

แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายตัวอ่อนปะการัง
โดยกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสตึบ จังหวัดชลบุรี

นางสาวณัฐธิดา จันทศิริ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NUMERICAL MODELING OF CORAL LARVAL DISPERSAL
IN SATTAHIP COASTAL AREA, CHON BUIRI PROVINCE

Miss Nuttida Chanthasiri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

ณัฐธิดา จันทศิริ : แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายตัวอ่อนปะการังโดย
 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (NUMERICAL MODELING OF CORAL
 LARVAL DISPERSAL IN SATTAHIP COASTAL AREA, CHON BUIRI PROVINCE) อ.ที่
 ปริญญาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์, 76 หน้า.

กระแสน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้อธิบายความเชื่อมโยงประชากรสิ่งมีชีวิตในแต่ละบริเวณ
 เนื่องจากวงจรชีวิตของสัตว์ทะเลขนาดเล็กจะมีช่วงชีวิตวัยอ่อนล่องลอยอยู่ในกระแสน้ำเพื่อหาแหล่ง
 อาศัยที่ปลอดภัย ก่อนจะพัฒนาเป็นวัยเจริญพันธุ์กระจายอยู่บริเวณต่างๆต่อไป ปะการังบางชนิด
 สามารถขยายพันธุ์ด้วยการผสมพันธุ์และได้ตัวอ่อนที่ต้องใช้กระแสน้ำพัดพาหาพื้นที่ลงเกาะแหล่งที่
 เหมาะสมเช่นกัน กระแสน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายตัวอ่อนปะการัง และอาจทำให้
 แนวปะการังมีความหลากหลาย เนื่องจากได้รับตัวอ่อนจากแหล่งอื่น วัตถุประสงค์ของการศึกษาใน
 ครั้งนี้จึงใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษากระแสน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำขึ้นน้ำลงและลม โดยจำลอง
 กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยกริดขนาดกว้าง 2 กิโลเมตร ยาว 3 กิโลเมตร เพื่อนำกระแสน้ำ
 มาขับเคลื่อนแบบจำลองกริดเล็ก ขนาดกว้างยาวด้านละ 100 เมตร บริเวณชายฝั่งสัตหีบ จังหวัด
 ชลบุรี ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความซับซ้อน และพบปะการังกระจายอยู่ทั่วไปตามชายฝั่ง จากนั้นนำผลการ
 จำลองกระแสน้ำมาศึกษาลักษณะการกระจายอนุภาค ซึ่งใช้เป็นตัวแทนตัวอ่อนปะการัง และติดตาม
 การเคลื่อนที่โดยรวมและการกระจายตัวของอนุภาคที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมในรูปแบบ
 ต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำตายคงอยู่บริเวณจุดปล่อยมากกว่าปล่อยช่วงน้ำ
 เกิด และอิทธิพลของลมเด่นชัดขึ้นเมื่ออนุภาคอยู่ในมวลน้ำนานขึ้น การกระจายอนุภาคที่ปล่อยจาก
 บริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกในช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงมีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งต่างจากการปล่อยอนุภาค
 บริเวณเกาะครามและเกาะเตาหม้อ ที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างการปล่อยช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลง
 ดังนั้นสภาพภูมิประเทศจึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อทิศทางการกระจายตัวอ่อนปะการัง และเมื่อ
 พิจารณาพื้นที่การกระจายอนุภาคที่ปล่อยจากแต่ละพื้นที่ พบว่า บริเวณเกาะเตาหม้อเป็นจุดที่อนุภาค
 เคลื่อนตัวมารวมกัน ส่งผลให้ปะการังบริเวณนั้นมีแนวโน้มที่จะมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง
 กว่าบริเวณอื่น

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ปลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5472234123 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS: NUMERICAL MODELING / CORAL LARVAE DISPERSAL / TIDE / WIND

NUTTIDA CHANTHASIRI: NUMERICAL MODELING OF CORAL LARVAL DISPERSAL IN SATTAHIP COASTAL AREA, CHON BURI PROVINCE. ADVISOR: PATAMA SINGHRUCK, 76 pp.

Current is one of many factors being used to help explain marine population connectivity. This is because, in their early life stages, small marine organisms are plankton floating by current before settling for safe habitats for nursery. Some corals have sexual reproduction and also have larvae floating by current to find some place for settling. Hence current is the key to coral larval dispersal, and makes coral reef having high coral diversity due to larvae coming from other sources. The aim of this study is to use numerical modeling to investigate currents that are driven by tide and wind. The model consisted of coarse-grid domain of the Upper Gulf of Thailand and fine-grid domain of Sattahip coastal area, Chon Buri Province. The study area has complex topography and many coral reefs have been found. Next, particle-tracking model was used to simulate coral larvae dispersion from three different spawning areas under different combinations of tide and wind patterns. The results showed that larvae spawned during neap tide stayed closer to spawning area than larvae spawned during spring tide. Wind has more influence on dispersal if the coral larvae transport over longer period of time. Coral larvae dispersing by flood tide or ebb tide at Macho Bay showed different patterns, in contrast to coral larvae spawning at Ko Khram and Ko Taomo which showed no difference between flood tide spawning and ebb tide spawning. This implied that, the topography is another key factor that affects coral larvae dispersion. Coral dispersal overlaying maps showed that Ko Taomo was the area where most coral larvae from all three spawning areas dispersed to suggesting the prospect of high corals diversity in this area.

Department: Marine Science

Student's Signature

Field of Study: Marine Science

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำในการทำงาน รวมทั้งได้มอบโอกาสที่ดีให้ข้าพเจ้าไปเข้าได้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการที่หลากหลาย ข้าพเจ้าในฐานะผู้ทำวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ โศจิสุกร และ ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ รวมถึง อาจารย์ ดร.สุรียัน สารสมูล ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาด้านการใช้แบบจำลอง ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุชนา ชวนิชน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณพ วิทยาญจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูลชีววิทยาปะการัง รวมทั้งให้โอกาสได้ไปเข้าร่วมงานประชุมวิชาการทางปะการัง

ขอขอบคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี หน่วยสงครามพิเศษทางเรือ กองทัพเรือ ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณกลุ่มชีววิทยาปะการัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่เป็นห่วง ถามไถ่ และให้คำปรึกษา ทำให้ได้รับกำลังใจในการทำงานวิจัยที่ดี

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ รวมทั้งพี่สาวที่ให้กำลังใจเสมอมา ทำให้ผ่านอุปสรรคต่างๆ ไปได้

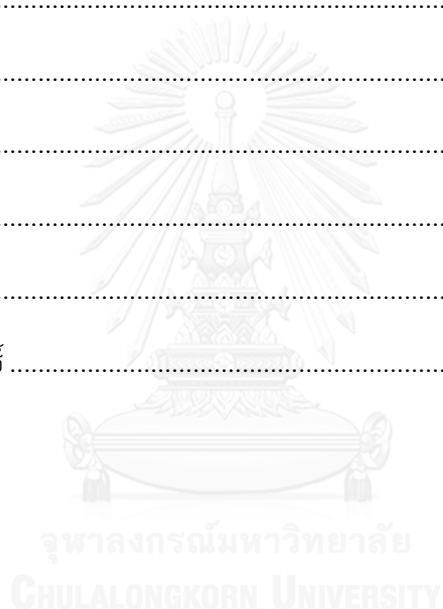
สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	1
สารบัญตาราง.....	6
บทที่ 1 บทนำ	7
วัตถุประสงค์	7
ขอบเขตงานวิจัย	7
บทที่ 2 สํารวจเอกสาร	8
2.1 ความเชื่อมโยงระหว่างกระแสน้ำกับประชากร.....	8
2.2 กระแสน้ำชายฝั่ง	10
2.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคแขวนลอย	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะเสม็ด อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	11
2.4.1. แนวปะการัง	11
2.4.2 รูปแบบกระแสน้ำ	14
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	16
3.1 การจำลองกระแสน้ำ.....	16
3.1.1 การสร้างแบบจำลองกริดขนาดใหญ่ (coarse-grid model).....	17
3.1.2 การสร้างแบบจำลองกริดขนาดย่อย (nested-grid model).....	19
3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	21
3.2.1 การเทียบระดับน้ำ	21

3.2.2 การเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบวัตเฉพาจุด (Eulerian current)	22
3.2.3 การเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Lagrangian trajectory	23
3.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปะการัง	24
3.4 กรณีศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้อิทธิพลของลมและน้ำขึ้นน้ำลง	26
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	27
4.1 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง	27
4.1.1 ระดับน้ำ	27
4.1.2 ผลการเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Eulerian.....	29
4.1.3 ผลการเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Lagrangian	34
4.2 ผลการจำลองกระแสน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม	39
4.2.1 น้ำขึ้นน้ำลง	39
4.2.2 กระแสน้ำเนื่องจากลม	39
4.3 Lagrangian trajectory ภายใต้กรณีศึกษาต่างๆ	40
4.3.1 น้ำเกิด-น้ำตาย	40
4.3.2 น้ำตาย+ลม.....	42
4.3.3 น้ำเกิด+ลม	42
4.4 การจำลองการกระจายอนุภาค.....	44
4.4.1 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะครามภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 29)	45
4.4.2 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะคราม ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม ประจำฤดู.....	47
4.4.3 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 34)...	51
4.4.4 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม ประจำฤดู.....	53
4.4.5 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 39)...	57

4.4.6 การกระจายอนุภาคบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและ ลมประจำฤดู	59
บทที่ 5 วิจัยรณผล	63
5.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	63
5.2 กระแสน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม	63
5.3 การจำลองการกระจายอนุภาค.....	64
รายการอ้างอิง	67
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก	73
ภาคผนวก ข	74
ภาคผนวก ค	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	76



สารบัญรูป

รูปที่ 1 แหล่งแนวปะการังบริเวณชายฝั่งสตั๊ทหีบ จังหวัดชลบุรี ปี พ.ศ. 2549 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2549).....	12
รูปที่ 2 องค์ประกอบของปะการังที่พบในพื้นที่ต่างๆ บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)	13
รูปที่ 3 ลักษณะกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ซ้าย) และช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ขวา) (Burapratheprat, 2006)	14
รูปที่ 4 รูปแบบ Arakawa C grid เพื่อการคำนวณระดับน้ำ (ζ) ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราเร็วกระแสน้ำ (u, v, w) (Deltares, 2011).....	17
รูปที่ 5 พื้นที่จำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยด้วยแบบจำลองกริดขนาดใหญ่ ซึ่งมีขอบเขตเปิดเป็นแนวเส้นตรงที่ลากจากสถานีเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มายังสถานีแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี แต่ละเขตสี่เหลี่ยมแสดงค่าความลึกน้ำจาก GEBCO 08 ทุกๆ 5 เมตร	17
รูปที่ 6 พื้นที่จำลองกริดขนาดย่อย บริเวณชายฝั่งสตั๊ทหีบ จังหวัดชลบุรี โดยแต่ละกริดกว้างยาวด้านละ 100 เมตร (บน) ความลึกน้ำในแบบจำลอง ได้มาจากแผนที่เดินเรือ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (ล่าง) แต่ละเขตสี่เหลี่ยมแสดงค่าความลึกน้ำทุกๆ 5 เมตร	20
รูปที่ 7 พื้นที่ชายฝั่งสตั๊ทหีบ วงกลมแดงคือจุดตรวจวัดระดับน้ำขึ้นน้ำลงของกรมอุทกศาสตร์ และจุดสำรวจระดับน้ำในแบบจำลองบริเวณชายฝั่งสตั๊ทหีบ	21
รูปที่ 8 ลักษณะหุ่นลอยที่ใช้ติดตามกระแสน้ำ โดยมีความยาว 50 เซนติเมตร (ซ้าย) และ 90 เซนติเมตร (ขวา)	23
รูปที่ 9 จุดสำรวจกระแสน้ำเปรียบเทียบกับแบบจำลองบริเวณเกาะเตาหม้อ (a) และชายฝั่งหมาจอบ (c) โดย (b) คือพื้นที่โดยรวมของชายฝั่งสตั๊ทหีบ	24
รูปที่ 10 จุดปล่อยอนุภาคบริเวณชายฝั่งสตั๊ทหีบ จังหวัดชลบุรี สัญลักษณ์รูปดาวคือจุดปล่อยบริเวณเกาะคราม สามเหลี่ยมคือเกาะเตาหม้อ และวงกลมคือชายฝั่งเขาหมาจอบ	25
รูปที่ 11 ระดับน้ำตามช่วงเวลาเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 บริเวณสถานีสตั๊ทหีบ (เส้นสีเทาจากตารางน้ำ เส้นประสีทึบจาก Corse-grid model)	29

รูปที่ 12 สภาพภูมิประเทศบริเวณเกาะเตาหม้อ โดยจุดสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP	30
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบริเวณร่องน้ำเกาะเตาหม้อในช่วงเวลาการสำรวจ (a) ทิศทางและอัตราเร็วกระแสน้ำจากการสำรวจ (b) ทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (c) และทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (d) (สีทึบแทนเวลาเริ่มต้น สีอ่อนแทนเวลาสุดท้าย).....	31
รูปที่ 14 บริเวณสภาพภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก โดยจุดสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP	32
รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกในช่วงเวลาการสำรวจ (a) ทิศทางและอัตราเร็วกระแสน้ำจากการสำรวจ (b) ทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (c) และทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (d) (สีทึบแทนเวลาเริ่มต้น สีอ่อนแทนเวลาสุดท้าย).....	33
รูปที่ 16 ทิศทางโดยรวมของทุ่นลอย โดย จุด A, B, และ C คือเวลา 09:55 น. 11:00 น. และ 12:00 น. ตามลำดับ สัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์แสดงทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)	35
รูปที่ 17 ทิศทางโดยรวมของทุ่นลอยที่ได้จากการจำลอง ตั้งแต่เวลา 09:55 น. – 12:00 น. ตามลำดับ จุด A คือจุดจำลองปล่อยทุ่นลอย และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)....	35
รูปที่ 18 ทิศทางโดยรวมของทุ่นลอย โดย จุด A, B, C, D, และ E คือเวลา 13:15 น. 14:35 น. 15:10 น. 15:20 น. และ 15:30 น. ตามลำดับ และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)....	36
รูปที่ 19 ทิศทางโดยรวมของทุ่นลอยที่ได้จากการจำลอง ตั้งแต่เวลา 13:10 น. – 15:30 น. จุด A คือจุดจำลองปล่อยทุ่นลอย และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำในแบบจำลองแบบ Eulerian (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b).....	37
รูปที่ 20 ทิศทางของทุ่นลอยที่ปล่อยบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก วันที่ 29 สิงหาคม 2557 จากการสำรวจกระแสน้ำ (a) และจากการจำลองโดย Delft-flow (b) โดยเริ่มปล่อยจากจุด A.....	37
รูปที่ 21 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก วันที่ 29 สิงหาคม 2557 A-B คือทิศทางทุ่นลอย ขณะน้ำลง (เส้นสีแดง) จุด B คือจุดที่ทุ่นลอยเปลี่ยนทิศเคลื่อนที่เนื่องจากน้ำขึ้น (เส้นสีเขียว)	38

รูปที่ 22 กระแสน้ำจากแบบจำลองบริเวณอ่าวไทยตอน (บน) และชายฝั่งสตัทเทีบ (ล่าง) ในช่วงเวลาน้ำลง (ซ้าย) และน้ำขึ้น (ขวา)	39
รูปที่ 23 ผลการจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนใน coarse grid model เมื่อได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ (a) และลมตะวันตกเฉียงใต้ (b) และผลการจำลองกระแสน้ำใน nested-grid model บริเวณชายฝั่งสตัทเทีบเมื่อได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ (c) และลมตะวันตกเฉียงใต้ (d) โดยให้ลมมีขนาด 5 m/s เท่ากันทุกตำแหน่งกริด	40
รูปที่ 24 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยปล่อยหุ่นลอยจากเกาะคราม เกาะเตาหม้อ และชายฝั่งเขาหมาจอกในช่วงน้ำตาย เส้นสีอ่อนคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำลง เส้นสีทึบคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้น.....	41
รูปที่ 25 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยปล่อยหุ่นลอยจากเกาะคราม (a) เกาะเตาหม้อ (b) และชายฝั่งเขาหมาจอก (c) ช่วงน้ำเกิด เส้นสีอ่อนคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำลง เส้นสีทึบคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้น	41
รูปที่ 26 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน ช่วงน้ำตาย ที่ปล่อยจากเกาะคราม เกาะเตาหม้อ และชายฝั่งเขาหมาจอก โดยภาพซ้ายปล่อยหุ่นลอยช่วงน้ำขึ้น ส่วนภาพขวาปล่อยหุ่นลอยช่วงน้ำลง สีแดงคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยที่ได้รับเฉพาะอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเดียว สีน้ำเงินคือเส้นทางของหุ่นลอยที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวคือเส้นทางของหุ่นลอยที่ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้	42
รูปที่ 27 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน ช่วงน้ำเกิด ที่ปล่อยจากเกาะคราม (a) เกาะเตาหม้อ (c) และชายฝั่งเขาหมาจอก (e) ในช่วงน้ำลง และในช่วงน้ำขึ้น (b), (d) และ (f) สีแดงคือเส้นทางของหุ่นลอยที่กระแสน้ำได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเดียว สีน้ำเงินคือได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวคือได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันตกเฉียงใต้.....	43
รูปที่ 28 จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (เส้นประ) เทียบกับการจำลองการกระจายอนุภาคตามช่วงเวลา โดย a), b), c), d) และ e) ห่างกันทุก 30 นาที.....	44
รูปที่ 29 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณเกาะคราม โดยแถวแสดงความแตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่	46

รูปที่ 30 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะคราม 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้	47
รูปที่ 31 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะครามรอบน้ำตาย โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม	48
รูปที่ 32 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะคราม 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำเกิดที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้	49
รูปที่ 33 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะครามรอบน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม	50
รูปที่ 34 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณเกาะเตาหม้อ โดยแถวแสดงความแตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่	52
รูปที่ 35 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อ 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้	53
รูปที่ 36 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะเตาหม้อรอบน้ำตาย โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม	54
รูปที่ 37 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อ 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำเกิดที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้	55

- รูปที่ 38 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จาก
การปล่อยบริเวณเกาะเตาหม้อรอบน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วง
น้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม..... 56
- รูปที่ 39 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก โดยแถวแสดงความ
แตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่..... 58
- รูปที่ 40 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากชายฝั่งเขาหมาจอก 100 ตัว ในระยะเวลา 4
วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้อ
รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับ
อิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้..... 59
- รูปที่ 41 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จาก
การปล่อยบริเวณชายฝั่งหมาจอรอบน้ำตาย โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วง
น้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม..... 60
- รูปที่ 42 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคจำนวน 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน ที่ปล่อยช่วงน้ำกำลังลง
บริเวณชายฝั่งเขาหมาจอรอบน้ำเกิด เส้นสีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลม เส้นสีน้ำเงิน
คือได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ และเส้นสีเขียวคือได้รับลมตะวันตกเฉียงใต้..... 61
- รูปที่ 43 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จาก
การปล่อยบริเวณชายฝั่งหมาจอรอบน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วง
น้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม..... 62

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	ระยะการลอยอยู่ในมวลน้ำของปะการังชนิดต่างๆ บริเวณทะเลแควรีเปียน	9
ตารางที่ 2	องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลาใน แบบจำลอง.....	19
ตารางที่ 3	แสดงรูปแบบการจำลองกระแสน้ำโดยใช้หุ่นลอยเป็นตัวแทนแสดงลักษณะกระแสน้ำที่ ได้รับอิทธิพลที่แตกต่างกัน.....	26
ตารางที่ 4	amplitude และ phase lag โดยวิธี tidal harmonic analysis จากตารางน้ำขึ้นน้ำ ลงบริเวณสถานีสัตหีบ และจากแบบจำลอง Corse-grid model	28
ตารางที่ 5	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสน้ำจากการสำรวจกับแบบจำลอง บริเวณเกาะเตาหม้อ และชายฝั่งหมาจ้อ.....	34

บทที่ 1

บทนำ

จากการสำรวจแนวปะการังในประเทศไทย พบแนวปะการังกระจายอยู่ทั้งบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน ซึ่งแต่ละพื้นที่มีชนิด ความหนาแน่น และความสมบูรณ์ต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้ปะการังแต่ละบริเวณมีชนิดที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากความแตกต่างทางชีววิทยาปะการัง เช่น พันธุกรรม หรือการปรับตัวตั้งแต่เป็นระยะตัวอ่อนจนเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ รวมทั้งจากปัจจัยทางกายภาพเช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และกระแสน้ำ (Baums *et al.*, 2006) เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาปะการังช่วงระยะตัวอ่อนที่สามารถลอยอยู่ในมวลน้ำเพื่อหาพื้นที่ลงเกาะก่อนพัฒนาเป็นโครงสร้างแข็งอยู่ติดกับที่ พบว่า ปะการังชนิดที่ผสมพันธุ์โดยการปล่อยไข่และน้ำเชื้อออกมาผสมพันธุ์กันในมวลน้ำพร้อมกัน ผลิตตัวอ่อนที่มีระยะอยู่ในมวลน้ำนานกว่าปะการังชนิดที่ปล่อยอนุภาคออกมาพร้อมว่ายลงเกาะ ซึ่งจากการสำรวจระยะที่ตัวอ่อนปะการังลอยอยู่ในมวลน้ำก่อนลงเกาะมีความแตกต่างกันตามชนิดและระยะการพัฒนาตัวอ่อนปะการัง (Harrison, 2011) กระแสน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวอ่อนปะการังที่มีช่วงเวลากการอยู่ในมวลน้ำที่แตกต่างกัน รวมทั้งใช้อธิบายความเชื่อมโยงกันทางพันธุกรรมของประชากรสิ่งมีชีวิตในแต่ละพื้นที่ได้ด้วย โดยจากการศึกษาของ White *et al.* (2010) พบว่า กระแสน้ำสามารถใช้อธิบายการเชื่อมโยงประชากรของหอยชนิด *Kelletia kelletii* ที่กระจายอยู่บริเวณชายฝั่งใกล้ร่องน้ำขานตาบาบารา รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้มีการศึกษากระแสน้ำสุทธิในช่วงเวลาที่ต่างกัน เช่น หนึ่งเดือน หนึ่งฤดูกาล หรือหนึ่งปี โดยที่กระแสน้ำได้รับอิทธิพลทั้งจากน้ำขึ้นน้ำลงและลมที่ต่างกัน สามารถบอกแนวโน้มพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษจากแผ่นดินได้ (Mitarai *et al.*, 2009)

กระแสน้ำชายฝั่งได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง ลักษณะภูมิประเทศ แรงเสียดทานจากท้องน้ำ น้ำท่า รวมทั้งอิทธิพลของลม ทำให้กระแสน้ำมีความซับซ้อนมากกว่าทะเลเปิด การใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขจึงเป็นแนวทางใหม่สำหรับการศึกษาในประเทศไทย ที่ทำให้เห็นรูปแบบกระแสน้ำและลักษณะการกระจายอนุภาคได้อย่างง่าย

วัตถุประสงค์

ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาลักษณะกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัตหีบภายใต้อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและลมมรสุม และนำผลการจำลองกระแสน้ำมาศึกษาลักษณะการกระจายอนุภาคซึ่งเป็นตัวแทนของตัวอ่อนปะการังเพื่อใช้ในการศึกษาและจัดการทรัพยากรปะการังต่อไป

ขอบเขตงานวิจัย

จำลองกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Delft3D ในส่วนของ Flow model ควบคู่กับการตรวจวัด จากนั้นนำกระแสน้ำมาจำลองการกระจายอนุภาคโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Delft3D ในส่วนของ Particle-tracking model เพื่อศึกษาอิทธิพลทางกายภาพที่ส่งผลต่อการกระจายอนุภาค

บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

2.1 ความเชื่อมโยงระหว่างกระแสน้ำกับประชากร

วงจรชีวิตของปลาและสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังเช่น กุ้ง ปู ในระยะวัยอ่อนมีลักษณะคล้ายแพลงก์ตอนที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำและอาศัยกระแสน้ำทำให้อนุภาคกระจายไปยังบริเวณต่างๆ เมื่อถึงระยะโตเต็มวัยจึงเริ่มเคลื่อนที่หาอาหารได้เอง กระแสน้ำจึงถูกนำมาเป็นตัวช่วยอธิบายพื้นที่การกระจายตัวของสัตว์ทะเลเต็มวัยเหล่านี้ในบริเวณต่างๆได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Banas *et al.* (2009) ที่ศึกษาการกระจายของอนุภาคปู *Carcinus maenas* บริเวณ Willapa Bay รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า กระแสน้ำเป็นตัวกักกันให้ปูชนิดนี้ให้คงอยู่ใน Willapa Bay ในช่วงฤดูร้อนมากกว่าฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ น้ำทะเลและอัตราการไหลของน้ำท่าที่ต่างกัน ส่วน Li *et al.* (2014) ศึกษาทิศทางการเคลื่อนที่ที่แพลงก์ตอนมีพิษชนิด *Alexandrium fundyense* บริเวณ Gulf of Maine ช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 2004-2009 พบว่า กระแสน้ำในแต่ละฤดูส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของ *A. fundyense* มากที่สุด ลักษณะเดียวกับ Siegel *et al.* (2003) ได้ทำการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของอนุภาคสัตว์ทะเล 32 ชนิด และใช้ข้อมูลพันธุกรรมประชากรมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง นอกจากนี้ยังใช้กระแสน้ำอธิบายการเชื่อมโยงพันธุกรรมประชากรสิ่งมีชีวิตในแต่ละบริเวณ โดย White *et al.* (2010) ศึกษาหอยชนิด *Kelletia kelletii* ที่กระจายอยู่บริเวณต่างๆใกล้ร่องน้ำซานตาบาบารา รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า กระแสน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หอยชนิดนี้มีการแสดงออกทางพันธุกรรมเหมือนกันในบางพื้นที่

ปะการังเป็นสัตว์ที่สามารถขยายพันธุ์โดยผลิตตัวอ่อน และตัวอ่อนนี้จะลอยอยู่ในมวลน้ำเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในทะเลชนิดอื่น เนื่องจากปะการังสามารถขยายพันธุ์ได้จากการผสมพันธุ์และการแตกหน่อ ทั้งนี้ รูปแบบการผสมพันธุ์ของปะการังขึ้นอยู่กับชนิดและปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ปะการังบางชนิดมีการผสมพันธุ์ในตัวเองและปล่อยตัวอ่อนออกมา บางชนิดปล่อยน้ำเชื้อและไข่เพื่อมาผสมพันธุ์ในมวลน้ำพร้อมกัน บางชนิดปล่อยเฉพาะน้ำเชื้อ บางชนิดปล่อยเฉพาะไข่ อย่างไรก็ตามหลังจากการผสมพันธุ์ของไข่และน้ำเชื้อจะได้ตัวอ่อนลอยไปกับกระแสน้ำ จนถึงระยะลงเกาะในพื้นที่ที่เหมาะสม ซึ่งจากการสำรวจปะการังบริเวณทะเลแคริบเบียนช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่าตัวอ่อนปะการังล่องลอยอยู่ในมวลน้ำด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของปะการัง (ตารางที่ 1) กระแสน้ำจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการเพิ่มและกระจายประชากรปะการัง เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการผสมพันธุ์ของปะการัง พบว่า อิทธิพลของดวงจันทร์ส่งผลต่อการเลือกช่วงเวลา

ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง (Babcock *et al.*, 1986, Kojis, 1986, Richmond and Hunter, 1990, Babcock *et al.*, 1994, Boch *et al.*, 2011) โดยที่ในช่วงน้ำตายค่าแอมพลิจูดของระดับน้ำระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลงแตกต่างกันเล็กน้อย เป็นช่วงที่ปะการังส่วนใหญ่เลือกผสมพันธุ์ (Babcock *et al.*, 1986, Richmond and Hunter, 1990, Penland *et al.*, 2004) จากการศึกษาอิทธิพลของลมปะการังในเขตร้อนขึ้นจะเลือกปล่อยอนุภาคในช่วงลมสงบ กระแสน้ำไม่ปั่นป่วนมาก เพื่อเพิ่มอัตราการผสมพันธุ์ (Van Woessik, 2010)

