

การจำลองการไหลเวียนกระแสในอ่าวไทยตอนเหนือ โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข
ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน

ศิวพร ทองอุดม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวาริชศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2561


ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ศิราพร ทองอุดม ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกูล บูรณประทีปรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไศจิตุม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกูล บูรณประทีปรัตน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชาญ สว่างวงศ์)


..... กรรมการ
(ดร.ปริฎฐ หล่อพิทยากร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 5 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกุล บุญประทีปรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็น อย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไชยศิริกร ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชาญ สว่างวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณกรมชลประทาน กรมเจ้าท่า และกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ สำหรับข้อมูลที่ได้เผยแพร่บนเว็บไซต์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และทุกคนที่ให้การสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา แนะนำ และวิจารณ์ผลงาน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่บิดาแต่ บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มี การศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ศิวาพร ทองอุดม

56910045: สาขาวิชา: วาริชศาสตร์; วท.ม. (วาริชศาสตร์)

คำสำคัญ: การไหลเวียนกระแสน้ำ/ เงื่อนไขขอบเขตเปิด/ แบบจำลองเชิงตัวเลข/ อ่าวไทย

ศิราพร ทองอุดม: การจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือ โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน

(SIMULATIONS OF CIRCULATION IN THE NORTHERN GULF OF THAILAND BY USING A NUMERICAL MODEL UNDER DIFFERENT OPEN BOUNDARY CONDITIONS)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อนุกุล บูรณประทีปรัตน์, Ph.D. 123 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM (Princeton Ocean Model) 3 มิติ เพื่อหาเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ โดยจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Case B1) และแบบกระแสน้ำ (Case B2) ซึ่งได้รวมเอาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำได้แก่ ลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า ความเค็มและอุณหภูมิพื้นทะเล รวมถึงความลึกพื้นท้องทะเลเข้าในการคำนวณ ผลการศึกษาพบว่ากระแสน้ำ Case B1 มีลักษณะแรงผิปกติ (100 cm/s) บริเวณใกล้ขอบเขตเปิด และไม่พบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ส่วนอ่าวไทยตอนบนกระแสน้ำมีอัตราเร็ว 10 – 20 cm/s และพบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล Case B2 กระแสน้ำใกล้ขอบเขตเปิดมีลักษณะเบา และเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเช่นเดียวกับอ่าวไทยตอนบน (อัตราเร็ว 10 – 20 cm/s) จากการเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลงพบว่าผลการคำนวณจาก Case B2 มีความสอดคล้องกับระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากการตรวจวัดมากกว่า Case B1 จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือมากกว่าแบบระดับน้ำ

กระแสน้ำตามฤดูกาลในอ่าวไทยตอนเหนือจากแบบจำลอง Case B2 พบว่ากระแสน้ำใกล้ผิวน้ำและกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของลม โดยพบว่ากระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไหลไปทางทิศตะวันออก และไหลแบบตามเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันตกและไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ส่วนช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 กระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก และไหลแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณอ่าวไทยตอนบน และช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 กระแสน้ำมีลักษณะเบาและไหลไปทางทิศตะวันตก และไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

56910045: MAJOR: AQUATIC SCIENCE; M.Sc. (AQUATIC SCIENCE)

KEYWORDS: WATER CIRCULATION/ OPEN BOUNDARY CONDITION/ NUMERICAL MODEL/ GULF OF THAILAND

SIRAPORN TONG-U-DOM: SIMULATIONS OF CIRCULATION IN THE NORTHERN GULF OF THAILAND BY USING A NUMERICAL MODEL UNDER DIFFERENT OPEN BOUNDARY CONDITIONS. ADVISORY COMMITTEE: ANUKUL BURANAPRATHEPRAT, Ph.D. 123 P. 2018.

The objective of this study is to compare the simulation performances of the Princeton Ocean Model (POM) in the Northern Gulf of Thailand (NGoT) to investigate suitable open boundary conditions (OBC) in simulating water circulations in this area. Water circulation in NGoT was simulated under two OBC including the elevation forcing condition (Case B1) and the current forcing condition (Case B2). Monthly mean wind, tide, river discharge, water temperature and salinity and bottom topography were used as major forcing in the simulations. The results show that water current was strong (100 cm/s) and did not change seasonally near open boundary. However circulation in the upper Gulf of Thailand (UGoT) was varied by the influence of seasonal wind with average current magnitude of about 10 – 20 cm/s. Case B2 generated weaker, but seasonally varied, current near the open boundary, compared with Case B1, and also wind seemed to control the residual circulation in UGoT with current magnitude of 10 – 20 cm/s. The model calibrations with measured tidal data showed better results of Case B2 than those of Case B1 in simulating water circulations in this area.

Seasonal variations in surface and bottom circulation in NGoT from Case B2 were changed by seasonal wind. Monthly depth averaged currents in the southwest monsoon was directed eastward in NGoT and a clockwise circulation (CW) was generated in UGoT. During the northeast monsoon, water circulation was directed westward in NGoT, while in UGoT a counter-clockwise circulation (CCW) was generated. A CCW and CW were generated in NGoT and UGoT respectively, during the 1st inter-monsoon period. In the 2nd inter-monsoon period, a weaker circulation was directed westward in NGoT and a CCW circulation was generated in UGoT.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ถ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ลักษณะของอ่าวไทยและพื้นที่ศึกษา.....	5
2.2 ลักษณะของกระแสน้ำและการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย.....	7
2.3 สมการพื้นฐาน.....	9
2.3.1 สมการการเคลื่อนที่.....	9
2.3.2 สมการการอนุรักษ์มวล.....	13
2.4 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ.....	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 การจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ.....	20
3.1.1 การจัดเตรียมแบบจำลอง.....	20
3.1.2 การเตรียมข้อมูลนำเข้า.....	20
3.1.3 การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.1.4 วิธีการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำ.....	23
3.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดของแบบจำลอง.....	23
3.2.1 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ.....	23
3.2.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ.....	23
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	25
3.3.1 การเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง.....	25
3.3.2 การตรวจวัดกระแสน้ำ.....	25
3.4 แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทย.....	26
4 ผลการวิจัย.....	28
4.1 ลมเฉลี่ยรายเดือน.....	28
4.2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน.....	31
4.3 กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกรายเดือน.....	32
4.3.1 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ.....	32
4.3.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ.....	42
4.3.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของกระแสน้ำ.....	52
4.3.4 การเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลง.....	56
4.3.5 การเปรียบเทียบกระแสน้ำ.....	61
4.4 การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาล.....	68
4.4.1 กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ.....	68
4.4.2 กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน.....	69
5 อภิปรายและสรุปผล.....	87
5.1 อภิปรายผล.....	87
5.1.1 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ.....	87
5.1.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ.....	88
5.1.3 การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาล.....	88
5.1.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	90

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.1.5 แบบจำลองการไหลเวียนกระแสความละเอียดต่ำ.....	90
5.2 สรุปผล.....	91
5.2.1 การเปรียบเทียบเงื่อนไขขอบเขตเปิด.....	91
5.2.2 แบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่มีความเหมาะสม.....	91
5.2.3 การไหลเวียนกระแสบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ.....	91
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	92
บรรณานุกรม.....	93
ภาคผนวก.....	95
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	123

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
3.1 องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง.....	25
4.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของเงื่อนไข ขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ.....	55
4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำ และความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยกำลังสองของทิศทางกระแสน้ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และ เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ.....	62
ข-1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของ แบบจำลองความ ละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ กระแสน้ำ.....	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	ขอบเขตพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ..... 4
2.1	ขอบเขตพื้นที่ของอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนเหนือ..... 6
2.2	ลมมรสุมในประเทศไทย..... 6
2.3	การไหลเวียนกระแสน้ำแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน..... 7
2.4	รูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลจีนใต้..... 8
2.5	การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน..... 8
2.6	ความดันที่กระทำต่อก้อนมวลน้ำในแนวแกน x..... 10
2.7	อิทธิพลของแรงโคริโอลิสตามความสูงของเส้นรุ้ง..... 12
2.8	ความเค็มเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับก้อนมวลน้ำ..... 13
2.9	การอนุรักษ์มวลของสสารในปริมาตรคงที่..... 14
2.10	การแบ่งชั้นน้ำในระบบพิกัดซิกมาในแบบจำลอง POM..... 15
2.11	แผนภาพกระบวนการทำงานของแบบจำลอง POM..... 16
3.1	ขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ..... 21
3.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำ..... 24
3.3	สถานีตรวจวัดระดับน้ำและกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ..... 25
3.4	ขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองอ่าวไทย..... 27
4.1	ลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน..... 29
4.2	ลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม..... 30
4.3	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน..... 31
4.4	การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนมกราคม..... 34
4.5	การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนกุมภาพันธ์..... 34
4.6	การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนมีนาคม..... 35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนเมษายน.....	35
4.8 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนพฤษภาคม.....	36
4.9 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนมิถุนายน.....	36
4.10 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนกรกฎาคม.....	37
4.11 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนสิงหาคม.....	37
4.12 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนกันยายน.....	38
4.13 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนตุลาคม.....	38
4.14 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนพฤศจิกายน.....	39
4.15 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในเดือนธันวาคม.....	39
4.16 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน.....	40
4.17 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม.....	41
4.18 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนมกราคม.....	44
4.19 การไหลเวียนกระแส น้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนกุมภาพันธ์.....	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนมีนาคม.....	45
4.21 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนเมษายน.....	45
4.22 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนพฤษภาคม.....	46
4.23 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนมิถุนายน.....	46
4.24 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนกรกฎาคม.....	47
4.25 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนสิงหาคม.....	47
4.26 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนกันยายน.....	48
4.27 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนตุลาคม.....	48
4.28 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนพฤศจิกายน.....	49
4.29 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในเดือนธันวาคม.....	49
4.30 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน.....	50
4.31 การไหลเวียนกระแสเลือดที่ตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม.....	51
4.32 ความแตกต่างของกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือน เมษายน.....	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.33 ความแตกต่างของกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม.....	54
4.34 ความแตกต่างของกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม.....	55
4.35 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับระดับน้ำจากการตรวจวัดที่สถานีเกาะหลักและสถานีท่าจีน.....	57
4.36 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับระดับน้ำจากการตรวจวัดที่สถานีอ่าวอุดมและสถานีระยอง.....	58
4.37 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับระดับน้ำจากการตรวจวัดที่สถานีแหลมงอบ.....	59
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับระดับน้ำจากการตรวจวัด.....	60
4.39 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำจากการตรวจวัดบริเวณหาดบางแสน.....	63
4.40 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำจากการตรวจวัดบริเวณหาดพลา.....	64
4.41 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำจากการตรวจวัดบริเวณบ้านเพ.....	65
4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณหาดบางแสน.....	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางกระแส น้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณหาดปลา.....	66
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางกระแส น้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ กับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณบ้านเพ.....	67
4.45 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนมกราคม.....	71
4.46 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนกุมภาพันธ์.....	72
4.47 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนมีนาคม.....	73
4.48 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนเมษายน.....	74
4.49 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนพฤษภาคม.....	75
4.50 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนมิถุนายน.....	76
4.51 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนกรกฎาคม.....	77
4.52 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนสิงหาคม.....	78
4.53 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนกันยายน.....	79
4.54 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเลในเดือนตุลาคม.....	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.55 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ในเดือนพฤศจิกายน.....	81
4.56 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ในเดือนธันวาคม.....	82
4.57 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม.....	83
4.58 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ตั้งแต่เดือนเมษายน – เดือนมิถุนายน.....	84
4.59 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนกันยายน.....	85
4.60 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล และใกล้พื้นทะเล ตั้งแต่เดือนตุลาคม – เดือนธันวาคม.....	86
ก-1 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนมกราคม.....	97
ก-2 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนกุมภาพันธ์.....	97
ก-3 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนมีนาคม.....	98
ก-4 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนเมษายน.....	98
ก-5 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนพฤษภาคม.....	99
ก-6 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนมิถุนายน.....	99
ก-7 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนกรกฎาคม.....	100
ก-8 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนสิงหาคม.....	100
ก-9 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนกันยายน.....	101
ก-10 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนตุลาคม.....	101
ก-11 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนพฤศจิกายน.....	102
ก-12 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนธันวาคม.....	102
ข-1 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมกราคม.....	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-15 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมีนาคม.....	111
ข-16 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนเมษายน.....	111
ข-17 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤษภาคม.....	112
ข-18 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมิถุนายน.....	112
ข-19 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกรกฎาคม.....	113
ข-20 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนสิงหาคม.....	113
ข-21 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกันยายน.....	114
ข-22 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนตุลาคม.....	114
ข-23 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤศจิกายน.....	115
ข-24 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนธันวาคม.....	115
ข-25 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนเมษายน.....	116
ข-26 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม.....	117
ข-27 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด ตั้งแต่เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม.....	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-28 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด แบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำกับระดับน้ำจากการตรวจวัด ที่สถานีเกาะหลักและสถานีท่าจีน.....	119
ข-29 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด แบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำกับระดับน้ำจากการตรวจวัด ที่สถานีอ่าวอุดมและสถานีระยอง.....	120
ข-30 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิด แบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำกับระดับน้ำจากการตรวจวัด ที่สถานีแหลมงอบ.....	121

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
a	ความเร่ง
BC	ขอบเขตเปิด
$B - 1$	กริดที่อยู่ถัดจากขอบเขตเปิดเข้าไปในแบบจำลอง 1 ช่อง
$B1$	เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบที่ 1 (ระดับน้ำขึ้นน้ำลง)
$B2$	เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบที่ 2 (กระแสน้ำ)
d_i	ระยะจากจุดที่ต้องการทราบค่ากับจุดที่ทราบค่า
F	แรงที่มากกระทำต่อวัตถุ
F_s	แรงเสียดทาน
f	แรงโคริโอลิส
G	ค่าคงที่ความโน้มถ่วงสากล
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
H	ความลึกของน้ำ
M_E	มวลของโลก
m	มวลของวัตถุ
∇P	การเปลี่ยนแปลงความดัน
p	ความดัน
r	รัศมี
t	เวลา
$\overline{\Delta U}$	ความแตกต่างของความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือน
\bar{U}	ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก
\vec{U}	ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนในแนวแกน x
u	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x
V	อัตราเร็ว
\vec{V}	ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนในแนวแกน y
v	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y
w	ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน z

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
x	พิกัดในแนวตะวันออก - ตะวันตก
y	พิกัดในแนวเหนือ - ใต้
z	พิกัดในแนวตั้ง
ρ	ความหนาแน่น
σ	ชั้นซิกมา
τ	ความเค้นเฉือน
θ	ละติจูด
ω	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของโลก
η	ความสูงน้ำ
ζ	ค่าของพารามิเตอร์ในจุดที่ต้องการประมาณค่า
ζ_0	ค่าของพารามิเตอร์ในจุดที่ทราบค่า
Ω	ความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ของโลก

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อ่าวไทย (The Gulf of Thailand) เป็นส่วนหนึ่งของทะเลจีนใต้ (The South China Sea) ทางด้านตะวันตก มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด (Semi-enclosed bay) ถูกล้อมรอบด้วยแผ่นดิน ประกอบด้วยประเทศมาเลเซีย ไทย กัมพูชา และเวียดนาม มีด้านเปิดหนึ่งด้านเชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้ทางตะวันออกเฉียงใต้ของอ่าว (Sojisuporn, Morimoto, & Yanagi, 2010) อ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนบน (The Upper Gulf of Thailand) และบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (The Eastern Gulf of Thailand) เนื่องจากเป็นแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติทางทะเลที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง จึงมีการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น กิจกรรมการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กิจกรรมการท่องเที่ยว และกิจกรรมการคมนาคมขนส่ง นอกจากนี้ยังมีท่าเรือต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญของประเทศนั้นคือ ท่าเรือแหลมฉบัง และท่าเรือมาบตาพุด ที่ถูกพัฒนาขึ้นตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทย (Eastern seaboard) โดยกิจกรรมเหล่านี้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยของเสียลงสู่ทะเล ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเลและระบบนิเวศชายฝั่ง การไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของมวลสารต่าง ๆ ที่อยู่ในทะเล ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อม การจัดการพื้นที่บริเวณอ่าวไทย และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาทรัพยากรทางทะเลต่อไป

การศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical model) โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือประมวลผลเป็นการศึกษาที่สะดวกและไม่สิ้นเปลืองงบประมาณมากนักเมื่อเทียบกับการตรวจวัดในพื้นที่จริง นอกจากนี้การใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขยังสามารถทำการศึกษาได้ในบริเวณกว้างและได้ข้อมูลครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ตัวอย่างของการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนบนโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข เช่น Yanagi and Takao (1998) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของการไหลเวียนกระแสน้ำแบบ 3 มิติในบริเวณอ่าวไทย Buranapratheprat, Yanagi, and Sawangwong (2002) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของการไหลเวียนกระแสน้ำและการแพร่กระจายของความเค็มในบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ และ Buranapratheprat, Niemann,

Yanagi, Matsumura, and Sojisuporn (2009) ได้ทำการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ เป็นต้น แต่เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเปิด (Open boundary condition) ในแบบจำลองมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละการศึกษา จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่มีความเหมาะสม ซึ่งให้ผลการคำนวณที่มีความถูกต้องมากที่สุดสำหรับการนำไปใช้ศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข

เงื่อนไขขอบเขตเปิดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) 3 มิติ เป็นการกำหนดการนำเข้าข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการนำเข้าข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงโดยตรง หรือการแปลงข้อมูลก่อนนำเข้าโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่ดีควรทำให้การไหลเวียนกระแสน้ำในแบบจำลองเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระ ไม่มีการสะท้อนกลับของกระแสน้ำที่อยู่ภายในแบบจำลอง และทำให้แบบจำลองมีความเสถียรในการคำนวณกระแสน้ำ การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ ตามเงื่อนไขของขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน 2 แบบ เพื่อหาเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่มีความเหมาะสมในการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ (ภาพที่ 1.1) และทำการศึกษการไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลในบริเวณดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำของแบบจำลองเชิงตัวเลขในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน 2 แบบ
2. เพื่อหาเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่มีความเหมาะสมในการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ
3. เพื่อศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือในรอบปี

สมมุติฐานของการวิจัย

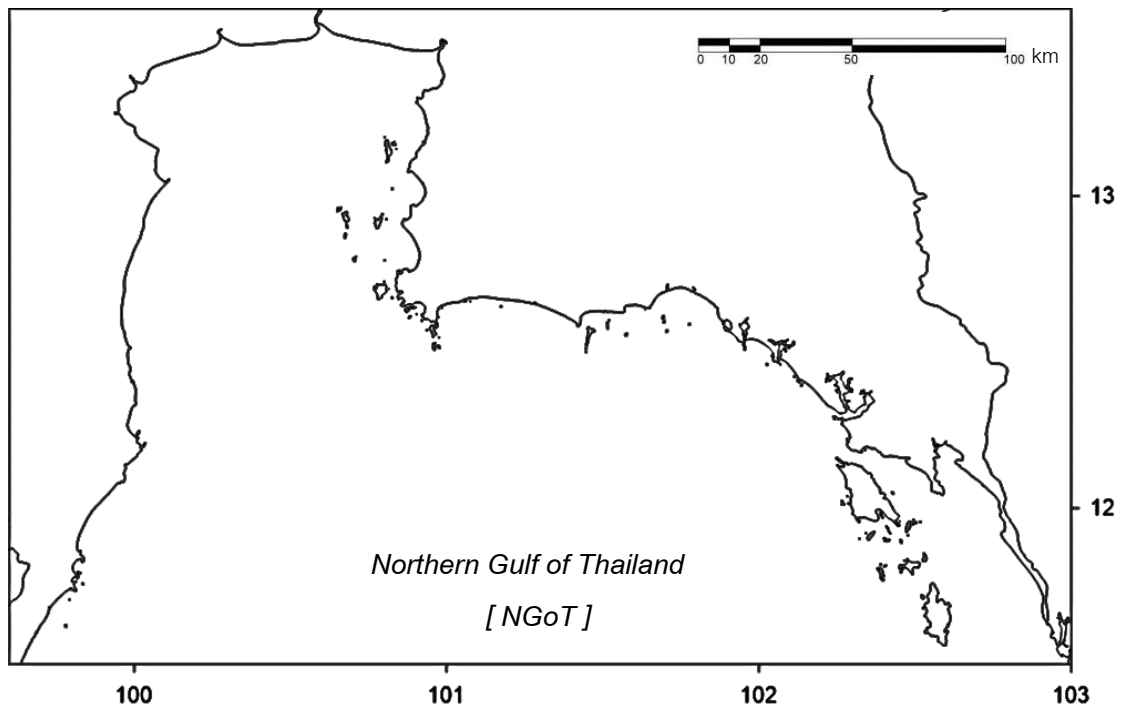
1. การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือมีความแตกต่างกันตามเงื่อนไขของขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน
2. การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่ทำให้การจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือใกล้เคียงกับการไหลเวียนกระแสน้ำจริงในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ
2. ทำให้ทราบถึงรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือในรอบปี
3. สามารถนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ และอ่าวไทยตอนบน

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ ภายในขอบเขตพิกัดระหว่างละติจูด 11.5 ถึง 13.5 องศาเหนือ และลองจิจูด 99.6 ถึง 103 องศาตะวันออก โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ จำลองการไหลเวียนกระแสน้ำตามแนวราบและแนวตั้งร่วมกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำ ได้แก่ ลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า ลักษณะพื้นท้องทะเล และความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเล ตามเงื่อนไขของขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน 2 แบบ



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

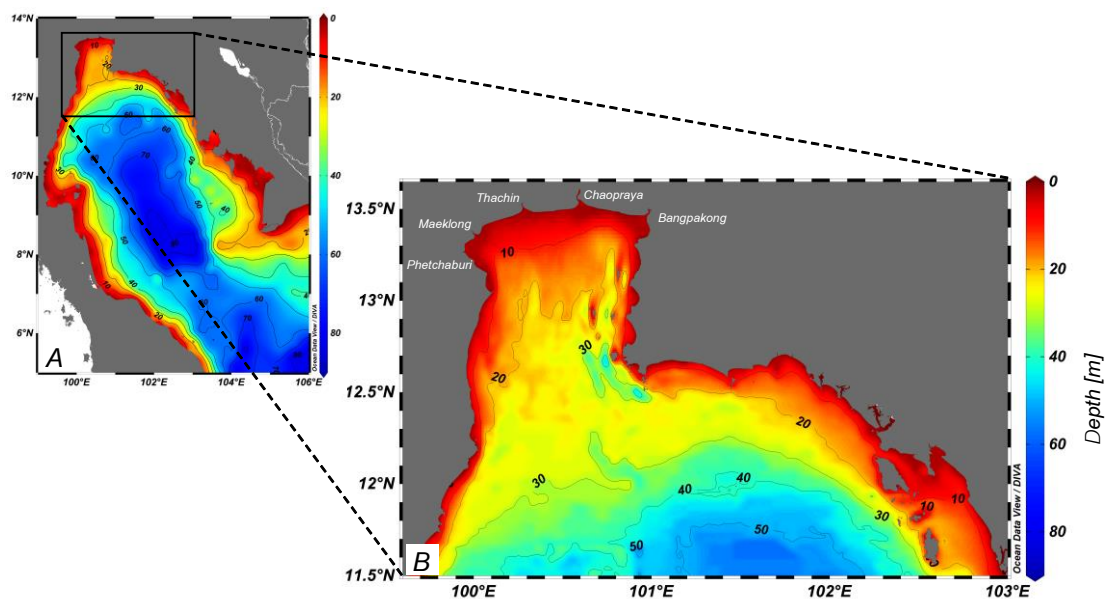
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

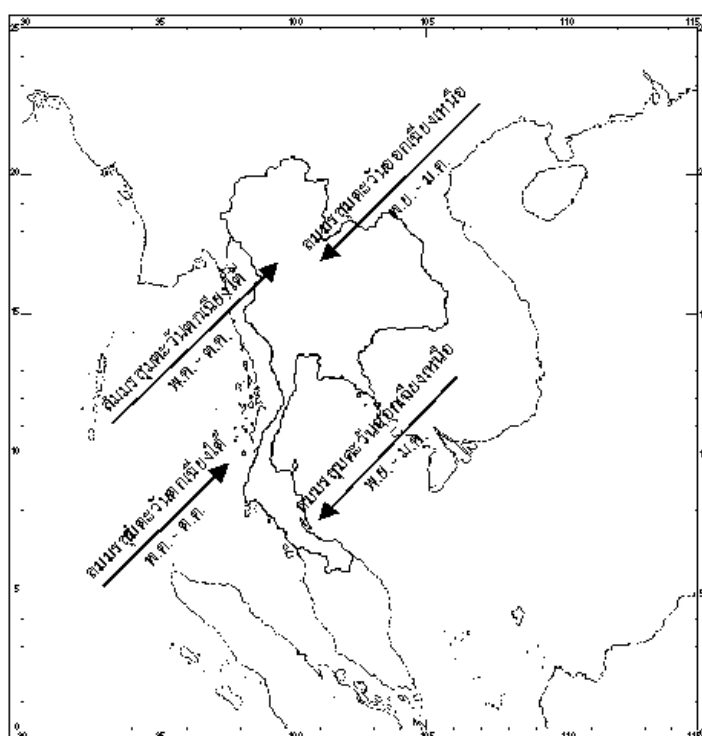
บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงลักษณะของอ่าวไทยและพื้นที่ศึกษาในทางกายภาพ รวมทั้งสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป ลักษณะของกระแสน้ำ การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทย สมการพื้นฐานและแรงต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเล รวมถึงแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทย

2.1 ลักษณะของอ่าวไทยและพื้นที่ศึกษา

อ่าวไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 6 ถึง 14 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 99 ถึง 105 องศาตะวันออก อ่าวไทยเป็นเขตทะเลไหล่ทวีป (Continental shelf) ที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ โดยความลึกเฉลี่ยประมาณ 45 เมตรและมีความลึกสูงสุดประมาณ 80 เมตรอยู่บริเวณก้นอ่าวด้านใต้ อ่าวไทยถูกล้อมรอบด้วยแผ่นดิน 3 ด้านคือ ด้านเหนือ ด้านตะวันออก และด้านตะวันตก โดยมีด้านเปิดเชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้บริเวณปากอ่าวด้านใต้ (ภาพที่ 2.1A) ซึ่งทำให้อ่าวไทยมีการแลกเปลี่ยนมวลน้ำและความเค็มกับทะเลจีนใต้ได้ในทุกฤดูกาล อ่าวไทยได้รับอิทธิพลหลักจากลมมรสุม 2 ช่วงคือ ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาว (พฤศจิกายน – มกราคม) โดยลมพัดเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้ามาปกคลุมในประเทศไทย ทำให้อ่าวไทยมีอากาศเย็นและแห้ง และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ลมพัดเอาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามา ทำให้อ่าวไทยมีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป (กรมอุตุฯ, ม.ป.ป.) (ภาพที่ 2.2) นอกจากนี้อ่าวไทยยังได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลลงสู่อ่าวไทยทางด้านเหนือ 5 สายได้แก่ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำเพชรบุรี ทำให้ความเค็มในอ่าวไทยมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนบน ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ (The Northern Gulf of Thailand) ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของอ่าวไทย โดยครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนบนและอ่าวไทยตอนกลางฝั่งตะวันออก ตั้งแต่ละติจูดที่ 11.5 ถึง 13.5 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 99.5 ถึง 103 องศาตะวันออก มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 25 เมตร (ภาพที่ 2.1B)



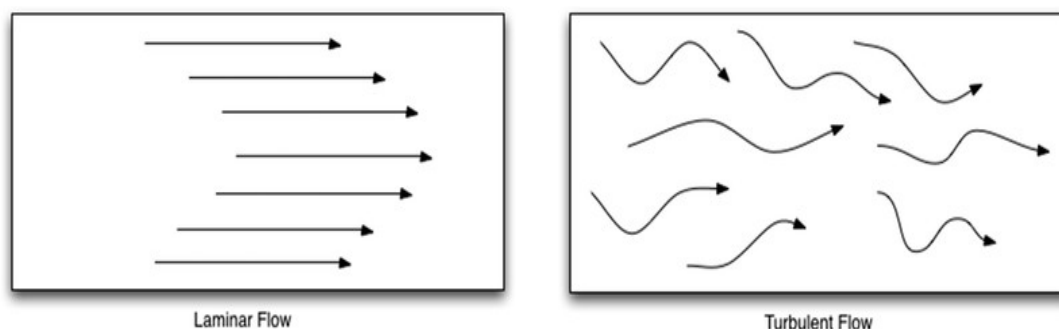
ภาพที่ 2.1 ขอบเขตพื้นที่ของอ่าวไทย (A) และอ่าวไทยตอนเหนือ (B) แถบสีแสดงถึงความลึกพื้นท้องทะเล (เมตร) (ที่มา: กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ)



ภาพที่ 2.2 ลมรฐมในประเทศไทย (กรมอุตุณยมวิทยา, ม.ป.ป.) (ที่มา: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>)

2.2 ลักษณะของกระแสน้ำและการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย

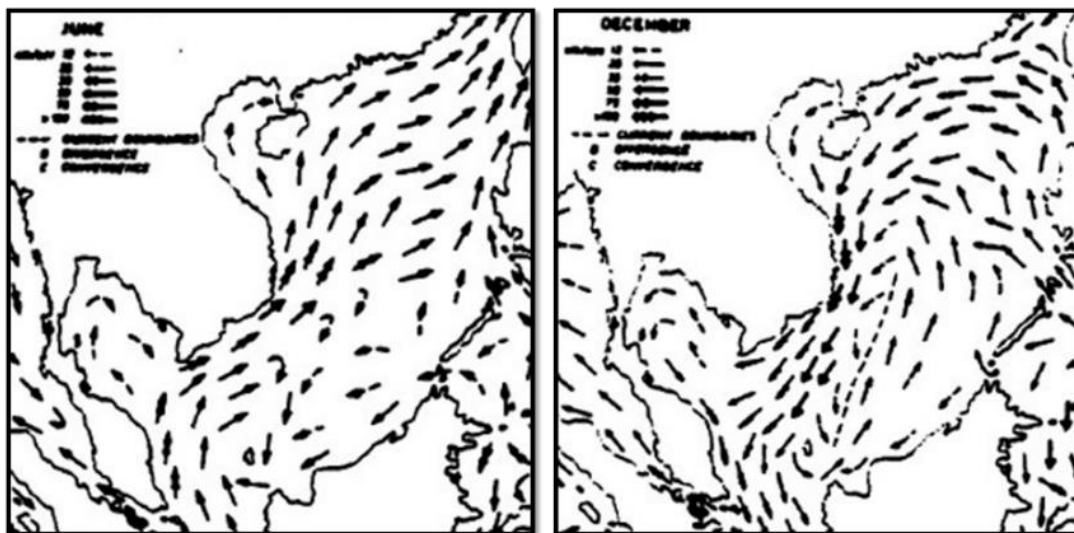
น้ำเป็นของไหลชนิดหนึ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีแรงมากกระทำ โดยการไหลของน้ำสามารถพบได้ 2 ลักษณะคือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flows) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flows) (Nakayama, 1998) การไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลของน้ำในลักษณะที่มีทิศไปในทางเดียวกันทั้งหมด พบได้ในบริเวณที่น้ำมีความลึกน้อยหรือมีช่องทางน้ำขนาดเล็กเช่น การไหลของน้ำบาดาล ส่วนการไหลแบบปั่นป่วน เป็นการไหลของน้ำที่มีทิศทางไม่แน่นอน และไม่สม่ำเสมอ พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำ และมหาสมุทร (ภาพที่ 2.3) โดยแรงที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเลได้แก่ ลม น้ำขึ้นน้ำลง ความแตกต่างของความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเล หรือความแตกต่างของแรงดันของน้ำทะเล และแรงโคริโอลิส ซึ่งการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลมี 2 ประเภทคือ กระแสน้ำบริเวณพื้นผิว (Surface currents) ที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างลมกับผิวน้ำน้ำทะเลเป็นหลัก และกระแสน้ำลึก (Deep currents) เกิดจากความแตกต่างของความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นหลัก



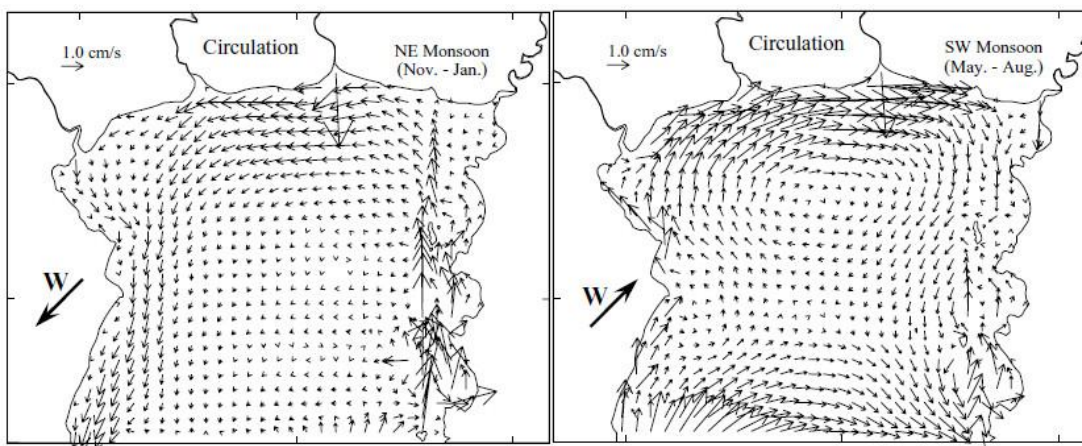
ภาพที่ 2.3 การไหลเวียนกระแสน้ำแบบราบเรียบ (ซ้าย) และแบบปั่นป่วน (ขวา) (Kant & Burns, 2015)

จากการศึกษาที่ผ่านมาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมเป็นหลัก โดยเฉพาะลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากการศึกษาของ Wyrcki (1961) ในการสำรวจบริเวณทะเลจีนใต้และอ่าวไทย พบว่าการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยมีรูปแบบการไหลตามเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) และไหลในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) (ภาพที่ 2.4) ส่วนการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่ามีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตาม

ฤดูกาลเช่นเดียวกัน นั่นคือกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และไหลตรงข้ามในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Buranapratheprat, 2008) (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.4 รูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลจีนใต้ในช่วงฤดูร้อน (ซ้าย) และฤดูหนาว (ขวา) (Wyrтки, 1961)



ภาพที่ 2.5 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา) (Buranapratheprat, 2008)

2.3 สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานหรือสมการควบคุม (Governing equations) ในการศึกษาการไหลเวียน กระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ประกอบด้วยสมการการเคลื่อนที่ (Equations of motion) และสมการการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

2.3.1 สมการการเคลื่อนที่ (Equations of motion)

สมการการเคลื่อนที่หรือกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's second law) หรือเรียกอีกอย่างว่าสมการโมเมนตัม เป็นสมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวล แรง และความเร่ง กล่าวคือ เมื่อมีแรงที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศทางเดียวกันกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ ซึ่งขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ดังสมการที่ 2.1

$$F = ma \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้มวลมีค่าคงที่

$$\frac{DV}{Dt} = \frac{F}{m} \quad (2.2)$$

นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร่ง จะแปรผันโดยตรงกับแรงที่มากระทำต่อก้อนมวลน้ำ โดยแรงที่มากระทำต่อการเคลื่อนที่ของมวลน้ำได้แก่ ความแตกต่างของความดัน แรงโคริโอลิส แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงเสียดทาน

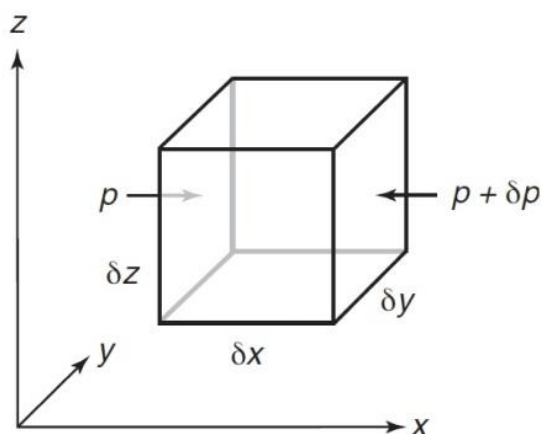
2.3.1.1 ความเร่ง (Acceleration: a) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสสารเชิงเวลาหนึ่ง ๆ ในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์และมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที² สามารถเขียนได้ในรูปแบบของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็น

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.3)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2.4)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.5)$$

2.3.1.2 ความแตกต่างของความดัน (Pressure gradient: P) เกิดจากความสูงของระดับน้ำทะเล โดยความดันที่มากกว่าจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาแรงดันที่กระทำต่อปริมาตรน้ำในแนวแกน x (ภาพที่ 2.6) จะได้ผลต่างของความดันดังสมการ



ภาพที่ 2.6 ความดันที่กระทำต่อก้อนมวลน้ำในแนวแกน x (Stewart, 2008)

$$\Delta F_x = p\Delta y\Delta z - (p + \Delta p)\Delta y\Delta z \quad (2.6)$$

$$\Delta F_x = (-\Delta p)\Delta y\Delta z \quad (2.7)$$

โดยที่

$$\Delta p = \frac{\partial p}{\partial x} \Delta x \quad (2.8)$$

เมื่อแทนที่สมการที่ (2.7) ด้วยสมการ (2.8) จะเขียนสมการได้เป็น

$$\Delta F_x = -\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \Delta x\Delta y\Delta z \quad (2.9)$$

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตันสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดันในรูปแบบของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็น

$$\frac{Du}{Dt} = -\left(\frac{1}{\rho}\right) \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.10)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\left(\frac{1}{\rho}\right) \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2.11)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = -\left(\frac{1}{\rho}\right) \frac{\partial p}{\partial z} \quad (2.12)$$

2.3.1.3 แรงโคริโอลิส (Coriolis force) เป็นแรงที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก เกิดเมื่อวัตถุบนผิวโลกมีการเคลื่อนที่ในแนวราบ โดยแรงโคริโอลิสจะทำให้วัตถุมีการเลี้ยวเบนออกจากทิศทางการเคลื่อนที่เดิม นั่นคือวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่บนซีกโลกเหนือจะเบนไปทางขวาของทิศทางการเคลื่อนที่ และเบนไปทางซ้ายของทิศทางการเคลื่อนที่ในซีกโลกใต้ โดยแรงโคริโอลิสขึ้นกับความเร็วเชิงเส้นของโลกที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นรุ้ง (Latitude) กล่าวคือที่ศูนย์สูตรแรงโคริโอลิสมีค่าเท่ากับศูนย์ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่บนเส้นรุ้งที่สูงขึ้นไป (ภาพที่ 2.7)

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

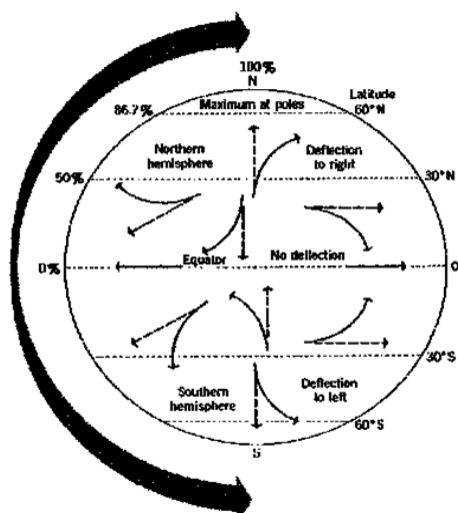
สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็น

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

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

2.3.1.4 แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) คือแรงดึงดูดระหว่างมวล เกิดจากการที่วัตถุทุกชนิดมีแรงดึงดูดอยู่ในตัวเองและกระทำต่อกัน โดยแรงดึงดูดจะแปรผันโดยตรงกับมวลของวัตถุ และแปรผกผันกับระยะทางระหว่างมวลยกกำลังสอง เมื่อพิจารณาขนาดของแรงโน้มถ่วงร่วมกับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลกสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\mathbf{g} = \frac{(G \times M_E)}{r^2} - (m\omega^2 r) \quad (2.16)$$



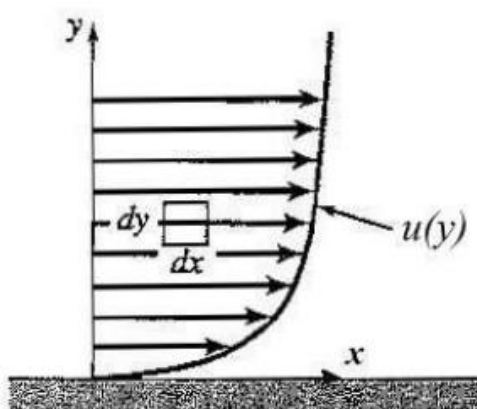
ภาพที่ 2.7 อิทธิพลของแรงโคริโอลิสตามความสูงของเส้นรุ้งในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้
(Strahler & Strahler, 1987)

2.3.1.5 แรงเสียดทาน (Friction force) คือแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัตถุกับพื้นที่ผิวสัมผัส โดยมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับการเคลื่อนที่ของน้ำ จะพิจารณาในรูปของแรงเฉือน (Shear force) ที่เกิดขึ้นกับก้อนของมวลน้ำ (Water parcel) ซึ่งมาจากแรงเสียดทานภายในก้อนมวลน้ำที่เรียกว่า ความหนืด (Viscosity) แรงเฉือนคือแรงที่กระทำในผิวสัมผัสของวัตถุ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเชิงมุม (Angular deformation) โดยแรงเฉือนที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ผิว เรียกว่า ความเค้นเฉือน (Shear stress) (Smits, 2018) (ภาพที่ 2.8) ซึ่งของไหลที่บีบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) เช่น น้ำ สามารถเขียนเทอมของแรงเสียดทานตามระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้ดังสมการ

$$F_{sx} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.17)$$

$$F_{sy} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2.18)$$

$$F_{sz} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.19)$$



ภาพที่ 2.8 ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นกับก้อนมวลน้ำ (Smits, 2018)

2.3.2 สมการการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

กฎการอนุรักษ์มวลหรือเรียกอีกอย่างว่าสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) เป็นการพิจารณาเชิงปริมาณของมวลสาร นั่นคือผลรวมของมวลสารทั้งหมดภายในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงต้องมีค่าคงตัว ไม่มีการสูญหายหรือเกิดขึ้นใหม่ (ภาพที่ 2.9) ดังสมการ

$$M_i = \rho u \Delta y \Delta z \quad (2.20)$$

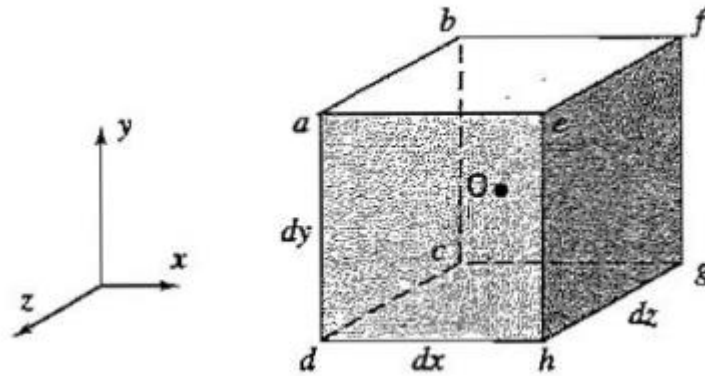
$$M_o = (\rho + \Delta \rho)(u + \Delta u) \Delta y \Delta z \quad (2.21)$$

เมื่อพิจารณาที่ฟลักซ์มวล (Mass flux, M_F) ซึ่งเคลื่อนที่เข้าสู่ปริมาตรคงที่หนึ่ง ต้องเท่ากับมวลสารที่ไหลออก (M_i) ลบด้วยมวลสารที่ไหลเข้าในปริมาตร (M_o) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบพีทาคาร์ที่เขียนได้เป็น

$$M_F = \left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.22)$$

เมื่อนำมาใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ อาจกล่าวได้ว่าน้ำเป็นของไหลที่สามารถบีบอัดได้น้อยมาก จนถือได้ว่าไม่สามารถบีบอัดได้ ซึ่งมีความหนาแน่นคงที่ และสามารถเขียนสมการความต่อเนื่องได้ดังสมการที่ 2.23

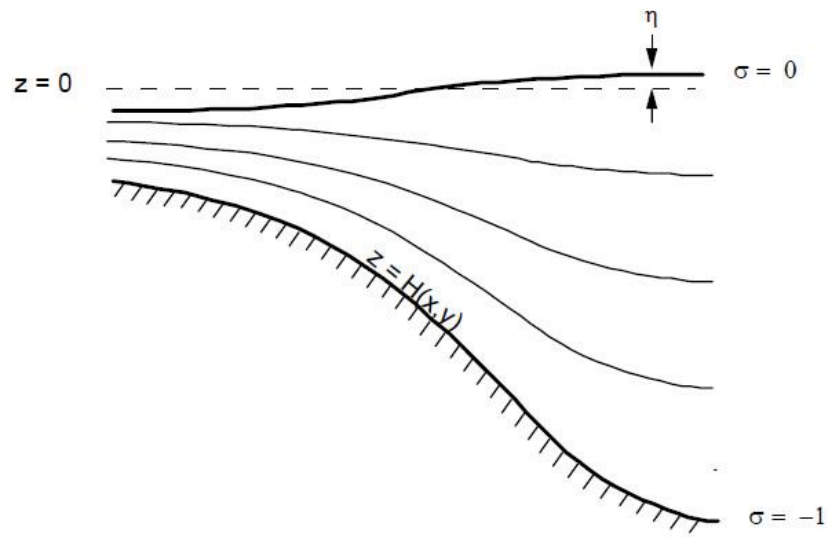
$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) = 0 \quad (2.23)$$



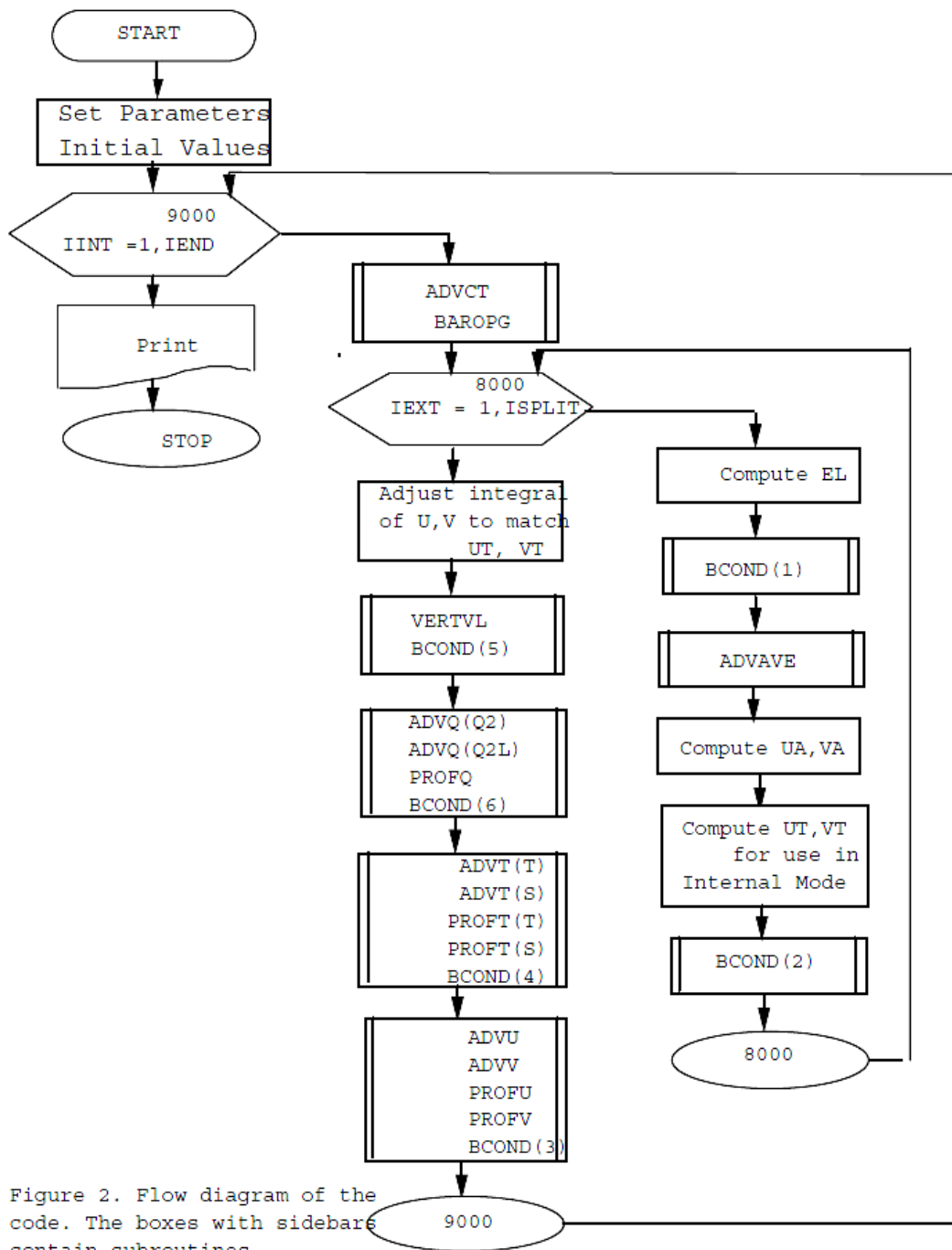
ภาพที่ 2.9 การอนุรักษ์มวลของสสารในปริมาตรคงที่ (Smits, 2018)

2.4 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ

แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีชื่อว่า Princeton Ocean Model (POM) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Blumberg and Mellor (1978) บนพื้นฐานของสมการการเคลื่อนที่และสมการการอนุรักษ์มวล แบบจำลอง POM เป็นแบบจำลอง 3 มิติ (Three dimensional model) ที่มีเทคนิคการแบ่งกริด (Grid) ในการคำนวณในแนวราบเป็นแบบ Finite difference และกริดในแนวตั้งเป็นแบบ Sigma coordinate system (ภาพที่ 2.10) ซึ่งเป็นการแบ่งมวลน้ำในแนวตั้งออกเป็นชั้น ๆ ตามความลึกเรียกว่า ชั้นซิกมา (Sigma layers) ทำให้การจำลองลักษณะพื้นท้องทะเลมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง (Realistic bottom topography) สามารถจำลองรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงทั้งในทะเลเปิด และบริเวณชายฝั่ง นอกจากนี้สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณกระแสน้ำแล้ว POM มีการเพิ่มการคำนวณความปั่นป่วนของน้ำ (Turbulence closure sub-model) เพื่อคำนวณการผสมผสานของมวลน้ำในแนวตั้ง เนื่องจากมีความสำคัญต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในทะเลที่ได้รับอิทธิพลจากลม น้ำขึ้นน้ำลง และความหนาแน่นของน้ำทะเลเป็นหลัก



ภาพที่ 2.10 การแบ่งชั้นน้ำในระบบพิกัดซิกมา (The sigma coordinate system) ในแบบจำลอง POM (Mellor, 1998)



ภาพที่ 2.11 แผนภาพกระบวนการทำงานของแบบจำลอง POM ที่มีทั้งการคำนวณแบบ 2 มิติ และ การคำนวณแบบ 3 มิติ (Mellor, 1998)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wyrski (1961) โดยการสำรวจทรัพยากรทางทะเลและสมุทรศาสตร์ในบริเวณทะเลจีนใต้ และอ่าวไทยภายใต้โครงการ Naga expedition ในปี 1959 - 1961 ผลจากการสำรวจพบว่ารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณทะเลจีนใต้และอ่าวไทย ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมเป็นหลัก โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือฤดูร้อน (พฤษภาคม – กันยายน) การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาว (ตุลาคม – มกราคม) กระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกา

Yanagi and Takao (1998) ได้ทำการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลในอ่าวไทย โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติร่วมกับข้อมูลความเค็ม อุณหภูมิของน้ำทะเล และข้อมูลลมที่ได้จากการสำรวจภายใต้โครงการ NAGA Expedition ตั้งแต่เดือนตุลาคม 1959 – เดือนสิงหาคม 1960 ผลจากการศึกษาพบว่าลมเป็นปัจจัยหลักในการไหลเวียนกระแสน้ำ โดยพบการไหลเวียนกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณกลางอ่าว และการไหลเวียนกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณปากอ่าวทั้งในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนตุลาคม 1959 และเดือนธันวาคม 1959 – เดือนมกราคม 1960) และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมีนาคม – เมษายน 1960 และเดือนมิถุนายน – สิงหาคม 1960)

Ascharyaphotha et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM ร่วมกับปัจจัยหลัก ได้แก่ ลม อุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเล และได้ทำการทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำ ผลการศึกษาพบว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (มกราคม) กระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวด้วยอัตราเร็วสูงกว่าบริเวณอื่น (0.30 m/s) ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรกฎาคม) กระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณกลางอ่าวด้วยอัตราเร็วสูงสุดประมาณ 0.27 m/s ส่วนในเดือนเมษายนและตุลาคมกระแสน้ำมีลักษณะเบากว่าช่วงเวลาอื่น เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมที่ลมมีลักษณะเบา โดยในเดือนเมษายนการไหลเวียนกระแสน้ำคล้ายคลึงกับเดือนมกราคม แต่มีอัตราเร็วน้อยกว่า ส่วนเดือนตุลาคมกระแสน้ำมีรูปแบบไม่แน่นอน ผลจากการทดสอบปัจจัยสามารถสรุปได้ว่า ลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้กระแสน้ำมีลักษณะแรงและเบาในฤดูกาลต่าง ๆ ส่วนอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทย

Buranapratheprat (2008) ได้รายงานการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยการทบทวนงานวิจัยจากการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำ 3 ประเภทคือ (1) การตรวจวัดโดยตรงในภาคสนาม (2) การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ (3) การใช้เทคนิครีโมทเซนซิง พบว่าการศึกษาทั้ง 3 แบบให้ผลสอดคล้องกันคือ ลมมรสุมเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการไหลเวียนกระแสน้ำสุทธิตริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน – มกราคม) กระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวไทยตอนบน และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – สิงหาคม) กระแสน้ำไหลได้ทั้งแบบทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา ซึ่งยังไม่ทราบปัจจัยที่แน่นอน แต่โดยทั่วไปพบกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกา

Buranapratheprat et al. (2009) ศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 3 มิติ POM ร่วมกับข้อมูลลม ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง ข้อมูลน้ำท่า และข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลจากข้อมูลตรวจวัดในการคำนวณในแบบจำลอง ผลจากการศึกษาพบว่ากระแสน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลซึ่งสอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลม โดยในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกา และในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งผลจากการศึกษามีความสอดคล้องกับข้อมูลกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง

ปริญญา หล่อพิทยากร และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยภายใต้สภาวะเอนโซ โดยจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM ร่วมกับข้อมูลลม ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลในปีภาวะเอลนีโญ ลานินญ่า และปีภาวะปกติ ผลจากการศึกษาพบว่ากระแสน้ำจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับกระแสน้ำตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์ 50 – 60% จากนั้นนำกระแสน้ำจากแบบจำลองมาทำการศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย โดยพบว่าลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทย ในปีภาวะเอลนีโญและลานินญ่ารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำคล้ายคลึงกับปีภาวะปกติ แต่กระแสน้ำมีความแรงมากกว่า ในเดือนเมษายนกระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาและไหลออกจากอ่าว เดือนสิงหาคมกระแสน้ำไหลออกจากอ่าวทางด้านตะวันตก และไหลเข้าอ่าวทางด้านตะวันออก ในเดือนตุลาคมกระแสน้ำเริ่มมีการเปลี่ยนทิศทาง และเดือนมกราคมกระแสน้ำไหลจากด้านตะวันออกของอ่าวและไหลเลียบขึ้นไปตามชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทย

จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนบนมีทั้งความสอดคล้องและขัดแย้งกันเอง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของการกำหนดค่าเริ่มต้นและข้อมูลที่นำมาใช้ในแต่ละการศึกษา เช่น การศึกษาของ Yanagi and Takao (1998) มีความขัดแย้งกับผลจากการสำรวจของ Wyrski (1961) แต่มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Ascharyaphotha et al. (2008) นั่นคือ พบการไหลเวียนกระแสน้ำไม่ตรงกันในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และการศึกษาของ Buranapratheprat (2008) ที่ยังไม่สามารถสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ทุกการศึกษาที่ได้ทำการรวบรวมมาให้ผลสอดคล้องกันคือ ลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในบริเวณอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนบน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนบน เพื่อทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำ และหาเงื่อนไขขอบเขตเปิดของแบบจำลองที่มีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณดังกล่าว เพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

ทำการศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในแต่ละเดือน เป็นเวลา 12 เดือน ร่วมกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน 2 แบบ ด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM 3 มิติ

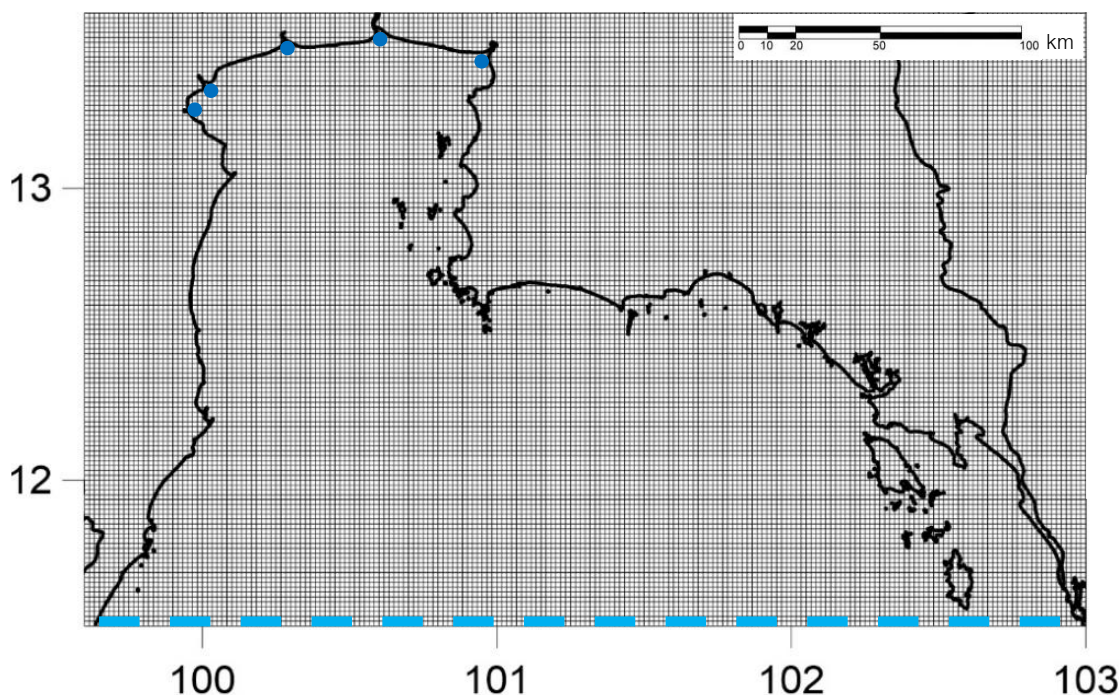
3.1.1 การจัดเตรียมแบบจำลอง

กำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ ภายใต้อ่าวเขตพิกัดระหว่างละติจูด 11.5 ถึง 13.5 องศาเหนือ และลองจิจูด 99.6 ถึง 103 องศาตะวันออก ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นกริด (Grid) สำหรับการคำนวณ โดยกำหนดให้แต่ละกริดมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ขนาดเท่ากับ 0.5 x 0.5 ลิปดา หรือประมาณ 926 ตารางเมตร (405 และ 247 ช่องคำนวณในแนวลองจิจูดและละติจูด ตามลำดับ) (ภาพที่ 3.1) และทำการกำหนดพื้นที่รอบชายฝั่งให้เป็นด้านปิด (Closed boundary) ซึ่งจะไม่ถูกนำมาคำนวณการไหลเวียนกระแสน้ำ ได้แก่ บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตก ด้านเหนือ ด้านตะวันออก และเกาะต่าง ๆ ที่อยู่ในทะเล สำหรับด้านใต้ถูกกำหนดให้เป็นด้านเปิดของแบบจำลอง เพื่อนำเข้าค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากทะเลภายนอกเข้าในการคำนวณการไหลเวียนกระแสน้ำ และสุดท้ายระบุตำแหน่งของแม่น้ำสายหลัก เพื่อใส่ค่า น้ำท่าจากแม่น้ำในแต่ละสายที่ไหลลงสู่ทะเล

3.1.2 การเตรียมข้อมูลนำเข้า

3.1.2.1 ความลึกพื้นท้องทะเล (Bathymetry) เป็นข้อมูลความลึกน้ำจากระดับน้ำทะเลปานกลางที่ได้จากการหยั่งน้ำ เผยแพร่โดย กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (The Royal Thai Navy, RTN) นำมาทำการประมาณค่า (Interpolation) ให้มีจุดพิกัดตรงกับจุดพิกัดของช่องคำนวณที่กำหนดไว้โดยใช้วิธีการ Gaussian ซึ่งค่าที่อยู่ใกล้จะมีอิทธิพลมากกว่าค่าที่อยู่ไกลออกไปจากจุดที่ต้องการประมาณค่า ดังสมการที่ 3.1

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \zeta_{oi})}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad \text{เมื่อ} \quad y_i = e^{-d_i^2/r^2} \quad (3.1)$$



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ เส้นประสีฟ้าแสดงถึงขอบเขตเปิด จุดสีน้ำเงินแสดงถึงแม่น้ำสายหลัก และช่องกริดในการคำนวณ (926 ตารางเมตร)

3.1.2.2 ข้อมูลลม (Wind) เป็นทิศทางและอัตราเร็วของลม แบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือนระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 – 2552 ความละเอียด 0.25 องศา ที่ได้จาก ข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT (<http://www.ssmi.com>) เพื่อใช้สำหรับการจำลองการไหลเวียน กระแสน้ำสุทธิ (Residual current) รายเดือน และข้อมูลลมเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง จากแบบจำลอง การคาดการณ์สภาพอากาศ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (<http://www.ecmwf.int/en/about>) ความละเอียด 0.125 x 0.125 องศา เพื่อใช้ในการ จำลองการไหลเวียนกระแสน้ำเฉียบพลัน (Instantaneous current) สำหรับการทวนสอบความ ถูกต้องของกระแสน้ำจากแบบจำลอง โดยข้อมูลลมถูกนำมาทำการประมาณค่าทิศทางและ อัตราเร็วของลมในแต่ละเดือนให้มีจุดพิกัดตรงกับช่องคำนวณที่กำหนดไว้โดยใช้ Gaussian method (สมการที่ 3.1) เช่นเดียวกับข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเล

3.1.2.3 ข้อมูลความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเล (Salinity and Temperature) ที่ได้จาก National Oceanographic Data Center (NODC); World Ocean Atlas 2013 (https://odv.awi.de/en/data/ocean/world_ocean_atlas_2013) เป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน ระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 – 2555 มีความละเอียด 0.25 x 0.25 องศา นำมาทำการประมาณค่า

ข้อมูลให้มีจุดพิกัดตรงกับจุดพิกัดของช่องคำนวณที่กำหนดไว้ และทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชั้นในแนวตั้งตามความลึกของพื้นที่ท้องทะเลโดยใช้ Gaussian method (สมการที่ 3.1) เช่นเดียวกัน

3.1.2.4 น้ำท่าจากแม่น้ำ (River discharge) เป็นข้อมูลปริมาณน้ำจืดเฉลี่ยรายเดือน ระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2552 จากกรมชลประทาน (Royal Irrigation Department) ที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบนผ่านแม่น้ำสายหลัก 5 สาย ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง

3.1.2.5 น้ำขึ้นน้ำลง (Tide) เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (Tidal elevation) ที่ได้จากแบบจำลองอ่าวไทย โดยการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยทั้งอ่าวด้วยวิธีการเดียวกัน จากนั้นทำการเก็บค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงในจุดที่ตรงกับขอบเขตเปิดของแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ 2 จุดคือ GoT-1 และ GoT-2 (ภาพที่ 3.4) โดยข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงจะถูกเก็บทุก ๆ 30 นาที ในช่วงเวลาเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ของแต่ละเดือน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของทั้ง 2 จุดมาทำการประมาณค่าแบบเส้นตรง (Linear interpolation) ให้ตรงกับช่องคำนวณที่บริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ

3.1.3 การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง

กำหนดให้ขอบเขตเริ่มต้นของแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำอยู่ในสภาวะน้ำนิ่ง (Steady state) กล่าวคือ การกำหนดไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและกระแสน้ำเริ่มต้นในแบบจำลองหรือให้มีค่าเป็นศูนย์ และให้มีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่บริเวณขอบเขตเปิดเพียงอย่างเดียว โดยค่าระดับน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตามขั้นเวลา (Time step) ของการคำนวณแบบ 2 มิติ (External mode) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ขั้นเวลาของการคำนวณแบบ 2 มิติ มีค่าเท่ากับ 5 วินาที ทำการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำตามจำนวนวันในแต่ละเดือน และเพิ่มการคำนวณอีก 20 วันในแต่ละเดือน โดยไม่มีการเก็บผลลัพธ์ในช่วงแรกของการคำนวณ เนื่องจากกระแสน้ำมีลักษณะแรงผิดปกติ เกิดจากช่วงแรกของการคำนวณแบบจำลองอยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียรและกำลังปรับตัวเพื่อให้เข้าสู่เสถียรภาพ โดยสังเกตได้จากการลู่เข้าของค่าเฉลี่ยกระแสน้ำภายในพื้นที่การคำนวณทั้งหมด เมื่อค่าเฉลี่ยกระแสน้ำภายในพื้นที่การคำนวณทั้งหมดมีค่าที่จึงทำการเก็บผลลัพธ์ในแต่ละเดือน และหาค่าเฉลี่ยของกระแสน้ำให้เป็นการไหลเวียนกระแสน้ำสุทธิตายเดือน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบบจำลองใช้เวลาประมาณ 20 วันในการปรับตัวเพื่อเข้าสู่เสถียรภาพ

3.1.4 วิธีการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำ

ทำการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในแต่ละเดือนร่วมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน 2 แบบ จากนั้นนำค่าความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกรายเดือน (Monthly Depth-averaged current) มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเงื่อนไขทั้ง 2 แบบ (สมการที่ 3.2) และทำการศึกษาผลจากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำของเงื่อนไขทั้ง 2 แบบ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำได้ดังภาพที่ 3.2

$$\Delta \vec{U} = \vec{U}_{B1} - \vec{U}_{B2} \quad \text{และ} \quad \Delta \vec{V} = \vec{V}_{B1} - \vec{V}_{B2} \quad (3.2)$$

3.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดของแบบจำลอง

บริเวณด้านใต้ของแบบจำลองถูกกำหนดให้เป็นขอบเขตเปิด ซึ่งเชื่อมกับทะเลภายนอก สำหรับใส่ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงในการคำนวณ โดยเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ถูกเสนอโดย Mellor (1998) ในแบบจำลอง POM แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

3.2.1 แบบระดับน้ำ (Tidal forcing condition)

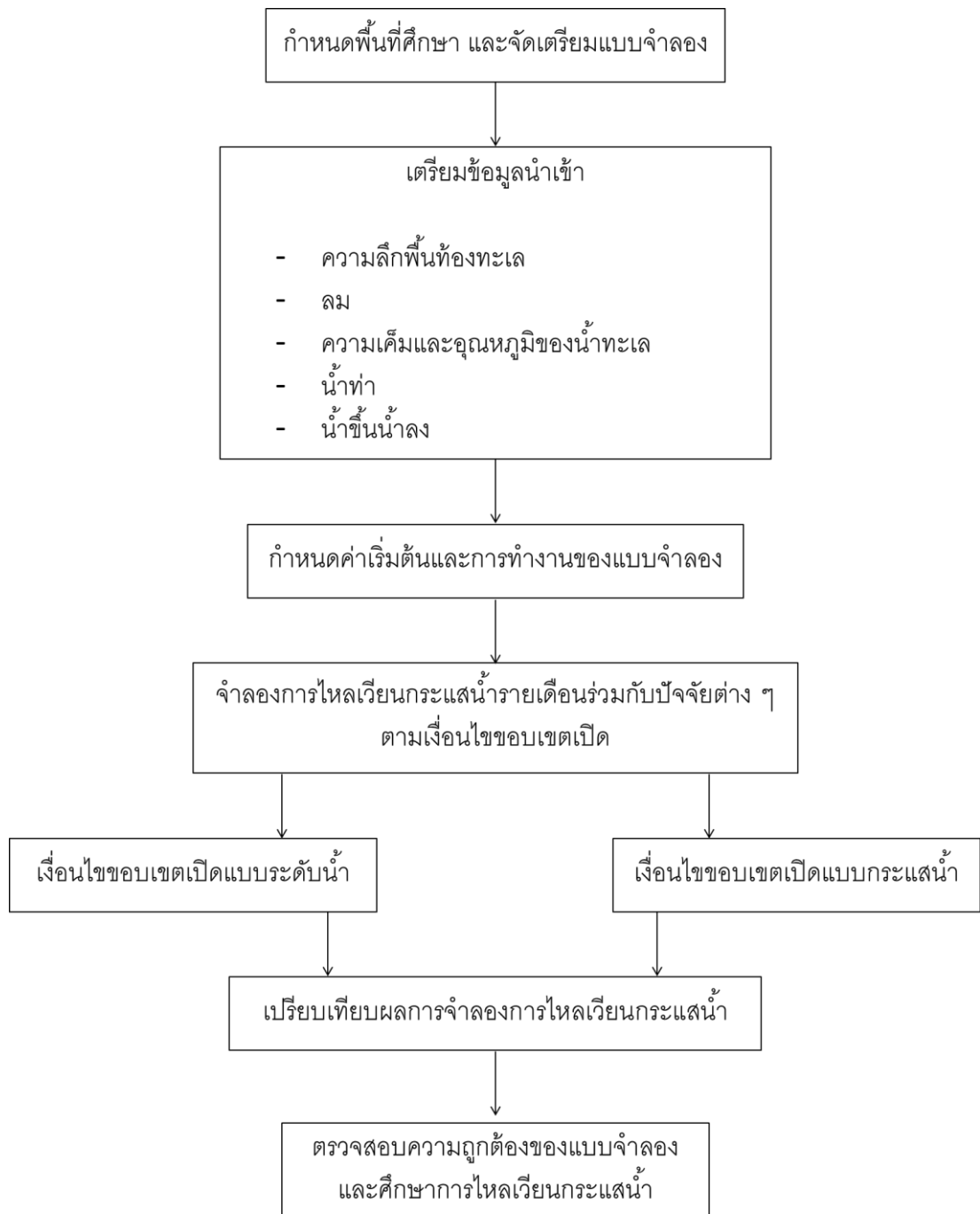
กำหนดให้ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงมีการอัปเดตที่บริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลองเป็นค่าความสูงของระดับน้ำ (สมการ 3.3) และนำไปใช้ในการคำนวณการไหลเวียนกระแสน้ำในแบบจำลองโดยตรง

$$BC = \eta \quad (3.3)$$

3.2.2 แบบกระแสน้ำ (Current forcing condition)

ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงที่มีการอัปเดตบริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลองถูกนำมาทำการแปลงค่าความสูงของระดับน้ำให้เป็นค่าความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้สมการที่ 3.4 ก่อนการนำเข้าเพื่อใช้ในการคำนวณกระแสน้ำในแบบจำลอง

$$H\bar{U}_{BC} = H\bar{U}_{B-1} \pm c_e \eta \quad \text{เมื่อ} \quad c_e = \sqrt{gH} \quad (3.4)$$



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

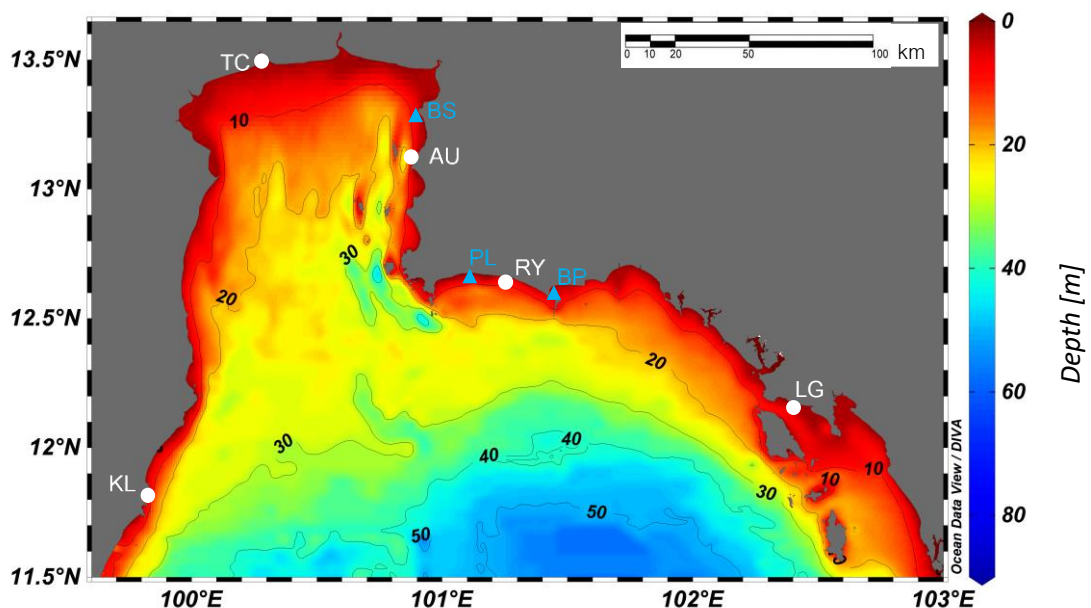
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

3.3.1 การเปรียบเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง

ทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 2 เปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะหลัก (KL) และกรมเจ้าท่าสถานีท่าจีน (TC) สถานีอ่าวอุดม (AU) สถานีระยอง (RY) และสถานีแหลมงอบ (LG) และทำการทวนสอบค่าทิศทางและขนาดของกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริงในบริเวณแหลมแท่น (BS) หาดปลา (PL) และบ้านเพ (BP) (ภาพที่ 3.3) โดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบ เพื่อพิจารณาความสอดคล้อง ความถูกต้อง และหาความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัด

3.3.2 การตรวจวัดกระแสน้ำ

ข้อมูลกระแสน้ำได้จากการตรวจวัด โดยตั้งค่าเครื่องให้บันทึกข้อมูลกระแสน้ำทุก 1 นาที และเฉลี่ยข้อมูลทุก 15 นาที ติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำให้อยู่กึ่งกลางน้ำเป็นเวลา 25 ชั่วโมงขึ้นไป ตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง กำหนดจุดตรวจวัดกระแสน้ำได้แก่ ชายหาดบางแสน บริเวณเกาะแสมสาร หาดปลา และบ้านเพ โดยเครื่องตรวจวัดกระแสน้ำที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้มีทั้งเครื่องวัดกระแสน้ำแบบใบพัด (Valeport model 105) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Infinity-EM AEM-USB 2-D electro-magnetic current meter)



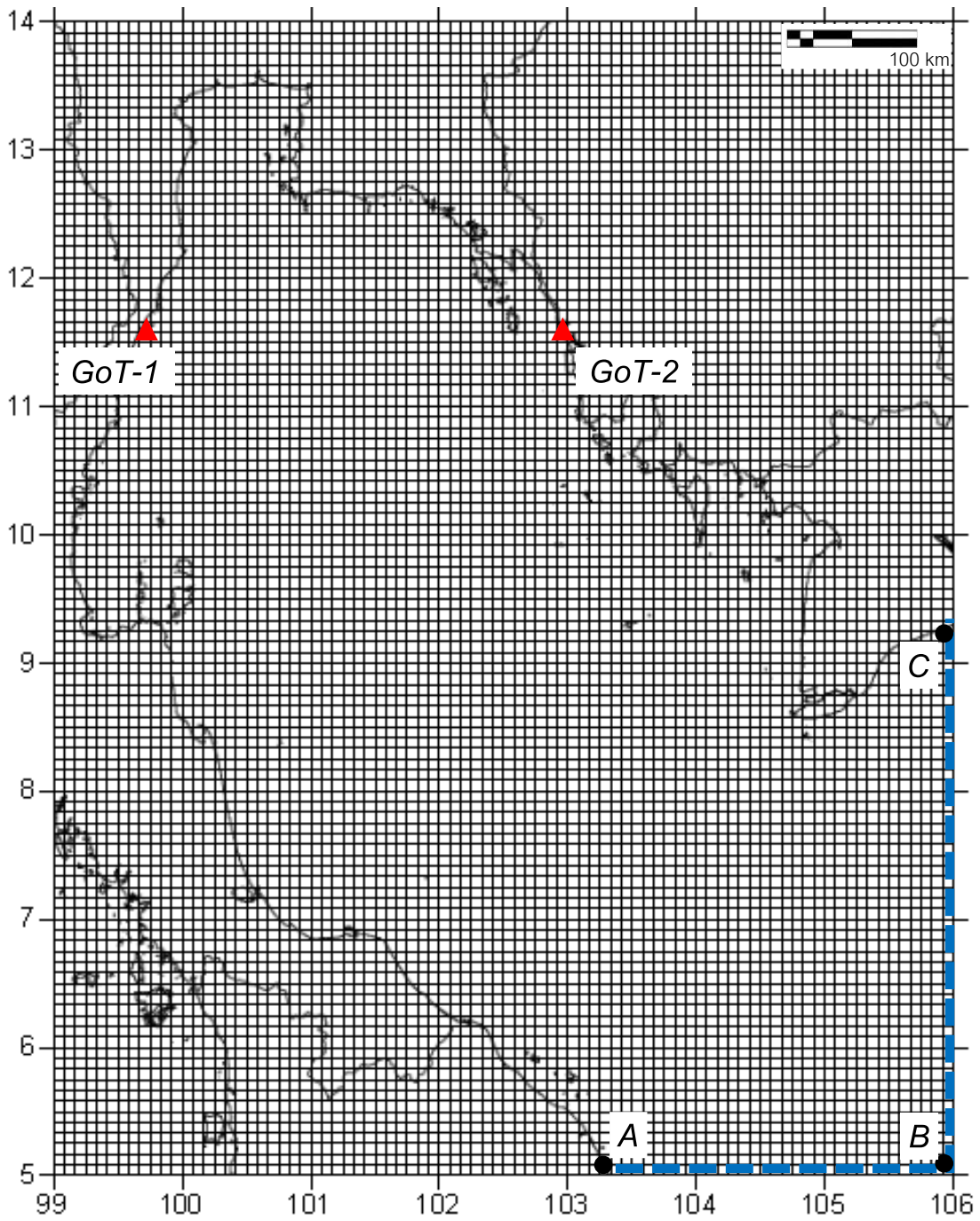
ภาพที่ 3.3 สถานีตรวจวัดระดับน้ำ (สีขาว) และกระแสน้ำ (สีฟ้า) ในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

3.4 แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทย

แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูด 5 ถึง 14 องศาเหนือ และลองจิจูด 99 ถึง 106 องศาตะวันออก มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 5×5 ลิปดา และความละเอียดตามความลึกเท่ากับ 10 ชั้น โดยข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณการไหลเวียนกระแสน้ำ ได้แก่ ความลึกพื้นที่ของทะเล ลมเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเล ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการคำนวณในแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ ส่วนข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงได้จากการวิเคราะห์แบบฮาร์โมนิก (Harmonic analysis) โดยใช้ค่าองค์ประกอบหลักของน้ำขึ้นน้ำลง 9 ตัว (ตารางที่ 3.1) ที่ได้จากโมเดล TPX08-ATLAS (http://volkov.oce.orst.edu/tides/tpxo8_atlas.html) บริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลอง 3 จุดคือ A - C (ภาพที่ 3.4) ทำการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ POM เช่นเดียวกัน โดยจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำเป็นเวลา 72 วัน โดย 20 วันแรกไม่มีการเก็บผลลัพธ์ เนื่องจากเป็นช่วงปรับตัวเพื่อให้เข้าสู่สภาวะเสถียรของแบบจำลอง จากนั้นจึงทำการเก็บค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้นน้ำลงในทุกครึ่งชั่วโมง หลังจากวันที่ 20 เป็นต้นไป

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงจาก TPX08-ATLAS (A = แอมพลิจูด และ P = เฟส)

Harmonic Constituent	A		B		C	
	A (cm)	P (deg.)	A (cm)	P (deg.)	A (cm)	P (deg.)
K_1	53.20	245.22	48.04	239.06	64.95	230.06
O_1	30.68	207.57	30.82	203.32	43.78	189.33
M_2	32.47	8.68	9.20	358.75	97.44	230.79
S_2	12.94	44.69	2.36	36.38	37.42	271.84
P_1	15.49	246.41	14.92	239.83	19.38	230.23
Q_1	6.13	185.62	6.32	190.95	8.64	174.69
N_2	6.55	347.66	1.97	336.04	17.45	212.60
K_2	3.78	52.52	0.81	60.26	11.05	275.19
M_4	0.67	333.43	0.40	180.14	0.72	123.69



ภาพที่ 3.4 ขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองอ่าวไทย เส้นประแสดงถึงขอบเขตเปิด จุด (A - C) แสดงถึงตำแหน่งของข้อมูลระดับน้ำจาก TPX08-ATLAS และสามเหลี่ยม (GoT-1 และ GoT-2) แสดงถึงจุดที่มีการเก็บค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง

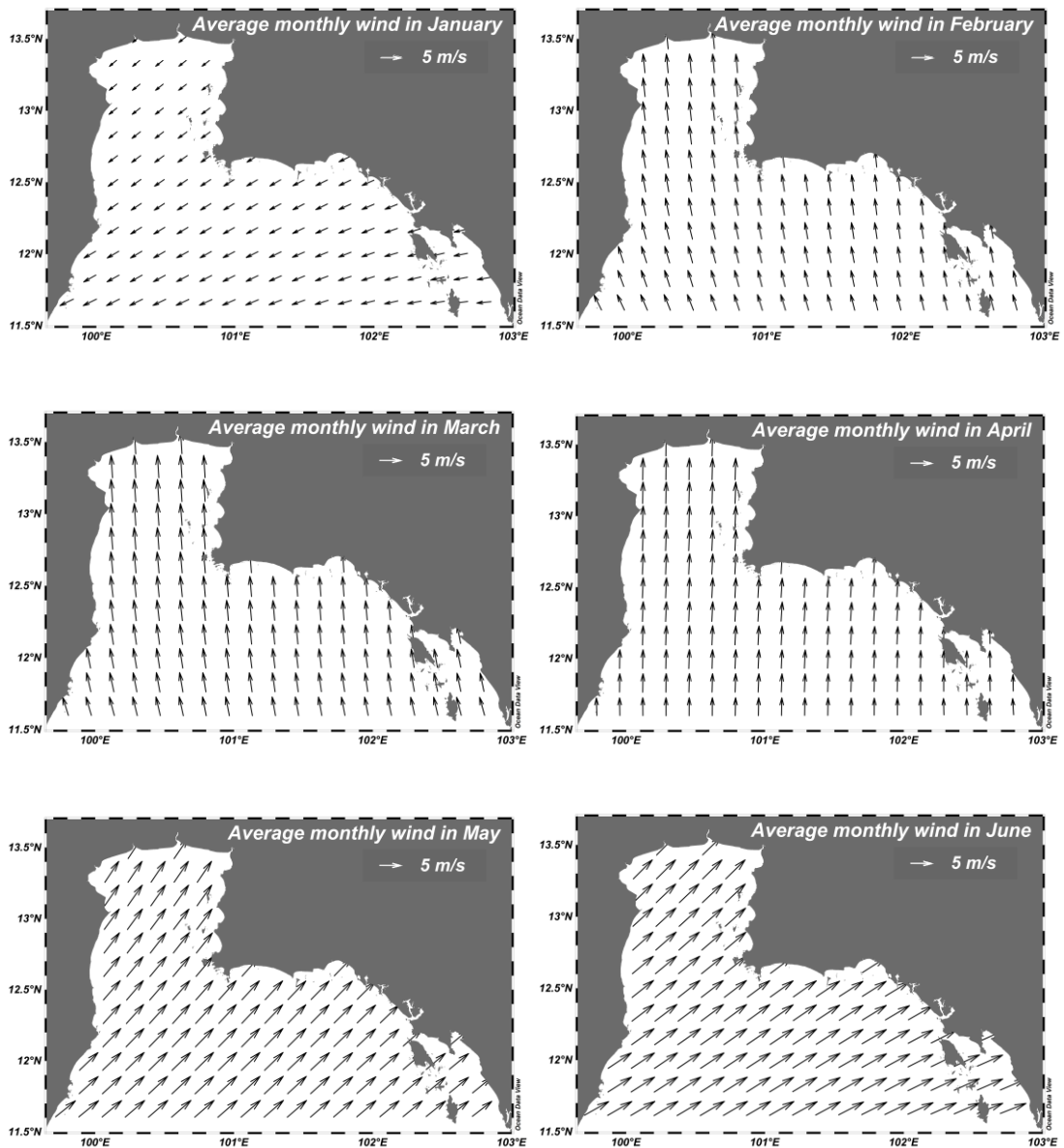
บทที่ 4

ผลการวิจัย

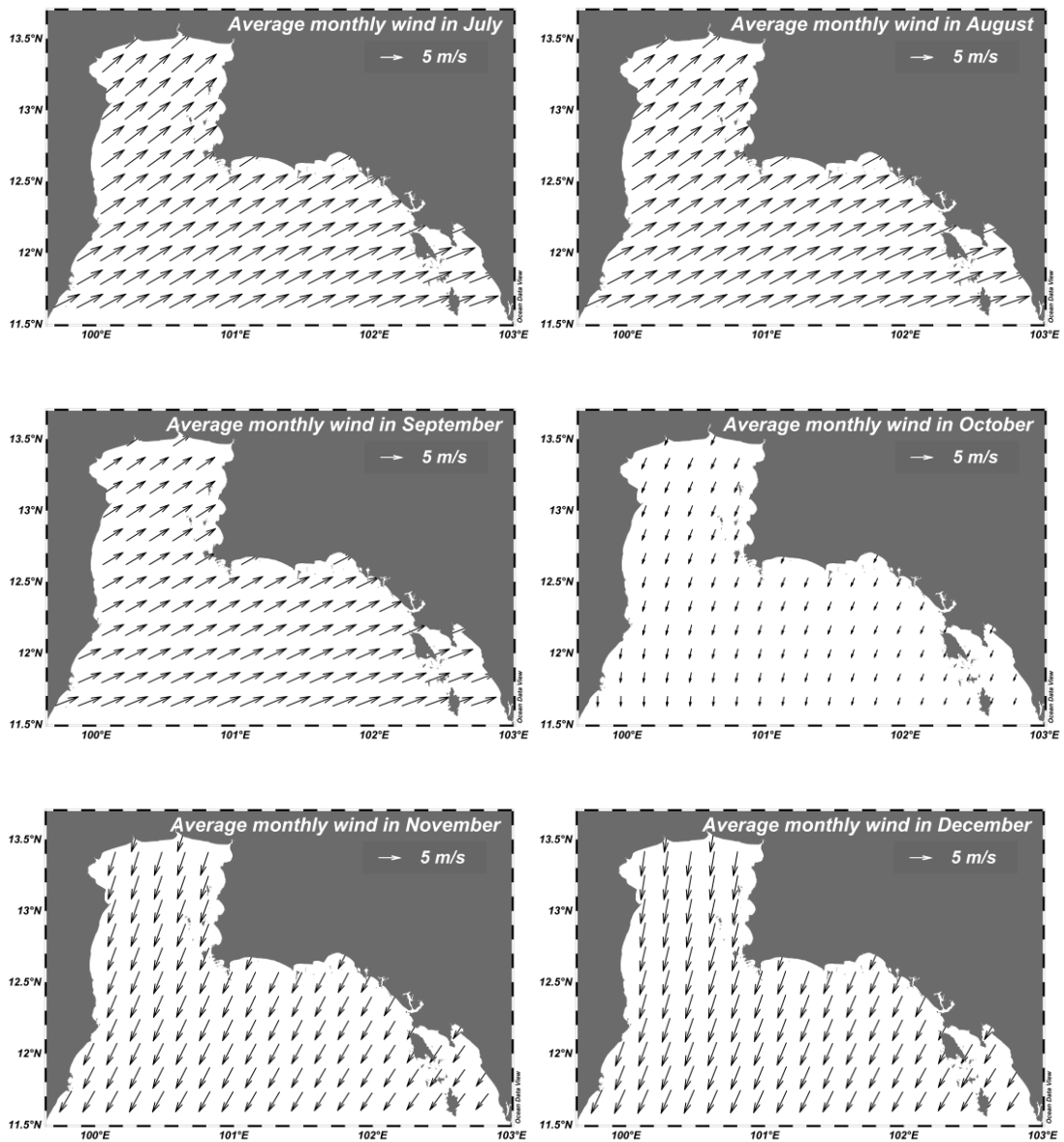
การจำลองการไหลเวียนกระแสในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเปิดที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาแสดงลักษณะของลมเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ลักษณะกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละเดือน การเปรียบเทียบกระแสน้ำของเงื่อนไขขอบเขตเปิดทั้ง 2 แบบ การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง การเปรียบเทียบค่ากระแสน้ำจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัด และการไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือและอ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

4.1 ลมเฉลี่ยรายเดือน

ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคมในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ จากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT (0.25 องศา) ถูกทำการประมาณค่าให้มีพิกัดตรงกับจุดพิกัดของช่องค่านวนที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง โดยเวกเตอร์ดังกล่าวแสดงถึงทิศทางและอัตราเร็วของลมตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม (ภาพที่ 4.1 – 4.2) พบว่าในช่วงเดือนมกราคมลมมีทิศทางพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเป็นหลักด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 3 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นช่วงปลายของฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายนเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ลมมีทิศทางหลักพัดมาจากทิศใต้ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 4 เมตร/วินาที โดยลมมีอัตราเร็วสูงสุดในเดือนมีนาคม (5.35 เมตร/วินาที) และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (3.72 เมตร/วินาที) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – กันยายนเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมีทิศทางพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ด้วยอัตราเร็วสูงตลอดทั้งฤดู โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 6 – 7 เมตร/วินาที และมีอัตราเร็วสูงสุดในเดือนสิงหาคม (7.43 เมตร/วินาที) ฤดูนี้เป็นช่วงที่ลมมีอัตราเร็วสูงสุดในรอบปี สำหรับในเดือนตุลาคมเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ลมเฉลี่ยในช่วงนี้มีลักษณะเบาและมีทิศทางมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยอัตราเร็วประมาณ 2 เมตร/วินาที และในช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคมลมมีทิศทางหลักพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศเหนือบางส่วนในช่วงเดือนธันวาคม โดยลมในช่วงนี้มีอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 5.5 เมตร/วินาที และมีอัตราเร็วสูงสุดประมาณ 6 เมตร/วินาที ในช่วงเดือนธันวาคม



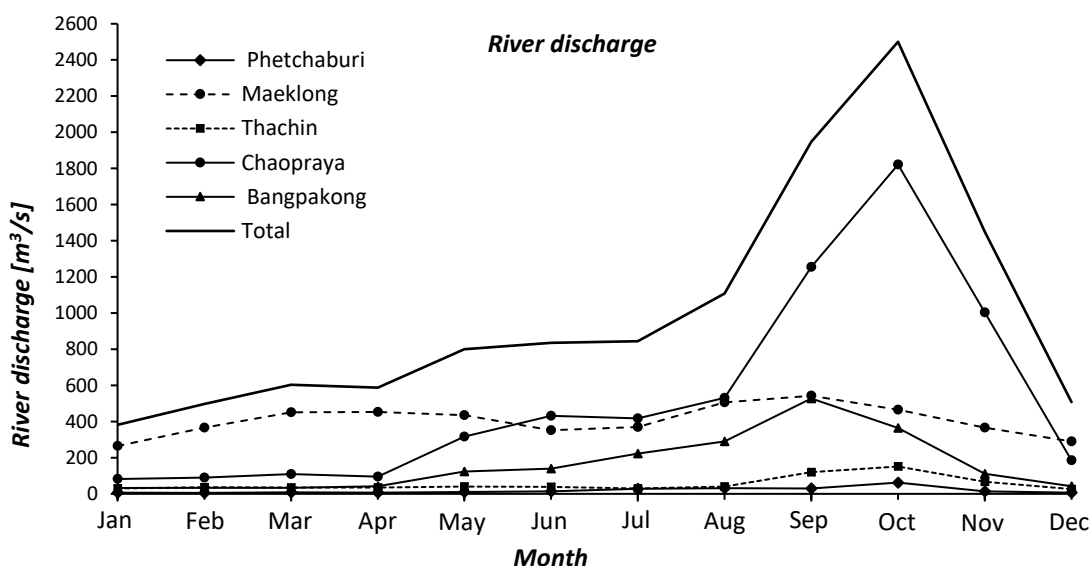
ภาพที่ 4.1 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากดาวเทียม QuickSCAT ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน
(ที่มา:<http://www.ssmi.com>)



ภาพที่ 4.2 ลมเฉลี่ยรายเดือนจากดาวเทียม QuickSCAT ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม
(ที่มา: <http://www.ssmi.com>)

4.2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน

ข้อมูลน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว (พ.ศ. 2543 - 2552) ตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม ของแม่น้ำสายหลักที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบน ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าโดยกรมชลประทาน ถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขขอบเขตที่บริเวณปากแม่น้ำแต่ละสาย (ภาพที่ 2.1) พบว่าปริมาณน้ำท่ามีความแตกต่างกันออกไปตามขนาดและปริมาณการปล่อยน้ำของแม่น้ำแต่ละสาย โดยแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในช่วงเดือนมิถุนายน - พฤศจิกายน และแม่น้ำแม่กลองมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม และเดือนธันวาคม รองลงมาคือ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำเพชรบุรี ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนยังมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล โดยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนรวมทุกแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบน (Total) มีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม (414.14 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ช่วงฤดูฝนคือ เดือนสิงหาคม และมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนสูงที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม (2,864.80 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) จากนั้นปริมาณน้ำท่ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมจนมีค่าต่ำใกล้เคียงกับเดือนมกราคม (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว (พ.ศ. 2543 - 2552) จากแม่น้ำสายหลักที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบน (ที่มา: กรมชลประทาน)

4.3 กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกรายเดือน

จากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และแบบกระแสน้ำของแบบจำลองอ่าวไทยตอนเหนือ แสดงการไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกรายเดือนของเงื่อนไขขอบเขตเปิดทั้ง 2 แบบ การเปรียบเทียบความแตกต่างของกระแสน้ำ การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำ และการเปรียบเทียบค่ากระแสน้ำมีลักษณะดังนี้

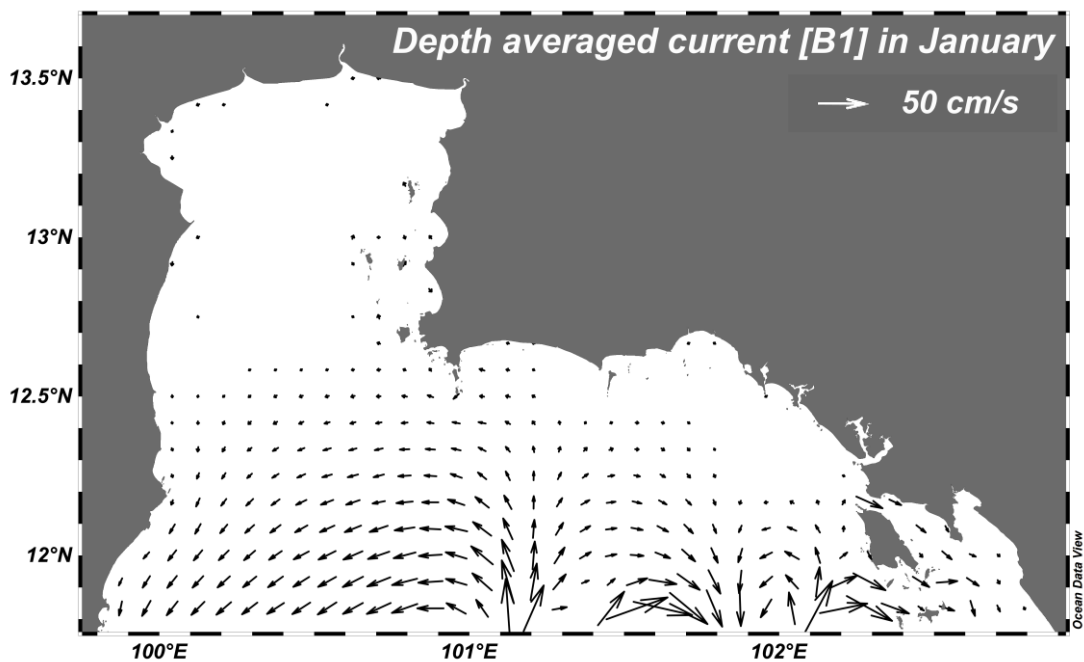
4.3.1 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีลักษณะ

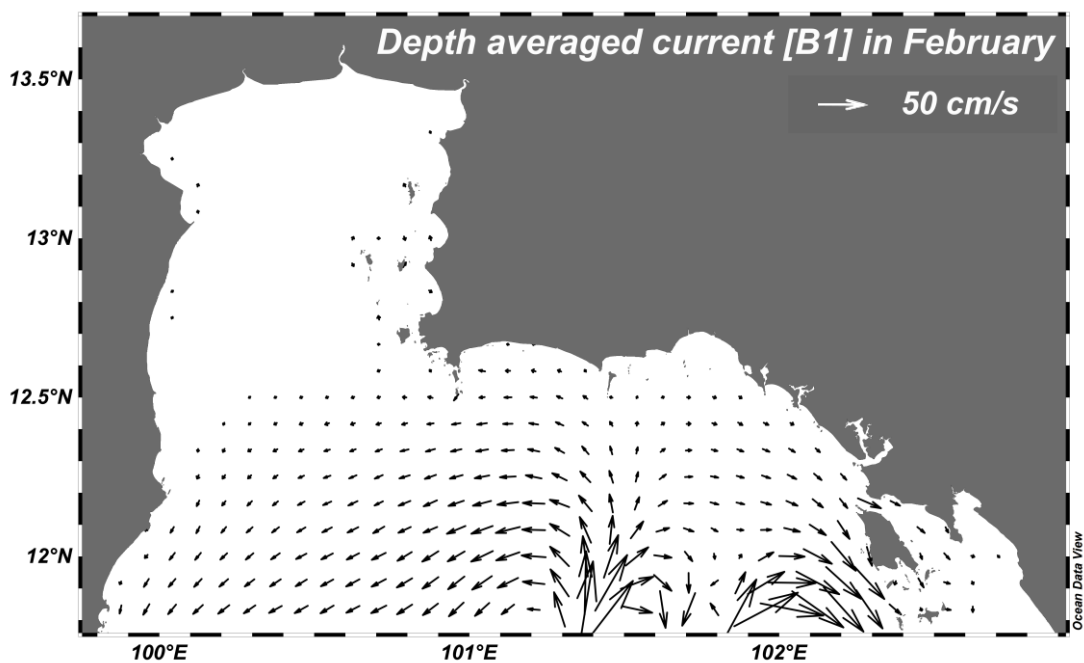
แรงผิดปกติและไหลเข้ามาจากทางทิศใต้บริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดของแบบจำลองตลอดทั้งปี ในขณะที่บริเวณที่ไกลออกไป เช่น อ่าวไทยตอนบน กระแสน้ำมีลักษณะเบากว่าบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด โดยในเดือนมกราคมกระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทางใต้บริเวณกลางไปจนถึงด้านตะวันออกของแบบจำลองด้วยอัตราเร็วสูงสุด (82.9 เซนติเมตร/วินาที) จากนั้นไหลแยกออกไปด้านข้างและไหลวกออกไปด้านใต้ด้วยความแรงที่ลดลง (ภาพที่ 4.4) ในเดือนกุมภาพันธ์ลักษณะของกระแสน้ำคล้ายกับเดือนมกราคม แต่กระแสน้ำที่ไหลเข้ามาจากทางใต้บริเวณขอบเขตเปิดค่อนข้างไปทางตะวันออกมากกว่า และมีอัตราเร็วมากกว่าเดือนมกราคม (124.19 เซนติเมตร/วินาที) (ภาพที่ 4.5) ในเดือนมีนาคมกระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทางทิศใต้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด (89.97 เซนติเมตร/วินาที) บริเวณกลางแบบจำลองและไหลแยกออกไปด้านข้างทั้ง 2 ด้าน จากนั้นไหลวกออกไปทางใต้ด้วยอัตราเร็วที่ลดลงทั้ง 2 ด้าน (ภาพที่ 4.6) ส่วนในเดือนเมษายนกระแสน้ำไหลในลักษณะที่คล้ายกับเดือนมกราคมคือ กระแสน้ำไหลเข้ามาจากทางใต้บริเวณกลางไปจนถึงด้านตะวันออกของขอบเขตเปิดของแบบจำลอง และมีกระแสน้ำไหลแยกออกไปด้านข้างด้วยอัตราเร็วที่มากกว่าในเดือนมกราคม (88.35 เซนติเมตร/วินาที) (ภาพที่ 4.7) ในเดือนพฤษภาคมกระแสน้ำไหลเข้ามาจากทางทิศใต้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด (114.14 เซนติเมตร/วินาที) บริเวณกลางและค่อนข้างไปทางตะวันออกของขอบเขตเปิดของแบบจำลองและไหลวกออกไปด้านข้างด้วยอัตราเร็วที่ลดลงก่อนจะไหลลงไปทางทิศใต้ (ภาพที่ 4.8) ส่วนในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคมกระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทางทิศใต้ของขอบเขตเปิดจากตรงกลางค่อนข้างไปทางตะวันออกด้วยอัตราเร็วสูงสุด (ประมาณ 80 เซนติเมตร/วินาที) จากนั้นไหลแยกออกไปด้านข้างและไหลลงไปทางใต้ของขอบเขตเปิดทั้ง 2 ฝ่ายด้วยอัตราเร็วที่ลดลง (ภาพที่ 4.9 – 4.11) ในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมกระแสน้ำมีลักษณะคล้ายกัน คือไหลขึ้นมาจากทางทิศใต้บริเวณกลางขอบเขตเปิดและไหลแยกออกไปด้านข้าง จากนั้นไหลวกลงไปทางใต้บริเวณด้านข้างของแบบจำลอง โดยกระแสน้ำในเดือน

กันยายนที่ไหลขึ้นมาจากทางทิศใต้มีอัตราเร็วสูงสุด (115.04 เซนติเมตร/วินาที) และมีค่าสูงกว่าในเดือนตุลาคม (76.39 เซนติเมตร/วินาที) (ภาพที่ 4.12 – 4.13) ในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม พบว่ากระแสน้ำมีลักษณะคล้ายกันคือ ไหลขึ้นมาจากทางทิศใต้บริเวณกลางไปจนถึงด้านตะวันออกด้วยอัตราเร็วสูงสุด (ประมาณ 120 เซนติเมตร/วินาที) จากนั้นไหลแยกไปด้านข้างและไหลวกออกไปทางทิศใต้ทั้ง 2 ด้าน (ภาพที่ 4.14 – 4.15)

