



การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่เคลื่อนตัวตามมวลน้ำทะเลที่มีแหล่งกำเนิดจากปากแม่น้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

Investigation of the Seasonal Variation of Passive Tracer Released from River mouths in the Inner Gulf of Thailand by using a Hydrodynamic Model

อารุท มหันหามผล, ศิราพร ทองอุดม และอนุกุล บุรณประทีปรัตน์

Arvut Munhapon, Siraporn Thong-U-dom and Anukul Buranapratheprat

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

Received : 11 August 2021

Revised : 16 October 2021

Accepted : 1 November 2021

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่เคลื่อนตัวตามมวลน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนในโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ชื่อ Princeton Ocean Model (POM) ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟ ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีรูปแบบตามเข็มนาฬิกาและในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีรูปแบบทวนเข็มนาฬิกา การไหลเวียนที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มีแหล่งกำเนิดมาจากแม่น้ำสายหลักในอ่าวไทยตอนใน โดยพบว่าการไหลเวียนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดพาตัวติดตามแบบพาสซีฟจากปากแม่น้ำต่าง ๆ เลียบชายฝั่งด้านเหนือไปสู่ชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน ตัวติดตามแบบพาสซีฟที่เป็นสารอนุรักษ์ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำท่าจากแม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำเจ้าพระยามีอิทธิพลต่อพื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนในตลอดทั้งปี สัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่แพร่กระจายมาจากแม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยา แม็กลอง และท่าจีน ที่ส่งผลต่อพื้นที่ด้านตะวันออกอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 12.1-81.7, 18.3-47.9, 0.0-46.1 และ 0.0-10.8 ตามลำดับ ส่วนกระแสน้ำในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดพาตัวติดตามแบบพาสซีฟจากปากแม่น้ำต่าง ๆ เลียบชายฝั่งด้านเหนือไปสู่ชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน ตัวติดตามแบบพาสซีฟจากปากแม่น้ำแม็กลองและปากแม่น้ำเจ้าพระยามีอิทธิพลต่อพื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนในเป็นส่วนใหญ่เช่นกัน โดยมีสัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟแพร่กระจายจากแม่น้ำแม็กลอง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำบางปะกง อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 18.5-98.2, 0.0-68.2, 1.7-21.9 และ 0.0-6.1 ตามลำดับ ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของตัวติดตามแบบพาสซีฟในแต่ละฤดูกาลสอดคล้องกับรายงานการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีตามพื้นที่ในอดีตที่ผ่านมา

คำสำคัญ : ตัวติดตามแบบพาสซีฟ ; อ่าวไทยตอนใน ; แบบจำลองอุทกพลศาสตร์



Abstract

Seasonal variation of passive tracer distribution in the inner Gulf of Thailand was investigated by using a hydrodynamic model namely the Princeton Ocean Model (POM) coupled with the dispersion model of a conservative substance. It was found that clockwise and counterclockwise circulation developed during the southwest and the northeast monsoons, respectively. Passive tracers distributed from the river mouths were controlled by seasonal circulation. Currents during the southwest monsoon carry the tracers from the river mouths along the north coast to the east coast of the inner Gulf of Thailand. The tracers representing runoff from the Bang Pakong River and the Chao Phraya River dominate the east coast of the gulf throughout the year. The percentage of the tracers of the Bang Pakong River, the Chao Phraya River, the Mae Klong River and the Tha Chin River influencing the eastern area ranged between 12.1-81.7, 18.3-47.9, 0.0-46.1 and 0.0-10.8, respectively. Currents during the northeast monsoon transported the tracers from the river mouths along the north coast to the west coast of the gulf. The tracers from the Mae Klong River mouth and the Chao Phraya River mouth mostly influenced the west coast. The percentage of the tracers spreading from the Mae Klong River, the Chao Phraya River, the Tha Chin River and the Bang Pakong River ranged between 18.5-98.2, 0.0-68.2, 1.7-21.9 and 0.0-6.1, respectively. The simulation results of the seasonal tracer movement were consistent with previous reports of red tide incidences.

Keywords : passive tracer, Inner gulf of Thailand, hydrodynamic model



บทนำ

อ่าวไทยตอนใน ตั้งอยู่บริเวณส่วนเหนือสุดของอ่าวไทย ที่ตำแหน่งละติจูด 13 องศาเหนือ และลองจิจูด 100 องศาตะวันออก มีลักษณะรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสถูกห้อมล้อมด้วยแผ่นดินบริเวณด้านตะวันออก ด้านเหนือ และด้านตะวันตก มีเฉพาะทางด้านใต้เป็นส่วนที่ติดต่อกับทะเลของอ่าวไทย มีเนื้อที่ประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร และมีความลึกสูงสุดที่ 40 เมตร ที่บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ และได้รับอิทธิพลลมมรสุมตามฤดูกาล คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม) และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม) ของทุกปี (Buranapratheprat *et al*, 2002) ลมมรสุมดังกล่าวทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และทวนเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Buranapratheprat, 2008)

อ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากน้ำจืด ผ่านทางแม่น้ำ 4 สายหลัก คือ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง อีกทั้งยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่จะส่งต่อไปสู่อ่าวไทยตอนกลาง (Wattayakorn & Jaiboon, 2014) เป็นบริเวณที่มีทรัพยากรทางธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การคมนาคมขนส่ง การท่องเที่ยว และเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือ ทำให้อ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งของการปลดปล่อยและรองรับของเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ดังกล่าวลงสู่ทะเลเป็นจำนวนมาก เกิดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเล เช่น การปนเปื้อนของสารมลพิษ ภาวะพร่องออกซิเจนของแหล่งน้ำ (Hypoxia) ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (Red tide) เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ ผลผลิตการประมงชายฝั่ง และเศรษฐกิจของชุมชน

การไหลเวียนและอิทธิพลของน้ำจืดในบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันของสลับซับซ้อนของกระบวนการชีวเคมีธรณี ระหว่างน้ำท่า และสสารที่ถูกชะล้างจากฝั่งสู่ทะเล (Simpson, 1997) เช่น ตะกอน สารอินทรีย์ และสารอาหาร เป็นต้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะแวดล้อมและสถานภาพทางด้านนิเวศวิทยาของปากแม่น้ำและชายฝั่งเป็นอย่างสูง (Gordeev and Lisitzin, 2014) สิ่งแวดล้อมทางทะเลชายฝั่งที่เป็นผลมาจากสภาวะยูโทรฟิเคชันในพื้นที่อ่าวไทยตอนในมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละพื้นที่ตามฤดูกาล สำหรับในพื้นที่อ่าวไทยตอนในการไหลเวียนและปริมาณน้ำท่าตามฤดูกาล ส่งผลให้มักเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าว ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตามการไหลของกระแสน้ำที่นำพาเอาธาตุอาหารหรือสารอินทรีย์จากแม่น้ำสายต่าง ๆ ไปในแต่ละพื้นที่ในแต่ละฤดูกาล (Buranapratheprat *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดถึงอิทธิพลของน้ำจากแม่น้ำแต่ละสายในแต่ละบริเวณที่ได้รับผลกระทบในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการทำความเข้าใจถึงแหล่งที่มาของสารอาหารที่เป็นต้นเหตุของการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันในแต่ละพื้นที่ได้

ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบของกระแสน้ำที่กระจายของน้ำท่าจากแม่น้ำสายสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนใน ที่อาจเป็นสาเหตุต่อการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น การปนเปื้อนของสารมลพิษ ภาวะพร่องออกซิเจน ยูโทรฟิเคชัน หรือปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ยังอยู่ในวงจำกัด จึงเป็นที่มาของการทำวิจัยในครั้งนี้ ที่มุ่งเน้นเพื่อทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายของน้ำท่าในรูป



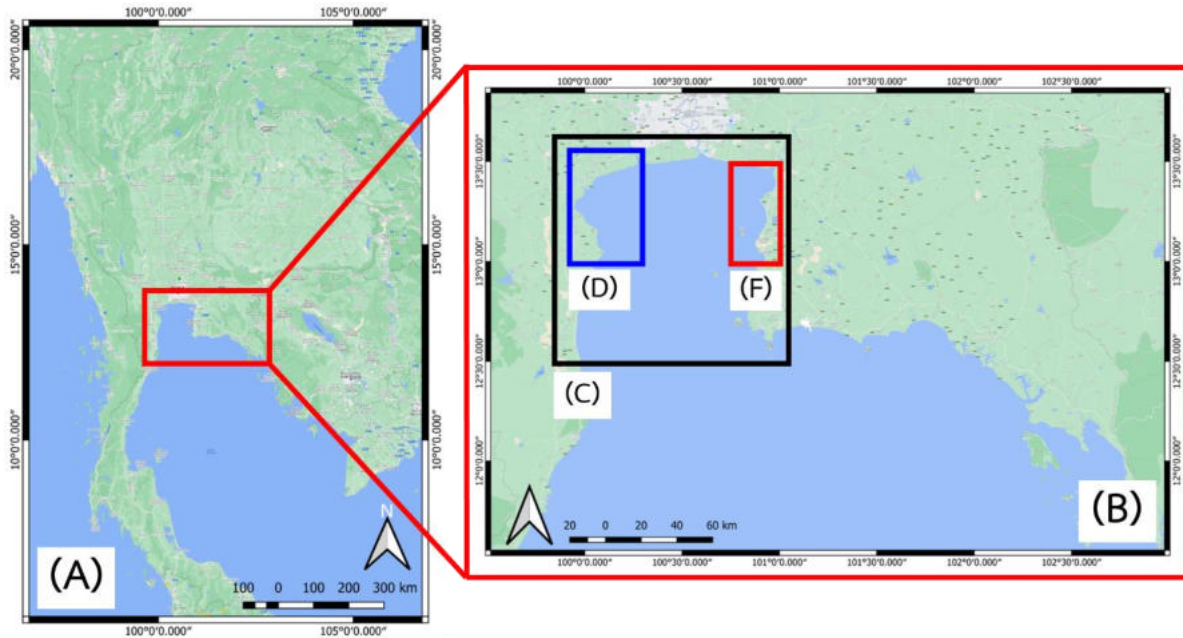
แบบของตัวติดตามแบบพาสซีฟจากแม่น้ำสายหลักในอ่าวไทยตอนใน ความรู้ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งในพื้นที่อ่าวไทยตอนในต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

