

การใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน

A Hydrodynamic Model for the Study of the Seasonal Variation in the Residence Time of Water Mass in the Inner Gulf of Thailand

ดุษฎี หลินวรรัตน์, ศิราพร ทองอุดม และ อนุกูล บุรณประทีปรัตน์

Dudsadee Leenawarat, Siraporn Tong-U-dom and Anukul Buranapratheprat

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Aquatic science, Faculty of Science, Burapha University

Received : 14 September 2018

Revised : 1 November 2018

Accepted : 4 December 2018

บทคัดย่อ

ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในในแต่ละฤดูกาลถูกศึกษาโดยใช้แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำ Princeton Ocean Model (POM) ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายของสารอนินทรีย์ พบว่าการไหลเวียนกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ตามลำดับในบริเวณอ่าวไทยตอนในส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นลง โดยระยะเวลาพำนักของมวลน้ำมีค่าสั้นที่สุดเป็นเวลา 101 วันในเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่การไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่วนระยะเวลาพำนักที่ยาวที่สุดเป็นเวลา 219 วัน เกิดขึ้นในเดือนมกราคมและกันยายนซึ่งเป็นช่วงที่กระแสน้ำมีความผันผวน ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ พบว่าผลส่งผลให้ระยะเวลาพำนักสั้นลงในทุก ๆ เดือน และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักน้ำตามฤดูกาล น้ำขึ้นน้ำลงส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำยาวนานขึ้น ส่วนน้ำท่ามีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ การศึกษาระยะเวลาพำนักแบบเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปพบว่าระยะเวลาพำนักในแต่ละฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ผลของระยะเวลาพำนักที่นานร่วมกับน้ำท่าที่มีปริมาณมากสัมพันธ์กับข้อมูลเฉลี่ยระยะยาวปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม Aqua MODIS Level 3 โดยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอมีค่ามากเช่นกัน

คำสำคัญ : ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ, อ่าวไทยตอนใน, แบบจำลองอุทกพลศาสตร์, การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

*Corresponding author. E-mail: anukul@buu.ac.th

Abstract

The average residence time of water mass in the Inner Gulf of Thailand (IGoT) was investigated by using a hydrodynamic model namely the Princeton Ocean Model (POM) coupled with the dispersion model of a conservative dissolved material. It was founded that the counterclockwise and clockwise circulation developed during the northeast and the southwest monsoon, respectively, shorten the residence time of the water mass. The shortest residence time of 101 days occurred in November when the counterclockwise circulation was well developed while the longest residence time of 219 days occurred in January and September when the circulation pattern was complicated. A numerical experiment had been designed for testing the influence of the physical forces on the residence time variations. The results suggested that wind made the residence time shorter and seasonally varied. Tide made the residence time longer in every month while the influence of river discharge was minimal. The results from the case of time-varying inputs revealed insignificant difference of averaged residence times between months. Long residence time and high river discharge were related to high surface chlorophyll-a, revealed by satellite imageries from Aqua MODIS Level 3, in September and October.

Keywords: residence time of water mass, Inner Gulf of Thailand, hydrodynamic model, seasonal variation

บทนำ

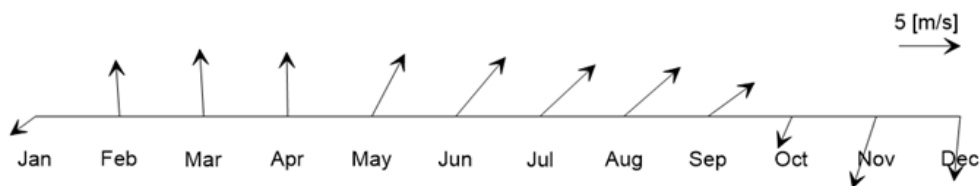
ปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่สำคัญ เช่น ปัญหายูโทรฟิเคชัน ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ภาวะพร่องออกซิเจนของแหล่งน้ำ และการปนเปื้อนของมลสาร ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของน้ำจืด (Region of freshwater influence; ROFI) เนื่องจากน้ำที่มาจากแผ่นดินได้รับการปนเปื้อนของสารอาหาร ของเสีย รวมถึงมลสารต่าง ๆ ที่เกิดจากการปลดปล่อยจากแหล่งชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ปัญหาต่าง ๆ นั้นจะคงอยู่สั้นหรือยาวสัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำ และระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในบริเวณนั้น ระยะเวลาพำนักที่ยาวทำให้สารต่าง ๆ ที่มากับมวลน้ำมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาทาง กายภาพ เคมี และชีวภาพภายในมวลน้ำมากตามไปด้วย (Buranapratheprat & Yanagi, 2008) ซึ่งระยะเวลาพำนักของสารคือ ระยะเวลาที่วัสดุ สาร หรือสิ่งที่สนใจคงอยู่ภายในระบบหรือสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาก่อนที่จะเคลื่อนที่ออกหรือหายไปจากระบบที่ศึกษา ซึ่งสามารถศึกษาได้หลายวิธี เช่น เทคนิค Box model จากคำนวณจุด (Gordon *et al.*, 1996) แต่การศึกษาโดยวิธีดังกล่าวไม่ครอบคลุมถึงปัจจัยทางกายภาพเชิงพลศาสตร์ (Dynamical factors) การใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายของสาร เป็นการปล่อยสารอนุรักษ์ในแบบจำลองภายในมวลน้ำเพื่อคำนวณระยะเวลาพำนักของมวลน้ำดังกล่าว เป็นวิธีการที่ให้ความสำคัญในกระบวนการทางกายภาพเชิงพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อมวลน้ำ เช่น ลม ทิศทางและความเร็วของกระแส น้ำขึ้นน้ำลง และปริมาณน้ำท่า

อ่าวไทยตอนในเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดโดยเป็นแหล่งรองรับน้ำจากแม่น้ำสายหลักสี่สาย ได้แก่ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง อีกทั้งเป็นแหล่งของสารอาหารที่จะส่งต่อไปสู่อ่าวไทยตอนกลาง (Wattayakorn & Jaiboon, 2014) แต่ความเข้าใจในด้านการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำ และระยะเวลาพำนักของมวลน้ำบริเวณ

อ่าวไทยตอนในยังมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการทางกายภาพในทะเล จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ในการศึกษา รูปแบบการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำและระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน ในแต่ละเดือน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) พัฒนาโดย Blumberg and Mellor (1987) แบบ 3 มิติถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ การคำนวณของแบบจำลองอยู่บนพื้นฐานของสมการควบคุม ได้แก่ สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions) และสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) โดยการคำนวณใช้เทคนิคแบบ Diagnostic สมการในแบบจำลองจะถูกแก้ตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบ Finite difference ซึ่งวางตัวบนกริดแบบ Arakawa C-grid โดยแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำมีขอบเขตศึกษาอยู่ที่ลองจิจูด $99.00^{\circ}\text{E} - 106.00^{\circ}\text{E}$ และละติจูด $5.00^{\circ}\text{N} - 13.59^{\circ}\text{N}$ ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยทั้งอ่าวเพื่อให้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในและมวลน้ำภายนอก ขนาดของกริดในการคำนวณแนวราบเท่ากับ 5×5 ลิปดา หรือประมาณ 9.28×9.28 กิโลเมตร แบ่งกริดการคำนวณในแนวตั้งเท่ากับ 10 ระดับ ระยะเวลาในการคำนวณเท่ากับ 365 วัน และเพิ่มการคำนวณก่อนที่จะเริ่มเก็บผลอีก 20 วันเพื่อให้แบบจำลองมีความเสถียร กำหนดค่า External time step เท่ากับ 10 วินาที และ Internal time step เท่ากับ 200 วินาที โดยมีข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงได้จากการวิเคราะห์แบบฮาร์โมนิกโดยใช้ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง $K_1, O_1, M_2, S_2, P_1, Q_1, N_2, K_2$ จากแบบจำลอง TPXO8-ATLAS เข้าถึงได้จาก http://volkov.oce.orst.edu/tides/tpxo8_atlas.html ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่าวไทยของแม่น้ำตราด แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเพชรบุรี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tong-u-dom *et al.* (2017) และข้อมูลจากแม่น้ำตาปี แม่น้ำปัตตานี จากกรมชลประทาน โดยข้อมูลทั้งหมดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2543 – 2552) เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.rid.go.th> ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2552 จากดาวเทียม QuikSCAT เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.remss.com> (ภาพที่ 1) ข้อมูลอุณหภูมิ ความเค็มในแต่ละเดือนได้จาก National Oceanographic Data Center (NODC) World Ocean Atlas เข้าถึงได้จาก <http://www.nodc.noaa.gov> ข้อมูลความลึกพื้นทะเลจากฐานข้อมูล The General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) มีความละเอียดของกริดเท่ากับ 0.5 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 926 เมตรโดยมีการกำหนดให้มีค่าความลึกมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10 เมตร สามารถเข้าถึงได้จากข้อมูล <http://www.gebco.net> ข้อมูลลม อุณหภูมิ ความเค็ม และความลึกจะถูกประมาณค่าเพื่อให้มีจุดพิกัดตรงกับช่องคำนวณโดยใช้วิธี การประมาณค่าแบบ Gaussian ก่อนการคำนวณกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเริ่มต้นเป็นศูนย์ หรือระดับน้ำอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง มีการนำเข้าค่าระดับน้ำบริเวณด้านเปิด และปริมาณน้ำท่าจะถูกคำนวณเพิ่มในกริดบริเวณปากแม่น้ำโดยจะถูกแปลงให้เป็นค่าระดับน้ำภายในกริด ดังกล่าว