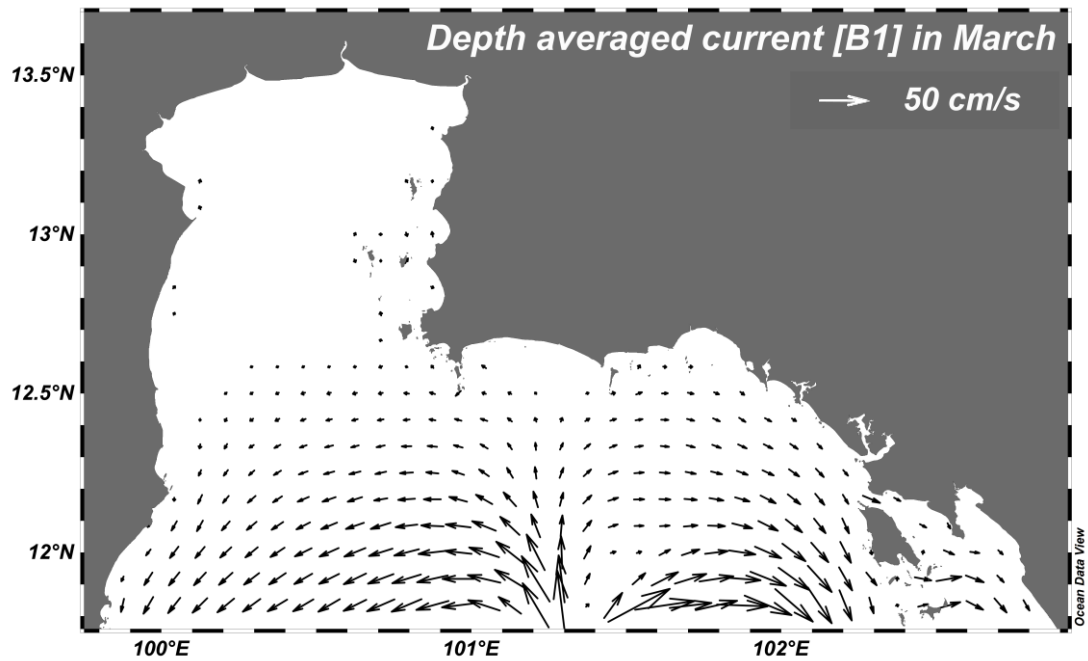
การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในบริเวณอ่าวไทยตอนบนของเดือนไซขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ พบว่าอัตราเร็วของกระแสน้ำมีค่าน้อยกว่าในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด และมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละเดือนดังแสดงในภาพที่ 4.16 – 4.17 โดยในเดือนมกราคม กระแสน้ำมีลักษณะไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 1.86 เซนติเมตร/วินาที และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกใกล้กับแนวเกาะล้านไปจนถึงเกาะครามกระแสน้ำมีลักษณะปั่นป่วน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายนกระแสน้ำมีรูปแบบที่คล้ายกันคือ ไหลขึ้นมาจากทิศใต้บริเวณด้านตะวันตกของอ่าวและไหลเลียบชายฝั่งตอนบนไปทิศตะวันออกด้วยอัตราเร็วต่ำ ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกตอนบนพบว่ามีความเร็วของการไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกา และตอนล่างกระแสน้ำมีทิศทางที่ไม่แน่นอนเช่นเดียวกับเดือนมกราคม อัตราเร็วของกระแสน้ำในช่วงนี้มีลักษณะเบาที่สุดในรอบปี (1.50 เซนติเมตร/วินาที) ในช่วงเดือนพฤษภาคม – กันยายนกระแสน้ำไหลในลักษณะตามเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวด้วยอัตราเร็วสูงสุดบริเวณชายฝั่งตอนเหนือ (ประมาณ 15 เซนติเมตร/วินาที) ยกเว้นชายฝั่งตอนเหนือด้านตะวันออก ส่วนชายฝั่งทางตอนใต้ด้านตะวันออกกระแสน้ำมีความปั่นป่วน อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 3 เซนติเมตร/วินาที และในช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคมกระแสน้ำไหลในทิศทางที่คล้ายกันคือ ไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 3.5 เซนติเมตร/วินาที และพบว่ามีความเร็วของกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้กับชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนเหนือ ส่วนทางตอนใต้กระแสน้ำมีทิศทางไม่แน่นอนเช่นเดียวกับกระแสน้ำของเดือนอื่น ๆ อัตราเร็วของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าสูงสุดในรอบปี (17.54 เซนติเมตร/วินาที) คือเดือนพฤศจิกายน



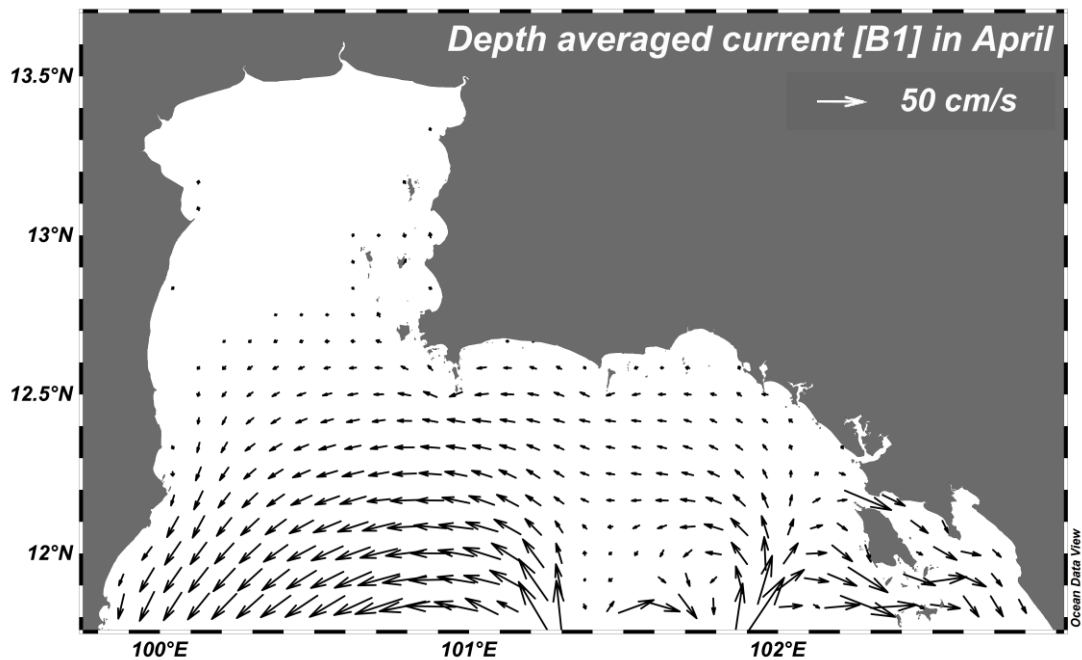
ภาพที่ 4.4 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมกราคม



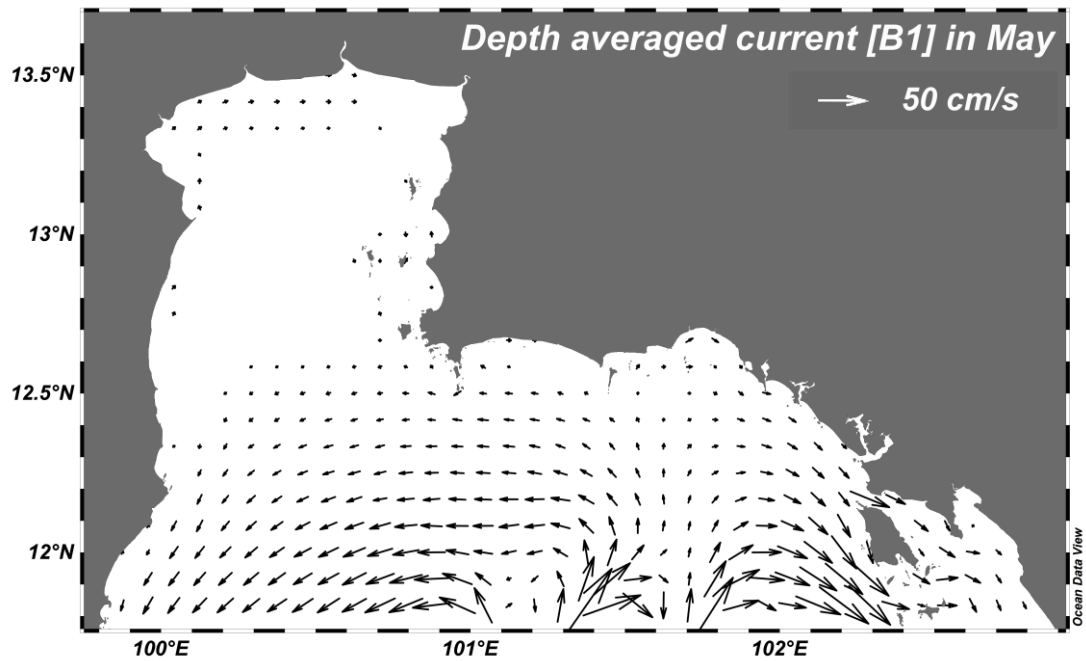
ภาพที่ 4.5 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนกุมภาพันธ์



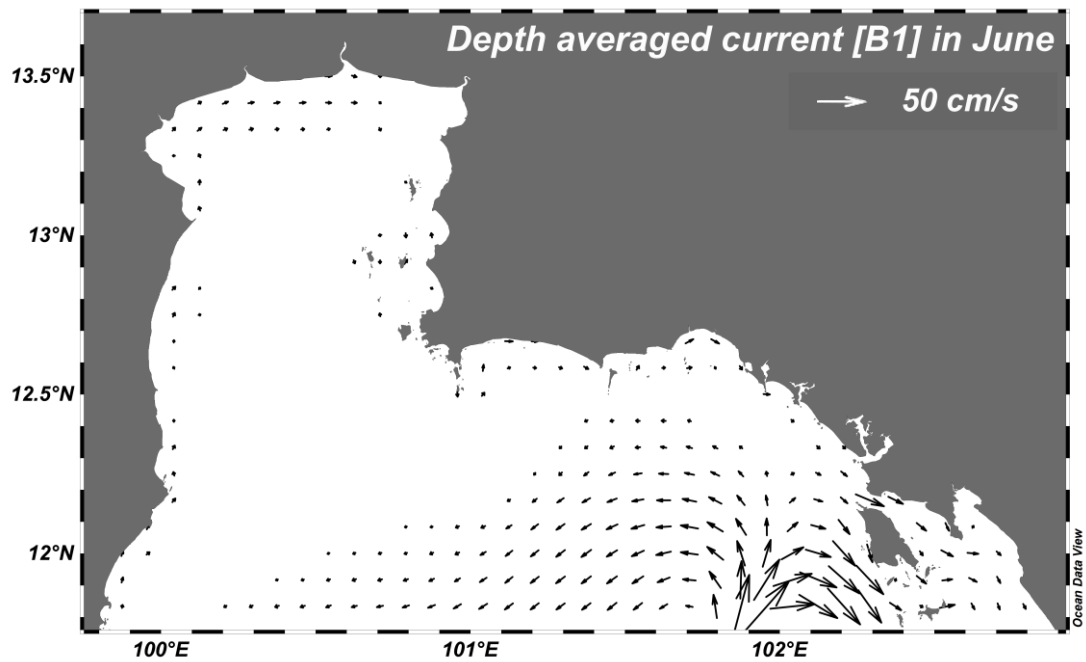
ภาพที่ 4.6 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมีนาคม



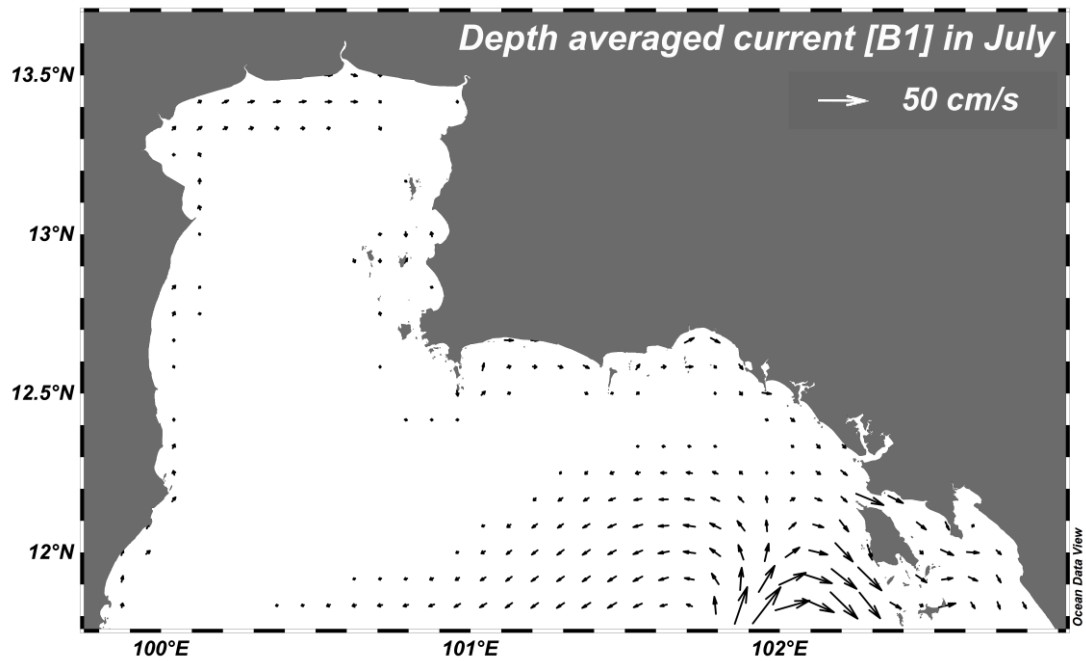
ภาพที่ 4.7 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนเมษายน



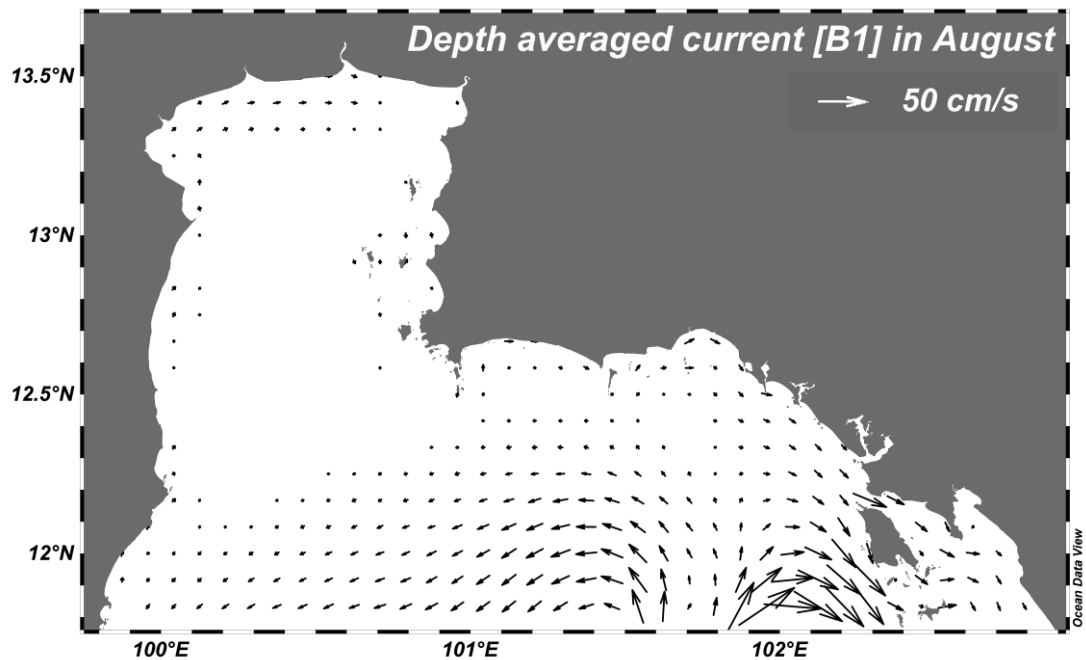
ภาพที่ 4.8 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนพฤษภาคม



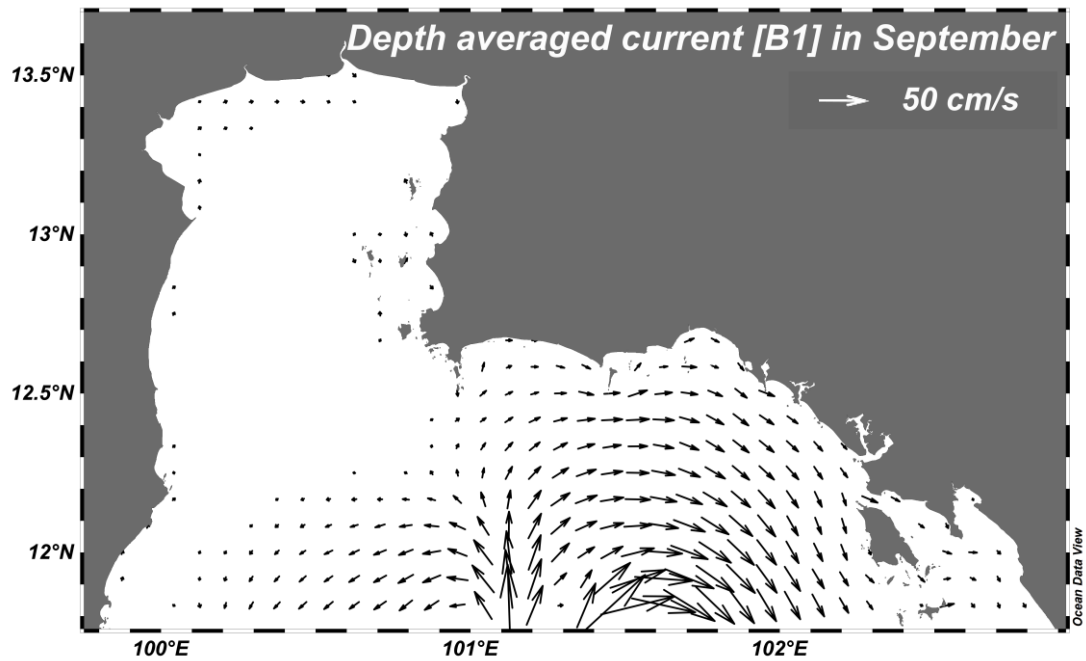
ภาพที่ 4.9 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมิถุนายน



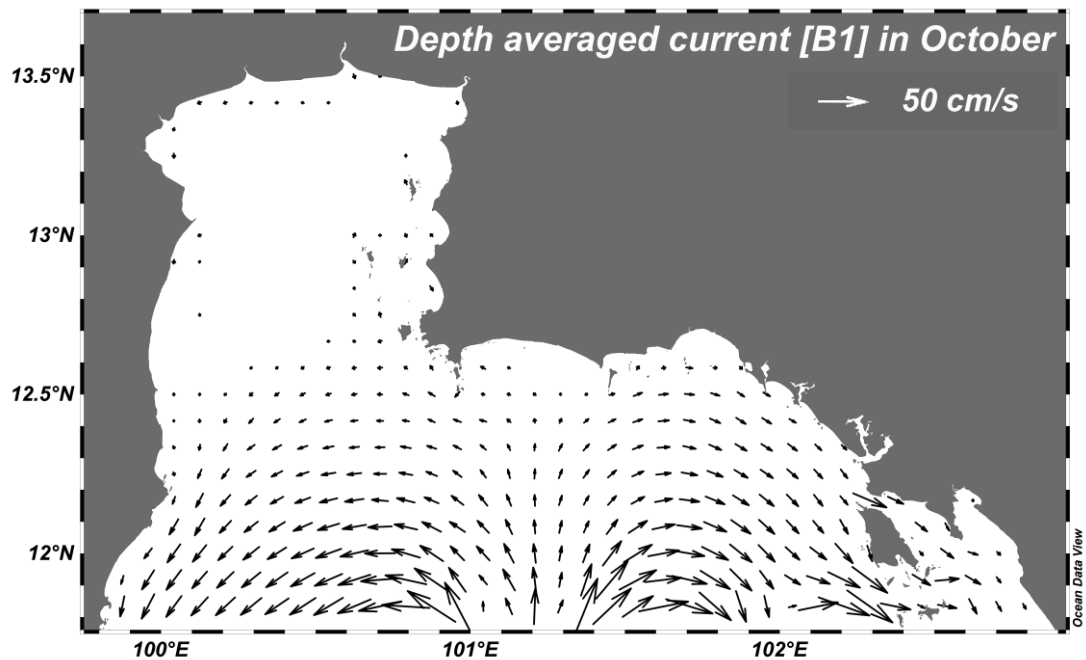
ภาพที่ 4.10 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนกรกฎาคม



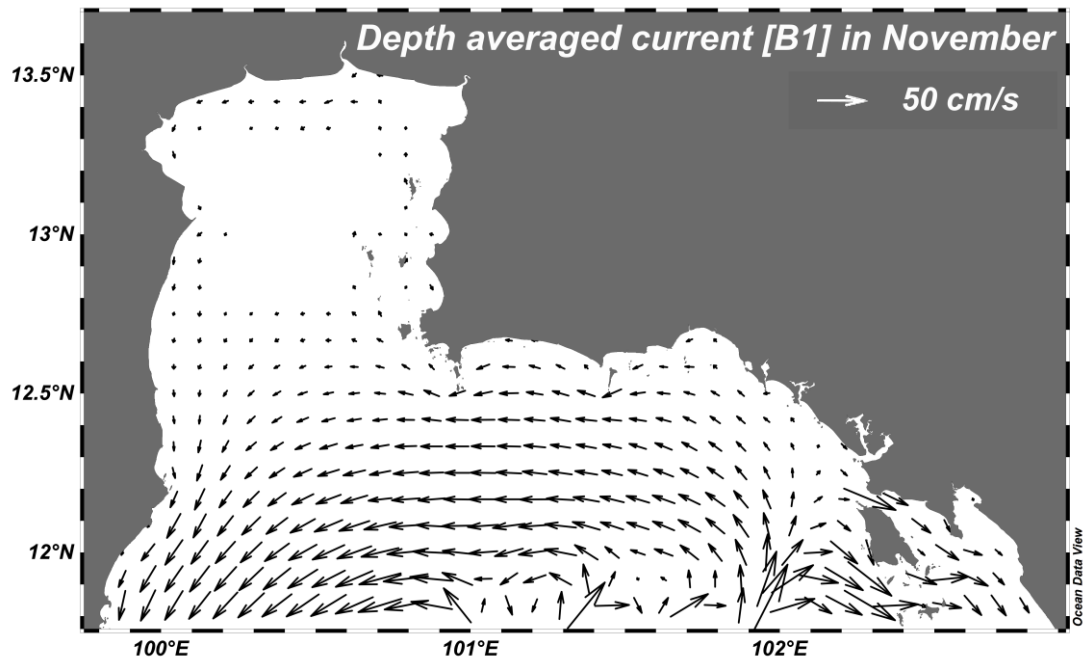
ภาพที่ 4.11 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนสิงหาคม



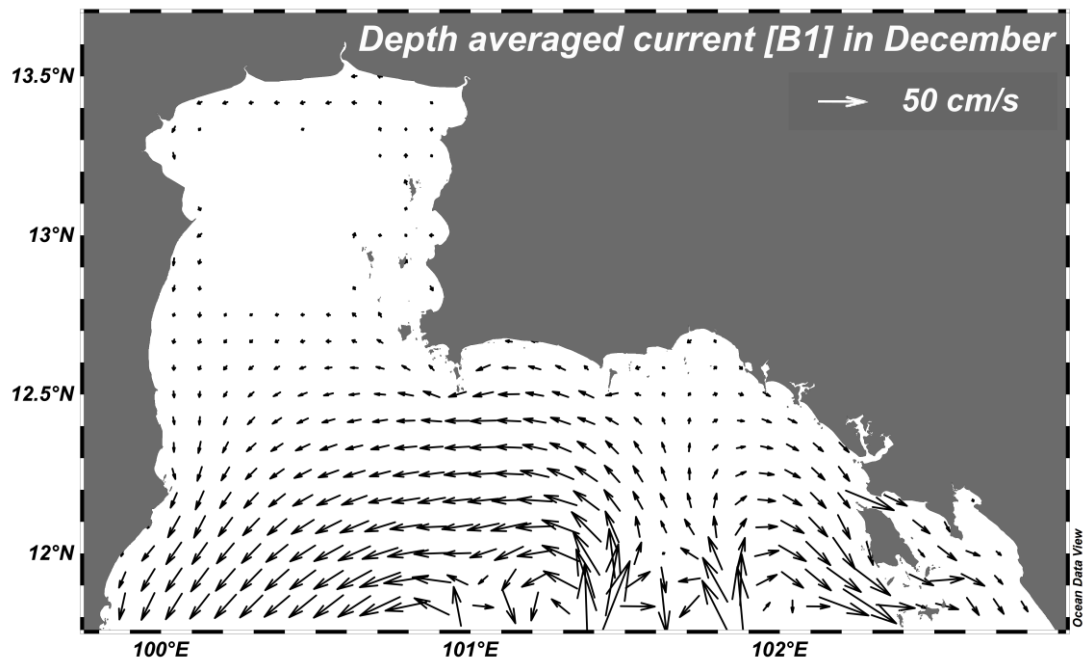
ภาพที่ 4.12 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนกันยายน



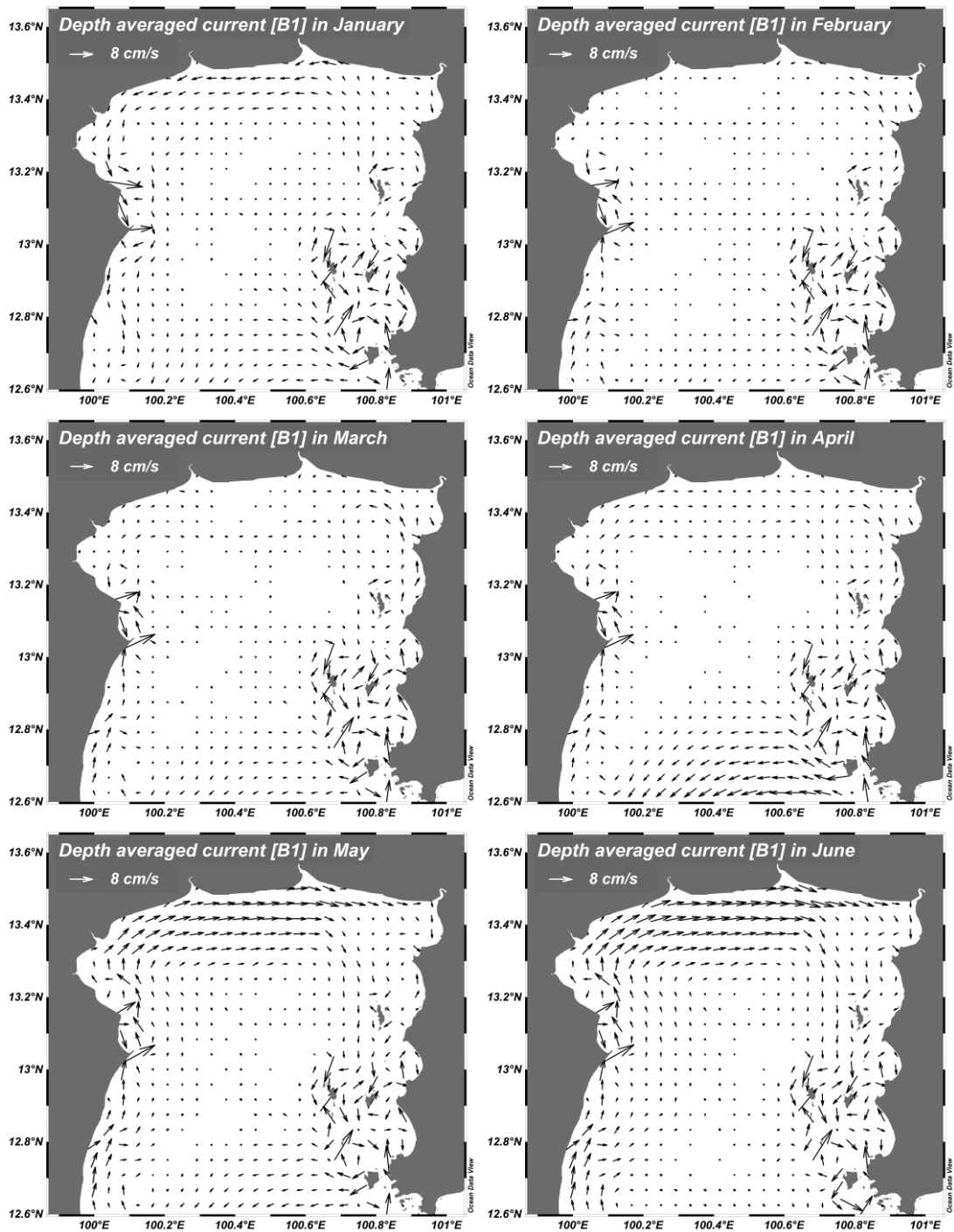
ภาพที่ 4.13 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนตุลาคม



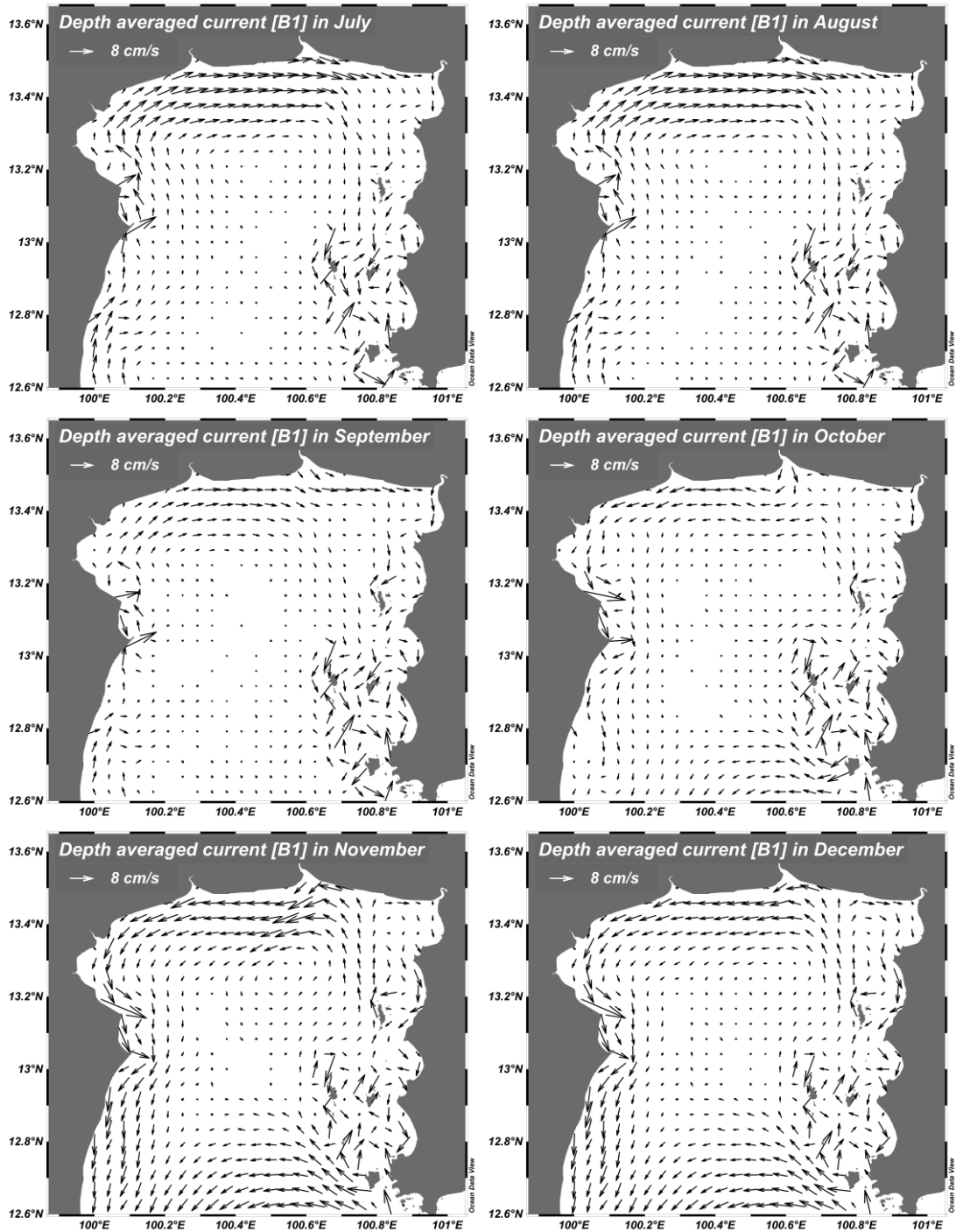
ภาพที่ 4.14 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนพฤศจิกายน



ภาพที่ 4.15 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในเดือนธันวาคม



ภาพที่ 4.16 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน



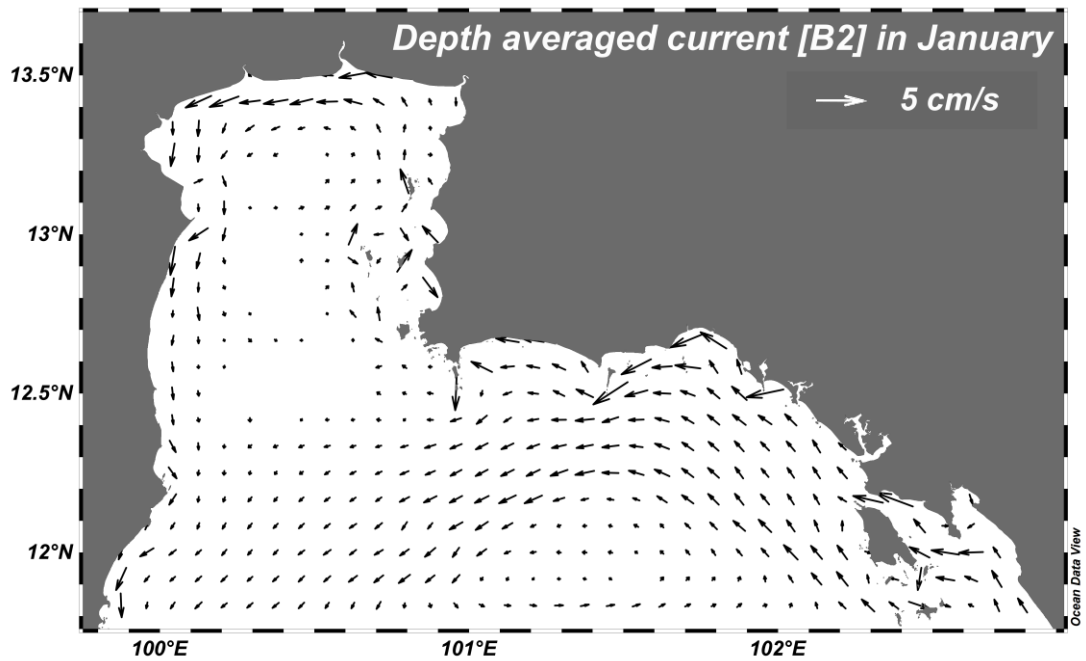
ภาพที่ 4.17 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ
ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม

4.3.2 เจ็อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ

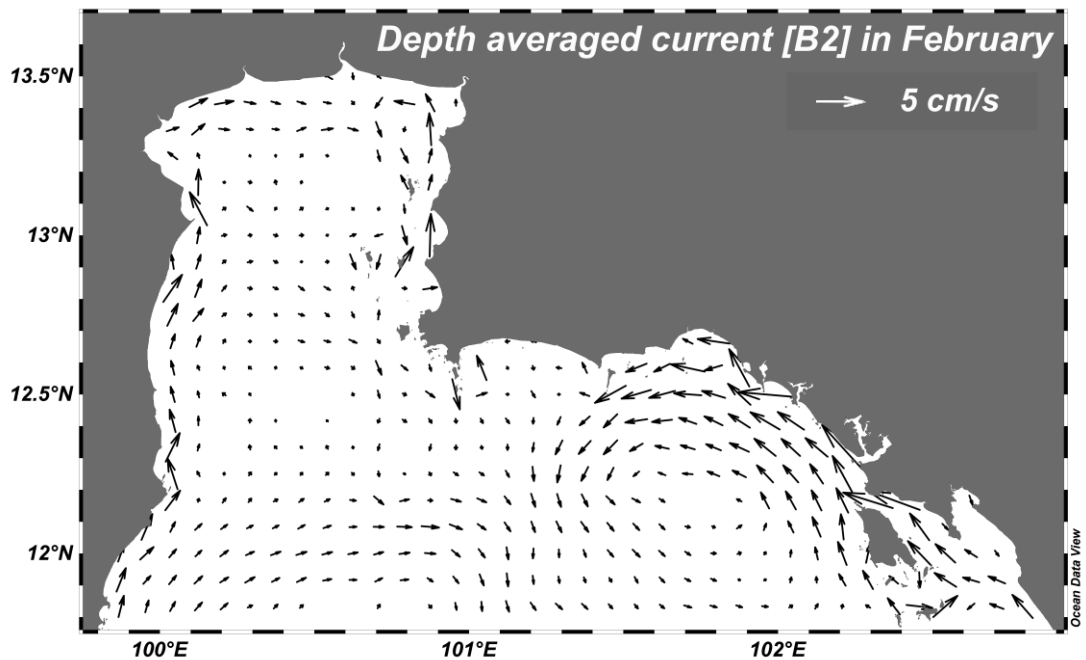
กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของเจ็อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ พบว่ากระแสน้ำบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดมีลักษณะเบากว่าเจ็อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และกระแสน้ำมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนสอดคล้องกับทิศทางของลม โดยสามารถจำแนก ได้เป็น 4 ช่วง คือ ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์ – เมษายน) ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – กันยายน) ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 (ตุลาคม) และช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (มกราคม และ พฤศจิกายน – ธันวาคม) โดยในเดือนมกราคมกระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทิศใต้ทางด้านตะวันออกของแบบจำลองและไหลไปทางตะวันตกเฉียงเหนือ จากนั้นไหลไปทาง ตะวันตกเฉียงใต้และไหลลงไปที่ทิศใต้ทางด้านตะวันตกของแบบจำลอง และบางส่วนไหลเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนทางด้าน ตะวันออกและไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าว ก่อนจะไหลไปทางใต้ด้านตะวันตกของแบบจำลอง (ภาพที่ 4.18) อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำในเดือนมกราคม มีค่าประมาณ 5.26 เซนติเมตร/วินาที และเฉลี่ย 1.28 เซนติเมตร/วินาที ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 กระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทิศใต้ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของแบบจำลอง โดยฝั่งตะวันออกไหลเรียบตามแนวชายฝั่งทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากนั้นไหลวกกลับมาทางใต้บริเวณกลางอ่าวเกิดลักษณะของการไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณด้านตะวันออกของแบบจำลอง ส่วนด้านตะวันตก กระแสน้ำไหลเรียบชายฝั่งไปทางทิศเหนือเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนและไหลแบบตามเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าว และบางส่วนไหลไปทางทิศตะวันออกและไหลวกไปทางทิศใต้บริเวณตอนกลางของแบบจำลอง (ภาพที่ 4.19 – 4.21) อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 1.57 เซนติเมตร/วินาที โดยเดือนมีนาคมมีอัตราเร็วของกระแสน้ำสูงที่สุด (10.42 เซนติเมตร/วินาที) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – กันยายนกระแสน้ำไหลขึ้นมาจากทิศใต้ทางด้านตะวันตกของแบบจำลอง จากนั้นไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนจะไหลลงไปที่ทิศใต้ทางด้านตะวันออกของแบบจำลอง กระแสน้ำบริเวณนี้มีอัตราเร็วสูงที่สุดในรอบปี (16.81 เซนติเมตร/วินาที) ส่วนเดือนสิงหาคมกระแสน้ำที่ไหลขึ้นมาจากทิศใต้บางส่วนไหลขึ้นไปทิศเหนือเข้าสู่อ่าวไทยตอนบน เกิดเป็นการไหลเวียนแบบตามเข็มนาฬิกาและไหลลงมาจากทิศใต้ทางด้านตะวันออกมาบรรจบกับกระแสน้ำด้านล่าง (ภาพที่ 4.22 – 4.26) อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงฤดูนี้มีค่าสูงที่สุดในรอบปี (4.39 เซนติเมตร/วินาที) ในเดือนตุลาคมหรือช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 กระแสน้ำมีลักษณะเบาเช่นเดียวกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 โดยกระแสน้ำไหลมาจากทิศใต้ทางด้านตะวันออกของแบบจำลองและไหลไปทางตะวันตกเฉียงเหนือ และบางส่วนไหลไปทางด้านตะวันตกและไหลลงไปที่ทิศใต้ บางส่วนไหลไปทางทิศเหนือเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนและไหล

แบบทวนเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 4.27) และในเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคมกระแสน้ำในช่วงนี้ไหลขึ้นมาจากทิศใต้บริเวณกลางไปจนถึงทางด้านตะวันออกของแบบจำลอง จากนั้นไหลแยกออกไปทั้ง 2 ด้าน เกิดเป็นการไหลเวียนกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาทางด้านตะวันออกและไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาทางด้านตะวันตกของแบบจำลอง กระแสน้ำทางด้านตะวันตกบางส่วนไหลไปทางทิศเหนือเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนทางด้านตะวันออก และเกิดการไหลเวียนกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวก่อนจะไหลลงมาทางทิศใต้ (ภาพที่ 4.28 – 4.29) อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 2.50 เซนติเมตร/วินาที และในเดือนพฤศจิกายนกระแสน้ำมีความแรงมากกว่าในเดือนธันวาคม

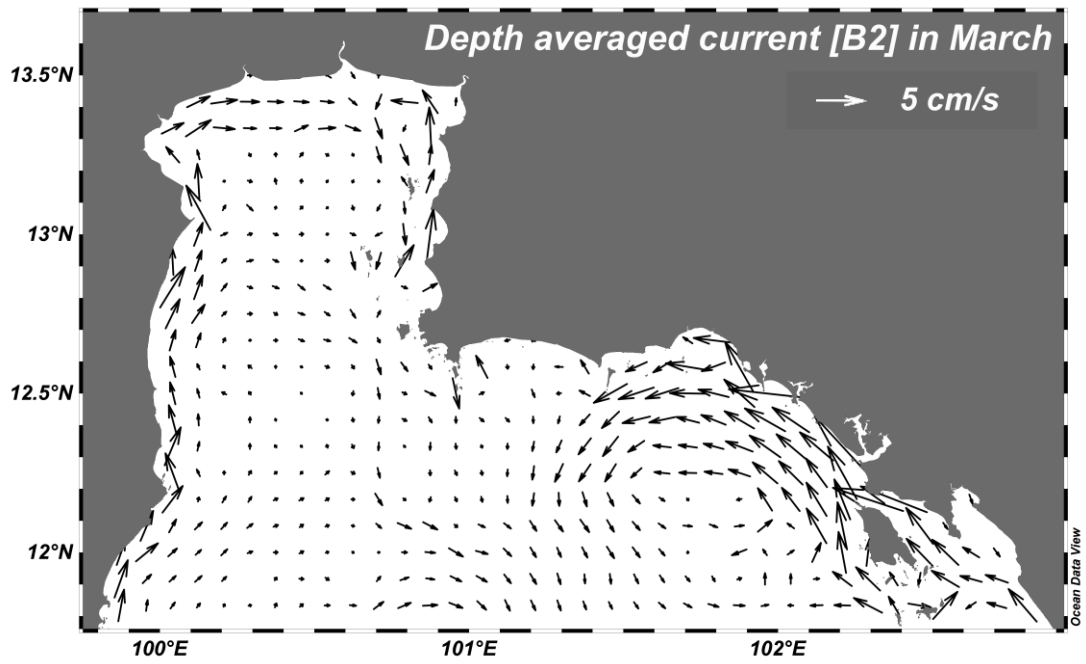
การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบนของเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีรูปแบบเดียวกับเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ แต่อัตราเร็วของกระแสน้ำมีความแตกต่างกันในบางบริเวณดังแสดงในภาพที่ 4.30 – 4.31 โดยในเดือนมกราคมที่เป็นช่วงปลายของฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 1.39 เซนติเมตร/วินาที ชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนเหนือกระแสน้ำมีลักษณะเบาและทางตอนใต้กระแสน้ำมีลักษณะปั่นป่วน ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน กระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 1.6 เซนติเมตร/วินาที ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนเหนือกระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาและทางตอนใต้กระแสน้ำมีทิศทางที่ไม่แน่นอนเช่นเดียวกับเดือนมกราคม ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – กันยายนกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวด้วยอัตราเร็วสูงที่สุดในรอบปี ส่วนบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนเหนือและทางตอนใต้กระแสน้ำมีลักษณะเบาและมีทิศทางที่ไม่แน่นอน อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 4 เซนติเมตร/วินาที และเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่กระแสน้ำมีอัตราเร็วสูงสุด (18.44 เซนติเมตร/วินาที) และในเดือนตุลาคมที่เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 กระแสน้ำมีการไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาและมีลักษณะเบาคล้ายกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนใต้กระแสน้ำมีความปั่นป่วนเช่นเดียวกับช่วงอื่น ๆ อัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 2 เซนติเมตร/วินาที และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคือเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม กระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาทั่วทั้งอ่าวด้วยอัตราเร็วประมาณ 16.6 เซนติเมตร/วินาที และอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร/วินาที โดยในเดือนพฤศจิกายนกระแสน้ำมีความแรงมากกว่าในเดือนธันวาคม ส่วนกระแสน้ำทางด้านชายฝั่งตะวันออกทางตอนเหนือไหลแบบตามเข็มนาฬิกาและทางด้านใต้กระแสน้ำมีลักษณะปั่นป่วนเช่นเดียวกับฤดูกาลอื่น ๆ



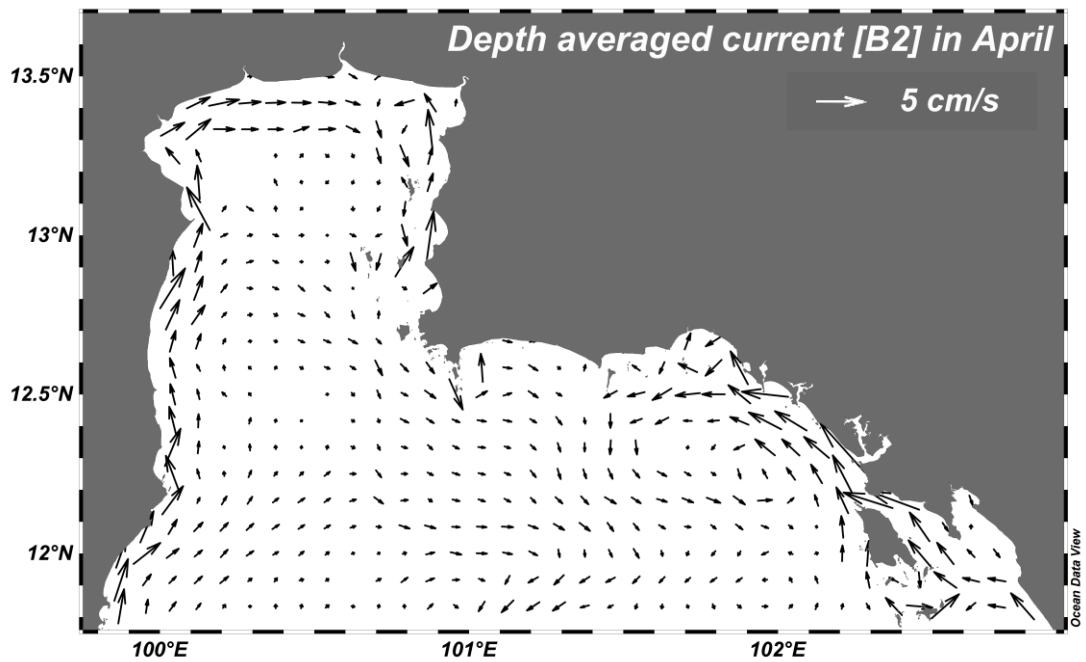
ภาพที่ 4.18 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมกราคม



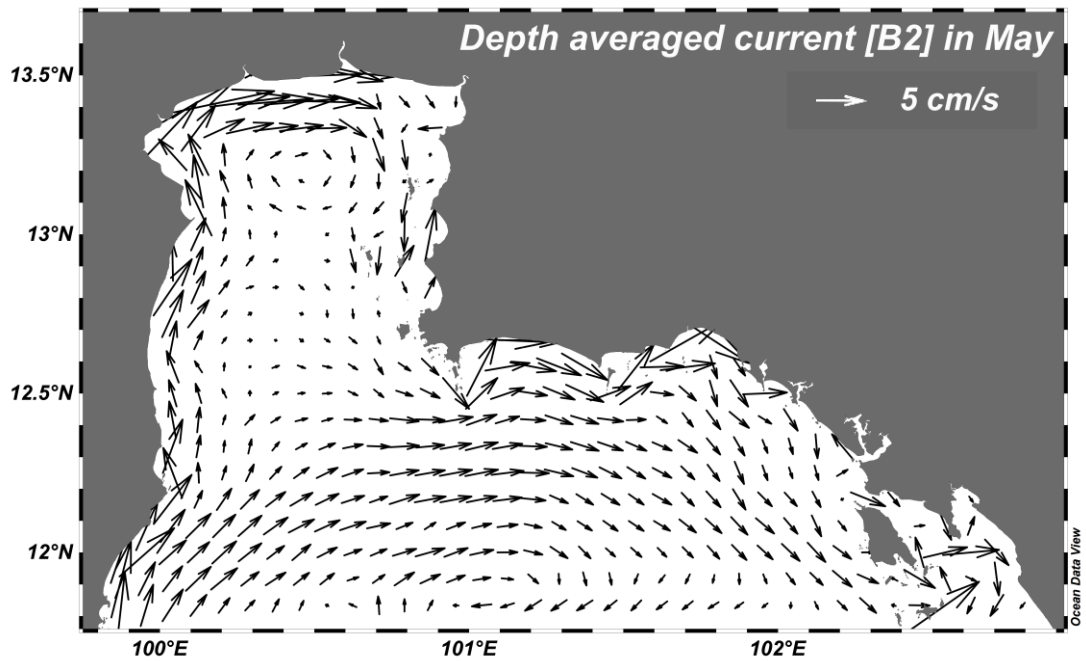
ภาพที่ 4.19 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกุมภาพันธ์



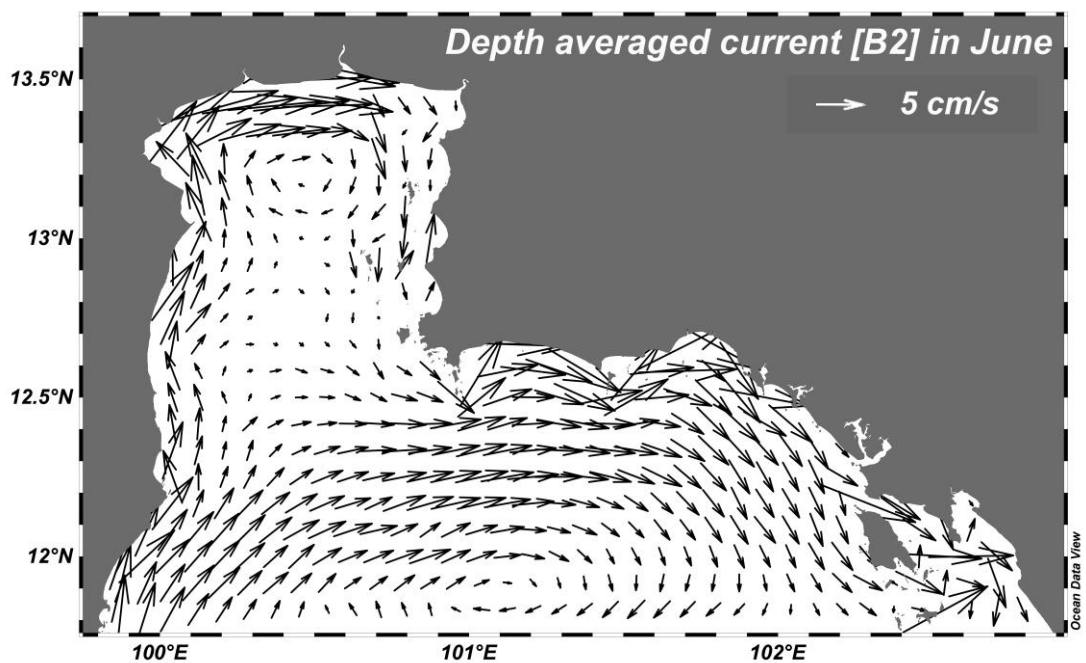
ภาพที่ 4.20 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมีนาคม



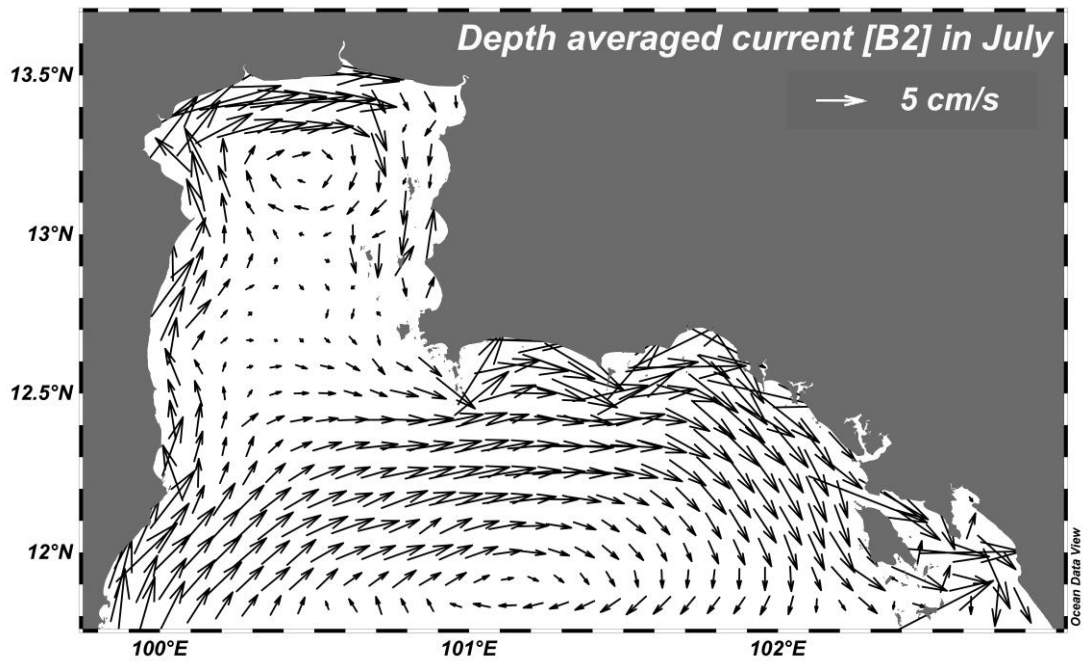
ภาพที่ 4.21 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนเมษายน



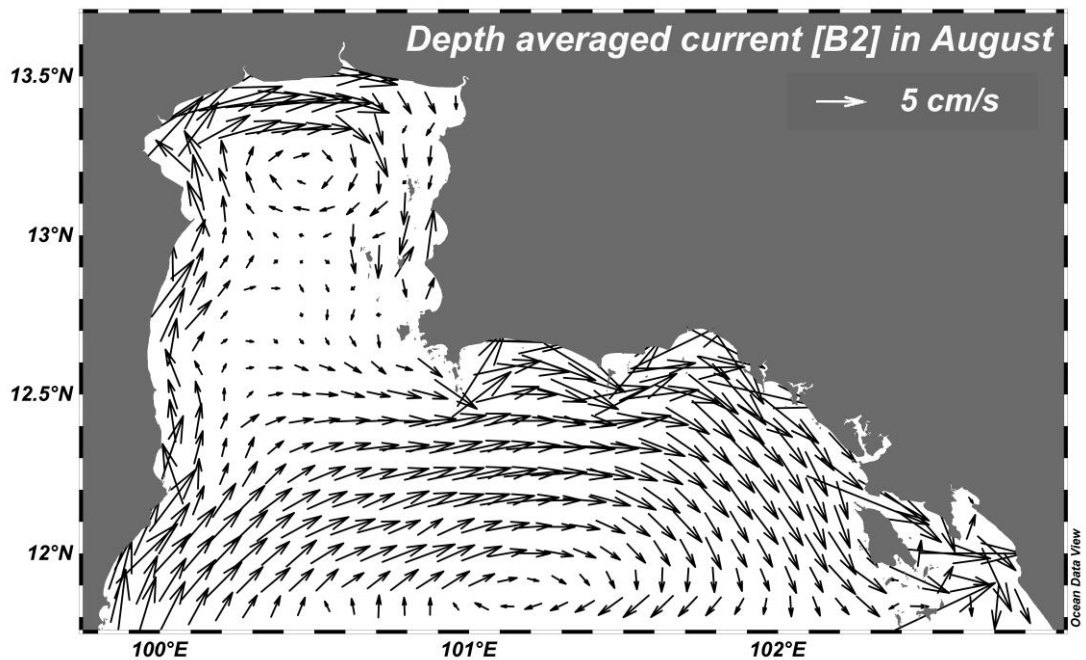
ภาพที่ 4.22 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤษภาคม



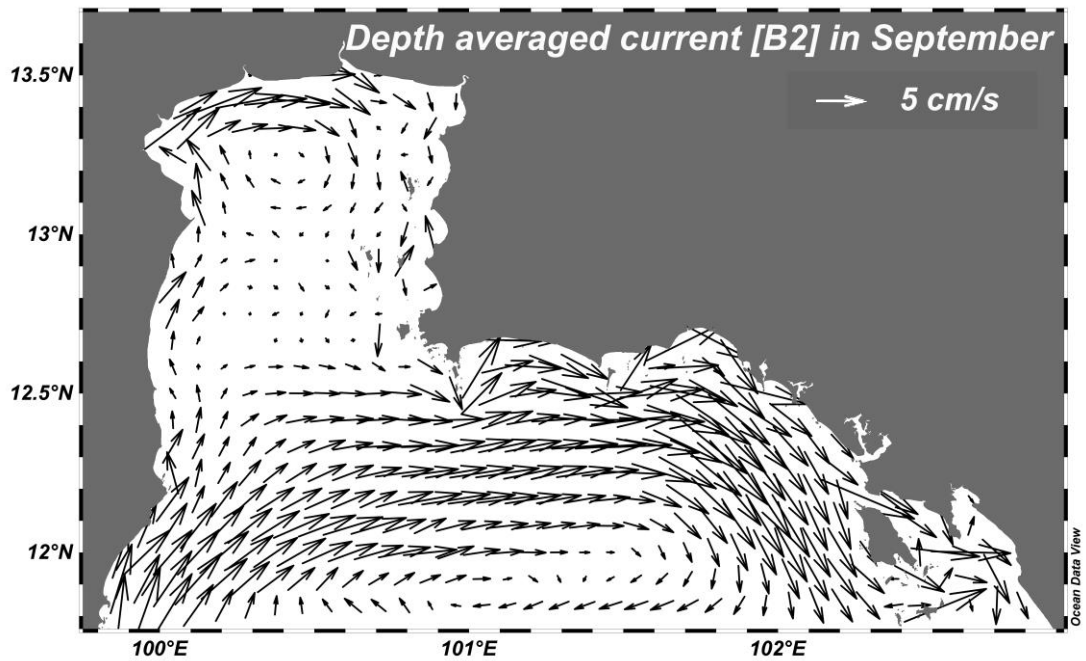
ภาพที่ 4.23 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมิถุนายน



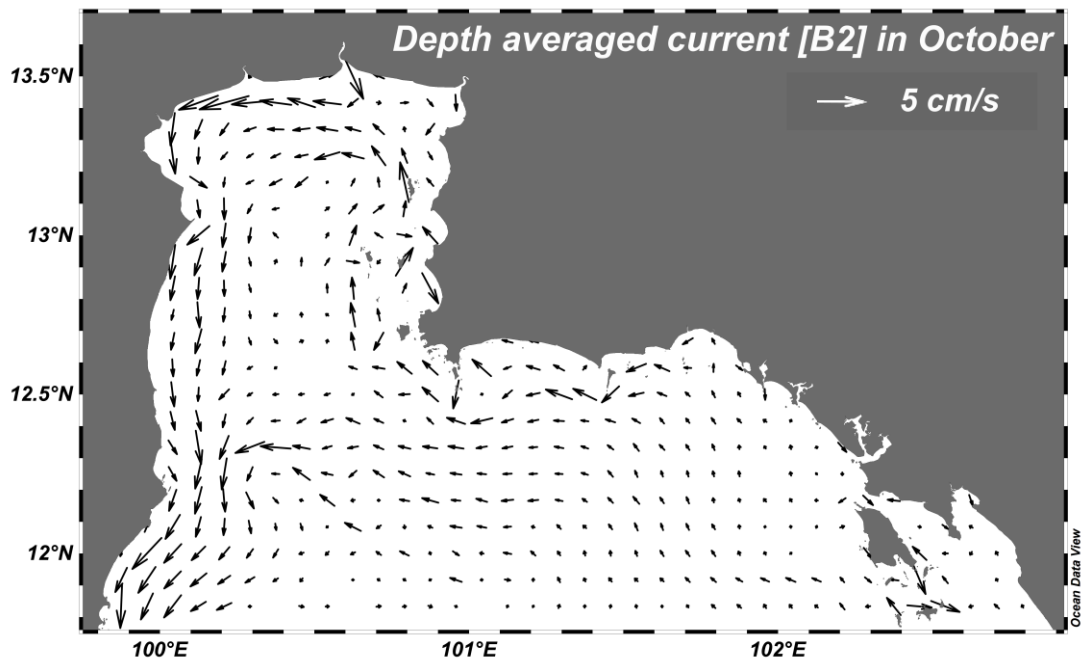
ภาพที่ 4.24 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ
ในเดือนกรกฎาคม



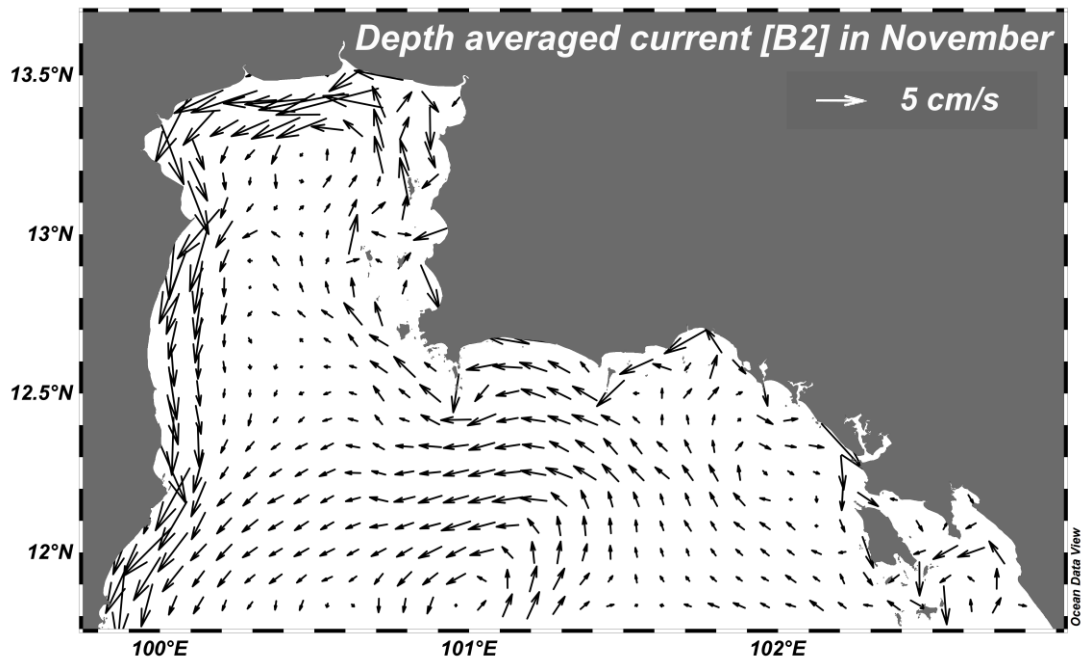
ภาพที่ 4.25 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ
ในเดือนสิงหาคม



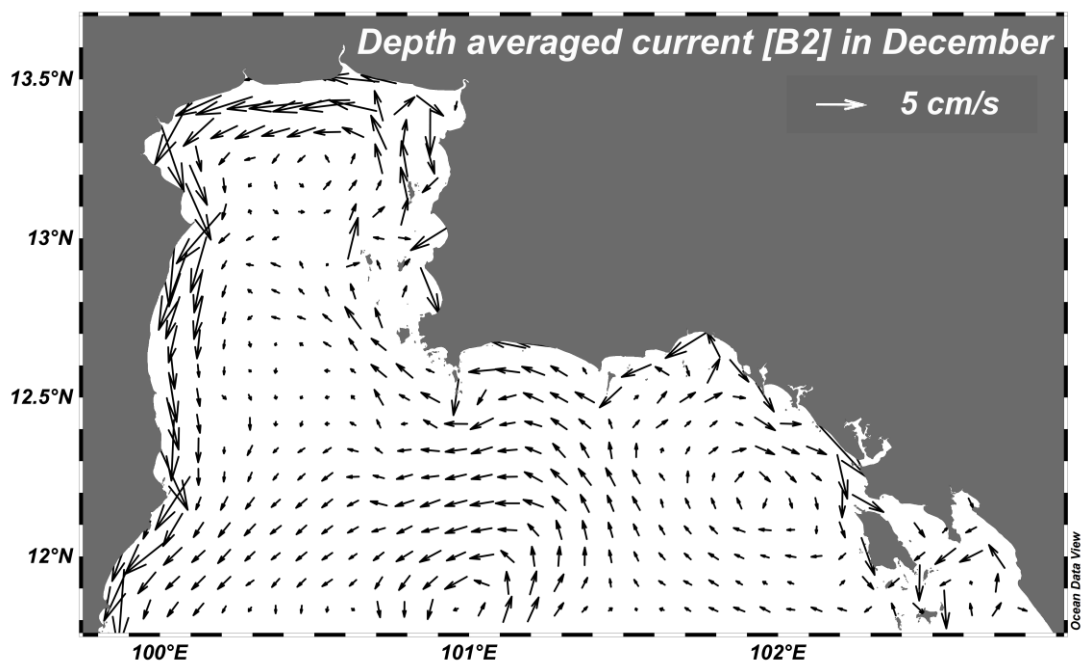
ภาพที่ 4.26 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกันยายน



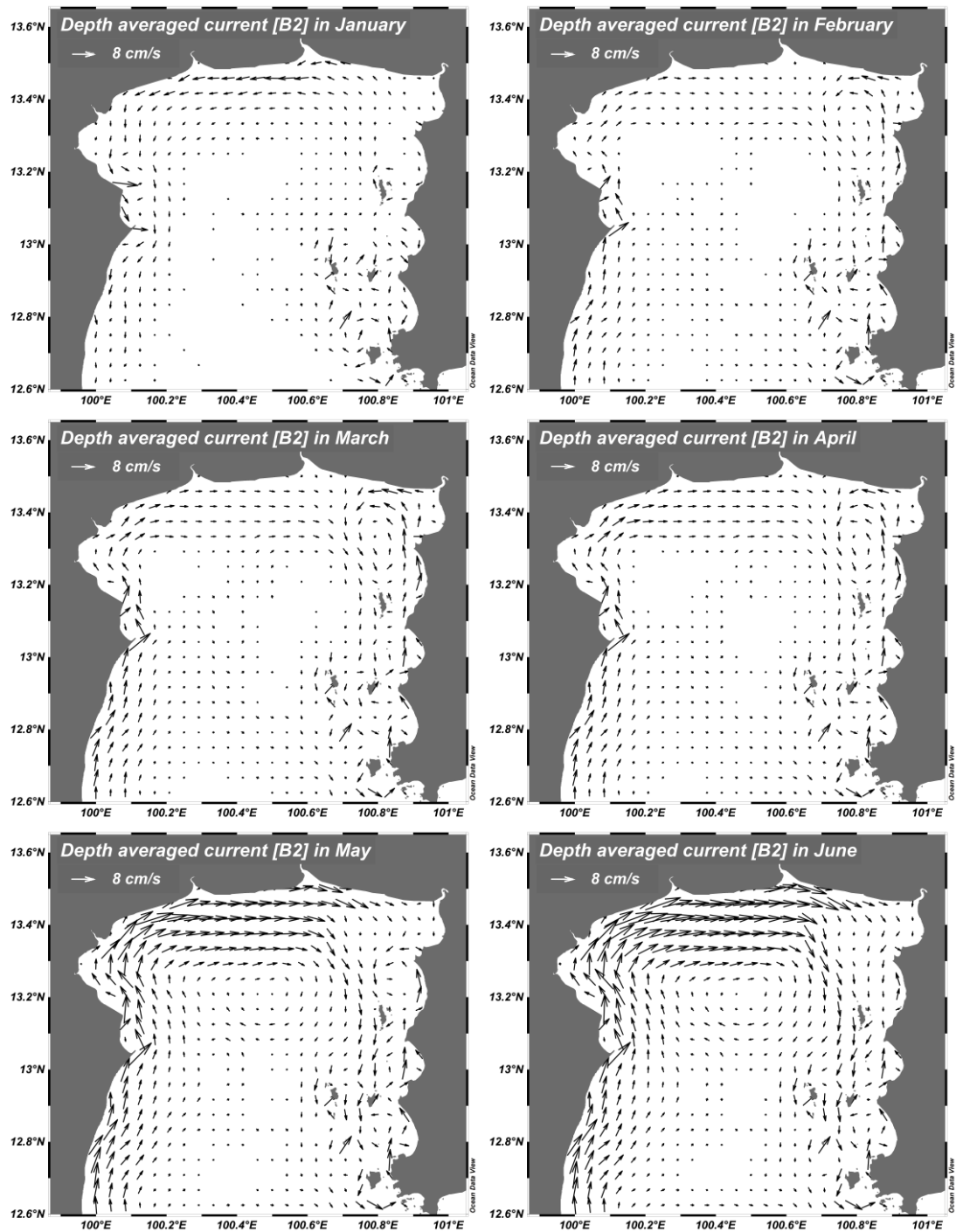
ภาพที่ 4.27 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนตุลาคม



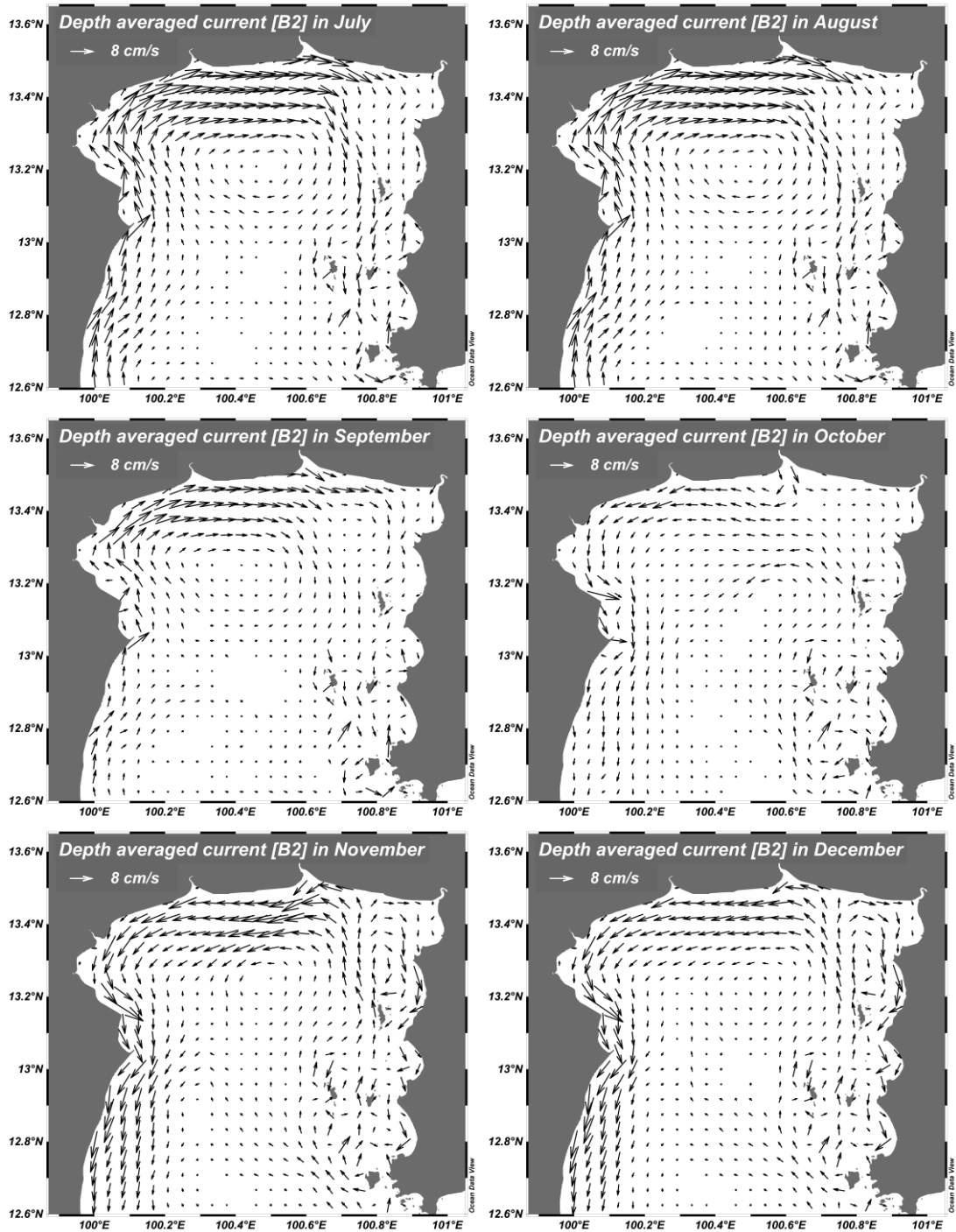
ภาพที่ 4.28 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤศจิกายน



ภาพที่ 4.29 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนธันวาคม



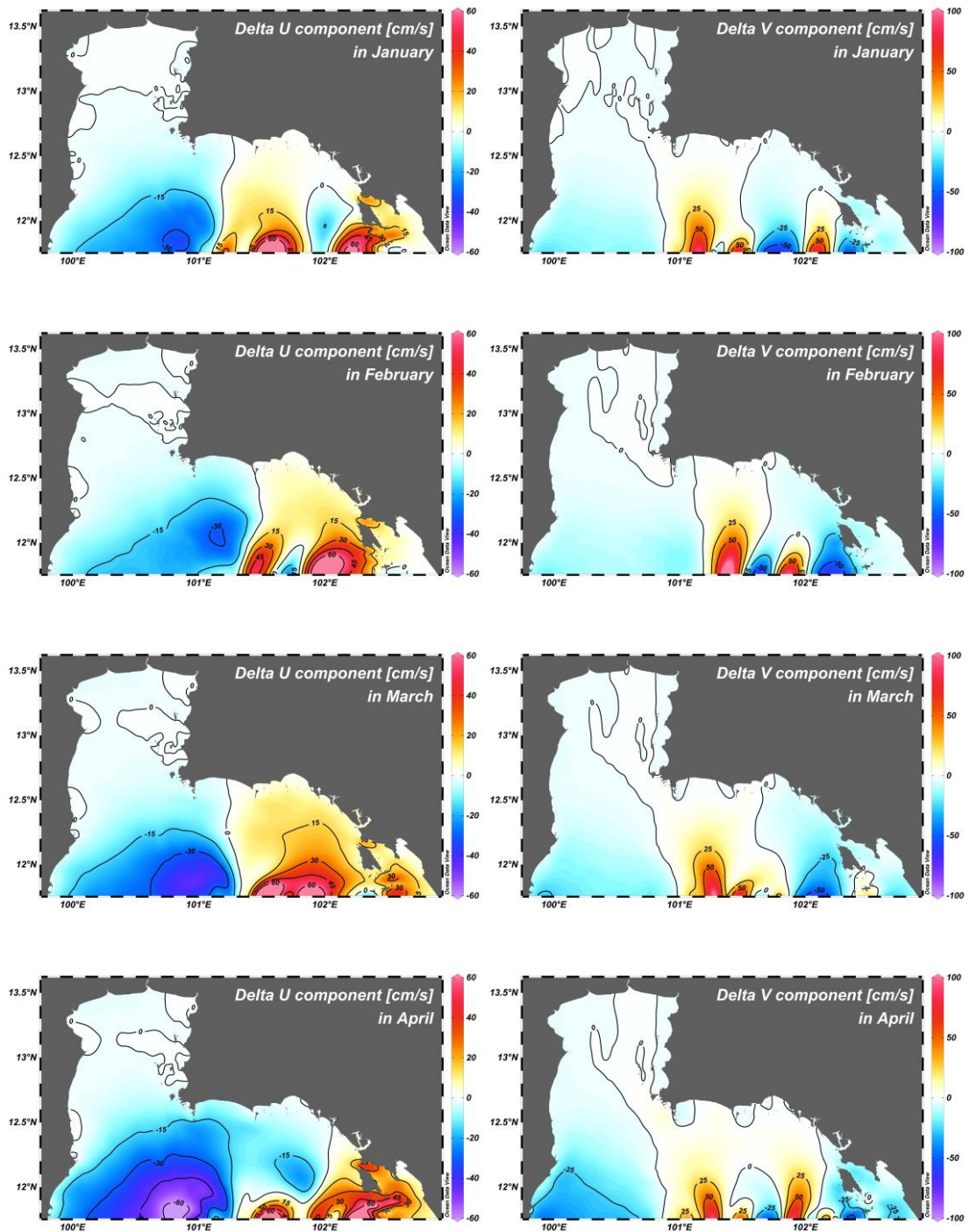
ภาพที่ 4.30 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ
ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน



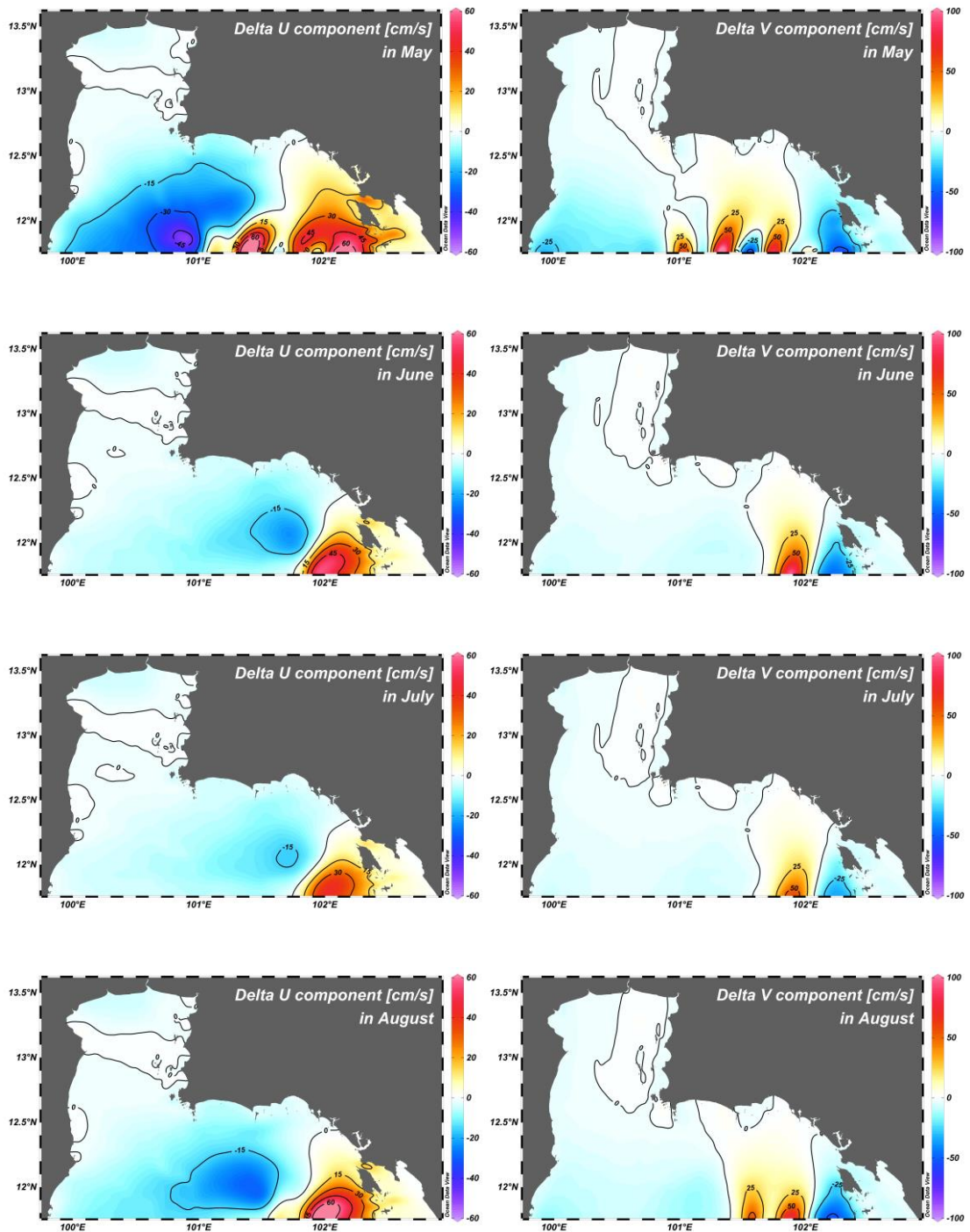
ภาพที่ 4.31 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ
ในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - เดือนธันวาคม

4.3.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของกระแสน้ำ

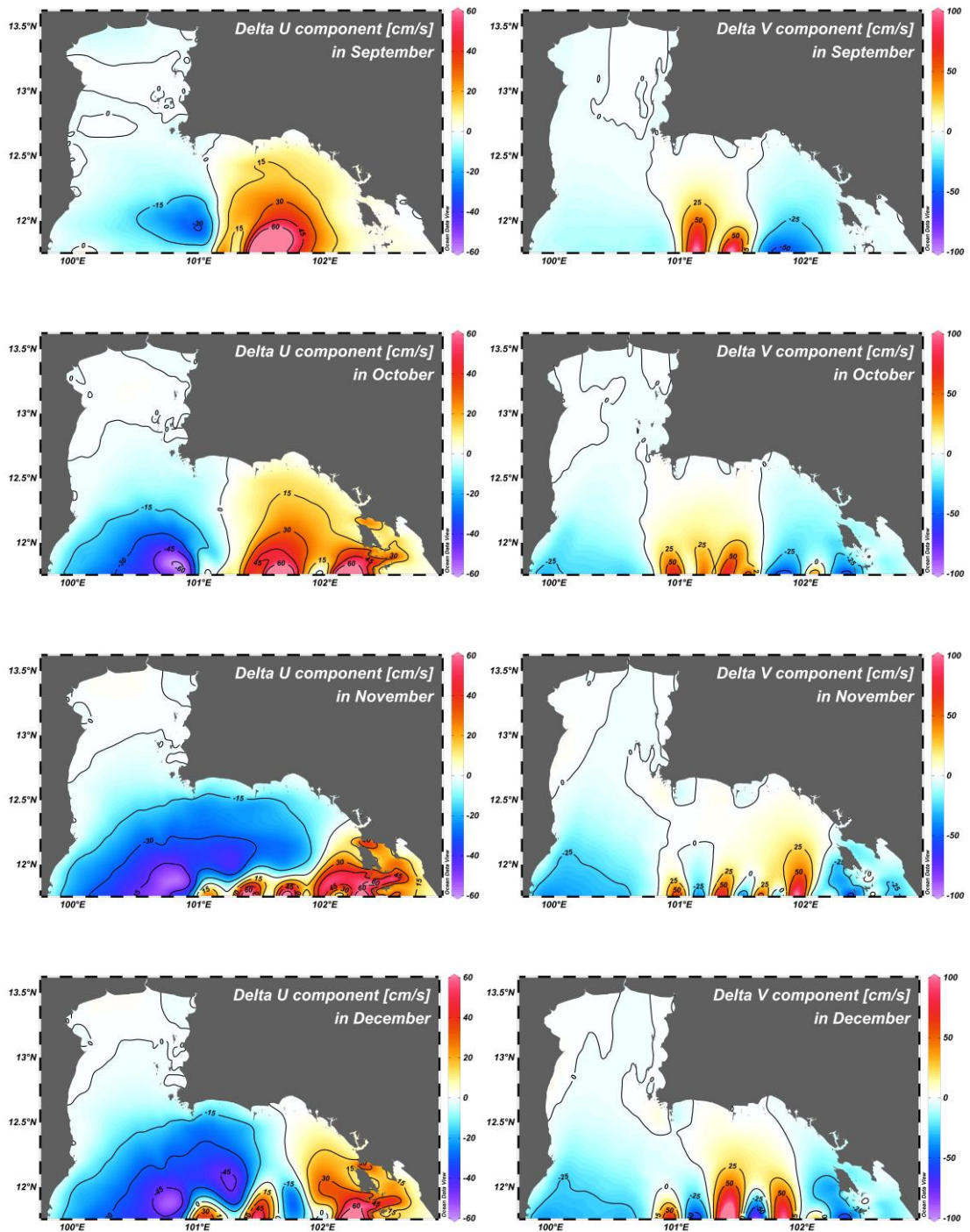
ความแตกต่างของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกภายในระหว่างเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และเงื่อนไขแบบกระแสน้ำจากสมการที่ 3.3 พบว่าอัตราเร็วของกระแสน้ำจากเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีค่ามากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำตลอดทั้งปี โดยบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดมีความแตกต่างอย่างชัดเจนและในบริเวณที่ไกลออกไป เช่น บริเวณอ่าวไทยตอนบนไม่พบความแตกต่างดังภาพที่ 4.32 – 4.34 ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำในแนวตะวันออก – ตะวันตกหรือแนวแกน x (U component) และกระแสน้ำในแนวเหนือ – ใต้หรือแนวแกน y (V component) โดยตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤษภาคม และเดือนสิงหาคม – ธันวาคมความแตกต่างของกระแสน้ำในแนวแกน x มีค่าสูงสุดประมาณ 60 เซนติเมตร/วินาที และแนวแกน y มีค่าสูงสุดประมาณ 100 เซนติเมตร/วินาที ที่บริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด ส่วนในบริเวณอ่าวไทยตอนบนความแตกต่างของกระแสน้ำทั้งในแนวแกน x และแกน y มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคมความแตกต่างของกระแสน้ำมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเดือนอื่น ๆ โดยเฉพาะเดือนกรกฎาคมที่มีความแตกต่างน้อยที่สุด โดยความแตกต่างของกระแสน้ำทั้งในแนวแกน x มีค่าสูงสุดประมาณ 15 เซนติเมตร/วินาที และในแนวแกน y มีค่าสูงสุดประมาณ 50 เซนติเมตร/วินาที ในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดด้านตะวันออก และอ่าวไทยตอนบนความแตกต่างของกระแสน้ำในแนวแกน x และแกน y มีค่าเข้าใกล้ศูนย์เช่นเดียวกับเดือนอื่น ๆ



ภาพที่ 4.32 ความแตกต่างของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดในแนว ตะวันออก - ตะวันตก (ซ้าย) และแนวเหนือ - ใต้ (ขวา) ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือน เมษายน



ภาพที่ 4.33 ความแตกต่างของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดในแนว
 ตะวันออก - ตะวันตก (ซ้าย) และแนวเหนือ - ใต้ (ขวา) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม -
 เดือนสิงหาคม



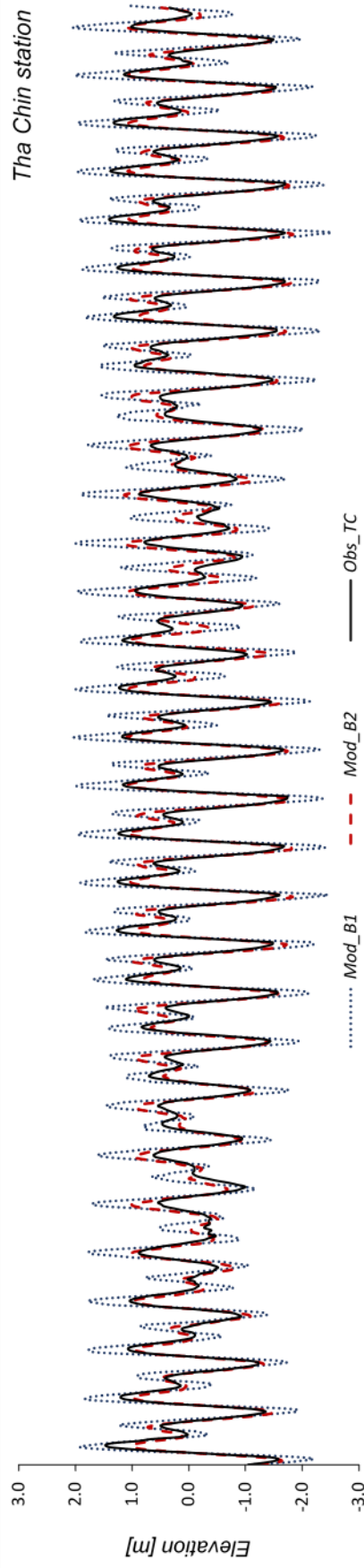
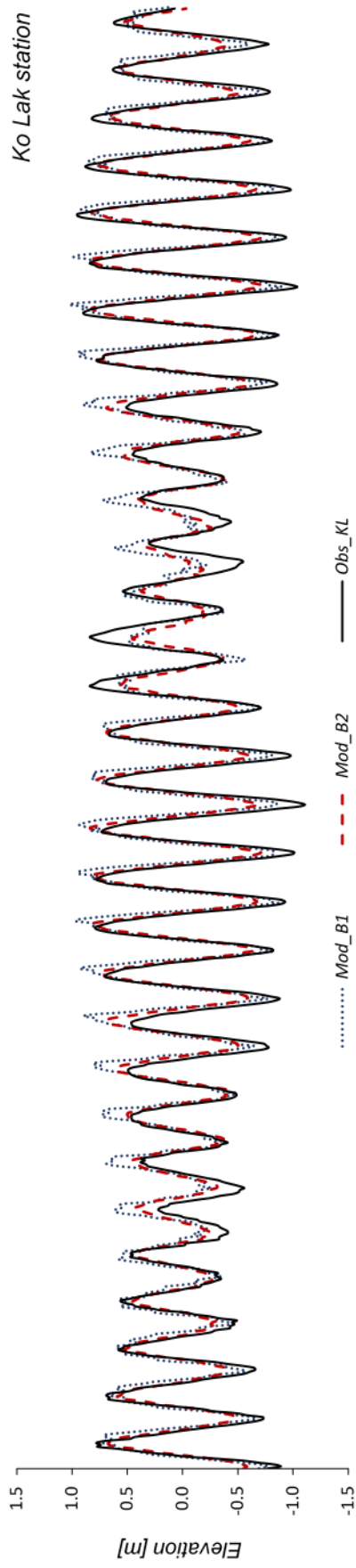
ภาพที่ 4.34 ความแตกต่างของกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึก ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดในแนว
 ตะวันออก - ตะวันตก (ซ้าย) และแนวเหนือ - ใต้ (ขวา) ตั้งแต่เดือนกันยายน - เดือน
 ธันวาคม

4.3.4 การเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลง

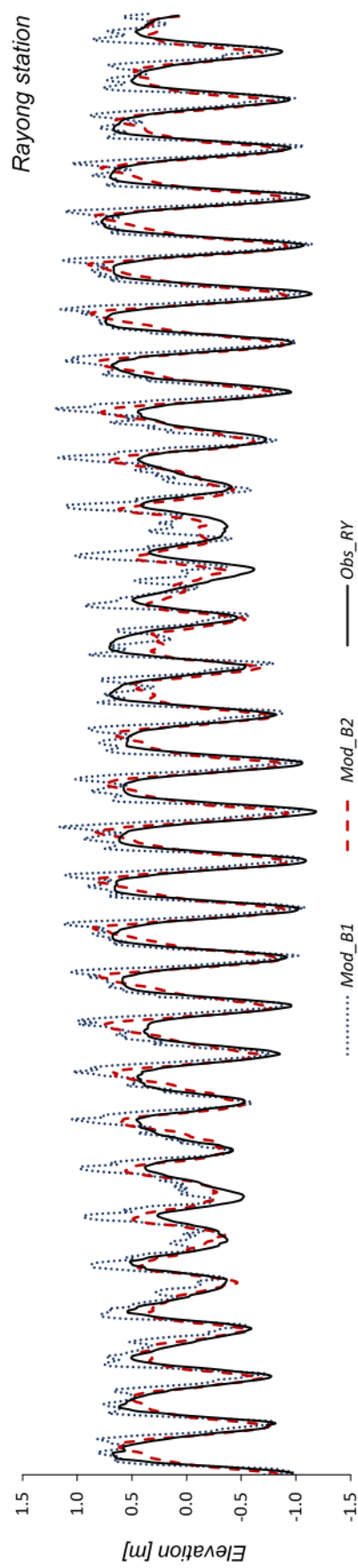
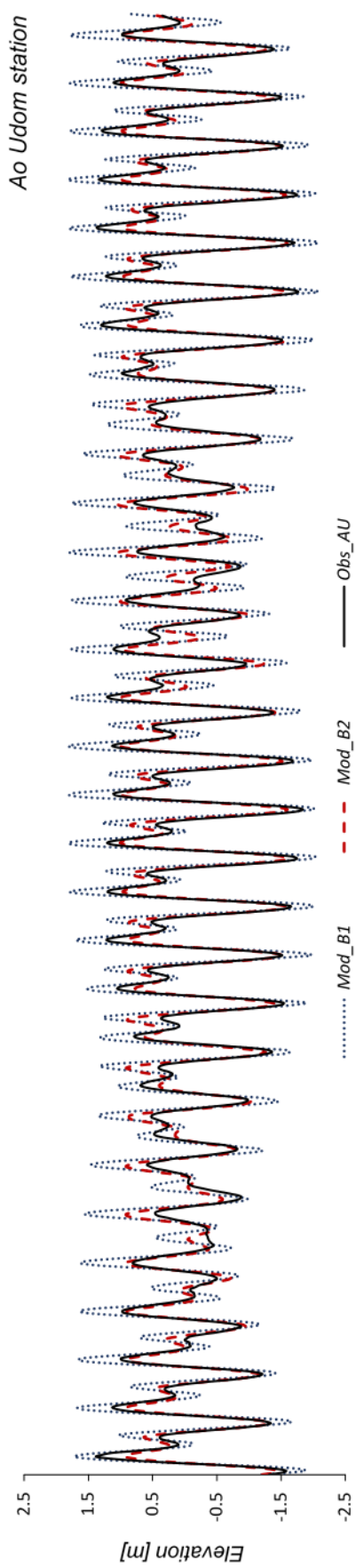
ระดับน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้จากการจำลองการไหลเวียนกระแส น้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและแบบกระแส น้ำถูกนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบระดับน้ำจากเงื่อนไขทั้ง 2 แบบกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริงในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทั้งหมด 5 สถานี ได้แก่ สถานีเกาะหลัก (KL) สถานีท่าจีน (TC) สถานีอ่าวอุดม (AU) สถานีระยอง (RY) และสถานีแหลมฉบัง (LG) ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 3.3 ผลจากการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำพบว่า เฟส (Phase) ของระดับน้ำจากแบบจำลองของเงื่อนไขทั้ง 2 แบบตรงกับเฟสของระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในทุกสถานี แต่ขนาด (Amplitude) ของระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในทุกสถานี (ภาพที่ 4.35 – 4.37) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficients; R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าค่า R^2 จากเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและแบบกระแสน้ำในสถานีเกาะหลักมีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดมากที่สุด ตามด้วยสถานีอ่าวอุดม สถานีท่าจีน สถานีระยอง และสถานีแหลมฉบังมีความใกล้เคียงน้อยที่สุด ตามลำดับ โดยเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำตรวจวัดมากกว่าเงื่อนไขแบบระดับน้ำในทุกสถานี (ภาพที่ 4.38) ส่วนค่า RMSE พบว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากระดับน้ำตรวจวัดน้อยกว่าเงื่อนไขแบบระดับน้ำในทุกสถานี โดยสถานีเกาะหลักมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดทั้งเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและแบบกระแสน้ำ ส่วนสถานีท่าจีนพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดทั้ง 2 เงื่อนไขเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Case B1) และแบบกระแสน้ำ (Case B2)

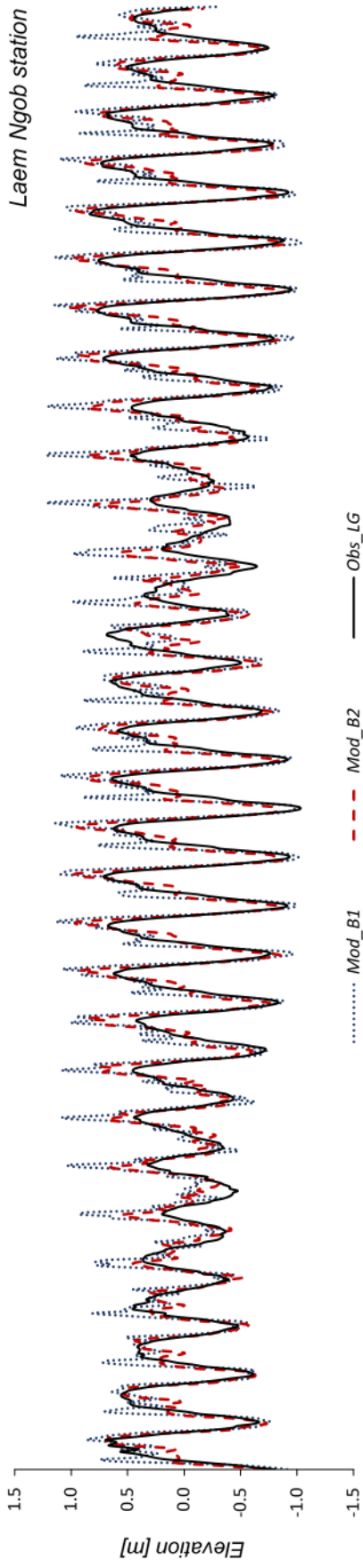
สถานี	R^2		RMSE [m]	
	Case B1	Case B2	Case B1	Case B2
KL	0.88	0.93	0.17	0.15
TC	0.85	0.91	0.52	0.23
AU	0.85	0.93	0.43	0.20
RY	0.83	0.88	0.23	0.17
LG	0.72	0.78	0.29	0.21



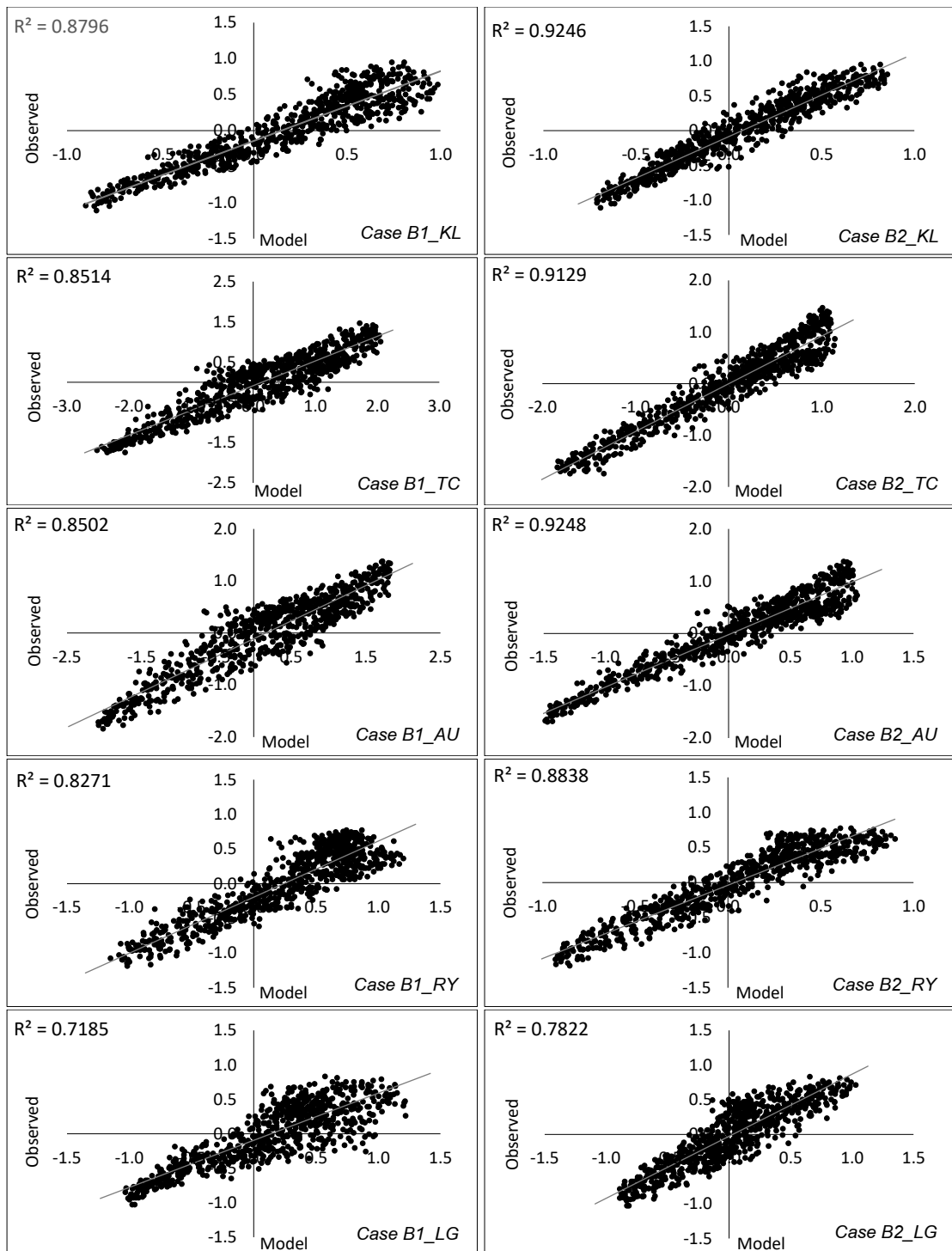
ภาพที่ 4.35 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองสี่อินพุทของเขื่อนไซขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และสี่อินพุทของเขื่อนไซขอบเขตเปิดแบบกระแส (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีเกาะหลัก (KL) และสถานีท่าจีน (TC) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.36 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองสองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสหน้า (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีอ่าวอุดม (AU) และสถานีระยอง (RY) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.37 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองสองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสหน้า (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีแหลมฉบัง (LG)



ภาพที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Case B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ (Case B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัดในสถานีเกาะหลัก (KL) ท่าจีน (TC) อ่าวอุดม (AU) ระยอง (RY) และแหลมงอบ (LG) ตามลำดับ