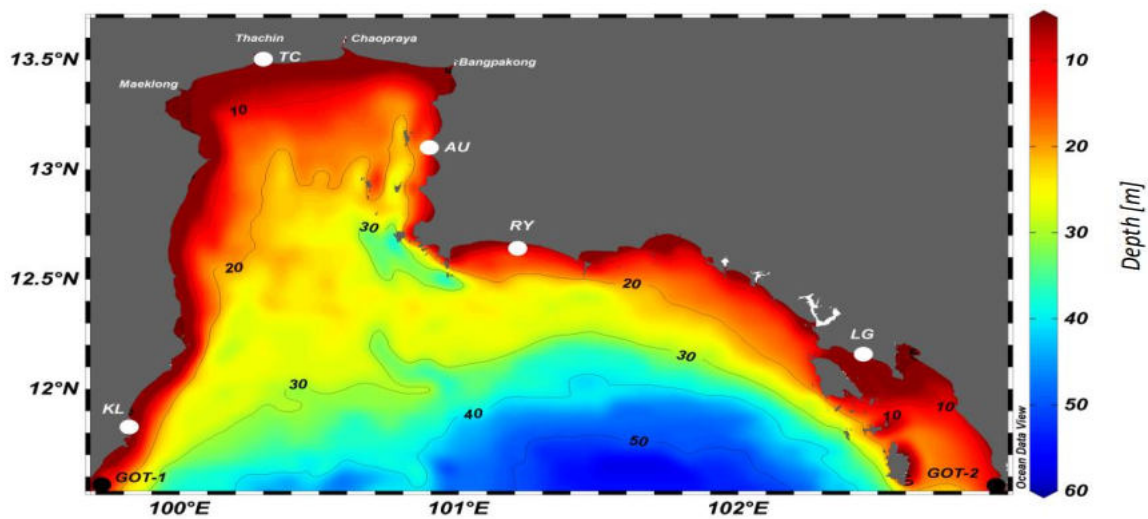
แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) ที่พัฒนาโดย Blumberg and Mellor (1987) แบบ 3 มิติ ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เป็นแบบจำลองที่อยู่บนพื้นฐานของสมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions) และสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) โดยใช้เทคนิคแบบ Diagnostic กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยทำการจัดเตรียมพื้นที่ของแบบจำลองภายใต้พิกัดระหว่าง ละติจูด 12.45-13.60 องศาเหนือ และลองจิจูด 99.91-101.02 องศาตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 1; A) ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นกริด (Grid) โดยแต่ละกริดมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) มีขนาดเท่ากับ 0.5×0.5 ลิปดา หรือประมาณ 926×926 เมตร มีขนาดจำนวนช่องกริด ตามแนวแกน x และ y มีค่าเท่ากับ 405 และ 247 ช่องตามลำดับ แต่ละกริดความลึกใช้ sigma coordinates โดยแบ่งเป็น 10 ชั้นตามความลึก โดยขนาดของกริดในแนวดิ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความลึกของน้ำ และทำการกำหนดพื้นที่รอบชายฝั่งเป็นด้านปิด (Closed Boundary) ซึ่งจะถือว่า ไม่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ชายฝั่งด้านตะวันออก ด้านเหนือ ด้านตะวันตก และบริเวณเกาะต่าง ๆ ที่อยู่ในทะเล สำหรับด้านใต้ได้ถูกกำหนดให้เป็นด้านเปิดของแบบจำลอง เพื่อให้นำเข้าค่าระดับของน้ำขึ้นน้ำลงจากทะเลภายนอกในการคำนวณการไหลเวียนกระแสน้ำ และระบุตำแหน่งของแม่น้ำสายสำคัญ เพื่อนำเข้าค่าปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำดังกล่าวที่ไหลลงสู่ทะเล และกำหนดค่าระยะเวลาในการคำนวณ (Run time) กำหนดค่าการคำนวณ External time step เท่ากับ 10 วินาที และ Internal time step เท่ากับ 200 วินาที ศึกษาการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟ (Passive Tracer) ที่มีแหล่งกำเนิดจากปากแม่น้ำสายสำคัญบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยที่การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟดังกล่าวจะโดยขึ้นอยู่กับกระบวนการ Advection และ Diffusion ดังสมการที่ (1) โดยการคำนวณจะถูกเพิ่มให้อยู่ในส่วนของ Internal mode ของแบบจำลอง POM

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

เมื่อ c คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารอนุรักษ์ (Conservative Matter; Unit) หรือตัวติดตามแบบพาสซีฟ x, y, z คือ ระยะทางในแนวลองจิจูด ละติจูดและระยะในแนวดิ่ง (เมตร) u, v, w คือความเร็วในแนวแกน x, y, z (เมตร/วินาที) ตามลำดับ K_h และ K_v คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารอนุรักษ์ในแนวราบและแนวดิ่ง (เมตร²/วินาที) ตามลำดับ ที่ได้มาจากการคำนวณในแบบจำลอง POM ทำการปล่อยตัวติดตามแบบพาสซีฟในบริเวณปากแม่น้ำ ได้แก่ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง และศึกษาสัดส่วนของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่แพร่กระจายและส่งผลต่อแต่ละพื้นที่ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน ภายใต้พิกัดระหว่าง ละติจูด 13.09-13.31 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.79-100.97 องศาตะวันออก และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน ภายใต้พิกัดระหว่าง ละติจูด 13.05-13.47 องศาเหนือ และลองจิจูด 99.90-100.21 องศาตะวันออก ตามลำดับ (ภาพที่ 1D และ 1F)



ภาพที่ 1 พื้นที่ของอ่าวไทย (A), ขอบเขตของแบบจำลองกระแสน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน (B), ขอบเขตของแบบจำลองกระแสน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนในที่ทำการศึกษาการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟ (C), ขอบเขตของบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนในที่ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวติดตามแบบพาสซีฟ (D) และขอบเขตของบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนในที่ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวติดตามแบบพาสซีฟ (F)



ภาพที่ 2 ภาพสีผสมแสดงความลึก และสถานีตรวจวัดระดับน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบน
ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลอง มีดังนี้



1. ข้อมูลน้ำท่า (River Discharge) ที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง โดยข้อมูลทั้งหมดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2552 จากกรมชลประทาน เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.rid.go.th> โดยใช้ข้อมูลจากสถานีปล่อยน้ำสถานีสุดท้ายที่ไม่ถูกรบกวนจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

2. ข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเล (Bathymetry) เป็นข้อมูลความลึกจากฐานข้อมูล The General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) มีความละเอียดของกริดเท่ากับ 0.5 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 926 เมตร โดยมีการกำหนดให้มีค่าความลึกมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 10 เมตร สามารถเข้าถึงได้จาก <http://www.gebco.net>

3. ข้อมูลลม (Wind) เป็นทิศทางและอัตราเร็วของลม แบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ใช้ค่าลมเฉลี่ยรายเดือน จากดาวเทียม QuikSCAT เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.ssmi.com> โดยทำการเลือกใช้ข้อมูลบริเวณพื้นที่ศึกษาเนื่องจากข้อมูลที่เข้าถึงนั้นเป็นข้อมูลลมทั่วโลก ทำการดาวน์โหลดข้อมูลในแต่ละปี จำนวน 10 ปี (พ.ศ. 2542-2552) เพื่อใช้สำหรับการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำสุทธิ (Residual current) รายเดือน และข้อมูลลมเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง จากแบบจำลองการคาดการณ์สภาพอากาศ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (<http://www.ecmwf.int/en/about>) ความละเอียด 0.125×0.125 องศา เพื่อใช้ในการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำฉับพลัน (Instantaneous current) สำหรับการทวนสอบความถูกต้องของกระแสน้ำจากแบบจำลอง

4. ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง (Tide) เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (Tide elevation) โดยแบบจำลองอ่าวไทยทั้งอ่าว ได้จากการวิเคราะห์แบบฮาร์โมนิก (Harmonic analysis) โดยใช้ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง K1, O1, M2, S2, P1, Q1, N2, K2 จากแบบจำลอง TPXO8-ATLAS เข้าถึงได้จาก http://volkov.oce.orst.edu/tides/tpxo8_atlas. จากนั้นทำการเก็บค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงในจุดที่ตรงกับขอบเขตเปิดของแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ 2 จุด คือ GOT-1 และ GOT-2 โดยข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงจะถูกเก็บทุก ๆ 30 นาที ในช่วงเวลาเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ในแต่ละเดือน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของทั้ง 2 จุด มาทำการประมาณค่าแบบเส้นตรง (Linear interpolation) ให้ตรงกับช่องค่านวณที่บริเวณขอบเขตเปิด (Open Boundary) ของแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ

5. ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเล (Temperature and Salinity) ในแต่ละเดือน ได้จาก National Oceanographic Data Center (NODC) World Ocean Atlas 2013 เป็นข้อมูลเฉลี่ยระยะยาว โดยใช้ความละเอียดของกริดเท่ากับ 0.25×0.25 องศา เข้าถึงได้จาก <http://www.nodc.noaa.gov> นำมาทำการประมาณค่าข้อมูลให้มีจุดพิกัดของช่องค่านวณที่กำหนดไว้ และทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชั้นในแนวตั้งตามความลึกของพื้นท้องทะเล

โดยที่ข้อมูลลมเฉลี่ย อุณหภูมิ ความเค็ม และความลึก ใช้การประมาณค่าเพื่อให้มีจุดพิกัดตรงกับช่องค่านวณ โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Gaussian Method ดังสมการ (2) เมื่อ ζ คือ ค่าของพารามิเตอร์ในจุดที่ต้องการประมาณค่า ζ_{oi} คือ ค่าพารามิเตอร์ในจุดที่ทราบค่า d_i คือ ระยะจากจุดที่ต้องการทราบค่ากับจุดที่ทราบค่า และ r คือ รัศมีของการประมาณค่า