ภาพที่ 1 ลมเฉลี่ยรายเดือน (พ.ศ. 2542-2552) เหนืออ่าวไทยตอนใน (<http://www.remss.com>)

การหาระยะเวลาพำนักจะถูกศึกษาร่วมกับแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำโดยทำการปล่อยสารอนุรักษ์ในแบบจำลองบริเวณอ่าวไทยตอนในที่กำหนดให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 unit (ภาพที่ 2 B) ซึ่งเป็นวิธีที่เคยใช้โดย Balotro *et al.* (2002) และ Liu *et al.* (2004) ใน Suo-Nada และ Jiaozhou bay ตามลำดับ โดยเพิ่มสมการสำหรับการคำนวณการแพร่กระจายของสารเข้าในแบบจำลอง POM โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = K_h \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

เมื่อ C คือปริมาณความเข้มข้นของสารอนุรักษ์ (Conservative Matter; Unit) x, y, z คือระยะทางในแนวลองจิจูด ละติจูดและระยะในแนวตั้ง (เมตร) u, v, w คือความเร็วในแนวแกน x, y, z (เมตร/วินาที) ตามลำดับ K_h, K_v คือ ค่าคงที่การแพร่กระจายของสารอนุรักษ์ในแนวราบและแนวตั้ง (เมตร²/วินาที) ได้มาจากการคำนวณใน POM โดยที่ η คือ ระดับน้ำที่ผิว (เมตร) H คือ ความลึก (เมตร) ความเข้มข้นของสารอนุรักษ์เมื่อเวลาเปลี่ยนไปสามารถนำมาคำนวณระยะเวลาพำนักผ่านฟังก์ชัน Remnant (Takeoka, 1984) ที่อาศัยหลักการคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณสารอนุรักษ์ ณ เวลาที่เปลี่ยนไปเทียบกับปริมาณสารอนุรักษ์ ณ เวลาเริ่มต้น เมื่อ t คือเวลา τ คือระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำและ $r(t)$ คือ ฟังก์ชัน Remnant ที่คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\tau = \int_0^\infty r(t) dt \quad (2)$$

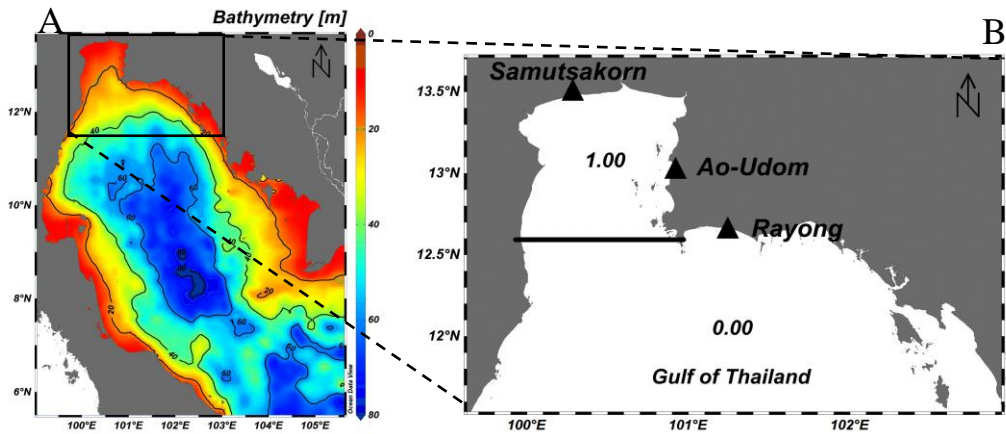
$$r(t) = \frac{C(t)}{C(0)} \quad (3)$$

สามารถคำนวณหาระยะเวลาพำนักเฉลี่ยภายในพื้นที่ได้จาก

$$\tau = \int_0^\infty \frac{\int_A \int_{-H}^\eta C(t) dz dA}{\int_A \int_{-H}^\eta C(t=0) dz dA} dt \quad (4)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่กิริตในบริเวณอ่าวไทยตอนใน (ตารางเมตร)

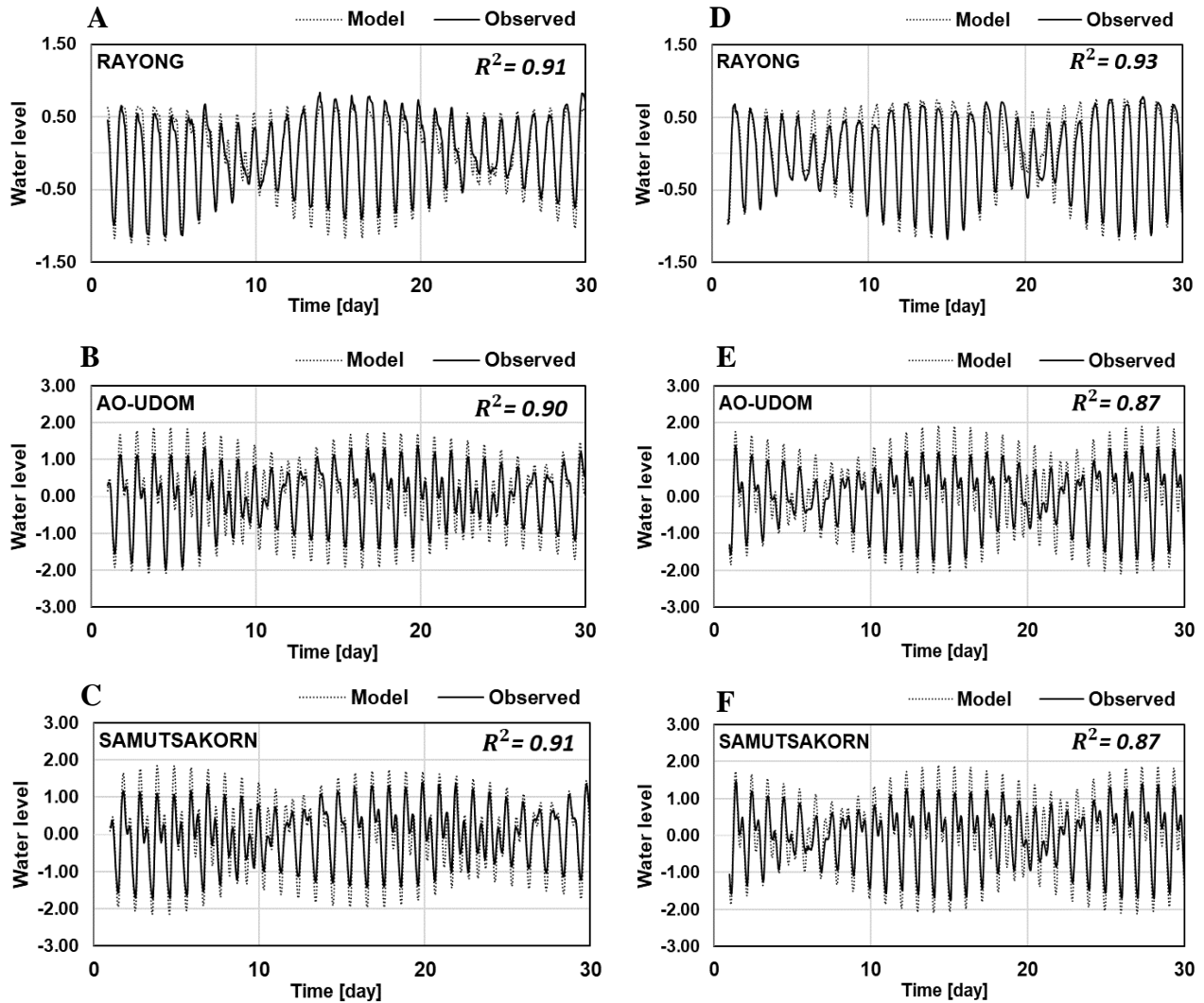
ในการคำนวณจะใช้วิธีการควบคุมปัจจัยนำเข้า (Control) คือนำเข้าข้อมูลเพียงเดือนใดเดือนหนึ่งและเพิ่มระยะเวลาการคำนวณออกไป 365 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนปัจจัยนำเข้า ยกเว้น น้ำขึ้นน้ำลง นอกจากนี้ได้ออกแบบการทดสอบปัจจัยนำเข้าเพื่อศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยรวมถึงศึกษาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนักโดยทำการตัดทีละปัจจัย ได้แก่ ลม น้ำขึ้นน้ำลง และน้ำท่า



