

การศึกษาเวลาพักของมวลน้ำในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

คุณหญิง หลีนวรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวาริชศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ธันวาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ คุณฉวี หลินวรรณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้


คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต บูรณประทีปรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไสจิตฺตกร)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต บูรณประทีปรัตน์)



..... กรรมการ

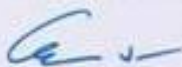
(ดร.ชนัดพงษ์ โภควนิช)



..... กรรมการ

(ดร.ปริญ หล่อพิทยากร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกกรฐ ศรีสุข)

วันที่ 7 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุคุณ บูรณประทีปรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ โสจิสุกร ดร.ชนัสพงษ์ โภควนิช และผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทำให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกรมเจ้าท่า กรมชลประทาน รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา สุดท้ายขอขอบคุณตัวผู้วิจัยเองสำหรับความพยายามในครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแด่ บพภารี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ศุภฤดี หลินวรัตน์

57912216: สาขาวิชา: วาริชศาสตร์; วท.ม. (วาริชศาสตร์)

คำสำคัญ: ระยะเวลาพำนัก/ อ่าวไทย/ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

คุณุฎี หลีนวรัตน์: การศึกษาเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (THE INVESTIGATION OF THE RESIDENCE TIME OF WATER MASS IN THE GULF OF THAILAND BY USING A HYDRODYNAMIC MODEL) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อนุกุล บูรณประทีปรัตน์, Ph.D. 100 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยในแต่ละเดือนโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบ 3 มิติ Princeton Ocean Model (POM) ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายของสารอนุรักษ์โดยใช้ฟังก์ชัน Remnant ในการคำนวณหาระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำ โดยมีข้อมูลเฉลี่ยระยะยาวของอุณหภูมิ ความเค็ม ลม และน้ำท่า รวมถึงน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยนำเข้า ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่จะสั้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ และยาวในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลยกเว้นในเดือนมกราคมและกันยายน ที่พบว่ามียุทธศาสตร์เวลาพำนักของมวลน้ำสูงที่สุด 219 วัน ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในสั้นที่สุดในเดือนพฤศจิกายนโดยมีค่าเท่ากับ 101 วัน ผลที่ได้แตกต่างจากระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยทั้งอ่าวที่พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้โดยสั้นที่สุดในเดือนสิงหาคมประมาณ 339 วัน และระยะเวลาพำนักยาวในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยยาวที่สุดในเดือนธันวาคมประมาณ 571 วัน ผลการทดสอบอิทธิพลจากปัจจัยนำเข้าพบว่าลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ น้ำขึ้นน้ำลงส่งผลให้มีระยะเวลาพำนักนานขึ้น ส่วนน้ำท่ามีผลเพียงเล็กน้อยต่อระยะเวลาพำนัก นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลของมวลน้ำจากทะเลจีนทำให้ระยะเวลาพำนักของอ่าวไทยสั้นลงในทุก ๆ เดือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยในกรณีการเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าตามเวลาพบว่าให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเริ่มต้นการคำนวณจากเดือนใด

57912216: MAJOR: AQUATIC SCIENCE; M. Sc. (AQUATIC SCIENCE)

KEYWORDS: RESIDENCE TIME/ GULF OF THAILAND/ HYDRODYNAMIC MODEL

DUDSADEE LEENAWARAT: THE INVESTIGATION OF THE RESIDENCE TIME OF WATER MASS IN THE GULF OF THAILAND BY USING A HYDRODYNAMIC MODEL. ADVISORY COMMITTEE: ANUKUL BURANAPRATHEPRAT, Ph.D. 100 P. 2018.

This study aims to investigate the residence time of water mass in the Gulf of Thailand (GoT) in each month by using a three-dimensional hydrodynamic model namely Princeton Ocean Model (POM) coupled with the dispersion model and Remnant function. Climatological data of water temperature, salinity, wind and discharge including water elevation from harmonic analysis were used as inputs in the simulation. The results reveal that the average residence time of water mass in the Inner GoT (IGoT) during the southwest monsoon (SW) and the northeast monsoon (NE) are shorter than those during the transition periods, except in January and September. The longest residence time (219 days) occurs in January and September while the shortest residence time (101 days) occurs in November. The residence time of water mass in the whole GoT is short during SW with the shortest in August (339 days) and long during NE with the longest in December (571 days). The results from sensitivity analysis suggest that wind be a significant factor to control the seasonal variation in residence time in this area. Tidal current makes the residence time longer while the influence of discharge on the residence time is minimal. The influence of SCS makes the residence time of water mass in GoT shorter in every month, especially during SW. The average residence time in the case of time-varying inputs was found to be similar regardless of the initial months.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	๗
บทที่	
1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
สมมติฐานของการวิจัย .....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
อ่าวไทย .....	4
ลักษณะสมุทรศาสตร์ของอ่าวไทย .....	5
ลมมรสุม .....	5
แม่น้ำรอบอ่าวไทย .....	6
น้ำขึ้น-น้ำลง .....	7
การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย .....	7
แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำ .....	9
สมการการเคลื่อนที่ (Equations of motion) .....	9
สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) .....	12
ระยะเวลาพำนักของน้ำ .....	12
การศึกษาระยะเวลาพำนักของน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข .....	14
แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) .....	18

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	20
การกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต.....	20
การเขียนผลลัพธ์.....	21
แบบจำลองอ่าวไทย.....	21
การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง.....	21
ข้อมูลนำเข้า.....	21
แบบจำลองทะเลจีนใต้.....	22
แบบจำลองทะเลจีนใต้ 2 มิติ.....	22
แบบจำลองทะเลจีนใต้ 3 มิติ.....	22
แบบจำลองสารอนุรักษ์.....	24
การวิเคราะห์ผลและการแสดงผล.....	25
4 ผลการศึกษา.....	27
การเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลง.....	27
การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	31
ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน.....	35
การทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	41
กรณีตัดปัจจัยลม (NO WIND).....	41
กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง (NO TIDE).....	43
กรณีตัดปัจจัยน้ำท่า (NO DISCHARGE).....	44
กรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (Non fix parameter).....	44
การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทย.....	46
ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทย.....	53
ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย.....	61
กรณีตัดปัจจัยลม (NO WIND).....	61
กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง (NO TIDE).....	63

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
กรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (Non fix parameter).....	65
กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำจากภายนอก (BCOND2).....	67
กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอก (BCOND2+EXT).....	69
กรณีทดสอบการขยายขอบเขตศึกษา.....	71
5 อภิปราย สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	73
อภิปรายผลการวิจัย.....	73
ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำ.....	73
การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	73
ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน.....	75
ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	76
การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทย.....	78
ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทย.....	79
ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย.....	80
สรุปผลการวิจัย.....	83
ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.....	89
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	100



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3-1	กรณีทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาพัก.....	25
4-1	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของระดับน้ำจากการวัดจริงกับแบบจำลองในกรณี BCOND1 และ BCOND2 ในแต่ละสถานี.....	28
4-2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของระดับน้ำจากการวัดจริงกับแบบจำลองในกรณี BCOND1 และ BCOND2 ในแต่ละเดือน.....	29

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 พื้นที่อ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ภาพสีผสมแสดงความลึกอ่าวไทยในหน่วยเมตรจากข้อมูลความลึก GEBCO 30.....	4
2-2 การไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงเปลี่ยนฤดูตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ (a), ในช่วงฤดูตะวันออกเฉียงเหนือ (b), ในช่วงเปลี่ยนฤดูตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (c) และในช่วงฤดูตะวันตกเฉียงใต้ (d).....	8
2-3 แรงดันที่กระทำต่อก้อนมวลน้ำในแนวแกน x.....	10
2-4 การเปลี่ยนแปลงของมวลภายในขอบเขตที่กำหนด.....	12
2-5 แผนผังแสดงลักษณะรูปแบบของเวลาในการขนส่งวัตถุโดยเส้นน้ำเงินแสดงถึง Age, เส้นสีเขียวแสดงถึง Residence time, เส้นสีเขียวก+สีแดงแสดงถึง Exposure time.....	13
2-6 ลักษณะการกระจายของวัตถุในเดือนเมษายน (a), มิถุนายน (b), กันยายน (c) และธันวาคม (d) บริเวณบางปะกงเอสทูรี.....	17
2-7 การแพร่กระจายของระยะเวลาพำนักของอ่าว Jiaozhou.....	17
2-8 การแบ่งชั้นน้ำในระบบพิกัดซิกมา.....	18
2-9 ขั้นตอนการทำงานของ POM โดยกรอบสี่เหลี่ยมที่มีขีดด้านข้างสองขีดหมายถึง ส่วนประกอบที่เป็น Subroutines.....	19
3-1 ขอบเขตและกริดที่ใช้ในการศึกษาพื้นที่ในอ่าวไทย (a) และทะเลจีนใต้ (b).....	23
3-2 ขอบเขตการปล่อยสารอนุรักษ์ในกรณีอ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยทั้งอ่าว.....	24
3-3 ขั้นตอนการคำนวณ โดยสรุป.....	26
4-1 ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองรายชั่วโมง.....	30
4-2 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมกราคม-เมษายน บริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	32
4-3 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม บริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	33
4-4 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกันยายน-ธันวาคม บริเวณอ่าวไทยตอนใน.....	34
4-5 สารอนุรักษ์เฉลี่ยตามความลึกหลังปล่อยเป็นระยะเวลา 30, 50 และ 100 วัน ในเดือนเมษายน กรกฎาคม กันยายน ตุลาคม และธันวาคม.....	36

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-6 การลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณอ่าวไทยตอนในในแต่ละเดือน.....	37
4-7 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในในแต่ละเดือน.....	38
4-8 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในแต่ละเดือน.....	40
4-9 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในกรณีทดสอบปัจจัยนำเข้า.....	41
4-10 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยลม.....	42
4-11 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความ ลึกกรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง.....	43
4-12 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยน้ำท่า.....	44
4-13 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและ กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	45
4-14 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมกราคม.....	47
4-15 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกุมภาพันธ์.....	48
4-16 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมีนาคม.....	48
4-17 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนเมษายน.....	49
4-18 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤษภาคม.....	49
4-19 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมิถุนายน.....	50
4-20 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกรกฎาคม.....	50
4-21 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนสิงหาคม.....	51
4-22 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกันยายน.....	51
4-23 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนตุลาคม.....	52
4-24 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤศจิกายน.....	52
4-25 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนธันวาคม.....	53
4-26 สารอนุรักษ์เฉลี่ยตามความลึกหลังปล่อยเป็นระยะเวลา 50, 250 และ 500 วันในเดือนเมษายน กรกฎาคม ตุลาคม และธันวาคม.....	55

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-27 การลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณอ่าวไทยในแต่ละเดือน.....	56
4-28 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยในแต่ละเดือน.....	57
4-29 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในเดือนมกราคม-มิถุนายน.....	59
4-30 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม.....	60
4-31 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย.....	61
4-32 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยลม.....	62
4-33 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง.....	60
4-34 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	66
4-35 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีทดสอบขอบเขตเงื่อนไข และกรณีขยายขอบแบบจำลอง.....	67
4-36 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำจากภายนอก.....	68
4-37 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ BCOND2+EXT.....	70
4-38 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทย และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีขยายขอบเขตศึกษา.....	72
ก-1 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนมกราคม-เดือนเมษายน.....	90
ก-2 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนพฤษภาคม-เดือนสิงหาคม.....	91
ก-3 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนกันยายน-เดือนธันวาคม.....	92
ก-4 แผนภาพอุณหภูมิ-ความเค็มของมวลน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน (จุดสีน้ำเงิน) และอ่าวไทย (จุดสีดำ) ในแต่ละเดือน.....	93

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-5 กระจกใสที่ผิวทะเล (A) และกระจกใสที่ตามความลึก (B) ในเดือนกันยายนกรณีเปลี่ยนอุณหภูมิ ความเค็มเป็นของเดือนมกราคม.....	94
ก-6 กระจกใสที่ผิวทะเล (A) และกระจกใสที่ตามความลึก (B) ในเดือนสิงหาคมกรณีเปลี่ยนอุณหภูมิ ความเค็มเป็นของเดือนกันยายน.....	94
ก-7 ปริมาณน้ำที่ละลายที่ได้จากกรมชลประทาน.....	95
ก-8 ระยะเวลาพนักเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระจกใสที่ตามความลึก กรณีตัดลมโดยใช้เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ BCOND2 และ BCOND2+EXT ในเดือนสิงหาคม.....	95
ก-9 แนวตัดขวาง A-A' เพื่อแสดงระยะเวลาพนักตามแนวความลึก.....	96
ก-10 ภาพตัดขวางระยะเวลาพนักของมวลน้ำในแนว A-A' กรณีขอบเขตเปิดที่แตกต่างกันและกรณีขยายขอบเขตของแบบจำลอง ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้.....	97
ก-11 ภาพตัดขวางระยะเวลาพนักของมวลน้ำในแนว A-A' กรณีขอบเขตเปิดที่แตกต่างกันและกรณีขยายขอบเขตของแบบจำลอง ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ.....	98
ก-12 กระจกใสที่ผิวทะเลที่ได้จากแบบจำลองทะเลจีนใต้.....	99

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$BC$	ขอบเขตเปิด
$BC - 1$	กริดที่ถัดจากขอบเขตเปิด 1 ช่อง
$C$	ความเข้มข้นของสารอนุรักษ์
$D_x, D_y$	สัมประสิทธิ์การผสมผสานแบบปั่นป่วน (Turbulent mixing coefficient; $m^2/s$ ) ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ
$f$	แรงโคริโอลิส
$F$	แรงที่กระทำต่อวัตถุ
$F_x, f_u$	แรงที่กระทำต่อวัตถุในแกน x
$F_y, f_v$	แรงที่กระทำต่อวัตถุในแกน y
$F_z, f_z$	แรงที่กระทำต่อวัตถุในแกน z
$g$	แรงโน้มถ่วงของโลก
$H$	ความลึก
$k_h$	Horizontal diffusivity
$k_M$	Vertical kinematic viscosity
$k_v$	Vertical diffusivity
$M, m$	มวล
$p$	ความดัน
$\rho$	ความหนาแน่น
$r(t)$	Remnant function
$R(t)$	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นหรือปริมาณ ของวัสดุที่เวลาใด ๆ
$R(0)$	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นหรือปริมาณ ของวัสดุที่เวลาเริ่มต้น
$\tau$	ระยะเวลาพ่นัก
$t$	เวลา
$\Delta t$	time step
$\nabla$	Horizontal gradient
$\bar{U}$	กระแสที่เฉลี่ยตามความลึก

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$U, u$	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x
$V, v$	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y
$W$	เวกเตอร์ความเร็วของการไหลสุทธิ
$W, w$	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน z
$X, x$	ระยะทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก
$x_n$	ตำแหน่งที่วัตถุติดตามถูกปล่อย ณ เวลา n
$x_{n+1}$	ตำแหน่งที่วัตถุตัวติดตามถูกปล่อย ณ เวลา n+1
$Y, y$	ระยะทางในแนวเหนือ-ใต้
$Z, z$	ความลึก
$\Omega$	อัตราเร็วเชิงมุม
$\theta$	ละติจูดที่วัตถุอยู่ (องศา)
$\partial$	Partial differential
$\eta$	ระดับน้ำทะเล
$\mu$	Dynamic viscosity
$\sigma$	ชั้นซิกมา

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ ในทะเลไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางเคมี ชีวภาพ หรือชีวธรณีเคมี สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องทราบคือกระบวนการเคลื่อนย้ายและการเคลื่อนที่ของสสาร (Yanagi, 1999) ถ้าสสารในทะเลถูกเคลื่อนย้ายช้าหรือใช้เวลานานในการเคลื่อนที่ออกจากระบบย่อมหมายถึงโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพ เคมี และชีวภาพภายในมวลน้ำมากตามไปด้วย (Buranapratheprat & Yanagi, 2003) เราเรียกเวลาที่สสารคงอยู่ภายในระบบที่สนใจก่อนที่จะถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากระบบว่าระยะเวลาพำนัก (residence time) (Takeoka, 1984) การหาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำหรือระยะเวลาพำนักของสสารสามารถนำไปใช้ในการประเมินการแลกเปลี่ยนระหว่างมวลน้ำในพื้นที่ศึกษากับมวลน้ำที่อยู่ติดกัน รวมถึงช่วยประเมินผลกระทบของมลสารที่มากับน้ำมวลนั้น

การหาระยะเวลาพำนักของน้ำหรือสารต่าง ๆ ในน้ำทำได้ในหลายวิธีเช่น การศึกษาโดยใช้ธาตุหายาก (Rare earth elements; REEs) (Nozaki, Alibo, Amakawa, Gamo, & Hasumoto, 1999) การใช้เทคนิค Box model (Gordon et al., 1996; Buranapratheprat, Yanagi, Boonphakdee, & Sawangwong, 2002; Sachomar, Yanagi, & Muawanah, 2009) และการศึกษาโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับการใช้วิธีการ Euler-Lagrange (ชาติ ครองศักดิ์ศิริ, ปราโมทย์ ไชยสุภกร และอนุกุล บุรณประทีปรัตน์, 2552; Buranapratheprat & Yanagi, 2003; Liu, Wei, Liu, & Zhang, 2004) ซึ่งเป็นการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสสารหรือวัตถุในลักษณะสารติดตาม (Tracer) ในวิธี Lagrangian ร่วมกับการจำลองลักษณะของกระแสในวิธี Eulerian โดยการคำนวณหาระยะเวลาพำนักผ่านฟังก์ชัน Remnant (Takeoka, 1984)

อ่าวไทยมีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิดทำให้อ่าวไทยได้รับผลกระทบจากธาตุอาหารและมลสารต่าง ๆ ที่มาจากแผ่นดิน (Cheevaporn & Menasveta, 2003) ผ่านแม่น้ำสายต่าง ๆ อีกทั้งมีด้านเปิดติดต่อกับทะเลจีนใต้บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ทำให้ได้รับอิทธิพลของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ ส่งผลให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำ (Buranapratheprat, Luadnakrob, Yanagi, Morimoto, & Qiao, 2016) และออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำบริเวณใกล้พื้นทะเล (Buranapratheprat, Luadnakrob, & Arnupapboon, 2017) เพื่อช่วยประเมินผลกระทบของสสารที่มากับมวลน้ำจึงรวมถึงการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำในอ่าวไทยกับทะเลจีนใต้ ความเข้าใจของระยะเวลาพำนักรวมถึงกลไกการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำและการเคลื่อนที่ของมวลน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญ



งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำบริเวณอ่าวไทยในแต่ละเดือน และเพื่อทดสอบปัจจัยทางด้านสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยา (Sensitivity analysis) ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำบริเวณอ่าวไทยในแต่ละเดือน โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์
2. เพื่อทดสอบความสำคัญของปัจจัยทางภาพต่าง ๆ ทางสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนักของน้ำในอ่าวไทย

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือสั้นกว่าช่วงเปลี่ยนฤดู
2. ลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยทั้งอ่าว
3. อิทธิพลของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ทำให้ระยะเวลาพำนักสั้นลง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบระยะเวลาการคงอยู่ของมวลน้ำในอ่าวไทย
2. ใช้เป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาการคงอยู่ของสารต่าง ๆ ในอ่าวไทย
3. ทำให้ทราบปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพำนักของน้ำในอ่าวไทย
4. ใช้เป็นข้อมูลในการประเมินและเฝ้าระวังปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เสี่ยงที่มีระยะเวลาพำนักมาก

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยทั้งอ่าวในแต่ละเดือนโดยใช้แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) และทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ และทดสอบอิทธิพลจากทะเลจีนใต้ ได้แก่

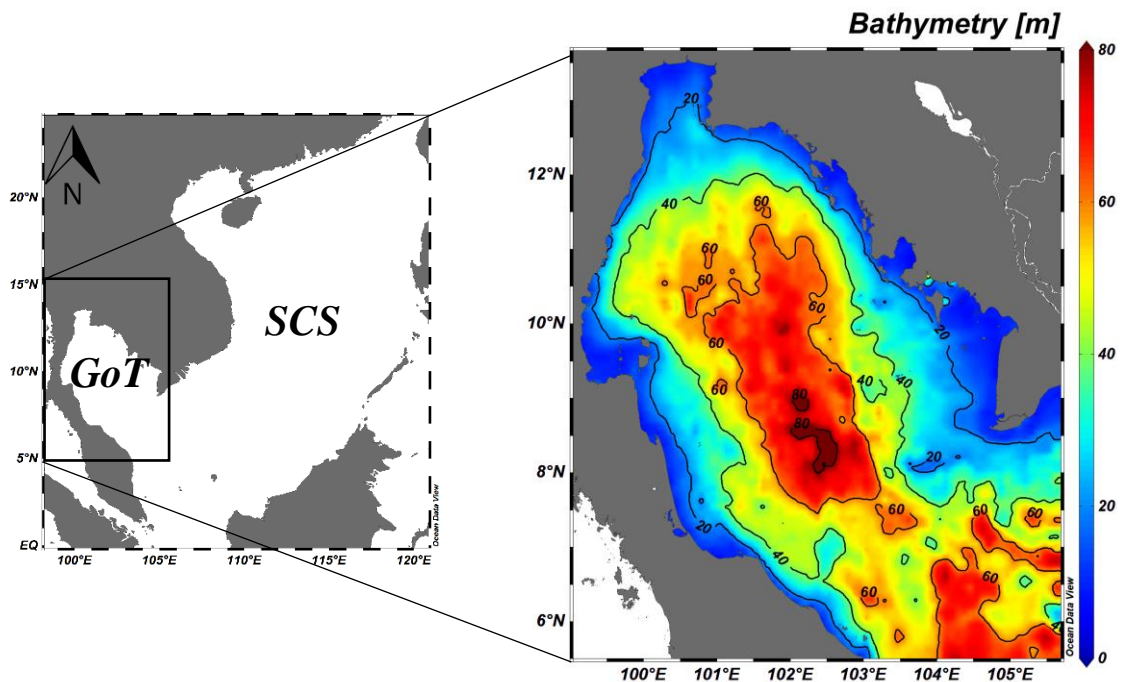
- 1.5.1 กรณีตัดปัจจัยลม (พื้นที่อ่าวไทยตอนใน, พื้นที่อ่าวไทย)
- 1.5.2 กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง (พื้นที่อ่าวไทยตอนใน, พื้นที่อ่าวไทย)
- 1.5.3 เปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปในแต่ละเดือน  
(พื้นที่อ่าวไทยตอนใน, พื้นที่อ่าวไทย)
- 1.5.4 กรณีตัดปัจจัยน้ำท่า (พื้นที่อ่าวไทยตอนใน)
- 1.5.5 เปลี่ยนการนำเข้ระดับน้ำที่ขอบเขตเปิดให้เป็นกระแสน้ำ (พื้นที่อ่าวไทย)
- 1.5.6 เพิ่มกระแสน้ำจากภายนอกบริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลอง (พื้นที่อ่าวไทย)
- 1.5.7 ทดสอบการขยายขอบเขตของแบบจำลองให้ครอบคลุมทะเลจีนใต้ (พื้นที่อ่าวไทย)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อ่าวไทย

อ่าวไทย (Gulf of Thailand; GoT) ตั้งอยู่บริเวณไหล่ทวีปชุนคาบริเวณตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก ปกคลุมบริเวณพื้นที่ประมาณละติจูดที่ 6-14 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 99 – 105 องศาตะวันออก โดยใช้เส้นที่ลากจากแหลมคาเมาประเทศเวียดนามถึงเมืองโกตาบารูประเทศมาเลเซียเป็นขอบเขตของอ่าว การวางตัวของอ่าวไทยอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือโดยอ่าวไทยมีพื้นที่ประมาณ 320,000 ตารางกิโลเมตร ลักษณะของอ่าวไทยเป็นแอ่งกระทะมีความลึกเฉลี่ยประมาณ 40 เมตร โดยจุดที่ลึกที่สุดอยู่บริเวณกลางอ่าวมีความลึกประมาณ 80 เมตร ลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิดถูกล้อมรอบด้วยชายฝั่งของประเทศเวียดนาม กัมพูชา ไทย และมาเลเซีย มีด้านเปิดติดต่อกับทะเลจีนใต้ (South China Sea; SCS) บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 2-1)



ภาพที่ 2-1 พื้นที่อ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ภาพสีผสมแสดงความลึกอ่าวไทยในหน่วยเมตรจากข้อมูลความลึก GEBCO 30

## 2.2 ลักษณะสมุทรศาสตร์ของอ่าวไทย

จากรายงาน NAGA REPORT Volume 3, Part 1 ของ Robinson (1974) ได้กล่าวถึงอ่าวไทยในลักษณะทางสมุทรศาสตร์ทั่วไปว่าเป็นเอสตูรีเพราะเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดโดยมวลน้ำที่ผิวจะมีความเค็มต่ำกว่าในที่ลึกเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำท่าและน้ำฝน ส่วนมวลน้ำในที่ลึกมีความเค็มที่สูงกว่าและมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าซึ่งได้รับอิทธิพลจากมวลน้ำจากทะเลจีนใต้ที่แทรกตัวเข้ามาในอ่าวไทยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yanagi, Sachoemar, Takao and Fujiwara (2001) และ Buranapratheprat, Luadnakrob, Yanagi, Morimoto, and Qiao (2016) ที่ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมวลน้ำในแนวตั้งของอ่าวไทยซึ่งพบว่าในช่วงฤดูร้อนน้ำเกิดแบ่งชั้นเนื่องจากความร้อนร่วมกับน้ำสอจากทะเลจีนใต้ทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำ ในส่วนช่วงฤดูหนาวเกิดการผสมผสานของมวลน้ำบริเวณปากอ่าว แต่ในกลางอ่าวพบการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากการสะสมของน้ำจืดจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ที่ตกค้างจากในช่วงฤดูฝนทำให้น้ำที่ผิวมีความเค็มต่ำกว่าในที่ลึก

### 2.2.1 ลมมรสุม

พื้นที่อ่าวไทยได้รับอิทธิพลของลมมรสุมสองแบบด้วยกัน คือ

1) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศสูงบริเวณกลางภาคพื้นทวีปในซีกโลกเหนือที่มีค่าสูงกว่าความกดอากาศบริเวณเหนือพม่ามหาสมุทรบริเวณในซีกโลกใต้ส่งผลทำให้เกิดลมพัดจากบริเวณภายในทวีปสู่มหาสมุทรตรงกับในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) โดยในฤดูดังกล่าวลมที่พัดผ่านประเทศไทยนั้นจะพัดพาความเย็นและความแห้งแล้งมาสู่พื้นที่ประเทศไทย อีกทั้งมีผลต่อมวลน้ำในบริเวณปากอ่าวไทยโดยทำให้มวลน้ำที่ผิวบริเวณทะเลจีนใต้ไหลเข้าสู่อ่าวไทยเป็นผลของการขนส่งของเอกแมนที่ผิวทะเล (Ekman Transport) (Stansfield & Garrett, 1997) ลักษณะดังกล่าวร่วมกับอิทธิพลจากทะเลจีนใต้ทำให้ระดับน้ำในอ่าวไทยเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูการนี้ (Snidvong, 1998)

2) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งตรงกับช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) เป็นลมที่พัดพาความชื้นและปริมาณฝนจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทยส่งผลให้ประเทศไทยมีฝนตกมากขึ้น โดยฝนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนและถ่ายเทออกมาในรูปแบบน้ำท่าส่งผลโดยตรงต่อสถานะมวลน้ำในแนวตั้งของอ่าวไทยตอนในทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำ (Buranapratheprat, Yanagi, & Matsumura, 2008) นอกจากนี้ลมที่พัดผ่านยังส่งผลทำให้มวลน้ำในอ่าวไทยไหลออกไปสู่ทะเลจีนใต้เนื่องมาจากผลของการขนส่งของเอกแมน

### 2.2.2 แม่น้ำรอบอ่าวไทย

พื้นที่ของอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำสำคัญหลายสาขาโดยแม่น้ำสายหลักที่สำคัญ ได้แก่แม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยา ท่าจีน แม็กลองและตาปี นอกจากนี้ยังมีแม่น้ำตราด เวพู จันทบุรี พังราด ประแสร์ ระยอง เพชรบุรี ปราณบุรี ปากพนัง สายบุรี บางนรา โกลก ซึ่งเป็นแม่น้ำในประเทศไทยนอกจากนี้แม่น้ำในประเทศกัมพูชามีแม่น้ำที่ไหลลง ได้แก่ แม่น้ำ Meteuk, Prek koh Pov, Prek kaoh Yor, Prek klong Yai, Prek Sna Kung, Prek Piphot, Prek Toek Sab, Prek Boeng Veng, Prek Tuek Chhu และในประเทศเวียดนามมีแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย ได้แก่ Sông Giang Thành, Song Cai Lan เป็นต้น รวมถึงลำคลองต่าง ๆ อีกมากมาย แม่น้ำและลำคลองเหล่านี้เป็นสิ่งที่นำพาน้ำจืด สารอาหาร แร่ธาตุ รวมถึงสารเคมีต่าง ๆ ไหลลงสู่อ่าวไทยโดยเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าต่ำสุดในช่วงเดือนเมษายนและสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคมโดยปริมาณน้ำที่มาจากแม่น้ำและลำคลองสาขาในประเทศไทยไหลลงสู่อ่าวไทยประมาณ 36 ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี และเมื่อรวมกับแม่น้ำและลำคลองสาขาอื่น ๆ จากประเทศเวียดนาม กัมพูชาปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่าวไทยมีปริมาณไม่เกิน 100 ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี (Snidvong, 1998)

นอกจากน้ำจืดที่ไหลลงสู่อ่าวไทยจากแม่น้ำสายต่าง ๆ แล้วแล้วอาจจะยังมีน้ำจืดจากแหล่งอื่นที่เข้ามาในอ่าวไทย เช่น ข้อเสนอจากประเด็นงานวิจัยของ Stansfield and Garrett (1997) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมดุลของน้ำจืดและความเค็มภายในอ่าวไทย พบว่าน้ำจืดจากแม่น้ำและฝนที่ลงสู่อ่าวไทยไม่เพียงพอที่จะทำให้ความเค็มของน้ำในอ่าวไทยมีค่าต่ำเท่ากับผลของความเค็มเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจริง จึงได้เสนอประเด็นเรื่องน้ำจืดจากแม่น้ำโขง โดยได้ทำการทดลองเพิ่มปริมาณน้ำจืดครั้งหนึ่งจากแม่น้ำโขงไปในการคำนวณ พบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตามกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำจืดจากแม่น้ำโขงเข้าสู่อ่าวไทยยังไม่มี ความชัดเจน

น้ำจืดที่มากับแม่น้ำจะเป็นตัวขนส่งสารต่าง ๆ จากแผ่นดินลงสู่อ่าวไทยและส่งผลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณชายฝั่ง จากการศึกษาของ Ascharyaphotha and Wongwises (2012) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของความแรงที่มากับน้ำท่าซึ่งส่งผลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนใน โดยเมื่อทำการตัดปัจจัยของน้ำท่าพบว่าความแรงของกระแสน้ำนั้นจะลดลงและระดับน้ำก็ลดลงเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนตุลาคมเพราะเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำท่าไหลลงสู่อ่าวไทยมากที่สุด

### 2.2.3 น้ำขึ้น-น้ำลง

น้ำขึ้น-น้ำลงเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดจากอิทธิพลสำคัญสองอย่าง อย่างแรกคือแรงดึงดูดจากดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ และอย่างที่สองคือแรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลางจากการหมุนของโลกกับดวงจันทร์ และโลกกับดวงอาทิตย์รอบจุดศูนย์กลางของการโคจร องค์ประกอบหลักน้ำขึ้นน้ำลงที่สำคัญนั้นมีสี่ตัวด้วยกัน ได้แก่

K1 คือ Luni-solar declinational diurnal constituent

O1 คือ Lunar declinational diurnal constituent

M2 คือ Principal lunar semidiurnal constituent

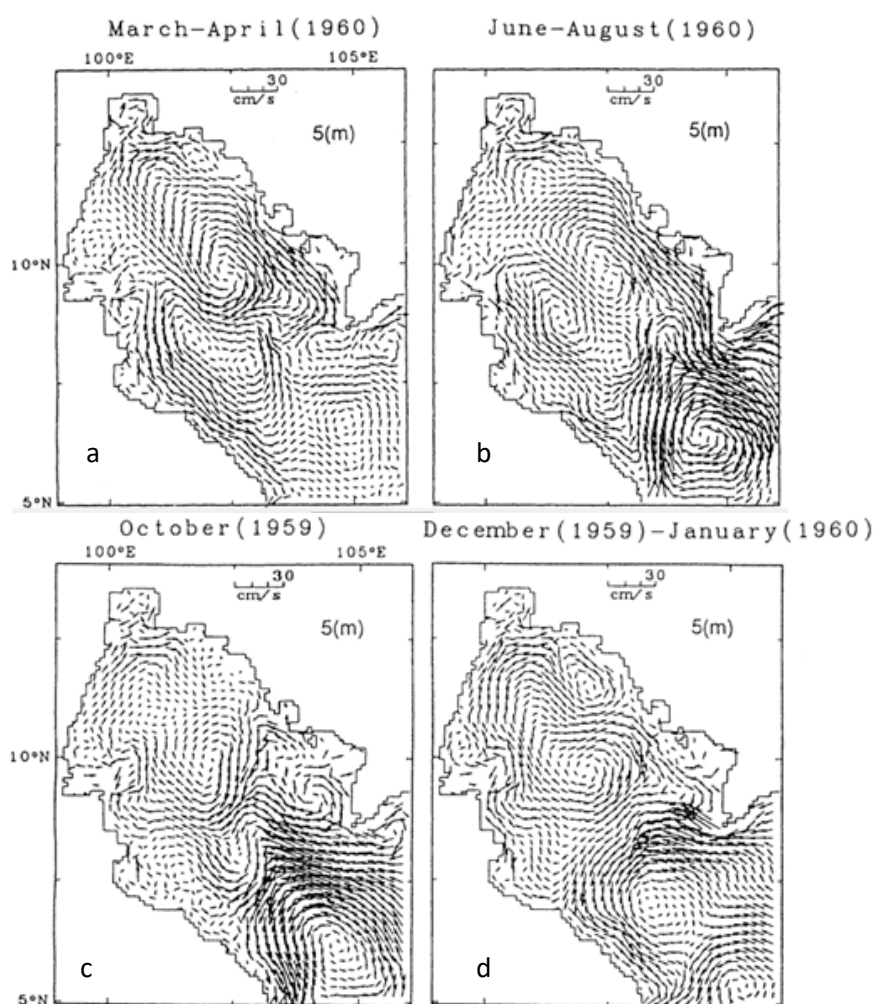
S2 คือ Principal solar semidiurnal constituent

ค่าองค์ประกอบที่เป็นน้ำเดียว (diurnal) นั้นจะเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงเพียงหนึ่งครั้งต่อวัน หรือที่เรียกว่าน้ำเดียว ส่วนค่าองค์ประกอบที่เป็นกลุ่มน้ำคู่ (semidiurnal) นั้นจะทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงสองครั้งในหนึ่งวันเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าน้ำคู่ amplitudes และ phases ของค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงเหล่านี้หาได้จากผลการตรวจวัดระดับน้ำระยะยาวโดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Harmonic analysis เข้ามาเกี่ยวข้อง ในอ่าวไทยนั้นพิสัยของน้ำมีค่าพิสัยของน้ำสูงที่สุดประมาณ 2 เมตรบริเวณอ่าวไทยตอนในและต่ำที่สุด 0.5 เมตรในบริเวณปากอ่าว โดยชายฝั่งตะวันออกจะมีค่าสูงมากกว่าชายฝั่งตะวันตก อีกทั้งในอ่าวไทยนั้นโดยส่วนใหญ่ค่าองค์ประกอบแบบน้ำเดียวจะมีค่าสูงกว่าองค์ประกอบแบบน้ำคู่ซึ่งตรงข้ามกับในทะเลจีนใต้ น้ำขึ้นน้ำลงนั้นยังส่งผลกระทบต่อความสำคัญของกระแสน้ำในบริเวณชายฝั่งเพราะพิสัยของน้ำในชายฝั่งนั้นมีค่ามากกว่าในกลางอ่าวไทย เนื่องจาก Amphidromic point หรือจุดที่ระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลงอยู่บริเวณกลางอ่าวไทย (Siripong, 1985)

### 2.2.4 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย

Wyrtki (1961) ได้รายงานถึงรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยไว้ว่าในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน การไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมการไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจภายใต้โครงการ NAGA ในช่วงปี ค.ศ.1959-1961 ต่อมา Yanagi and Takao (1998) ได้นำ ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเล และข้อมูลลมที่ได้จากการตรวจวัดได้ถูกนำมาใช้ในแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยพบว่าลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยเกือบทั้งคอลัมน์น้ำตลอดทั้งปีโดยการไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกาในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในส่วนช่วงลมมรสุม

ตะวันตกเฉียงใต้การไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก แต่บริเวณชายฝั่งทิศใต้การไหลเวียนกระแสน้ำเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 2-2 b, d) แต่ทั้งสองช่วงฤดูการจะพบการไหลเวียนกระแสน้ำที่เป็นแบบตามเข็มนาฬิกาในบริเวณกลางอ่าวไทย ส่วนในเดือนตุลาคมกระแสน้ำไหลเข้ามาบริเวณกลางอ่าวไทยและไหลทวนเข็มนาฬิกา ส่วนบริเวณปากอ่าวไทยพบวงกระแสน้ำทวนเข็มนาฬิกา ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนพบว่ากระแสน้ำไหลจากปากอ่าวไปทางตะวันตกเฉียงเหนือและไหลวนแบบตามเข็มนาฬิกาขนานชายฝั่งตะวันออก ส่วนชายฝั่งตะวันตกกระแสน้ำมีทิศทางไม่แน่นอนและมีความเร็วลดลง (ภาพที่ 2-2 a, c)



ภาพที่ 2-2 การไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงเปลี่ยนฤดูตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ (a), ในช่วงฤดูตะวันออกเฉียงเหนือ (b), ในช่วงเปลี่ยนฤดูตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (c) และในช่วงฤดูตะวันตกเฉียงใต้ (d) (Yanagi & Takao, 1998)

โดยรวมแล้วกระแสน้ำในอ่าวไทยนั้นถูกควบคุมด้วยปัจจัยจากลมเป็นหลัก เพราะทั้งจากผลของสมชาย ศรีปัญญาวิษุ (2531) ที่ศึกษาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของการไหลเวียนของน้ำที่เกิดจากลมในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองไฮโดรไดนามิกผลได้พบว่ากระแสน้ำมีการเบี่ยงเบนไปจากทิศทางลมเล็กน้อยประมาณ 8-10 องศา รวมทั้ง อนุกุล บูรณประทีปรัตน์ และ มหรรณพ บรรพพงศ์ (2541) ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของกระแสน้ำในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 มิติผลที่ได้แสดงถึงความสำคัญของลมต่อกระแสน้ำเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาลโดยเสนอว่าหากใช้ข้อมูลลมที่มีความถูกต้องมากขึ้นค่ากระแสน้ำที่ได้ก็จะมีค่าที่ถูกต้องมากขึ้นเช่นเดียวกัน

## 2.3 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำ

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เป็นแบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ นำมาอธิบายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในระบบโดยใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการแก้สมการเพื่อหาคำตอบ (ภูติ เกียรติชิต, 2541) สำหรับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำอาศัยสมการควบคุมพื้นฐาน 2 สมการประกอบด้วย สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions) และสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass หรือ Continuity equation)

### 2.3.1 สมการการเคลื่อนที่ (Equations of motion)

สมการการเคลื่อนที่ของน้ำ หรือสมการ โมเมนตัมเป็นการรวมแรงทั้งหมดที่กระทำต่อมวลน้ำซึ่งจะถูกนำมาเขียนอยู่ในรูปแบบระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (The Cartesian Coordinate) ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตันได้ดังนี้

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{m} \sum F \quad (2.1)$$

โดยสามารถเขียนสมการให้เกี่ยวข้องกับการศึกษาของไหลจะได้ว่า

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{\rho} \sum F \quad (2.2)$$

เมื่อถูกนำไปเขียนให้อยู่ในระบบพิกัดฉาก 3 มิติได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{1}{\rho} \sum F_x \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{\rho} \sum F_y \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{1}{\rho} \sum F_z \end{aligned} \right\} (2.3)$$

ในการเคลื่อนที่ของของไหลในทะเลนั้นมีแรงสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่คือ แรงดึงดูดของโลก ความแตกต่างของความดัน แรงเสียดทาน และแรงโคริโอลิส