ตารางที่ 1 ระยะเวลาลอยอยู่ในมวลน้ำของปะการังชนิดต่างๆ บริเวณทะเลแคริบเบียน

Family	ระยะเวลา ลอยตัวในมวลน้ำ	สถานที่	แหล่งที่มา
Poritidae	1 week	Jamaica	Goreau <i>et al.</i> (1981)
Faviidae	127 hours	Florida Keys	Szmant and Meadow (2006)
Pocilloporidae	16-24 hours	Curaçao	Vermeij <i>et al.</i> (2003)
Acroporidae	6-8 days	Florida Keys	Szmant and Miller (2006)
Merulinidae	56 days	Solitary Islands	Wilson and Harrison (1998)

Baums *et al.* (2006) ได้ศึกษาลักษณะการกระจายอนุภาค *Acropora pamata* บริเวณพื้นที่ทะเลแคริบเบียน โดยให้กระแสน้ำเป็นส่วนหนึ่งในการอธิบายแหล่งที่มาของปะการังในแต่ละบริเวณ ควบคู่กับการเก็บข้อมูลพันธุกรรมประชากรปะการัง พบว่ากระแสน้ำ สภาพภูมิประเทศ และพันธุกรรม (พันธุกรรมต่างกันจะมีการแข่งขันกันสร้างพื้นที่) เป็นตัวกำหนดที่ให้ปะการังที่พบทางฝั่งตะวันตกและตะวันออกของทะเลแคริบเบียนมีแหล่งที่พันธุกรรมต่างกัน รวมทั้งมีการศึกษากระแสน้ำและลมที่ส่งผลต่อการกระจายอนุภาคบริเวณหมู่เกาะฮาวาย โดยใช้หุ่นลอยติดตามกระแสน้ำคู่กับเครื่อง acoustic Doppler current profiler (ADCP) และการใช้ net tow เพื่อเก็บไข่และอนุภาคตามช่วงเวลา (Storlazzi *et al.*, 2006) ส่วนในประเทศไทย ลลิตา ปัจฉิม (2548) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอนุภาคกับกระแสน้ำจังหวัดชลบุรีโดยการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขทำนายทิศทางกระแสน้ำควบคู่กับการสำรวจด้วยหุ่นลอยติดตามกระแสน้ำและเก็บอนุภาคในช่วงที่ปะการังปล่อยไข่รวมทั้งสำรวจพื้นที่ลงเกาะของอนุภาค พบว่า กระแสน้ำเป็นปัจจัยที่ทำให้อนุภาคกระจายตัวไปยังบริเวณต่างๆ มากกว่าอยู่บริเวณเดิม ส่วน (นิคม อ่อนสี, 2552) ใช้ช่วงน้ำเกิดน้ำตายเพื่อคาดคะเนการกระจายไข่และอนุภาคบริเวณพื้นที่หาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้โดยการใช้ข้อมูลกระแสน้ำมาวิเคราะห์ พบว่า ช่วงน้ำตาย บริเวณที่สำรวจมีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงเป็นน้ำเดียว ซึ่งไข่และอนุภาคที่ปล่อยจากแนวหนึ่ง ๆ เคลื่อนตัวออกไปบริเวณอื่นมากกว่าเคลื่อนที่กลับมายังบริเวณ

เดิม และไกลกว่าช่วงน้ำเกิดที่เป็นน้ำเดี่ยว ส่วนช่วงน้ำเกิดที่เป็นน้ำผสม ไซและอนุภาคแขวนลอย บริเวณที่ปล่อยไซปะการังมากกว่าลักษณะน้ำแบบอื่น

2.2 กระแสน้ำชายฝั่ง

พื้นที่ชายฝั่งมีสภาพภูมิประเทศที่ซับซ้อนและแคบกว่าพื้นที่เปิด แรงเสียดทานจากท้องน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงเนื่องจากการหมุนของโลกถูกลดทอนลง แรงจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจึงมีอิทธิพลต่อกระแสน้ำชายฝั่งมากกว่า ซึ่งจากการศึกษาของ (Uzaki *et al.*, 2011) พบว่ากระแสน้ำชายฝั่งได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ลม คลื่น แรงเสียดทานจากท้องน้ำ รวมทั้งสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ซึ่งลมเป็นอิทธิพลหนึ่งที่ทำให้ประชากรสิ่งมีชีวิตต่างพื้นที่มีความเชื่อมโยงกัน (Batchelder *et al.*, 2002, Mitarai *et al.*, 2009) และเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการไหลวนหรือ Eddies (Mitarai *et al.*, 2009, White *et al.*, 2010) และ longshore current (Kato and Yamashita, 2003) แรงเสียดทานที่ส่งผลต่อกระแสน้ำชายฝั่ง เกิดได้จาก 2 กรณี คือจากแรงเสียดทานท้องน้ำ (bottom roughness) และจากผิวน้ำ (wind drag) ซึ่งแรงเสียดทานจากท้องน้ำส่งผลต่อระดับน้ำชายฝั่ง (Westenbroek, 2006) ส่วนลมที่มีอิทธิพลต่อกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งคือลมในพื้นที่ (Batchelder *et al.*, 2002, Dietrich *et al.*, 2012)

2.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคแขวนลอย

การใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการไหลของน้ำ เป็นการศึกษาที่มีความแพร่หลายในปัจจุบัน ทั้งนี้แบบจำลองที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยสมการพื้นฐานกลศาสตร์ของไหล 3 สมการ คือ Continuity equation, momentum equation และ conservation of energy ซึ่งสมการที่กล่าวมา เกิดเนื่องจากกฎพื้นฐาน 3 ข้อของของไหล คือ กฎการไม่สูญหายของมวล (Conservation of mass) กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ($\frac{dv}{dt} = \frac{\Sigma F}{m}$) (Conservation of momentum) และกฎการไม่สูญหายของพลังงาน (Conservation of energy) และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการจำลองการไหลของกระแสน้ำในมหาสมุทร สมการที่ได้จึงมีส่วนของแรงเสียดทานหรือแรงต้าน (friction or drag force) และแรงเนื่องจากการหมุนของโลก (Coriolis force) เพิ่มเข้ามา กลายเป็นกระบวนการ Geophysical fluid dynamic (Cushman-Roisin and Beckers, 2011)

จากการศึกษาในต่างประเทศ พบว่า มีการใช้มีการจำลองติดตามอนุภาคในมวลน้ำแบบ Lagrangian particle-tracking model ค่อนข้างแพร่หลาย (Siegel *et al.*, 2003, North *et al.*, 2006, Willis, 2011, Robins *et al.*, 2012) โดย Particle-tracking model (PTM) แบ่งเป็นส่วนของการ advection และ diffusion ซึ่ง advection ได้มาจากการคำนวณอัตราเร็วกระแสน้ำในแต่ละพื้นที่ตามช่วงเวลาจาก hydrodynamic model ซึ่งจากการใช้ particle-tracking model ศึกษาการ

กระจายของคราบน้ำมันบริเวณทะเล Okhotsk ประเทศญี่ปุ่น พบว่า อนุภาคส่วนใหญ่เคลื่อนที่ตาม กระแสน้ำรูปแบบ advection ซึ่งกระแสน้ำที่ระดับความลึก 15 เมตรเคลื่อนที่ออกนอกชายฝั่ง ส่วน กระแสน้ำผิวหน้า (surface) ยังคงตัวอยู่บริเวณชายฝั่งเนื่องจากอิทธิพลของลมเป็นแรงต้านทำให้ กระแสน้ำไหลเข้าหาชายฝั่งมากกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจ จึงแสดงให้เห็นว่าลมเป็น ปัจจัยสำคัญที่ดึงกระแสน้ำผิวหน้าและส่งผลต่อการกระจายของคราบน้ำมันมากกว่าปัจจัยอื่น (Ohshima and Simizu, 2008) ส่วน diffusion เป็นลักษณะการแพร่ของมวลอนุภาค โดยมี กระบวนการ Random Walk มาเป็นส่วนจำลองการกระจายแบบไร้ทิศทางของแต่ละอนุภาค ซึ่งจาก การศึกษาของ North *et al.* (2006) พบว่า การปรับใช้ random walk model สำหรับการจำลอง การกระจายแนวระนาบ และ random displacement model ในการจำลองการกระจายแนวตั้ง ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยผูกพันกับการแพร่กระจาย โดยที่บริเวณใดมีค่าการ แพร่กระจายต่ำจะยังมีความหนาแน่นของอนุภาคบริเวณนั้นสูง ต่อมา Robins *et al.* (2012) จำลอง การกระจายของมวลสารและสิ่งมีชีวิตบริเวณเอสทูรี โดยประยุกต์ใช้ random walk model และ random displacement ของ North *et al.* (2006) พบว่า อนุภาคมวลสารมีระยะการเคลื่อนที่ใน หนึ่งรอบน้ำขึ้นน้ำลงมากที่สุดเมื่ออยู่ในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนมาก ซึ่งทำให้ชั้นน้ำเกิดความแตกต่างของ ความเค็ม และไหลเวียนแบบบาโรคลินิก (baroclinic circulation) ส่วนช่วงที่มวลน้ำผสมกันมีระยะ การเคลื่อนที่สั้นที่สุด เมื่อรวมของกระแสน้ำและการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวอ่อนปู (dial migration) ทำให้ตัวอ่อนคงอยู่บริเวณ axial convergent front (Robins *et al.*, 2012)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะแสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี

2.4.1. แนวปะการัง

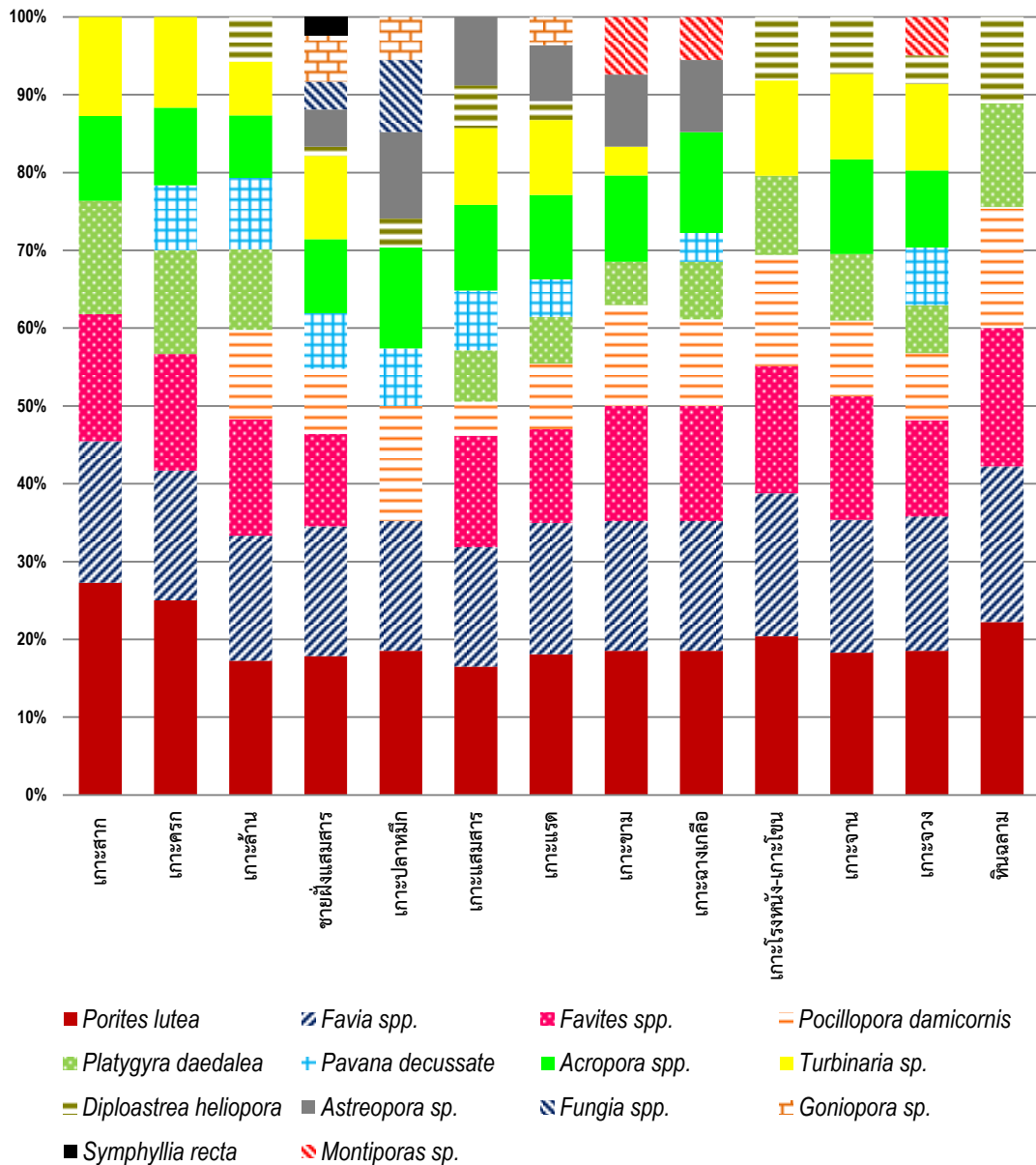
จากข้อมูลพื้นฐานของ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2556) พบว่า บริเวณจังหวัด ชลบุรีมีปะการังกระจายอยู่ทั่วไป โดยชนิดเด่นคือปะการังโขด (*Porites lutea*) รองลงมาคือปะการัง วงแหวน (*Favia* spp.) และปะการังช่องเหลี่ยม (*Favites* spp.) ตามลำดับ ส่วนปะการังสมอง (*Platygyra daedalea*), ปะการังเขากวาง (*Acropora* spp.), ปะการังจาน (*Turbinaria* sp.) พบ กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่เหนือจรดใต้ของชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ซึ่งชายฝั่งสัตหีบพบแนวปะการังที่มีความ หนาแน่นสูงกระจายอยู่ 3 แห่งคือบริเวณเกาะคราม (ตอนเหนือ) เกาะเตาหม้อ (ตอนกลาง) และ ชายฝั่งเขาหมาจอกจนถึงเกาะแสมสาร (ตอนใต้) (รูปที่ 1) โดยพื้นที่เกาะล้าน เกาะสาก และเกาะครก ซึ่งตั้งอยู่บริเวณทิศเหนือของเกาะคราม พบปะการังโขด *P. lutea* เป็นชนิดเด่น ทั้งนี้ บริเวณเกาะ ล้านพบปะการังดอกกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*) และปะการังดาวใหญ่ (*Diploastrea heliopora*) เพิ่มเข้ามา ซึ่งเป็นปะการังที่พบบริเวณชายฝั่งสัตหีบตอนกลางถึงตอนใต้ ส่วนบริเวณ

ชายฝั่งแสมสารถึงเกาะฉางเกลือพบปะการังช่องดาว (*Astreopora* sp.) กระจายอยู่ทั่วไป (รูปที่ 2) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณารูปแบบการสืบพันธุ์ของปะการังที่พบบริเวณชายฝั่งสตั๊ดหีบ พบว่า ปะการังส่วนใหญ่เป็นชนิดปล่อยเซลล์สืบพันธุ์สู่มวลน้ำเพื่อผสมพันธุ์และสร้างอนุภาคลอยอยู่ผิวน้ำ และบางชนิดปล่อยอนุภาคที่สามารถว่ายน้ำพร้อมลงเกาะ เช่น *Pocillopora damicornis* (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)



■ แนวปะการังสมบูรณ์ดีมาก ■ แนวปะการังสมบูรณ์ดี ■ แนวปะการังสมบูรณ์ปานกลาง
■ แนวปะการังสีโอโทรม ■ แนวปะการังสีโอโทรมมาก

รูปที่ 1 แหล่งแนวปะการังบริเวณชายฝั่งสตั๊ดหีบ จังหวัดชลบุรี ปี พ.ศ. 2549 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2549)



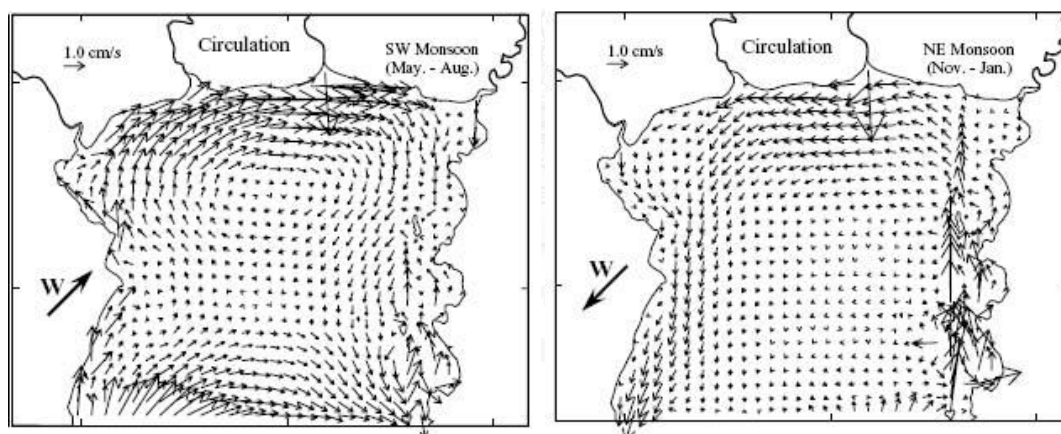
รูปที่ 2 องค์ประกอบของปะการังที่พบในพื้นที่ต่างๆ บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)

จากการศึกษาของ ชโลธร รักษาทรัพย์ (2550) เรื่องช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังชนิด *Acropora millepora* บริเวณชายฝั่งสัตหีบ พบว่ามีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ทั้งในช่วงข้างขึ้นและข้างแรม ระหว่าง 5-12 ค่ำ ซึ่งเป็นช่วงน้ำตาย เพิ่มโอกาสในการปฏิสนธิระหว่างน้ำเชื้อและไข่ในมวลน้ำได้มากขึ้น ตัวอ่อนที่เกิดขึ้นจะลอยตัวอยู่บริเวณผิวน้ำ ประมาณ 2 ถึง 4 วัน และอาจนานถึง 9 วัน (ชโลธร รักษาทรัพย์, 2550) ในส่วนของการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังนั้นขึ้นอยู่กับ

ชนิดพันธุ์และปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายประการ อาทิเช่น อุณหภูมิของน้ำทะเล ซึ่ง Nozawa and Harrison (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำทะเลกับการลงเกาะของตัวอ่อน พบว่าตัวอ่อนจะมีการลงเกาะที่เร็วกว่าเมื่อน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูง

2.4.2 รูปแบบกระแสน้ำ

Buranapratheprat *et al.* (2009) ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Princeton Ocean Model (POM) จำลองกระแสน้ำอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ลม น้ำท่า และพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ (heat flux) มาคำนวณหาทิศทางกระแสน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือนควบคู่กับการสำรวจ พบว่า กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนมีรูปแบบการไหลตามลักษณะลมที่พัดเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนในช่วงเดือนนั้นๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงเดือนธันวาคมและมกราคมซึ่งได้รับอิทธิพลของลมจากทางทิศเหนือหรือทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้กระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนมีการไหลเวียนเป็นวงทวนเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคม เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้กระแสน้ำไหลเป็นวงทิศตามเข็มนาฬิกา (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ลักษณะกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ซ้าย) และช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ขวา) (Buranapratheprat, 2006)

บริเวณอ่าวสัตหีบมีลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยเกาะน้อยใหญ่ เรียงตัวตามแนวเหนือใต้ รวมทั้งมีโครงสร้างแนวกันคลื่นเรียงตัวแนวเหนือใต้ เพื่อลดแรงคลื่นที่จะเข้าไปยังชายฝั่งทางด้านตะวันออก กระแสน้ำบริเวณอ่าวสัตหีบจึงมีลักษณะเฉพาะตัว

การศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำที่ผ่านมา มีทั้งการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข (POM) แบบ 3 มิติในการศึกษาอ่าวไทย (Buranapratheprat *et al.*, 2009) และแบบ 2 มิติ บริเวณอ่าวไทยตอนบน (Snidvongs and Sojisuporn, 1999) โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง M2, S2, K1 และ O1 ในการสร้างระดับน้ำเริ่มต้นให้แบบจำลอง (Buranapratheprat *et al.*, 2009) เนื่องจากเป็น

องค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแต่ละวันมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีการใช้แบบจำลอง Delft3D ในการศึกษากระแสน้ำจากน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณอ่าวไทยตอนบน (Saramul, 2004) แต่ทั้งนี้ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้ particle tracking model (PTM) เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารแขวนลอยในมวลน้ำมาก่อน การใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายของมวลสารในทะเลจึงเป็นสิ่งที่น่าเริ่มต้นศึกษา



บทที่ 3

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคโดยใช้จำลองเชิงตัวเลข แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจำลองกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัดหีบ เพื่อนำกระแสน้ำมาจำลองการกระจายอนุภาคในส่วนที่สอง

3.1 การจำลองกระแสน้ำ

ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขแบบสำเร็จรูป Delft3D (Deltares, 2011) เพื่อจำลองกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัดหีบ ซึ่งไม่เกิดการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ห่างไกลอิทธิพลจากน้ำท่า ดังนั้นจึงใช้จำลองกระแสน้ำ 2 มิติ เพื่อลดความซับซ้อนด้วยการทำกระแสน้ำเฉลี่ยตามความลึกในส่วนของ Flow model ซึ่งมีการคำนวณโดยใช้สมการ Hydrodynamic equation ที่ลดรูปให้อยู่ในรูปแบบสมการ shallow water equation (1), (2) และ (3)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla(u) = \frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \xi} + fv \quad (1)$$

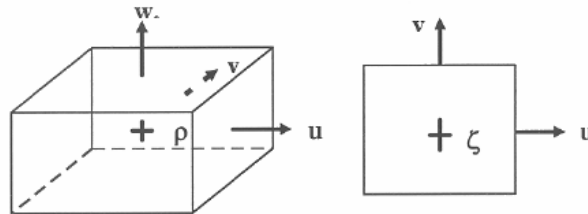
$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla(v) = \frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \eta} - fu \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \sigma} = -\rho g \quad (3)$$

โดยที่ u, v	คือ	horizontal velocities
ξ, η	คือ	curvilinear spatial variables
K_H	คือ	horizontal eddy viscosities
p	คือ	pressure
ρ_0	คือ	water density
f	คือ	Coriolis parameter
g	คือ	gravity

โดยที่สมการที่ (1) และ (2) เป็นรูปแบบสมการ horizontal momentum equations ในทิศทางกราดตามแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับ ส่วนสมการที่ (3) เป็นรูปแบบสมการ vertical momentum equation ที่ลดรูปลงมาเป็น hydrostatic equation

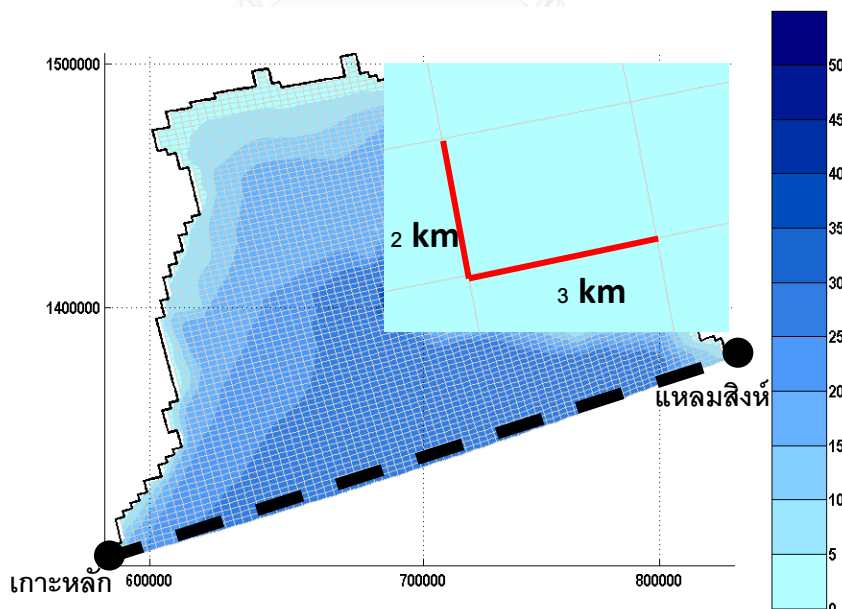
Delft3D มีการคำนวณกระแสน้ำโดยใช้รูปแบบ Arakawa-C grid (Deltares, 2011) โดยที่เครื่องหมาย + แสดงจุดคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (ζ) และ ความหนาแน่นของน้ำ (ρ) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็ว u , v และ w (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 รูปแบบ Arakawa C grid เพื่อการคำนวณระดับน้ำ (ζ) ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราเร็วกระแส น้ำ (u , v , w) (Deltares, 2011)

3.1.1 การสร้างแบบจำลองกริดขนาดใหญ่ (coarse-grid model)

กำหนดให้แบบจำลองคำนวณด้วยระบบ Universal Transvers Mercator (UTM) เหมาะกับการจำลองกริดขนาดเล็ก (nested-grid model) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณระยะทางการกระจายอนุภาค โดยสร้างกริดแบบ curvilinear grid ซึ่งแต่ละกริดมีความยาวแนวนอน 3 กิโลเมตร ความยาวแนวตั้ง 2 กิโลเมตร และใช้ความลึกน้ำจาก GEBCO 08 (IOC *et al.*, 2003) (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 พื้นที่จำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยด้วยแบบจำลองกริดขนาดใหญ่ ซึ่งมีขอบเขตเปิดเป็นแนวเส้นตรงที่ลากจากสถานีเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มายังสถานีแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี แต่ละเฉดสีแสดงความลึกน้ำจาก GEBCO 08 ทุกๆ 5 เมตร

สร้างขอบเขตเปิด (open boundary) เป็นแนวเส้นตรงที่ลากจากสถานีเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มายังสถานีแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี เพื่อทำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเริ่มต้นให้แบบจำลอง (boundary condition) โดยสมการ harmonic analysis (สมการที่ 4)

$$\zeta(t) = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i F_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - G_i) \quad (4)$$

โดยที่

- A_0 = mean water level over a certain period (cm)
 k = number of relevant constituents
 i = index of a constituent
 A_i = local tidal amplitude of a constituent (cm)
 F_i = nodal amplitude factor
 ω_i = angular velocity (deg/hr)
 $(V_0 + u)_i$ = astronomical argument (deg)
 G_i = improved kappa number (=local phase lag)