ภาพที่ 2 ภาพสีผสมแสดงความลึกในอ่าวไทย (A) และขอบเขตและความเข้มข้นเริ่มต้นในการปล่อยสารอนุรักษ์ (B)

ผลการวิจัย

การศึกษาโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ก่อนที่จะรายงานผลการศึกษาก็จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกรณีควบคุมที่มีการนำเข้าทุกปัจจัยและผลที่ได้จากการตรวจวัดจริงของกรมเจ้าท่าบริเวณสถานี ระยอง อ่าวอุดม และสมุทรสาครของแต่ละเดือนในปี 2558 เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองและจากสถานีตรวจวัดพบว่าในรอบปีทั้งสามสถานีมีค่า R-Squared เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.84-0.89 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับระดับน้ำรายชั่วโมงพบว่าช่วงน้ำขึ้นน้ำลงมีทิศทางสอดคล้องกับแบบจำลองแต่ระดับน้ำจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าสถานีตรวจวัดจริงเล็กน้อย (ภาพที่ 3) โดยทั้งสามสถานีมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.7%-16% ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระดับน้ำถือว่าแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือมากพอที่จะใช้ในการศึกษาในครั้งนี้



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากแบบจำลองกับสถานีตรวจวัดระยะของ อ่าวอุดม และสมุทรสาคร ในเดือนกรกฎาคม (A-C) และเดือนธันวาคม (D-F)

การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ผลการศึกษาแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำโดยมี ลม น้ำท่า น้ำขึ้นน้ำลง อุณหภูมิ และความเค็มเป็นปัจจัยนำเข้าสู่ถูกแสดงภาพกระแสน้ำบริเวณส่วนเหนือเส้นละติจูดที่ $11^{\circ}35'00''$ ที่ผิวทะเล (0.5 เมตร) และใกล้พื้นทะเลในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (เมษายน), ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรกฎาคม), ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 (กันยายน) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธันวาคม) (ภาพที่ 4) เพื่อใช้ประกอบการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารอนุรักษ์ในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน

กระแสน้ำที่ผิวทะเลในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์-เมษายน) มีทิศไหลขึ้นเหนือสู่กันอ่าวไทยตอนในมีความเร็วเฉลี่ยภายในอ่าวประมาณ 0.04 เมตร/วินาที กระแสน้ำบริเวณใกล้พื้นทะเลไหลสวนทางกับกระแสน้ำที่ผิวทะเลโดยจะไหลออกจากอ่าวไทยตอนในบริเวณฝั่งตะวันออกมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.01 เมตร/วินาที (ภาพที่ 4) กระแสน้ำเฉลี่ยตาม

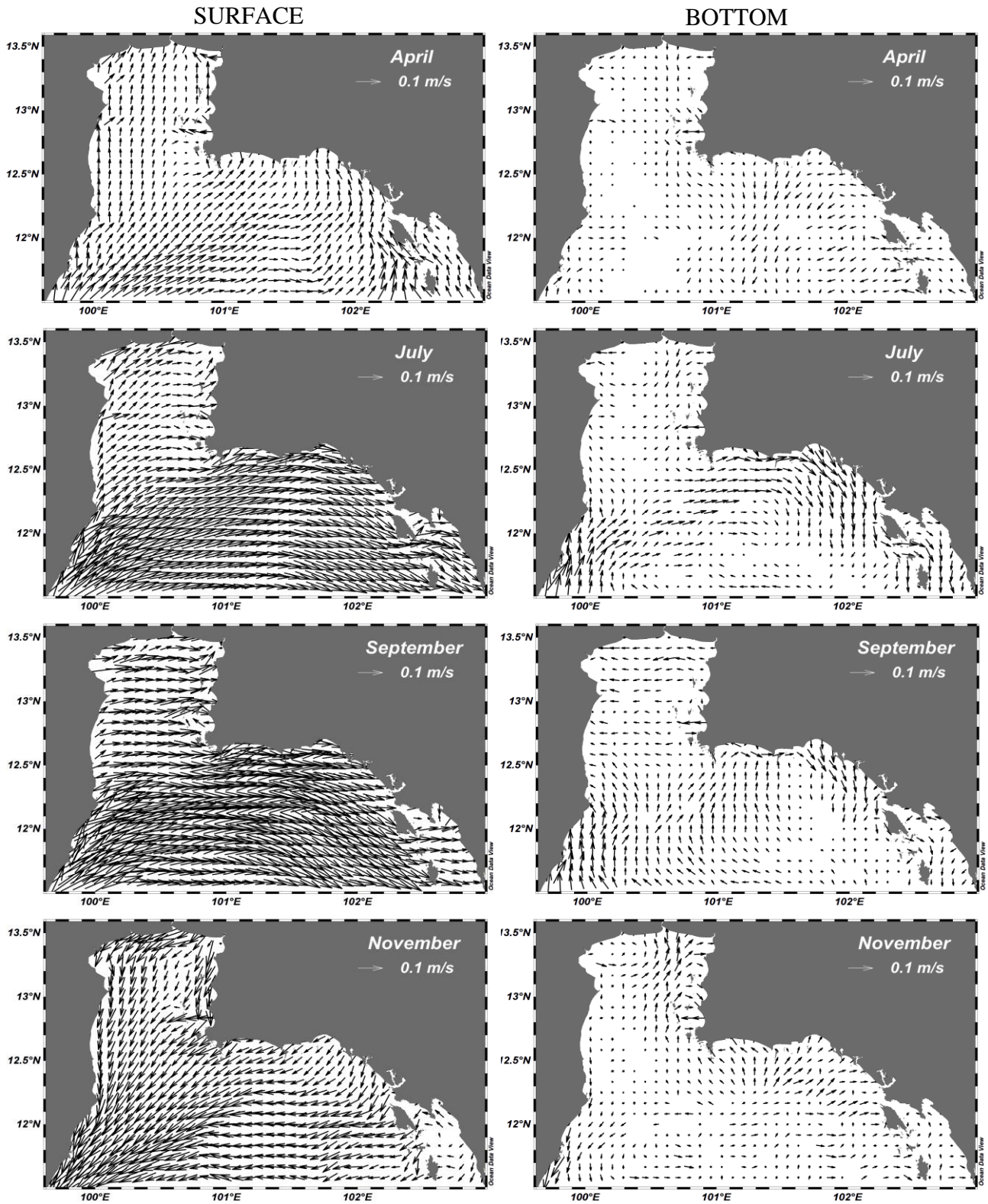
ความลึกบริเวณอ่าวไทยตอนในพบว่ามีความลึกตามเข็มนาฬิกาแต่มีความเร็วไม่มาก (ภาพที่ 7 B-D) หลังจากนั้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-สิงหาคม) กระแสน้ำมีความเร็วมากขึ้นและมีทิศทางไหลขนานชายฝั่งมาจากทิศใต้โดยกระแสน้ำไหลเลียบชายฝั่งตะวันตกเข้าไปยังภายในอ่าวทั้งคอลัมน์น้ำ ส่วนกระแสน้ำที่ผิวทะเลบริเวณกลางอ่าวไหลเฉียงไปทางตะวันออกเฉียงเหนือและมีทิศเข้าหาฝั่งตะวันออกมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.05 เมตร/วินาที กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีความลึกตามเข็มนาฬิกาบริเวณกันอ่าวโดยมีความเร็วประมาณ 0.02 เมตร/วินาที (ภาพที่ 4) กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกบริเวณอ่าวไทยตอนในมีความลึกตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 7 E-H)

ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 (กันยายน-ตุลาคม) ในเดือนกันยายนกระแสน้ำที่ผิวทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนในไหลออกจากฝั่งมีทิศไหลไปทางตะวันออก ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวทะเลมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.08 เมตร/วินาที และกระแสน้ำบริเวณใกล้พื้นทะเลมีทิศตรงกันข้าม โดยไหลไปทางตะวันตกความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยประมาณ 0.02 เมตร/วินาที (ภาพที่ 4) กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกบริเวณอ่าวไทยตอนในมีความลึกตามเข็มนาฬิกาไม่แน่นอน (ภาพที่ 7 I) ส่วนในเดือนตุลาคมกระแสน้ำที่ผิวมีความเร็วไหลออก (ไม่แสดงในที่นี้) โดยจะไหลขนานชายฝั่งตะวันตกออกไปส่วนกระแสน้ำในที่ลึกจะไหลเข้ามาในอ่าว โดยจะไหลเลียบชายฝั่งตะวันออกเข้ามา กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกบริเวณอ่าวไทยตอนในมีความลึกตามเข็มนาฬิกาบริเวณฝั่งตะวันออก แต่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันบริเวณฝั่งตะวันตก (ภาพที่ 7 J)

ส่วนในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มกราคม) กระแสน้ำที่ผิวทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนในมีทิศไปทางใต้ทั้งบริเวณชายฝั่งตะวันออกและตะวันตก บริเวณกลางอ่าวและด้านล่างของอ่าวไทยตอนในกระแสน้ำมีทิศไหลไปทางตะวันตกเฉียงใต้มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.08 เมตร/วินาที กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีความเร็วตามเข็มนาฬิกาบริเวณกันอ่าว ค่าเฉลี่ยความเร็วของกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 0.02 เมตร/วินาที และเมื่อทำการเฉลี่ยกระแสน้ำตามความลึกพบว่ามีความเร็วไหลตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 7 K-L, A)

รูปแบบการแลกเปลี่ยนและระยะเวลาพักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน

หลังการปล่อยสารอนุภาคภายในแบบจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารอนุภาคขึ้นอยู่กับกระบวนการพา (Advection) และการแพร่ (Diffusion) โดยรูปแบบการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำจะเป็นไปตามลักษณะของกระแสน้ำในแต่ละเดือน ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (เมษายน) (ภาพที่ 5 A-C) มวลน้ำอ่าวไทยตอนในจะถูกแทนที่ด้วยมวลน้ำจากบริเวณชายฝั่งตะวันตกและดันให้มวลน้ำให้ไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออก หลังจากนั้นมวลน้ำจากอ่าวไทยตอนในจะไหลลงสู่กลางอ่าวไทย ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรกฎาคม) พบว่ารูปแบบการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในมีความเร็วเช่นเดียวกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 แต่การแลกเปลี่ยนของมวลน้ำจะเกิดขึ้นเร็วกว่า



ภาพที่ 4 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนเมษายน (เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1), กรกฎาคม (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้), กันยายน (เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2) และพฤศจิกายน (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ)

โดยมวลน้ำของอ่าวไทยตอนในเมื่อไหลออกจากอ่าวจะเคลื่อนที่ขนานชายฝั่งตะวันออกมากขึ้น (ภาพที่ 5 D-F) ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 พบว่าในเดือนกันยายนกระแสน้ำสุทธิเฉลี่ยตามความลึกมีความผันผวนมีทิศทางไม่แน่นอนทำให้มวลน้ำไหลวนอยู่ในอ่าว โดยบริเวณฝั่งตะวันตกพบว่ามีการไหลเวียนชายฝั่งแรงกว่าด้านชายฝั่งตะวันออกทำให้มวลน้ำบริเวณดังกล่าวถูกแทนที่จากมวลน้ำด้านนอกได้เร็วกว่าบริเวณอื่น ๆ (ภาพที่ 5 G-I) ส่วนในเดือนตุลาคมและฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบมวลน้ำอ่าวไทยตอนในจะถูกแทนที่ด้วยมวลน้ำจากบริเวณชายฝั่งตะวันออกและดันให้ไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตก (ภาพที่ 5 J-L)

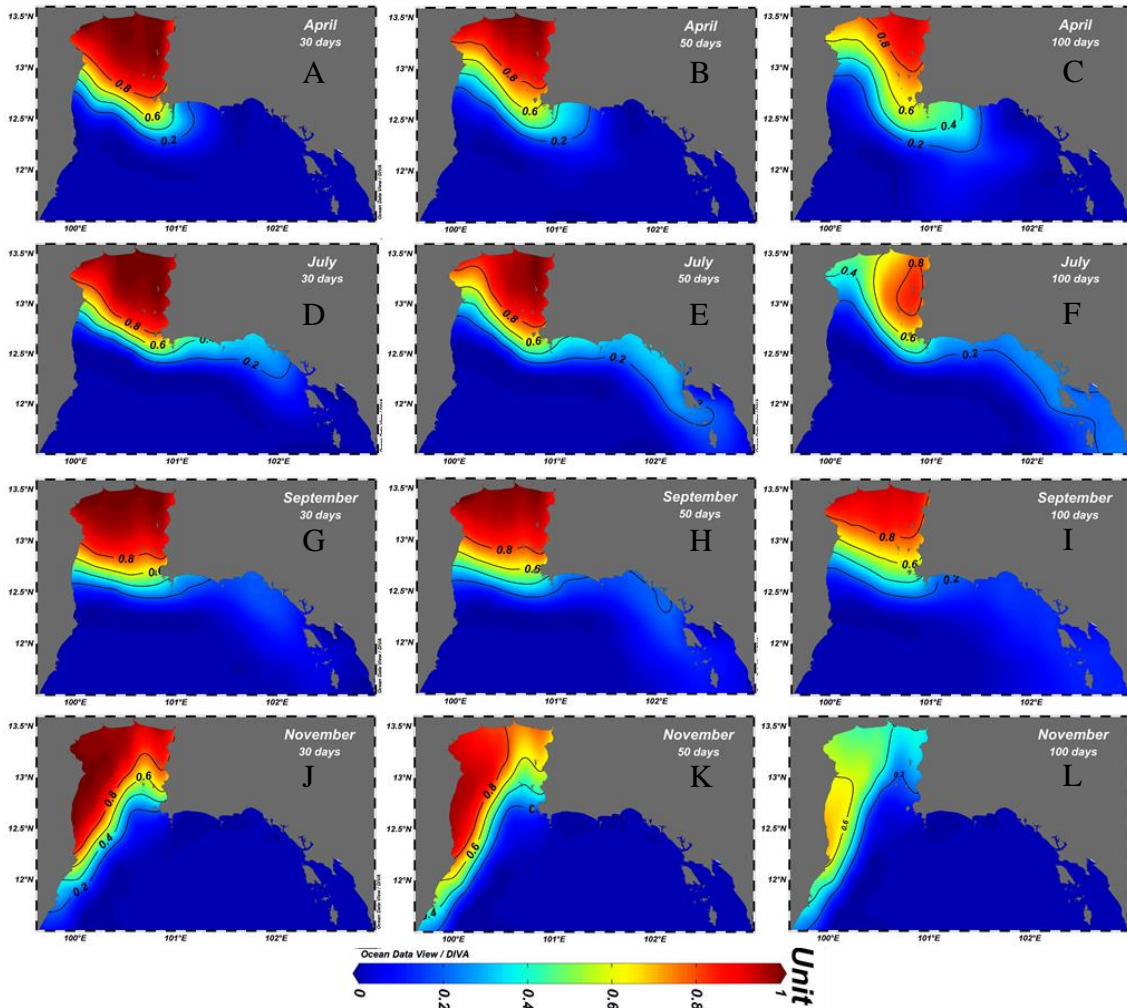
ผลที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชัน Remnant ในแต่ละเดือน (ภาพที่ 6 A) แสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณสารอนูรักร์มีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 50 วันหลังจากเริ่มการคำนวณ หลังจากนั้นอัตราการลดลงจึงจะแตกต่างกันมากขึ้น ในเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีอัตราการลดลงของปริมาณสารอนูรักร์เร็วที่สุด ส่วนในเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม และเดือนธันวาคมเป็นช่วงที่มีอัตราการลดลงใกล้เคียงกัน ในอีกกลุ่มหนึ่งที่มีอัตราการลดลงใกล้เคียงกัน คือ เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม ในเดือนที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อระยะเวลาในการคำนวณสิ้นสุดลงจะมีค่าความเข้มข้นของสารอนูรักร์น้อยกว่า 30 % จากความเข้มข้นเริ่มต้น ส่วนในเดือนกันยายนและมกราคมมีอัตราการลดลงใกล้เคียงกันโดยเป็นเดือนที่มีอัตราการลดลงช้าที่สุด

ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในถูกคำนวณจากการหาพื้นที่ใต้กราฟจากฟังก์ชัน Remnant ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในสั้นที่สุดในเดือนพฤศจิกายนประมาณ 101 วัน หลังจากนั้นในเดือนธันวาคมพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยภายในอ่าวประมาณ 137 วัน และ 219 วันในเดือนมกราคม ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์-เมษายน) พบว่ามีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยประมาณ 175, 165, 170 ตามลำดับ และระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-สิงหาคม) โดยมีระยะเวลาพำนักประมาณ 152, 116, 120 และ 128 วันตามลำดับ และระยะเวลาพำนักจะสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนกันยายนประมาณ 219 วัน และจะลดลงเหลือประมาณ 159 วันในเดือนตุลาคม

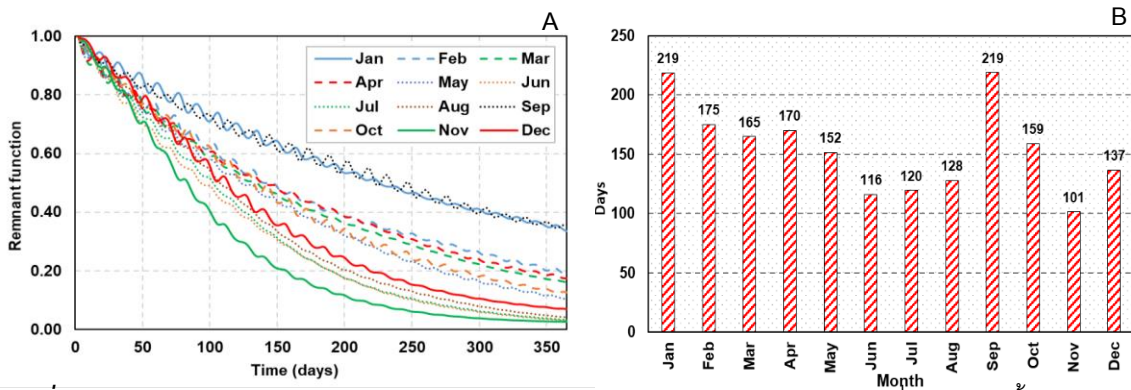
ในส่วนของสารอนูรักร์เชิงพื้นที่ตลอดการคำนวณพบว่าในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ถึงช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้โดยเฉลี่ยสารอนูรักร์จะมีการสะสมอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกมากกว่าชายฝั่งตะวันตก โดยในเดือนกุมภาพันธ์สารอนูรักร์มีการสะสมบริเวณชายฝั่งตะวันออกมากที่สุดโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ในเดือนกันยายนพบว่าโดยเฉลี่ยสารอนูรักร์มีการคงอยู่บริเวณกันอ่าวสูงที่สุดก่อนที่จะเปลี่ยนไปสะสมบริเวณชายฝั่งตะวันตกในช่วงเดือนตุลาคม และช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 7)

การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนัก (Sensitivity analysis)

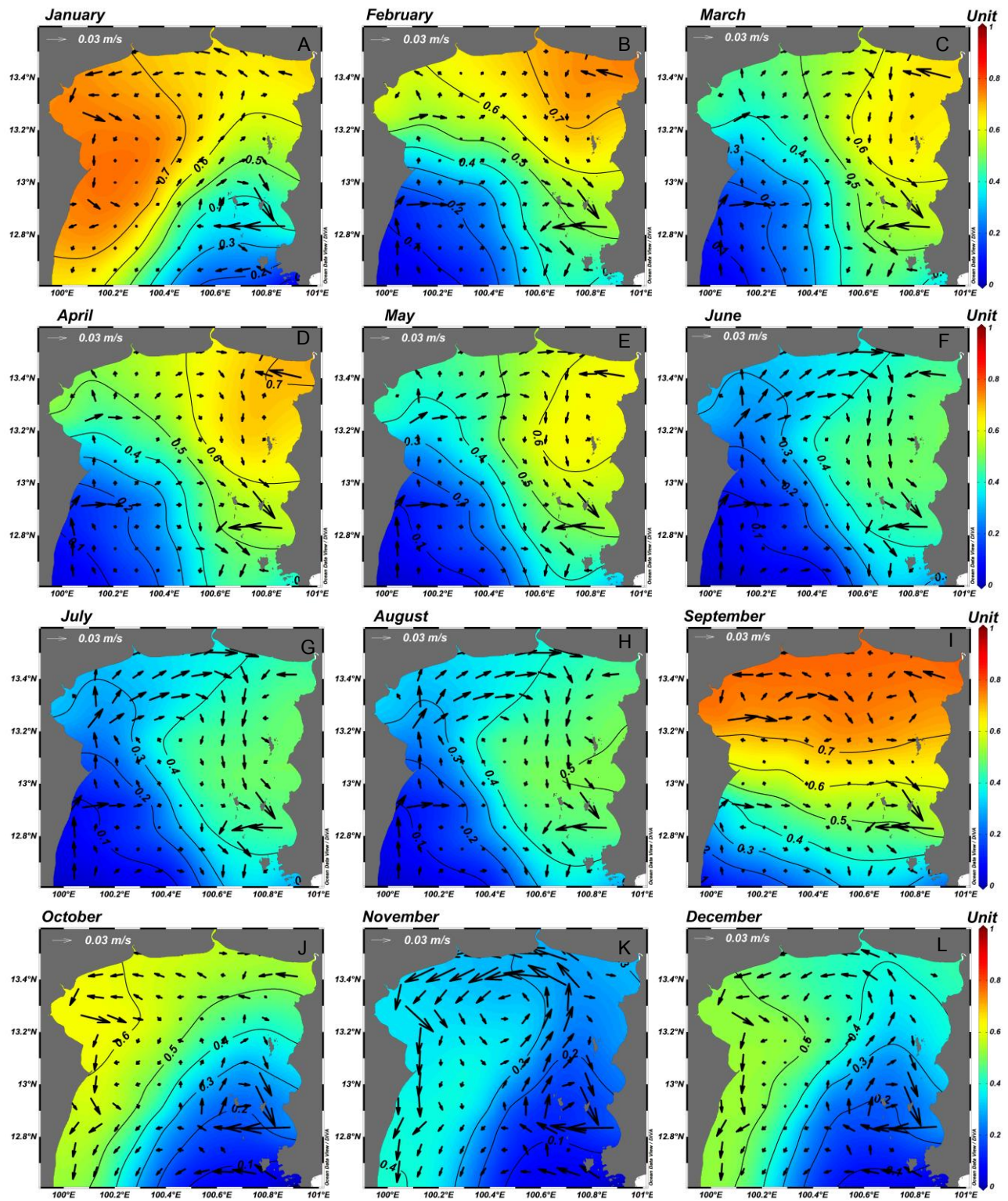
จากการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าโดยทำการตัดทีละปัจจัย ได้แก่ ลม น้ำขึ้นน้ำลง และน้ำท่า พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในกรณีตัดปัจจัยลมมีค่าระยะเวลาพำนักใกล้เคียงกันในทุก ๆ เดือนโดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 250-279 วัน (ภาพที่ 8) ผลจากการคำนวณโดยเฉลี่ยพบว่าสารอนูรักร์จะลดลงบริเวณปากอ่าวโดยเฉพาะบริเวณปากอ่าวตะวันออก และมีการสะสมตัวของสารอนูรักร์ที่บริเวณด้านในของอ่าวโดยเฉพาะบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 9 A-D) กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงพบว่าทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำมีค่าลดลงในเดือนโดยพบว่ามีค่าน้อยกว่า 100 วันเกือบทุกเดือนยกเว้นในเดือนกันยายน (ภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9 E-H) สุดท้ายในกรณีตัดปัจจัยน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในพบว่า