### 2.3.1.1 ความเร่ง (Acceleration)

ความเร่งของอนุภาคของไหลนั้นเกิดจากความเร่งเฉพาะถิ่น (Local acceleration) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อความเร็วต่อเวลาในแต่ละพื้นที่นั้นไม่คงที่ และความเร่งเชิงสนาม (Field acceleration) ซึ่งเป็นความเร่งจากอิทธิพลของกระแสในบริเวณข้างเคียง สามารถเขียนให้อยู่ในรูประบบพิกัดฉากได้ว่า

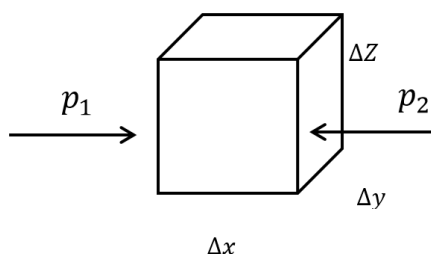
$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

เขียนในรูปทั่วไป

$$\frac{DV}{Dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} \quad (2.5)$$

### 2.3.1.2 ความแตกต่างของแรงดัน (Pressure Gradient)

ความแตกต่างของความดันเป็นแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันต่ำเช่น อากาศหรือมวลน้ำ ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันคือความลาดเอียงของระดับผิวหน้าน้ำ



ภาพที่ 2-3 แรงดันที่กระทำต่อก้อนมวลน้ำในแนวแกน x (Knauss, 1997)

พิจารณาจากภาพที่ 2-3

$$F_1 = p_1 \Delta y \Delta z \quad (2.6)$$

$$F_2 = p_2 \Delta y \Delta z \quad (2.7)$$

ความแตกต่างของความดัน  $\Delta p = p_1 \Delta y \Delta z - p_2 \Delta y \Delta z \quad (2.8)$

ดังนั้น  $p_2 = p_1 - \Delta p \quad (2.9)$

ผลที่ได้ของแรงดันที่กระทำต่อมวลในแนวแกน x จะได้ว่า

$$\frac{Du}{Dt} (\rho \Delta x \Delta y \Delta z) = F_1 - F_2 = p_1 \Delta y \Delta z - (p_1 + \Delta p) \Delta y \Delta z \quad (2.10)$$

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} p_x \quad (2.11)$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและความแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดันในรูปพิกัดฉากในแกน  $y$  และ  $z$  เขียนได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} p_y \\ \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} p_z \end{aligned} \right\} (2.12)$$

### 2.3.1.3 แรงโคริโอลิส (Coriolis force)

แรงโคริโอลิสคือแรงที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก ซึ่งจะมีผลต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่บนผิวโลก โดยจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่เบนไปทางขวาในซีกโลกเหนือและเบนไปทางซ้ายในซีกโลกใต้ โดยสัมประสิทธิ์ของแรงโคริโอลิส คือ

$$f = 2\Omega \sin \theta \quad (2.13)$$

ในส่วนในแนวแกน  $x$  และ  $y$  แรงโคริโอลิสที่กระทำต่อมวลในหนึ่งหน่วยจะได้

$$f_u = (2\Omega \sin \theta) \cdot v \quad (2.14)$$

$$f_v = -(2\Omega \sin \theta) \cdot u \quad (2.15)$$

### 2.3.1.4 แรงเสียดทาน (Friction force)

แรงเสียดทาน คือ แรงที่มากกระทำต่อพื้นผิวในแนวสัมผัสในลักษณะที่ขนานกับผิวสัมผัสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเชิงมุมซึ่งจะถูกแสดงออกในลักษณะของแรงเฉือนที่เห็นได้ชัดคือแรงเสียดทานจากลมซึ่งส่งผ่านโมเมนตัมและพลังงานจลน์จากชั้นบรรยากาศลงสู่ทะเลก่อให้เกิดคลื่นและกระแสน้ำ แรงเฉือนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ในแต่ละแกนได้ดังนี้

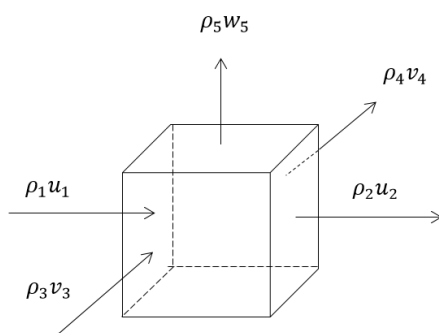
$$\left. \begin{aligned} F_x &= \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \\ F_y &= \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \\ F_z &= \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \end{aligned} \right\} (2.16)$$

ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของมวลน้ำสามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} p_x + f_u + F_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} p_y + f_v + F_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} p_z - g + F_z \end{aligned} \right\} (2.17)$$

### 2.3.2 สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

สมการความต่อเนื่องหรือสมการการอนุรักษ์มวลพิจารณาจากปริมาตรในขอบเขตที่กำหนดโดยอัตราการถ่ายเทมวลที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบจะต้องเท่ากันเสมอ (ภาพที่ 2-4) นั่นคือการเปลี่ยนแปลงในเทอม  $x$ ,  $y$  และ  $z$  รวมกันต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ในกรณีของของไหลที่มีการบีบอัดไม่ได้ (incompressible fluid)



ภาพที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงของมวลภายในขอบเขตที่กำหนด (Knauss, 1997)

มวลที่ไหลเข้าสู่ปริมาตรจะเท่ากับมวลที่ไหลออกจากปริมาตร สามารถเขียนในระบบพิกัดฉาก 3 มิติได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \quad (2.18)$$

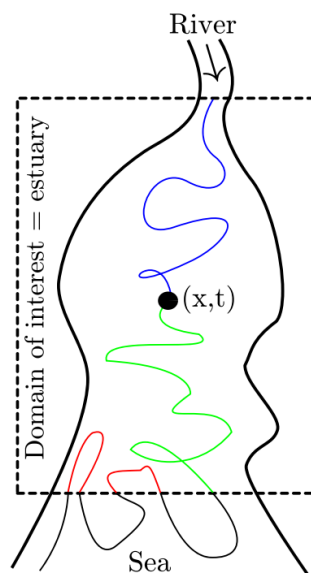
โดยอนุมานว่าปริมาตรของไหลไม่สามารถบีบอัดได้ ดังนั้นจึงทำให้มีความหนาแน่นคงที่จึงสามารถเขียนเป็นสมการอนุรักษ์มวลได้ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.19)$$

## 2.4 ระยะเวลาพำนักของน้ำ

การศึกษาการแลกเปลี่ยนของน้ำทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ ที่อยู่ภายในมวลน้ำ ช่วยตอบคำถามปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในมวลน้ำ เช่น ปัญหามลพิษในทะเล สภาวะยูโทรฟิเคชัน การสะสมของแพลงก์ตอนพืช เป็นต้น โดยการศึกษาแลกเปลี่ยนของน้ำทำได้จากการศึกษาจากงบดุลเกลือ หรือ วิธีการแบบ Euler-Lagrange ในการอธิบายรูปแบบของเวลาในการขนส่งวัตถุเพื่อเป็นตัวบ่งบอกการแลกเปลี่ยนของน้ำ มีคำนิยามมากมายที่รู้จักโดยทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น Flushig time, Turnover time, Age, Influence time, Exposure time, Transit time และ Residence time โดยส่วนใหญ่เป็นการอธิบายในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล เช่น เอสตูรี แม่น้ำ

อ่าวกึ่งปิด โดยถึงแม้คำนิยามของการอธิบายเวลาในการขนส่งวัตถุจะมีหลายแบบเนื่องจากมุมมองตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ต่างกันแต่ทั้งหมดก็มีความเกี่ยวข้องกัน (ภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-5 แผนผังแสดงลักษณะรูปแบบของเวลาในการขนส่งวัตถุโดยเส้นน้ำเงินแสดงถึง Age, เส้นสีเขียวแสดงถึง Residence time, เส้นสีเขียวก+สีแดงแสดงถึง Exposure time (Brye, Brauwere, Gourgue, Delhez, & Deleersni, 2012)

Residence time หรือ ระยะเวลาพำนัก หมายถึงระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตั้งแต่ตำแหน่งปัจจุบันไปถึงตำแหน่งที่ออกจากระบบ (Brye et al., 2012) ซึ่งการศึกษาโดยใช้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยนั้นก็อยู่บนพื้นฐานของ Age ดังนั้นการศึกษาโดยใช้ระยะเวลาพำนักเป็นตัวแทนของเวลาจึงเหมาะสมต่อการแสดงออกของการแลกเปลี่ยนของน้ำ (Takeoka, 1984) ระยะเวลาพำนักเป็นหนึ่งในคำจำกัดความที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย (Buranapratheprat & Yanagi, 2003; Delhez, Brye, Brauwere, & Deleersnijder, 2014; Liu et al., 2004; Liu, Chen, & Kuo, 2008; Liu, Chen, & Hsu, 2011; Sachoemar et al., 2009; ซาชิ ครองศักดิ์ศิริ และคณะ, 2552) เพื่ออธิบายรูปแบบของเวลาในการขนส่งวัตถุ การทราบระยะเวลาพำนักของน้ำเป็นตัวบ่งชี้ของการแลกเปลี่ยนของน้ำในแต่ละพื้นที่ซึ่งระยะเวลาพำนักมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของน้ำในบริเวณดังกล่าว (Sachoemar et al., 2009; Buranapratheprat & Yanagi, 2003; Buranapratheprat et al., 2002) ตัวอย่างงานวิจัยเช่น Buranapratheprat et al. (2002) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงฤดูกาลของบดูลสารอนินทรีย์ในบริเวณบางปะกงเอสทูรีโดยใช้วิธีการของ LOICZ (Gordon et al., 1996) ผลที่ได้ก็นับพบว่าระยะเวลา

พำนักของน้ำจืดในบริเวณบางปะกงเอสทูรีจะสั้นในช่วงฤดูน้ำมากและน้ำน้อย และยาวนานช่วงเปลี่ยนฤดูซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ สารละลายอนินทรีย์ไนโตรเจน (Dissolved Inorganic Nitrogen) และสารละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Dissolved Inorganic Phosphorus) ที่มีค่าสูงในช่วงเปลี่ยนฤดูจากน้ำมากไปเป็นน้ำน้อย โดย DIN และ DIP นั้นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาพำนักและน้ำท่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างชายฝั่งทะเลและน้ำท่าที่เป็นตัวควบคุมบทบาทของสิ่งแวดล้อมในบริเวณเอสทูรี การศึกษาที่คล้ายคลึงกันของ Sachoemar et al. (2009) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักของน้ำจืดและผลของคุณภาพน้ำที่ Hurun Bay ในบริเวณเกาะสุมาตราใต้ประเทศอินโดนีเซียให้ผลการศึกษาคล้ายคลึงกันคือมีระยะเวลาพำนักยาวนานทั้งสองช่วงเปลี่ยนฤดูซึ่งระยะเวลาพำนักนั้นเป็นตัวแทนของการแลกเปลี่ยนของน้ำโดยการที่ระยะเวลาพำนักยาวนานทำให้เกิดการสะสมของ DIN และ TOM (Total Organic Matter) ในคอลัมน์น้ำทำให้เกิดการสะสมของแพลงก์ตอนพืชและส่งผลทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง

ทั้งสองงานวิจัยที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของระยะเวลาพำนักและวิธีการศึกษาระยะเวลาพำนักของน้ำโดยใช้เทคนิคบ็อกโมเดลเป็นการศึกษาในเชิงบุคคลซึ่งผล การศึกษานั้นคิดจากปริมาณน้ำท่า น้ำฝน การระเหย และความเค็ม ไม่ได้รวมถึงปัจจัยทางกายภาพ เช่น ลม น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ ในการศึกษาสิ่งที่เกี่ยวข้องกับแรงเหล่านี้แบบจำลองเชิงตัวเลขจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษามากขึ้นเพื่อเป็นการคำนวณผลของปัจจัยแวดล้อมดังกล่าวมา

#### **2.4.1 การศึกษาระยะเวลาพำนักของน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข**

การศึกษาระยะเวลาพำนักโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขนั้นเป็นการศึกษาที่ใช้การจำลอง การไหลเวียนกระแสน้ำร่วมกับการใช้สารติดตามเช่น

ชาติ ครองศักดิ์ศิริ, ปราโมทย์ โสจิสุกร และอนุกุล บุรณประทีปรัตน์ (2552) ศึกษา ระยะเวลาพำนักของสารอนูรัักษ์ในอ่าวปากพนัง โดยแบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลอง RMA2 คำนวณความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกร่วมกับแบบจำลอง RMA4 เป็นแบบจำลองความเค็มเฉลี่ยตามความลึกโดยอาศัยความเร็วกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลอง RMA2 เป็นข้อมูลนำเข้ามา คำนวณเพื่อเป็นการกระจายความเค็มโดยมีการกำหนดความเค็มเฉลี่ยของอ่าวและความเค็มบริเวณ จุดที่เป็นประตูระบายน้ำและบริเวณขอบเขตเปิดซึ่งจะมีค่าต่างกัน โดยสารตามรอยจะถูกกำหนดให้เป็นสารอนูรัักษ์ที่ละลายน้ำเนื่องจากแบบจำลองถูกเทียบมาตรฐานและทวนสอบโดยใช้เกลือที่ ละลายน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารอนูรัักษ์ ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักนั้นขึ้นอยู่กับน้ำท่าเป็นหลัก เนื่องจากพื้นที่เป็นพื้นที่แคบและตื้นดังนั้นปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงคือน้ำท่า การลดลงของสาร อนูรัักษ์สามารถนำมาคำนวณเป็นระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำจากวิธีของ Takeoka (1984) โดย

อาศัยการคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณสารอนุรักษ์เมื่อเวลาผ่านไปกับปริมาณสารอนุรักษ์ ณ เวลาเริ่มต้นดังนี้

$$r(t) = \frac{R(t)}{R(0)} \quad (2.20)$$

ระยะเวลาพำนักของวัตถุสามารถคำนวณได้จากการหาปฏิยานุพันธ์ของฟังก์ชัน Remnant จะได้ว่า

$$\tau = \int_0^\infty r(t) dt \quad (2.21)$$

ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาโดยการหาระยะเวลาพำนักจากสารอนุรักษ์เช่น ในงานของ Balotro, Isobe, & Shimizu (2003) ตามสมการที่ 2.22 ซึ่งเป็นการหาระยะเวลาพำนักเฉลี่ยตามความลึกในกริดนั้น และสมการที่ 2.23 เป็นการหาระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา

$$\tau = \int_0^\infty \frac{\int_{-H}^\eta R(t) dz}{\int_{-H}^\eta R(t=0) dz} dt \quad (2.22)$$

$$\tau = \int_0^\infty \frac{\int_A \int_{-H}^\eta R(t) dz}{\int_A \int_{-H}^\eta R(t=0) dz} dt \quad (2.23)$$

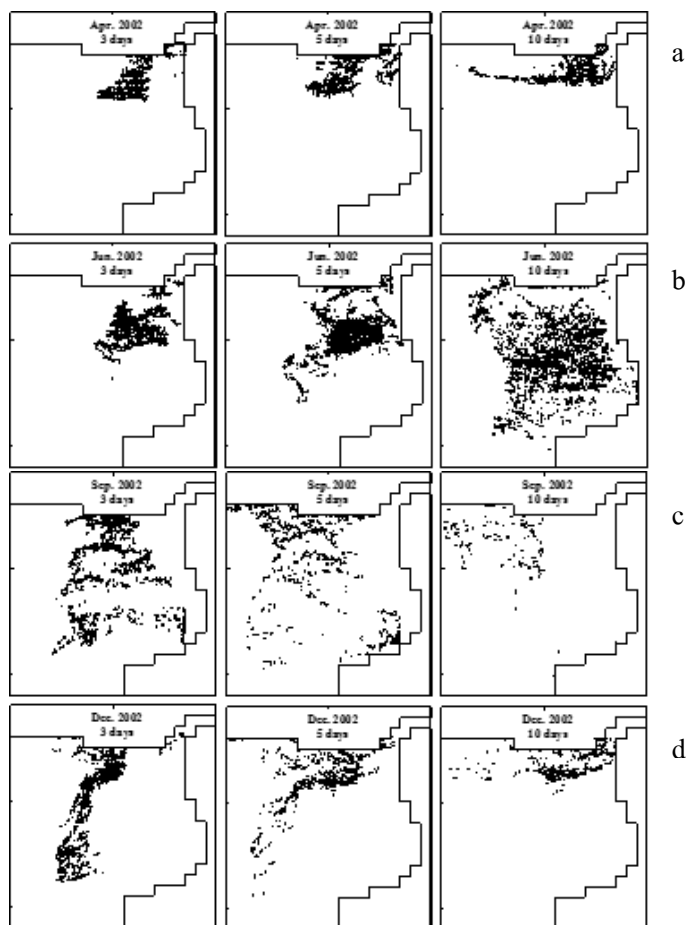
โดยสามารถนำมาแสดงเป็นระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่ (ภาพที่ 2-7) ตามวิธีของ Liu et al. (2004)

นอกจากนี้การใช้วัตถุติดตามในแบบจำลองโดยปล่อยในบริเวณที่สนใจศึกษา วัตถุดังกล่าวจะลอยจากแรงกระแสน้ำ เราเรียกลักษณะการศึกษาดังกล่าวว่าวิธีการ Euler-Lagrange โดยวัตถุนั้นจะถูกกำหนดตำแหน่งและเวลาเริ่มต้น เนื่องจากตำแหน่งของวัตถุที่ปล่อยนั้นต่างกันทำให้มีการแพร่กระจายที่ต่างกัน การเคลื่อนที่ของวัตถุจะถูกติดตามในแบบ Lagrangian วิธีการนี้เป็นประโยชน์ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยตัวของวัตถุไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยแรงของตัวเองอาศัยแรงจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง การเคลื่อนที่ของวัตถุอาศัยแรงที่ได้จากกระแสน้ำซึ่งถูกคำนวณโดยใช้วิธีการของ Eulerian ซึ่งกระบวนการนั้นที่อยู่บนพื้นฐานของการแพร่แบบ Advection และ Diffusion โดยตำแหน่งที่ปล่อยวัตถุ ณ เวลา  $n$  คือ  $X_n(x^n, y^n, z^n)$  ณ เวลาถัดไป  $n+1$  ตำแหน่งของวัตถุจะเปลี่ยนไป จะได้ว่า  $X_{n+1}(x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1})$  โดยที่การเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นเกิดจากแรงที่มากกระทำของกระแสน้ำ

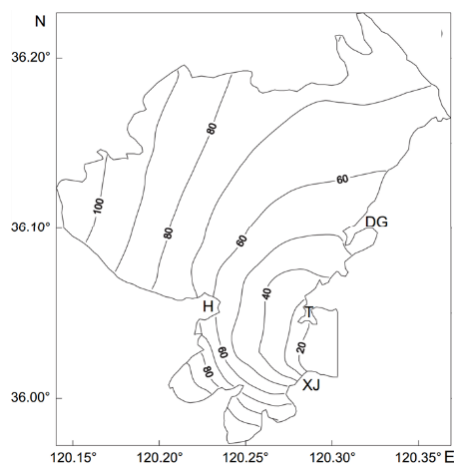
$$X_{n+1} = X_n + V\Delta t + \frac{1}{2}(\nabla V)V\Delta t^2 \quad (2.24)$$

ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาโดยใช้วิธี Euler-Lagrange ร่วมกับการคำนวณผ่านฟังก์ชัน Remnant เช่น Buranapratheprat and Yanagi (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนกระแสน้ำ เวลาพำนักเฉลี่ยของสารอนุรักษ์และการติดตามสารอนุรักษ์บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยข้อมูลนำเข้าที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ลม ปริมาณน้ำท่า และค่าน้ำขึ้นน้ำลง ผลที่ได้นั้นมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของแรงต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนกระแสน้ำ โดยแรงลมเป็นปัจจัยเด่นในการขับเคลื่อนที่พื้นผิวทะเล ในขณะที่น้ำขึ้นน้ำลงส่งผลต่อทั้งคอลัมน์น้ำ ส่วนอิทธิพลของน้ำท่า

และแรงที่ขับเคลื่อนจากความหนาแน่นจะอยู่ใกล้ปากแม่น้ำในช่วงฤดูฝน และจากการติดตามสารอนุรักษพบว่าน้ำขึ้นน้ำลงมีบทบาทที่สำคัญในการย้ายวัตถุให้ออกจากปากแม่น้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในระยะเวลาพำนักขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของลม ผลของน้ำขึ้นน้ำลงและปริมาณน้ำท่าสังเกตได้จากลักษณะการแพร่กระจายของอนุภาคที่ต่างกันในแต่ละฤดูกาล (ภาพที่ 2-6) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาแบบเดียวกันแต่ในพื้นที่ที่ตื้นและมิด้านติดต่อกับทะเลเปิดเล็กน้อยเช่นในพื้นที่ของอ่าว Jiaozhou ในประเทศจีนพบว่า ระยะเวลาพำนักถูกกำหนดโดยกระแส น้ำขึ้นน้ำลงรวมไปถึงลักษณะของอ่าวก็มีผลต่อระยะเวลาพำนักโดยระยะทางจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ ยิ่งอยู่ห่างจากปากอ่าวก็ยิ่งทำให้มีระยะเวลาพำนักที่สูงขึ้น (ภาพ 2-7) (Liu et al., 2004) แต่ถ้าพื้นที่ศึกษาอยู่ในส่วนของเอสตูรีที่เป็นแม่น้ำเป็นหลักปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมก็จะเป็นน้ำท่าเช่นใน Danshuei river estuarine (Liu et al., 2008; Liu et al., 2011) นอกจากนี้ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีสิ่งอื่นที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนักได้เช่นกัน เช่น จากงานวิจัยของ Balotro et al. (2003) ใช้แบบจำลอง 3 มิติของ POM ศึกษาความแปรผันของการไหลเวียนกระแสน้ำ และระยะเวลาพำนักที่อ่าว Suo-Nada ประเทศญี่ปุ่น โดยพบว่าพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของอ่าวจะแปรผกผัน โดยตรงต่อระยะเวลาพำนักพลังงานจลน์ดังกล่าวนี้เป็นตัวแทนแสดงถึงความแรงของกระแสน้ำ



ภาพที่ 2-6 ลักษณะการกระจายของวัตถุในเดือนเมษายน (a), มิถุนายน (b), กันยายน (c) และ ธันวาคม (d) บริเวณบางปะกงเอสทูรี (Buranapratheprat & Yanagi, 2003)



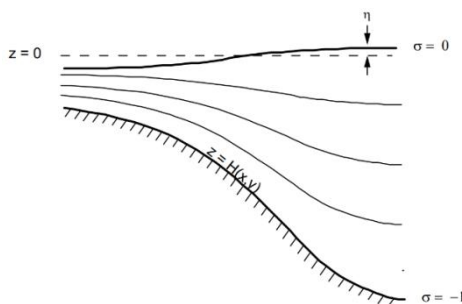
ภาพที่ 2-7 การแพร่กระจายของระยะเวลาพำนักของอ่าว Jiaozhou (Liu et al., 2004)



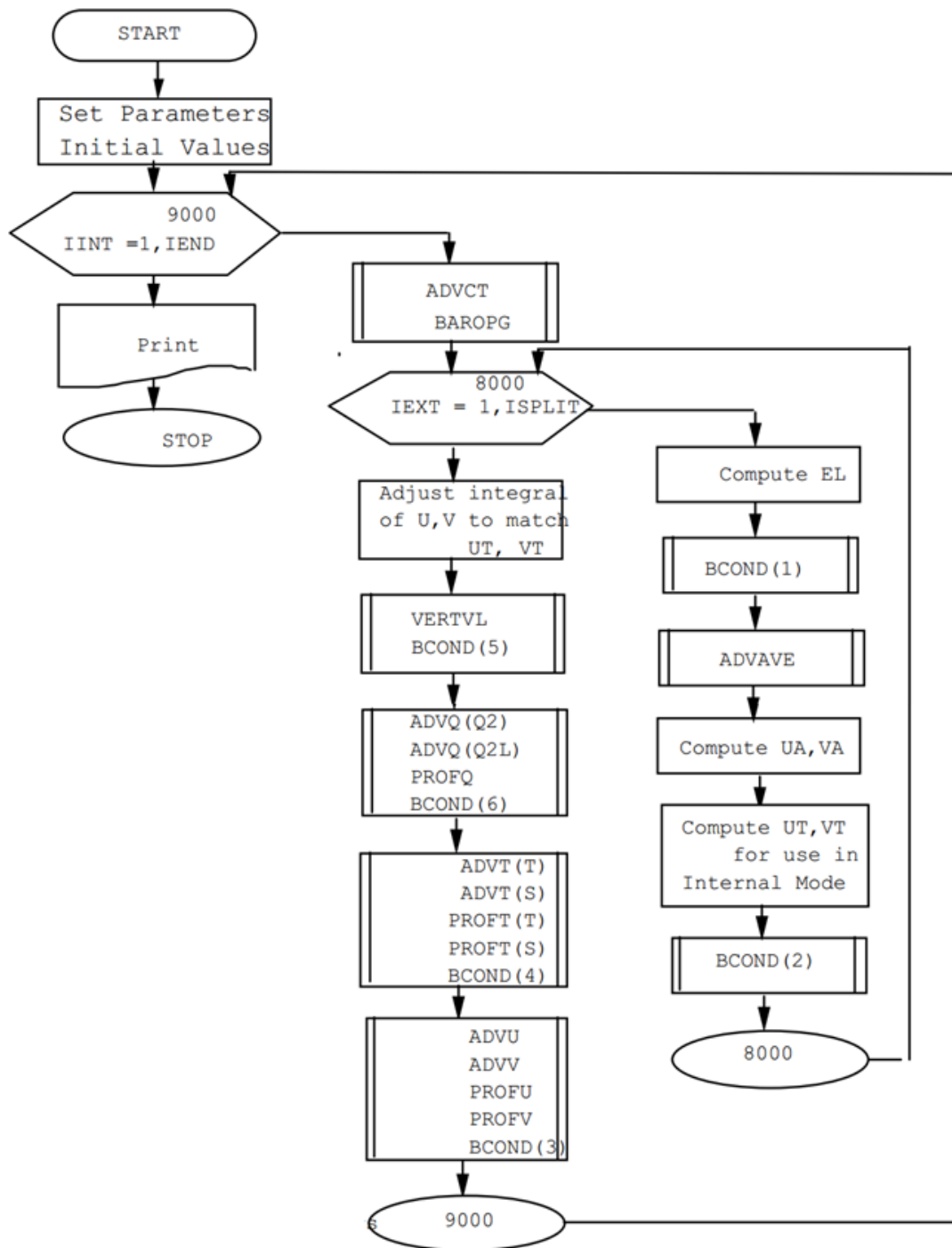
โดยแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำร่วมกับการใช้สารติดตามมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยการเทียบมาตรฐาน (Calibration) และทวนสอบ (Verification) โดยการใช้ความเร็วกระแสน้ำจากการวัดจริง (ชาติ ครองศักดิ์ศิริ และคณะ, 2552) หรือการใช้การเปรียบเทียบระดับน้ำในจุดเดียวกันของแบบจำลองและพื้นที่จริง (Buranapratheprat & Yanagi, 2003; Liu et al., 2004; Liu et al., 2008; Liu et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบโดยใช้ความถี่รวมถึงการทดสอบผลของตัวติดตาม ที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากใช้หุ่นลอยที่ถูกติดตามด้วย GPS (Liu et al., 2004)

## 2.5 แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM)

Princeton Ocean Model เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขใช้สำหรับศึกษาที่เกี่ยวกับการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลซึ่งถูกพัฒนาโดย Blumberg and Mellor ช่วงปี ค.ศ.1970 ใช้สำหรับศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำได้ในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยแบบจำลองมีคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สามารถศึกษาการแพร่กระจายทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เนื่องจากสามารถแบ่งชั้นน้ำตามความลึกอาศัยระบบพิกัดซิกมา (The Sigma Coordinate System;  $\sigma$ ) ซึ่งทำให้ได้ลักษณะพื้นที่ท้องทะเลที่สมจริงมากที่สุด (ภาพที่ 2-8) POM ยังเป็นแบบจำลองที่ขึ้นกับเวลา รวมถึงตัวของแบบจำลองยังมีลักษณะพิเศษที่สามารถคำนวณความปั่นป่วน (Turbulence) ในแบบจำลองย่อยซึ่งเป็นพื้นฐานอีกทั้งแบบจำลองยังมีพื้นผิวที่เป็นอิสระ (Free surface) และมีขั้นตอนการแบ่งเวลา (Time step) โดยใช้เวลานั้นในส่วน External mode ซึ่งเป็นส่วนของรูปแบบ 2 มิติและในส่วน Internal mode จะเป็นรูปแบบ 3 มิติซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลานานกว่า (Blumberg & Mellor, 1987) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้กับงานในระบบทะเลปิดรวมไปถึงบริเวณที่เป็นเอสทูรี ซึ่งเหมาะสมกับอ่าวไทยที่มีลักษณะเป็นเอสทูรี โดยส่วนประกอบของโปรแกรมจะมีโปรแกรมหลัก (Main Program) และมีการแยกโปรแกรมการทำงานส่วนย่อย ๆ (Subroutine) (ภาพที่ 2-9)



ภาพที่ 2-8 การแบ่งชั้นน้ำในระบบพิกัดซิกมา (Mellor, 2004)



ภาพที่ 2-9 ขั้นตอนการทำงานของ POM โดยกรอบสี่เหลี่ยมที่มีขีดด้านข้างสองขีดหมายถึง ส่วนประกอบที่เป็น Subroutines (Mellor, 2004)

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิจัยที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษากระแสน้ำ และระยะเวลาพำนักของน้ำ ตั้งแต่ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง ขั้นตอนการเตรียม ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ลักษณะการทำงานของโปรแกรม การออกแบบการทดลองรวมถึงการตรวจสอบ ความถูกต้องของแบบจำลองและการวิเคราะห์ผล

#### 3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้คือแบบจำลอง Princeton ocean model (POM) รายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 2.6 หรือสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Blumberg and Mellor (1987) และ Mellor (2004) ในการศึกษาแบบจำลองสมการพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้คือสมการการเคลื่อนที่ (2.17) และสมการอนุรักษ์มวล (2.19) โดยสมการเหล่านี้จะถูกเขียนอยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนในส่วน การคำนวณตามความลึกจะถูกแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดซิกมาได้ดังนี้

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z-\eta}{H+\eta}, t^* = t \quad (3.1)$$

โดยสมการต่าง ๆ จะถูกหาคำตอบโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical methods) โดยการใช้วิธีการประมาณแบบผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference) ตามลักษณะแบบ Arakawa C-grid โดย ขั้นตอนคำนวณของแบบจำลอง POM มีลักษณะตามภาพที่ 2-9 โดยสามารถสรุปวิธีการศึกษาใน ค้างนี้ตามภาพที่ 3-3 ในการศึกษาค้างนี้จะใช้วิธีแบบ Diagnostic คือการกำหนดให้อุณหภูมิและความเค็มในแต่ละกริดเป็นค่าคงที่ซึ่งได้มาจากฐานข้อมูล

##### 3.1.1 การกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต

เริ่มจากการกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเป็นศูนย์ หรือระดับน้ำอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง โดยมีการกำหนดขอบเขตให้ด้านความเร็วของกระแสน้ำที่ตั้งฉากกับแผ่นดินให้มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนความเค็มที่เกิดจากลมบริเวณผิวทะเลและเงื่อนไขที่พื้นทะเลจะถูกเขียนในรูปสมการ ดังต่อไปนี้

$$\frac{K_m}{D} \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = -(\langle wu(0) \rangle, \langle wv(0) \rangle), \sigma \rightarrow 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{K_m}{D} \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{\frac{1}{2}} (U, V), \sigma \rightarrow -1 \quad (3.3)$$

กำหนดขอบเขตบริเวณชายฝั่งให้เป็นด้านปิด (Close boundary) ในส่วนทะเลเป็นด้านเปิด (Open boundary) ซึ่งอยู่บริเวณตะวันออกเฉียงใต้โดยที่ด้านเปิดมีการนำเข้าค่าระดับน้ำตามสมการที่ 3.4 โดยจะถูกนำเข้าไปในทุก ๆ external time step

$$BC = \eta \quad (3.4)$$

### 3.1.2 การเขียนผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ต้องการได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำในแนวราบและแนวตั้ง (แนวแกน x, y, z) ในแต่ละกริดที่ระดับต่าง ๆ รวมถึงค่าปริมาณของสารอนุรักษณ์ในแต่ละวัน ค่าเฉลี่ยตามความลึกของกระแสน้ำและสารอนุรักษณ์ และค่ากระแสน้ำรายเดือน รวมถึงค่าระดับน้ำ

## 3.2 แบบจำลองอ่าวไทย

### 3.2.1 การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง

3.2.1.1 กำหนดข้อมูลนำเข้าภายใต้ขอบเขตลองจิจูดระหว่าง 99.00 – 106.00 องศาตะวันออก ละติจูดระหว่าง 5-13.59 องศาเหนือ (ภาพ 3-1 a) โดยวิธีการประมาณค่าข้อมูลเพื่อให้มีจุดพิกัดตรงกับช่องคำนวณ โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Gaussian

3.2.1.2 ขนาดของช่องกริดที่ศึกษาครั้งนี้มีขนาด 5 x 5 ลิปดา หรือประมาณ 9.28 x 9.28 กิโลเมตร (ภาพที่ 3-1) มีขนาดจำนวนช่องกริด ตามแนวแกน x และ y มีค่าเท่ากับ 84 และ 103 ช่องตามลำดับ ในส่วนกริดตามความลึกกำหนดให้มีจำนวนกริดที่คำนวณตามความลึก 10 ชั้น

3.2.1.3 กำหนดค่าระยะเวลาในการคำนวณ (Run time) ในกรณีศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในเท่ากับ 365 วัน และในกรณีศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยเท่ากับ 730 วัน โดยจะเพิ่ม Free run 20 วัน เพื่อให้แบบจำลองมีความเสถียรก่อนการคำนวณ

3.2.1.4 กำหนดค่าการคำนวณ External time step เท่ากับ 10 วินาที และ Internal time step เท่ากับ 200 วินาที

### 3.2.2 ข้อมูลนำเข้า

3.2.2.1 ข้อมูลลม (Wind Stress) ใช้ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2556 (เฉลี่ย 10 ปี) จากดาวเทียม QuikSCAT เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.ssmi.com> โดยทำการเลือกพื้นที่ที่ต้องการใช้ข้อมูลบริเวณพื้นที่ศึกษาเนื่องจากข้อมูลที่เข้าถึงนั้นเป็นข้อมูลลมทั่วโลก โดยทำการดาวน์โหลดมาทีละปีจำนวนทั้งสิ้น 10 ปี (พ.ศ. 2543-2552) และนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยในแต่ละเดือน

3.2.2.2 ปริมาณน้ำจืด (River Discharge) น้ำจืดที่ไหลสู่อ่าวไทยได้มาจากสถานีวัดระดับน้ำจากแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเพชรบุรี แม่น้ำตาปี และบริเวณคลองใหญ่จากกรมชลประทาน โดยเป็นปริมาณน้ำจืดเฉลี่ย 10 ปีเข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://www.rid.go.th> โดยใช้ข้อมูลจากสถานีปล่อยน้ำสถานีสุดท้ายที่ไม่ถูกรบกวนจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

3.2.2.3 ข้อมูลความลึกพื้นทะเล (Bathymetry) เป็นข้อมูลความลึกจากดาวเทียมที่วัดความผันผวนของแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity anomaly) โดยแสดงข้อมูลความสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศของโลกเผยแพร่โดย The General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) โดยมีความละเอียดของกริดเท่ากับ 0.5 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 926 เมตร โดยมีการกำหนดให้ค่าความลึกมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10 เมตร โดยข้อมูลสามารถเข้าถึงได้จาก <http://www.gebco.net/>

3.2.2.4 ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็ม (Temperature and Salinity) ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มนั้นได้จาก National Oceanographic Data Center (NODC) World Ocean Atlas 2013 เป็นข้อมูลเฉลี่ยระยะยาว ความละเอียด  $0.25 \times 0.25$  องศาเข้าถึงได้จาก <http://www.nodc.noaa.gov>

3.2.2.5 ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง ได้จากการวิเคราะห์แบบฮาร์โมนิกโดยใช้ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง (K1, O1, M2, S2, P1, Q1, N2, K2) จากแบบจำลอง TPXO8-ATLAS

3.2.2.6 กระแสน้ำจากภายนอก ได้มาจากแบบจำลองทะเลจีนใต้แบบ 3 มิติ โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะถูกทำการประมาณโดยใช้วิธี Linear interpolation ให้ตรงกับกริดที่ขอบเขตเปิด

### 3.3 แบบจำลองทะเลจีนใต้

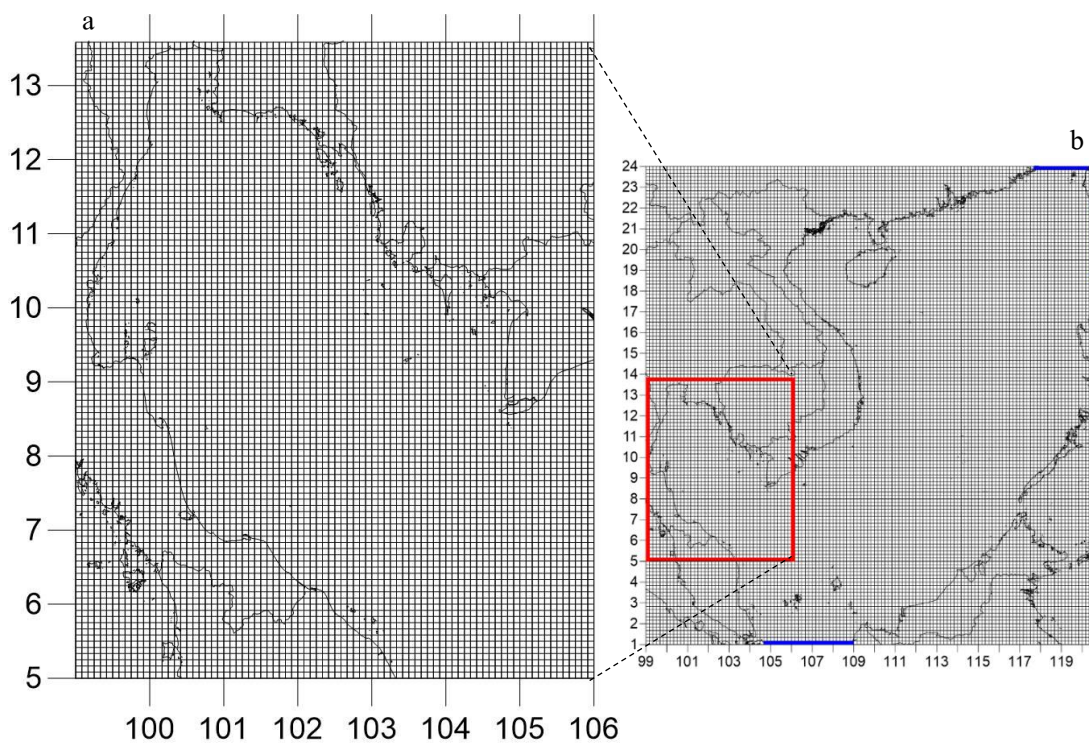
#### 3.3.1 แบบจำลองทะเลจีนใต้ 2 มิติ

แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลจีนใต้แบบ 2 มิติ พิกัดของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่  $0 - 25$  องศาเหนือและ  $98.66 - 121.66$  องศาตะวันออก มีความละเอียดของกริด  $20 \times 20$  ลิปดา จำนวนกริดที่ศึกษาในแนวแกน x และแกน y มีจำนวนกริดเท่ากับ 75 และ 69 ตามลำดับ โดยใช้ปัจจัยลมตามหัวข้อ 3.2.2 น้ำท่าจากหัวข้อ 3.2.3 และน้ำท่าจากแม่น้ำโขงในปี 2009 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนแม่น้ำเรแฉง (Rajang) ข้อมูลเฉลี่ย 30 ปีจากงานวิจัยของ Staub, Among, and Gastaldo (2000) และน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากแม่น้ำเพิร์ล (Pearl river) และแม่น้ำสาขาบริเวณอ่าว Tonkin ประเทศจีน รวมถึงแม่น้ำเรด (Red river) บริเวณประเทศเวียดนามจากงานวิจัยของ Gao, Xue, Chai and Shi (2013) ค่าระดับน้ำได้จากการคำนวณค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง (K1, O1, M2, S2, P1, Q1, N2, K2) ที่ได้จากการวิเคราะห์ฮาร์โมนิก โดยระยะเวลาในการคำนวณเท่ากับ 30 วัน Free run 20 วันค่าการคำนวณ External time step เท่ากับ 10 วินาทีและ Internal time step เท่ากับ 300 วินาที

