก์ตอนพืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานเคมี ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรงควัตถุหลักที่ดูดกลืนพลังงานแสง คือ คลอโรฟิลล์-เอ และรงควัตถุอื่น (accessory pigment) เช่น คลอโรฟิลล์-บี (chlorophyll-b) แคโรทีน (carotenes) และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) เป็นต้น

เมื่อรงควัตถุดูดกลืนแสง อิเล็กตรอน (electron) ในรงควัตถุจะมีพลังงานสูงขึ้นและถูกถ่ายทอดต่อไปในปฏิกิริยาซึ่งจะเปลี่ยน ADP (adenosine diphosphate) ในเซลล์แพลงก์ตอนให้เป็น ATP (adenosine triphosphate) และ NADPH₂ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ซึ่งมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยานี้ เรียกว่า “light reaction” ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นกับพลังงานของแสง (Lalli & Parsons, 1932) ดังนั้นการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจึงขึ้นกับความเข้มของแสงด้วย

เนื่องจากประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง กล่าวคือ ผลผลิตปฐมภูมิจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อแสงเพิ่มขึ้น แต่การสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง (photo inhibition) เนื่องจากความเข้มแสงมากเกินไป โดยทั่วไปกราฟอัตราการสังเคราะห์แสงตามความเข้มแสงของแพลงก์ตอนพืช เรียกว่า Photosynthesis – Irradiance (P-I) curve มีลักษณะเป็น sigmoidal type curve หรือ S-curve (Gaarder & Gran, 1992; Henley, 1993; Leverenz et al., 1990; Platt et al., 1980)

รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthetically active radiation: PAR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 ถึง 700 นาโนเมตร (nm) เป็นช่วงคลื่นแสงสีฟ้าถึงสีแดง รงควัตถุ (pigment) ในแพลงก์ตอนพืชสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เช่น คลอโรฟิลล์-เอ ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 430 และ 662 nm คลอโรฟิลล์-บี (chlorophyll-b) ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 453 และ 642 nm และ แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 460 และ 550 nm เป็นต้น (รูปที่ 2 - 2) (McCree, 1970) อย่างไรก็ตาม PAR มีค่าลดลงตามระดับความลึกเนื่องจากถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยอนุภาคของมวลน้ำและอนุภาคที่อยู่ในมวลน้ำ หรือเรียกว่า Downward irradiance ($E_d(\text{PAR}, Z)$) ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับสัมประสิทธิ์การลดลงของ PAR (attenuation coefficient $K_d(\text{PAR})$) ในหน่วย m^{-1} ค่า $K_d(\text{PAR})$ ที่ลดลง เป็นผลมาจากของแข็งอินทรีย์แขวนลอยที่มีสี (Chromomorphic dissolved organic matter: CDOM) อนุภาคแขวนลอย (suspended particulate matter: SPM) แพลงก์ตอน และรวมถึงมวลน้ำ (Krik, 1994)



รูปที่ 2 - 2 ช่วงคลื่นของ PAR ที่ดูดกลืนโดยตรงควัตถุ (ซ้าย) และอัตราการสังเคราะห์แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ (ขวา)

2.1.2 ปัจจัยสารอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต ในน้ำทะเลเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และเพิ่มจำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากเป็นตัวควบคุมหรือเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต (limiting factor) ในทางสมุทรศาสตร์เคมีเรียกรวมองค์ประกอบนี้ว่า สารอาหารปริมาณน้อย (micronutrient elements) (มนูดี หังสพฤกษ์, 2532) บริเวณที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมและมีสารอาหารเพียงพอจะทำให้เกิดผลผลิตปฐมภูมิ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของสารอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต ในแหล่งน้ำนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อการ

เพิ่มขึ้นปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ (Lohrenz et al., 1999) แต่ในบางบริเวณธาตุอาหารเหล่านี้มีจำกัด ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ (ตารางที่ 2 – 4) เช่น ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัด เช่นเดียวกับบริเวณชายฝั่งทะเลทั่วไป (Thingstad & Rassoulzadegan, 1995)

การผันแปรของปริมาณสารสัมพันธ์ขององค์ประกอบธาตุที่มีความสำคัญต่อผลผลิตปฐมภูมิ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการอย่างง่ายของ Redfield ratio คือ C : N : P โดยมีค่าเท่ากับ 106: 16: 1 และความสัมพันธ์ของ Si : P มีค่าเท่ากับ 16:1 (Redfield, 1958) ซึ่งได้มาจากสมการการสังเคราะห์แสง (สมการที่ 1) สิ่งมีชีวิตในทะเลมีการปรับตัวต่อความจำกัดของสารอาหาร ตามอัตราส่วนของ Redfield ratio ตั้งแต่ช่วง 3,000 ล้านปีก่อน ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความชุกชุมมากที่สุดในบรรดาแพลงก์ตอนพืช และเป็นช่วงเดียวกับการสร้างออกซิเจนเข้าสู่บรรยากาศในปริมาณมหาศาล อย่างไรก็ตามสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ปรับตัวอย่างง่ายเพื่อให้มีชีวิตรอด และมีความเป็นไปได้ว่าฟอสเฟตนั้นมีความจำกัดตั้งแต่ช่วง 2,000 ปีแรกของประวัติศาสตร์โลก ซึ่งค่า Redfield ratio จะแตกต่างออกไปตามละติจูด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงประชากรของแพลงก์ตอนพืชทั้งชนิดและความชุกชุม Redfield ratio จึงเป็นกุญแจสำคัญที่ถูกใช้ในการอธิบายวัฏจักรของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบ และออกจากระบบในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ (bioavailable forms) และสารอาหารที่มีความจำกัด (limiting factor) ซึ่งทฤษฎีนี้ถูกค้นพบเมื่อมีการพบสิ่งมีชีวิตในทะเลพวกแบคทีเรีย (bacteria) และอาร์เคีย (archaea) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ดำรงชีวิตโดยการใช้อินทรีย์สารเป็นอาหาร (heterotrophic bacteria) โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์และไนโตรเจนแก๊สให้เป็นแอมโมเนีย ที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้

ในการศึกษาอัตราการผลผลิตปฐมภูมินั้นมักจะพบว่าเมื่อผลผลิตปฐมภูมิมียุคสูงค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่วัดได้ต่ำ แต่ในบางการศึกษาพบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิ (Boynton et al., 1982; Nixon & Pilson, 1983) เนื่องจากประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารที่แตกต่างกันตามองค์ประกอบชนิดของแพลงก์ตอนพืช และการหมุนเวียนสารอาหารที่เกิดจากแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (microbial loop) (Falkowski, 1980)

ตารางที่ 2 - 4 สารอาหารหลักในบริเวณทะเลกึ่งปีตั่วโลกที่มีแหล่งที่มาจากแม่น้ำ (กิโลโมล ต่อ ปี: $Gmol\ y^{-1}$) (Urban et al., 2008)

พื้นที่	NEWS										LOICZ			CMTT		
	DIN	DIP	DON	DOP	PN	PP	POC	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP			
ทะเลบอลติก (Baltic Sea)	19.8	0.68	7.5	0.22	4.7	0.86	49	16.8	0.89	14.2	0.55					
อ่าวเบงกอล (Bay of Bengal)	222.5	3.54	51.8	1.58	99.0	24.37	1396	156.4	8.73	35.7	-					
ทะเลดำ (Black Sea)	23.6	1.47	10.5	0.38	8.8	1.75	100	20.6	1.08	40.7	-					
ทะเลจีนตะวันออก	122.7	2.55	25.3	1.03	71.6	13.72	783	77.2	4.17	110.0	1.0					
อ่าวเม็กซิโก (Gulf of Mexico)	77.2	1.28	17.1	0.54	29.7	5.96	340	34.6	1.80	70.0	1.35					
อ่าวเซนตลอเรนซ์	15.7	0.29	17.5	0.47	5.3	0.96	55	29.1	1.58	-	-					
อ่าวไทย (Gulf of Thailand)	10.4	0.22	6.1	0.17	8.9	1.74	100	14.2	0.79	3.2*	0.04*					
อ่าวฮัดสัน (Hudson Bay)	8.3	0.14	11.8	0.27	6.7	1.21	69	10.7	0.55	-	-					
ทะเลคารา (Kara Sea)	16.0	0.47	17.1	0.42	18.7	3.51	200	25.8	1.33	59.0	1.90					
ทะเลลัปเตฟ (Laptev Sea)	3.4	0.09	7.8	0.17	10.6	1.98	113	5.0	0.25	4.1	0.16					
ทะเลเอเดรียติกเหนือ (Northern Adriatic Sea)	11.9	0.50	3.3	0.10	4.5	1.06	61	6.8	0.38	8.56	0.23					
ทะเลเหนือ (North Sea)	58.4	2.44	13.8	0.10	7.4	1.40	80	26.0	1.43	43.6	0.88					
ทะเลโอค็อตสค์ (Sea of Okhotsk)	19.9	0.58	8.5	0.47	8.7	1.63	93	18.7	0.98	10.0	1.00					

NEWS, ไม่แตกต่างตาม Seitzinger และคณะ ปี 2005, LOICZ ไม่แตกต่างตาม Smith และคณะ ปี 2003, CMTT ไม่แตกต่างตาม Liu และคณะ ปี 2009

* แม่น้ำเจ้าพระยา

2.2 ผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทย

อ่าวไทยจัดได้ว่าเป็นระบบนิเวศทางทะเลแบบกึ่งปิด (semi-enclosed marine systems: SEMs) (Urban et al., 2008) ที่มีความอุดมสมบูรณ์แห่งหนึ่งของโลก (ตารางที่ 2 – 1 และ 2 - 2) เนื่องจากลักษณะของอ่าวไทยเป็นเอสทูรีแบบแม่น้ำในหุบเขาที่จมน้ำ (drowned river valley) พื้นที่ทะเลเคยเป็นที่ราบลุ่มน้ำมาก่อน บริเวณพื้นที่ทะเลจะมีร่องน้ำโบราณที่ต่อเนื่องกับแม่น้ำในปัจจุบัน เช่น แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำชุมพร ร่องน้ำสงขลา เป็นต้น (Robinson, 1974)

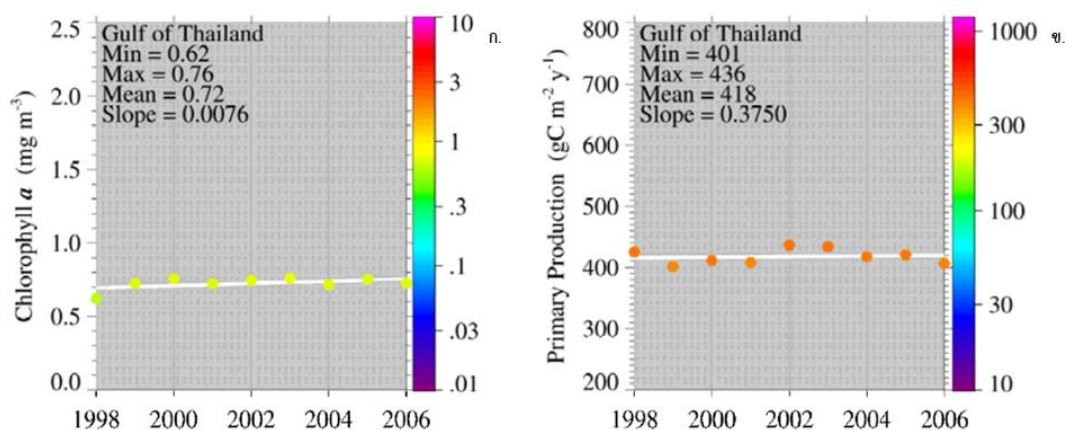
การศึกษาและการปรับปรุงวิธีการเพื่อการประเมินผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยนั้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิช่วงแรกของอ่าวไทยใช้วิธีการ photosynthesis (tank method) ควบคู่กับ chlorophyll analysis ในระหว่างปี พ.ศ. 2511 ถึง 2518 และเปลี่ยนมาเป็นวิธีการ pigment ratio ของ Margalef (ปี ค.ศ. 1965) ในปี พ.ศ. 2519 โดยสถานีวิจัยประมงทะเล ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการติดตามด้วยคาร์บอน-14 ในปี พ.ศ. 2495 แล้วก็ตาม เนื่องจากเครื่องมือในการตรวจวัดมีราคาสูง จึงยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในช่วงยุคแรก ๆ (อำพัน เหลือสินทรัพย์, 2524) ต่อมาในปี พ.ศ. 2541 ได้มีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิด้วยการติดตามด้วยคาร์บอน-14 ในพื้นที่อ่าวไทย โดยวีลรัตน์ มุสึเกะสังข์ (2541)

ผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทย (ตารางที่ 2 – 5) มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นที่มีลักษณะเป็นทะเลกึ่งปิด (ตารางที่ 2 – 2) เนื่องจากอ่าวไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีแสงและสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชตลอดทั้งปี ทั้งยังมีมีแนวโน้มคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (รูปที่ 2 – 3)

จากการศึกษาของสถานีวิจัยประมงทะเล ซึ่งได้สำรวจและรวบรวมข้อมูลผลผลิตปฐมภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 ถึง 2528 เพื่อนำไปใช้สำหรับการประเมินศักยภาพการผลิตสัตว์น้ำในอ่าวไทย โดยแบ่งการสำรวจออกเป็น 3 เขต (ตารางที่ 2 – 6) ได้แก่ อ่าวไทยตอนใน ทำการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 ถึง 2520 ฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย ทำการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 ถึง 2518 ฝั่งตะวันตกตอนบนของอ่าวไทย ทำการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 ถึง 2520

ตารางที่ 2 - 5 เปรียบเทียบประวัติการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในประเทศไทย ($\text{g-C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)

ผลผลิตปฐมภูมิเฉลี่ย ต่อวัน	ปีที่ศึกษา	วิธีการ	อ้างอิง
1.882 g-C m^{-3}	2494	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	วีระวัฒน์ หงสกุล (2522) อ้างอิงตาม (วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, 2541)
$0.83\text{-}3.45 \text{ g-C m}^{-3}$	2513-2519	Tank photosynthesis	(อำพัน เหลือสินทรัพย์, 2528)
$0.002\text{-}0.019 \text{ g-C m}^{-3}$	2541	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, 2541)
$0.2\text{-}0.605 \text{ g-C m}^{-2}$	2541	ติดตามด้วยคาร์บอน-14	(วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, 2541)
0.82 g-C m^{-2}	2551	ติดตามด้วยดาวเทียม	(Heileman & Chuenpagdee, 2008)



รูปที่ 2 - 3 แนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ก) และผลผลิตปฐมภูมิ ในพื้นที่อ่าวไทย (ข)
(Heileman & Chuenpagdee, 2008)

ตารางที่ 2 - 6 ผลผลิตปฐมภูมิ และศักยภาพการผลิตสัตว์น้ำในอ่าวไทย (อำพัน เหลือสินทรัพย์, 2524)

พื้นที่	วิธีการ	ผลผลิตปฐมภูมิ เฉลี่ยต่อปี	ศักยภาพการผลิต สัตว์น้ำ (ตัน)
อ่าวไทยตอนใน	Photosynthesis	0.66 kg-C m ⁻²	80,907.13
	Pigment ratio	0.49-1.79 kg-C m ⁻²	
	Pigment analysis	0.48 kg Chl-a m ⁻³	
		0.09 kg Chl-b m ⁻³	
		0.48 kg Chl-c m ⁻³	
ฝั่งตะวันออก	Photosynthesis	0.59 kg-C m ⁻²	324,728.66
		0.53-1.67 kg-C m ⁻²	
	Pigment analysis	0.15 kg Chl-a m ⁻³	
		0.04 kg Chl-b m ⁻³	
0.16 kg Chl-c m ⁻³			
ฝั่งตะวันตกตอนบน	Photosynthesis	0.51 kg-C m ⁻²	340,470.71
	Pigment ratio	0.22 - 1.72 kg-C m ⁻²	
	Pigment analysis	0.30 kg Chl-a m ⁻³	
		0.05 kg Chl-b m ⁻³	
		0.45 kg Chl-c m ⁻³	
ฝั่งตะวันตกตอนล่าง		0.59 kg-C m ⁻²	449,613.89
นอกเขตไหล่ทวีป		0.59 kg-C m ⁻²	614,179.68

หมายเหตุ: ค่าศักยภาพการผลิตสัตว์น้ำ ในบริเวณฝั่งตะวันตกตอนล่าง และบริเวณนอกเขตไหล่ทวีปมาจากการประเมินจากค่าเฉลี่ยของผลผลิตปฐมภูมิใน 3 บริเวณข้างต้น

จากข้อมูลผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยดังตารางที่ 2 - 5 และ 2 - 6 พบว่าค่าผลผลิตปฐมภูมิมียังอยู่ในช่วง 0.002 ถึง 1.882 g-C m⁻³d⁻¹ ซึ่งค่าที่ได้นี้มีความแตกต่างกันมาก อันเป็นผลจากพื้นที่ทำการศึกษาดูฤดูกาลและวิธีการที่แตกต่างกัน รวมถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติอื่น ๆ เช่น การสละรังของแพลงก์ตอน ทำให้การติดตามข้อมูลหรือการประเมินผลผลิตปฐมภูมิ รวมถึงผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำมีความจำกัด นอกจากนี้วิธีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยนั้นไม่ต่อเนื่อง รวมทั้งไม่มีการพิจารณาวิธีการมาตรฐานสำหรับการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทย ซึ่งวิธีที่สามารถใช้ในการหาค่าผลผลิตปฐมภูมินั้นสามารถทำให้หลายวิธีการ ดังจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3

2.3 วิธีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในปัจจุบัน

การประเมินผลผลิตปฐมภูมิในสมัยแรกเริ่มก่อนปี ค.ศ. 1927 ที่มีการพัฒนาวิธีขวดสว่าง-ขวดมืด (light and dark bottle) นิยมประเมินโดยวิธีทางอ้อม คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของประชากรแพลงก์ตอนพืช (standing crop หรือ standing stock) และปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ (อำพัน เหลือสินทรัพย์, 2524)

ในปัจจุบันการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิทำได้หลายวิธี ได้แก่ ขวดสว่าง-ขวดมืด การวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) การติดตามด้วยไอโซโทป (isotopic tracers) และการศึกษาสีน้ำทะเลด้วยดาวเทียม (ocean color) เป็นต้น (ตารางที่ 2 – 7) ค่าของผลผลิตที่ได้จะคลาดเคลื่อนแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นกับเทคนิควิธีการศึกษา ดังนั้นการเลือกวิธีการศึกษาต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สัมพันธ์ในการวัด ได้แก่ พื้นที่ เวลา และสมมติฐาน รวมถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้น เพื่อตอบคำถามงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ (Bender et al., 1987)

วิธีการหาผลผลิตปฐมภูมิที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การศึกษาสีน้ำทะเลด้วยดาวเทียม สีน้ำทะเลที่ปรากฏจะแสดงความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ที่มีอยู่ในน้ำทะเลผิวหน้า (McClain, 2009) ซึ่งวิธีการใช้ดาวเทียมนี้ทำให้สามารถศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่ใหญ่ ๆ ได้ทั้งในระดับโลก และภูมิภาค รวมทั้งทำการติดตามได้อย่างต่อเนื่อง แต่การศึกษาด้วยวิธีนี้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น การรบกวนจากสารอินทรีย์มีสีที่ละลายในน้ำ (colored dissolved organic matter หรือ CDOM หรือ yellow substance) การดูดกลืน และสะท้อนแสงของมวลน้ำชายฝั่งเนื่องมาจากตะกอนแขวนลอย ดังนั้นในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิบริเวณชายฝั่งจำเป็นต้องมีข้อมูลตรวจวัดทางเคมีจากพื้นที่จริง เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าข้อมูลดาวเทียมให้มีความถูกต้องตามสภาพของพื้นที่นั้นๆ (Thornton, 2012)

วิธีการวัดผลผลิตปฐมภูมินั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การวัดในพื้นที่จริง และวัดในสภาวะจำลองที่มีความใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด (Platt et al., 1989) ในการวัดโดยวิธีวัดออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช เป็นวิธีการทางเคมีแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลผลิตปฐมภูมิ

ตารางที่ 2 - 7 การประเมินผลผลิตสุทธิโดยการใช้โมเดล VGPM

พื้นที่	ค่าเฉลี่ย (mg C/m ² /d)	เวลาใน การศึกษา	อ้างอิง
ทะเลจีนตะวันออก	529	1984	(Zunle & Xinghua, 1987)
ทะเลจีนตะวันออก	560	1998	(Guosheng et al., 2004)
กระแสไหลวนในทะเลแบเร็ง (Bering Sea eddy)	612-801	1998-2000	(Mizobata & Saitoh, 2004)
Eastern Great Australian Bight	<800	2006	(Ruth, 2009)
ไหล่ทวีปชุกชี (Chukchi Shelf)	783	2007-2009	(Hirawake et al., 2012)
แอ่งแคนาดา (Canada Basin)	324	2009	(Hirawake et al., 2012)

2.3.1 วิธีการวัดออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen method)

วิธีการวัดออกซิเจนละลาย โดยการใช้ขวดสว่าง (light bottle) และขวดมืด (dark bottle) (Strickland & Parsons, 1972) เป็นการวัดผลผลิตปฐมภูมิจากการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย ค่าที่ได้ คือ อัตราการเกิดผลผลิตปฐมภูมิ (gross primary productivity: GPP) หรือน้ำหนักของคาร์บอนอนินทรีย์ที่ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์แสง 1 หน่วยเวลา ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ปริมาตร (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อเมตรต่อชั่วโมง: mg C m⁻¹ hr⁻¹) ในชุดการทดลองประกอบด้วยขวดมืดซึ่งจะไม่ได้รับแสงและมีแต่กระบวนการหายใจ (respiration) และขวดสว่างที่รับได้แสง ซึ่งจะเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วย ขวดทั้งสองประเภทจะถูกนำไปบ่ม (incubate) เป็นเวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ในส่วนของขวดตั้งต้น (initial bottle) เป็นขวดที่ใช้ในการวัดค่าออกซิเจนละลายที่แท้จริงในเวลานั้น ณ เวลาจริงที่ทำการเก็บตัวอย่าง ข้อจำกัดของการใช้ขวดสว่าง-ขวดมืด ได้แก่

- ถ้าความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายจะน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการไต่เตทรด้วยวิธีการของ Winkler ปี ค.ศ. 1888 นั้นมีสภาพไวไม่สูงพอ
- ถ้าในขวดมืดมีอินทรีย์สารและแบคทีเรียสูง จะเกิดการย่อยสลายหรือการหายใจมาก
- การสังเคราะห์แสงมีการสร้างไขมันหรือโปรตีนในปริมาณใกล้เคียงคาร์โบไฮเดรต ค่าผลผลิตที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง
- ถ้าขวด BOD ที่มีแบคทีเรียปนเปื้อน จะทำให้เกิดกระบวนการหายใจมากกว่าปกติ

- การใส่น้ำตัวอย่างลงในขวดทดลอง จำเป็นต้องจำกัดการไหลของน้ำ ป้องกันเกิดฟองอากาศให้ไม่แตกต่างจากค่าตั้งต้น
- ค่าที่ได้จะต่ำกว่าความจริงเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ มีการใช้ออกซิเจนไปในกระบวนการหายใจเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้วิธีการติดตามด้วยคาร์บอน-14 (^{14}C tracer) เป็นวิธีการทางเคมีที่ได้รับความนิยมใช้ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิ ซึ่งคิดค้นโดย Steemann Nielsen ปี ค.ศ. 1952 วิธีนี้เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง โดยทำการติดคาร์บอน-14 ซึ่งเป็นธาตุกัมตรังสี ลงไปในคาร์บอเนต (carbonate) และเติมลงไปในช่วงบรรจุตัวอย่าง ซึ่งจะนำไปทำการบ่มในตู้บ่ม แพลงก์ตอนพืชจะตรึงเอาคาร์บอนที่ติดคาร์บอน-14 ทำให้สามารถทำการนับจำนวนของคาร์บอน-14 ที่ไปอยู่ในผลผลิตที่ได้ ซึ่งจะเป็นผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity) (Irwin, 1991) แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง แต่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญและงบประมาณสูง

2.3.2 การศึกษาสีน้ำทะเลด้วยดาวเทียม (ocean color)

ปัจจุบันวิธีการที่นิยมใช้ในการวัดผลผลิตปฐมภูมิมากที่สุดอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้ข้อมูลดาวเทียม ซึ่งดาวเทียมดวงแรกที่ติดตั้งเครื่องมือในการตรวจวัดคลอโรฟิลล์-เอ จากชั้นบรรยากาศได้คือ The Coastal Zone Color Scanner ในปี ค.ศ. 1978 วิธีการตรวจวัดด้วยวิธีการนี้ถูกพัฒนามาเป็นเวลานานกว่า 30 ปี (Thornton, 2012) เซนเซอร์ (sensor) ที่ติดตั้งบนดาวเทียมซึ่งใช้ในการตรวจวัดคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Sea viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) และ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ในการวัดด้วยวิธีนี้ทำให้การศึกษาในปัจจุบันทำให้ง่าย รวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง ซึ่งความแม่นยำของดาวเทียมในปัจจุบันนั้น อยู่ที่ $\pm 5\text{ m}$ แต่ในการศึกษายังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการรบกวนของอนุภาคในน้ำ และการดูดกลืนแสงของมวลน้ำทะเล (McClain, 2009)

แสงในทะเลนั้นจะผันแปรไปตามเวลาและสถานที่ รวมถึงคุณสมบัติของแสงต่อสิ่งมีชีวิตอันเป็นพื้นฐานในหลายกระบวนการในทะเล เช่น ฟิสิกส์ ชีววิทยา และเคมี (Dickey & Falkowski, 2002) แสงในช่วงคลื่น visible light นั้น น้ำทะเลจะดูดกลืนได้ดี ที่ความยาวคลื่น 620 ถึง 780 nm ทำให้เห็นน้ำทะเลเป็นสีฟ้าและสีเขียว การดูดกลืนแสงของแพลงก์ตอนพืชผันแปรไปตามชนิดของแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากรงควัตถุที่แตกต่างกัน โดยมีช่วงคลื่นระหว่าง 440 ถึง 683 nm (Chang et al., 2006) ซึ่งคลอโรฟิลล์-เอ จะดูดกลืนแสงในช่วง 440 nm และ CDOM จะดูดกลืนแสงในช่วงแสงเหนือม่วง (ultraviolet: UV) ทำให้เห็นน้ำทะเลตั้งแต่ช่วงสีฟ้าถึงสีน้ำตาล (McClain, 2009)

ในการใช้ข้อมูลดาวเทียม มีการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithms) เพื่อใช้ประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ เช่น Absorption-based Primary productivity (ABPM), Wavelength-Resolved Models (WRMs) และ Vertically Generalized Production Model (VGPM) เป็นต้น VGPM เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับการยอมรับในการใช้ประเมินผลผลิตปฐมภูมิด้วยข้อมูลดาวเทียม พัฒนาโดย Behrenfeld และ Falkowski ในปี ค.ศ. 1997 (Behrenfeld & Falkowski, 1997b; Campbell et al., 2002; Carr et al., 2006; Ishizaka et al., 2007; Ruth, 2009; Siswanto et al., 2006) VGPM เป็นโมเดลที่ใช้ข้อมูลคลอโรฟิลล์เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและทั้งคอลัมน์น้ำ เนื่องจากคลอโรฟิลล์-เอ มีความจำเพาะที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (photosynthetic efficiency) (Behrenfeld & Falkowski, 1997a) ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ได้นั้นมาจากการใช้ข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (sea surface temperature: SST), PAR และแสงในรอบวัน (day length)

โมเดล VGPM และโมเดลอื่น ๆ ที่ใช้ค่าคลอโรฟิลล์ เป็นพื้นฐานในการประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ จะใช้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในการทำนาย เนื่องจากอัตราผลผลิตปฐมภูมิสุทธิได้มาจากประสิทธิภาพในการสังเคราะห์คาร์บอนของคลอโรฟิลล์ (O'Malley, 2014) ดังสมการที่ 2

$$NPP = f(\text{Chl}) \quad (2)$$

เนื่องจากประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ของคลอโรฟิลล์จะแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะถูกกำหนดโดยสารอาหารและแสง ดังนั้นจำเป็นต้องทราบว่าอัตราการสังเคราะห์คาร์บอนสูงสุดในมวลน้ำ (P^b_{opt}) ในหาค่า P^b_{opt} ได้จากค่าผลผลิตสุทธิต่อคลอโรฟิลล์เอ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนต่อ มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์-เอ ต่อชั่วโมง ($\text{mg-C mg-Chl}^{-1} \text{hr}^{-1}$) (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3.4 ข.) รวมถึงแสงในรอบวัน ดังสมการที่ 3

$$NPP = \text{Chl} \times P^b_{\text{opt}} \times \text{day length} \quad (3)$$

ค่าคลอโรฟิลล์ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมนั้น คือ ความเข้มข้นที่ผิวน้ำทะเล ดังนั้นหากต้องการทราบทั้งมวลน้ำในระดับที่แสงส่องถึงเราจำเป็นต้องใส่ค่า Volume function ลงในสมการ คือ ค่า PAR และระดับความลึกที่แสงส่องถึง (Z_{eu}) ดังสมการที่ 4 หรือพิจารณาดังรูปที่ 3 - 3

$$NPP = \text{Chl} \times P^b_{\text{opt}} \times \text{day length} \times (\text{PAR}/(\text{PAR} + 4.1)) \times Z_{\text{eu}} \quad (4)$$

โมเดล VGPM สามารถช่วยลดข้อจำกัดในการเก็บตัวอย่างในพื้นที่จริง ศึกษาพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ และสามารถติดตามได้ต่อเนื่อง รวดเร็ว เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้องดังนั้นการใช้โมเดล VGPM จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ลดความซับซ้อนในการศึกษา เนื่องจากข้อมูลที่ใช้นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม อย่างไรก็ตามการประเมินผลผลิตปฐมภูมิให้มีความแม่นยำโดยการใช้ข้อมูลดาวเทียม จำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับชุดข้อมูลจริงในพื้นที่ศึกษา (Guosheng et al., 2004) จึงเป็นที่นิยมในการใช้ประเมินผลผลิตปฐมภูมิ (ตารางที่ 2 – 7)

ดังนั้นโมเดล VGPM จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทย ซึ่งจะให้ผลที่รวดเร็ว ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่และต่อเนื่องได้ อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีในการตรวจวัดผลผลิตปฐมภูมิก็มียกข้อดีและข้อเสีย (ตารางที่ 2 – 8)

2.3.3 การวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence)

การวัดการเรืองแสงของรงควัตถุในแพลงก์ตอนพืชในทะเล สามารถตรวจวัดได้โดยการใช้เครื่อง Fluorometers (Lorenzen, 1966; Platt, 1972) ปัจจุบันเรือสำรวจทางทะเลส่วนใหญ่จะติดตั้งเครื่อง Fluorometer เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ไว้ เนื่องจากสามารถตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องและให้ข้อมูลตามเวลาจริง แต่ผลการตรวจวัดนั้นมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานแสงของคลอโรฟิลล์ โดยพลังงานแสงจะลดลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานความร้อน หรือใช้ไปในการสังเคราะห์ทางเคมี (Maxwell & Johnson, 2000) และสมดุลระหว่างกระบวนการการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ในระหว่างการสังเคราะห์แสงรวมถึงช่วงเวลาในการเคราะห์แสง (Kromkamp & Forster, 2003)

การวัดการเรืองแสงของแพลงก์ตอนพืชโดยการวัดค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากการเก็บน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอน กรองผ่านแผ่นกรองใยแก้วและสกัดโดยตัวทำละลาย สามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง spectrophotometer หรือ Fluorescence (Parsons et al., 1984) วิธีการนี้ใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่มีข้อด้อย คือ รงควัตถุอาจถูกทำลายไปเนื่องจากการดูดกลืนแสงในบางช่วงคลื่น ทำให้ค่าที่ประเมินต่ำกว่าความเป็นจริง และในการปลดปล่อยพลังงานของคลอโรฟิลล์-เอ และบี นั้นมีการซ้อนทับกัน (Wiltshire, 2009) ทำให้ต้องมีการแก้ค่าเพื่อความแม่นยำของข้อมูล ในปัจจุบันการวัดคลอโรฟิลล์ให้แม่นยำนั้น สามารถทำได้ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography หรือ HPLC เนื่องจากสามารถแยกรงควัตถุได้โดยหลักการ Chromatography และเมื่อทำการแยกรงควัตถุแล้ว สามารถตรวจวัดแบบ spectrophotometric หรือ Fluorescence ได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

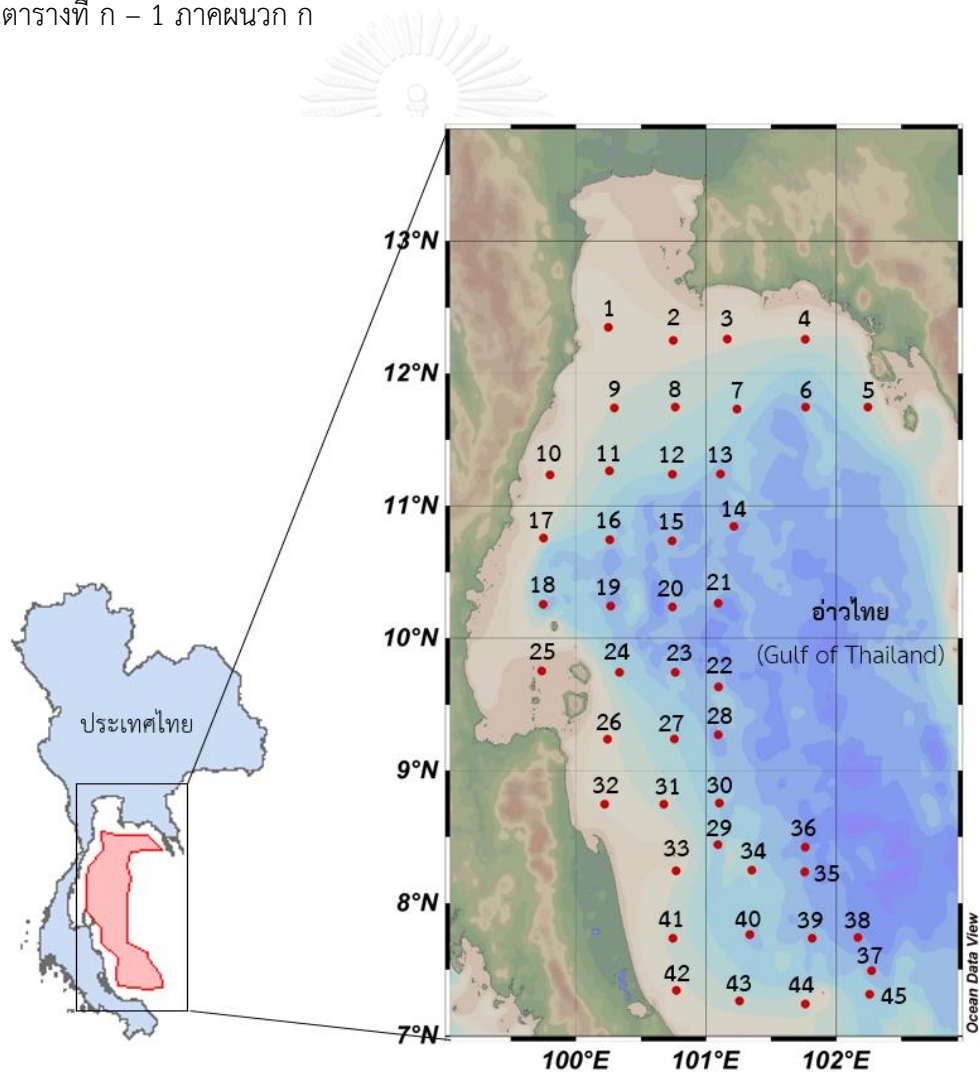
ตารางที่ 2 – 8 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการในการตรวจวัดผลผลิตปฐมภูมิ ดัดแปลงจาก Cullen (2001)

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อแนะนำ
วิธีการวัดโดยตรง			
วัดการเปลี่ยนแปลงของค่า TCO_2	เป็นการวัดอินทรีย์คาร์บอนสุทธิจากการตรึงของแพลงก์ตอนพืช	หากตัวอย่างน้ำมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง	ไม่เหมาะแก่การศึกษาในทะเลเปิด
วัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยการไหลเทรตออกซิเจน	เป็นการประมาณค่าผลผลิตรวมที่ได้จากการตรึงของแพลงก์ตอนพืช	หากตัวอย่างน้ำมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง	เป็นวิธีการวัดที่ดีหากมีการควบคุมการทดลอง
ติดตามด้วยไอโซโทปของ ^{14}C	มีสภาพการวัดสูงต่อการเปลี่ยนแปลง	มีความซับซ้อนและยุ่งยากในการศึกษา	เหมาะกับพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
ติดตามด้วยไอโซโทปของ ^{13}C	^{13}C มีความเสถียรมากกว่า ^{14}C	ความไวต่ำกว่าการใช้ ^{14}C	การใช้ ^{13}C ประสิทธิภาพต่ำกว่า ^{14}C
ติดตามด้วยไอโซโทปของ $^{18}O_2$	วัดอัตราการสังเคราะห์แสงได้โดยปราศจากการรบกวนของกระบวนการหายใจ	ต้องมีความเชี่ยวชาญสูง และงบประมาณสูง	ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในปฏิบัติการทั่วไป
วิธีการทางอ้อม			
วัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์	ตรวจวัดได้รวดเร็วในพื้นที่ทำการศึกษา	มีความคลาดเคลื่อนได้หากบริเวณดังกล่าวมีแพลงก์ตอนที่มีรงควัตถุอื่นนอกจากคลอโรฟิลล์-เอ	-
การศึกษาสีน้ำทะเลด้วยดาวเทียม	สามารถศึกษาได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อเนื่อง และรวดเร็ว	ต้องใช้โมเดลในการคำนวณที่มีความซับซ้อน และมีความจำเป็นกับพื้นที่	-

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 พื้นที่ทำการศึกษ

พื้นที่ในการสำรวจศึกษาและเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากอ่าวไทยอยู่ในระหว่าง ระหว่าง 7°-14° เหนือ และ 99°-103° ตะวันออก (รูปที่ 3 - 1) โดยเรือสำรวจซีฟเดค (M.V. SEAFDEC) กำหนดจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 45 สถานี ครอบคลุมอ่าวไทยตอนกลางประมาณ 160,025 ตารางกิโลเมตร (km²) ด้วยการแบ่งกริด (grid) ขนาด 45 x 45 กิโลเมตร (km) พิกัดที่ทำการเก็บตัวอย่างแสดงในตารางที่ ก - 1 ภาคผนวก ก



รูปที่ 3 - 1 สถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง จำนวน 45 สถานี

3.2 ระยะเวลาในการศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ระหว่างวันที่ 14 มีนาคม ถึง 12 เมษายน พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (transition period) ระหว่างลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (northeast monsoon) เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (southwest monsoon)

3.3 วิธีการศึกษา

3.3.1 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

วัดระดับความลึกน้ำและตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไป ได้แก่ ความลึก (depth) อุณหภูมิ (temperature) ความเค็ม (salinity) ความหนาแน่น (density) ความเป็นกรดต่าง (pH) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen) คลอโรฟิลล์-เอ โดยใช้ CTD

เมื่อทราบระดับความลึกน้ำ แบ่งระดับความลึกน้ำในการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ถึง 6 ระดับ ขึ้นกับความลึกของมวลน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกเก็บน้ำนิสกิน (Niskin bottle) แบ่งน้ำปริมาตร 2000 มิลลิลิตร (ml)

- กรองน้ำทะเลปริมาตร 1000 ml ด้วยแผ่นกรอง GF/C ขนาด 47 มิลลิเมตร (mm) ที่ซังน้ำหนักแน่นอนไว้ เก็บแผ่นกรองไปวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid: TSS) และสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ที่อยู่ในอนุภาคแขวนลอย น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4°C เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์สารอาหาร
- กรองน้ำทะเลปริมาตร 300 ml ผ่านแผ่นกรอง GF/F ขนาด 25 mm เก็บรักษาแผ่นกรองโดยวิธีแช่เยือกแข็งในที่ที่ไม่โดนแสง เพื่อศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และฟีโอฟิติน (pheophytin) ดังตารางที่ 3 - 1 การวิเคราะห์สารอาหารในน้ำทะเลส่วนใหญ่ทำโดยทันที ภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากการเก็บตัวอย่างน้ำ

3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ค่าผลผลิตปฐมภูมิ

ศึกษาผลผลิตปฐมภูมิด้วยวิธีขวดมืด-ขวดสว่าง มีค่าความแม่นยำ (precision) เท่ากับ $100 \text{ mg-C m}^{-3} \text{ hr}^{-1}$ หรือกล่าวได้ว่า 1 ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 15 \text{ mg-C m}^{-3} \text{ 6hr}^{-1}$ ซึ่งค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (limit of detection) เท่ากับ 2 ถึง $3 \text{ mg-C m}^{-3} \text{ hr}^{-1}$ (Strickland & Parsons, 1972)

เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณชั้นน้ำที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ สูงสุด (Chlorophyll maxima) โดยดูจากข้อมูล Fluorometer โดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 300 ml ด้วยขวด BOD ขนาด 300 ml ทำการริน (rinse) ขวดตัวอย่างด้วยน้ำทะเลตัวอย่างที่เก็บ 2 ครั้ง ก่อนจะค่อย ๆ เติมน้ำตัวอย่าง โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ซึ่งแบ่งขวดเก็บตัวอย่างเป็น 5 ขวด คือ ขวดตั้งต้น ขวดมืด (ห่อด้วยถุงดำ ปิดทับด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และเก็บในที่มืด) (Gaarder & Gran, 1927) และขวดสว่างที่ได้รับแสงในระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100, 60 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 3 -2 โดยการหุ้มฟิล์มกรองแสงที่ผ่านวัดการส่องผ่านของแสงในระดับต่าง ๆ นำขวดตัวอย่างไปบ่มในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 3 - 2 ขวดในชุดการทดลองเพื่อหาค่าผลผลิตปฐมภูมิ

การเตรียมความพร้อมสำหรับการบ่มตัวอย่าง (incubate) ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนซ์ สำหรับให้แสงกับขวดสว่าง และวัดค่าความเข้มแสงในแต่ละตำแหน่งที่ตั้งขวดตัวอย่าง ให้ทุกขวดได้รับแสงเท่ากัน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ $123.37 \pm 6.68 \mu\text{M s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ในแต่ละตำแหน่งที่ตั้งขวดทดลอง พร้อมทั้งปรับอุณหภูมิห้องบ่มให้อยู่ในช่วง 24 ถึง 26 °C และทำการล่อน้ำในกระบะตัวอย่าง และคอยตรวจสอบอุณหภูมิให้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับสถานะจริง โดยดูค่าจาก CTD ในตอนเก็บตัวอย่างน้ำในระดับนั้น ๆ

เมื่อทำการบ่มครบ 6 ชั่วโมง จึงนำขวดตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน โดยวิธี Iodometric titration (Winkler, 1888)

3.3.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และตะกอนแขวนลอย

สารอาหารที่วิเคราะห์เป็นนั้นเป็นกลุ่มสารอาหารที่มีความจำเป็น และมีความสัมพันธ์ต่อการหมุนเวียนวัฏจักรของสารอาหารในอ่าวไทย ในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารอาหารที่ละลายน้ำ และสารอาหารอยู่กับอนุภาคแขวนลอย เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด หากความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิกับปัจจัยสารอาหารสำคัญ ได้แก่ อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ และซิลิกาละลาย ชนิดสารอาหาร (nutrients species) ทั้งหมดที่ทำการศึกษาแสดงในตารางที่ 3 – 2

ในการวิเคราะห์จะแบ่งชั้นน้ำออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับความลึก 5 m (biogenic layer) ระดับใต้ชั้นน้ำที่แบ่งชั้นตามความหนาแน่น (subpycnocline layer) รวมทั้งเป็นระดับที่มีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูงสุด ที่ไม่ใช่ระดับความลึกสุดท้ายในการที่เก็บตัวอย่างของสถานีนั้น ๆ และเหนือพื้นทะเล 5 m (biolythic layer)

3.3.4 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์โดยการทำซ้ำ ดังนี้

- ฟอสเฟต ไนโตรเจน แอมโมเนียม ซิลิเกต ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย คลอโรฟิลล์-เอ ของแข็งแขวนลอย และออกซิเจนละลาย ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 100 เปอร์เซ็นต์
- ไนเตรต ไนโตรเจนที่ละลายน้ำทั้งหมด ไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 30 เปอร์เซ็นต์
- ในการวิเคราะห์ผลผลิตปฐมภูมิด้วยวิธีขวดสว่าง-ขวดมืด จะทำการชั่งน้ำหนักขวด BOD ทุกขวดเพื่อหาปริมาตรน้ำโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 302.21 ml มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.08 และทำการวัดค่าความเข้มแสงที่ส่องผ่านฟิล์มสำหรับหุ้มขวด BOD ทั้ง 60 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยเครื่องมือวัด light data logger ยี่ห้อ HOBO และในขณะที่ทำการบ่มตัวอย่างผู้ทดลองได้ควบคุมอุณหภูมิและแสง ให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด โดยหล่อน้ำ ฝน อุณหภูมิ ที่เก็บตัวอย่าง และ ให้แสงในระดับที่เท่ากันทุกตำแหน่งที่ตั้งขวดทดลองในชุดบ่ม วิเคราะห์ซ้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ในทุกขวดการทดลอง

ตารางที่ 3 - 1 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและตะกอนแขวนลอยในน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	อ้างอิง
ตัวอย่างน้ำ		
ฟอสเฟต	Phosphomolybdate formation & Colorimetric method	
ไนเตรต และไนไตรต์	Cadmium reduction, Diazotization & Colorimetric method	
แอมโมเนีย	Indophenol blue formation & Colorimetric method	Strickland & Parsons, 1972
ซิลิเกต	Silicomolybdate formation & Colorimetric method	
ฟอสฟอรัสละลายทั้งหมด	Digestion, Phosphomolybdate formation & Colorimetric method	
ไนโตรเจนละลายทั้งหมด	Digestion, Cadmium reduction, Diazotization & Colorimetric method	
ตัวอย่างตะกอนแขวนลอยในน้ำ		
คลอโรฟิลล์-เอ และพีไอ-พีติน	Fluorometric analysis	JGOFS, 1994
ของแข็งแขวนลอย	อบแห้งที่ 103-105 °C	APHA et al., 1998
ฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย	Persulfate Oxidation Digestion, & Colorimetric method	Lachat, 2005
ไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย	Alkaline persulfate oxidation Digestion, & Colorimetric method	Lachat, 2005

ตารางที่ 3 - 2 ชนิดสารอาหาร (nutrients species) ทั้งหมดที่ทำการศึกษา

ชนิด	ชื่อย่อ	กลุ่ม	วิธีการศึกษา
ฟอสเฟต (phosphate หรือ dissolved inorganic phosphorus)	PO ₄ ³⁻ หรือ DIP	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ไนเตรต (nitrite)	NO ₂ ⁻	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ไนเตรต (nitrate)	NO ₃ ⁻	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
แอมโมเนียม (ammonium ion)	NH ₄ ⁺	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลาย (dissolved inorganic nitrogen)	DIN	อนินทรีย์	คำนวณ : NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺
ซิลิเกต (dissolved silica)	DSi	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ไนโตรเจนที่ละลายทั้งหมด (total dissolved nitrogen)	TDN	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมด (total dissolved phosphorus)	TDP	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
อินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลาย (dissolved organic nitrogen)	DON	อินทรีย์	คำนวณ : TN – (DIN + PN)
อินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลาย (dissolved organic phosphorus)	DOP	อินทรีย์	คำนวณ : TP – (DIP + PP)
ไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย (particulate nitrogen)	PN	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย (particulate phosphorus)	PP	อนินทรีย์	วิเคราะห์ทางเคมี
ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	TN	อนินทรีย์	คำนวณ : DIN + DON + PN
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	TP	อนินทรีย์	คำนวณ : DIP + DOP + PP

3.3.5 การคำนวณผลผลิตปฐมภูมิในทะเล

ก. การหาค่าผลผลิตปฐมภูมิในแต่ละระดับความลึก

คำนวณหาค่า ผลผลิตปฐมภูมিরวม (GPP) ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) และการหายใจ (Respiration) จากการหาค่าออกซิเจนละลายของชุดทดลอง ได้แก่ ขวดตั้งต้น ขวดสว่าง และขวดมืด ตามสมการที่ 5 ถึง 7 (Strickland and Parson ,1972)

$$\text{Gross Primary Productivity, (mg-C m}^{-3}\text{d}^{-1}) = \frac{(O_{LB}-O_{DB}) \times 0.288 \times 1000 \times T}{PQ} \quad (5)$$

$$\text{Net Primary Productivity, (mg-C m}^{-3}\text{ d}^{-1}) = \frac{(O_{LB}-O_{IB}) \times 0.288 \times 1000 \times T}{PQ} \quad (6)$$

$$\text{Respiration, (mg-C m}^{-3}\text{ d}^{-1}) = \frac{(O_{IB}-O_{DB}) \times 0.288 \times 1000 \times T}{RQ} \quad (7)$$

เมื่อ	$O_{(LB)}$	=	ออกซิเจนละลายที่ได้จากขวดสว่าง (mg-O ₂ l ⁻¹)
	$O_{(DB)}$	=	ออกซิเจนละลายที่ได้จากขวดมืด (mg-O ₂ l ⁻¹)
	$O_{(IB)}$	=	ออกซิเจนละลายที่ได้จากขวดตั้งต้น (mg-O ₂ l ⁻¹)
	0.288	=	หาได้จากสัดส่วน Redfield ratio ดังสมการที่ 1
	T	=	เวลาในรอบวัน หรือ 12 ชั่วโมง สำหรับการสังเคราะห์แสง และ 24 ชั่วโมงสำหรับการหายใจ
	PQ	=	Photosynthetic quotient
	RQ	=	Respiratory quotient