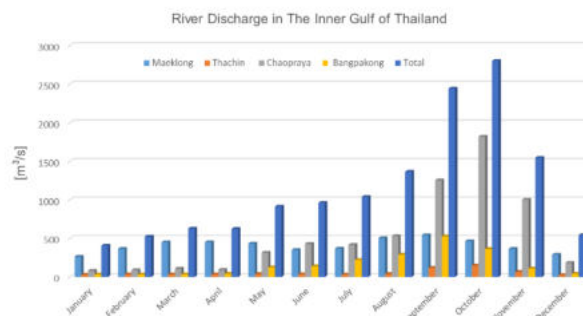
$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \zeta_{oi})}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad \text{เมื่อ} \quad y_i = e^{-d_i^2/r^2} \quad (2)$$

ก่อนการคำนวณกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเริ่มต้นเป็น 0 หรือระดับน้ำอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง มีการนำเข้าค่าระดับน้ำบริเวณด้านเปิดทางทิศใต้ ปริมาณน้ำท่าจะถูกคำนวณเพิ่มในกริดบริเวณปากแม่น้ำ โดยจะถูกแปลงให้เป็นค่าระดับน้ำภายในกริด แบบจำลองนี้ใช้เวลาในการคำนวณทั้งหมด 70 วัน โดยการปล่อยให้แบบจำลองเริ่มต้นคำนวณจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) เป็นเวลา 20 วัน แล้วจึงการทำปล่อยสารอนุรักษ์หรือตัวติดตามแบบพาสซีฟในแบบจำลองที่กำหนดให้มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 100 % โดยใช้ผลการคำนวณเป็นเวลา 50 วัน หลังจากนั้นมาใช้ในการศึกษา

ผลการวิจัย

1. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของแม่น้ำสายสำคัญ ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบปีระยะยาว (พ.ศ. 2542-2552) จากแม่น้ำสายสำคัญที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนใน 4 สาย ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง จากข้อมูลการตรวจวัดของกรมชลประทาน (ภาพที่ 3) พบว่า ปริมาณของน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงในรอบปี ขึ้นอยู่กับฤดูมรสุมและพายุหมุนที่เคลื่อนตัวผ่านประเทศไทย สอดคล้องกับการได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาเอาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิดฝนตกชุกบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือของไทยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนของทุกปี โดยเฉพาะในช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเหนือได้ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในในปริมาณที่สูงมาก ก่อนที่จะเข้าสู่หน้าแล้งในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม ที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงลมมรสุมเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าในแต่ละแม่น้ำ พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด (1,821.08 เมตร/วินาที; เดือนตุลาคม) รองลงมาคือ แม่น้ำแม่กลอง (505.33 เมตร/วินาที; เดือนสิงหาคม) แม่น้ำบางปะกง (527.56 เมตร/วินาที; เดือนกันยายน) และแม่น้ำท่าจีน (151.37 เมตร/วินาที; เดือนตุลาคม) ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนรวมของทุกแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนใน มีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคมของทุกปี (408.41 เมตร/วินาที) และค่อย ๆ เพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีค่ามากที่สุดในเดือนตุลาคม (2,802.41 เมตร/วินาที) และปริมาณน้ำท่ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จนกลับไปต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคมของทุกปีอีกครั้ง

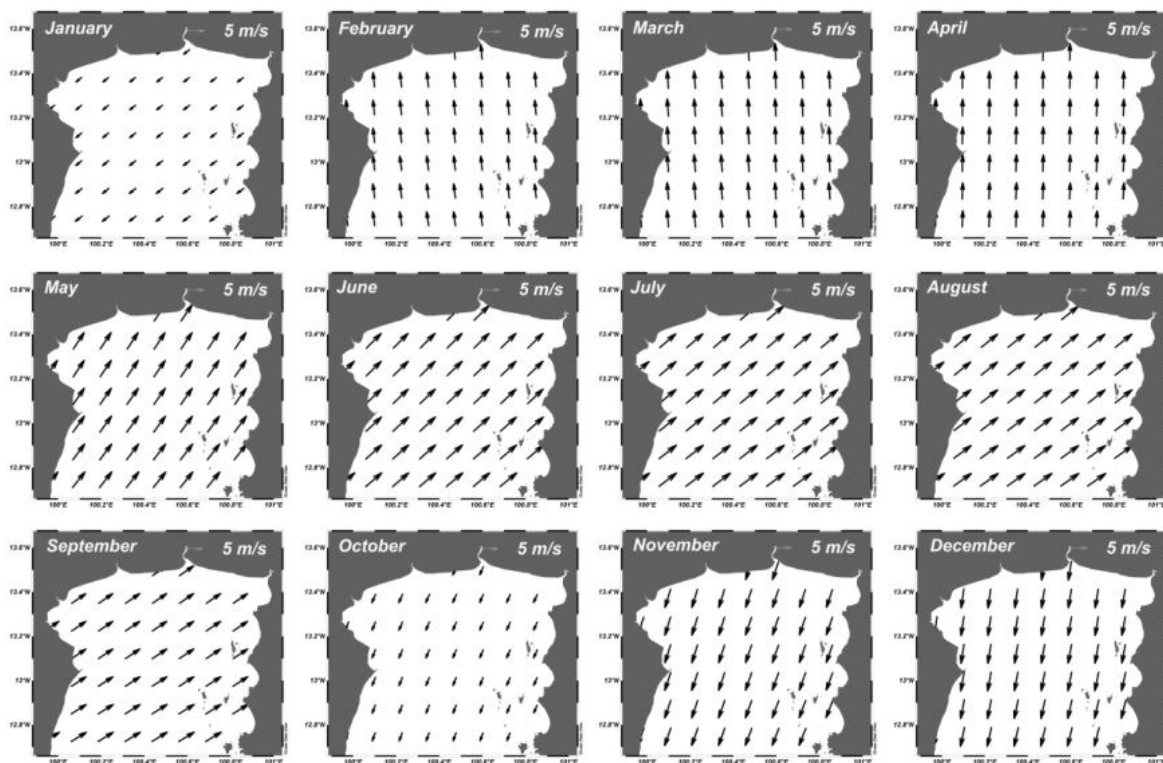


ภาพที่ 3 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว (พ.ศ. 2542-2552) จากแม่น้ำสายสำคัญในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

(<http://www.rid.go.th>)

2. ลักษณะของลมเฉลี่ยรายเดือนในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

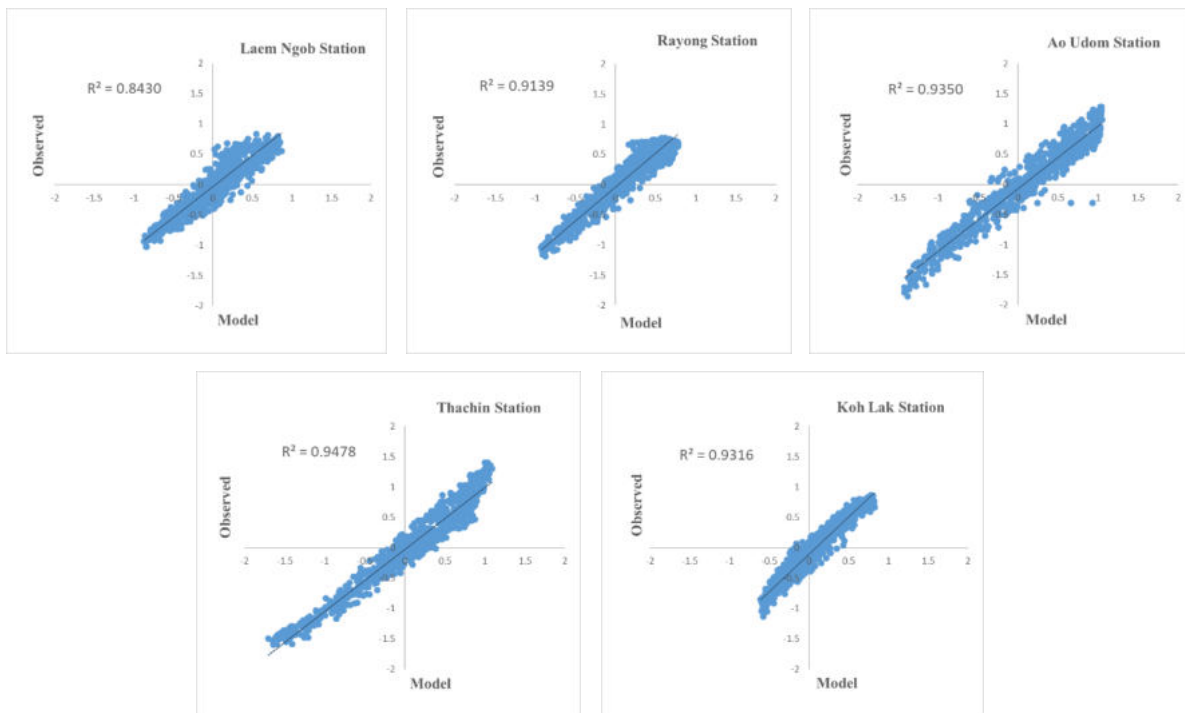
ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในบริเวณอ่าวไทยตอนใน จากข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT พบว่า ในช่วงเดือนมกราคม มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 2-3 เมตร/วินาที เนื่องจากเป็นช่วงปลายของอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 3-4 เมตร/วินาที โดยทิศทางของลมพัดมาจากทางด้านทิศใต้สู่ทิศเหนือ ทำมุมเกือบ 90 องศาต่อพื้นที่อ่าวไทยตอนใน เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าว เป็นช่วงเปลี่ยนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1; 1st Transition season) ส่วนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน เป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเร็วลมสูงสุดในรอบปี เฉลี่ยประมาณ 6-7 เมตร/วินาที ซึ่งพบความเร็วลมสูงสุดในเดือนสิงหาคม (7.44 เมตร/วินาที) ส่วนในเดือนตุลาคม พบว่า เป็นช่วงเปลี่ยนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2; 2nd Transition season) มีลักษณะลมคล้ายกับเดือนมกราคม มีความเร็วลมประมาณ 1-2 เมตร/วินาที และในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และพบความเร็วลมสูงสุดในเดือนธันวาคม (6.27 เมตร/วินาที) ดังแสดงในภาพที่ 4