#### 3.3.2 แบบจำลองทะเลจีนใต้ 3 มิติ

ขอบเขตของแบบจำลองทะเลจีนใต้ 3 มิติอยู่ที่  $1-24$  องศาเหนือและ  $99-120.66$  องศาตะวันออก โดยทำการแบ่งกริดให้มีความละเอียดกริดเท่ากับ  $10 \times 10$  ลิปดา จำนวนกริดที่ศึกษาในแนวแกน x และแกน y มีจำนวนกริดเท่ากับ 138 และ 132 ตามลำดับ ส่วนกริดตามความลึกมีจำนวนทั้งหมด 10 ชั้น โดยมีการกำหนดให้มีความลึกสูงสุดที่ 200 เมตรเนื่องจากการศึกษาบริเวณที่

ผิวของมหาสมุทร (Upper layer) สาเหตุที่เลือกเฉพาะที่ 200 เมตรเนื่องจากเป็นช่วงความลึกที่เป็นชั้น Thermocline โดยแบบจำลองมีด้านเปิดทั้งหมดสามด้าน ได้แก่ บริเวณทิศใต้บริเวณเส้นศูนย์สูตร ทิศตะวันออกบริเวณช่องแคบลูซอน และทิศเหนือบริเวณช่องแคบไต้หวัน (ภาพที่ 3-1 b) โดยมีข้อมูลนำเข้าเช่นเดียวกับแบบจำลองทะเลจีนใต้แบบ 2 มิติส่วนค่าระดับน้ำได้จากการคำนวณองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง (K1, O1, M2, S2, P1, Q1, N2, K2) ที่ได้จากการวิเคราะห์ฮาร์โมนิก และกระแสน้ำจากภายนอกอาศัยจากแบบจำลองทะเลจีนใต้ 2 มิติ ทำการศึกษาในแต่ละเดือน โดยระยะเวลาในการคำนวณเพื่อศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยเท่ากับ 730 วัน Free run 20 วัน ค่าการคำนวณ External time step เท่ากับ 5 วินาทีและ Internal time step เท่ากับ 50 วินาที



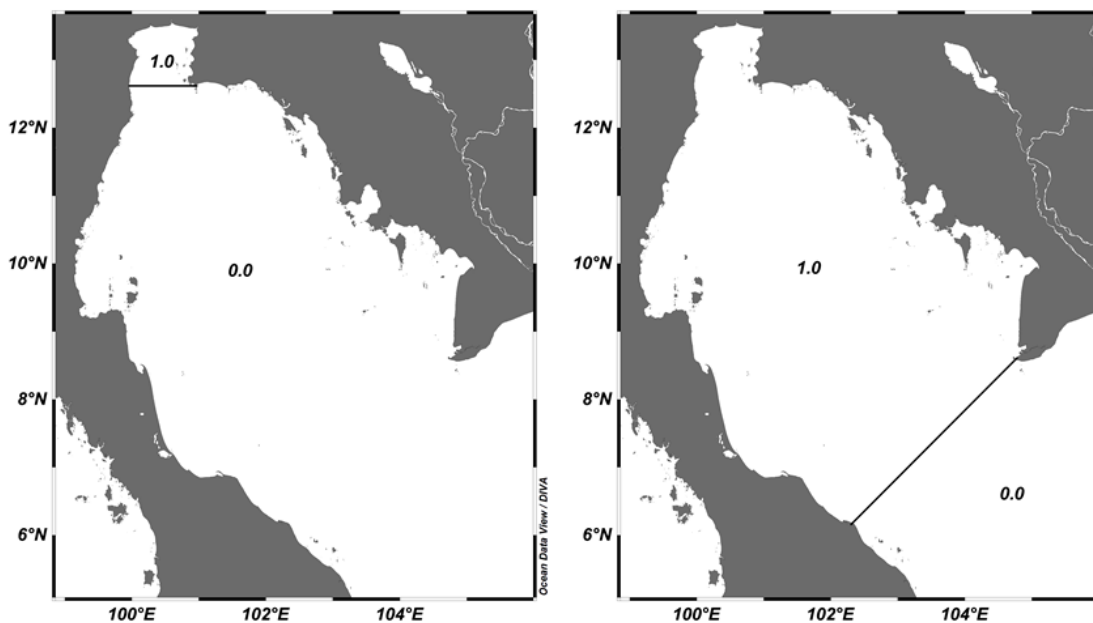
ภาพที่ 3-1 ขอบเขตและกริดที่ใช้ในการศึกษาพื้นที่ในอ่าวไทย (a) และทะเลจีนใต้ (b)

### 3.4 แบบจำลองสารอนุรักษ์

ในการศึกษาระยะเวลาพำนักจะมีการใช้สารอนุรักษ์โดยการลดลงของสารอนุรักษ์จะขึ้นอยู่กับกระบวนการ Advection และ Diffusion ตามสมการที่ 3.5 โดยการคำนวณจะถูกเพิ่มให้อยู่ในการคำนวณส่วน Internal mode หลัง subroutine ADVT(T,S), PROFT(T,S) และ BCOND(4)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = K_h \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (3.5)$$

ทำการปล่อยสารอนุรักษ์ในสองพื้นที่ ได้แก่ บริเวณอ่าวไทยตอนใน (IGOT) และบริเวณอ่าวไทยทั้งอ่าว (GoT) (ภาพที่ 3-2) โดยจะใส่ปัจจัยนำเข้าทุกปัจจัยและนำเข้าน้ำขึ้นน้ำลงแบบระดับน้ำตามสมการที่ 3.4 โดยจะถือเป็นกรณีควบคุม (Control; CTL) ทำการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนักดังตารางที่ 3-1



ภาพที่ 3-2 ขอบเขตการปล่อยสารอนุรักษ์ในกรณีอ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยทั้งอ่าว

ตารางที่ 3-1 กรณีทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนัก

Case study	CTL	No wind	No tide	No discharge	Non fix <sup>1</sup> parameters	BCOND 2 <sup>2</sup>	BCOND 2 +EXT <sup>3</sup>	Included SCS <sup>4</sup>
IGOT	√	√	√	√	√	-	-	-
GOT	√	√	√	-	√	√	√	√

1. กรณีรันแบบอ็อปเตบัจจัยนำเข้าไปในแต่ละเดือน (Non fix parameters) คือการเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าได้แก่ อุณหภูมิ, ความเค็ม, ลม, น้ำท่า และน้ำขึ้นน้ำลง ให้เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน
2. กรณีนำขั้ระดับน้ำแบบ Radiation (BCOND2) คือการเปลี่ยนค่าความสูงของระดับน้ำเป็นค่าความเร็วกระแสน้ำตามสมการดังนี้

$$H\bar{U}_{BC} = H\bar{U}_{B-1} \pm c_e \eta \text{ เมื่อ } c_e = \sqrt{gH} \quad (3.5)$$

3. กรณีนำขั้ระดับน้ำแบบ Radiation ร่วมกับ External force (BCOND2+EXT) โดยแรงดังกล่าวได้จากกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองทะเลจีนใต้แบบ 3 มิติบริเวณที่ตรงกับขอบเขตเปิดของแบบจำลองอ่าวไทย
4. กรณีขยายขอบเขตแบบจำลองโดยรวมกับพื้นที่ทะเลจีนใต้ (Included SCS) โดยจะทำการปล่อยสารอนุรักษั้เฉพาะในพื้นที่อ่าวไทย

### 3.5 การวิเคราะห์ผลและการแสดงผล

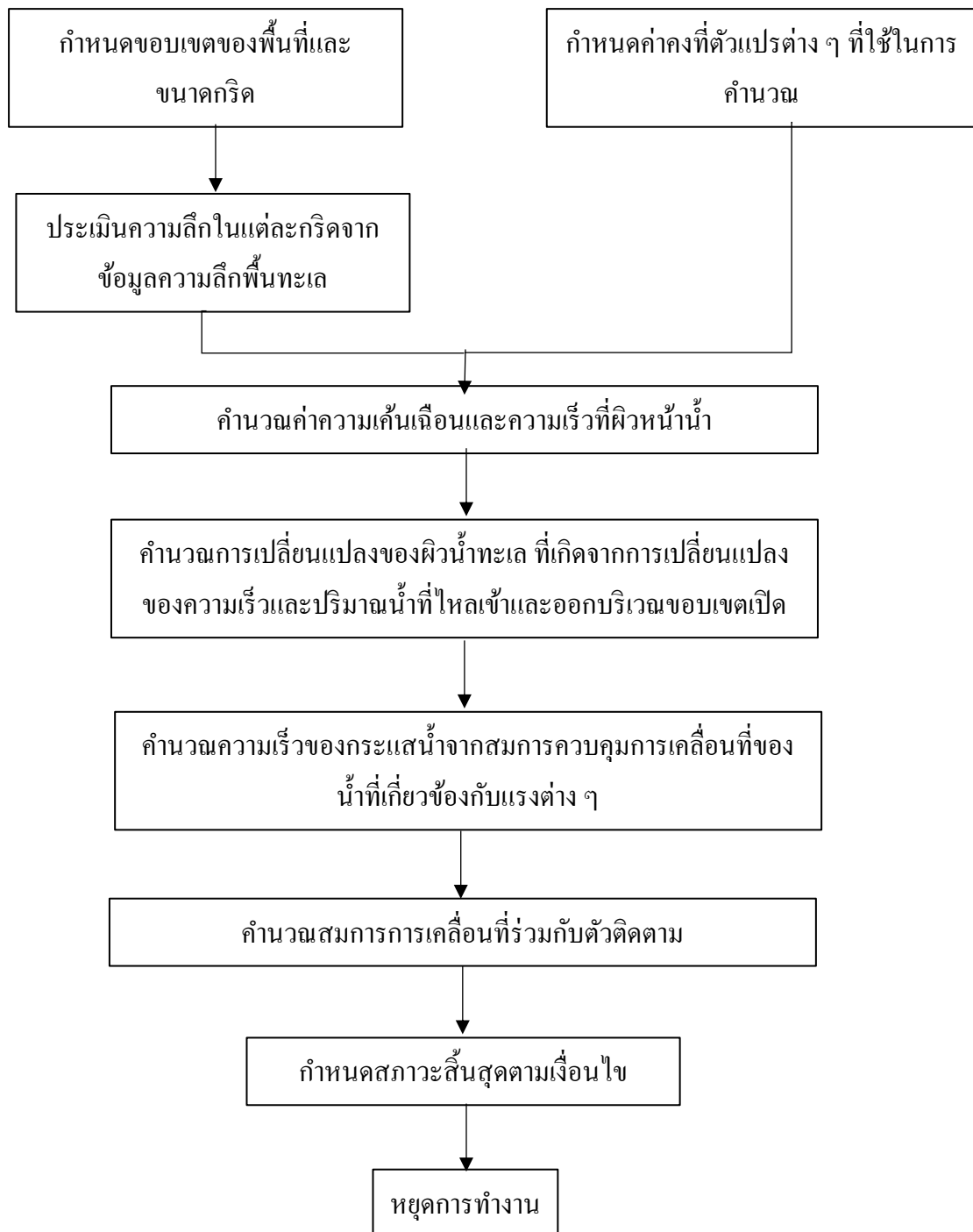
3.6.1 ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงจากข้อมูลรายสถานีจากกรมเจ้าท่าในปี 2558 โดยพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระดับน้ำและหาความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองและค่าวัดจริง

3.6.2 รายงานผลกระแสน้ำสุทธิในอ่าวไทยในแต่ละเดือน

3.6.2 ผลลัพธ์ของปริมาณสารอนุรักษั้ถูกนำมาคำนวณตามสมการ 2.21 เพื่อหาระยะเวลาพำนักที่อยู่ภายในอ่าวไทยตอนใน และอ่าวไทยทั้งอ่าวในแต่ละเดือน

3.6.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณระยะเวลาพำนักที่ได้จากการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาพำนัก





ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการคำนวณโดยสรุป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 การเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลง

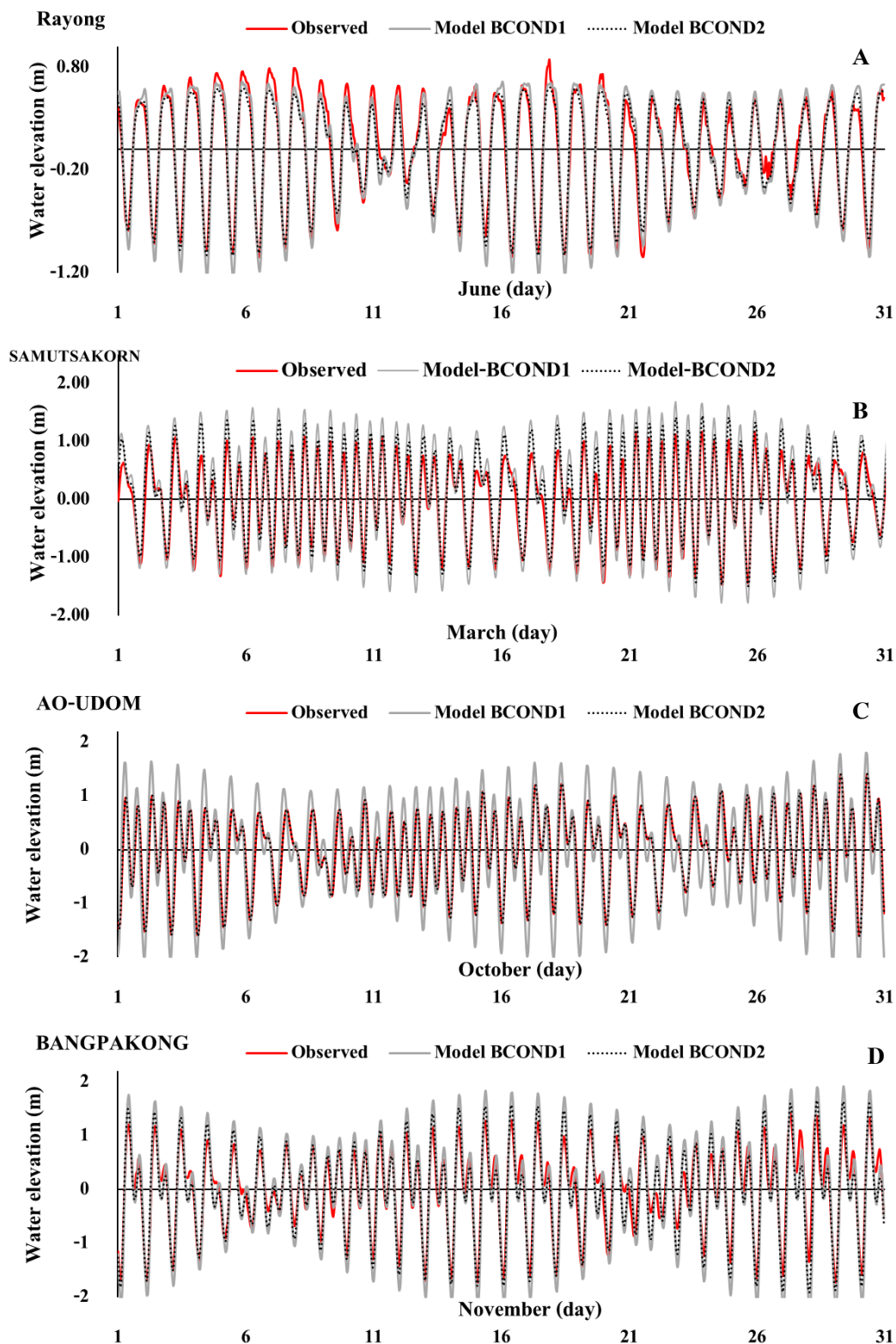
ผลระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองบริเวณต่าง ๆ ถูกเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดของกรมเจ้าท่าปี 2558 ณ สถานีแหลมฉบัง (LG) สถานีท่าแฉลบ (TC) สถานีระยอง (RY) สถานีอ่าวอุดม (AU) สถานีบางปะกง (BK) สถานีสมุทรสาคร (SA) สถานีสมุทรสงคราม (SK) สถานีบ้านแหลม (BL) สถานีหลังสวน (LS) สถานีสิชล (SC) และสถานีปากพนัง (PN) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำขึ้นน้ำลงของแบบจำลองและระดับน้ำขึ้นน้ำลงของสถานีตรวจวัดถูกแสดงดังตารางที่ 4-1 โดยพบว่าในแต่ละสถานีมีค่า  $R^2$  ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน (ตารางที่ 4-2) โดยเฉลี่ยพบว่าในแต่ละสถานีมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.57-0.91 ผลการทดสอบในกรณี BCOND1 และ BCOND2 พบว่ามีค่า  $R^2$  ที่ใกล้เคียงกัน สถานีระยอง สถานีอ่าวอุดม สถานีสมุทรสาคร ของทั้งสองกรณีเป็นสถานีที่มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.80 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ในช่วง 0.03-0.08 ส่วนในสถานีสมุทรสงครามเป็นสถานีที่มีค่าความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด โดยมีค่า  $R^2$  เฉลี่ยในแต่ละเดือนเท่ากับ 0.57 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.28-0.31 และเมื่อเปรียบเทียบในเชิงเวลา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ  $R^2$  ในแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 0.58-0.82 ในเดือนมกราคมเป็นเดือนที่มีค่าเฉลี่ย  $R^2$  สูงที่สุดส่วนในช่วงกันยายนและตุลาคมเป็นช่วงที่มีค่าเฉลี่ยของ  $R^2$  ต่ำที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงพบว่าเฟสที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับการตรวจวัดจริง ส่วนของแอมพลิจูดของระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองจะมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานีและในแต่ละเดือน โดยในสถานีระยอง อ่าวอุดม สมุทรสาครเป็นสถานีที่มีความใกล้เคียงของเฟสและแอมพลิจูดของระดับน้ำมากที่สุด (ภาพที่ 4-1 A-D) นอกจากนี้ผลจากการใช้ขอบเขตที่แตกต่างกันพบว่าระดับน้ำที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองกรณี โดยระดับน้ำจากกรณี BCOND1 มักจะมีค่าสูงกว่ากรณี BCOND2 เล็กน้อย

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของระดับน้ำจากการวัดจริงกับแบบจำลองในกรณี BCOND1 และ BCOND2 ในแต่ละสถานี

Station	$R^2$	
	BCOND1	BCOND2
	AVERAGE±SD	AVERAGE±SD
LG	0.65±0.15	0.70±0.16
TC	0.75±0.24	0.78±0.25
RY	0.87±0.06	0.90±0.05
AU	0.84±0.08	0.86±0.07
BK	0.72±0.30	0.72±0.30
SA	0.89±0.04	0.91±0.03
SK	0.62±0.26	0.62±0.28
BL	0.77±0.22	0.79±0.29
LS	0.69±0.13	0.70±0.14
SC	0.77±0.07	0.80±0.07
PN	0.65±0.11	0.70±0.12

ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของระดับน้ำจากการวัดจริงกับแบบจำลองในกรณี BCOND1 และ BCOND2 ในแต่ละเดือน

Station	$R^2$	
	BCOND1	BCOND2
	AVERAGE±SD	AVERAGE±SD
<b>Jan</b>	0.82±0.10	0.82±0.09
<b>Feb</b>	0.73±0.13	0.73±0.24
<b>Mar</b>	0.74±0.18	0.78±0.18
<b>Apr</b>	0.75±0.13	0.80±0.12
<b>May</b>	0.78±0.24	0.82±0.25
<b>Jun</b>	0.77±0.24	0.80±0.24
<b>Jul</b>	0.76±0.18	0.79±0.17
<b>Aug</b>	0.78±0.14	0.82±0.14
<b>Sep</b>	0.63±0.15	0.68±0.16
<b>Oct</b>	0.59±0.33	0.58±0.35
<b>Nov</b>	0.83±0.13	0.82±0.13
<b>Dec</b>	0.79±0.13	0.82±0.12



ภาพที่ 4-1 ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองรายชั่วโมง

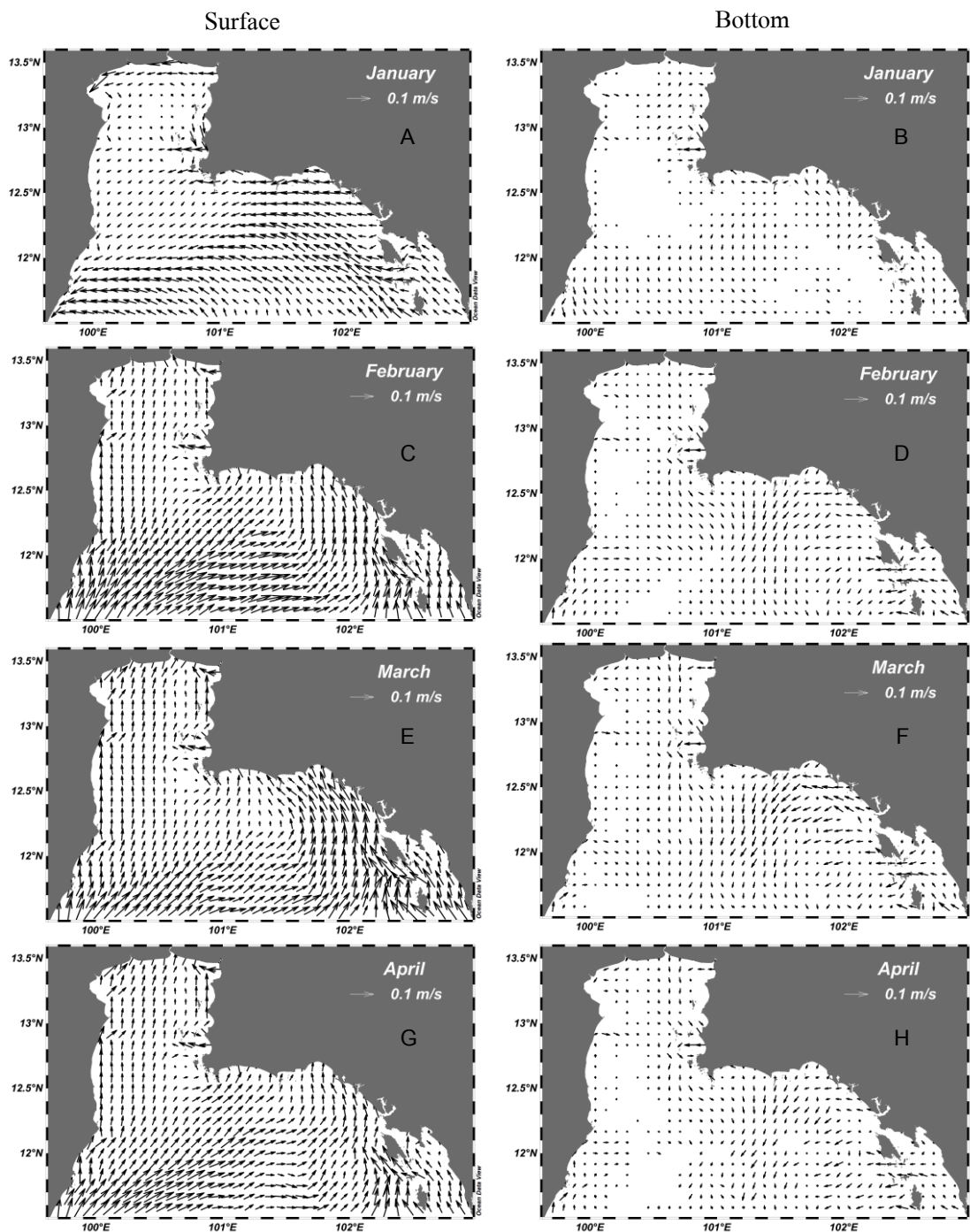
## 4.2 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ผลที่ได้จากแบบจำลองกระแสน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนในพบว่าในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์- เมษายน) กระแสน้ำที่ผิวทะเล (0.5 เมตร) มีทิศทางไหลขึ้นเหนือสู่บริเวณก้นอ่าวโดยมีความเร็วประมาณ 0.05 เมตร/วินาที กระแสน้ำใกล้ก้นทะเลมีทิศไหลออกจากอ่าวบริเวณแนวร่องเกาะชายฝั่งตะวันออก ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกกระแสน้ำมีทิศทางเดียวกับกระแสน้ำที่ผิวแต่มีความเร็วของกระแสน้ำที่น้อยกว่า (ภาพที่ 4-2 C-H)

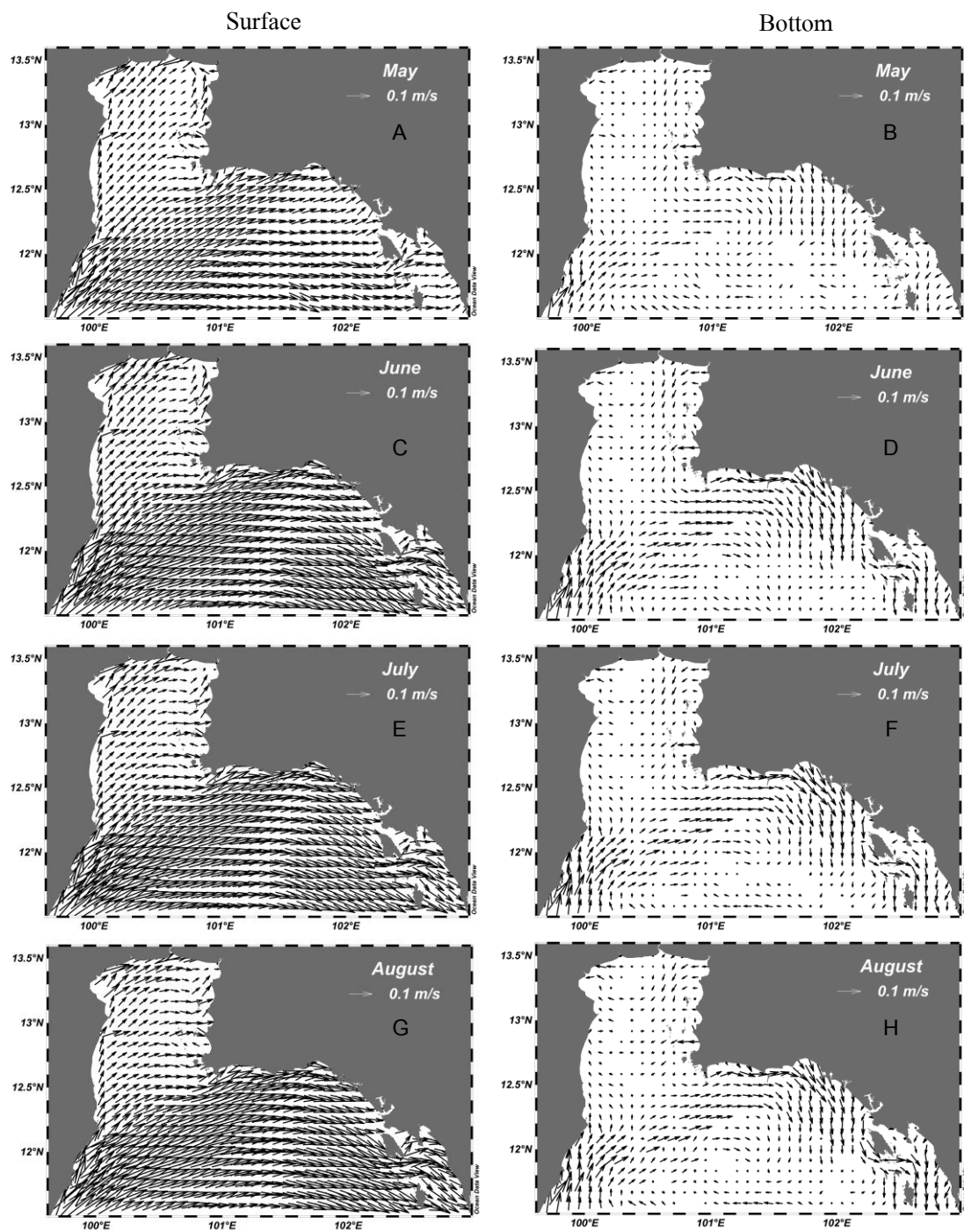
ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) กระแสน้ำมีสองลักษณะ โดยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมกระแสน้ำที่ผิวทะเลจะไหลมาจากทิศใต้และบริเวณชายฝั่งตะวันตกจะมีกระแสน้ำไหลขนานชายฝั่งเข้าสู่อ่าวไทยตอนใน ส่วนบริเวณกลางอ่าวกระแสน้ำจะไหลไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออก โดยมีความเร็วของกระแสน้ำประมาณ 0.05 เมตร/วินาที กระแสน้ำใกล้ก้นทะเลบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีทิศทางเดียวกับกระแสน้ำที่ผิว ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกพบว่ากระแสน้ำมีทิศไปทางใต้โดยจะไหลออกจากอ่าว และพบวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาบริเวณก้นอ่าวในช่วงฤดูดังกล่าว ส่วนในเดือนกันยายนพบว่ากระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในมีทิศไหลไปทางตะวันออกส่วนกระแสน้ำใกล้ก้นทะเลไหลสวนทางกับกระแสน้ำที่ผิวทะเล (ภาพที่ 4-3 A-H, 4-4 A-B)

กระแสน้ำในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 (ตุลาคม) มีลักษณะไหลออกจากอ่าวโดยกระแสน้ำบริเวณก้นอ่าวจะไหลไปยังชายฝั่งตะวันตกในขณะที่กระแสน้ำบริเวณกลางอ่าวจะไหลไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้โดยมีความเร็วของกระแสน้ำประมาณ 0.10 เมตร/วินาที และกระแสน้ำใกล้ก้นทะเลมีลักษณะไหลเข้าสู่อ่าวไทยตอนในบริเวณแนวร่องน้ำฝั่งตะวันออก นอกจากนี้กระแสน้ำใกล้ก้นทะเลบริเวณก้นอ่าวจะไหลเข้าสู่ชายฝั่งด้านเหนือ (ภาพที่ 4-4 C-D)

ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มกราคม) พบว่ากระแสน้ำที่ผิวไหลไปยังทิศใต้ทั้งบริเวณชายฝั่งตะวันตกและชายฝั่งตะวันออก โดยความเร็วของกระแสน้ำในเดือนพฤศจิกายนมีค่าประมาณ 0.10 เมตร/วินาที โดยความเร็วจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมตามลำดับ ส่วนกระแสน้ำใกล้ก้นทะเลพบว่ามีความเร็วไหลเข้าสู่อ่าวไทยตอนในบริเวณแนวร่องน้ำชายฝั่งตะวันออกและมีทิศไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตก โดยช่วงฤดูดังกล่าวพบว่ามีความเร็วไหลทวนเข็มนาฬิกาบริเวณก้นอ่าว (ภาพที่ 4-2A-B, 4-4 E-H)

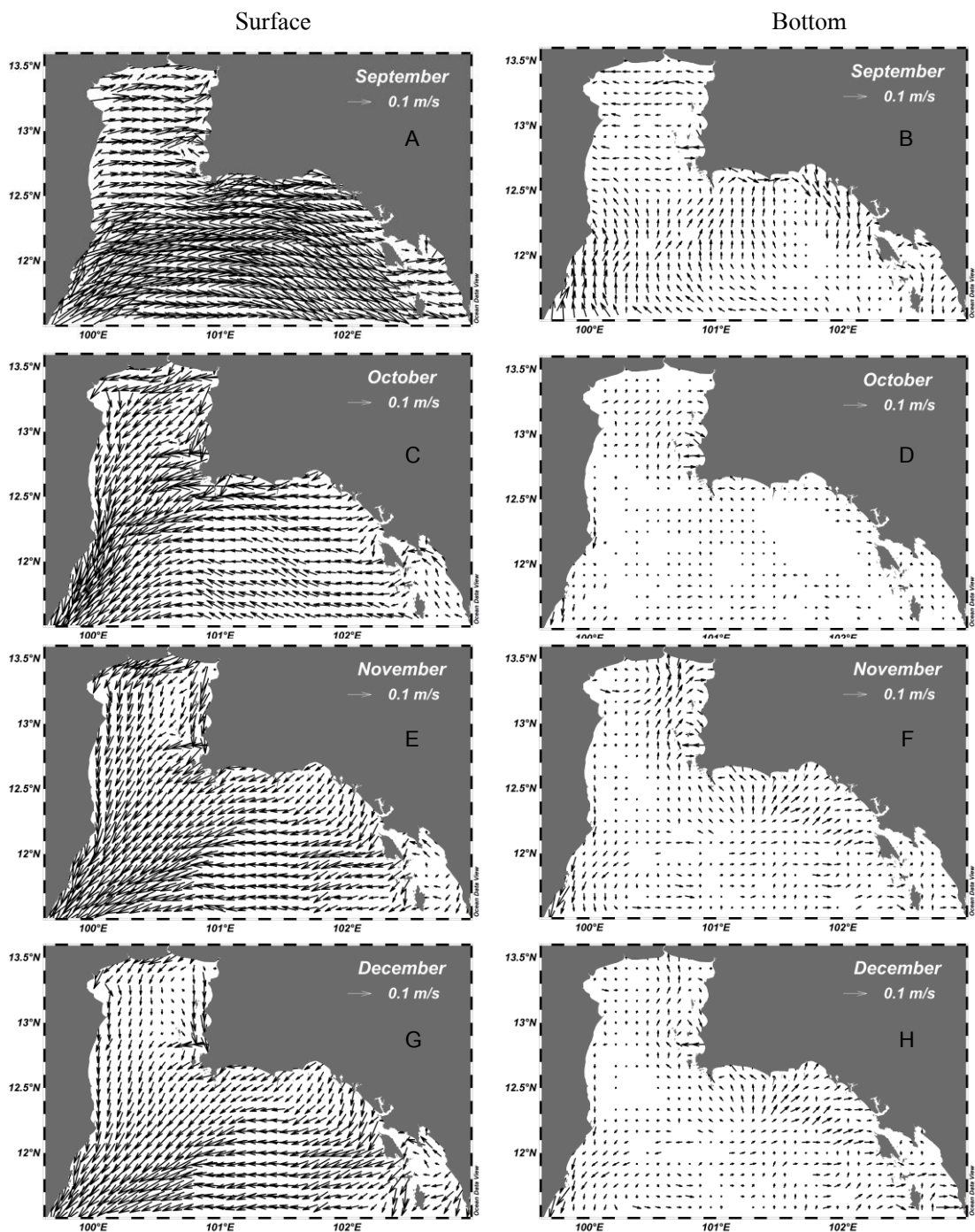


ภาพที่ 4-2 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมกราคม-เมษายนบริเวณ  
อ่าวไทยตอนใน



ภาพที่ 4-3 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤษภาคม-สิงหาคมบริเวณ  
อ่าวไทยตอนใน





ภาพที่ 4-4 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกันยายน-ธันวาคมบริเวณ  
อ่าวไทยตอนใน

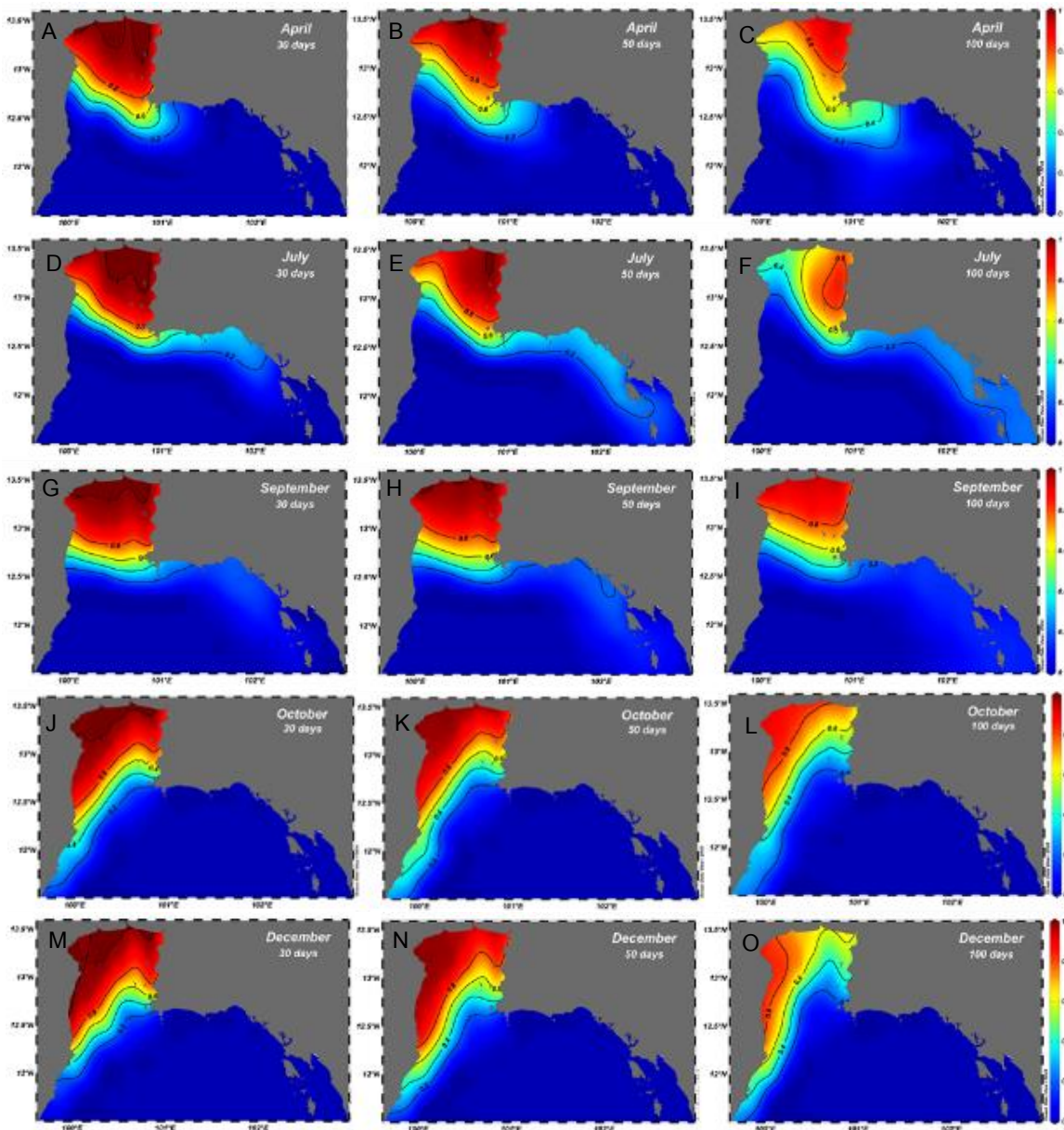
### 4.3 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน

การศึกษาระยะเวลาพำนักสามารถหาได้จากการคำนวณจากสัดส่วนของการลดลงของสารอนุรักษ์ภายในอ่าวตามสมการที่ 2.23 โดยการเปลี่ยนแปลงของสารอนุรักษ์ขึ้นอยู่กับ การพา (Advection) และการแพร่ (Diffusion) รูปแบบการลดลงของสารอนุรักษ์เชิงพื้นที่เป็นไปตามลักษณะของกระแสน้ำในแต่ละฤดูกาล ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 สารอนุรักษ์จะลดลงจากบริเวณปากอ่าวสู่ก้นอ่าวโดยบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์ที่เร็วกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออก สำหรับบริเวณก้นอ่าวฝั่งตะวันออกจะเป็นบริเวณที่มีอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์ช้าที่สุดในช่วงเวลานี้ (ภาพที่ 4-5 A-C)

ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าลักษณะการลดลงของสารอนุรักษ์มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 แต่จะมีอัตราการลดลงที่เร็วกว่า บริเวณที่มีอัตราการลดลงช้าที่สุดคือบริเวณชายฝั่งชลบุรี (ภาพที่ 4-5 D-F) อย่างไรก็ตามพบว่าในเดือนกันยายนมีอัตราการลดลงที่แตกต่างจากเดือนอื่น ๆ ในฤดูเดียวกัน โดยในเดือนกันยายนพบว่าการลดลงของสารอนุรักษ์มีลักษณะค่อย ๆ ลดจากปากอ่าวสู่ก้นอ่าว (ภาพที่ 4-5 G-I)

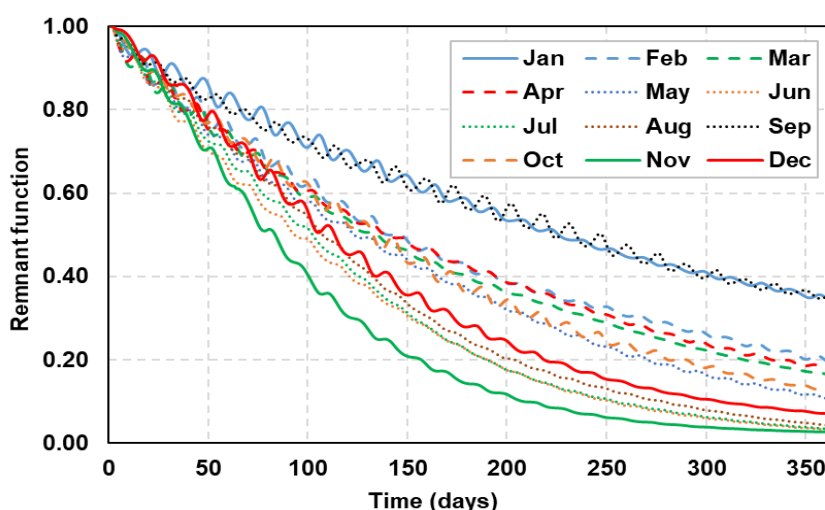
ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออัตราการลดลงของสารอนุรักษ์มีลักษณะใกล้เคียงกับในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 แต่จะมีอัตราการลดลงที่เร็วกว่า (ภาพที่ 4-5 J-L) บริเวณชายฝั่งตะวันตกเป็นบริเวณที่มีอัตราการลดลงช้ากว่าชายฝั่งตะวันออกโดยพบว่าในเดือนมกราคมเป็นเดือนที่มีอัตราการลดลงที่ช้าที่สุดแต่ยังมีรูปแบบการลดลงที่คล้ายกับเดือนอื่น ๆ ในฤดูเดียวกัน

ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 การลดลงของสารอนุรักษ์จะแตกต่างจากเดือนที่เคยกล่าวมา โดยสารอนุรักษ์บริเวณชายฝั่งตะวันออกจะมีอัตราการลดลงที่เร็วกว่าชายฝั่งตะวันตก บริเวณปากอ่าวสู่ก้นอ่าวฝั่งตะวันตกมีอัตราการลดลงที่ช้าที่สุด (ภาพที่ 4-5 M-O)



ภาพที่ 4-5 สารอนุรักษ์เคลื่อนที่ตามความลึกห่างปต๋อยเป็นระยะเวลา 30, 50 และ 100 วันในเดือน เมษายน กรกฎาคม กันยายน ตุลาคม และธันวาคม

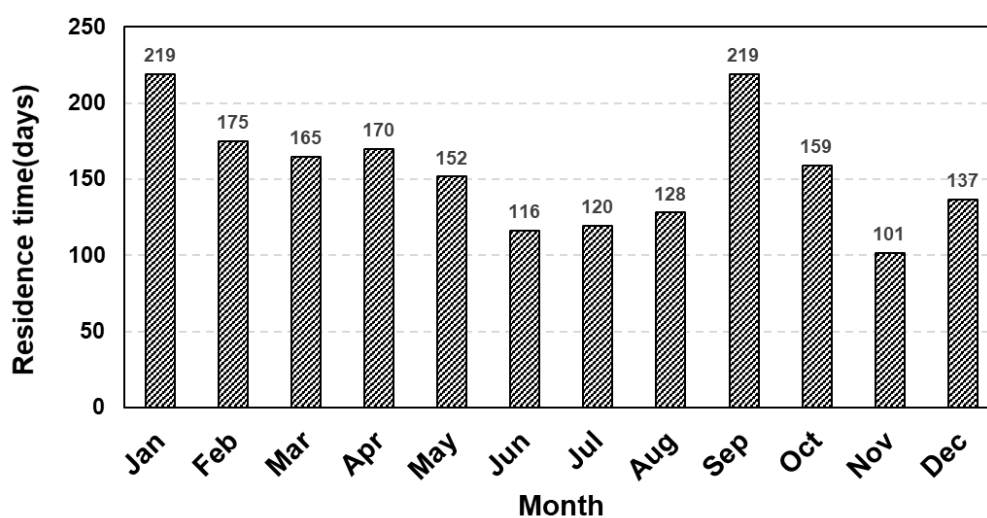
อัตราการลดลงของสารอนุรักษ์เชิงเวลาในแต่ละเดือนถูกแสดงดังภาพที่ 4.6 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะการลดลงของสารอนุรักษ์เฉลี่ยที่อยู่ภายในอ่าวไทยตอนในโดยพบว่าในช่วง 30 วันแรกอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์ในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกัน ในเดือนมกราคมและเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์ช้าที่สุด สารอนุรักษ์จะลดลง 50% โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 245 วัน เมื่อระยะเวลาการคำนวณสิ้นสุดลงสารอนุรักษ์ลดเหลือประมาณ 0.3 ส่วนระยะเวลาพำนักในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม มีอัตราการลดลงที่ใกล้เคียงกันโดยสารอนุรักษ์จะลดลงเหลือ 50% โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 125 วัน โดยเมื่อระยะเวลาการคำนวณสิ้นสุดลงพบว่าสารอนุรักษ์คงเหลือภายในอ่าวไทยตอนในประมาณ 0.2 ส่วนในเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมและเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมพบว่าอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์มีค่าใกล้เคียงกันโดยสารอนุรักษ์จะลดลงเหลือ 50% โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 100 วัน โดยเมื่อการคำนวณสิ้นสุดลงพบว่าสารอนุรักษ์จะลดลงเหลือประมาณน้อยกว่า 0.1



ภาพที่ 4-6 การลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณอ่าวไทยตอนในในแต่ละเดือน

ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในถูกคำนวณโดยใช้ Remnant function (ภาพที่ 4-7) ตามสมการที่ 2.23 ผลที่ได้ทำให้ทราบระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในแต่ละเดือน โดยพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในจะสั้นที่สุดในเดือนพฤศจิกายน ประมาณ 101 วัน และระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 137 วันในเดือนธันวาคม หลังจากนั้นในเดือนมกราคมพบว่าระยะเวลาระพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำจะสูงที่สุดโดยมีระยะเวลาพำนักประมาณ 219 วัน เมื่อเข้าสู่ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 พบว่าระยะเวลาพำนักมีค่าใกล้เคียงกันคือ

175, 160 และ 170 วันในเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายนตามลำดับ หลังจากนั้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำลดลงโดยในเดือนพฤษภาคมมีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำประมาณ 152 วัน และในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมพบว่าเป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 116, 120, 128 วันตามลำดับ แต่ในเดือนกันยายนพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยมีค่าสูงเท่ากับเดือนมกราคมคือ 219 วัน และสุดท้ายในเดือนตุลาคมพบว่าระยะเวลาระพำนักเฉลี่ยลดลงเหลือประมาณ 159 วัน (ภาพที่ 4-7)



ภาพที่ 4-7 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในในแต่ละเดือน

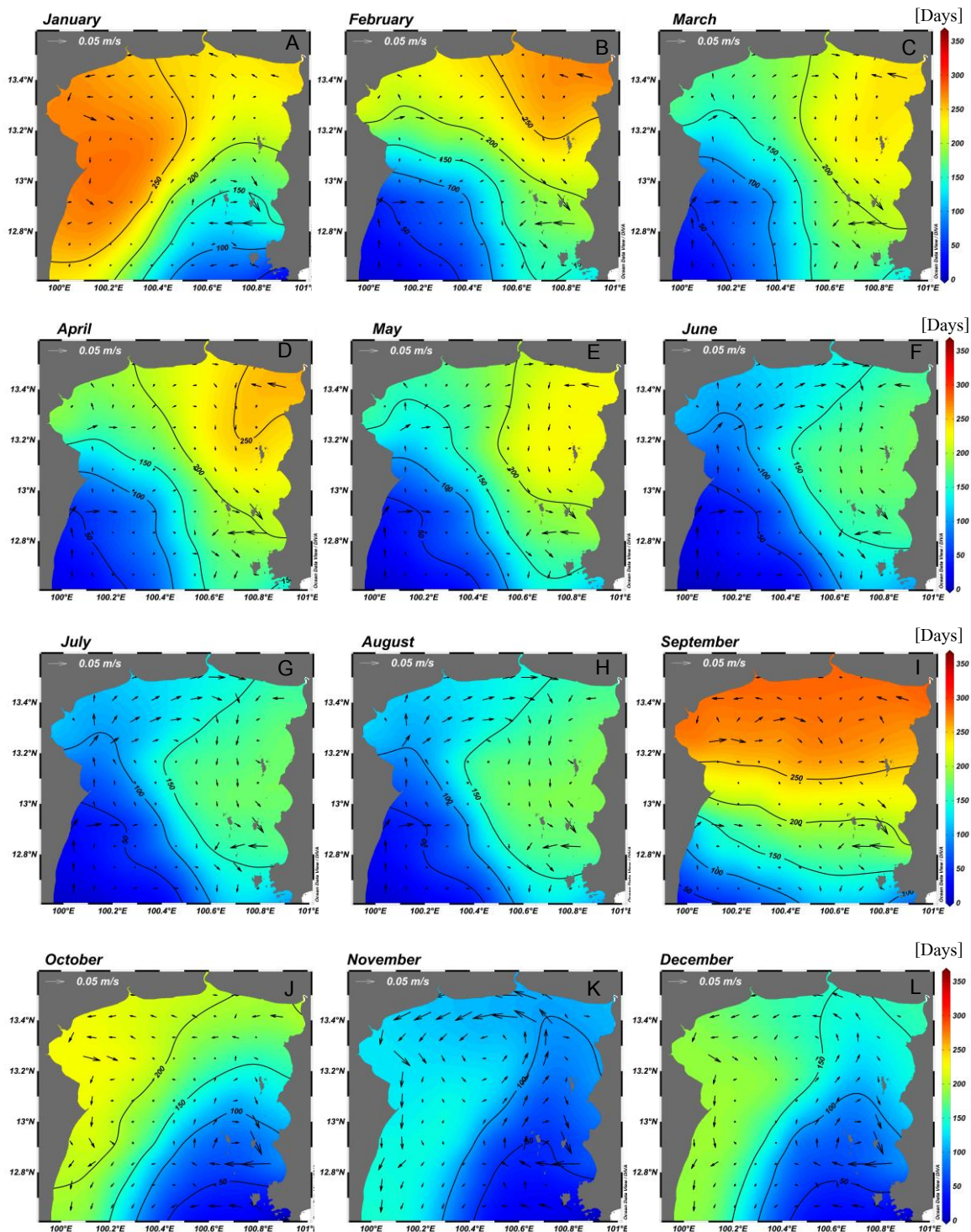
ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยตลอดความลึกในอ่าวไทยตอนใน ซึ่งพื้นที่แสดงดังภาพที่ 4-8 ควบคู่กับกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันออกมีทิศทางออกจากอ่าวไทยตอนในทำให้บริเวณดังกล่าวมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในที่มากกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันตกโดยมีค่าประมาณ 200 วัน ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกเนื่องจากมีกระแสน้ำไหลเรียบชายฝั่งเข้ามาในอ่าวทำให้มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในประมาณ 100 วัน โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ก้นอ่าวโดยบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเป็นพื้นที่ที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยนานที่สุดประมาณ 250 วัน (ภาพที่ 4-8 B-D)

เมื่อเข้าสู่ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนพฤษภาคมพบว่าระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในมีรูปแบบเช่นเดิมแต่จะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นขึ้น โดยเฉพาะในเดือนมิถุนายนพบว่าตลอดแนวชายฝั่งตะวันตกมวลน้ำของอ่าวไทยตอนในมีระยะเวลาพำนักไม่เกิน 100 วัน กระแสน้ำบริเวณดังกล่าวมีทิศทางไหลเข้าสู่ก้นอ่าวและมีความแรงที่มากกว่าในช่วงเปลี่ยนฤดู

ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกมีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ประมาณ 200 วัน ในช่วงฤดูดังกล่าวพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ในเดือนกันยายนแตกต่างจากเดือนอื่นในฤดูเดียวกัน ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่จะสั้นบริเวณปากอ่าวและจะสูงบริเวณก้นอ่าวโดยมีค่าใกล้เคียงกันทั้งบริเวณชายฝั่งตะวันตกและชายฝั่งตะวันออก โดยพบว่าบริเวณก้นอ่าวเป็นบริเวณที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยยาวที่สุดประมาณ 250 วัน (ภาพที่ 4-8 E-I)

ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกมีทิศไหลเรียบชายฝั่งตะวันตกไปทางใต้ทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่มีลักษณะตรงข้ามกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 และช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยบริเวณชายฝั่งตะวันตกจะมีระยะเวลาพำนักที่ยาวกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออกโดยมีค่าประมาณ 150-200 วัน ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ไม่เกิน 175 วัน โดยระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่บริเวณก้นอ่าวจะมีระยะเวลาพำนักที่นานกว่าบริเวณปากอ่าว ในช่วงดังกล่าวบริเวณปากแม่น้ำแม่กลองและปากแม่น้ำท่าจีนเป็นบริเวณที่มีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่นานที่สุด (ภาพที่ 4-8 J)

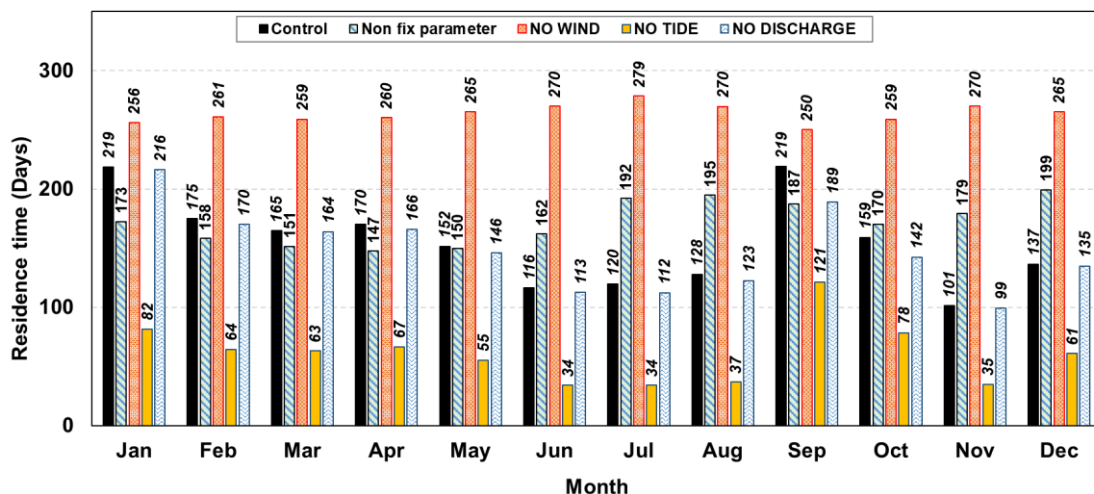
ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกและระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่มีลักษณะเช่นเดียวกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 แต่จะมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำที่สั้นกว่าโดยบริเวณชายฝั่งตะวันออกจะมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในประมาณ 100-150 วัน ยกเว้นในเดือนมกราคมพบว่าบริเวณก้นอ่าวเป็นบริเวณที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสูง โดยเฉพาะในบริเวณชายฝั่งเพชรบุรีมีระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยประมาณ 250 วัน กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในช่วงดังกล่าวมีลักษณะที่เบากว่าในเดือนก่อนหน้า (ภาพที่ 4-8 A, K-L)



ภาพที่ 4-8 ระยะเวลาพนักเกลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเกลี่ยตามความลึกในแต่ละเดือน

### 4.4 การทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ผลการทดสอบการตัดปัจจัยนำเข้ากรณี ตัดปัจจัยลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า และกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ถูกแสดงดังภาพที่ 4-9



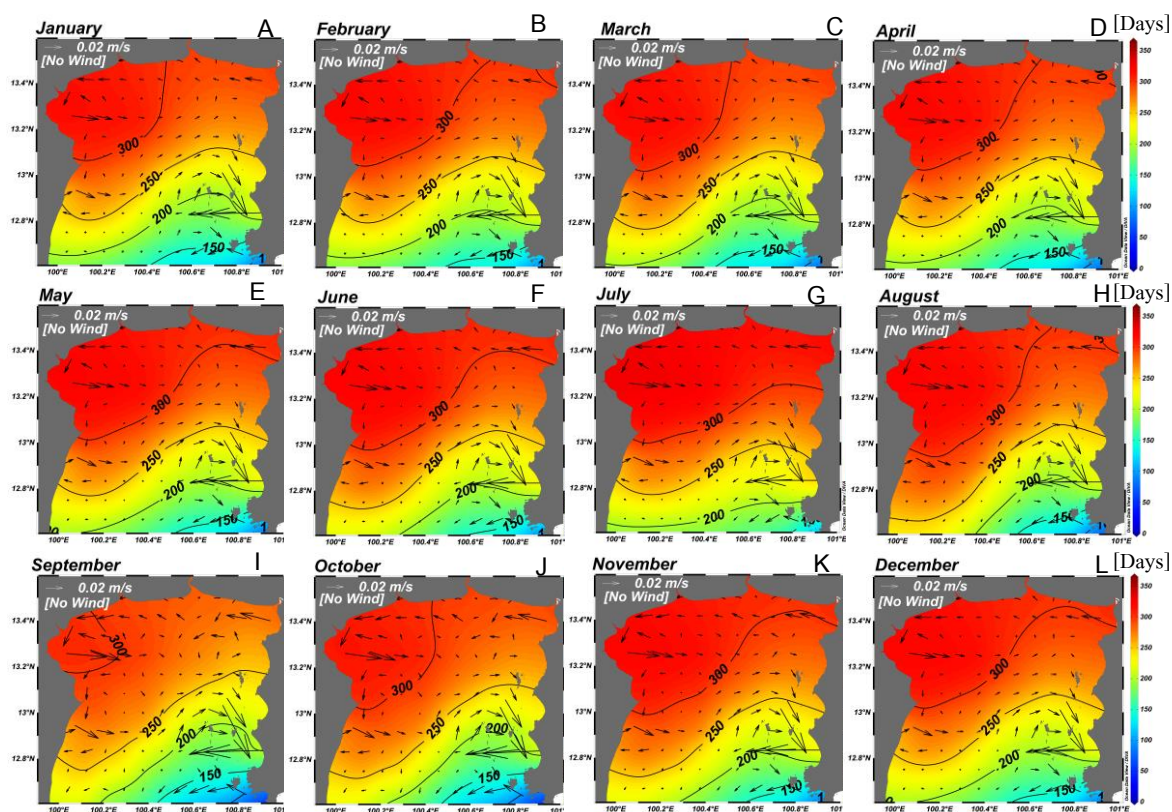
ภาพที่ 4-9 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในกรณีทดสอบปัจจัยนำเข้า

#### 4.4.1 กรณีตัดปัจจัยลม (NO WIND)

ผลของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในกรณีตัดลมพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นในทุก ๆ เดือน โดยระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแต่ละเดือนกรณีตัดลมมีค่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 250-279 วัน โดยเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักสั้นที่สุดส่วนในเดือนกรกฎาคมเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสูงที่สุดในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 เมื่อทำการตัดลมแล้วพบว่าทำให้มวลน้ำในอ่าวไทยมีระยะเวลาพำนักสูงขึ้น 86-90 วัน ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่ามวลน้ำจะมีระยะเวลาพำนักที่มากขึ้นประมาณ 114-159 วันยกเว้นในเดือนกันยายนที่ระยะเวลาพำนักจะเพิ่มสูงขึ้นเพียง 31 วัน ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 พบว่าระยะเวลาพำนักจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 100 วันและจะเพิ่มสูงขึ้นในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมประมาณ 169 วัน และ 129 วัน ตามลำดับส่วนในเดือนมกราคมพบว่า การตัดลมทำให้ระยะเวลาพำนักเพิ่มสูงขึ้น 37 วัน (ภาพที่ 4-10) ส่วนระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก พบว่าในแต่ละเดือนจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือกระแสน้ำมีความผันผวนและมีความแรงบริเวณชายฝั่งตะวันออกใกล้ปากอ่าวและพบวงกระแสน้ำวนเข็มนาฬิกาบริเวณก้นอ่าวฝั่งตะวันตก ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในจะสั้นบริเวณปากอ่าวและชายฝั่งตะวันออกมากกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันตก



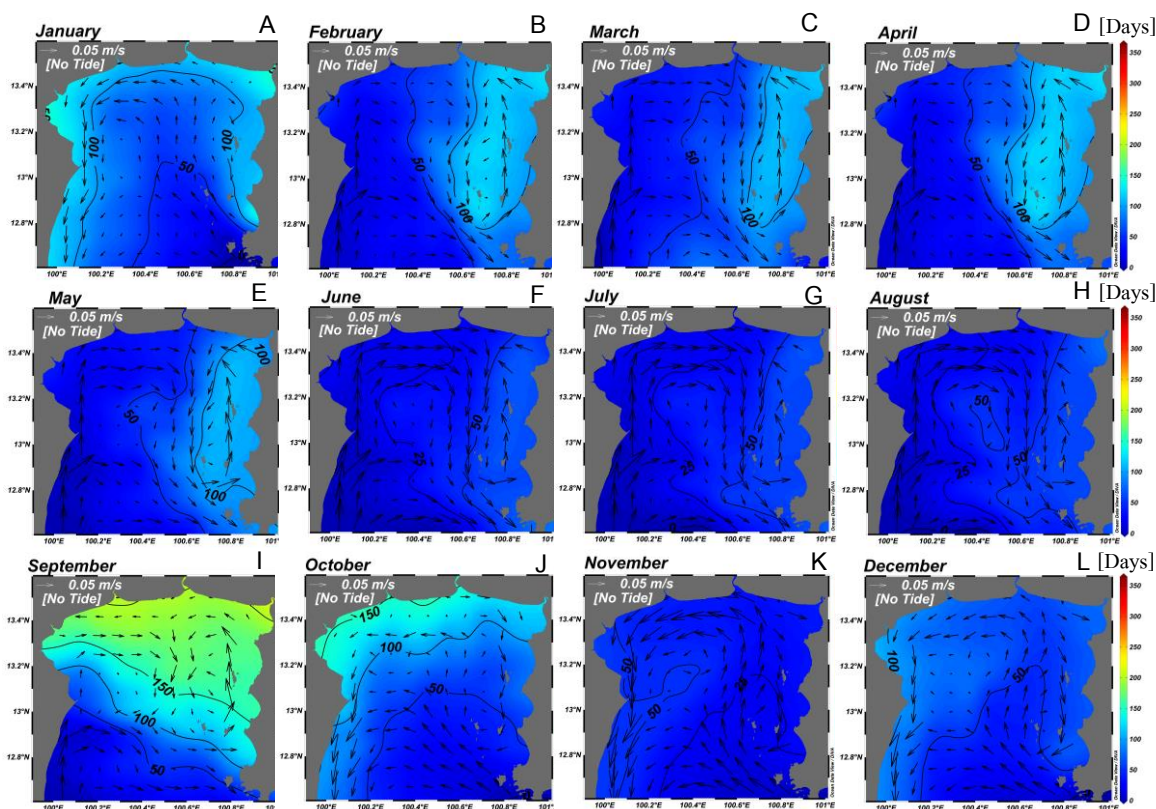
โดยพบว่าบริเวณปากแม่น้ำแม่กลองและปากแม่น้ำเพชรบุรีมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสูงที่สุด ประมาณ 300 วันในทุก ๆ เดือน (ภาพที่ 4-10)



ภาพที่ 4-10 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยลม

#### 4.4.2 กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง (NO TIDE)

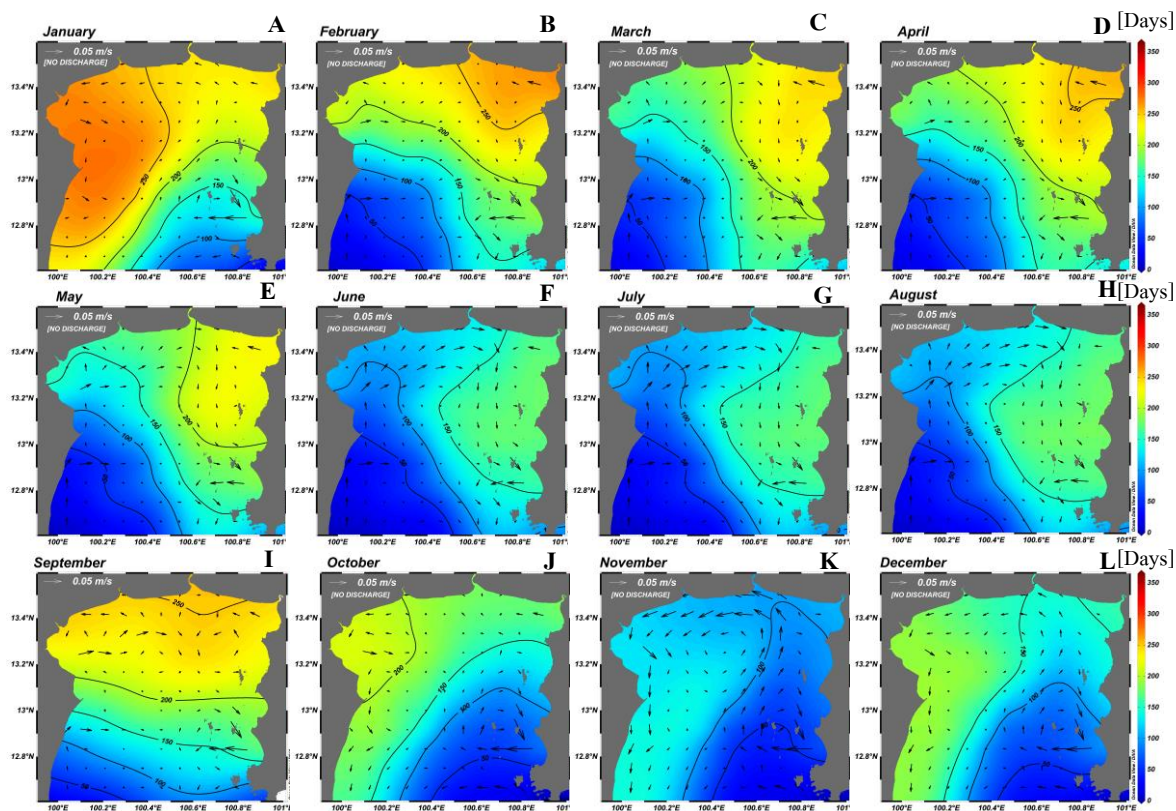
การตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในลดลงในทุก ๆ เดือนแต่ยังคงมีรูปแบบการลดลงเช่นเดิมคือจะสั้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ยกเว้นในเดือนกันยายนที่พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำยังคงมีค่าสูงที่สุด โดยพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอยู่ในช่วง 34-121 วัน เดือนมิถุนายนและกรกฎาคมเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยสั้นที่สุดประมาณ 34 วัน ส่วนในเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยสูงที่สุด 121 วัน (ภาพที่ 4-9) ในส่วนระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยเชิงพื้นที่และกระแสน้ำพบว่า มีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลแต่ยังคงมีรูปแบบเดิมกับกรณีที่ไม่ได้ตัดปัจจัยน้ำเข้า โดยพบว่ากระแสน้ำสุทธิจะมีความแรงมากกว่าในช่วงที่ไม่ได้ทำการตัดปัจจัยน้ำเข้าและระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในมีระยะเวลาพำนักที่ลดลงในทุกพื้นที่ แต่ในเดือนกันยายนยังเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่มากที่สุด (ภาพที่ 4-11)



ภาพที่ 4-11 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเฉลี่ยตามวงลักรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง

### 4.4.3 กรณีตัดปัจจัยน้ำท่า (NO DISCHARGE)

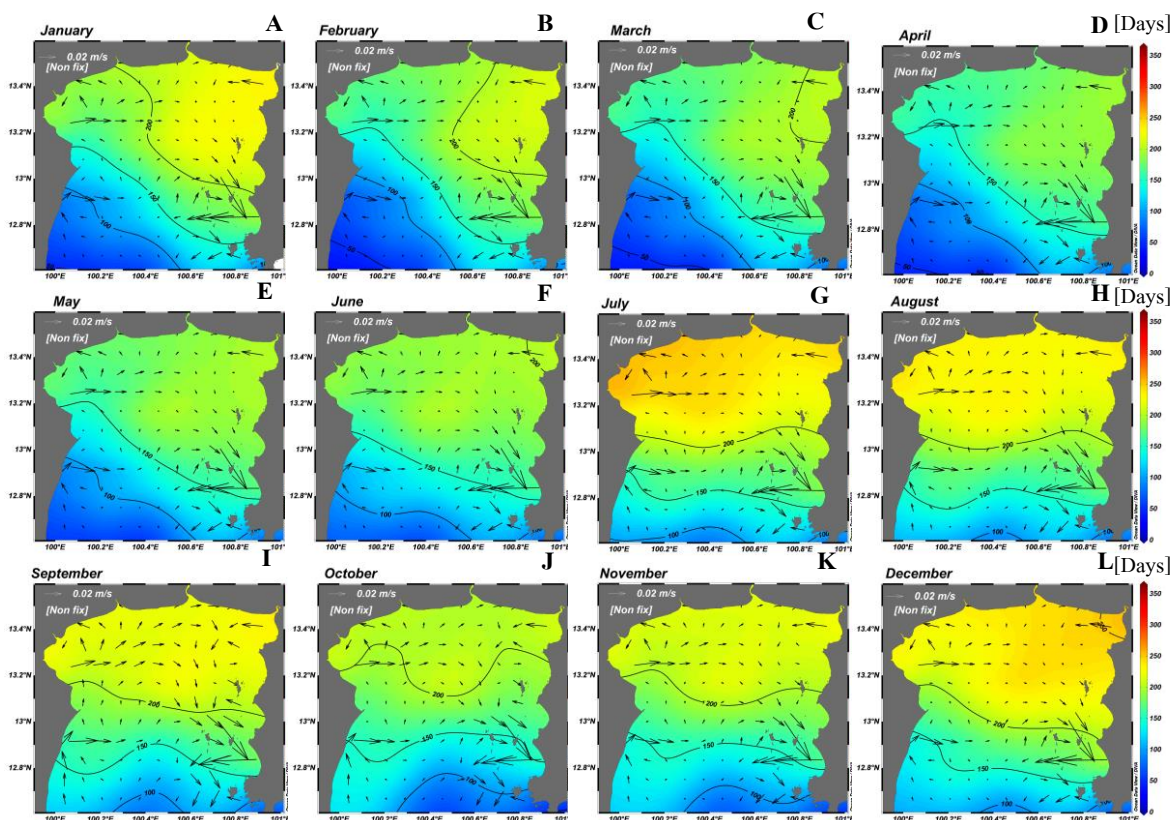
ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในกรณีตัดปัจจัยน้ำท่าพบว่ามีค่าลดลงในทุกเดือน โดยทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำลดลงไม่เกิน 7 วันยกเว้นในเดือนกันยายนและตุลาคมระยะเวลาพำนักของมวลน้ำลดลง 30 วันและ 17 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 4-9) ในส่วนระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกรณีควบคุมยกเว้นในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำบริเวณก้นอ่าวในเดือนกันยายนลดลงมากขึ้นจากเดิม 275 วันเหลือประมาณ 250 วันส่วนในเดือนตุลาคมพบว่าปากแม่น้ำเจ้าพระยาและปากแม่น้ำท่าจีนมีระยะเวลาพำนักที่ลดลง แต่ทั้งสองเดือนยังมีรูปแบบการลดลงเช่นเดิมและมีกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้ตัดปัจจัยน้ำเข้า (ภาพที่ 4-12)



ภาพที่ 4-12 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดปัจจัยน้ำท่า

**4.4.4 กรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (NON FIX PARAMETER)**

จากการทดสอบกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปในแต่ละเดือนผลที่ได้พบว่าในแต่ละเดือนมีระยะเวลาพนักเฉลี่ยของมวลน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 250-279 วัน โดยในเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคมและเดือนกันยายนระยะเวลาพนักกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าจะต่ำกว่ากรณีควบคุม 2-46 วัน ส่วนในเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม และเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมพบว่าระยะเวลาพนักของมวลน้ำกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าจะมีค่าสูงกว่ากรณีควบคุมประมาณ 11-78 วัน (ภาพที่ 4-9) ในส่วนผลกระแสหน้าเฉลี่ยในรอบปีมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่แต่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในทุกเดือนแต่จะมีความแรงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ระยะเวลาพนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีระยะเวลาพนักของมวลน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกน้อยกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออก ส่วนในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมพบว่าระยะเวลาพนักก็อ่อนกว่าบริเวณปากอ่าว (ภาพที่ 4-13)



ภาพที่ 4-13 ระยะเวลาพนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

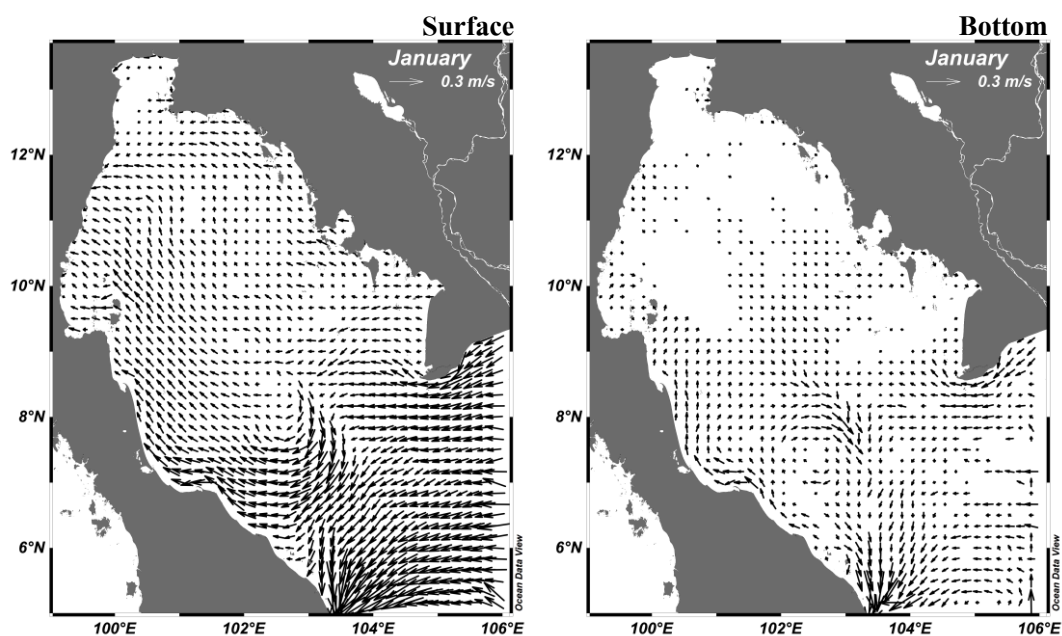
#### 4.5 การไหลเวียนกระแส่น้ำบริเวณอ่าวไทย

ผลจากแบบจำลองการไหลเวียนกระแส่น้ำพบว่าในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์-เมษายน) กระแส่น้ำที่ผิวทะเลจะไหลขนานชายฝั่งตะวันตกและชายฝั่งตะวันออกคู่ตอนในของอ่าวไทยโดยมีความแรงประมาณ 0.25-0.10 เมตร/วินาที กระแส่น้ำจะไหลแรงบริเวณชายฝั่งมากกว่าบริเวณกลางอ่าวโดยพบว่าจะไหลแรงที่สุดบริเวณใกล้ปากอ่าวไทยประมาณ 0.30 เมตร/วินาที ส่วนทิศทางของกระแส่น้ำใกล้พื้นทะเลพบว่าบริเวณชายฝั่งจะมีทิศทางที่สอดคล้องกับกระแส่น้ำที่ผิว ส่วนบริเวณกลางอ่าวนั้นกระแส่น้ำจะไหลสวนทางกับกระแส่น้ำที่ผิวโดยมีทิศไหลออกสู่ปากอ่าว และในบริเวณใกล้ปากอ่าวพบลักษณะของวงกระแส่น้ำตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 4-15 ถึง 4-17)

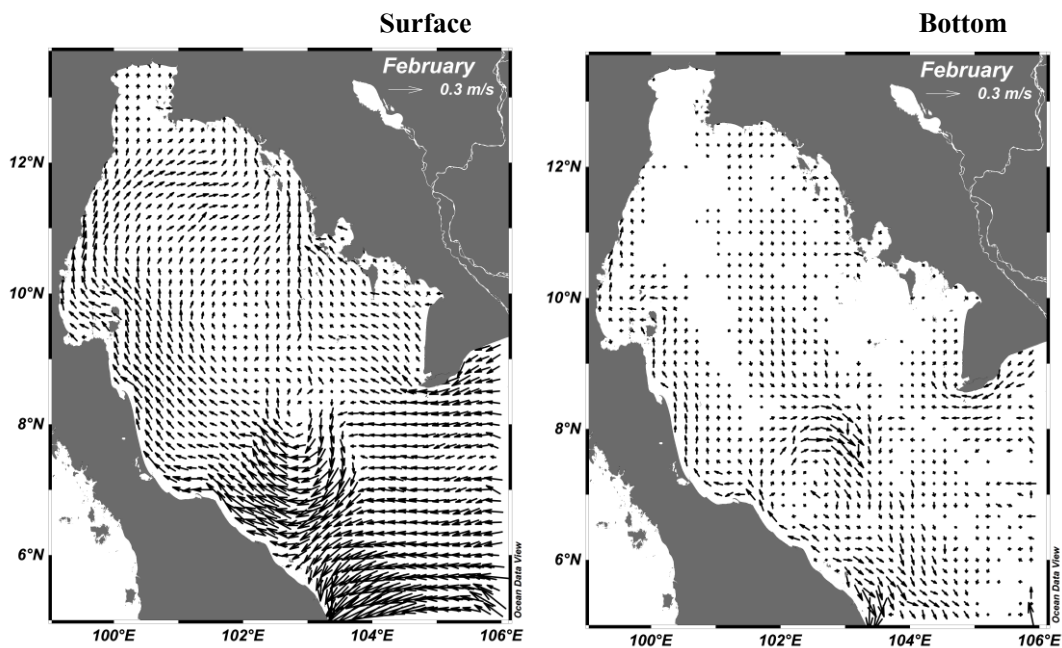
ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) กระแส่น้ำที่ผิวทะเลบริเวณชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ถึงชุมพรกระแส่น้ำจะไหลออกจากฝั่งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือมีความแรงประมาณ 0.10-0.20 เมตร/วินาที โดยกระแส่น้ำจะไหลข้ามบริเวณปากอ่าวไทยตอนใน หลังจากนั้นจะไหลขนานกับชายฝั่งตะวันออกสู่ทิศใต้ ส่วนกระแส่น้ำที่ผิวบริเวณตอนใต้ของอ่าวพบว่ากระแส่น้ำจะไหลออกจากฝั่งไปยังทิศตะวันออกด้วยความแรงประมาณ 0.10 เมตร/วินาที หลังจากนั้นกระแส่น้ำจะไหลสู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้เพื่อออกจากอ่าว กระแส่น้ำใกล้พื้นทะเลในช่วงดังกล่าวพบว่ากระแส่น้ำจะไหลขนานชายฝั่งตะวันตกจากปากอ่าวสู่กันอ่าวและมีความแรงเฉลี่ยประมาณ 0.05 เมตร/วินาที กระแส่น้ำจะไหลขึ้นมายังตอนเหนือของอ่าวโดยกระแส่น้ำจะเปลี่ยนทิศบริเวณปากอ่าวไทยตอนในเป็นไหลตามเข็มนาฬิกาขนานชายฝั่งตะวันออกโดยกระแส่น้ำจากไหลสู่กลางอ่าวอีกครั้งบริเวณปลายแหลมคามาชายฝั่งของประเทศเวียดนาม (ภาพที่ 4-18 ถึง 4-22)

ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 (ตุลาคม) กระแส่น้ำที่ผิวจะแตกต่างจากเดือนก่อนหน้าที่เคยกล่าวมาโดยกระแส่น้ำที่ผิวทะเลไหลออกจากชายฝั่งตะวันออกสู่กลางอ่าวก่อนจะเปลี่ยนเป็นไหลขึ้นสู่ตอนในของอ่าวและจะไหลข้ามปากอ่าวไทยตอนในไปสู่ชายฝั่งตะวันตก หลังจากนั้นกระแส่น้ำจะไหลขนานชายฝั่งตะวันตกสู่ปากอ่าวโดยพบว่ากระแส่น้ำที่ไหลเรียบชายฝั่งตะวันตกมีความเร็วอยู่ในช่วง 0.10-0.20 เมตร/วินาที กระแส่น้ำบริเวณกลางอ่าวค่อนข้างเบาเมื่อเทียบกับกระแส่น้ำบริเวณชายฝั่ง ส่วนกระแส่น้ำใกล้พื้นทะเลบริเวณกลางอ่าวมีทิศไหลเข้าสู่ภายในของอ่าวมีความเร็วประมาณ 0.01 เมตร/วินาที กระแส่น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกไหลขนานชายฝั่งสู่ปากอ่าวมีความแรงประมาณ 0.10 เมตร/วินาที และกระแส่น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันออกมีทิศทางไม่แน่นอน (ภาพที่ 4-23)