4.3.5 การเปรียบเทียบกระแสน้ำ

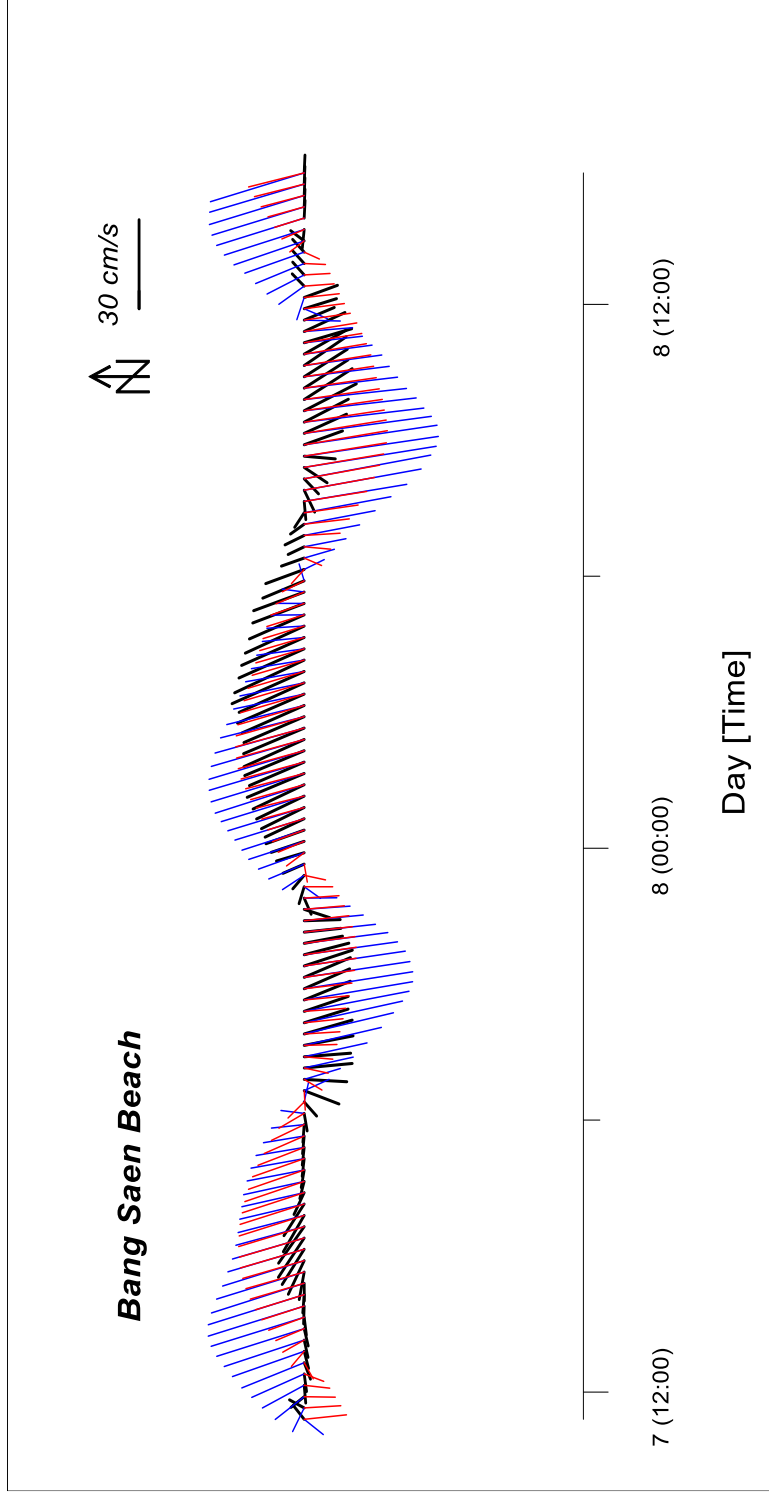
อัตราเร็วและทิศทางของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ ถูกนำมาสร้างกราฟแบบเวกเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง 3 สถานี ได้แก่ หาดบางแสน หาดปลา และบ้านเพ (ภาพที่ 3.3) ผลจากการเปรียบเทียบบริเวณหาดบางแสน (ภาพที่ 4.39) พบว่าขนาดของอัตราเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีค่ามากกว่าอัตราเร็วกระแสน้ำจากการตรวจวัดอย่างชัดเจน และแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีค่าใกล้เคียงกับอัตราเร็วกระแสน้ำจากการตรวจวัดแต่มีบางช่วงเวลาที่ค่าสูงกว่า ส่วนทิศทางของกระแสน้ำของทั้ง 2 เงื่อนไขมีความแตกต่างกับทิศทางของกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดเล็กน้อย ยกเว้นช่วงเปลี่ยนเฟสของกระแสน้ำที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าเงื่อนไขแบบระดับน้ำทั้งอัตราเร็ว (ภาพที่ 4.42A) และทิศทาง (ภาพที่ 4.42B) บริเวณหาดปลาพบว่าอัตราเร็วกระแสน้ำของแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่าสูงกว่าอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการตรวจวัดเล็กน้อย (ภาพที่ 4.40) และทิศทางกระแสน้ำของแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีความแตกต่างกับทิศทางกระแสน้ำจากการตรวจวัดเล็กน้อย ยกเว้นช่วงเปลี่ยนเฟสที่ทิศทางของกระแสน้ำมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับบริเวณแหลมแท่น เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์พบว่าอัตราเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วกระแสน้ำจากการตรวจวัดมากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ (ภาพที่ 4.43A) ส่วนทิศทางของกระแสน้ำพบว่าแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีความสัมพันธ์กับทิศทางของกระแสน้ำจากการตรวจวัดสูง โดยเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (ภาพที่ 4.43B) ส่วนบริเวณบ้านเพ (ภาพที่ 4.41) พบว่าอัตราเร็วกระแสน้ำของแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่ามากกว่าอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการตรวจวัดอย่างชัดเจน และพบว่าทิศทางกระแสน้ำของแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีความแตกต่างกับทิศทางกระแสน้ำจากการตรวจวัดอย่างชัดเจน และจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์พบว่าอัตราเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีความสัมพันธ์น้อยมาก (ภาพที่ 4.44A) ส่วนทิศทางของกระแสน้ำพบว่าแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความสัมพันธ์กับทิศทางกระแสน้ำจากการตรวจวัดมากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (ภาพที่ 4.44B) จากการเปรียบเทียบค่า RMSE ของอัตราเร็วกระแสน้ำพบว่าแบบจำลองเงื่อนไข

ขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากอัตราเร็วกระแสน้ำจากการตรวจวัดน้อยกว่า
เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในทุกสถานี (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE)
ของเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Case B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ
กระแสน้ำ (Case B2)

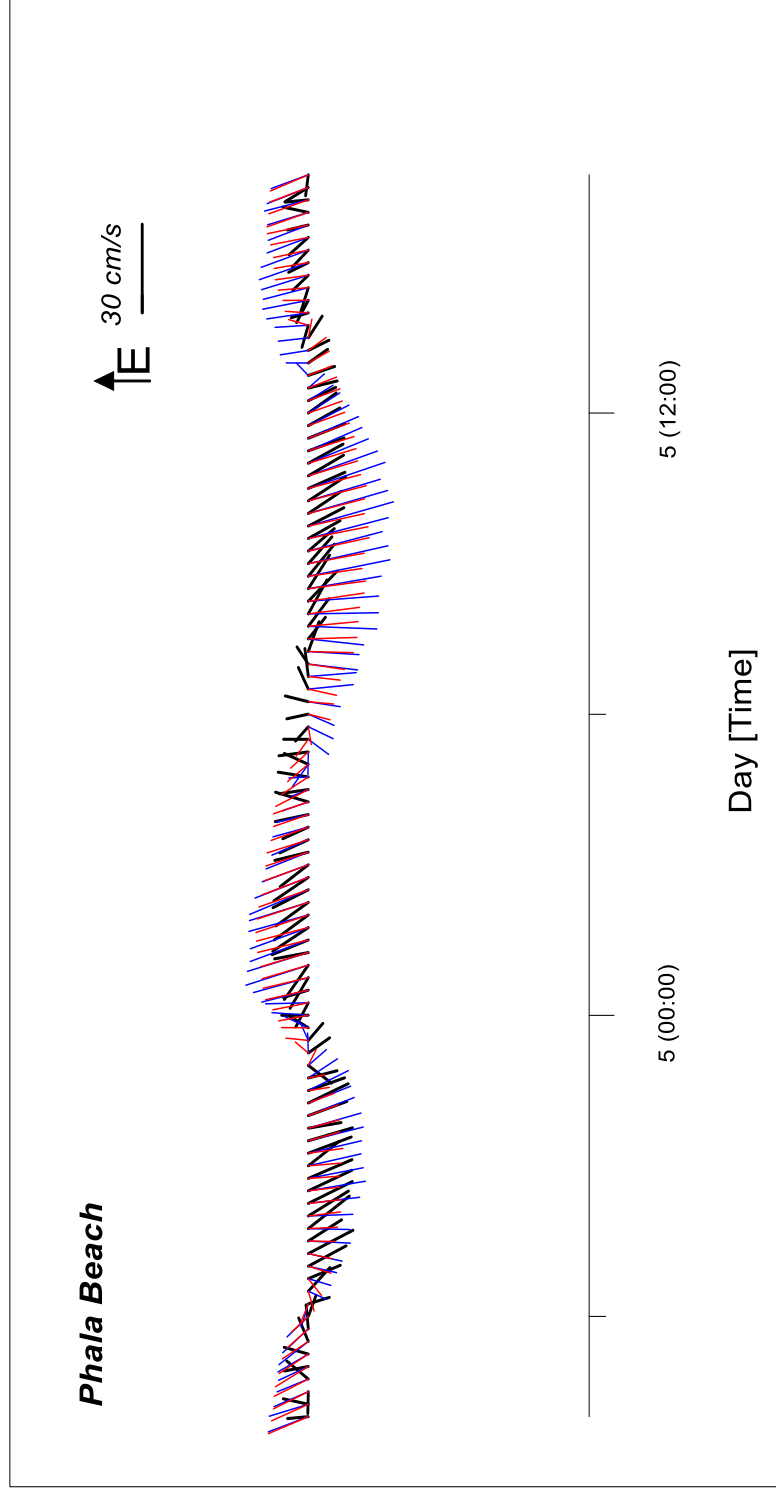
สถานี	R^2				RMSE	
	Magnitude [cm/s]		Direction [degree]		Magnitude [cm/s]	
	Case B1	Case B2	Case B1	Case B2	Case B1	Case B2
BS	0.0222	0.1738	0.0539	0.2996	14.75	8.83
PL	0.2618	0.1432	0.3293	0.5056	6.40	5.19
BP	0.0352	0.0066	0.1915	0.3058	12.20	9.60

Obs. Mod_B1 Mod_B2



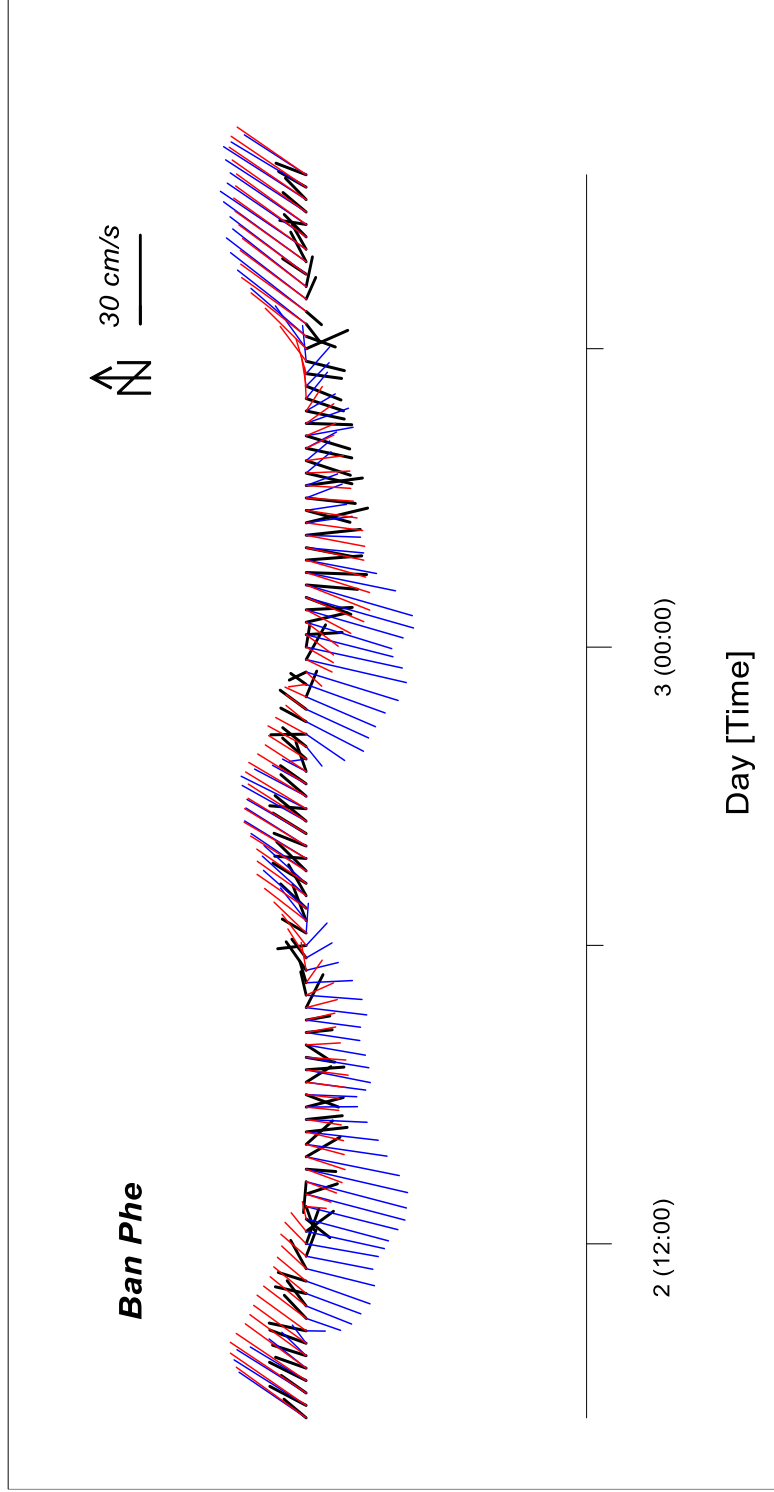
ภาพที่ 4.39 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ กระแสน้ำ (Mod_B2) กับกระแสแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัด (Obs.) บริเวณหาดบางแสน

Obs. Mod_B1 Mod_B2

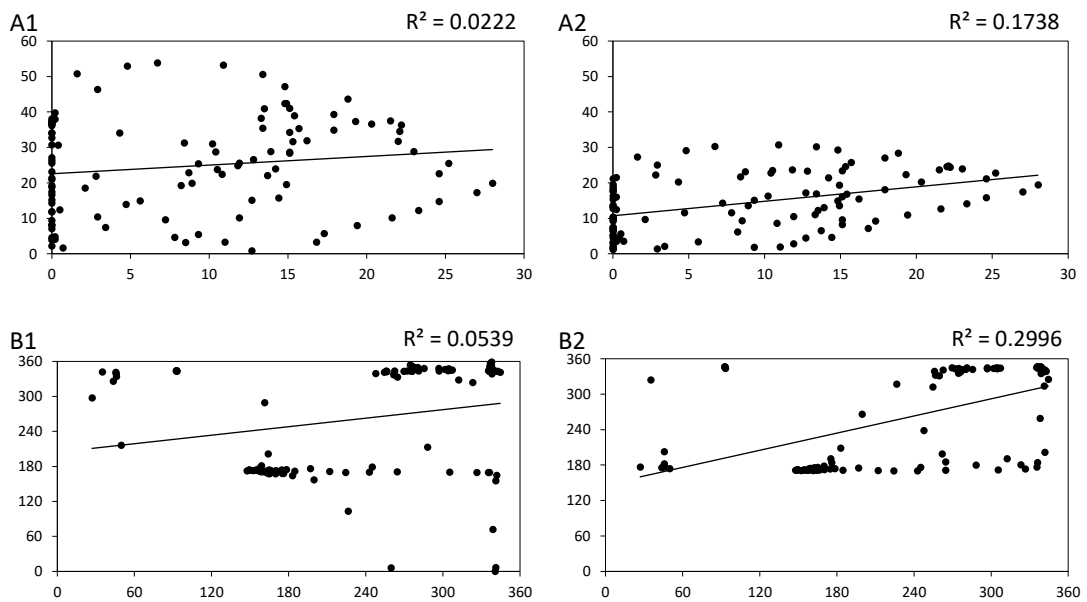


ภาพที่ 4.40 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางการกระแสน้ำจากแบบจำลองเชิงเลขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ กระแสน้ำ (Mod_B2) กับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัด (Obs.) บริเวณหาดพลา

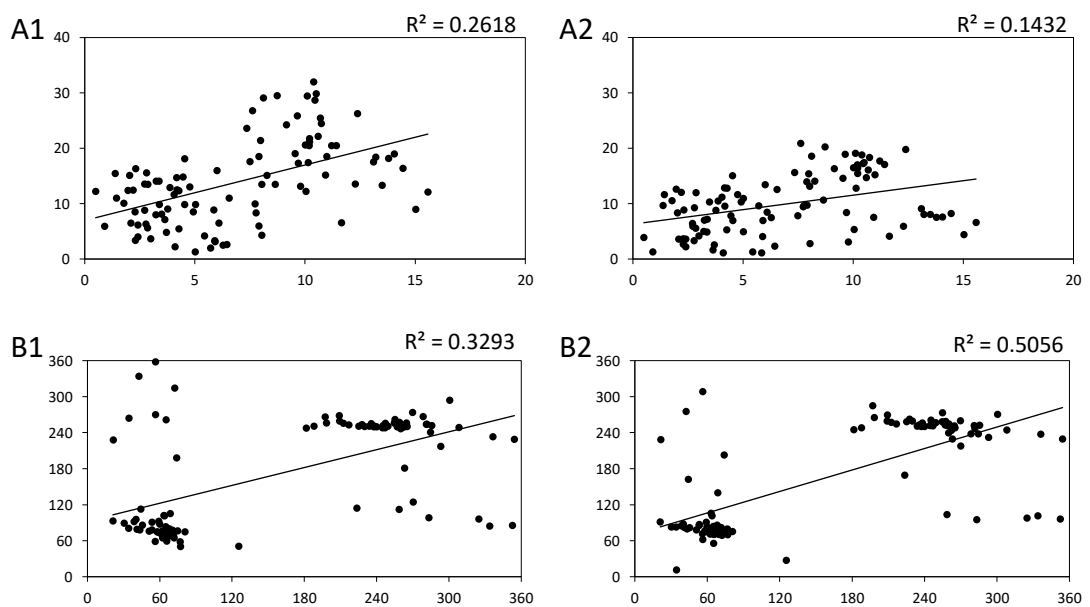
Obs. Mod_B1 Mod_B2



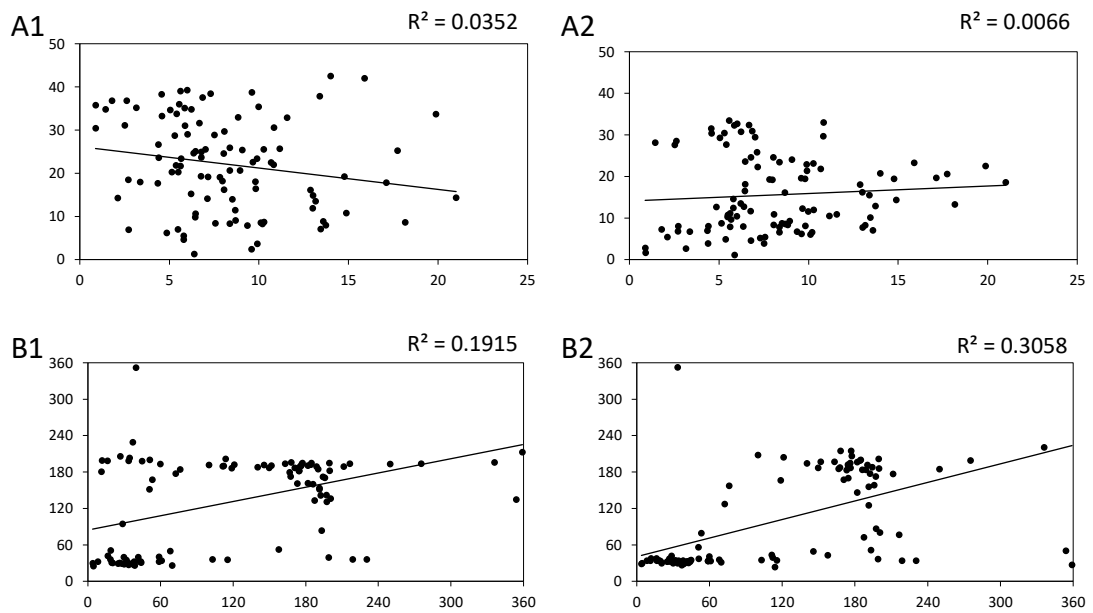
ภาพที่ 4.41 การเปรียบเทียบอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลองเชิงเลขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสสั้น (Mod_B2) กับกระแสสั้นที่ได้จากการตรวจวัด (Obs.) บริเวณบ้านเพ



ภาพที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางการเส่น้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (A1 และ B1) และแบบกระแสน้ำ (A2 และ B2) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณหาดบางแสน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางการเส่น้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (A1 และ B1) และแบบกระแสน้ำ (A2 และ B2) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณหาดพลา ตามลำดับ



ภาพที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและทิศทางกระแสน้ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ
ระดับน้ำ (A1 และ B1) และแบบกระแสน้ำ (A2 และ B2) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัด
บริเวณบ้านแพ ตามลำดับ

4.4 การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาล

จากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำของเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ แสดงการไหลเวียนกระแสน้ำใกล้ผิวทะเล (Surface current) และกระแสน้ำใกล้พื้นทะเล (Bottom current) ในพื้นที่อ่าวไทยตอนเหนือและอ่าวไทยตอนบนดังนี้

4.4.1 กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

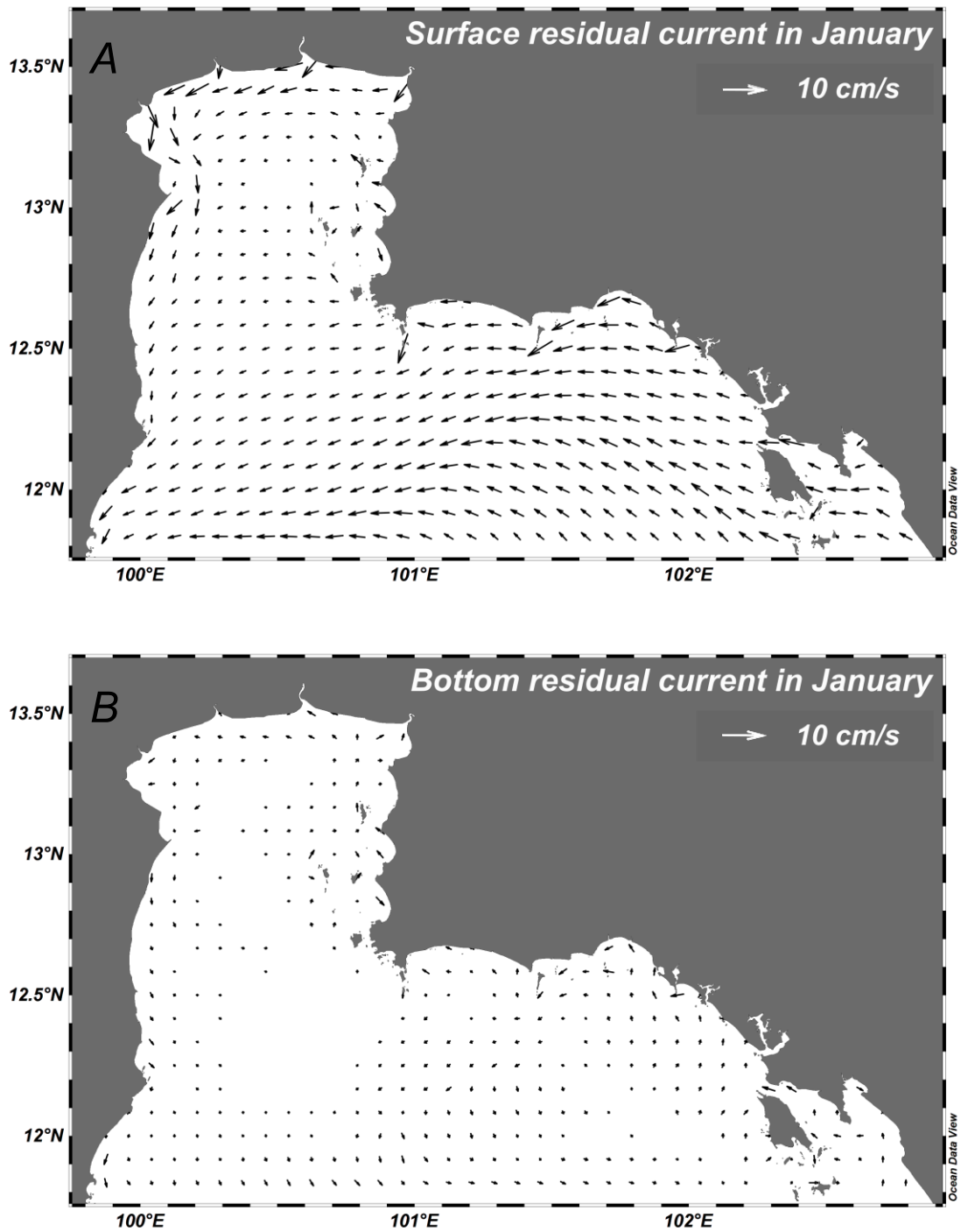
การไหลเวียนกระแสน้ำตามความลึกบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน โดยพบว่ากระแสน้ำบริเวณใกล้ผิวทะเลมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลมในแต่ละเดือน และกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางสอดคล้องกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลแต่มีอัตราเร็วน้อยกว่า โดยสามารถแบ่งการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือได้เป็น 4 ช่วงคือ (1) ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (กุมภาพันธ์ – เมษายน) กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศเหนือทั่วทั้งพื้นที่ ยกเว้นบริเวณกลางอ่าวกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและชนกับกระแสน้ำที่ไหลมาทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้กระแสน้ำเลี้ยวเบนไปทางทิศเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือตามลักษณะของชายฝั่ง (ภาพที่ 4.46A – 4.48A) อัตราเร็วสูงสุดและอัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้ประมาณ 10 เซนติเมตร/วินาที และ 5 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลส่วนใหญ่มีทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศทางของกระแสน้ำที่ผิวทะเล โดยกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้เป็นหลัก (ภาพที่ 4.46B – 4.48B) อัตราเร็วสูงสุดและอัตราเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 6 เซนติเมตร/วินาที และ 2 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ (2) ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – กันยายน) กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลส่วนใหญ่ไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ด้วยอัตราเร็วสูงตลอดทั้งฤดูและบางส่วนไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือในบริเวณใกล้ชายฝั่งด้านตะวันตก อัตราเร็วของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 20 เซนติเมตร/วินาที (สูงสุด 32 เซนติเมตร/วินาที ในเดือนกันยายน) และอัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 8 เซนติเมตร/วินาที (ภาพที่ 4.49A – 4.53A) กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางคล้ายกับทิศทางของกระแสน้ำที่ผิวทะเลคือ กระแสน้ำในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณกลางอ่าวกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงใต้กระแสน้ำไหลไปทางทิศใต้ ยกเว้นในเดือนกันยายนที่กระแสน้ำส่วนใหญ่ไหลไปทางทิศเหนือ และชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงใต้กระแสน้ำไหลไปทางทิศใต้ อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 10 เซนติเมตร/วินาที และเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร/วินาที (ภาพที่ 4.49B – 4.53B) (3) ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 (ตุลาคม) กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศ

ตะวันตกเป็นหลัก และไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าว อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำในช่วงนี้มีค่าประมาณ 30 เซนติเมตร/วินาที อัตราเร็วเฉลี่ยประมาณ 6 เซนติเมตร/วินาที ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำ และมีอัตราเร็วต่ำกว่า (อัตราเร็วสูงสุด 4 เซนติเมตร/วินาที และเฉลี่ย 1 เซนติเมตร/วินาที) (ภาพที่ 4.54A และ 4.54B) ตามลำดับ (4) ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (มกราคม และ พฤศจิกายน - ธันวาคม) กระแสน้ำใกล้ผิวน้ำไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันตกและบางส่วนไหลไปทางทิศใต้ อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำมีค่าประมาณ 28 เซนติเมตร/วินาที เฉลี่ย 7 เซนติเมตร/วินาที (ภาพที่ 4.45A, 4.55A และ 4.56A) ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำ โดยกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก และบางส่วนไหลไปทางทิศเหนือ อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 9 เซนติเมตร/วินาที เฉลี่ย 2.5 เซนติเมตร/วินาที (ภาพที่ 4.45B, 4.55B - 4.56B)

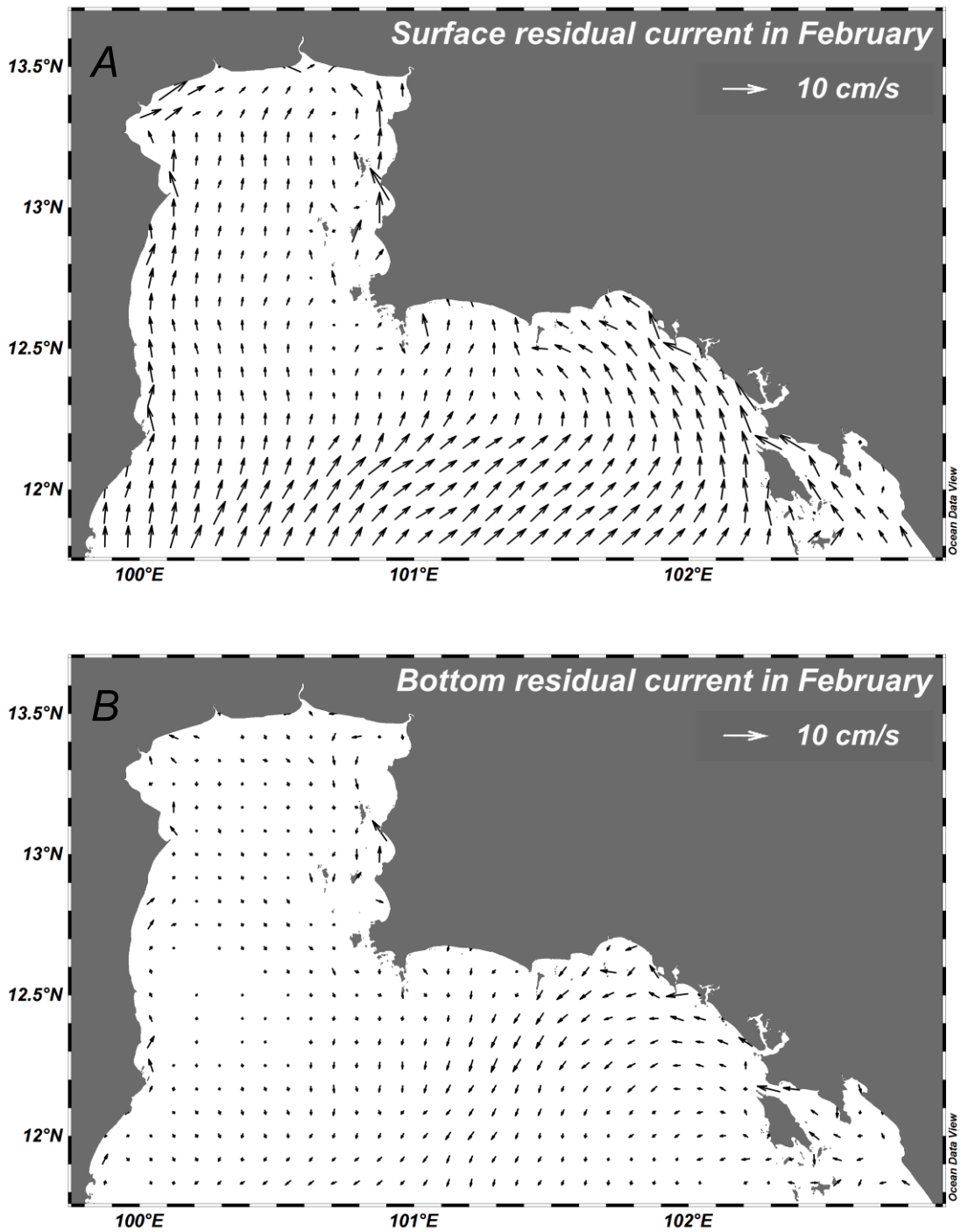
4.4.2 กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน

การไหลเวียนกระแสน้ำตามความลึกในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และสอดคล้องกับการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ โดยกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำสอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลมในแต่ละฤดู ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลทิศทางสอดคล้องกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำ แต่มีอัตราเร็วต่ำกว่า (ภาพที่ 4.57 - 4.60) ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 กระแสน้ำใกล้ผิวน้ำไหลไปทางทิศเหนือทั่วทั้งอ่าว และไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกและตะวันออก ตามลำดับ กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลไหลไปทางทิศใต้เป็นหลักในบริเวณกลางอ่าว ส่วนบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกและตะวันตกกระแสน้ำไหลไปทางทิศเหนือเป็นบางส่วน อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 10 เซนติเมตร/วินาที และ 5 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำใกล้ผิวน้ำไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก และไหลไปทางทิศตะวันออกในบริเวณชายฝั่งตอนเหนือของอ่าว ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีทิศทางไม่แน่นอน กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาบริเวณตอนบนของอ่าว ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีลักษณะปั่นป่วน อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้ผิวน้ำและใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 20 เซนติเมตร/วินาที และ 10 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2

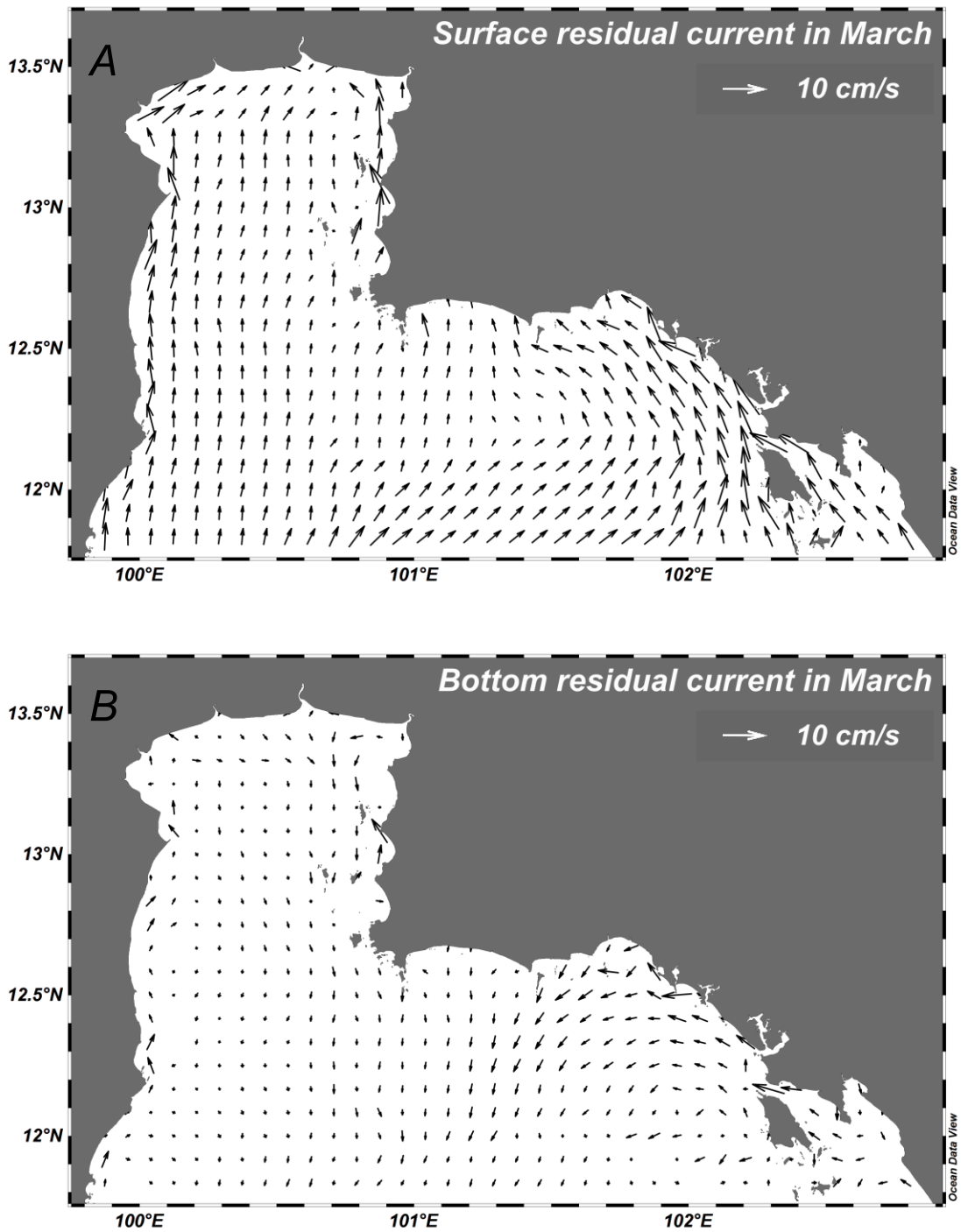
กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในบริเวณชายฝั่งด้านเหนือของอ่าวไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก และชายฝั่งด้านตะวันตกกระแสน้ำไหลไปทางทิศใต้ ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีลักษณะเบาและทิศทางไม่แน่นอน กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลไหลไปทางทิศเหนือเป็นหลัก และบางส่วนไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตก ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีลักษณะปั่นป่วน อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 30 เซนติเมตร/วินาที และ 4 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลักในบริเวณตอนเหนือของอ่าว และไหลไปทางทิศใต้บางส่วนบริเวณใกล้กับชายฝั่งตะวันออกและตะวันตก ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีรูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณตอนบนของอ่าว และชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีทิศทางไม่แน่นอน อัตราเร็วสูงสุดของกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลและใกล้พื้นทะเลมีค่าประมาณ 28 เซนติเมตร/วินาที และ 9 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ



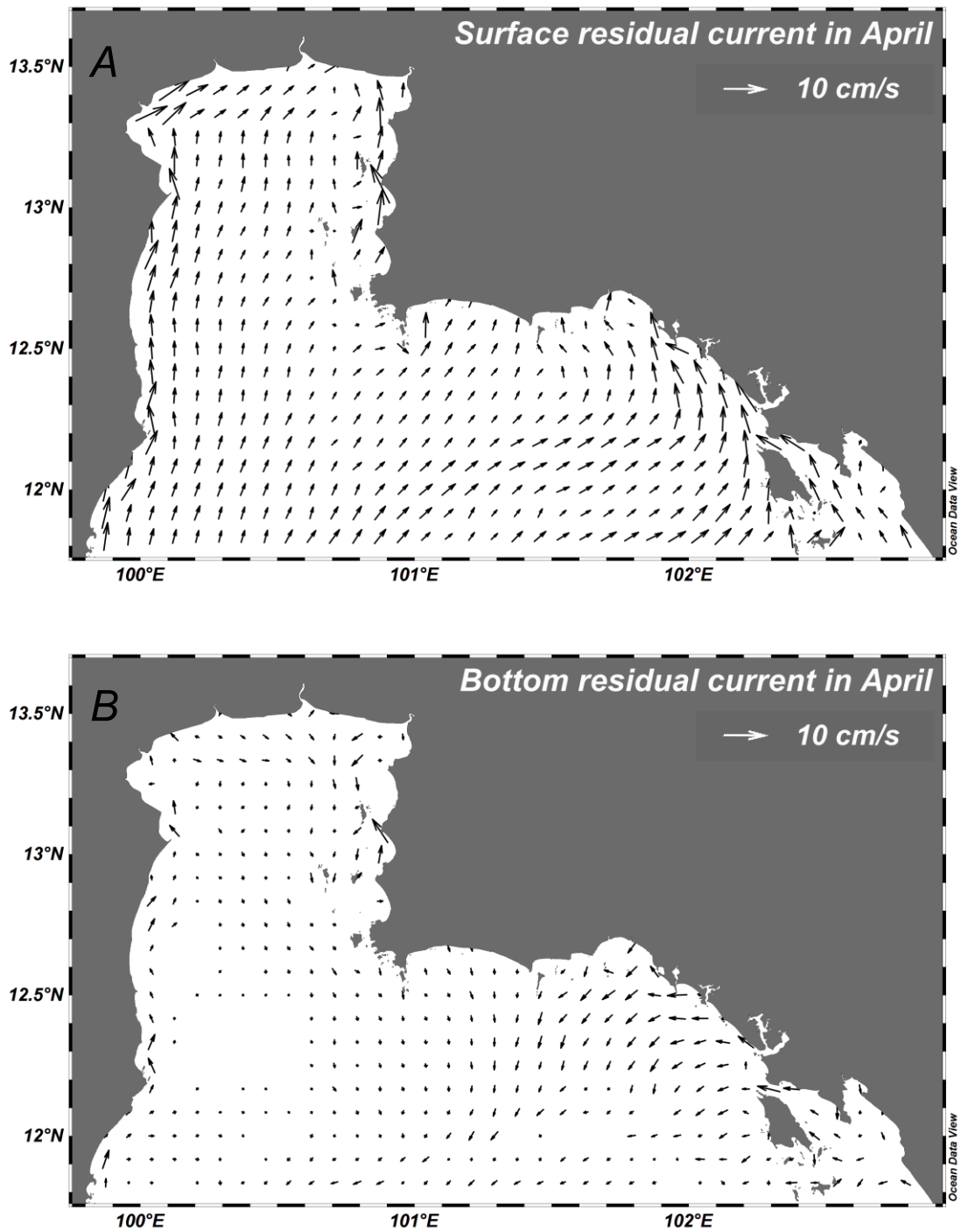
ภาพที่ 4.45 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนมกราคม



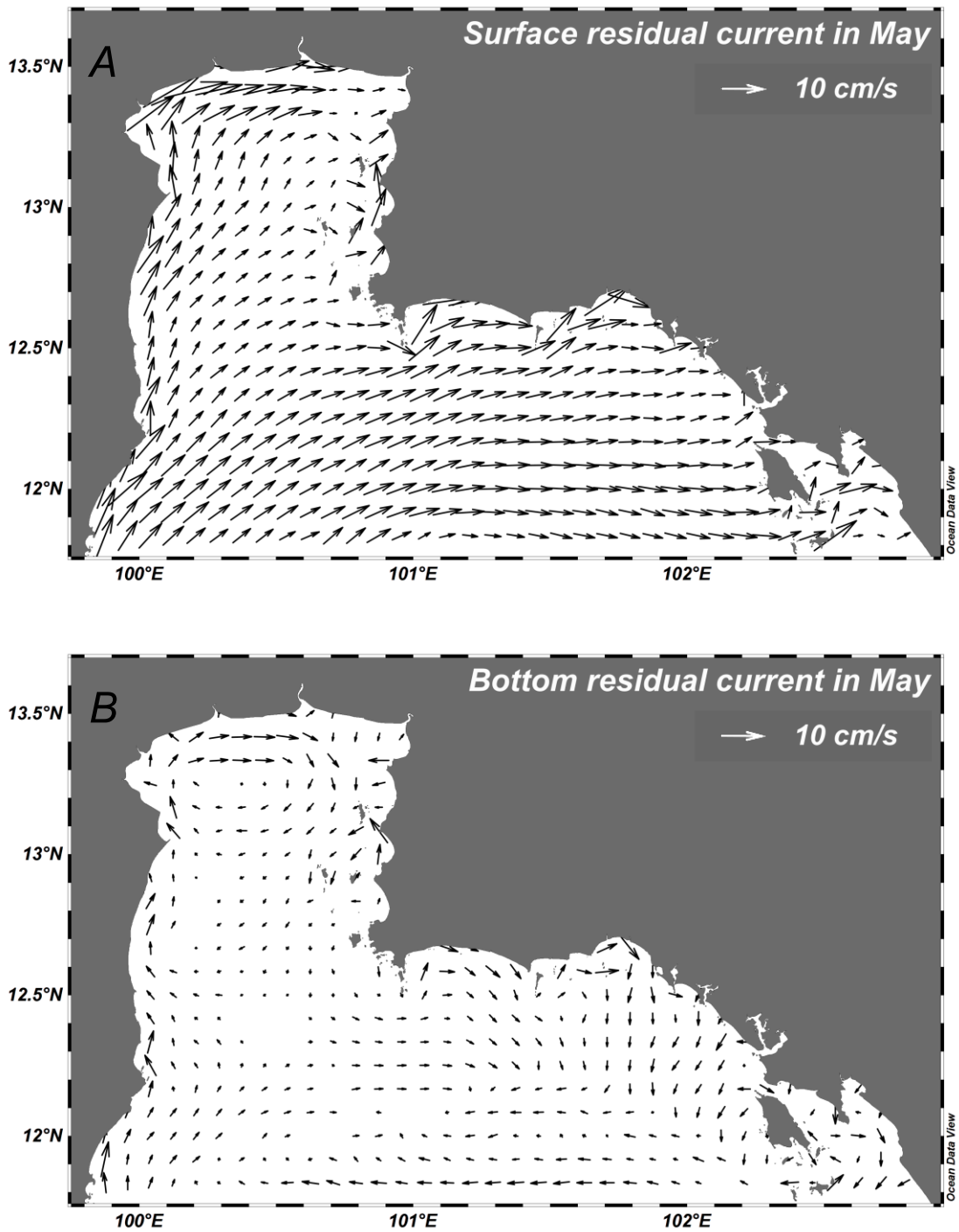
ภาพที่ 4.46 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนกุมภาพันธ์



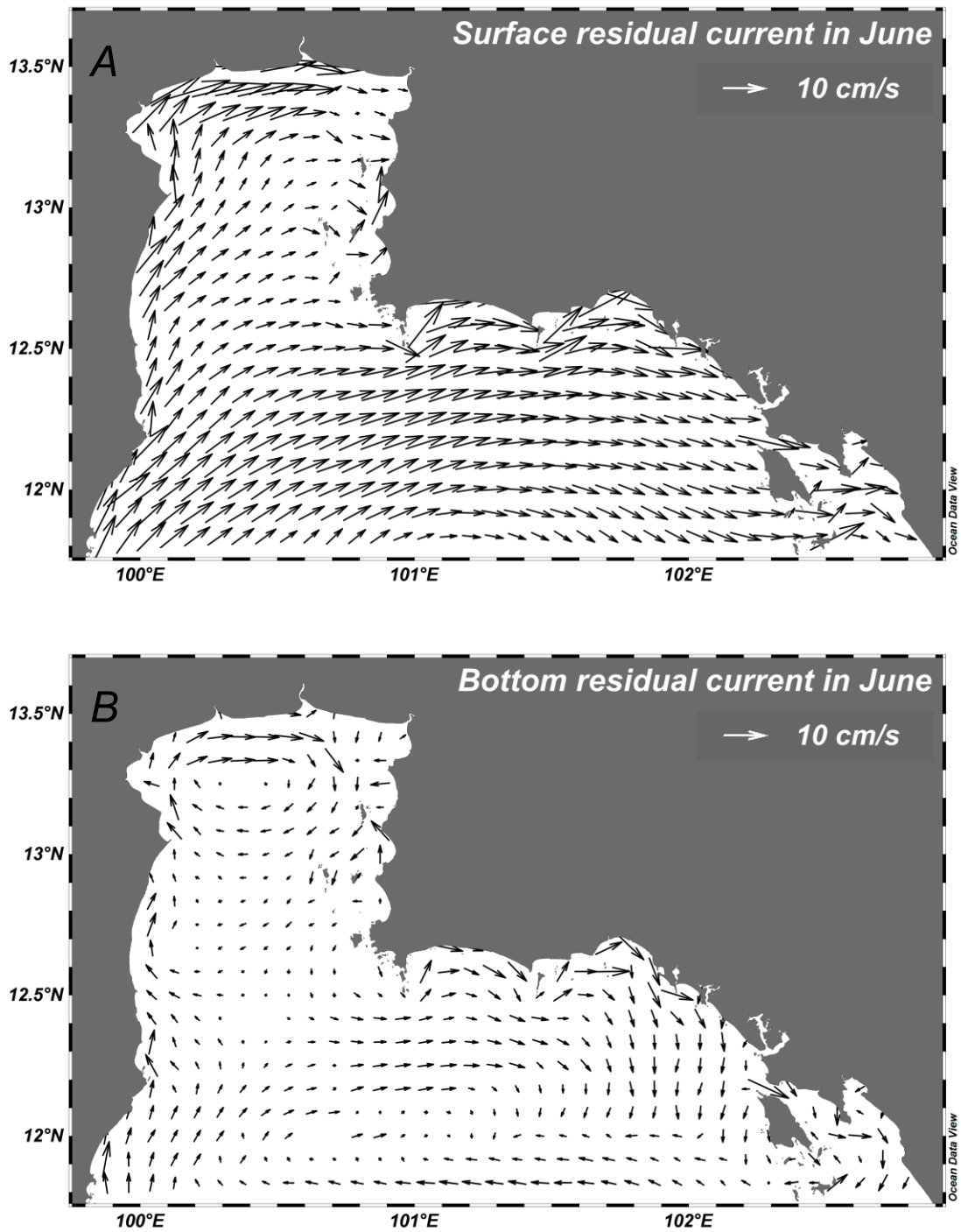
ภาพที่ 4.47 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนมีนาคม



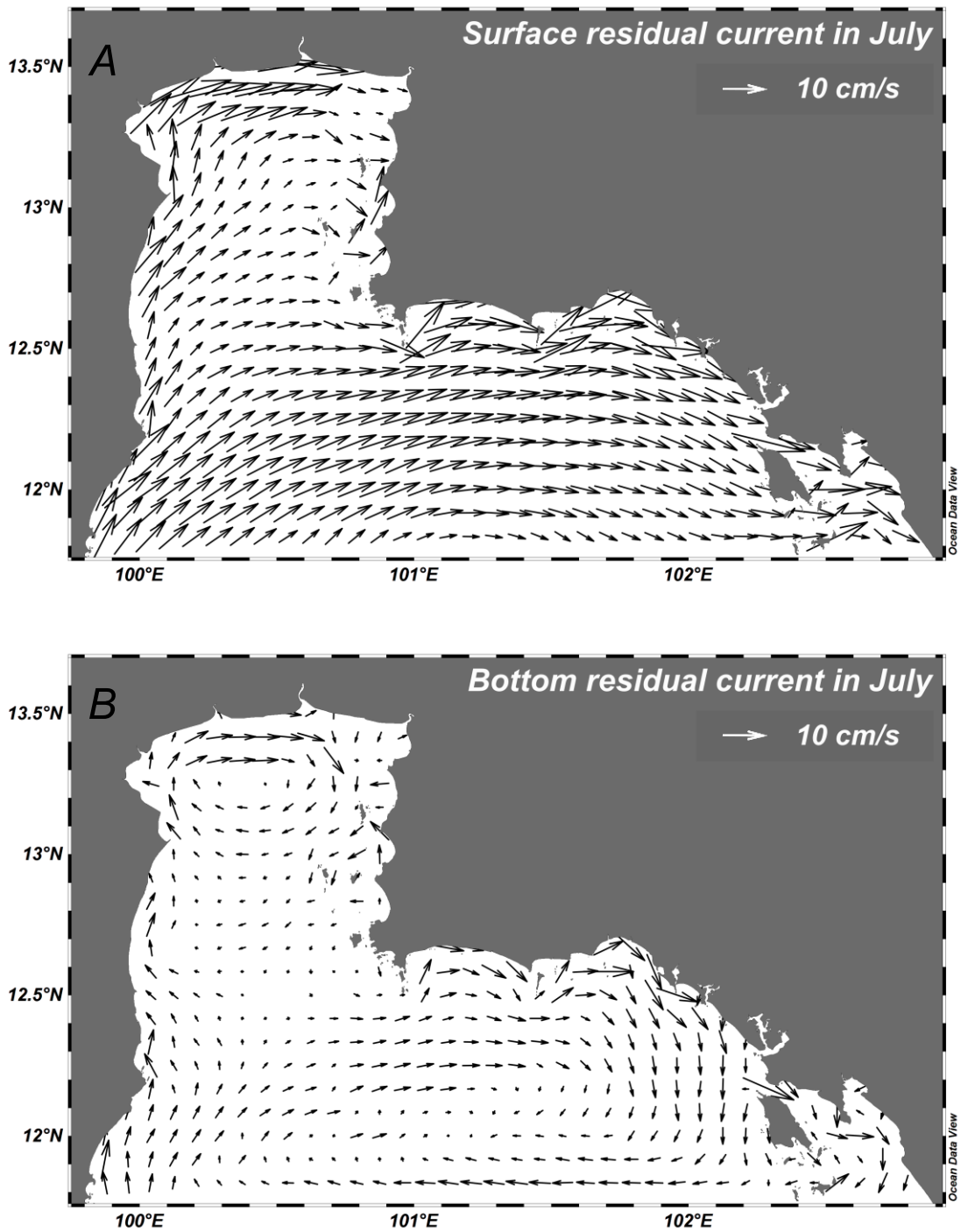
ภาพที่ 4.48 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนเมษายน



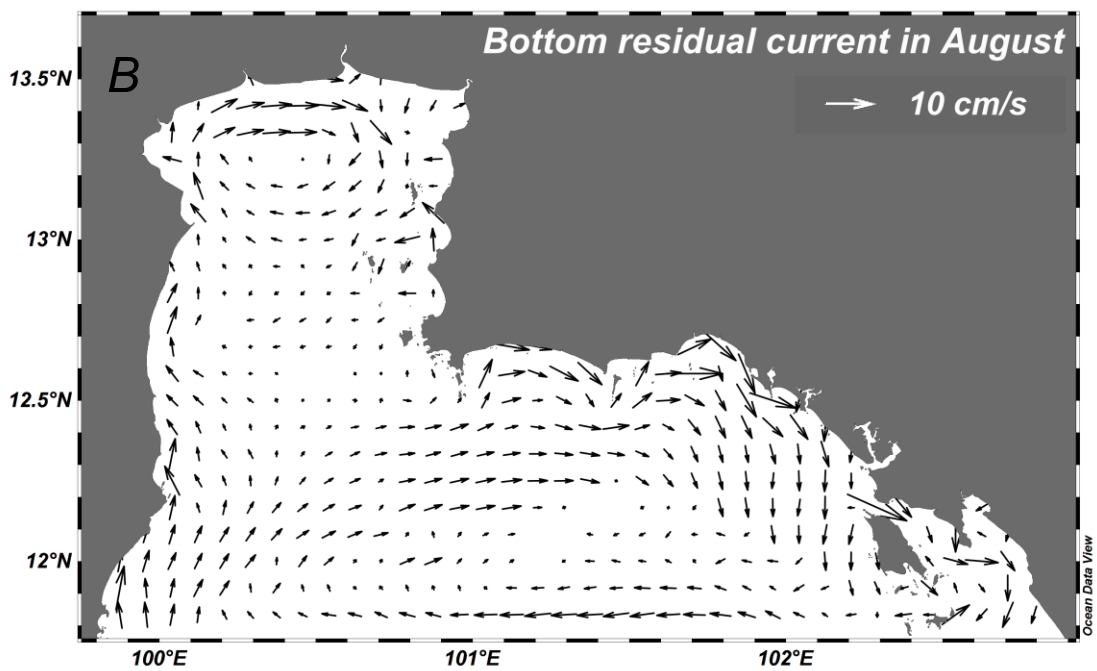
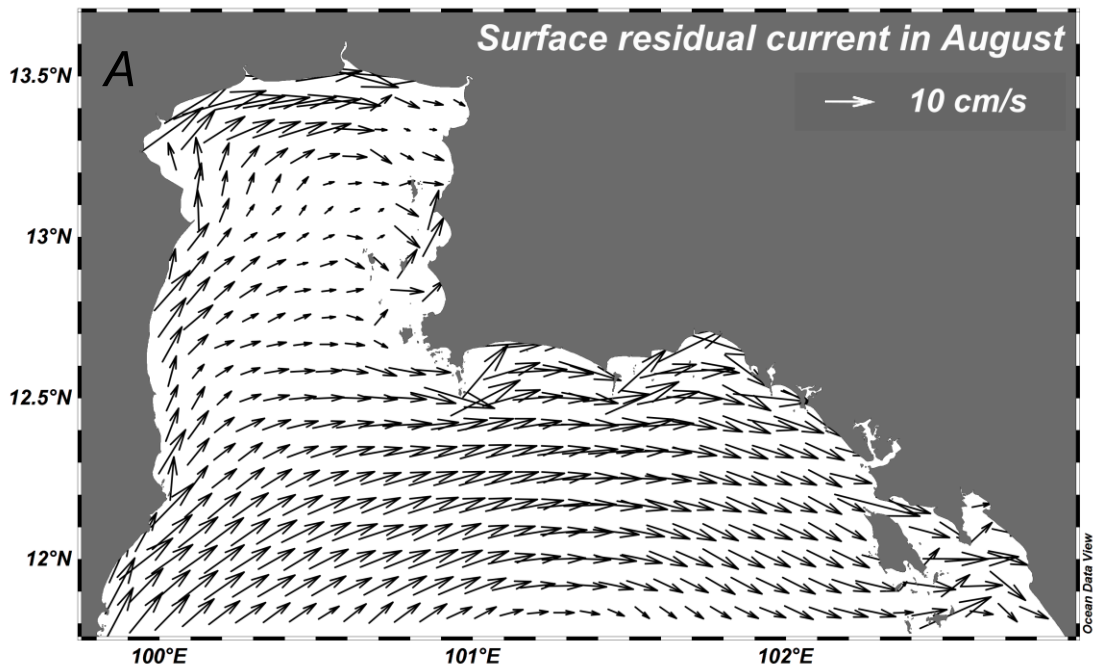
ภาพที่ 4.49 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนพฤษภาคม



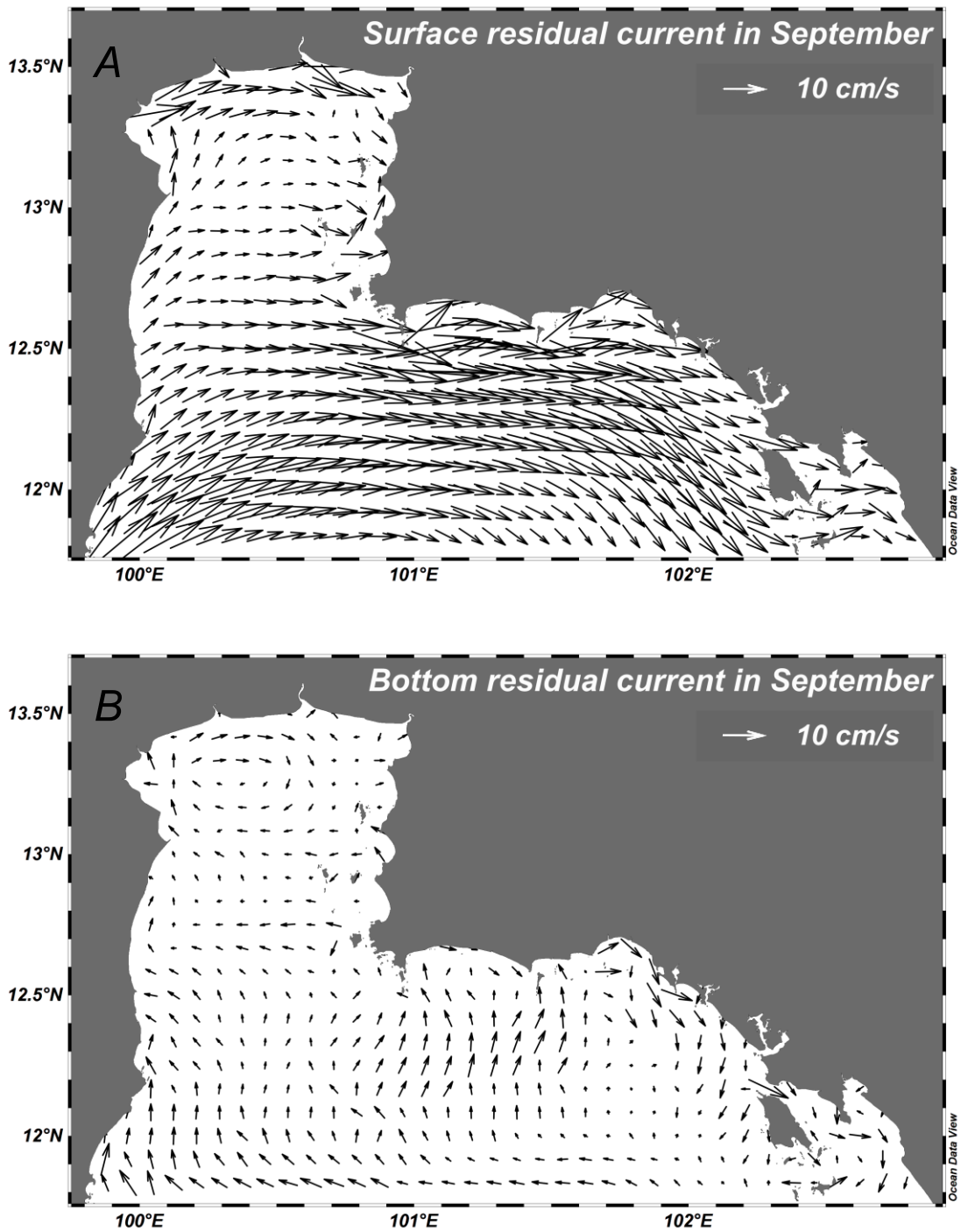
ภาพที่ 4.50 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนมิถุนายน



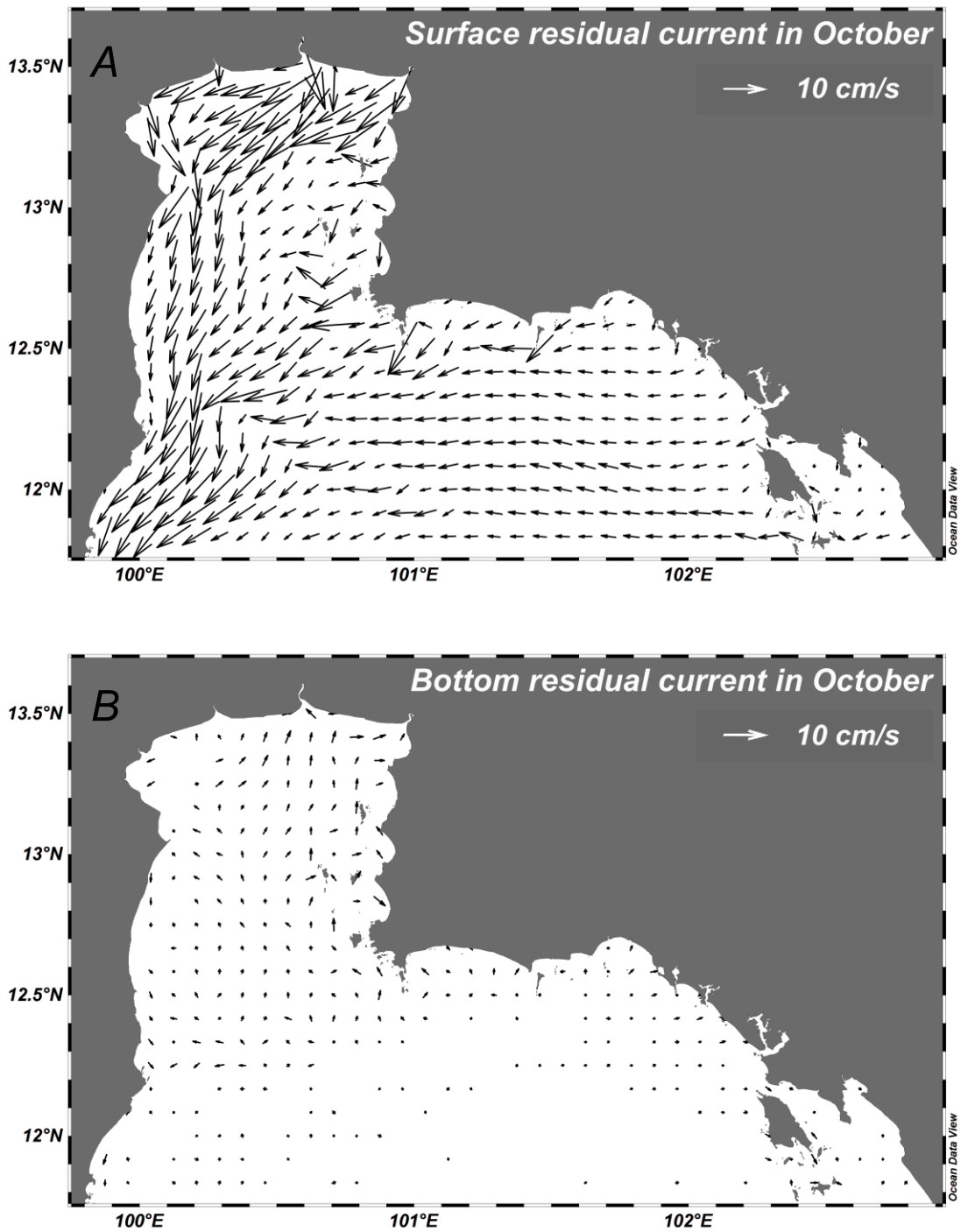
ภาพที่ 4.51 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนกรกฎาคม



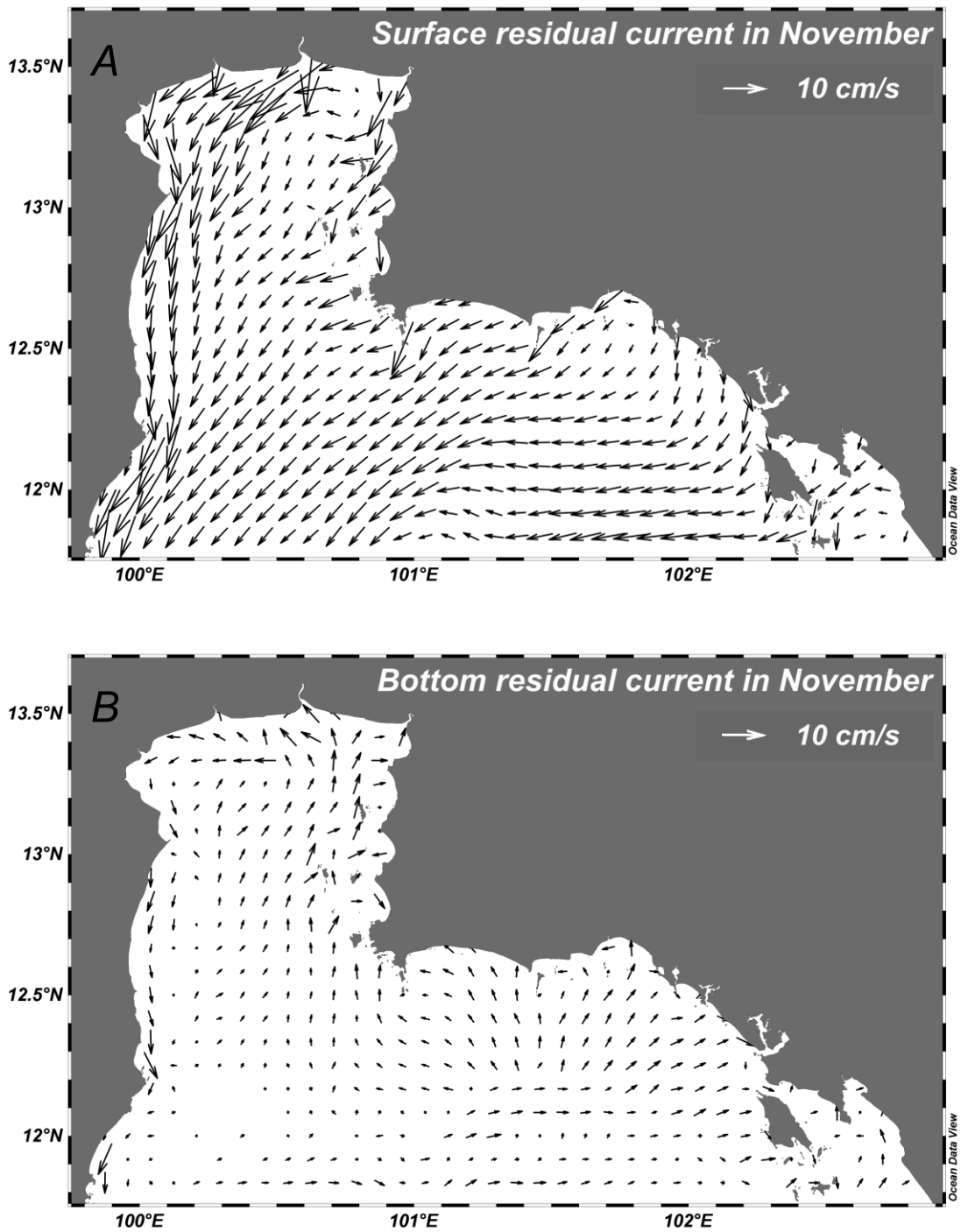
ภาพที่ 4.52 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนสิงหาคม



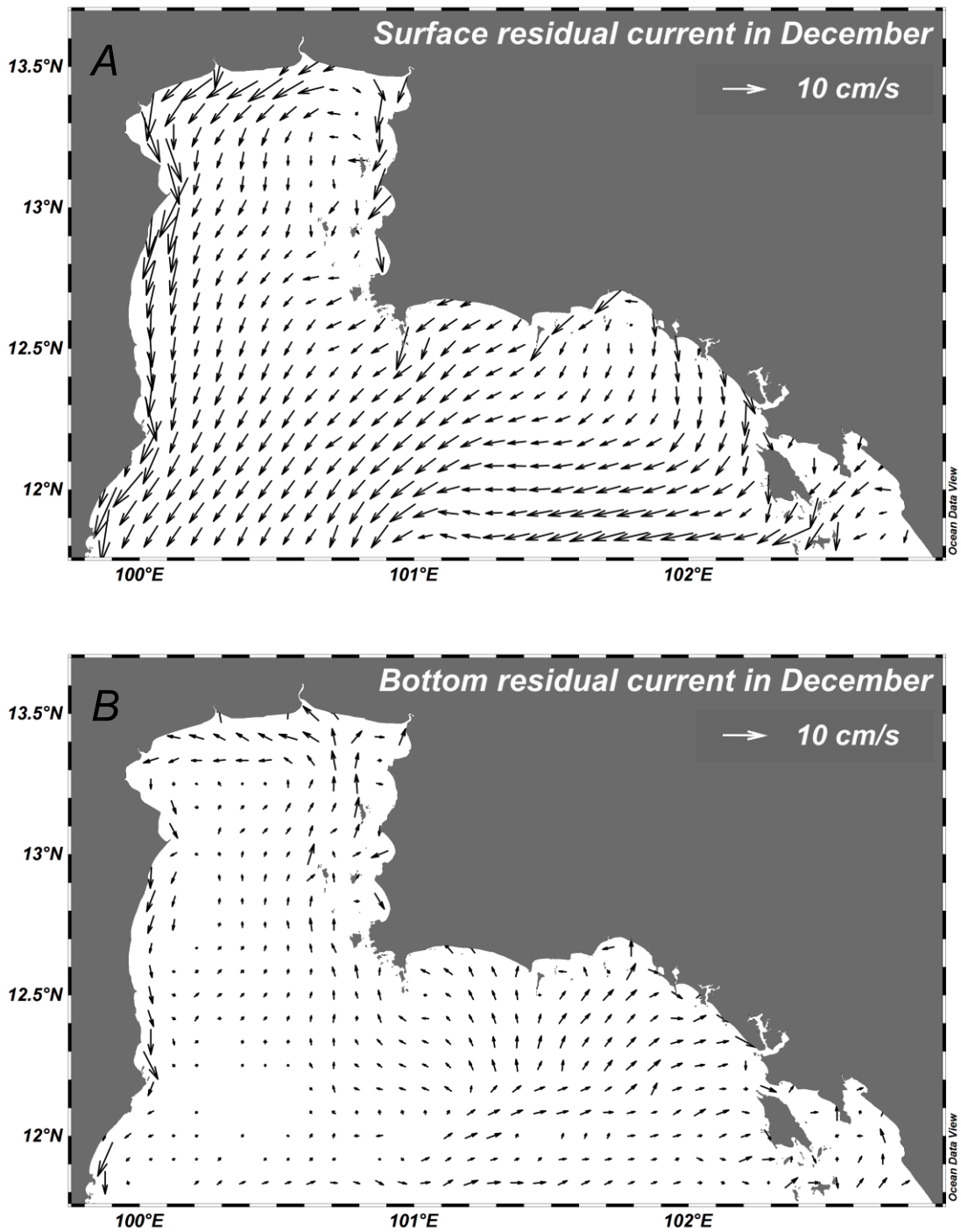
ภาพที่ 4.53 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนกันยายน



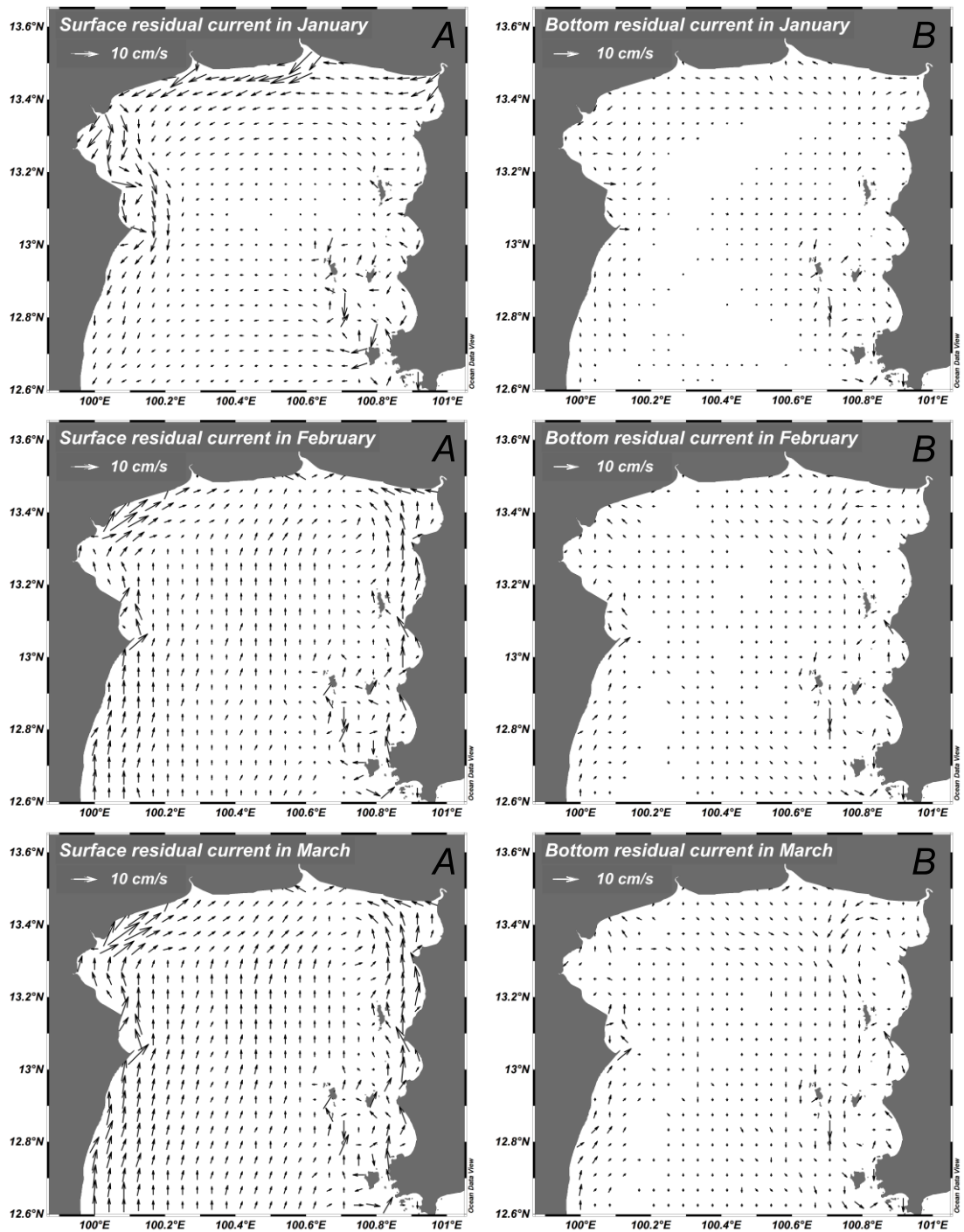
ภาพที่ 4.54 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนตุลาคม



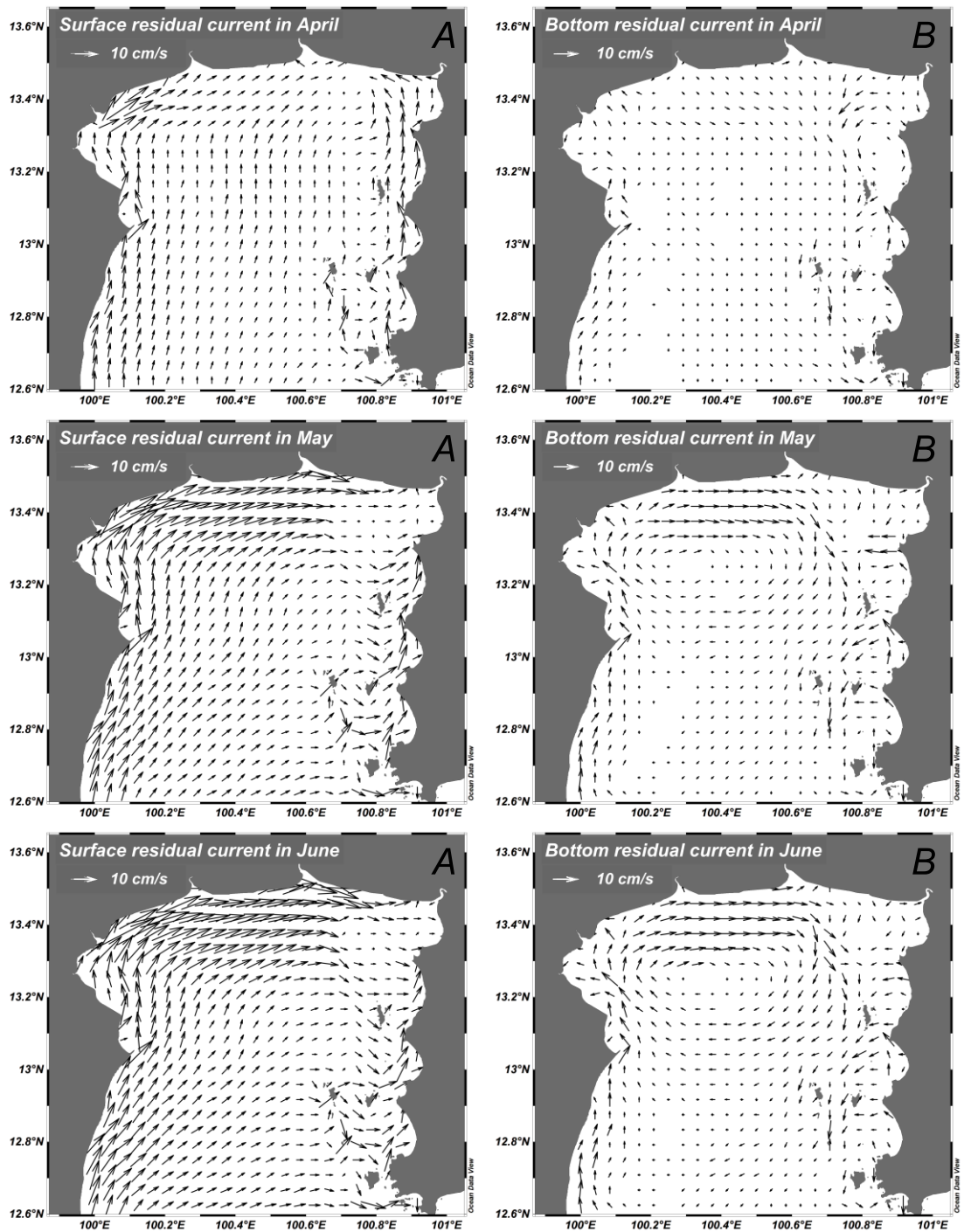
ภาพที่ 4.55 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนพฤศจิกายน



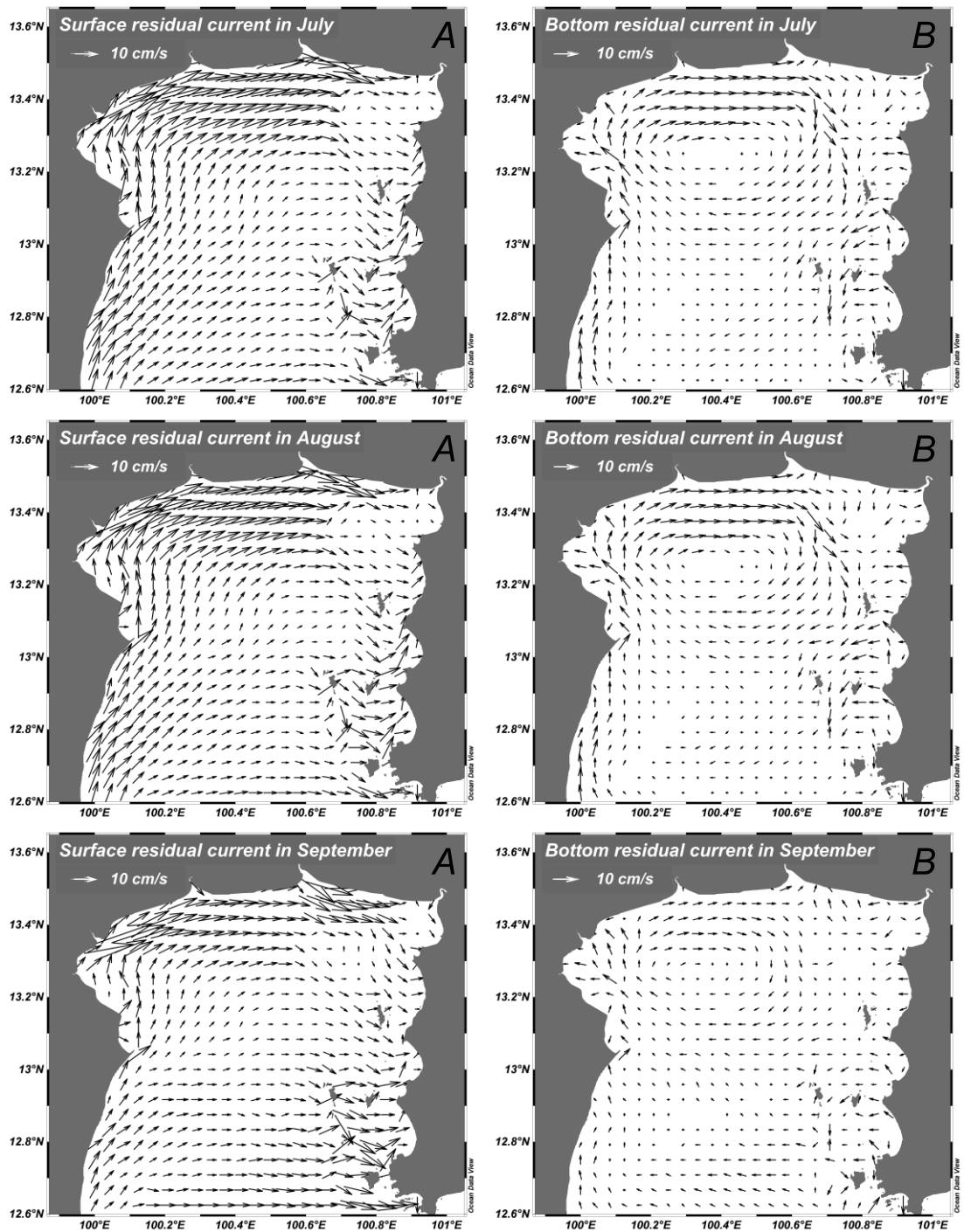
ภาพที่ 4.56 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนเหนือบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ในเดือนธันวาคม



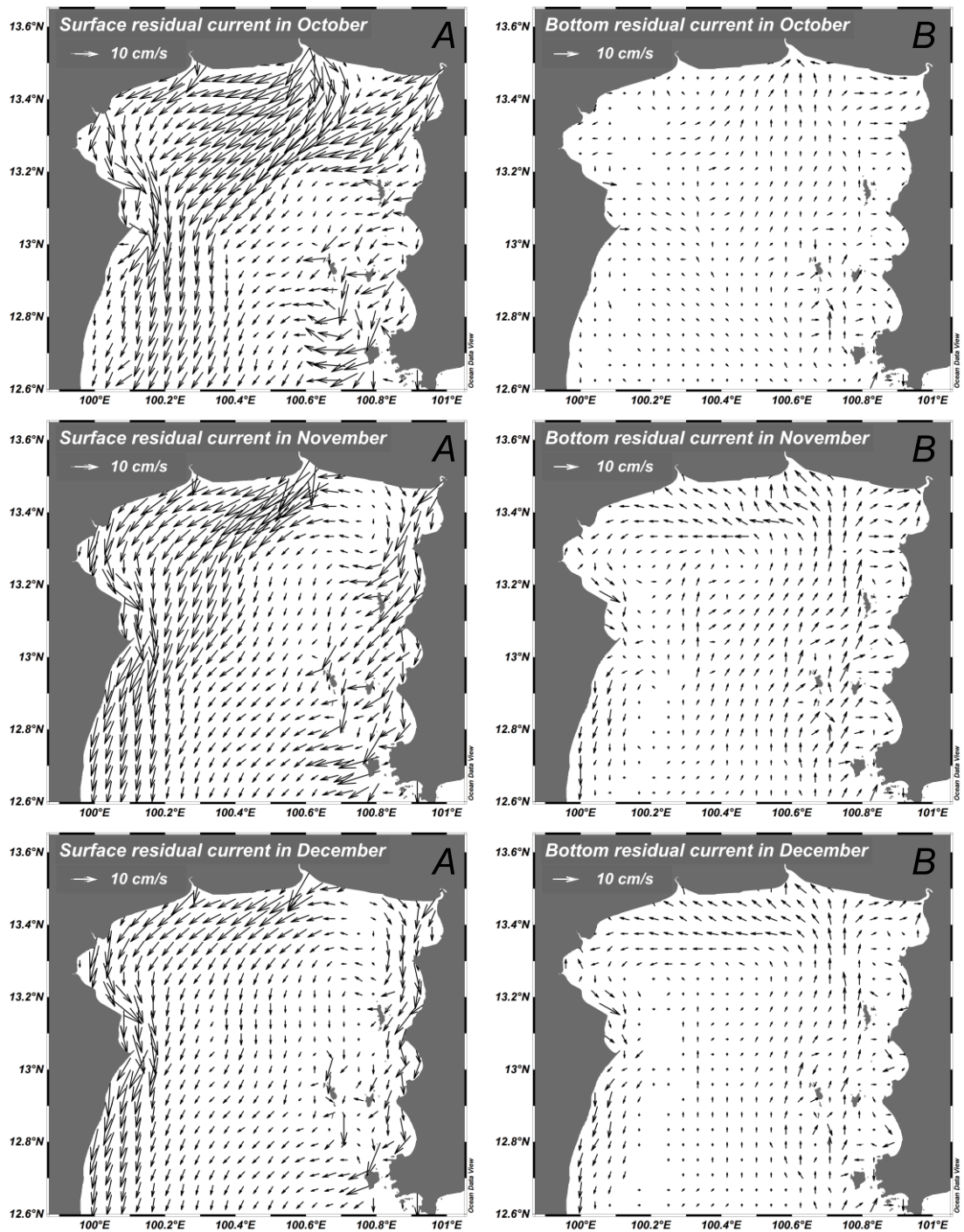
ภาพที่ 4.57 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม



ภาพที่ 4.58 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ตั้งแต่เดือนเมษายน – เดือนมิถุนายน



ภาพที่ 4.59 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายน



ภาพที่ 4.60 การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนบริเวณใกล้ผิวนทะเล (A) และใกล้พื้นทะเล (B) ตั้งแต่เดือนตุลาคม - เดือนธันวาคม

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผล

5.1.1 เจ็อนไซขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกระจายเดือนของแบบจำลองเจ็อนไซขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ มีความแรงผิดปกติบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด เนื่องมาจากเจ็อนไซขอบเขตเปิดของแบบจำลอง ถูกกำหนดให้นำค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงเข้าในการคำนวณโดยตรง เมื่อเฟสของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ที่เข้ามาบริเวณขอบเขตเปิดไม่ตรงกับเฟสของคลื่นน้ำตื้น (Long wave) ที่ถูกสร้างขึ้นภายในแบบจำลอง ส่งผลให้เกิดลักษณะของกระแสน้ำที่มีความแรงผิดปกติในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด แต่ในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม กระแสน้ำที่มีความแรงผิดปกติบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด มีค่าน้อยกว่าช่วงเดือนอื่น ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่ลมมีความแรงสูงสุดทำให้เกิดการไหลเวียนกระแสน้ำจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก ซึ่งตรงข้ามกับทิศทางของกระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่เข้ามาบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด ด้านตะวันออกของแบบจำลอง ส่งผลให้กระแสน้ำมีการหักล้างกันและทำให้อัตราเร็วของกระแสน้ำมีค่าน้อยลง

การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลของแบบจำลองเจ็อนไซขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ พบว่า บริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดพบลักษณะของการไหลเวียนกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลไม่ชัดเจนมากนัก ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปจากขอบเขตเปิดความเร็วของกระแสน้ำมีค่าต่ำกว่าบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด เนื่องจากผลของกระแสน้ำที่เกิดจากขอบเขตเปิดส่งอิทธิพลต่อกระแสน้ำน้อยกว่าบริเวณขอบเขตเปิด ส่งผลให้บริเวณอ่าวไทยตอนบนพบลักษณะของการไหลเวียนกระแสน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ซึ่งบริเวณนี้ลมนี้อิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำมากกว่าน้ำขึ้นน้ำลง แต่เนื่องจากความผิดปกติของกระแสน้ำที่ถูกสร้างขึ้นในแบบจำลองของเจ็อนไซขอบเขตเปิดนี้ ส่งผลให้ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากการตรวจวัดสูง โดยพบว่าขนาดของระดับน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากการตรวจวัดในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดของช่วงน้ำเกิด ส่วนในช่วงน้ำตายขนาดของระดับน้ำมีค่าต่ำกว่าระดับน้ำจากการตรวจวัดในทุกสถานี

5.1.2 เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ

กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกกระจายเดือนของแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดของแบบจำลองมีลักษณะเบาว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากเงื่อนไขขอบเขตเปิดของแบบจำลองถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าความสูงของระดับน้ำขึ้นน้ำลงให้เป็นค่าความเร็วกระแสน้ำก่อนนำเข้าไปในการคำนวณ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการปรับให้เฟสของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่เข้ามาบริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลองให้มีค่าใกล้เคียงกับเฟสของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่สร้างขึ้นภายในแบบจำลอง ส่งผลให้ความเร็วของกระแสน้ำมีลักษณะเบากว่าปกติ และทิศทางของกระแสน้ำมีลักษณะการไหลในแนวเหนือ – ใต้เป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจากบริเวณที่อยู่ถัดออกไปจากขอบเขตเปิดอย่างชัดเจน

การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลของแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำพบว่า กระแสน้ำมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ทั้งในบริเวณที่อยู่ใกล้กับขอบเขตเปิด และบริเวณที่อยู่ไกลออกไปจากขอบเขตเปิด เช่น บริเวณอ่าวไทยตอนบน เนื่องจากลมส่งอิทธิพลต่อการไหลเวียนกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมากกว่าน้ำขึ้นน้ำลง นอกจากนี้ผลจากการเปรียบเทียบระดับน้ำขึ้นน้ำลงแสดงให้เห็นว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากการตรวจวัดในพื้นที่จริงสูงเกือบทุกสถานี และค่าความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

5.1.3 การไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาล

การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลสอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลม ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลสอดคล้องกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเล แต่มีอัตราเร็วของกระแสน้ำน้อยกว่า เนื่องจากอิทธิพลของลมที่กระทำต่อผิวน้ำ น้ำทะเลมีมากกว่าในที่ลึกส่งผลให้อัตราเร็วกระแสน้ำลดลงตามความลึก โดยในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ลมพัดมาจากทางทิศใต้ ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลไหลไปทางทิศเหนือเป็นหลัก ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเล เนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลเข้าหาชายฝั่งตอนเหนือทำให้น้ำเกิดการจมตัว (Downwelling) และกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลไหลออกจากชายฝั่งไปทางทิศใต้ โดยสังเกตได้จากอัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งที่มีค่าเป็นลบในบริเวณใกล้กับชายฝั่ง ซึ่งแสดงถึงการจมตัวของมวลน้ำ (ภาพผนวกที่ ก-2 – ก-4) ส่วนบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเกิดลักษณะของกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise

circulation) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ด้วยอัตราเร็วสูงตลอดทั้งฤดู ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเป็นหลัก ส่งผลให้กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกเกิดการยกตัว (Upwelling) สังเกตได้จากอัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งที่มีค่าเป็นบวก (ภาพผนวกที่ ก-5 – ก-9) และชายฝั่งด้านตะวันออกกระแสน้ำมีการจมตัว ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลพบการไหลเวียนแบบตามเข็มนาฬิกา (Clockwise circulation) ในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบน และบริเวณตอนล่างของอ่าวไทยตอนเหนือ ในช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยอัตราเร็วต่ำสุดในรอบปี ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศตะวันตกเป็นหลักในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก และไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงนี้มีค่าสูงสุดในรอบปี เนื่องจากอิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงเหนือผนวกกับอิทธิพลของน้ำท่าจากแม่น้ำปริมาณสูงที่ไหลลงสู่ทะเลในฤดูนี้ ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวทะเล เนื่องจากกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลมีทิศไหลออกจากชายฝั่ง ทำให้กระแสน้ำใกล้พื้นทะเลไหลเข้ามาแทนที่เกิดการยกตัวของมวลน้ำ (ภาพผนวกที่ ก-10) และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือเช่นเดียวกับช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลมีลักษณะคล้ายกัน แต่อัตราเร็วกระแสน้ำมีค่าน้อยกว่าถึงแม้อัตราเร็วลมมีค่ามากกว่า เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าจากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลน้อยกว่า ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลมีการไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบน และในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกพบกระแสน้ำมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสน้ำใกล้ผิวทะเล เนื่องจากการยกตัวของมวลน้ำ (ภาพผนวกที่ ก-11 – ก-12) ซึ่งผลจากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับผลจากการศึกษาของ Buranapratheprat (2009) ส่วนบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกทางตอนใต้ของอ่าวไทยตอนบน ซึ่งเป็นแนวหมู่เกาะครามและเกาะช้างที่มีการกำหนดขอบเขตในการคำนวณ กระแสน้ำใกล้ผิวทะเล และกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลในบริเวณนี้มีความปั่นป่วน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลไม่ชัดเจน เนื่องจากช่องกริดมีขนาดใหญ่กว่าเกาะ และมีเกาะเป็นจำนวนมากจึงทำให้กระแสน้ำจากการคำนวณเกิดความผิดปกติ เนื่องจากการชนกันของกระแสน้ำระหว่างช่องเกาะต่าง ๆ

5.1.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบกระแสน้ำจากการตรวจวัดกับกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลอง พบว่า ทิศทางและอัตราเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ และแบบกระแสน้ำมีความสอดคล้องกับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในบางช่วงเวลา โดยอัตราเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่ามากกว่ากระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดและมีทิศทางสอดคล้องกัน ยกเว้นช่วงเปลี่ยนเฟสของกระแสน้ำที่ทิศทางของกระแสน้ำจากแบบจำลองตรงข้ามกับทิศทางกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัด เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขกับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดพบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณกระแสน้ำได้แก่ ลม ที่ได้จากแบบจำลองการคาดการณ์สภาพอากาศ ซึ่งอาจไม่ตรงกับลักษณะของลมจริงในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดกระแสน้ำ นอกจากนี้ยังมีความลึกพื้นท้องทะเล เนื่องจากการคำนวณกระแสน้ำในแบบจำลองจำเป็นต้องมีการกำหนดความลึกต่ำสุดให้แบบจำลองสามารถทำงานได้ ซึ่งมีค่ามากกว่าความลึกในจุดที่ทำการตรวจวัดกระแสน้ำ จึงอาจส่งผลให้การคำนวณกระแสน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้ และสุดท้ายของคำนวณที่มีขนาดประมาณหนึ่งตารางกิโลเมตร ซึ่งถือว่ามีความใหญ่เมื่อเทียบกับจุดตรวจวัดกระแสน้ำในทะเล จึงอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้กระแสน้ำจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับกระแสน้ำที่ได้จากการตรวจวัดน้อย

5.1.5 แบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำความละเอียดต่ำ

กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกที่แรงผิดปกติในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดของแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ นอกจากเกิดจากความแตกต่างของเฟสกระแสน้ำแล้วอาจเกิดจากขนาดของกริดในการคำนวณที่มีความละเอียดสูง (0.5 x 0.5 ลิปตา) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานโดยการเพิ่มขนาดของช่องกริดให้ใหญ่ขึ้นเป็น 6 เท่า (3 x 3 ลิปตา) จากนั้นทำการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาเดิม โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็นชุดเดียวกันและทำการทดสอบแบบจำลองทั้ง 2 เงื่อนไขเช่นเดิม ผลจากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำของแบบจำลองความละเอียดต่ำ พบว่าแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีเสถียรภาพมากขึ้น สามารถจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำได้ใกล้เคียงกับแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ และไม่พบลักษณะของกระแสน้ำที่แรงผิดปกติบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดเช่นเดียวกับในแบบจำลองความละเอียดสูง (ภาพผนวกที่ ข-1 – ข-12) ส่วนแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำไม่พบความแตกต่างจากแบบจำลองความละเอียดสูง (ภาพผนวกที่ ข-13 – ข-24) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของกระแสน้ำทั้ง 2 เงื่อนไขพบว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมาก โดย

กระแสในแนวตะวันออก – ตะวันตกมีความแตกต่างกันน้อยกว่า 10 เซนติเมตร/วินาที และในแนวเหนือ – ใต้มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 4 เซนติเมตร/วินาที (ภาพผนวกที่ ข-25 – ข-27) นอกจากนี้เมื่อนำระดับน้ำขึ้นน้ำลงมาพิจารณาพบว่าทั้งเฟสและขนาดของระดับน้ำขึ้นน้ำลงในแบบจำลองความละเอียดต่ำในแต่ละเงื่อนไขมีความคล้ายกันกับเงื่อนไขในแบบจำลองความละเอียดสูง (ภาพผนวกที่ ข-28 – ข-30) นั่นคือเฟสของทั้ง 2 เงื่อนไขสอดคล้องกับเฟสของระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด ส่วนขนาดของระดับน้ำขึ้นน้ำลง พบว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีค่าสูงกว่าขนาดที่ได้จากการตรวจวัด ส่วนค่า R^2 พบว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีค่าน้อยลงเล็กน้อย ส่วนเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีค่าเท่าเดิมเมื่อเทียบกับแบบจำลองความละเอียดสูง แต่ค่า RMSE พบว่ามีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยทั้ง 2 เงื่อนไขเมื่อเทียบกับแบบจำลองความละเอียดสูง (ตารางผนวกที่ ข-1)

5.2 สรุปผลการวิจัย

5.2.1 การเปรียบเทียบเงื่อนไขขอบเขตเปิด

กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกรายเดือนแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดทั้ง 2 แบบมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิด โดยแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำมีอัตราเร็วของกระแสน้ำมากกว่าแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ แต่ในบริเวณที่ไกลออกไปจากขอบเขตเปิดอัตราเร็วของกระแสน้ำมีความแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากการตรวจวัดมากกว่าแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

5.2.2 แบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดที่มีความเหมาะสม

เงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือมากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ ทั้งในแบบจำลองความละเอียดสูงและแบบจำลองความละเอียดต่ำ

5.2.3 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ

การไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือและบริเวณอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมเป็นหลัก โดยกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลสอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลม ส่วนกระแสน้ำใกล้พื้นทะเลสอดคล้องกับทิศทางของกระแสน้ำใกล้ผิวทะเล แต่อัตราเร็วมีค่าน้อยกว่ากระแสน้ำใกล้ผิวทะเล กระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไหลไป

ทางทิศตะวันออกเป็นหลักในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ และไหลแบบตามเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันตกในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือและไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 กระแสน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนเหนือ และไหลแบบตามเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2 กระแสน้ำมีลักษณะเบาและไหลไปทางทิศตะวันตกในบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ และไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องมีการทดสอบการตอบสนองของแบบจำลองต่อเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องและเหมาะสมต่อการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในพื้นที่นั้น ๆ นอกจากนี้ขนาดของช่องกริดในการคำนวณยังมีผลต่อการตอบสนองต่อเงื่อนไขขอบเขตเปิดของแบบจำลองเช่นกัน ดังนั้นในการกำหนดพื้นที่ศึกษาต้องคำนึงถึงขนาดของช่องกริดในการคำนวณโดยพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดเล็ก เช่น บริเวณอ่าวไทยตอนบน และบริเวณอ่าวไทยตอนเหนือ แบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำมีความเหมาะสมและให้ผลการคำนวณที่มีความถูกต้องมากกว่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

การศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขควรมีการขยายขอบเขตของแบบจำลองให้มีพื้นที่ใหญ่กว่าพื้นที่ศึกษา เนื่องจากกระแสน้ำในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดที่มีการนำเข้าข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงมีลักษณะของการไหลเวียนกระแสน้ำที่มีความผิดปกติ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของขอบเขตเปิด ทำให้กระแสน้ำในบริเวณขอบเขตเปิดไม่มีความถูกต้องและไม่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายการไหลเวียนกระแสน้ำได้ จึงต้องมีการตัดกระแสน้ำในบริเวณใกล้กับขอบเขตเปิดออกจากการอธิบายการไหลเวียนกระแสน้ำ โดยความผิดปกติของกระแสน้ำที่เกิดขึ้นในบริเวณขอบเขตเปิดเกิดขึ้นได้ทั้งในแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำและเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ

บรรณานุกรม

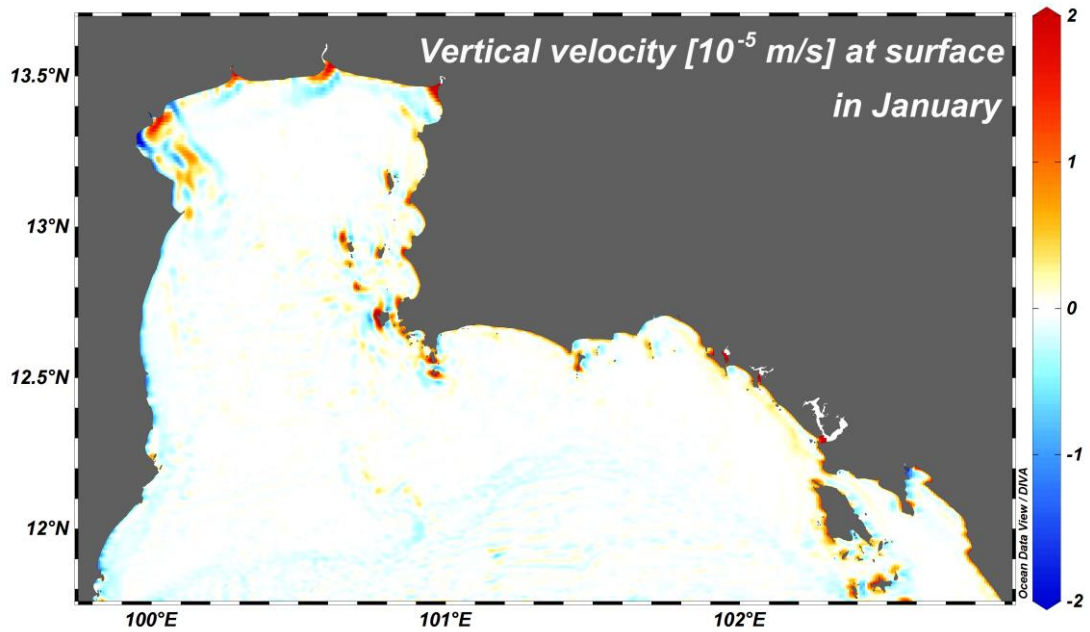
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). *หนังสืออุตุนิยมวิทยา*. วันที่ค้นข้อมูล 21 สิงหาคม 2559, เข้าถึงได้จาก <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>
- ปริญญา หล่อพิทยากร, นิพนธ์ ตั้งธรรม, วิทย์ ธารชลาณุกิจ และปราโมทย์ ไศจุศุภกร. (2554). การศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยในปีภาวะเอนโซ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 19(4), 1-14.
- Ascharyaphotha, N., Wongwises, P., Wongwises, S., Humphries, U. W., & You, X. (2008). Simulation of seasonal circulations and thermohaline variabilities in the Gulf of Thailand. *Advances in atmospheric sciences*, 25(3), 489-506.
- Blumberg, A. F., & Mellor, G. L. (1978). A coastal ocean numerical model. In *Proceedings of an International Symposium: Mathematical modelling of estuarine physics* (pp. 202-219). Berlin: Springer-Verlag.
- Buranapratheprat, A. (2008). Circulation in the Upper Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 13(1), 75-83.
- Buranapratheprat, A., Niemann, K. O., Yanagi, T., Matsumura, S., & Sojisuporn, P. (2009). Circulation in the Upper Gulf of Thailand investigated Using a Three-Dimensional Hydrodynamic Model. *Burapha Science Journal*, 14(1), 99-113.
- Kant, V., & Burns, C. M. (2015). Engaging nanotechnology: ethnography of lab-on-a-chip technology in small-scale fluidics research. *Cognition, Technology & Work*, 18(1), 33-52.
- Mellor, G. L. (1998). *Users guide for a Three-dimensional, Primitive equation, Numerical ocean model*. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, N.J.
- Nakayama, Y. (1998). *Introduction to Fluid Mechanics*. Massachusetts: Butterworth-Heinemann.
- Smits, A. J. (2018). *A Physical Introduction to Fluid Mechanics* (2nd ed.). Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University, Princeton, N.J.

