การประยุกต์ใช้บ๊อกซ์โมเดล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำในอ่าวไทยตอนใน

The Application of a Box Model to Investigate the Behavior of Dissolved Inorganic Nutrients in the Inner Gulf of Thailand

ปรัตถกร พรหมโคตร[1], อนุกูล บูรณประทีปรัตน์[1*], อกิฮิโกะ โมริโมโตะ[2], วิชญา กันบัว[1] และ เผชิญโชค จินตเศรณี[1]

Parattagon Phromkot[1], Anukul Buranapratheprat[1], Akihiko Morimoto[2], Vichaya Gunbua[1] and Pachoenchoke Jintasaranee[1]

[1] *ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

[1] *Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University*

[2] *Center for Marine Environmental Studies (CMES), Ehime University, Japan*

Received : 23 May 2019

Revised : 15 July 2019

Accepted : 20 July 2019

บทคัดย่อ

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำในอ่าวไทยตอนในในเดือนสิงหาคม กันยายน พฤศจิกายน ธันวาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน 2558 โดยใช้บ๊อกซ์โมเดลตามวิธีการของ Land-Ocean interactions in the Coastal Zone (LOICZ) ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาพำนักของน้ำจืดที่ยาวนานจะเกิดในช่วงฤดูน้ำมาก และสั้นจะเกิดในช่วงฤดูแล้ง ยาวนานที่สุดในเดือนกันยายน 2557 (28 วัน) และสั้นที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2558 (6 วัน) ค่าเฉลี่ยตลอดปีแสดงให้เห็นการเคลื่อนย้ายออกไปจากระบบของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (ΔDIN) ในปริมาณเท่ากับ 1.53 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน และการปลดปล่อยเข้ามาในระบบของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (ΔDIP) ในปริมาณเท่ากับ 0.09 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำที่ถูกเคลื่อนย้ายออกจากมวลน้ำอาจเนื่องมากจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช และสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกปลดปล่อยเข้ามาในมวลน้ำอาจเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียและการละลายกลับจากตะกอนที่เกิดการฟุ้งกระจาย เมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศ (*p-r*) และผลผลิตสุทธิของไนโตรเจน (*nfix-denit*) มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ –161.65 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน และ – 311.13 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ศึกษาเป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic ที่มีการนำสารอาหารไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าการปลดปล่อยสารอาหารจากกระบวนการย่อยสลาย และเป็นระบบที่เกิดกระบวนการ Denitrification มากกว่า Nitrogen Fixation

คำสำคัญ : งบดุลของสารอาหาร, ระยะเวลาพำนัก, อ่าวไทยตอนใน

*Corresponding author. E-mail : anukul_bu@hotmail.com

Abstract

The researchers have investigated the behavior dissolved inorganic nutrients in the inner Gulf of Thailand in August, September, November and December in 2014 and February, April and June in 2015 by using a box model analysis developed by the Land-Ocean interactions in the Coastal Zone project (LOICZ). Results showed that the residence times was long in wet season and short in dry season, with the longest in September 2014 (28 days) and the shortest in February 2015 (6 days). ΔDIN and ΔDIP referred as the removal or the entering of dissolved inorganic nitrogen and dissolved inorganic phosphorus in the box system have yearly average values of -1.53 mmol/m^2/day and +0.09 mmol/m^2/day, respectively. The removal of dissolved inorganic nitrogen from the water column may be related to photosynthesis by phytoplankton, and the entering of dissolved inorganic phosphorus in the water column is possibly connected to the decomposition of organic material by bacteria and sediment resuspension. The annual averages of net ecosystem metabolism (*p-r*) and net nitrogen production (*nfix-denit*) were –161.65 mmol/m^2/day and -311.63 mmol/m^2/day, respectively. These results suggest that the ecosystem in this area be heterotrophic since the decomposition is larger than the photosynthesis, and denitrification overcomes nitrogen fixation.