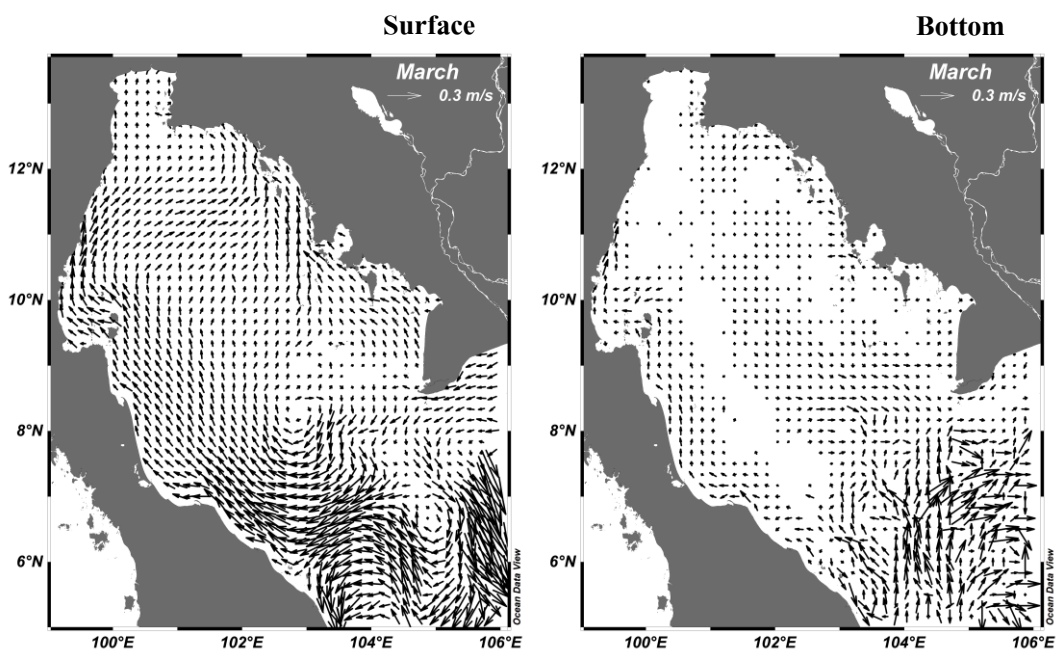
ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มกราคม) กระแสน้ำที่ผิวมีลักษณะใกล้เคียงกับกระแสน้ำในเดือนตุลาคม โดยกระแสน้ำจะไหลออกจากชายฝั่งตะวันออกแต่จะไหลสู่ชายฝั่งตะวันตกโดยตรงด้วยความแรงประมาณ 0.10-0.15 เมตรต่อวินาที กระแสน้ำบริเวณกลางอ่าวมีความแรงมากกว่าบริเวณชายฝั่ง โดยพบว่ากระแสน้ำบริเวณบริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และชุมพรกระแสน้ำจะไหลขนานชายฝั่งไปยังทิศใต้สู่บริเวณหมู่เกาะชุมพรด้วยความแรงประมาณ 0.10-0.20 เมตร/วินาที กระแสน้ำบริเวณปากอ่าวพบกระแสน้ำจากทะเลจีนใต้จะไหลสู่อ่าวไทย บริเวณปลายแหลมคาเมา บริเวณปากอ่าวไทยกระแสน้ำจะไหลตัดปากอ่าวสู่ชายฝั่งตะวันตกก่อนที่จะไหลเรียบชายฝั่งเข้าสู่ภายในอ่าว โดยมีความแรงประมาณ 0.20 เมตร/วินาที ลักษณะดังกล่าวจะชัดเจนในเดือนมกราคม ในช่วงฤดูดังกล่าวพบวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาบริเวณปากอ่าว เช่นเดียวกับในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีความแรงประมาณ 0.05-0.10 เมตร/วินาที โดยพบว่าจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เช่น บริเวณชายฝั่งตะวันออกกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลจะไหลเข้าสู่ชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์-ชุมพรกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางเดียวกับกระแสน้ำที่ผิว และกระแสน้ำบริเวณตอนล่างของอ่าวมีทิศไหลออกจากฝั่งสู่กลางอ่าวและกระแสน้ำจะไหลสู่ปากอ่าวในลำดับถัดไป (ภาพที่ 4-14, 4-24, 4-25)



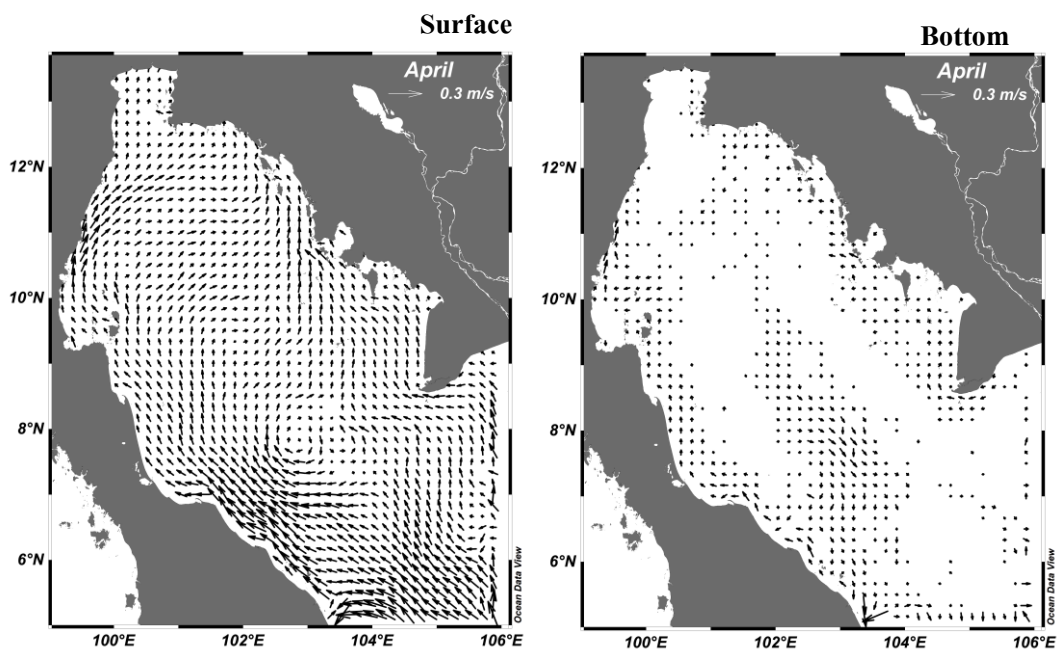
ภาพที่ 4-14 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมกราคม



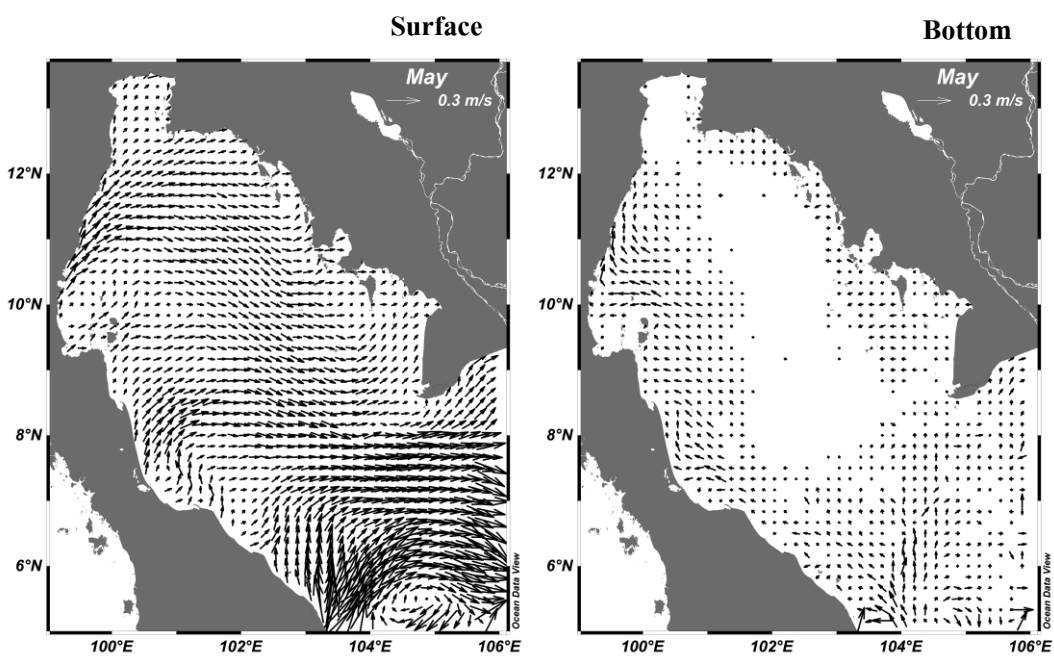
ภาพที่ 4-15 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกุมภาพันธ์



ภาพที่ 4-16 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมีนาคม

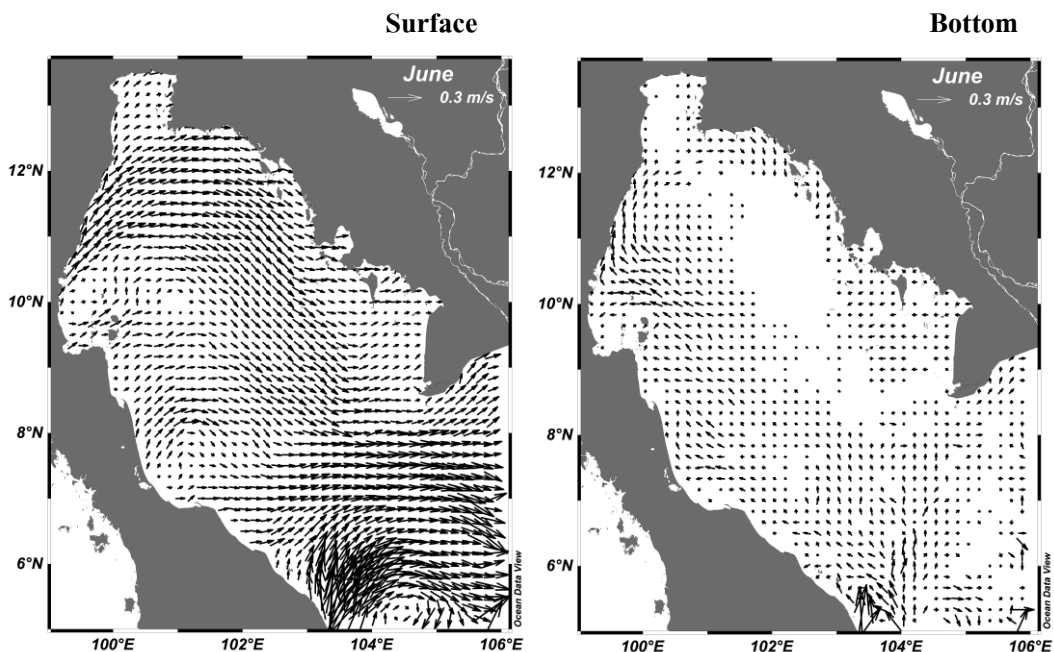


ภาพที่ 4-17 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนเมษายน

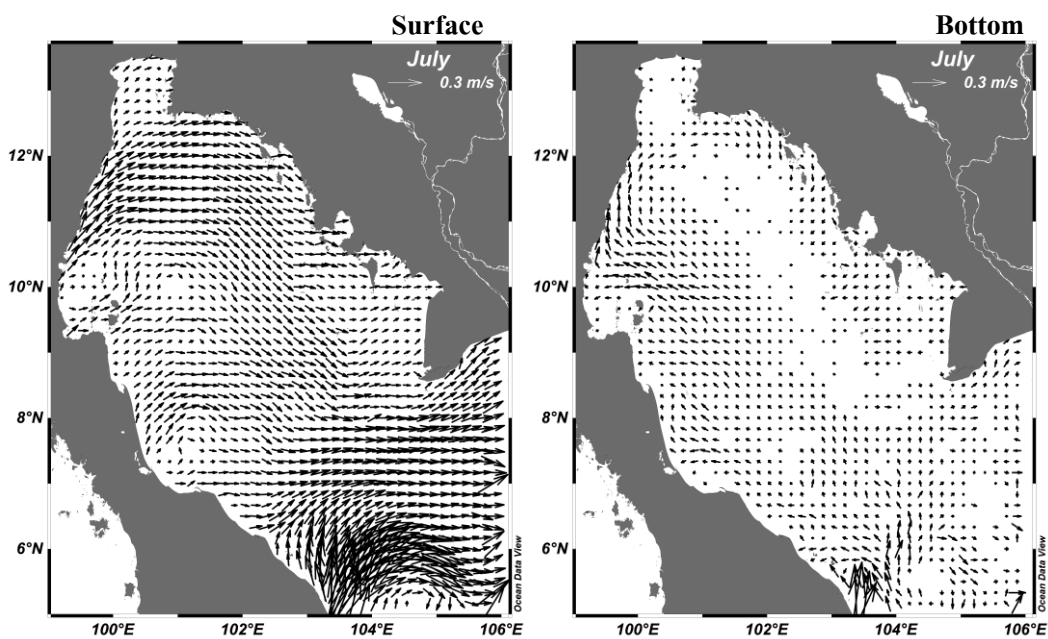


ภาพที่ 4-18 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤษภาคม

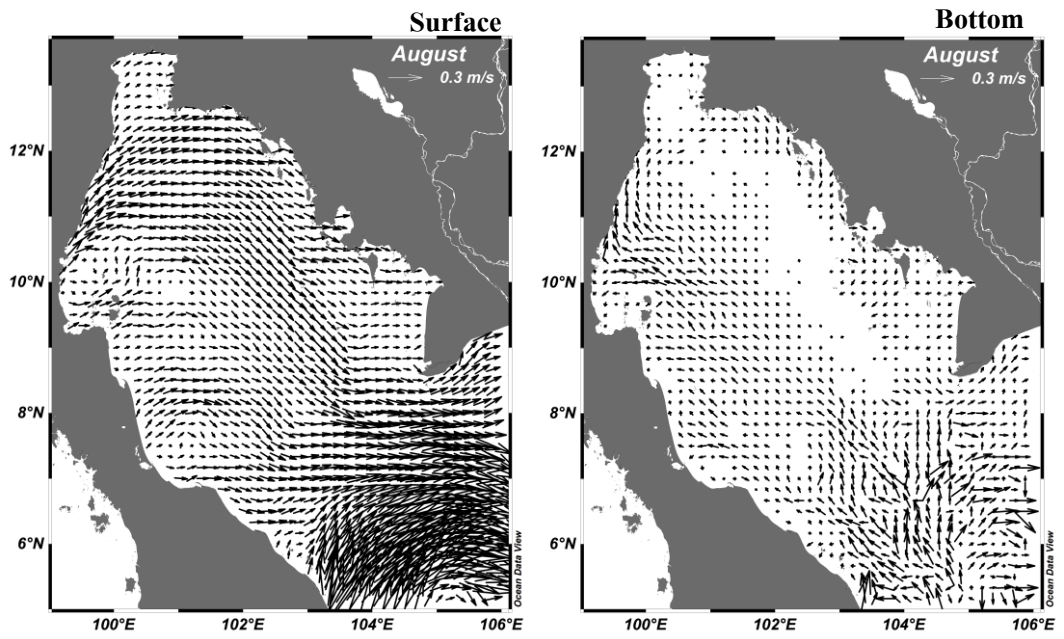




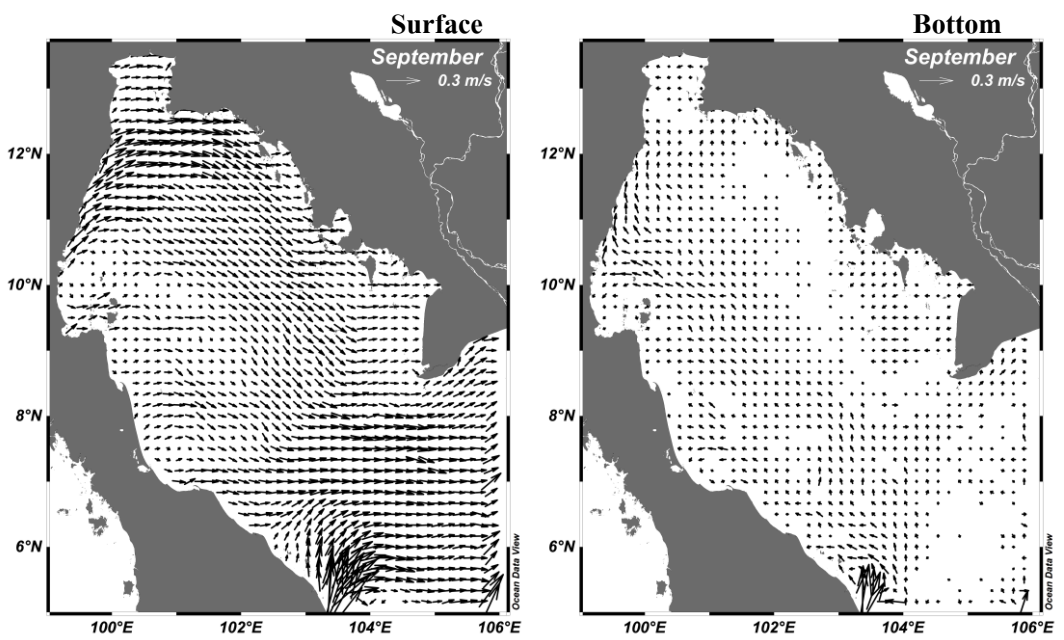
ภาพที่ 4-19 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนมิถุนายน



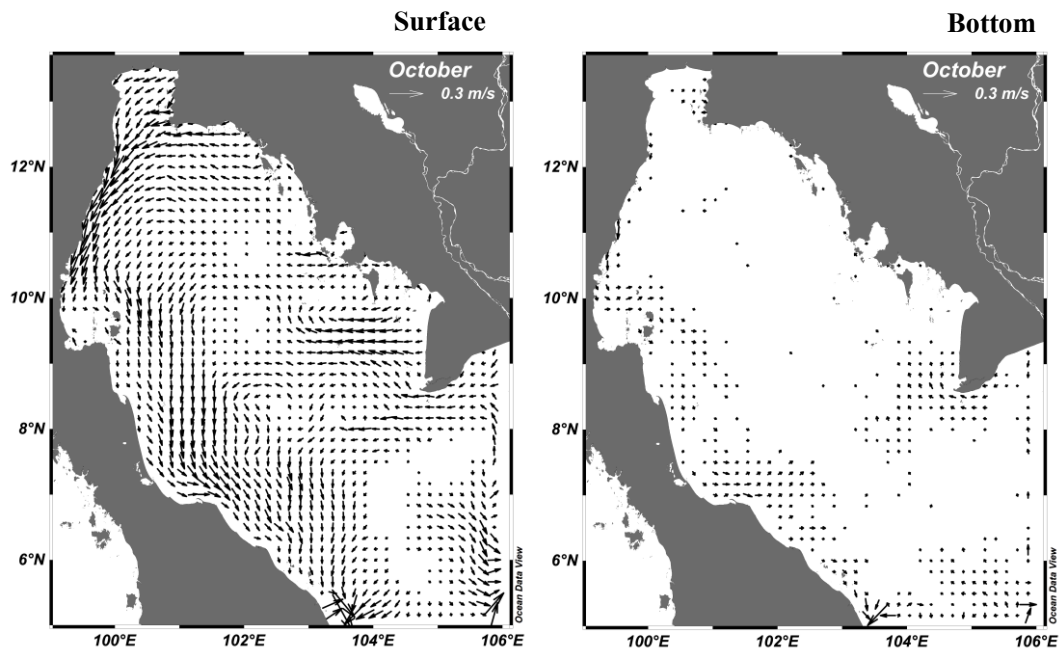
ภาพที่ 4-20 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกรกฎาคม



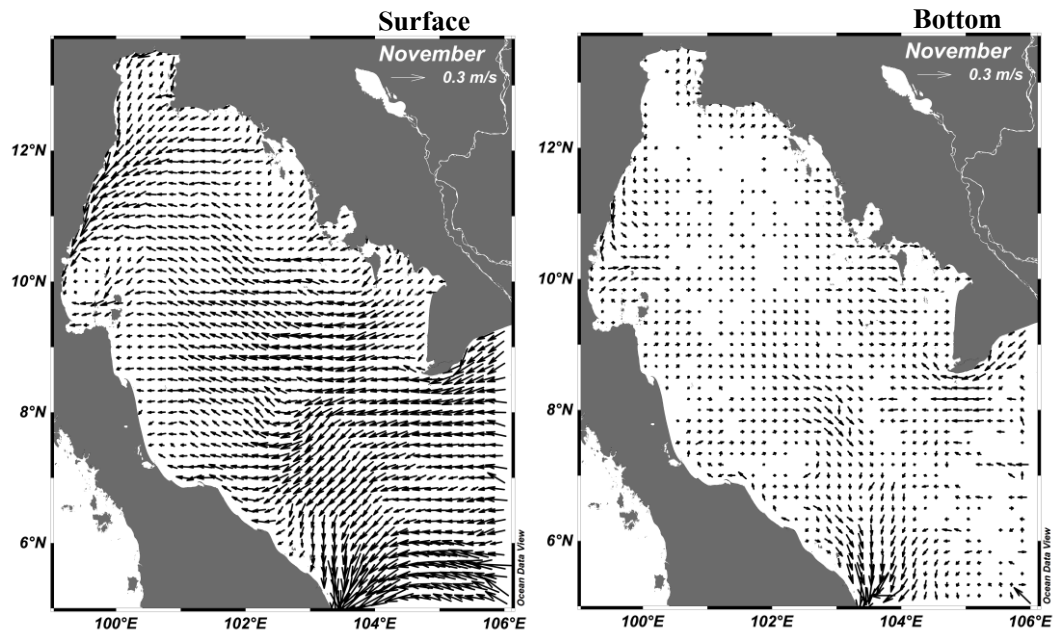
ภาพที่ 4-21 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนสิงหาคม



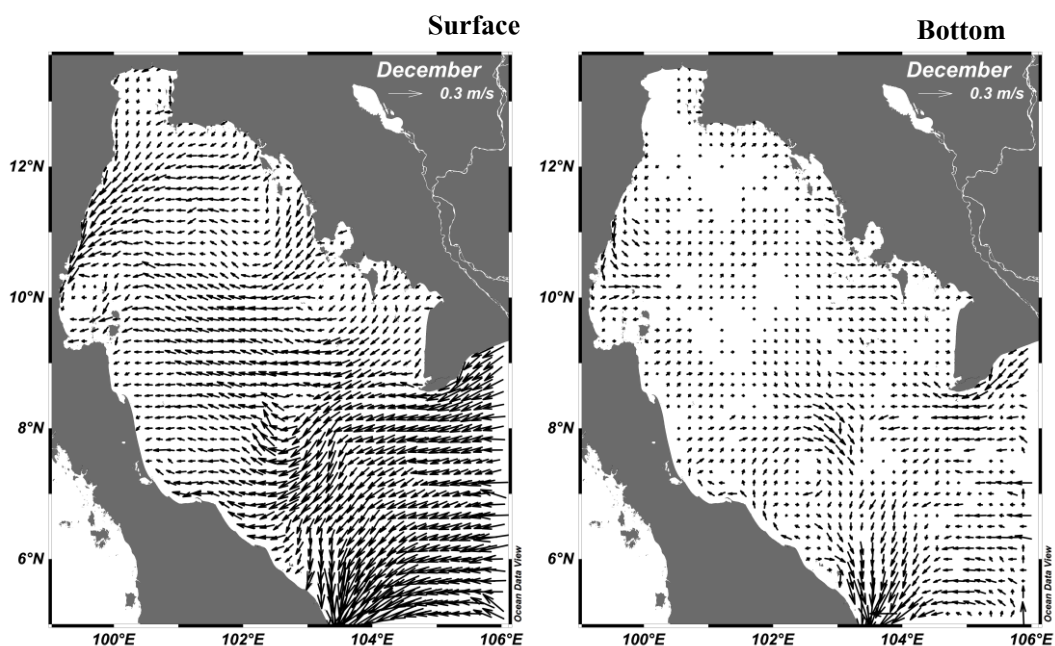
ภาพที่ 4-22 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนกันยายน



ภาพที่ 4-23 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนตุลาคม



ภาพที่ 4-24 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤศจิกายน



ภาพที่ 4-25 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลในเดือนธันวาคม

#### 4.6 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทย

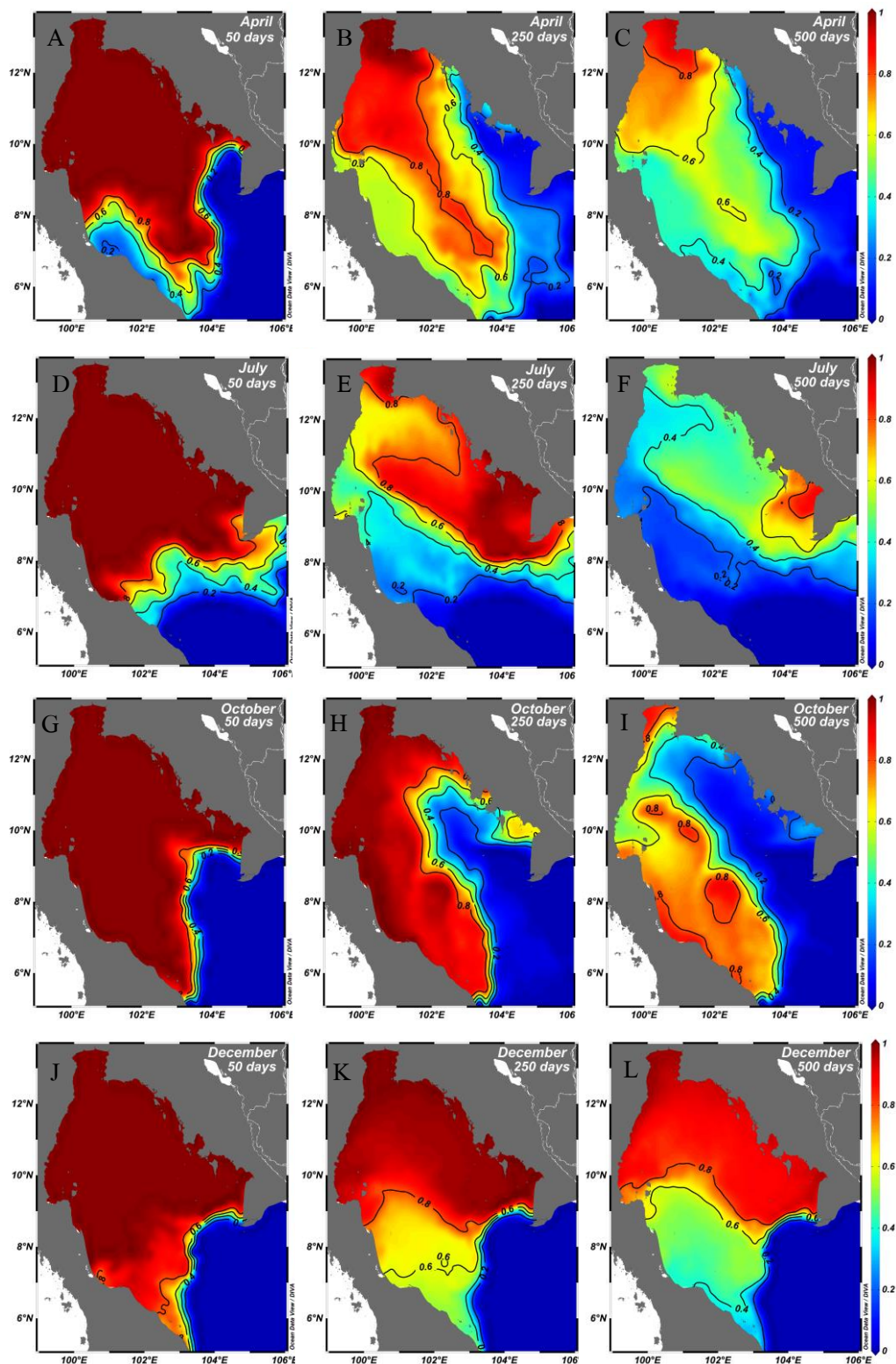
การแพร่กระจายของสารอนุรักษ์หลังทำการปล่อยแสดงให้เห็นถึงลักษณะการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำบริเวณอ่าวไทย ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 สารอนุรักษ์จะค่อย ๆ ลดลงจากบริเวณชายฝั่งตะวันออกและชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยโดยบริเวณชายฝั่งตะวันออกจะมีการลดลงที่เร็วกว่าชายฝั่งตะวันตก ส่วนบริเวณกลางอ่าวพบว่าการสะสมของสารอนุรักษ์เมื่อระยะเวลาผ่านไป 500 วันหลังจากปล่อยสารอนุรักษ์พบว่าบริเวณก้นอ่าวและอ่าวไทยตอนในเป็นพื้นที่ที่มีสารอนุรักษ์สะสมมากที่สุดประมาณ 0.80 ในส่วนบริเวณกลางอ่าวมีปริมาณสารอนุรักษ์เฉลี่ยตามความลึกประมาณ 0.60 โดยในฤดูดังกล่าวพบว่าสารอนุรักษ์จะถูกดันให้ออกจากอ่าวบริเวณทิศใต้ของอ่าว (ภาพที่ 4-26 A-C)

ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าในช่วงแรกของการคำนวณประมาณ 50 วัน พบว่าการลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณปากอ่าวไทยมีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นสารอนุรักษ์บริเวณชายฝั่งตะวันตกจะลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกเป็นพื้นที่ที่มีการลดลงช้าที่สุด หลังการคำนวณเป็นระยะเวลา 250 วันสารอนุรักษ์จะบริเวณตะวันตกและตอนเหนือของอ่าวมีการลดลงของสารอนุรักษ์มากกว่าบริเวณตอนกลางและชายฝั่งตะวันออกของอ่าว และหลังการคำนวณเป็นระยะเวลา 500 วัน สารอนุรักษ์ยังคงเหลือในพื้นที่ชายฝั่งประเทศเวียดนามประมาณ

0.80 ในขณะที่พื้นที่อื่นมีสารอนุรักษ์คงเหลือประมาณ 0 - 0.50 ในฤดูดังกล่าวพบว่าสารอนุรักษ์จะไหลออกจากอ่าวบริเวณปากอ่าวด้านเหนือโดยจะไหลขนานชายฝั่งออกไป (ภาพที่ 4-26 D-E)

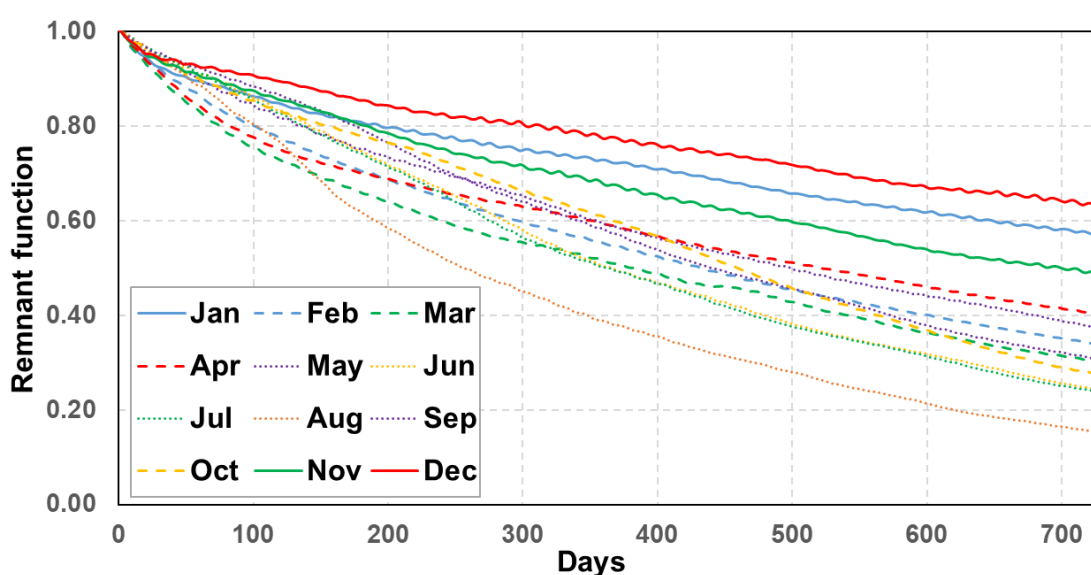
ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 การลดลงของสารอนุรักษ์จะแตกต่างจากมรสุมฤดูตะวันตกเฉียงใต้และช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 โดยพบว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออกเป็นพื้นที่ที่มีการลดลงของสารอนุรักษ์เร็วที่สุดส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกพบว่าสารอนุรักษ์จะถูกผลักให้ออกจากอ่าวบริเวณด้านทิศใต้ บริเวณกลางอ่าวยังคงมีสารอนุรักษ์ตกค้าง หลังการคำนวณเป็นระยะเวลา 500 วัน พบว่าบริเวณกลางอ่าวและอ่าวไทยตอนในสารอนุรักษ์ยังคงเหลือประมาณ 0.80 (ภาพที่ 4-26 G-I)

ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าสารอนุรักษ์จะลดลงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งอ่าวโดยในช่วงแรกของการปล่อยสารอนุรักษ์พบว่าสารอนุรักษ์จะหายจากพื้นที่บริเวณใกล้ปากอ่าวด้านเหนืออย่างรวดเร็ว ส่วนบริเวณปากอ่าวด้านใต้สารอนุรักษ์จะลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นพบว่าสารอนุรักษ์ในอ่าวไทยจะค่อย ๆ ลดลงจากชายฝั่งด้านใต้สู่ด้านเหนือของอ่าวลักษณะการลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณตอนในของอ่าวจะมีค่าการลดลงที่ใกล้เคียงกัน หลังจากปล่อยสารอนุรักษ์เป็นระยะเวลา 500 วันพบว่าอ่าวไทยตอนเหนือเหนือละติจูดที่ 10 องศาเหนือสารอนุรักษ์ยังคงเหลือในปริมาณใกล้เคียงกันคือ 0.90 (ภาพที่ 4-26 J-L)



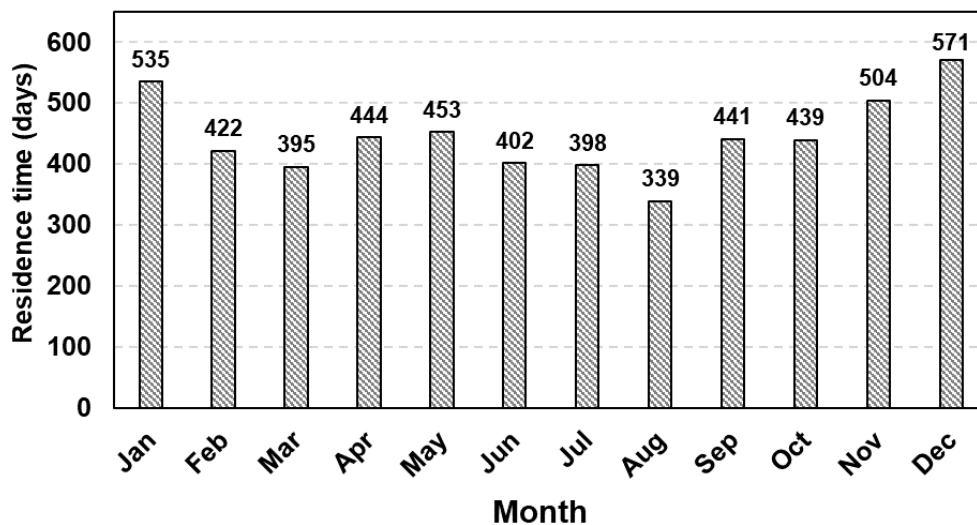
ภาพที่ 4-26 สารอนุรักษ์เฉลี่ยตามความลึกหลังปล่อยเป็นระยะเวลา 50, 250 และ 500 วันในเดือน  
เมษายน กรกฎาคม ตุลาคม และธันวาคม

อัตราการลดลงของสารอนุรักษ์เฉลี่ยรายเดือนถูกนำมาแสดงดังภาพที่ 4-27 ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมเป็นช่วงที่สารอนุรักษ์มีการลดลงช้าที่สุดโดยเฉพาะในเดือนธันวาคม ทั้งสามเดือนที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าหลังการคำนวณสิ้นสุดลงยังคงมีปริมาณสารอนุรักษ์คงเหลือภายในพื้นที่อ่าวไทยมากกว่า 0.50 ส่วนเดือนอื่น ๆ นั้นพบว่าอัตราการลดลงที่ใกล้เคียงกันโดยเมื่อระยะเวลาการคำนวณสิ้นสุดลงปริมาณสารอนุรักษ์จะคงเหลือในอ่าวไทยประมาณ 0.20 – 0.40 ยกเว้นเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีอัตราการลดลงของสารอนุรักษ์เร็วที่สุดโดยมีสารอนุรักษ์คงเหลือในอ่าวเมื่อระยะเวลาการคำนวณสิ้นสุดลงประมาณ 0.15



ภาพที่ 4-27 การลดลงของสารอนุรักษ์บริเวณอ่าวไทยในแต่ละเดือน

ผลการคำนวณระยะเวลาพำนักจาก Remnant function พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยมีค่าอยู่ในช่วง 339-571 วัน ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 504, 571 และ 535 วันในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม และมกราคม ตามลำดับ เมื่อถึงในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 422, 395 และ 444 วัน ในเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคมและเมษายนตามลำดับ ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าในเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีระยะเวลาสูงที่สุดในช่วงฤดูดังกล่าวโดยมีค่าประมาณ 453 วันหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเหลือ 402, 398 ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคมและจะลดลงต่ำสุดในเดือนสิงหาคม 339 วัน หลังจากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นในเดือนกันยายนประมาณ 441 วันและเดือนตุลาคม 439 วันตามลำดับ (ภาพที่ 4-28)



ภาพที่ 4-28 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยในแต่ละเดือน

ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยตลอดความลึกในอ่าวไทยเชิงพื้นที่ที่แสดงในภาพที่ 4-29 และภาพที่ 4-30 ควบคู่กับการแสดงค่ากระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลโดยในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 กระแสน้ำเฉลี่ยมีทิศทางเข้าสู่ภายในอ่าวไทยบริเวณด้านตะวันออกของอ่าวและจะไหลออกจากอ่าวบริเวณกลางอ่าวโดยพบวงกระแสที่ตามเข็มนาฬิกาบริเวณปากอ่าวก่อนที่กระแสน้ำจะไหลกลับเข้ามาในอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตกอีกครั้ง ผลระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่พบว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออกตั้งแต่ปากอ่าวถึงบริเวณละติจูดที่ 12 องศาเหนือเป็นพื้นที่ที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยสั้นที่สุดโดยมีค่าไม่เกิน 200 วัน ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกพบว่าระยะเวลาพำนักที่นานกว่าโดยมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำประมาณ 400 วัน อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนในและบริเวณกลางอ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีระยะเวลาพำนักที่นานที่สุดประมาณ 500-700 วัน (ภาพที่ 4-29 B-D)

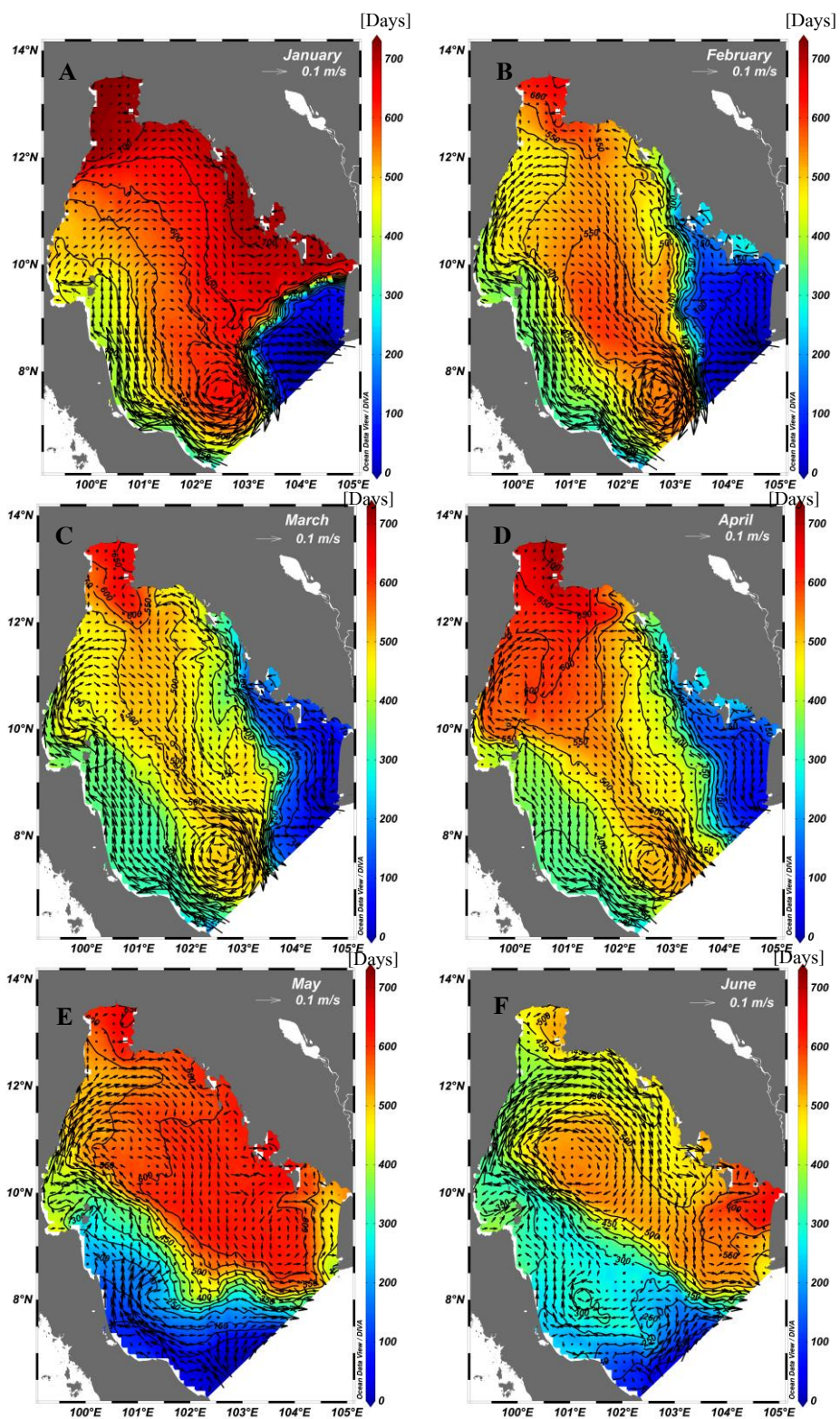
ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสที่เฉลี่ยตามความลึกมีทิศไหลเข้าสู่ภายในอ่าวจากบริเวณชายฝั่งตะวันตกเข้าไปสู่ตอนในของอ่าวและจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออกทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำของอ่าวไทยด้านชายฝั่งตะวันตกมีระยะเวลาพำนักที่ไม่เกิน 300 วัน ส่วนบริเวณปากอ่าวไทยตอนในมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่าบริเวณกลางอ่าวและบริเวณชายฝั่งตะวันออกโดยบริเวณที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยนานที่สุดคือบริเวณด้านตะวันตกของแหลมคาเมาประเทศเวียดนามรูปแบบของระยะเวลาพำนักจะมีลักษณะเดียวกันในทุกเดือนในช่วง