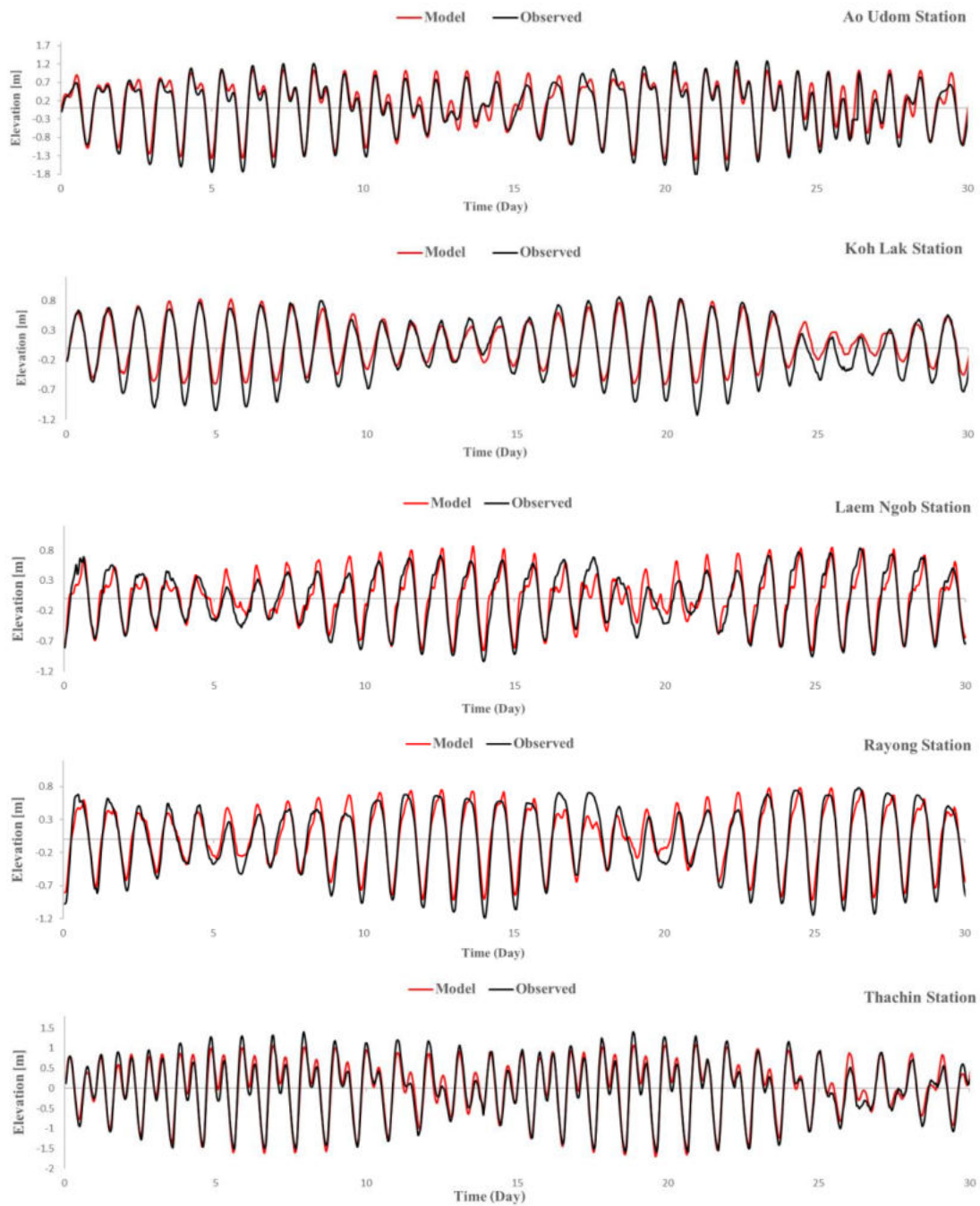
ภาพที่ 4 ลมเฉลี่ยรายเดือนบริเวณอ่าวไทยตอนใน ระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม (พ.ศ. 2542-2552) จากดาวเทียม QuikSCAT โดยที่เวกเตอร์แสดงถึงทิศทางและอัตราเร็วของลม (<http://www.ssmi.com>)

3. การเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้เปรียบเทียบค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้ตรวจวัดในจริงในภาคสนามของกรมเจ้าท่าใน 5 สถานีตรวจวัด ได้แก่ สถานีอ่าวอุดม (AU) สถานีเกาะหลัก (KL) สถานีแหลมฉบัง (LG) สถานีระยอง (RY) และสถานีท่าจีน (TC) ตามลำดับ ครอบคลุมพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษา (ภาพที่ 2) นำผลจากการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำ พบว่า เฟส (Phase) และขนาด (Amplitude) ของระดับน้ำจากแบบจำลองตรงกับของทุกสถานีตรวจวัดในพื้นที่ (ภาพที่ 6) และพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficients ; R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error ; RMSE) ของข้อมูลระดับน้ำตลอดทั้งปีมาทำการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับน้ำจากแบบจำลองในสถานีท่าจีน สถานีอ่าวอุดม สถานีเกาะหลัก สถานีระยอง และสถานีแหลมฉบัง มีความใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากที่สุด ตามลำดับ (ภาพที่ 5) ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง พบว่า ในสถานีระยอง สถานีท่าจีน สถานีเกาะหลัก สถานีแหลมฉบัง และสถานีอ่าวอุดม มีความคลาดเคลื่อนกับค่าตรวจวัดจริงน้อยที่สุด ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลอง (Model) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Observed) ที่สถานีอ่าวอุดม สถานีเกาะหลัก สถานีแหลมฉบัง สถานีระยอง และสถานีท่าจีน ตามลำดับ



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบเฟสระดับน้ำจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดระดับน้ำของสถานีอ่าวอุดม สถานีเกาะหลัก สถานีแหลมฉบัง สถานีระยอง และสถานีท่าจีน ตามลำดับ



ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของระดับน้ำจากแบบจำลองและจากสถานีตรวจวัดจริงในภาคสนามตามภาพที่ 2

สถานี	R^2	RMSE
AU (Ao Udom)	0.967	0.192
KL (Koh Lak)	0.966	0.170
LG (Laem Ngob)	0.918	0.175
RY (Rayong)	0.956	0.159
TC (Thachin)	0.973	0.165

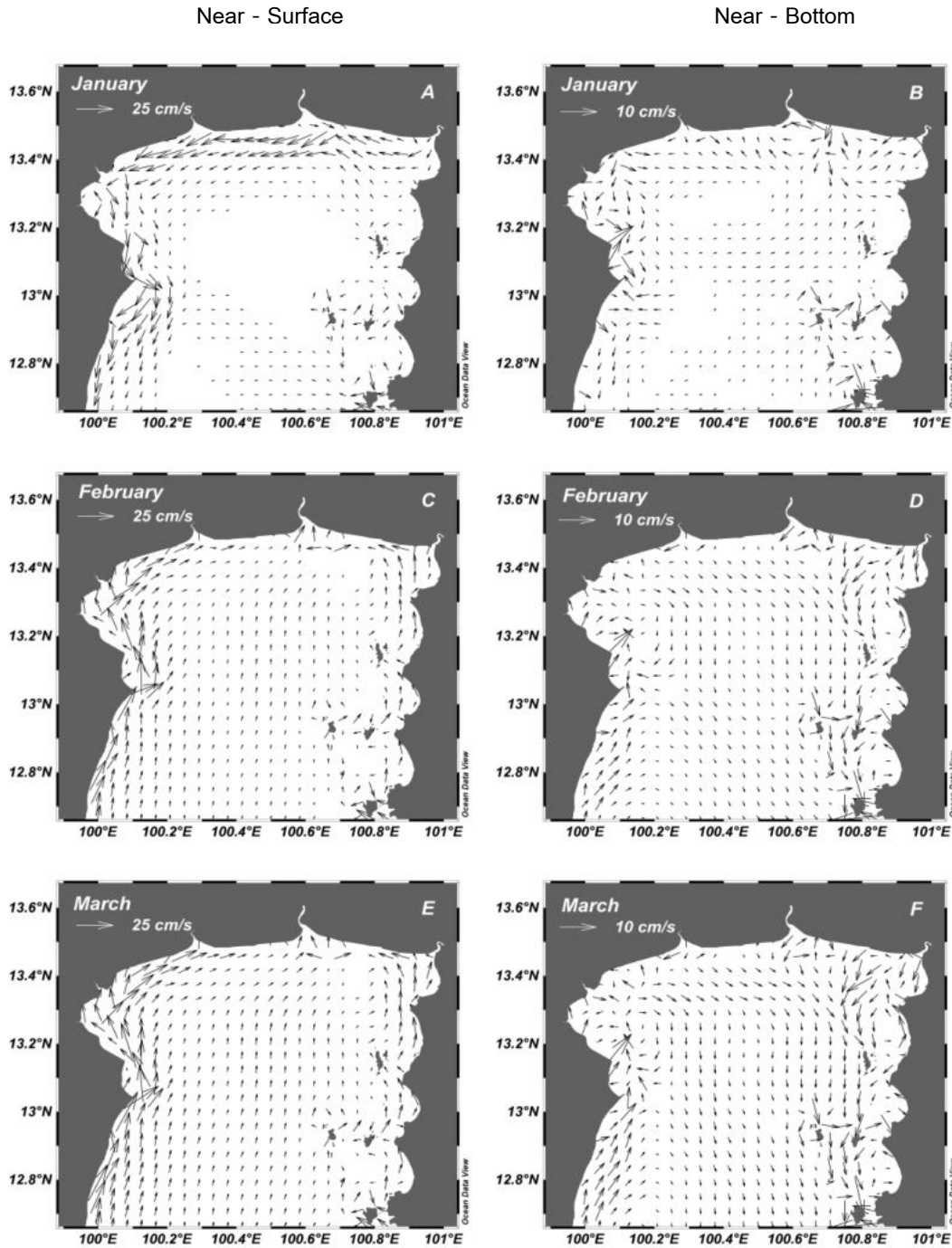
4. การไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟของแต่ละแม่น้ำในบริเวณ