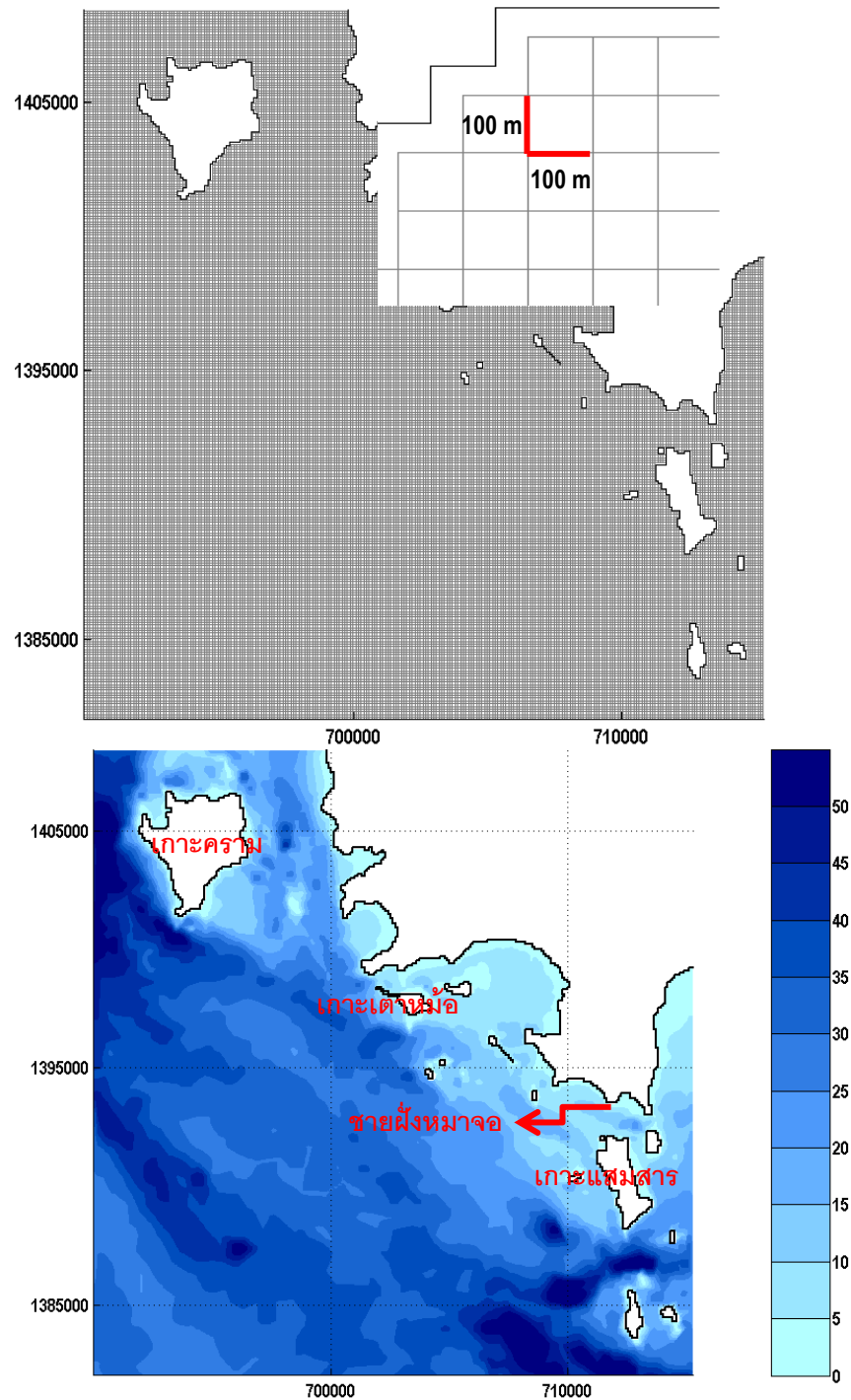
ทั้งนี้ใช้ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2556 จากสถานีเกาะหลักและสถานีแหลมสิงห์ ของกรมอุทกศาสตร์ (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2556) จากวิธี Harmonic tidal analysis ใน Delft-TIDE เพื่อคำนวณองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงของทั้งสองสถานี ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ใช้ องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงทั้งหมด 13 ตัว แบ่งเป็นองค์ประกอบน้ำคู่สี่ตัว ได้แก่ M2, S2, N2, K2 องค์ประกอบน้ำเดี่ยวสี่ตัว ได้แก่ K1, O1, P1, Q1 องค์ประกอบ non-linear 3 ตัว คือ M4, MS4, MN4 และองค์ประกอบระยะยาว MF, MM โดยมีรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลาในแบบจำลอง

Darwin symbol	Name	Period (hour)
M2	Principal lunar semidiurnal	12.4206012
S2	Principal solar semidiurnal	12
N2	Larger lunar elliptic semidiurnal	12.65834751
K2	Luni-solar semidiurnal	11.96723606
K1	The Luni-solar Declinational diurnal	23.93447213
O1	Principal Lunar Declinational diurnal	25.81933871
P1	Principal Solar Declinational diurnal	24.06588766
Q1	Larger lunar elliptic diurnal	26.868350
MF	Luni-solar fortnightly	327.8599387
MM	Lunar monthly	661.3111655
M4	Shallow water overtides of principal lunar	6.210300601
MS4	Shallow water quarter diurnal	6.103339275
MN4	Shallow water quarter diurnal	6.269173724

3.1.2 การสร้างแบบจำลองกริดขนาดย่อย (nested-grid model)

กำหนดให้ขอบเขตเปิด (open boundary) โดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลาที่ได้จากการจำลองระดับน้ำจากแบบจำลองกริดขนาดใหญ่บริเวณขอบเขตเปิดของกริดขนาดย่อยเป็นตัวขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลาในแบบจำลองกริดย่อย (รูปที่ 6 บน) ซึ่งแต่ละกริดมีขนาดกว้างยาวด้านละ 100 เมตร ส่วนความลึกน้ำแปลงข้อมูลความลึกจากแผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ จากแผนที่ภาพให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (รูปที่ 6 ล่าง)



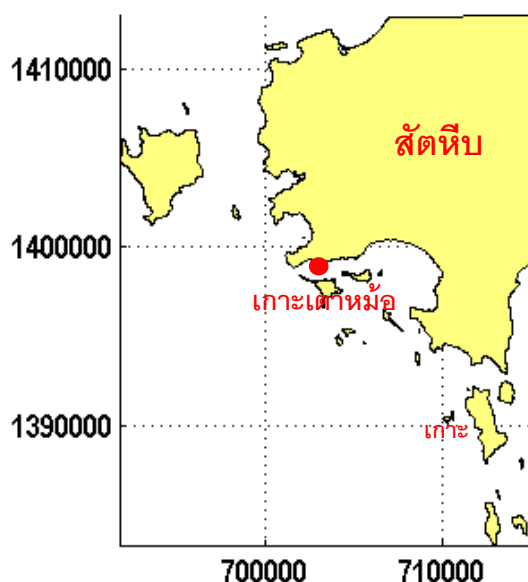
รูปที่ 6 พื้นที่จำลองกริดขนาดย่อย บริเวณชายฝั่งสตั๊ทึบ จังหวัดชลบุรี โดยแต่ละกริดกว้างยาวด้านละ 100 เมตร (บน) ความลึกน้ำในแบบจำลอง ได้มาจากแผนที่เดินเรือ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (ล่าง) แต่ละเฉดสีแสดงความลึกน้ำทุกๆ 5 เมตร

3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูล 3 รูปแบบ คือ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลา จากตารางน้ำขึ้นน้ำลงของกรมอุทกศาสตร์ ข้อมูลกระแสน้ำจากเครื่อง acoustic Doppler current profiler (ADCP) และกระแสน้ำที่ตรวจวัดโดยปล่อยทุ่นลอยที่ติด GPS

3.2.1 การเทียบระดับน้ำ

สถานีจำลองกระแสน้ำรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2556 บริเวณอ่าวด้านหลังแนวกันคลื่นเกาะเต่าหม้อ (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 พื้นที่ชายฝั่งสัตหีบ วงกลมแดงคือจุดตรวจวัดระดับน้ำขึ้นน้ำลงของกรมอุทกศาสตร์ และจุดสำรวจระดับน้ำในแบบจำลองบริเวณชายฝั่งสัตหีบ

เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำจากการจำลองด้วย tidal model กับค่าจากตารางน้ำ ทำการปรับเทียบค่า sensitivity parameter ของแบบจำลอง เริ่มต้นจากการปรับค่า bottom roughness ในส่วนของ bottom shear stress ที่มีตัวแปร C_{2D} ในสมการค่า τ_b

$$\tau_b = \rho_0 g \bar{U} |\bar{U}| / C_{2D}^2 \quad (\text{Deltares, 2011})$$

โดย	ρ_0	คือ	ความหนาแน่นของน้ำทะเล (ประมาณ 1.024 kg/m^3)
	g	คือ	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
	\bar{U}	คือ	ทิศทางและอัตราเร็วกระแสน้ำ

ซึ่งกำหนดให้ C_{2D} อยู่ในรูปแบบ Chézy coefficient ($m^{\frac{1}{2}}/s$) เพื่อให้ระดับน้ำจากการจำลองใกล้เคียงค่าที่ได้จากตารางน้ำมากที่สุด โดยให้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ $60 m^{\frac{1}{2}}/s$ หลังจากนั้นนำค่า Chézy coefficient ที่เหมาะสมมาปรับเทียบค่า horizontal eddy viscosity coefficient ν_H ซึ่งคือค่าความหนืดของของไหล (K_H) ในเทอมของ turbulent process $\frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial \eta} \right)$ และ $\frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial \eta} \right)$ ซึ่งให้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ $1 m^2/s$ ทั้งนี้หาค่าความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้จากค่า mean average error (MAE) และ relative mean average error (RMAE) ตามสมการที่ (5) ถึง (8)

$$\langle |X| \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n| \quad (5)$$

$$\langle |Y| \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y_n| \quad (6)$$

$$MAE = \langle |Y - X| \rangle \quad (7)$$

$$RMAE = \frac{\langle |Y - X| \rangle}{\langle |X| \rangle} = \frac{MAE}{\langle |X| \rangle} \quad (8)$$

โดยที่	x_n	คือ	ระดับน้ำรายชั่วโมงจากตารางน้ำสถานีสี่ตึก
	y_n	คือ	ระดับน้ำรายชั่วโมงจากแบบจำลองสถานีสี่ตึก
	$\langle X \rangle$	คือ	ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ระดับน้ำรายชั่วโมงจากตารางน้ำสถานีสี่ตึก
	$\langle Y \rangle$	คือ	ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ระดับน้ำรายชั่วโมงจากแบบจำลองสถานีสี่ตึก

3.2.2 การเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบวัตเฉพาะจุด (Eulerian current)

ทำการติดตั้งเครื่อง ADCP บริเวณเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแนวปะการังหนาแน่น จากนั้นเทียบกระแสน้ำจากแบบจำลอง tidal model กับกระแสน้ำที่วัดด้วยเครื่อง ADCP และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกระแสน้ำจากการจำลองและจากการสำรวจ โดยใช้ค่า correlation ในสมการที่ (9)

$$Correlation(m, c) = \frac{Cov(m, c)}{S_m S_c} \quad (9)$$

$$\text{โดย } Cov(m, c) = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})(c_i - \bar{c})}{n-1}$$

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}}$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}}$$

ซึ่งค่า m และ c คือค่าอัตราเร็วกระแสน้ำที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่อง ADCP และจากแบบจำลอง บริเวณตำแหน่งเดียวกันตามช่วงเวลา ซึ่งค่า S_m และ S_c คือค่า standard deviation ของแต่ละ ข้อมูล

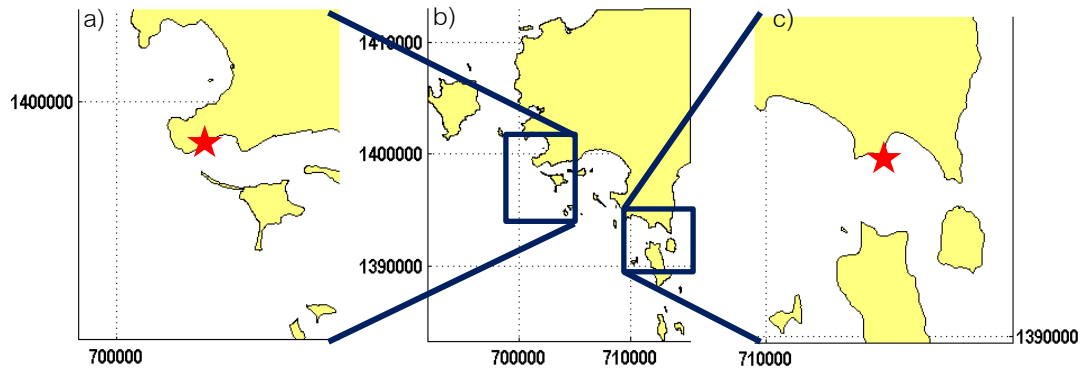
3.2.3 การเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Lagrangian trajectory

สร้างทุ่นลอยรูปใบพัด 4 ทิศ ที่มีขนาดกว้างด้านละ 50 เซนติเมตร และมีความลึกจากผิวน้ำ ต่างกัน 2 รูปแบบ โดยแบบแรกให้มีความลึกจากผิวน้ำ 50 เซนติเมตร แบบที่สองลึกจากผิวน้ำ 90 เซนติเมตร และให้ GPS อยู่ด้านบนเพื่อบันทึกตำแหน่งทุ่นลอยตามเวลา (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 ลักษณะทุ่นลอยที่ใช้ติดตามกระแสน้ำ โดยมีความยาว 50 เซนติเมตร (ซ้าย) และ 90 เซนติเมตร (ขวา)

ใช้ทุ่นลอยที่มีการสอบอัตราเร็วทุ่นลอยเทียบกับอัตราเร็วกระแสน้ำที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง ADCP แล้วว่ามีอัตราเร็วเทียบเท่ากระแสน้ำเพื่อติดตามกระแสน้ำบริเวณเกาะเต่าหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอกซึ่งเป็นบริเวณที่สำรวจว่ามีแนวปะการังหนาแน่น (รูปที่ 9) และจำลองกระแสน้ำโดยให้ปล่อยทุ่นลอยในแบบจำลองจุดเดียวกับที่สำรวจและเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่เชิงพื้นที่และเวลาเทียบกับการสำรวจ โดยให้ทุ่นลอยมีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม เทียบเท่าทุ่นลอยจากการสำรวจ



รูปที่ 9 จุดสำรวจกระแสน้ำเปรียบเทียบกับแบบจำลองบริเวณเกาะเดาหม้อ (a) และชายฝั่งพม่า (c) โดย (b) คือพื้นที่โดยรวมของชายฝั่งสตัทท์

3.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปะการัง

ทำ particle-tracking model ด้วย Delft-Par จำลองการกระจายอนุภาคแบบ passive particle ซึ่งไม่มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปะการังเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นตัวแทนการกระจายตัวอ่อนปะการัง โดยใช้ค่าอัตราเร็วกระแสน้ำที่ได้จาก flow-model มาเป็นตัวแปรเริ่มต้น ทั้งนี้ให้สมการที่ใช้คำนวณการกระจายคือ

$$x(t + \Delta t) = S(t) + u\Delta t \quad (11)$$

โดย	x	คือ ตำแหน่งของอนุภาคแขวนลอย
	t	คือ เวลา ณ ขณะนั้น
	Δt	คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป
	u	คือ advection term
	S	คือ diffusion term

ทั้งนี้ใน particle-tracking model จะเพิ่มส่วนของ random walk เข้ามา ซึ่งโดยองค์ประกอบพื้นฐานการเคลื่อนตัวของอนุภาคหนึ่งๆ ในแต่ละ time-step จะมีการเคลื่อนตัวเนื่องจากอัตราเร็วกระแสน้ำ (advection) และกระจาย (diffusion) ซึ่งการกระจายคำนวณจากค่า dispersion coefficient ดังสมการ

$$\Delta S = \sqrt{6D\Delta t} \quad (12)$$

โดยที่ D มีความสัมพันธ์กับเวลาดังสมการ $D(t) = at^b$ ซึ่ง a และ b เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งได้มาจากการทดสอบแบบจำลองของ Bent., et al (1991) โดยให้ค่าเริ่มต้น a และ b เท่ากับ 1

และ 0.01 ตามลำดับ และให้เวลาเท่ากับ 0 เป็นเวลาที่ปล่อยอนุภาค จำลองการกระจายอนุภาค จำนวน 100 อนุภาค เพื่อแสดงทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมเป็นระยะเวลา 4 วัน เนื่องจากเป็นระยะที่ตัวอ่อนปะการังชนิด *Acropora* spp. พร้อมลงเกาะมากที่สุด (ชโลธร รักษาทรัพย์, 2550) โดยให้น้ำหนักของอนุภาคที่ปล่อยมีน้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักตัวอ่อนปะการังประมาณ 8.87×10^{-10} กิโลกรัม ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่าความหนาแน่นของปะการังชนิด *Acropora* spp. ที่มีความหนาแน่นประมาณ 0.98 kg/m^3 (Arai et al., 1993) คูณเข้ากับปริมาตรโดยเฉลี่ยของไข่ปะการัง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 600 ไมโครเมตร (ชโลธร รักษาทรัพย์, 2550) กำหนดให้ปล่อยอนุภาคจาก 3 แนวปะการัง ได้แก่ เกาะคราม แนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อ และชายฝั่งเขาหมาจอก (รูปที่ 10) ซึ่งเป็นบริเวณที่พบแนวปะการัง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2549) หลังจากนั้นจึงปล่อยอนุภาค 100,000 อนุภาค บริเวณจุดปล่อยเดิม และแสดงพื้นที่การกระจายอนุภาคในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังแต่ละชนิดล่องลอยในมวลน้ำต่างกัน ทั้งนี้กำหนดให้แสดงผลการจำลองการกระจายอนุภาคที่ในรอบน้ำเกิดและน้ำตายภายใต้สภาวะลมสามรูปแบบ (ไม่ได้รับลม, ได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ, ได้รับลมตะวันตกเฉียงใต้) โดยแต่ละเงื่อนไขของน้ำขึ้นน้ำลงและลม ได้ทดลองปล่อยอนุภาคในช่วงเวลาที่ต่างกัน คือปล่อยอนุภาคระหว่างน้ำขึ้น และปล่อยอนุภาคระหว่างน้ำลง (ช่วงเวลาการปล่อยอนุภาค อ้างอิงจากระดับน้ำสถานีสัตหีบ ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและกระแสน้ำเป็นแบบ standing wave) เพื่อดูอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมที่ส่งผลต่อช่วงเวลาการปล่อยอนุภาค



รูปที่ 10 จุดปล่อยอนุภาคบริเวณชายฝั่งสัตหีบ จังหวัดชลบุรี สัญลักษณ์รูปดาวคือจุดปล่อยบริเวณเกาะคราม สามเหลี่ยมคือเกาะเตาหม้อ และวงกลมคือชายฝั่งเขาหมาจอก

3.4 กรณีศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้อิทธิพลของลมและน้ำขึ้นน้ำลง

จำลองทิศทางโดยรวมของหุ่นลอยที่ปล่อยจากแต่ละจุดปล่อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำขึ้นน้ำลงและลมดังตารางที่ 3 ซึ่งแรงเสียดทานผิวน้ำเนื่องจากลมสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (10)

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a C_d U_{10}^2 \quad (10)$$

โดยที่ค่า $|\vec{\tau}_s|$ ขึ้นอยู่กับตัวแปรความเร็วลมที่สูงกว่าระดับน้ำ 10 เมตร (U_{10}) และค่า wind drag coefficient (C_d) ที่ค่าผันแปรตามความเร็วลม โดยใช้ค่าเริ่มต้นที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง $C_d = 0.00063$ เมื่อ $1 \text{ ms}^{-1} \leq U_{10} \leq 100 \text{ ms}^{-1}$ (Deltares, 2011) ทั้งนี้ กำหนดให้แบบจำลองกริดขนาดใหญ่ (coarse-grid model) ใส่ลมขนาด 5 เมตรต่อวินาทีเท่ากันทุกกริด โดยทิศทางของลมแตกต่างกันในแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งอัตราเร็วของลมได้มาจากค่า wind stress บริเวณอ่าวไทยตอนบน (Buranapratheprat *et al.*, 2009)

ตารางที่ 3 แสดงรูปแบบการจำลองกระแสน้ำโดยใช้หุ่นลอยเป็นตัวแทนแสดงลักษณะกระแสน้ำที่ได้รับอิทธิพลที่แตกต่างกัน

			Wind		
			ไม่ได้รับลม	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันตกเฉียงใต้
น้ำขึ้นน้ำลง	น้ำตาย	ปล่อยช่วงน้ำลง	✓	✓	✓
		ปล่อยช่วงน้ำขึ้น	✓	✓	✓
	น้ำเกิด	ปล่อยช่วงน้ำลง	✓	✓	✓
		ปล่อยช่วงน้ำขึ้น	✓	✓	✓

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ในการเปรียบเทียบแบบจำลองระดับน้ำกับข้อมูลตารางน้ำ กำหนดให้ขับเคลื่อนแบบจำลองด้วยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเดียว เนื่องจากมาตราน้ำได้มาจากการวิเคราะห์ค่าระดับน้ำตรวจวัดด้วยวิธี Harmonic analysis โดยใช้ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงเป็นตัวขับเคลื่อนโดยไม่รวมอิทธิพลของลม (กรมอุทกศาสตร์, 2553) เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบแบบจำลองกระแสน้ำที่แสดงในรูปแบบทึนลอยเปรียบเทียบกับทึนลอยที่ได้จากการสำรวจ

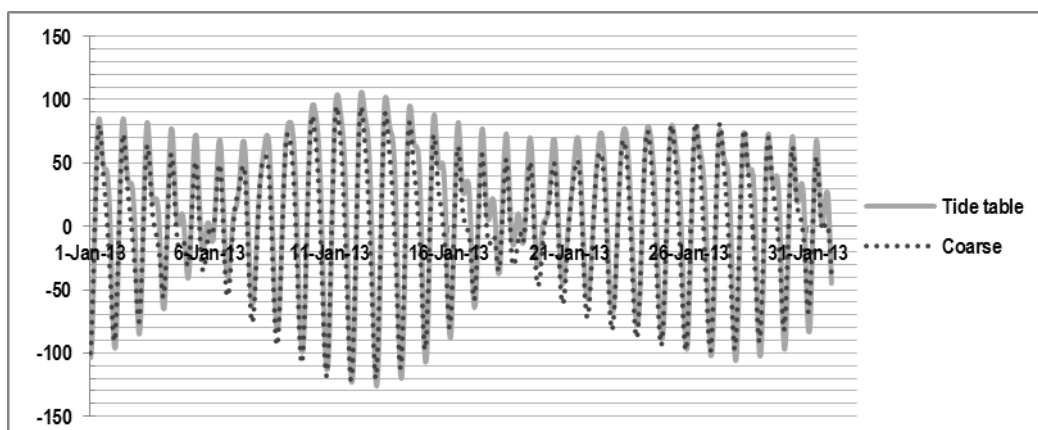
4.1.1 ระดับน้ำ

จากการเปรียบเทียบค่า amplitude และ phase lags ที่ได้จากร่างน้ำกับแบบจำลองบริเวณสถานีสี่ตึกขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงทั้ง 13 องค์ประกอบที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของกรมอุทกศาสตร์บริเวณชายฝั่งสี่ตึกโดยวิธี tidal harmonic analysis พบว่า องค์ประกอบ K1 มีค่า amplitude สูงที่สุด รองลงมาคือ O1 M2 P1 และ S2 ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองกระแสน้ำใน coarse-grid model พบว่าองค์ประกอบหลัก O1 K1 Q1 และ P1 มีค่าใกล้เคียงกับตารางน้ำมากที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 amplitude และ phase lag โดยวิธี tidal harmonic analysis จากตารางน้ำขึ้นน้ำลง บริเวณสถานีสัตหีบ และจากแบบจำลอง Coarse-grid model

	ค่าจากตารางน้ำ		Coarse-grid model	
	Amplitude (cm)	Phase lags (deg)	Amplitude (cm)	Phase lags (deg)
M2	26.1	121.2	17.8	149.0
S2	12.3	191.6	5.9	215.1
N2	4.2	101.8	3.4	116.5
K2	4.9	169.5	3.7	197.5
K1	58.8	161.7	56.4	165.4
O1	39.2	112.1	36.6	116.1
P1	17.3	162.0	15.7	165.5
Q1	7.6	89.1	7.0	96.3
MF	2.1	87.1	1.2	99.5
MM	2.5	95.3	0.4	61.3
M4	0.5	329.7	1.1	44.1
MS4	0.6	40.3	1.1	107.7
MN4	0.1	304.1	0.2	332.5

จากการเปรียบเทียบ amplitude และ phase ของระดับน้ำในเดือนมกราคม 2556 ในรูปแบบกราฟเส้น พบว่า amplitude ที่ได้จากแบบจำลอง coarse-grid model ในช่วงน้ำเกิด ระดับน้ำขึ้นสูงสุดต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากตารางน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากแบบจำลองต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากตารางน้ำประมาณ 20 เซนติเมตร ทั้งนี้ เมื่อพิจารณา phase lags พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 ระดับน้ำตามช่วงเวลาเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 บริเวณสถานีสัตหีบ (เส้นสีเทาจากตารางน้ำ เส้นประสีทึบจาก Coarse-grid model)

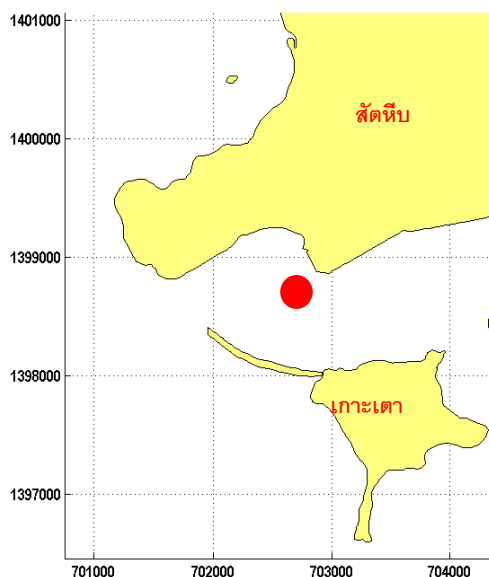
Sensitivity parameter

จากการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า sensitivity parameter ใน nested-grid model พบว่า ค่า Chézy coefficient ประมาณ 50-70 $m^{1/2}/s$ และค่า eddy viscosity coefficient ประมาณ 1-10 m^2/s ที่ทำให้ระดับน้ำจากตารางน้ำและจากแบบจำลองมีค่า mean average error (MAE) และ relative mean average error (RMAE) ต่ำที่สุด (ประมาณ 17.2 - 17.5 และ 0.39 ตามลำดับ) ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าดังกล่าวในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Eulerian ต่อไป

4.1.2 ผลการเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Eulerian

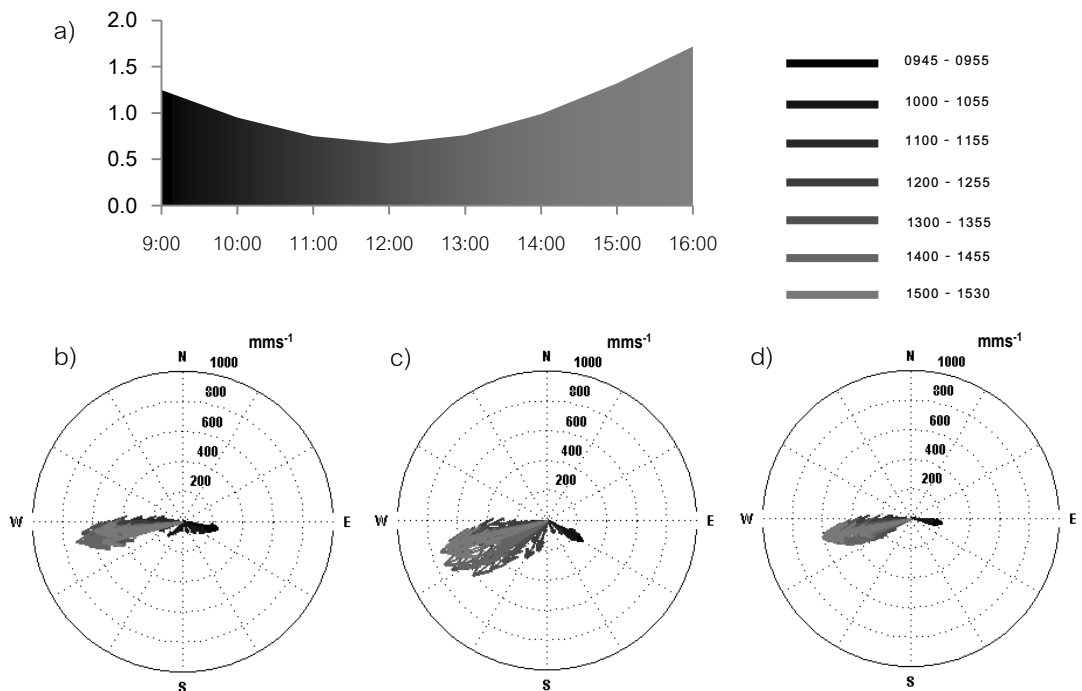
จากการสำรวจกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP บริเวณด้านหลังแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อ (รูปที่ 12) ด้วยเครื่อง ADCP ซึ่งเป็นพื้นที่จำกัดทางเดินกระแสน้ำให้มีการไหลเข้าออกทางทิศตะวันออก ตะวันตก กำหนดให้บันทึกข้อมูลกระแสน้ำทุก 5 นาที ในวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นช่วงน้ำเกิด โดยในช่วงเช้าเป็นช่วงน้ำลง พบว่า อัตราเร็วกระแสน้ำประมาณ 200 $mm\ s^{-1}$ ไหลไปทางทิศตะวันออก ส่วนในช่วงบ่ายเป็นช่วงน้ำขึ้น อัตราเร็วกระแสน้ำประมาณ 600 $mm\ s^{-1}$ ไหลไปทางทิศตะวันตก โดยในช่วง 10:00 - 11:00 น. กระแสน้ำมีอัตราเร็วต่ำลง ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนทิศทางกระแสน้ำ เมื่อจำลองกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัตหีบในวันดังกล่าวโดยใช้ค่า Chézy coefficient เท่ากับ 60 $m^{1/2}/s$ และค่า eddy viscosity coefficient เท่ากับ 1 m^2/s และให้แสดงผลอัตราเร็ว