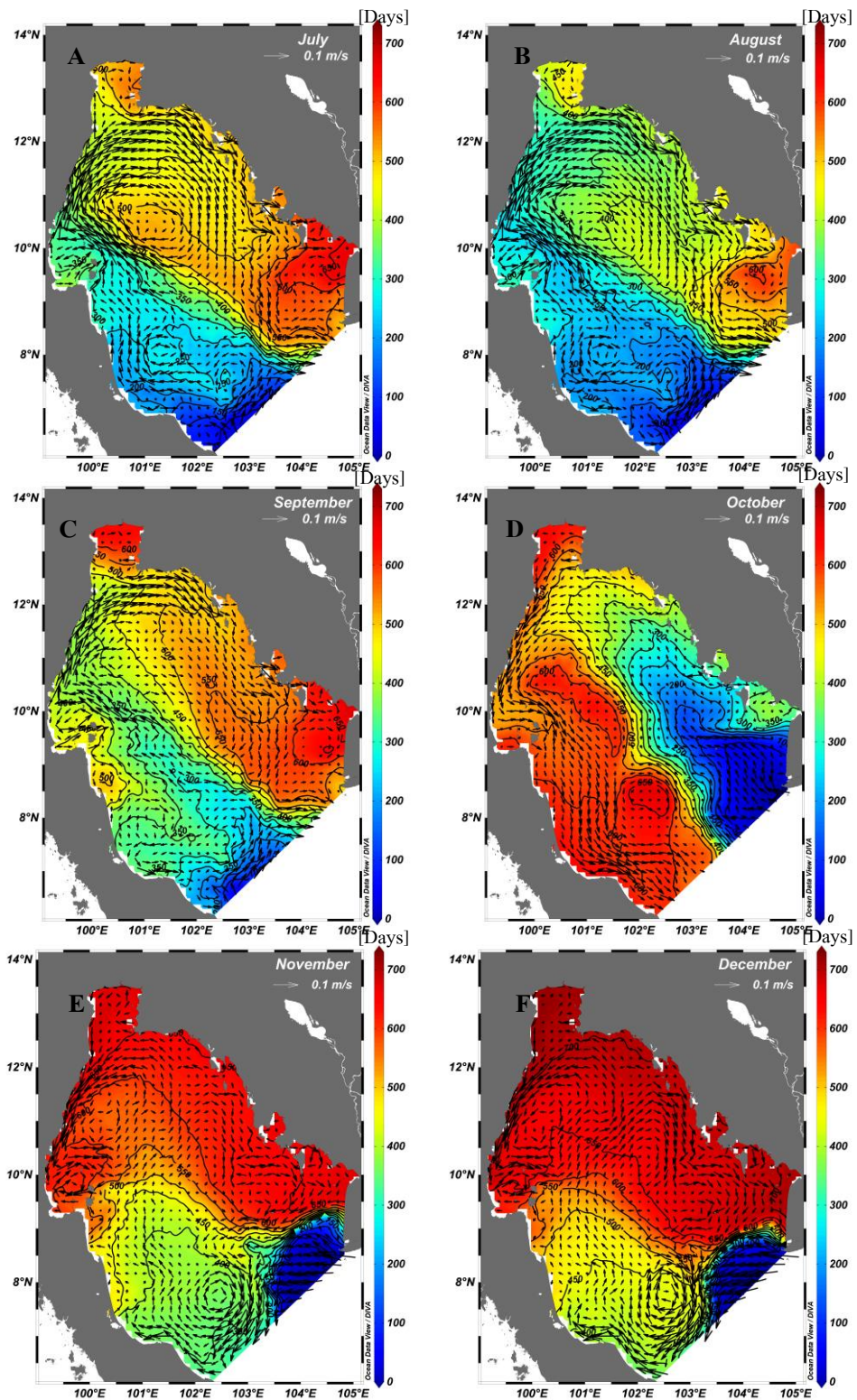
ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แต่ในเดือนพฤษภาคมเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่นานที่สุด ส่วนในช่วงเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่สั้นที่สุด (ภาพที่ 4-29 E-F, 4-30 A-C)

เมื่อเข้าสู่ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 รูปแบบของกระแสน้ำและรูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักมีลักษณะที่แตกต่างจากในฤดูก่อนหน้าโดยกระแสน้ำจะไหลเข้าสู่อ่าวไทยบริเวณชายฝั่งตะวันออกและจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตกทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่าชายฝั่งตะวันออก โดยบริเวณชายฝั่งตะวันตกจะมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยประมาณ 600-700 วัน ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกจะมีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยไม่เกิน 500 วัน (ภาพที่ 4-30 D)

ส่วนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยจะสั้นที่สุดบริเวณปลายแหลมคาบสมุทรอ่าวไทยโดยมีค่าไม่เกิน 100 วันและบริเวณชายฝั่งตะวันตกจะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่าบริเวณอื่นโดยมีค่าไม่เกิน 500 วัน ส่วนบริเวณด้านในของอ่าวเหนือละติจูดที่ 10 องศาเหนือขึ้นไปพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำนานที่สุดประมาณ 600-700 วัน (ภาพที่ 4-29 A, 4-30 E-F)



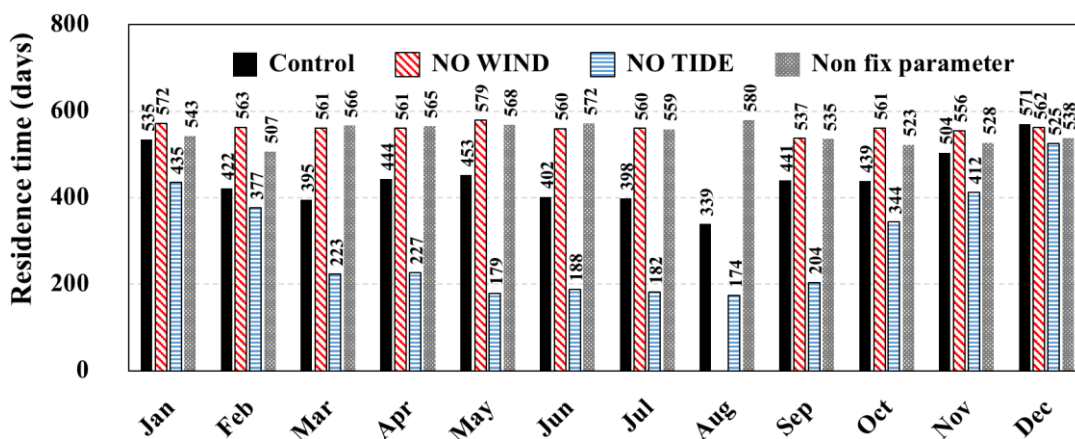
ภาพที่ 4-29 ระยะเวลาฟลักเจดีย์เชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเจดีย์ตามความลึกในเดือนมกราคม-มิถุนายน



ภาพที่ 4-30 ระยะเวลาผ่านก้นเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม

#### 4.7 ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย

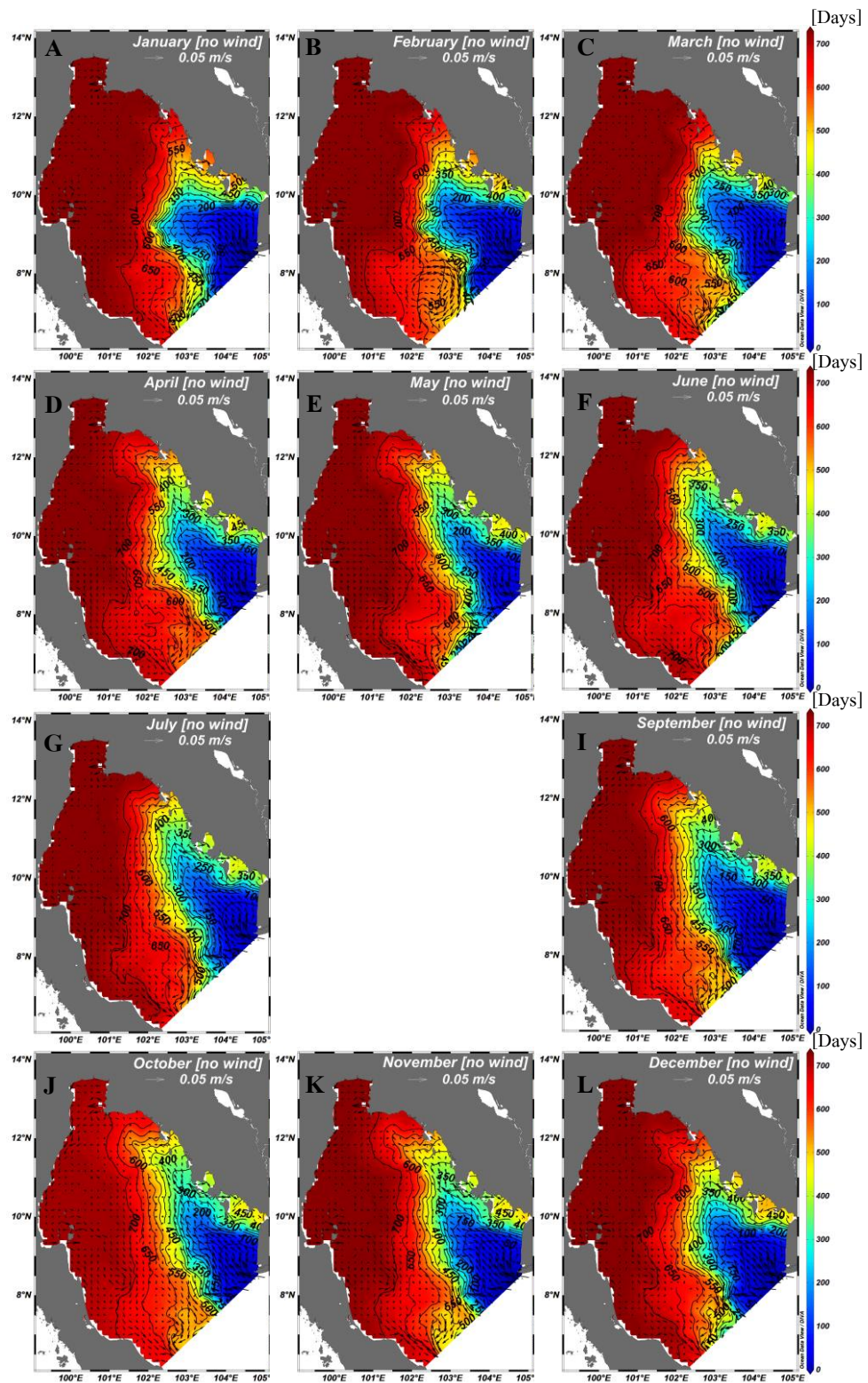
ผลการทดสอบการตัดปัจจัยนำเข้ากรณี ลม น้ำขึ้นน้ำลง และกรณีอับเฉาปัจจัยนำเข้า ถูกแสดงดังภาพที่ 4-31



ภาพที่ 4-31 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย

##### 4.7.1 กรณีตัดปัจจัยลม (NO WIND)

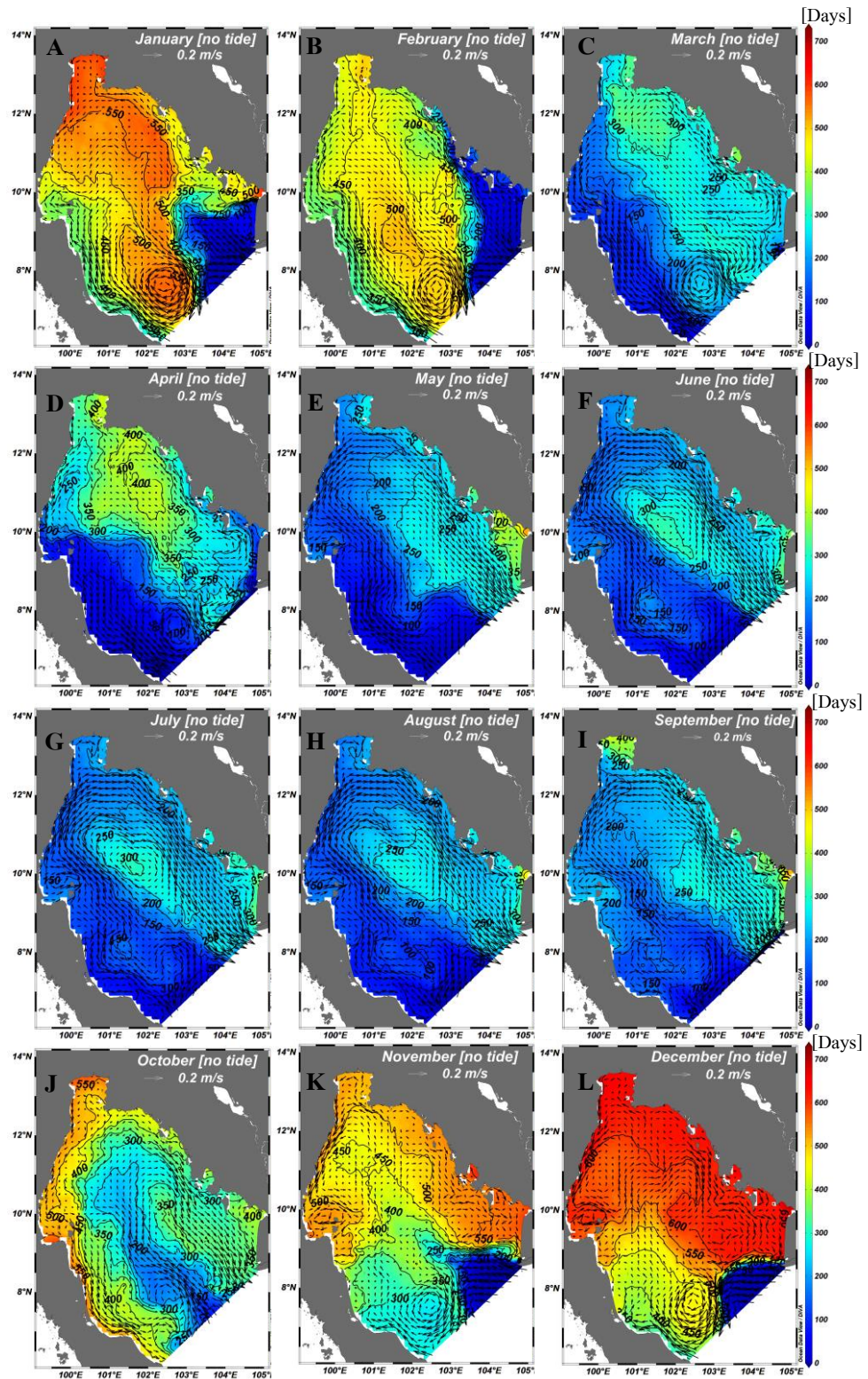
ผลระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีตัดลมพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 597-523 วัน ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำจะเพิ่มขึ้นประมาณ 141, 166, 117 วันตามลำดับ ในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม และเดือนกันยายน ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น 127, 158, 162, 96 วันตามลำดับ ในเดือนสิงหาคมไม่มีผลการศึกษานี้เนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถคำนวณได้ ในเดือนตุลาคมระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น 122 วัน ในเดือนพฤศจิกายนและมกราคมระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเพิ่มสูงขึ้น 51 และ 38 วัน ส่วนในเดือนธันวาคมระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำมีค่าลดลง 9 วัน (ภาพที่ 4-31) ผลการศึกษาระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกพบว่ามีรูปแบบที่เหมือนกันในทุกเดือนคือ ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันออกโดยเฉพาะบริเวณปากอ่าวจะมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกและบริเวณก้นอ่าว โดยพบว่าระยะเวลาพำนักภายในอ่าวกรณีตัดลมมีระยะเวลาพำนักที่มากกว่า 730 วัน ส่วนกระแสน้ำจะไหลเข้าอ่าวจากปลายแหลมคามาโดยจะไหลเรียบชายฝั่งตะวันออกเข้ามาในอ่าวไทยและกระแสน้ำบริเวณปากอ่าวด้านใต้กระแสน้ำจะไหลออกจากอ่าว ส่วนกระแสน้ำภายในอ่าวมีความผันผวนและมีความเบา (ภาพที่ 4-32)



ภาพที่ 4-32 ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณี  
ตัดปัจจัยลม

#### 4.7.2 กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง (NO TIDE)

กรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยลดลงในทุกเดือน โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายนระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำในอ่าวไทยกรณีตัดน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าลดลงมากกว่า 200 วัน รูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะเปลี่ยนไปจากเดิมที่พบว่าระยะเวลาพำนักจะสั้นเฉพาะในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ในกรณีตัดน้ำขึ้นน้ำลงพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะสั้นตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนโดยมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคมพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยจะมีค่าลดลงไม่เกิน 100 วัน โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนธันวาคมพบว่าเมื่อทำการตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยยังคงมีระยะเวลาพำนักที่สูง โดยมีค่าลดลงจากกรณีควบคุมเพียง 45 วัน (ภาพที่ 4-31) ส่วนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกและระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่พบว่ากระแสน้ำมีความแรงที่มากขึ้นแต่มีทิศทางเดิมยกเว้นบริเวณปากอ่าวปลายแหลมคาเมาที่พบว่ากระแสน้ำมีทิศไหลออกที่แรงกว่ากรณีควบคุมตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกันยายน และในเดือนตุลาคมพบว่ากระแสน้ำจะไหลเข้ามาจากกลางปากอ่าวสู่ตอนในของอ่าวก่อนจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออกและชายฝั่งตะวันตก ส่วนระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่พบว่ารูปแบบของระยะเวลาพำนักยังมีลักษณะเช่นเดิมในแต่ละเดือนแต่จะมีค่าลดลงในทุกเดือนยกเว้นในเดือนธันวาคมและกุมภาพันธ์ที่ยังคงมีระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ใกล้เคียงเดิม ในเดือนมีนาคมและเมษายนที่พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะสั้นบริเวณชายฝั่งตะวันตกมากกว่าตะวันออกซึ่งตรงข้ามกับกรณีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าในเดือนตุลาคมกรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำเชิงพื้นที่กลางอ่าวจะสั้นกว่าบริเวณชายฝั่งทั้งสองด้านซึ่งรูปแบบจะแตกต่างจากกรณีควบคุมที่ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะสั้นบริเวณชายฝั่งตะวันออกมากกว่ากลางอ่าวและชายฝั่งตะวันตก (ภาพที่ 4-33)

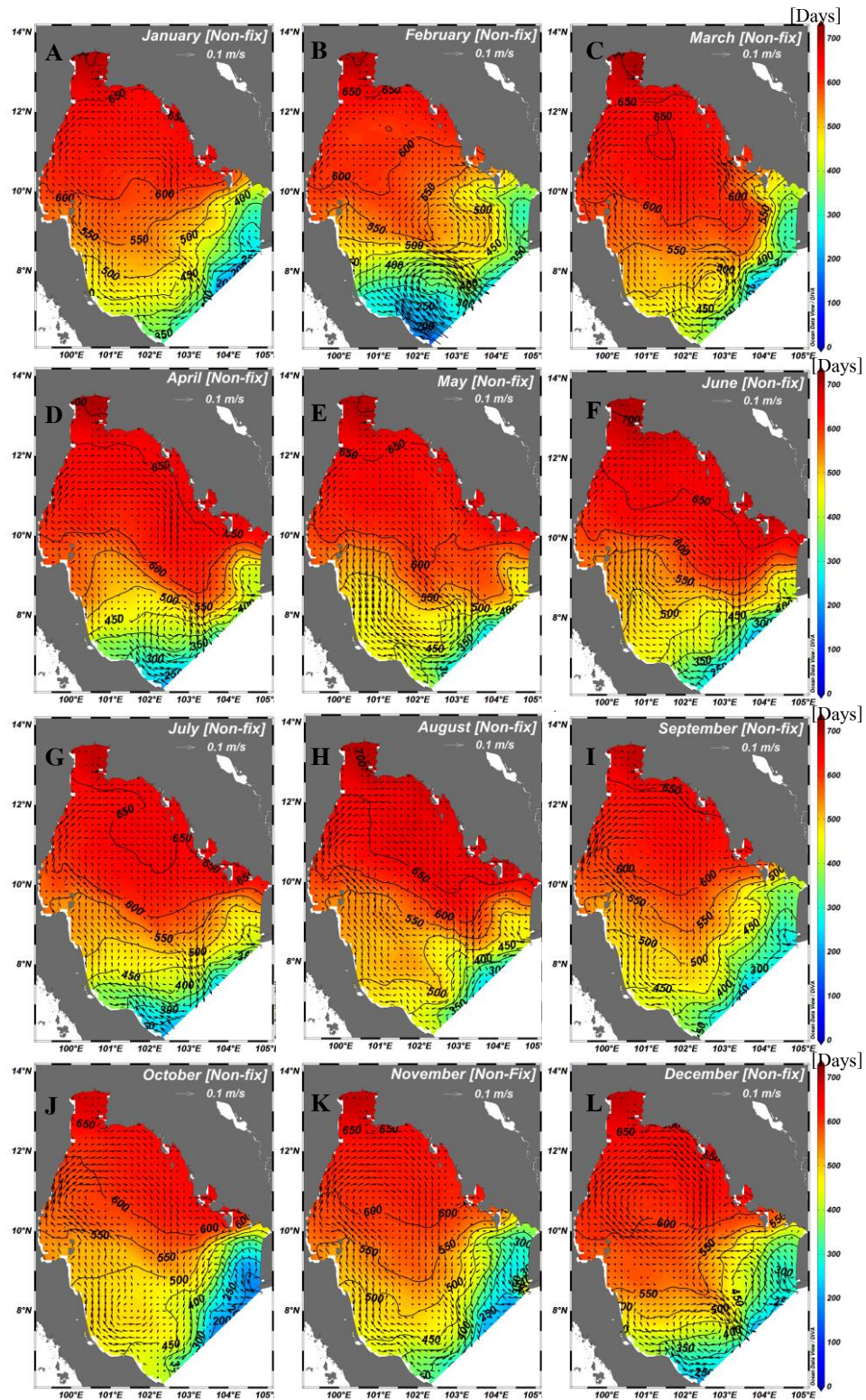


ภาพที่ 4-33 ระยะเวลาฟุ้งกระจายเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเคลื่อนตามความลึกกรณีตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลง

#### 4.7.3 กรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (NON FIX PARAMETER)

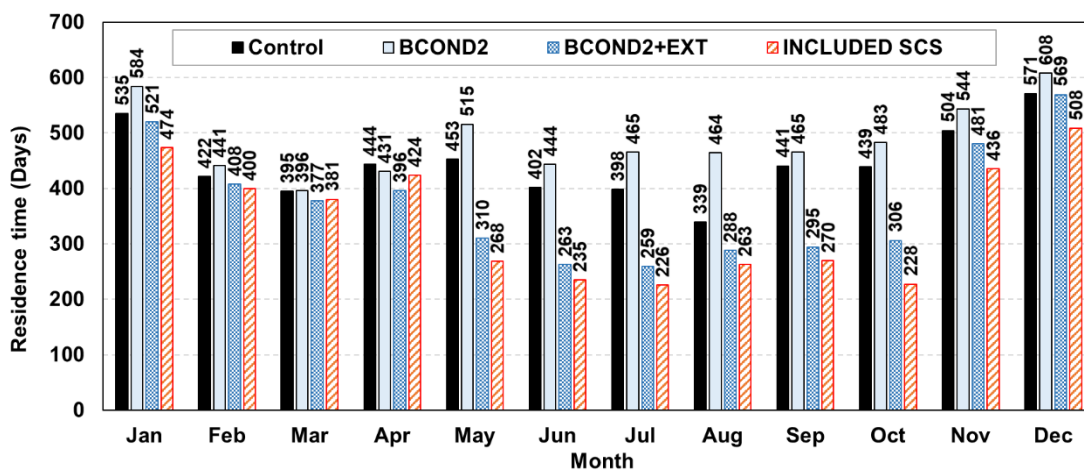
ผลการศึกษากกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยจะเปลี่ยนค่าลม อุณหภูมิ ความเค็ม น้ำท่า น้ำขึ้นน้ำลงให้เปลี่ยนไปในแต่ละเดือนเป็นระยะเวลา 730 วัน โดยเริ่มต้นในเดือนที่แตกต่างกันพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีอุปเตปัจจัยนำเข้ามีค่าใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีควบคุมปัจจัยนำเข้าโดยมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 507 วันและสูงที่สุดในเดือนสิงหาคม 580 วันและมีเฉลี่ยเท่ากับ 549 วันผลจากการอุปเตปัจจัยนำเข้าพบว่าระยะเวลาพำนักในแต่ละเดือนจะมีค่าสูงขึ้นในทุกเดือนยกเว้นในเดือนธันวาคมที่มีระยะเวลาพำนักสั้นคง 33 วัน (ภาพที่ 4-31) ส่วนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในรอบปีและระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันโดยกระแสน้ำจะไหลเวียนชายฝั่งตะวันตกเข้าไปยังก้นอ่าวก่อนจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออกและบริเวณกลางปากอ่าว ส่วนรูปแบบของระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันโดยจะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นบริเวณปากอ่าวโดยจะมีความแตกต่างเล็กน้อยบริเวณปากอ่าวส่วนบริเวณกลางอ่าวขึ้นไปเหนือ ละติจูดที่ 10 องศาเหนือพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำมีค่าประมาณ 600-650 วันในทุก ๆ เดือน (ภาพที่ 4-34)





ภาพที่ 4-34 ระยะเวลาผ่านกเค็ลยเซงพื้นที่ของมวณน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเค็ลยตามความลึกกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

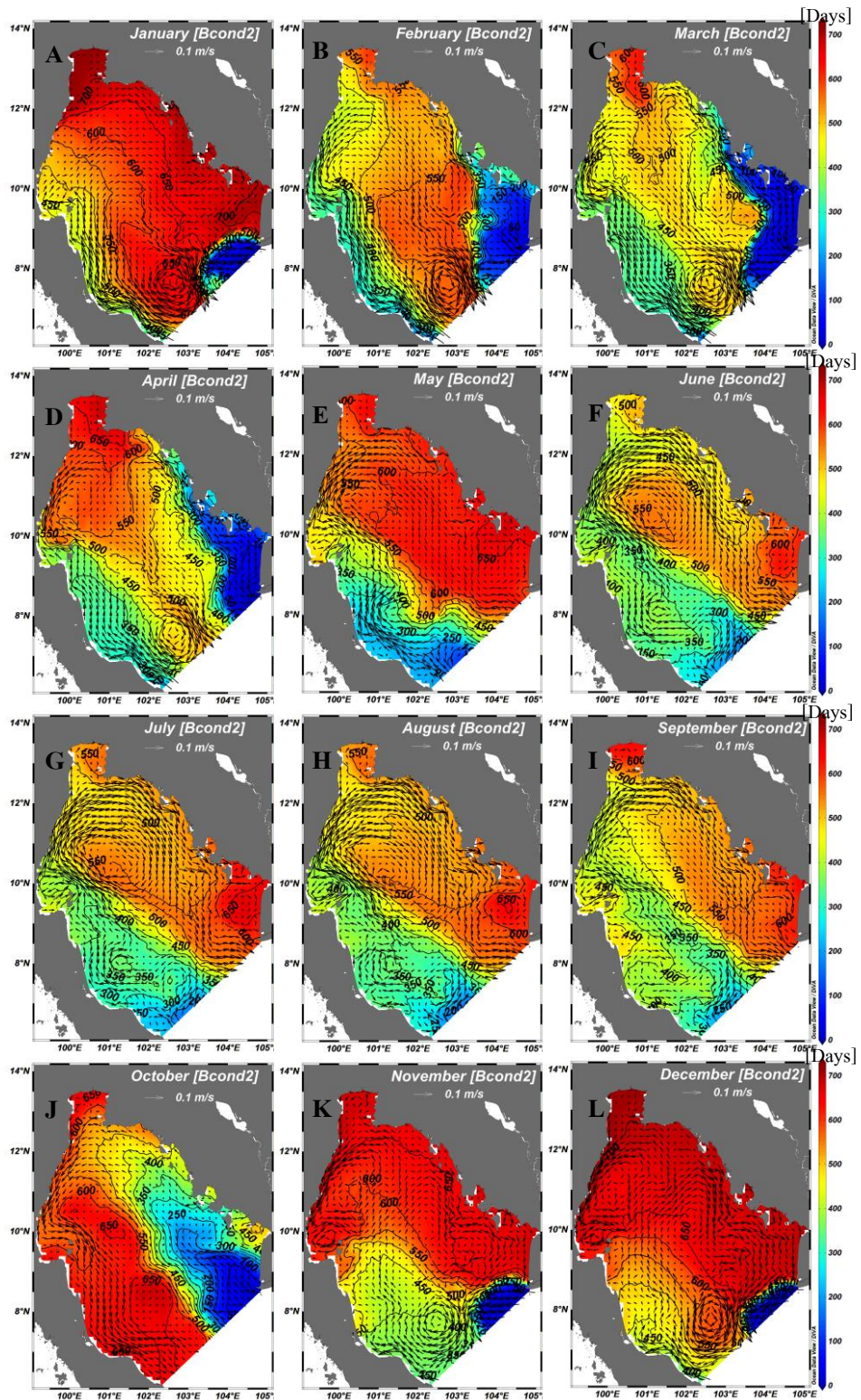
ผลการศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน โดยเป็นแบบระดับน้ำ (BCOND1) โดยเป็นกรณีควบคุม แบบกระแสน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำจากภายนอก (BCOND2) แบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอก (BCOND2+EXT) และกรณีขยายขอบเขตของแบบจำลองให้ครอบคลุมพื้นที่ทะเลจีนใต้ ถูกแสดงดังภาพที่ 4-35



ภาพที่ 4-35 ระยะเวลพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยกรณีทดสอบขอบเขตเงื่อนไขและกรณีขยายขอบแบบจำลอง

#### 4.7.4 กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำจากภายนอก (BCOND2)

จากการทดสอบเปลี่ยนเงื่อนไขขอบเขตเปิดโดยเปลี่ยนความสูงของระดับน้ำเป็นค่าความเร็วกระแสน้ำผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยของอ่าวไทยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในทุกเดือนมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1 วันถึง 125 วัน ระยะเวลาพำนักที่เพิ่มสูงขึ้นจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมและเดือนมกราคมโดยมีค่าเพิ่มขึ้น 62, 42, 67, 125 และ 50 วันตามลำดับ ส่วนในเดือนกันยายนถึงธันวาคมระยะเวลาพำนักจะเพิ่มสูงขึ้น 25, 44, 39, และ 38 วันตามลำดับ ส่วนในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนพบว่าระยะเวลาพำนักจะเพิ่มขึ้นเพียง 19, 1 และ 13 วันตามลำดับ (ภาพที่ 4-35) ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่พบว่ารูปแบบการลดลงของสารอนุรักษ์เหมือนกับกรณีควบคุมแต่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่ที่จะเพิ่มสูงขึ้น ส่วนในเดือนอื่น ๆ นั้นมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยผลของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณี BCOND2 พบว่ากระแสน้ำยังคงมีทิศทางเดิมแต่ความแรงกระแสน้ำบริเวณปากอ่าวจะลดลง (ภาพที่ 4-36)

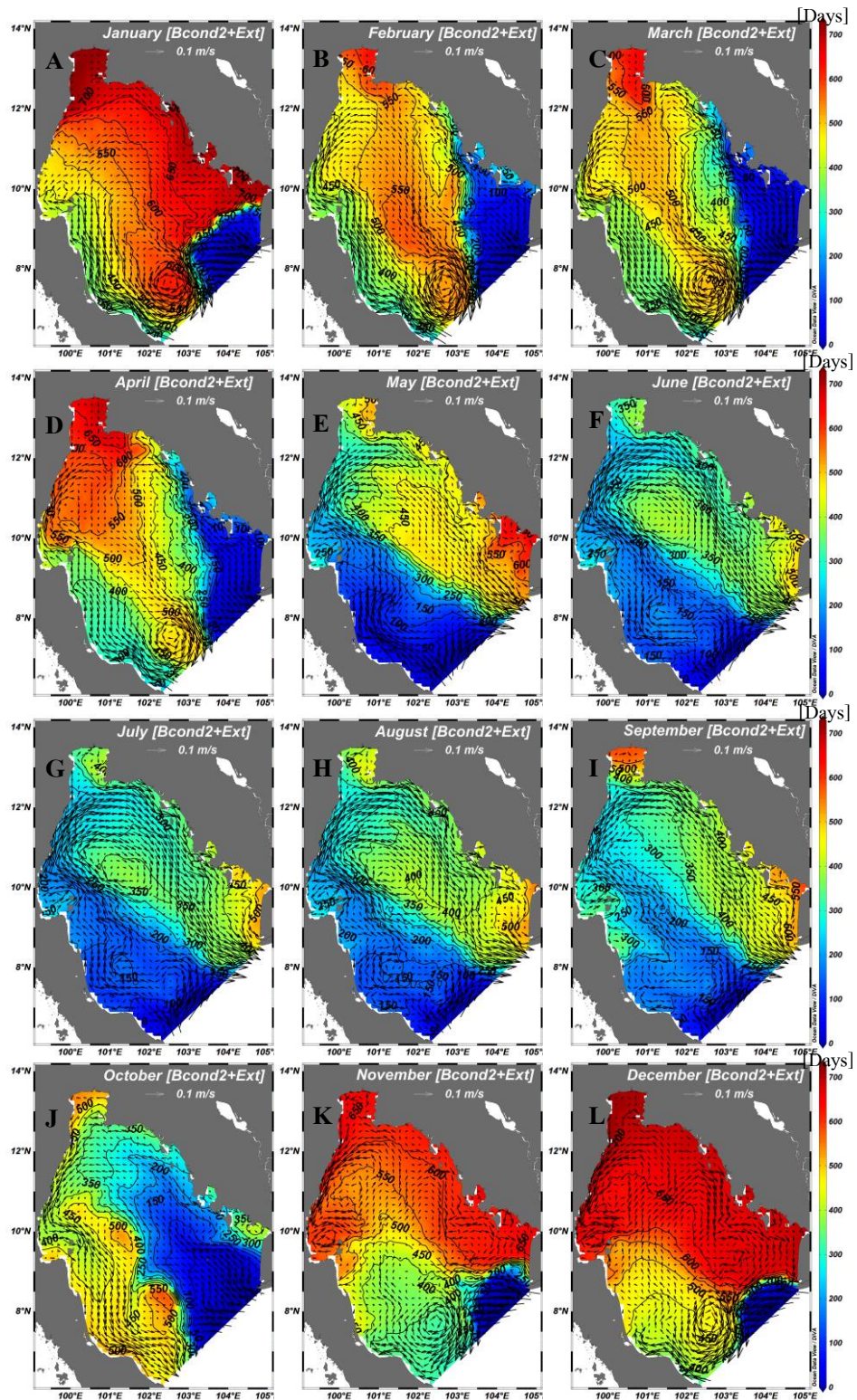


ภาพที่ 4-36 ระยะเวลาผ่านกเค็ลยเซงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเค็ลยตามความลึกกรณี  
 ลื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำจากภายนอก

#### 4.7.5 กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอก

##### (BCOND2+EXT)

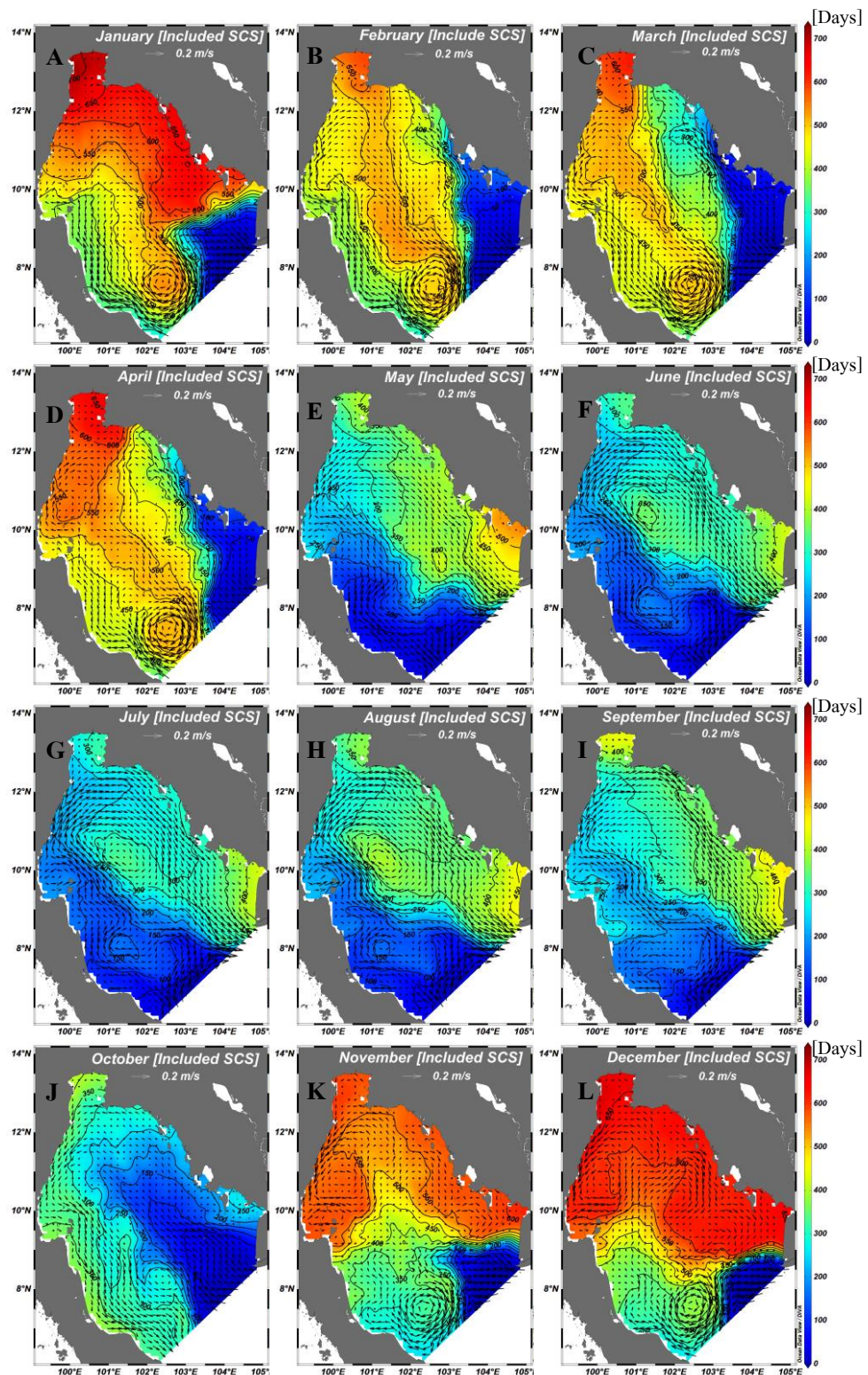
การใช้เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับนำเข้ากระแสน้ำจากภายนอก คือ การเปลี่ยนความสูงของระดับน้ำที่ได้จากน้ำขึ้นน้ำลงเป็นความแรงของกระแสน้ำร่วมกับนำเข้า ความแรงกระแสน้ำเฉลี่ยบริเวณขอบเขตเปิดที่ได้จากแบบจำลองที่คำนวณรวมพื้นที่ทะเลจีนใต้ ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยโดยใช้เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ร่วมกับนำเข้ากระแสน้ำจะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่ากรณีควบคุมในทุกเดือนโดยมีค่าน้อยกว่า ตั้งแต่ 1 ถึง 146 วัน โดยพบว่าระยะเวลาพำนักช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ถึงช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 เป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นที่สุดโดยมีค่าไม่เกิน 310 วัน ส่วนในช่วงฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำยังคงสูงเช่นเดิมโดยมีค่า 481-569 วัน และยังมีค่าสูงที่สุดในเดือนธันวาคม ในส่วนช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอยู่ใน ช่วง 377-408 วัน และเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาพำนักกรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ กระแสน้ำอย่างเดียวพบว่ากรณีที่มีกระแสน้ำจากภายนอกทำให้มีระยะน้อยลง 19-207 วัน โดยจะ ลดลงสูงที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมประมาณ 171-207 วัน ส่วนในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนเมษายนระยะเวลาพำนักจะมีค่าลดลง 19-64 วัน (ภาพที่ 4-37) ผลของระยะเวลาพำนักเฉลี่ย ของมวลน้ำอ่าวไทยเชิงพื้นที่พบว่ารูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักยังคล้ายคลึงกับกรณี ควบคุมแต่ผลที่ได้จะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของอ่าวไทย กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับนำเข้ากระแสน้ำพบว่ารูปแบบการไหลเวียน กระแสน้ำยังมีทิศทางเช่นเดิมแต่จะมีความแรงที่มากกว่าบริเวณปากอ่าวไทย (ภาพที่ 4-37)



