

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน



นายชวลี ครอบศักดิ์ศิริ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

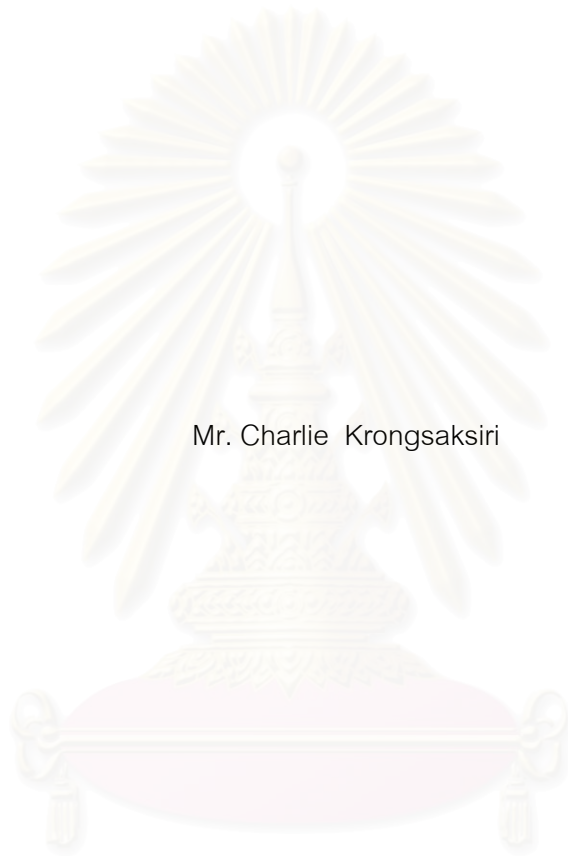
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INTERNAL SOLITARY WAVE IN THE WESTERN COASTS OF SIMILAN ISLANDS



Mr. Charlie Kongsaksiri

สถาบันวิทยบริการ

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

คลื่นเดี่ยวได้น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน

โดย

นายชาติ ครองศักดิ์ศิริ


สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชจิศุภร

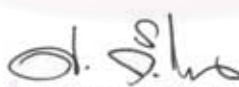
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ นารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิตธรรมยง)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชจิศุภร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สมเกียรติ ขอกเกียรติวงศ์)


ชาติ ครองศักดิ์ศิริ : คลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน.
(INTERNAL SOLITARY WAVE IN THE WESTERN COASTS OF SIMILAN ISLANDS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ปราโมทย์ ไชยศิริ, 54 หน้า.

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำเป็นคลื่นไม่เชิงเส้นซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการรบกวนบริเวณรอยต่อของชั้นน้ำที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำตามแนวตั้ง การรบกวนเกิดขึ้นเมื่อกระแสน้ำเนื่องจากน้ำชั้นน้ำลงไหลผ่านสิ่งกีดขวางใต้น้ำ เช่น แนวโขดหินใต้น้ำ ภูเขาใต้น้ำ หรือ ไหล่ทวีป คลื่นชนิดนี้มีความสำคัญในการเป็นกลไกในการถ่ายโอนโมเมนตัมและพลังงานในมหาสมุทร และยังอาจก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำบริเวณทะเลชายฝั่งอีกด้วย จากการตรวจวัดโดยการวัดโดยตรงในภาคสนามและเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลที่ผ่านมาพบคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่มีแอมพลิจูดสูงและระยะเวลาสั้นปรากฏขึ้นในทะเลอันดามัน

ได้ทำการตรวจวัดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่สู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันระหว่างฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในปี พ.ศ. 2550 และ 2551 โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเครื่องวัดกระแสน้ำ ผลการตรวจวัดพบคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดกดลงมีแอมพลิจูดไม่เกิน 70 เมตรและความเร็วกระแสน้ำในแนวราบไม่เกิน 1.33 เมตรต่อวินาที ทิศทางของความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในแนวราบแสดงให้เห็นว่าคลื่นส่วนใหญ่ที่ปรากฏขึ้นในบริเวณนี้อาจเกิดมาจากภูเขาใต้น้ำใกล้บริเวณ $8^{\circ} 50'$ เหนือ ลองจิจูด $94^{\circ} 56'$ ในทะเลอันดามัน และโอกาสการปรากฏขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำเพิ่มขึ้นตามพิสัยของน้ำชั้นน้ำลง นอกจากนี้ยังตรวจพบการเปลี่ยนแปลงความเข้มของเสียงสะท้อนซึ่งทำให้คาดการณ์ว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนที่พื้นท้องทะเล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเลลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเลลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 