Keywords: nutrient budgets, residence time, inner Gulf of Thailand

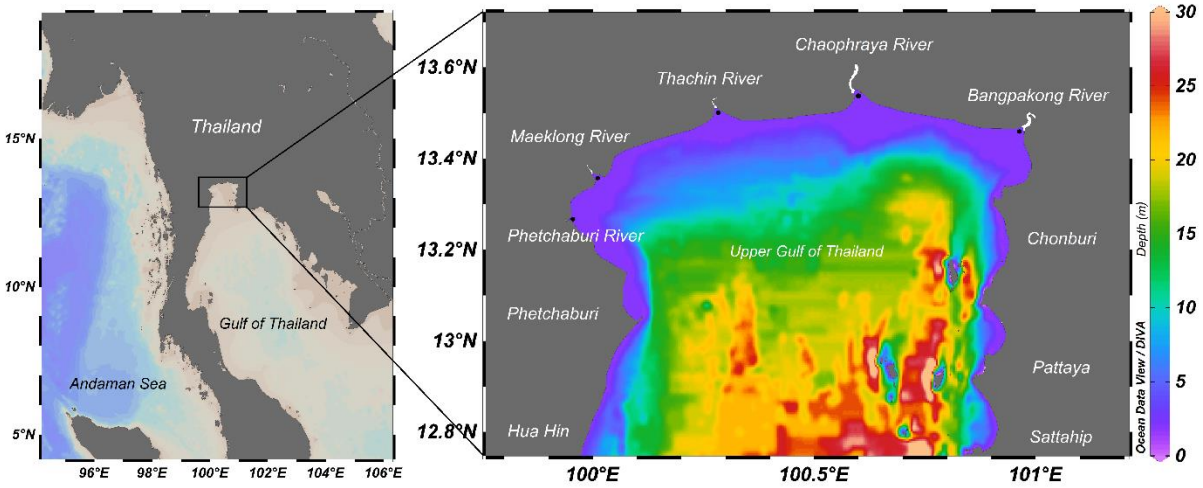
บทนำ

อ่าวไทยตอนในเป็นอ่าวกึ่งปิดมีด้านเปิดทางทิศใต้เชื่อมต่อกับทะเลอ่าวไทยตอนกลาง มีลักษณะเป็นเอสทูรีขนาดใหญ่รองรับธาตุอาหารและสารอินทรีย์จากแม่น้ำสายหลัก 5 สาย ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง (ภาพที่ 1) (Buranapratheprat *et al*., 2008) ทำให้บริเวณนี้มีความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติสูง และเป็นแหล่งประมงที่สำคัญของประเทศไทย แต่การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารที่มากเกินไป ก่อให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) บริเวณอ่าวไทยตอนใน (Cheevaporn & Menasveta, 2003)

การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การระบายน้ำทิ้งของชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการปลดปล่อยจากตะกอนแขวนลอย ส่วนการลดลงหรือสูญหายของธาตุอาหารในระบบนิเวศมีสาเหตุมาจากกระบวนการตกตะกอน หรือถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช (Libes, 2009) ธาตุอาหารเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบฟอสฟอรัส หากมีมากเกินไปจะไปกระตุ้นให้ผู้ผลิตเบื้องต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Plankton bloom) เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Red tide) เปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล เช่น การเกิดสภาพออกซิเจนละลายน้ำต่ำ (Hypoxia condition) หรือสภาพออกซิเจนละลายน้ำเป็นศูนย์ (Anoxic condition) จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ระบบนิเวศของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง (Department of Water Affairs and Forestry, 2002) ความเข้าใจกระบวนการชีวธรณีเคมีในแหล่งน้ำด้วยการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการอธิบายปฏิสัมพันธ์ของสารในแหล่งน้ำและสภาวะยูโทรฟิเคชันได้ เนื่องจากกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีภาพของแหล่งน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจาก

การผสมผสานของมวลน้ำจืดและน้ำทะเลตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารไปมาระหว่างสิ่งมีชีวิตกับระบบนิเวศ ซึ่งการผันแปรของสารอาหารที่เกิดขึ้นมีความสลับซับซ้อน และเกิดขึ้นได้ทั้งเพิ่มขึ้นและสูญหายออกจากระบบ (Department of Marine and Coastal Resources, 2005)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารบริเวณอ่าวไทยตอนในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีขึ้นบ่อยครั้ง ด้วยการคำนวณงบดุลของสารตามวิธีการบ๊อกซ์โมเดล (Box model) ที่พัฒนาโดย Land – Ocean Interactions in the Coastal Zone Project (LOICZ) (Gordon *et al*., 1996) โดยมีพื้นฐานมาจากข้อมูลคุณภาพน้ำ เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของการเกิดยูโทรฟิเคชัน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมในบริเวณอ่าวไทยตอนในต่อไปได้



ภาพที่ 1 อ่าวไทยตอนในแสดงความลึกของพื้นทะเล (Hydrographic Department, 2014)

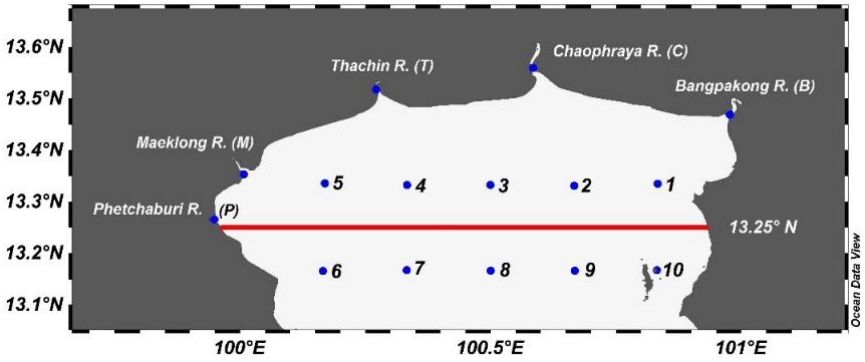
วิธีดำเนินงานวิจัย

เก็บข้อมูลภาคสนามบริเวณปากแม่น้ำและทะเลอ่าวไทยตอนในในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม 2557 ถึงเดือนมิถุนายน 2558 ทั้งสิ้น 7 ครั้ง แต่ละครั้งมีระยะห่างกันประมาณ 45 วัน (ตารางที่ 1) โดยเก็บตัวอย่างสถานีในปากแม่น้ำ 5 สถานี ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี (P) แม่น้ำแม่กลอง (M) แม่น้ำท่าจีน (T) แม่น้ำเจ้าพระยา (C) และแม่น้ำบางปะกง (B) และเก็บตัวอย่างสถานีในอ่าวไทยตอนใน 10 สถานี ด้วยเรือวิจัยเกษตรศาสตร์ ทำการตรวจวัดข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิและความเค็ม ด้วยเครื่อง CTD (Conductivity, Temperature, and Depth) รุ่น AAQ-Rinko Profiler ยี่ห้อ JFE Advantech เก็บตัวอย่างน้ำทะเลด้วยกระบอกเก็บน้ำชนิด Kemmerer ที่ระดับความลึก 1 เมตร และระดับความลึกเหนือพื้นทะเล 1 เมตร ระดับละ 3 ซ้ำ กรองน้ำด้วยแผ่นกรอง GF/C และนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองไปแช่แข็งเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen: DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท และสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus: DIP) ได้แก่ ออโธฟอสเฟต ตามวิธีการของ (Strickland & Parsons, 1972)