ภาพที่ 4-37 ระยะเวลาพ่านักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของมวลงน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณี  
เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ BCOND2+EXT

#### 4.7.6 กรณีทดสอบการขยายขอบเขตศึกษา

ผลการศึกษาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยที่ได้ทำการขยายขอบเขตการศึกษาออกไปให้ครอบคลุมพื้นที่ทะเลจีนใต้ ผลศึกษาพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำบริเวณอ่าวไทยจะลดลงจากกรณีควบคุมในทุก ๆ เดือนตั้งแต่ 20-211 วัน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ยังคงเป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยสั้นที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 268, 235, 226, 263, 270 และ 226 วันในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมตามลำดับ ผลที่ได้จะลดลงจากกรณีควบคุมประมาณ 76-211 วันเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีการลดลงของระยะเวลาพำนักสูงที่สุด ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือยังคงเป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 436, 508, 474 วันในเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคมตามลำดับ โดยลดลงจากกรณีควบคุมประมาณ 61-69 วัน ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 พบว่ามีระยะเวลาพำนักใกล้เคียงกันโดยมีค่า 400, 381, 424 วัน ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนตามลำดับ โดยลดลงจากกรณีควบคุม 15-22 วัน (ภาพที่ 4-35) ผลของระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่พบว่ารูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักยังคงมีรูปแบบเช่นเดียวกับกรณีควบคุมแต่จะมีการลดลงที่สูงขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ผลของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของอ่าวไทยพบว่าผลที่ได้มีทิศทางที่เหมือนกับกรณีควบคุมแต่จะมีความแรงที่มากขึ้นในทุก ๆ เดือน (ภาพที่ 4-38)



ภาพที่ 4-38 ระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีขยาย  
ขอบเขตศึกษา

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

#### 5.1 อภิปรายผล

##### 5.1.1 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำ

ผลที่ได้จากระดับน้ำของแบบจำลองของกรณีนำแบบเขาระดับน้ำที่ขอบเขตเปิด และการนำเขาระดับน้ำแบบกระแสน้ำพบว่าค่า  $R^2$  ของทั้งสองกรณีมีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจาก สถานีที่ทำการตรวจวัดระดับน้ำส่วนใหญ่อยู่ไกลจากบริเวณขอบเขตเปิดทำให้ผลการนำเขาระดับน้ำเงื่อนไขต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองและสถานีตรวจวัดจริงพบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันคือมีเฟสที่ตรงกันแต่แอมพลิจูดที่ได้จากแบบจำลองมักมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของแบบจำลองเนื่องจากมีการกำหนดความลึกต่ำสุดให้เท่ากับ 10 เมตรทำให้กริดบริเวณชายฝั่งส่วนใหญ่มีความลึกเท่ากับ 10 เมตรทำให้จุดที่นำค่าระดับน้ำออกมาจากแบบจำลองมีค่าความลึกที่ต่างจากสถานีตรวจวัด อีกทั้งขนาดของกริดในการคำนวณที่มีขนาดใหญ่และสถานีตรวจวัดระดับน้ำส่วนใหญ่อยู่ในแม่น้ำหรือคลองอาจทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากการวัดจริง

##### 5.1.2 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทิศทางของกระแสน้ำที่ผิวทะเลสอดคล้องกับทิศทางของลม (ภาพภาคผนวก ก-1 ถึง ก-3) ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ลมที่พัดมาจากทิศใต้ทำให้กระแสน้ำไหลขึ้นเหนือและเมื่อถึงบริเวณก้นอ่าวมวลน้ำจะมุดลงสู่ที่ลึก ส่งผลทำให้กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลไหลสวนทางกับกระแสน้ำที่ผิวในทิศทางไหลออกจากอ่าว การไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงดังกล่าวมีลักษณะไหลตามเข็มนาฬิกาแต่ความเร็วของกระแสน้ำค่อนข้างเบา ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมที่พัดออกจากชายฝั่งตะวันตกทำให้กระแสน้ำที่ผิวไหลออกจากฝั่งตะวันตกไปยังบริเวณทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลจะไหลออกจากชายฝั่งตะวันออกโดยจะพบวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาบริเวณก้นอ่าว การไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงดังกล่าวเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ส่วนช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่สองในเดือนตุลาคม ลมที่เปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือร่วมกับมวลน้ำที่มีความเค็มต่ำ (ภาพภาคผนวก 4 J) ส่งผลให้กระแสน้ำที่ผิวไหลแรงขึ้น โดยมีทิศไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตกส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลจะไหลเข้าสู่อ่าวไทยตอนในบริเวณชายฝั่งตะวันออก การไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงดังกล่าวเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา



นาฬิกาแต่มีความแรงของกระแสน้ำค่อนข้างเบา และเมื่อเข้าสู่ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลมที่พัดออกจากก้นอ่าวทำให้กระแสน้ำที่ผิวไหลออกจากอ่าว กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลจะไหลเข้าสู่อ่าวไทยตอนใน โดยการไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา โดยในเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีความแรงของกระแสน้ำสูงสุดและจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนธันวาคมและมกราคม ในเดือนมกราคมนั้นเป็นเดือนที่ความแรงของกระแสน้ำต่ำที่สุด

นอกจากปัจจัยของลมที่ส่งผลต่อกระแสน้ำแล้วยังมีปัจจัยความหนาแน่นของน้ำทะเลที่ส่งผลต่อกระแสน้ำ โดยในเดือนกันยายนกระแสน้ำที่ผิวมีทิศไหลไปทางตะวันออก ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลจะไหลสวนทางกับกระแสน้ำที่ผิว ซึ่งลักษณะของกระแสน้ำจะมีลักษณะที่แตกต่างจากเดือนอื่นในฤดูเดียวกัน เนื่องจากในเดือนกันยายนความหนาแน่นของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในมีค่าค่อนข้างต่ำ (ภาพภาคผนวก ก-4 I) ส่งผลให้กระแสน้ำมีลักษณะที่เป็น Density driven currents คือมวลน้ำในอ่าวไทยตอนในพยายามที่จะไหลออกจากอ่าวแต่ลมในเดือนกันยายนยังคงเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้กระแสน้ำที่ผิวไหลไปในทิศตะวันออก นอกจากนี้ความหนาแน่นของน้ำทะเลที่ต่ำทำให้ความแรงของกระแสน้ำให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยจากการทดสอบเปลี่ยนอุณหภูมิและความเค็มในเดือนกันยายนเป็นใช้อุณหภูมิ ความเค็มในเดือนมกราคมพบว่ากระแสน้ำที่ผิวมีความแรงที่ลดลง กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกเปลี่ยนเป็นไหลตามเข็มนาฬิกามากขึ้น (ภาพภาคผนวก ก-5) นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบในกรณีเดือนสิงหาคม โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิและความเค็มจากเดือนสิงหาคมเป็นอุณหภูมิ ความเค็มในเดือนเดือนกันยายนพบว่ากระแสน้ำที่ผิวมีความแรงเพิ่มมากขึ้น (ภาพภาคผนวก ก-6) ซึ่งสอดคล้องกับผลในเดือนตุลาคมที่พบว่าถึงแม้ลมจะเบาแต่เนื่องจากในเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีความเค็มต่ำอีกทั้งมีน้ำท่าที่สูงจึงส่งผลทำให้กระแสน้ำที่ผิวมีความแรงมากขึ้น

ผลที่ได้จากแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในสอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranapratheprat et al. (2002) ที่ศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนในโดยใช้แบบจำลองไฮโดรไดนามิกแบบ 2 มิติที่พบว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในจะไหลตามเข็มนาฬิกาโดยกระแสน้ำจะไหลเข้าอ่าวจากบริเวณด้านตะวันตกเฉียงใต้และจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยจะไหลวนเข็มนาฬิกาโดยกระแสน้ำไหลเข้าสู่อ่าวไทยบริเวณตะวันออกเฉียงใต้และจะไหลออกจากอ่าวบริเวณตะวันตกเฉียงใต้

### 5.1.3 ระยะเวลาพักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน

การลดลงของสารอนูรักรักษ์ในพื้นที่อ่าวไทยตอนในสามารถเรียงตามลำดับจากเดือนที่มีอัตราการลดลงเร็วที่สุดถึงช้าที่สุดได้ดังนี้ เดือนพฤศจิกายน มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม ธันวาคม พฤษภาคม ตุลาคม มีนาคม เมษายน กุมภาพันธ์ มกราคมและกันยายน ผลดังกล่าวพบว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้มีระยะเวลาพักที่สั้นกว่าในช่วงเปลี่ยนฤดู ยกเว้นในเดือนมกราคมและกันยายน โดยการลดลงของสารอนูรักรักษ์ในตามความลึกพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน

รูปแบบการลดลงของสารอนูรักรักษ์เชิงพื้นที่สอดคล้องกับการไหลเวียนของกระแสน้ำเนื่องจากลักษณะของอ่าวเป็นอ่าวกึ่งปิดมีด้านเปิดเพียงด้านเดียวคือทิศใต้ ดังนั้นกระแสน้ำที่เป็นแบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาส่งผลทำให้ระยะเวลาพักลดลงเร็วที่สุด ส่วนกระแสน้ำที่มีความผันผวนและมีความเบาส่งผลทำให้การลดลงของสารอนูรักรักษ์ช้าที่สุด ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือเป็นช่วงที่มีการลดลงของสารอนูรักรักษ์มากที่สุดอย่างไรก็ตามในบางเดือนพบว่าผลที่ได้จะแตกต่างออกไป เช่น เดือนกันยายนการลดลงของสารอนูรักรักษ์ช้าที่สุดเนื่องจากกระแสเปลี่ยนตามความลึกน้ำมีทิศทางไม่แน่นอน และในเดือนมกราคมถึงเมษายนไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกาแต่ความแรงของกระแสน้ำไม่มากนักเนื่องจากลมที่เบาทำให้การลดลงของสารอนูรักรักษ์ช้าลง

ระยะเวลาพักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยเชิงพื้นที่แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาพักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในทั้งอ่าวเทียบกับในพื้นที่ในกริดนั้น โดยกริดที่มีระยะเวลาพักนานหมายถึงพื้นที่ดังกล่าวมีมวลน้ำของอ่าวไทยตอนในอยู่ในกริดนั้นนานที่สุด โดยมวลน้ำนั้นอาจมาจากบริเวณอื่นของอ่าวแต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามาจากพื้นที่ใด

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากผลจากการคำนวณโดยใช้เทคนิค Box model จากงานวิจัยของ ฉัตรมน สุทธิโสภ และถนอมศักดิ์ บุญภักดี (2555) ที่รายงานวาระยะเวลาพักในเดือนสิงหาคมปี พ.ศ. 2552 และกันยายน พ.ศ. 2554 เท่ากับ 98 และ 76 วัน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้พบว่าในเดือนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 128 และ 219 วัน แต่มีความใกล้เคียงกันในเดือนมีนาคมที่รายงานวาระยะเวลาพักเท่ากับ 165 และ 167 วัน จากศึกษาครั้งนี้พบว่าในเดือนมีนาคมมีระยะเวลาพักเฉลี่ยของมวลน้ำเท่ากับ 165 วัน และการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากงานวิจัยของ Wattayakorn and Jaiboon (2014) ที่รายงานวาระยะเวลาพักในเดือนตุลาคมปี 2554 และเดือนกุมภาพันธ์ในปี 2555 เท่ากับ 28 และ 80 วันซึ่งแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่ามีค่าเท่ากับ 159 และ 175 วัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีการศึกษาที่ต่างกันโดยเทคนิค Box model เป็นการคำนึงถึงสมดุลของมวลน้ำโดยไม่มีปัจจัยทางกายภาพเข้ามาเกี่ยวข้องอีกทั้งในแต่ละปีมีการ

เปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกันดังนั้นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับงานวิจัยก่อนหน้านี้จึงอาจมีความแตกต่างกัน

#### 5.1.4 ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน

##### อิทธิพลของลม

เมื่อทำการตัดปัจจัยลมพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นซึ่งหมายถึง ลมเป็นปัจจัยที่ทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำแตกต่างกันในแต่ละเดือน และเมื่อทำการตัดอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ลมเป็นปัจจัยในการขับเคลื่อนกระแสน้ำมากขึ้น โดยลมที่พัดเข้าสู่ก้นอ่าวในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ยังคงทำให้มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสูงกว่าในฤดูอื่น ๆ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นมากขึ้น ยกเว้นเดือนที่ลมมีความแรงไม่มากนักเช่น เดือนมกราคมลมที่เบาทำให้แรงของลมที่จะถ่ายทอดพลังงานไปเป็นกระแสน้ำจึงมีค่าน้อยลง อีกทั้งมวลน้ำที่แบ่งชั้นในเดือนมกราคม (Buranapratheprat et al., 2008) ทำให้แรงที่ถ่ายถอดจากลมต่อน้ำที่คอลัมน์จึงน้อยลงส่งผลทำให้ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกจึงมีค่าน้อยลง ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวมีค่านานขึ้น นอกจากนี้หากมีปัจจัยอื่นรบกวนอาจส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำต่างกันไปเช่น ในเดือนกันยายนความหนาแน่นของมวลน้ำที่มีค่าต่ำ และลมที่เป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดการดันของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในไม่ไหลออกจากอ่าวส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักสูงขึ้น และในเดือนตุลาคมลมมีทิศทางพัดออกจากก้นอ่าวแต่มีความแรงไม่มากนัก และยังเป็นช่วงที่มีน้ำท่าสูงที่สุด (ภาพภาคผนวก ก-7) ส่งผลให้กระแสน้ำที่ผิวบริเวณก้นอ่าวไหลแรงขึ้น โดยมีทิศไปยังบริเวณชายฝั่งตะวันตก โดยจะชนกับขอบเขตแผ่นดินส่งผลทำให้กระแสน้ำในที่ลึกไหลออกจากชายฝั่งตะวันตกและเกิดวงกระแสน้ำวนเข็มนาฬิกาไหลบริเวณก้นอ่าวฝั่งตะวันตก ทำให้มวลน้ำเกิดการสะสมของสารอนุรักษ์บริเวณพื้นที่ดังกล่าว

##### อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

น้ำขึ้นน้ำลงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักในแต่ละฤดูกาล เนื่องจากการขึ้นและลงของน้ำทำให้กระแสน้ำมีทิศเหนือใต้สลับกันภายในอ่าวไทยตอนในดังนั้นกระแสน้ำสุทธิจากน้ำขึ้นน้ำลงจึงมีค่าไม่มากนักและมีทิศทางเดิมเสมอ ดังเช่นในกรณีที่ตัดลมทำให้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกระแสน้ำ รูปแบบของกระแสน้ำและลักษณะการลดลงของสารอนุรักษ์มีทิศทางเช่นเดิมและมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน โดยระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะมีค่ามากกว่ากรณีควบคุม โดยความแรงของกระแสน้ำจะมีค่าลดลงจากกรณีควบคุม แต่เมื่อทำการตัดปัจจัยน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำลดลงและ

กระแสไฟฟ้ามีความแรงมากขึ้น จากทั้งสองกรณีแสดงให้เห็นว่าน้ำขึ้นน้ำลงไม่ทำให้ระยะเวลาพำนักแตกต่างกันในแต่ละเดือนอีกทั้งน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยที่ทำให้ระยะเวลาพำนักสูงขึ้น เนื่องจากการไหลของกระแสน้ำที่ทะเลเข้าและออกจากอ่าวทำให้มวลน้ำมีการเคลื่อนที่กลับเข้ามาภายในอ่าว ในช่วงน้ำขึ้นทำให้ระยะเวลาพำนักสูงขึ้น เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ใหญ่ดังนั้นอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีพื้นที่เล็กที่พบว่าน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของมวลน้ำอย่างรวดเร็วในดังเช่นงานวิจัยของ Liu et al. (2004) และ Buranapratheprat and Yanagi (2003) นอกจากนี้ น้ำขึ้นน้ำลงยังส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของสารอนูริคย์ภายในมวลน้ำทั้งในแนวราบและแนวตั้งส่งผลให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำตามความลึกมีค่าไม่แตกต่างกัน

#### *อิทธิพลของน้ำท่า*

อิทธิพลของน้ำท่ามีผลเพียงเล็กน้อยต่อระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนใน เนื่องจากการตัดปัจจัยน้ำท่าพบว่าทำให้ระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำสั้นลงเล็กน้อย ยกเว้นในเดือนกันยายนและตุลาคมที่พบว่าระยะเวลาพำนักจะลดลงมากถึง 30 และ 17 วันตามลำดับ เกิดจากอิทธิพลของน้ำท่าที่ส่งผลทำให้ความแรงของกระแสน้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ascharyaphotha and Wongwiset (2012) ที่รายงานว่าน้ำท่ามีผลต่อกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในช่วงปลายฤดูฝน โดยหากทำการตัดปัจจัยน้ำท่าในเดือนดังกล่าวพบว่ากระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในจะเบาบาง แต่ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าเมื่อตัดทำการน้ำท่าจะส่งผลต่อความเร็วของกระแสน้ำเฉพาะบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ และระยะเวลาพำนักสั้นลงเนื่องจากมวลน้ำจะถูกผลักออกโดยลมที่มากขึ้นถึงแม้ความแรงของกระแสน้ำจะไม่สูงนัก หรืออาจเกิดจากปัจจัยของน้ำขึ้นน้ำลงที่เป็นตัวทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนกับพื้นที่ใกล้เคียงมากขึ้น

#### *การเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป*

ผลการศึกษาแบบเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในมีค่าแตกต่างจากกรณีควบคุม โดยระยะเวลาพำนักจะสูงช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และระยะเวลาพำนักจะสั้นในช่วงเปลี่ยนฤดู เนื่องจากการไหลเวียนของกระแสน้ำที่ไหลไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมเป็นเวลา 3-4 เดือน ส่งผลทำให้สารอนูริคย์ลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ในกรณีกลางช่วงมรสุมเช่น ในเดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม ผลที่ได้พบว่ามีระยะเวลาพำนักสูงที่สุดเนื่องจากการคำนวณดำเนินไปสู่ช่วงเปลี่ยนมรสุมและเข้าสู่ฤดูถัดไปทำให้กระแสน้ำไม่ไหลไปในทิศทางเดียวกัน และเกิดการไหลย้อนกลับของสารอนูริคย์ที่ไหลพ้นจากอ่าวไปแล้ว เมื่อนำมาคำนวณระยะเวลาพำนักส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักมีค่าสูง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ที่มีรูปแบบที่

แตกต่างกันสองลักษณะ โดยในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคมระยะเวลาพำนักบริเวณชายฝั่งตะวันตกจะลดลงได้เร็วกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออก เนื่องจากเมื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำที่พัดไปในทิศทางเดียวกันทำให้สารอนูรัักษ์บริเวณดังกล่าวลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในเดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคมพบว่าการลดลงของสารอนูรัักษ์จะลดลงในแนวด้านตะวันออกและตะวันตกที่เท่า ๆ กัน ส่วนบริเวณกลางอ่าวจะลดลงมากที่สุดเนื่องจากการไหลเวียนของกระแสที่ไหลแบบตามเข็มนาฬิกาในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และทวนเข็มนาฬิกาในในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ สารอนูรัักษ์ไหลวนอยู่ในอ่าว โดยการศึกษาโดยใช้วิธีการดังกล่าวเป็นการคำนวณเพื่อให้เป็นไปอย่างเสมือนจริง แต่ผลที่ได้จะไม่ทำให้เห็นถึงลักษณะความแตกต่างของปัจจัยในแต่ละเดือน วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้านี้เนื่องจากการศึกษาโดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาโดยใช้สภาวะเดิมโดยเพิ่มระยะเวลาการคำนวณให้มากขึ้นเช่นจากงานวิจัยของ Balotro et al. (2003) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่ Suo-nada ที่ได้กำหนดระยะเวลาในการคำนวณ 120 วัน และจากงานวิจัยของ Liu et al. (2004) ที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 200 วันหลังปล่อยสารอนูรัักษ์

### 5.1.5 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทย

การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยพบว่ากระแสน้ำที่ผิวจะไหลไปในทิศทางเดียวกับลม ส่วนกระแสน้ำในที่ลึกลับทิศทางที่จะเบนไปจากกระแสน้ำที่ผิวและมีความแรงของกระแสน้ำลดลง โดยกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้การไหลเวียนกระแสน้ำจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นไหลทวนเข็มนาฬิกาในช่วงเดือนตุลาคม เมื่อเข้าถึงช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำจะไหลเข้ามาจากปากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันออกถึงบริเวณกลางของปากอ่าว ในขณะที่เดียวกันกระแสน้ำจะไหลจากชายฝั่งตะวันตกเข้ามาสู่ตอนในของอ่าวและจะไหลทวนเข็มนาฬิกาบริเวณตอนในของอ่าว ในฤดูดังกล่าวพบวงกระแสน้ำทวนเข็มนาฬิกาบริเวณตอนในของอ่าว และบริเวณตามเข็มนาฬิกาบริเวณปากอ่าวไทย ซึ่งจากผลในฤดูข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Wyrki (1961) ที่พบว่ากระแสน้ำจะไหลเวียนของกระแสน้ำจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yanagi and Takao (1998) ในกรณีที่ใช้ลมเฉลี่ยในการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำ และของงานวิจัยของ Buranapratheprat and Bunpapong (1998) ที่ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองสองมิติ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่ารูปแบบของ

กระแสน้ำในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 จะแตกต่างกันออกไปโดยพบว่ากระแสน้ำจะไหลขนานชายฝั่ง ตะวันออกและชายฝั่งตะวันตกเข้าสู่ตอนในของอ่าวแล้วจะไหลออกบริเวณกลางอ่าว บริเวณ ปากอ่าวพบวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ascharyaphotha et al. (2008)

### 5.1.6 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทย

การลดลงของสารอนุรักษ์ในพื้นที่อ่าวไทยสามารถเรียงตามลำดับจากเดือนที่มีอัตราการลดลงเร็วที่สุดถึงช้าที่สุดได้ดังนี้ เดือนสิงหาคม มีนาคม กรกฎาคม มิถุนายน กุมภาพันธ์ ตุลาคม กันยายน เมษายน พฤษภาคม พฤศจิกายน มกราคม และธันวาคม ผลดังกล่าวพบว่าในช่วงมรสุม ตะวันตกเฉียงใต้และช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 เป็นช่วงที่มีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นที่สุด เนื่องจากในช่วงเปลี่ยนฤดูลมที่พัดเข้ามาจากปากอ่าวทำให้กระแสน้ำจากภายนอกไหลขนานชายฝั่งเข้ามาสู่ ภายในอ่าวไทย ส่วนในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำที่ผิวไหลออกจากอ่าวเหนี่ยวนำให้ กระแสน้ำจากทะเลจีนใต้จะไหลเข้ามาแทนที่ในที่ลึกทำให้ระยะเวลาพำนักสั้นที่สุด สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Buranapratheprat et al. (2016) ที่พบว่ามวลน้ำจากทะเลจีนใต้จะแทรกตัวเข้ามาในอ่าว ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และระยะเวลาพำนักของมวลน้ำของอ่าวไทยจะนานที่สุดในฤดู มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมวลน้ำอ่าวไทยมีการผสมผสานกันดีทำให้แรงของลมที่กระทำ ต่อน้ำจะถูกถ่ายทอดต่อน้ำทั้งคอลัมน์ ซึ่งมวลน้ำที่มีการผสมผสานกันดีเมื่อเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ไป ทั้งคอลัมน์น้ำทำให้เกิดการดันของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้กับมวลน้ำอ่าวไทยทำให้ระดับน้ำภายใน อ่าวไทยสูงขึ้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Siripong, 1985) สอดคล้องกับระยะเวลา พำนักเชิงพื้นที่ที่พบว่าบริเวณปากอ่าวใกล้แหลมคามาระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่จะสั้น มากซึ่งเกิดจากมวลน้ำทะเลจีนใต้ที่ไหลเข้ามาแทนที่และดันมวลน้ำในพื้นที่อ่าวไทยที่อยู่ด้านใน อีกทั้งกระแสน้ำมีลักษณะไหลเรียบชายฝั่งจากประเทศเวียดนามเข้ามาในอ่าวไทยบริเวณปลายแหลม คามาจะก่อนจะไหลออกไปยังบริเวณชายฝั่งประเทศมาเลเซีย ทำให้อิทธิพลของน้ำจากทะเลจีนใต้ ไม่ได้เข้ามาตรง ๆ เหมือนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระยะเวลาพำนักที่นานร่วมกับมวลน้ำจาก ทะเลจีนใต้ที่แทรกตัวเข้ามาในอ่าวไทยตั้งแต่ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดการใช้ ออกซิเจนบริเวณพื้นทะเลทำให้มวลน้ำชั้นล่างมีออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำลง (Buranapratheprat et al., 2017)

### 5.1.7 ผลการทดสอบปัจจัยนำเข้าบริเวณอ่าวไทย

#### อิทธิพลของลม

ลมเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย อีกทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแต่ละฤดูกาล โดยเมื่อทำการตัดปัจจัยลมพบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเฉลี่ยของอ่าวไทยมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น อีกทั้งรูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่จะมีรูปแบบที่เหมือนกันในทุก ๆ เดือน ส่วนเมื่อทำการศึกษากรณีที่ลมเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกระแสน้ำโดยปราศอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงพบว่าลมในช่วงเดือนมีนาคมถึงกันยายนทำให้ระยะเวลาพำนักลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากลมเป็นตัวเหนี่ยวนำกระแสน้ำที่ผิวทำให้ไหลออกจากอ่าวและกระแสน้ำในที่ลึกจะไหลเข้ามาแทนที่ ส่วนในเดือนตุลาคมถึงมกราคมผลที่ได้พบว่ามีค่าลดลงไม่สูงเท่ากับช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อีกทั้งระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่ในช่วงดังกล่าวยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีควบคุม โดยเฉพาะในเดือนธันวาคม เนื่องจากช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมวลน้ำในช่วงดังกล่าวมีการผสมผสานกันดีทำให้กระแสน้ำทั้งคอลัมน์น้ำมีทิศทางเดียวกันส่งผลให้กระแสน้ำไหลเข้าอ่าวในลักษณะเป็นการดันเข้ามาของมวลน้ำและยังพบวงกระแสน้ำบริเวณปากอ่าวใกล้ชายฝั่งทิศใต้ทำให้มวลน้ำอ่าวไทยไหลกลับเข้าอ่าวบริเวณชายฝั่งทิศใต้ นอกจากนี้ทิศทางของลมที่พัดออกจากชายฝั่งตะวันออกไปยังชายฝั่งตะวันตกทำให้กระแสน้ำมีไหลอยู่เพียงภายในอ่าวทำให้ระยะเวลาพำนักยาวกว่าในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่ทิศทางของกระแสน้ำไหลออกจากอ่าว สำหรับในเดือนสิงหาคมพบว่าแบบจำลองไม่สามารถคำนวณถึงวันที่ 730 เนื่องจากในกริดบริเวณขอบเขตเปิดใกล้ชายฝั่งมีค่ากระแสน้ำที่แรงผิดปกติทำให้แบบจำลองหยุดทำงาน โดยสามารถคำนวณได้ถึงวันที่ประมาณ 560 แต่แบบจำลองสามารถคำนวณในกรณีใช้การนำเข้าระดับน้ำแบบกระแสน้ำโดยพบว่าจะมีค่า 613 วัน และแบบกระแสน้ำที่ร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอกจะมีค่า 564 วัน แต่พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเชิงพื้นที่จะแตกต่างจากเดือนอื่น ๆ ในกรณีเดียวกัน (ภาพภาคผนวก ก-8)

#### อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ผลของน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับกรณีอ่าวไทยตอนใน แต่อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงมีผลต่อระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยไม่เด่นเท่ากับพื้นที่อ่าวไทยตอนในเนื่องจากเป็นพื้นที่ใหญ่ โดยสังเกตได้จากภาพการลดลงของสารอนุรักษ์ในแต่ละเดือนตามเวลาที่พบว่าจะไม่เห็นการเพิ่มขึ้นและลดลงเนื่องจากอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงเด่นชัดเท่ากรณีการศึกษาริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยเมื่อทำการตัดน้ำขึ้นน้ำลงพบว่าทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นลงในทุกเดือน โดยถ้าทำการตัดปัจจัยลมออก น้ำขึ้นน้ำลงจะเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการไหลเวียนกระแสน้ำรูปแบบของกระแสน้ำจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา

โดยกระแสน้ำจะไหลเข้าจากปากอ่าวฝั่งตะวันตกออกเข้าไปสู่ตอนในของอ่าวและจะไหลออกจากอ่าวบริเวณชายฝั่งตะวันตกโดยด้านในของอ่าวจะมีค่ากระแสน้ำที่ค่อนข้างเบาเนื่องจากบริเวณอ่าวไทยด้านชายฝั่งตะวันตกออกมีพิสัยของน้ำที่สูงกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันตกทำให้กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกออกมีความแรงมากกว่าชายฝั่งตะวันตก โดยพิสัยของน้ำบริเวณชายฝั่งจะมีค่าสูงกว่าบริเวณกลางอ่าวเพราะจุดที่เป็น Amphidromic point อยู่บริเวณกลางอ่าวไทย (Siripong, 1985)

#### *การเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป*

การเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปที่ได้ทำการคำนวณเป็นเวลา 2 ปี กระแสน้ำสุทธิที่ได้จากการคำนวณมีลักษณะไหลขนานชายฝั่งตะวันตกเข้าไปสู่ตอนในของอ่าวและจะไหลตามเข็มนาฬิกาอีกทั้งพบวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาบริเวณกลางอ่าวและบริเวณปากอ่าวไทยโดยกระแสน้ำดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aschariyaphotha et al. (2008) ที่พบลักษณะการไหลเวียนกระแสน้ำสุทธิในรอบปีที่คล้ายคลึงกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้สารอนูรักษ์บริเวณปากอ่าวโดยเฉพาะชายฝั่งตะวันตกมีอัตราการลดลงที่สูงกว่าบริเวณชายฝั่งตะวันตกทำให้มีบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีระยะเวลาพำนักสั้นมากขึ้น ส่วนบริเวณตอนในของอ่าวเป็นพื้นที่ที่มีระยะเวลาพำนักนานที่สุดเนื่องจากบริเวณภายในอ่าวสารอนูรักษ์จะไหลขนานชายฝั่งตามกระแสน้ำที่จะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละฤดูกาลไม่ไปทางใดทางหนึ่ง ทำให้ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยระยะเวลาพำนักจะสั้นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลเดียวกับกรณีระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในกรณีเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

#### *อิทธิพลเงื่อนไขขอบเขตเปิด*

การทดสอบกรณีขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำที่ไม่รวมกระแสน้ำจากภายนอกผลที่ได้พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยมีค่าสูงขึ้นมากกว่ากรณีควบคุมเพราะจากการเปลี่ยนระดับน้ำเป็นความแรงของกระแสน้ำในการนำเข้าบริเวณขอบเขตเปิดทำให้กระแสน้ำบริเวณขอบเขตเปิดมีความแรงลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิราพร ทองอุดม, ธวัชชัย นาอุดม และ อนุกุล บุณยประทีปรัตน์ (2560) ที่ได้ทดสอบการตอบสนองของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์กรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกันและพบว่ากรณีเปลี่ยนการนำเข้าระดับน้ำเป็นกระแสน้ำทำให้กระแสน้ำที่ขอบเขตเปิดเบากว่ากรณีการนำเข้าแบบระดับน้ำความแรงของกระแสน้ำที่ลดลงทำให้การเคลื่อนย้ายของสารอนูรักษ์ช้าขึ้น ระยะเวลาพำนักในกรณีขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำจึงมีค่าสูงขึ้น

แต่เมื่อได้ทดสอบกรณีขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการแบบจำลองทะเลจีนใต้เข้าไปยังขอบเขตเปิดของแบบจำลองอ่าวไทย พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทยจะลดลงเพิ่มขึ้นในทุก ๆ เดือนและทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ



ระยะเวลาพำนักในแต่ละฤดูกาลเด่นชัดขึ้น โดยในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำยังคงมีค่าสูง แต่ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ถึงช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะมีค่าลดลง เดือนที่มีการลดลงของระยะเวลาพำนักสูงที่สุดคือเดือนกันยายน ตุลาคม และเดือนพฤษภาคมตามลำดับเนื่องจากลมภายในอ่าวอาจมีกำลังไม่มากนัก แต่ลมบริเวณทะเลจีนใต้ที่มีกำลังที่แรงกว่าส่งผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำมวลน้ำอ่าวไทยให้ไหลออกจากอ่าวหรือไหลเข้าอ่าวมากยิ่งขึ้น ส่วนในเดือนอื่น ๆ ที่พบว่าระยะเวลาพำนักของมวลน้ำลดลงเล็กน้อยนั้นอาจเนื่องจากลมภายในอ่าวไทยกับลมบริเวณทะเลจีนใต้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นกระแสน้ำที่ถูกเพิ่มเข้ามาจึงมีค่าไม่มากนักส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักลดลงไม่มากเท่ากับเดือนที่มีความแตกต่างของลมภายในอ่าวกับลมบริเวณทะเลจีนใต้

#### กรณีการขยายขอบเขต

ผลที่ได้จากการขยายขอบเขตพบว่าระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำอ่าวไทยมีค่าสั้นกว่ากรณีควบคุมในทุกเดือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ผลที่ได้พบว่ามีรูปแบบเหมือนกับกรณีเงื่อนไขขอบเขตเปิดกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอก เนื่องจากลมในช่วงดังกล่าวทำให้กระแสน้ำที่ผิวไหลออกจากอ่าวและจะเหนี่ยวนำให้กระแสน้ำจากทะเลจีนใต้แทรกตัวเข้ามาแทนที่ ทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นลงมากกว่ากรณีควบคุม (ภาพภาคผนวก ก-10) ส่วนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมวลน้ำผสมผสานกันดีทำให้กระแสน้ำจากทะเลจีนใต้ที่ไหลเข้ามาในลักษณะที่ดันมวลน้ำทั้งคอลัมน์เข้าสู่อ่าวไทยส่งผลทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำจะแตกต่างชัดเจน บริเวณปากอ่าวระยะเวลาพำนักจะสั้นส่วนบริเวณภายในอ่าวจะพบว่า มีระยะเวลาพำนักที่นานกว่า ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยเชิงพื้นและการระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแนวตั้งพบว่ารูปแบบการลดลงของระยะเวลาพำนักมีค่าคล้ายคลึงกับกรณีควบคุม (ภาพภาคผนวก ก-11) แต่ผลที่ได้จะมีระยะเวลาพำนักที่สั้นกว่าโดยพบว่าเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากกรณีการขยายขอบเขตพบว่าเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีระยะเวลาพำนักลดลงมากที่สุดระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่บริเวณชายฝั่งตะวันตกลดลงจาก 600 วันเหลือเพียง 300 วัน ส่วนในเดือนพฤษภาคมเป็นเดือนที่พบว่าระยะเวลาพำนักลดลงรองจากเดือนตุลาคม โดยพบว่าบริเวณชายฝั่งตะวันออกกรณีควบคุมพบว่ามีระยะเวลาพำนักประมาณ 600 วันแต่เมื่อขยายขอบเขตการศึกษาพบว่ามีระยะเวลาพำนักลดลงเหลือประมาณ 350-400 วัน ส่วนในเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่มีการลดลงของระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำน้อยที่สุดระยะเวลาพำนักเฉลี่ยเชิงพื้นที่จึงมีค่าไม่แตกต่างจากกรณีควบคุม ผลของระยะเวลาพำนักเฉลี่ยของมวลน้ำเชิงพื้นที่กรณีการขยายขอบเขตของแบบจำลองสอดคล้องกับกรณี การนำเข้าระดับน้ำแบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอกมากกว่ากรณีควบคุม

## 5.2 สรุปผลการศึกษา

1. ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยตอนในจะสั้นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่าช่วงเปลี่ยนฤดู ยกเว้นในเดือนกันยายนและเดือนมกราคม ในส่วนระยะเวลาพำนักของมวลน้ำอ่าวไทยพบว่าจะสั้นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และจะมีค่าสูงช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

2. ลมเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการไหลเวียนกระแสน้ำและควบคุมการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ นอกจากนั้นน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่วนน้ำท่าส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อระยะเวลาพำนักของมวลน้ำ

3. ขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำทำให้ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสูงขึ้น แต่หากใช้ขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำร่วมกับกระแสน้ำจากภายนอกทำให้ได้ผลที่ดีมากขึ้น โดยจะคล้ายคลึงกับการขยายขอบเขตของแบบจำลอง

4. การขยายขอบเขตของแบบจำลองทำให้ทราบถึงอิทธิพลจากทะเลจีนใต้มากขึ้น โดยทำให้ทราบระยะเวลาพำนักของมวลน้ำสั้นลงในทุก ๆ เดือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ถึงช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การแสดงผลระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่อาจทำให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจผิดได้ง่าย เนื่องจากระยะเวลาพำนักเชิงพื้นที่ เป็นระยะเวลาพำนักของมวลน้ำทั้งพื้นที่ ไม่ใช่ระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในกริดนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรแสดงผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของสารอนุรักษ์

2. การศึกษาแบบจำลองในครั้งต่อไปควรมีการนำเข้ากระแสน้ำบริเวณขอบเขตเปิดจะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้น หรือควรขยายขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียง

3. ควรมีการศึกษาถึงกลไกการเกิดวงกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกาบริเวณปากอ่าวเพราะเป็นสิ่งที่ทำให้ระยะเวลาพำนักมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการไหลกลับของมวลน้ำ

4. ควรมีการศึกษาอิทธิพลจากทะเลจีนใต้ที่เข้ามาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ว่ามีข้อดีหรือข้อเสียอย่างไรต่อสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย

## บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). *ความรู้อุตุนิยมวิทยา*. เข้าถึงได้จาก  
<https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23>
- ชาติ ครองศักดิ์ศิริ, ปราโมทย์ โสจิสุกร และอนุกุล บูรณประทีปรัตน์. (2552). ระยะเวลาพำนักของ  
สารอนุรักษ์ในอ่าวปากพนัง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 14(2), 3-15.
- ภูติ ภูติเกียรติขจร. (2541). *การศึกษารูปแบบการไหลเวียนของน้ำ บริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยใช้  
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิ  
ศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สมชาย ศรีปัญญาวิษณุ. (2531). *แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของการไหลเวียนของน้ำที่เกิดจากลม  
ในอ่าวไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะ  
วิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อนุกุล บูรณประทีปรัตน์ และมหารณพ บรรพพงศ์. (2541). การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงตาม  
ฤดูกาลของกระแสน้ำในอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ.  
*วารสารวาริชศาสตร์*, 4(1-2), 27-39.
- Ascharyaphotha, N., Wongwises, P., Wongwises, S., Humphries, U. W., & You, X. (2008).  
Simulation of circulations and Thermohaline Variabilities in the Gulf of Thailand.  
*Advance Atmospheric Science*, 25, 489-506.
- Ascharyaphotha, N., & Wongwises, S. (2012). Simulations of seasonal current circulations and its  
variabilities forced by runoff from freshwater in the Gulf of Thailand. *Arabian journal  
for Science & Engineering*, 37, 1389-1404.
- Balotro, R., Isobe, A., & Shimizu, M. (2003). Seasonal variability in circulation pattern and  
residence time of Suo-Nada. *Journal of Oceanography*, 59, 259-277.
- 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* (pp. 1-16). Washington, D.C.: AGU Press.
- Bolin, B., & Rodhe, H. (1973). A note on the concepts of age distribution and transit time in natural  
reservoirs. *Tellus*, 25, 58-62.
- Brye, B., Brauwere, A., Gourgue, O., Delhez, E., & Deleersnijder, E. (2012). Water renewal  
timescales in the Scheldt Estuary. *Journal of marine systems*, 94, 74-86.

- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Sawangwong, P. (2002). Seasonal variations in circulation and salinity distributions in the upper Gulf of Thailand: Model approach. *La mer*, *40*, 147-155.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., Boonphakdee, T., & Sawangwong, P. (2002). Seasonal variations in inorganic nutrient budgets of the Bangpakong estuary, Thailand. *J. Oceanography*, *58*, 557-564.
- Buranapratheprat, A., & Yanagi, T. (2003). Seasonal variations 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.
- Buranapratheprat, A., Luadnakrob, P., Yanagi, T., Morimoto, A., & Qiao, F. (2016). The modification of water column conditions in the Gulf of Thailand by the influences of the South China Sea and monsoonal winds. *Continental Shelf Research*, *118*, 100-110.
- Buranapratheprat, A., Luadnakrob, P., & Arnupapboon, S. (2017). Water column conditions in the Cambodian water in November 2014. *Burapha Science Journal*, *22*, 202-210.
- Cheevaporn, V., & Menasveta, P. (2003). Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, *47*, 43-51.
- Delhez, É., Brye, B., Brauwere, A., & Deleersnijder, É. (2014). Residence time vs influence time. *Journal of marine systems*, *132*, 185-195.
- Fang, G., Kwok, Y., Yu, K., & Zhu, Y. (1999). Numerical simulation of principal tidal constituents in the South China Sea, Gulf of Tokin and Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, *19*, 845-869.
- Gao, J., Xue, H., Chai, F., & Shi, M. (2013). Modelling the circulation in the Gulf of Tokin, South China sea. *Ocean Dynamics*, *63*, 979-993.
- 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 modeling guidelines*. Netherland: Texel.
- Knauss, J. (1997). *Introduction to physical oceanography*. New Jersey: Prentice Hall.

- Liu, W., Chen, W., & Hsu, M. (2011). Using a three-dimensional particle-tracking model to estimate the residence time and age of water in a tidal estuary. *Computer & Geosciences*, 37, 1148-1161.
- Liu, W., Chen, W., & Kuo, J. (2008). Modeling residence time response to freshwater discharge in a mesotidal estuary, Taiwan. *Journal of Marine System*, 74, 295-314.
- Liu, Z., Wei, H., Liu, G., & Zhang, J. (2004). Simulation of water exchange in Jiaozhou Bay by average residence time approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 25-35.
- Mellor, G. (2004). *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*. Retrieved from [http://jes.apl.washington.edu/modsims\\_two/usersguide0604.pdf](http://jes.apl.washington.edu/modsims_two/usersguide0604.pdf)
- Nozaki, Y., Alibo, D. S., Amakawa, H., Gamo, T., & Hasumoto, H. (1999). Dissolved rare elements and hydrography in the Sulu Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 2171-2181.
- Ridderinkhof, H., Zimmerman, J., & Philippart, M. (1990). Tidal exchange between the North Sea and Dutch Wadden Sea and mixing time scales of the tidal basins. *Netherlands Journal of Sea Research*, 25(3), 331-350.
- Robinson, M. K. (1974). *The physical oceanography of the gulf of Thailand, NAGA expedition*. In E. Brinton, & W. A. Newman (Eds.), *NAGA Report, Volume 3: Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959–1961*. The University of California, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California.
- Sachoemar, I. S., Yanagi, T., & Muwanah. (2009). Seasonal variation in fresh water residence time and its impact on the water quality at Hurun bay, South Sumatra, Indonesia. *La mer*, 46, 65-75.
- Siripong, A. (1985). *The Hydrography of the South China Sea and the Gulf of Thailand Volume IV. Wave, Tide and Current*. United Nations Environment Program, Unpublished.
- Snidvong, A. (1998). *The oceanography of the Gulf of Thailand: Research and management priority in SEAPOL integrated studies of the Gulf of Thailand* (Vol. 1). Bangkok: Innomedia.
- Stansfield, K., & Garrett, C. (1997). Implication of the salt and heat budgets of the Gulf of Thailand. *Marine Research*, 55, 935-963.
- Staub, J., Among, H., & Gastaldo, R. (2000). Seasonal sediment transport and deposition in the Rajang river delta, Sarawak, East Malasia. *Sediment Geology*, 133, 249-264.

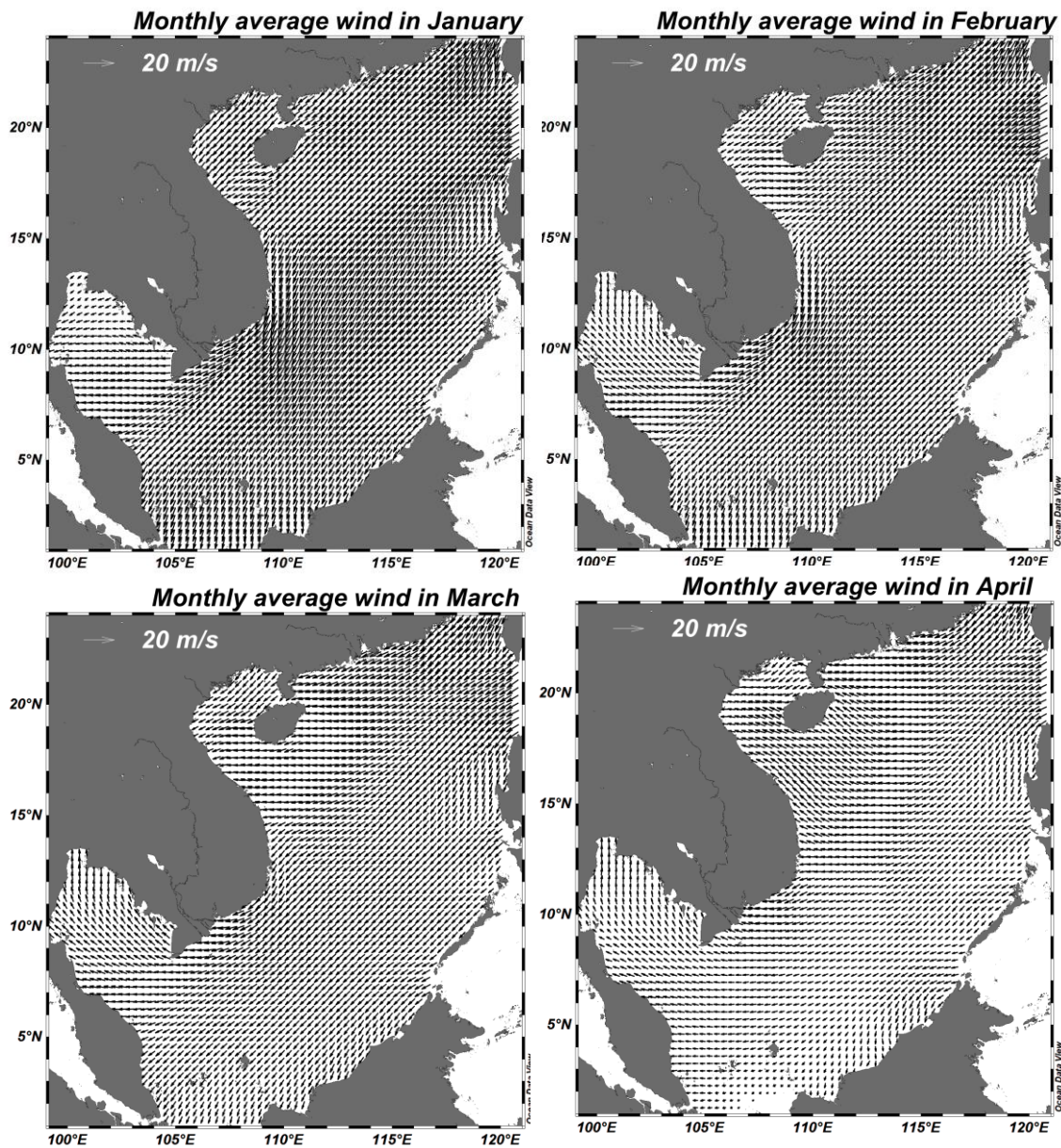
- Takeoka, H. (1984). Fundamental concepts of exchange and transport time scale in a coastal sea. *Continental Shelf Research*, 3(3), 311-326.
- Wyrski, K. (1961). *Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf Naga Report 2*. San diego, California: Neyenesch.
- Yanagi, T. (1999). *Coastal Oceanography*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Yanagi, T., & Takao, T. (1998). A numerical Simulation of Tide and Tide Currents in the South China Sea. *ACTA oceanographica taiwanica*, 37, 17-29.
- Yanagi, T., & Takao, T. (1998). Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand. *La mer*, 36, 43-55.
- Yanagi, T., Sachoemar, S., Takao, T., & Fujiwara, S. (2001). Seasonal Variation of Stratification in the Gulf of Thailand. *Journal of Oceanography*, 57, 461-470.

ภาคผนวก

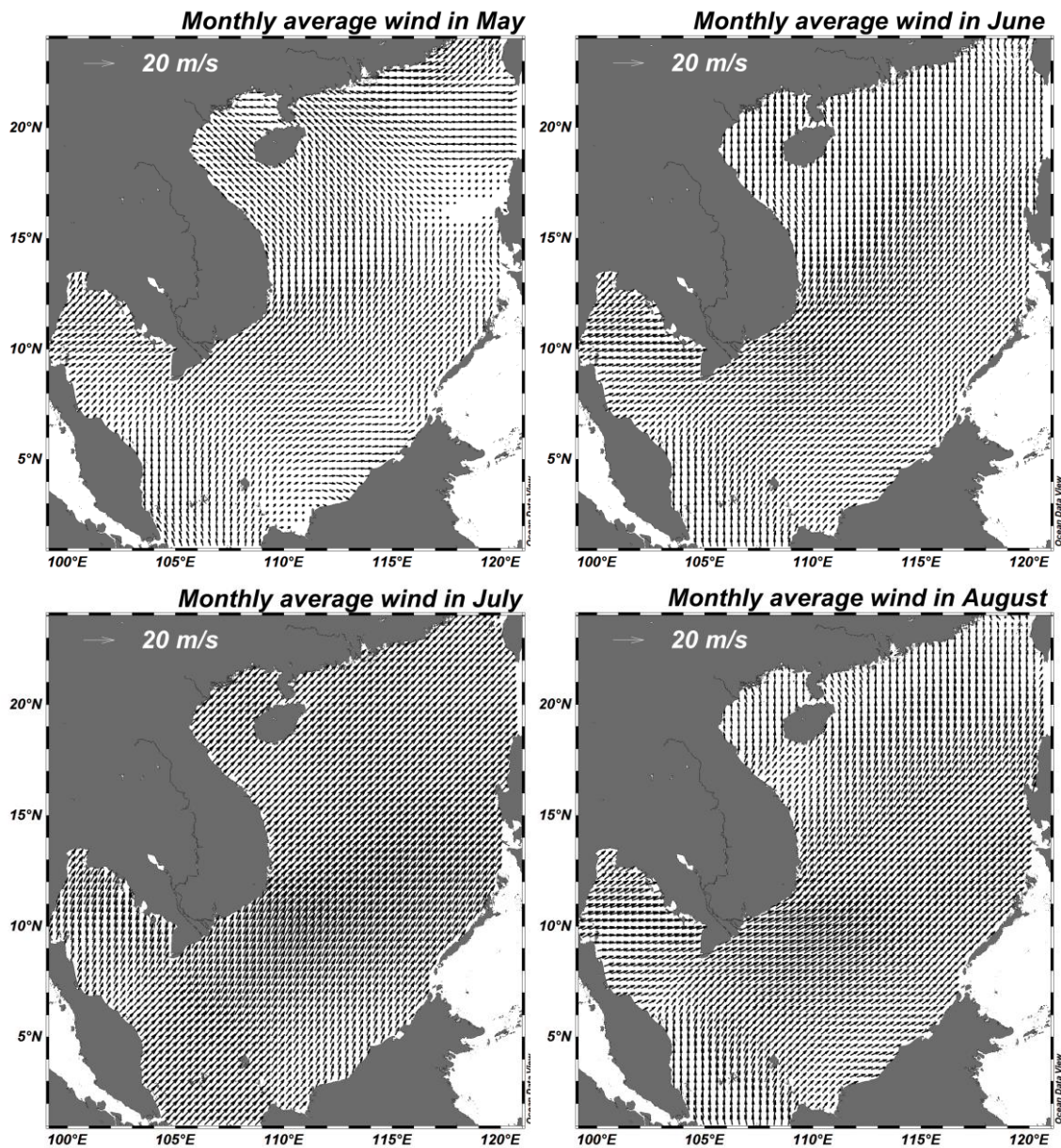
ภาคผนวก ก

ข้อมูลนำเข้าและผลการทดสอบอื่น ๆ

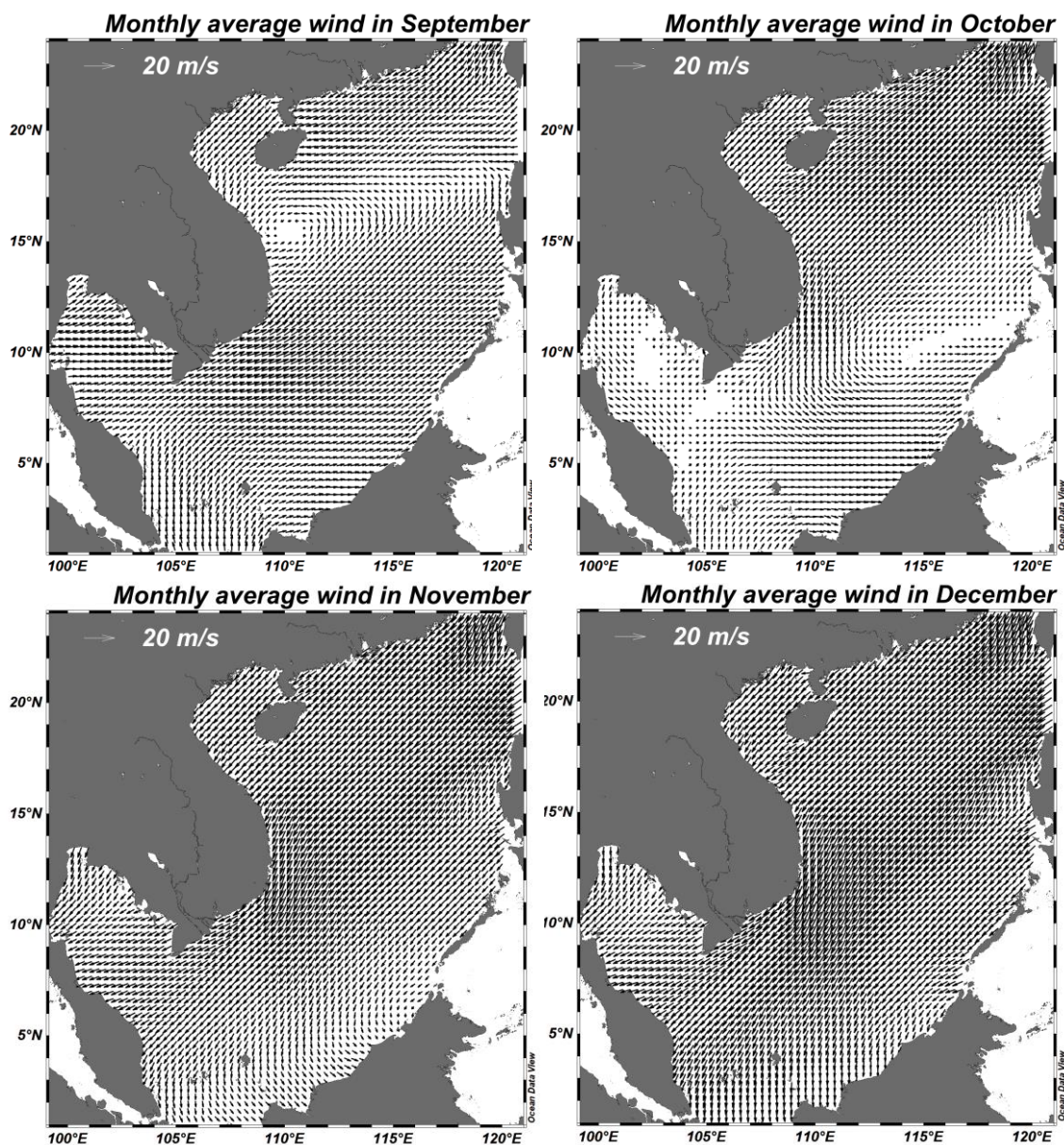




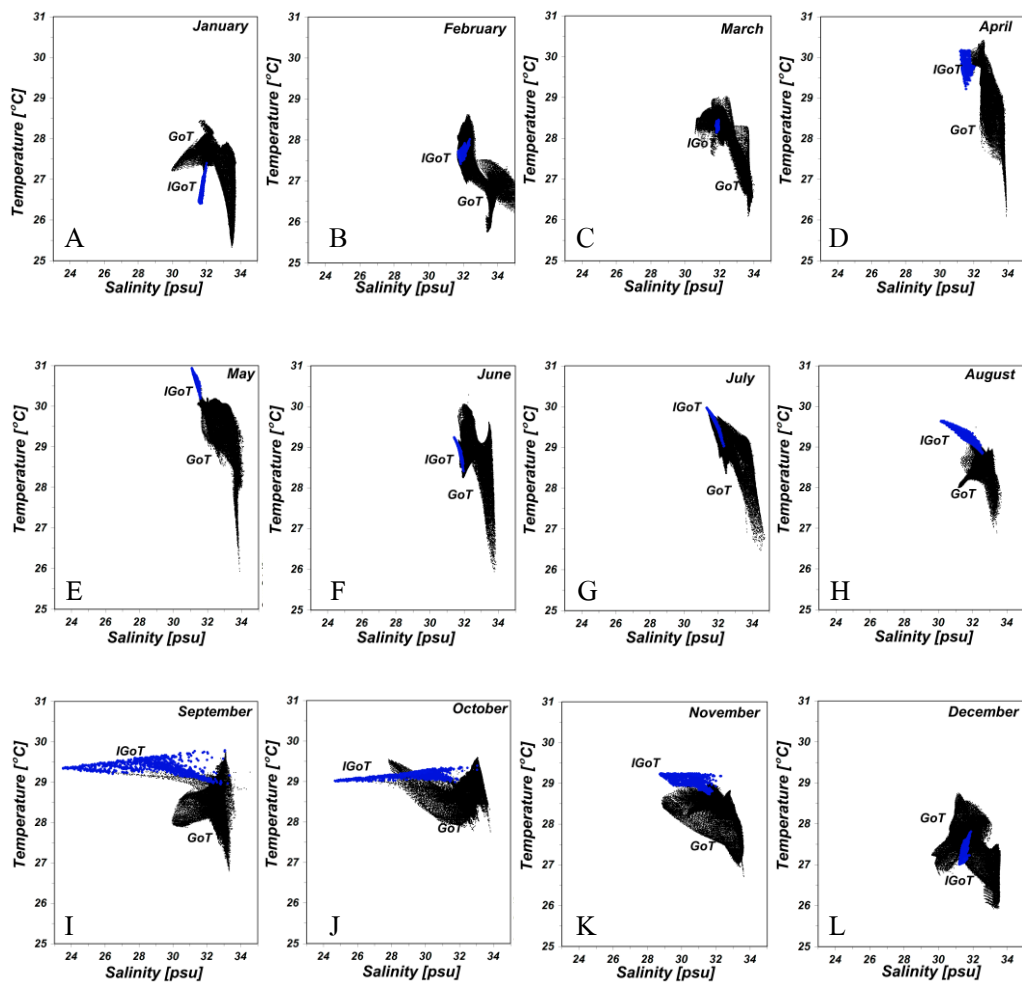
ภาพภาคผนวก ก-1 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนมกราคม-เดือนเมษายน



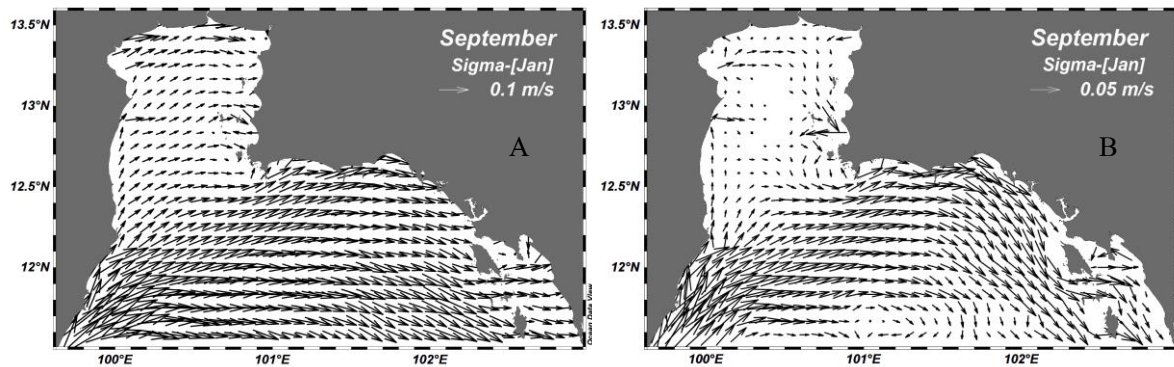
ภาพภาคผนวก ก-2 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนพฤษภาคม-  
เดือนสิงหาคม



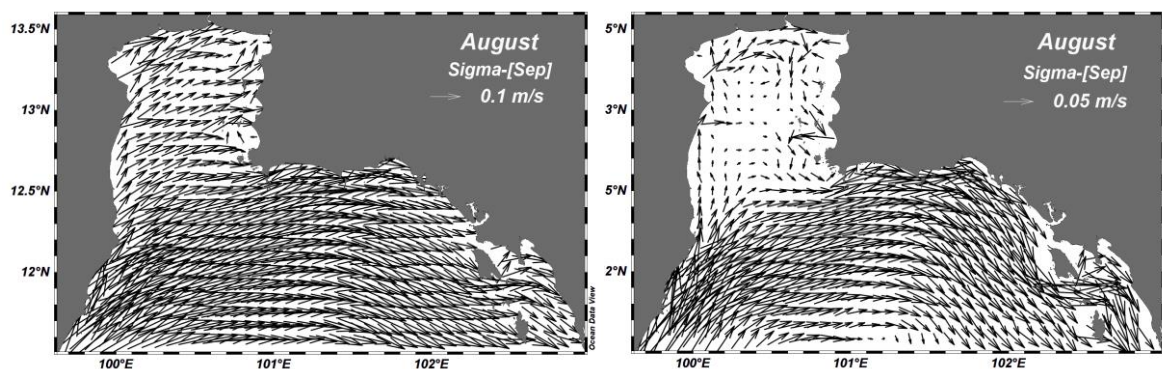
ภาพภาคผนวก ก-3 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT เดือนกันยายน-  
เดือนธันวาคม



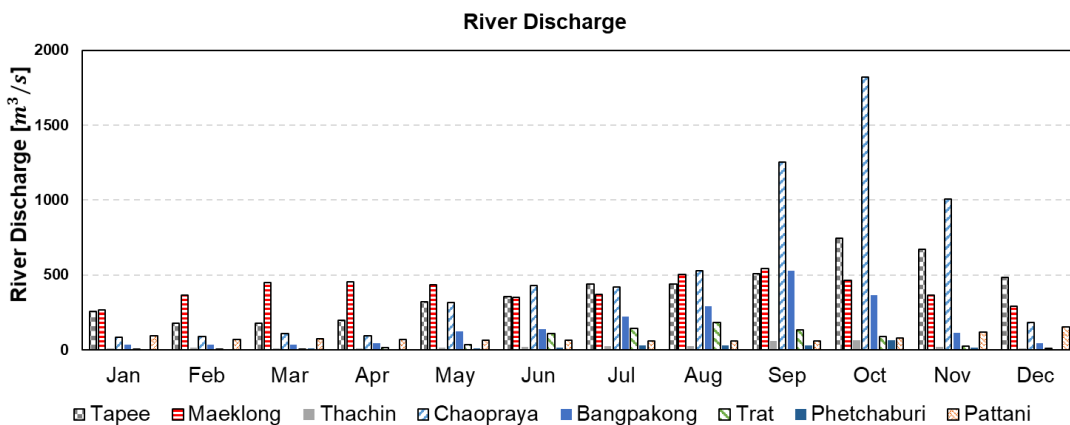
ภาพภาคผนวก ก-4 แผนภาพอุณหภูมิ-ความเค็มของมวลน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน (จุดสีน้ำเงิน) และอ่าวไทย (จุดสีดำ) ในแต่ละเดือน



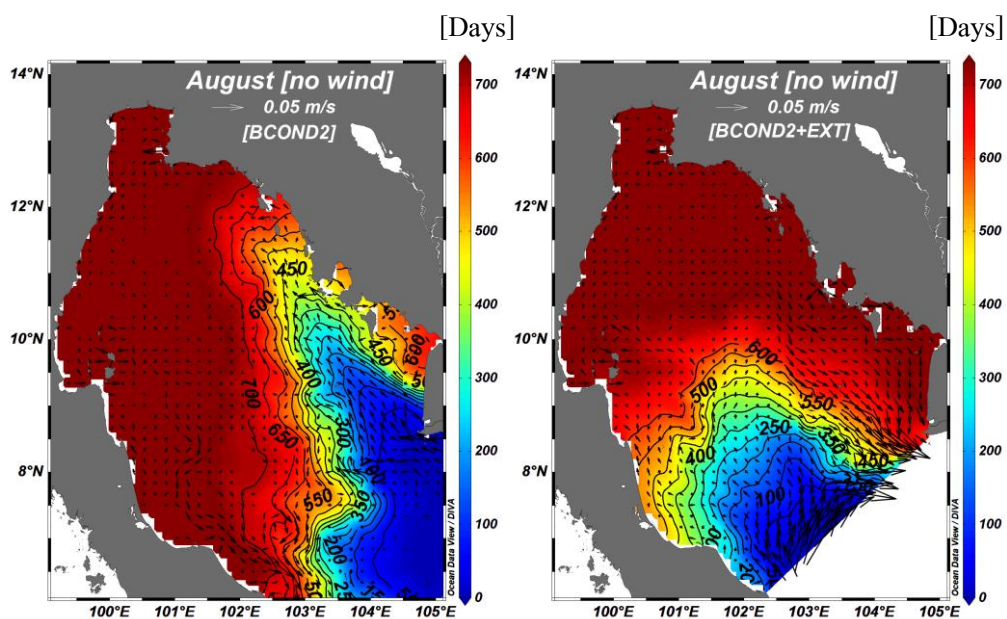
ภาพภาคผนวก ก-5 กระแสน้ำที่ผิวทะเล (A) และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก (B) ในเดือนกันยายน  
กรณีเปลี่ยนอุณหภูมิจากเดือนมกราคม



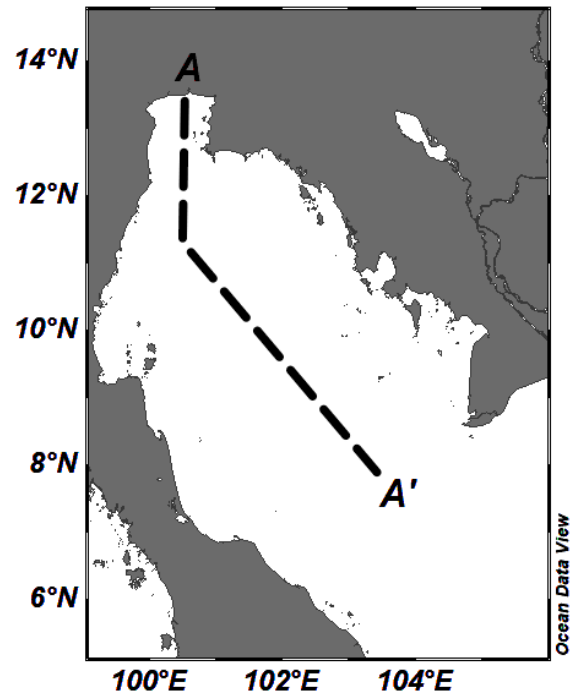
ภาพภาคผนวก ก-6 กระแสน้ำที่ผิวทะเล (A) และกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก (B) ในเดือนสิงหาคม  
กรณีเปลี่ยนอุณหภูมิจากเดือนกันยายน



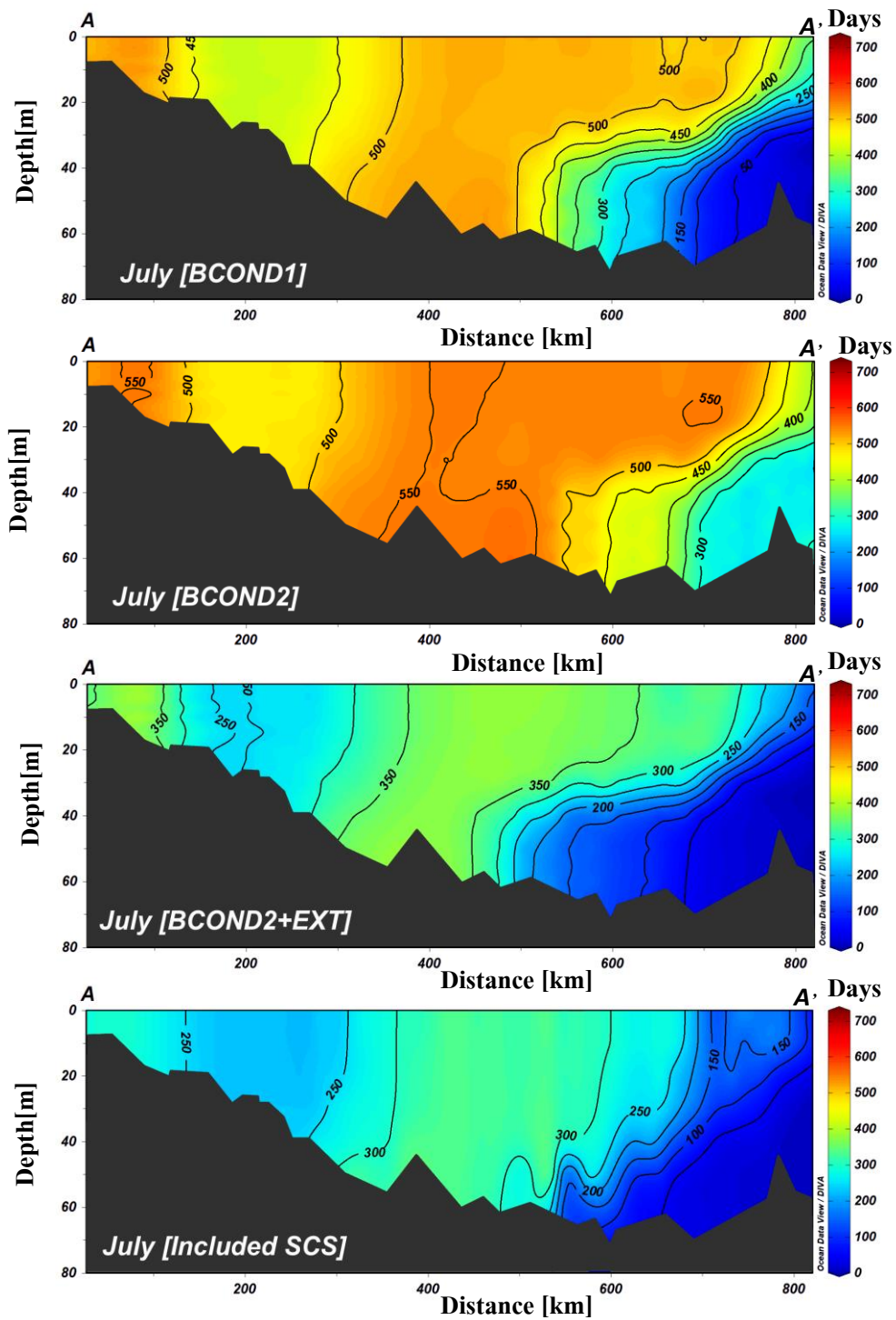
ภาพภาคผนวก ก-7 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากกรมชลประทาน



ภาพภาคผนวก ก-8 ระยะเวลาฟุ้งกระจายของมวลน้ำอ่าวไทยและกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกรณีตัดลม โดยใช้เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ BCOND2 และ BCOND2+EXT ในเดือนสิงหาคม

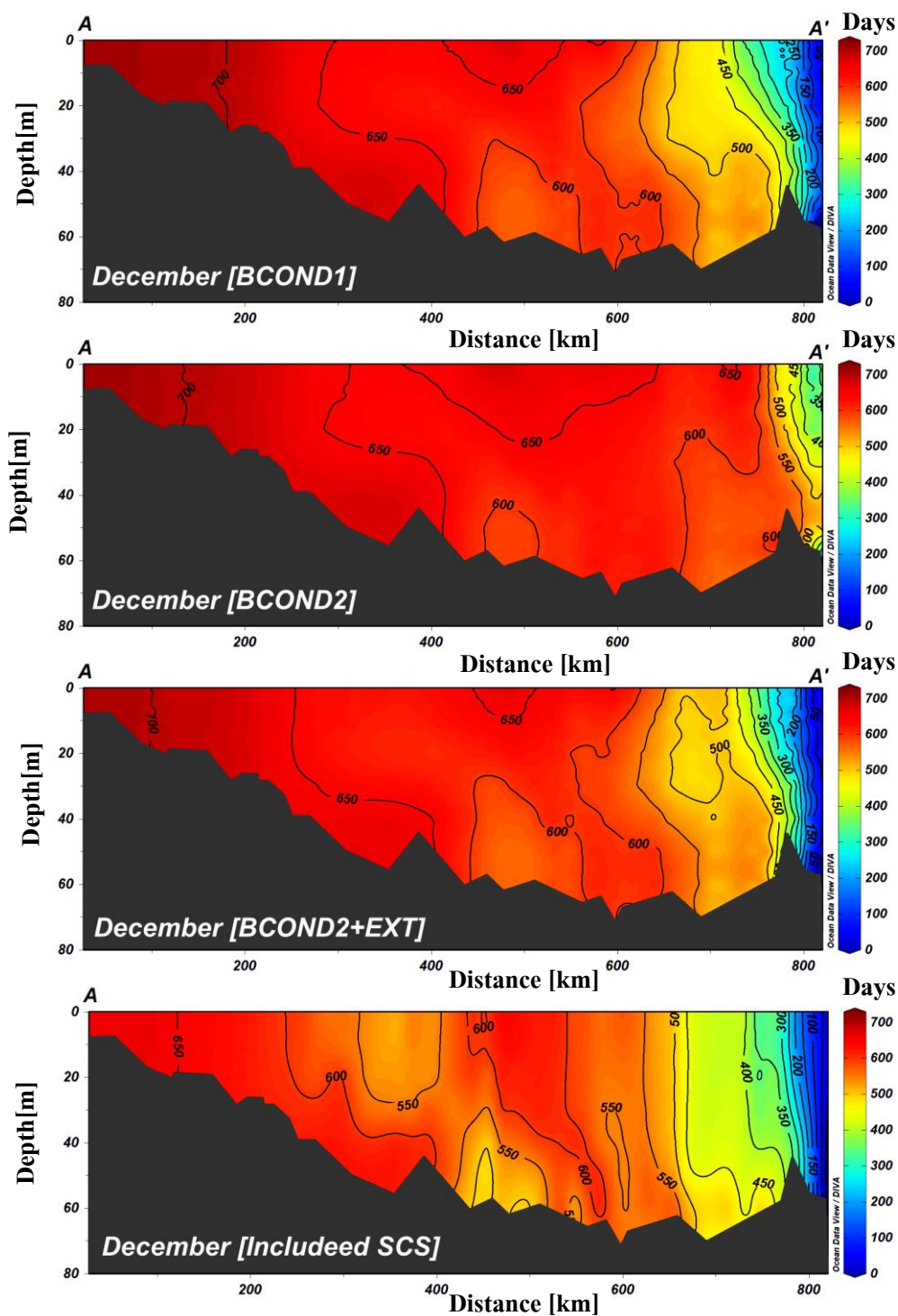


ภาพภาคผนวก ก-9 แนวตัดขวาง A-A' เพื่อแสดงระยะเวลาพ่นกตามความลึก

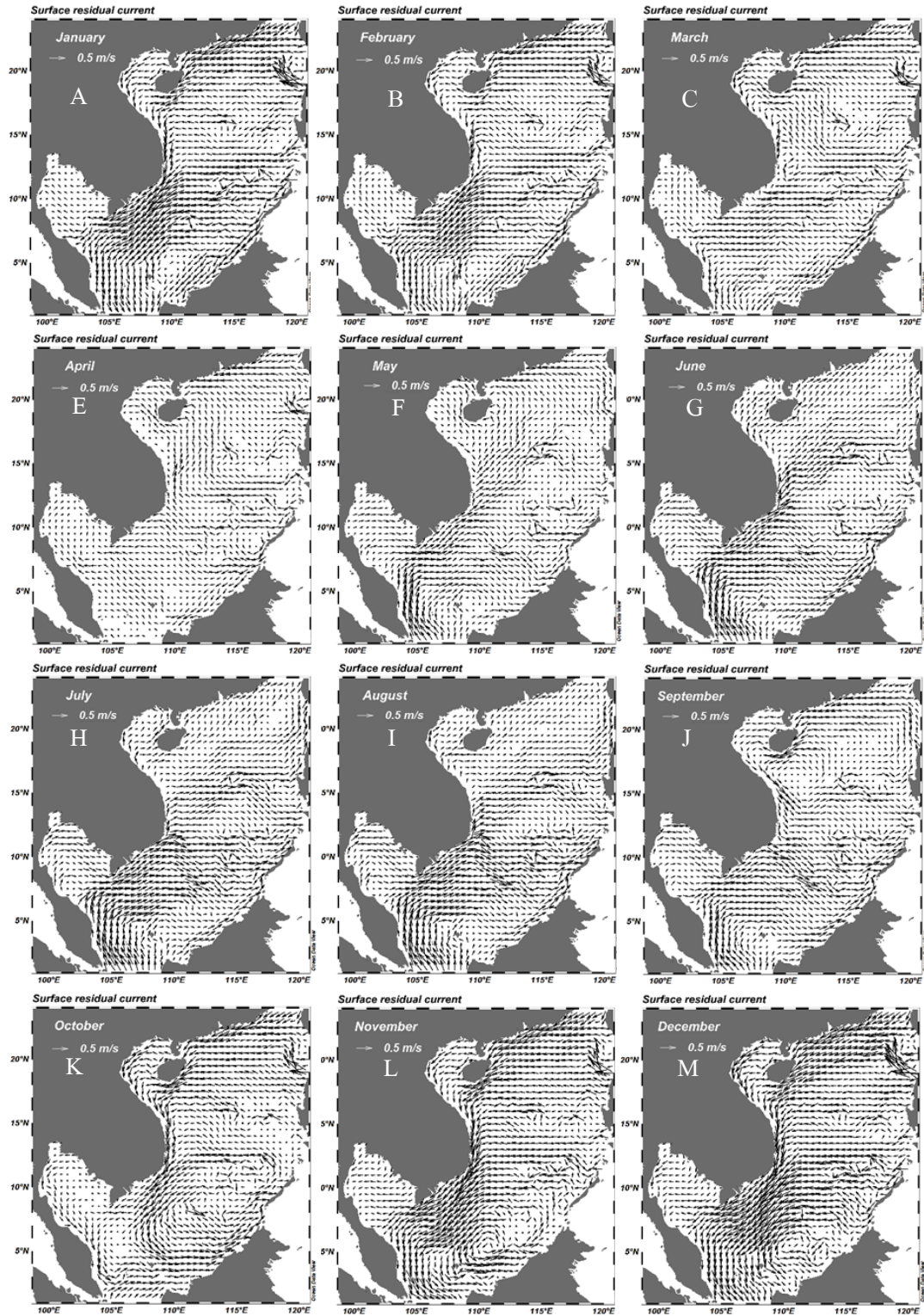


ภาพภาคผนวก ก-10 ภาพตัดขวางระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแนว A-A' กรณีขอบเขตเปิดที่  
แตกต่างกันและกรณีขยายขอบเขตของแบบจำลองในช่วงฤดูมรสุม  
ตะวันตกเฉียงใต้





ภาพภาคผนวก ก-11 ภาพตัดขวางระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในแนว A-A' กรณีขอบเขตเปิดที่  
แตกต่างกันและกรณีขยายขอบเขตของแบบจำลองในช่วงฤดูมรสุม  
ตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพภาคผนวก ก-12 กระแสน้ำที่ผิวทะเลที่ได้จากแบบจำลองทะเลจีนใต้