ค่า PQ และ RQ จะแปรผันไปตามชนิดของแพลงก์ตอนพืช องค์ประกอบทางเคมีและสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปค่า PQ เท่ากับ 1.2 และ PQ เท่ากับ 1.0 (Strickland & Parsons, 1972; Cullen, 2001; มนุวัตี หังสพฤกษ์, 2532)

ข. การหาค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ (Depth intergrated primary production)

ค่าผลผลิตปฐมภูมিরวมทั้งคอลัมน์น้ำในแต่ละสถานี ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ระดับความลึก chlorophyll maxima ในแต่ละสถานี และประมาณค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิทุก 1 เมตร จากค่าคลอโรฟิลล์-เอ ค่าผลผลิตสุทธิรวมทั้งคอลัมน์น้ำหาได้จากค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ได้ในแต่ละระดับ จากผิวหน้าน้ำทะเลถึงระดับความลึกสุดท้ายรวมกัน มีหน่วยเป็น mg-C m⁻² hr⁻¹

3.3.6 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อผลผลิตปฐมภูมิ

ค่า downward irradiance ของ PAR หรือ $E_d(Z)$ ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Profiling Reflectance Radiometer system (PRR) โดยวัดด้วย PRR-2600 สำหรับการวัดในน้ำ และความเข้มแสงในรอบวันได้ข้อมูลจากโครงการสำรวจ “ทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง” โดยเรือสำรวจ SEAFDEC ซึ่งค่า $E_d(Z)$ คำนวณจากสมการที่ 8 (Krik, 1994) และค่า K_{PAR} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 (Shaoying et al., 2009)

$$E_d(z) = E_d(0) \times \exp(-K_{PAR} \times Z) \quad (8)$$

$$K_{PAR} = -\frac{1}{z} \ln \left[\frac{E_d(z)}{E_d(0)} \right] \quad (9)$$

เมื่อ	$E_d(Z)$	=	downward irradiance at depth Z
	$E_d(0)$	=	downward irradiance at air-water interface
	K_{PAR}	=	attenuation coefficient (m^{-1})
	Z	=	depth (m)

นำค่า $E_d(Z)$ และ K_{PAR} ที่ได้มาหาค่าความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ในแต่ละระดับความลึก (Shaoying et al., 2009)

3.3.7 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของสารอาหารต่อผลผลิตปฐมภูมิ

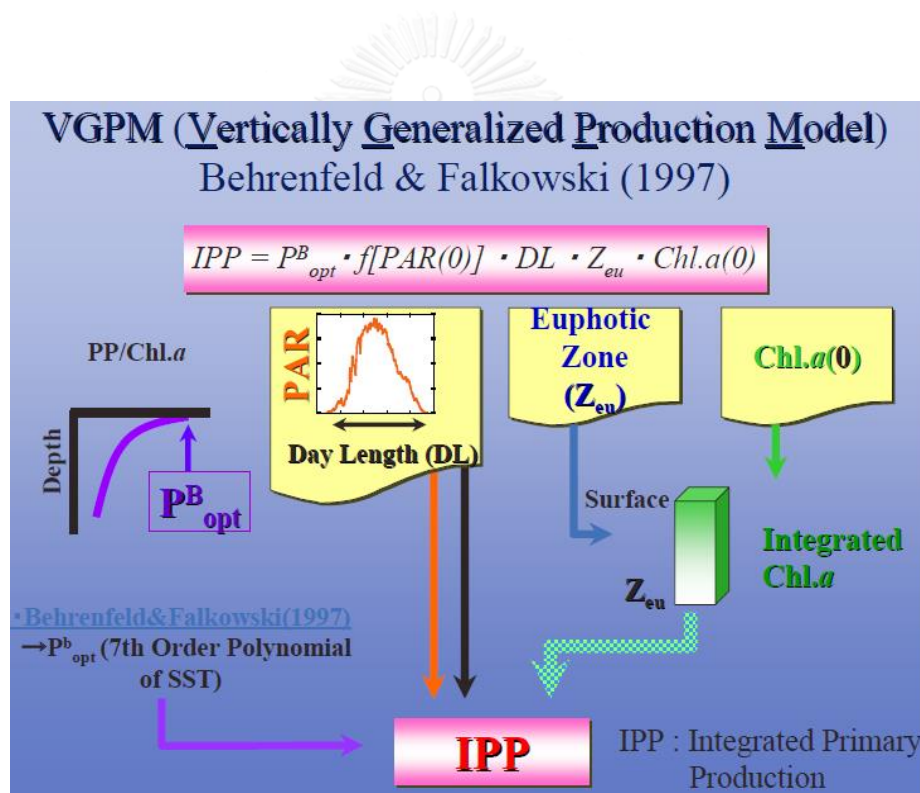
วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ของปัจจัยสารอาหารแต่ละชนิดกับค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและคลอโรฟิลล์-เอ ในอ่าวไทย เพื่อหาชนิดหรือธาตุที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ และคลอโรฟิลล์-เอ

3.3.8 การวิเคราะห์ผลผลิตปฐมภูมิโดยใช้โมเดล VGPM

ในการใช้โมเดล VGPM ค่า Integrated Primary Productivity (IPP) คำนวณได้จากข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ PAR และ SST ที่ผิวหน้าน้ำทะเล เฉลี่ยรายเดือนในช่วงมีนาคม ถึง เมษายน พ.ศ. 2556 จากดาวเทียม MODIS-Aqua ที่ความละเอียด 4 km (ข้อมูล download จาก <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 10 (Behrenfeld and Falkowski, 1997) และอธิบายดังรูปที่ 3 - 3

$$IPP = Chl \times P_{opt}^b \times DL \times \frac{PAR}{(PAR+4.1)} \times Z_{eu} \tag{10}$$

- เมื่อ
- IPP = Integrated Primary Productivity (mg-C m⁻² day⁻¹)
 - P_{opt}^b = Maximum C fixation rate within a water column (mg-C mg-Chl⁻¹ hr⁻¹)
 - PAR = Photosynthetically active radiation (Einsteins m⁻²day⁻¹)
 - Chl = chlorophyll-a concentration (mg m⁻³)
 - DL = Length of day time (hr)
 - Z_{eu} = Euphotic zone depth (m)



รูปที่ 3 - 3 แผนภาพแสดงการคำนวณหาค่า IPP โดยการใช้โมเดล VGPM (Ishizaka, 2007)

3.3.9 การสอบเทียบและหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณผลผลิตประมงรวมทั้งหมดต่อพื้นที่น้ำ

ค่าผลผลิตประมงรวมทั้งคอลัมน์น้ำที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.3.5 (ข) และ 3.3.8 สามารถนำมาหาความแตกต่างรากกำลังสองเฉลี่ย (root-mean square difference: RMSD) ได้ดังสมการที่ 11 และทำการทดสอบความเอนเอียง (bias) ของข้อมูลโดยสมการที่ 12 (Saba et al., 2011)

$$\text{RMSD} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta(i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$B = \overline{\log(\text{NPP}_m)} - \overline{\log(\text{NPP}_d)} \quad (12)$$

เมื่อ	$\Delta(i)$	=	$\log(\text{NPP}_m(i)) - \log(\text{NPP}_d(i))$
	NPP_m	=	NPP value from model
	NPP_d	=	NPP value from in situ
	B	=	Model's bias

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

4.1 คุณภาพน้ำทั่วไป

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทั่วไป ในอ่าวไทยตอนกลางทั้ง 45 สถานี แสดงไว้ในตารางที่ ก - 2 ภาคผนวก ก และสรุปไว้ในตารางที่ 4 - 1

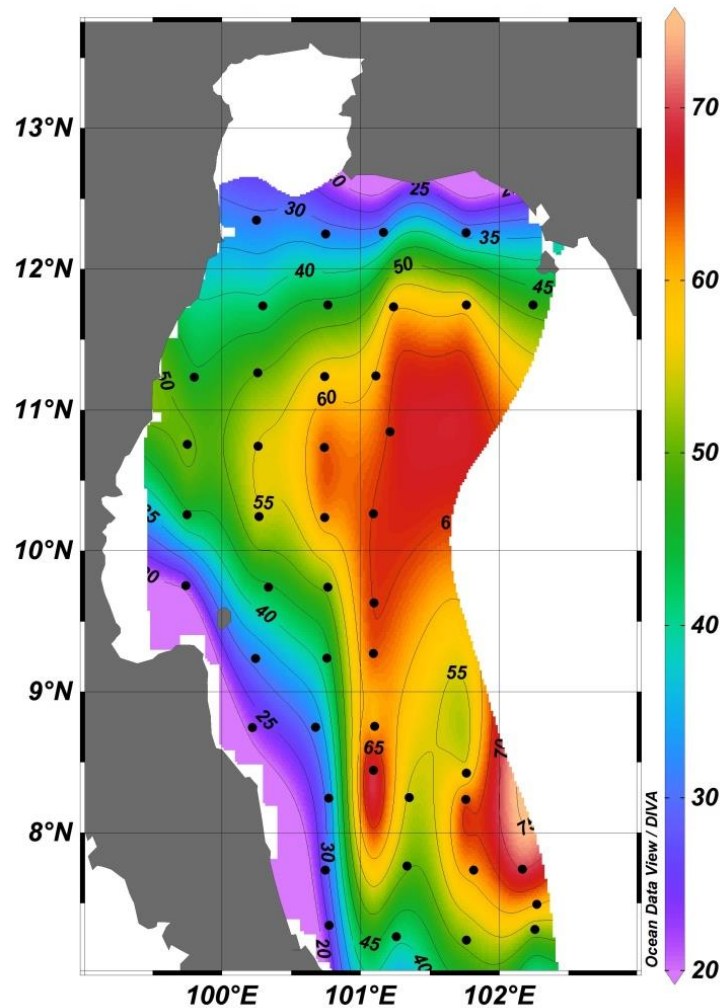
ตารางที่ 4 - 1 ค่าต่ำสุด - สูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย \pm SD
ความลึก (m)	20.0	73.0	49.0 \pm 14.2
อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)	26.9	31.8	29.3 \pm 0.83
ความเค็ม	31.3	33.3	31.9 \pm 0.44
ความหนาแน่น (kg m^{-3})	1,018.5	1,021.7	1,019.7 \pm 0.61
ความเป็นกรด-ด่าง	7.59	8.22	8.02 \pm 0.10
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg l^{-1})	0.88	6.57	5.77 \pm 1.02
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg l^{-1})	1.3	24.6	13.0 \pm 7.73
คลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.02	2.96	0.24 \pm 0.30
ฟิโอฟิติน ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.02	4.22	0.40 \pm 0.58

4.1.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของคุณภาพน้ำทั่วไป

ก. ความลึก

ความลึกของพื้นที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 73 เมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49 เมตร สถานีที่ 29 มีความลึกสูงสุดเท่ากับ 73 เมตร สถานีที่มีความลึกต่ำสุดประมาณ 20 เมตร คือ บริเวณชายฝั่งตะวันออก สถานีที่ 1 ถึง 4 และสถานีชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดชุมพรถึงสงขลา ได้แก่ สถานีที่ 25, 26, 32, 33, 41 และ 42 ระดับความลึกจะค่อย ๆ ลดระดับลงเป็นแอ่งบริเวณกลางอ่าว รูปที่ 4 - 1



รูปที่ 4 - 1 ความลึกน้ำ (เมตร) ในอ่าวไทย

ข. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 26.9 ถึง 31.8°C ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.3°C การแพร่กระจายของอุณหภูมิบริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึก 5 เมตร แตกต่างกับระดับความลึก 5 เมตร เหนือพื้นทะเลเฉลี่ย 1-3 °C (รูปที่ 4 - 2 และ 4 - 3) อุณหภูมิบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยมีค่าสูงทั้งคอลัมน์น้ำ ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด ที่ระดับความ 5 เมตร สถานี 9, 11, 16, 19, 24, 32, 33 และ 42 มีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากอิทธิพลจากการไหลเวียนของกระแสน้ำ ลมที่ผิวน้ำทะเล และการผสมของมวลน้ำเกิดขึ้นได้ดีกว่า (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และคณะ, 2556; มณฑล อนงค์พรยศกุล และคณะ, 2556) ที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเล 5 เมตร มีอุณหภูมิต่ำบริเวณสถานีที่ 35, 36, 37, 38 และ 45 เนื่องจากได้รับอิทธิพลของมวลน้ำเย็นที่แทรกมาจากทะเลจีนใต้ (South China sea) (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และคณะ, 2556)

ค. ความเค็ม

ความเค็มมีค่าอยู่ในช่วง 31.3 ถึง 33.2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.9 ค่าความเค็มจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก การแพร่กระจายของความเค็มที่ระดับความลึก 5 เมตร นั้นไม่แตกต่างกัน ต่างจากที่ความลึกเหนือพื้นทะเล 5 เมตร จะเห็นได้ว่าบริเวณที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน และชายฝั่งทะเลบริเวณจังหวัดระยอง และจันทบุรี จะมีค่าความเค็มต่ำกว่าบริเวณอื่น เป็นผลมาจากอ่าวไทยตอนบนได้รับจากน้ำจืดจากแม่น้ำขนาดใหญ่หลายสาย มากกว่าพื้นที่อื่นในอ่าวไทยฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนกลางของอ่าวไทยโดยเฉพาะสถานีที่ 45 มีความเค็มสูง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของมวลน้ำเย็นที่แทรกมาจากทะเลจีนใต้ เช่นเดียวกับอุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 4 - 4 และ 4 - 5)

ง. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าในช่วง 1018.5 ถึง 1021.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg m^{-3}) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1019.7 kg m^{-3} การแพร่กระจายของความหนาแน่นมีค่าสูงขึ้นตามระดับความลึก ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิต่ำ ความเค็ม และความดัน ค่าความหนาแน่นในระดับน้ำชั้นเดียวกัน จะไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 4 - 6) แต่เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของ 2 ระดับ พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับทะเลเปิด โดยบริเวณสถานีใกล้ชายฝั่งจะมีความหนาแน่นต่ำ ได้แก่ สถานีที่ 2 ถึง 6 ซึ่งเป็นบริเวณที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนบน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของน้ำจืดมากกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 5 เมตร ดังรูปที่ 4 - 7 ในสถานีที่ 35, 36, 42 และ 45 ความหนาแน่นของมวลน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น เป็นมวลน้ำที่มีความเค็มสูง อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้มีความหนาแน่นสูงกว่าสถานีอื่น ๆ

จ. ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.59 ถึง 8.22 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.02 ซึ่งอยู่ในช่วงปกติของน้ำทะเลทั่วไป การแพร่กระจายของค่าความเป็นกรดต่างที่ระดับความลึก 5 เมตร ในแต่ละสถานี ไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกันที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเล 5 เมตร โดยค่าความเป็นกรดต่างจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับความลึก เนื่องจากมีการสะสมของคาร์บอนสูงกว่าที่ผิวหน้าน้ำทะเล (รูปที่ 4 - 8 และ 4 - 9) โดยเฉพาะสถานีที่ 7 มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าสถานีอื่น เนื่องจากสถานีที่ 7 มีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 mg l^{-1} แสดงให้เห็นว่ามีกระบวนการหายใจและการย่อยสลายสูงทำให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้นเนื่องจากการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต

ฉ. ออกซิเจนที่ละลาย

ออกซิเจนละลายมีค่าอยู่ในช่วง 0.88 ถึง 6.57 mg l⁻¹ เฉลี่ย 5.77 mg l⁻¹ การแพร่กระจายของค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ที่ระดับความลึก 5 เมตร นั้นไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอิทธิพลของคลื่นลม บางสถานีค่าการละลายของออกซิเจนจะ ลดลงตามระดับความลึก ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ระดับเหนือพื้นทะเลมีค่าต่ำสุดที่สถานีที่ 7 (น้อยกว่า 2 mg l⁻¹) หรืออยู่ในภาวะพร่องออกซิเจน (รูปที่ 4 – 10 และ 4 – 11) สถานีนอกจากฝั่งค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำ เนื่องจากการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย ระยะเวลาพักของมวลน้ำที่มากกว่าชายฝั่งทะเล รวมทั้งมีความลึกที่มากกว่าทำให้การผสมของมวลน้ำเกิดได้น้อยทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ

ข. ของแข็งแขวนลอย

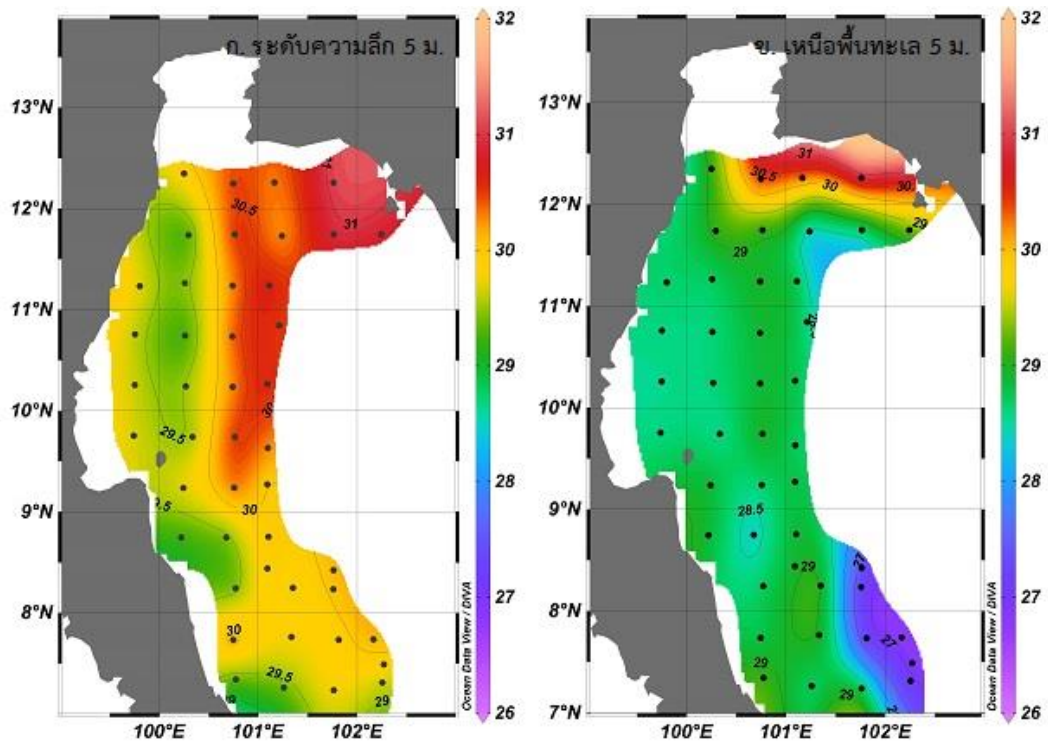
ของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 1.25 ถึง 24.60 mg l⁻¹ เฉลี่ย 13.04 mg l⁻¹ การแพร่กระจายของทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 4 - 12 และ 4 - 13) ลักษณะการแพร่กระจาย กลางอ่าวจะมีค่าสูงกว่าชายฝั่ง เนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการศึกษา อิทธิพลจากน้ำท่ามีน้อย เพราะเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาล รวมถึงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ปี พ.ศ. 2556 มีค่าเพียง 28.99 และ 72.84 มิลลิเมตร (mm) ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณฝนรวมเฉลี่ยตลอดปีทั่วประเทศ ประมาณ 1,572.5 mm และมีอัตราการตกสะสมในอ่าวไทยน้อยเมื่อเทียบกับบนบก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

ช. คลอโรฟิลล์-เอ

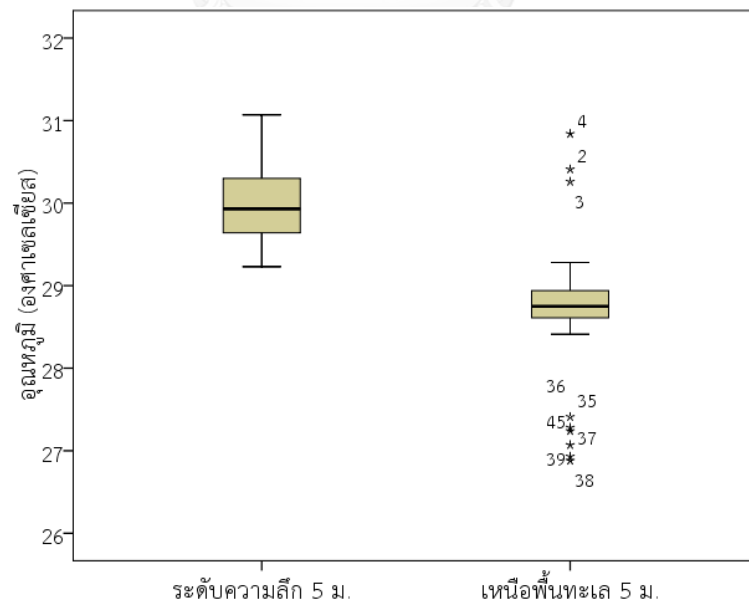
คลอโรฟิลล์-เอ มีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 2.96 µg l⁻¹ เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 µg l⁻¹ การแพร่กระจายของค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ระดับความลึก 5 เมตร มีค่าต่ำ ยกเว้นสถานีที่ 24, 25 และ 26 ที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น เนื่องจาก ณ เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างมีการสละรังของแพลงก์ตอนพืช กลุ่มไดอะตอม คลาส Bacillariophyceae สกุล *Pseudo-nitzschia* spp. (เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ, 2556) เช่นเดียวกับที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเล 5 เมตร นอกจากนี้ที่สถานีที่ 9 และ 10 มีค่าสูงเช่นกัน ในบริเวณสถานีดังกล่าวมีค่า DSI สูง และพบว่ามีแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอมสูงด้วย (เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ, 2556) สถานีที่ 4 (รูปที่ 4 – 14 และ 4 -15)

ณ. ฟิโอฟิติน

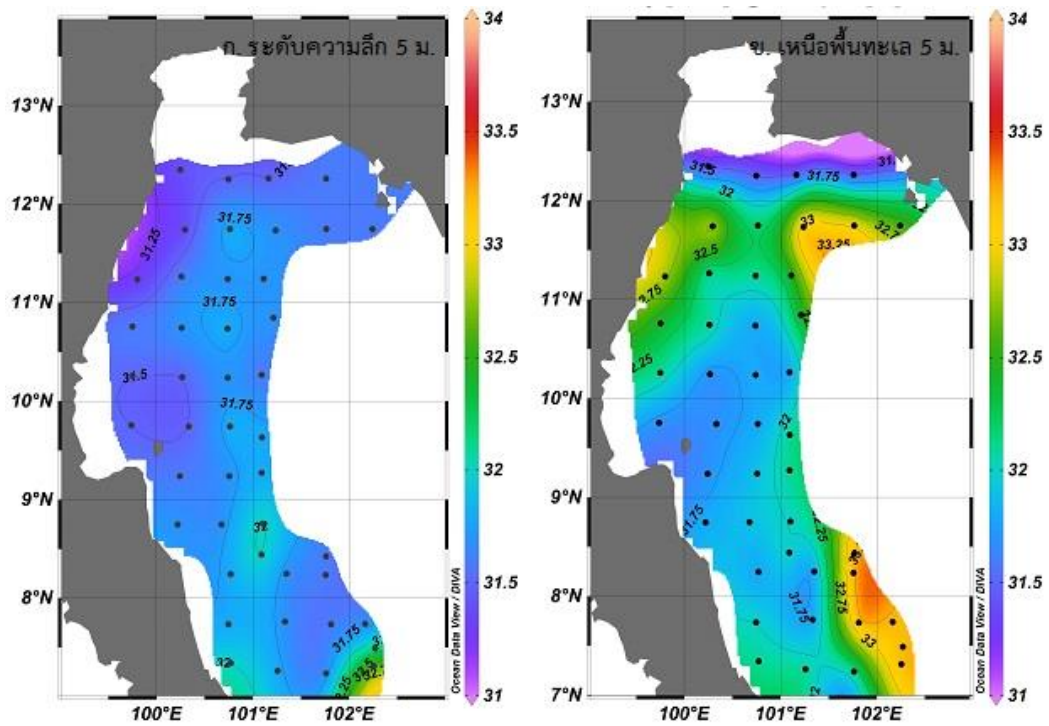
ฟิโอฟิตินมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 4.22 µg l⁻¹ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 µg l⁻¹ การแพร่กระจายของค่าฟิโอฟิติน ที่ระดับความลึก 5 เมตร มีค่าต่ำ ยกเว้นสถานีที่ 24 ที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น ที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเลมีค่าฟิโอฟิติน สูงบริเวณใกล้ชายฝั่ง ณ สถานีที่ 10 และ 17 ดังรูปที่ 4 – 16 และ 4 -17



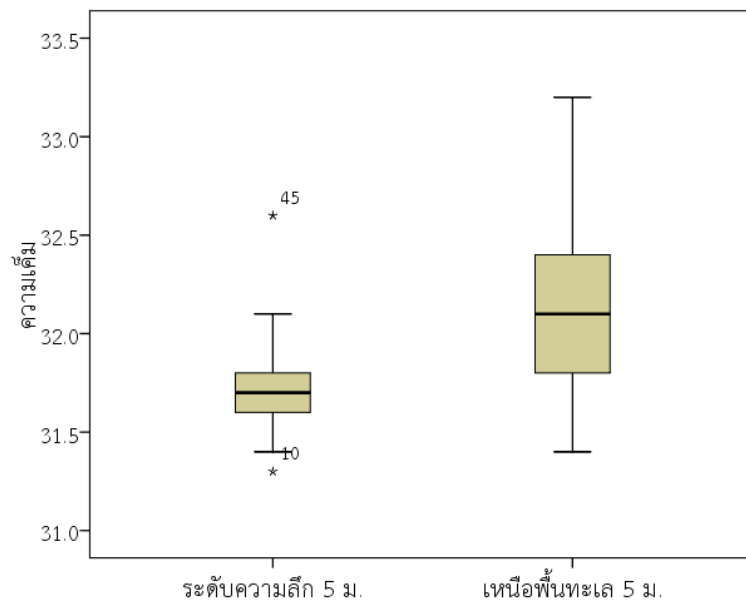
รูปที่ 4 - 2 การแพร่กระจายของอุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



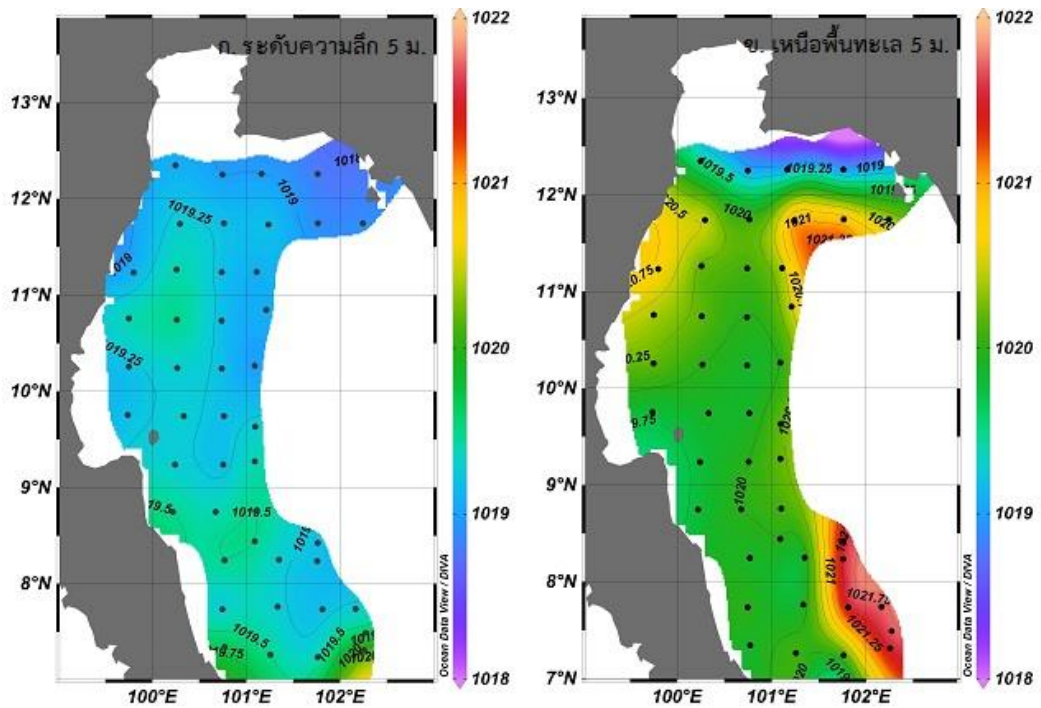
รูปที่ 4 - 3 ความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร



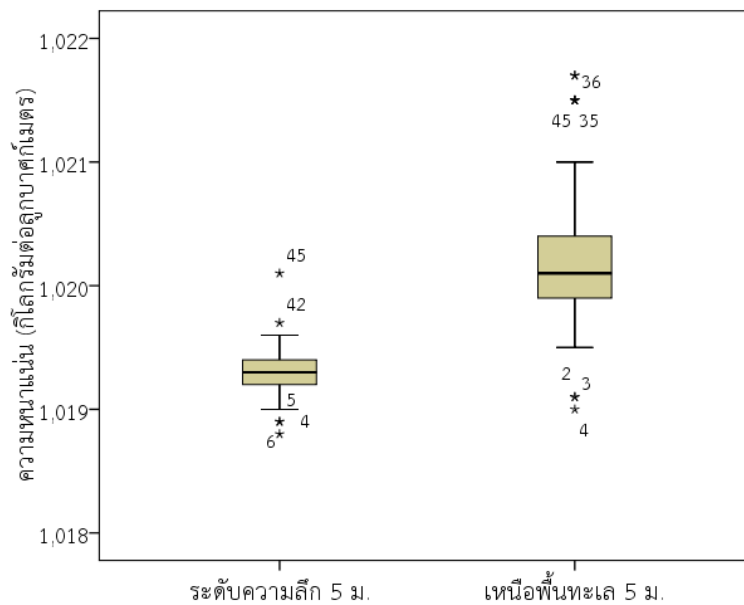
รูปที่ 4 - 4 การแพร่กระจายของความเค็ม ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



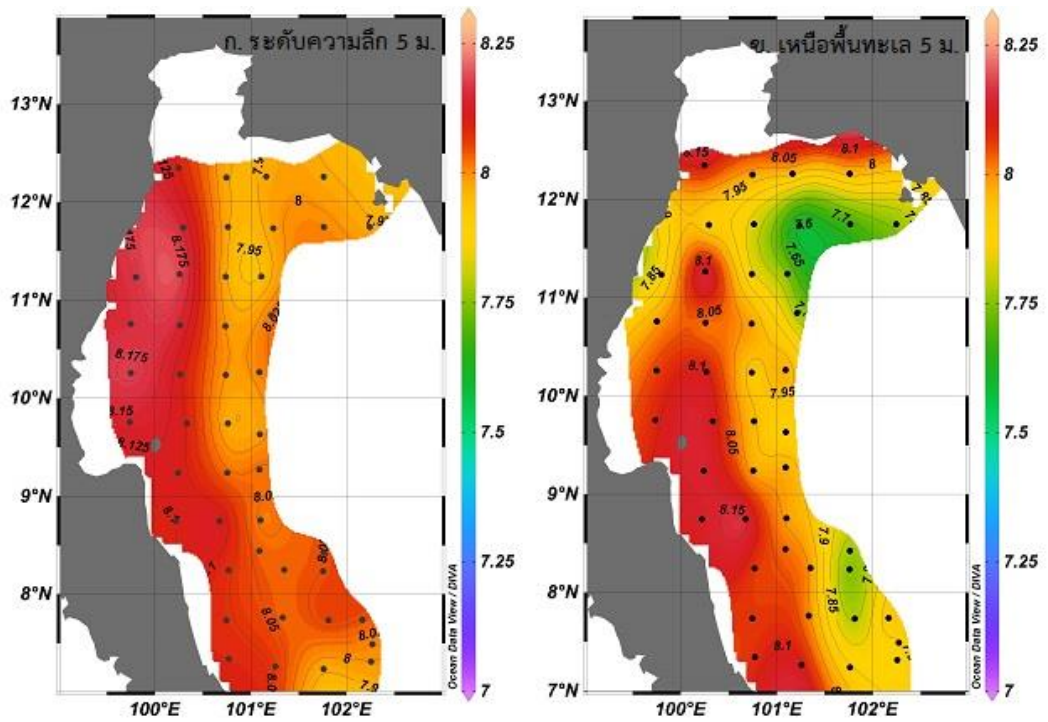
รูปที่ 4 - 5 ความแตกต่างของความเค็ม ที่ระดับความลึก 5 เมตร และ เหนือพื้นทะเล 5 เมตร



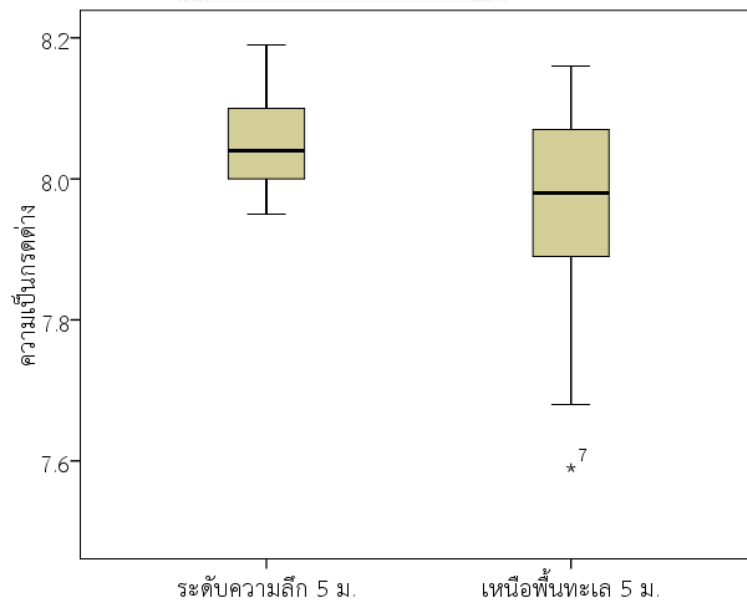
รูปที่ 4 - 6 การแพร่กระจายของความหนาแน่น (kg m^{-3}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



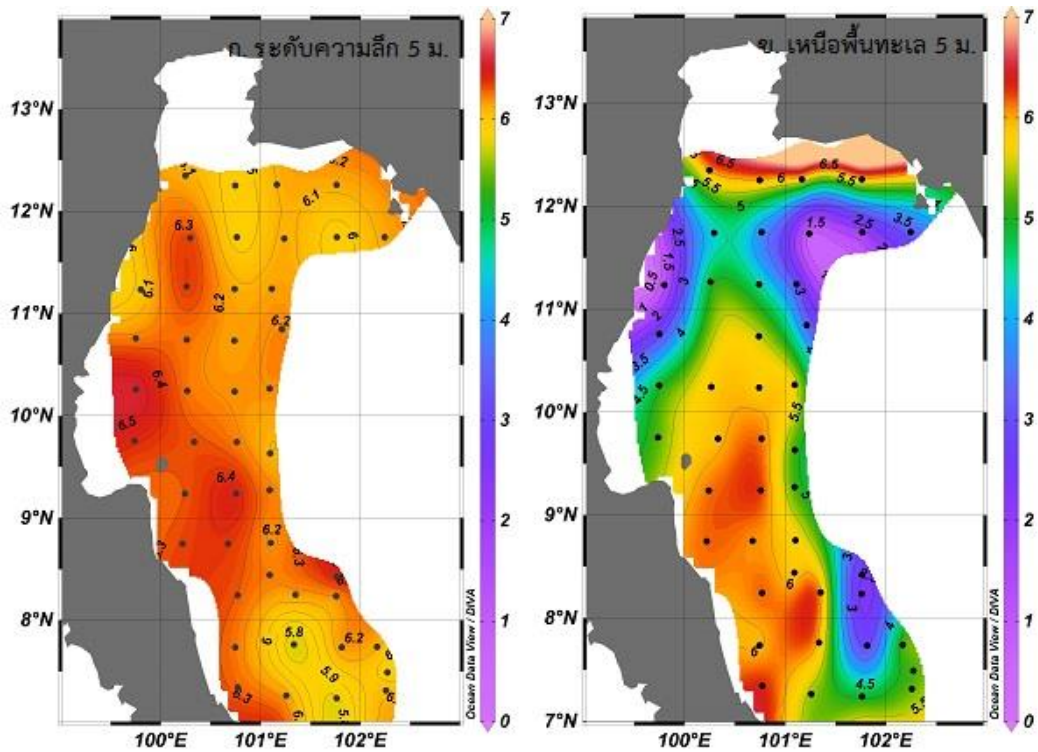
รูปที่ 4 - 7 ความแตกต่างของความหนาแน่น (kg m^{-3}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร



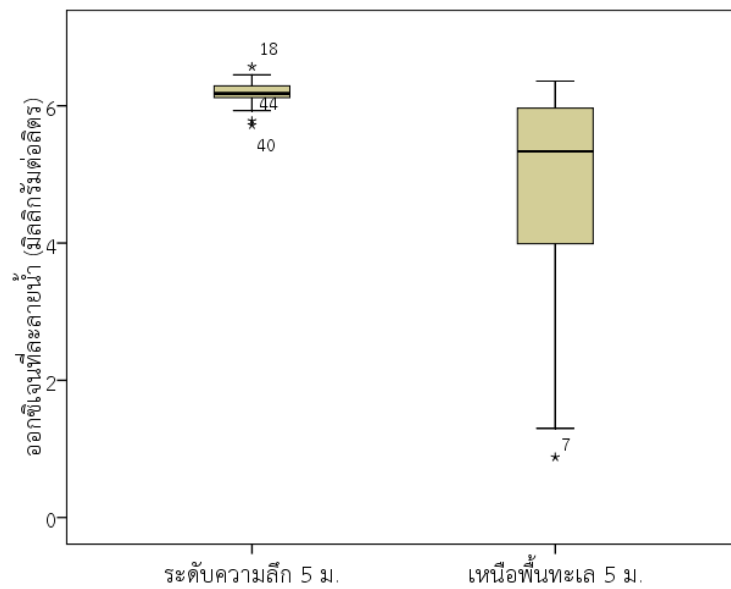
รูปที่ 4 - 8 การแพร่กระจายของความเป็นกรดต่างที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



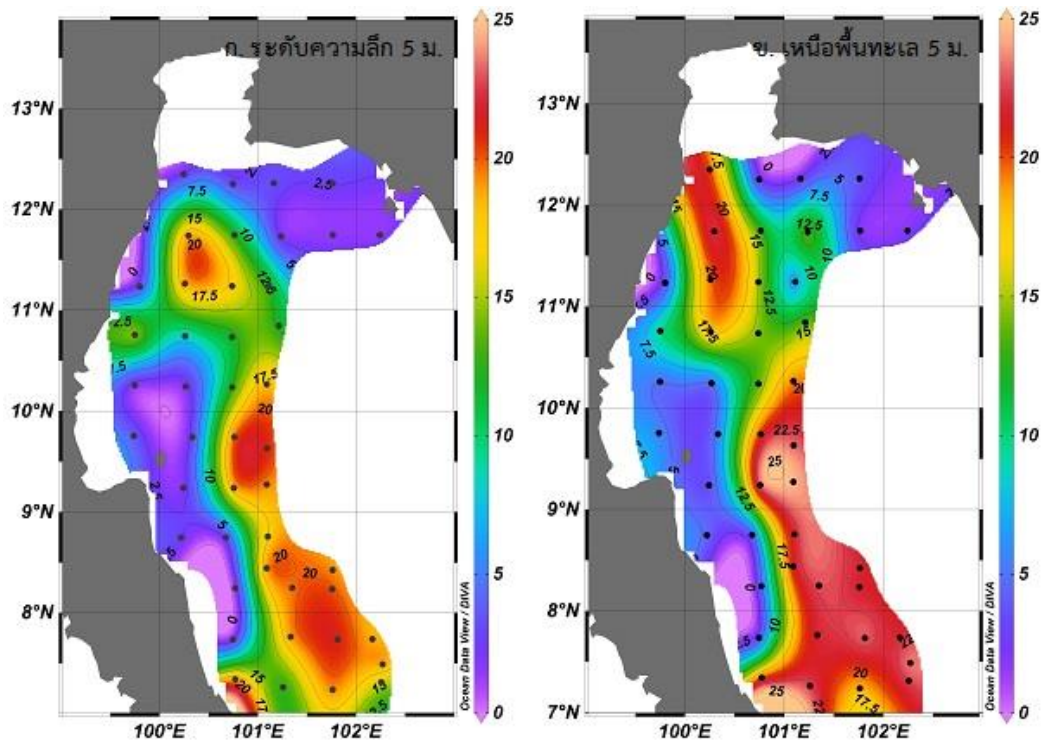
รูปที่ 4 - 9 ความแตกต่างของความเป็นกรดต่างที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร



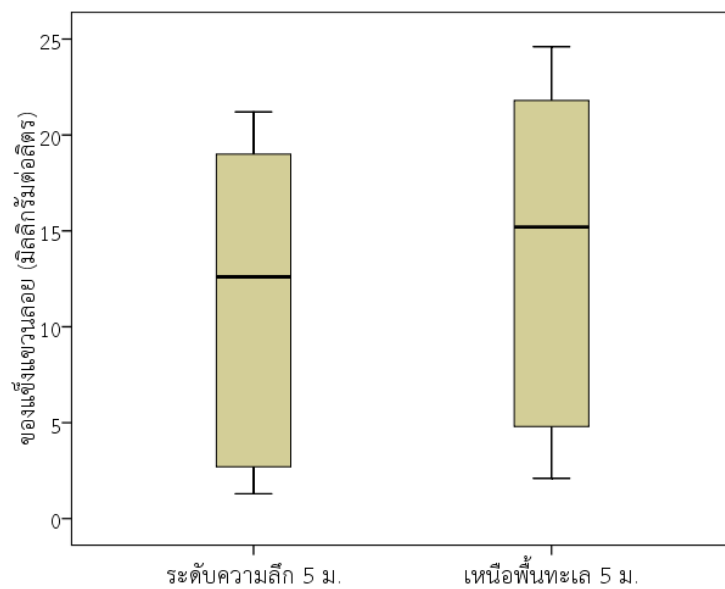
รูปที่ 4 - 10 การแพร่กระจายของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



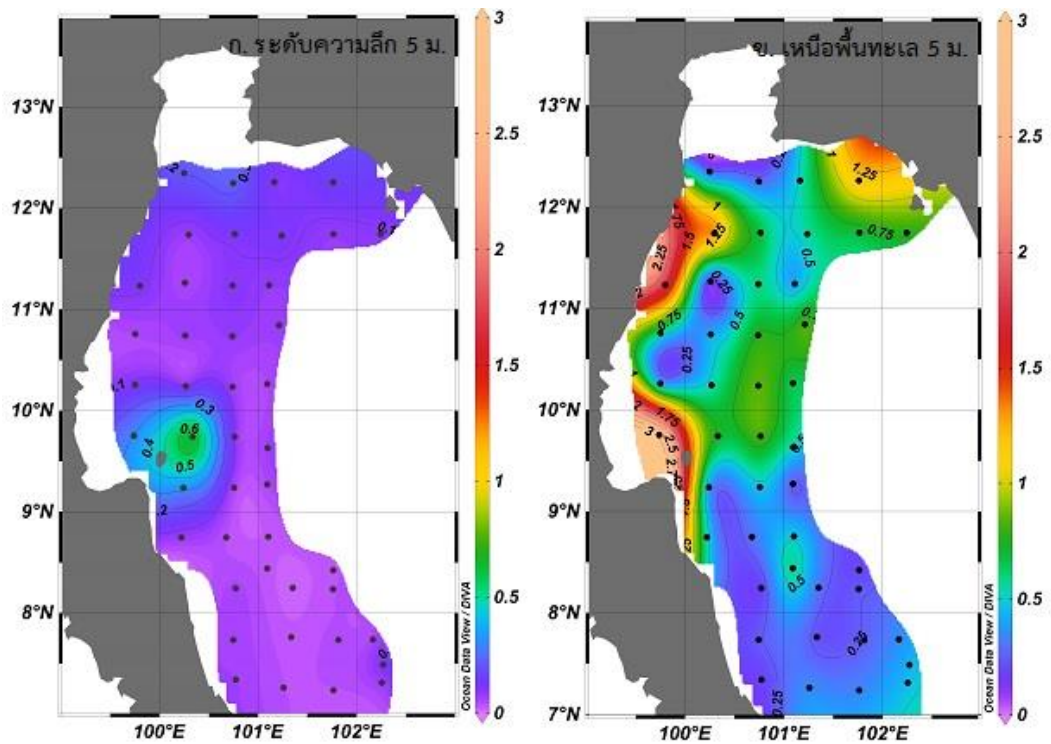
รูปที่ 4 - 11 ความแตกต่างของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร



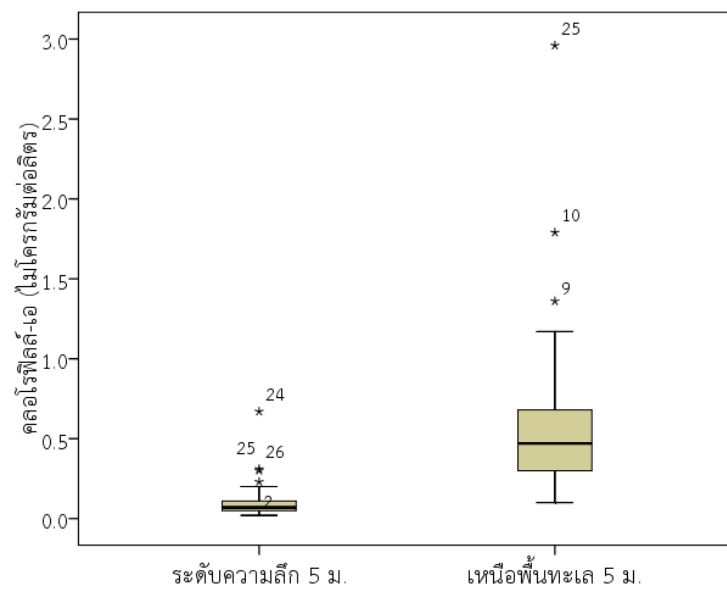
รูปที่ 4 - 12 การแพร่กระจายของของแข็งแขวนลอย (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



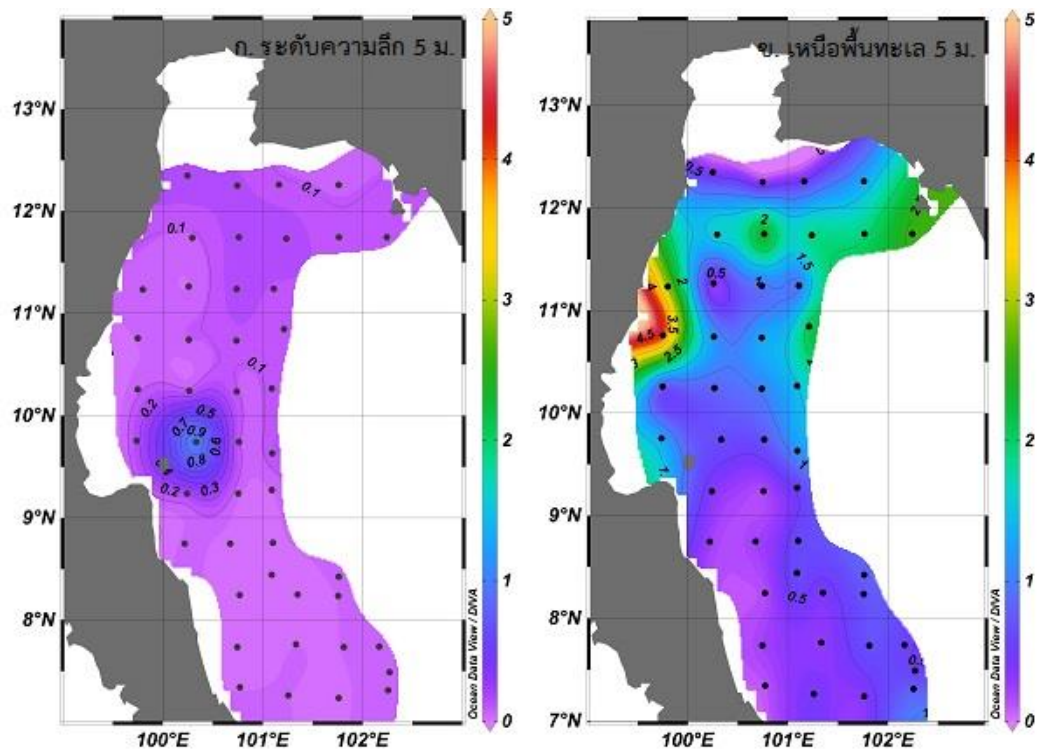
รูปที่ 4 - 13 ความแตกต่างของของแข็งแขวนลอย (mg l^{-1}) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร



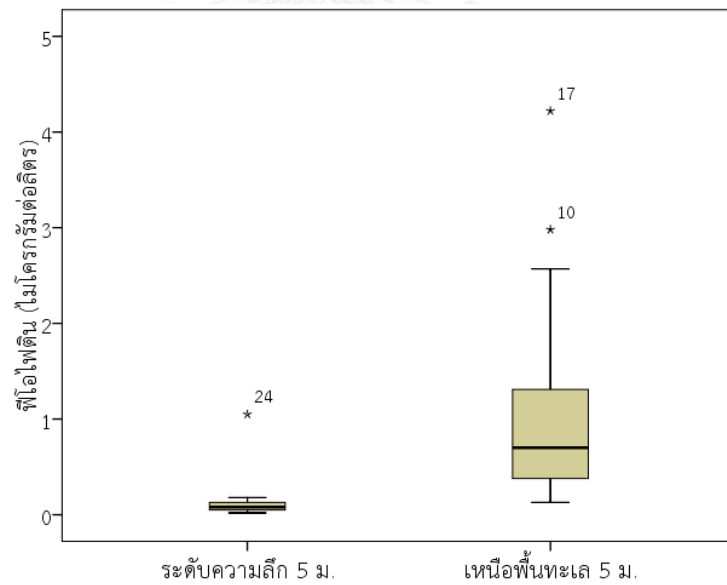
รูปที่ 4 - 14 การแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 m (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 m (ข)



รูปที่ 4 - 15 ความแตกต่างของคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร



รูปที่ 4 - 16 การแพร่กระจายของฟิโอฟิติน ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร (ก) และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร (ข)



รูปที่ 4 - 17 ความแตกต่างของฟิโอฟิติน ($\mu\text{g l}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และเหนือพื้นทะเล 5 เมตร

4.1.2 อิทธิพลของคุณภาพน้ำทั่วไปที่ส่งผลต่อการแบ่งชั้นน้ำในอ่าวไทย

การแพร่กระจายในแนวตั้งของอุณหภูมิ ความเค็ม และความหนาแน่น ดังรูปที่ 4 -18 แสดงให้เห็นการเกิดการแบ่งชั้นของมวลน้ำในอ่าวไทย ซึ่งจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะห่างจากชายฝั่งมากขึ้น (ห่างชายฝั่งประมาณ 50 km) และจะมีความเสถียรมากขึ้นบริเวณกลางอ่าวไทยหรือสถานีที่มีระดับความลึกมากกว่า 50 m โดยจะพบว่าบริเวณที่เริ่มมีการแบ่งชั้นจะมีค่าของอุณหภูมิต่ำกว่าผิวหน้าน้ำทะเล 1 ถึง 3 °C เช่นเดียวกับค่าของความเค็ม และความหนาแน่นของมวลน้ำ โดยจะเห็นได้อย่างชัดบริเวณสถานี 34, 39 และ 45 เนื่องจากอิทธิพลของการสอดแทรกของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ความเค็มสูง และความหนาแน่นสูง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ส่งผลต่อการแบ่งชั้นน้ำในอ่าวไทย อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ยังขาดข้อมูลในพื้นที่เขตน่านน้ำของประเทศกัมพูชา และเวียดนาม แต่จากลักษณะของมวลน้ำสามารถคาดการณ์ได้ว่ามวลน้ำจากทะเลจีนใต้ไหลแทรกตัวไปทางด้านตะวันออกของอ่าวไทยและไหลไปทางตอนเหนือเข้าสู่พื้นที่กลางอ่าวไทย ซึ่งการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้นี้ส่งผลให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำที่มีความเสถียรในอ่าวไทยตอนกลาง และค่อย ๆ สลายตัวเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่ง (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และคณะ, 2556)

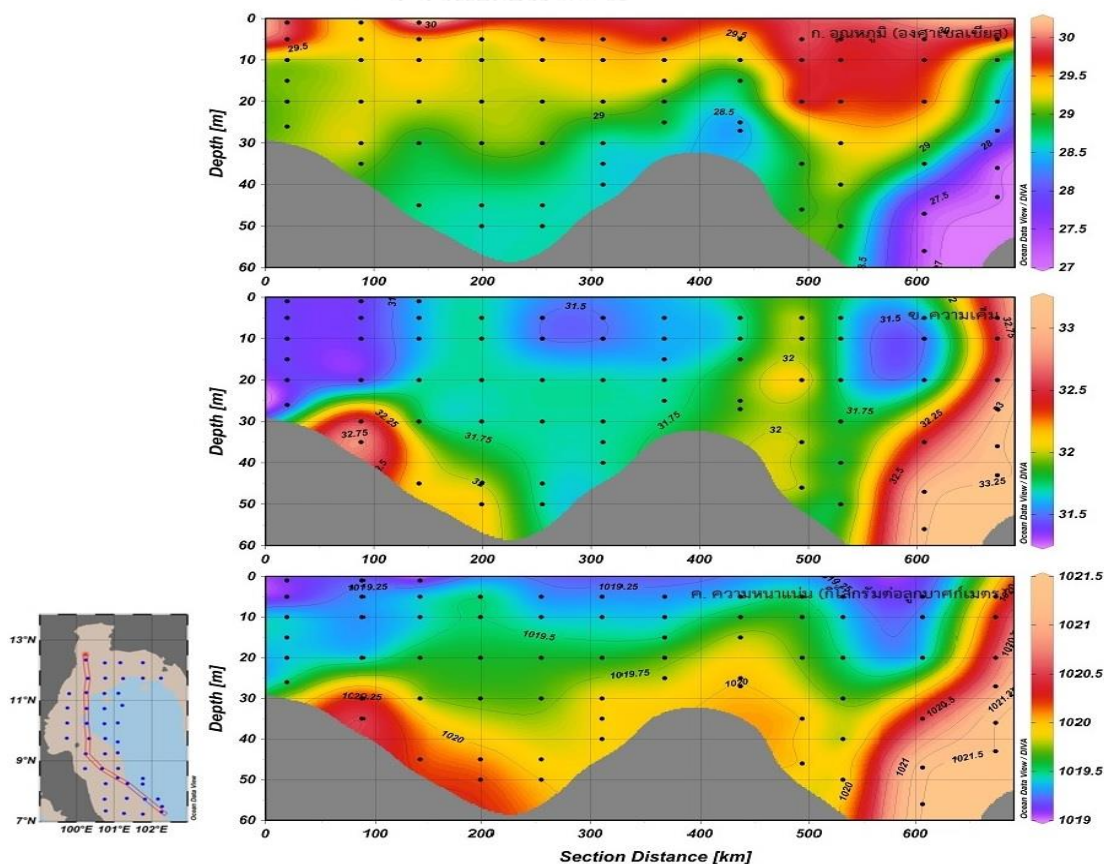
การแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้นี้มีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะทางชีวธรณีเคมีของอ่าวไทย เช่น การแพร่กระจายของออกซิเจนที่ละลายน้ำ และคลอโรฟิลล์-เอ (ดังรูปที่ 4 -19) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการหมุนเวียนสารอาหารในอ่าวไทย โดยจะเห็นได้ว่าการแบ่งชั้นน้ำส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนมวลน้ำระหว่างมวลน้ำชั้นล่างกับมวลน้ำบริเวณผิวหน้าทะเล ทำให้ค่าของออกซิเจนบริเวณใต้ชั้นน้ำที่มีการแบ่งตัวของมวลน้ำนั้นมีค่าต่ำ ในบางบริเวณมีสภาพพร่องออกซิเจน และยังส่งผลต่อการแพร่กระจายของค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่มีค่าสูงได้มวลน้ำที่มีการแบ่งชั้น อันเป็นผลมาจากปริมาณสารอาหารและ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช เช่นเดียวกับการสำรวจอ่าวไทยตอนกลางโดยเรือสำรวจซีฟเดค ในระหว่างปี พ.ศ. 2539 ถึง 2539 พบว่าการแบ่งชั้นน้ำส่งผลให้เกิดชั้น subsurface chlorophyll maxima (SCM) (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และคณะ, 2556) และในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถพบชั้น SCM ในเกือบทุกสถานี ซึ่งสถานีที่มีการพบชั้น SCM ชัดเจน หรือมีค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ มากกว่า $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ จำนวน 13 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 4, 10, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 32 และ 37

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสภาวะการแบ่งชั้นน้ำตามแนวตั้งในอ่าวไทยไม่ได้เกิดจากลักษณะทางกายภาพของอ่าวไทย เช่น พลังค์ความร้อน ปริมาณน้ำจืด กระแสลม น้ำขึ้นน้ำลง และระยะเวลาพำนักของน้ำในอ่าวไทยเท่านั้น แต่ยังเป็นผลมาจากการแทรกตัวของมวลน้ำที่มาจากทะเลจีนใต้ (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และคณะ, 2556)

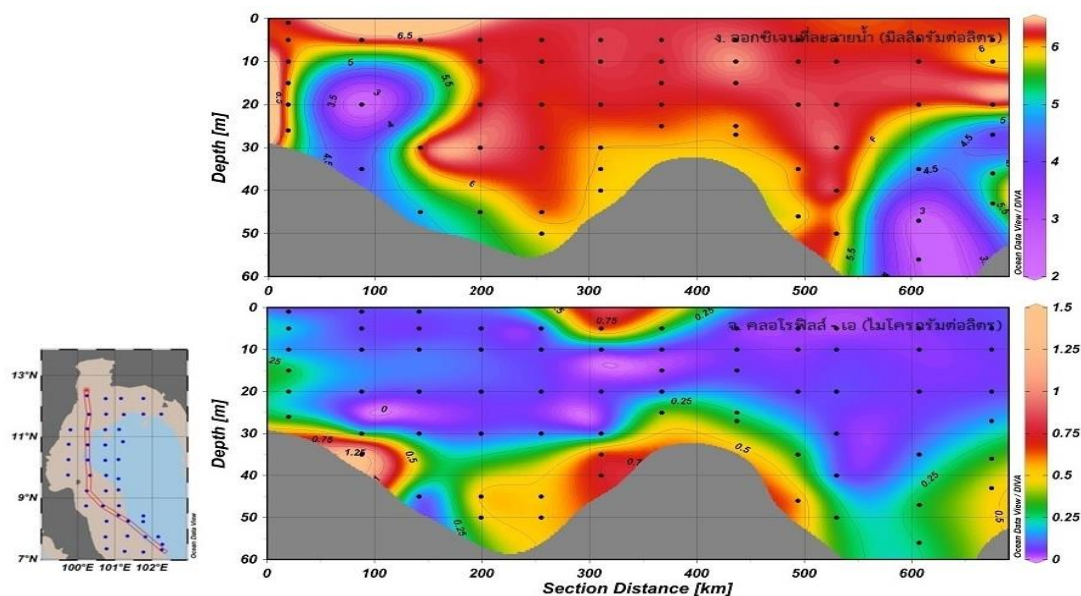
เมื่อทำการพิจารณาค่าคลอโรฟิลล์-เอที่ วัดได้ด้วยเครื่อง Fluorometer และจากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ จากการเก็บตัวอย่างน้ำพบว่ามีความเข้มข้นสูงสุดในระดับความลึกเท่ากับ 41.8 และ 40.8 m ตามลำดับ ซึ่งตรงกับรายงานการศึกษาของ วลีรัตน์ มูลิกะสังข์ (2541) ซึ่งพบการแบ่งชั้นน้ำที่ระดับความลึก 40 m โดยศึกษาจากค่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ สูงสุด และความลึกที่แสงส่องถึง

การเกิดการแบ่งชั้นน้ำอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ ความเค็ม และความหนาแน่นนั้นจะพบได้ทั้งก่อนและหลังมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ โดยจะค่อย ๆ ก่อตัวในช่วงต้นมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะสถานที่ที่มีความลึกมาก และค่อย ๆ เคลื่อนตัวเข้าใกล้ชายฝั่งเมื่อสิ้นมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ในการเคลื่อนตัวนี้ยังส่งผลต่อการเกิดการจมตัวของน้ำ (downwelling) และการผุดของน้ำในบริเวณอ่าวไทย (Saadon et al., 1997)

นอกจากนี้การแบ่งชั้นน้ำยังส่งผลต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษา เช่น ออกซิเจนละลาย และ pH เนื่องจากได้ระดับชั้น Chlorophyll maxima หรือระดับชั้นที่มีการแบ่งตัวของมวลน้ำค่าออกซิเจนละลาย และ pH จะมีค่าต่ำ



รูปที่ 4 - 18 การแพร่กระจายในแนวตั้งของปัจจัยที่ต่อการแบ่งชั้นน้ำของอ่าวไทยตอนกลาง



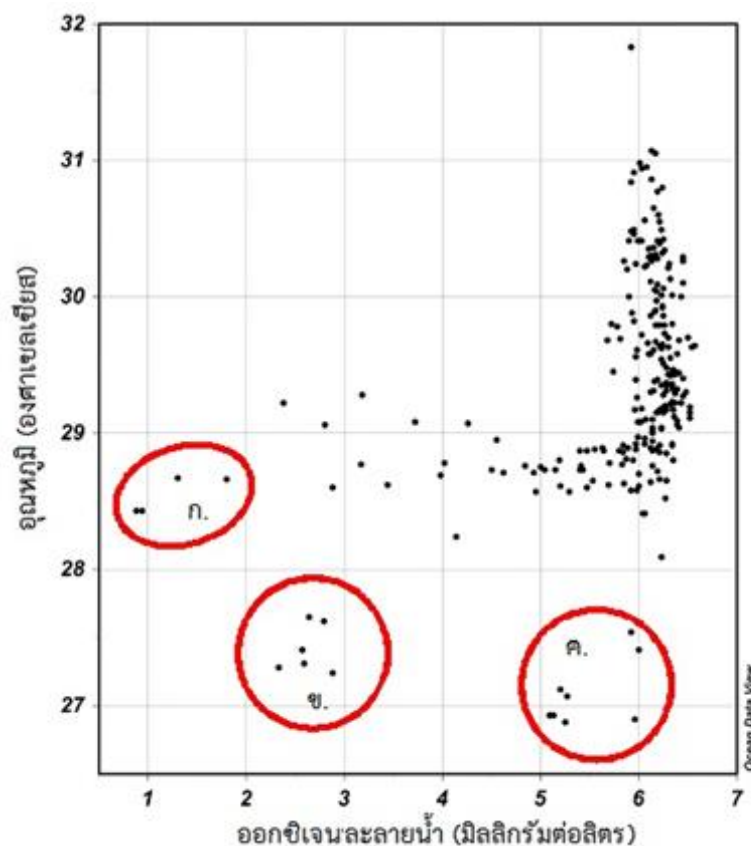
รูปที่ 4 - 19 การแพร่กระจายของค่าออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) และคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$)

4.1.3 ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทั่วไป

ก. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและออกซิเจนละลายน้ำ

จากรูปที่ 4 -20 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเค็มที่เกิดจากอิทธิพลของการแทรกตัวของมวลน้ำในทะเลจีนใต้ ได้แก่

- อุณหภูมิในช่วง 28 ถึง 29 °C ที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 2 mg l^{-1} ได้แก่ สถานีที่ 7, 10 และ 6 (รูปที่ 4-20: ก) เป็นบริเวณที่มีสารอินทรีย์สูง
- อุณหภูมิในช่วง 27 ถึง 28 °C มีค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วง 2 ถึง 3 mg l^{-1} ได้แก่ สถานีที่ 35, 36 และ 39 (รูปที่ 4-20: ข) เป็นบริเวณที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้
- อุณหภูมิในช่วง 26.5 ถึง 28 °C มีค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วง 5 ถึง 6 mg l^{-1} ได้แก่ สถานีที่ 37, 38 และ 45 (รูปที่ 4-20: ค) เป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ชัดเจนกว่าบริเวณอื่น

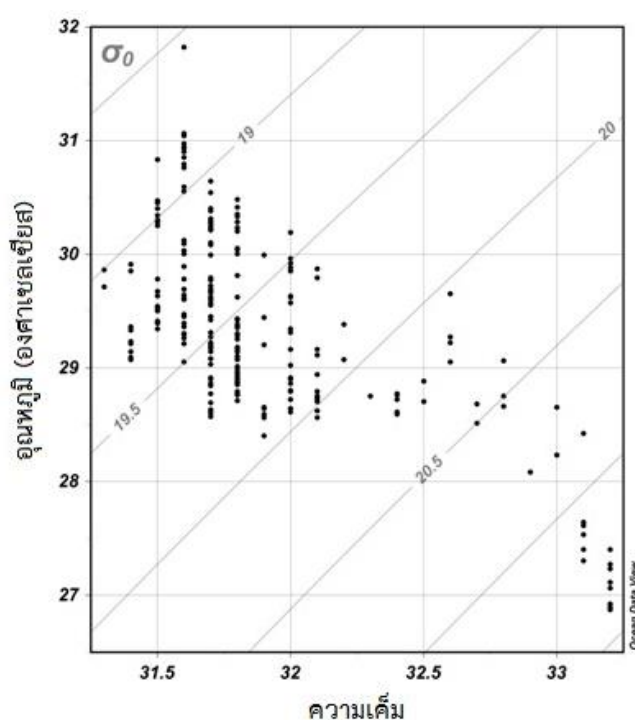


รูปที่ 4 - 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลาย (mg l⁻¹) และ คลอโรฟิลล์-เอ (µg l⁻¹)

ข. แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเค็ม

แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเค็ม (temperature-salinity diagram: T-S diagram) โดยทั่วไปในมหาสมุทรที่มีความลึกมาก ๆ เช่น มหาสมุทรแปซิฟิก ลักษณะของ T-S diagram จะมีรูปแบบเป็น s-shape เนื่องจากความเค็มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงรอยต่อระหว่างมวลน้ำ Antarctic intermediate water กับ Deep Circumpolar water ส่วนค่าของอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงรอยต่อของมวลน้ำ Deep Circumpolar water กับ Antarctic Bottom water ซึ่งลักษณะนี้จะส่งผลให้เกิด thermocline, halocline และ pycnocline (Talley et al., 2011)

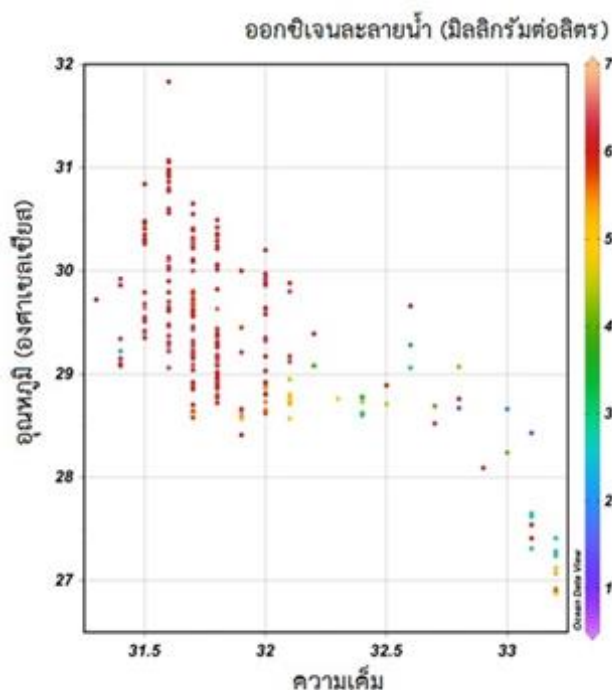
จากรูปที่ 4 -21 แสดงให้เห็น T-S diagram อ่าวไทยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเค็มและ σ_t ไม่มากนัก เนื่องจากอ่าวไทยมีความลึกเฉลี่ยเพียง 43 m นับได้ว่าตื้นมาก เมื่อเทียบกับทะเลเปิด อย่างไรก็ตามการศึกษาในอ่าวไทยก็สามารถพบชั้น subpycnocline ได้ (วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, 2541) อันเกิดจากอิทธิพลของการแทรกตัวของมวลน้ำ (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ et al., 2556) ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2 โดยจะเห็นความเปลี่ยนแปลงของ T-S diagram ได้มากที่สุดที่ระดับความเค็มมากกว่า 33 และอุณหภูมิต่ำกว่า 28 °C ได้แก่สถานี 35, 36, 37, 38, 39, 45 และ 46



รูปที่ 4 - 21 T-S diagram ในอ่าวไทย

ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง T-S diagram และออกซิเจนละลาย

จากรูปที่ 4 -22 พบว่า ค่าของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิต่ำกว่า 29 °C ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงของมวลน้ำที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2 ซึ่งการแทรกตัวของมวลน้ำจะทะเลจีนใต้นั้นมีความสำคัญอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย



รูปที่ 4 - 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง T-S diagram และออกซิเจนละลาย

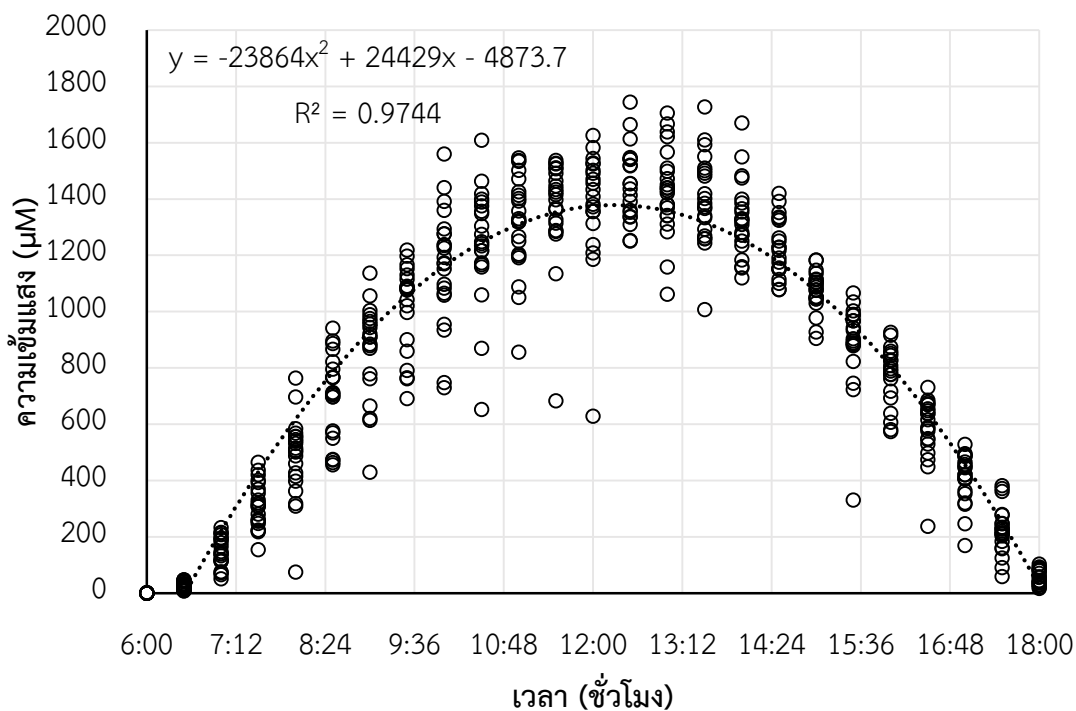
4.2 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอัตราผลผลิตปฐมภูมิ ซึ่งความสัมพันธ์นี้เป็นกุญแจสำคัญต่อกระบวนการชีวธรณีเคมีและผลผลิตปฐมภูมิในระบบนิเวศ (Shaoying et al., 2009) ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน (แสดงดังตารางที่ ข - 1 ภาคผนวก ข)

- ความเข้มแสงที่บริเวณผิวน้ำทะเล
- ค่า $E_d(Z)$ ของ PAR ในน้ำทะเล
- ค่า K_{PAR} ในน้ำทะเล

4.2.1 ความเข้มแสงบริเวณผิวน้ำทะเล

ความเข้มแสงบริเวณผิวน้ำทะเลในรอบวัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.64 ถึง 1454.62 μM เวลาที่มีความเข้มแสงสูงสุดในรอบวัน คือ 12.30 น. ความเข้มแสงในรอบวันจะส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง และการเคลื่อนย้ายประชากรในแนวตั้งของแพลงก์ตอนพืช โดยค่าความเข้มแสงที่ผิวน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับค่า PAR ที่ลดลงตามระดับความลึก ซึ่งการอพยพเคลื่อนย้ายในแนวตั้งของแพลงก์ตอนพืชสามารถดูได้จาก fluorescence profiling (Gerbersdorf & Schubert, 2011) โดยรูปแบบความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อเวลาในพื้นที่ทำการศึกษ แสดงดังรูปที่ 4 - 23

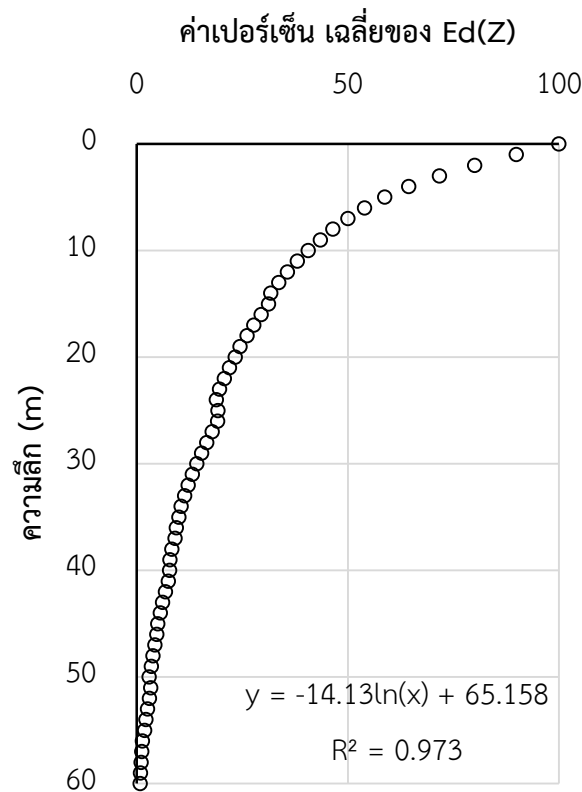


รูปที่ 4 - 23 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงต่อเวลาในรอบวันระหว่าง 6 โมงเช้า ถึง 6 โมงเย็น

4.2.2 ค่า $E_d(Z)$ ของ PAR ในน้ำทะเล

ก. เเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ ที่ลดลงตามระดับความลึก

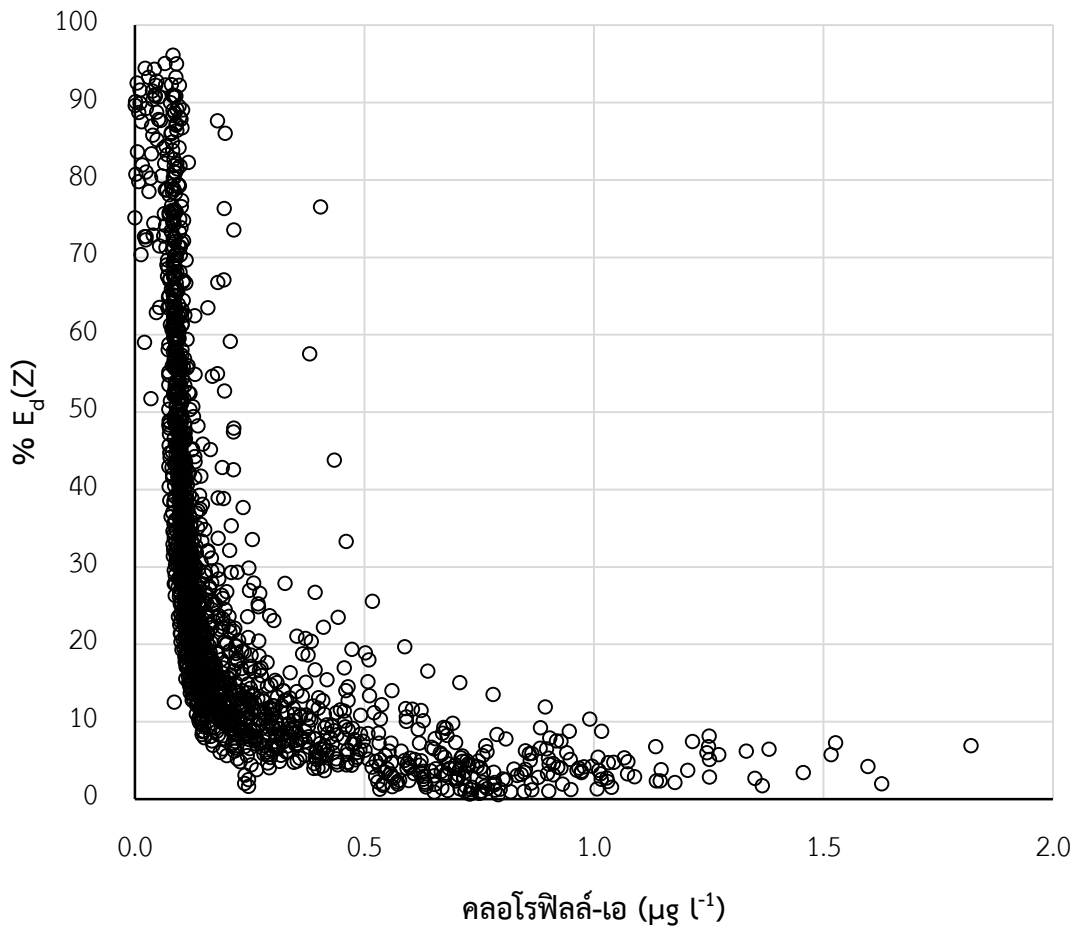
เปอร์เซ็นต์ downward irradiance ของ PAR ในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึกต่าง ๆ ดังรูปที่ 4 - 24 พบว่ามีลักษณะค่อย ๆ ลดลงตามความลึกแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) (Krik, 1994) จนถึงระดับความลึก 25 เมตร ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะความเข้มแสงที่ระดับความลึกสุดท้ายของสถานีใกล้ชายฝั่ง ซึ่งแสงสามารถส่องได้ถึงพื้นทะเล เเปอร์เซ็นต์ E_d ที่ระดับความลึกสุดท้ายของแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 20.27 เเปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 เเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดสำหรับแพลงก์ตอนพืชในช่วงเวลากลางวัน โดยทั่วไปการดูดกลืนแสงและการกระเจิงของแสงจะมีค่าต่ำมาก ที่ระดับความลึกมากกว่า 80 m (ประมาณ 150 ในทะเลเขตกึ่งร้อน และประมาณ 10 m บริเวณชายฝั่งทะเลที่มีค่าผลผลิตปฐมภูมิสูง) (Sigman & Hain, 2012) พื้นที่อ่าวไทยก็จัดเป็นทะเลเขตกึ่งร้อน และมีความลึกสูงสุด คือ 80 m (Robinson, 1974) และเมื่อพิจารณาของแข็งแขวนลอยในน้ำทะเลไม่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงเนื่องจากในสถานีที่มีค่าของแข็งแขวนลอยสูง ค่าเปอร์เซ็นต์ E_d ที่ระดับพื้นทะเลไม่ได้ต่ำด้วย เช่นสถานีที่ 20 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงแต่ระดับเปอร์เซ็นต์ E_d ที่ระดับพื้นทะเลมีค่าเท่ากับ 7.22 เเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4 - 24 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ เฉลี่ยต่อความลึก

ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_d(Z)$ กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ พบว่ามีค่าลดลงตามระดับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระดับผิวน้ำมีความเข้มแสงมากจนส่งผลให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลง นอกจากนี้ความเข้มแสงที่มากในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะ 10.00 ถึง 14.00 น. ความเข้มแสงมีค่าสูงส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงด้วย ซึ่งทำให้เกิดการอพยพในแนวตั้งของแพลงก์ตอนพืช เราจึงพบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ - เอ มีค่าสูงบริเวณใกล้ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทย ที่ระดับชั้น SCM โดยเฉพาะสถานที่ที่น้ำมีการแบ่งชั้นชัดเจนเนื่องจากมีแสงที่เพียงพอและสารอาหารสูง (รูปที่ 4 -25)



รูปที่ 4 - 25 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ $E_d(Z)$ ของ PAR ที่ลดลงตามระดับความลึก กับค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มแสงลดลงค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากระดับชั้นที่มีแสงน้อยกลับมีปริมาณสารอาหารที่สูงทำให้ปริมาณของคลอโรฟิลล์-เอ สูงกว่าบริเวณผิวน้ำทะเลที่มีความเข้มแสงสูงแต่ปริมาณสารอาหารต่ำ

4.2.3 ค่า K_{PAR} ในน้ำทะเล

โดยทั่วไปค่า K_{PAR} สามารถใช้ในการพิจารณาความคงที่ของมวลน้ำในแนวตั้งได้ ในการศึกษานี้จะทำการหาค่า K_{PAR} ทุก ๆ 1 m โดยอธิบายได้ดังนี้

ก. K_{PAR} ในแต่ละระดับความลึก

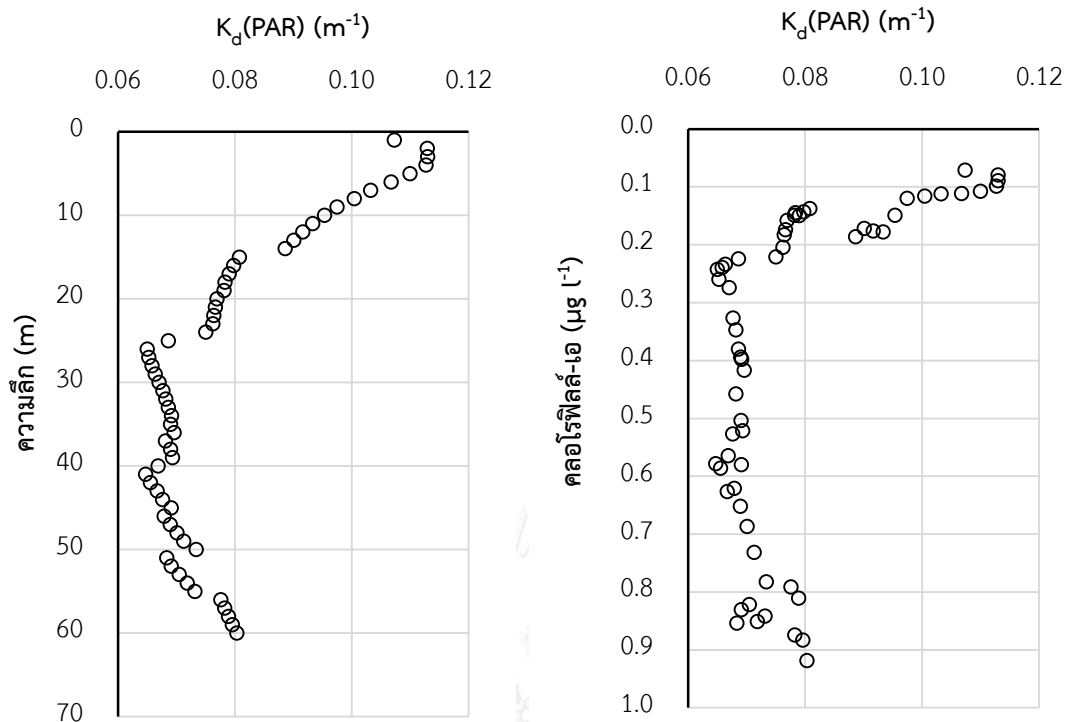
ค่า K_{PAR} ในพื้นที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.25 m^{-1} ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 m^{-1} ค่า K_{PAR} ของแสงจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึก ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 25 m ค่า K_{PAR} จะลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงระดับความลึก 40 m และลดลงอีกครั้ง ซึ่งทั้ง 2 ระดับนี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการส่องผ่านของที่ในบริเวณใกล้ชายฝั่ง (<25 m) และไกลจากชายฝั่ง (>40 m) (รูปที่ 4 - 26 4 - 26) (Shaoying et al., 2009)

โดยทั่วไปค่า K_{PAR} จะมีความสัมพันธ์กับความขุ่น (turbidity) ของมวลน้ำ ซึ่งบริเวณที่มีความขุ่นสูงเช่นปากแม่น้ำจะมีค่า K_{PAR} สูง เช่นบริเวณปากแม่น้ำมิสซิสซิปปี (Mississippi river plume) มีค่า K_{PAR} เท่ากับ 0.46 m^{-1} (Lohrenz et al., 1999) บริเวณเอสทูรีของทะเลเหนือและทะเลบอลติก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 m^{-1} (Lund-Hansen, 2004) ซึ่งหาเปรียบเทียบกับอ่าวไทย ในช่วงทำการศึกษานั้นมีค่าต่ำกว่ามากเนื่องจากค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำในช่วงทำการศึกษา เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลลงสู่ชายฝั่งต่ำ

ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง K_{PAR} กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ

ความสัมพันธ์ระหว่าง K_{PAR} กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ มีลักษณะความสัมพันธ์เช่นเดียวกับ $E_d(Z)$ เมื่อทำการแยกพิจารณาเป็นสถานี แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากค่า K_{PAR} เฉลี่ยของทุก ๆ สถานีพบว่าไม่มีความสัมพันธ์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Shaoying และคณะ ปี ค.ศ. 2009 ดังรูปที่ 4 -26 โดยทั่วไปค่า K_{PAR} ในการประเมินระบบนิเวศทางทะเลมีลักษณะเป็น linear function กับ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ (Radach & Moll, 1993) โดยเฉพาะที่ระดับ SCM รวมถึงมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช และเศษซาก (detritus) (McGillicuddy, 1995)

แต่จากการศึกษาของ Lund-Hansen ในปี ค.ศ. 2004 พบว่าค่าสูงสุด K_{PAR} มักจะพบว่ามีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูง ซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ทำการศึกษาเมื่อค่า K_{PAR} ต่ำจะมีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูง ดังรูปที่ 4 -26 เนื่องจากพื้นที่ศึกษาของ Lund-Hansen เป็นอ่าวที่มีความลึกเฉลี่ยเพียง 14 m และเชื่อมต่อกับปากแม่น้ำ และเอสทูรี ซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำท่าที่พัดพาเอา อนุภาคแขวนลอย CDOM และเศษซาก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำค่า K_{PAR} และ ความเข้มข้นเฉลี่ยในแต่ละระดับความลึกของคลอโรฟิลล์-เอ มาหาความสัมพันธ์กันพบว่าค่า attenuation by phytoplankton (K_{PH}) มีความสัมพันธ์กัน 74 เปอร์เซ็นต์ และมีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งแขวนลอย 45 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4 - 26 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ K_{PAR} เฉลี่ยต่อความลึก (ซ้าย) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง K_{PAR} กับ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) (ขวา)

4.3 สารอาหาร

ผลการศึกษาสารอาหารในน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ดังตารางที่ ค - 1 (ภาคผนวก ค) และได้สรุปค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไว้ในตารางที่ 4 - 2

ในการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิดนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับได้แก่ biogenic layer (BG) , subpycnocline layer (SPC) และ biolythic layer (BL) ซึ่งสถานที่เกิดชั้น subpycnocline layer ไม่ติดพื้นท้องทั้งหมด 21 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1, 2, 7, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 28, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39 และ 45 เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นในแต่ละระดับชั้นน้ำ (หัวข้อที่ 3.3.3) ข้อมูลความเข้มข้นในแต่ละระดับชั้นแสดงไว้ดังภาคผนวก ค (ตารางที่ ค - 2 ถึง ค - 4)

ตารางที่ 4 - 2 ค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของสารอาหาร

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย \pm SD
PO ₄ ³⁻ (μ M)	0.02	2.26	0.41 \pm 0.36
NO ₂ ⁻ (μ M)	0	1.71	0.12 \pm 0.22
NO ₃ ⁻ (μ M)	0.38	8.65	1.97 \pm 1.20
NH ₄ (μ M)	0.03	5.58	0.94 \pm 0.22
DIN (μ M)	0.75	10.28	3.03 \pm 1.51
DSi (μ M)	5.4	44.0	10.7 \pm 5.5
TDN (μ M)	10.6	179.1	33.2 \pm 18.9
TDP (μ M)	0.05	4.19	0.58 \pm 0.45
DON (μ M)	6.71	177.1	30.2 \pm 18.8
DOP (μ M)	0	4.14	0.38 \pm 0.47
PN (μ M)	3.71	28.42	7.91 \pm 2.81
PP (μ M)	0.95	15.58	2.01 \pm 1.09
TN (μ M)	5.2	364.5	62.6 \pm 38.3
TP (μ M)	0.09	8.38	1.21 \pm 0.98

4.3.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารอาหารในแนวระดับ

ปริมาณและการแพร่กระจายของสารอาหารในอ่าวไทยนั้นเป็นผลมาจากหลายกระบวนการทั้งทางกายภาพ ได้แก่ กระแสน้ำ ระยะฟุ้งของน้ำ และการแบ่งชั้นน้ำดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.2 รวมถึงชีวธรณีเคมีในพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นผลผลิตปฐมภูมิ และการถ่ายเทเป็นลำดับในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งการแพร่กระจายของสารอาหารชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ทำการศึกษามีรูปแบบดังนี้

1) ฟอสเฟต: PO₄³⁻

ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.96 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 \pm 0.25 μ M
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.08 ถึง 1.35 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 \pm 0.25 μ M
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 2.26 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 \pm 0.47 μ M

การแพร่กระจายของฟอสเฟตในระดับชั้น Bg มีค่าสูงบริเวณสถานีใกล้กับอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และเกาะกรูด จังหวัดตราด ระดับชั้น SPc มีค่าสูงบริเวณอ่าวบ้านดอน และบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา และระดับชั้น Bl มีค่าสูงบริเวณอ่าวบ้านดอน และบริเวณกลางอ่าวไทย (รูปที่ 4 - 27) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้นพบว่าชั้น Bg และ Bl มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

2) ไนโตรท: NO_2^-

ความเข้มข้นของไนโตรทในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 ถึง 0.11 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.03 \pm 0.03 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 ถึง 0.82 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.23 \pm 0.20 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 1.71 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.34 \pm 0.47 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนโตรทในระดับชั้น Bg และ Bl มีความเข้มข้นต่ำซึ่งไม่แตกต่างกันในระหว่างสถานี แต่ในระดับชั้น SPc มีค่าสูงบางสถานีโดยเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริเวณจังหวัดระยอง (รูปที่ 4 - 28) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

3) ไนเตรท: NO_3^-

ความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.38 ถึง 5.52 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.90 \pm 1.10 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.70 ถึง 7.71 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.76 \pm 1.87 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.81 ถึง 8.65 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.41 \pm 0.47 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนเตรทมีความคล้ายคลึงกับการแพร่กระจายของไนโตรท แต่จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าเนื่องจากอยู่ในรูปที่เสถียรกว่าไนโตรท การแพร่กระจายของไนเตรทในระดับชั้นทั้ง 3 ระดับชั้น มีความเข้มข้นสูงบริเวณชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะบริเวณที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน และบริเวณกลางอ่าวไทยตอนล่างบางสถานี (รูปที่ 4 - 29) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

4) แอมโมเนียม: NH_4

ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.12 ถึง 5.58 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.05 \pm 0.94 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 1.99 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.84 \pm 0.51 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 5.07 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.93 \pm 0.47 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของแอมโมเนียมจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับค่าไนเตรท ในระดับชั้น Bg มีค่าสูงมากในสถานีที่ 35 และ 36 ระดับชั้น Bl มีค่าสูงมากบริเวณสถานีที่ 43 (รูปที่ 4 - 30) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

5) ไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ: DIN

ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 1.02 ถึง 7.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.98 \pm 1.52 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 1.32 ถึง 9.33 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.83 \pm 2.02 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 10.28 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.68 \pm 1.82 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำในระดับชั้น Bg และ Bl มีค่าสูงบริเวณสถานีที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน และนอกชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ระดับชั้น SPc มีค่าสูงบริเวณนอกชายฝั่ง (รูปที่ 4 - 31) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

6) ซิลิกาละลาย: DSi

ความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 6.49 ถึง 12.96 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.92 \pm 1.61 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 6.76 ถึง 41.93 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $13.65 \pm 7.66 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 7.87 ถึง 44.02 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $15.85 \pm 9.36 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนเตรทมีความคล้ายคลึงกับการแพร่กระจายของไนไตรท์ แต่จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าเนื่องจากอยู่ในรูปที่เสถียรกว่าไนไตรท์ การแพร่กระจายของไนเตรทในระดับชั้นทั้ง 3 ระดับชั้น มีความเข้มข้นสูงบริเวณชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะบริเวณที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทย

ตอนใน และบริเวณกลางอ่าวไทยตอนล่างบางสถานี (รูปที่ 4 - 32) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น Bg และ Bl ($P < 0.05$)

7) ไนโตรเจนที่ละลายทั้งหมด (TDN)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ละลายทั้งหมดในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 16.48 ถึง 98.83 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $31.33 \pm 16.19 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 18.50 ถึง 76.56 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $41.00 \pm 17.21 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 12.83 ถึง 84.51 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $35.48 \pm 18.32 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนโตรเจนที่ละลายทั้งหมดมีค่าสูงที่บริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะบริเวณจังหวัดสงขลาทั้ง 3 ระดับชั้น (รูปที่ 4 - 33) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

8) ฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมด (TDP)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมดในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ถึง 4.19 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.63 \pm 0.75 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 ถึง 3.63 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.79 \pm 0.72 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 ถึง 1.46 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.69 \pm 0.27 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมดในระดับชั้น Bg มีค่าสูง 2 บริเวณคือ บริเวณสถานีที่ 7 และ 41 ระดับชั้น SPc มีค่าสูงบริเวณนอกชายฝั่งบริเวณอ่าวบ้านดอน และ Bl ไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 4 - 34) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

9) ไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลาย (DON)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลายในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 13.55 ถึง 97.09 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $28.35 \pm 1.61 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 13.82 ถึง 71.68 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $37.16 \pm 7.66 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 9.16 ถึง 82.99 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $31.81 \pm 18.47 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลายมีความคล้ายคลึงกับการแพร่กระจายของไนโตรเจนที่ละลายทั้งหมด ทั้ง 3 ระดับชั้น โดยจะมีความเข้มข้นสูงบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง (รูปที่ 4 - 35) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

10) ฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ละลาย (DOP)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ละลายในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 ถึง 4.14 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.49 \pm 0.88 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 2.84 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.57 \pm 0.79 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.08 ถึง 1.03 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.42 \pm 0.47 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ละลายมีความสอดคล้องกับฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมด (รูปที่ 4 - 36) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P>0.05$)

11) ไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย: PN

ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอยในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 3.71 ถึง 14.89 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.06 \pm 2.64 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 5.53 ถึง 9.49 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $7.62 \pm 2.02 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 5.35 ถึง 28.42 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.66 \pm 4.93 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของไนโตรเจนที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอยในระดับชั้น Bg และ Bl ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ระดับชั้น SPc มีค่าสูงบริเวณนอกชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงชุมพร (รูปที่ 4 - 37) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P>0.05$)

12) ฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย: PP

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอยในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 1.02 ถึง 7.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.98 \pm 1.52 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 1.32 ถึง 9.33 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.83 \pm 2.02 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 10.28 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.68 \pm 1.82 \mu\text{M}$

การแพร่กระจายของฟอสฟอรัสที่อยู่กับอนุภาคแขวนลอย ในระดับชั้น Bg และ Bl ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ระดับชั้น SPc มีค่าสูงบริเวณนอกชายฝั่ง ณ สถานีที่ 12, 15 และ 39 (รูปที่ 4 - 38) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P>0.05$)

13) ไนโตรเจนทั้งหมด: TN

ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 31.48 ถึง 125.35 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $57.56 \pm 22.52 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 36.97 ถึง 153.76 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $83.48 \pm 38.92 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 38.81 ถึง 177.04 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $68.84 \pm 38.81 \mu\text{M}$

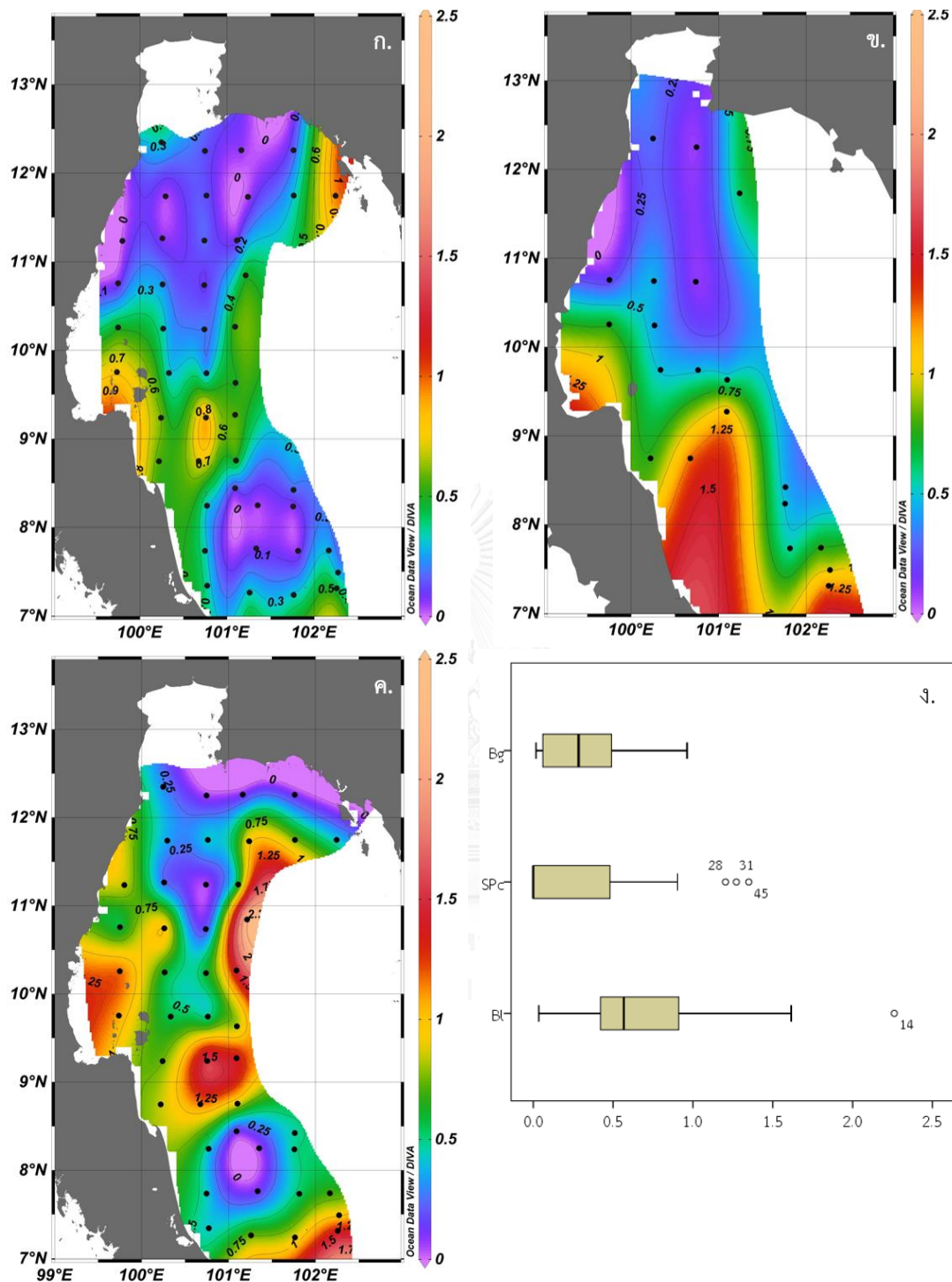
การแพร่กระจายของไนโตรเจนทั้งหมดที่ระดับชั้น Bg มีค่าสูงบริเวณอ่าวไทยล่าง บริเวณสถานีที่ 44 เช่นเดียวกับระดับชั้น SPc แต่ที่ระดับชั้น Bl มีค่าสูงบริเวณสถานีที่ 31 และ 45 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ (รูปที่ 4 - 39) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)