ศึกษางบดุลของสารโดยกำหนดให้ขอบเขตของบ๊อกซ์โมเดลครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนในทางด้านทิศเหนือซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเกือบตลอดทั้งปี มีขอบเขตของบ๊อกซ์ทางด้านทิศใต้ตามแนวละติจูดที่ 13.25 องศาเหนือ การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดมวลน้ำภายในบ๊อกซ์อยู่ในสภาวะเสถียร (Steady state) มีการผสมผสานกันของมวลน้ำแบบสมบูรณ์ (Well mixed) ปริมาตรของน้ำในอ่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยขอบเขตบ๊อกซ์มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2,626.45 ล้านตารางเมตร และมีปริมาตรเท่ากับ 25,537.90 ล้านลูกบาศก์เมตร กำหนดให้สถานีบริเวณปากแม่น้ำ (สถานี P, M, T, C และ B) เป็นทางเข้าของน้ำจืดและสารต่าง ๆ ในบ๊อกซ์ และกำหนดทางออกของสารทางด้านทิศใต้ที่บริเวณขอบเขตเปิด (Open boundary) โดยให้สถานีที่ 6 ถึง 10 (ภาพที่ 2) เป็นตัวแทนของค่าพารามิเตอร์นอกบ๊อกซ์ทางด้านทะเล

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา

ครั้งที่	สถานีบริเวณปากแม่น้ำ	สถานีบริเวณอ่าวไทยตอนใน	ช่วงฤดูกาล
1	1 สิงหาคม 2557	8-10 สิงหาคม 2557	ฤดูน้ำมาก
2	15 กันยายน 2557	22-24 กันยายน 2557	
3	28 พฤศจิกายน 2557	5-7 พฤศจิกายน 2557	เปลี่ยนจากฤดูน้ำมากเป็นฤดูแล้ง
4	16 ธันวาคม 2557	18-20 ธันวาคม 2557	
5	24 กุมภาพันธ์ 2558	16-18 กุมภาพันธ์ 2558	ฤดูแล้ง
6	30 มีนาคม 2558	2-4 เมษายน 2558	
7	12 มิถุนายน 2558	14-16 มิถุนายน 2558	เปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูน้ำมาก



ภาพที่ 2 ขอบเขตบ๊อกซ์โมเดลบริเวณอ่าวไทยตอนใน จุดแสดงพิกัดสถานีเก็บตัวอย่างและเส้นทึบแสดงขอบเขตของบ๊อกซ์

ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในเดือนที่ทำการสำรวจใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าดังตารางที่ 2 (Royal Irrigation Department, 2015) ปริมาณน้ำฝน และปริมาณการระเหยของน้ำเฉลี่ยรายเดือนใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนในดังตารางที่ 3 (Meteorological Department, 2015) ปริมาณน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำจากแหล่งอื่น ๆ กำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากมีปริมาณที่ไม่แน่นอนแม้จะมีรายงานการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ก็ตาม (Dulaiova *et al*., 2006)

ตารางที่ 2 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า

แม่น้ำ	สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า
แม่น้ำเพชรบุรี (P)	สถานี B.10 (อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี)
แม่น้ำแม่กลอง (M)	สถานี TD.05 (อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี) รวมกับสถานี TD.10 (อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี)
แม่น้ำท่าจีน (T)	สถานี TC.23 (อำเภอศรีประจัน จังหวัดสุพรรณบุรี) รวมกับสถานี TD.19 (อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม)
แม่น้ำเจ้าพระยา (C)	สถานี C.2 (อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์)
แม่น้ำบางประกง (B)	สถานี Kgt. 9 (อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว)

ตารางที่ 3 สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา (1 = สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน,
2 = สถานีตรวจวัดปริมาณการระเหย)

จังหวัด	สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา
ประจวบคีรีขันธ์	หัวหิน[1,2]
เพชรบุรี	อำเภอเมือง[1,2]
สมุทรสงคราม	อำเภอเมือง[1,2]
สมุทรสาคร	อำเภอเมือง[1,2]
สมุทรปราการ	นำร่อง[1]
ชลบุรี	อำเภอเมือง[1,2], เกาะสีชัง[1], แหลมฉบัง[1], พัทยา[1,2], สัตหีบ[1]

งานวิจัยประกอบด้วยการพิจารณางบดุลของน้ำ (Water budget) งบดุลของเกลือ (Salt budget) งบดุลของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์ (Non-conservative material budgets) ได้แก่ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ และสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และปฏิสัมพันธ์ของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์ (Stoichiometric linkages of non-conservative material budgets) ในรูปของเมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศและผลผลิตสุทธิของไนโตรเจน ตามวิธีการของ LOICZ (Gordon *et al*., 1996)

ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากบ๊อกซ์สุทธิ (Residual flow; V_R) สามารถคำนวณได้จากผลต่างของมวลน้ำที่ไหลเข้าสู่บอกซ์และไหลออกจากบ๊อกซ์ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า (V_Q) ปริมาณน้ำฝน (V_P) ปริมาณน้ำระเหย (V_E) ปริมาณน้ำใต้ดิน (V_G) และปริมาณน้ำจากแหล่งอื่น ๆ (V_O) ตามสมการที่ 1

$$dV_S/dt = V_Q + V_P - V_E + V_G + V_O + V_R \quad (1)$$

เนื่องจากเป็นการศึกษาในสภาวะเสถียร ทำให้เทอมการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (dV_S/dt) มีค่าเป็นศูนย์ และไม่รวมน้ำใต้ดินและน้ำจากแหล่งอื่น ๆ ในการพิจารณา จึงเขียนสมการที่ 1 ได้ใหม่ดังสมการที่ 2

$$V_R = -(V_Q + V_P - V_E) \quad (2)$$

งบดุลของเกลือ หรือ สมดุลการไหลในรูปแบบของ Exchange volume (V_X) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$V_X = -(V_R S_R/(S_O - S_S)) \quad (3)$$

โดยที่ค่าความเค็มของปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบ (S_R = (S_S+S_O)/2) เป็นค่าความเค็มเฉลี่ยระหว่างความเค็มภายในบ๊อกซ์ (S_S) กับความเค็มบริเวณทะเลเปิด (S_O) ค่า V_R และ V_X ที่หาได้ สามารถนำมาคำนวณระยะเวลาพำนักของน้ำจืด (Residence time; τ) ได้ตามสมการที่ 4

$$\tau = V_S/(V_X + |V_R|) \quad (4)$$

โดยที่ V_S คือ ปริมาตรน้ำภายในบ๊อกซ์ (25,537.90 ล้านลูกบาศก์เมตร) เครื่องหมายเป็นสิ่งแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของน้ำหรือสารต่าง ๆ ถ้าเป็นบวกหมายถึงทิศทางเข้าสู่บ๊อกซ์ ถ้าเป็นลบหมายถึงทิศทางออกจากบ๊อกซ์ หน่วยของ Exchange volume คือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเค็มเป็นพีเอสยู และเวลาเป็นวินาที

งบดุลของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์ ได้แก่ DIN และ DIP คำนวณโดยการนำค่า V_R และ V_X ของสมดุลน้ำและเกลือมาใช้ในการพิจารณา นอกจากปัจจัยทางกายภาพแล้ว สารเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้จากกระบวนการทางชีวธรณีเคมี ซึ่งการประเมินฟลักซ์สุทธิของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสาร Y ใด ๆ ภายในระบบ (Residual flux; ΔY) คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$d(V_S Y_S)/dt = V_Q Y_Q + V_R Y_R + V_X(Y_O - Y_S) + \Delta Y \quad (5)$$

โดยที่ $d(V_S Y_S)/dt$ คือ การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณสารใด ๆ ในบ๊อกซ์ Y_R คือ ค่าของสารในปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบ (Y_R = (Y_S + Y_O)/2) Y_S และ Y_O คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารภายในบ๊อกซ์ และภายนอกบ๊อกซ์ ตามลำดับ Y_Q คือความเข้มข้นของสารในน้ำท่า เนื่องจากเป็นการศึกษาในสภาวะเสถียร ทำให้เทอมการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ($d(V_S Y_S)/dt$) มี

ค่าเป็นศูนย์ และอยู่บนพื้นฐานที่ไม่พิจารณาแหล่งของสารที่มาจากน้ำใต้ดิน จากฝนและแหล่งอื่น ๆ ทำให้สมการที่ 5 สามารถนำมาจัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ 6 เพื่อใช้ในการคำนวณหา ΔY ได้ดังนี้

$$\Delta Y = V_X(Y_S - Y_O) - V_Q Y_Q - V_R Y_R \quad (6)$$

ถ้า ΔY มีค่าเป็นบวก ในกรณีของสารอาหารในน้ำ หมายความว่า ในบ๊อกซ์หรือพื้นที่ศึกษามีสารใด ๆ เพิ่มเติมเข้ามาจากกระบวนการชีวธรณีเคมี เช่น เกิดจากการย่อยสลายของแบคทีเรียปลดปล่อยสารเข้ามาสู่ในมวลน้ำมากกว่าการถูกนำไปใช้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และในทางตรงข้าม หาก ΔY มีค่าเป็นลบ ก็สามารถแปลความหมายของผลที่ได้ในทางตรงกันข้าม ในที่นี้เราจะใช้สัญลักษณ์ ΔDIN และ ΔDIP เป็นตัวแทนฟลักซ์สุทธิของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ และสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ ตามลำดับ

ปฏิสัมพันธ์ของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์ ได้แก่ เมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศ (Net Ecosystem Metabolism; NEM) และผลผลิตสุทธิของไนโตรเจน (Net Nitrogen Production; NNP) โดยคำนวณเมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศได้จากความแตกต่างระหว่างการสร้างสารอินทรีย์โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชกับการใช้สารอินทรีย์โดยการหายใจของสิ่งมีชีวิต (Primary Production – Respiration; *p-r*) โดยมีสมมติฐานว่า DIP ที่หายไปเกิดจากแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างสารคาร์บอนอินทรีย์ตามสมการการสังเคราะห์ด้วยแสงของ Redfield (1958) สามารถคำนวณ (*p-r*) ได้ดังนี้ (*p-r*) = -106(ΔDIP) หลังจากคำนวณแล้วพบว่า (*p-r*) มีค่าเป็นบวก แสดงว่าพื้นที่ศึกษามีการนำเอาสารอาหารไปใช้เพื่อสังเคราะห์แสงมากกว่าการปลดปล่อยสารอาหารจากกระบวนการย่อยสลาย หรือเป็นระบบนิเวศแบบ Autotrophic และหาก (*p-r*) มีค่าเป็นลบ แสดงว่าพื้นที่ศึกษามีการดึงเอาสารอาหารไปใช้เพื่อสังเคราะห์แสงน้อยกว่าการปลดปล่อยสารอาหารจากกระบวนการย่อยสลาย หรือเป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic

คำนวณผลผลิตสุทธิของไนโตรเจนได้จากผลต่างระหว่างการสร้างไนโตรเจนโดยกระบวนการ Nitrogen Fixation กับการใช้ไนโตรเจนโดยกระบวนการ Denitrification (Nitrogen Fixation – Denitrification; *nfix-denit*) โดยมีสมมติฐานว่า ΔDIN คือสารอินทรีย์ในระบบที่เป็นแพลงก์ตอนพืช ซึ่งมีค่า N:P = 16:1 (Redfield ratio) สามารถคำนวณ (*nfix-denit*) ได้ดังนี้ (*nfix-denit*) = ΔDIN – 16(ΔDIP) หลังจากคำนวณแล้วพบว่า (*nfix-denit*) มีค่าเป็นบวก แสดงว่าในพื้นที่ศึกษาเกิดกระบวนการ Nitrogen Fixation มากกว่ากระบวนการ Denitrification และหาก (*nfix-denit*) มีค่าเป็นลบแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบในลักษณะที่ตรงข้ามกัน

ผลการวิจัย

ข้อมูลเฉลี่ยของความเค็มและสารอนินทรีย์ละลายน้ำที่ใช้สำหรับศึกษางบดุลของสารในระบบของบ๊อกซ์โมเดล แสดงในตารางที่ 4 ความเค็มของน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำมีค่าต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีค่อนข้างสูงตามฤดูกาล โดยมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้งและมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ความเค็มภายในบ๊อกและทะเลเปิดมีค่าสูงมากกว่า 30 พีเอสยู เกือบตลอดทั้งปี แม้จะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ความเค็มในทะเลเปิดมีค่าสูงกว่าความเค็มภายในบ๊อกในทุกช่วงเวลา ยกเว้นในเดือนกุมภาพันธ์ที่ความเค็มในทะเลเปิดมีค่าสูงกว่าความเค็มภายในบ๊อกซ์เล็กน้อย ปริมาณของ DIN และ DIP ที่บริเวณปากแม่น้ำมีค่าสูงกว่าค่าภายในบ๊อกซ์และในทะเลเปิดตลอดปี แสดงให้เห็นว่าแหล่งของสารอาหารเหล่านี้มาจากน้ำท่าจากแม่น้ำ

ที่ไหลลงสู่ทะเล ค่า DIN ที่บริเวณปากแม่น้ำมีความแตกต่างกันในรอบปีค่อนข้างมาก ต่างจาก DIP ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่บริเวณปากแม่น้ำค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณความเค็ม และสารอาหารในอ่าวไทยตอนในบริเวณปากแม่น้ำ ภายในบ๊อกซ์ และทะเลเปิด

พารามิเตอร์		ช่วงเวลาของการศึกษา						
		ส.ค. 2557	ก.ย. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ก.พ. 2558	เม.ย. 2558	มิ.ย. 2558
ความเค็ม (psu)	ปากแม่น้ำ	13.71	9.43	18.88	24.63	26.71	22.50	22.87
	ภายในบ๊อกซ์	30.69	27.51	30.62	31.28	32.07	32.03	31.85
	ทะเลเปิด	32.37	31.44	31.42	31.47	31.98	32.24	32.58
DIN (µM)	ปากแม่น้ำ	38.63	55.91	22.83	55.42	35.61	219.95	98.01
	ภายในบ๊อกซ์	1.14	6.72	9.98	13.07	2.34	18.43	12.29
	ทะเลเปิด	0.46	1.96	7.97	11.72	3.32	18.75	14.52
DIP (µM)	ปากแม่น้ำ	6.29	5.73	4.17	5.50	4.49	6.05	4.38
	ภายในบ๊อกซ์	0.59	2.07	0.69	1.10	0.55	0.50	0.69
	ทะเลเปิด	0.31	0.30	0.36	0.15	0.40	0.36	0.33