ปีการศึกษา 2551



#4972275023 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS : INTERNAL SOLITARY WAVE / SIMILAN ISLANDS / ANDAMAN SEA

CHARLIE KRONGSAKSIRI : INTERNAL SOLITARY WAVE IN THE WESTERN COASTS OF SIMILAN ISLANDS. ADVISOR : ASST. PROF. PRAMOT SOJISUPORN, Ph.D., 54 pp.

Internal solitary wave, a non-linear wave, is generated when the interface between layers due to density stratification disturbed. The layer disturbance is caused by tidal current passing over shallow underwater obstacles such as a sill, seamount or shelf break. Internal solitary wave is a significant mechanism for the transport of momentum and energy within the ocean, and may cause the resuspension of bottom sediments in the coastal sea. In previous studies, internal solitary waves with large amplitude and short duration have been observed in the Andaman Sea by direct field measurement or remote sensing techniques.

Observations of internal solitary waves propagating onto the western coasts of Similan islands were carried out during the northeast monsoon season of the year 2007 and 2008 by using temperature recorders and Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP). Internal solitary waves of depression type with amplitudes and horizontal velocities up to 70 m and 1.33 ms⁻¹, respectively, were discovered. Direction of such currents suggested that most of the waves were generated from the sills near 8° 50'N 94°56'E in the Andaman Sea. The probability of their occurrence increased with tidal range. The analyses of echo intensity variability also suggest that internal solitary wave was the cause of resuspension of bottom sediments.

Department : MARINE SCIENCE..... Student's Signature 
Field of Study : MARINE SCIENCE..... Advisor's Signature 
Academic Year : 2008.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชจิศุภร และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ดร. สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และนักวิจัยจากกลุ่มงานสมุทรศาสตร์และสิ่งแวดล้อมทางทะเล สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน Professor Claudio Richter, Ph.D. จาก Center for Tropical Marine Ecology, University of Bremen สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ และ Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้เขียนต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จอมขวัญ ประยูรเวช ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และอาจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการทำงานวิจัยเสมอมา สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของผู้เขียน ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านและเป็นกำลังใจตลอดมา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คลื่นเดี่ยว.....	3
2.2 คลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	3
2.3 การตรวจวัดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในทะเลอันดามัน.....	7
3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	11
3.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม.....	11
3.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	12
3.3 การคำนวณโอกาสการปรากฏของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	14
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	15
4.1 การปรากฏของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	15
4.2 แหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	23
4.3 ผลกระทบของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำ.....	25
4.4 โอกาสการปรากฏของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ.....	26
5 สรุปผลการศึกษา.....	28

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	29
ภาคผนวก.....	31
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	54



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ระดับความลึกที่ติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิ.....	12
4.1	ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวได้นำปรากฏในแต่ละช่วงพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงที่จุด ตรวจวัดที่ 1.....	27