อ่าวไทยตอนใน

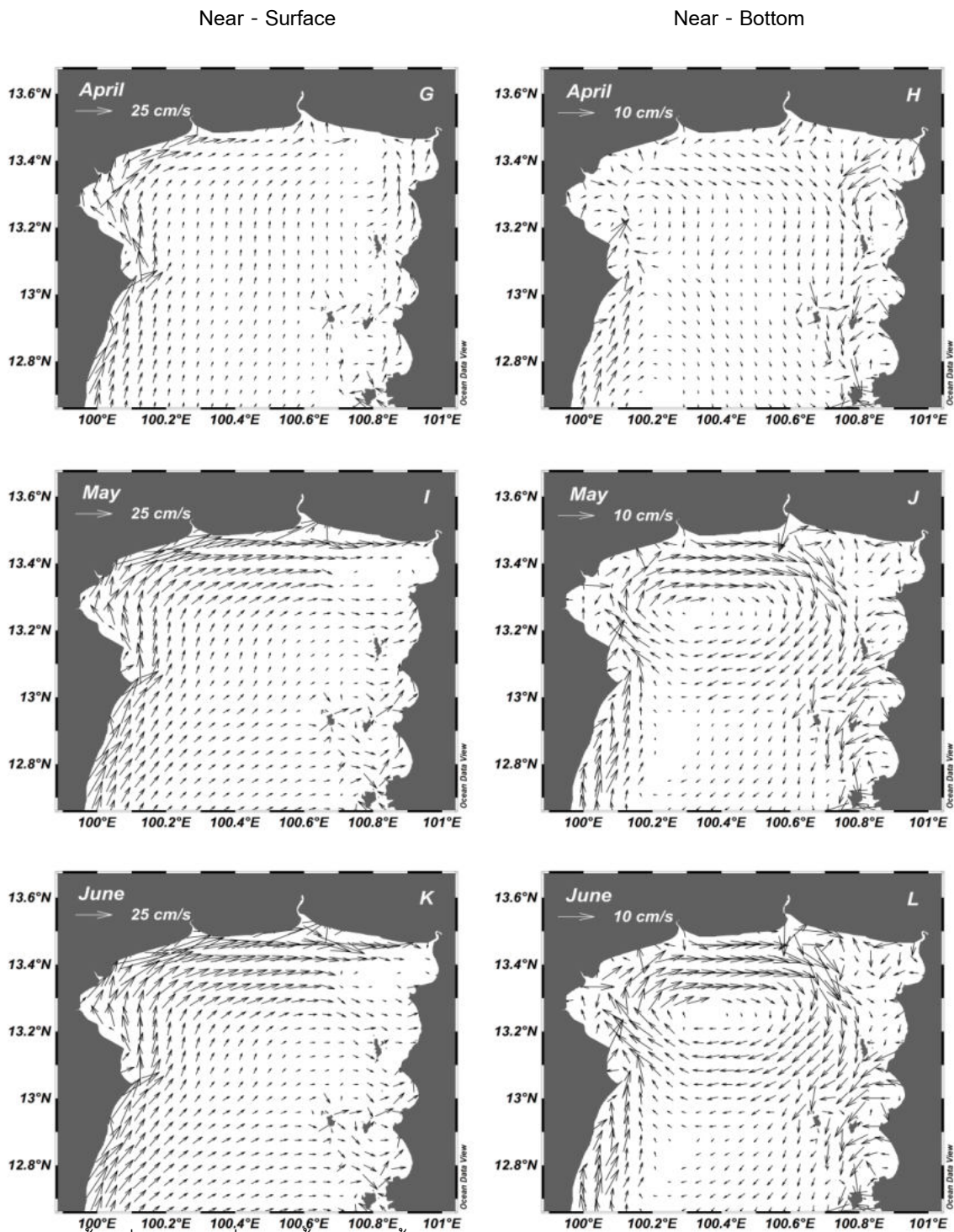
4.1 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

การไหลเวียนของกระแสน้ำเปลี่ยนรายเดือนที่ระดับผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลจากแบบจำลอง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พบว่า ในเดือนมกราคมจะมีกระแสน้ำที่ผิวน้ำไหลบ่าชายฝั่งทะเลด้านบนสุดของอ่าวไทยตอนใน โดยที่ทิศทางของกระแสน้ำจะไหลเวียนจากชายฝั่งตะวันออกไปยังตะวันตก และมีลักษณะการไหลเวียนที่เบาบางมาก ๆ ในพื้นที่กลางอ่าวไทยตอนใน รูปแบบเหมือนน้ำวนขนาดใหญ่ในอ่างน้ำ แต่มีความเร็วของการไหลเวียนที่ค่อนข้างแรงที่ชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออย่างเต็มที่ ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีลักษณะที่เบาและกระจายตัวทั่วทั้งอ่าวมากกว่ากระแสน้ำที่ผิวน้ำ แต่กระแสน้ำใกล้พื้นท้องทะเลจะมีความเร็วกว่ากระแสน้ำที่ผิวน้ำ บริเวณรอบๆเกาะแก่งทางด้านตะวันออกของอ่าว (ภาพที่ 7A,B) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนมีลักษณะของกระแสน้ำที่คล้ายคลึงกันทั้งที่ระดับผิวน้ำและใกล้พื้นทะเล คือ มีทิศทางไหลจากทางด้านทิศใต้สู่ทิศเหนือเลียบชายฝั่งตะวันตก แต่ด้วยชายฝั่งด้านตะวันออกมีเกาะแก่งมาก ทำให้กระแสน้ำใกล้พื้นท้องทะเลมีความปั่นป่วนของกระแสน้ำมากกว่าชายฝั่งด้านตะวันตก (ภาพที่ 7C-F และภาพที่ 8G,H) ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างเต็มที่ ส่งผลต่อลักษณะของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนในได้อย่างชัดเจนที่สุด คือ กระแสน้ำที่ผิวน้ำมีลักษณะที่ไหลแรง โดยมีทิศทางจากชายฝั่งด้านตะวันตกไปทางฝั่งตะวันออกของอ่าว เลียบแนวชายฝั่งด้านทิศเหนือของอ่าวและไปชนชายฝั่งด้านตะวันออกทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำมุด (Down welling) ทำให้ทิศไหลของกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางการไหลสวนทางไปทางทิศตะวันตก เกิดเป็นกระแสน้ำไหลเวียนเป็นวงกลมในมวลน้ำชั้นล่างในบริเวณกลางอ่าว ย้อนกลับมาทางด้านตะวันตกผ่านบริเวณตอนกลางของอ่าวในลักษณะของการหมุนวนแบบตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 8I-L และภาพที่ 9M-R) ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ส่งผลทำให้กระแสน้ำที่ผิวน้ำมีการไหลเวียนจากทิศเหนือไหลไปทางทิศตะวันตกและทิศใต้ของอ่าว และเด่นชัดบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าว ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางการไหลทางด้านตะวันตกคล้ายคลึงกับกระแสน้ำที่ผิวน้ำ แต่มีลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำที่สวนทางกับกระแสน้ำ

ที่ผิวน้ำ คือ กระแสน้ำจะไหลจากทิศใต้จากมวลน้ำกลางอ่าวสู่ทิศเหนือเลียบไปทางชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 10S-X)



ภาพที่ 7 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงเดือนมกราคม (A; Near - Surface และ B; Near - Bottom), เดือนกุมภาพันธ์ (C; Near - Surface และ D; Near - Bottom) และ เดือนมีนาคม (E; Near - Surface และ F; Near - Bottom)