ภาพที่ 5 การแพร่กระจายของสารอนุรักษ์เฉลี่ยตามความลึกหลังปล่อยเป็นระยะเวลา 30, 50 และ 100 วันในเดือนเมษายน (เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1) (A-C), กรกฎาคม (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) (D-F), กันยายน (เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2) (G-I) และ พฤศจิกายน (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) (J-L)

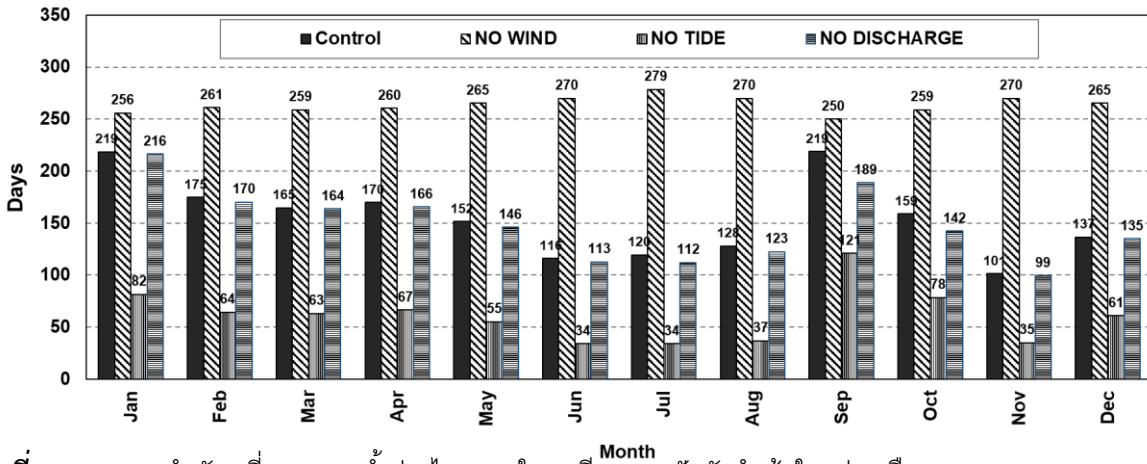


ภาพที่ 6 อัตราการลดลงของ remnant function ในแต่ละเดือน (A) และระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในแต่ละเดือนที่คำนวณได้จากฟังก์ชัน Remnant (B) ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

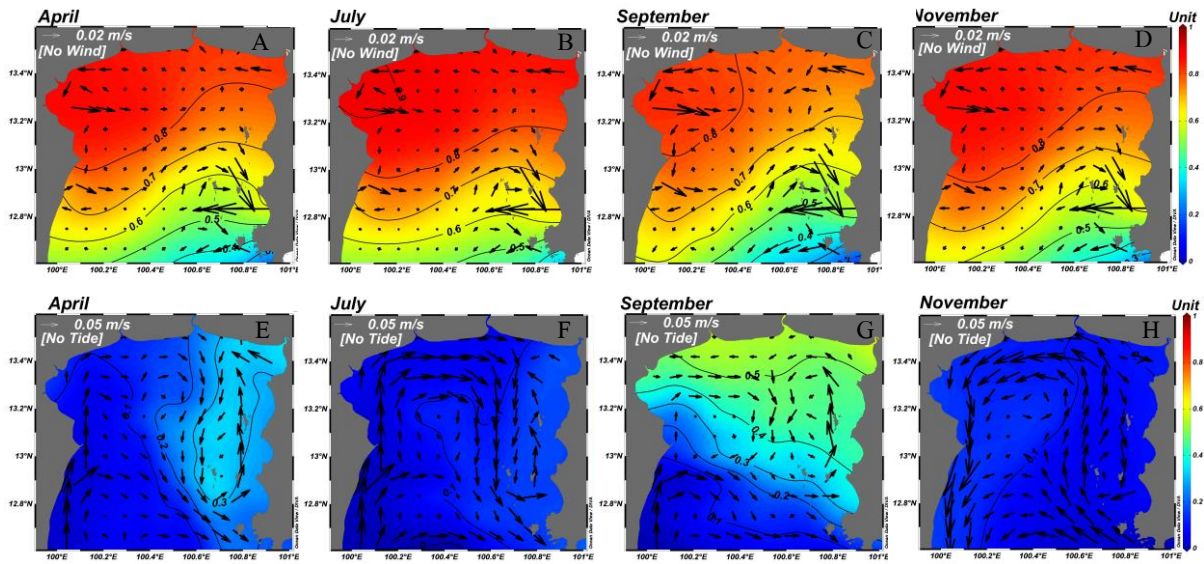


ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยของสารอนุรักษ์ตลอดการคำนวณ 365 วันโดยใช้ปัจจัยนำเข้าไปในแต่ละเดือน เวกเตอร์แสดงถึงขนาดและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก

ทำให้ระยะเวลาพำนักลดลงเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณ 7 วันยกเว้นในเดือนกันยายน และตุลาคมที่พบว่าทำให้มีค่าระยะเวลาพำนักน้อยลง 30 วันและ 16 วันตามลำดับ



ภาพที่ 8 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในกรณีทดสอบปัจจัยนำเข้าไปในแต่ละเดือน

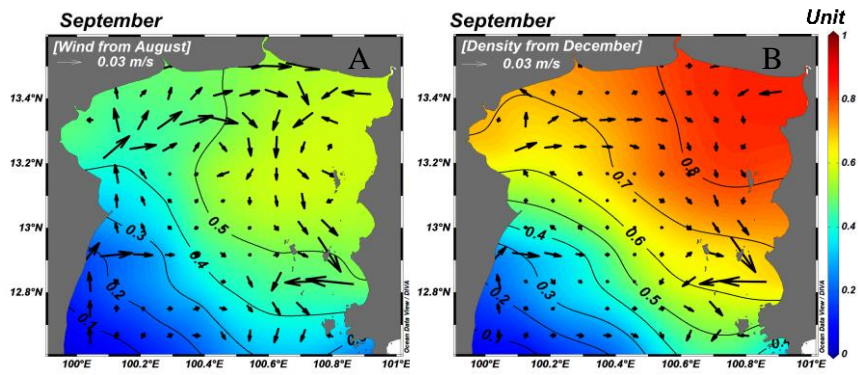


ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยของสารอนุรักษ์ตลอดการคำนวณบริเวณอ่าวไทยตอนใน เวกเตอร์แสดงถึงขนาดและทิศทางของกระแสเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดลม (A-D) และกรณีตัดน้ำขึ้นน้ำลง (E-H) ในแต่ละฤดูกาล

วิจารณ์ผลการวิจัย

รูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยพบว่ากระแสน้ำถูกควบคุมโดยอิทธิพลของลมเป็นหลัก ทิศทางของกระแสน้ำที่ผิวทะเลสอดคล้องกับทิศทางของลมในแต่ละเดือน แต่พบว่าในเดือนกันยายนมีความหนาแน่นของน้ำทะเลเข้ามาเกี่ยวข้องโดยความหนาแน่นของน้ำทะเลในเดือนดังกล่าวที่มีค่าต่ำกว่าภายนอกอ่าวมากกว่าเดือนอื่น ๆ (ไม่แสดงในที่นี้) ทำให้กระแสน้ำมีลักษณะที่เป็นกระแสน้ำที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่น (Estuarine circulation) มวลน้ำบริเวณ