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (ดัดแปลงจาก Inall et al., 2001).....	6
2.2	คลื่นเดี่ยวใต้น้ำ กระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำและคลื่นเดี่ยวผิวน้ำ (Osborne and Burch, 1980).....	7
2.3	คลื่นเดี่ยวใต้น้ำในวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่ละติจูด $6^{\circ} 53'$ เหนือและลอง ติจูด $97^{\circ} 4'$ ตะวันตก (Osborne and Burch, 1980).....	8
2.4	กลุ่มคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่ละติจูด $6^{\circ} 53'$ เหนือและ ลองติจูด $97^{\circ} 4'$ ตะวันตก (Osborne and Burch, 1980).....	8
2.5	กลุ่มคลื่นใต้น้ำ (ในแถบดำ) และจุดที่ก่อกำเนิดคลื่นใต้น้ำ 3 จุด อันได้แก่ จุด A B และ C (Alper et al., 1997).....	10
2.6	อันตรกิริยาระหว่างกลุ่มคลื่นใต้น้ำกับไหลทวีปบริเวณด้านตะวันตกของ คาบสมุทรมาลาญ (Alper et al., 1997).....	10
3.1	จุดตรวจวัดทั้ง 4 จุด (กากบาท) ในบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน โดยตัวเลขแสดงความลึก (เมตร).....	11
3.2	ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำและเครื่องบันทึกอุณหภูมิ.....	12
4.1ก	คอนทัวร์อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำใน แนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 2.40 น. ถึง 4.10 น. (ช่วงน้ำเกิด) ที่จุดตรวจวัดที่ 1.....	16
4.1ข	คอนทัวร์ความเข้มเสียงสะท้อน (count) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็ว กระแสน้ำในแนวตั้ง (เซนติเมตรต่อวินาที) ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 2.40 น. ถึง 4.10 น. (ช่วงน้ำเกิด) ที่จุดตรวจวัดที่ 1.....	16
4.2	คอนทัวร์อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำใน แนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 3.40 น. ถึง 5.10 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 2.....	17
4.3	โพรไฟล์อุณหภูมิ (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 16.30 น ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1.....	18

รูปที่	หน้า	
4.4	โพรไฟล์อุณหภูมิจาก (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2551 เวลา 16.30 น. ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1.....	18
4.5	คอนทัวร์อุณหภูมิจาก (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เวลา 7.00 น. ถึง 20.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 1.....	20
4.6	คอนทัวร์อุณหภูมิจาก (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 20.00 น. ถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 9.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 1.....	20
4.7	คอนทัวร์อุณหภูมิจาก (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 3.00 น. ถึง 16.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 2.....	21
4.8	โพรไฟล์อุณหภูมิจาก (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 15.00 น. ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 2.....	22
4.9	การแจกแจงความถี่ของกระแสน้ำชั้นล่างเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง.....	23
4.10	แผนที่ทะเลอันดามัน (ดัดแปลงจาก Global Ocean Associates, 2002) เส้นตรงแสดงขอบเขตของทิศทางกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่สู่จุดตรวจวัดที่ 1 โดยที่จุด A, B และ C เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นตามผลการศึกษาของ Alper et al. (1997).....	23
4.11	ความเข้มเสียงสะท้อนกับแอมพลิจูดของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง.....	24
4.12	ความเข้มเสียงสะท้อนกับความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง.....	25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (Internal solitary wave) เป็นคลื่นที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น (non-linear wave) เกิดขึ้นใต้น้ำเมื่อมีการรบกวนบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นน้ำซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเลในแนวตั้งบริเวณทะเลชายฝั่งหรือมหาสมุทร เชื่อกันว่าการรบกวนรอยต่อระหว่างชั้นน้ำเกิดจากกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงปะทะสิ่งกีดขวางใต้น้ำ เช่น แนวโขดหินใต้น้ำ (sill) ภูเขาใต้น้ำ (seamount) (Hyder et al., 2005; Inall et al., 2001; and Susanto et al., 2005)

การเคลื่อนที่ของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในมหาสมุทรมันเป็นกระบวนการสำคัญหนึ่งในการถ่ายทอดพลังงานและโมเมนตัมในมหาสมุทร (Osborne and Burch, 1980) อีกทั้งเป็นที่เกรงกันว่าการปรากฏขึ้นของคลื่นชนิดนี้ในขณะปฏิบัติงานขุดเจาะน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติจะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากคลื่นชนิดนี้จะทำให้เกิดกระแสน้ำในแนวราบความเร็วสูงซึ่งอาจส่งผลให้ท่อขุดเจาะน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติแตกได้ (Osborne and Burch, 1980; and Hyder et al., 2005) นอกจากนี้กระแสน้ำเนื่องจากคลื่นดังกล่าวยังปะปนกับกระแสน้ำที่แท้จริงส่งผลกระทบต่อการศึกษาห้วงข้อมูลกระแสน้ำจากการตรวจวัดอีกด้วย