กระแสน้ำทุก 5 นาทีเช่นเดียวกับข้อมูล ADCP พบว่า ค่า correlation ของข้อมูลอัตราเร็วตามแนว u และ v ระหว่างแบบจำลองกับเครื่อง ADCP มีค่า 0.836 และ 0.464 ตามลำดับ



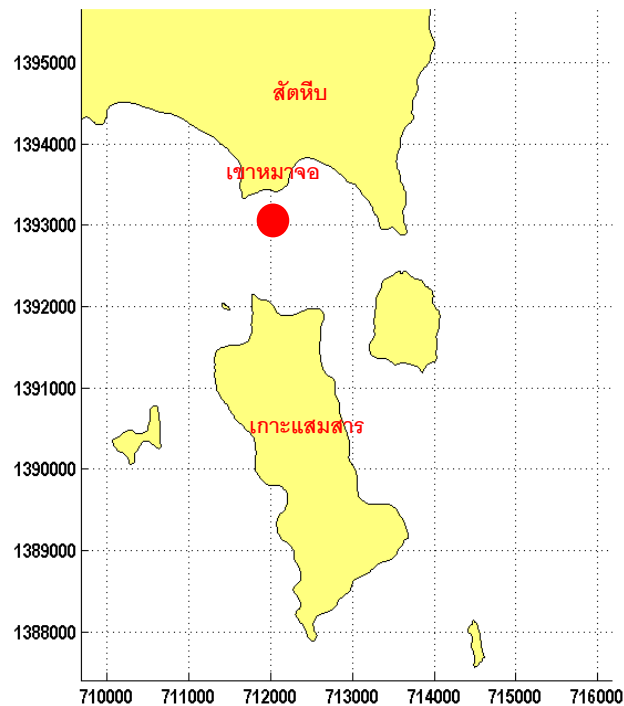
รูปที่ 12 สภาพภูมิประเทศบริเวณเกาะเตาหม้อ โดยจุดสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP

การปรับเทียบค่า eddy viscosity coefficient ให้มีค่าเท่ากับ $1 \text{ m}^2/\text{s}$ และ $10 \text{ m}^2/\text{s}$ จาก การตรวจวัดกระแสน้ำบริเวณเกาะเตาหม้อ โดยใช้ช่วงเวลาเดียวกันเปรียบเทียบ ช่วงเวลาแรกน้ำลง และเปลี่ยนเป็นน้ำขึ้น (รูปที่ 13 a) กระแสน้ำที่ได้จากการสำรวจ มีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออก- ตะวันตก (รูปที่ 13 b) สัมพันธ์กับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลา เช่นเดียวกับทิศทาง ของกระแสน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้น (รูปที่ 13 c) ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ของเวกเตอร์กระแสน้ำด้วย วิธี correlation พบว่า เมื่อให้ค่า eddy viscosity coefficient เท่ากับ $1 \text{ m}^2/\text{s}$ กระแสน้ำในแนว u และ v มีค่า correlation เท่ากับ 0.836 และ 0.464 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนค่า eddy viscosity coefficient ให้มีค่าเท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ทิศทางของกระแสน้ำจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงการสำรวจ มากขึ้น (รูปที่ 13 d) และพบว่าค่า correlation เพิ่มขึ้นเป็น 0.859 และ 0.682 ตามแนว u และ v ตามลำดับ จากการพิจารณาพื้นที่ทำการสำรวจ พบว่ามีแนวกันคลื่นบังกระแสน้ำไว้ ส่งผลให้อัตราเร็ว กระแสน้ำในแนว v มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแนว u ส่งผลให้ลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณร่องน้ำเกาะ เตาหม้อไหลทางทิศตะวันออก-ตะวันตก



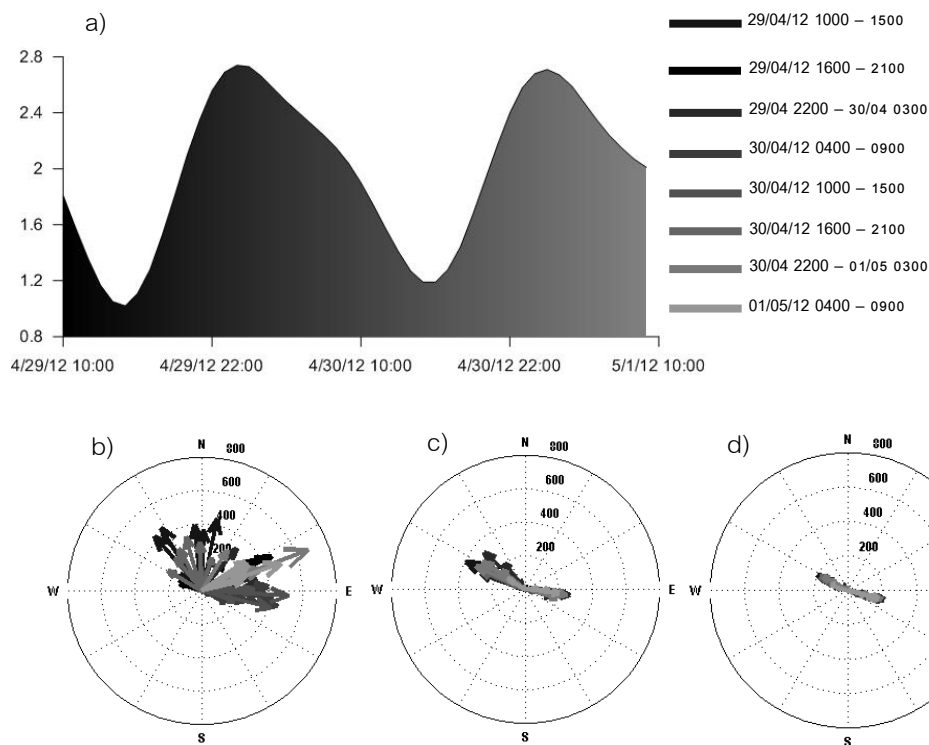
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบริเวณร่องน้ำเกาะเต่าหม้อในช่วงเวลาการสำรวจ (a) ทิศทางและอัตราเร็วกระแสน้ำจากการสำรวจ (b) ทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (c) และทิศทางและอัตราเร็วของกระแสน้ำจากการจำลอง eddy viscosity = $10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (d) (สีทึบแทนเวลาเริ่มต้น สีอ่อนแทนเวลาสุดท้าย)

ส่วนบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกซึ่งมีสภาพภูมิประเทศเป็นพื้นที่เปิดมากกว่าบริเวณเกาะเต่าหม้อ (รูปที่ 14) โดยบริเวณมีการสำรวจช่วงวันที่ 29 เมษายน ถึง 1 พฤษภาคม 2555 พบว่า ช่วงเวลาน้ำลงและน้ำขึ้น (รูปที่ 15 a) กระแสน้ำที่ได้จากการสำรวจมีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 15 b) สัมพันธ์กับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามช่วงเวลา โดยมีเวกเตอร์ลัพธ์มาทางตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 14 บริเวณสภาพภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก โดยจุดสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP

ซึ่งจากการจำลองกระแสน้ำ พบว่า กระแสน้ำไหลในทิศทางตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ในช่วงน้ำลงและน้ำขึ้น (รูป 15 c) และเมื่อหาความสัมพันธ์ของเวกเตอร์กระแสน้ำด้วยวิธี correlation พบว่ากระแสในแนว u และ v มีค่า correlation เท่ากับ 0.428 และ 0.529 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนค่า eddy viscosity coefficient ให้มีค่าเท่ากับ 10 อัตราเร็วกระแสน้ำมีอัตราลดลง แต่ทิศทางยังใกล้เคียงกับแบบจำลองแรก (รูปที่ 15 d) พบว่าค่า correlation เพิ่มขึ้นเป็น 0.511 และ 0.620 ตามแนว u และ v ตามลำดับ



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบริเวณชายฝั่งเขาหมาจ้อในช่วงเวลาการสำรวจ (a) ทิศทางและอัตราเร็วกระแสจากการสำรวจ (b) ทิศทางและอัตราเร็วของกระแสจากการจำลอง eddy viscosity = $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (c) และทิศทางและอัตราเร็วของกระแสจากการจำลอง eddy viscosity = $10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (d) (สีทึบแทนเวลาเริ่มต้น สีอ่อนแทนเวลาสุดท้าย)

เมื่อพิจารณาค่า correlation ระหว่างกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลองและ ADCP พบว่าบริเวณเกาะเตาหม้อมีค่า correlation ของกระแสน้ำตามแนว u และ v สูงกว่าบริเวณชายฝั่งเขาหมาจ้อ แต่เมื่อพิจารณาค่า significant ของกระแสน้ำจากแบบจำลองและการสำรวจตามแนว u และ v ทั้งสองบริเวณพบว่ามีค่า P value น้อยกว่า 0.05 ทั้งสองบริเวณ โดยบริเวณเกาะเตาหม้อมีค่า P value ตามแนว u และ เท่ากับ 1.759×10^{-20} และ 1.313×10^{-8} ตามลำดับ ส่วนค่า P value บริเวณชายฝั่งเขาหมาจ้อเท่ากับ 0.0039 และ 0.0076 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เชื่อถือได้ว่ากระแสน้ำตามช่วงเวลาในแบบจำลองและการสำรวจมีแนวโน้มทิศทางเหมือนกัน (ตารางที่ 5)

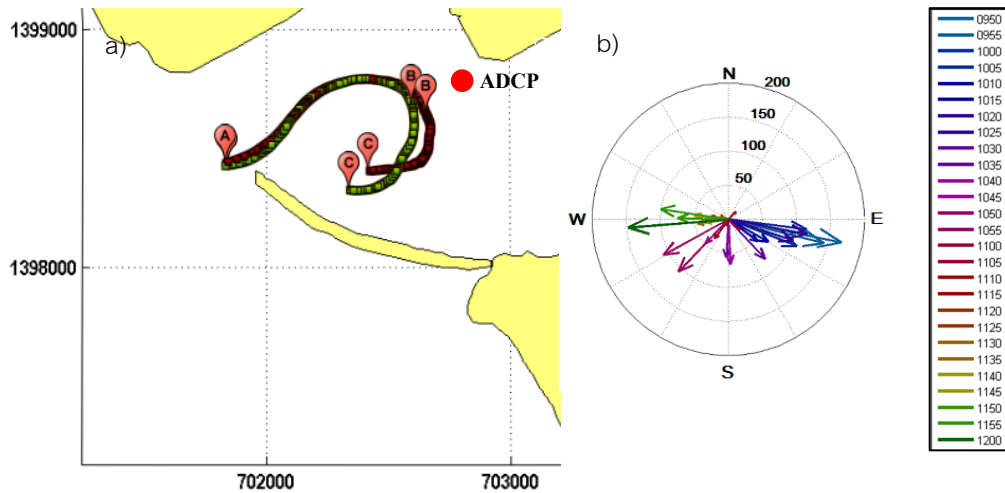
ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสน้ำจากการสำรวจกับแบบจำลอง บริเวณเกาะเตาหม้อและชายฝั่งหมาจ้อ

Correlation	Eddy viscosity = 1 m ² /s		Eddy viscosity = 10 m ² /s	
	U	V	U	V
เกาะเตาหม้อ 6 ชั่วโมง Δt=5 min	0.836	0.464	0.859 (p<0.0001)	0.682 (p<0.0001)
ชายฝั่งหมาจ้อ 48 ชั่วโมง Δt=60 min	0.428	0.529	0.511 (p=0.0039)	0.620 (p=0.0076)

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า Chézy coefficient เท่ากับ 60 $m^{1/2}/s$ และค่า eddy viscosity coefficient เท่ากับ 10 m²/s เพื่อจำลองกระแสน้ำบริเวณสี่ตึกในการศึกษาครั้งนี้

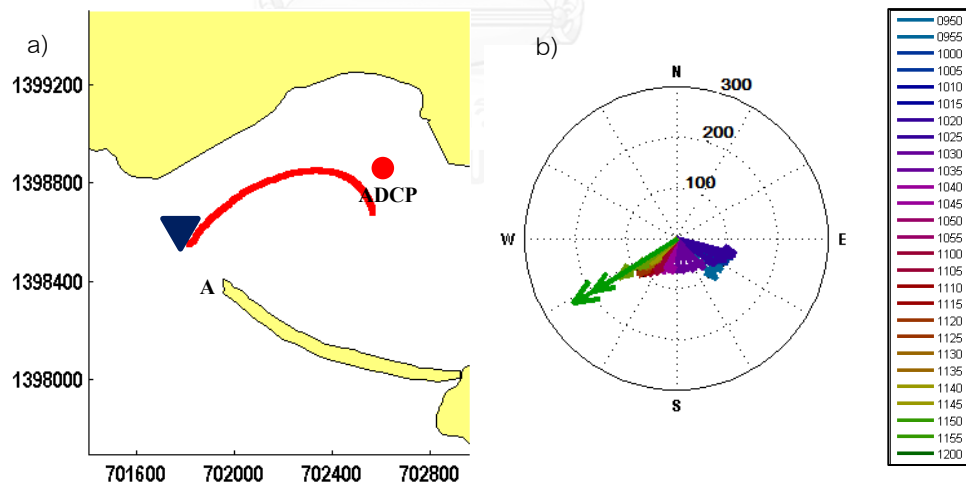
4.1.3 ผลการเปรียบเทียบกระแสน้ำแบบ Lagrangian

จากการทดสอบอัตราเร็วของหุ่นลอยเทียบกับ ADCP ในช่วงช่วงน้ำเกิด บริเวณเกาะเตาหม้อ วันที่ 17 พฤษภาคม 2557 พบว่า เวลา 09:55 – 10:20 กระแสน้ำไหลไปทางทิศตะวันออกตามทิศทางน้ำลง ซึ่งหุ่นลอยทั้งสองที่ปล่อยจากบริเวณปากร่องน้ำเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเข้าใกล้ชายฝั่ง จากนั้นช่วง 10:20 – 11:00 กระแสน้ำไหลไปทางทิศใต้และเริ่มเปลี่ยนทิศไปทางตะวันตก ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับหุ่นลอยเคลื่อนตัวไปทางทิศใต้ โดยมีอัตราเร็วขณะผ่าน ADCP ประมาณ 150 mm s⁻¹ ใกล้เคียงกับการตรวจวัดด้วยเครื่อง ADCP จนเวลา 12:00 กระแสน้ำจึงไหลไปทางทิศตะวันตก หุ่นลอยจึงเคลื่อนตัวไปทางตะวันตกเข้าหาด้านหลังแนวกันคลื่น (รูปที่ 16)



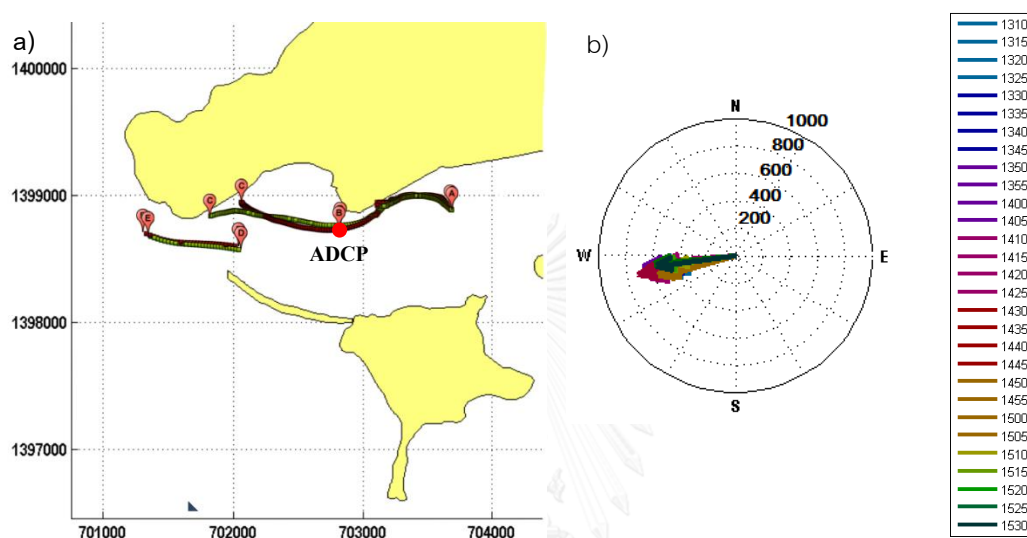
รูปที่ 16 ทิศทางโดยรวมของพุนลอย โดย จุด A, B, และ C คือเวลา 09:55 น. 11:00 น. และ 12:00 น. ตามลำดับ สัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์แสดงทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)

จากการใช้ Delft-flow จำลองปล่อยพุนลอยในช่วงเวลาและบริเวณใกล้เคียงกับจุดปล่อยพุนลอยในการสำรวจจริง พบว่า พุนลอยจากแบบจำลองมีทิศทางการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับการสำรวจ แต่อัตราเร็วต่ำกว่าการสำรวจจริงเล็กน้อย (รูปที่ 17)



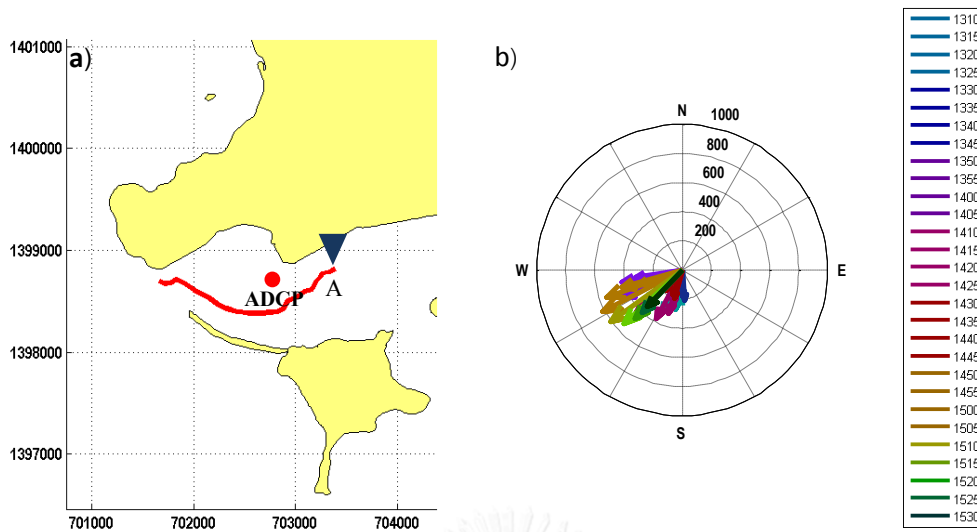
รูปที่ 17 ทิศทางโดยรวมของพุนลอยที่ได้จากการจำลอง ตั้งแต่เวลา 09:55 น. – 12:00 น. ตามลำดับ จุด A คือจุดจำลองปล่อยพุนลอย และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)

จากการสำรวจกระแสน้ำในช่วงน้ำขึ้น เวลา 13:10-15:30 น. โดยการปล่อยทุ่นลอยสองทุ่น พร้อมกันบริเวณด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อ พบว่า ใน 1 ชั่วโมงแรก ทุ่นลอยเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง และค่อยๆ เลียบชายฝั่งจนหลุดออกมาเคลื่อนที่เข้าใกล้บริเวณเครื่อง ADCP ด้วยอัตราเร็ว 700 mm s^{-1} ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราเร็วกระแสน้ำที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง ADCP ในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้น ทุ่นลอยมีอัตราเร็วลดลงเนื่องจากเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่งเวลา 15:10 (รูปที่ 18)



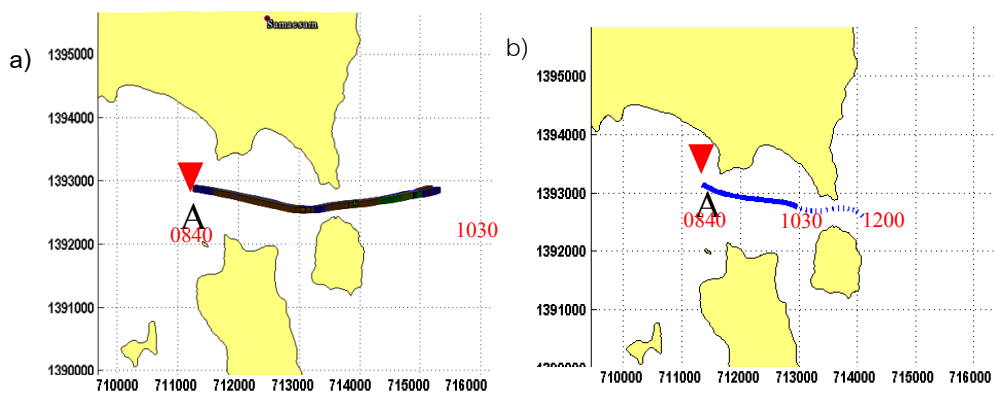
รูปที่ 18 ทิศทางโดยรวมของทุ่นลอย โดย จุด A, B, C, D, และ E คือเวลา 13:15 น. 14:35 น. 15:10 น. 15:20 น. และ 15:30 น. ตามลำดับ และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADCP (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)

เมื่อจำลองกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณเกาะเตาหม้อในช่วงน้ำขึ้นช่วงเดียวกับการสำรวจ พบว่า ทุ่นลอยที่จำลองมีทิศไปทางตะวันตกตามกระแสน้ำขึ้น แต่มีอัตราเร็วต่ำกว่า ส่วนอัตราเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากตำแหน่งใกล้เคียงกับ ADCP มีทิศไปทางตะวันตกเฉียงใต้มากกว่าการสำรวจ และอัตราเร็วต่ำกว่า (รูปที่ 19)



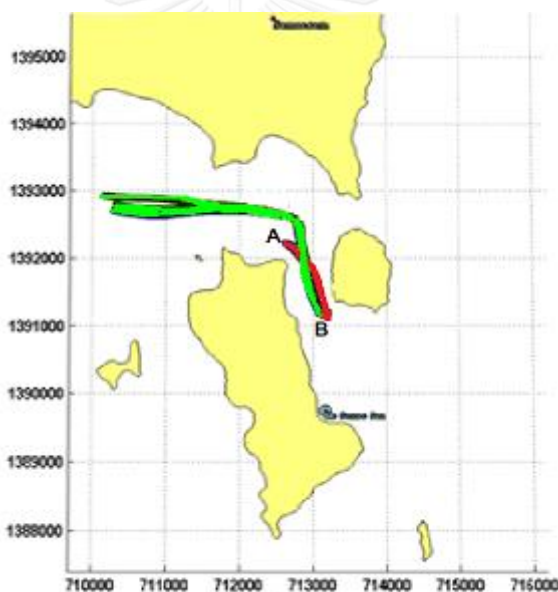
รูปที่ 19 ทิศทางโดยรวมของฟุ้งลอยที่ได้จากการจำลอง ตั้งแต่เวลา 13:10 น. – 15:30 น. จุด A คือ จุดจำลองปล่อยฟุ้งลอย และสัญลักษณ์กลมสีแดงคือจุดตรวจวัดกระแสน้ำในแบบจำลองแบบ Eulerian (a) โดยมีเวกเตอร์ทิศทางและอัตราเร็ว (mm s^{-1}) กระแสน้ำตามช่วงเวลา (b)

การสำรวจกระแสน้ำในวันที่ 29 สิงหาคม 2557 บริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกช่วงน้ำตาย โดยปล่อยฟุ้งลอยพร้อมกัน 4 ฟุ้ง บริเวณจุด A (รูปที่ 20) พบว่า ในช่วงน้ำลงฟุ้งลอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกและผ่านช่องแคบระหว่างชายฝั่งเขาหมาจอกและเกาะแรด ซึ่งจากการจำลองปล่อยฟุ้งลอยในส่วนของ Delft-flow พบว่า ฟุ้งลอยเคลื่อนตัวไปในลักษณะเดียวกับการสำรวจ แต่อัตราเร็วค่อนข้างต่ำกว่า ทำให้ฟุ้งลอยที่ได้จากการจำลองใช้ระยะเวลาในการผ่านช่องแคบระหว่างชายฝั่งเขาหมาจอกและเกาะแรดนานกว่า



รูปที่ 20 ทิศทางของฟุ้งลอยที่ปล่อยบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก วันที่ 29 สิงหาคม 2557 จากการสำรวจกระแสน้ำ (a) และจากการจำลองโดย Delft-flow (b) โดยเริ่มปล่อยจากจุด A

จากการสำรวจกระแสน้ำบริเวณร่องน้ำเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอบ พบว่า บริเวณร่องน้ำเกาะเตาหม้อ กระแสน้ำมีการไหลไปทางทิศตะวันออกในช่วงน้ำลง และมีอิทธิพลของสภาพภูมิประเทศเป็นตัวกำหนดทิศทางของกระแสน้ำ ซึ่งสามารถดูได้จากลักษณะการเคลื่อนตัวของทุ่นลอยที่ปล่อยจากด้านนอกแนวกันคลื่น และเคลื่อนตัวโค้งเข้ามาทางด้านใน (รูปที่ 16) ตรงข้ามกับช่วงน้ำขึ้น กระแสน้ำในร่องน้ำเกาะเตาหม้อไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยได้รับอิทธิพลจากคลื่นชายฝั่ง ทำให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่งทางด้านเหนือ (รูปที่ 18 a) ส่วนชายฝั่งหมาจอบ กระแสน้ำกลางร่องน้ำไหลไปทิศตะวันออกผ่านช่องแคบระหว่างชายฝั่งเขาหมาจอบและเกาะแรดในช่วงน้ำลง (รูปที่ 20) บางส่วนไหลไปทางร่องน้ำระหว่างเกาะเสมสารและเกาะแรด ส่วนช่วงน้ำขึ้น กระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องแคบระหว่างเกาะเสมสาร-เกาะแรด และกระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องแคบระหว่างชายฝั่งเขาหมาจอบ-เกาะแรดเคลื่อนที่มารวมกันบริเวณช่องแคบระหว่างชายฝั่งเขาหมาจอบ-เกาะเสมสาร (รูปที่ 21)

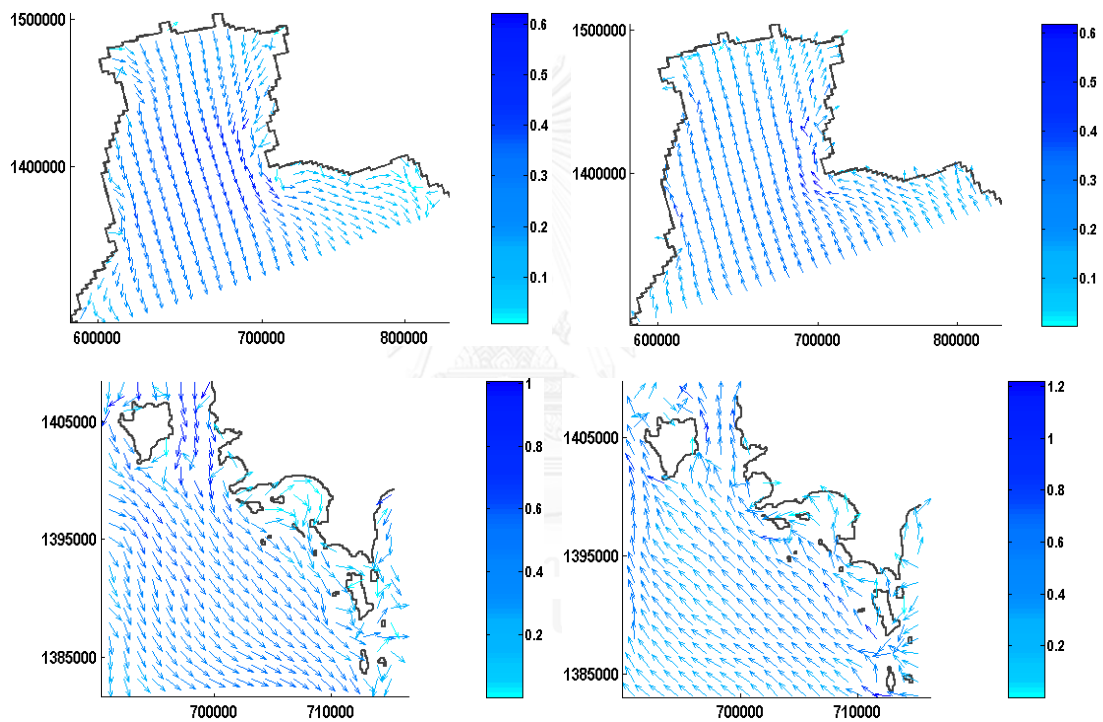


รูปที่ 21 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอบ วันที่ 29 สิงหาคม 2557 A-B คือทิศทางทุ่นลอยขณะน้ำลง (เส้นสีแดง) จุด B คือจุดที่ทุ่นลอยเปลี่ยนทิศเคลื่อนที่เนื่องจากน้ำขึ้น (เส้นสีเขียว)