ผลการศึกษาในตารางที่ 5 พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากบ๊อกซ์ออกสู่ทะเลสุทธิ (V_R) มีค่ามากที่สุดในเดือนกันยายน 2557 ในปริมาณ 144.45 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีค่าน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม 2557 ในปริมาณ 52.31 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน Exchange volume (V_X) มีค่ามากที่สุดในเดือนเมษายน 2558 (+3,889.37 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และมีค่าน้อยที่สุดในเดือนกันยายน 2557 (+766.04 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ 2558 มีค่า (V_X) เป็นลบ (-4,127.84 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) เนื่องจากค่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน (32.07 psu) มีค่าสูงกว่าค่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลภายนอกเล็กน้อย (31.98 psu) ทำให้น้ำทะเลภายนอกที่ควรไหลเข้าสู่บ๊อกซ์กลายเป็นไหลออกจากบ๊อกซ์แทน (ตารางที่ 5) ระยะเวลาพำนักของน้ำในบ๊อกซ์มีค่ามากในช่วงฤดูน้ำมาก (สิงหาคม, กันยายน, พฤศจิกายน 2557 และมิถุนายน 2558) ซึ่งเดือนกันยายน 2557 มีระยะเวลาพำนักของน้ำยาวนานที่สุด (28 วัน) และในช่วงฤดูแล้งระยะเวลาพำนักของน้ำในอ่าวไทยตอนในมีค่าต่ำ (ธันวาคม 2557, กุมภาพันธ์ และเมษายน 2558) ซึ่งเดือนกุมภาพันธ์ 2558 มีระยะเวลาพำนักของน้ำสั้นที่สุด (6 วัน) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำระเหย (V_E), ปริมาณน้ำฝน (V_P), ปริมาณน้ำท่า (V_Q), Residual flow (V_R), Exchange flow (V_X) และ Residence time (τ) ในอ่าวไทยตอนใน (ค่าบวกหมายถึง มีทิศทางเข้าสู่บ๊อกซ์ ค่าลบหมายถึง มีทิศทางออกสู่ทะเล)

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงเวลาของการศึกษา						
		ส.ค. 2557	ก.ย. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ก.พ. 2558	เม.ย. 2558	มิ.ย. 2558
V_E	10^6 m^3/day	-0.41	-0.38	-0.34	-0.36	-0.40	-0.49	-0.44
V_P		+8.59	+12.58	+5.74	+1.68	+0.70	+4.46	+7.89
V_Q		+124.50	+132.30	+87.70	+51.00	+68.10	+71.50	+85.90
V_R		-132.66	-144.45	-93.05	-52.31	-68.39	-75.50	-93.39
V_X		+1,473.90	+766.04	+1,539.47	+2,028.12	-4,127.84	+3,889.37	+1,428.92
τ	Days	16	28	16	12	6	7	17

ผลการศึกษาจากตารางที่ 6 พบว่า ค่า Δ*DIN* เฉลี่ยตลอดทั้งปี เท่ากับ –1.53 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าโดยภาพรวมแล้วมี DIN หายไปจากบ๊อกซ์จากกระบวนการทางชีวเคมี เมื่อพิจารณาค่า Δ*DIN* รายเดือนพบว่ามีค่าเป็นลบในเดือนสิงหาคม เดือนกันยายน 2557 และเดือนเมษายน และเดือนมิถุนายน 2558 โดยพบค่า Δ*DIN* เป็นลบสูงที่สุดในเดือนเมษายน 2558 (–5.93 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) Δ*DIN* มีค่าเป็นบวกในเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 แสดงว่ามี DIN เพิ่มเข้ามาในบ๊อกซ์ในช่วงเวลานี้ พบค่า Δ*DIN* เป็นบวกสูงที่สุดในเดือนพฤศจิกายน 2557 (+0.73 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) สำหรับกรณีของ DIP นั้นพบว่า Δ*DIP* เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ +0.09 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาค่า Δ*DIP* รายเดือนพบว่า มีค่าเป็นบวกในเดือนกันยายน เดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม 2557 และเดือนเมษายน เดือนมิถุนายน 2558 โดยพบค่าเป็นบวกสูงที่สุดในเดือนธันวาคม 2557 (+0.64 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) Δ*DIP* มีค่าเป็นลบในเดือนสิงหาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 แสดงถึงการหายไปของ DIP จากบ๊อกซ์ โดยพบค่าเป็นลบสูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2558 (-0.35 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน)

ตารางที่ 6 งบดุลของของสาร และงบดุลปฏิสัมพันธ์ของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์ (หน่วย: มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน)

พารามิเตอร์	ช่วงเวลาของการศึกษา							
	ส.ค. 2557	ก.ย. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ก.พ. 2558	เม.ย. 2558	มิ.ย. 2558	ค่าเฉลี่ย
Δ*DIN*	-1.41	-1.03	+0.73	+0.21	+0.70	-5.93	-3.95	-1.53
Δ*DIP*	-0.12	+0.29	+0.07	+0.64	-0.35	+0.06	+0.07	+0.09
(*p-r*)	-149.15	-109.58	+77.83	+22.35	+73.78	-628.55	-418.2	-161.65
(*nfix-denit*)	+432.28	-802.32	+139.35	+343.79	-625.26	-932.27	-733.47	-311.13

(*p-r*) มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นลบ (–161.65 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) แสดงให้เห็นว่าภายในบ๊อกซ์เป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic เมื่อพิจารณาค่า (*p-r*) รายเดือนพบว่าเดือนสิงหาคม กันยายน 2557 และเมษายน มิถุนายน 2558 มีค่า (*p-r*) เป็นลบ โดยมีค่าเป็นลบมากที่สุดในเดือนเมษายน 2558 (–628.55 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) และมีค่าเป็นบวกในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 แสดงถึงระบบนิเวศแบบ Autotrophic โดย (*p-r*) เป็นบวกมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน 2557 (+77.83 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) (*nfix-denit*) มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นลบ (-311.13 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) แสดงให้เห็นว่าภายในบ๊อกซ์เป็นระบบ Denitrification เมื่อพิจารณาค่า (*nfix-denit*) รายเดือนพบว่ามีค่าเป็นบวกในเดือนสิงหาคม พฤศจิกายน และธันวาคม 2557 (*nfix-denit*) โดยมีค่าเป็นบวกมากที่สุดในเดือนสิงหาคม 2557 (+432.28 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) แสดงว่าภายในบ๊อกซ์เป็นระบบ Nitrogen Fixation มีค่าเป็นลบในเดือนกันยายน 2557 และกุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน 2558 โดย (*nfix-denit*) เป็นลบมากที่สุดในเดือนเมษายน 2558 (-932.27 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) แสดงว่าภายในบ๊อกซ์เป็นระบบแบบ Denitrification