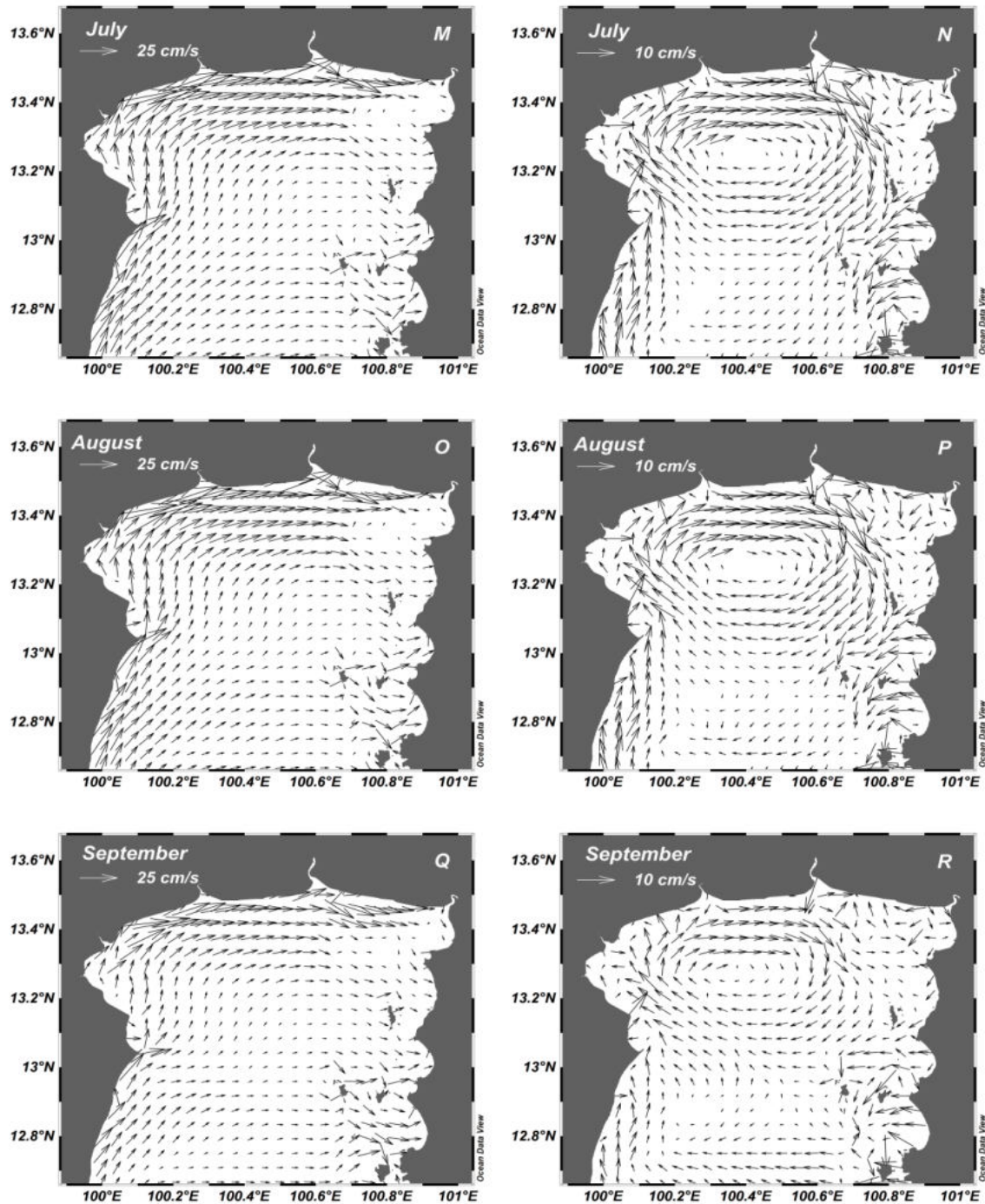


ภาพที่ 8 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงเดือนเมษายน

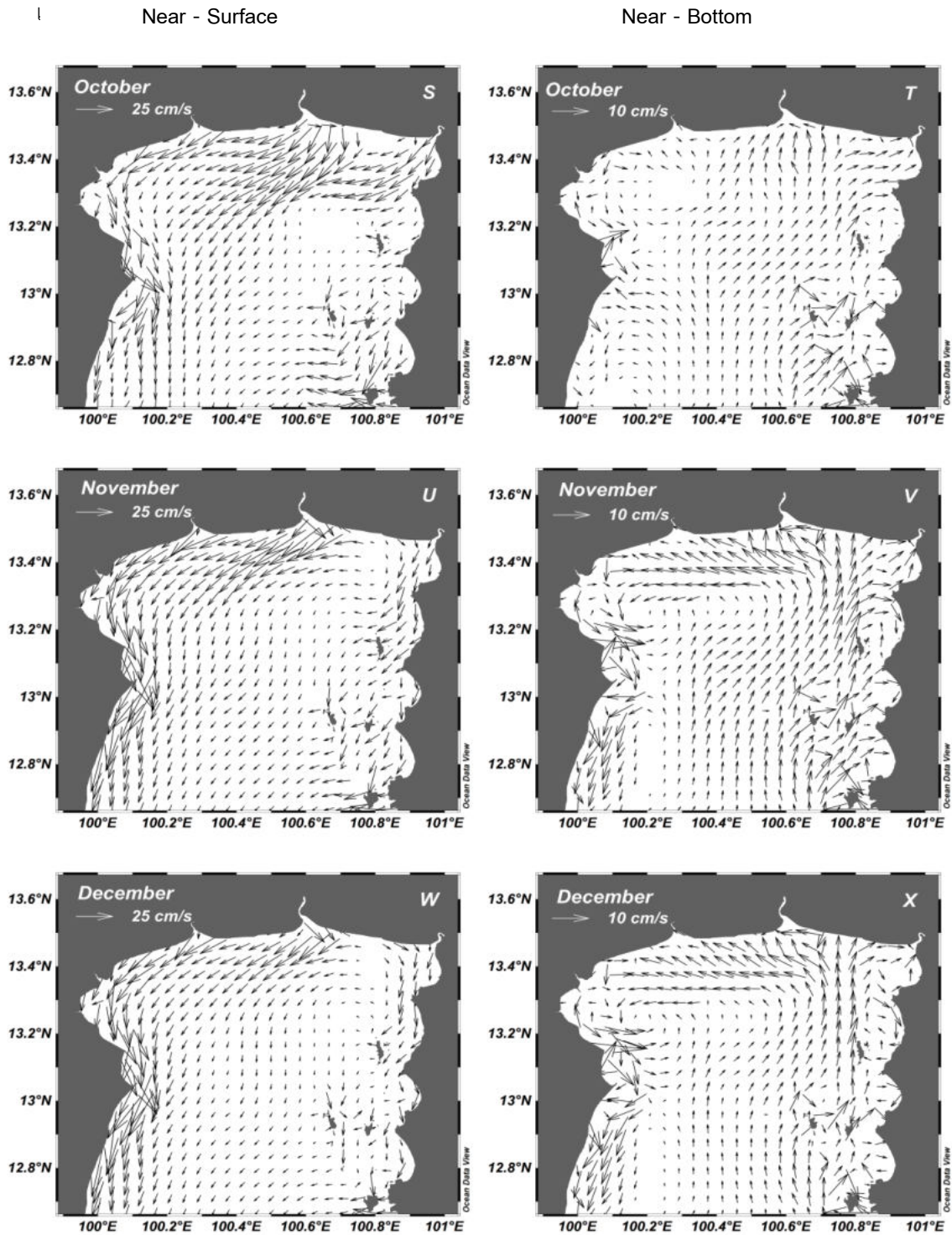
(G; Near - Surface และ H; Near - Bottom), เดือนพฤษภาคม (I; Near - Surface และ J; Near - Bottom) และเดือนมิถุนายน (K; Near - Surface และ L; Near - Bottom)

Near - Surface

Near - Bottom



ภาพที่ 9 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงเดือนเดือนกรกฎาคม (M; Near - Surface และ N; Near - Bottom), เดือนสิงหาคม (O; Near - Surface และ P; Near - Bottom)

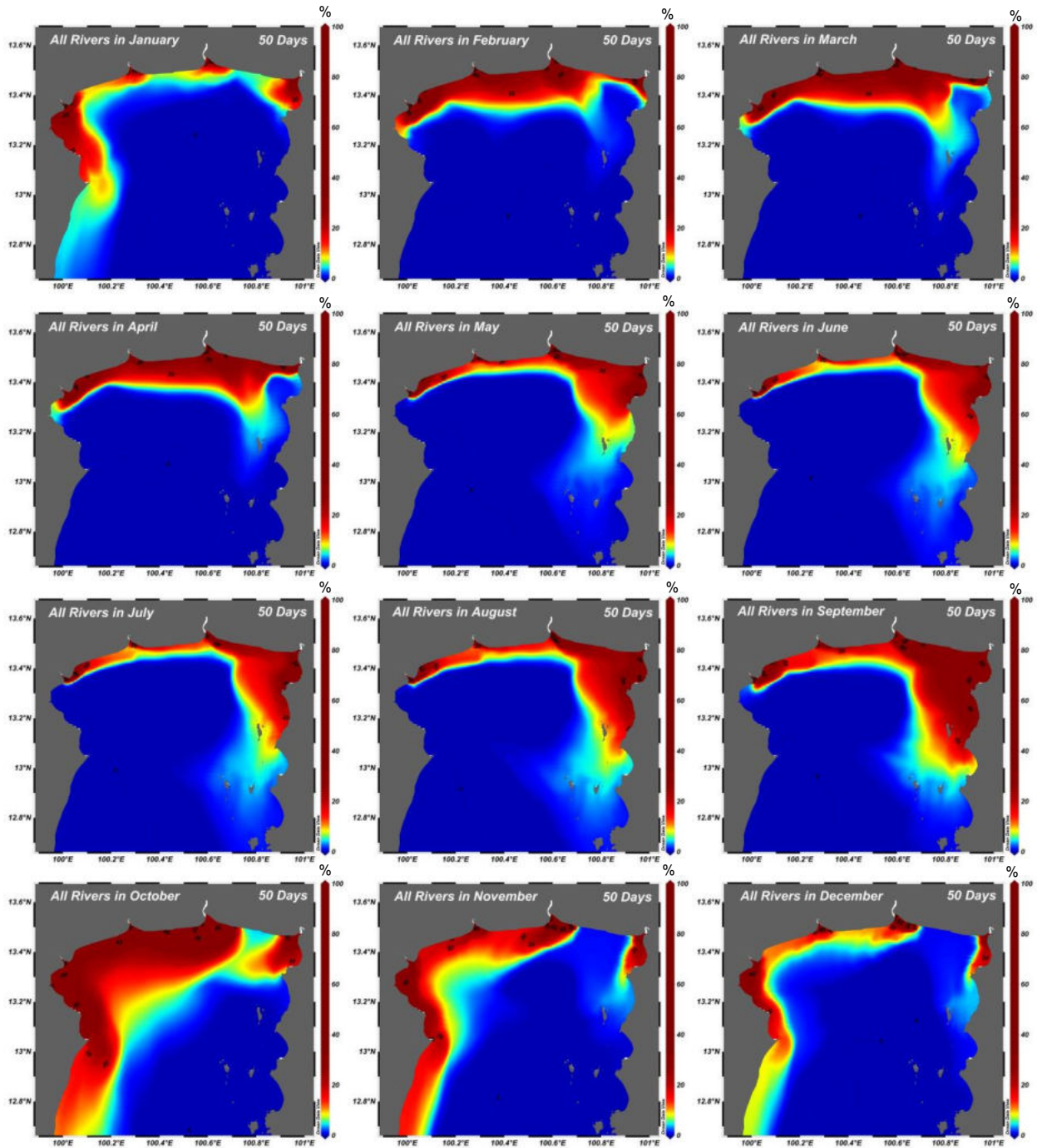


ภาพที่ 10 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงเดือนเดือนตุลาคม (S; Near - Surface และ T; Near - Bottom), เดือนพฤศจิกายน (U; Near - Surface และ V; Near - Bottom) และ เดือนธันวาคม (W; Near - Surface และ X; Near - Bottom)