4.2 ผลการจำลองกระแสน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม

4.2.1 น้ำขึ้นน้ำลง

น้ำขึ้นน้ำลงบริเวณอ่าวไทยตอนบนไหลทางทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกัน ชายฝั่งสตูลหีบ บริเวณพื้นที่เปิดกระแสน้ำไหลขึ้นลงตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนร่องน้ำระหว่างเกาะครามและชายฝั่งสตูลหีบ กระแสน้ำไหลขึ้นลงทางทิศเหนือ-ใต้ โดยมีอัตราเร็วสูงกว่า บริเวณเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอก ซึ่งกระแสน้ำไหลขึ้นลงทางทิศตะวันออก-ตะวันตก (รูปที่ 22)

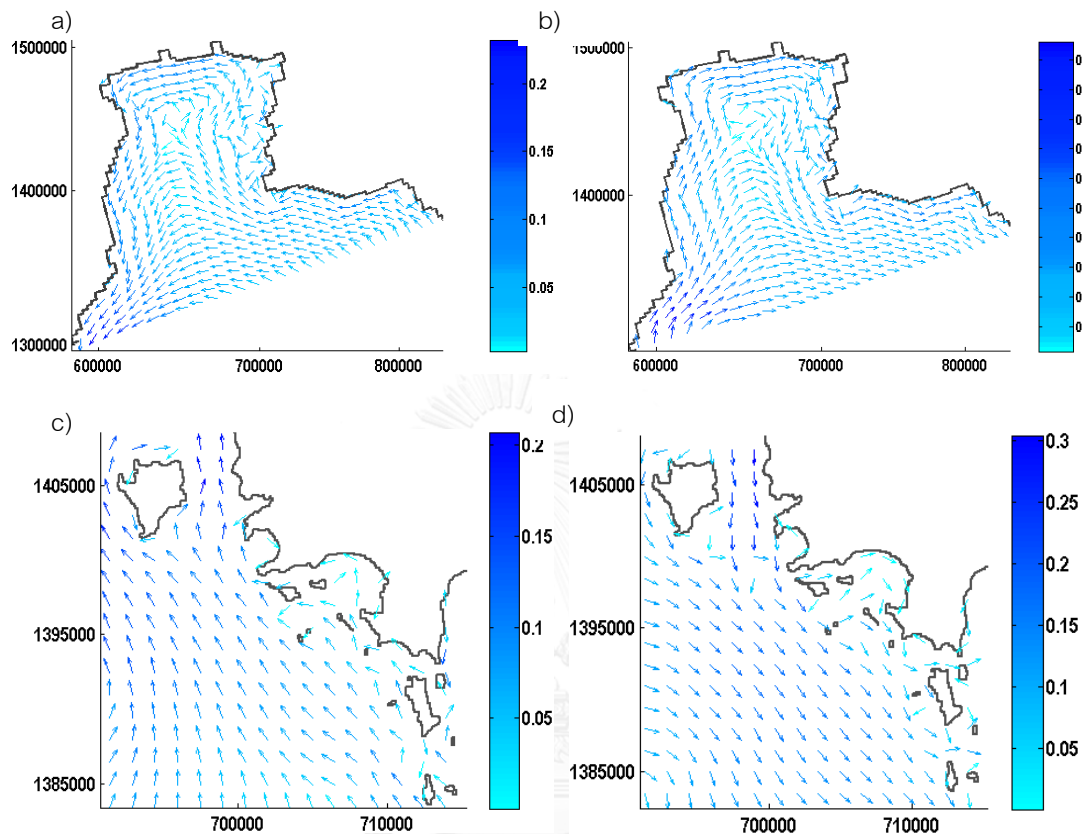


รูปที่ 22 กระแสน้ำจากแบบจำลองบริเวณอ่าวไทยตอน (บน) และชายฝั่งสตูลหีบ (ล่าง) ในช่วงเวลาน้ำลง (ซ้าย) และน้ำขึ้น (ขวา)

4.2.2 กระแสน้ำเนื่องจากลม

กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 23 a) และหมุนตามทิศเข็มนาฬิกาเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 23 b) ส่งผลให้กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสตูลหีบไหลไปทางตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 23 c) และตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 23 d) ตามลำดับ คล้ายการไหลด้วยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง แต่

อัตราเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากลมต่ำกว่าการได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ทั้งนี้พบว่าอัตราเร็วกระแสน้ำเนื่องจากลมลดลงเมื่ออยู่ใกล้ชายฝั่งมากขึ้น



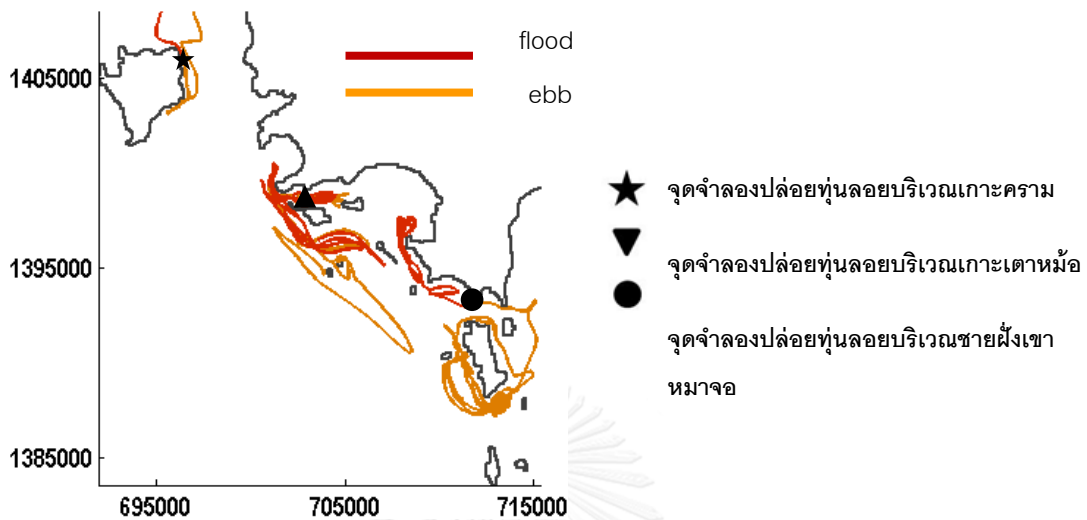
รูปที่ 23 ผลการจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนใน coarse grid model เมื่อได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ (a) และลมตะวันตกเฉียงใต้ (b) และผลการจำลองกระแสน้ำใน nested-grid model บริเวณชายฝั่งสตั๊ดทึบเมื่อได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ (c) และลมตะวันตกเฉียงใต้ (d) โดยให้ลมมีขนาด 5 m/s เท่ากันทุกตำแหน่งกริด

4.3 Lagrangian trajectory ภายใต้กรณีศึกษาต่างๆ

4.3.1 น้ำเกิด-น้ำตาย

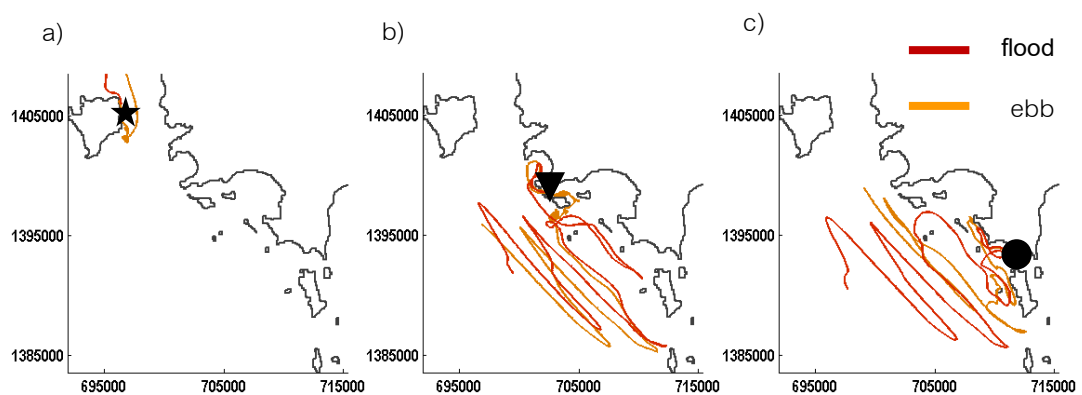
ในส่วนของ Delft-flow ใช้หุ่นลอยติดตามกระแสน้ำที่เกิดจาก advection และ turbulent process ที่ไม่รวม random walk โดยปล่อยหุ่นลอยจากการบริเวณเกาะครามเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอกเป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่า หุ่นลอยทุกหุ่นเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันตามช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย โดยที่ช่วงน้ำตาย หุ่นที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอกในช่วงน้ำลง (เส้นสีอ่อน) มีแนวโน้มเคลื่อนตัวลงไปทางทิศใต้ ส่วนหุ่นลอยที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้น

(เส้นสีเขียวเข้ม) เคลื่อนตัวมาทางทิศเหนือ แต่ท่อนลอยที่ปล่อยบริเวณเกาะครามเคลื่อนตัวออกไปทิศเหนือ ทั้งจากการปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง (รูปที่ 24)



รูปที่ 24 ทิศทางการเคลื่อนที่ของท่อนลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยปล่อยท่อนลอยจากเกาะคราม เกาะเตาหม้อ และชายฝั่งเขาหมาจอกในช่วงน้ำตาย เส้นสีอ่อนคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของท่อนลอยที่ปล่อยช่วงน้ำลง เส้นสีทึบคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของท่อนลอยที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้น

ช่วงน้ำเกิด พบว่า ทิศทางการเคลื่อนที่ของท่อนลอยที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงไม่แสดงความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละจุดปล่อย ทั้งนี้ การจำลองปล่อยท่อนลอยบริเวณเกาะคราม ท่อนลอยเคลื่อนตัวออกนอกพื้นที่จำลองทางทิศเหนือในช่วง 4 ชั่วโมงแรกจากเวลาเริ่มปล่อย ทั้งจากการปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง (รูปที่ 25)

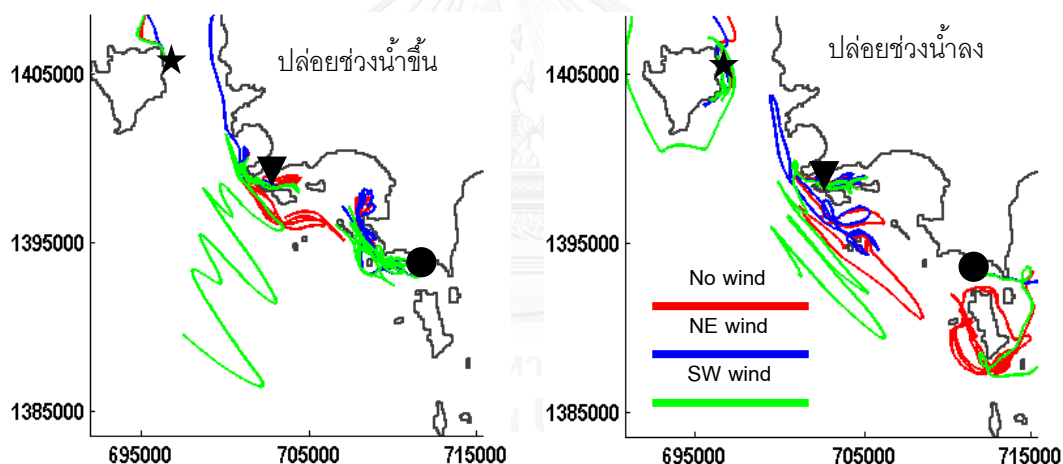


รูปที่ 25 ทิศทางการเคลื่อนที่ของท่อนลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยปล่อยท่อนลอยจากเกาะคราม (a) เกาะเตาหม้อ (b) และชายฝั่งเขาหมาจอก (c) ช่วงน้ำเกิด เส้นสีอ่อนคือเส้นทาง

การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำลง เส้นสีทึบคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้น

4.3.2 น้ำตาย+ลม

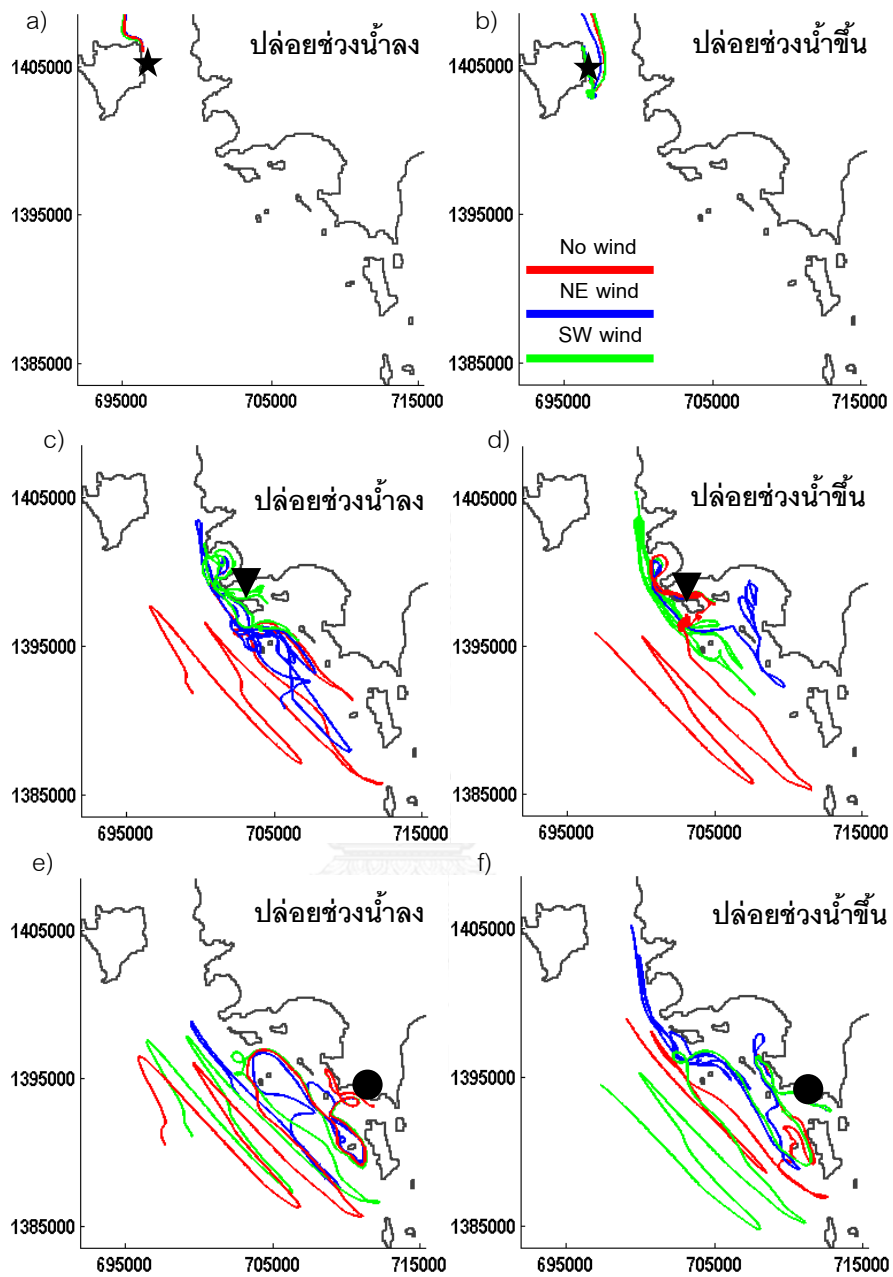
อิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ทุ่นลอยมีแนวโน้มเคลื่อนที่ขึ้นทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ส่วนลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้ทุ่นลอยมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งจากการปล่อยทุ่นลอยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งเป็นไปตามลักษณะกระแสน้ำเนื่องจากลม เมื่อพิจารณาบริเวณจุดปล่อยชายฝั่งเขาหมาจอก พบว่า บริเวณที่ทุ่นลอยคงตัวอยู่จะขึ้นกับช่วงการปล่อย โดยหากปล่อยทุ่นลอยช่วงน้ำขึ้น ทุ่นลอยจะเคลื่อนที่ไปบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือและคงตัวอยู่บริเวณอ่าวสัตหีบ หากปล่อยในช่วงน้ำลง ทุ่นลอยจะเคลื่อนที่มายังบริเวณทิศตะวันออกของเกาะเสม็ดและคงอยู่บริเวณเกาะเสม็ด (รูปที่ 26)



รูปที่ 26 ทิศทางการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน ช่วงน้ำตาย ที่ปล่อยจากเกาะคราม เกาะเตาหม้อ และชายฝั่งเขาหมาจอก โดยภาพซ้ายปล่อยทุ่นลอยช่วงน้ำขึ้น ส่วนภาพขวาปล่อยทุ่นลอยช่วงน้ำลง สีแดงคือเส้นทางการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยที่ได้รับเฉพาะอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเดียว สีน้ำเงินคือเส้นทางของทุ่นลอยที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวคือเส้นทางของทุ่นลอยที่ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

4.3.3 น้ำเกิด+ลม

อิทธิพลของลมมรสุมไม่ส่งผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยที่แน่นอน และการปล่อยทุ่นลอยในช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงก็ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่แน่นอนเช่นเดียวกัน (รูปที่ 27)

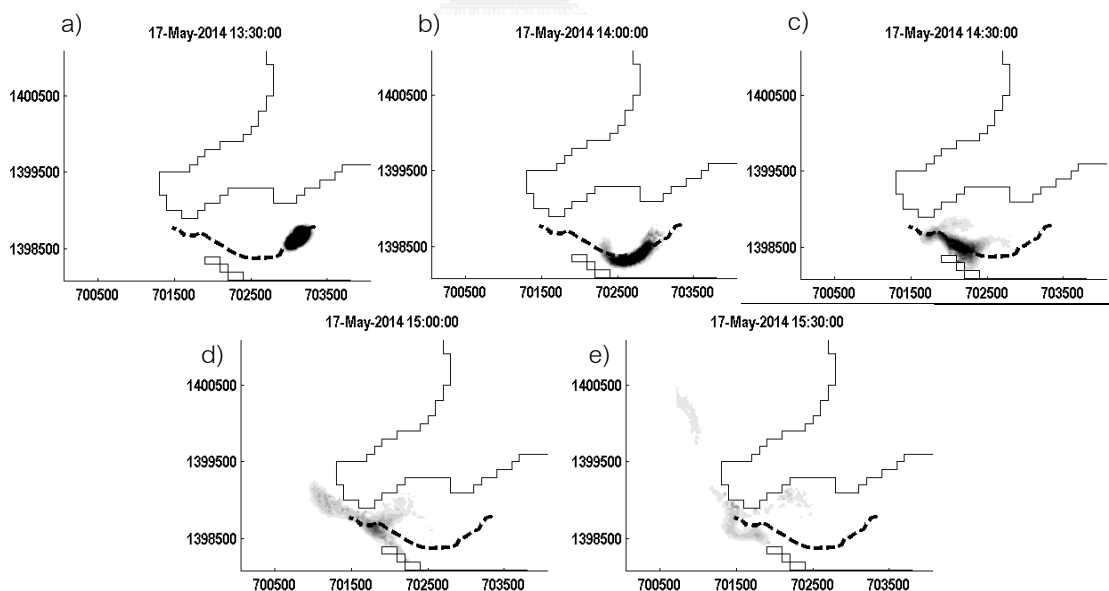


รูปที่ 27 ทิศทางการเคลื่อนที่ของฟุ้งลอยจากการจำลองกระแสน้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน ช่วงน้ำเกิด ที่ปล่อยจากเกาะคราม (a) เกาะเตาหม้อ (c) และชายฝั่งเขาหมาจอก (e) ในช่วงน้ำลง และ ในช่วงน้ำขึ้น (b), (d) และ (f) สีแดงคือเส้นทางของฟุ้งลอยที่กระแสน้ำได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเดียว สีน้ำเงินคือได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวคือได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมตะวันตกเฉียงใต้

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกิด+ลม และน้ำตาย+ลม พบว่า อิทธิพลของลมส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของ
 ลอยช่วงน้ำตายมากกว่าน้ำเกิด

4.4 การจำลองการกระจายอนุภาค

การจำลองการกระจายอนุภาคเป็นการประยุกต์ Delft-PAR (particle-tracking) ประกอบด้วยส่วน advection และ diffusion ซึ่งเพิ่มส่วนของ random walk ในการคำนวณการกระจายแบบไร้ทิศทางของอนุภาคเข้ามา เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการปล่อยอนุภาคลอยตามกระแสน้ำที่ไม่มี random walk เทียบกับการปล่อยอนุภาค 10,000 อนุภาคที่มีส่วนของ random walk ในการคำนวณ พบว่า อนุภาค 10,000 อนุภาคเคลื่อนที่ตามทิศทางของทุ่นลอย ในขณะที่ด้วยที่ค่อยๆ กระจายออกจากเส้นแนวเคลื่อนที่ของทุ่น ซึ่งจากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ในสูตรคำนวณ dispersion coefficient ($D=at^b$) ให้มีค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกัน (ภาคผนวก ก) จึงเลือกรูปแบบที่ a=1 และ b= 0.01 ซึ่งเป็นรูปแบบเริ่มต้นเพื่อจำลองการกระจายอนุภาคที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงหรือลมกรณีต่างๆต่อไป ทั้งนี้ ได้แสดงรูปแบบการกระจายอนุภาคเทียบกับการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยเนื่องจากกระแสน้ำดังรูปที่ 28



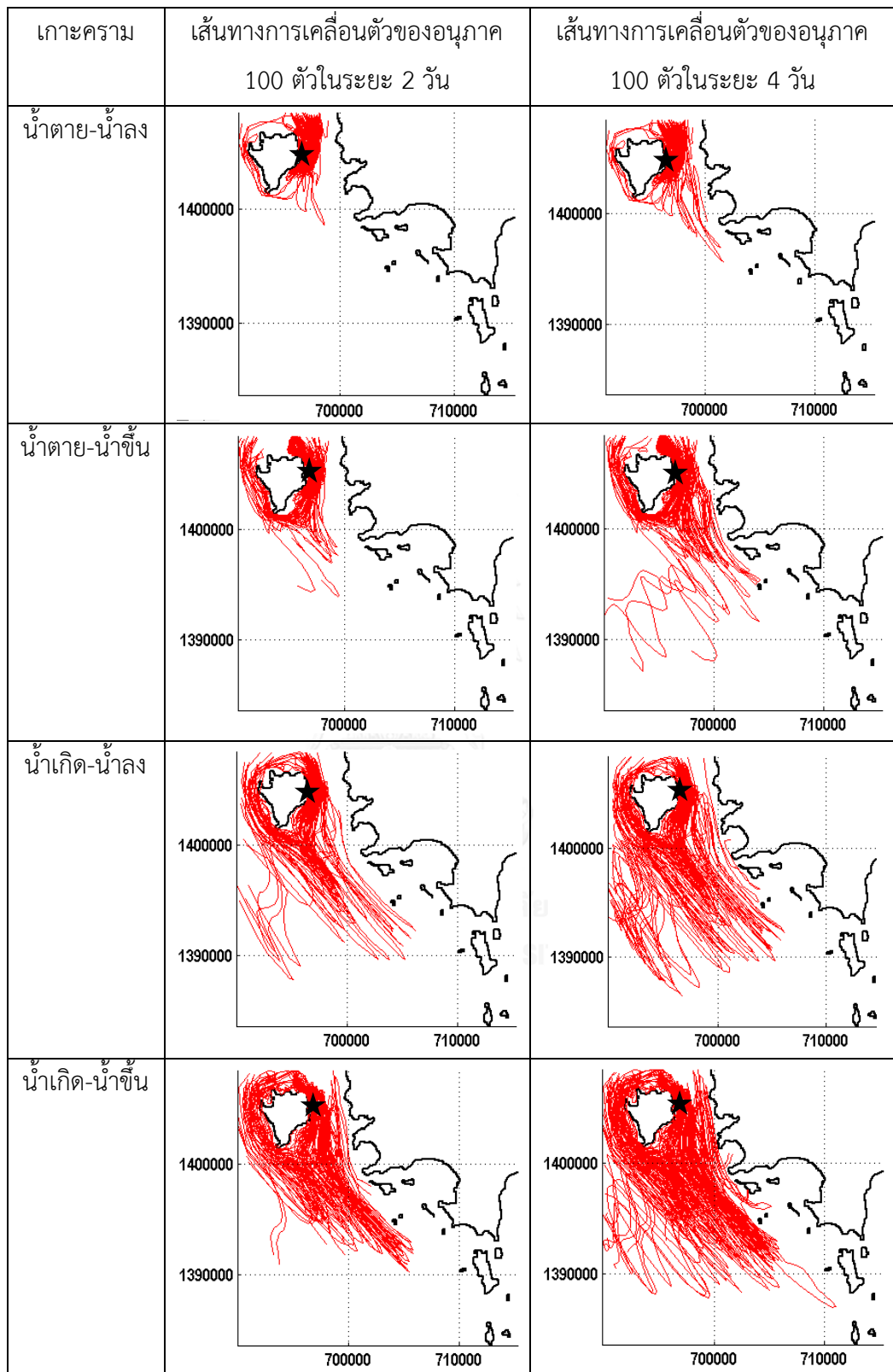
รูปที่ 28 จำลองการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (เส้นประ) เทียบกับการจำลองการกระจายอนุภาคตาม
 ช่วงเวลา โดย a), b), c), d) และ e) ห่างกันทุก 30 นาที

4.4.1 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะครามภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 29)

ในช่วงน้ำตาย อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงมีการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันในระยะ 2 วัน แต่ในระยะ 4 วัน อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นเคลื่อนตัวไปยังทิศใต้มากขึ้น ในขณะที่อนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำลงยังคงเคลื่อนที่อยู่บริเวณเดิม ซึ่งเมื่อพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่อื่น พบว่าอนุภาคค่อนข้างคงอยู่บริเวณเดิม ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ไปถึงด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อได้ในระยะ 4 วัน

ในช่วงน้ำเกิด อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงมีการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันในระยะ 2 วันและ 4 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่อื่น พบว่า เส้นทางเคลื่อนที่ของอนุภาคสามารถมายังด้านนอกแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อได้ โดยส่วนใหญ่จะมีทิศทางมายังพื้นที่น้ำลึก แต่ไม่สามารถเคลื่อนมาได้ถึงชายฝั่งเขามาจอในระยะ 4 วัน

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของระยะการกระจายของอนุภาคในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย พบว่าช่วงน้ำเกิดระยะการกระจายของอนุภาคค่อนข้างไกลกว่าช่วงน้ำตาย ทำให้อนุภาคมีโอกาสเคลื่อนตัวไปยังบริเวณเกาะเตาหม้อและฝั่งตะวันตกของเกาะครามได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาการปล่อยอนุภาค พบว่า ช่วงเวลาการปล่อยอนุภาคไม่ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะครามทั้งระหว่างน้ำเกิดและน้ำตาย



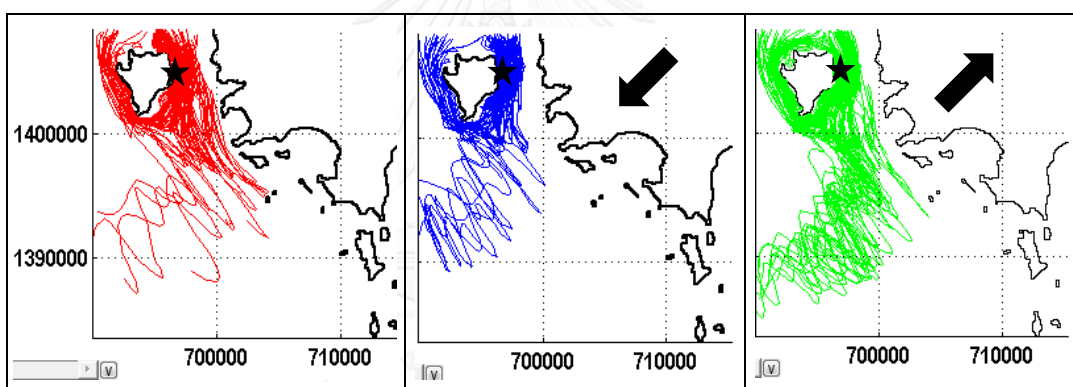
รูปที่ 29 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณเกาะคราม โดยแถวแสดงความแตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่

4.4.2 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะคราม ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมประจำฤดู

การจำลองแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ จำลองปล่อยอนุภาคจำนวน 100 ตัว เพื่อแสดงทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของอนุภาคในระยะเวลา 4 วัน และจำลองปล่อยอนุภาค 100,000 ตัว เพื่อแสดงพื้นที่การกระจายอนุภาคที่ได้รับอิทธิพลจากในวันที่ 2 วันที่ 4 และวันที่ 9 ทั้งนี้ การจำลองทั้งสองรูปแบบขับเคลื่อนภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมประจำฤดูเหมือนกัน

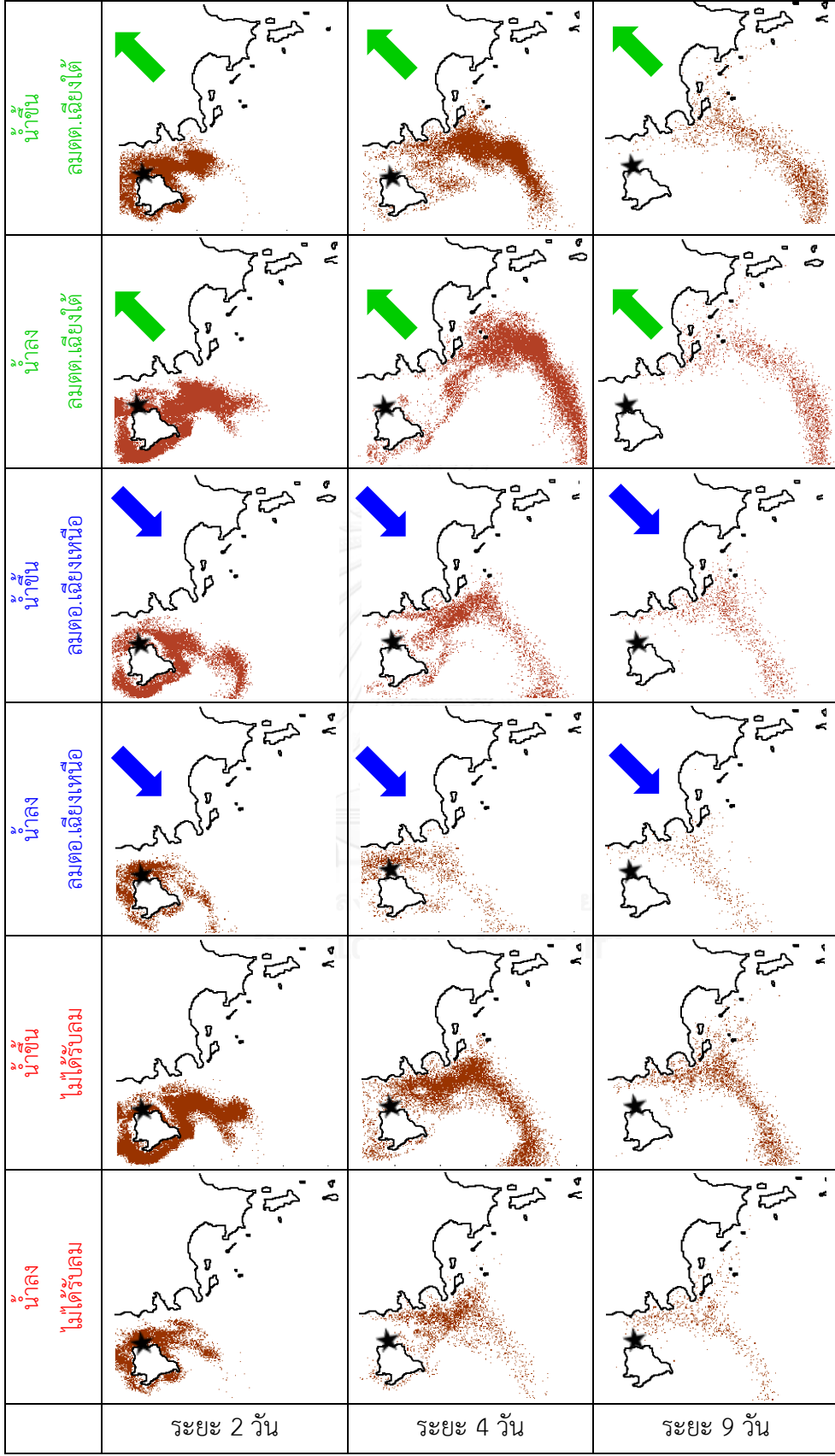
4.4.2.1 น้ำตาย

ในช่วงรับลมจากตะวันออกเฉียงเหนือ อนุภาคเคลื่อนที่อยู่บริเวณเกาะคราม ในขณะที่เมื่อได้รับลมตะวันตกเฉียงใต้ อนุภาคเคลื่อนตัวลงมาทางใต้เกาะมากขึ้น รวมทั้งเคลื่อนที่เข้าใกล้แนวกันคลื่นเกาะเต่าหม้อมากกว่าได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ได้รับอิทธิพลจากลม พบว่า อนุภาคที่ได้รับอิทธิพลจากลมมีทิศทางการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มมากกว่าที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม (รูปที่ 30)



รูปที่ 30 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะคราม 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

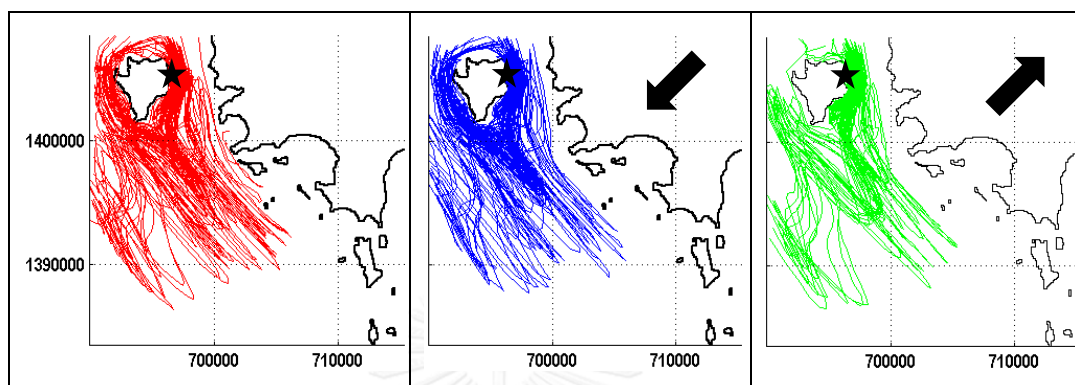
อิทธิพลของลมที่ต่างกันยังคงทำให้อนุภาคคงตัวอยู่รอบเกาะครามในระยะ 2 วัน แต่ตั้งแต่วินาที 4 วัน อิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่การกระจายอนุภาคค่อนข้างปกคลุมทิศใต้ของชายฝั่งสตั๊ดหีบมากกว่าไม่ได้รับอิทธิพลจากลม แต่พื้นที่การกระจายอนุภาคที่ได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือไม่แตกต่างกับอนุภาคที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลม (รูปที่ 31)



รูปที่ 31 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะครามรอบน้ำตาย โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็น การปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม

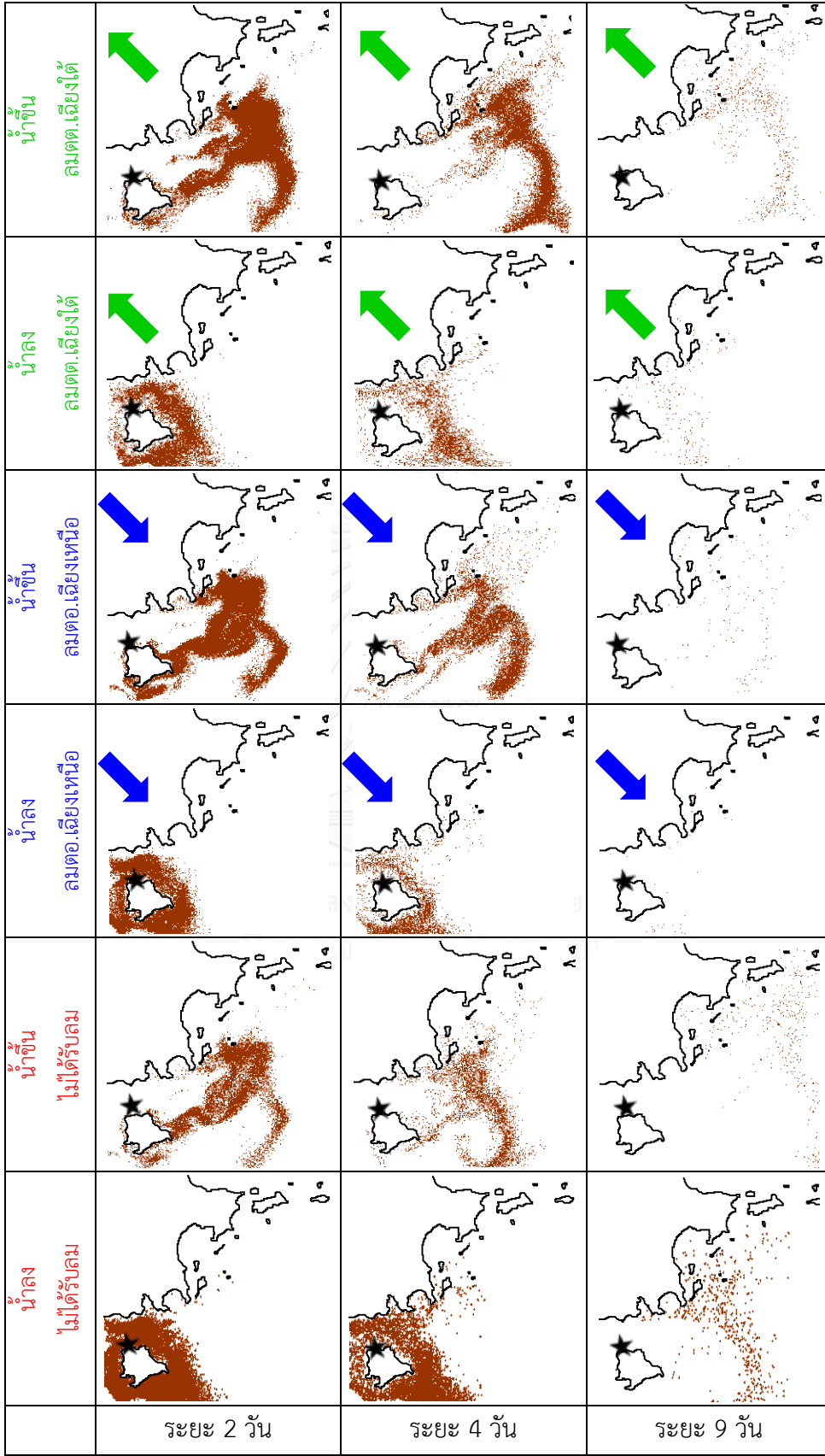
4.4.2.2 น้ำเกิด

อิทธิพลของลมไม่ส่งผลต่อระยะการเคลื่อนที่อนุภาคกะการัง ในระยะ 4 วัน แต่ลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคไม่เคลื่อนไปฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะคราม และเคลื่อนที่ออกห่างชายฝั่งมากที่สุด (รูปที่ 32)



รูปที่ 32 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะคราม 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำเกิดที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

อิทธิพลของลมไม่ส่งผลต่อทิศทางการกระจายอนุภาคในระยะ 2 วัน แต่ในระยะ 4 วัน ลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคกระจายบริเวณทางใต้มากกว่าลมรูปแบบอื่น ทั้งนี้ ช่วงเวลาการปล่อยอนุภาค (ปล่อยช่วงน้ำกำลังขึ้นหรือน้ำกำลังลง) ส่งผลต่อการกระจายอนุภาคมากกว่าอิทธิพลของลม โดยในระยะ 2-4 วัน อนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำลงจะกระจายตัวอยู่บริเวณเกาะคราม ส่วนอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นจะกระจายตัวไปยังเขตนํ้าลึกเมื่อถึงระยะ 9 วัน อนุภาคค่อนข้างกระจายตัวทั่วชายฝั่งสัดที่บ (รูปที่ 33)



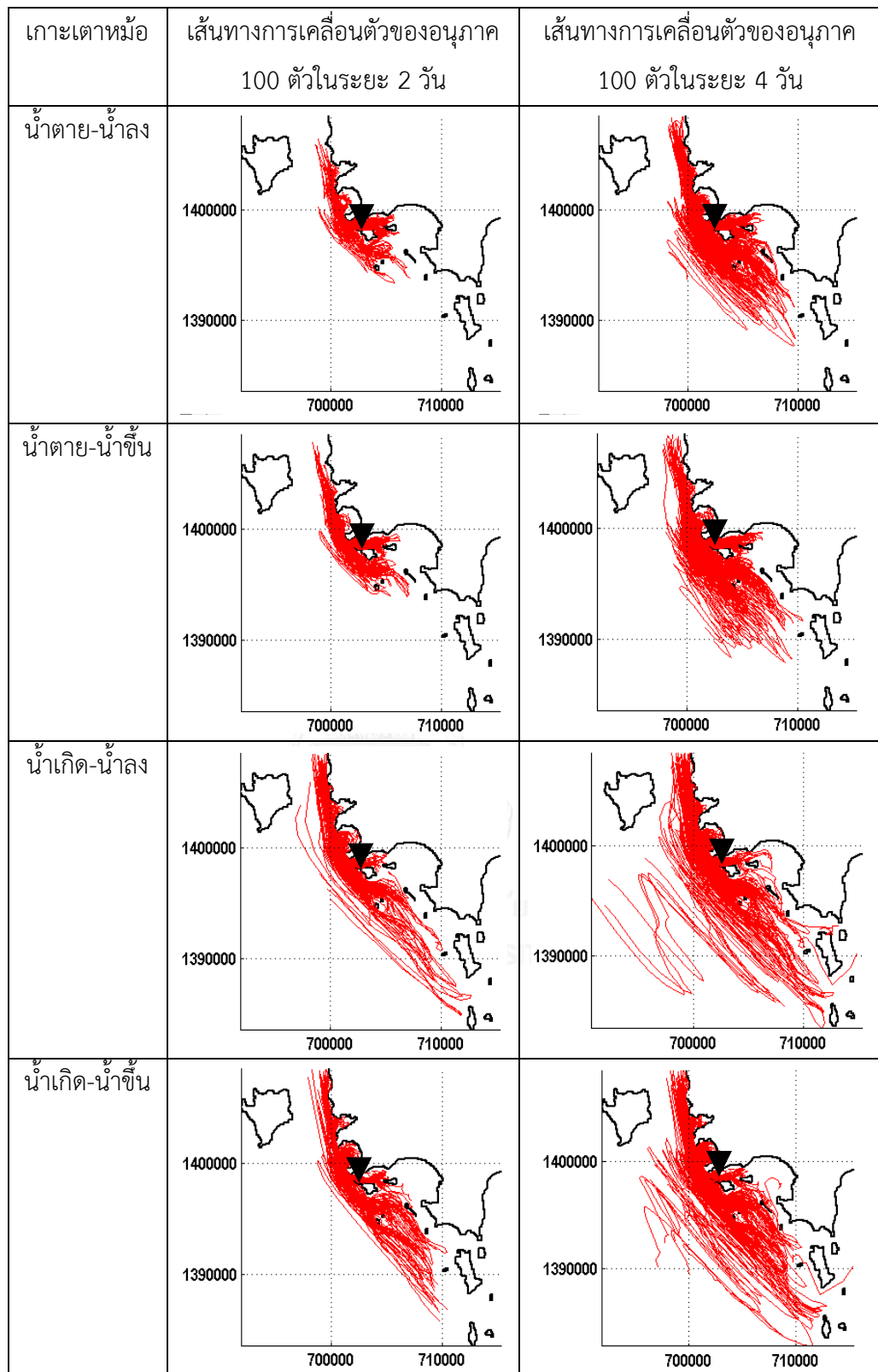
รูปที่ 33 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะครามรอบน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม

4.4.3 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 34)

ในช่วงน้ำตาย อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงมีการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกัน โดยอนุภาคเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือในระยะ 2 วัน แต่ในระยะ 4 วัน อนุภาคเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้มากขึ้น เมื่อพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่อื่น พบว่า ในระยะ 4 วัน อนุภาคไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังเกาะครามหรือชายฝั่งหมาจอบได้ และพบอนุภาคคงอยู่บริเวณเกาะเตาหม้อตั้งแต่เริ่มจำลองปล่อยอนุภาคจนถึงระยะ 4 วัน

ในช่วงน้ำเกิด อนุภาคที่ปล่อยในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงมีการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกัน โดยที่ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปทางทิศเหนือ-ใต้ ค่อนข้างคงที่ในระยะ 2 วันและ 4 วัน แต่มีเคลื่อนที่ออกไปทางทิศตะวันตกมากขึ้นในระยะ 2-4 วัน เมื่อพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่อื่น พบว่า ในระยะ 4 วัน อนุภาคสามารถเคลื่อนที่มาถึงชายฝั่งหมาจอบและเกาะแสมสาร แต่ไม่สามารถไปได้ถึงเกาะคราม

เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย พบว่า ในช่วงน้ำตาย อนุภาคเคลื่อนที่อยู่บริเวณเกาะเตาหม้อ แต่เมื่อปล่อยอนุภาคในช่วงน้ำเกิด จะเคลื่อนที่ทางแนวเหนือ-ใต้ มากขึ้น ทั้งนี้ ช่วงเวลาการปล่อยอนุภาคในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลง ไม่ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อทั้งระหว่างน้ำเกิดและน้ำตาย

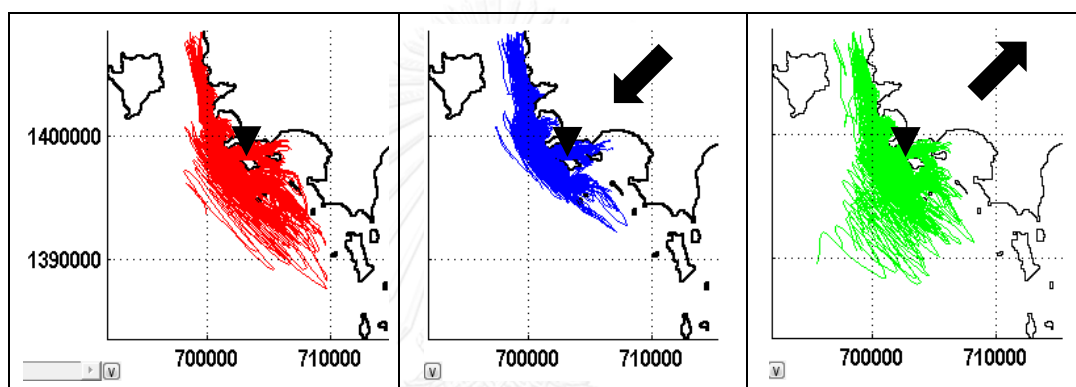


รูปที่ 34 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณเกาะเต่าหม้อ โดยแถวแสดงความแตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่

4.4.4 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมประจำฤดู

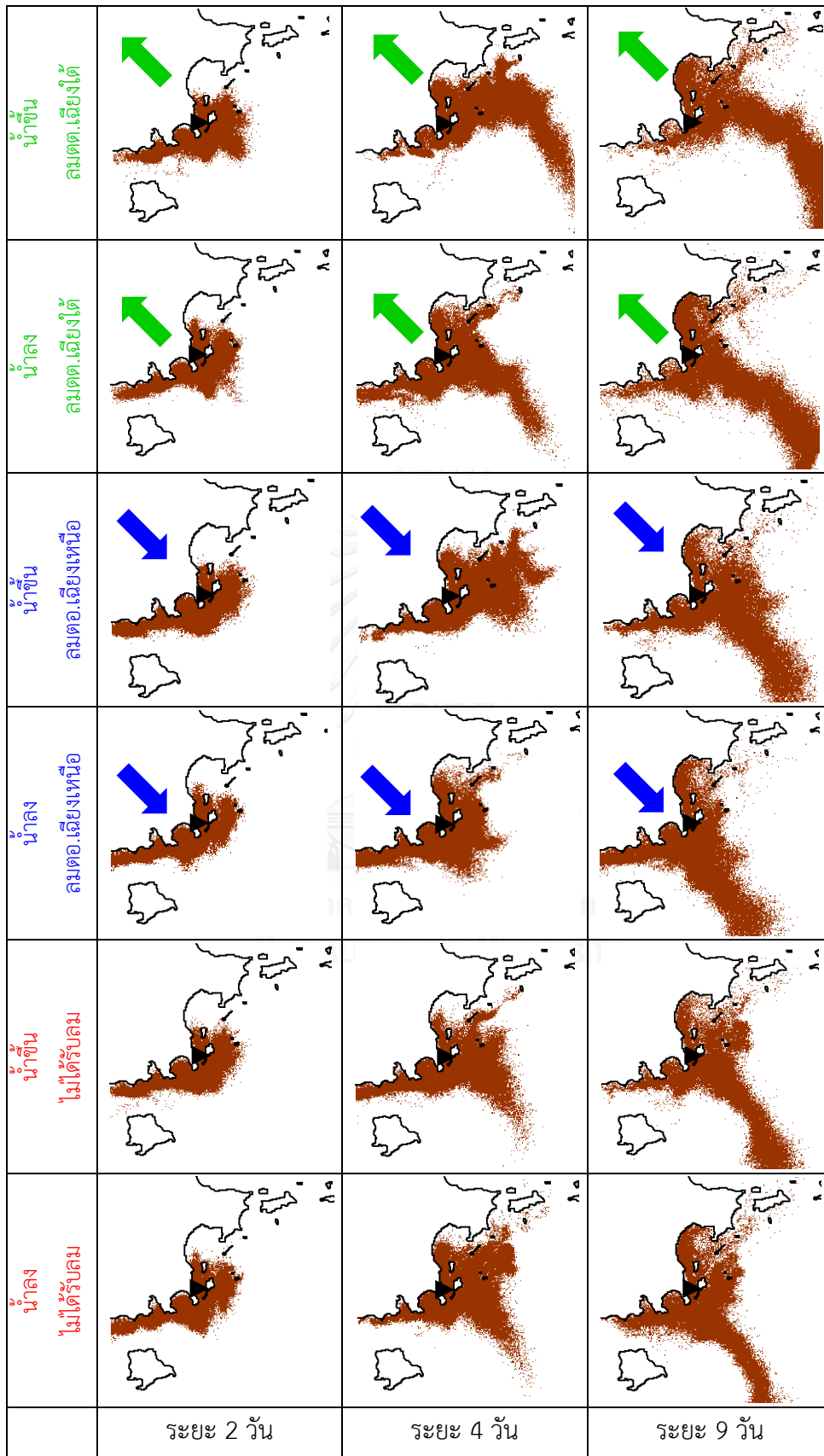
4.4.4.1 น้ำตาย

ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคเคลื่อนตัวมาทางทิศใต้ และค่อนข้างกระจายออกมาบริเวณน้ำลึกทางฝั่งตะวันตก ส่วนลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ทิศทางของอนุภาคเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ ค่อนข้างติดชายฝั่งมากกว่าได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลม พบว่า พื้นที่ที่อนุภาคค่อนข้างหนาแน่น อยู่บริเวณแนวกันคลื่นเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลม อนุภาคจะเคลื่อนที่ลงมาทางใต้ได้มากกว่ากรณีที่ได้รับอิทธิพลจากลมทั้งสองรูปแบบ (รูปที่ 35)



รูปที่ 35 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อ 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

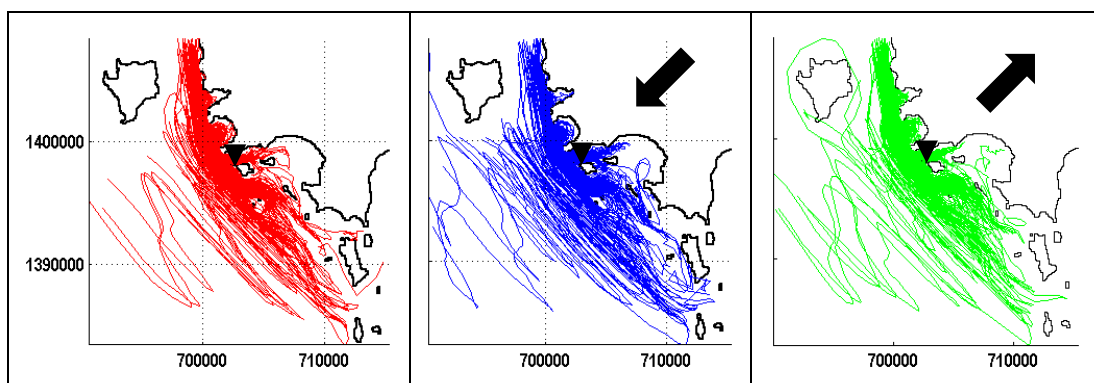
เมื่อพิจารณาพื้นที่กระจายตัวของอนุภาคในช่วง 2 วัน พบว่า อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมรวมทั้งช่วงเวลากการปล่อยอนุภาคไม่ส่งผลต่อลักษณะการกระจายอนุภาค แต่ระยะเวลาที่ลอยตัวนานขึ้นทำให้อนุภาคบางส่วนกระจายตัวไปยังบริเวณน้ำลึก ทั้งนี้ อิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่การกระจายอนุภาคระยะ 4 วัน ค่อนข้างปกคลุมทิศใต้ของชายฝั่งสัทธิบ บางส่วนกระจายไปยังชายฝั่งเขาหมาจ้อในระยะเวลา 9 วัน แต่พื้นที่การกระจายอนุภาคที่ได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือไม่แตกต่างกับอนุภาคที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมพบนุภาค (รูปที่ 36)



รูปที่ 36 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะเต่ารอบน้ำตาย โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม

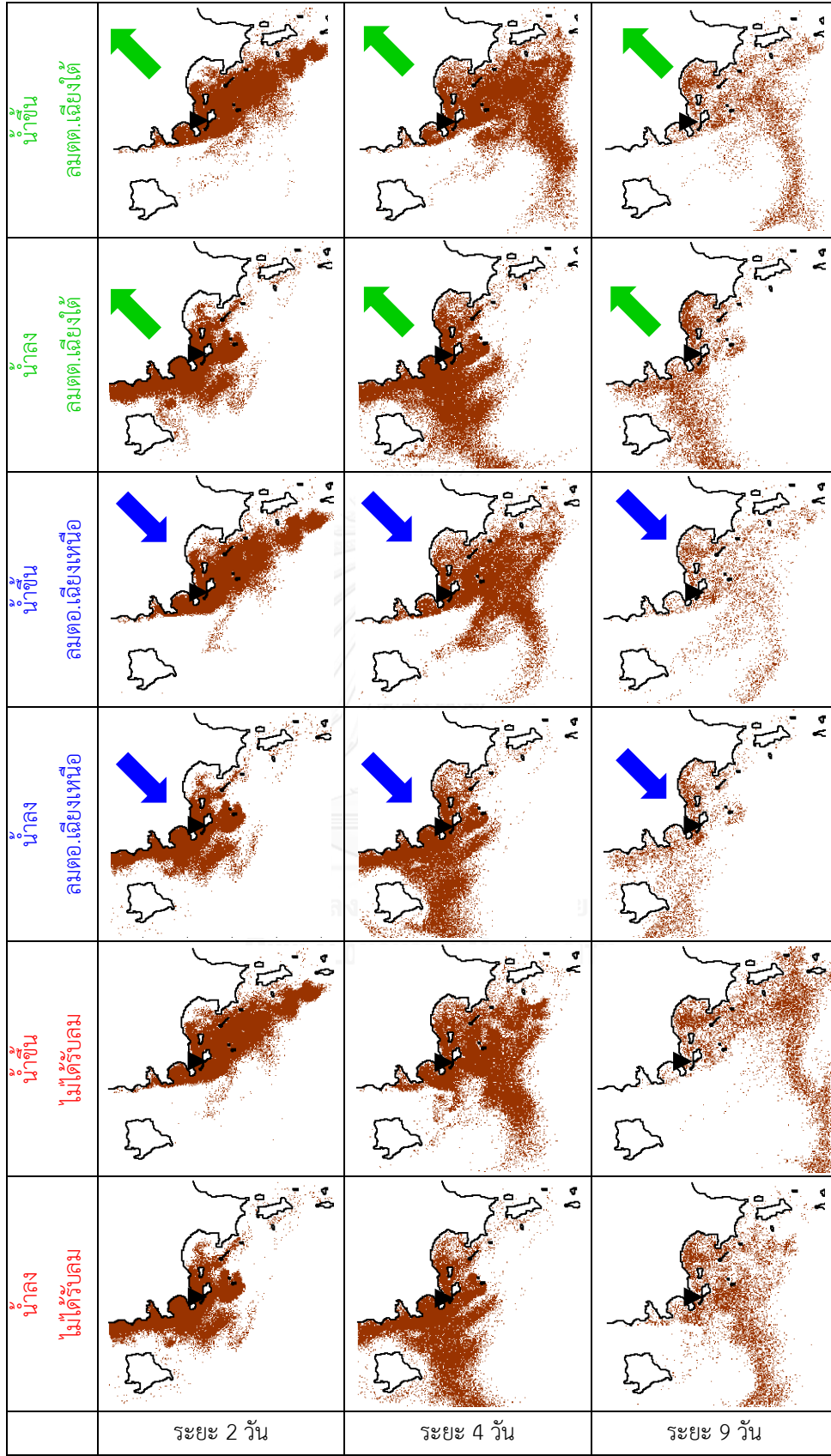
4.4.4.2 น้ำเกิด

อิทธิพลของลมไม่ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (รูปที่ 37)