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษางบสมดุลของน้ำและเกลือในบ๊อกซ์โมเดลบริเวณอ่าวไทยตอนในพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำท่า (V_Q) ปริมาณน้ำฝน (V_P) ปริมาณการระเหยของน้ำ (V_E) ที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล สอดคล้องกับการศึกษางบดุลของน้ำและเกลือในอ่าวไทยตอนในของ Sutthasom (2013) และ Wattayakorn & Jaiboon (2014) โดยพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่าวไทยตอนในมีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูน้ำมากเดือนสิงหาคม และกันยายน 2557 และไหลออกจากอ่าวไทยตอนในน้อยที่สุดในช่วงฤดูแล้งเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนเมษายน 2558 ดังนั้นปริมาณเกลือสุทธิที่ไหลออกจากระบบจึงมีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูน้ำมากและมีค่าน้อยที่สุดในช่วงฤดูแล้ง ผลการศึกษาเป็นไปตามทฤษฎีของ Gordon *et al*. (1997) แต่จากการศึกษาระยะเวลาพำนักของน้ำพบว่า ให้ผลขัดแย้งกับการศึกษาของ Sutthasom (2013) และ Wattayakorn & Jaiboon (2014) ที่พบว่าช่วงฤดูน้ำมากมีระยะเวลาพำนักของน้ำสั้น ช่วงฤดูแล้งมีระยะเวลาพำนักของน้ำยาว จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการศึกษานี้กำหนดขอบเขตบ๊อกซ์โมเดลในอ่าวไทยตอนในใกล้ปากแม่น้ำและมีขนาดเล็กกว่าการศึกษาของ Sutthasom (2013) และ Wattayakorn & Jaiboon (2014) ทำให้ปริมาตรน้ำภายในระบบบ๊อกซ์มีความแตกต่างกันถึง 6 เท่า แต่ปริมาณน้ำท่าที่ไหลสู่อ่าวไทยตอนในไม่แตกต่างกันมากนัก ส่งผลให้น้ำท่ามีอิทธิพลสูงในพื้นที่ศึกษา น้ำจืดปริมาณมากที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในในช่วงฤดูน้ำมากผสมผสานอยู่ภายในอ่าว ซึ่งได้รับอิทธิพลร่วมจากลมและกระแสน้ำ ทำให้ผลต่างระหว่างความเค็มภายในบ๊อกซ์กับทะเลภายนอกมีความแตกต่างกันมาก ปริมาณน้ำทะเลที่แลกเปลี่ยนกันระหว่างสองบริเวณนี้จึงมีค่าน้อย (Gordon *et al*., 1997) ส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของน้ำยาวนานในช่วงฤดูน้ำมาก ต่างจากในฤดูแล้งที่พบว่าความเค็มภายในบ๊อกซ์กับทะเลภายนอกมีความแตกต่างกันน้อย แสดงถึงการผสมผสานกันดีของมวลน้ำในสองบริเวณ ส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของน้ำสั้นในช่วงฤดูแล้ง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Mayer *et al*. (2015) ที่ศึกษาระยะเวลาพำนักของน้ำบริเวณไหล่ทวีปซุนดา (Sunda Shelf Seas) อย่างไรก็ตามในช่วงที่มีระยะเวลาพำนักของน้ำยาวนาน ทำให้แร่ธาตุและสารอาหารที่ปนเปื้อนมากับน้ำจืดเกิดกระบวนการทางชีวธรณีเคมีได้ดีขึ้น อาจกล่าวได้ว่ายิ่งมวลน้ำมีระยะเวลาพำนักของน้ำยาวนานโอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันยิ่งมีมากขึ้น

จากการศึกษาพฤติกรรมของ DIN พบว่า ตลอดการศึกษาไนโตรเจนมีแนวโน้มเคลื่อนย้ายออกจากอ่าวไทยตอนใน ΔDIN เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ -1.53 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในเป็นพื้นที่ทำให้เกิดการ

หายไป (Sink) ของไนโตรเจน และมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting factor) โดย DIN ที่เข้าสู่อ่าวไทยตอนในอาจถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช สอดคล้องกับการศึกษาของ Sutthasom (2013) และ Wattayakorn & Jaiboon (2014) แต่เมื่อพิจารณา DIN ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูน้ำมากเป็นช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ธันวาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558) พบว่า DIN มีแนวโน้มของการปลดปล่อยเข้าสู่มวลน้ำ (Source) ที่อาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ส่วนพฤติกรรมของ DIP พบว่า ΔDIP มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ +0.09 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งปลดปล่อยฟอสเฟตที่อาจเป็นผลมาจากกระบวนการย่อยสลายและละลายออกมาจากตะกอนที่ฟุ้งกระจาย (Re-suspended sediment) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sutthasom (2013) ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตในอ่าวไทยตอนในเกิดจากการปลดปล่อยของตะกอนดินและการย่อยสลายของแบคทีเรีย ซึ่งเกิดขึ้นได้ดีในช่วงฤดูน้ำมาก