- Sojisuporn, P., Morimoto, A., & Yanagi, T. (2010). Seasonal variation of sea surface current in the Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 34(1), 91-102.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Texas: Department of Oceanography, Texas A&M University.
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (1987). *Modern physical geography* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Wyrski, K. (1961). *NAGA report. Volume 2, Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961*. U.S.A.: The University of California, Scripps Institute of Oceanography, La Jolla, California.
- Yanagi, T., & Takao, T. (1998). Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand. *La mer*, 36, 43-55.

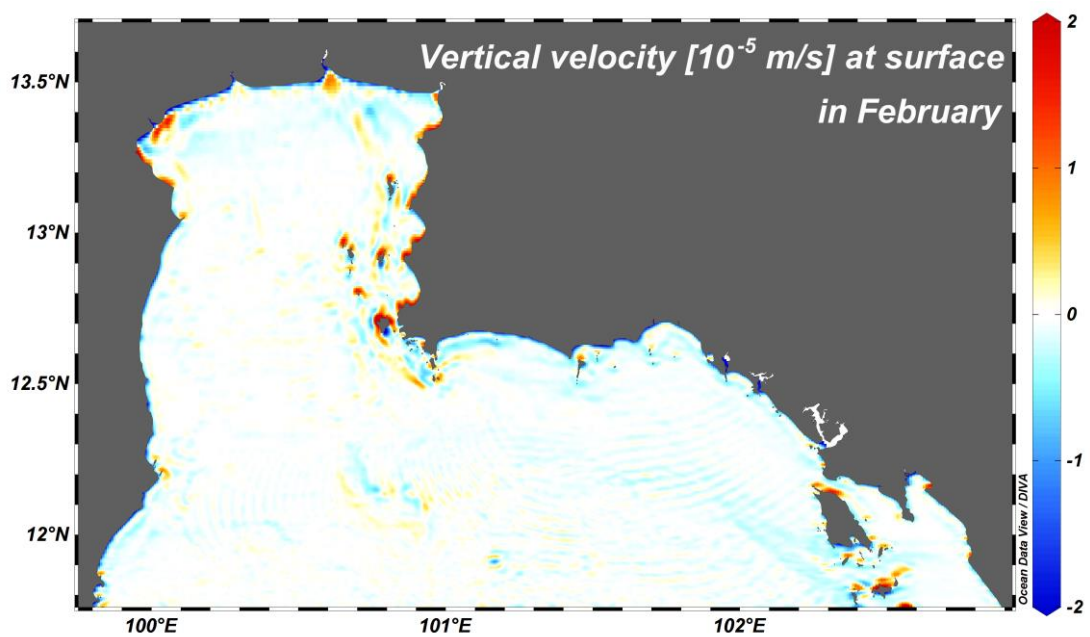
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

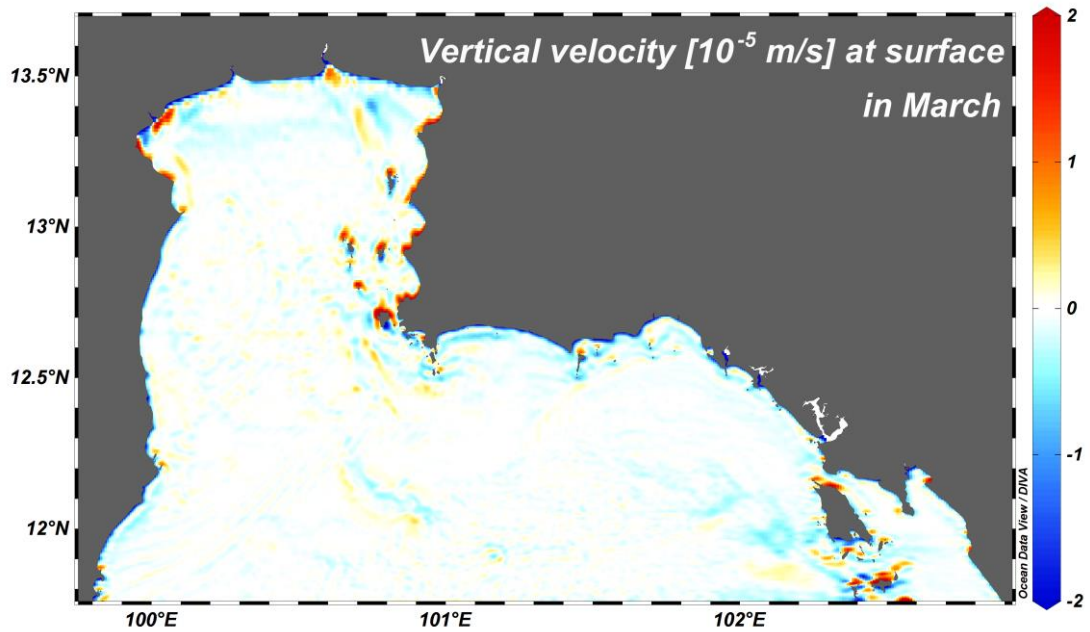
อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งจากแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ



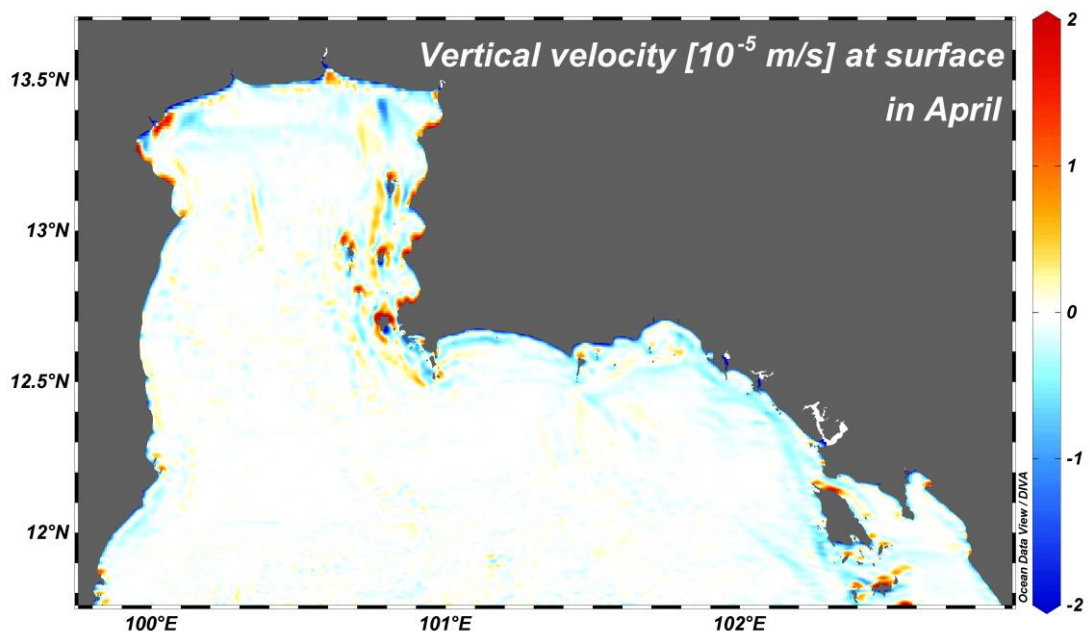
ภาพภาคผนวก ก-1 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนมกราคม



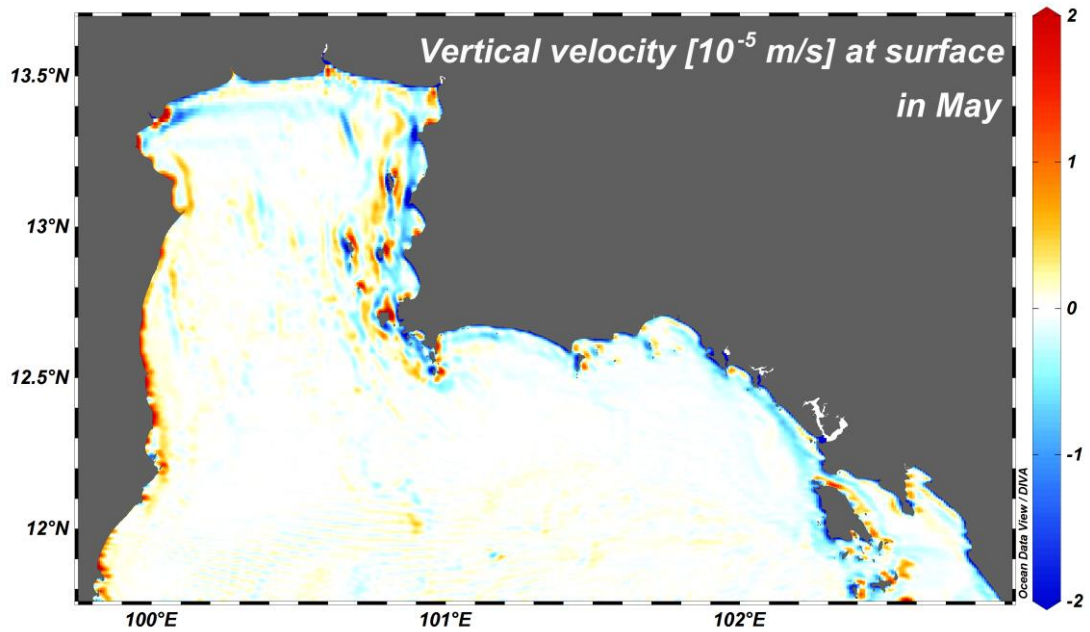
ภาพภาคผนวก ก-2 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนกุมภาพันธ์



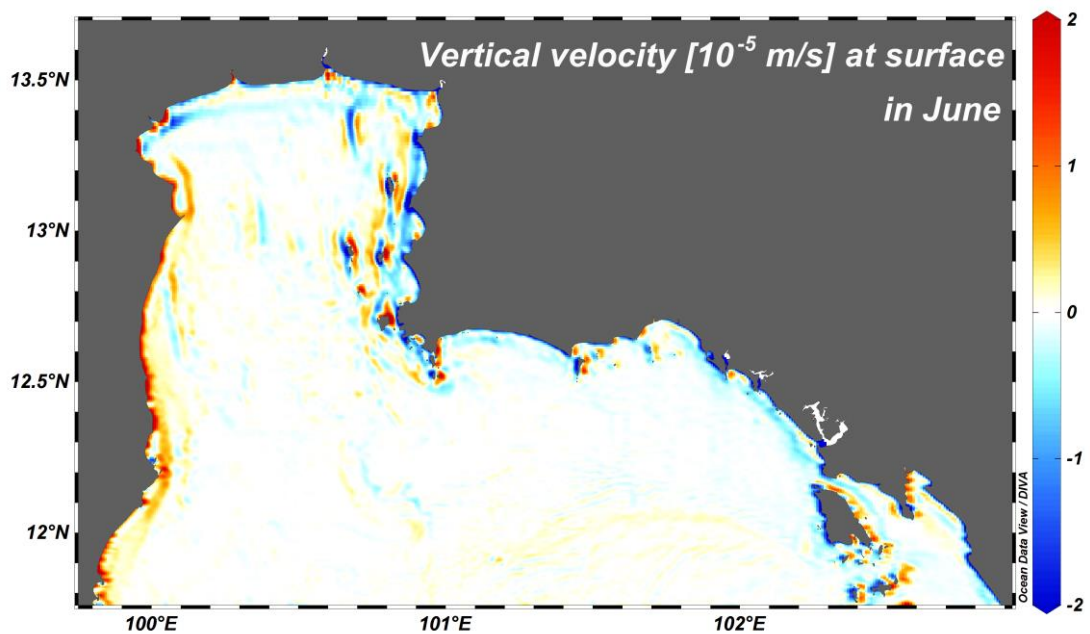
ภาพภาคผนวก ก-3 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนมีนาคม



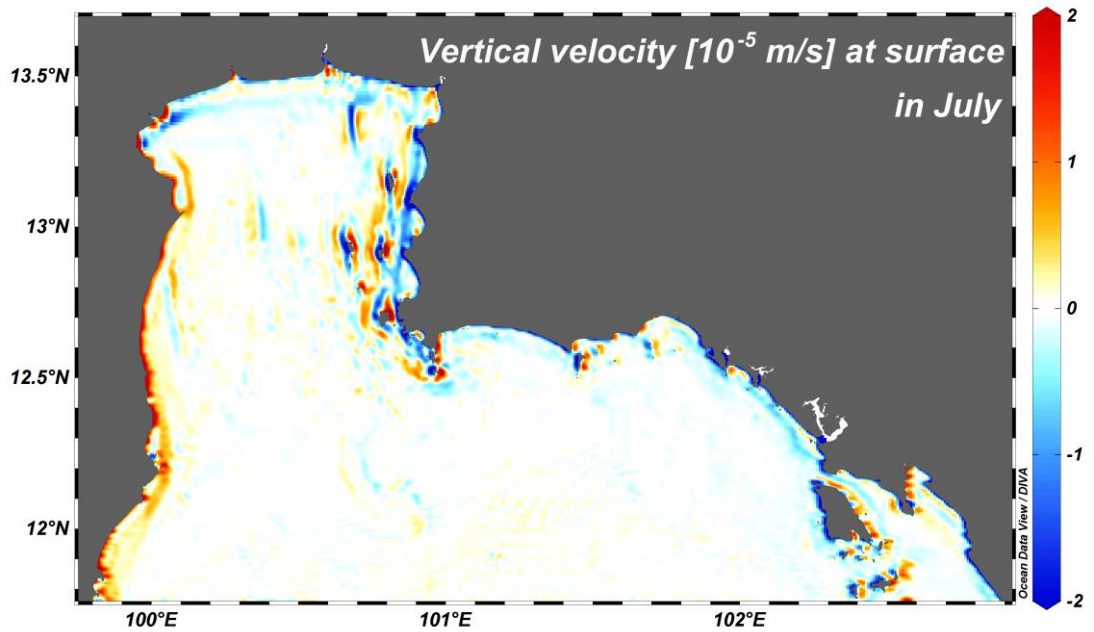
ภาพภาคผนวก ก-4 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนเมษายน



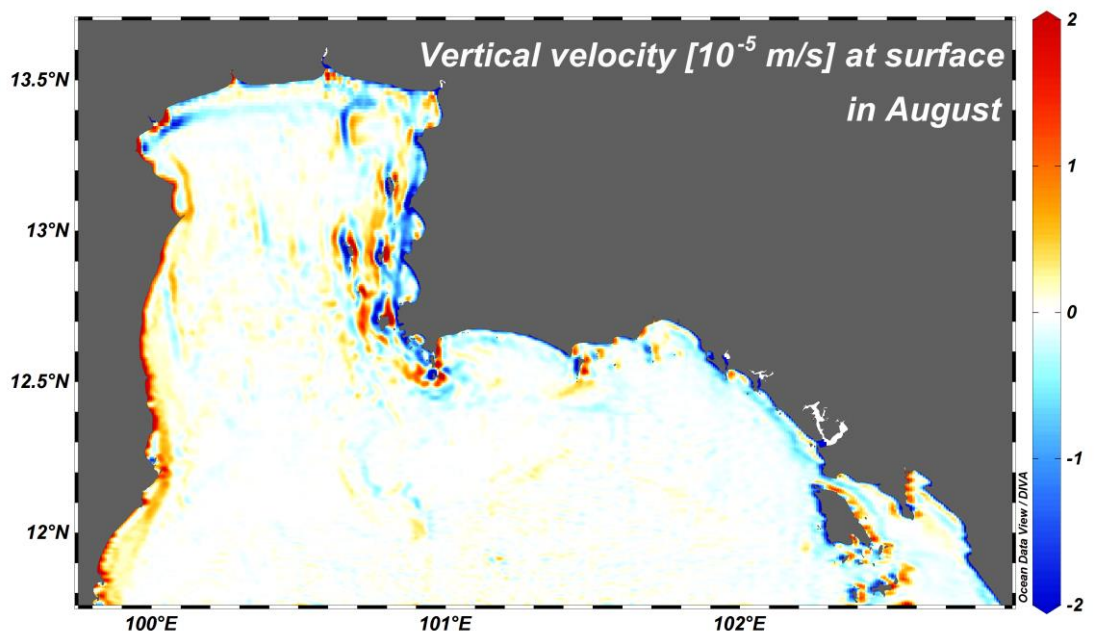
ภาพภาคผนวก ก-5 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนพฤษภาคม



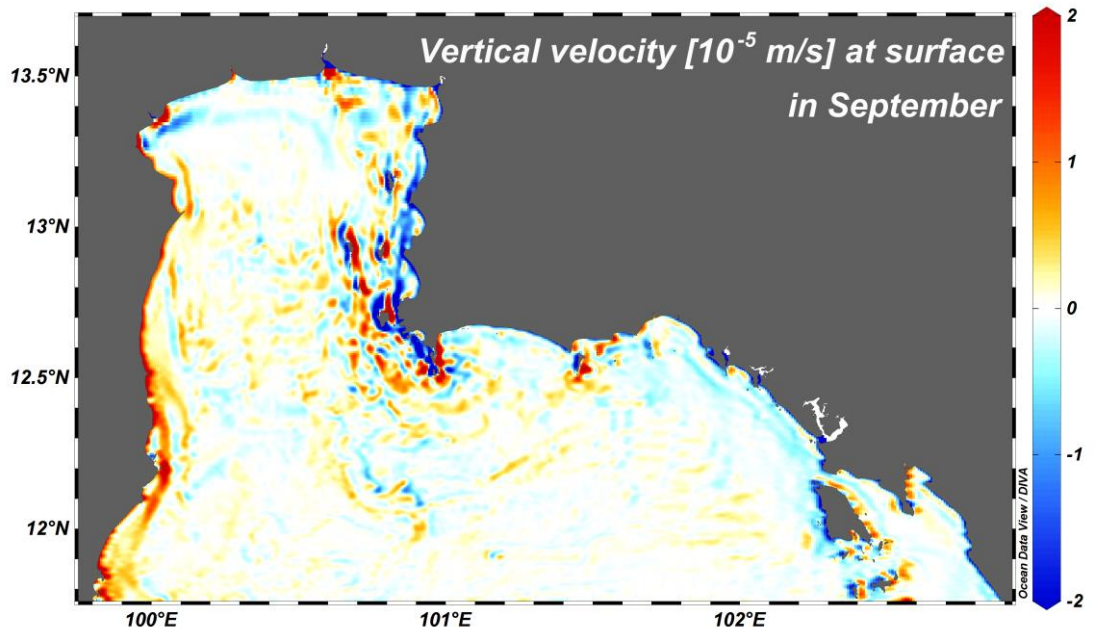
ภาพภาคผนวก ก-6 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนมิถุนายน



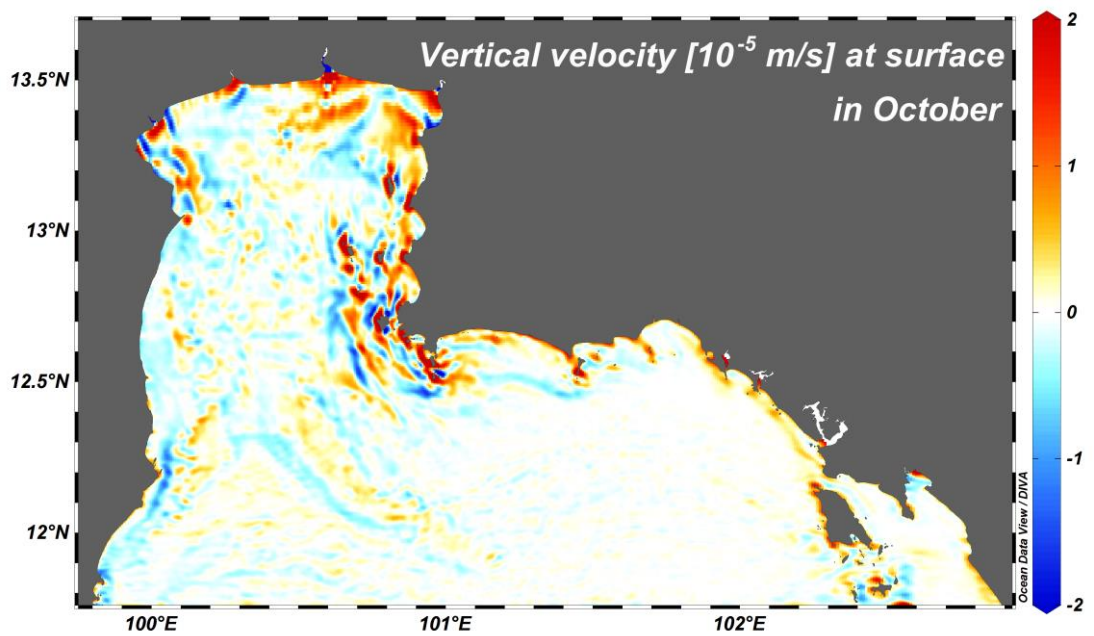
ภาพภาคผนวก ก-7 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนกรกฎาคม



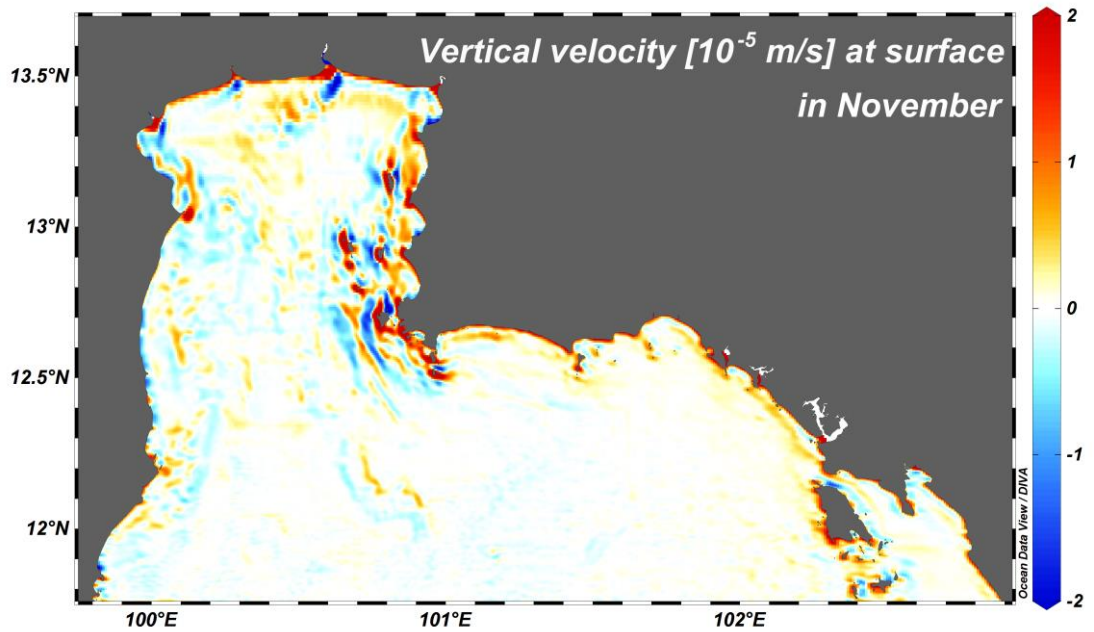
ภาพภาคผนวก ก-8 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวนทะเลในแนวตั้งในเดือนสิงหาคม



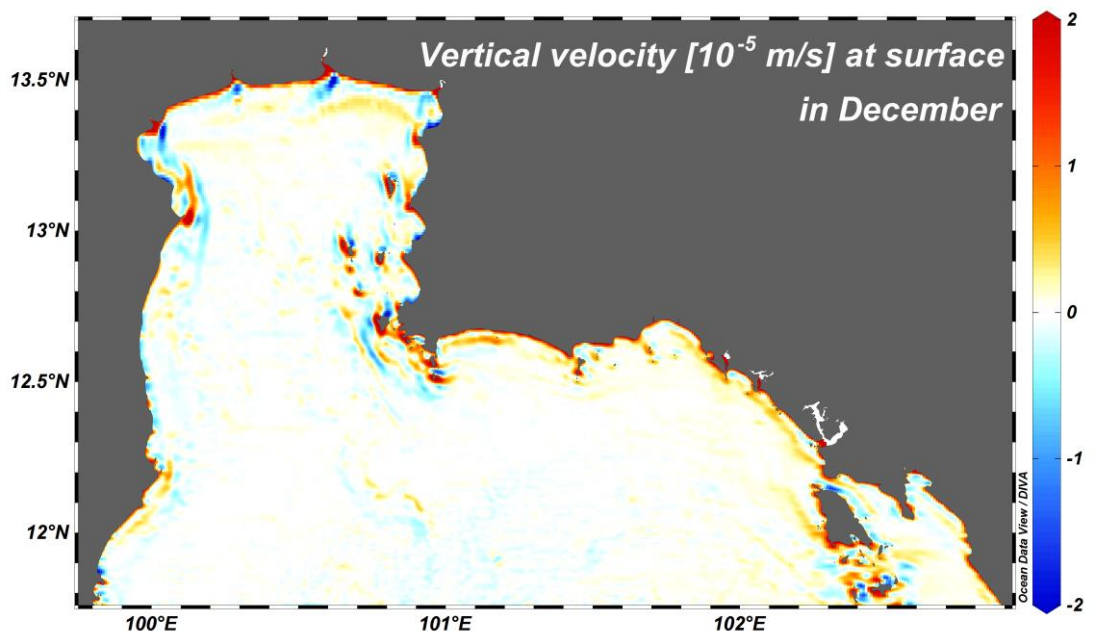
ภาพภาคผนวก ก-9 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนกันยายน



ภาพภาคผนวก ก-10 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนตุลาคม



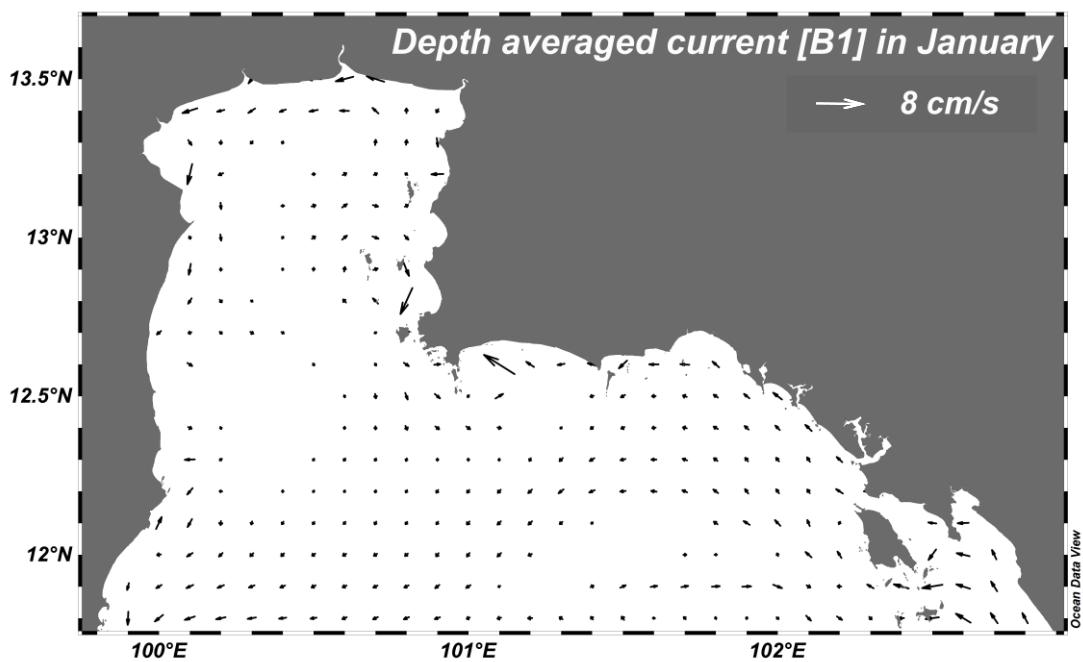
ภาพภาคผนวก ก-11 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนพฤศจิกายน



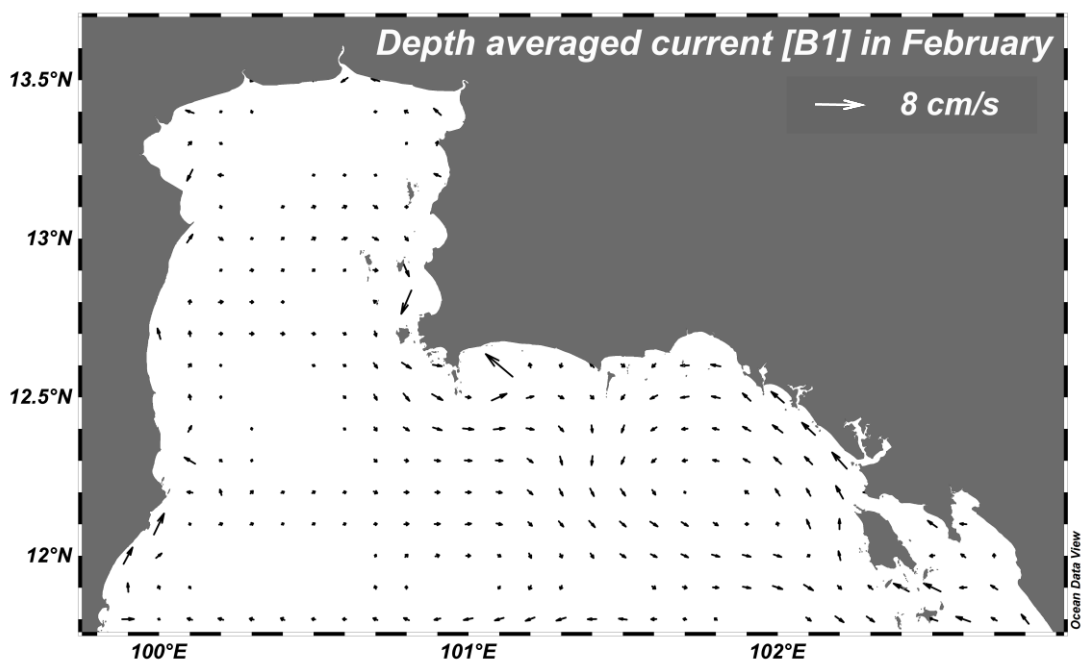
ภาพภาคผนวก ก-12 อัตราเร็วกระแสน้ำใกล้ผิวทะเลในแนวตั้งในเดือนธันวาคม

ภาคผนวก ข

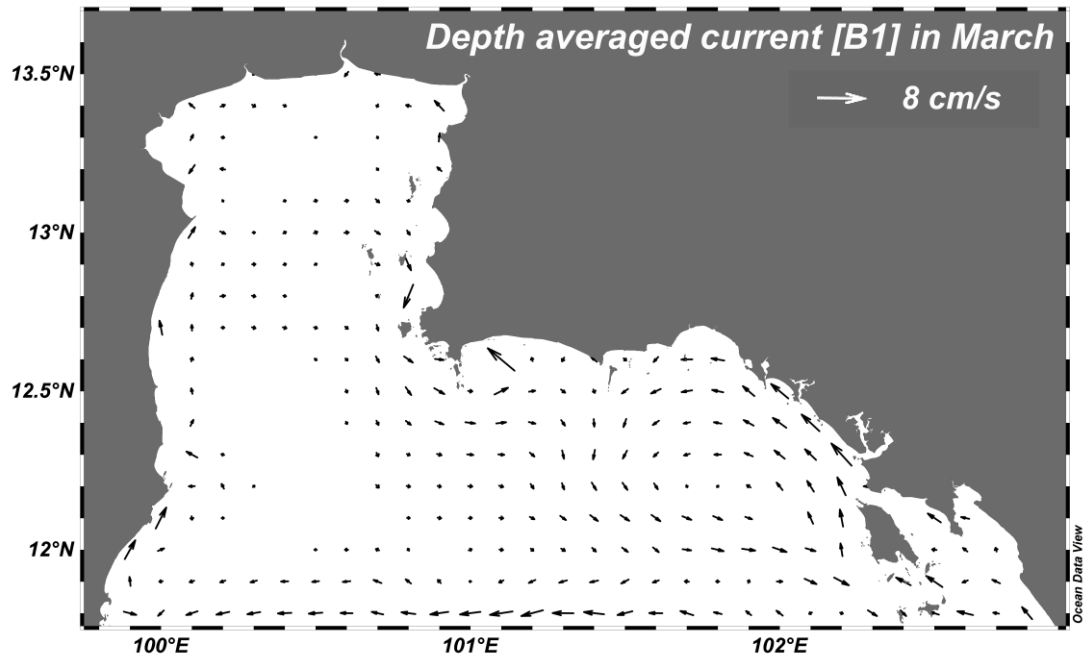
ผลจากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำด้วยแบบจำลองความละเอียดต่ำ



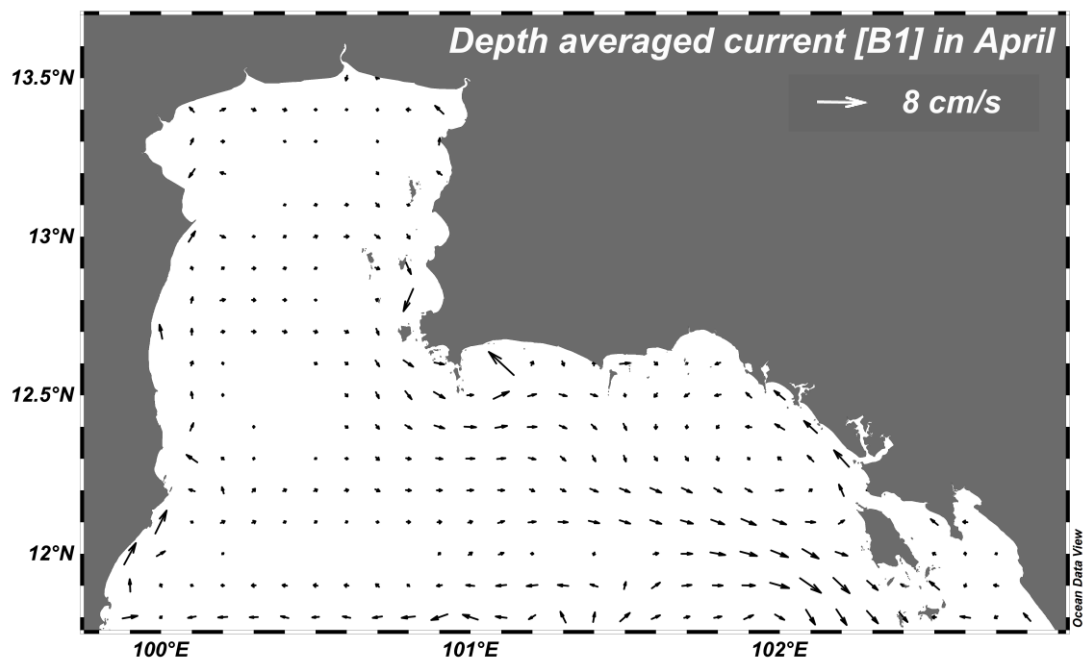
ภาพภาคผนวก ข-1 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมกราคม



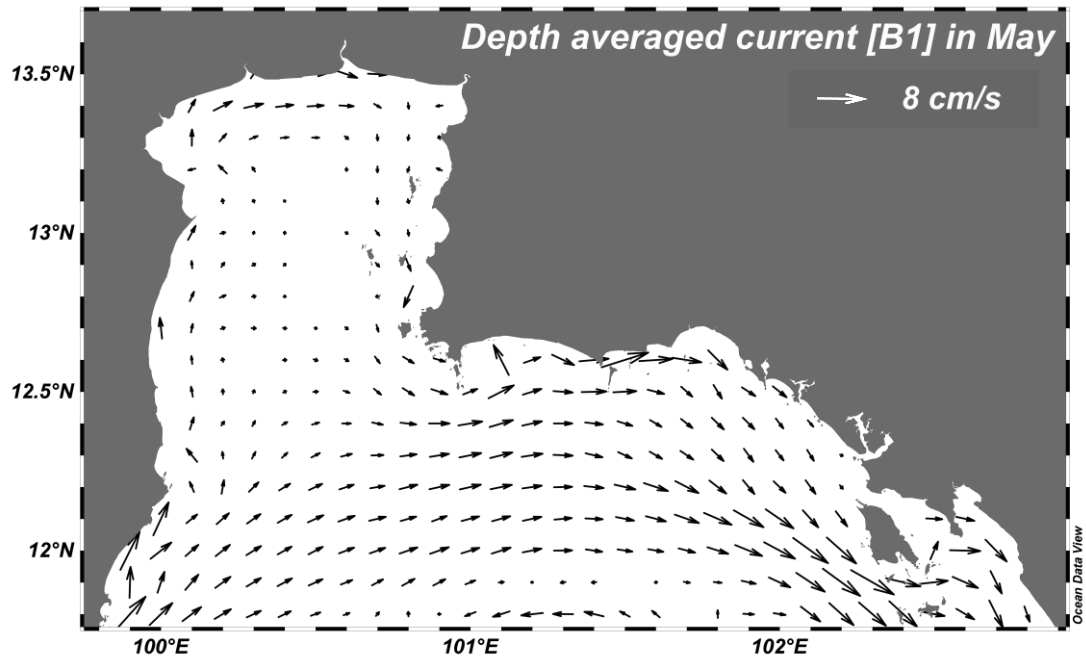
ภาพภาคผนวก ข-2 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนกุมภาพันธ์



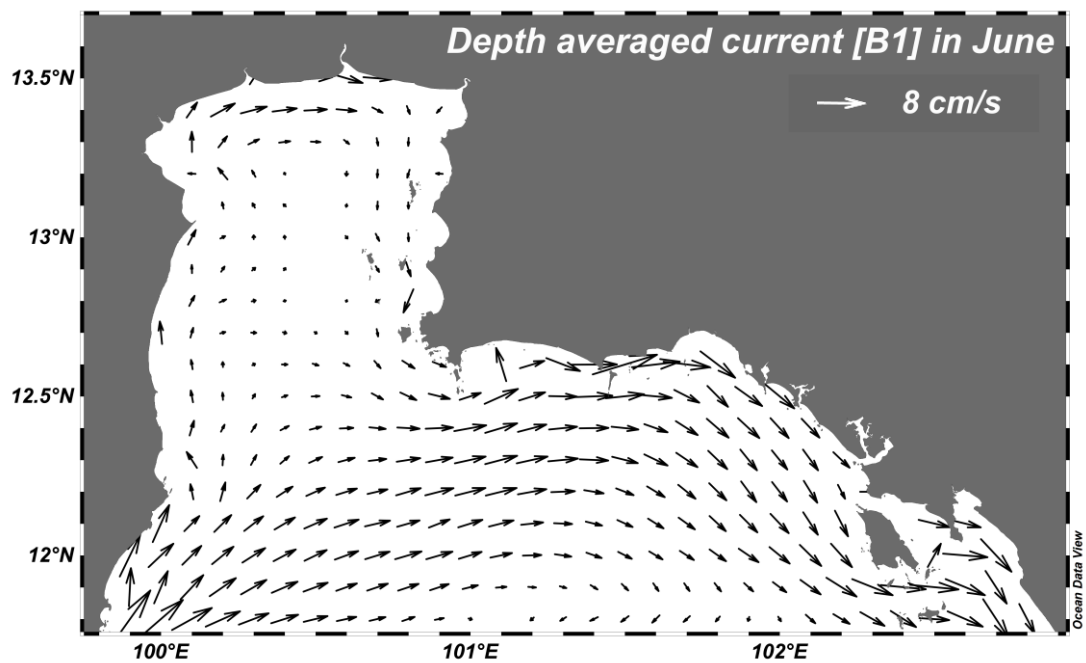
ภาพภาคผนวก ข-3 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมีนาคม



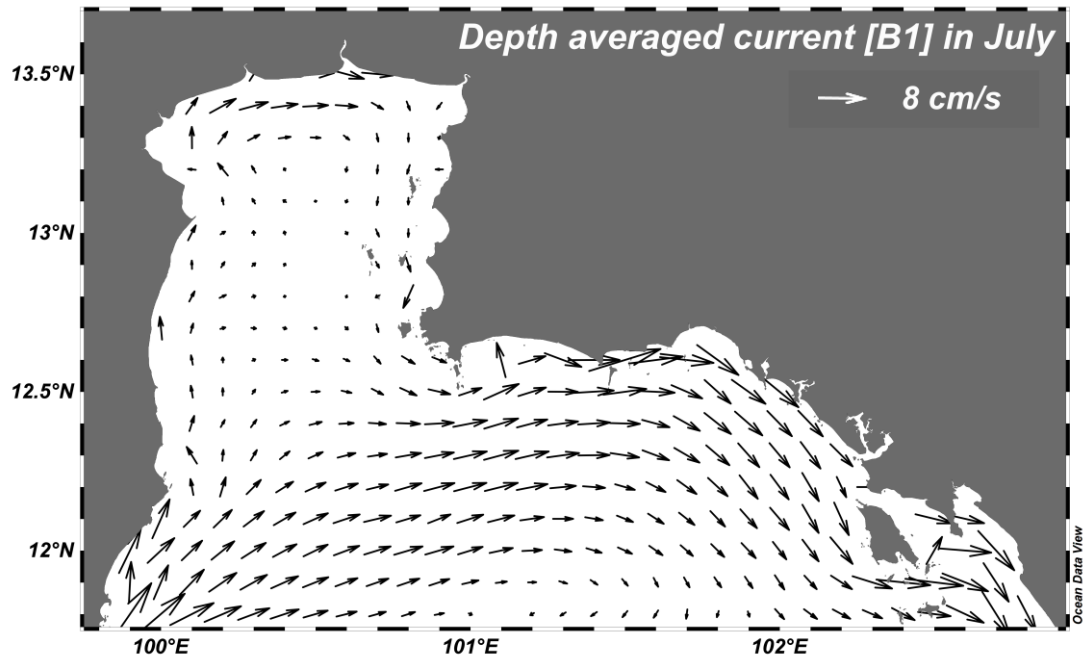
ภาพภาคผนวก ข-4 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนเมษายน



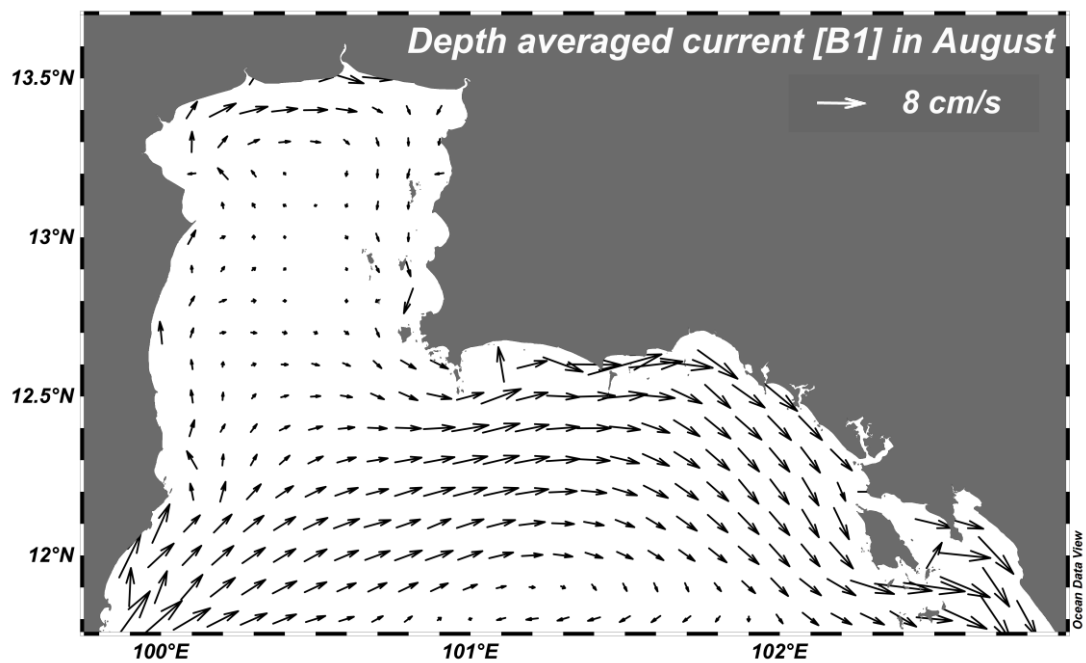
ภาพภาคผนวก ข-5 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนพฤษภาคม



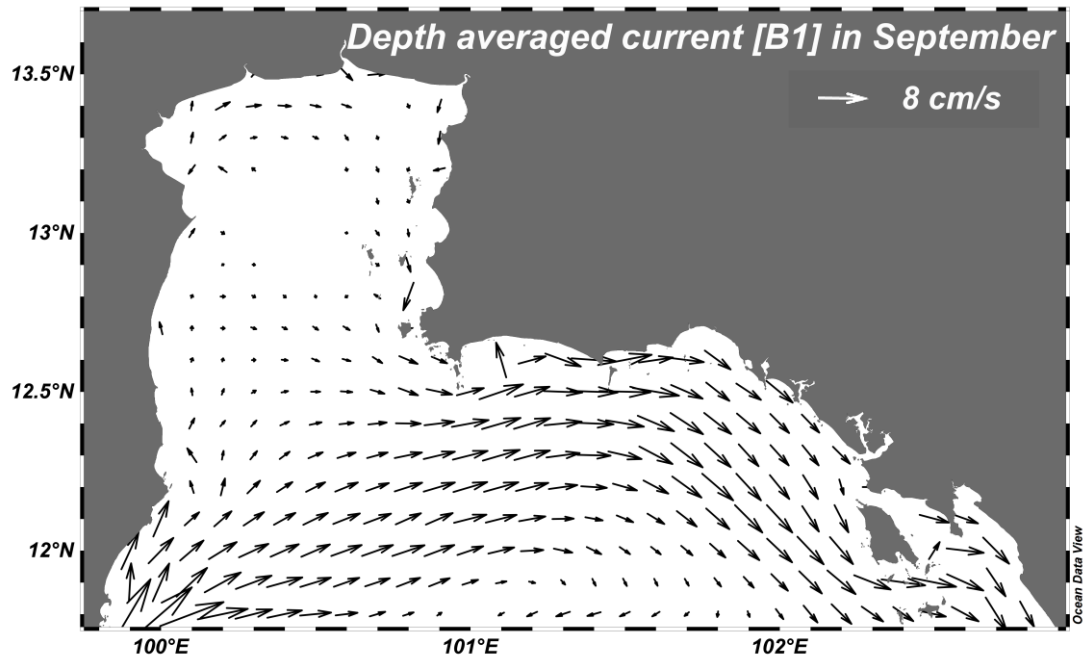
ภาพภาคผนวก ข-6 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนมิถุนายน



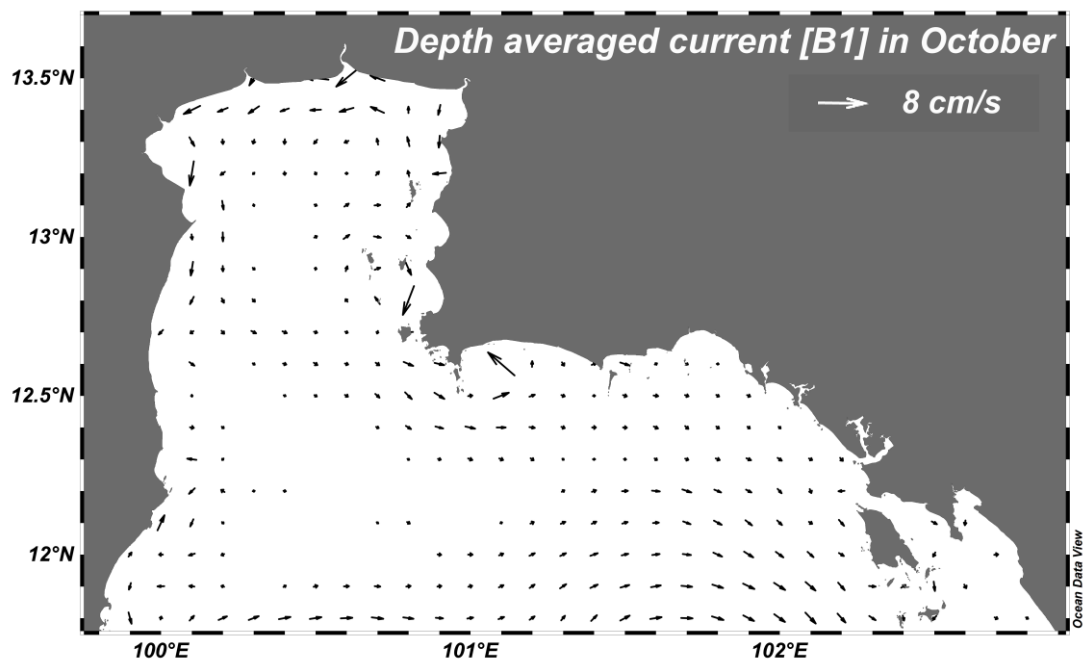
ภาพภาคผนวก ข-7 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนกรกฎาคม



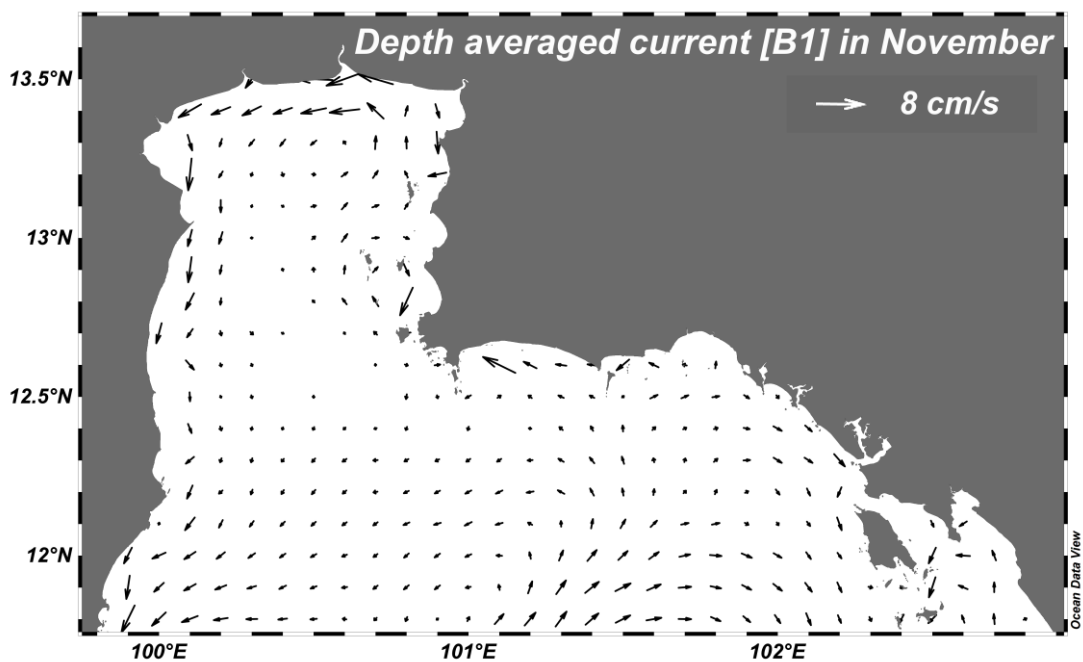
ภาพภาคผนวก ข-8 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนสิงหาคม



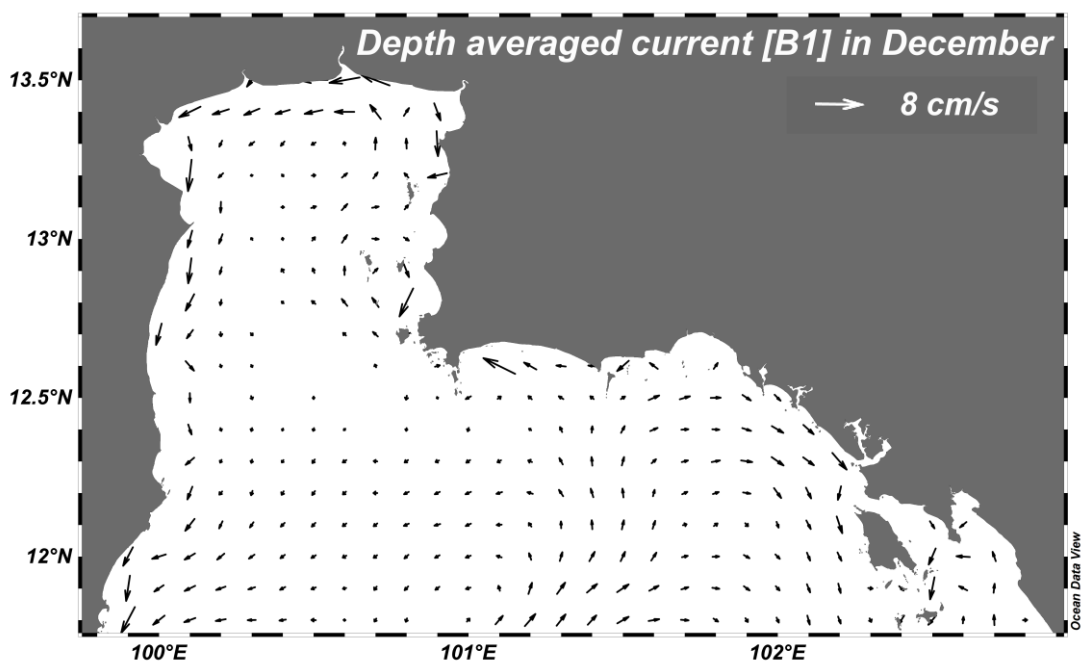
ภาพภาคผนวก ข-9 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนกันยายน



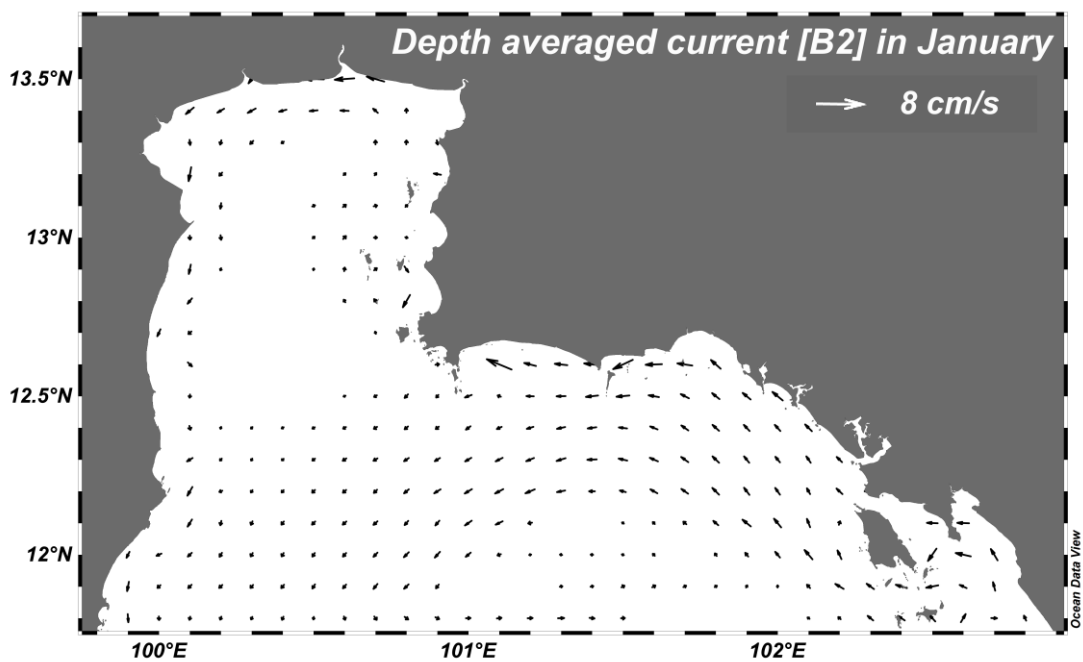
ภาพภาคผนวก ข-10 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนตุลาคม



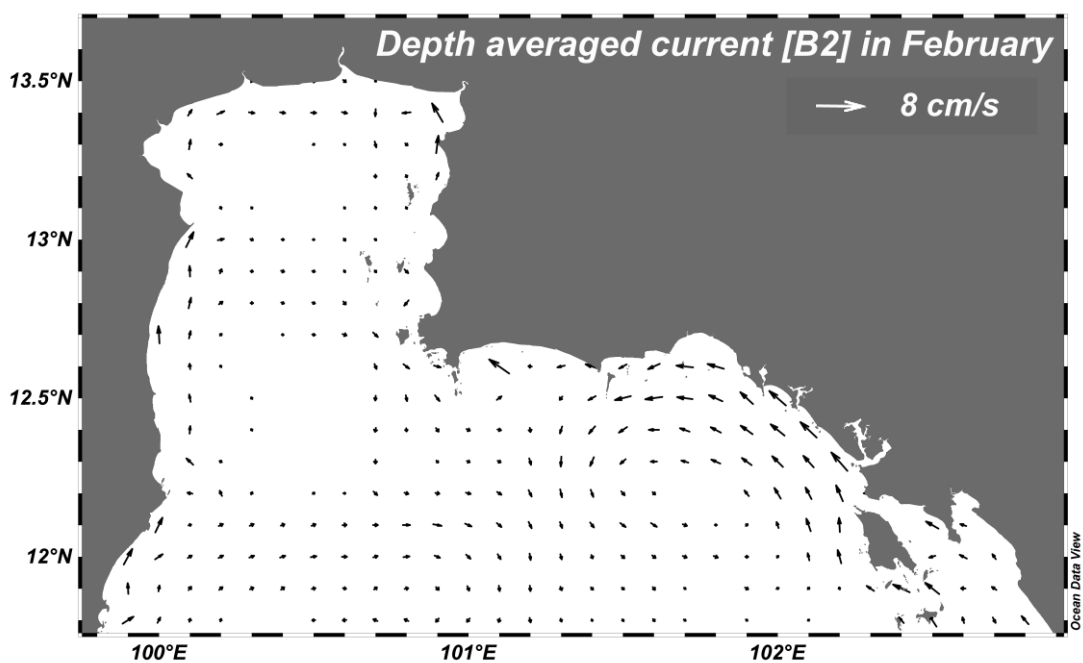
ภาพภาคผนวก ข-11 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนพฤศจิกายน



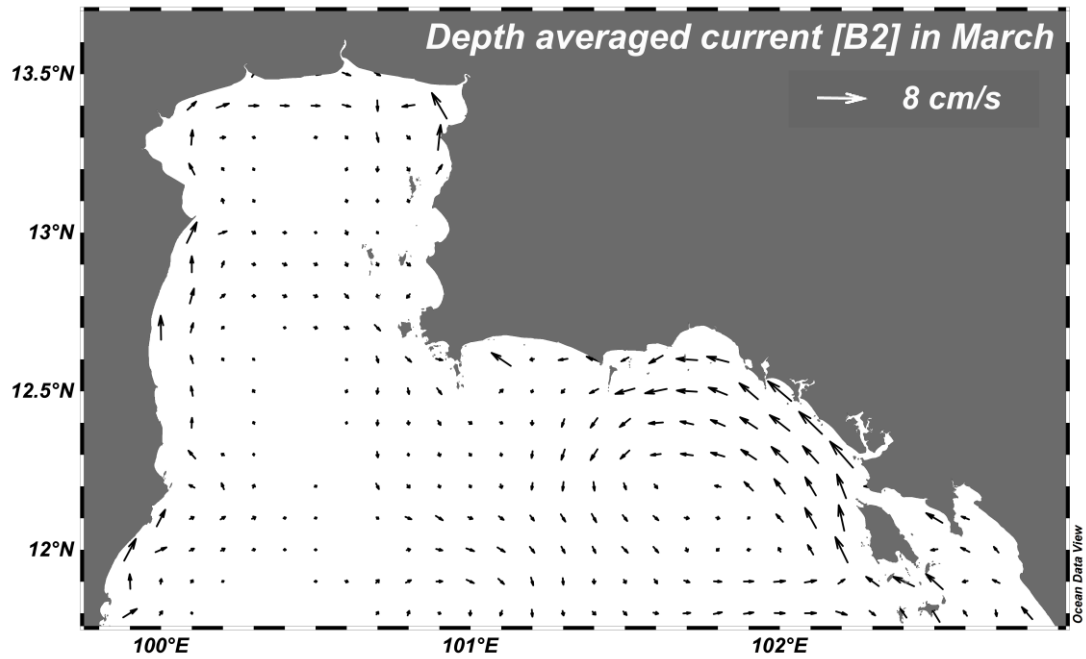
ภาพภาคผนวก ข-12 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำในเดือนธันวาคม



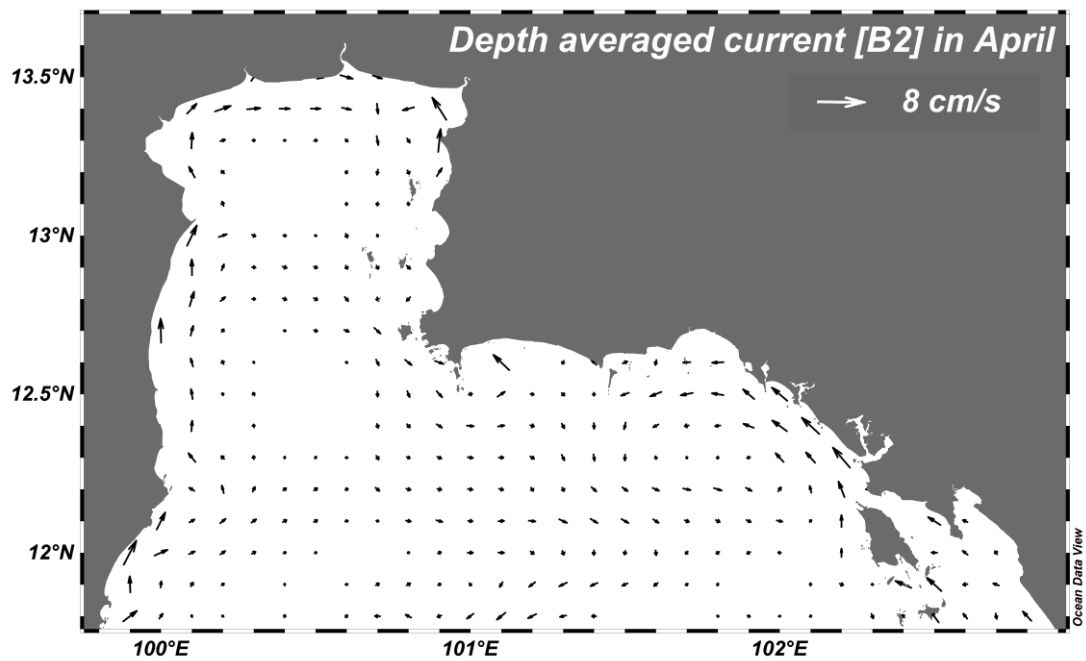
ภาพภาคผนวก ข-13 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมกราคม



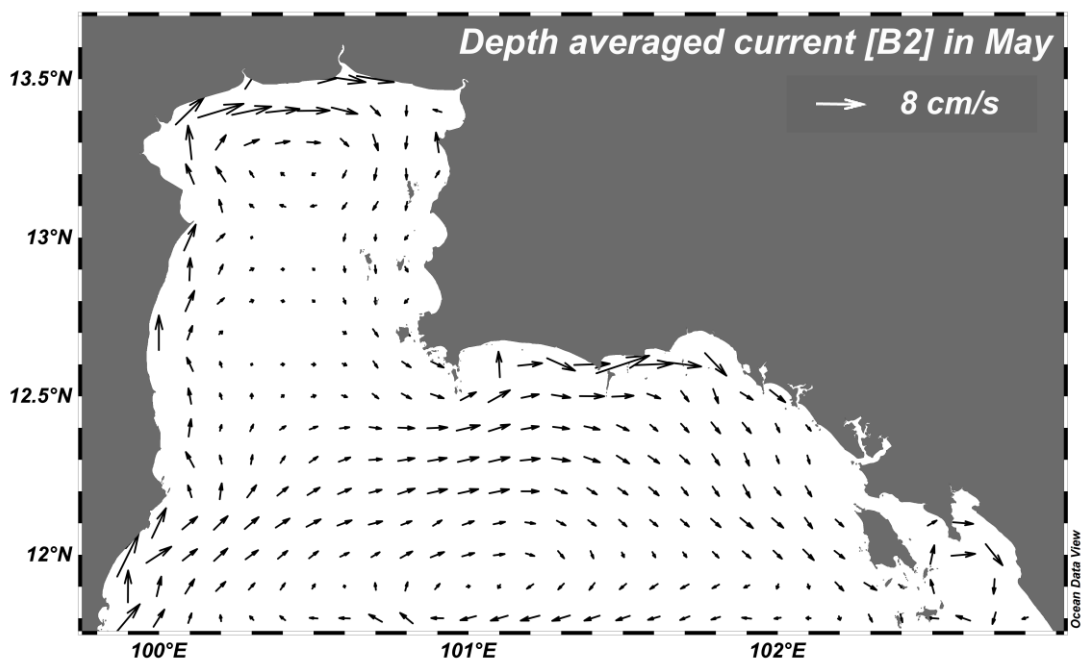
ภาพภาคผนวก ข-14 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกุมภาพันธ์



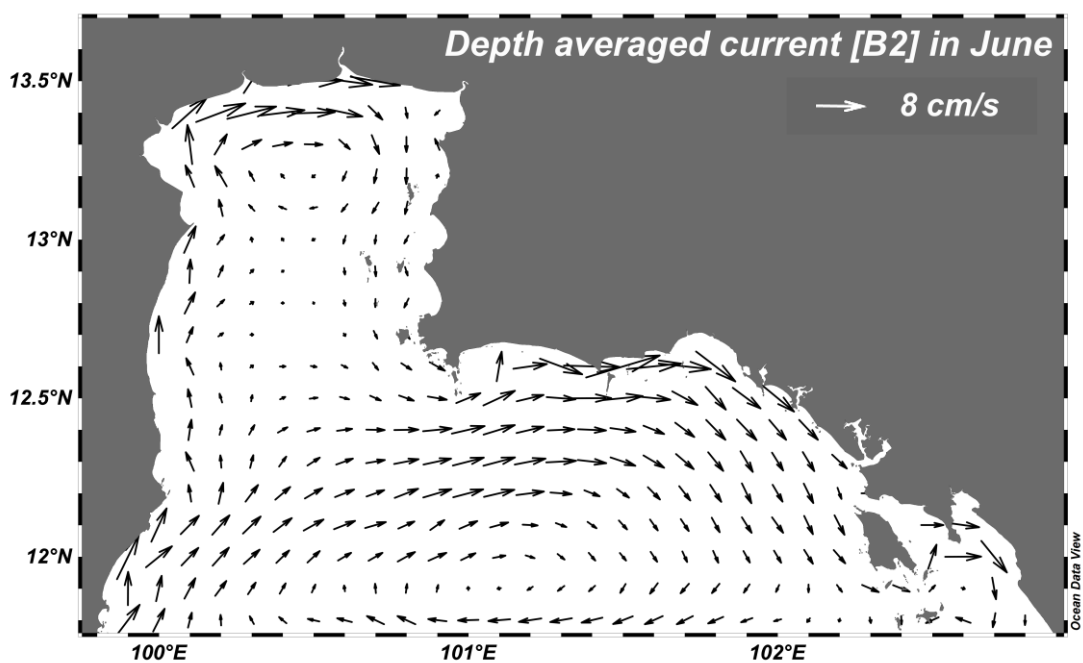
ภาพภาคผนวก ข-15 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมีนาคม



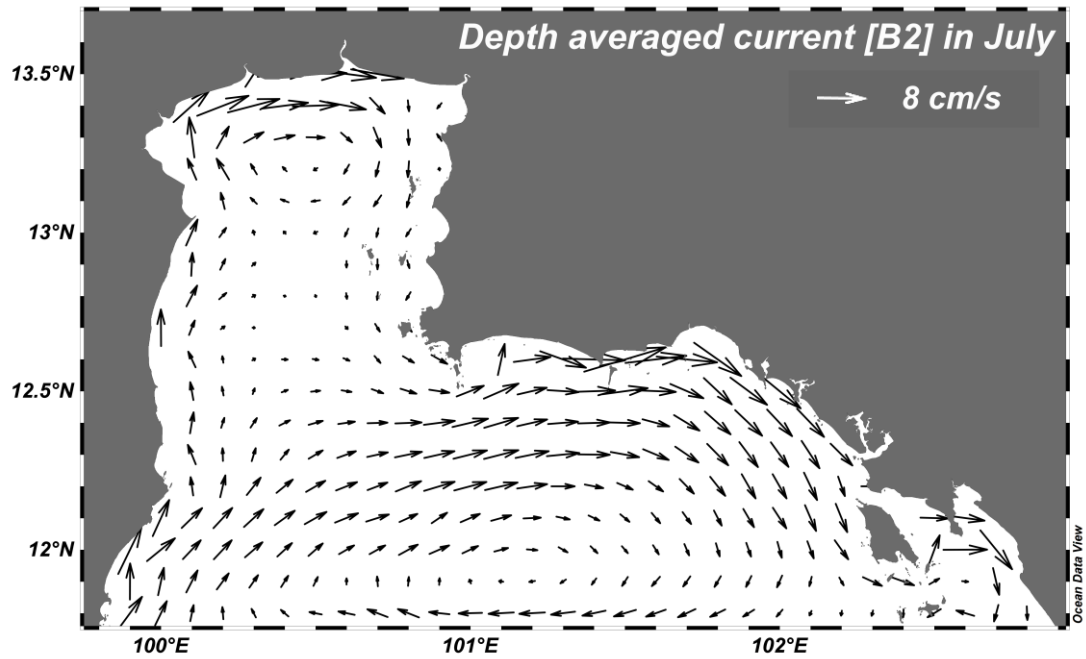
ภาพภาคผนวก ข-16 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนเมษายน



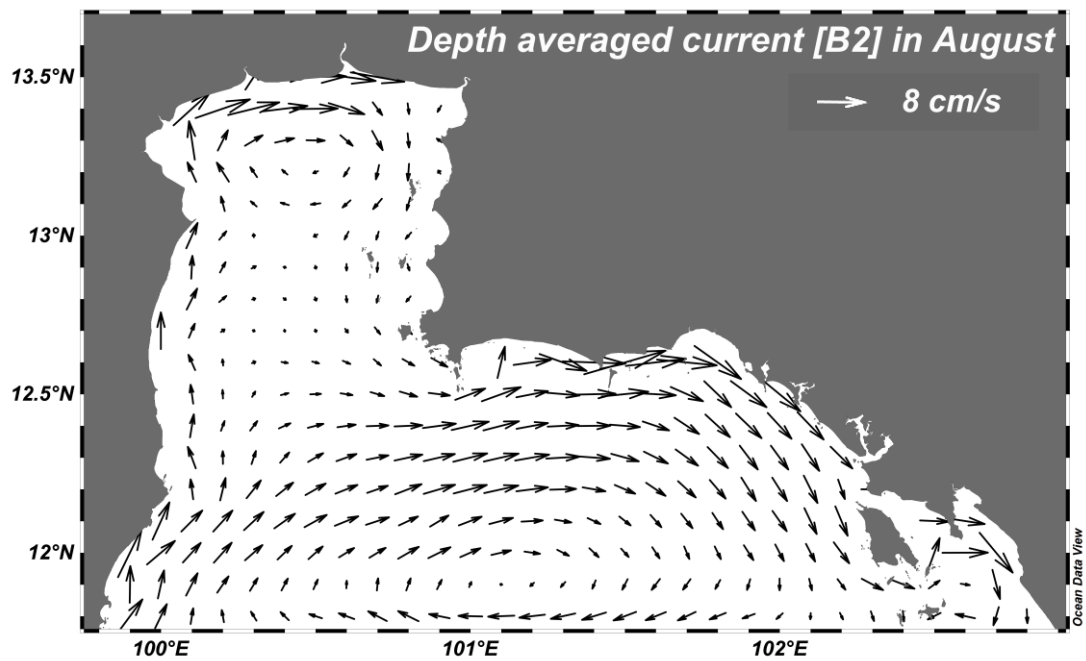
ภาพภาคผนวก ข-17 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤษภาคม



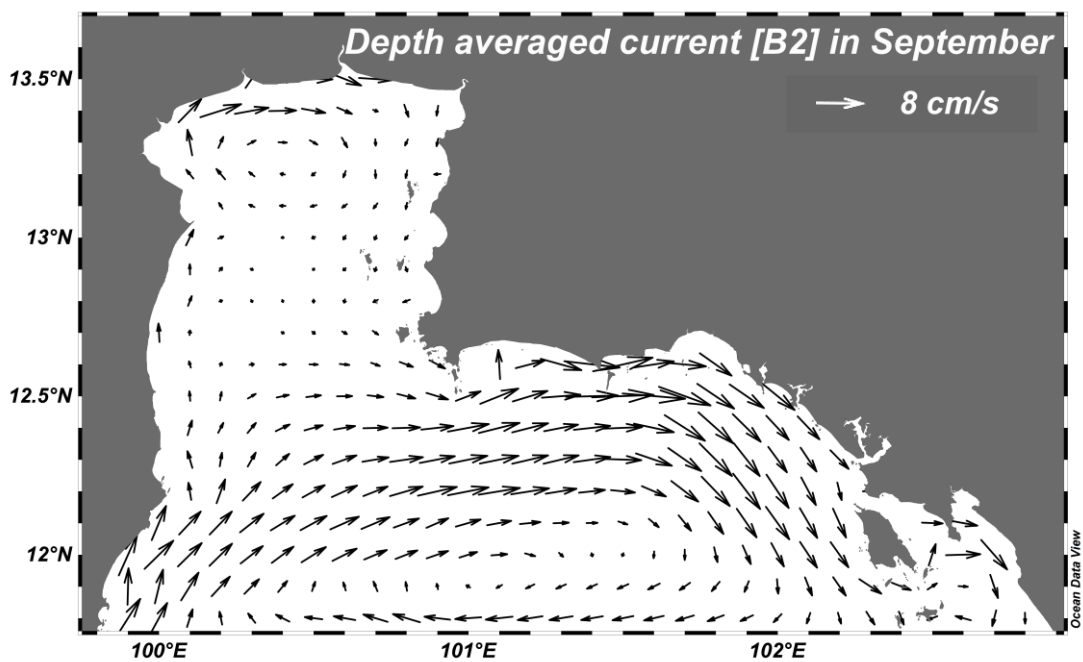
ภาพภาคผนวก ข-18 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนมิถุนายน



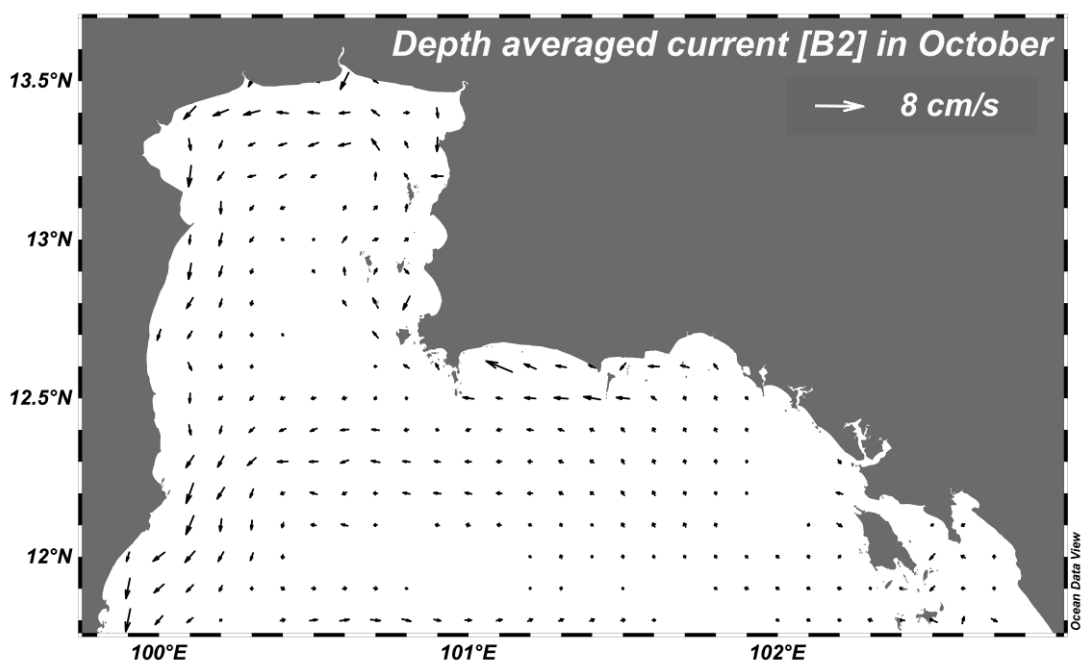
ภาพภาคผนวก ข-19 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกรกฎาคม



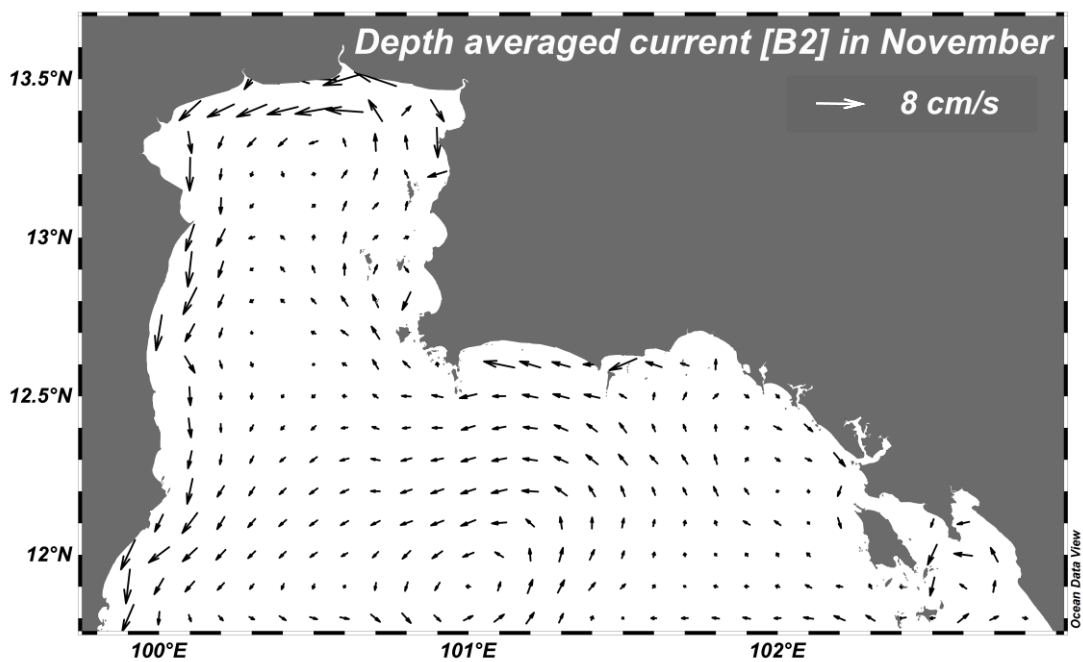
ภาพภาคผนวก ข-20 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนสิงหาคม



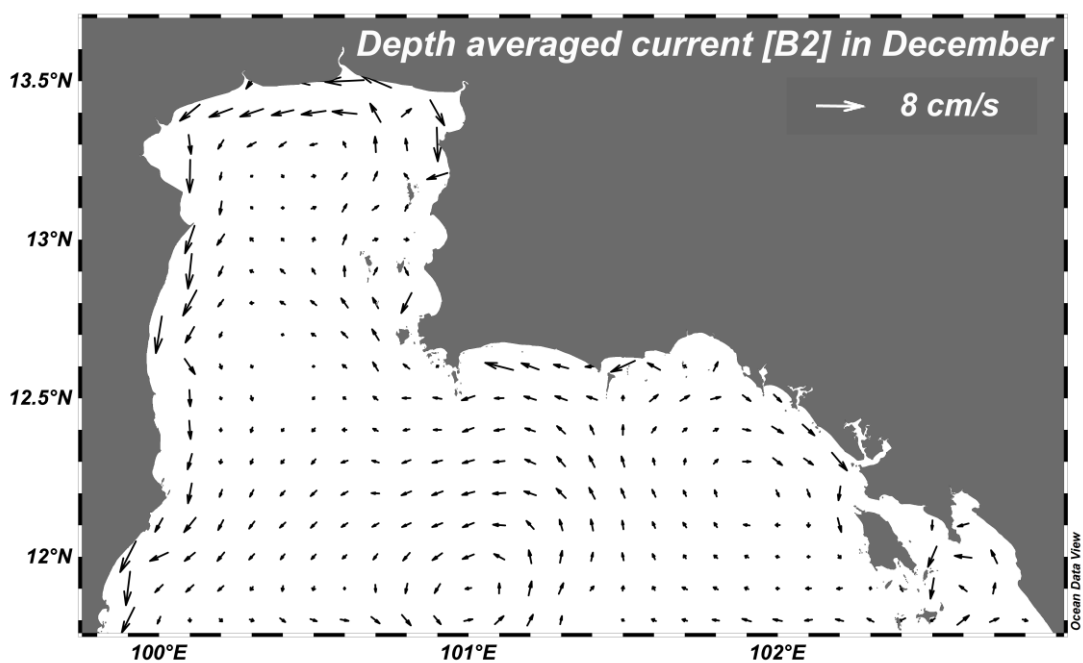
ภาพภาคผนวก ข-21 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนกันยายน



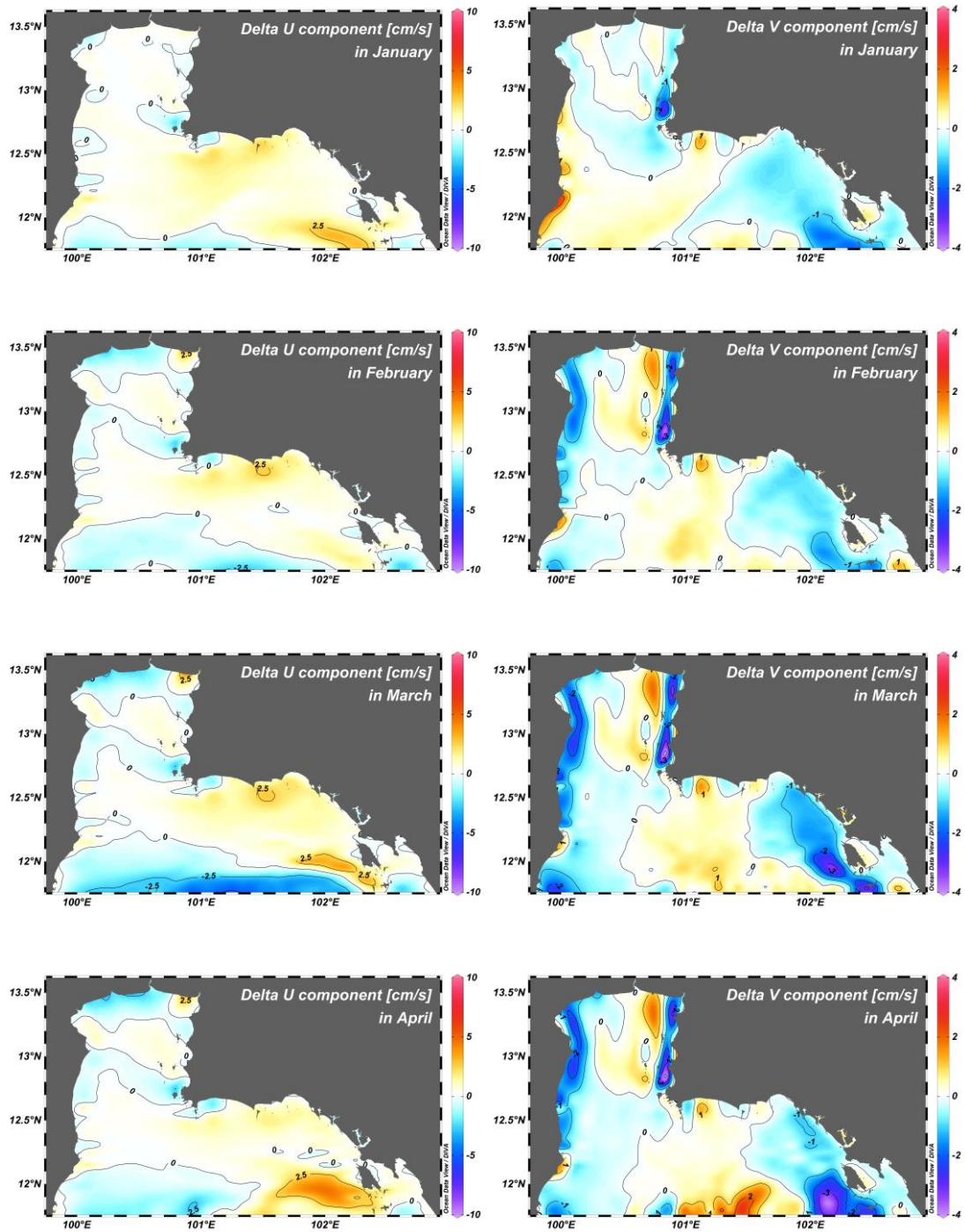
ภาพภาคผนวก ข-22 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนตุลาคม



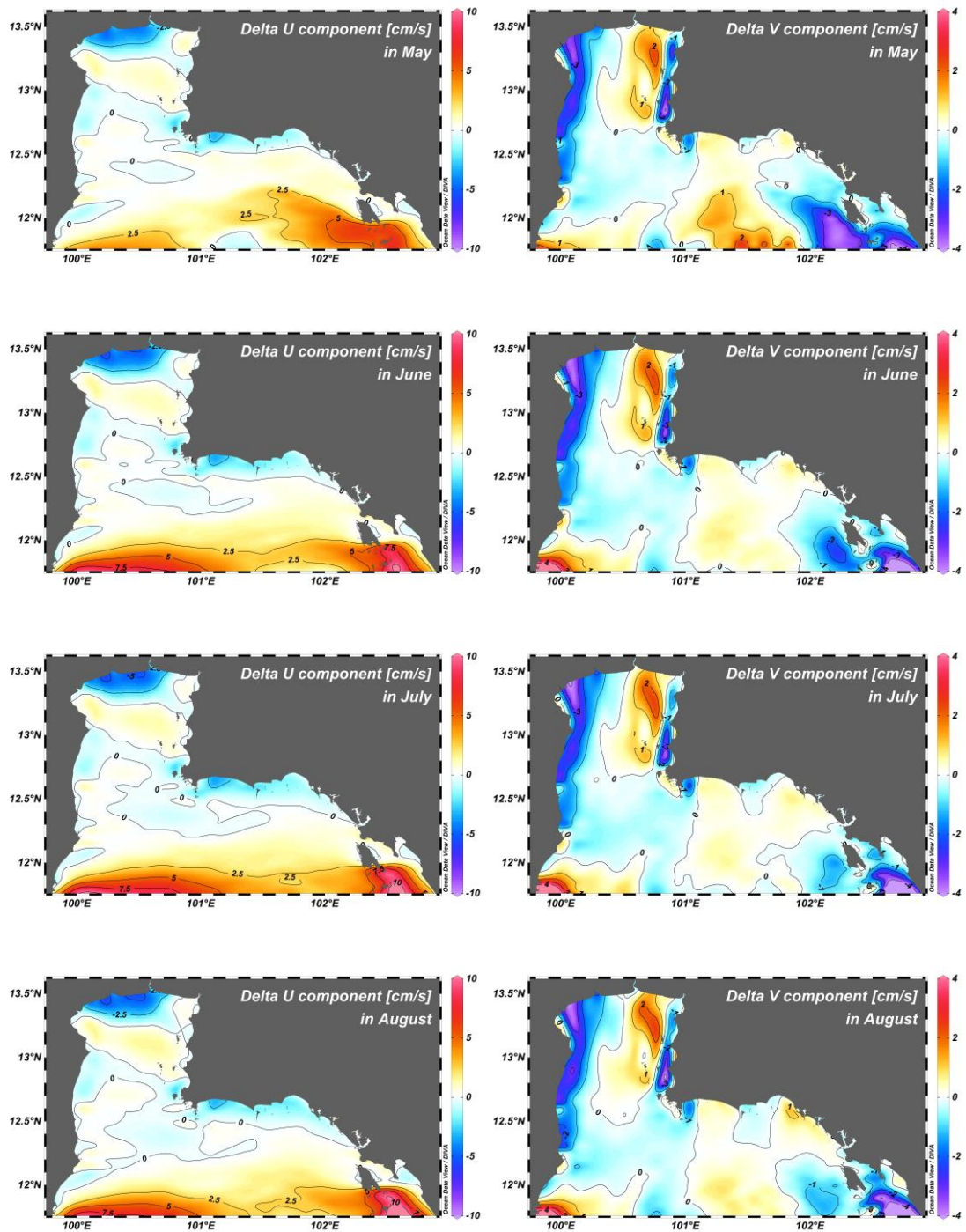
ภาพภาคผนวก ข-23 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนพฤศจิกายน



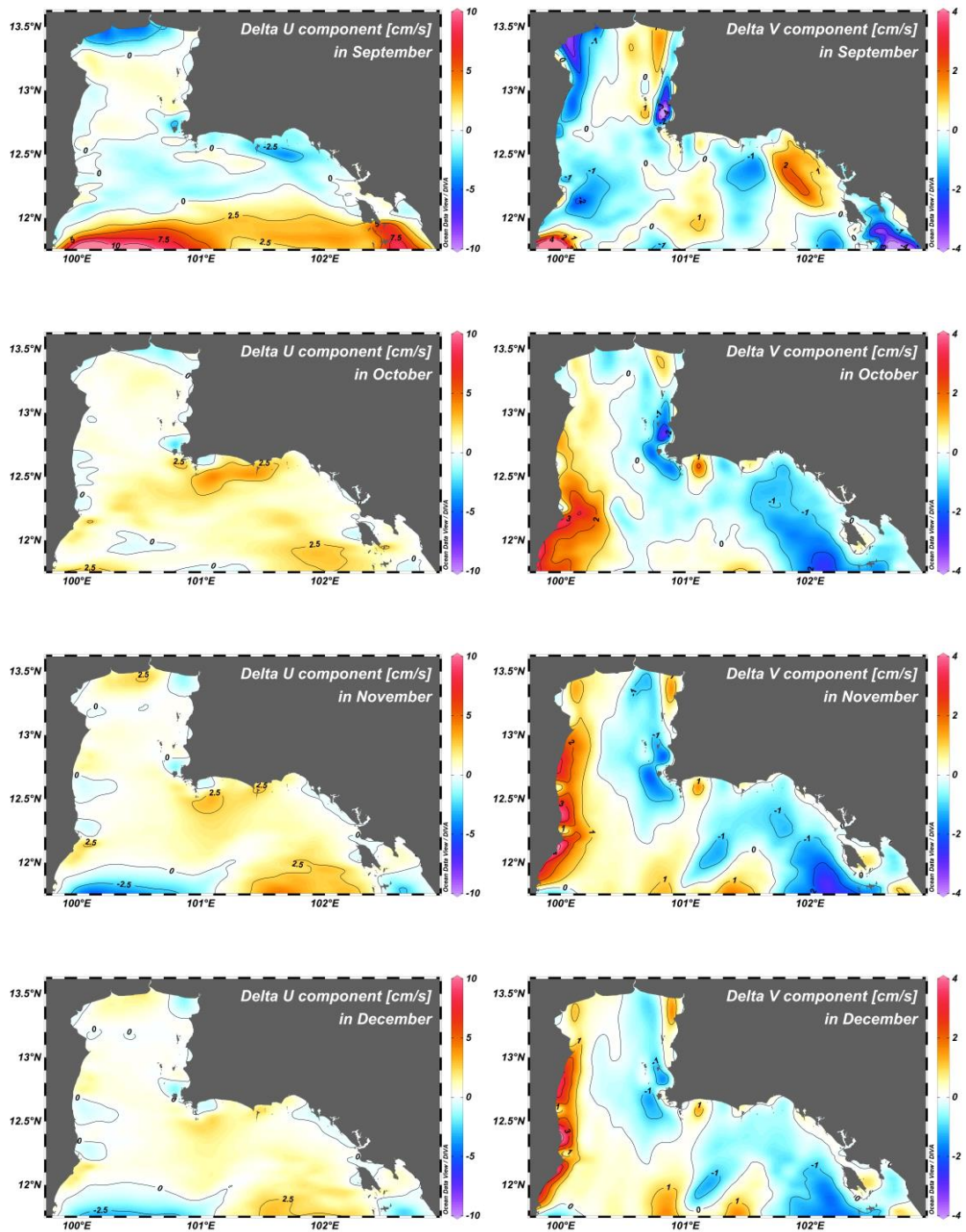
ภาพภาคผนวก ข-24 การไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกของแบบจำลองความละเอียดต่ำตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำในเดือนธันวาคม



ภาพภาคผนวก ข-25 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไข
 ขอบเขตเปิดในแนวตะวันออก - ตะวันตก (ขวา) และแนวเหนือ - ใต้ (ซ้าย)
 ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนเมษายน

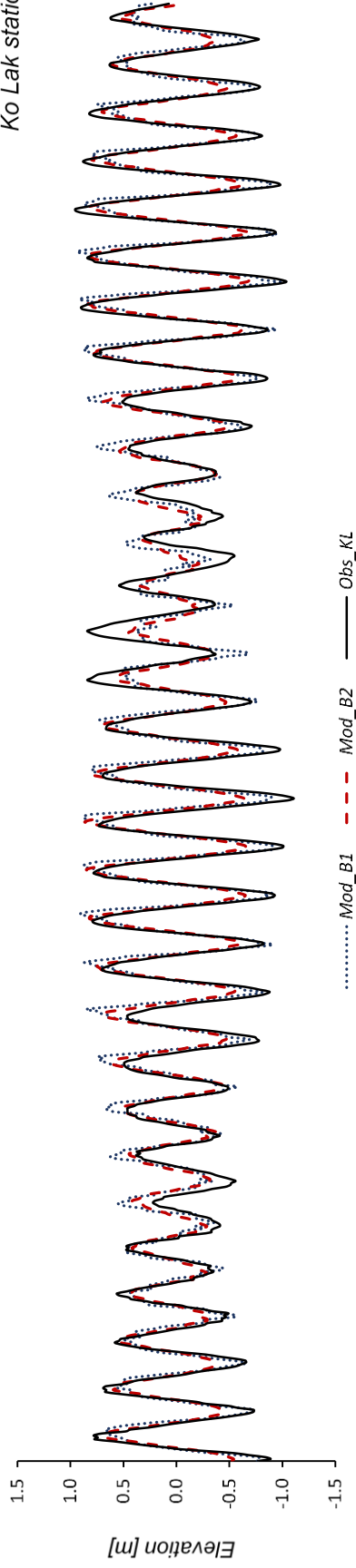


ภาพภาคผนวก ข-26 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไข
 ขอบเขตเปิดในแนวตะวันออก - ตะวันตก (ขวา) และแนวเหนือ - ใต้ (ซ้าย)
 ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม

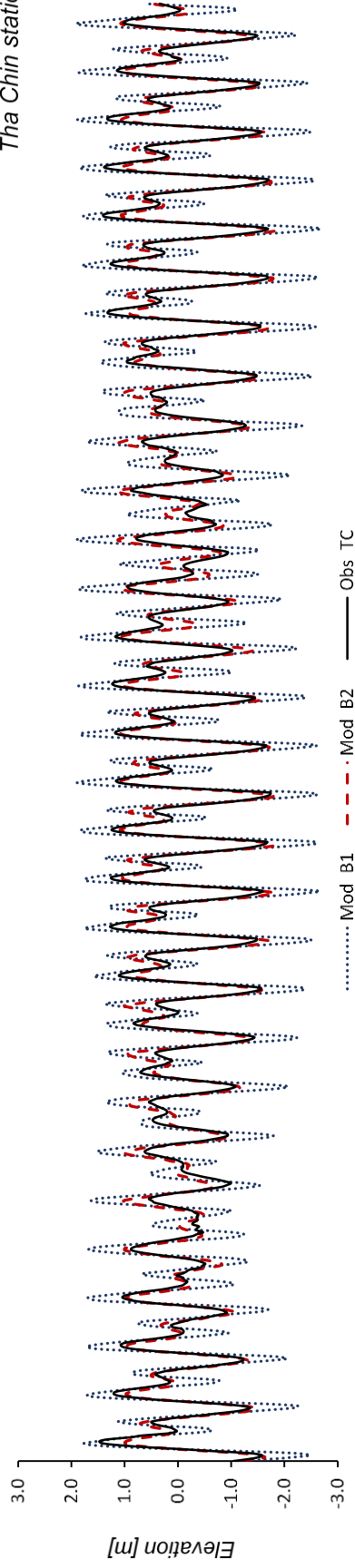


ภาพภาคผนวก ข-27 ความแตกต่างของกระแสน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไข
 ขอบเขตเปิดในแนวตะวันออก – ตะวันตก (ขวา) และแนวเหนือ – ใต้ (ซ้าย)
 ตั้งแต่เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม

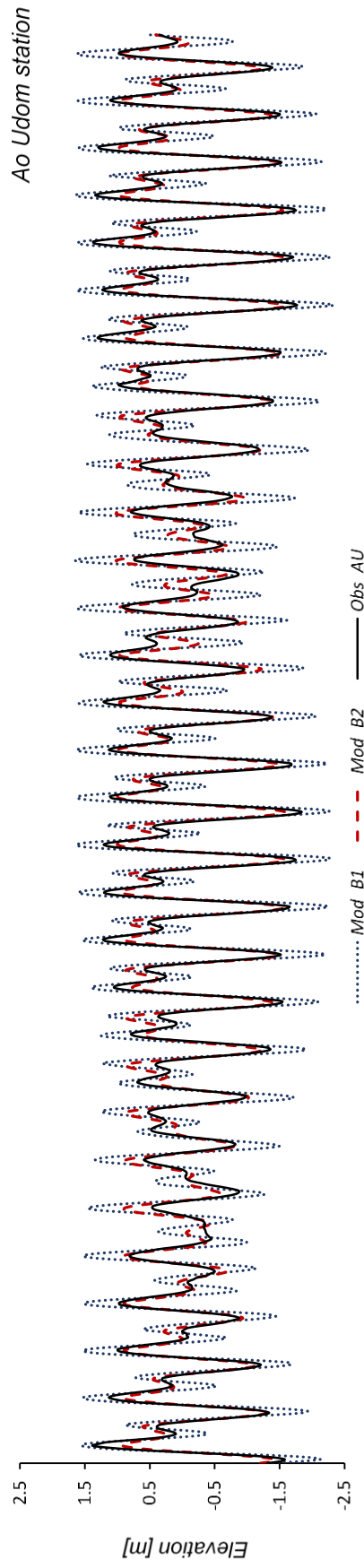
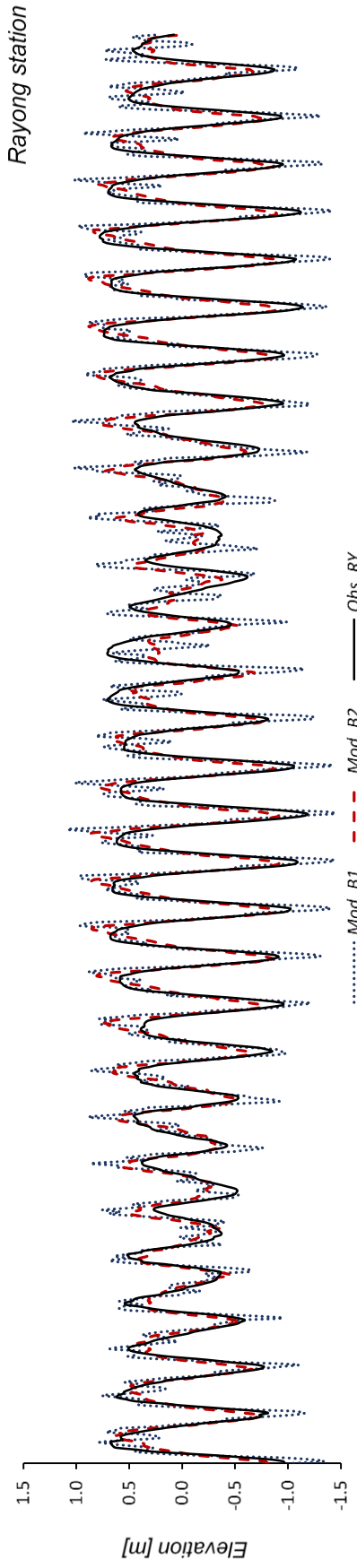
Ko Lak station



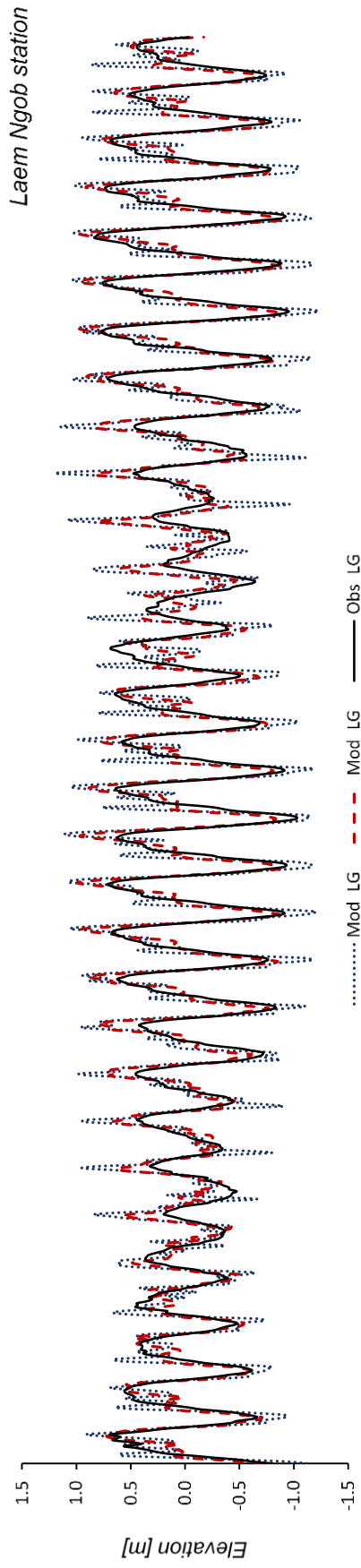
The Chin station



ภาพภาคผนวก ข-28 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีเกาะหลัก (KL) และสถานีท่าจีน (TC) ตามลำดับ



ภาพภาคผนวก ข-29 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีอ่าวอุดม (AU) และสถานีระยอง (RY) ตามลำดับ



ภาพภาคผนวก ข-30 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Mod_B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสหน้า (Mod_B2) กับระดับน้ำจากการตรวจวัด (Obs.) ที่สถานีแหลมฉบัง (LG).

ตารางภาคผนวก ข-1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของแบบจำลองความละเอียดต่ำ ตามเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบระดับน้ำ (Case B1) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบกระแสน้ำ (Case B2)

สถานี	R^2		RMSE [m]	
	Case B1	Case B2	Case B1	Case B2
KL	0.87	0.92	0.18	0.16
TC	0.83	0.91	0.59	0.23
AU	0.84	0.93	0.46	0.20
RY	0.80	0.88	0.26	0.18
LG	0.70	0.79	0.31	0.21