14) ฟอสฟอรัสทั้งหมด: TP

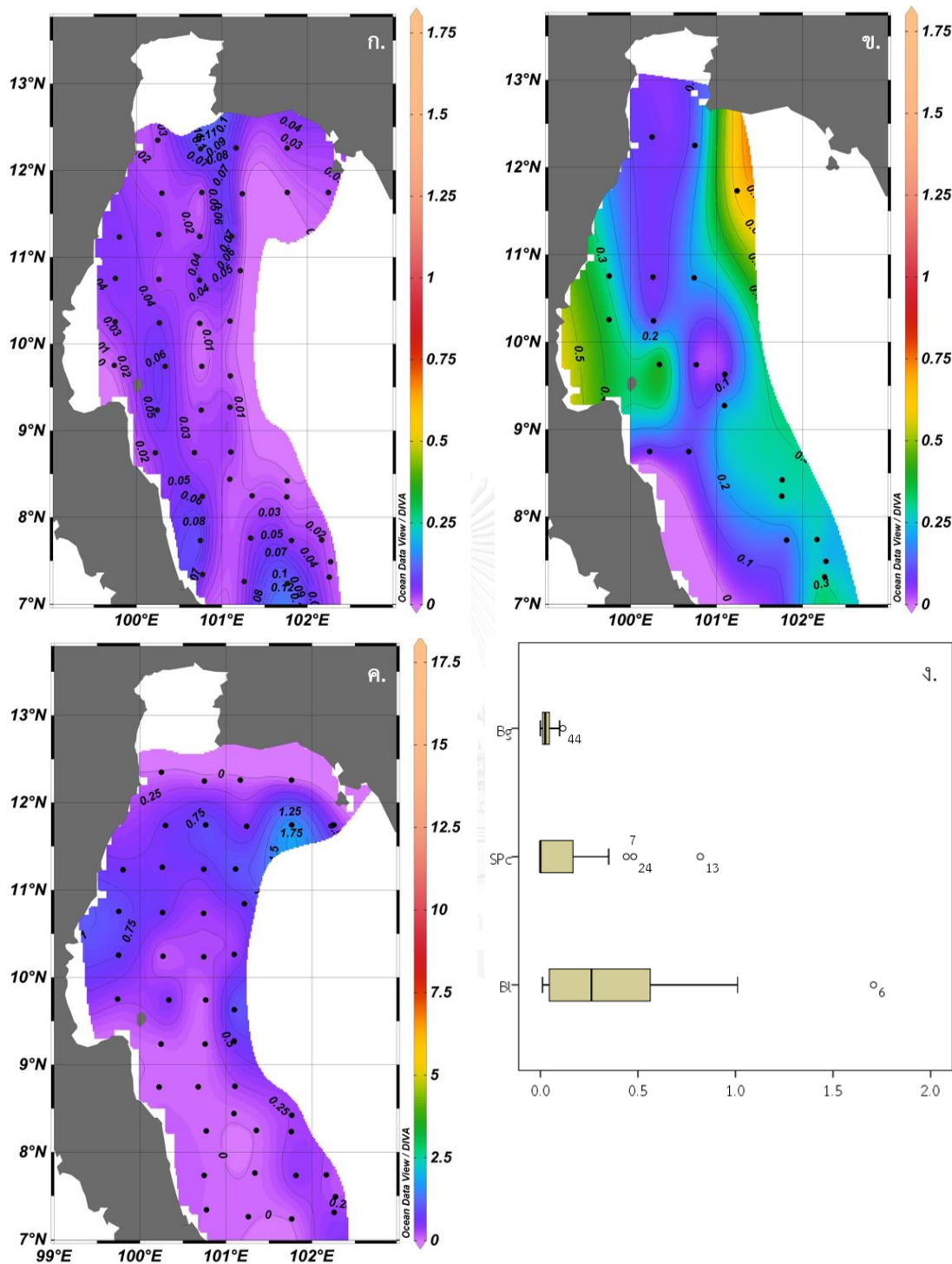
ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดแต่ละระดับชั้นมีค่าความเข้มข้น ดังนี้

- Bg มีค่าอยู่ในช่วง 0.53 ถึง 8.38 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.39 \pm 1.64 \mu\text{M}$
- SPc มีค่าอยู่ในช่วง 0.75 ถึง 7.26 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.90 \pm 1.83 \mu\text{M}$
- Bl มีค่าอยู่ในช่วง 0.09 ถึง 2.92 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.51 \pm 0.58 \mu\text{M}$

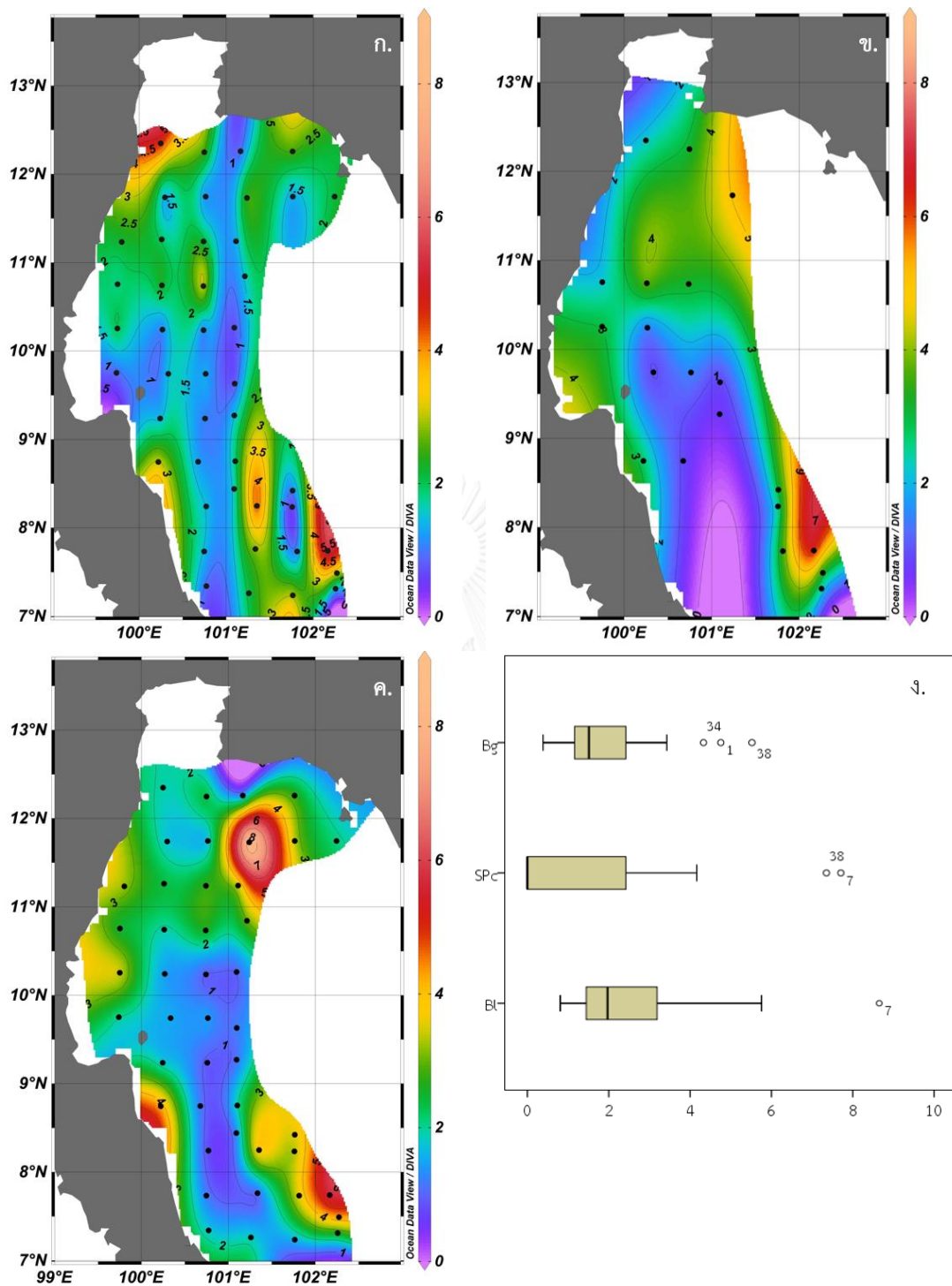
การแพร่กระจายของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระดับชั้น Bg มีค่าสูงบริเวณสถานีที่ 6 และ 29 ที่ระดับชั้น SPc มีค่าสูงสุดมากกว่าชั้นอื่น โดยค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าสูงบริเวณ สถานีที่ 15, 20, 18, 25, และ 36 ส่วนระดับชั้น Bl มีค่าสูงเป็นหย่อม ๆ กระจายอยู่ทั่วทั้งอ่าวไทย (รูปที่ 4 - 40) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ระดับชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างระดับชั้น ($P > 0.05$)



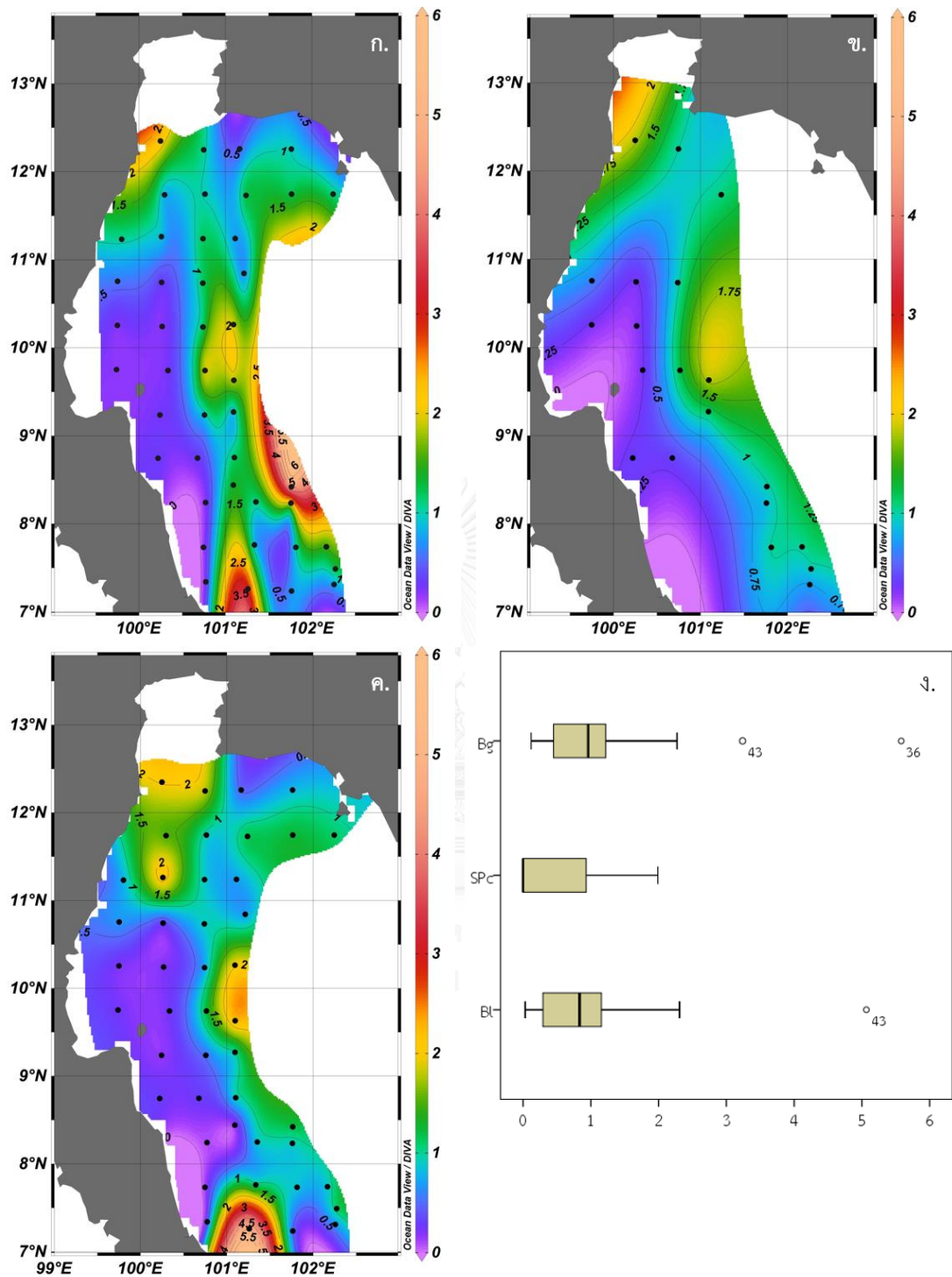
รูปที่ 4 - 27 การแพร่กระจายของฟอสเฟตในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



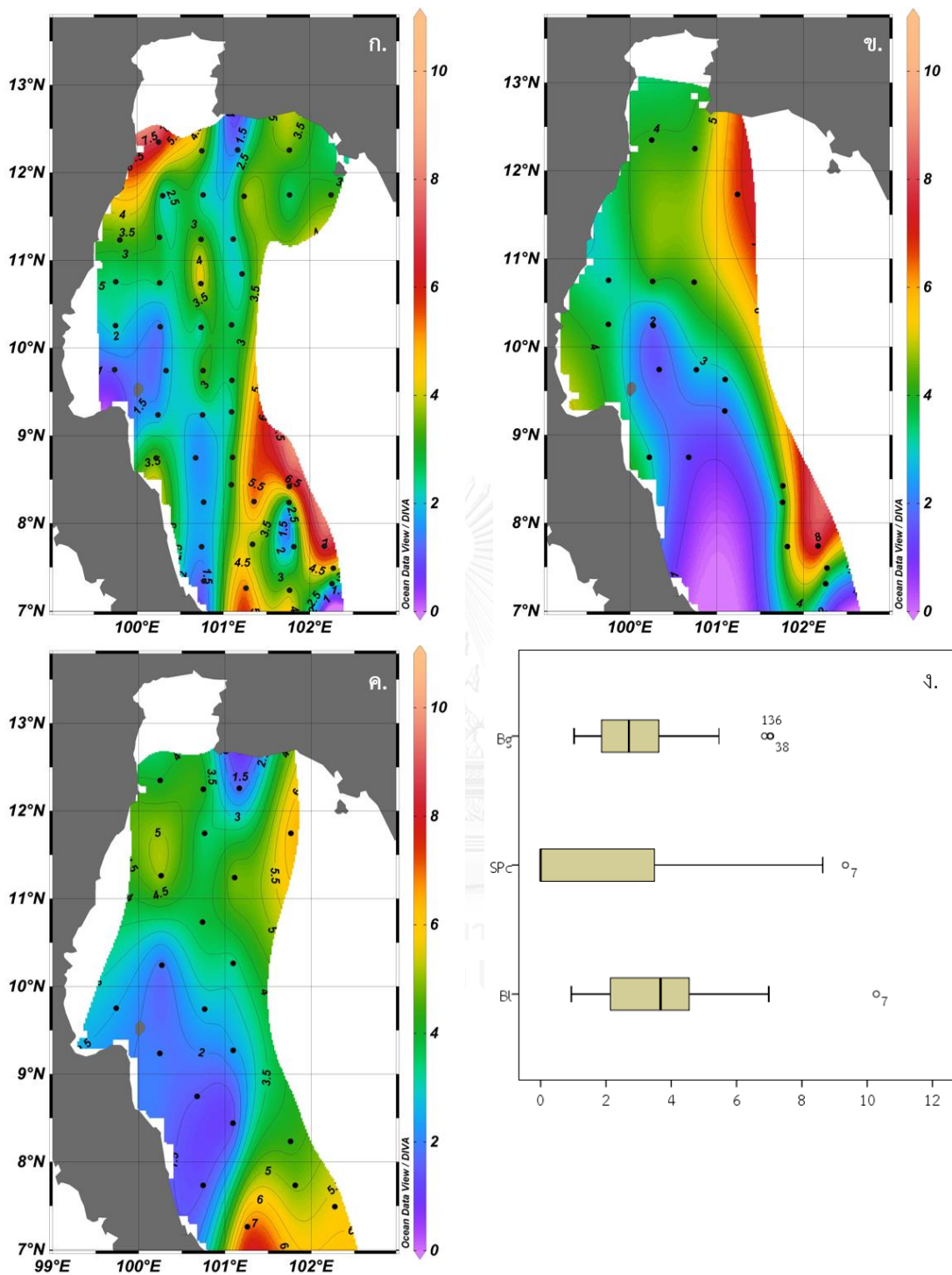
รูปที่ 4 - 28 การแพร่กระจายของไนโตรเจนในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



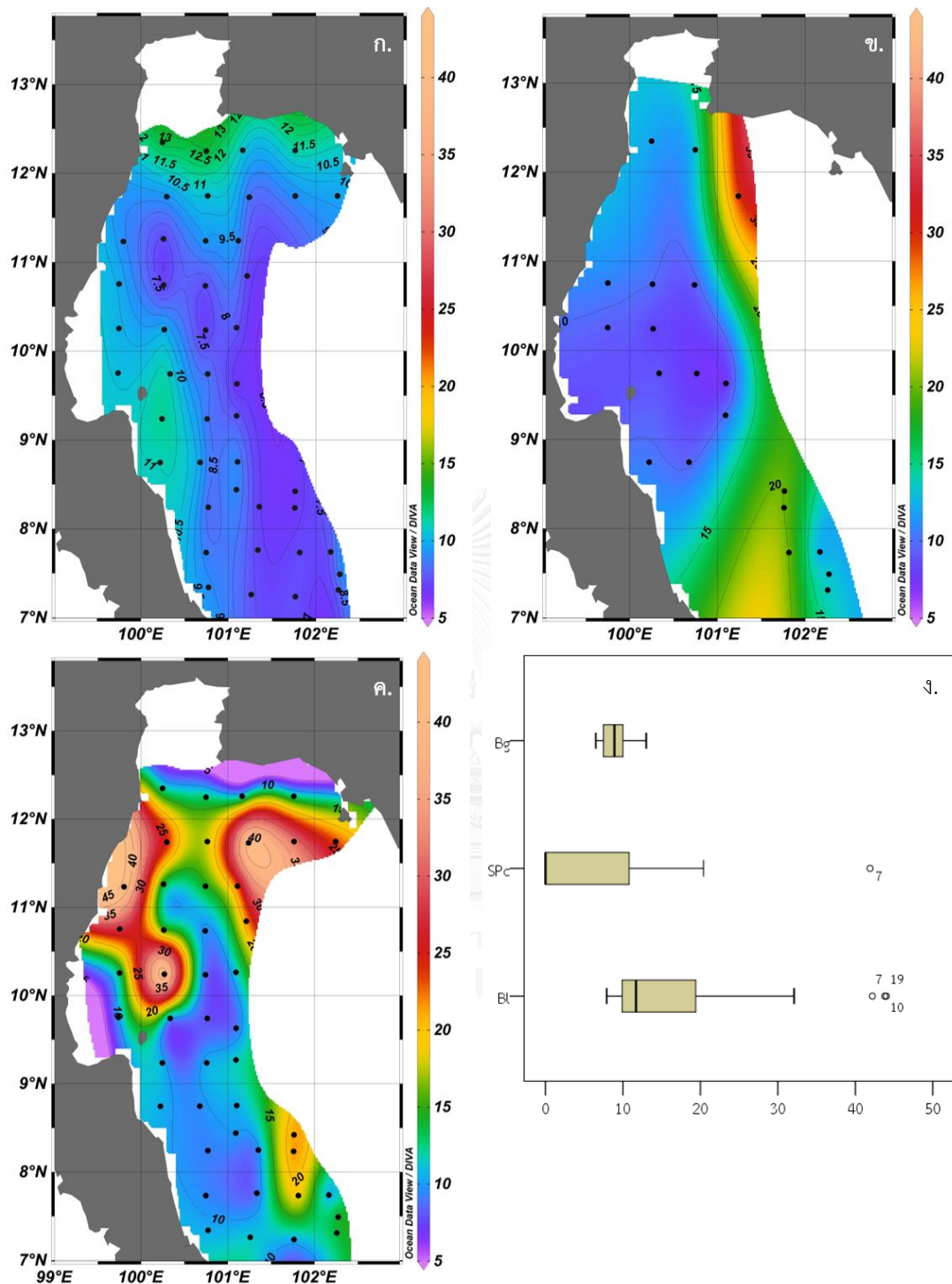
รูปที่ 4 - 29 การแพร่กระจายของไนเตรทในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



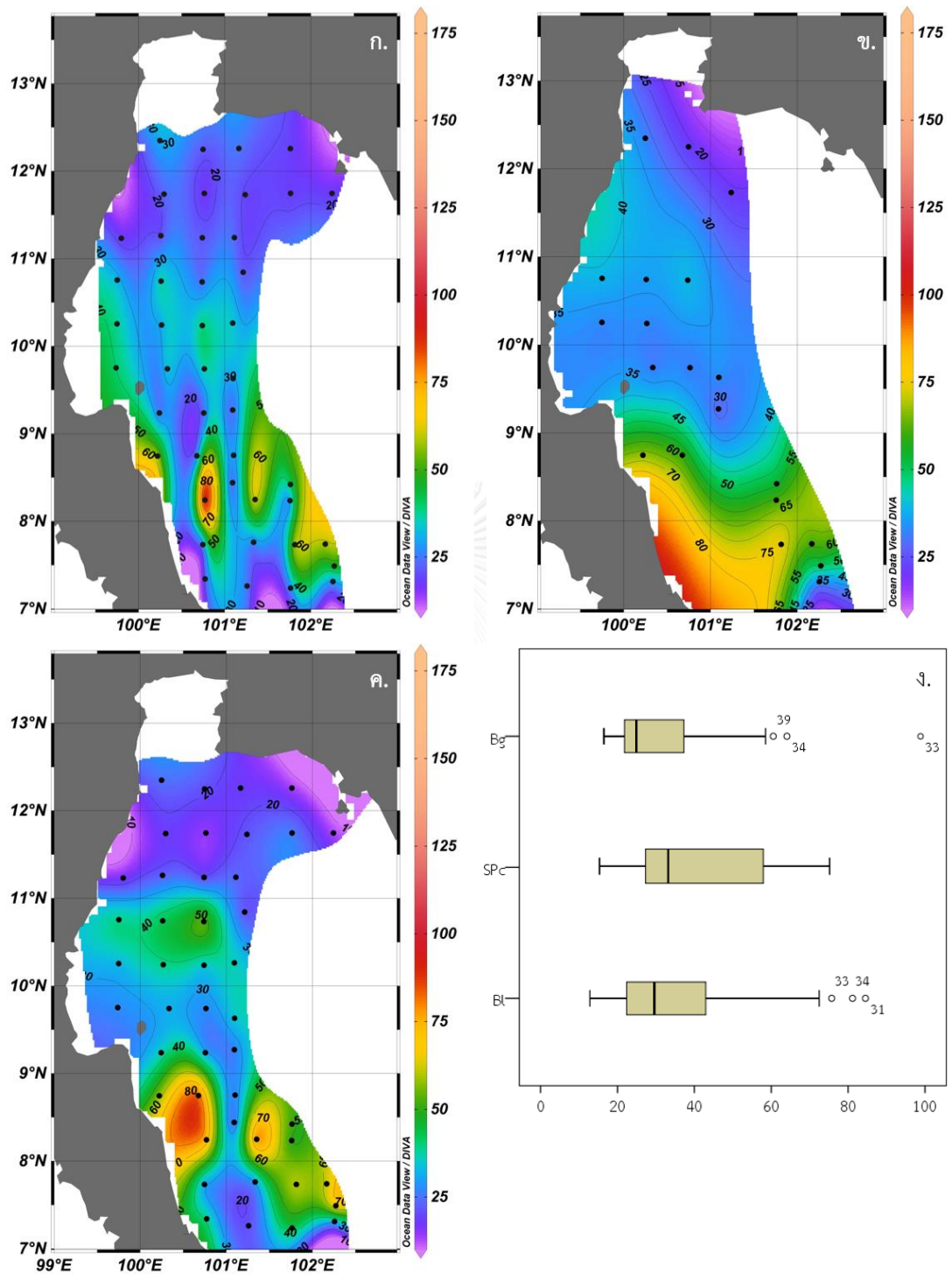
รูปที่ 4 - 30 การแพร่กระจายของแอมโมเนียมในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolytic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



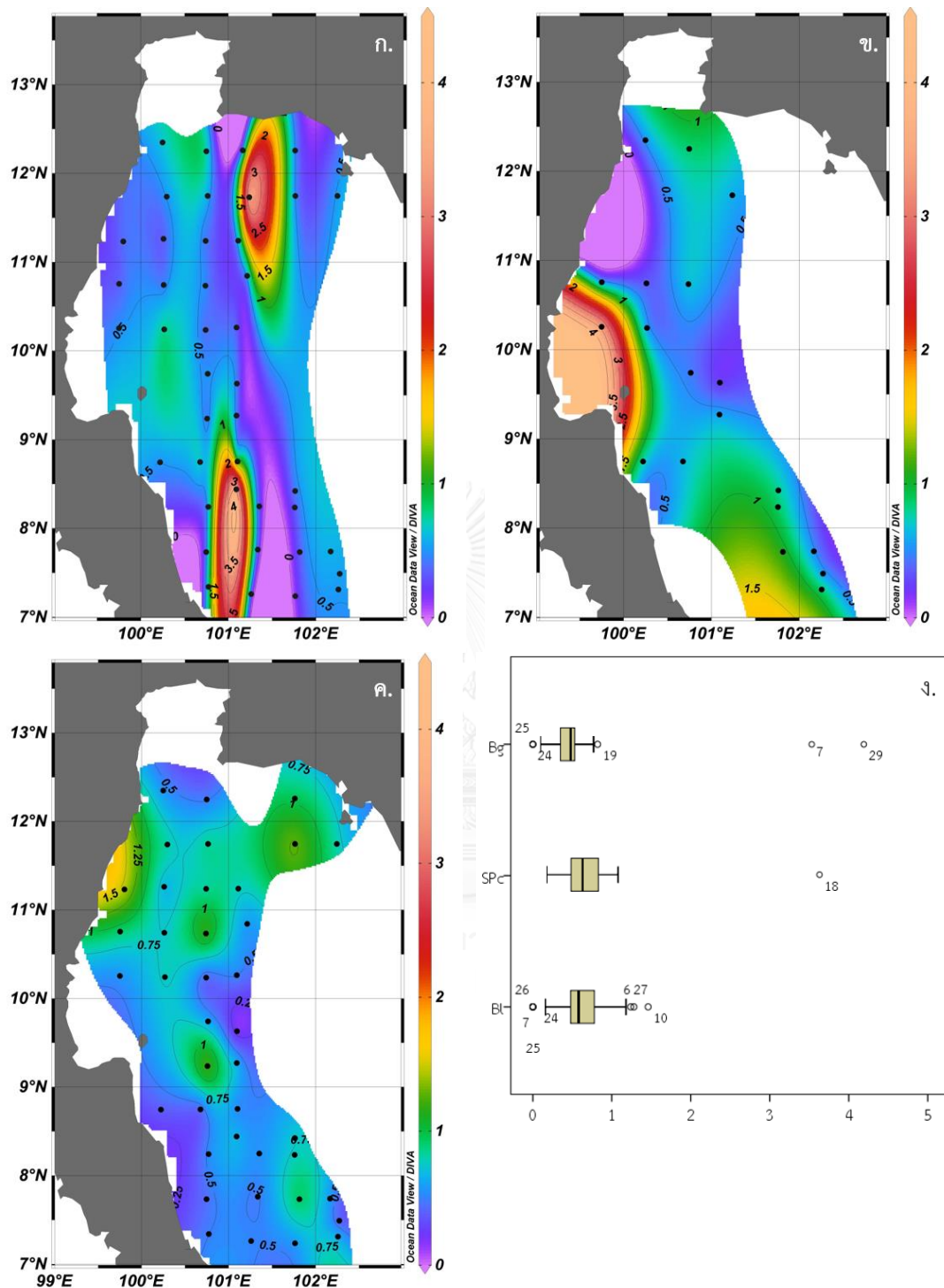
รูปที่ 4 - 31 การแพร่กระจายของ DIN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



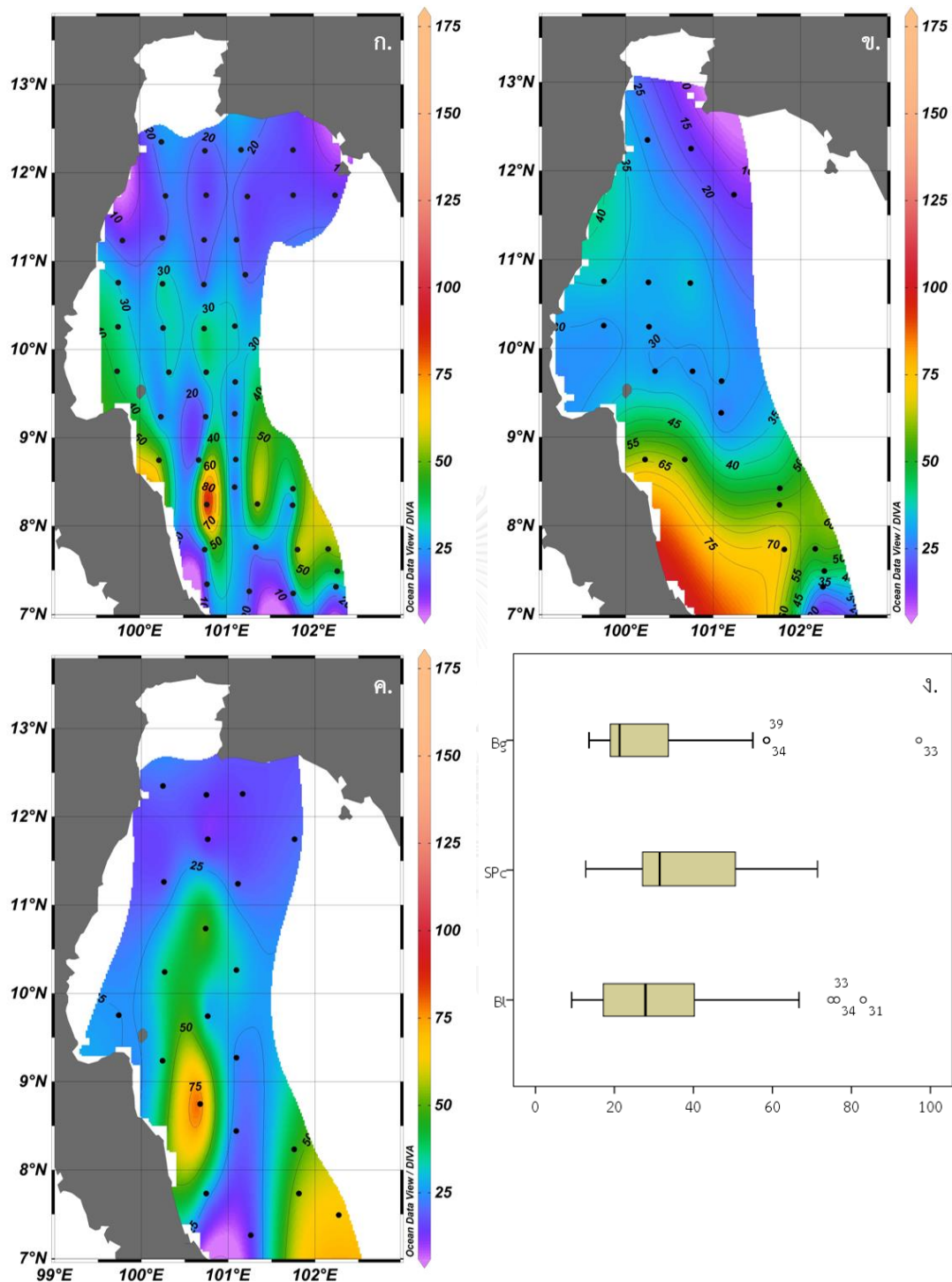
รูปที่ 4 - 32 การแพร่กระจายของ DSi ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



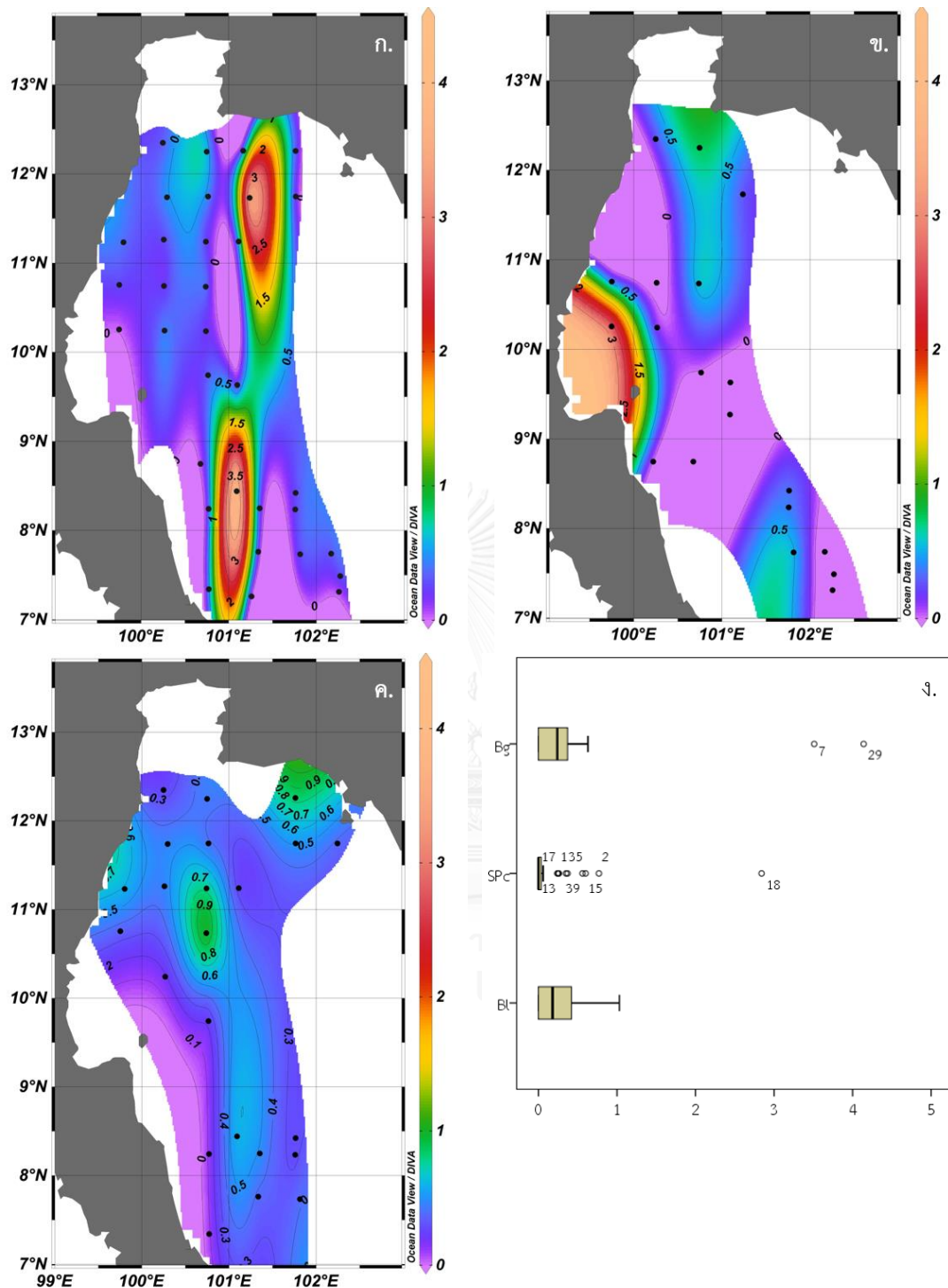
รูปที่ 4 - 33 การแพร่กระจายของ TDN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



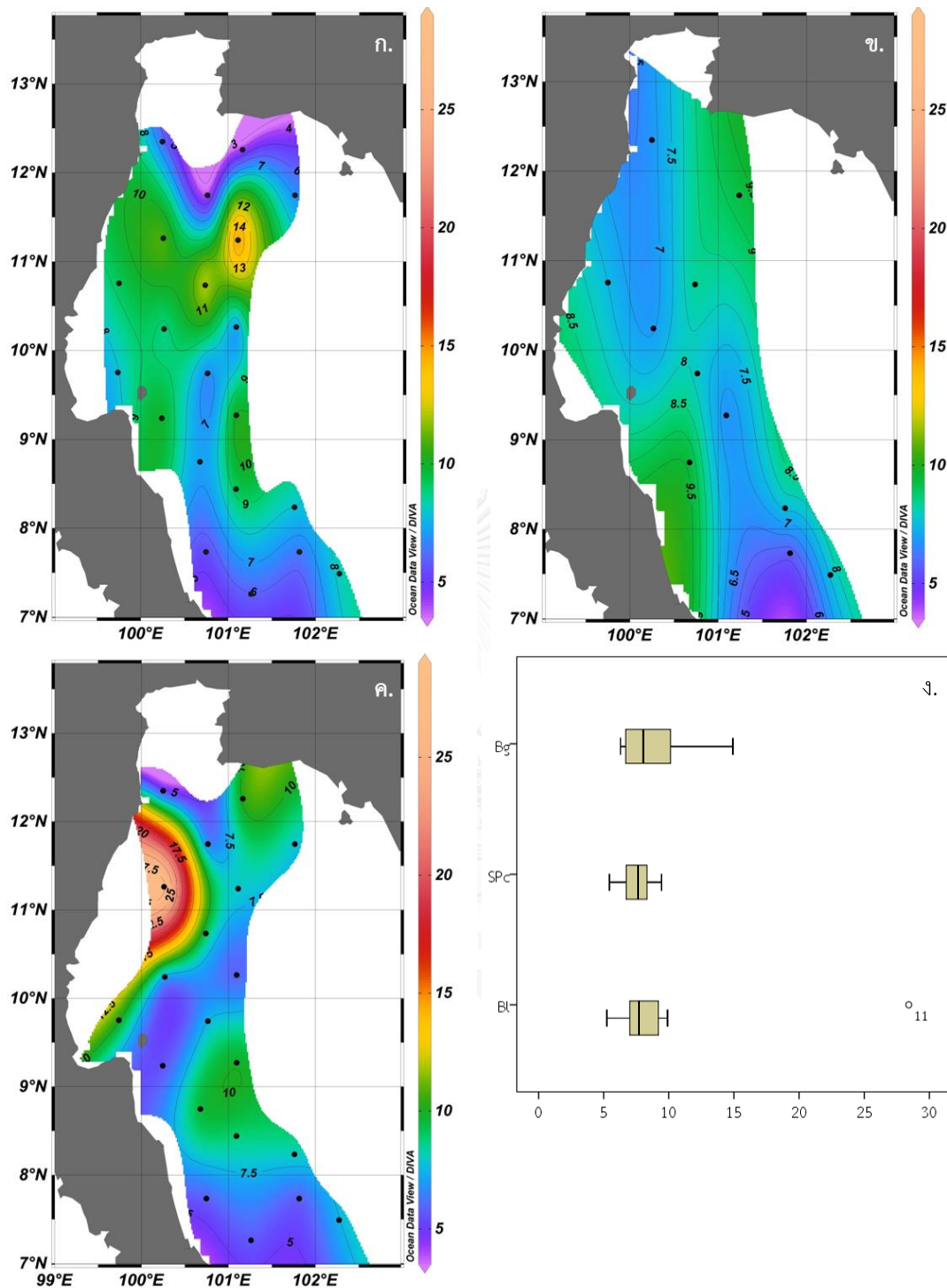
รูปที่ 4 - 34 การแพร่กระจายของ TDP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



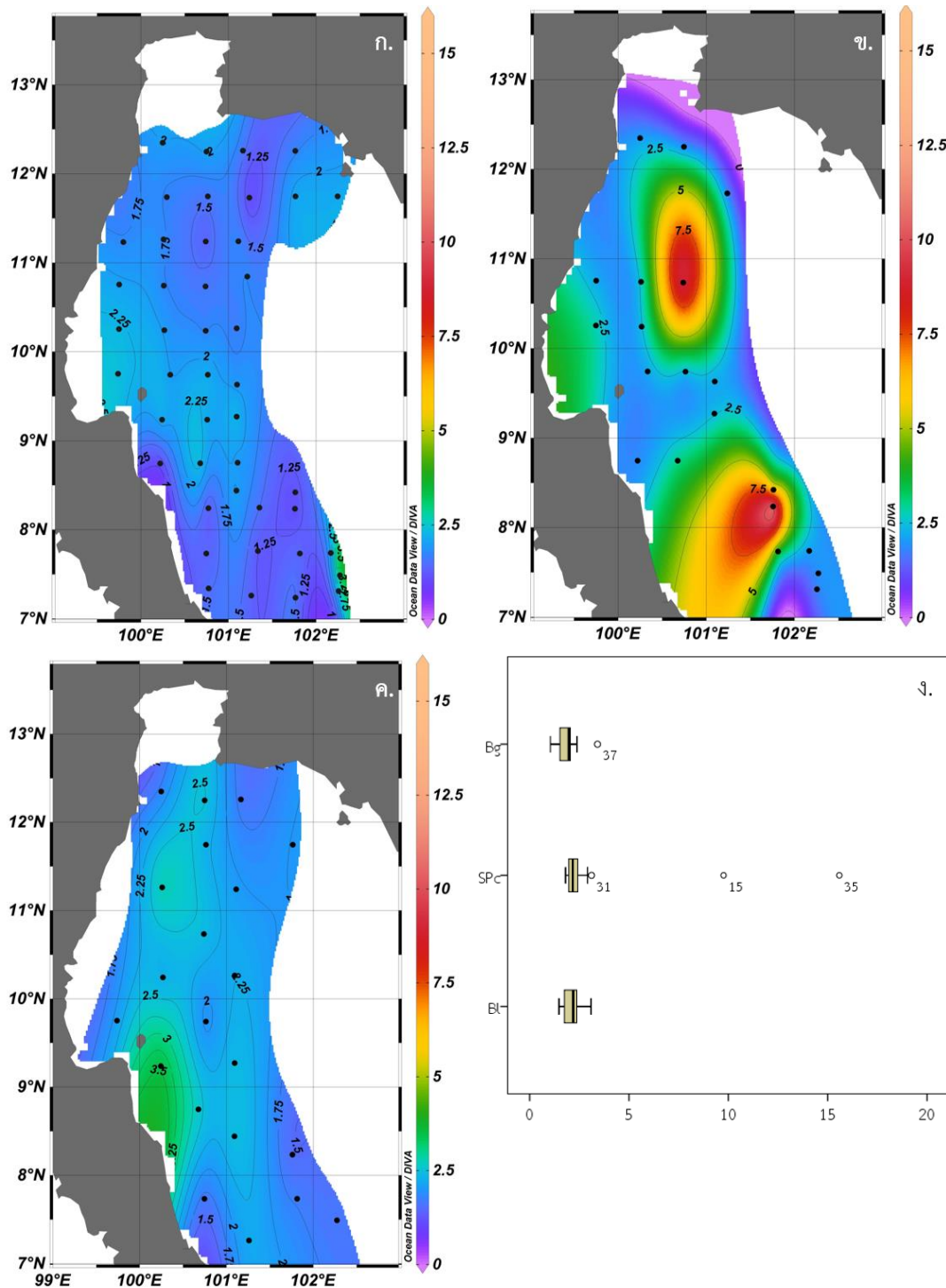
รูปที่ 4 - 35 การแพร่กระจายของ DON ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (µM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (µM)



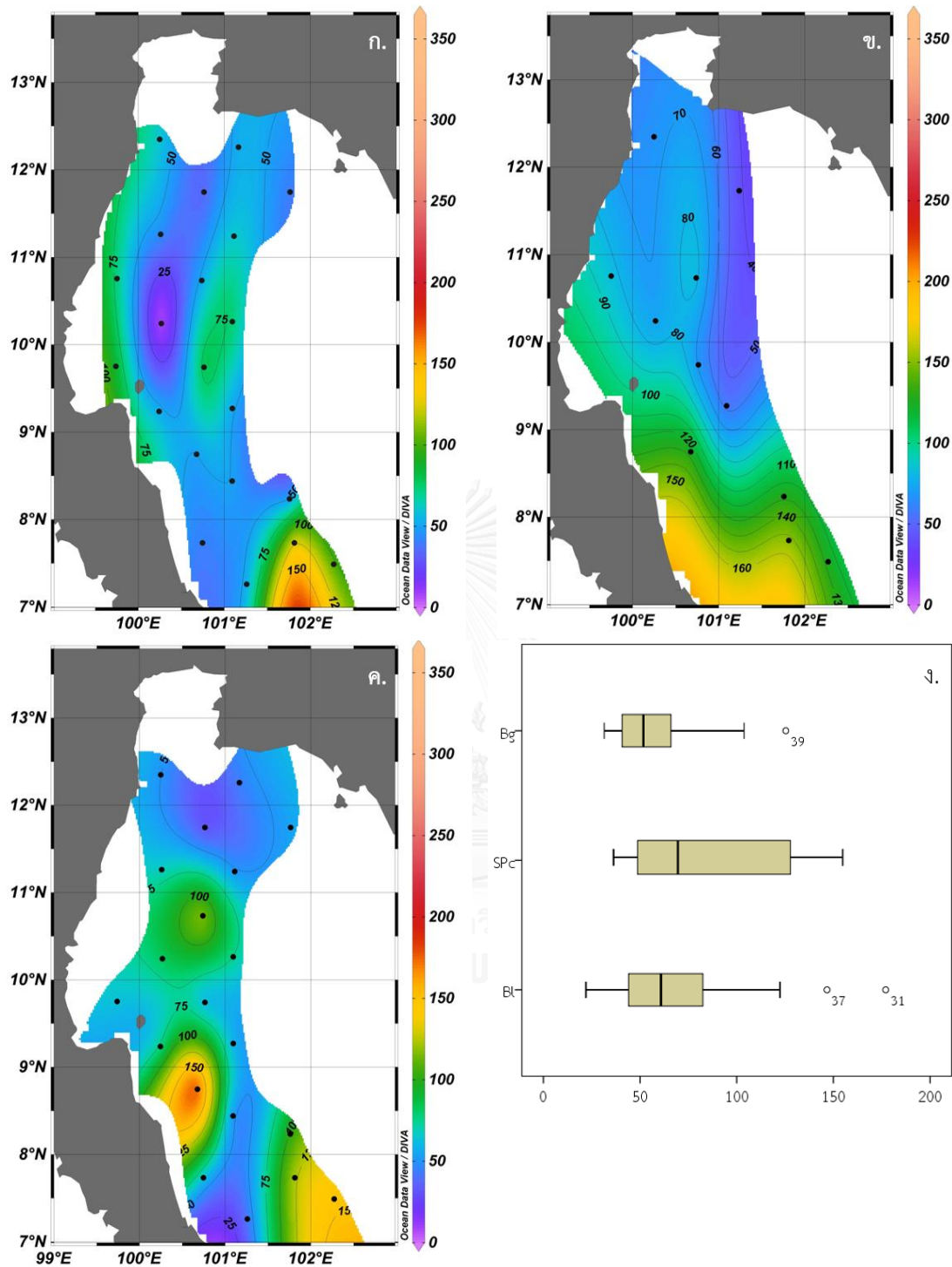
รูปที่ 4 - 36 การแพร่กระจายของ DOP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolytic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