ตลอดการศึกษาพฤติกรรมของสารที่มีพฤติกรรมไม่อนุรักษ์พบว่า (*p-r*) มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นลบ (–161.65 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในเป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic มีอัตราการย่อยสลายมากกว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าตามฤดูกาลพบว่า ช่วงฤดูน้ำมาก (สิงหาคม และกันยายน 2557) (*p-r*) มีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูแล้ง (เมษายน และมิถุนายน 2558) อาจเนื่องจากช่วงฤดูน้ำมากมีธาตุอาหารสูง มีระยะเวลาพำนักของน้ำจืดยาวนาน เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชและกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรีย ซึ่งลดทอนประสิทธิภาพของกันละกัน ทำให้ (*p-r*) มีค่าติดลบน้อยกว่า ตรงกันข้ามกับช่วงฤดูแล้งที่มีธาตุอาหารน้อยและระยะเวลาพำนักของน้ำจืดสั้น มีสภาวะไม่เหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่กระบวนการย่อยสลายและกระบวนการหายใจยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ (*p-r*) มีค่าติดลบสูงในฤดูกาลนี้ และการที่อ่าวไทยตอนในมีค่า (*nfix-denit*) เฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นลบ (- 311.13 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวัน) นั้น แสดงว่าเป็นระบบนิเวศที่มีกระบวนการ Denitrification เด่นกว่ากระบวนการ Nitrogen Fixation ซึ่งสอดคล้องกับการเป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic ที่มีกระบวนการย่อยสลายเด่นกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของพื้นที่นี้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพฤติกรรมของสาร ได้แก่ งบดุลของน้ำ งบดุลของเกลือ ฟลักซ์สุทธิของ DIN และ DIP (*p-r*) และ (*nfix-denit*) โดยการประยุกต์ใช้บ๊อกซ์โมเดลตามวิธีการของ LOICZ ในอ่าวไทยตอนในระหว่างเดือนสิงหาคม 2557 ถึงเดือนมิถุนายน 2558 สรุปได้ว่าระยะเวลาพำนักของน้ำจืดในอ่าวไทยตอนในมีความแตกต่างกันในรอบปีตามปริมาณน้ำท่า โดยพบว่าระยะเวลาพำนักของน้ำยาวในช่วงฤดูน้ำมากและสั้นในช่วงฤดูแล้ง พฤติกรรมของสารอาหาร DIN และ DIP ในอ่าวไทยตอนในมีความแตกต่างกันในรอบปี โดยพบว่าเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการหายไป (Sink) ของ DIN และปลดปล่อย (Source) ของ DIP เป็นพื้นที่ที่มีแนวโน้มเป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic ที่มีการนำเอาสารอาหารไปใช้เพื่อสังเคราะห์แสงน้อยกว่าการปลดปล่อยสารอาหารออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นระบบที่มีกระบวนการ Denitrification เด่นกว่ากระบวนการ Nitrogen Fixation

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของนิสิตภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ ขอขอบคุณภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก Core-to-Core Program และ JSPS Grants-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI) จากประเทศญี่ปุ่น

เอกสารอ้างอิง

Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Matsumura, S. (2008). Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, *28*(17), 2509-2522.

Cheevaporn, V. and Menasveta, P. (2003). Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, *47*, 43-51.

Department of Marine and Coastal Resources. (2005). *Environmental and Living Resources Assessment in the Bangpakong Estuary*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)

Department of Water Affairs and Forestry. (2002). *National Eutrophication Monitoring Programme Design*. n.p.

Dulaiova, H., Burnett, W.C., Wattayakorn, G., Sojisuporn, P. (2006). Are groundwater inputs into river-dominated areas important? The Chao Phraya River—Gulf of Thailand. *Limnology and Oceanography*, *51*(5), 2232 – 2247.

Gordon, D. C., Boudreau, P. R., Mann, K. H., Ong, J. E., Silvert, W. L., Smith, S.V., Wattayakorn, G., Wulff, F., & Yanagi, T. (1996). *LOICZ Biogeochemical Modelling Guideslines*. (2nd ed.). Netherlands: Netherlands institute for sea research.

Hydrographic Department. (2014). *Electronic Navigational Chart No. 001 Prachuap Khirkhan to Chuang* [Map]. Bangkok: Royal Thai Navy. (in Thai)

Libes, S. M. (2009). *Introduction to Marine Biogeochemistry*. (2nd ed.). United States of America: Elsevier.

Mayer, B., Stacke, T., Stottmeister, I., & Pohlmann, T. (2015). Sunda Shelf Seas: flushing rates and residence times. *Ocean Science Discussions*, *12*(3), 863-895.

Meteorological Department. (2015). *Rain fall and Evaporation* [Electronic data]. Bangkok: Ministry of Information and Communication Technology. (in Thai)

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

Royal Irrigation Department. (2015). *Water Discharge* [Electronic data]. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. (2nd ed.). Canada: Fisheries Research Board of Canada.

Sutthasom, N. (2013). *Seasonal variations of nutrient budgets in the inner gulf of Thailand*. Thesis of Master of Science Program, Environmental Science, Faculty of Science, Burapha University. (in Thai)

Wattayakorn, G., & Jaiboon, P. (2014). An assessment of biogeochemical cycles of nutrient in the Inner Gulf of Thailand. *European Chemical Bulletin*, *3*(1), 50-54.