4.2 การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟของแต่ละแม่น้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟของแต่ละแม่น้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 11) พบว่าในเดือนมกราคม กลุ่มของตัวติดตามแบบพาสซีฟมีการไหลวนอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย และมีแนวโน้มที่จะไหลเลียบบขนานไปกับแนวชายฝั่งด้านตะวันตกลงไปทางทิศใต้ไปเรื่อย ๆ จนเกิดการรวมตัวกันเป็นจำนวนมากบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกบริเวณแถว ๆ ชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ ตามอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ปลายฤดูหนาว) อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มอ่อนกำลังลง ทำให้เกิดลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มีลักษณะคล้าย ๆ กันทั้ง 3 เดือนนี้ คือ มวลส่วนใหญ่ของตัวติดตามแบบพาสซีฟจะไหลรวมตัวกันและทรงตัวแถว ๆ บริเวณปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย ผลมาจากกระแสที่รับอิทธิพลจากลมมรสุมที่อ่อนกำลังลงเริ่มเปลี่ยนทิศทางการไหลเวียน จากฝั่งตะวันตกสู่ฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน สอดคล้องกับกระแสในช่วงเดือนดังกล่าวข้างต้น (ภาพที่ 7 และ 8) ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน เป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน; น้ำหลาก) มีลักษณะของกระแสที่ไหลเวียนจากชายฝั่งด้านตะวันตกไปสู่ชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 8 และ 9) ส่งผลต่อลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟของแต่ละแม่น้ำ คือ มวลของตัวติดตามแบบพาสซีฟไหลออกจากปากแม่น้ำแต่ละสาย จะไหลเลียบบชายฝั่งด้านทิศเหนือแล้วไปรวมตัวกันที่แนวชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนในตรงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และชายฝั่งจังหวัดชลบุรี โดยเฉพาะในเดือนกันยายนที่เด่นชัดที่สุด ในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปลายของลมมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้ก่อนที่ จะเปลี่ยนไปเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ปลายฝนต้นหนาว) มีผลทำให้รูปแบบของกระแสเปลี่ยนไปอย่างชัดเจนมากที่สุดในรอบปี คือ กระแสจะเปลี่ยนทิศทางการไหล โดยจะไหลจากฝั่งตะวันออกสู่ฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน สอดคล้องกับข้อมูลกระแส (ภาพที่ 10) ทำให้การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟของแต่ละแม่น้ำในเดือนนี้ มีลักษณะคือ มวลของตัวติดตามแบบพาสซีฟไหลออกจากปากแม่น้ำแต่ละสาย จะไหลเลียบบชายฝั่งด้านทิศเหนือแล้วไปรวมตัวกันที่แนวชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนในตรงบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ท่าจีน แม็กลอง และแนวชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ตามลำดับ โดยที่อิทธิพลการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟจะไหลออกมาไกลฝั่งมากพอสมควร และเมื่อเข้าสู่ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว; น้ำน้อย) ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟตามกระแสจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 10) ตัวติดตามแบบพาสซีฟจะไหลจากฝั่งตะวันออกสู่ฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน เช่นเดียวกับเดือนตุลาคมแต่จะมีลักษณะที่ค่อนข้างชัดเจนน้อยลงไปกว่าเดือนตุลาคม เพราะเป็นช่วงที่อิทธิพลของน้ำท่าเริ่มน้อยลงตามลำดับ และจะเห็นได้ชัดที่สุด คือ ในเดือนมกราคม ตามลำดับ (ภาพที่ 11)

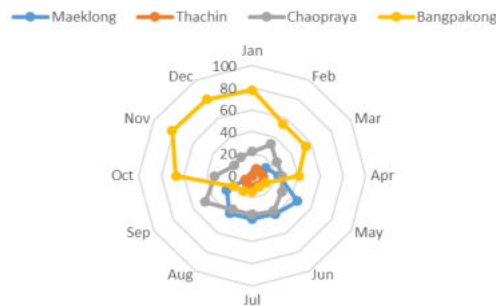


ภาพที่ 11 การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟเฉลี่ยตามความลึกหลังปล่อยเป็นระยะเวลา 50 วันจากปากแม่น้ำทั้ง 4 สายในรอบปีบริเวณอ่าวไทยตอนใน (หน่วยเป็น %)

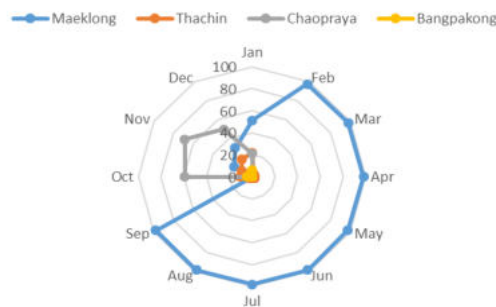
4.3 สัดส่วนของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ทางฝั่งตะวันออกและตะวันตกบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ได้ทำการทดลองประเมินสัดส่วนของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มีแหล่งกำเนิดมาจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ในพื้นที่ทางฝั่งตะวันออกและตะวันตกบริเวณอ่าวไทยตอนใน พบว่า พื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก (ภาพที่ 1F) การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มาจากแม่น้ำบางปะกง (ประมาณร้อยละ 40.8-81.7) มีอิทธิพลสูงที่สุดและยาวนานที่สุดต่อพื้นที่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายน ตัวติดตามจากแม่น้ำแม่กลอง (ประมาณร้อยละ 39.4-46.1) มีอิทธิพลต่อพื้นที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม และตัวติดตามแบบพาสซีฟจากแม่น้ำเจ้าพระยา (ร้อยละ 47.9) จะเข้ามามีอิทธิพลต่อพื้นที่แทนทุก ๆ แม่น้ำในเดือนกันยายน โดยจะมีสัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟแพร่กระจายจากแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำท่าจีน ในรอบปีในช่วงระหว่างร้อยละ 12.1-81.7, 18.3-47.9, 0.0-46.1 และ 0.0-10.8 ตามลำดับ ส่วนในพื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 1D) พบว่า การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มาจากแม่น้ำแม่กลอง (ประมาณร้อยละ 51.1-98.2) มีอิทธิพลต่อพื้นที่สูงที่สุดและยาวนานที่สุดในช่วงเดือนมกราคมถึงกันยายน และในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม (ประมาณร้อยละ 49.7-59.2) ตัวติดตามแบบพาสซีฟจากแม่น้ำเจ้าพระยามีอิทธิพลต่อพื้นที่มากกว่าตัวติดตามแบบพาสซีฟจากแม่น้ำแม่กลอง โดยมีสัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟแพร่กระจายจากแม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำบางปะกง อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 18.5-98.2, 0.0-68.2, 1.7-21.9 และ 0.0-6.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 12 และตารางที่ 2)

East Coast



West Coast



ภาพที่ 12 ร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟในรอบปีที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกและด้านตะวันตก บริเวณอ่าวไทยตอนใน



ตารางที่ 2 ร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟแต่ละแม่น้ำที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกและด้านตะวันตกในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

Percentage of River Discharge		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
East Coast	Maeklong	0.0	5.3	13.8	23.2	46.1**	40.3**	39.4**	39.7**	26.1*	0.0	0.0	0.0
	Thachin	0.0	7.2	7.3	9.7	10.8	10.3	10.4	9.0	7.0	0.0	0.0	0.0
	Chaopraya	22.0*	33.0*	24.9*	26.2*	29.9*	37.2*	35.2*	35.5*	47.9**	32.9*	18.3*	19.8*
	Bangpakong	78.0**	54.4**	54.0**	40.8**	13.3	12.1	15.0	15.8	19.0	67.1**	81.7**	80.2**
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
West Coast	Maeklong	51.1**	97.4**	97.8**	98.1**	97.5**	98.0**	98.2**	98.2**	97.7**	25.3*	18.5*	30.0*
	Thachin	21.9*	2.6*	2.2*	1.7*	2.5*	2.0*	1.8*	1.8*	2.3*	10.7	10.3	18.1
	Chaopraya	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2**	68.2**	49.7**
	Bangpakong	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	3.0	2.2
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

หมายเหตุ ** มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อพื้นที่ และ * มีอิทธิพลต่อพื้นที่

วิจารณ์ผลการวิจัย

ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือนในบริเวณอ่าวไทยตอนในจากข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT พบว่า ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคมเป็นช่วงของอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนเป็นช่วงเปลี่ยนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนเป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเร็วลมสูงสุดในรอบปี และในเดือนตุลาคม พบว่า เป็นช่วงเปลี่ยนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และเมื่อทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองที่ได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องของแบบจำลอง (Calibration and Verified) และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองแล้วนั้น พบว่า การไหลเวียนของกระแสน้ำเฉลี่ยในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม กระแสน้ำจะไหลเวียนเลียบชายฝั่งทะเลด้านบนสุด (ทิศเหนือ) ของอ่าวไทยตอนใน จากชายฝั่งด้านตะวันออกไปยังด้านตะวันตกในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดกระแสน้ำไหลวนขนาดใหญ่บริเวณกลางอ่าว และจะมีขนาดที่ลดลงไปตามบริเวณเกาะแก่งทางด้านตะวันออกของอ่าวตามลำดับ และในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลทำให้กระแสน้ำมีทิศทางพัดจากชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไปทางฝั่งตะวันออกของอ่าวในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และกระแสน้ำได้ไหลเวียนจะมาชนชายฝั่งด้านตะวันออกแล้วก็เกิดปรากฏการณ์น้ำมุด (Down welling) ทำให้มีลักษณะของกระแสน้ำใต้ท้องน้ำ ไหลย้อนกลับไปทางทิศตะวันตก เกิดเป็นกระแสน้ำไหลเวียนเป็นวงกลมในมวลน้ำชั้นล่างในบริเวณกลางอ่าวไทยตอนใน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buranapratheprat (2008) เรื่องการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนในด้วย

การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟในน้ำทะเลและสัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำท่าที่มีอิทธิพลต่อแต่ละพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนใน พบว่า ตัวติดตามแบบพาสซีฟจะไหลวนอยู่บริเวณปากแม่น้ำของแต่