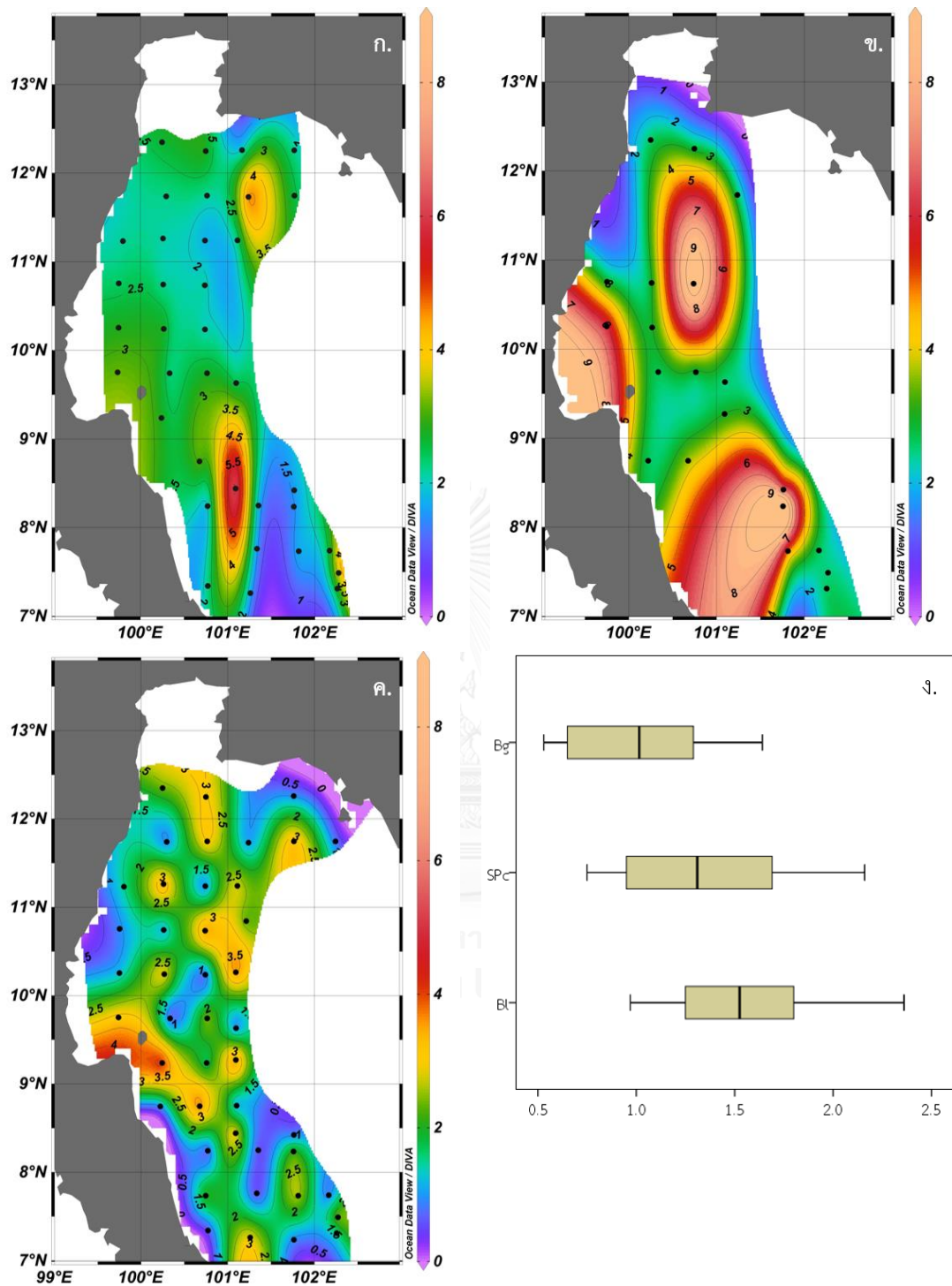
รูปที่ 4 - 37 การแพร่กระจายของ PN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (µM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (µM)



รูปที่ 4 - 38 การแพร่กระจายของ PP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



รูปที่ 4 - 39 การแพร่กระจายของ TN ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)



รูปที่ 4 - 40 การแพร่กระจายของ TP ในแต่ละระดับ ได้แก่ ก. Biogenic ข. Subpycnocline และ ค. Biolythic (μM) และ ง. กราฟเปรียบเทียบของทั้ง 3 ระดับชั้น (μM)

4.3.2 การแพร่กระจายของสารอาหารในแนวตั้งตามความลึกพื้นที่ศึกษา

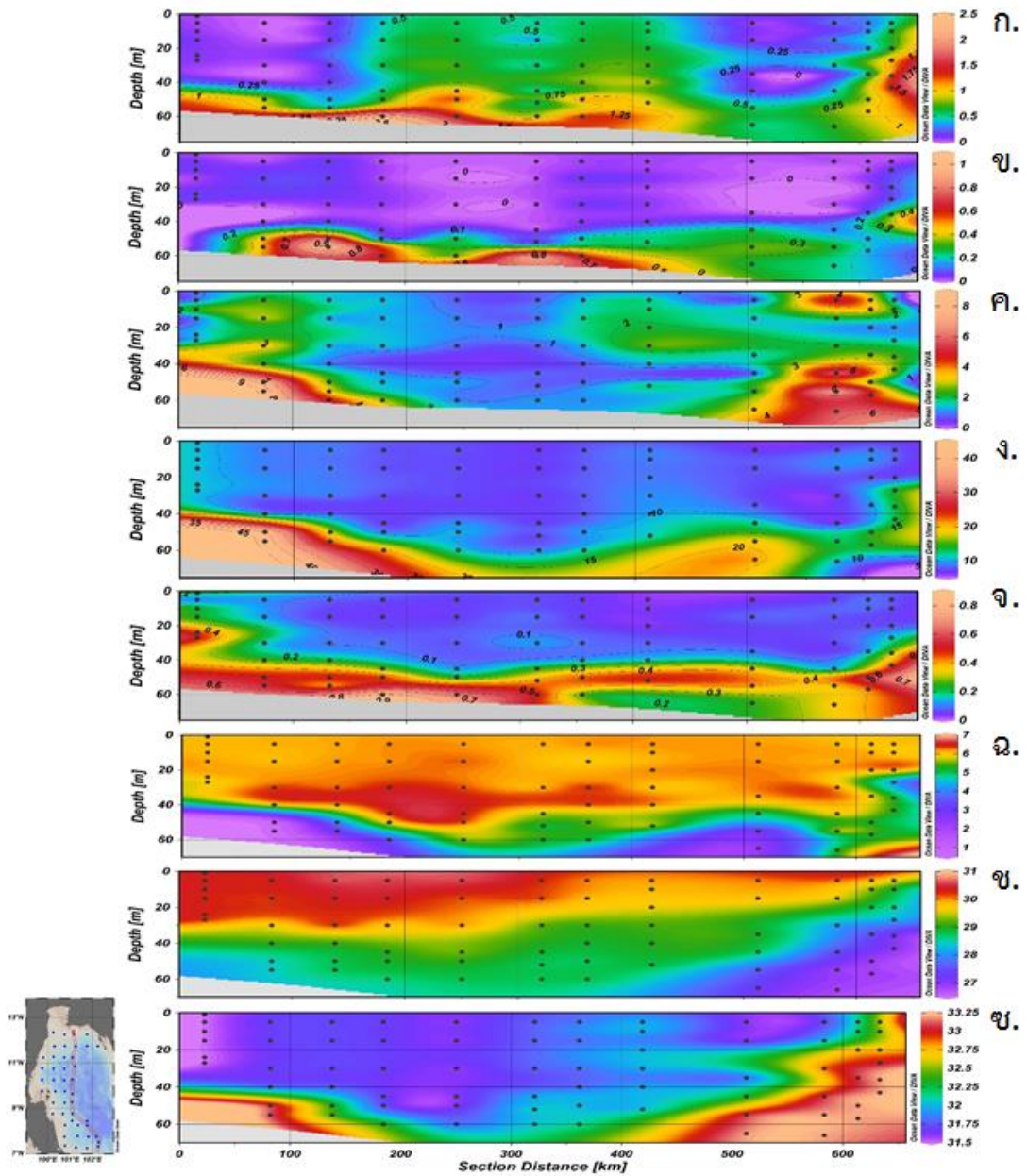
การแพร่กระจายตามความลึกของธาตุอาหารในอ่าวไทย แสดงไว้ดังรูปที่ 4 - 41 การแพร่กระจายของฟอสเฟตมีค่าสูงในบางบริเวณ และบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง ณ สถานีที่ 45 ไนโตรเจนและไนเตรท มีค่าสูงในบริเวณต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน ซึ่งไนโตรเจนมีค่าสูงในบริเวณใกล้กับพื้นทะเลในเกือบทุกสถานีซึ่งเป็นผลมาจากการแพร่กระจายกลับมาจากตะกอนดิน ไนเตรทมีค่าสูงบริเวณผิวน้ำเนื่องจากการตรึงไนโตรเจน และบริเวณสถานีตอนล่างของอ่าวไทยซึ่งได้รับอิทธิพลจากการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ ซิลิกาละลายมีค่าสูงบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำ ได้แก่ บริเวณต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน บริเวณอ่าวบ้านดอน และชายฝั่งจังหวัดสงขลา รวมถึงบริเวณที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำ

กระบวนการชีวธรณีเคมีและ carbon pump นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการแพร่กระจายในแนวตั้งและปริมาณของสารอาหาร โดยบริเวณที่มีธาตุอาหารสูง (nutrient maxima) จะเป็นบริเวณ subsurface ซึ่งเป็นความลึกที่เกิดการ remineralization เกิดขึ้น nutrient maxima จะมีค่าสัมพันธ์กับออกซิเจน (oxygen minima) หรือกล่าวได้ว่าเป็นบริเวณที่เกิดการย่อยสลายธาตุอาหารสูง (Schlitzer, 2009) เช่นเดียวกับอ่าวไทยซึ่งจะเห็นได้ว่า สารอาหารมีค่าความเข้มข้นสูงบริเวณเหนือพื้นทะเลโดยเฉพาะไนโตรเจน และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเป็นหลัก

อย่างไรก็ตามปริมาณสารอาหารที่ไหลลงสู่อ่าวไทยนั้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายได้มากในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (Ball et al., 1997) ซึ่งจะทำให้สารอาหารจากแม่น้ำแพร่กระจายเข้าสู่ชายฝั่ง และค่อย ๆ เคลื่อนออกสู่นอกชายฝั่ง (Boonphakdee & Fujiwara, 2008) เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ไหลออกอ่าวไทยตอนในมีมากถึง 300×10^6 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน แต่ในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำฝนลดลงทำให้ที่ไหลออกสู่อ่าวไทยตอนกลางจึงมีปริมาณลดลง (Sylaios & Tsihrintzis, 2009)

ลักษณะการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.1.2 การแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้นอกจากจะส่งผลให้เกิดชั้น Subpycnocline แล้วยังส่งต่อการผสมผสานของมวลน้ำ ทำให้สารอาหารจากมวลน้ำชั้นล่างไม่สามารถกลับสู่ชั้นบนได้ เกิดเป็นชั้นที่สารอาหารสูงใต้ชั้น Subpycnocline โดยจะเห็นได้ชัดเจนในบริเวณสถานีนอกชายฝั่ง ดังรูปที่ 4 - 41

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของสารอาหารทำให้เราทราบถึงแหล่งที่มาหลักของสารอาหารในอ่าวไทย ได้แก่ แม่น้ำ การคืนแร่ธาตุจากตะกอนดิน และบริเวณที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำทะเลจากทะเลจีนใต้



รูปที่ 4 - 41 การแพร่กระจายในแนวตั้งของสารอาหาร ได้แก่ ก. PO_4^{3-} ข. NO_2^- ค. NO_3^- ง. DSi (μM) จ. คลอโรฟิลล์-เอ ($\mu\text{g l}^{-1}$) ฉ. ออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) ช. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ ซ. ความเค็ม อันเป็นผลมาจากการแบ่งชั้นน้ำ

4.3.3 อัตราส่วนสัมพันธ์ของสารอาหารในแต่ละชั้นน้ำ

อัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ของสารอาหารหลักในแต่ละชั้นน้ำ แสดงไว้ในตารางที่ 4 - 3 ในน้ำทั้ง 3 ระดับความลึก มีค่า DIN : DIP ต่ำกว่า Redfield ratio แสดงว่าไนโตรเจนมักเป็นปัจจัยจำกัด เพราะ DIN ถูกแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นชนิดที่สามารถนำไปใช้ได้ง่ายที่สุดโดยไม่สูญเสียพลังงาน (Downing, 1997) มวลน้ำระดับชั้น biogenic มีขาดแคลน DIN น้อยกว่าระดับอื่น เนื่องจากเป็นชั้นที่มีกระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation โดย cyanobacteria) น้ำในชั้น subpycnocline และ biolythic ขาดแคลน DIN มากกว่าน้ำชั้นบน โดยเฉพาะบริเวณสถานีที่มีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูง เช่น สถานีที่อยู่บริเวณใกล้หมู่เกาะอ่างทอง ทะเลสาบสงขลา รวมถึงบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดจันทบุรีและตราด อย่างไรก็ตามน้ำชั้น biolythic ขาดแคลน DIN น้อยกว่าน้ำชั้น subpycnocline เพราะ DIN สามารถแพร่จากดินตะกอนเข้าสู่มวลน้ำ

DSi : DIP มีค่าสูงกว่า Redfield ratio ในน้ำทุกระดับชั้น เนื่องจากอ่าวไทยรับน้ำจากแม่น้ำหลายสายที่พาเอาซิลิกาละลายมาจากแผ่นดินลงสู่อ่าวไทย ส่วน DON : DOP เพิ่มขึ้นตามความลึก น้ำระดับลึกลงไปมี DON สูง ซึ่งมาจากของเสียจากสิ่งมีชีวิต เช่น ยูเรีย (urea) อะมีน (amines) และกรดอะมิโน (free amino acids) แพลงก์ตอนพืชไม่สามารถนำ DON ไปใช้ได้โดยตรง จุลินทรีย์ในน้ำทะเลจะเปลี่ยน DON ไปเป็น DIN กระบวนการนี้เรียกว่า microbial loop ซึ่งเป็นกระบวนการหมุนเวียนสารอาหารที่สำคัญในทะเล (Zehe & Kudela, 2011) ในน้ำชั้น biolythic มีอัตราส่วน DON : DOP สูงเนื่องจากความเข้มข้นของ DOP นั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับ DON เพราะรูปแบบหลักของสารอาหารประเภทฟอสฟอรัสอยู่ในรูป DIP

ตารางที่ 4 - 3 อัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ของสารอาหารหลักในแต่ละชั้นน้ำ

ระดับ	DIN : DIP : DSi	DON : DOP	PN : PP	TN : TP
Biogenic	10 : 1 : 29	58 : 1	5 : 1	41 : 1
Subpycnocline	6 : 1 : 23	65 : 1	2 : 1	44 : 1
Biolythic	5 : 1 : 4	75 : 1	4 : 1	45 : 1

สารอาหารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปแวนดอลอย ส่วนใหญ่จะมาจากน้ำจืด การผันแปรของ PN : PP จึงขึ้นกับปริมาณสารแวนดอลอยในน้ำ น้ำชั้น biogenic มักมีค่าสูงกว่า เนื่องจากน้ำจืดเบากว่าและลอยอยู่บนน้ำทะเลที่ความหนาแน่นสูงกว่า (Giani et al., 2003)

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วน Redfield แต่ละสถานีในแต่ละระดับความลึก ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา พบว่าอ่าวไทยสารอาหารมี ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดในระดับชั้น BG และ BL ประมาณ 44.44 และ 75.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในระดับชั้น Bg มีการขาดแคลนไนโตรเจนมาก บริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งอ่าวบ้านดอน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ และผลผลิตปฐมภูมิสูง เช่นเดียวกับระดับชั้น BL มีความขาดแคลนไนโตรเจนสูงบริเวณชายฝั่ง และเป็นระดับชั้นที่มีค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ สูงสุด บริเวณที่มีความขาดแคลนต่ำสุดทั้ง 2 ระดับ คือ บริเวณต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนใน

เมื่อพิจารณาที่ระดับชั้น BG พบว่าบริเวณที่มีอัตราส่วน Redfield ต่ำอย่างเห็นได้ชัด คือ บริเวณตอนกลางของอ่าวไทย และบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา รวมทั้งบริเวณชายฝั่งทางตะวันออกของอ่าวไทย ที่ระดับชั้น SCM และ BL จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน Redfield ต่ำแพร่กระจายอยู่ทั่วสถานีที่มีการทำการศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 ระดับชั้นนี้สารอาหารถูกใช้ไปจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช

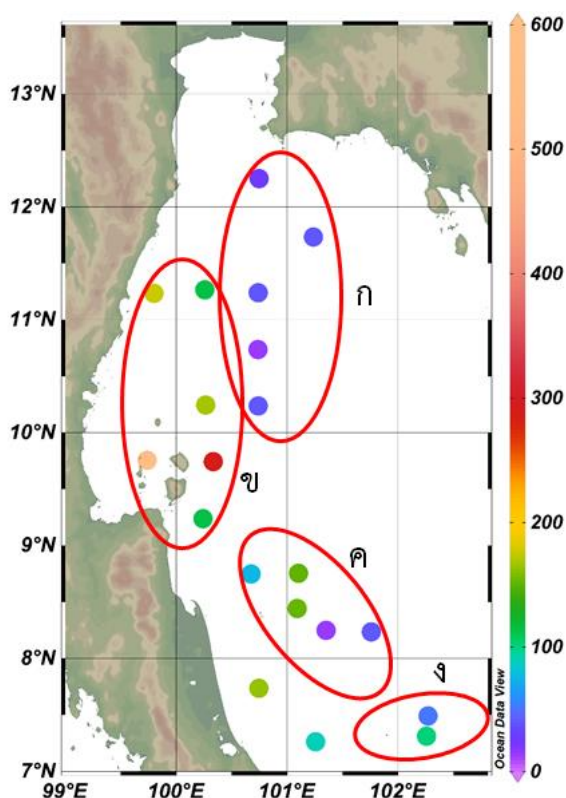
นอกจากนี้อัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ C: N: P สามารถบ่งบอกชนิดของแพลงก์ตอนพืช กลุ่มยูแคริโอต (eukaryotic) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สาหร่ายสีเขียวมี C: P \approx 200 และ N: P \approx 27 ส่วนสาหร่ายสีแดง C: P \approx 70 และ N: P \approx 10 (Arrigo, 2005)

4.4 ผลผลิตปฐมภูมิ

ผลการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในพื้นที่อ่าวไทยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima ในแต่ละสถานี และผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ จำนวน 20 สถานี แสดงไว้ในภาคผนวก ง

4.4.1 ผลผลิตปฐมภูมิในแต่ละสถานีที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima

ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในอ่าวไทยจำนวน 20 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง 12.6 ถึง 574.1 mg-C m⁻³ d⁻¹ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120.2 mg-C m⁻³ d⁻¹ (รูปที่ 4 - 42) สถานีที่มีค่าสูงสุดคือสถานีที่ 25 ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่ามีความอุดมสมบูรณ์สูง ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช (กลุ่ม Bacillariophyceae มีปริมาณ 25,960 เซลล์ต่อลิตร ซึ่งเป็นสถานีที่พบการสะสมของแพลงก์ตอนพืชสกุล *Pseudo-nitzschia* spp. (เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ, 2556) หมึกคอกชนิด *Photololigo chinensis* (จรรยา สุขแสงจันทร์ และ ปภัสรรณ สุนทรเกตุ, 2556)



รูปที่ 4 - 42 ปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) ในอ่าวไทย ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima

เมื่อเปรียบเทียบค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ทำการศึกษามีค่าต่ำกว่าวิจัยอื่น ๆ ในอ่าวไทย ดังตารางที่ 2 - 4 เนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการศึกษเป็นช่วงฤดูแล้ง และทำการเก็บตัวอย่างเพียงระดับความลึกเดียว ยกเว้นของวสิรัตน์ มุสิกะสังข์ ปี พ.ศ. 2541 ที่มีปริมาณผลผลิตปฐมภูมิอยู่ในช่วง 0.002 ถึง $0.019 \text{ g-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ ค่าที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากฤดูกาลในการเก็บ และวิธีการที่ใช้แตกต่างกัน ดังนั้นการหาวิธีการติดตามผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยยังจำเป็นต้องมีความจำเป็น โดยหนึ่งในทางเลือกที่ถูกใช้ในปัจจุบันคือการใช้ข้อมูลดาวเทียม ที่สามารถติดตามได้รวดเร็วและต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาลักษณะการแพร่กระจายระดับพบว่าค่าสูงผลผลิตปฐมภูมิมีค่าสูงบริเวณใกล้ชายฝั่งเช่นเดียวกับการศึกษาของวสิรัตน์ มุสิกะสังข์ ปี พ.ศ. 2541 ส่วนการแพร่กระจายตามระดับความลึกพบว่ามีค่าสูงบริเวณผิวน้ำทะเล ในสถานีใกล้ฝั่งที่มีความลึกต่ำกว่า 30 m และมีค่าสูงบริเวณกลางน้ำ ในสถานีที่มีความลึกมากกว่า 40 m ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้เนื่องจากค่าผลผลิตปฐมภูมิสูงสุดส่วนใหญ่มีค่าสูงใกล้กับพื้นทะเล ยกเว้นสถานีที่ 24 เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีการระลอกของแพลงก์ตอนพืช

สาเหตุที่ทำให้ผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยบริเวณชายฝั่งทะเลลึกมีค่าสูงเป็นผลจากการพัฒนาชายฝั่งอันรวดเร็วในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและปานกลาง รวมถึงการทำนาุ้ง ซึ่งสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทย (Heileman & Chuenpagdee, 2008)

จากข้อมูลปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ตามลักษณะการแพร่กระจายของสารอาหารอนินทรีย์ (รูปที่ 4 - 42) ได้แก่

ก. บริเวณสถานีนอกชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถึงจังหวัดชุมพร ได้แก่ สถานีที่ 2, 7, 12, 15 และ 20 เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} , DIN และ DSI ต่ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ เซซฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ ปี พ.ศ. 2556 พบว่าสถานีเหล่านี้มีปริมาณของแพลงก์ตอนพืชต่ำกว่าสถานีอื่น ๆ โดยมีปริมาณ 100 ถึง 1,000 เซลล์ต่อลิตร

ข. บริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แก่ สถานีที่ 10, 11, 19, 24, 25 และ 26 เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} และ DSI สูง ซึ่งสถานีที่ 25 มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับสถานีอื่น ๆ

ค. บริเวณนอกชายฝั่งจังหวัดนครศรีธรรมราชถึงพัทลุง ได้แก่ สถานีที่ 29, 30, 31, 34 และ 35 เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} และ DIN ต่ำ

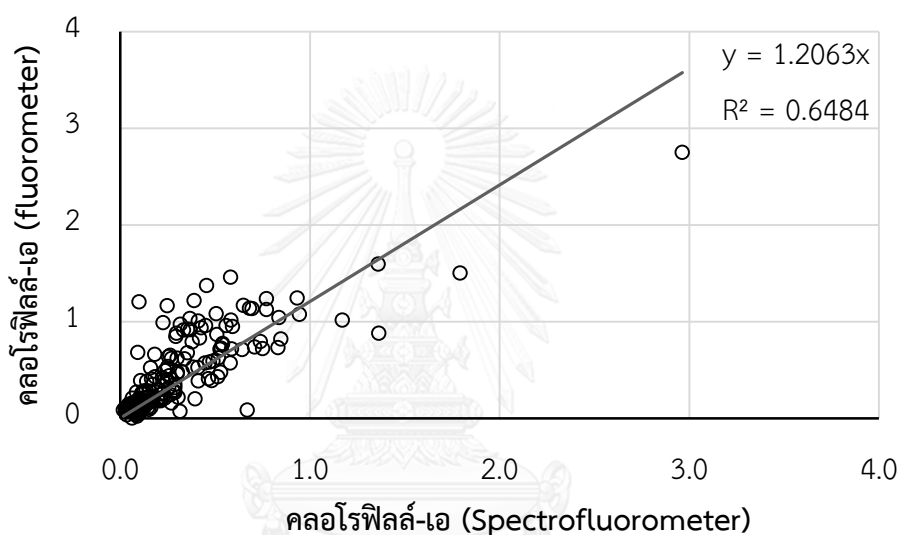
ง. บริเวณนอกชายฝั่งจังหวัดปัตตานี ได้แก่ สถานีที่ 37 และ 45 เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} และ NO_2^- และ NO_3^- สูง สถานีดังกล่าวเป็นสถานีที่ได้รับอิทธิพลจากการแทรกตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้มากกว่าสถานีอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา

โดยจะเห็นได้ว่าสถานีที่มีบริเวณใกล้ชายฝั่ง และบริเวณสถานีที่ 37 และ 45 ที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำนั้นมีความผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูง สอดคล้องกับปริมาณของแพลงก์ตอนพืชจากการศึกษาของ เซซฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ ปี พ.ศ. 2556 แต่พบว่ากลุ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชแตกต่างกัน ในบริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น คือ ไดอะตอม กลุ่ม Bacillariophyceae ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างแข็งที่ประกอบด้วยซิลิกา สอดคล้องกับปริมาณของซิลิกาละลายในพื้นที่ที่มีค่าสูงเช่นกัน ในบริเวณสถานีที่ 37 และ 45 มีแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น คือ Dinophyceae และ Cyanophyceae ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน (Moisander, 2000) สอดคล้องกับปริมาณของ NO_2^- และ NO_3^- ที่มีค่าสูงเช่นกัน

4.4.2 ผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำในแต่ละสถานี

การหาค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำเป็นผลจากการเทียบสัดส่วนของค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับค่าคลอโรฟิลล์-เอ โดยมีการปรับแก้ค่าของคลอโรฟิลล์-เอ ตามสมการความสัมพันธ์ที่ 13 เพื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำในแต่ละระดับความลึก ดังภาคผนวก ข และสรุปได้ดังตารางที่ 4 - 4

$$y = 1.2063X : R^2 = 0.6484 \quad (13)$$



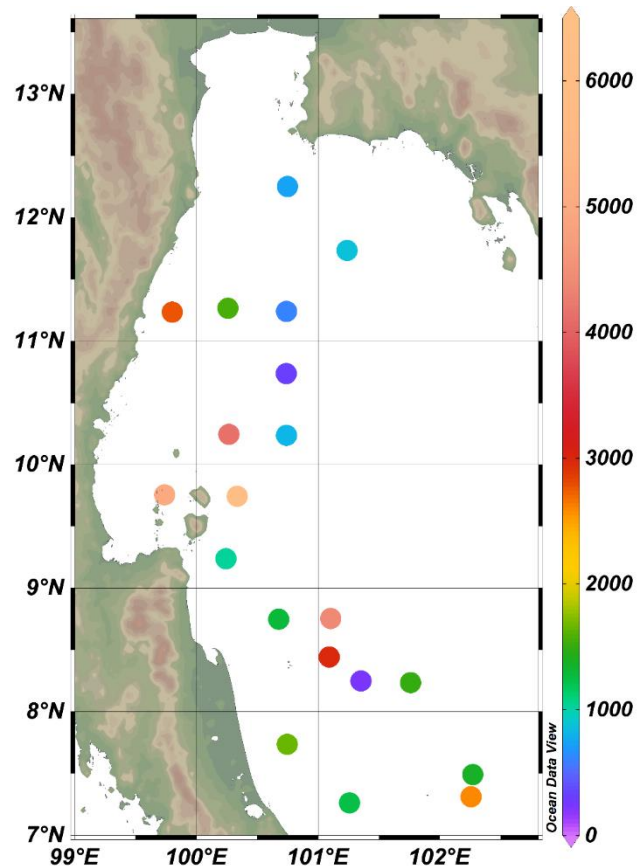
รูปที่ 4 - 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง fluorometer ณ เวลาจริงที่ทำการศึกษา กับวิธีการทางเคมี (JGOFS, 1994)

ค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำในแต่ละสถานี (ตารางที่ 4 - 4 และรูปที่ 4 - 44) มีค่าอยู่ในช่วง 217.8 ถึง 6,066.6 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,044.0 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ บริเวณอ่าวไทยตอนล่างทั้งใกล้และไกลชายฝั่งทะเลพบว่ามีค่าสูง โดยเฉพาะสถานีที่ 19, 24, 25 และ 30 ที่มีปริมาณมากกว่า 4.0 $\text{g-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ โดยพบว่าปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นไม่ได้เป็นผลเชื่อมโยงกับระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสถานีที่ 19, 24 และ 30 มีระดับความลึกมากกว่า 40 m ต่างกับสถานีที่ 25 มีระดับความลึกต่ำกว่า 20 m แต่กลับพบว่ามีการผลิตปฐมภูมิสูง

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำพบว่ามีความสูงกว่การศึกษาอื่น ๆ ในอ่าวไทย ดังตารางที่ 2 - 2 แต่จะมีลักษณะการแพร่กระจายสูงในบริเวณใกล้ชายฝั่งตะวันตก ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานี เช่นเดียวกับการศึกษาของวไลรัตน์ มุสิกะสังข์ ปี พ.ศ. 2541

ตารางที่ 4 - 4 ค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำที่ได้จากการเทียบของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับคลอโรฟิลล์-เอ ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima

สถานี	ความลึก (m)	ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima		IPP (mg-C m ⁻² d ⁻¹)
		คลอโรฟิลล์-เอ (µg l ⁻¹)	NPP (mg-C m ⁻³ d ⁻¹)	
2	20	0.384	24.9	720.1
7	50	1.332	37.4	855.1
10	40	1.813	174.7	2,755.7
11	45	1.452	112.3	1,541.7
12	52	1.224	37.4	588.5
15	55	0.924	12.6	300.3
19	45	0.752	166.4	4,123.7
20	60	0.99	37.8	806.6
24	35	0.888	287.1	6,066.6
25	15	3.319	574.1	4,977.6
26	25	0.638	112.3	1,009.5
29	46	0.867	151.0	2,966.6
30	53	0.714	149.8	4,403.6
31	25	0.611	75.5	1,266.8
34	50	0.752	12.6	217.8
35	55	1.043	37.8	1,481.6
37	50	1.145	49.9	1,357.7
41	23	0.559	162.3	1,641.3
43	36	0.818	87.4	1,221.7
45	36	1.100	99.9	2,577.8



รูปที่ 4 - 44 ปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ในอ่าวไทย

4.5 ปัจจัยแสงและสารอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิ

4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_d(Z)$ กับค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ

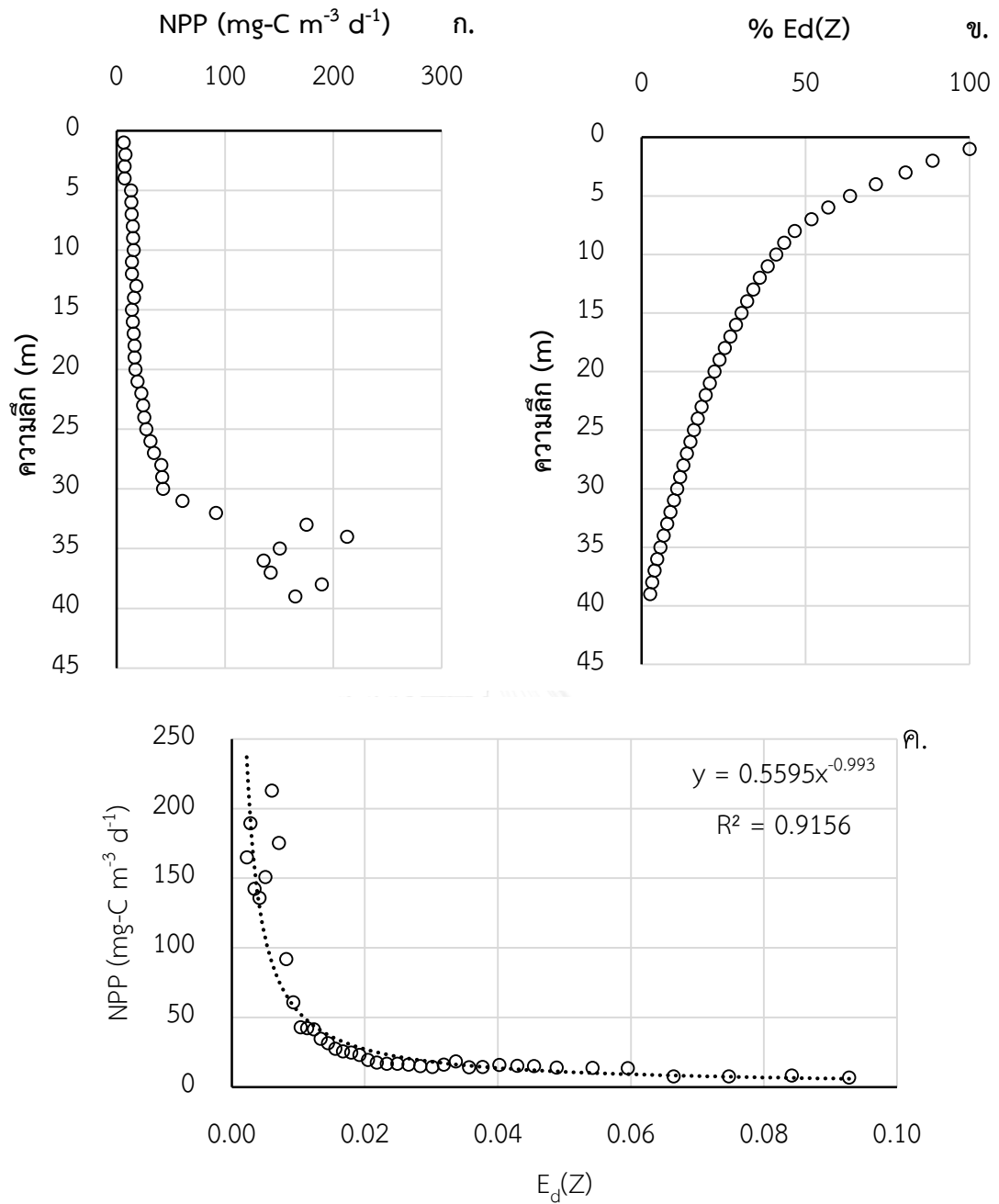
ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในอ่าวไทยจำนวน 20 สถานี แสดงให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์แบบยกกำลังในเชิงลบ กล่าวคือเมื่อปริมาณแสงลดลงค่าผลผลิตปฐมภูมิเพิ่มสูงขึ้น และค่าผลผลิตปฐมภูมิจะสูงของอย่างรวดเร็วที่ระดับใต้ชั้น Chlorophyll maxima ซึ่งสถานีที่มีค่า R^2 มากกว่า 0.75 มี 16 สถานี คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4 – 5) แต่การพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของแสงจำเป็นต้องพิจารณาในแต่ละสถานีเนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้อง เช่น ตะกอนแขวนลอย และสารอาหารจำเป็นต่อแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ รวมถึงอิทธิพลการแบ่งตัวของมวลน้ำ

ตารางที่ 4 - 5 ความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับ $E_d(Z)$

สถานี	R^2	N
2	0.72	23
7	0.89	19
10	0.92	38
11	0.79	43
12	0.95	43
15	0.92	48
19	0.88	39
20	0.92	39
24	0.82	38
25	0.82	13
26	0.69	23
29	0.91	44
30	0.94	49
31	0.92	23
34	0.87	44
35	0.85	59
37	0.89	49
41	0.49	22
43	0.94	12.75
45	0.72	49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างสถานีที่ 10 (รูปที่ 4 - 45) จะเห็นได้ว่าค่าผลผลิตปฐมภูมิจึงมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ $E_d(Z)$ ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับความลึกมากกว่า 30 m จากความสัมพันธ์พบว่า 91.56 เปอร์เซ็นต์ แสงมีความสัมพันธ์กับผลผลิตปฐมภูมิ จากรูปที่ 4 - 48 (ก.) และ 4 - 48 (ข.) พบว่าที่ระดับความเข้มแสงต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการสังเคราะห์แสงจะมีค่าสูงของอย่างรวดเร็ว แสดงว่านอกจากปัจจัยแสงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิแล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น สารอาหาร



รูปที่ 4 - 45 กราฟแสดงค่า ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) (ก.) $E_d(Z)$ (ข.) และความสัมพันธ์ระหว่าง $E_d(Z)$ กับ ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) (ค.) ของสถานีที่ 10

4.5.2 ความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและสารอาหาร

ในการหาค่าความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิกับสารอาหารชนิดต่าง ๆ รายงานไว้ในภาคผนวก จ ตารางที่ จ - 1 เมื่อจับคู่ความสัมพันธ์ของสารอาหารแต่ละชนิดสามารถสรุปคู่ความสัมพันธ์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังนี้

- PO_4^{3-} มีความสัมพันธ์กับ NH_4^+ และ DOP
- NO_2^- มีความสัมพันธ์กับ PO_4^{3-} , DSi และผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ
- NO_3^- มีความสัมพันธ์กับ DIN, DSi และ PN
- NH_4^+ มีความสัมพันธ์กับ DSi และผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ
- DIN มีความสัมพันธ์กับ NO_3^- , NH_4^+ , DSi และ PN
- DSi มีความสัมพันธ์กับ NO_2^- , NO_3^- และ DIN
- TDN มีความสัมพันธ์กับ DON และ TN
- TDP มีความสัมพันธ์กับ DOP และ TP
- DON มีความสัมพันธ์กับ TDN และ TN
- DOP มีความสัมพันธ์กับ PO_4^{3-} , TDP และ TP
- PN มีความสัมพันธ์กับ DIN และ TN
- PP มีความสัมพันธ์กับ TN และ TP
- TN มีความสัมพันธ์กับ TDN, DON, PN และ PP
- TP มีความสัมพันธ์กับ TDP, DOP และ PP
- ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิมีความสัมพันธ์กับ NO_2^- และ NH_4^+

สารอาหารแต่ละชนิดนั้นจะมีความเข้มข้น การแพร่กระจาย และชนิด (speciation) ขึ้นกับปัจจัยชีวธรณีเคมีในมวลน้ำ ถึงแม้ผลผลิตปฐมภูมินั้นจะผันแปรไปตามปัจจัยสารอาหาร แต่โดยทั่วไปก็พบว่าไม่ได้มีความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิ (Boynton et al., 1982; Nixon & Pilson, 1983) เนื่องจากประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารที่แตกต่างกันตามองค์ประกอบชนิดของแพลงก์ตอนพืช และการหมุนเวียนสารอาหารที่เกิดจากแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (microbial loop) (Falkowski, 1980) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออัตราผลผลิตปฐมภูมิมีค่าสูงปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารที่วัดได้ต่ำ เนื่องจากไม่มีการกำหนดปริมาณที่แน่นอนในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิในระบบนิเวศนั้น ๆ (Keller, 1988)

ถึงแม้การวิเคราะห์ในเชิงสถิติพบว่าธาตุอาหารมีความสัมพันธ์ต่อกับมวลชีวภาพ แต่ลักษณะการแพร่กระจายของสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ณ สถานีนอกชายฝั่งกลับพบว่าที่ระดับความลึกที่มี SCM จะเป็นระดับชั้นเดียวกับที่มีธาตุอาหารแพร่กระจายสูงด้วยเช่นกัน หากพิจารณาแล้วนั้นจะพบว่าที่ระดับความลึกดังกล่าวเป็นระดับความลึกที่มีระดับความเข้มแสงต่ำ ดังนั้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์จึงไม่สามารถเกิดได้อย่างสูงสุด

การพิจารณาสารอาหารที่มีความสำคัญต่อแพลงก์ตอนพืชนอกจากจะต้องพิจารณาธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต แล้วนั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาธาตุปริมาณน้อย (trace metal) ที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เช่น เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีความเข้มข้นต่ำมากหรือน้อยกว่า 0.1 μM บริเวณผิวน้ำ ธาตุปริมาณน้อยเหล่านี้จะสารคีเลต (chelator) ที่สามารถรวมกับธาตุอาหารทำให้ธาตุที่มีประจุลบจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยาได้ ดังนั้นธาตุคีเลตเหล่านี้จะทำให้ธาตุอาหารไม่ตกตะกอน (Morel & Price, 2003) แพลงก์ตอนจำพวกไดอะตอมจะรีดิวซ์ (reduce) Fe^{3+} ที่อยู่นอกเซลล์ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียบางชนิดผลิตขึ้นมาในสถานะที่ขาดเหล็ก (Maldonado & Price, 2001) นอกจากนี้ Fe ยังส่งผลต่อความจำกัดต่อการตรึงไนโตรเจน (N_2) ในแพลงก์ตอนพืช *Trichodesmium*

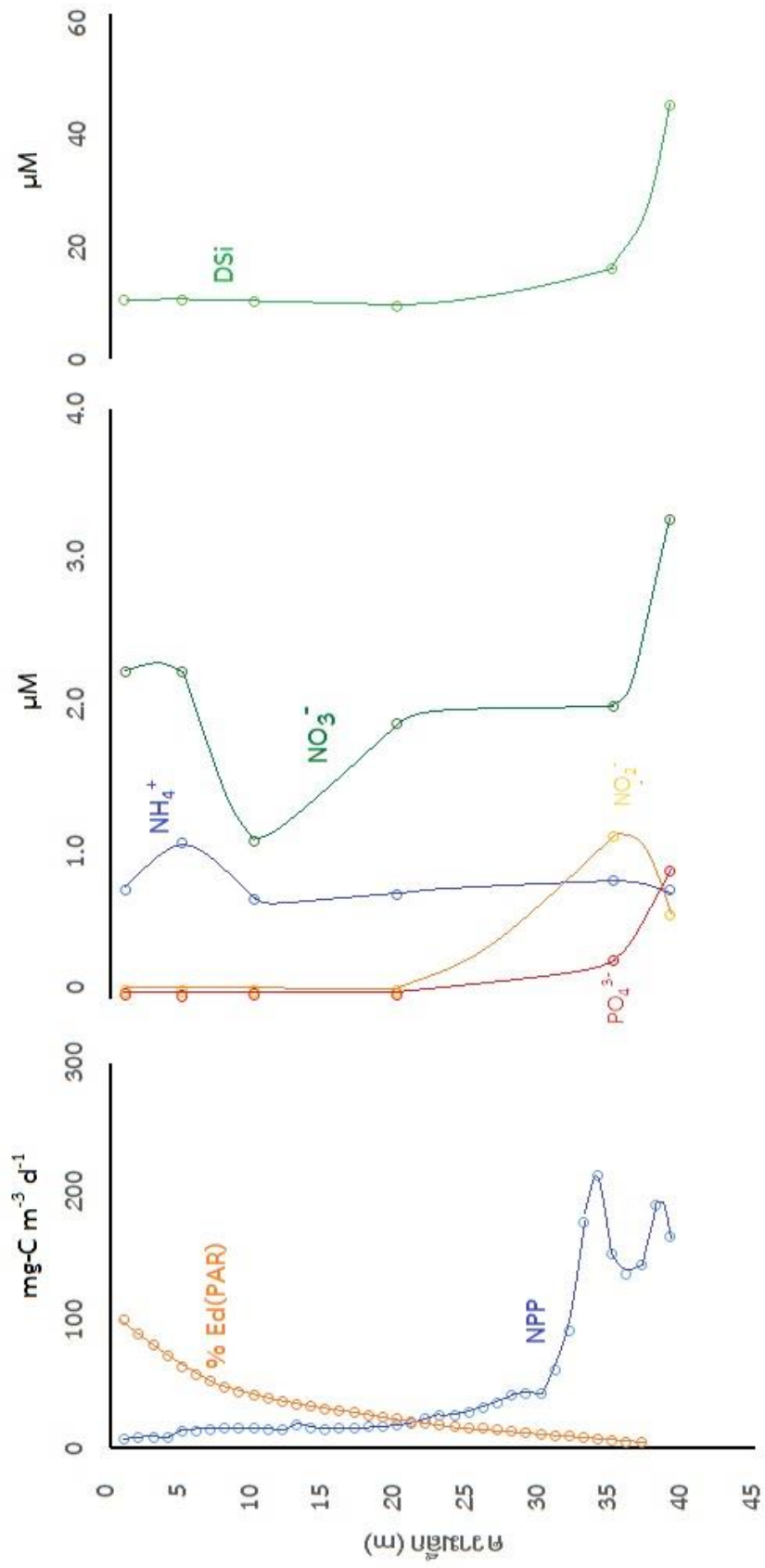
นอกจากนี้การพิจารณาความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนพืชสารอาหารจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงการพลวัตของอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ร่วมด้วย หากการพลวัตอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์สูงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารระหว่างแหล่งกักเก็บภายนอก (internal pool) (Sterner & Elser, 2002; Klausmeier et al., 2004) หากการเปลี่ยนแปลงต่ำเป็นผลมาจากการปลดปล่อยออกจากโครงสร้างเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งการจะเข้าใจถึงอัตราส่วนของ C: N: P จำเป็นต้องพิจารณาลงไปถึงองค์ประกอบเซลล์ของแต่ละชนิดเนื่องจากมีศักยภาพที่ไม่เท่ากัน โดยทั่วไปความต้องการของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของแต่ละออร์แกนเนลของแพลงก์ตอนพืชมีความต้องการที่แตกต่างกัน โปรตีนและคลอโรฟิลล์ต้องการไนโตรเจนสูง แต่ฟอสฟอรัสต่ำ ก็สามารถที่จะเติบโตได้ ส่วนไรโบโซม อาร์เอ็นเอ (ribosomal RNA: rRNA) ต้องการไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงทั้งคู่ (Falkowski, 2000; Geider & La Roche, 2002) ซึ่งการเปลี่ยนแปลง N:P ภายในเซลล์ขึ้นกับสถานะของแพลงก์ตอนพืช ณ ขณะนั้น ๆ (Arrigo, 2005)

4.5.3 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยแสงและสารอาหาร

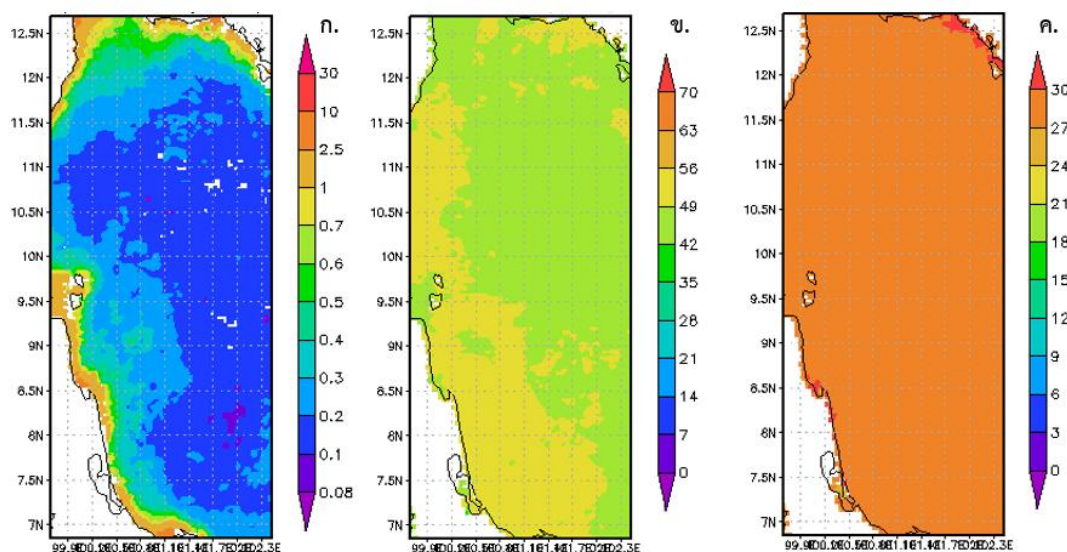
จากปัจจัยแสงและสารอาหารพบว่าที่ระดับความลึกใต้ระดับชั้น Chlorophyll maxima นั้นมีปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นแสงจึงอาจจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมิสุทธิน้อยกว่าสารอาหารอินทรีย์ ในอ่าวไทย ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ดังตัวอย่างสถานีที่ 10 (รูปที่ 4- 46) จะเห็นได้ว่าที่ระดับความลึกมากกว่า 30 m ความเข้มแสงมีค่าต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ในขณะที่เดียวกันสารอาหารได้แก่ PO_4^{3-} , NO_2^- และ DSI มีค่าเพิ่มสูงขึ้น การจะเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปฐมภูมินอกจากปัจจัยแสงและสารอาหาร จำเป็นที่จะต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม กระแสน้ำ ช่วงเวลา ระยะการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน ณ ขณะนั้น เป็นต้น

4.6 ผลการประเมินผลผลิตปฐมภูมิด้วยโมเดล VGPM เบื้องต้น

จากข้อมูลการสำรวจระยะไกล ได้แก่ คลอโรฟิลล์ PAR และอุณหภูมิ ที่ผิวน้ำทะเล ในอ่าวไทยในระหว่างเดือน มีนาคม ถึง เมษายน ปี พ.ศ. 2556 พบว่าค่าคลอโรฟิลล์มีค่าอยู่ในช่วง 2.40 ถึง 4.41 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($mg\ m^{-3}$) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.41\ mg\ m^{-3}$ บริเวณที่มีความเข้มข้นสูงตลอดแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อห่างออกชายฝั่ง ค่า PAR มีค่าอยู่ในช่วง 46.4 ถึง 49.9 Einsteins ต่อตารางเมตร ต่อวัน ($Einstein\ m^{-2}\ d^{-1}$ หรือ $E\ m^{-2}\ d^{-1}$) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $47.9\ E\ m^{-2}\ d^{-1}$ โดยจะมีค่าสูงบริเวณชายฝั่งตะวันตก และบางบริเวณของชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย และค่าอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล มีค่าอยู่ในช่วง 29.1 ถึง 29.6 °C และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 °C ค่าการแพร่กระจายในพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันทั้งอ่าวไทย (รูปที่ 4 -47)



รูปที่ 4 - 46 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) เปอร์เซ็นต์ $E_d(\text{PAR})$ สารอาหารอินทรีย์ ได้แก่ PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- และ DSi (μM) ณ สถานีที่ 10



รูปที่ 4 - 47 การแพร่กระจายของข้อมูลผิวน้ำทะเลจากการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมระบบ MODIS-Aqua ได้แก่ ก. คลอโรฟิลล์ (mg m^{-3}) ข. PAR ($\text{E m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) และ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

ข้อมูลจากการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยได้แก่ ระดับความเข้มแสง และค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ นำมาพิจารณาในการเลือกใช้โมเดลในการแทนค่าเพื่อหาอัตราการสังเคราะห์คาร์บอนของแพลงก์ตอนพืชโดยการใช้ข้อมูล MODIS มี 2 โมเดล (Carr et al., 2006; Minnett, 2012) ได้แก่ P1 และ P1