อ่าวไทยตอนในพยายามที่จะไหลสู่ด้านนอกแต่ในขณะที่เดียวกันทิศทางของลมที่ยังเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดการดันของน้ำ ส่งผลต่อกระแสที่ผิวทะเลมีทิศไหลไปสูทิศตะวันออก และกระแสที่ผิวทะเลมีลักษณะผันผวนไม่มีรูปแบบที่แน่นอน นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบข้อสมมติฐานในเดือนกันยายนที่คาดว่าอิทธิพลของความเค็มในเดือนดังกล่าวที่มีค่าต่ำร่วมกับลมตะวันตกเฉียงใต้ที่เป่าลงส่งผลทำให้ไม่มีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเด่นมากนัก ทดสอบโดยกรณีที่ 1 นำเข้าลมในเดือนสิงหาคมมาคำนวณแทนลมในเดือนกันยายนเนื่องจากเป็นลมที่มีความเร็วมากกว่า ผลที่ได้พบว่ากระแสที่ผิวทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนในมีลักษณะไหลไปตะวันออกเฉียงเหนือและมีกำลังแรงมากขึ้น กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกมีลักษณะไหลตามเข็มนาฬิกา สารอนุรักษ์ลดลงมากกว่าในสภาวะปกติ (ภาพที่ 10 A) และกรณีที่ 2 ได้ทำการเปลี่ยนค่านำเข้าอุณหภูมิและความเค็มเป็นของเดือนธันวาคมแทนเดือนกันยายนเนื่องจากเป็นเดือนที่มีค่าการผสมผสานของมวลน้ำมากที่สุด (Buranapratheprat et al., 2008) แต่ยังใช้ทิศทางและความเร็วของลมในเดือนกันยายนผลที่ได้พบว่ากระแสที่ผิวทะเลมีลักษณะเช่นเดียวกับเดือนอื่น ๆ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มากขึ้น กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกมีลักษณะไหลตามเข็มนาฬิกาแต่มีความเร็วไม่มากนัก ส่งผลให้รูปแบบการลดลงของสารอนุรักษ์มีลักษณะเช่นเดียวกับในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แต่มีการสะสมตัวของสารอนุรักษ์มากกว่า โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง (ภาพที่ 10 B) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในเดือนกันยายนความเค็มของน้ำทะเลที่มีค่าต่ำร่วมกับลมที่เปลี่ยนทิศทางและเป่าลงส่งผลให้กระแสที่มีความซับซ้อนมากขึ้น รูปแบบการลดลงของสารอนุรักษ์จึงต่างจากเดือนอื่น ๆ ในรอบปี



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยของสารอนุรักษ์ตลอดการคำนวณและกระแสที่เฉลี่ยตามความลึกในเดือนกันยายนกรณีเปลี่ยนลมเป็นเดือนสิงหาคม (A) และกรณีเปลี่ยนอุณหภูมิความเค็มเป็นเดือนธันวาคม (B) โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดิม

ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในเดือนพฤศจิกายนที่ต่ำที่สุดนั้นเนื่องจากลมมีทิศออกจากอ่าว มีกำลังแรงและสม่ำเสมอทำให้กระแสภายในอ่าวไทยตอนในไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาแบบสมบูรณ์ (ภาพที่ 7 K) ส่งผลทำให้มวลน้ำจากอ่าวไทยตอนในบริเวณชายฝั่งตะวันออกไหลขึ้นไปที่ก้นอ่าว และจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตกโดยไหลไปในทิศทางเดียวกัน หลังจากนั้นในเดือนธันวาคมลมจะเป่าลงเล็กน้อยทำให้กระแสที่ไหลเป่าลงแต่ยังคงมีทิศเช่นเดียวกับในเดือนพฤศจิกายน ส่วนในเดือนมกราคมลมที่เป่าทำให้กระแสมีความเร็วลดลง ส่งผลให้มีระยะเวลาพำนักสูงขึ้น ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนพบว่าลมที่พัดเข้าสู่ก้นอ่าวที่มีความเร็วใกล้เคียงกัน ทำให้รูปแบบการลดลงของสารอนุรักษ์และระยะเวลาพำนักมีลักษณะคล้ายคลึงกัน หลังจากนั้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม ลมที่แรงขึ้นและเปลี่ยนทิศเป็นตะวันตกเฉียงใต้ทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยสั้นลงเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังแรงทำให้

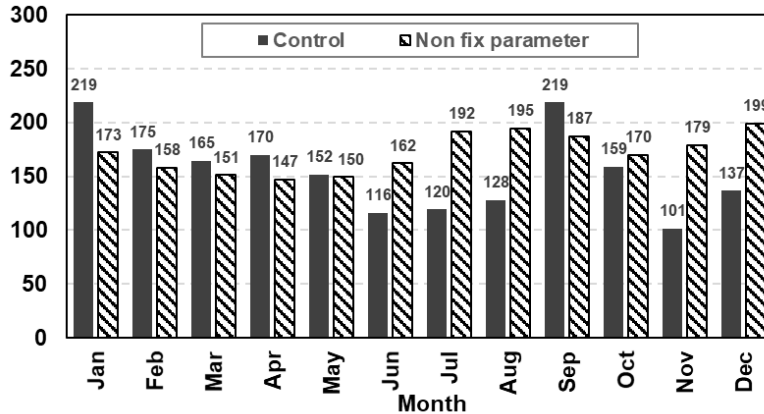
กระแสในอ่าวไทยตอนในไหลตามเข็มนาฬิกาแบบสมบูรณที่สุดท้ายในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 เป็นช่วงที่มีน้ำท่าไหลลงมาก ส่งผลให้มวลน้ำในอ่าวไทยตอนในแบ่งชั้นน้ำ (Buranapratheprat *et al.*, 2008) ร่วมกับลมที่เบาในเดือนกันยายนทำให้ กระแสน้ำสุทธิมีความผันผวนส่งผลให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยสูงขึ้น แต่เมื่อลมเปลี่ยนทิศเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือน ตุลาคมส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำลดลง

เนื่องจากลมเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการไหลเวียนกระแสในอ่าวไทยตอนใน (Buranapratheprat *et al.*, 2002) ดังนั้นการตัดอิทธิพลของลมทำให้ความเร็วของกระแสลดลง การแลกเปลี่ยนกับมวลน้ำด้านบนจึงลดลงตามไปด้วย อีกทั้งส่งผลให้ทิศทางของกระแสไม่มีทิศทางเหมือนกันในทุก ๆ เดือนทำให้ไม่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาล ในขณะที่อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงทำให้เกิดการผสมผสานของมวลน้ำทำให้มวลน้ำเคลื่อนที่ออกจากอ่าวไทยช้าลง แต่เมื่อทำการตัดน้ำขึ้นน้ำลงพบว่ากระแสมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการพัดสารอนุรักษ์ให้ออกจากอ่าวอย่างรวดเร็ว ไม่เกิดการสะสมของสารอนุรักษ์ อีกทั้งยังคงมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาเช่นเดิม แต่พบว่าในเดือนกันยายนผลที่ได้ยังคงมีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่านอกจากน้ำขึ้นน้ำลงยังมีความหนาแน่นของน้ำทะเลที่ยังส่งผลต่อผลการคำนวณในเดือนนี้ ส่วนในกรณีน้ำท่าที่มากส่งผลให้ระยะเวลาพำนักเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำท่าเป็นปัจจัยที่ทำให้เพิ่มความเร็วของกระแสบริเวณปากแม่น้ำทำให้มวลน้ำจะถูกดันไปบริเวณมุมของอ่าวเกิดการสะสมของสารอนุรักษ์โดยปริมาณน้ำท่าที่สูงในเดือนกันยายนและตุลาคมทำให้ผลที่ได้มีค่ามากกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากเป็นตัวเสริมกระแสให้ไหลเข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกในเดือน ตุลาคม