รูปที่ 37 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะเตาหม้อ 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำเกิดที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

อิทธิพลของลมไม่ส่งผลต่อทิศทางการกระจายอนุภาคในระยะ 2 วันและ 4 วัน แต่ในระยะ 9 วัน ลมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้อนุภาคกระจายอยู่ทางเหนือมากกว่าลมนรูปแบบอื่น ทั้งนี้ช่วงเวลากการปล่อยอนุภาค (ปล่อยช่วงน้ำกำลังขึ้นหรือน้ำกำลังลง) มีอิทธิพลต่อการกระจายอนุภาคมากกว่าอิทธิพลของลมตั้งแต่ระยะ 2 วันถึง 9 วันโดยอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำลงกระจายตัวอยู่บริเวณเกาะคราม ส่วนอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นกระจายตัวอยู่ทางเกาะเสม็ดสาร ซึ่งจากการพิจารณาพื้นที่กระจายของอนุภาคในระยะ 4 วัน และ 9 วัน พบว่า เป็นบริเวณพื้นที่เดียวกัน แต่ความหนาแน่นกลุ่มอนุภาคจำนวนลดลงครึ่งหนึ่ง (รูปที่ 38)



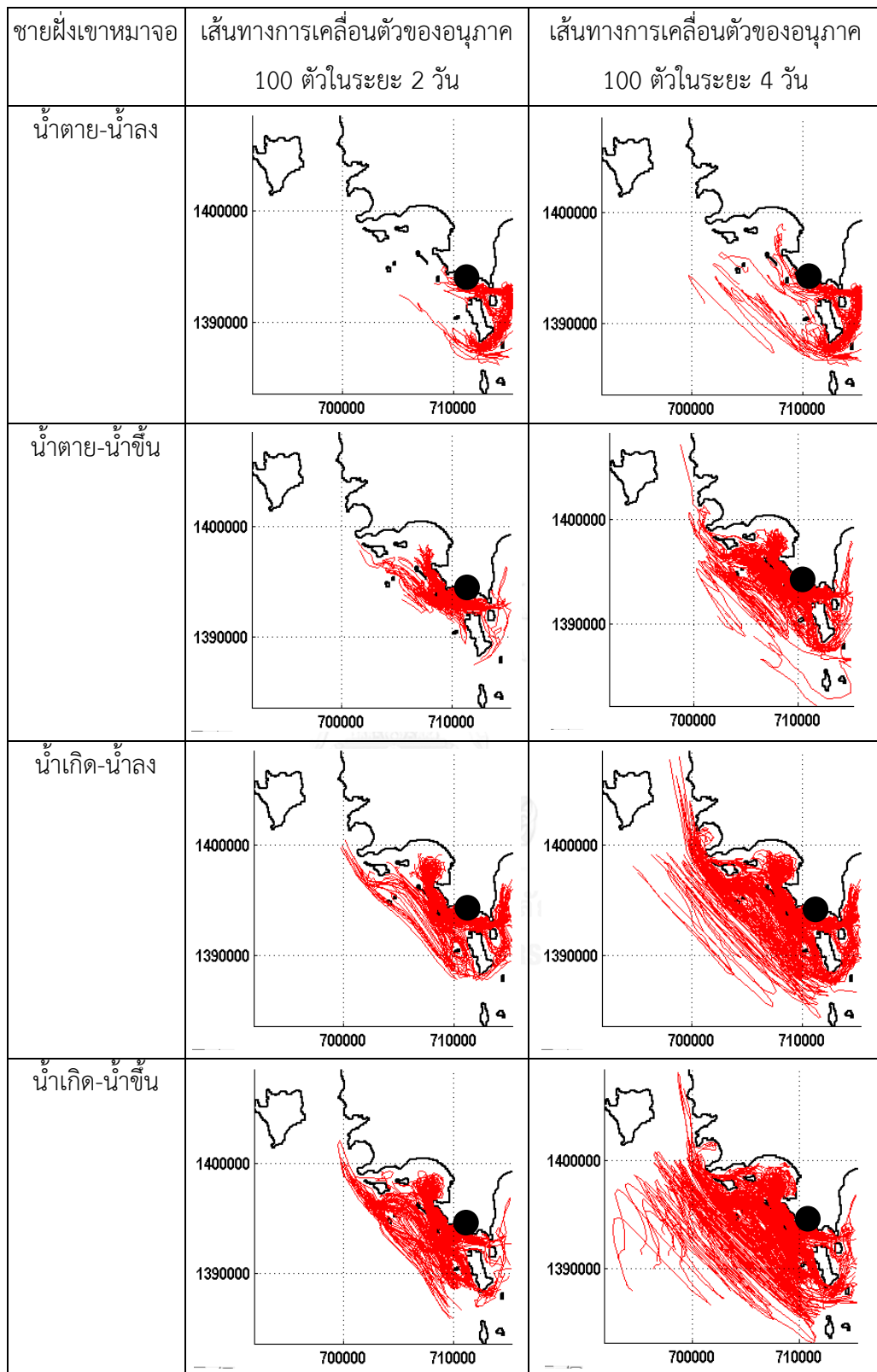
รูปที่ 38 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณเกาะเตาหม้อรอบน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นกรณีปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รั้งและไม่ได้รั้งทิศทางลม

4.4.5 การกระจายอนุภาคบริเวณเกาะเตาหม้อ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (รูปที่ 39)

ในช่วงน้ำตาย อนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงมีทิศทางการเคลื่อนที่ต่างกันตั้งแต่ระยะ 2 วัน โดยอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำลง เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และวนเวียนบริเวณฝั่งตะวันออกของเกาะแสมสารจนระยะ 4 วัน ส่วนอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้น เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือใน ระยะ 2 วัน และสามารถเคลื่อนที่ไปยังเกาะเตาหม้อได้ในระยะ 4 วัน แต่ไม่เคลื่อนที่ไปถึงเกาะคราม

ในช่วงน้ำเกิด ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงไม่แตกต่างกันใน ระยะ 2 วันและ 4 วัน ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปได้ถึงเกาะเตาหม้อได้ในระยะ 2 วัน ยกเว้นอนุภาคที่ ปล่อยช่วงน้ำลง ที่เคลื่อนไปไม่ถึงเกาะเตาหม้อได้ในระยะ 4 วัน

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย พบว่า ช่วงน้ำตาย ทิศทางของกลุ่ม อนุภาคขึ้นอยู่กับ การปล่อยช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลง ส่วนช่วงน้ำเกิด ช่วงเวลาการปล่อยไม่ส่งผลต่อ รูปแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค การเคลื่อนที่ค่อนข้างกระจายทั้งแนวเหนือ-ใต้ และไปที่ลึก มากกว่าช่วงน้ำตาย

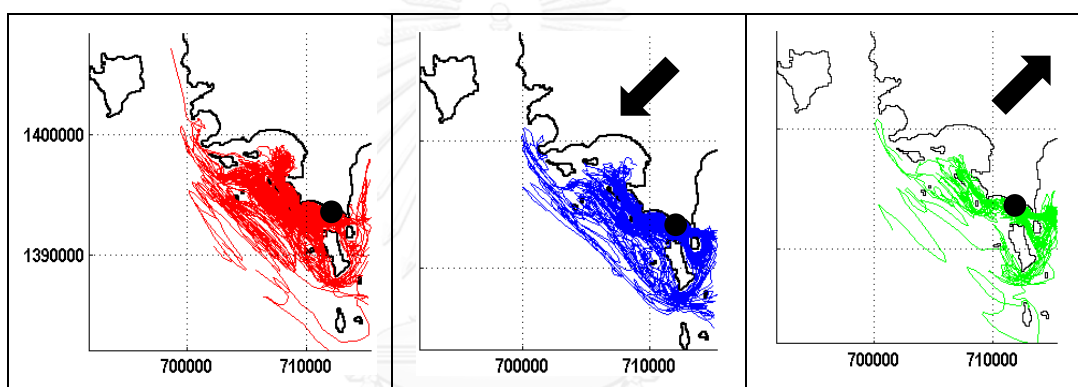


รูปที่ 39 รูปแบบการกระจายของอนุภาคที่ปล่อยบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก โดยแถวแสดงความแตกต่างของเวลาที่ปล่อยอนุภาค คอลัมน์แสดงระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่

4.4.6 การกระจายอนุภาคบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมประจำฤดู

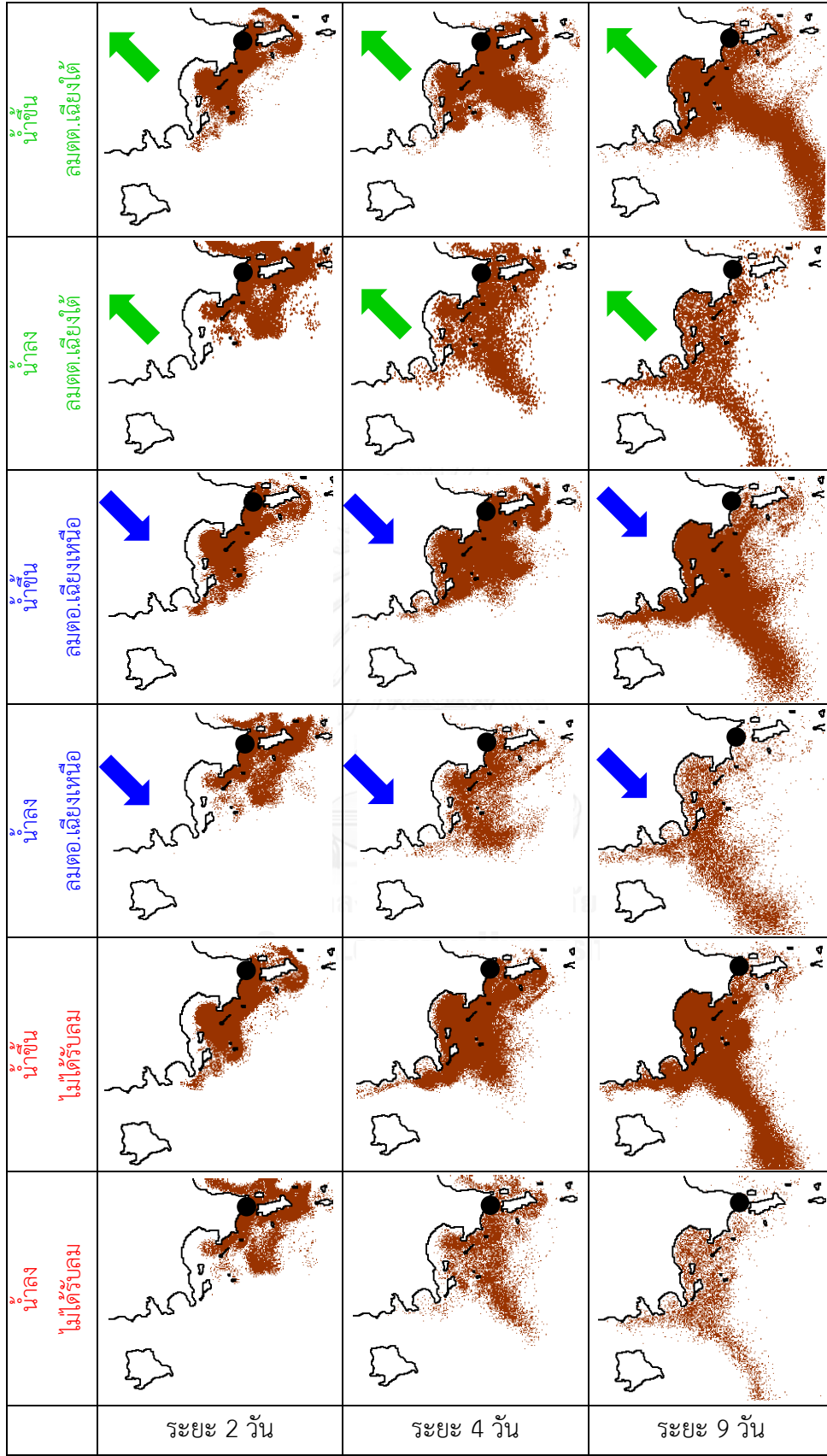
4.4.6.1 น้ำตาย

จากการเลือกช่วงการปล่อยอนุภาคช่วงน้ำขึ้นมาพิจารณาอิทธิพลของลม พบว่า ลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปทางด้านตะวันออก บางส่วนคงตัวอยู่บริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกและอ่าวสัตหีบ ส่วนลมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้อนุภาคหนาแน่นบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอก และตามแนวชายฝั่งไล่ไปทางอ่าวสัตหีบเช่นเดียวกับลมตะวันตกเฉียงใต้แต่หนาแน่นกว่า และมีบางส่วนเคลื่อนที่ไปยังบริเวณน้ำลึกทางด้านตะวันตก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของลม พบว่า การปล่อยของอนุภาคช่วงน้ำลงหรือน้ำขึ้นส่งผลต่อการเคลื่อนตัวในระยะ 4 วันของอนุภาคในลักษณะเดียวกันกับการได้รับอิทธิพลของลมมรสุม (รูปที่ 40)



รูปที่ 40 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปล่อยจากชายฝั่งเขาหมาจอก 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน จากการจำลองกระแสน้ำช่วงน้ำตายที่มีอิทธิพลของลมมาเกี่ยวข้อง สีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม สีน้ำเงินได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ และสีเขียวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้

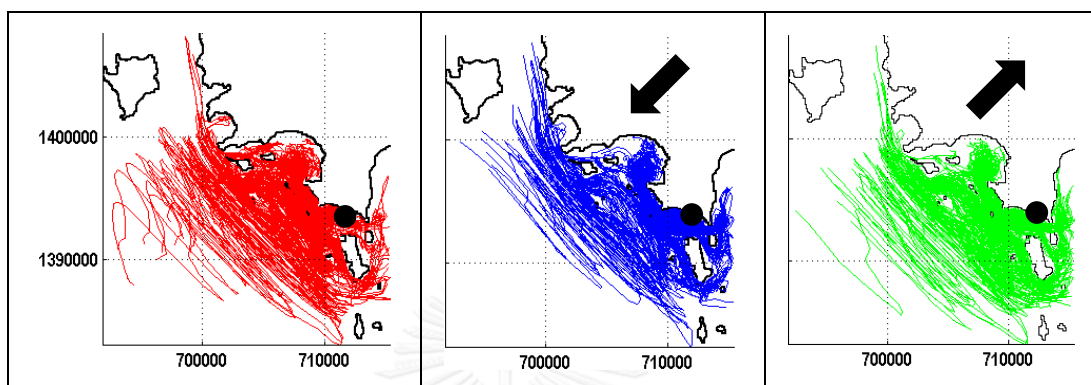
อิทธิพลของลมไม่ทำให้ลักษณะการกระจายอนุภาคต่างกันในระยะ 2 วัน แต่ระยะ 4 วัน ลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคกระจายบริเวณตะวันออกของเกาะเสม็ดได้มากกว่า ส่วนช่วงระยะเวลาการปล่อยอนุภาคส่งผลต่อลักษณะการกระจายอนุภาคตั้งแต่ระยะ 2 วัน (รูปที่ 41) เช่นเดียวกับผลการแสดงทิศทางโดยรวมของทุ่นลอย



รูปที่ 41 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณชายฝั่งทางอ่าวอันดามัน โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็น การปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม

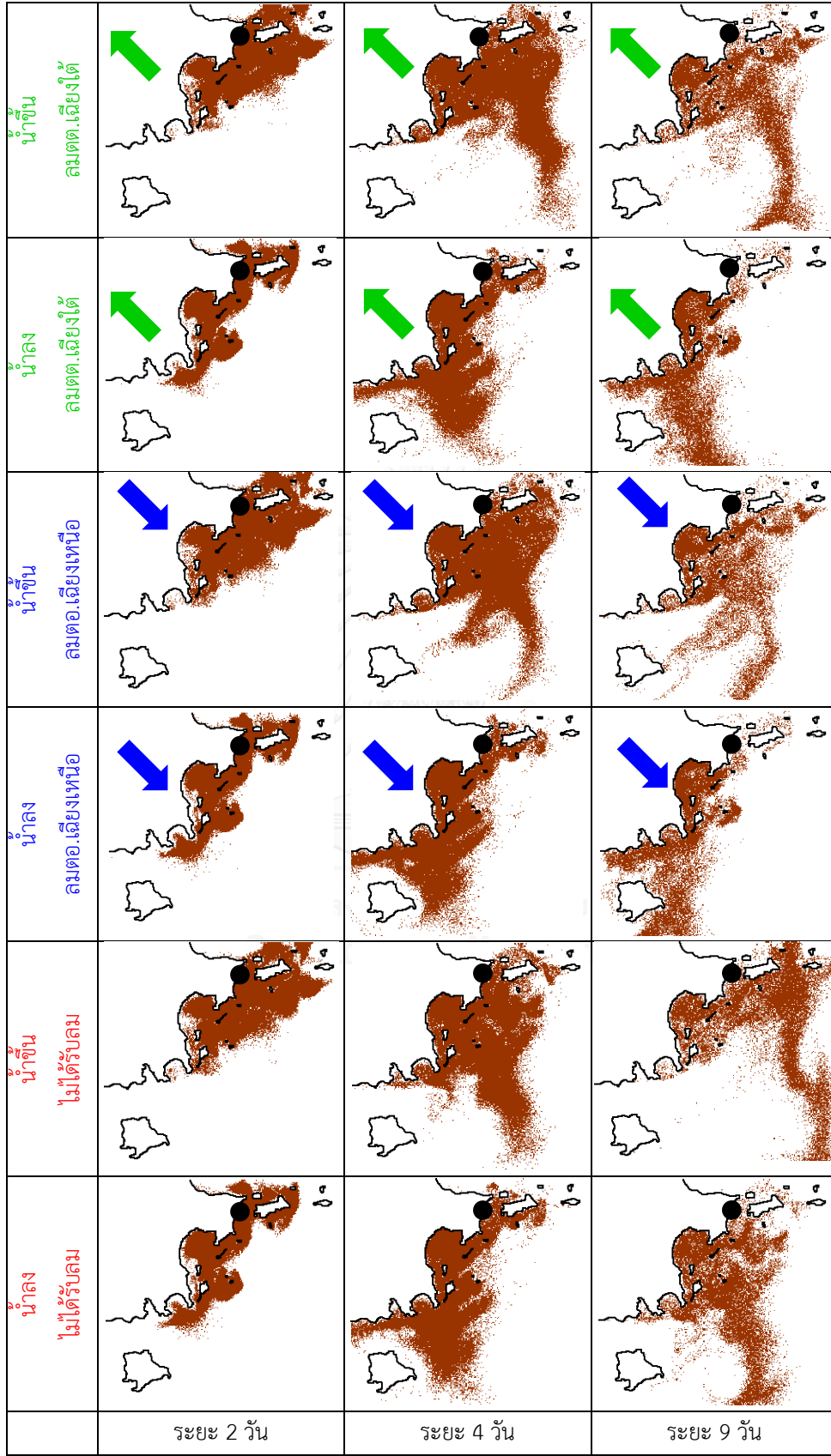
4.4.6.2 น้ำเกิด

อิทธิพลของลมแต่ละรูปแบบส่งผลให้อนุภาคมีทิศทางการเคลื่อนที่สุทธิเหนือ-ใต้ ในระยะ 4 วันใกล้เคียงกัน ซึ่งอนุภาคที่เคลื่อนไปยังบริเวณด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อมีความถี่สูงที่สุดเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 42)



รูปที่ 42 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคจำนวน 100 ตัว ในระยะเวลา 4 วัน ที่ปล่อยช่วงน้ำกำลังลง บริเวณชายฝั่งเขาหมาจอรอบน้ำเกิด เส้นสีแดงคือกระแสน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากลม เส้นสีน้ำเงินคือได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ และเส้นสีเขียวคือได้รับลมตะวันตกเฉียงใต้

อิทธิพลของลมไม่ส่งผลต่อทิศทางการกระจายอนุภาคในระยะ 2 วันและ 4 วัน โดยที่อนุภาคสามารถกระจายอยู่บริเวณเกาะเตาหม้อมได้ในระยะ 2 วัน และอิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงเหนือและลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้อนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นกระจายอยู่บริเวณเกาะครามได้ในระยะ 9 วัน เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการปล่อยอนุภาค พบว่า พบอนุภาคกระจายอยู่บริเวณจุดปล่อยถึงบริเวณเกาะแสมสารตั้งแต่ระยะ 2 วันถึงระยะ 9 วันโดยไม่มีความแตกต่างของช่วงเวลาการปล่อย โดยพบอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำลงในระยะ 4 วัน กระจายไปใกล้เกาะครามมากกว่าการปล่อยอนุภาคช่วงน้ำขึ้น (รูปที่ 43)



รูปที่ 43 การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง 100,000 ตัว ในระยะ 2 วัน, 4 วัน และ 9 วัน จากการปล่อยบริเวณชายฝั่งทางอ่าวรอนน้ำเกิด โดยแบ่งผลการจำลองออกเป็นการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งได้รับและไม่ได้รับอิทธิพลจากลม

บทที่ 5

วิจารณ์ผล

5.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

การหาค่า tidal harmonic analysis สถานีสัตหีบจากตารางน้ำ พบว่า องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง K1 และ O1 มีค่าแอมพลิจูดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่น เมื่อนำค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงจากบริเวณสถานีแหลมสิงห์และสถานีเกาะหลัก มาคำนวณค่าระดับน้ำเริ่มต้นในแบบจำลอง coarse-grid model และเปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงกับแบบจำลอง พบว่า แอมพลิจูดขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณสถานีสัตหีบจากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากตารางน้ำ โดยที่องค์ประกอบ K1 และ O1 มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับตารางน้ำมากที่สุด ซึ่งระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง ใกล้เคียงกับตารางน้ำในช่วงน้ำตายมากกว่าช่วงน้ำเกิด ส่วนการเปรียบเทียบ sensitivity parameters ใน nested-grid model พบว่า ค่า coefficient เท่ากับ $60 \text{ m}^2/\text{s}$ และ eddy viscosity coefficient เท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ทำให้ค่าระดับน้ำจากการจำลอง ใกล้เคียงข้อมูลตารางน้ำ และกระแสน้ำใกล้เคียงกับการสำรวจ

ค่า correlation กระแสน้ำที่เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองและการสำรวจบริเวณเกาะเตาหม้อมีค่าสูงกว่าชายฝั่งเขาหมาจอก เนื่องจากบริเวณสำรวจมีความแตกต่างทางสภาพภูมิประเทศ โดยบริเวณเกาะเตาหม้อมีลักษณะเป็นร่องน้ำแคบกว่าชายฝั่งหมาจอก ทำให้กระแสน้ำค่อนข้างเป็นรูปแบบที่แน่นอน ส่วนจุดสำรวจบริเวณชายฝั่งหมาจอกอยู่บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นชายฝั่ง ทำให้กระแสน้ำไม่เป็นตามรูปแบบที่แน่นอน รวมทั้งช่วงเวลาในการสำรวจของบริเวณเกาะเตาหม้อเป็นช่วงสั้นกว่าการสำรวจบริเวณชายฝั่งหมาจอก ทำให้รูปแบบกระแสน้ำเป็นไปตามลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่า และเนื่องจากระยะเวลาในการสำรวจบริเวณชายฝั่งหมาจอกซึ่งสำรวจนานกว่า จึงสามารถได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นเพิ่มเข้ามา ส่งผลให้กระแสน้ำไม่เป็นไปตามรูปแบบน้ำขึ้นน้ำลงทั้งหมด

5.2 กระแสน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลม

กระแสน้ำขึ้นน้ำลงใน coarse-grid model ไหลขึ้นลงทางทิศเหนือ-ใต้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ (Anongponyoskun, 2007) โดยบริเวณด้านตะวันออกเฉียงใต้มีอัตราเร็วค่อนข้างสูงกว่าบริเวณอื่นทั้งช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง รวมถึงบริเวณชายฝั่งสัตหีบซึ่งเป็นบริเวณที่มีความลึกมากกว่าบริเวณอื่น ส่วนใน nested-grid model พบว่า กระแสน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งสัตหีบบริเวณพื้นที่เปิดไหลขึ้นลงตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยระหว่างเกาะครามกับแผ่นดินใหญ่ ไหลขึ้นลงทางทิศเหนือ-ใต้ และมีอัตราเร็วสูงกว่าบริเวณอื่นที่มีความซับซ้อนของพื้นที่มากขึ้น อาทิเช่น

บริเวณด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอบ ซึ่งมีกระแสน้ำขึ้นน้ำลงไหลทิศ ตะวันตก-ตะวันออก เมื่อพิจารณาการตรวจวัดกระแสน้ำด้วยทุ่นลอยบริเวณเกาะเตาหม้อคลื่นเทียบ กับ ADCP ที่เวลาเดียวกัน พบว่า กระแสน้ำบริเวณด้านนอกแนวกันคลื่นมีอัตราเร็วสูงกว่าบริเวณด้าน ในแนวกันคลื่น ซึ่งผลการจำลองและผลการสำรวจสอดคล้องกัน

การจำลองกระแสน้ำเนื่องจากลมใน coarse-grid model พบว่า ลมจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำให้กระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนไหลตามเข็มนาฬิกา ส่วนลมจากทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ไหลทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งผลการจำลองสอดคล้องกับ Buranapratheprat *et al.*, (2009)

5.3 การจำลองการกระจายอนุภาค

การเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและลักษณะการกระจายที่เปลี่ยนไปตาม ช่วงเวลา พบว่า ค่า dispersion coefficient ในส่วนของ particle-tracking model ทำให้การ จำลองปล่อยอนุภาคจากบริเวณเดิมในเวลาเดียวกัน อนุภาคเคลื่อนตัวไปกับกระแสน้ำพร้อมกับเริ่ม กระจายออกจากกันมากขึ้นตามช่วงเวลา จากการศึกษาของ ลลิตา ปัจฉิม (2548) ที่จำลองการ กระจายตัวอ่อนปะการังโดยใช้ทุ่นลอยเป็นตัวแทนกระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง พบว่า จำนวนตัว อ่อนปะการังในตำแหน่งเดียวกับทุ่นลอยที่เคลื่อนที่ตามกระแสน้ำตามช่วงเวลามีจำนวนลดลง และไม่ พบตัวอ่อนอีกเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ซึ่งยังไม่ถึงระยะลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง

เมื่อพิจารณาลักษณะของการกระจายอนุภาคด้วยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง พบว่า น้ำเกิดและ น้ำตายเป็นปัจจัยที่ทำให้อนุภาคมีทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ผลการปล่อยอนุภาคจากสามพื้นที่ ในช่วงน้ำตายทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคสั้นกว่าน้ำเกิด เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการปล่อย อนุภาค (น้ำขึ้นหรือน้ำลง) พบว่า ช่วงน้ำตาย การปล่อยอนุภาคบริเวณเกาะครามและเกาะเตาหม้อ ช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงไม่ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมในระยะ 4 วัน ต่างจากการปล่อยอนุภาค บริเวณชายฝั่งหมาจอบ ที่การปล่อยช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างกันตั้งแต่ ระยะ 2 วัน ส่วนในช่วงน้ำเกิด การปล่อยอนุภาคจากแต่ละบริเวณช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงไม่ทำให้ทิศ ทางการเคลื่อนที่โดยรวมของอนุภาคแตกต่างกัน แต่จากการพิจารณาพื้นที่การกระจายอนุภาคใน ระยะ 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน พบว่า พื้นที่การกระจายอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า สภาพภูมิประเทศเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่กำหนดขอบเขตพื้นที่การกระจายตัวของ อนุภาค ส่วนช่วงน้ำเกิด การปล่อยอนุภาคในช่วงน้ำขึ้นหรือน้ำลงส่งผลต่อลักษณะการกระจายอนุภาค แต่ไม่ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวม ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจำนวนอนุภาคที่ปล่อยร่วมกับผลการ กระจายอนุภาค พบว่า ยังมีอนุภาคจำนวนมากขึ้น แนวโน้มที่อนุภาคจากแต่ละเกาะจะเคลื่อนที่ถึงกัน จึงมีมากขึ้นด้วย โดยจากผลการเคลื่อนที่โดยรวมในระยะ 4 วันของอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะคราม

100 ตัวช่วงน้ำตาย ที่ไม่พบอนุภาคที่เคลื่อนเข้าไปด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อ ขณะที่การปล่อยอนุภาคจำนวน 100,000 ตัว พบการกระจายของอนุภาคด้านในแนวกันคลื่นเกาะเตาหม้อหลังจากเวลาผ่านไปเท่ากัน

ส่วนอิทธิพลของลมส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของอนุภาคในช่วงน้ำตายมากกว่าน้ำเกิด ซึ่งในช่วงน้ำตาย ทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของอนุภาคในระยะ 4 วันที่ปล่อยจากแต่ละบริเวณ มีแนวโน้มเคลื่อนที่ไปตามกระแสลม นั่นคือ เคลื่อนที่ไปทางเหนือเมื่อได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ และเคลื่อนที่ไปทางใต้เมื่อได้รับอิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งการกระจายอนุภาคที่ปล่อยจากแต่ละบริเวณไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละรูปแบบลม ส่วนการกระจายของอนุภาคในระยะสั้น (2-4 วัน) หลังจากที่จะปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์จากแต่ละบริเวณ พบว่า ไม่ได้รับอิทธิพลจากลม ต่างจากระยะยาวที่พบว่า ในระยะเวลา 9 วัน อนุภาคมีแนวโน้มการกระจายตามอิทธิพลของลมมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราเร็วกระแสน้ำเนื่องจากลม พบว่า ลมส่งผลต่อกระแสน้ำบริเวณพื้นที่เปิดมากกว่าริมชายฝั่ง ทำให้อนุภาคที่ยังคงอยู่บริเวณชายฝั่งในระยะแรกมีการกระจายที่ไม่ต่างกันในแต่ละลักษณะลม แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น อนุภาคเคลื่อนที่ไปยังบริเวณเปิดมากขึ้น อิทธิพลของลมจึงเริ่มส่งผลต่อลักษณะการกระจายอนุภาค

เมื่อเทียบอนุภาคเป็นตัวอ่อนปะการัง พบว่า พื้นที่ลงเกาะของตัวอ่อนปะการังที่ปล่อยจากเกาะครามในแบบจำลองมีโอกาสได้จากแนวปะการังเดิมที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงน้ำตาย หรืออาจเกิดจากแนวปะการังเกาะเตาหม้อและชายฝั่งเขาหมาจอก ที่ปล่อยอนุภาคช่วงน้ำเกิดขณะน้ำลงและได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ แต่จากการสำรวจชนิดปะการังที่ลงเกาะบริเวณเกาะครามของ ลลิตา ปัจฉิม (2548) พบว่า มีความเป็นไปได้ที่เป็นตัวอ่อนจากแนวปะการังเดิม และจากการสัมภาษณ์ กลุ่มชีววิทยาปะการัง (2558) เรื่องความหลากหลายของแนวปะการังบริเวณเกาะคราม พบว่าปะการังชนิดเด่นบริเวณเกาะครามคือปะการังช่องเล็ก (*Montipora* sp.) ซึ่งไม่พบบริเวณแนวปะการังบริเวณอื่น ส่วนปะการังบริเวณเกาะเตาหม้อมีโอกาสได้รับอนุภาคที่ปล่อยจากเกาะครามรวมทั้งอนุภาคจากชายฝั่งเขาหมาจอกได้จากทุกรูปแบบน้ำขึ้นน้ำลงและลม และปะการังชนิดเด่นบริเวณเกาะเตาหม้อคือปะการังเขากวาง (*Acropora* sp.) ส่วนปะการังชายฝั่งเขาหมาจอกส่วนใหญ่เกิดจากแนวปะการังเดิมทั้งจากการปล่อยตัวอ่อนช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ซึ่งมีปะการังบางส่วนอาจมาจากแนวปะการังเกาะเตาหม้อ และมีโอกาสน้อยที่ปะการังจากเกาะครามจะสามารถเคลื่อนที่มาถึงชายฝั่งเขาหมาจอก ส่วนปะการังบริเวณชายฝั่งเขาหมาจอกและพื้นที่ใกล้เคียงเป็นปะการังโขด (*Porites* sp.) และจากข้อมูลของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2556) พบปะการังช่องดาว (*Astreopora* sp.) บริเวณชายฝั่งแสมสารจนถึงเกาะฉางเกลือ

มีความเป็นไปได้ว่าแนวปะการังชายฝั่งเขาหมาจอกไม่มีการแลกเปลี่ยนหรือรับตัวอ่อนปะการังมาจากบริเวณอื่น ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองการกระจายตัวในช่วงน้ำตาย ส่วนในช่วงน้ำเกิดอาจมีปัจจัยของลม หรืออื่นๆเข้ามามีผลต่อการจำลองการกระจายตัวอ่อนปะการังในช่วงน้ำเกิด นอกจากนี้ ยิ่งระยะทางไกล โอกาสการรอดของตัวอ่อนอาจน้อยลง เนื่องจากมีโอกาสที่จะถูกผู้ล่ากินสูง อย่างไรก็ตามแบบจำลองเป็นการทำนายโอกาสที่ตัวอ่อนปะการังจะกระจายตัวไปยังพื้นที่ต่างๆ แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การแย่งพื้นที่กันระหว่างปะการังต่างชนิด รวมทั้งเรื่องสภาพแวดล้อม ซึ่งบางพื้นที่อาจไม่เหมาะสมกับปะการังชนิดนั้นๆ อาทิเช่น ลักษณะของพื้นที่ท้องทะเล หรือ คุณภาพน้ำ เป็นต้น

เมื่อนำผลการจำลองการกระจายอนุภาคเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ปล่อยจากบริเวณต่างๆ มาพิจารณาพื้นที่การกระจายตัวของตัวอ่อนปะการัง พบว่าตัวอ่อนส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาอยู่บริเวณเกาะเตาหม้อและพื้นที่ข้างเคียง จึงมีแนวโน้มว่าปะการังบริเวณนั้นมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงกว่าบริเวณอื่นทั้งจากการปล่อยอนุภาคช่วงน้ำตาย และน้ำเกิด (ภาคผนวก ข และ ค)

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับการศึกษาความเชื่อมโยงประชากรปะการังบริเวณชายฝั่งสัตหีบได้ระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลเชิงชีววิทยา และพันธุศาสตร์เพื่อยืนยันการจำลองครั้งนี้ได้ เพื่อใช้แบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ศึกษามวลสารชนิดอื่นบริเวณชายฝั่งสัตหีบได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการสอบเทียบค่า dispersion coefficient ด้วยการตรวจวัด เช่น การปล่อยสีย้อม (dye release)
2. แบบจำลองในครั้งนี่ยังไม่รวมกระบวนการลงเกาะ จึงควรใช้แบบจำลอง 3 มิติ จะทำให้การจำลองแม่นยำยิ่งขึ้น
3. ควรใช้ข้อมูลทางด้านพันธุศาสตร์ประชากรเป็นเครื่องมือยืนยันแหล่งที่มาของปะการังในแต่ละบริเวณ

รายการอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. แนวปะการังบริเวณจังหวัดชลบุรี [KMZ file]. 2549.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2556. รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งปะการังและหญ้าทะเล ปี 2556. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กรมอุทกศาสตร์. 2553. ค่าน้ำมาตรฐานน้ำภาษาไทย. กองทัพเรือ.
- กลุ่มชีววิทยาปะการัง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สัมภาษณ์. 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 2558.
- ชโลธร รักษาทรัพย์. 2550. อัตราการรอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในระบบเพาะเลี้ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิคม อ่อนสี. 2552. สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์บริเวณหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้. วิทยาศาสตร์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 52-53.
- ลลิตา ปัจฉิม. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของตัวอ่อนปะการังกับกระแสน้ำบริเวณจังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 44-46.
- Anongponyoskun, M. 2007. Numerical model of tidal current used POM in Ao Siracha, Chon-Buri province 45. Kasetart University Annual Conference, Bangkok (Thailand), 30 Jan-2 Feb 2007.
- Babcock, R. C., Bull, G. D., Harrison, P. L., Heyward, A. J., Oliver, J. K., Wallace, C. C. , and Willis, B. L. 1986. Synchronous spawnings of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Marine Biology. 90: 379-394.
- Babcock, R. C., Wills, B. L. , and Simpson, C. J. 1994. Mass spawning of corals on a high latitude coral reef. Coral Reefs. 13: 161-169.
- Banas, N., McDonald, P. S. , and Armstrong, D. 2009. Green Crab Larval Retention in Willapa Bay, Washington: An Intensive Lagrangian Modeling Approach. Estuaries and Coasts. 32: 893-905.

- Batchelder, H. P., Edwards, C. A. , and Powell, T. M. 2002. Individual-based models of copepod populations in coastal upwelling regions: implications of physiologically and environmentally influenced diel vertical migration on demographic success and nearshore retention. Progress in Oceanography. 53: 307-333.
- Baums, I. B., Paris, C. B. , and Chérubin, L. M. 2006. A bio-oceanographic filter to larval dispersal in a reef-building coral. Limnology and oceanography. 1969-1981.
- Boch, C. A., Ananthasubramaniam, B., Sweeney, A. M., Doyle, F. J. , and Morse, D. E. 2011. Effects of Light Dynamics on Coral Spawning Synchrony. The Biological Bulletin. 220: 161-173.
- Buranapratheprat, A., Niemann, O., K, Yanagi, T., Matsumura, S. , and Sojisuporn, P. 2009. Circulation in the Upper Gulf of Thailand Investigated Using a Three-Dimensional Hydrodynamic Model. Burapha Science Journal. 14: 99-113.
- Burapratheprat, A. 2006. Circulation in the upper gulf of Thailand: A review. Burapha Journal of Science. 13: 75-83.
- Cushman-Roisin, B. , and Beckers, J.-M. 2011. Introduction to geophysical fluid dynamics: physical and numerical aspects. 101. Academic Press.
- Deltares. 2011. Delft3D-Flow User Manual. Delft, : The Netherlands.
- Dietrich, J. C., Trahan, C. J., Howard, M. T., Fleming, J. G., Weaver, R. J., Tanaka, S., Yu, L., Luettich Jr, R. A., Dawson, C. N., Westerink, J. J., Wells, G., Lu, A., Vega, K., Kubach, A., Dresback, K. M., Kolar, R. L., Kaiser, C. , and Twilley, R. R. 2012. Surface trajectories of oil transport along the Northern Coastline of the Gulf of Mexico. Continental Shelf Research. 41: 17-47.
- Goreau, N. I., Goreau, T. J. , and Hayes, R. L. 1981. Settling, survivorship and spatial aggregation in planulae and juveniles of the coral *Porites porites* (Pallas). Bulletin of Marine Science. 31: 424-435.
- Harrison, P. L. 2011. Sexual reproduction of scleractinian corals. *Coral reefs: an ecosystem in transition.* Springer.
- IOC, IHO , and BODC 2003. Centenary edition of the GEBCO digital atlas, published on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanography Commission and

- the International Hydrographic Organization as part of the General Bathymetric Chart of the Oceans, editd by BODC. Liverpool, U.K.
- Kato, S. , and Yamashita, T. 2003. Coastal current system and its simulation model. Disaster Prevention Research Institute Annuals, Kyoto University. 619-626.
- Kojis, B. L. 1986. Sexual reproduction in Acropora (Isopora) species (Coelenterata: Scleractinia). Marine Biology. 91: 291-309.
- Li, Y., He, R. , and Manning, J. P. 2014. Coastal connectivity in the Gulf of Maine in spring and summer of 2004–2009. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 103: 199-209.
- Mitarai, S., Siegel, D. A., Watson, J. R., Dong, C. , and McWilliams, J. C. 2009. Quantifying connectivity in the coastal ocean with application to the Southern California Bight. Journal of Geophysical Research. 114: C10026.
- North, E. W., Hood, R. R., Chao, S. Y. , and Sanford, L. P. 2006. Using a random displacement model to simulate turbulent particle motion in a baroclinic frontal zone: A new implementation scheme and model performance tests. Journal of Marine Systems. 60: 365-380.
- Nozawa, Y. , and Harrison, P. 2007. Effects of elevated temperature on larval settlement and post-settlement survival in scleractinian corals, Acropora solitaryensis and Favites chinensis. Marine Biology. 152: 1181-1185.
- Ohshima, K. I. , and Simizu, D. 2008. Particle tracking experiments on a model of the Okhotsk Sea: toward oil spill simulation. Journal of Oceanography. 64: 103-114.
- Penland, L., Kloulechad, J., Idip, D. , and van Woesik, R. 2004. Coral spawning in the western Pacific Ocean is related to solar insolation: evidence of multiple spawning events in Palau. Coral Reefs. 23: 133-140.
- Richmond, R. H. , and Hunter, C. L. 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the Tropical Pacific, and the Red Sea. Marine ecology progress series. Oldendorf. 60: 185-203.
- Robins, P. E., Neill, S. P. , and Giménez, L. 2012. A numerical study of marine larval dispersal in the presence of an axial convergent front. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 100: 172-185.

- Saramul, S. 2004. Development of a Numerical Model for the Northern Part of the Gulf of Thailand. Master's Thesis Coastal Engineering and Geosciences. Christian-Albrechts Universitaet zu Kiel. 104.
- Siegel, D. A., Kinlan, B. P., Gaylord, B. , and Gaines, S. D. 2003. Lagrangian descriptions of marine larval dispersion. Marine Ecology Progress Series. 260: 83-96.
- Snidvongs, A. , and Sojisuporn, P. 1999. Numerical simulations of the net current in the Gulf of Thailand under different monsoon regimes Proceedings of the First Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea. 54-85.
- Storlazzi, C. D., Brown, E. K. , and Field, M. E. 2006. The application of acoustic Doppler current profilers to measure the timing and patterns of coral larval dispersal. Coral Reefs. 25: 369-381.
- Szmant, A. M. , and Meadow, M. G. 2006. Developmental changes in coral larval buoyancy and vertical swimming behavior: implications for dispersal and connectivity. In: Proceeding of the 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa. 431-437.
- Szmant, A. M. , and Miller, M. W. 2006. Settlement preferences and post-settlement mortality of laboratory cultured and settled larvae of the Caribbean hermatypic corals *Montastraea faveolata* and *Acropora palmata* in the Florida Keys, USA. In: Proceeding of the 10th International Coral reef Symposium. 43-49.
- Uzaki, K.-i., Kuriyama, Y. , and Sakamoto, H. 2011. Numerical study of the morphodynamic change of intertidal flats due to tidal and coastal currents 32.
- Van Woesik, R. 2010. Calm before the spawn: global coral spawning patterns are explained by regional wind fields. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 277: 715-722.
- Vermeij, M., Sampayo, E., Bröker, K. , and Bak, R. 2003. Variation in planulae release of closely related coral species. Marine Ecology Progress Series. 247: 75-84.

- Westenbroek, S. M. 2006. Estimates of Shear Stress and Measurements of Water Levels in the Lower Fox River near Green Bay, Wisconsin.
- White, C., Selkoe, K. A., Watson, J., Siegel, D. A., Zacherl, D. C. , and Toonen, R. J. 2010. Ocean currents help explain population genetic structure. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 277: 1685-1694.
- Willis, J. 2011. Modelling swimming aquatic animals in hydrodynamic models. Ecological Modelling. 222: 3869-3887.
- Wilson, J. R. , and Harrison, P. L. 1998. Settlement-competency periods of larvae of three species of scleractinian corals. Marine Biology. 131: 339-345.

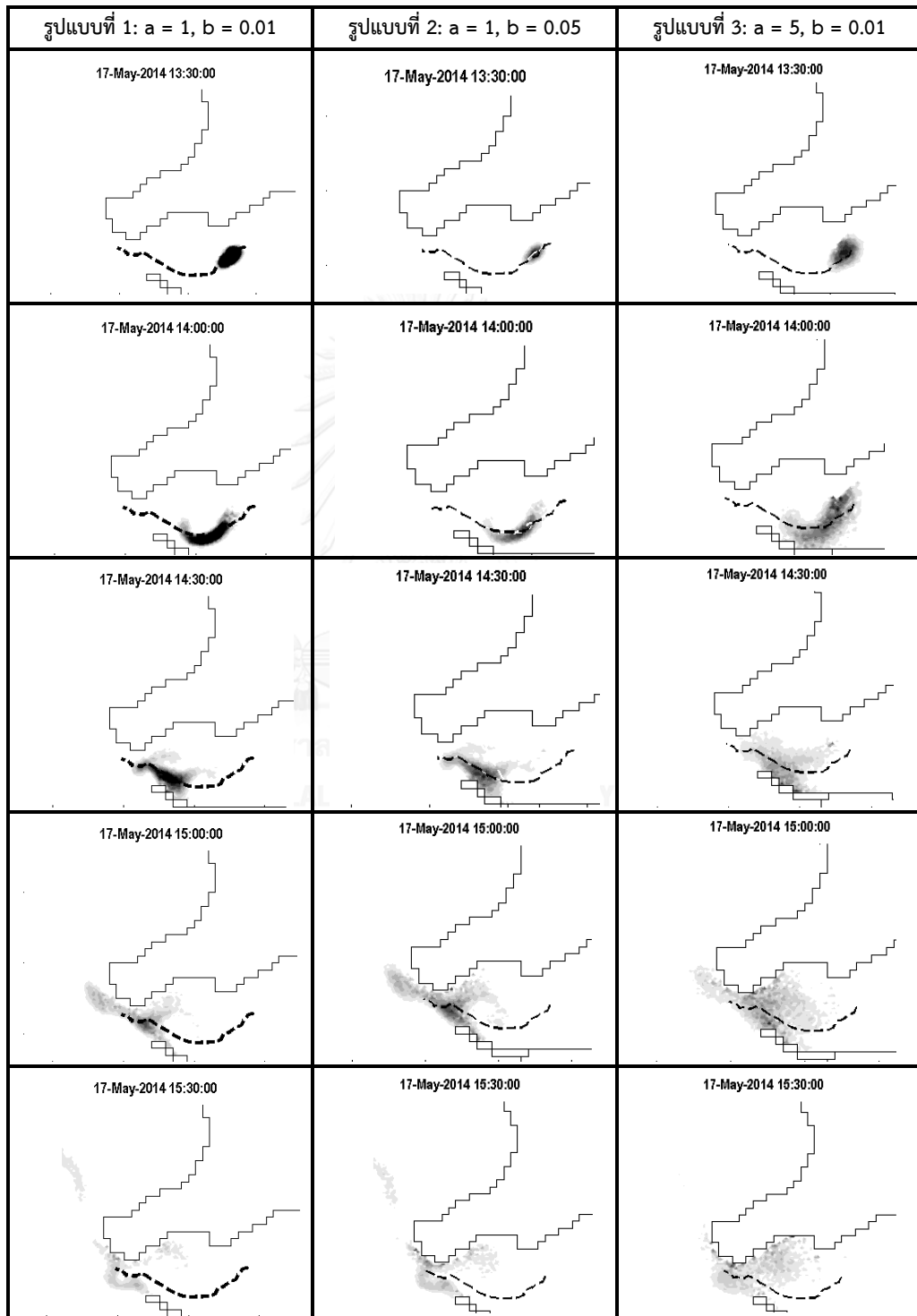




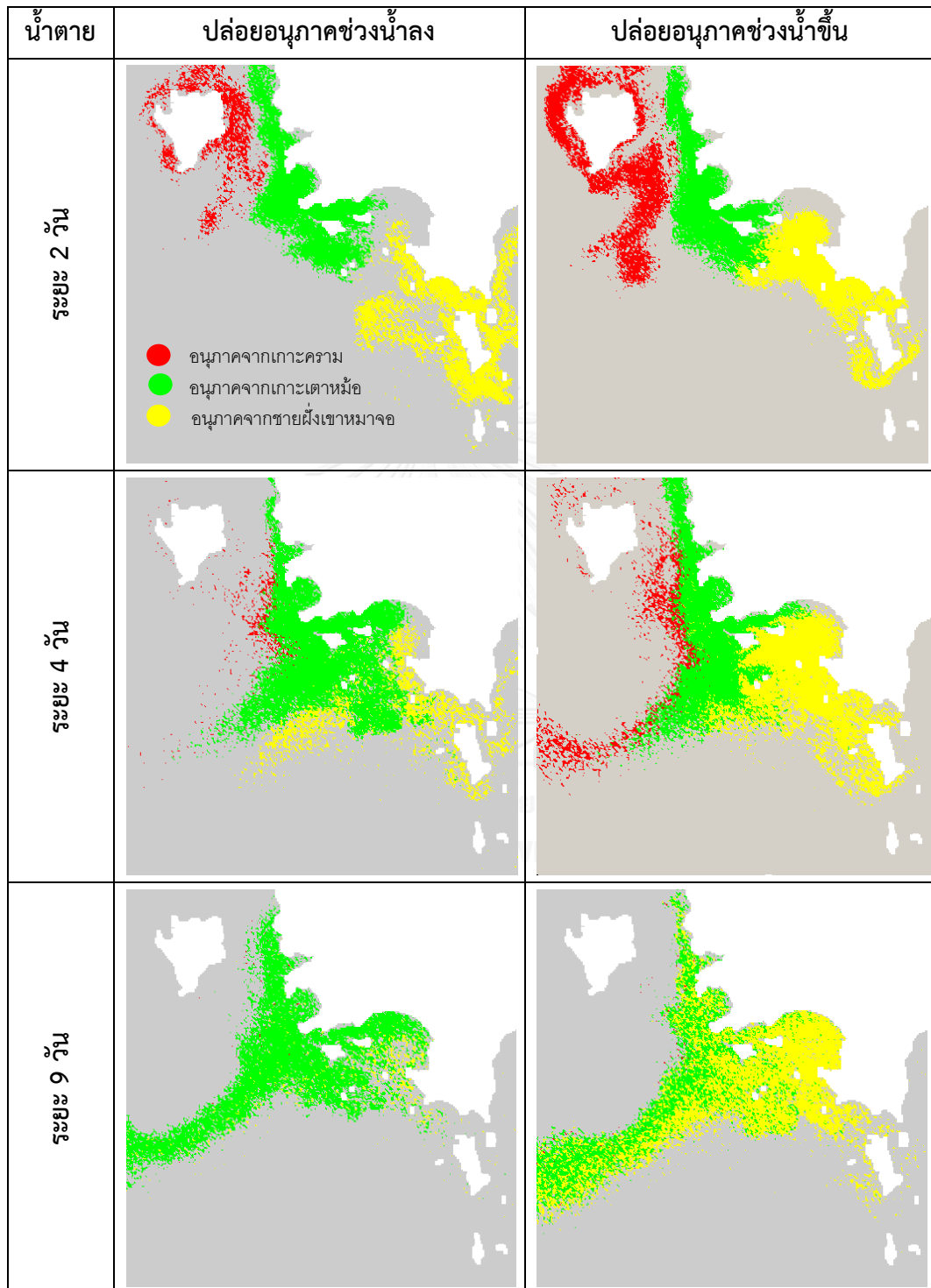
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

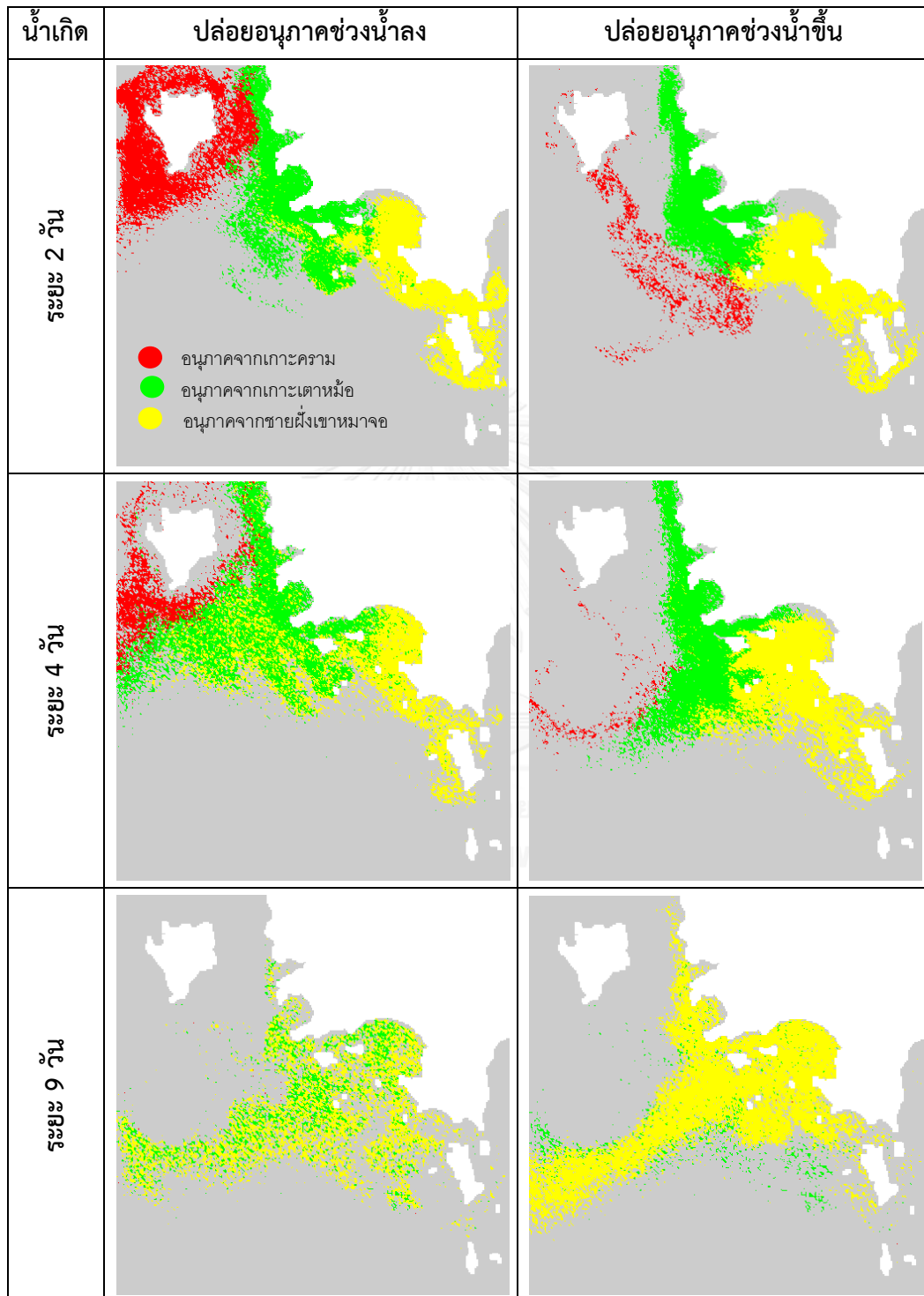
ภาคผนวก ก การจำลองการกระจายอนุภาคทุก 30 นาที ตั้งแต่เวลา 1330 น. ถึง 1530 น. เมื่อใช้ค่าคงที่ a และ b ในส่วนของ dispersion coefficient ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ โดยคอลัมน์แรกแสดงรูปแบบที่ 1 $a = 1, b = 0.01$ คอลัมน์ที่ 2 คือรูปแบบที่ $a=1, b=0.05$ และรูปแบบที่ 3 คือ $a=5$ และ $b=0.01$



ภาคผนวก ข พื้นที่การกระจายอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำตายจากเกาะคราม (จุดแดง) เกาะเตาหม้อ (จุดเขียว) และชายฝั่งเขาหมาจอก (จุดเหลือง) ในระยะเวลา 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน



ภาคผนวก ค พื้นที่การกระจายอนุภาคที่ปล่อยช่วงน้ำเกิดจากเกาะคราม (จุดแดง) เกาะเตาหม้อ (จุดเขียว) และชายฝั่งเขาหมาจอก (จุดเหลือง) ในระยะเวลา 2 วัน 4 วัน และ 9 วัน



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐธิดาจันทร์ศิริ เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554 ระหว่าง การศึกษาได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