- P1 อ้างอิงมาจาก Behrefeld และ Falkowski ปี ค.ศ. 1997 ในการคำนวณหาผลผลิตปฐมภูมิสุทธิทั้งปริมาณน้ำจะต้องใช้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ PAR และ P^b_{opt} เมื่อค่า P^b_{opt} มีค่าเท่ากับ $f(\text{SST})$ ซึ่งสามารถประเมินค่าได้ถึงระดับความเข้มแสงลดลง 1 เปอร์เซนต์
- P2 อ้างอิงมาจาก Howard, Yoder และ Ryan ในการคำนวณหาผลผลิตปฐมภูมิสุทธิทั้งปริมาณน้ำจะต้องใช้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ PAR และ P_{max} เมื่อค่า P^b_{opt} มีค่าเท่ากับ $f(\text{SST})$ ซึ่งประเมินได้ ณ ระดับความลึกที่มากกว่าชั้น Mixed Layer Depth (MLD)

ดังนั้นจากเงื่อนไขเหล่านี้ผู้ศึกษาจึงพิจารณาเลือก สมการ P1 เพื่อใช้ในการประเมิน IPP ด้วยเบื้องต้นในอ่าวไทย จากสมการ

$$IPP = Chl \times P_{opt}^b \times DL \times \frac{PAR}{(PAR+4.1)} \times Z_{eu} \quad (14)$$

สามารถหาค่า $P_{opt}^b(T)$ มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$P_{opt}^b(T) = 0 \quad \text{เมื่อ } T < -10 \quad (15)$$

$$P_{opt}^b(T) = 1.13 \quad \text{เมื่อ } T < -1 \quad (16)$$

$$P_{opt}^b(T) = \sum_{i=0}^7 \frac{a_i \times T^i}{10^i} \quad \text{เมื่อ } T < -10 \quad (17)$$

$$P_{opt}^b(T) = 4 \quad \text{เมื่อ } T > 28.5 \quad (18)$$

และค่า $Z_{eu}(Chl)$ มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

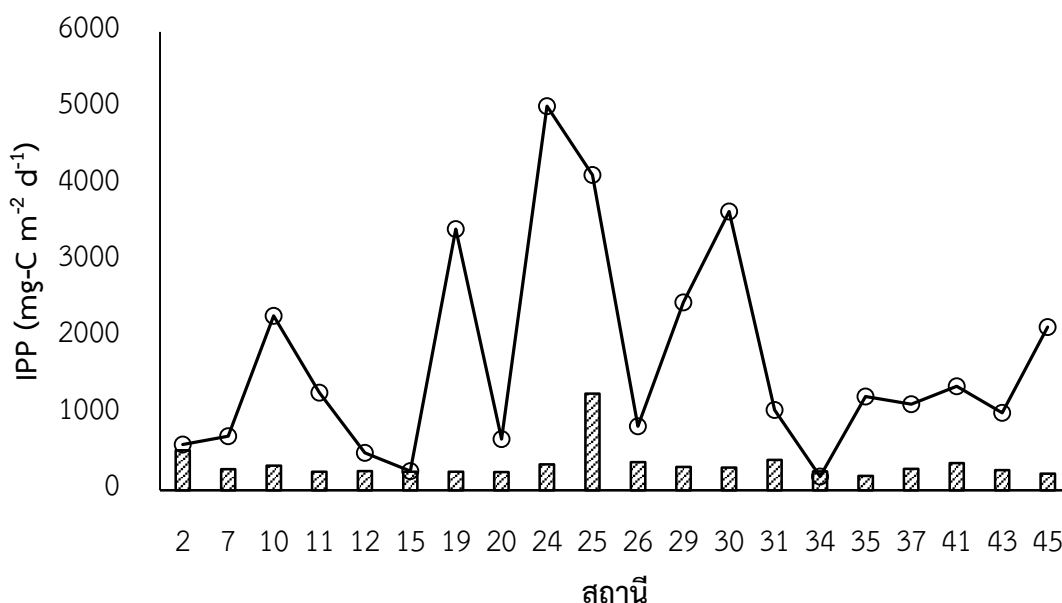
$$Z_{eu}(Chl) = 68.89Chl^{-0.125} \quad \text{เมื่อ } Chl < 0.0435 \quad (19)$$

$$Z_{eu}(Chl) = 37.67Chl^{0.317} \quad \text{เมื่อ } 0.0435 \leq Chl \leq 1 \quad (20)$$

$$Z_{eu}(Chl) = 36.12Chl^{-0.378} \quad \text{เมื่อ } Chl > 1 \quad (21)$$

จากข้อมูล SST ณ สถานที่ทำการศึกษามีค่ามากกว่า 28.5 °C ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ 18 เพื่อคำนวณหาค่า $P_{opt}^b(T)$ และค่าคลอโรฟิลล์-เอ มีค่าอยู่ในช่วง 0.043 ถึง 1 จึงเลือกสมการที่ 20 เพื่อคำนวณหาค่า $Z_{eu}(Chl)$

ในการประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิด้วยโมเดลทั้งหมด 20 สถานี พบว่ามีอยู่ในช่วง 189.8 ถึง 1,263.8 mg-C m⁻² d⁻¹ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 343.1 mg-C m⁻² d⁻¹ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ศึกษาได้ในพื้นที่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 217.8 ถึง 6066.6 mg-C m⁻² d⁻¹ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2044.0 mg-C m⁻² d⁻¹ พบว่าค่าบางสถานีนั้นสูงมากกว่าค่าที่ได้จากโมเดลในการคำนวณ (รูปที่ 4 – 48)



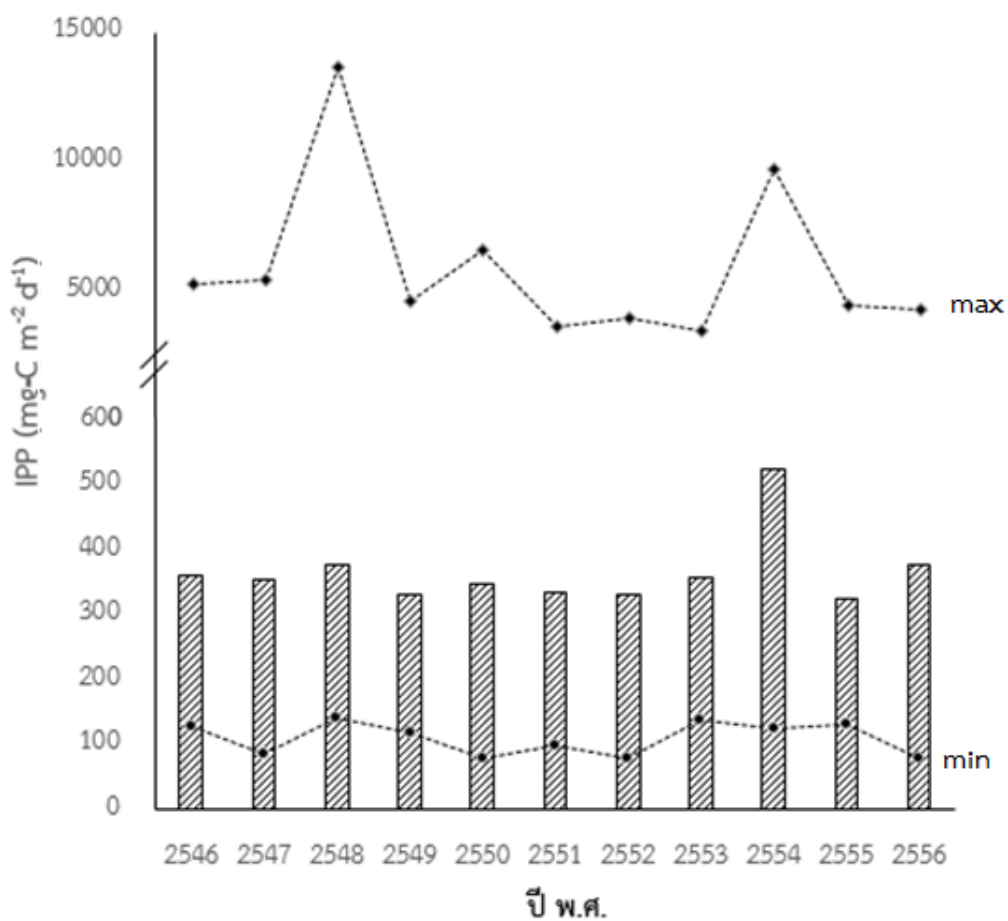
รูปที่ 4 - 48 ค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่ประเมินได้จากการใช้โมเดล VGPM (กราฟแท่ง) และค่าที่ได้จากการศึกษาจริงในพื้นที่ (กราฟเส้น)

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าในบางสถานีค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำมีความแตกต่างกันหลายเท่า เนื่องจากผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในแต่ละระดับความลึกมีค่าแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะในอ่าวไทยจะเห็นได้ว่ามีปริมาณสูงเมื่อใกล้กับพื้นทะเล หรือการเกิดขึ้น Chlorophyll maxima จึงทำให้ค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำมีค่าสูงด้วย ดังนั้นในการประเมินด้วยโมเดลนี้จึงสามารถคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงได้ ซึ่งจากการศึกษาด้วยโมเดลมีเพียง 3 สถานีเท่านั้นที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเคียงกับค่าจริงในพื้นที่ ได้แก่ สถานีที่ 2, 15 และ 34

ดังนั้นในการพิจารณาเพื่อพัฒนาโมเดล VGPM ในอ่าวไทยนั้นจำเป็นต้องพิจารณาการเกิดระดับชั้น Chlorophyll maxima โดยเฉพาะสถานีไกลชายฝั่ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล อย่างไรก็ตามข้อมูลจริงควรมีการศึกษาในระยะยาวและดูการผันแปรในแต่ละฤดูกาลด้วย ในบางการศึกษาพบว่าใช้ข้อมูลจริงเพียง 1 สถานี แต่มีการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิระยะยาว

ดังนั้นจากข้อมูลสถานีที่มีความใกล้เคียงกันของข้อมูล เพื่อหาค่า RMSE ทั้งสิ้น 3 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 2, 15 และ 34 ค่า RMSE เท่ากับ 22.9 mg-C m⁻² d⁻¹ และมีค่าความเอนเอียงของข้อมูลเท่ากับ 0.037 อย่างไรก็ตามค่า RMSE และค่าความเอนเอียงของข้อมูลที่ได้นั้นมาจากจำนวนตัวอย่างที่น้อยเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง

ค่า IPP ที่ได้จากการใช้โมเดล VGPM โดยการใช้ข้อมูลเฉลี่ยทั้งพื้นที่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2556 จากรูปที่ 4 - 49 พบว่าค่าเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดมาก เนื่องจากค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ที่มีค่าสูงมากดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4 - 47 (ก) ดังนั้นในการพิจารณาค่า ผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำด้วยโมเดล VGPM ควรแยกศึกษาระหว่างพื้นที่ชายฝั่งทะเลและนอกชายฝั่ง เนื่องจากมีค่าแตกต่างกันมาก



รูปที่ 4 - 49 ค่า IPP ที่ประเมินได้จากการใช้โมเดล VGPM ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง 2556 (กราฟแท่งคือค่าเฉลี่ย)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไปในพื้นที่ทำการศึกษากัน 45 สถานี พบว่ามวลน้ำมีการแบ่งชั้นน้ำที่ระดับความลึก 40 m ณ สถานีนอกชายฝั่ง ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหาร (เกิดขึ้น nutrient maxima) คลอโรฟิลล์-เอ (เกิดขึ้น subsurface chlorophyll maxima) และผลผลิตปฐมภูมิในทะเล

ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในอ่าวไทยจำนวน 20 สถานี ที่ระดับความลึก Chlorophyll maxima มีค่าอยู่ในช่วง 12.6 ถึง 574.1 mg-C m⁻³ d⁻¹ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120.2 mg-C m⁻³ d⁻¹ บริเวณที่มีค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูง คือ บริเวณชายฝั่งทะเลทางด้านตะวันตกของอ่าวไทยตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถึงจังหวัดปัตตานี โดยเฉพาะสถานีที่ 24 และ 25 ยกเว้นสถานีนอกชายฝั่ง ได้แก่ สถานีที่ 37 และ 45 ที่มีค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูงเช่นกันเนื่องจากได้รับอิทธิพลของมวลน้ำที่แทรกตัวมาจากทะเลจีนใต้ และมีค่าผลผลิตปฐมภูมิตั้งคอลลัมน์น้ำ ทั้งหมด 20 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง 217.8 ถึง 6,066.6 mg-C m⁻² d⁻¹ และมีค่าเฉลี่ย 2,044.0 mg-C m⁻² d⁻¹ ซึ่งสถานีที่มีค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูงจะมีค่าผลผลิตปฐมภูมิตั้งคอลลัมน์น้ำสูงเช่นกัน

เปอร์เซ็นต์ E_d ของ PAR ลดลงตามความลึกแบบเอกซ์โพเนนเชียล เปอร์เซ็นต์ E_d ในพื้นที่ทำการศึกษานั้นจะมีค่าต่ำสุดที่ความลึกสุดท้ายของแต่ละสถานีมีค่าอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 20.27 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดสำหรับแพลงก์ตอนพืช

ค่า K_{PAR} ในพื้นที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.25 m⁻¹ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 m⁻¹ ค่า K_{PAR} ของแสงจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึก ดังนั้นระดับความลึกที่แสงในทะเลเหลือ 1 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในอ่าวไทยพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.89 m

ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ E_d และ K_{PAR} ที่ลดลงตามระดับความลึก กับปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ มีความสัมพันธ์กันแบบยกกำลังเชิงลบที่ค่า R² มีค่ามากกว่า 0.75 คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์จาก 20 สถานีที่ทำการศึกษา แสดงว่าเมื่อแสงมีค่าลดลงที่ระดับหนึ่งปริมาณการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจะมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่อาจกล่าวได้ว่าแสงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นของผลผลิตปฐมภูมิ เนื่องจากในทุก ๆ สถานีมีระดับความเข้มแสงที่ความลึกสุดท้ายมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ยกเว้นสถานีที่ 18 และ 35

ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิมีความสัมพันธ์ต่ำกับสารอาหารยกเว้น NO_2^- , NH_4^+ เนื่องจากองค์ประกอบชนิดและความหนาของแพลงก์ตอนพืช รูปแบบการแพร่กระจายของสารอาหารทำให้เราทราบถึงแหล่งที่มาหลักของสารอาหารในอ่าวไทย ได้แก่ แม่น้ำ การคืนแร่ธาตุจากตะกอนดิน และบริเวณที่มีการแทรกตัวของมวลน้ำทะเลจากทะเลจีนใต้ จากอัตราส่วนความสัมพันธ์ Redfield ratio พบว่า DIN เป็นปัจจัยจำกัดในอ่าวไทยตอนกลาง มากกว่า DIP และ DSi ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

ในการประเมินผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำด้วยโมเดลทั้งหมด 20 สถานีพบว่ามีอยู่ในช่วง 189.8 ถึง 1,263.8 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 343.1 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ศึกษาได้ในพื้นที่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 217.8 ถึง 6,066.6 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,044.0 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกชุดข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกันเพื่อหาค่า RMSE ทั้งสิ้น 3 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 2, 15 และ 34 ค่า RMSE เท่ากับ 22.9 $\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ซึ่งจัดได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงมาก และมีค่าความเอนเอียงของข้อมูลเท่ากับ 0.037 ความแตกต่างและความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดขึ้นได้จากในสภาวะแวดล้อมจริงได้ขึ้น Chlorophyll maxima ที่มีค่าของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูง ซึ่งทำให้ค่าที่ได้จากการใช้โมเดลในการคำนวณสามารถเกิดข้อผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตามการพัฒนาโมเดล VGPM ในอ่าวไทยยังคงมีความจำเป็นเนื่องจากสามารถที่จะช่วยลดระยะเวลาในการศึกษาปริมาณผลผลิตปฐมภูมิจริงในพื้นที่ ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการติดตามทรัพยากรของอ่าวไทย โดยเฉพาะด้านการศึกษาศักยภาพของสัตว์น้ำเพื่อการทำการประมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันวิธีขวดมืดและขวดสว่างไม่เป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิ เนื่องจากไม่ใช่วิธีการตรงในการตรวจวัดผลผลิตปฐมภูมิและข้อมูลอาจผิดพลาดได้มากเนื่องจากขาดความชำนาญ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงแนะนำให้ใช้วิธีการติดตามด้วยคาร์บอน-14 มากกว่าการใช้วิธีการขวดสว่างและขวดมืด เนื่องจากที่ยอมรับว่ามีความแม่นยำสูง

ในการหาค่าผลผลิตปฐมภูมิทั้งปริมาตรน้ำในพื้นที่จริงควรแบ่งระดับชั้นน้ำในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 5 ระดับในอ่าวไทยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงทั้งมวลน้ำ

การศึกษาข้อมูลและรูปแบบในรอบปีของผลผลิตปฐมภูมิในอ่าวไทยยังคงมีข้อมูลน้อย ดังนั้นการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิในรอบปีจะทำให้สามารถเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยจำกัดมากยิ่งขึ้น

เพื่อให้เกิดความเข้าใจระหว่างความสัมพันธ์ของผลผลิตปฐมภูมิกับคลอโรฟิลล์-เอ ให้มากขึ้นควรมีการศึกษาในรอบปี และแบ่งออกเป็นพื้นที่ใกล้ชายฝั่งและไกลฝั่ง

การศึกษาผลผลิตปฐมภูมิโดยการใช้โมเดลควรมีข้อมูลนั้นควรรู้ข้อมูลระยะยาว และเพื่อความแม่นยำจำเป็นที่จะต้องข้อมูลจริงที่วัดในพื้นที่เป็นจำนวนมาก หลายสถานี นอกจากนี้ยังต้องคำนึงปริมาณผลผลิตปฐมภูมิได้ระดับชั้น Chlorophyll maxima ซึ่งจะทำให้ค่าในการคำนวณผิดพลาดได้ นอกจากนี้ในการศึกษาพัฒนาโมเดลควรรู้ข้อมูล P^b_{opt} ที่ได้จากการศึกษาจริงเปรียบเทียบเพื่อให้ได้โมเดลที่มีความถูกต้องแม่นยำที่สุด



รายการอ้างอิง



ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ, สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. (2548-2556). โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเล รายงานการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งทั่วประเทศ ปี พ.ศ. 2548 ถึง 2556. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2555-2556). สรุปสถานการณ์ช่วงฤดูแล้งปี 2555/2556 (พ.ย.55-เม.ย.56). ที่มา <http://www.thaiwater.net/current/drought56.html>

จรรยา สุขแสงจันทร์ and ปภัสรธรรม สุนทรเกตุ. (2556). ชนิดและการแพร่กระจายของปลาหมึกบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง. รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556, 130-141.

เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์; ณิชรา ถาวรโสตร์; บุญทริกา ทองดอนพุ่ม และ เวชสิทธิ์, อรอิงค์. (2556). การศึกษาการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556, 89-104.

ณัทรมน สุทธิโสภ และ ถนอมศักดิ์ บุญภักดี. (2555). การเปลี่ยนแปลงของบสมดุลงของสารอาหารในอ่าวไทยตอนใน. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2555, 415-426.

ธีราพร วิริวุฒิก. (2539). การแปรผันระยะยาวของสารอาหารในอ่าวไทยตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิรมล ตาอินทร์; เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ศิริชัย ธรรมวานิช. (2558). อิทธิพลของออกซิเจนต่อค่าฟลักซ์ของฟอสฟอรัสและซิลิกอนจากตะกอนดินสู่หน้าเหนือตะกอนดินบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.

นันทาพัฒน์ ฐาศิริทรัพย์; เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ศิริชัย ธรรมวานิช. (2558). ผลของภาวะพร่องออกซิเจนในน้ำเหนือตะกอนดินที่มีต่อฟลักซ์ของไนโตรเจนจากตะกอนดิน บริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.

ปัทมา สิงห์รักษ์; ณัฐธิดา จันทศิริ และ พิภพตรา แซ่ชิน. (2556). ลักษณะกระแสน้ำในอ่าวไทยในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2556 รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556, 13-16

มณฑล อนงค์พรยศกุล; ปราโมทย์ โศจิจุฑกร และ ธีญญา นุช อินแดง. (2556). แบบจำลองเชิงตัวเลขการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำที่เกิดจากลมในอ่าวไทย รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556, 8-12.

มนูวดี หังสพฤกษ์. (2532). สมุทรศาสตร์เคมี. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล; เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ และ พิสุทธิ เทศสวัสดิ์. (2556). ลักษณะทางตะกอนวิทยาและการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทย. *รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556*, 67-74.
- เพ็ญศรี บุญเรือง and วิทยา ลิ้มตระกูลวงศ์. การวัดผลผลิตเบื้องต้นของแพลงตอนพืชโดยใช้สารกัมมันตภาพรังสีคาร์บอน 14. 168-197.
- วลีรัตน์ มุสิกะสังข์. (2541). การหมุนเวียนภายในของคาร์บอนในอ่าวไทย. (วิทยาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, บัณฑิตวิทยาลัย.
- วีระวัฒน์ หงสกุล (2522). รายงานผลการสัมมนาโครงการพัฒนาการประมงทะเล.
- สุกัญดา ไมตรีแก้ว. (2550). อิทธิพลของออกซิเจนและความเค็มต่อฟลักซ์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ณ รอยต่อระหว่างตะกอนและน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุวัจน์ ธีรุต. (2550). วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น: โอเดียนสโตร.
- อนุกุล บุรณประทีปรัตน์; ณัฐินี ศุภระมงคล; ศักดิ์ชาย อานูรูปุญ; เพ็ญจันทร์ ละอองมณี และ ปัทมา สิงห์รักษ์. (2556). สภาวะการแบ่งชั้นน้ำและการผสมผสานของมวลน้ำในอ่าวไทยในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน พ.ศ. 2556 *รายงานการสำรวจทรัพยากรประมงและสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง โดยเรือสำรวจซีฟเดค ปี 2556*, 29-33.
- อำพัน เหลือสินทรัพย์. (2524). ผลผลิตขั้นต้นในอ่าวไทย. *วารสารการประมง*, 34, 185-199.
- อำพัน เหลือสินทรัพย์. (2528). วิธีประเมินประสิทธิภาพของทะเลไทย. *รายงานประเมินผลผลิตขั้นต้นของทะเล*, กรุงเทพมหานคร

ภาษาอังกฤษ

- APHA; AWW and WEF. (1998). Standard method for the examination of waste and wastewater. New York, USA.
- Arrigo, K. R. (2005). Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature*, 437, 349-356.
- Ball, P. W.; Macdonald, A.; Pugh, K. B. and Edwards, A. C. (1997). Rainfall events and their influent on nutrient distribution in the Ythan Estuary (Scotland). *Estuarine, 17*(Coastal and Shelf Science), 599-612.

- Behrenfeld, M. J. and Falkowski, P. G. (1997a). Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, *42*, 1-20.
- Behrenfeld, M. J. and Falkowski, P. G. (1997b). A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnology and Oceanography*, *42*(7), 1479-1491.
- Behrenfeld, M. J.; O'Malley, R. T.; Siegel, D. A.; McClain, C. R.; Sarmiento, J. L.; Feldman, G. C.; Milligan, A. J.; Falkowski, P. G.; Letelier, R. M. and Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, *444*(7120), 752-755. doi: 10.1038/nature05317
- Bender, M.; Grande, K.; Johnson, K.; Marra, J.; Williams, P. J. LeB.; Sieburth, J.; Pilson, M.; Langdon, C.; Hitchcock, G.; Orchardo, J.; Hunt, C. ; Donaghey, P. and Heinemann, K. (1987). A Comparison of Four Methods for Measuring Planktonic Community Production. *Limnology and Oceanography*, *37*, 1085-1098.
- Boynton, W. R.; Kemp, W. M. and Keefe, C. W. (1982). A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In V. S. Kennedy (Ed.), *Estuarine comparisons* (pp. 69-90): Academic Press, New York.
- Campbell, J. D. A.; Armstrong, R. ; Arrigo, K.; Balch, W.; Barber, R.; Behrenfeld, M.; Bidigare, R.; Bishop, J.; Carr, M.-E.; Esaias, W.; Falkowski, P. G.; Hoepffner, N.; Iverson, R.; Kiefer, D.; Lohrenz, S.; Marra, J.; Morel, A.; Ryan, J.; Vedernikov, V.; Waters, K.; C., Yentsch and Yoder, J. (2002). Comparison of algorithms for estimating ocean primary production from surface chlorophyll, temperature, and irradiance. *Global Biogeochem. Cycles*, *16*(3). doi: 10.1029/2001GB001444.
- Carr, M. E.; Friedrichs, M. A. M.; Schmeltz, M.; Aita, M. N.; Antoine, D.; Arrigo, K. R.; Asanuma, I.; Aumont, O.; Barber, R.; Behrenfeld, M.; Bidigare, R.; Buitenhuis, E. T.; Campbell, J.; Ciotti, A.; Dierssen, H.; Dowell, M.; Dunne, J.; Esaias, W.; Gentili, B.; Gregg, W.; Groom, S.; Hoepffner, N.; Ishizaka, J.; Kameda, T.; LeQuere, C.; Lohrenz, S.; Marra, J.; Melin, F.; Moore, K.; Morel, A.; Reddy, T. E.; Ryan, J.; Scardi, M.; Smyth, T.; Turpie, K.; Tilstone, G.; Waters, K. and Yamanaka, Y. (2006). A comparison of global estimates of marine primary production from ocean color. *Deep-Sea Research II*, *53*, 741-770.

- Chang, G. C.; Dickey, T. and Lewis, M. (2006). Toward a Global Ocean System for Measurements of Optical Properties Using Remote Sensing and In Situ Observations *In: Remote Sensing of the Marine Environment: Manual of Remote Sensing* (pp. 305-346).
- chareonpanich, C. and Seurungreong, S. (1997). Some physical and chemical characteristics of bottom sediments in the South China Sea, Area I: Gulf of Thailand and East coast of Peninsular Malaysia. In -. N. Proceedings of the First Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea AREA I: Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia (Ed.), (pp. 12-33).
- Chisholm, S. W; Olson, R. J.; Zettler, E. R.; Goericke, R.; Waterbury, J. B and Welschmeyer, N. A. (1988). A novel free-living prokaryote abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature*, 334.
- Compton, J.; Mallinson, D.; Glenn, C.R.; Filippelli, G.; Follmi, K.; Shields, G. and Zanin, Y. (2000). Variations in the global phosphorus cycle. *Society for Sedimentary Geology*, 66, 21-33.
- Cullen, J. J. (2001). Primary production methods. *Academic Press*, 2277-2284. doi: 10.1006/rwos.2001.0203
- Darley, W.M. and Volcani, B.E. (1969). A silican requirement for deoxyribonucleic acid synthesis in the diaton *Cylindrotheca fusiformis* Reimann and Lewin. *Exptl. Cell Res.*, 58, 334-342.
- Dickey, T. and Falkowski, P. G. (2002). Solar energy and its biological-physical interactions in the sea. In A. R. Robinson, J. J. McCarthy & B. J. Rothschild (Eds.), *The Sea* (Vol. 12, pp. 401-440). New York.
- Downing, J.A. . (1997). Marine nitrogen: Phosphorus stoichiometry and the global N: P cycle. *Biogeochemistry*, 37, 237-252.
- Falkowski, P. G. (1980). Light-shade adaptation in marine phytoplankton. In P. G. Falkowski (Ed.), *Primary productivity in the sea*. (pp. 99-199). Plenum.
- Falkowski, P. G.; Barber, R. T. and Smetacek, V. V. (1998). Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. *SCIENCE*, 281(5374), 200-207.
- Falkowski, P. G. . (2000). Rationalizing elemental ratios in unicellular algae. *Journal of Phycology*, 16, 3-6.

- Falkowski, P. G.; Katz, M. E.; Knoll, A. H.; Quigg, A.; Raven, J.A.; Schofield, O. and Taylor, F. J. R. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *SCIENCE*, 305, 354-360.
- Falkowski, P. G.; Richard, T B. and Raven, J.A. (2007). *Aquatic photosynthesis*. Princeton University: Princeton, New Jersey, USA.
- Follmi, K.B. (1996). The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth Sci. Rev.*, 40, 55-124.
- Gaarder, T. and Gran, H. H. (1927). Investigation of the production of phytoplankton in the Oslo-Fjord. *Rapports et procès-verbaux des réunions / Conseil permanent international pour l'exploration de la mer.*, 42, 1-48.
- Gaarder, T. and Gran, H.H. (1992). *Algal Photosynthesis: The measurement of Algal Gas Exchange Current.*: Chapman and Hall, New York.
- Geider, R. J. and La Roche, J. (2002). Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 37, 1-17.
- Gerbersdorf, S. U. and Schubert, H. (2011). Vertical migration of phytoplankton in coastal water with different UVR transparency. *Environmental Sciences Europe*, 23, 2-14.
- Giani, M.; Savelli, F. and Boldrin, A. . (2003). Temporal variability of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the Northern Adriatic Sea. *Developments in Hydrobiology*, 169, 319-325.
- Greenwood, N. N. and Earnshaw, A. (1984). *Chemistry of the Elements*. Pergamon.
- Gruber, Nicolas. (2008). The marine nitrogen cycle: overview and challenges (pp. 1-43): Elsevier.
- Guosheng, Li ; Ping, Gao; Fang, Wang and Qiang, Liang (2004). Estimation of ocean primary productivity and its spatio-temporal variation mechanism for East China Sea based on VGPM model. *Geographical Sciences*, 14, 32 - 40
- Heileman, S. and Chuenpagdee, R. (2008). Gulf of Thailand *The UNEP Large Marine Ecosystem Report*. United Nations Environment Programme.
- Henley, W.J. (1993). On the measurement and interpretation of photosynthetic light-response curves in algae in the context of photoinhibition and diel changes. *Journal of Phycology*, 29, 729-739.

- Hirawake, Toru; Shinmyo, Katsuhito; Fujiwara, Amane and Saitoh, Sei-ichi (2012). Satellite remote sensing of primary productivity in the Bering and Chukchi Seas using an absorption-based approach. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1194 - 1204. doi: 10.1093/icesjms/fss111
- Honda, M.C.; Sasaoka, K.; Kawakami, H.; Matsumoto, K.; Watanabe, S. and Dickey, T. (2009). Application of underwater optical data to estimation of primary productivity. *Deep-Sea Research I*, 56, 2281-2292.
- Irwin, B. (1991). Coulometric measurement of primary production with comparison against dissolved oxygen and ^{14}C methods in a seasonal study. *Marine Ecology Progress Series*, 71, 97-102.
- Ishizaka, J. (2007). Estimation of Primary Production in Coastal Region. Nagasaki University.
- Ishizaka, J.; Siswanto, E.; Itoh, T.; Murakami, H.; Yamaguchi, Y.; Horimoto, N.; Ishimaru, T.; Hashimoto, S. and Saino, T. (2007). Verification of Vertically Generalized Production Model and Estimation of Primary Production in Sagami Bay, Japan. *Journal of Oceanography*, 63, 517-524.
- Jacinto, G. S.; Sotto, L. P.; Senal, M. I.; San Diego-McGlone, M. L.; Escobar, M. T.; Amano, A. and Miller, T. W. (2011). Hypoxia in Manila Bay, Philippines during the northeast monsoon. *Mar Pollut Bull*, 63(5-12), 243-248. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.02.026
- JGOFS. (1994). Chapter 14. Measurement of Chlorophyll a and Phaeopigments by Fluorometric Analysis. *JGOFS Protocols* (pp. 119-122).
- Keller, A. A. (1988). Estimating phytoplankton productivity from light availability and biomass in the MERL mesocosms and Narragansett Bay. *Marine Ecology - Progress Series*, 45, 159-168.
- Klausmeier, C. A.; Litchman, E. and Levin, S. A. (2004). Phytoplankton growth and stoichiometry under multiple nutrient limitation. *Limnology and Oceanography*, 49, 1463-1470.
- Krik, J.T.O. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems.*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Kromkamp, J. C. and Forster, R. M. (2003). The Use of Variable Fluorescence Measurements in Aquatic Ecosystems: Differences Between Multiple and Single Measurement Protocols and Suggested Terminology. *European Journal of Phycology*, 38, 103-122.
- Lachat. (2005). *Standard operating procedure for particulate-phase total phosphorous by persulfate oxidation digestion (Lachat method)* (Vol. LG209).
- Lalli, C.N. and Parsons, T.R. (1932). *Biological Oceanography: an introduction.*: ELSEVIER.
- Leverenz, J.W.; Falk, S.; Pilstrom, C.M. and Samuelsson, G. (1990). The effects of photoinhibition on the photosynthetic light-responses curve of green plant cell (*Chlamydomonas reinhardtii*). *Planta*, 182, 161-168.
- Levinton, J. S. (2001). *Marine biology: Function, Biodiversity, Ecology.*: Oxford University Press.
- Lorenzen, C. J. (1966). Method for the Continuous Measurement of in vivo Chlorophyll Concentration. *Deep-Sea Research I*, 13, 223-227.
- Lohrenz, S. E.; Fahnenstiel, G. L.; G., Redalje D.; Lang, G. A.; Dagg, M. J.; Whittedge, T. E. and Dortch, Q. . (1999). Nutrients, irradiance, and mixing as factors regulating primary production in coastal water impacted by the Mississippi River plume. *Continental Shelf Research.*, 19, 1113-1141.
- Lund-Hansen, L. C. (2004). Diffuse attenuation coefficients $K_d(\text{PAR})$ at the estuarine North Sea-Baltic Sea transition: time-series, partitioning, absorption, and scattering. *Estuarine Coastal and Shelf Science.*, 61, 251-259.
- Maldonado, M. T. and Price, N. M. (2001). Reduction and transport of organically bound iron by *Thalassiosira oceanica* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 37(298-310).
- Martin, J.H.; Knauer, G.A.; Kark, D.M. and Broenkow, W.W. (1987). Carbon cycling in the northeast Pacific. *Deep-Sea Res*, 34, 150-154.
- Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll Fluorescence – A Practical Guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659-668.
- McClain, C. R. (2009). A Decade of Satellite Ocean Color Observations. *Annual Review of Marine Science*, 1, 19-42.

- McCree, K. J. (1970). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216.
- McGillicuddy, D. J. (1995). One dimensional numerical simulation of new primary production: Lagrangian and Eulerian formulations. *Journal of Plankton Research*, 17(2), 405-412.
- Mingyuan, Zhu; Xinghus, Mao and Ruihua, Lu (1994). Chlorophyll-a and primary productivity in the Yellow Sea. *Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 11(3), 38 - 51.
- Minnett, P. J. (2012). *Satellite Oceanography: Ocean colour*.
- Mizobata, K. and Saitoh, S. (2004). Variability of Bering Sea eddies and primary productivity along the shelf edge during 1998-2000 using satellite multisensor remote sensing. *Journal of Marine Systems*, 50, 101-111.
- Moisander, P. H. (2000). Growth, primary productivity, and nitrogen fixation potential of *Nodularia* spp. (Cyanophyceae) in water from a subtropical estuary in the United States. *Journal of Phycology*, 36, 645-658.
- Morel, F. M. M. and Price, N. M. (2003). The Biogeochemical Cycles of Trace Metals in the Ocean. *SCIENCE*, 300, 944-947.
- Nelson, D.M.; Treguer, P.; Brzezinski M.A.; Leynaert, A. and Queguiner, B. (1995). Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochem*, 9, 359-372.
- Nianzhi, Jiao; Rong, Wang and chaolun, Li (1998). Primary productivity and new production in spring in the East china Sea. *Oceanologia and Limnologia Sinica*, 29(2), 135-140.
- Nixon, S. W.; Kelly, J. R.; Fuenas, B. N.; Oviatt, C. A. and Hale, S. S. (1980). Phosphorus regeneration and the metabolism of coastal marine bottom communities. In K. R. Tenore & B. C. Coull (Eds.), *Marine Benthic Dynamics*. (pp. 219-242): University South Carolina Press.
- Nixon, S. W. and Pilson, M. (1983). Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In B. J. Nielson & L. E. Cronin (Eds.), *Estuaries and Nutrients*. (pp. 565-648). Academic Press, New York.

- O'Malley, R. T. (2014). Ocean Productivity., from <http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/standard.product.php>
- Ono, S.; Ennyu, A. ; Najjar, R.G. and Bates, N.R. (2001). Shallow remineralization in the Sargasso Sea estimated from seasonal variations in oxygen, dissolved inorganic carbon and nitrate. *Deep-Sea Research II*, 48, 1567-1582.
- Parsons, T. R.; Maita, Y. and Lalli, C. M. (1984). *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Oxford, United kingdom: Pergamon Press Ltd.
- Parsons, T.R. and Takahashi, M. (1973). *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon U.K.
- Platt, T. (1972). Local Phytoplankton Abundance and Turbulence. *Deep-Sea Research I*, 19(3), 183-187.
- Platt, T.; Gallegos, C.L. and Harrison, W.G. . (1980). Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*, 38, 687-701.
- Platt, T.; Harrison, W.G.; Lewis, M. R.; Li, W. K. W.; Sathyendranath, S.; Smith, R. E. and Vezina, A. F. (1989). Biological production of the oceans: the case for a consensus. *Marine Ecology Progress Series*, 52, 77-88.
- Rabalais, N.N.; Diaz, R.J.; Levin, L.A.; Turner, R.E.; Gilbert, D. and Zhang, J. (2010). Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*, 7, 585-619.
- Radach, G. and Moll, A. (1993). Estimation of the variability of production by simulating annual cycles of phytoplankton in the central North Sea. *Progress in Oceanography*, 31, 339-419.
- Redfield, A. C. (1958). The biological control of chemical factors in the Environment. *American Science*, 46, 205-221.
- Reley, J.P. and Chester, R. (1971). *Introduction to Marine Chemistry*. Academic Press: London.
- Robinson, M. K. (1974). The physical oceanography of the Gulf of Thailand, Naga Expedition. *Naga Report*. University of California: Scripps Institution of Oceanography.

- Rocha, C.L. de la. (2004). The biological Pump. In H. Elderfield (Ed.), *The oceans and Marine Geochemistry* (Vol. 6, pp. 630). University of Cambridge: UK.
- Ruth, P. D. V. (2009). *Spatial and Temporal variation in Primary and Secondary Productivity in the Eastern Great Australian Bight*. (Doctor of Philosophy), Adelaide, Adelaide.
- Ryther, J.H. (1955). The Luminescence of Biological Systems. *Am. Assoc. Adv. Science*, 130, 602.
- Saadon, M. N.; Rojana-anawat, P. and Snidvongs, A. (1997). Physical characteristics of watermass in the South China Sea, Area I: Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia. *Proceedings of the First Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea AREA I: Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia, 24-26 November 1997 Bangkok, Thailand, TD/SP/22* (pp. 1-5). SEAFDEC.
- Saba, V. S.; Friedrichs, M. A. M.; Antoine, D.; Armstrong, R. A.; Asanuma, I.; Behrenfeld, M. J.; Ciotti, A. M.; Dowell, M.; Hoepffner, N.; Hyde, K. J. W.; Ishizaka, J.; Kameda, T.; Marra, J.; Mélin, F.; Morel, A.; O'Reilly, J.; Scardi, M.; Smith, W. O.; Smyth, T. J.; Tang, S.; Uitz, J.; Waters, K. and Westberry, T. K. (2011). An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe. *Biogeosciences*, 8(2), 489-503. doi: 10.5194/bg-8-489-2011
- Sarthou, G.; Timmermans, K.R.; Blain, S. and Treguer, P. (2005). Growth, Physiology and Fate of Diatoms in the Ocean: A Review. *Journal of Sea Research*, 10(1-2), 51-62.
- Schlitzer, R. (2009). Inverse modeling of tracers and nutrients. In K. K. Turekian, J. H. Steels & S. A. Thorpe (Eds.), *Marine chemistry and Geochemistry*. (pp. 189-199). Elsevier: Academic Press.
- Shaoying, L.; Tao, Z.; Huiwang, G. and Xinyu, G. (2009). The vertical attenuation of irradiance as a function of turbidity: a case of the Huanghai (Yellow) Sea in spring. *Acta Oceanologica Sinica*, 28, 66-75.

- Siswanto, E.; Ishizaka, J. and Yokouchi, K. (2006). Optimal primary production model and parameterization in the eastern East China Sea. *Journal of Oceanography*, 62, 361-372.
- Sigman, D. M. and Hain, M. P. (2012). The Biological Productivity of the Ocean. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 20.
- STAP. (2011). *Hypoxia and Nutrient Reduction in the Coastal Zone*. Scientific and Technical Advisory Panel (STAP): Global Environment Facility, Washington, DC.
- Sterner, R. W. and Elser, J. J. (2002). Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. *Princeton Univ, Princeton*.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. .(1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fishery Research Borad: Canada.
- Susan, M. L. (2009). *Introduction to marine Biogeochemistry*. Academi press.
- Sylaios, G. K. and Tsihrintzis, V. A. (2009). A budget model to scale nutrient biogeochemical cycles in Two Semienclosed Gulfs. *Environ Model Assess.*, 14, 59-72.
- Talley, L.; Pickard, G.; Emery, W. and Swift, J. (2011). *Descriptive Physical Oceanography*.: Elsevier Ltd.
- Thingstad, T. F. and Rassoulzadegan, F. (1995). Nutrient limitations, microbial foodwebs, and 'biological C-pumps': Suggested interaction in a P-limited Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 117, 299-306.
- Thornton, D.C.O. (2012). Primary Production in the Ocean, Advances in Photosynthesis – Fundamental Aspects. (563 - 588).
- Thurman, H. V. and Trujillo, A. P. (2002). *Essential of oceanography*. Prentice Hall, Inc Simon of Schuster/A Viacom Company: New Jersey.
- Urban, E.R.; Sundby, B.; Rizzoli, P.M. and Melillo, J.M. (2008). *Watersheds, Bays, and Bounded Seas: The Science and Management of Semi-Enclosed Marine Systems*. A project of SCOPE, the Scientific Committee on Problems of the Environment, of the International Council for Science.: ISLANDPRSS.
- Wattayakorn, G. (2006). Environmental Issues in the Gulf of Thailand. *Springer*(The Environment in Asia Pacific Harbours.), 249-259.

- Wiltshire, K. H. (2009). Pigment Applications in Aquatic Systems. In O. Wurl (Ed.), *In: Practical Guidelines for the Analysis of Seawater* (pp. 191-221). Boca Raton, Florida, United States: CRC Press.
- Winkler, L.W. (1888). The determination of dissolved oxygen in water. *Berlin and Deutsch chemische Gesellschaft*, 21, 2843-2846.
- Xhittaker, R. H. (2001). In P. Stiling (Ed.), *Ecology: Theories and Application* (4 ed., pp. 403): Prentice Hall.
- Yujie, G. and Youlian, P. (1992). Primary productivity research in Yangize River Estuary. *Stud. Mar. Sin*, 33, 191-199.
- Zehe, J.P. and Kudela, R.M. . (2011). Nitrogen cycle of the open ocean: From genes to ecosystems. *Annual review of marine science.*, 3, 197-225.
- Zeitzschel, B. (1980). *Sediment-water interactions in nutrient dynamics.*: University South Carolina Press, Columbia.
- Zunle, F. and Xinghua, M. (1987). The distribution characters of chlorophyll-a and primary production in Kuroshio district of East China Sea. *China Ocean Press*, 1, 256-265.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.