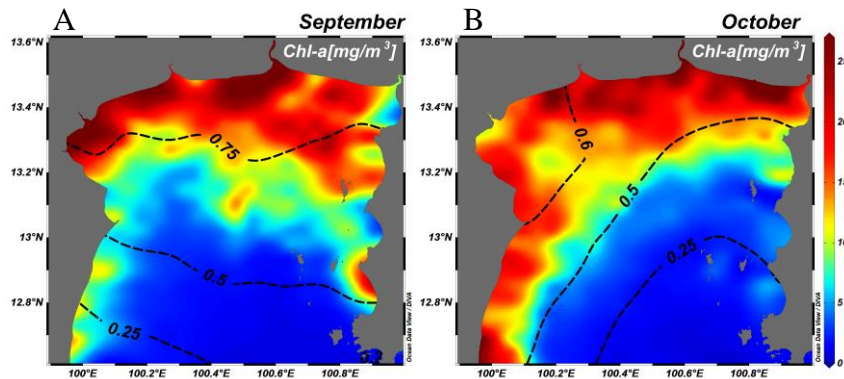
จากการศึกษาข้างต้นเป็นกรณีควบคุมปัจจัยนำเข้า (Control) โดยจะไม่เปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละเดือนต่อการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำ ดังนั้นจึงทำการทดสอบเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าตามเวลา (Non-fix parameter) เป็นการศึกษาเพื่อเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบความเป็นจริงโดยมีปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม น้ำท่า และลม ที่จะถูกเปลี่ยนไปในแต่ละเดือนตามความเป็นจริง ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น อยู่ในช่วง 147-199 วัน โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนัก สูงที่สุดโดยเฉพาะในเดือนสิงหาคมและธันวาคม (ภาพที่ 11) ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 พบว่าเป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักต่ำที่สุด เพราะจากผลการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าในช่วงแรกเมื่อเริ่มต้นการคำนวณไม่ว่าจะเริ่มต้นในเดือนใดก็ตามพบว่าอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 6 A) แต่หลังจากนั้นถ้าหากเข้าสู่ช่วงฤดูมรสุมลมที่พัดไปในทิศทางเดียวกันและสม่ำเสมอเป็นเวลานานส่งผลให้สารอนุรักษ์ถูกพัดออกไปได้เร็วขึ้นทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำมีค่าน้อยลง ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นการคำนวณในช่วงเปลี่ยนฤดูผลที่ได้จึงมีค่าน้อยที่สุดในทางตรงกันข้ามถ้าเริ่มต้นการคำนวณในช่วงกลางฤดูมรสุม เช่น ในเดือนสิงหาคมหรือธันวาคมในช่วงแรกสารอนุรักษ์จะไหลไปในทิศใดทิศหนึ่งแต่เมื่อเข้าสู่ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมและฤดูมรสุมถัดไป ทำให้กระแสไม่ไหลไปในทิศทางเดิมและเกิดการไหลวนของสารอนุรักษ์ภายในอ่าวส่งผลให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในช่วงกลางฤดูมรสุมจึงมีค่าสูงขึ้น

อ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งรองรับน้ำจืดจากแม่น้ำสายใหญ่สี่สาย สารอาหารที่ลงมาสู่ทะเลทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีหรือแพลงก์ตอนบลูมบ่อยครั้ง (Lirdwitayaprasit *et al.*, 1996) จากการตรวจสอบผลของระยะเวลาพำนักร่วมกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2547-2557) บริเวณอ่าวไทยตอนในที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS AQUA LEVEL 3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ และแนวโน้มการแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์-เอที่สอดคล้องกับการแนวโน้มการสะสมของสารอนุรักษ์เฉลี่ยเชิงพื้นที่ โดยพบว่าในเดือนกันยายนซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน เมื่อน้ำท่าลงมาสู่อ่าวไทยตอนใน

อีกทั้งยังเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยสูงที่สุดทั้งในเชิงภาพรวมของอ่าวและเชิงพื้นที่บริเวณก้นอ่าวระยะเวลาพำนักที่นานส่งผลทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอสูงบริเวณตั้งแต่แนวกลางอ่าวขึ้นไป (ภาพที่ 12 A) และในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีน้ำท่าสูงที่สุดเมื่อน้ำท่าลงสู่อ่าวไทยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอสูงขึ้นบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งตะวันตกสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีการสะสมของสารอนูรัักษ์ (ภาพที่ 12 B)



ภาพที่ 11 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในกรณีควบคุมและกรณีเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้าตามเวลา



ภาพที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ย 10 ปีจากข้อมูล MODIS AQUA LEVEL 3 และระยะเวลาพำนักในเดือนกันยายน (A) และเดือนตุลาคม (B) บริเวณอ่าวไทยตอนใน เส้นประแสดงสารอนูรัักษ์เฉลี่ยตลอดการคำนวณในหน่วย Unit

สรุปผลการวิจัย

ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในมีค่าต่ำที่สุดในเดือนพฤศจิกายน 101 วัน และสูงที่สุดในเดือนมกราคมและกันยายน 219 วัน ในเดือนอื่น ๆ ระยะเวลาพำนักมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละฤดู การไหลเวียนกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกาแบบสมบูรณทำให้ระยะเวลาพำนักสั้นลง ส่วนกระแสน้ำที่มีความผันผวนและเบาทำให้ระยะเวลาพำนักนานขึ้น ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าพบว่าลมเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ระยะเวลาพำนักสั้นลง ส่วนน้ำขึ้นน้ำลงส่งผลให้เกิดการผสมผสานของมวลน้ำทำให้ระยะเวลาพำนักยาวขึ้น น้ำท่ามีผลเพียงเล็กน้อยต่อระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ ยกเว้นในเดือนกันยายน และตุลาคม การศึกษาระยะเวลาพำนักแบบไม่เปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้าแสดงถึงความสามารถของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำในเดือนนั้น ส่วนการศึกษาระยะเวลาพำนักแบบเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลา

เปลี่ยนไปเป็นการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบความเป็นจริงผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นในแต่ละฤดูกาล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมเจ้าท่า กรมชลประทานสำหรับข้อมูลที่น่ามาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ รวมถึงภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวก และห้องปฏิบัติการสำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Balotro, R. Isobe, A., Shimizu, M., Kaneda, A., Takeuchi, T., & Takeoka, H. (2002). Circulation and material transport in Suo-Nada during spring and summer. *Journal of Oceanography*, 58, 759-773.
- Blumberg, A. F. & Mellor, G. L. (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. p. 1-16. In N. S. Heaps (Ed.), *Three-Dimensional Coastal Ocean Model*. (pp. 1-16). Washington DC: AGU.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Sawangwong, P. (2002). Seasonal variation in circulation and salinity distributions in the upper Gulf of Thailand: Modeling Approach. *La mer*, 40, 147-155.
- Buranapratheprat, A. & Yanagi T., (2008). Seasonal variation in circulation and average residence time of the Bangpakong estuary, Thailand. *La mer*, 41, 199-213.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Matsumura, S. (2008). Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, 28, 2509-2522.
- Gordon, D.C., Boudreau, P.R., Mann, K.H., Ong, J.E., Silvert, W.L., Smith, S.V., Wattayakorn, G., Wulff, F., & Yanaki, T. (1996). *LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines*, (2nd ed.). Netherlands: Netherlands institute for sea research.
- Lirdwitayaprasit, T., Vicharangsana, T., & N. Sawetwong. (1994). Occurrences of red tide phenomena in the inner Gulf of Thailand during 1991-1994. *Proceedings of the First NRCT-JSPS Joint Seminar on Marine Science*, 106-110, Chulalongkorn University Printing House, Bangkok.
- Liu, Z., Wei, H., Liu, G., & Zhang, J. (2004). Simulation of water exchange in Jiaozou bay by average residence time approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 25-35.
- Takeoka, H. (1984). Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea. *Continental Shelf Research*, 3, 311-326.
- Tong-u-dom, S., Na-u-dom, T., & Buranapratheprat, A. (2017). The responses of a hydrodynamic model into different open boundary conditions in the northern gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 22(3), 259-272. (in Thai)
- Wattayakorn, K. & Jaiboon, P. (2014). An assessment of biogeochemical cycle of nutrient in the inner gulf of Thailand. *European Chemical Bulletin*, 3(1), 50-54.