หมู่เกาะสิมิลันตั้งอยู่ในบริเวณไหล่ทวีปติดชายฝั่งตะวันตกของจังหวัดพังงา ประเทศไทย โดยเรียงตัวตามแนวทิศเหนือใต้ในทะเลอันดามัน ประกอบด้วยเกาะจำนวน 9 เกาะ อันได้แก่ เกาะหูยง เกาะบางู เกาะสิมิลัน เกาะปายู เกาะเมียง เกาะปาหยัน เกาะปายัง เกาะเมือง และสวนปลาไหล (เกาะห้า) ซึ่งจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล (remote sensing) พบว่ามีคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่ก่อตัวขึ้นในทะเลอันดามัน และเคลื่อนตัวเข้าสู่แนวชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน และคาดการณ์กันว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณชายฝั่งจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ (Quaresma et al., 2007) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณนี้ อีกทั้งกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นชนิดนี้ยังอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของสัตว์ทะเลบางชนิด (Osborne and Burch, 1980) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาพฤติกรรมของคลื่นชนิดนี้บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีการศึกษาพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำโดยการตรวจวัดในบริเวณนี้อย่างละเอียดมาก่อน เพราะฉะนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาอย่างละเอียดครั้งแรก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เกิดขึ้นในทะเลอันดามันและเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันโดยการตรวจวัดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถอธิบายพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณหมู่เกาะสิมิลัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่นเดี่ยว

คลื่นเดี่ยว (solitary wave) คือคลื่นที่ยังคงรูปร่างและความเร็วหลังจากที่คลื่นชนกับคลื่นเดี่ยวลูกอื่น (Osborne and Burch, 1980) โดยที่คลื่นชนิดนี้มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น กล่าวคือคลื่นชนิดนี้จะประกอบด้วยสันคลื่นหรือท้องคลื่นเพียงอันใดอันหนึ่งเท่านั้น ซึ่งคลื่นชนิดนี้ปรากฏขึ้นในหลายระบบในธรรมชาติ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ในผลึกสัณฐาน (crystal lattice) กลุ่มของโฟนอน (phonon) ในผลึกไม่เชิงเส้นที่อุดมหมุมิต่ำ

2.2 คลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำเป็นคลื่นใต้น้ำ (internal wave) ชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นและยังสามารถคงรูปร่างและความเร็วหลังจากที่คลื่นชนกับคลื่นเดี่ยวใต้น้ำลูกอื่นตามคุณสมบัติของคลื่นเดี่ยว นอกจากนี้คลื่นชนิดนี้ยังมีแอมพลิจูดสูง (ตั้งแต่ไม่กี่เมตรไปจนถึงหลายสิบลเมตร) และมีระยะเวลา (duration) หรือคาบ (period) สั้น (Quaresma et al., 2007)

การเกิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำนั้นยังไม่มีทฤษฎีใดที่สามารถอธิบายได้ แต่เชื่อกันว่าคลื่นชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อกระแสน้ำเนื่องจากน้ำชั้นน้ำลงไหลปะทะเหนือสิ่งกีดขวางใต้น้ำที่มีความชันที่เหมาะสม เช่น ภูเขาใต้น้ำ ซึ่งมักเกิดขึ้นในบริเวณที่มีการแบ่งชั้นของน้ำเป็น 2 ชั้นเนื่องจากความหนาแน่น ทำให้เกิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำเคลื่อนที่ไปตามรอยต่อที่แบ่งระหว่างชั้นน้ำซึ่งก็คือชั้น pycnocline ซึ่งเป็นชั้นที่กั้นระหว่างน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างในมหาสมุทร (Susanto et al., 2005)

การอธิบายพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่ในมหาสมุทรมันจำเป็นต้องอธิบายในเชิงของคณิตศาสตร์ โดยเริ่มจากแบบจำลองของของไหลในมหาสมุทรซึ่งน้ำแบ่งเป็น 2 ชั้นโดยมวลน้ำไม่มีการหมุน (two-layer non-rotating ocean model) (Jeans and Sherwin, 2001)