สถานีเก็บตัวอย่างและคุณภาพน้ำทั่วไป

ตารางที่ ก - 1 สถานีทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ทำการศึกษา และพิกัด

สถานี (GOT)	วันที่ทำการศึกษา	พิกัด (องศาทศนิยม)	
		ลองจิจูด	ละติจูด
1	14 มี.ค. 56	100.248	12.349
2	10 เม.ย. 56	100.747	12.250
3	10 เม.ย. 56	101.164	12.260
4	9 เม.ย. 56	101.761	12.259
5	9 เม.ย. 56	102.244	11.746
6	8 เม.ย. 56	101.764	11.747
7	8 เม.ย. 56	101.238	11.732
8	7 เม.ย. 56	100.763	11.747
9	15 มี.ค. 56	100.295	11.739
10	16 มี.ค. 56	99.800	11.234
11	15 มี.ค. 56	100.258	11.264
12	7 เม.ย. 56	100.740	11.239
13	6 เม.ย. 56	101.111	11.242
14	5 เม.ย. 56	101.213	10.845
15	6 เม.ย. 56	100.738	10.735
16	17 มี.ค. 56	100.260	10.744
17	16 มี.ค. 56	99.751	10.757
18	17 มี.ค. 56	99.749	10.257
19	18 มี.ค. 56	100.266	10.244
20	5 เม.ย. 56	100.740	10.237
21	4 เม.ย. 56	101.092	10.265
22	4 เม.ย. 56	101.096	9.632
23	31 มี.ค. 56	100.763	9.742
24	19 มี.ค. 56	100.334	9.743
25	18 มี.ค. 56	99.738	9.754
26	19 มี.ค. 56	100.242	9.237
27	31 มี.ค. 56	100.756	9.239
28	30 มี.ค. 56	101.092	9.272
29	29 มี.ค. 56	101.091	8.442
30	30 มี.ค. 56	101.102	8.755
31	20 มี.ค. 56	100.676	8.748
32	20 มี.ค. 56	100.220	8.747
33	21 มี.ค. 56	100.770	8.244
34	28 มี.ค. 56	101.351	8.249
35	28 มี.ค. 56	101.758	8.236
36	29 มี.ค. 56	101.762	8.423
37	26 มี.ค. 56	102.271	7.490
38	26 มี.ค. 56	102.166	7.740
39	27 มี.ค. 56	101.814	7.734
40	27 มี.ค. 56	101.335	7.763
41	21 มี.ค. 56	100.746	7.735
42	24 มี.ค. 56	100.772	7.342
43	24 มี.ค. 56	101.258	7.262
44	25 มี.ค. 56	101.763	7.237
45	25 มี.ค. 56	102.256	7.312

ตารางที่ ก - 2 คุณภาพน้ำทะเลทั่วไป

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	ฟิโอฟิติน (มค.ก./ล.)
1	31	15	1	29.9	31.4	19.1	1019.1	8.2	6.2	9.4	0.10	0.10
			5	29.9	31.4	19.1	1019.1	8.1	6.1	2.5	0.20	0.18
			10	29.2	31.4	19.3	1019.4	8.1	6.2	22.5	0.14	0.13
			15	29.1	31.4	19.3	1019.4	8.1	6.1	21.8	0.29	0.36
			20	29.1	31.4	19.4	1019.4	8.2	6.0	20.4	0.23	0.29
			26	29.1	31.4	19.4	1019.5	8.1	6.0	20.3	0.26	0.37
2	32	20	1	30.5	31.5	19.0	1019.0	8.0	5.9	2.2	0.22	0.20
			5	30.5	31.5	19.0	1019.0	8.0	6.0	3.1	0.23	0.15
			10	30.4	31.5	19.0	1019.0	8.0	5.9	2.8	0.19	0.20
			20	30.4	31.5	19.0	1019.1	8.0	6.0	3.1	0.26	0.24
			25	30.4	31.5	19.0	1019.1	8.0	6.0	2.5	0.28	0.27
			29	30.4	31.5	19.0	1019.1	8.0	6.0	3.0	0.29	0.25
3	32	28	1	30.4	31.5	19.0	1019.0	8.0	6.1	1.4	0.21	0.21
			5	30.4	31.5	18.6	1019.0	8.0	6.1	3.3	0.11	0.11
			10	30.4	31.5	19.0	1019.0	8.0	6.1	1.5	0.23	0.23
			15	30.3	31.5	19.0	1019.0	8.0	6.2	1.9	0.23	0.22
			24	30.3	31.5	19.0	1019.1	8.0	6.1	4.6	0.47	0.38
			27	30.3	31.5	19.0	1019.1	8.0	5.9	2.4	0.52	0.50
4	32	26	1	31.8	31.6	18.5	1018.5	8.0	5.9	3.7	0.15	0.15
			5	31.1	31.6	18.8	1018.8	8.0	6.1	2.6	0.15	0.08
			10	31.0	31.6	18.8	1018.9	8.0	6.0	2.0	0.14	0.12
			15	31.0	31.6	18.8	1018.9	8.0	6.1	9.0	0.17	0.17
			20	30.9	31.6	18.8	1018.9	8.0	6.0	3.5	0.40	0.41
			28	30.8	31.5	18.9	1019.0	8.0	5.9	4.0	1.17	1.31
5	48	41	1	31.1	31.6	18.8	1018.8	7.9	6.2	1.8	0.10	0.16
			5	30.9	31.6	18.9	1018.9	8.0	6.1	1.6	0.10	0.13
			10	30.8	31.6	18.9	1019.0	8.0	6.2	6.0	0.10	0.14
			20	30.8	31.6	18.9	1019.0	8.0	6.2	1.9	0.13	0.17
			30	29.7	31.7	19.4	1019.5	7.9	5.8	2.2	0.29	0.59
			41	29.3	32.6	19.6	1020.4	7.8	3.2	2.1	0.77	2.57
6	59	53	5	30.9	31.6	19.6	1018.9	8.0	6.0	1.5	0.08	0.12
			10	30.6	31.6	19.0	1019.0	8.0	6.1	2.4	0.06	0.10
			20	30.1	31.7	19.2	1019.3	8.0	6.2	1.6	0.12	0.21
			30	29.4	31.8	19.5	1019.7	8.0	6.0	2.1	0.15	0.28
			45	29.1	32.6	20.6	1020.5	7.8	2.8	2.9	0.32	1.64
			53	28.7	33.0	20.7	1020.9	7.7	1.8	2.1	0.68	1.94
7	60	48	5	30.3	31.7	19.1	1019.2	8.0	6.1	2.1	0.12	0.17
			15	30.2	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.1	12.1	0.13	0.21
			30	29.6	31.7	19.4	1019.5	8.0	6.4	12.3	0.15	0.34
			40	29.1	31.8	19.6	1019.8	8.0	6.0	12.9	0.26	0.51
			50	28.4	33.1	20.8	1021.0	7.6	0.9	14.6	0.51	1.98
			55	28.4	33.1	20.8	1021.0	7.6	0.9	13.7	0.56	1.95

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	ฟิโอฟิติน (มค.ก./ล.)
8	46	40	5	30.5	31.8	19.2	1019.2	8.0	6.0	12.6	0.11	0.16
			10	30.2	31.8	19.2	1019.3	8.0	6.0	13.3	0.08	0.10
			15	30.2	32.0	19.4	1019.5	8.0	5.9	13.1	0.10	0.13
			20	30.0	31.9	19.4	1019.5	8.0	5.9	13.7	0.20	0.25
			30	29.5	31.9	19.6	1019.7	8.0	5.7	14.1	0.27	0.47
			40	29.1	32.2	19.9	1020.1	7.8	3.7	13.3	0.70	2.45
9	41	37	1	29.4	31.4	19.2	1019.2	8.2	-	17.7	0.08	0.16
			5	29.3	31.4	19.2	1019.3	8.2	6.3	18.8	0.07	0.09
			10	29.2	31.4	19.3	1019.3	8.1	-	21.8	0.10	0.12
			20	29.2	31.4	19.3	1019.4	8.1	2.4	18.8	0.12	0.16
			30	29.2	32.6	20.2	1020.3	8.1	-	17.2	0.24	0.43
			35	29.1	32.8	20.4	1020.5	7.9	4.3	22.2	1.36	1.70
10	45	43	1	29.9	31.3	19.0	1019.0	8.2	-	8.2	0.10	0.08
			5	29.7	31.3	19.1	1019.1	8.2	6.0	2.9	0.11	0.08
			10	29.5	31.5	19.2	1019.3	8.2	-	2.9	0.12	0.06
			20	28.8	31.7	19.7	1019.8	8.2	-	7.3	-	-
			35	28.7	32.7	20.4	1020.6	8.0	4.0	7.9	0.95	2.06
			40	28.7	32.8	20.5	1020.7	7.9	1.3	3.3	1.79	2.98
11	50	45	1	30.1	31.6	19.1	1019.1	8.2	-	19.2	0.09	0.10
			5	29.5	31.6	19.4	1019.4	8.2	6.4	18.5	0.06	0.04
			10	29.4	31.6	19.4	1019.4	8.2	-	16.9	0.11	0.15
			20	29.2	31.7	19.5	1019.6	8.2	-	19.3	0.09	0.07
			30	28.9	31.8	19.7	1019.8	8.2	6.2	20.2	0.13	0.16
			45	28.7	32.1	20.0	1020.2	8.2	4.9	19.5	0.10	0.20
12	57	49	5	30.3	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.1	17.2	0.10	0.16
			10	30.3	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.1	14.4	0.07	0.13
			20	30.2	31.7	19.2	1019.3	8.0	6.1	14.4	0.07	0.13
			30	29.7	31.7	19.3	1019.5	8.0	6.2	13.0	0.10	0.18
			40	29.3	31.7	19.5	1019.7	8.0	6.4	12.0	0.12	0.30
			52	29.0	32.1	19.9	1020.1	7.9	4.6	15.2	0.58	0.86
13	60	55	5	30.7	31.7	19.0	1019.1	8.0	6.2	12.7	0.08	0.13
			15	30.4	31.7	19.1	1019.2	8.0	6.2	12.4	0.05	0.13
			30	30.3	31.7	19.1	1019.3	8.0	6.2	13.4	0.10	0.20
			40	29.1	31.8	19.6	1019.8	7.9	6.1	13.3	0.22	0.48
			50	28.8	32.4	20.2	1020.4	7.8	4.0	13.3	0.51	1.32
			55	28.8	32.4	20.2	1020.4	7.8	3.2	6.6	0.39	0.90
14	65	57	5	30.6	31.7	19.1	1019.1	8.0	6.2	12.2	0.07	0.11
			15	30.4	31.7	19.1	1019.2	8.0	6.2	13.6	0.06	0.12
			30	29.7	31.7	19.4	1019.5	8.0	6.5	13.7	0.10	0.23
			45	29.0	31.7	19.6	1019.8	8.0	6.4	15.0	0.29	0.52
			50	28.9	31.7	19.7	1019.9	8.0	6.0	14.0	0.48	1.44
			60	28.6	32.4	20.2	1020.5	7.8	3.4	13.9	0.84	2.12

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	ฟิโอฟิติน (มค.ก./ล.)
15	64	59	5	30.4	31.8	19.2	1019.2	8.0	6.2	11.8	0.08	0.13
			15	30.3	31.8	19.2	1019.3	8.0	6.3	12.7	0.11	0.14
			30	30.2	31.8	19.2	1019.4	8.0	6.3	14.4	0.11	0.17
			40	29.6	31.8	19.4	1019.6	8.0	6.5	13.7	0.31	0.32
			55	28.9	31.8	19.7	1019.9	7.9	5.6	15.2	0.54	1.06
			59	28.9	31.8	19.7	1020.0	8.0	5.6	14.5	0.77	1.36
16	55	49	5	29.3	31.7	19.5	1019.5	8.2	6.3	8.3	0.08	0.10
			10	29.2	31.7	19.5	1019.5	8.2	6.3	8.5	0.09	0.12
			20	29.2	31.7	19.5	1019.6	8.1	6.3	3.2	0.08	0.10
			30	29.1	31.7	19.5	1019.7	8.1	6.4	15.7	0.10	0.18
			45	28.7	32.0	19.9	1020.1	8.1	5.5	7.8	0.53	1.27
			50	28.6	32.1	20.0	1020.2	8.0		18.0	0.45	1.25
17	51	42	5	29.6	31.6	19.3	1019.4	8.2	6.2	14.6	0.05	0.05
			10	29.5	31.6	19.4	1019.4	8.2	6.3	3.1	0.06	0.08
			20	29.2	31.6	19.5	1019.5	8.2	6.4	4.9	0.07	0.06
			30	28.7	31.7	19.7	1019.8	8.2	6.0	3.7	0.17	0.28
			40	28.6	32.0	20.0	1020.1	8.2	5.7	4.8	0.93	2.55
			50	28.6	32.4	20.2	1020.4	8.0	2.9	9.8	0.58	4.22
18	46	30	5	29.6	31.5	19.2	1019.2	8.2	6.6	1.5	0.11	0.08
			10	29.5	31.5	19.3	1019.3	8.2	6.2	1.8	0.07	0.03
			20	28.9	31.7	19.6	1019.7	8.2	6.3	2.2	0.09	0.10
			30	28.6	31.9	19.8	1020.0	8.1	5.5	2.9	1.36	2.26
			35	28.6	31.9	19.9	1020.0	8.1	5.3	3.9	0.75	1.38
			40	28.6	32.1	20.0	1020.2	8.1	5.0	4.8	0.38	0.62
19	55	50	5	29.5	31.5	19.3	1019.3	8.1	6.3	1.8	0.08	0.10
			10	29.4	31.5	19.4	1019.4	8.1	6.2	2.4	0.08	0.10
			20	29.2	31.7	19.5	1019.6	8.1	6.2	2.4	0.07	0.12
			30	29.0	31.7	19.6	1019.7	8.1	6.2	2.7	0.12	0.18
			45	28.6	31.7	19.7	1019.9	8.1	6.1	2.5	0.52	0.80
			50	28.6	31.7	19.7	1020.0	8.1	5.9	4.7	0.53	0.82
20	63	54	5	30.3	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.2	12.4	0.07	0.11
			15	30.2	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.3	13.0	0.07	0.10
			30	29.7	31.6	19.3	1019.4	8.0	6.2	12.6	0.08	0.13
			45	29.3	31.6	19.4	1019.6	8.0	6.5	13.0	0.16	0.34
			55	28.9	31.8	19.7	1019.9	7.9	5.4	12.5	0.64	1.15
			60	28.9	31.8	19.7	1019.9	7.9	5.8	13.5	0.85	1.02
21	65	57	5	30.6	31.6	19.0	1019.0	8.0	6.2	18.4	0.05	0.11
			15	30.1	31.6	19.1	1019.2	8.0	6.3	19.7	0.05	0.13
			30	30.0	31.6	19.2	1019.3	8.0	6.3	17.3	0.07	0.12
			45	29.3	31.6	19.4	1019.6	8.0	6.5	16.2	0.12	0.24
			50	29.1	31.6	19.5	1019.7	8.0	6.4	19.4	0.22	0.41
			60	28.8	31.8	19.7	1020.0	8.0	5.7	19.3	0.65	1.45

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	ไฟโอฟิติน (มค.ก./ล.)
22	65	53	5	30.3	31.8	19.2	1019.3	8.0	6.1	21.0	0.07	0.14
			15	30.2	31.8	19.3	1019.3	8.0		20.2	0.10	0.23
			30	29.2	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.0	20.6	0.14	0.29
			45	28.9	32.0	19.9	1020.1	7.9	5.6	17.8	0.25	0.47
			52	28.7	32.1	20.0	1020.2	7.9	5.0	18.1	0.42	0.90
			60	28.7	32.1	20.0	1020.2	7.9	5.2	23.2	0.54	1.20
23	50	47	5	30.5	31.8	19.2	1019.2	8.0	6.2	19.8	0.09	0.11
			10	30.4	31.8	19.2	1019.2	8.0	6.3	17.1	0.09	0.15
			20	29.4	31.8	19.5	1019.6	8.0	6.4	17.9	0.16	0.16
			30	29.2	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.5	18.7	0.27	0.33
			40	29.0	31.8	19.7	1019.9	8.0	6.1	20.2	0.41	0.71
			47	28.9	31.8	19.7	1019.9	8.0	6.1	20.4	0.83	0.73
24	44	40	5	29.6	31.5	19.3	1019.3	8.1	6.3	2.8	0.67	1.05
			10	29.4	31.5	19.3	1019.4	8.1	6.3	3.7	0.07	0.09
			20	29.2	31.7	19.5	1019.6	8.1	6.3	2.7	0.07	0.10
			30	28.6	31.7	19.7	1019.9	8.1	6.0	6.0	0.09	0.12
			35	28.6	31.7	19.8	1019.9	8.1	6.0	11.3	0.71	0.66
			40	28.6	31.7	19.8	1019.9	8.1	5.9	5.7	0.74	0.68
25	20	12	5	29.7	31.5	19.2	1019.2	8.1	6.4	3.9	0.30	0.16
			10	29.4	31.5	19.3	1019.3	8.1	6.5	3.5	0.27	0.15
			15	28.6	31.7	19.7	1019.8	8.1	5.2	6.0	2.96	1.38
26	31	25	5	29.7	31.6	19.3	1019.3	8.1	6.3	1.8	0.32	0.17
			10	29.4	31.6	19.4	1019.4	8.1	6.3	3.7	0.06	0.06
			15	29.3	31.6	19.4	1019.5	8.1	6.3	2.4	0.03	0.03
			20	28.9	31.7	19.6	1019.7	8.1	6.2	2.1	0.11	0.12
			25	28.9	31.7	19.6	1019.8	8.1	6.1	3.5	0.38	0.38
27	43	38	5	30.3	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.5	18.6	0.06	0.06
			10	30.3	31.7	19.2	1019.2	8.0	6.5	20.2	0.05	0.05
			20	29.2	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.5	22.6	0.05	0.05
			30	28.7	31.9	19.8	1020.0	8.0	6.2	22.8	0.53	0.33
			38	28.7	31.9	19.8	1020.0	8.0	6.3	23.3	0.47	0.17
28	65	60	5	30.0	31.8	19.3	1019.4	8.0	6.2	19.4	0.05	0.05
			15	29.8	31.8	19.4	1019.5	8.0	6.0	22.0	0.04	0.05
			30	29.1	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.5	21.7	0.09	0.10
			40	28.9	31.8	19.7	1019.9	8.0	6.3	21.6	0.13	0.18
			50	28.7	32.0	19.9	1020.1	8.0	5.4	22.5	0.45	1.05
			60	28.8	32.1	19.9	1020.2	8.0	5.2	24.6	0.23	0.50
29	73	45	5	29.9	32.0	19.5	1019.5	8.0	6.2	19.2	0.03	0.03
			10	29.9	32.0	19.5	1019.6	8.1	6.3	20.2	0.04	0.03

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	พีไอเฟดิน (มค.ก./ล.)
29	73	45	20	29.8	32.1	19.6	1019.7	8.0	6.3	20.6	0.06	0.06
			35	28.9	32.0	19.8	1020.0	8.0	6.1	21.4	0.33	0.47
			46	28.9	32.0	19.8	1020.0	8.0	5.8	21.1	0.59	0.65
30	57	51	5	30.0	32.0	19.5	1019.5	8.0	6.2	17.2	0.03	0.04
			10	29.9	32.0	19.5	1019.6	8.0	6.2	19.0	0.04	0.03
			20	29.6	32.0	19.6	1019.7	8.0	6.2	21.6	0.03	0.04
			30	29.2	32.0	19.8	1019.9	8.0	6.0	20.1	0.09	0.08
			40	29.0	32.0	19.8	1020.0	8.0	6.2	21.5	0.17	0.21
			52	28.9	32.0	19.9	1020.1	8.0	5.8	21.6	0.49	0.61
31	32	28	5	29.4	31.7	19.4	1019.4	8.1	6.4	2.5	0.04	0.03
			10	29.2	31.7	19.5	1019.6	8.1	6.4	2.4	0.06	0.02
			15	28.8	31.8	19.7	1019.8	8.2	6.4	2.3	0.06	0.05
			25	28.4	31.9	19.9	1020.0	8.2	6.0	3.7	0.25	0.18
			27	28.4	31.9	19.9	1020.0	8.2	6.1	3.6	0.30	0.24
32	22	17	1	29.5	31.7	19.4	1019.4	8.1	6.3	10.0	0.11	0.09
			5	29.2	31.7	19.5	1019.5	8.1	6.3	2.7	0.08	0.06
			10	29.0	31.7	19.6	1019.7	8.1	6.1	3.2	0.10	0.08
			15	28.9	31.8	19.7	1019.8	8.1	6.0	4.0	0.41	0.17
			17	28.9	31.8	19.7	1019.8	8.1	6.2	4.8	0.58	0.26
33	31	26	5	29.4	31.8	19.5	1019.5	8.1	6.3	1.3	0.06	0.02
			10	29.2	31.8	19.6	1019.7	8.1	6.3	4.0	0.07	0.04
			15	28.9	31.8	19.7	1019.8	8.1	6.3	3.7	0.07	0.05
			20	28.8	31.8	19.8	1019.9	8.1	5.8	3.9	0.11	0.11
			26	28.7	31.8	19.8	1019.9	8.1	6.2	4.5	0.18	0.15
34	54	50	5	29.8	31.7	19.3	1019.3	8.0	6.2	19.6	0.02	0.02
			10	29.7	31.7	19.3	1019.4	8.0	6.3	20.7	0.06	0.13
			20	29.6	31.7	19.4	1019.5	8.0	6.3	19.5	0.08	0.10
			30	29.3	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.4	19.9	0.07	0.09
34	54	50	40	29.2	31.8	19.6	1019.8	8.0	6.4	20.1	0.10	0.14
			50	29.0	31.8	19.7	1019.9	8.0	6.1	22.7	0.30	0.40
35	70	65	5	30.0	31.6	19.1	1019.2	8.1	6.2	20.2	0.04	0.05
			15	29.8	31.6	19.3	1019.4	8.1	6.2	20.7	0.09	0.09
			35	29.0	31.8	19.7	1019.8	8.0	6.1	20.5	0.10	0.15
			45	28.8	32.3	20.1	1020.3	8.0	4.8	20.1	0.37	1.51
			55	27.7	33.1	21.1	1021.3	7.8	2.6	21.3	0.41	1.23
36	51	60	5	30.1	31.6	19.2	1019.2	8.1	6.5	19.4	0.04	0.06
			15	30.0	31.7	19.2	1019.3	8.0	6.4	20.1	0.06	0.09
			35	29.2	31.9	19.7	1019.8	8.0	6.3	20.9	0.08	0.13
			50	28.7	32.4	20.2	1020.4	7.9	4.5	21.0	0.26	0.77
			60	27.6	33.1	21.1	1021.4	7.8	2.8	21.9	0.29	1.36
67	27.4	33.2	21.2	1021.5	7.8	2.6	22.0	0.18	0.80			

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	พีไอเฟดิน (มค.ก./ล.)
37	62	50	5	29.9	32.1	19.6	1019.6	8.0	5.9	19.2	0.11	0.06
			10	29.4	32.2	19.8	1019.9	8.0	6.2	18.2	0.09	0.07
			20	28.8	32.8	20.5	1020.6	8.0	6.1	19.7	0.07	0.07
			35	27.5	33.1	21.1	1021.3	7.9	5.9	21.2	0.11	0.22
			50	26.9	33.2	21.4	1021.6	7.9	5.1	21.4	0.59	0.39
			57	26.9	33.2	21.4	1021.7	7.9	5.1	23.7	0.43	0.51
38	71	51	5	30.1	31.7	19.2	1019.3	8.1	6.1	18.6	0.05	0.06
			15	29.6	32.0	19.6	1019.7	8.0	6.1	20.3	0.07	0.05
			30	28.1	32.9	20.8	1020.9	8.0	6.2	21.8	0.07	0.08
			45	27.4	33.1	21.2	1021.4	8.0	6.0	22.3	0.12	0.18
			55	26.9	33.2	21.4	1021.6	7.9	6.0	22.6	0.37	0.47
			66	26.9	33.2	21.4	1021.7	7.9	5.3	21.8	0.36	0.55
39	61	45	5	29.9	31.6	19.2	1019.2	8.1	6.2	21.2	0.04	0.05
			10	29.8	31.5	19.2	1019.3	8.0	6.3	18.8	0.04	0.05
			20	29.6	31.6	19.3	1019.4	8.0	6.2	21.3	0.06	0.07
			35	28.7	32.5	20.3	1020.5	7.9	4.6	21.6	0.14	0.20
			47	27.3	33.1	21.2	1021.4	7.8	2.6	22.0	0.30	0.72
			56	27.2	33.2	21.3	1021.5	7.8	2.9	23.2	0.26	0.70
40	51	47	5	29.8	31.7	19.3	1019.3	8.0	5.7	19.0	0.03	0.05
			10	29.7	31.7	19.3	1019.4	8.1	5.7	20.8	0.04	0.05
			20	29.6	31.7	19.4	1019.5	8.0	6.0	21.5	0.06	0.07
			30	29.4	31.8	19.5	1019.7	8.0	6.3	20.7	0.06	0.08
			35	29.3	31.8	19.6	1019.7	8.0	6.2	20.4	0.08	0.11
			46	29.0	31.8	19.7	1019.9	8.0	6.0	21.8	0.22	0.31
41	28	23	1	30.1	31.8	19.3	1019.3	8.1	6.2	3.9	0.06	0.02
			5	30.1	31.8	19.3	1019.3	8.1	6.3	1.7	0.06	0.03
			10	29.2	31.8	19.6	1019.7	8.1	6.3	1.9	0.07	0.04
			15	28.9	31.8	19.7	1019.8	8.1	6.1	2.7	0.09	0.06
			23	28.8	32.0	19.9	1020.0	8.1	5.9	3.0	0.25	0.24
42	25	20	1	29.6	32.0	19.6	1019.6	8.1	6.2	18.9	0.08	0.04
			5	29.4	32.0	19.7	1019.7	8.1	6.3	19.1	0.07	0.05
			10	29.3	32.0	19.7	1019.7	8.1	6.4	19.7	0.07	0.03
			15	29.2	32.1	19.8	1019.9	8.1	6.2	20.1	0.05	0.03
			20	29.1	32.1	19.9	1019.9	8.1	6.4	20.3	0.17	0.13
43	41	36	5	29.4	31.8	19.5	1019.5	8.1	6.2	12.5	0.04	0.05
			10	29.3	31.8	19.6	1019.6	8.1	6.1	19.3	0.06	0.05
			15	29.3	31.8	19.6	1019.6	8.1	6.0	19.9	0.07	0.06
			25	28.8	32.0	19.8	1020.0	8.1	5.9	21.1	0.10	0.11
			36	28.7	32.1	20.0	1020.1	8.1	5.4	22.6	0.35	0.43

ตารางที่ ก - 2 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	SCM (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม	Sigma-t	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความเป็นกรดต่าง	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มล.ก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มล.ก./ล.)	คลอโรฟิลล์-เอ (มค.ก./ล.)	ฟิโอฟิติน (มค.ก./ล.)
44	51	44	5	29.8	31.7	19.3	1019.4	8.0	5.8	19.3	0.04	0.04
			10	29.6	31.7	19.4	1019.4	8.0	6.0	18.9	0.04	0.04
			15	29.6	31.7	19.4	1019.5	8.0	6.1	19.1	0.03	0.07
			30	28.9	32.0	19.9	1020.0	7.9	5.5	20.3	0.14	0.20
			40	28.8	32.1	19.9	1020.1	7.9	5.4	20.5	0.18	0.25
			46	28.8	32.1	19.9	1020.1	7.9	5.0	18.3	0.34	0.35
45	50	32	5	29.7	32.6	20.1	1020.1	8.0	6.1	15.4	0.07	0.07
			10	28.9	32.5	20.2	1020.3	8.0	5.9	19.7	0.06	0.07
			20	28.5	32.7	20.5	1020.6	8.0	6.3	20.3	0.07	0.08
			27	28.2	33.0	20.8	1020.9	7.9	4.1	21.5	0.16	0.40
			36	27.1	33.2	21.3	1021.5	7.9	5.2	21.3	0.33	1.51
			43	27.1	33.2	21.3	1021.5	7.9	5.3	22.4	0.46	0.82
AVG	73.0	41	67	31.8	33.2	21.4	1021.6	8.2	6.6	24.6	2.96	4.22
Max	20.0	65	1	26.9	31.3	18.5	1018.5	7.6	0.9	1.25	0.02	0.02
Min	49.7	12	24	29.3	31.8	19.6	1019.7	8.0	5.8	13.0	0.24	0.40
S.D.	13.4	12	17	0.8	0.4	0.6	0.6	0.1	1.0	7.73	0.30	0.58

ตารางที่ ข - 1 (ต่อ)

ความลึก (ม)	31			32			33			34			35		
	% E _d (Z)	K _{PAR}	chl-a	% E _d (Z)	K _{PAR}	chl-a	% E _d (Z)	K _{PAR}	chl-a	% E _d (Z)	K _{PAR}	chl-a	% E _d (Z)	K _{PAR}	chl-a
0	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
1	87.8	0.13	0.05	84.9	0.16	0.08	92.5	0.08	0.01	90.9	0.10	0.08	90.8	0.10	0.05
2	73.2	0.16	0.10	72.3	0.16	0.02	80.8	0.11	0.00	81.9	0.10	0.09	80.3	0.11	0.08
3	63.9	0.15	0.10	61.4	0.16	0.10	72.7	0.11	0.02	74.3	0.10	0.09	72	0.11	0.09
4	55.5	0.15	0.10	52.4	0.16	0.12	69	0.09	0.07	67.4	0.10	0.09	64.2	0.11	0.09
5	48.4	0.15	0.10	44.3	0.16	0.13	61.3	0.10	0.09	61.2	0.10	0.09	59.5	0.10	0.09
6	44.4	0.14	0.10	37.5	0.16	0.14	56.8	0.09	0.09	56.8	0.09	0.09	57	0.09	0.09
7	39.9	0.13	0.10	32.1	0.16	0.16	53.4	0.09	0.09	52.4	0.09	0.09	52.2	0.09	0.09
8	36.1	0.13	0.11	27.4	0.16	0.16	49.6	0.09	0.09	48.7	0.09	0.09	48.6	0.09	0.09
9	33.2	0.12	0.12	23.5	0.16	0.18	44.5	0.09	0.10	45.8	0.09	0.09	45.7	0.09	0.10
10	30.2	0.12	0.12	20.1	0.16	0.20	41	0.09	0.10	43.2	0.08	0.09	42.8	0.09	0.10
11	27.8	0.12	0.12	16.9	0.16	0.23	37.6	0.09	0.11	40.9	0.08	0.10	39.3	0.09	0.10
12	25.5	0.11	0.13	14	0.16	0.32	34.3	0.09	0.12	38.5	0.08	0.10	37.7	0.08	0.10
13	23.4	0.11	0.14	11.4	0.17	0.46	31.8	0.09	0.12	36.8	0.08	0.10	35.4	0.08	0.10
14	21.3	0.11	0.16	9.1	0.17	0.47	29.7	0.09	0.14	35.1	0.08	0.10	33.6	0.08	0.11
15	19.1	0.11	0.21				27.8	0.09	0.15	33.7	0.07	0.10	31.8	0.08	0.10
16	16.9	0.11	0.25				25.2	0.09	0.16	31.9	0.07	0.10	30.4	0.08	0.10
17	14.8	0.11	0.30				22.2	0.09	0.17	30.9	0.07	0.11	28.4	0.07	0.11
18	12.8	0.11	0.33				18.8	0.09	0.18	29.3	0.07	0.12	27.4	0.07	0.11
19	10.9	0.12	0.36				15.9	0.10	0.17	27.9	0.07	0.12	26	0.07	0.11
20	9.2	0.12	0.41				13.6	0.10	0.26	26.5	0.07	0.13	24.7	0.07	0.11
21	7.8	0.12	0.39				11.7	0.10	0.29	25.3	0.07	0.12	23.4	0.07	0.11
22	6.5	0.12	0.41				10.4	0.10	0.29	24.1	0.07	0.12	22.3	0.07	0.11
23	5.3	0.13	0.40				9.2	0.10	0.30	23.1	0.06	0.12	21	0.07	0.12
24	4.4	0.13	0.46				8.1	0.11	0.31	22.1	0.06	0.13	20	0.07	0.12
25							7	0.11	0.31	21.1	0.06	0.13	19	0.07	0.13
26										20.2	0.06	0.13	18.1	0.07	0.12
27										19.3	0.06	0.13	17.2	0.07	0.13
28										18.4	0.06	0.14	16.3	0.07	0.13
29										17.5	0.06	0.14	15.3	0.07	0.14
30										16.7	0.06	0.14	14.6	0.06	0.14
31										15.9	0.06	0.16	13.7	0.06	0.15
32										15.1	0.06	0.16	12.8	0.06	0.17
33										14.4	0.06	0.15	12	0.06	0.24
34										13.8	0.06	0.15	11.2	0.06	0.20
35										13.1	0.06	0.16	10.4	0.07	0.22
36										12.5	0.06	0.16	9.7	0.07	0.24
37										11.9	0.06	0.17	9	0.07	0.26
38										11.3	0.06	0.16	8.4	0.07	0.29
39										10.8	0.06	0.17	7.7	0.07	0.36
40										10.2	0.06	0.20	7.1	0.07	0.47
41										9.8	0.06	0.22	6.5	0.07	0.65
42										9.3	0.06	0.23	5.9	0.07	0.86
43										8.8	0.06	0.25	5.3	0.07	0.90
44										8.3	0.06	0.32	4.7	0.07	1.03
45										7.9	0.06	0.36	4.2	0.07	0.98
46													3.7	0.07	1.20
47													3.3	0.07	1.07
48													2.9	0.07	1.09
49													2.6	0.08	1.02
50													2.3	0.08	1.03
51													2	0.08	1.63
52													1.7	0.08	1.37
53													1.5	0.08	1.04
54													1.3	0.08	1.01
55													1.2	0.08	0.86
56													1	0.08	0.90
57													0.9	0.08	0.82
58													0.8	0.08	0.75
59													0.7	0.08	0.75
60													0.6	0.08	0.73

ภาคผนวก ค.

ความเข้มข้นของสารอาหาร

ตารางที่ ค - 1 ค่าความเข้มข้นของสารอาหารในพื้นที่ทำการศึกษา

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง (ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ ⁻ (µM)	NO ₃ ⁻ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSi (µM)	TDN (µM)	TDP (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)
1	31	1	0.29	0.05	1.95	1.89	3.89	12.7	28.7	0.75	24.8	0.462	9.11	2.47	62.6	1.51
		5	0.34	0.02	4.75	2.27	7.05	12.8	30.6	0.65	23.5	0.310	6.38	2.00	60.5	1.29
		10	0.21	0.09	2.60	1.59	4.27	12.1	33.6	0.67	29.3	0.455	6.41	1.63	69.3	1.34
		15	0.32	0.08	2.18	1.84	4.10	12.2	32.1	0.55	28.0	0.237	6.81	2.10	66.9	1.11
		20	0.30	0.08	2.24	1.89	4.22	12.5	24.5	0.49	20.3	0.188	6.77	2.26	51.6	0.98
		26	0.31	0.02	1.92	2.03	3.97	12.2	24.5	0.57	20.6	0.264	5.35	1.79	50.4	1.15
2	32	1	0.02	0.03	2.07	0.93	3.02	12.8	22.1	0.51	19.1	0.496	-	1.57	41.1	1.03
		5	0.14	0.10	2.60	1.09	3.79	13.0	22.3	0.77	18.5	0.635	-	2.03	40.8	1.54
		10	0.12	0.05	2.36	1.03	3.43	13.0	20.8	0.44	17.3	0.323	-	1.87	38.1	0.89
		20	0.08	0.12	3.10	0.99	4.22	13.0	21.1	0.85	16.9	0.770	-	1.80	38.1	1.69
		25	0.06	0.08	3.60	1.64	5.32	13.1	25.3	0.39	20.0	0.329	-	2.15	45.3	0.78
		29	0.04	0.08	2.42	1.83	4.33	12.9	21.1	0.48	16.8	0.440	-	2.55	37.9	0.97
3	32	1	0.05	0.02	0.89	0.71	1.61	10.6	17.7	0.48	16.1	0.431	8.03	1.86	41.9	0.97
		5	0.06	0.05	0.86	0.45	1.36	10.7	24.9	0.30	23.6	0.235	4.02	1.61	52.5	0.59
		10	0.08	0.05	2.39	0.29	2.73	10.7	29.4	0.57	26.7	0.496	6.09	1.71	62.2	1.15
		15	0.11	0.02	0.86	0.22	1.10	10.7	21.9	0.37	20.8	0.260	4.17	1.47	46.9	0.74
		24	0.09	0.06	1.42	0.32	1.80	10.8	-	-	-	-	5.21	1.63	5.2	0.09
		27	0.09	0.07	1.18	0.45	1.70	11.0	17.7	-	16.0	-	10.3	1.67	44.0	0.09
4	32	1	0.16	0.01	2.36	1.03	3.40	11.4	25.7	0.75	22.3	0.591	-	1.43	47.9	1.51
		5	0.15	0.02	2.60	0.99	3.62	11.3	18.9	0.52	15.3	0.373	-	1.69	34.1	1.04
		10	0.29	0.01	2.10	0.99	3.10	11.4	15.9	0.80	12.8	0.504	-	1.76	28.6	1.59
		15	0.13	0.03	2.63	0.96	3.62	11.3	17.4	0.45	13.7	0.323	-	1.93	31.1	0.90
		20	0.11	0.03	3.57	0.87	4.47	11.8	15.1	0.50	10.6	0.389	-	1.89	25.7	1.00
		28	0.11	0.02	2.78	0.80	3.60	12.7	13.2	0.95	9.6	0.835	-	3.23	22.8	1.89
5	48	1	0.18	0.02	1.37	1.22	2.61	9.6	17.0	0.55	14.4	0.374	-	1.48	31.4	1.11
		5	0.95	0.01	2.11	1.12	3.25	9.7	17.4	0.52	14.1	-	-	2.13	31.5	1.48
		10	0.07	0.01	2.11	1.12	3.25	9.6	17.7	0.44	14.5	0.372	-	1.64	32.2	0.88
		20	0.03	0.02	1.55	1.03	2.60	9.9	21.5	0.56	18.9	0.535	-	1.49	40.4	1.12
		30	0.11	0.04	1.23	1.03	2.29	11.5	17.4	0.92	15.1	0.811	-	1.79	32.4	1.85
		41	0.42	0.47	2.11	1.09	3.67	23.7	12.8	0.80	9.2	0.381	-	2.06	22.0	1.60
6	59	5	0.30	0.00	1.30	1.22	2.52	9.1	18.1	0.49	15.5	0.188	6.92	2.09	40.5	0.98
		10	0.17	0.02	1.51	1.25	2.77	9.0	21.6	0.52	18.8	0.347	5.71	1.61	46.1	1.04
		20	0.12	0.01	2.13	1.15	3.29	9.6	22.8	0.52	19.5	0.405	6.19	1.91	48.4	1.04
		30	0.28	0.01	3.22	1.28	4.51	7.9	23.2	0.51	18.6	0.229	5.58	1.85	47.4	1.03
		45	0.46	0.59	2.95	1.38	4.92	22.8	28.7	0.92	23.7	0.467	6.77	2.15	59.1	1.85
		53	0.77	1.71	3.31	1.25	6.26	32.1	26.3	1.28	20.0	0.511	7.88	2.02	54.2	2.55

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ (µM)	NO ₃ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSi (µM)	TDN (µM)	TPF (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)
7	60	5	0.02	0.01	2.48	1.31	3.80	8.5	19.4	3.53	15.6	3.511	-	1.08	35.0	7.06
		15	0.03	0.08	3.13	1.38	4.59	8.6	19.2	-	14.6	-	-	1.42	33.9	-
		30	0.04	0.01	3.60	1.38	4.99	8.5	24.3	-	19.3	-	-	1.74	43.7	-
		40	0.09	0.01	2.33	1.22	3.56	9.0	22.2	-	18.6	-	-	1.84	40.8	-
		50	0.90	0.44	7.71	1.19	9.33	41.9	23.2	-	13.8	-	-	1.81	37.0	-
		55	0.99	0.44	8.65	1.19	10.28	42.2	21.4	-	11.1	-	-	2.26	32.5	-
8	46	5	0.13	0.01	1.12	0.96	2.10	10.3	16.5	0.60	14.4	0.474	3.71	1.59	34.6	1.21
		10	0.08	0.01	0.83	0.74	1.58	10.5	15.7	0.39	14.1	0.315	5.40	1.57	35.2	0.78
		15	0.41	0.01	1.27	0.90	2.18	11.5	16.1	0.64	13.9	0.227	5.53	1.60	35.5	1.28
		20	0.26	0.02	1.27	0.80	2.09	10.8	14.9	0.42	12.8	0.158	6.47	1.71	34.2	0.83
		30	0.54	0.01	1.09	0.77	1.88	9.9	13.0	0.45	11.1	-	5.84	1.46	29.9	0.99
		40	0.45	0.93	1.59	0.90	3.42	17.6	14.5	0.85	11.1	0.403	6.62	2.28	32.2	1.70
9	41	1	0.15	0.04	1.15	2.41	3.60	9.5	16.9	0.46	13.3	0.312	-	1.54	-	0.92
		5	0.03	0.02	1.27	0.77	2.06	9.4	23.2	0.52	21.1	0.493	-	1.71	-	1.04
		10	0.02	0.02	1.15	1.35	2.51	9.6	17.3	0.62	14.8	0.598	-	2.19	-	1.23
		20	0.03	0.05	1.12	2.37	3.55	9.8	16.5	0.43	12.9	0.402	-	1.95	-	0.86
		30	0.20	0.06	1.24	1.96	3.25	14.3	18.8	0.57	15.6	0.369	-	2.38	-	1.13
		35	0.36	0.57	1.74	1.48	3.78	25.4	18.4	0.82	14.7	0.459	-	2.64	-	1.64
10	45	1	0.03	0.05	2.21	0.74	3.01	8.9	22.8	0.42	19.8	0.396	-	1.72	-	0.84
		5	0.02	0.05	2.21	1.06	3.32	9.1	16.9	0.39	13.6	0.375	-	1.77	-	0.78
		10	0.03	0.05	1.06	0.67	1.79	8.7	21.2	0.48	19.4	0.442	-	1.43	-	0.95
		20	0.03	0.05	1.86	0.71	2.61	8.0	15.7	0.49	13.1	0.460	-	1.74	-	0.99
		35	0.26	1.10	1.98	0.80	3.88	14.6	10.6	0.91	6.7	0.656	-	2.20	-	1.83
		40	0.86	0.56	3.25	0.74	4.55	43.8	15.7	1.46	11.2	0.600	-	2.63	-	2.92
11	50	1	0.04	0.03	2.95	0.64	3.62	7.4	23.9	0.30	20.3	0.259	11.3	1.70	55.5	0.60
		5	0.05	0.04	1.98	0.99	3.01	7.5	18.4	0.33	15.4	0.274	10.2	1.81	44.8	0.65
		10	0.03	0.02	2.18	0.71	2.91	7.8	21.2	0.32	18.3	0.285	12.4	1.83	51.8	0.64
		20	0.07	0.02	1.98	0.29	2.29	9.4	23.2	0.33	20.9	0.257	9.84	1.96	53.8	0.65
		30	0.09	0.06	1.71	1.38	3.15	8.7	20.4	0.33	17.3	0.246	10.9	1.72	48.6	0.66
		45	0.22	0.53	2.42	2.21	5.16	13.7	22.4	0.68	17.2	0.452	28.4	2.77	68.0	1.35
12	57	5	0.19	0.02	2.04	1.19	3.24	9.6	23.0	0.38	19.7	0.191	-	1.35	-	0.76
		10	0.21	0.02	1.68	0.93	2.63	9.8	29.8	0.36	27.2	0.156	-	1.36	-	0.72
		20	0.14	0.01	1.92	0.90	2.83	9.9	25.7	0.41	22.9	0.273	-	1.55	-	0.82
		30	0.04	0.02	2.27	0.74	3.03	8.8	21.0	0.55	18.0	0.512	-	1.79	-	1.11
		40	0.05	0.02	1.48	0.87	2.36	7.9	23.5	0.60	21.2	0.546	-	2.32	-	1.19
		52	0.03	0.57	2.80	0.90	4.27	14.5	19.6	0.81	15.4	0.774	-	2.78	-	1.62

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ (µM)	NO ₃ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSt (µM)	TDN (µM)	TDP (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)	
13	60	5	0.06	0.07	1.30	0.74	2.11	9.2	23.8	0.48	21.7	0.422	15.0	1.72	60.3	0.97	
		15	0.07	0.07	1.06	0.64	1.78	9.0	20.0	0.75	18.2	0.679	9.11	4.41	47.3	1.50	
		30	0.11	0.04	1.09	0.67	1.80	9.2	21.1	0.54	19.3	0.425	11.8	1.52	52.2	1.07	
		40	0.15	0.07	1.00	0.67	1.75	8.7	20.0	0.35	18.3	0.204	9.07	1.88	47.3	0.70	
		50	0.35	0.82	2.42	0.96	4.20	17.2	18.5	0.61	14.3	0.257	9.25	1.99	42.0	1.22	
		55	0.52	1.01	3.19	0.71	4.90	22.3	24.2	0.78	19.3	0.260	8.03	2.07	51.4	1.57	
14	65	5	0.49	0.01	1.54	0.61	2.16	7.4	21.1	0.36	19.0	-	-	1.77	-	-	
		15	0.55	0.02	1.42	0.77	2.21	7.4	17.4	0.44	15.2	-	-	1.69	-	-	
		30	0.62	0.04	1.54	0.71	2.28	7.3	21.9	0.74	19.6	0.120	-	1.91	-	1.48	
		45	0.51	0.04	1.15	0.61	1.80	7.0	28.3	0.27	26.5	-	-	1.63	-	-	
		50	0.67	0.03	1.45	0.64	2.12	8.2	21.1	1.69	19.0	1.024	-	2.02	-	3.39	
		60	2.26	0.63	3.01	0.67	4.31	21.6	21.1	0.58	16.8	-	-	2.63	-	-	
15	64	5	0.06	0.06	3.43	1.19	4.67	7.5	22.1	0.53	17.5	0.471	12.2	1.63	51.8	1.06	
		15	0.11	0.06	2.95	0.96	3.97	7.7	29.1	0.13	25.2	0.015	12.1	1.81	66.3	0.25	
		30	0.10	0.03	1.15	1.03	2.21	7.7	26.6	0.40	24.4	0.295	12.2	1.80	63.2	0.80	
		40	0.03	0.09	1.39	0.83	2.31	7.2	55.0	0.28	52.7	0.243	12.6	1.64	120	0.55	
		55	0.10	0.22	3.22	0.93	4.37	9.3	40.4	0.70	36.0	0.597	8.39	9.76	84.8	1.40	
		59	0.15	0.28	2.63	0.93	3.84	9.6	54.7	1.18	50.9	1.027	9.25	2.46	111	2.36	
16	55	5	0.25	0.02	2.42	0.26	2.70	6.9	38.4	0.38	35.7	0.131	-	1.75	-	0.76	
		10	0.27	0.00	1.65	0.23	1.89	7.2	54.6	0.27	52.7	-	-	1.73	-	0.53	
		20	0.42	0.02	1.71	0.24	1.97	7.2	35.0	0.27	33.0	-	-	1.74	-	-	
		30	0.33	0.02	2.66	0.15	2.82	7.2	41.4	0.45	38.6	0.126	-	1.88	-	0.90	
		45	0.50	0.08	4.16	0.19	4.43	10.3	35.8	0.39	31.4	-	-	2.30	-	-	
		50	1.05	0.62	1.92	0.24	2.78	14.8	43.0	0.75	40.2	-	-	2.38	-	-	
17	51	5	0.03	0.05	1.74	0.61	2.40	10.0	32.7	0.31	30.3	0.279	9.25	2.05	72.3	0.63	
		10	0.13	0.06	2.10	0.71	2.86	10.0	35.8	0.60	32.9	0.468	6.54	2.04	75.2	1.19	
		20	0.04	0.04	1.54	0.55	2.12	10.2	33.1	0.28	31.0	0.241	8.35	1.75	72.4	0.57	
		30	0.11	0.06	2.13	0.64	2.83	8.3	39.6	0.34	36.7	0.226	9.97	2.85	86.3	0.68	
		40	0.13	0.28	2.04	0.64	2.96	10.9	39.6	0.37	36.7	0.245	7.53	2.19	83.8	0.75	
		50	0.55	0.89	2.45	0.67	4.01	27.7	39.7	0.90	35.7	0.349	-	3.09	-	1.80	
18	46	5	0.50	0.04	2.16	0.19	2.38	10.2	37.5	0.50	35.2	0.002	-	2.31	-	1.00	
		10	0.56	0.11	2.54	0.17	2.83	10.0	40.4	0.65	37.6	0.093	-	1.94	-	1.30	
		20	0.60	0.07	3.01	0.21	3.29	9.3	29.9	0.61	26.7	0.007	-	1.77	-	1.22	
		30	0.79	0.35	3.13	0.21	3.69	9.3	31.8	3.63	28.1	2.840	-	2.91	-	7.26	
		35	0.93	0.71	2.10	0.20	3.01	10.6	29.5	0.46	26.5	-	-	2.26	-	-	
		40	1.20	0.75	3.54	0.21	4.50	12.4	32.3	0.56	27.8	-	-	2.36	-	-	
19	55	5	0.35	0.05	0.94	0.23	1.23	9.2	23.8	0.82	28.0	0.468	8.75	1.99	66.0	1.64	
		10	0.38	0.02	0.97	0.26	1.26	1.26	9.0	20.0	0.50	30.2	0.122	7.53	2.04	69.2	1.00
		20	0.39	0.03	0.97	0.22	1.23	1.23	9.2	21.1	0.55	28.1	0.159	7.90	2.19	65.3	1.09
		30	0.42	0.01	0.80	0.23	1.04	1.04	8.7	20.0	0.46	29.8	0.037	6.50	2.58	67.2	0.92
		45	0.42	0.03	1.12	0.20	1.35	1.35	17.2	18.5	0.48	32.3	0.055	6.86	2.42	72.7	0.95

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ ⁻ (µM)	NO ₃ ⁻ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSI (µM)	TDN (µM)	TPD (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)
19	55	50	0.58	0.07	1.45	0.22	1.74	44.0	38.6	0.77	36.8	0.181	7.08	2.25	82.5	1.53
20	63	5	0.24	0.00	0.80	0.99	1.79	6.9	40.4	0.34	38.6	0.097	-	1.68	-	0.68
		15	0.25	0.00	0.74	0.93	1.67	6.8	31.6	0.34	30.0	0.088	-	2.09	-	0.68
		30	0.29	0.03	1.03	1.03	2.09	6.4	38.2	0.52	36.1	0.232	-	1.96	-	1.05
		45	0.34	0.03	0.83	0.80	1.66	6.7	34.3	0.57	32.7	0.232	-	2.19	-	1.13
		55	0.48	0.20	1.24	0.83	2.28	8.2	32.6	0.55	30.4	0.074	-	2.28	-	1.11
60	0.62	0.26	0.92	0.67	1.85	8.7	33.9	0.39	32.1	-	-	2.25	-	-		
21	65	5	0.57	0.01	0.74	1.99	2.74	7.9	34.8	0.39	32.0	-	7.08	1.63	73.9	-
		15	0.66	0.00	1.00	1.96	2.96	7.8	35.3	0.59	32.3	-	6.54	1.76	74.1	-
		30	0.72	0.00	0.80	1.99	2.79	7.6	31.4	0.52	28.6	-	5.91	1.79	65.9	-
		45	1.09	0.12	0.68	2.02	2.82	9.9	32.2	0.73	29.3	-	7.90	2.00	69.4	-
		50	1.31	0.31	1.27	1.96	3.53	11.2	46.5	0.48	43.0	-	6.09	1.99	95.5	-
60	1.44	0.30	0.97	1.99	3.26	11.2	36.3	0.53	33.1	-	5.91	2.25	75.3	-		
22	65	5	0.46	0.01	0.68	2.05	2.74	6.5	30.7	0.52	28.0	0.061	-	1.90	-	1.05
		15	0.34	0.00	0.71	1.92	2.64	6.5	35.4	0.35	32.7	0.015	-	1.76	-	0.70
		30	0.44	0.00	0.74	2.02	2.76	6.7	40.5	0.55	37.8	0.110	-	1.96	-	1.10
		45	0.43	0.00	0.86	1.99	2.84	6.6	32.4	0.76	29.6	0.330	-	2.54	-	1.52
		52	0.46	0.00	0.74	1.99	2.73	6.8	35.9	0.18	33.1	-	-	2.15	-	-
60	0.77	0.96	1.21	2.31	4.48	8.7	35.1	0.16	30.6	-	-	2.31	-	-		
23	50	5	0.18	0.00	1.51	2.12	3.63	8.7	37.3	0.55	33.7	0.371	6.77	2.21	77.7	1.10
		10	0.34	0.01	1.21	1.25	2.47	8.6	30.9	0.71	28.5	0.368	5.05	2.03	64.4	1.42
		20	0.34	0.01	1.18	1.19	2.38	7.7	31.4	0.61	29.0	0.274	9.07	2.06	69.4	1.22
		30	0.40	0.00	1.36	1.09	2.45	7.9	35.4	0.76	32.9	0.365	8.66	1.98	76.9	1.52
		40	0.46	0.01	1.59	1.22	2.83	7.8	30.8	0.47	28.0	0.009	7.81	2.02	66.6	0.95
47	0.44	0.04	1.48	1.22	2.74	7.9	28.3	0.62	25.6	0.186	7.53	1.90	61.4	1.25		
24	44	5	0.30	0.06	1.56	0.25	1.87	10.9	34.3	-	32.5	-	-	1.98	-	-
		10	0.33	0.03	0.92	0.24	1.18	10.8	25.8	-	24.6	-	-	2.01	-	-
		20	0.35	0.04	0.50	0.21	0.75	10.6	29.4	-	28.6	-	-	1.99	-	-
		30	0.42	0.14	0.56	0.20	0.90	9.1	35.4	-	34.5	-	-	3.09	-	-
		35	0.48	0.48	0.92	0.21	1.60	9.2	30.1	-	28.5	-	-	2.17	-	-
40	0.57	0.47	1.56	0.24	2.28	8.9	31.7	-	29.5	-	-	2.19	-	-		
25	20	5	0.78	0.01	0.81	0.21	1.02	10.4	39.8	-	38.7	-	7.90	2.38	86.4	-
		10	0.83	0.02	1.48	0.19	1.68	10.9	30.4	-	28.7	-	7.81	2.73	66.8	-
		15	1.08	0.29	1.97	0.26	2.52	9.9	27.8	-	25.2	-	10.20	2.08	63.2	-
26	31	5	0.63	0.06	1.34	0.27	1.67	11.5	23.0	-	21.3	-	9.93	2.18	54.2	-
		10	0.64	0.06	1.06	0.21	1.33	11.7	22.2	-	20.9	-	6.59	3.40	49.7	-
		15	0.64	0.05	0.77	0.13	0.95	11.6	26.5	-	25.6	-	5.55	2.29	57.6	-
		20	0.67	0.05	1.97	0.17	2.19	11.1	28.7	-	26.5	-	7.90	2.71	63.0	-
		25	0.74	0.05	1.76	0.15	1.96	11.0	35.8	-	33.8	-	5.55	3.50	75.2	-