ละลาย และมีแนวโน้มที่จะไหลเลียบขนานไปกับชายฝั่งบริเวณของจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ (ด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน) และบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี (ด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน) ตามกระแสที่รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับ โดยที่อิทธิพลจากการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ จะมีผลต่อชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน โดยสัดส่วนจากมากไปน้อยของอิทธิพลจากแม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยา แม็กลอง และท่าจีน ตามลำดับ และการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีผลต่อชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน โดยสัดส่วนจากมากไปน้อยของอิทธิพลจากแม่น้ำแม็กลอง เจ้าพระยา ท่าจีน และบางปะกง ตามลำดับ ทำให้เห็นถึงลักษณะรูปแบบของการไหลและการพัดพาของตัวติดตามแบบพาสซีฟซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำท่าจากข้อมูลสัดส่วนร้อยละของตัวติดตามแบบพาสซีฟของพื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก พบว่า การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มาจากแม่น้ำบางปะกง (ประมาณร้อยละ 40.8-81.7) มีอิทธิพลต่อพื้นที่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายน และจะลดหลั่นลงไปตามแต่ละเดือน โดยมีอิทธิพลน้อยสุด ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน เนื่องจากปริมาณน้ำท่าของแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าสูงที่สุดในบรรดาแม่น้ำทั้ง 4 สาย ในช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนพื้นที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตก การแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มาจากแม่น้ำแม็กลอง (ประมาณร้อยละ 51.1-98.2) มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันตกเกือบตลอดทั้งปี ยกเว้นในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม อิทธิพลจากแม่น้ำแม็กลองส่งผลต่อพื้นที่น้อยลง เนื่องจากเป็นช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ เป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าค่อนข้างสูงที่สุดในรอบปี ทำให้การพัดพาตัวติดตามจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามามีอิทธิพลในพื้นที่ดังกล่าวแทน (ภาพที่ 12) ผลจากการศึกษาทำให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลง การกระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟตามฤดูกาลและสัดส่วนของตัวติดตามแบบพาสซีฟตามฤดูกาลของแม่น้ำแต่ละสาย (ภาพที่ 11 และ 12) อันส่งผลต่อพื้นที่ต่าง ๆ ในบริเวณชายฝั่งทางด้านตะวันออก ด้านเหนือ และด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนใน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสมุทรศาสตร์และสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่เด่นชัดในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา เช่น การเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลขององค์ประกอบทางเคมี คุณภาพน้ำ และที่เด่นชัดที่สุด คือ ผลผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศทางทะเล ซึ่งเป็นดัชนีทางด้านชีวภาพ โดยแพลงก์ตอนพืชเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่สุด บ่งบอกถึงสถานะของยูโทรฟิเคชัน และระดับความมั่นคงของทรัพยากรทางทะเลของพื้นที่นั้น โดยความเค็มที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของน้ำท่าจะมีผลต่อลักษณะความขรุขระ ความหนาแน่น การกระจายตัว จำนวนของแพลงก์ตอนพืช (Bharathi et al, 2018) และเมื่อองค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช เช่น แสง ความเค็ม และสารอาหารในน้ำทะเล ก็จะทำให้เกิดการสะสมขึ้นเป็นประจำ ในช่วงเดือนที่ได้รับอิทธิพลจากการพัดพาของน้ำท่าในพื้นที่ชายฝั่งทั้งสองด้านของอ่าวไทยตอนใน ดังที่เคยปรากฏเป็นข่าวหลาย ๆ ครั้ง สอดคล้องกับการศึกษาการเฝ้าระวังและติดตามปรากฏการณ์ขึ้นปลาตายบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ในปี พ.ศ. 2548-2549 บริเวณเมืองใหม่ชลบุรี ชายหาดบางแสน และศรีราชา ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมของทุกปี จากการสำรวจและรายงานผลของสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่า คุณภาพน้ำในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ และสารอาหารปริมาณน้อย บางสถานีจะมีค่าที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะในสถานีบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่าวชลบุรี และเมื่อทำการเปรียบเทียบสารอาหารปริมาณน้อย กับช่วงที่มีสภาวะปกติ ยังพบว่า ฟอสเฟตในน้ำและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีร่วมกับระดับความเค็มที่เหมาะสมดังกล่าวด้วย (Institute of Marine Science, 2006) และบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน คลองโคก และชายหาดแหลมผักเบี้ย ในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม จากการ



รายงานของศูนย์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก ซึ่งสอดคล้องกับผลการของแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟในแต่ละเดือนที่ได้จากแบบจำลองในครั้งนี้ เนื่องจากอ่าวไทยตอนในตั้งอยู่ในบริเวณไหล่ทวีป ซึ่งเป็นแหล่งที่มีผลผลิตทางชีวภาพค่อนข้างสูงมาก โดยได้รับสารอาหารจากแหล่งต่าง ๆ เช่น บริเวณชายฝั่งที่เต็มไปด้วยกระแสน้ำที่ไหลผ่านน้ำจืดจากพายุเขตร้อน จะพัดพาน้ำเสียจากภาคการเกษตร ชุมชน อุตสาหกรรม และกิจกรรมของมนุษย์ (Wang et al., 2015) ทำให้เป็นพื้นที่ที่มีความน่าเป็นห่วงต่อการเพิ่มขึ้นของสารอาหารอย่างรวดเร็ว และการพร่องของออกซิเจนซึ่งจะมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศชายฝั่ง สอดคล้องกับการศึกษาการพร่องออกซิเจนและยูโทรฟิเคชันในบริเวณดังกล่าว ที่พบว่า สาเหตุของการพร่องออกซิเจนบริเวณใกล้พื้นท้องทะเลและยูโทรฟิเคชัน มาจากมวลของน้ำท่าขนาดใหญ่ ระยะเวลาที่ยาวนานของการพำนักของมวลน้ำท่า และการแบ่งชั้นที่ค่อนข้างชัดเจน บริเวณเหนือสุดของอ่าวใกล้กับปากแม่น้ำสายสำคัญ บริเวณอ่าวไทยตอนใน จะเกิดขึ้นในช่วงรอยต่อของการเปลี่ยนจากฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Buranapratheprat et al., 2021) และสอดคล้องกับรูปแบบการพัดพาของขยะลอยน้ำจำพวกพลาสติกต่าง ๆ ในทะเลจากการศึกษาของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ที่พบว่า แม่น้ำสายสำคัญเป็นแหล่งที่มาของขยะ โดยแม่น้ำเจ้าพระยามีสัดส่วนของปริมาณของขยะทั้งหมดเมื่อเทียบกับแม่น้ำอื่น ๆ ที่ใกล้เคียง อีกทั้งปริมาณขยะจะมีการแปรผันไปตามฤดูกาลและปริมาณของน้ำท่าในแต่ละเดือน (Prempreet et al., 2018) อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

กระแสน้ำในอ่าวไทยตอนในที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลด้วยอิทธิพลของลมมรสุม เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของตัวติดตามแบบพาสซีฟที่มีแหล่งกำเนิดมาจากแม่น้ำสายหลักมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และในแต่ละฤดูกาล โดยที่พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก จะได้รับอิทธิพลจากน้ำท่ามากที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีสัดส่วนจากมากไปน้อยของอิทธิพลจากแม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยา แม็กลอง และท่าจีน ตามลำดับ ส่วนพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันตก จะได้รับอิทธิพลจากน้ำท่ามากที่สุดในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีสัดส่วนจากมากไปน้อยของอิทธิพลจากแม่น้ำแม็กลอง เจ้าพระยา ท่าจีน และบางปะกง ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี และการพัดพาของขยะลอยน้ำที่พบบริเวณชายฝั่งทางด้านตะวันออกและตะวันตกของอ่าวไทยตอนในตามฤดูกาลที่เคยมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมชลประทาน และกรมเจ้าท่า ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการศึกษา ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัย และนิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ที่ช่วยเรื่องข้อมูลต่าง ๆ ในครั้งนี้ด้วย



เอกสารอ้างอิง

- Bharathi, M. D., Sarma, V. V. S. S., Ramaneswari, K., & Venkataramana, V. (2018). Influence of river discharge on abundance and composition of phytoplankton in the western coastal Bay of Bengal during peak discharge period. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 671-683.
- Blumberg, A., & Mellor, G. (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In N. S. Heaps (Ed.). *Three dimensional coastal ocean model Coastal and estuarine science (Washington, D.C.: AGU Press)*, 1-16.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Sawangwong, P. (2002). Seasonal variations in circulation and salinity distributions in the upper Gulf of Thailand: *Modeling approach (Vol. 40)*.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., Niemann, K.O., Matsumura, S., & Sojisuporn, P. (2008). Surface chlorophyll dynamics in the upper Gulf of Thailand revealed by a coupled hydrodynamic-ecosystem model. *Journal of Oceanography* 64, 639 - 656.
- Buranapratheprat, A., Morimoto, A., Phromkot, P., Mino Y., Gunbua V. & Jintasaeranee P. (2021). Eutrophication and Hypoxia in the upper Gulf of Thailand. *Journal of Oceanography*.
- Gordeev, V. V., & Lisitzin, A. P. (2014). Geochemical interaction between the freshwater and marine hydrospheres. *Russian Geology and Geophysics*, 55(5), 562-581.
- Institute of Marine Science. (2006). Surveillance project and planning guidelines for the prevention of redtide in coastal areas Chonburi. *Research funding : The Chonburi Provincial Administrative Organization*.
- Prempee T., T. Wannarungsri, N. Kornkanitnan & P. Cherdasukjai. (2018). Type and quantity of floating marine debris from river mouths in the Upper Gulf of Thailand. *Marine and Coastal Resources Research Center, Upper Gulf of Thailand. Department of Marine and Coastal Resources*.
- Simpson, J. H. (1997). Physical processes in the ROFI regime. *Journal of Marine Systems*, 12(1), 3-15.



Wang, Y., Jiang, H., Jin, J., Zhang, X., Lu, X., & Wang, Y. (2015). Spatial-Temporal Variations of Chlorophyll-a in the Adjacent Sea Area of the Yangtze River Estuary Influenced by Yangtze River Discharge. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12(5), 5420-5438.

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.