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NH ₄ ⁺ (μM)	DIN (μM)	DSi (μM)	TDN (μM)	TPD (μM)	DON (μM)	DOP (μM)	PN (μM)	PP (μM)	TN (μM)	TP (μM)
27	43	5	0.96	0.02	1.00	0.80	1.83	8.5	21.3	0.37	19.5	-	-	2.09	-	-
		10	0.95	0.02	0.97	3.43	4.43	8.6	27.5	0.42	23.1	-	-	1.73	-	-
		20	1.07	0.03	1.00	0.32	1.36	8.0	29.8	0.67	28.4	-	-	2.23	-	-
		30	1.47	0.04	0.86	0.38	1.28	10.4	43.4	2.46	42.2	-	-	1.97	-	-
		38	1.62	0.04	0.92	0.51	1.47	10.7	29.6	1.24	28.2	-	-	2.64	-	-
28	65	5	0.57	0.03	1.51	0.64	2.18	7.9	21.9	0.53	19.7	-	10.2	2.30	51.7	-
		15	0.67	0.07	1.87	0.87	2.80	8.0	23.9	0.55	21.1	-	9.79	2.22	54.7	-
		30	0.74	0.06	1.27	0.90	2.23	7.8	23.9	0.59	21.7	-	11.3	2.64	56.8	-
		40	0.78	0.04	0.60	0.83	1.48	7.8	27.0	0.48	25.6	-	9.23	2.05	61.8	-
		50	1.20	0.27	0.70	0.99	1.97	10.8	25.8	0.63	23.8	-	6.71	2.42	56.3	-
		60	1.42	0.56	1.06	0.87	2.48	11.7	26.4	0.69	23.9	-	9.94	2.40	60.2	-
29	73	5	0.05	0.01	1.51	1.38	2.90	8.9	21.8	4.19	18.9	4.140	9.20	2.07	49.9	8.38
		10	0.03	0.01	2.22	1.31	3.54	9.1	30.0	0.37	26.4	0.340	7.23	2.20	63.6	0.75
		20	0.03	0.01	4.19	0.55	4.74	9.5	23.2	0.56	18.4	0.527	9.01	2.59	50.6	1.12
		35	0.09	0.01	2.99	0.03	3.04	10.2	27.1	0.65	24.0	0.559	9.09	3.18	60.2	1.29
		46	0.09	0.02	1.16	0.03	1.22	10.2	22.5	0.68	21.3	0.596	8.75	2.45	52.5	1.36
30	57	5	0.57	0.03	1.87	1.22	3.11	9.0	30.5	0.39	27.4	-	-	1.87	-	-
		10	0.58	0.03	1.83	1.09	2.95	9.0	23.9	0.52	20.9	-	-	2.14	-	-
		20	0.65	0.02	2.11	1.31	3.45	8.9	21.9	0.34	18.5	-	-	2.64	-	-
		30	0.73	0.04	2.67	1.03	3.74	9.7	22.9	0.43	19.1	-	-	1.83	-	-
		40	0.89	0.05	1.55	1.06	2.66	10.1	28.4	0.46	25.7	-	-	1.92	-	-
		52	0.91	0.21	1.97	0.99	3.18	10.4	27.3	0.51	24.1	-	-	2.19	-	-
31	32	5	0.70	0.02	1.27	0.31	1.60	9.9	21.9	0.75	20.3	0.043	7.23	2.38	49.4	1.50
		10	0.79	0.04	0.60	0.26	0.90	8.5	19.9	0.68	19.0	-	7.34	2.25	46.3	-
		15	0.89	0.12	1.79	0.30	2.22	8.4	13.4	0.55	11.2	-	7.82	1.68	32.3	-
		25	1.27	0.08	0.91	0.32	1.32	9.6	60.4	0.65	59.1	-	9.49	3.11	129	-
		27	1.13	0.04	1.20	0.29	1.52	9.5	84.5	0.38	83.0	-	9.53	2.67	177	-
32	22	1	0.44	0.02	3.45	0.29	3.76	10.9	56.2	0.43	52.4	-	-	2.46	-	-
		5	0.55	0.03	3.13	0.30	3.47	11.0	58.5	0.50	55.1	-	-	1.04	-	-
		10	0.69	0.05	3.38	0.32	3.74	11.3	60.7	0.55	56.9	-	-	1.98	-	-
		15	0.75	0.05	2.82	0.32	3.18	10.6	67.8	0.74	64.6	-	-	1.85	-	-
		17	0.84	0.05	4.36	0.29	4.70	10.6	56.3	0.38	51.6	-	-	1.97	-	-
33	31	5	0.28	0.05	1.51	0.18	1.74	8.3	98.8	0.49	97.1	0.211	-	1.30	-	0.99
		10	0.27	0.04	1.62	0.13	1.78	8.6	76.7	0.08	74.9	-	-	1.25	-	-
		15	0.24	0.03	1.65	0.11	1.80	8.6	74.4	0.54	72.6	0.296	-	1.25	-	1.07
		20	0.26	0.04	1.23	0.11	1.38	8.6	75.7	0.44	74.3	0.182	-	1.41	-	0.88
		26	0.43	0.04	0.81	0.09	0.93	9.3	75.7	0.54	74.8	0.113	-	1.39	-	1.09

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ (µM)	NO ₃ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSi (µM)	TDN (µM)	TDP (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)
34	54	5	0.03	0.01	4.33	1.12	5.46	7.1	64.1	0.34	58.6	0.312	-	1.53	-	0.68
		10	0.03	0.01	4.33	1.09	5.42	7.4	64.8	0.25	59.4	0.222	-	0.95	-	0.49
		20	0.03	0.01	0.74	0.64	1.39	7.7	89.6	0.33	88.2	0.291	-	1.39	-	0.65
		30	0.03	0.01	3.10	0.71	3.81	5.4	81.0	0.30	77.2	0.270	-	1.33	-	0.59
		40	0.03	0.01	4.22	0.74	4.97	8.0	77.2	0.45	72.2	0.412	-	1.31	-	0.89
		50	0.04	0.01	3.98	0.90	4.89	9.4	81.2	0.55	76.3	0.506	-	1.65	-	1.10
35	70	5	0.03	0.01	0.38	0.96	1.36	6.6	20.5	0.27	19.2	0.231	8.01	1.09	47.7	0.53
		15	0.05	0.01	1.39	0.71	2.10	7.4	12.6	0.36	10.5	0.310	7.90	1.30	31.0	0.72
		35	0.03	0.01	1.45	0.67	2.13	8.1	36.3	0.22	34.1	0.189	5.08	1.34	75.5	0.45
		45	0.09	0.26	0.53	0.74	1.53	12.6	46.7	0.37	45.2	0.273	7.60	1.65	99.5	0.74
		55	0.52	0.34	1.86	0.74	2.94	19.8	61.6	0.87	58.6	0.353	7.82	15.6	128	1.74
		65	0.51	0.26	3.22	0.87	4.35	21.6	48.4	0.76	44.1	0.253	8.16	1.50	101	1.52
36	51	5	0.21	0.00	1.27	5.58	6.85	6.8	46.0	0.46	39.2	0.252	-	1.18	-	0.92
		15	0.11	0.01	1.42	0.64	2.07	6.8	52.1	0.39	50.0	0.272	-	1.27	-	0.77
		35	0.03	0.01	0.80	0.67	1.48	9.1	57.8	0.31	56.3	0.279	-	1.20	-	0.63
		50	0.11	0.45	1.36	1.03	2.84	13.8	62.3	0.21	59.5	0.099	-	1.43	-	0.42
		60	0.44	0.25	3.34	1.03	4.61	20.4	51.8	0.81	47.2	0.370	-	2.22	-	1.62
		67	0.45	0.26	3.57	1.22	5.05	21.3	52.2	0.74	47.1	0.289	-	1.60	-	1.47
37	62	5	0.23	0.01	3.37	1.31	4.69	9.0	50.2	0.54	45.5	0.311	8.20	3.41	104	1.09
		10	0.26	0.01	3.43	1.12	4.56	10.0	52.5	0.35	47.9	0.092	9.49	1.61	110	0.70
		20	0.30	0.01	0.94	1.12	2.08	7.5	179.1	0.52	177.1	0.218	8.34	1.69	365	1.04
		35	0.43	0.05	2.69	1.06	3.79	9.4	49.1	0.57	45.3	0.143	8.27	1.54	103	1.15
		50	0.84	0.17	2.45	1.09	3.71	14.6	61.2	0.49	57.5	-	7.60	1.92	126	-
		57	0.94	0.17	4.40	1.15	5.72	14.8	72.5	0.37	66.8	-	7.45	1.62	147	-
38	71	5	0.29	0.02	5.52	1.48	7.02	7.6	58.0	0.59	51.0	0.296	-	1.89	-	1.18
		15	0.34	0.01	2.07	1.31	3.39	9.4	60.4	0.41	57.0	0.069	-	1.47	-	0.83
		30	0.51	0.02	2.13	1.28	3.43	6.2	31.1	0.32	27.7	-	-	1.49	-	-
		45	0.44	0.12	6.14	0.99	7.26	5.7	63.4	0.39	56.2	-	-	1.91	-	-
		55	0.80	0.29	7.35	0.99	8.64	11.4	59.8	0.53	51.2	-	-	2.01	-	-
		66	0.69	0.22	5.76	0.83	6.82	9.9	59.3	0.60	52.5	-	-	1.75	-	-
39	61	5	0.04	0.03	1.00	1.06	2.10	7.4	60.5	0.33	58.4	0.283	6.42	1.41	125	0.65
		10	0.04	0.02	1.30	1.09	2.41	7.6	28.9	0.31	26.5	0.265	5.34	1.43	60.7	0.62
		20	0.05	0.03	1.06	1.09	2.18	7.6	64.5	0.17	62.4	0.117	5.15	1.43	132	0.34
		35	0.06	0.03	1.18	1.09	2.30	13.1	62.7	0.66	60.4	0.597	5.53	1.64	129	1.31
		47	0.52	0.12	3.66	1.09	4.87	20.4	76.6	1.08	71.7	0.564	5.53	2.42	154	2.16
		56	0.52	0.38	3.60	0.90	4.88	19.4	60.7	0.93	55.8	0.404	5.79	1.74	122	1.86

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ม.)	ความลึกที่เก็บตัวอย่าง(ม.)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NO ₂ ⁻ (µM)	NO ₃ ⁻ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	DIN (µM)	DSI (µM)	TDN (µM)	TPD (µM)	DON (µM)	DOP (µM)	PN (µM)	PP (µM)	TN (µM)	TP (µM)
40	51	5	0.07	0.04	2.67	0.80	3.51	7.3	23.8	0.41	20.3	0.341	-	1.24	-	0.82
		10	0.09	0.03	2.08	0.71	2.81	7.3	25.4	0.51	22.6	0.421	-	1.26	-	1.01
		20	0.11	0.02	1.34	0.74	2.10	7.5	17.1	0.32	15.0	0.208	-	1.21	-	0.64
		30	0.10	0.03	2.08	0.87	2.97	7.7	26.0	0.37	23.0	0.265	-	1.78	-	0.74
		35	0.10	0.02	1.02	0.67	1.72	7.7	23.7	0.29	22.0	0.186	-	1.37	-	0.58
		46	0.12	0.02	0.95	0.96	1.94	8.7	27.8	0.48	25.8	0.362	-	1.55	-	0.97
41	28	1	0.33	0.07	1.27	0.13	1.46	9.4	25.4	0.51	23.9	0.180	6.45	1.31	55.7	1.01
		5	0.36	0.09	1.51	0.12	1.72	8.8	18.5	0.35	16.8	-	5.49	1.36	40.8	-
		10	0.44	0.08	1.51	0.13	1.72	9.3	23.2	0.18	21.5	-	6.30	1.27	51.0	-
		15	0.40	0.07	0.91	0.10	1.08	9.5	21.8	0.12	20.7	-	5.49	1.26	48.0	-
		23	0.46	0.07	1.23	0.12	1.42	9.5	29.6	0.43	28.2	-	5.82	1.65	63.6	-
42	25	1	0.31	0.02	1.90	0.42	2.33	8.9	20.7	0.37	18.4	0.064	-	1.57	-	0.75
		5	0.36	0.04	0.91	0.22	1.18	9.2	22.2	0.76	21.0	0.399	-	1.49	-	1.52
		10	0.34	0.06	1.65	0.35	2.07	10.2	23.1	1.08	21.0	0.744	-	1.37	-	2.16
		15	0.44	0.05	1.13	0.38	1.57	9.5	23.7	0.05	22.2	-	-	1.60	-	-
		20	0.42	0.05	1.79	0.29	2.14	10.5	40.1	0.50	38.0	0.079	-	2.02	-	1.00
43	41	5	0.34	0.03	2.08	3.24	5.35	7.7	26.4	0.40	21.1	0.069	5.93	1.36	53.5	0.81
		10	0.39	0.01	1.20	4.52	5.73	7.8	27.9	0.34	22.2	-	5.67	1.33	55.8	-
		15	0.46	0.00	2.29	4.14	6.43	8.0	30.4	0.38	24.0	-	6.12	1.72	60.6	-
		25	0.53	0.02	3.48	4.33	7.83	9.0	21.5	0.47	13.6	-	6.56	1.53	41.7	-
		36	0.74	0.02	1.90	5.07	6.99	11.5	21.2	0.52	14.2	-	5.71	2.19	41.2	-
44	51	5	0.33	0.11	3.10	0.74	3.95	7.4	25.2	0.10	21.2	-	-	1.53	-	-
		10	0.37	0.00	2.22	0.61	2.83	7.4	36.3	0.41	33.5	0.041	-	1.68	-	0.82
		15	0.34	0.09	1.48	0.71	2.27	7.3	24.9	0.34	22.6	-	-	1.68	-	-
		30	0.54	0.05	1.55	0.80	2.40	9.6	23.4	0.48	21.0	-	-	1.97	-	-
		40	0.67	0.01	1.34	0.71	2.05	9.7	15.9	0.48	13.8	-	-	1.35	-	-
		46	0.89	0.01	1.58	0.48	2.08	10.4	43.6	0.57	41.5	-	-	1.83	-	-
45	50	5	0.50	0.02	1.16	0.71	1.89	7.7	25.4	0.52	23.5	0.020	-	1.97	-	1.04
		10	0.66	0.07	2.29	0.48	2.83	7.7	16.0	0.53	13.1	-	-	1.79	-	-
		20	0.71	0.09	1.16	0.61	1.86	7.0	24.6	0.57	22.7	-	-	1.37	-	-
		27	1.07	0.08	1.55	0.64	2.27	14.7	21.5	0.48	19.2	-	-	1.87	-	-
		36	1.35	0.34	2.53	0.61	3.49	13.5	23.1	0.93	19.6	-	-	1.92	-	-
		43	1.38	0.36	2.53	0.61	3.50	13.5	27.8	0.68	24.3	-	-	1.47	-	-
AVG	73.0	67	0.41	0.12	1.97	0.94	3.03	10.7	33.2	0.58	30.2	0.38	7.91	2.01	63.9	1.21
Max	20.0	1	2.26	1.71	8.65	5.58	10.28	44.0	179.1	4.19	177.1	4.14	28.4	15.6	365	8.38
Min	49.7	24	0.02	0.00	0.38	0.03	0.75	5.4	10.6	0.05	6.7	0.00	3.71	0.95	5.2	-
S.D.	13.4	17	0.36	0.22	1.20	0.78	1.51	5.5	18.9	0.45	18.8	0.47	2.81	1.09	38.4	-

ตารางที่ ค - 2 ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Biogenic layer

GOT	PO_4^{3-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	DIN	DSi	TDN	TDP	DON	DOP	PN	PP	TN	TP
1	0.34	0.02	4.75	2.27	7.05	12.8	30.6	0.65	23.5	0.31	6.38	2.00	60.5	1.29
2	0.14	0.10	2.60	1.09	3.79	13.0	22.3	0.77	18.5	0.63	-	2.03	40.8	1.54
3	0.06	0.05	0.86	0.45	1.36	10.7	24.9	0.30	23.6	0.24	4.02	1.61	52.5	0.59
4	0.15	0.03	2.60	0.99	3.62	11.3	18.9	0.52	15.3	0.37	-	1.69	34.1	1.04
5	0.95	0.01	2.11	1.12	3.25	9.7	17.4	0.52	14.1	-	-	2.13	31.5	1.48
6	0.30	0.00	1.30	1.22	2.52	9.1	18.1	0.49	15.5	0.19	6.92	2.09	40.5	0.98
7	0.02	0.01	2.48	1.32	3.80	8.5	19.4	3.53	15.6	3.51	-	1.08	35.0	7.06
8	0.13	0.01	1.12	0.96	2.10	10.3	16.5	0.60	14.4	0.47	3.71	1.59	34.6	1.21
9	0.03	0.02	1.27	0.77	2.06	9.4	23.2	0.52	21.1	0.49	-	1.71	-	1.04
10	0.02	0.05	2.21	1.06	3.32	9.1	16.9	0.39	13.6	0.37	-	1.77	-	0.78
11	0.05	0.04	1.98	0.99	3.01	7.5	18.4	0.33	15.4	0.27	10.9	1.81	44.8	0.65
12	0.19	0.02	2.04	1.19	3.24	9.6	23.0	0.38	19.7	0.19	-	1.35	-	0.76
13	0.06	0.07	1.30	0.74	2.11	9.2	23.8	0.48	21.7	0.42	14.9	1.72	60.3	0.97
14	0.49	0.01	1.54	0.61	2.16	7.4	21.1	0.36	19.0	-	-	1.77	-	-
15	0.06	0.06	3.43	1.19	4.67	7.5	22.1	0.53	17.5	0.47	12.2	1.63	51.8	1.06
16	0.25	0.02	2.42	0.26	2.70	6.9	38.4	0.38	35.7	0.13	-	1.75	-	0.76
17	0.03	0.05	1.74	0.61	2.40	10.0	32.7	0.31	30.3	0.28	9.25	2.05	72.3	0.63
18	0.50	0.04	2.16	0.19	2.38	10.1	37.5	0.50	35.2	0.00	-	2.31	-	1.00
19	0.35	0.05	0.95	0.23	1.23	10.1	29.2	0.82	28.0	0.47	8.75	1.99	66.0	1.64
20	0.24	0.00	0.80	0.99	1.79	6.9	40.4	0.34	38.6	0.10	-	1.68	-	0.68
21	0.57	0.01	0.74	1.99	2.74	7.9	34.8	0.39	32.0	-	7.08	1.63	73.9	-
22	0.46	0.01	0.68	2.05	2.74	6.5	30.7	0.52	28.0	0.06	-	1.90	-	1.05
23	0.18	0.00	1.51	2.12	3.63	8.7	37.3	0.55	33.7	0.37	6.77	2.21	77.7	1.10
24	0.30	0.06	1.57	0.25	1.87	10.9	34.3	-	32.5	-	-	1.98	-	-
25	0.78	0.01	0.81	0.21	1.02	10.4	39.8	-	38.7	-	7.90	2.38	86.4	-
26	0.63	0.06	1.34	0.27	1.67	11.5	23.0	-	21.3	-	9.93	2.18	54.2	-
27	0.96	0.03	1.00	0.80	1.83	8.5	21.3	0.37	19.5	-	-	2.09	-	-
28	0.57	0.03	1.51	0.64	2.19	7.9	21.9	0.53	19.7	-	10.2	2.30	51.7	-
29	0.05	0.01	1.51	1.38	2.90	8.9	21.8	4.19	18.9	4.14	9.20	2.07	49.9	8.38
30	0.57	0.03	1.87	1.22	3.11	9.0	30.5	0.39	27.4	-	-	1.87	-	-
31	0.71	0.03	1.27	0.31	1.60	9.9	21.9	0.75	20.3	0.04	7.23	2.38	49.4	1.50
32	0.55	0.03	3.13	0.30	3.47	11.0	58.5	0.50	55.1	-	-	1.04	-	-
33	0.28	0.05	1.51	0.18	1.74	8.3	98.8	0.49	97.1	0.21	-	1.30	-	0.99
34	0.03	0.01	4.33	1.12	5.46	7.1	64.1	0.34	58.6	0.31	-	1.53	-	0.68
35	0.03	0.01	0.38	0.96	1.36	6.6	20.5	0.27	19.2	0.23	8.01	1.09	47.7	0.53
36	0.21	0.00	1.27	5.58	6.85	6.8	46.0	0.46	39.2	0.25	-	1.18	-	0.92
37	0.23	0.01	3.37	1.32	4.70	9.0	50.2	0.54	45.5	0.31	8.20	3.41	103.8	1.09
38	0.29	0.02	5.52	1.48	7.02	7.6	58.0	0.59	51.0	0.30	-	1.89	-	1.18
39	0.04	0.03	1.00	1.06	2.10	7.4	60.5	0.33	58.4	0.28	6.42	1.41	125.4	0.65
40	0.07	0.04	2.67	0.80	3.51	7.3	23.8	0.41	20.3	0.34	-	1.24	-	0.82
41	0.36	0.09	1.51	0.12	1.73	8.8	18.5	0.35	16.8	-	5.49	1.36	40.9	-
42	0.36	0.04	0.92	0.23	1.18	9.2	22.2	0.76	21.0	0.40	-	1.49	-	1.52
43	0.34	0.03	2.08	3.24	5.35	7.7	26.4	0.40	21.1	0.07	5.93	1.36	53.5	0.81
44	0.33	0.12	3.10	0.74	3.95	7.4	25.2	0.10	21.2	-	-	1.53	-	-
45	0.50	0.02	1.16	0.71	1.89	7.7	25.4	0.52	23.5	0.02	-	1.97	-	1.04
AVG	0.31	0.03	1.90	1.05	2.98	8.92	31.3	0.63	28.4	0.49	8.06	1.79	57.6	1.39
Max	0.96	0.11	5.52	5.58	7.05	12.96	98.8	4.19	97.1	4.14	14.9	3.41	125.4	8.38
Min	0.02	0.00	0.38	0.12	1.02	6.49	16.5	0.10	13.6	0.00	3.71	1.04	31.5	0.53
S.D.	0.25	0.03	1.10	0.94	1.52	1.61	16.2	0.75	15.9	0.88	2.64	0.44	22.5	1.64

ตารางที่ ค - 3 ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Subpycnocline layer

GOT	PO_4^{3-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	DIN	DSi	TDN	TDP	DON	DOP	PN	P:R	TN	TP
1	0.32	0.08	2.19	1.84	4.10	12.2	32.1	0.55	28.0	0.24	6.81	2.10	66.9	1.11
2	0.08	0.12	3.10	0.99	4.22	13.0	21.1	0.85	16.9	0.77	-	1.80	38.1	1.69
7	0.90	0.44	7.71	1.19	9.33	41.9	23.2	-	13.8	-	-	1.81	37.0	-
13	0.35	0.82	2.42	0.96	4.20	17.2	18.5	0.61	14.3	0.26	9.25	1.99	42.0	1.22
15	0.10	0.22	3.22	0.93	4.37	9.3	40.4	0.70	36.0	0.60	8.39	9.76	84.8	1.40
16	0.50	0.08	4.16	0.19	4.43	10.3	35.8	0.39	31.4	-	-	2.30	-	-
17	0.13	0.28	2.04	0.64	2.96	10.9	39.6	0.37	36.7	0.25	7.53	2.19	83.8	0.75
18	0.79	0.35	3.13	0.21	3.69	9.3	31.8	3.63	28.1	2.84	-	2.91	-	7.26
19	0.42	0.03	1.12	0.20	1.35	8.1	33.6	0.48	32.3	0.06	6.86	2.42	72.7	0.95
22	0.46	0.00	0.74	1.99	2.73	6.8	35.9	0.18	33.1	-	-	2.15	-	-
23	0.46	0.01	1.59	1.22	2.83	7.8	30.8	0.47	28.0	0.01	7.81	2.02	66.6	0.95
24	0.48	0.48	0.92	0.21	1.60	9.2	30.1	-	28.5	-	-	2.17	-	-
28	1.20	0.27	0.70	0.99	1.97	10.8	25.8	0.63	23.8	-	6.71	2.42	56.3	-
31	1.27	0.09	0.92	0.32	1.32	9.6	60.4	0.65	59.1	-	9.49	3.11	128.9	-
32	0.75	0.05	2.82	0.32	3.18	10.6	67.8	0.74	64.6	-	-	1.85	-	-
35	0.52	0.34	1.86	0.74	2.94	19.8	61.6	0.87	58.6	0.35	7.82	15.6	128.0	1.74
36	0.44	0.25	3.34	1.03	4.61	20.4	51.8	0.81	47.2	0.37	-	2.22	-	1.62
37	0.84	0.17	2.45	1.09	3.71	14.6	61.2	0.49	57.5	-	7.60	1.92	126.3	-
38	0.80	0.30	7.35	0.99	8.64	11.4	59.8	0.53	51.2	-	-	2.01	-	-
39	0.52	0.12	3.66	1.09	4.88	20.4	76.6	1.08	71.7	0.56	5.53	2.42	153.8	2.16
45	1.35	0.34	2.53	0.61	3.49	13.5	23.1	0.93	19.6	-	-	1.92	-	-
AVG	0.60	0.23	2.76	0.84	3.83	13.65	41.0	0.79	37.2	0.57	7.62	3.19	83.5	1.90
Max	1.35	0.82	7.71	1.99	9.33	41.93	76.6	3.63	71.7	2.84	9.49	15.6	153.8	7.26
Min	0.08	0.00	0.70	0.19	1.32	6.76	18.5	0.18	13.8	0.01	5.53	1.80	37.0	0.75
S.D.	0.36	0.20	1.87	0.51	2.02	7.66	17.2	0.72	17.3	0.79	1.15	3.30	38.9	1.83

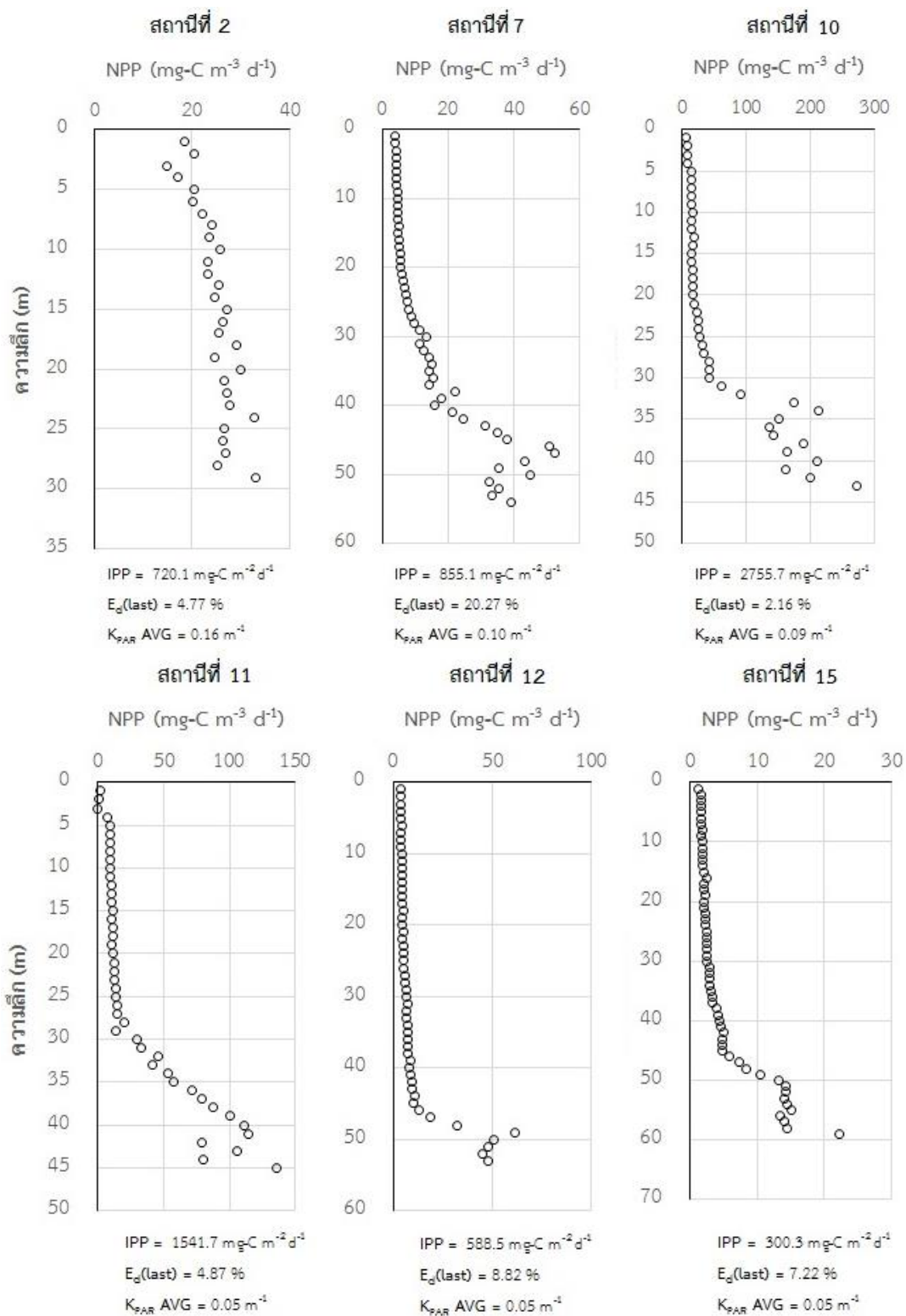
ตารางที่ ค - 4 ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร (μM) ที่ระดับชั้น Bioalythic layer

GOT	PO_4^{3-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	DIN	DSi	TDN	TDP	DON	DOP	PN	PP	PN	PP
1	0.31	0.02	1.92	2.03	3.97	12.2	24.5	0.57	20.6	0.26	5.35	1.79	50.5	1.15
2	0.04	0.08	2.42	1.83	4.33	12.9	21.1	0.48	16.8	0.44	-	2.55	37.9	0.97
3	0.10	0.07	1.18	0.45	1.70	11.0	17.7	-	16.0	-	10.3	1.67	44.1	0.09
4	0.11	0.02	2.78	0.80	3.60	12.7	13.2	0.95	9.6	0.84	-	3.23	22.8	1.89
5	0.42	0.47	2.11	1.09	3.67	23.7	12.8	0.80	9.2	0.38	-	2.06	22.0	1.60
6	0.77	1.71	3.31	1.25	6.27	32.1	26.3	1.28	20.0	0.51	7.88	2.02	54.2	2.55
7	0.99	0.44	8.65	1.19	10.28	42.2	21.4	-	11.1	-	-	2.26	32.5	-
8	0.45	0.93	1.59	0.90	3.42	17.6	14.5	0.85	11.1	0.40	6.62	2.28	32.2	1.70
9	0.36	0.57	1.74	1.48	3.78	25.4	18.4	0.82	14.7	0.46	-	2.64	-	1.64
10	0.86	0.56	3.25	0.74	4.55	43.8	15.7	1.46	11.2	0.60	-	2.63	-	2.92
11	0.22	0.53	2.42	2.21	5.16	13.7	22.4	0.68	17.2	0.45	28.4	2.77	68.0	1.35
12	0.03	0.57	2.81	0.90	4.27	14.5	19.6	0.81	15.4	0.77	-	2.78	-	1.62
13	0.52	1.01	3.19	0.71	4.91	22.3	24.2	0.78	19.3	0.26	8.03	2.07	51.4	1.57
14	2.26	0.63	3.01	0.67	4.31	21.6	21.1	0.58	16.8	-	-	2.63	-	-
15	0.16	0.28	2.63	0.93	3.84	9.6	54.7	1.18	50.9	1.03	9.25	2.46	114.8	2.36
16	1.05	0.62	1.92	0.24	2.78	14.8	43.0	0.75	40.2	-	-	2.38	-	-
17	0.55	0.89	2.45	0.67	4.02	27.7	39.7	0.90	35.7	0.35	-	3.09	-	1.80
18	1.20	0.75	3.54	0.21	4.50	12.4	32.3	0.56	27.8	-	-	2.36	-	-
19	0.59	0.07	1.45	0.22	1.74	44.0	38.6	0.77	36.8	0.18	7.08	2.25	82.5	1.53
20	0.62	0.26	0.92	0.67	1.85	8.7	33.9	0.39	32.1	-	-	2.25	-	-
21	1.44	0.30	0.97	1.99	3.26	11.2	36.3	0.53	33.1	-	5.91	2.25	75.3	-
22	0.77	0.96	1.21	2.31	4.48	8.7	35.1	0.16	30.6	-	-	2.31	-	-
23	0.44	0.04	1.48	1.22	2.74	7.9	28.3	0.62	25.6	0.19	7.53	1.90	61.4	1.25
24	0.57	0.47	1.57	0.24	2.28	8.8	31.7	-	29.5	-	-	2.19	-	-
25	1.08	0.29	1.97	0.26	2.52	9.9	27.8	-	25.2	-	10.2	2.08	63.2	-
26	0.74	0.06	1.76	0.15	1.97	11.0	35.8	-	33.8	-	5.55	3.50	75.2	-
27	1.62	0.04	0.92	0.51	1.47	10.7	29.6	1.24	28.2	-	-	2.64	-	-
28	1.42	0.56	1.06	0.87	2.48	11.7	26.4	0.69	23.9	-	9.94	2.40	60.2	-
29	0.09	0.03	1.16	0.03	1.22	10.2	22.5	0.68	21.3	0.60	8.75	2.45	52.5	1.36
30	0.91	0.21	1.97	0.99	3.18	10.4	27.3	0.51	24.1	-	-	2.19	-	-
31	1.14	0.04	1.20	0.29	1.52	9.5	84.5	0.38	83.0	-	9.53	2.67	177.0	-
32	0.84	0.05	4.36	0.29	4.70	10.6	56.3	0.38	51.6	-	-	1.97	-	-
33	0.43	0.04	0.81	0.09	0.94	9.3	75.7	0.54	74.8	0.11	-	1.39	-	1.09
34	0.04	0.01	3.98	0.90	4.89	9.4	81.2	0.55	76.3	0.51	-	1.65	-	1.10
35	0.51	0.27	3.22	0.87	4.35	21.6	48.4	0.76	44.1	0.25	8.16	1.50	100.7	1.52
36	0.45	0.26	3.57	1.22	5.05	21.3	52.2	0.74	47.1	0.29	-	1.60	-	1.47
37	0.94	0.17	4.40	1.16	5.72	14.8	72.5	0.37	66.8	-	7.45	1.62	146.7	-
38	0.69	0.22	5.76	0.83	6.82	9.9	59.3	0.60	52.5	-	-	1.75	-	-
39	0.52	0.38	3.60	0.90	4.88	19.4	60.7	0.93	55.8	0.40	5.79	1.74	122.3	1.86
40	0.12	0.03	0.95	0.96	1.94	8.7	27.8	0.48	25.8	0.36	-	1.55	-	0.97
41	0.46	0.07	1.23	0.12	1.42	9.5	29.6	0.43	28.2	-	5.82	1.65	63.6	-
42	0.42	0.05	1.80	0.29	2.14	10.5	40.1	0.50	38.0	0.08	-	2.02	-	1.00
43	0.74	0.02	1.90	5.07	6.99	11.5	21.2	0.52	14.2	-	5.71	2.19	41.2	-
44	0.89	0.01	1.58	0.48	2.08	10.4	43.6	0.57	41.5	-	-	1.83	-	-
45	1.38	0.36	2.53	0.61	3.50	13.4	27.8	0.68	24.3	-	-	1.47	-	-
AVG	0.67	0.34	2.41	0.93	3.68	15.85	35.5	0.69	31.8	0.42	8.66	2.19	68.8	1.51
Max	2.26	1.71	8.65	5.07	10.28	44.02	84.5	1.46	83.0	1.03	28.4	3.50	177.0	2.92
Min	0.03	0.01	0.81	0.03	0.93	7.87	12.8	0.16	9.2	0.08	5.35	1.39	22.0	0.09
S.D.	0.47	0.36	1.47	0.85	1.82	9.36	18.3	0.27	18.5	0.23	4.93	0.48	38.8	0.58

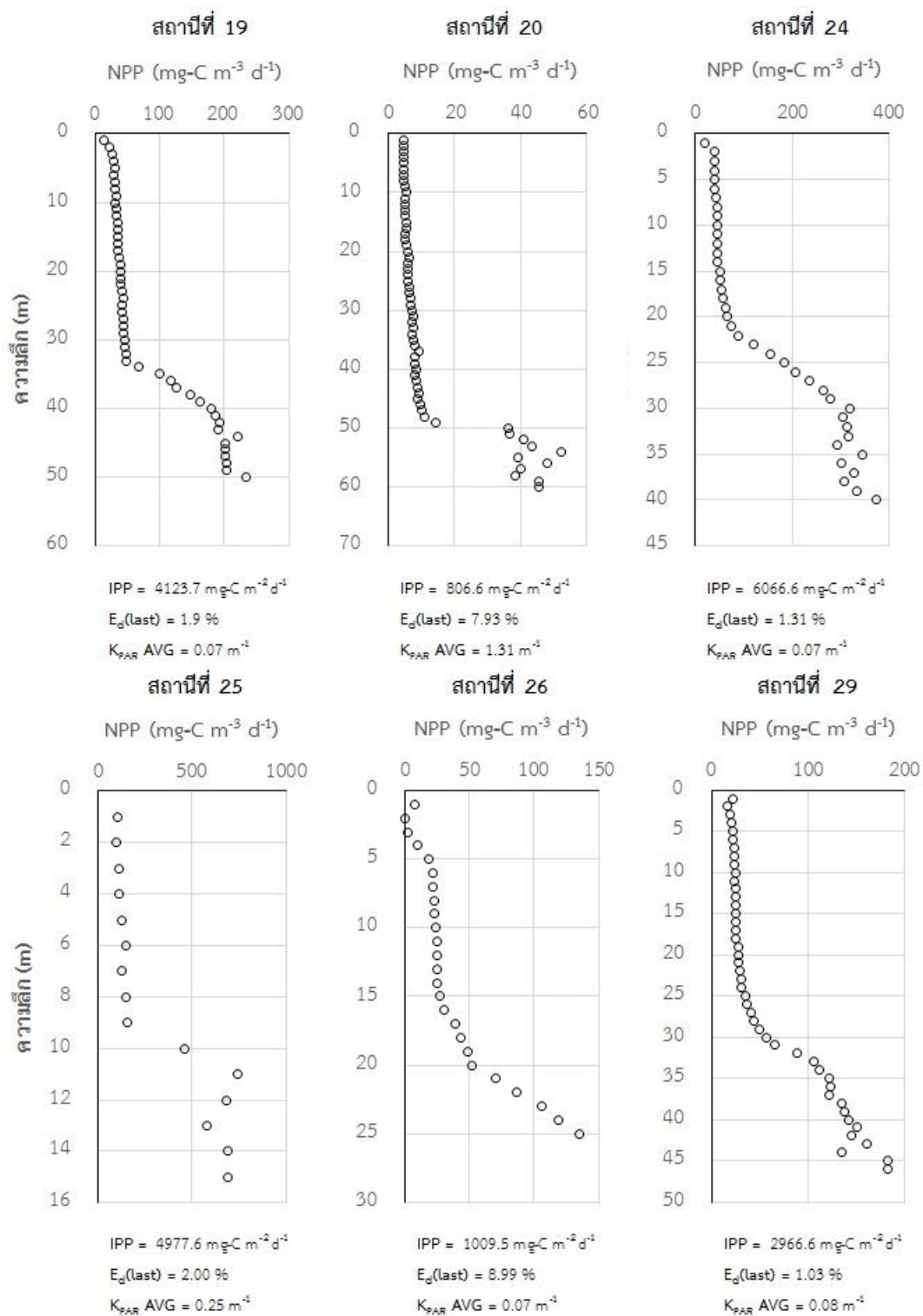
ภาคผนวก ง.

ผลผลิตปฐมภูมิ

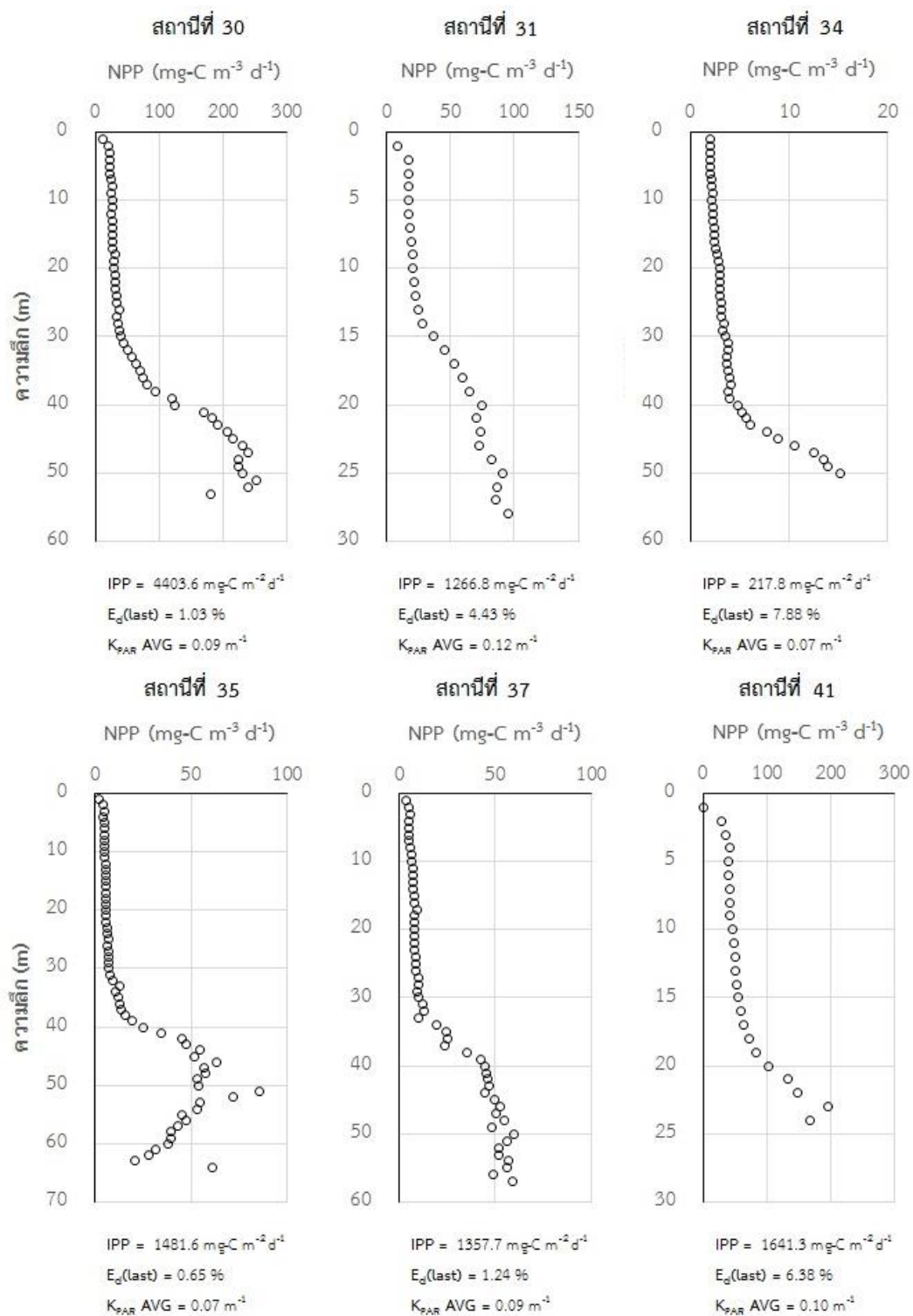
ตารางที่ ง - 1 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ ($\text{mg-C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) และผลผลิตปฐมภูมิทั้งคอลัมน์น้ำ ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)



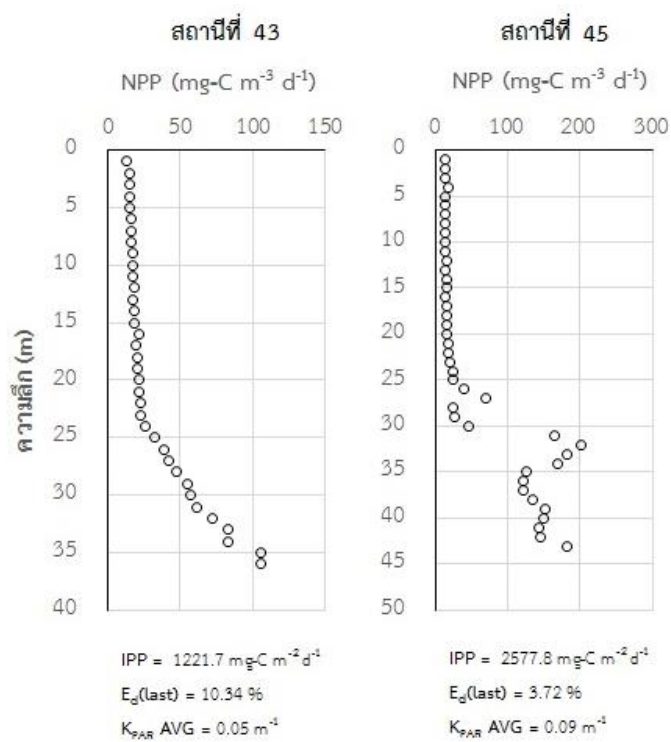
ตารางที่ ง - 1 (ต่อ)



ตารางที่ ง - 1 (ต่อ)



ตารางที่ ง - 1 (ต่อ)



ภาคผนวก จ.

ความสัมพันธ์ของปัจจัยแสงและสารอาหาร กับผลผลิตปฐมภูมิ

ตารางที่ จ - 1 ความสัมพันธ์ของสารอาหารแต่ละชนิด โดยใช้วิธีของ Pearson correlation

		PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	DIN	DSi	TDN	TDP	DON	DOP	PN	PP	TN	TP	NPP
PO ₄ ³⁻	PC	1	.385**	.149	-.279*	.063	.234	.177	-.041	.170	-.321*	-.160	-.015	-.039	-.010	.246
	Sig.		.002	.243	.027	.624	.065	.166	.749	.182	.010	.211	.910	.761	.936	.052
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
NO ₂ ⁻	PC	.385**	1	.160	-.133	.217	.370**	-.133	.004	-.160	-.066	-.131	.110	-.165	.125	.404**
	Sig.	.002		.210	.300	.088	.003	.298	.976	.211	.606	.307	.393	.196	.328	.001
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
NO ₃ ⁻	PC	.149	.160	1	-.001	.902**	.489**	.177	-.003	.071	.015	-.310*	-.041	-.208	.000	.121
	Sig.	.243	.210		.994	.000	.000	.165	.980	.580	.907	.013	.750	.101	.999	.344
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
NH ₄ ⁺	PC	-.279*	-.133	-.001	1	.410**	-.096	-.056	-.068	-.105	.044	-.063	-.093	-.049	-.114	-.262*
	Sig.	.027	.300	.994		.001	.455	.665	.594	.414	.731	.622	.468	.702	.374	.038
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
DIN	PC	.063	.217	.902**	.410**	1	.439**	.115	-.032	-.003	.023	-.318*	-.061	-.227	-.032	.048
	Sig.	.624	.088	.000	.001		.000	.371	.805	.979	.856	.011	.632	.074	.803	.707
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
DSi	PC	.234	.370**	.489**	-.096	.439**	1	-.010	-.057	-.062	-.084	-.086	.079	.011	.106	.195
	Sig.	.065	.003	.000	.455	.000		.940	.655	.629	.514	.503	.539	.932	.407	.126
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
TDN	PC	.177	-.133	.177	-.056	.115	-.010	1	-.050	.993**	-.150	.019	.169	.440**	.126	.013
	Sig.	.166	.298	.165	.665	.371	.940		.696	.000	.239	.885	.186	.000	.324	.918
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
TDP	PC	-.041	.004	-.003	-.068	-.032	-.057	-.050	1	-.047	.915**	-.065	.054	-.030	.307*	.194
	Sig.	.749	.976	.980	.594	.805	.655	.696		.716	.000	.613	.673	.814	.014	.128
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
DON	PC	.170	-.160	.071	-.105	-.003	-.062	.993**	-.047	1	-.154	.056	.177	.470**	.131	.008
	Sig.	.182	.211	.580	.414	.979	.629	.000	.716		.228	.660	.164	.000	.306	.953
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
DOP	PC	-.321*	-.066	.015	.044	.023	-.084	-.150	.915**	-.154	1	-.049	.032	-.043	.277*	.170
	Sig.	.010	.606	.907	.731	.856	.514	.239	.000	.228		.705	.802	.738	.028	.182
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
PN	PC	-.160	-.131	-.310*	-.063	-.318*	-.086	.019	-.065	.056	-.049	1	.178	.822**	.127	-.151
	Sig.	.211	.307	.013	.622	.011	.503	.885	.613	.660	.705		.163	.000	.320	.238
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
PP	PC	-.015	.110	-.041	-.093	-.061	.079	.169	.054	.177	.032	.178	1	.269*	.963**	.149
	Sig.	.910	.393	.750	.468	.632	.539	.186	.673	.164	.802	.163		.033	.000	.244
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
TN	PC	-.039	-.165	-.208	-.049	-.227	.011	.440**	-.030	.470**	-.043	.822**	.269*	1	.225	-.058
	Sig.	.761	.196	.101	.702	.074	.932	.000	.814	.000	.738	.000	.033		.076	.652
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
TP	PC	-.010	.125	.000	-.114	-.032	.106	.126	.307*	.131	.277*	.127	.963**	.225	1	.221
	Sig.	.936	.328	.999	.374	.803	.407	.324	.014	.306	.028	.320	.000	.076		.082
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
NPP	PC	.246	.404**	.121	-.262*	.048	.195	.013	.194	.008	.170	-.151	.149	-.058	.221	1
	Sig.	.052	.001	.344	.038	.707	.126	.918	.128	.953	.182	.238	.244	.652	.082	
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63

PC= Pearson Correlation, Sig. (2-tailed)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชนิษฐา อุทัยพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และได้รับพระราชทานโล่ประกาศเกียรติคุณศิษย์ดีเด่นแห่งปีที่วลัยลักษณ์ ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงสมุทรศาสตร์เคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขณะศึกษาวิจัยทั้งในระดับบัณฑิตและมหาบัณฑิต ได้มีส่วนร่วมในการจัดทำบทความที่มีการตีพิมพ์ในวารสารวิจัย และนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการดังต่อไปนี้

บทความที่มีการตีพิมพ์ในวารสาร

Uthaipan, K, Thang, H.N. 2014. Harmful algal bloom detection and monitoring in the Gulf of Thailand and South central of Vietnam. NF-POGO Alumni E-Newletter, 07; 32p.

ผลงานที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ

Uthaipan, K. and Sompongchaiyakul, P. 2014. Stoichiometry and Horizontal Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Dissolved Silica in the Gulf of Thailand. Environmentla Engineering Association of Thailand,

Uthaipan, K., Singharak, P and Sompongchaiyakul, P. 2014. Nutrients, chlorophyll-a and primary productivity in the Gulf of Thailand. Paper will be approved at the 4th Marine Science conference, 10-12 June 2014, held at Prince of Songkla University, Songkla, Thailand. (Oral presentation, in Thai)

Uthaipan, K., Sompongchaiyakul, P. and Thongkao, S. 2011. Application of GIS to indicate suitable area economic shellfish culture in Bandon Bay. In Proceedings of the Walailak Research Conference, 21 June 2012, held at Walailak Walailak University, Nakorn Si Thammarat. Thailand, p.71-72.