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma \eta^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \beta \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} = 0 \quad (2.1)$$

เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายจึงเขียนสมการที่ (2.1) ให้อยู่ในรูปตัวห้อยแสดงถึงการหาอนุพันธ์ฟังก์ชัน η เทียบกับ x และ t ดังสมการที่ (2.2)

$$\eta_t + c_0 \eta_x + \alpha \eta \eta_x - \gamma \eta^2 \eta_x + \beta \eta_{xxx} = 0 \quad (2.2)$$

โดยที่ x คือระยะทาง

t คือเวลา

- η คือการกระจัด (displacement) ของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ
 c_0 คือความเร็วของคลื่นใต้น้ำเชิงเส้น (linear internal wave)
 α คือสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นกำลังสอง (quadratic non-linear coefficient)
 γ คือสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นกำลังสาม (cubic non-linear coefficient)
 β คือสัมประสิทธิ์การกระจาย (dispersive coefficient)

ซึ่งความเร็วของคลื่นใต้น้ำเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ

$$c_0 = \sqrt{g' h_e} \quad (2.3)$$

โดยที่ g' คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ถูกลดทอน (reduced gravity) มีค่าเท่ากับ

$$g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (2.4)$$

โดยที่ g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ρ คือความหนาแน่นเฉลี่ย

$\Delta\rho$ คือความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำ 2 ชั้น

และ h_e คือความลึกเทียบเท่า (equivalent depth) มีค่าเท่ากับ

$$h_e = \frac{h_1 h_2}{h} \quad (2.5)$$

โดยที่ h_1 คือความลึกของน้ำชั้นบน

h_2 คือความลึกของน้ำชั้นล่าง

h คือความลึกของน้ำทั้งหมด

ในกรณีที่การกระจัดของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความลึกของน้ำ ($\eta \ll h$) และความลึกของน้ำทั้ง 2 ชั้นไม่เท่ากัน ($h_1 \neq h_2$) ทำให้สามารถตัดพจน์ไม่เชิงเส้นกำลังสาม ($\gamma\eta^2\eta_x$) ที่ได้จากสมการที่ (2.2) จะถูกลดรูปเป็น

$$\eta_t + c_0\eta_x + \alpha\eta\eta_x + \beta\eta_{xxx} = 0 \quad (2.6)$$

สมการที่ (2.6) ถูกเรียกว่าสมการ Korteweg de Vries (KdV) พจน์ไม่เชิงเส้นกำลังสอง ($\alpha\eta\eta_x$) และพจน์การกระจาย ($\beta\eta_{xxx}$) จะต้องสมดุลกัน ซึ่งในความหมายเชิงกายภาพ (physical meaning) หมายถึงแรงยึดติดไม่เชิงเส้น (non-linear cohesive force) และแรงกระจายเชิงเส้น (linear dispersive force) ต้องสมดุลกัน (Osborne and Burch, 1980) ในของไหลจึงจะทำให้คลื่นเดี่ยวใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางไปได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นกำลังสองและสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ

$$\alpha = -\frac{3c_0}{2} \left(\frac{h_2 - h_1}{h_2 h_1} \right) \quad (2.7)$$

$$\beta = \frac{c_0 h_2 h_1}{6} \quad (2.8)$$

คำตอบเชิงวิเคราะห์ (analytical solution) ของสมการที่ (2.6) คือ

$$\eta(x,t) = \eta_0 \operatorname{sech}^2 \left[\frac{(x-ct)}{L} \right] \quad (2.9)$$

โดยที่ η_0 คือการกระจัดสูงสุดของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

c คือความเร็วของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

L คือความยาวเฉพาะของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (characteristic length)

เนื่องจากในมหาสมุทรน้ำชั้นล่างหนากว่าชั้นบนเพราะฉะนั้นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูป

$$\eta(x,t) = -\eta_0 \operatorname{sech}^2 \left[\frac{(x-ct)}{L} \right] \quad (2.10)$$

ซึ่งความเร็วของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำมีค่าเท่ากับ

$$c = c_0 \left(1 - \frac{\alpha \eta_0}{3c_0} \right) \quad (2.11)$$

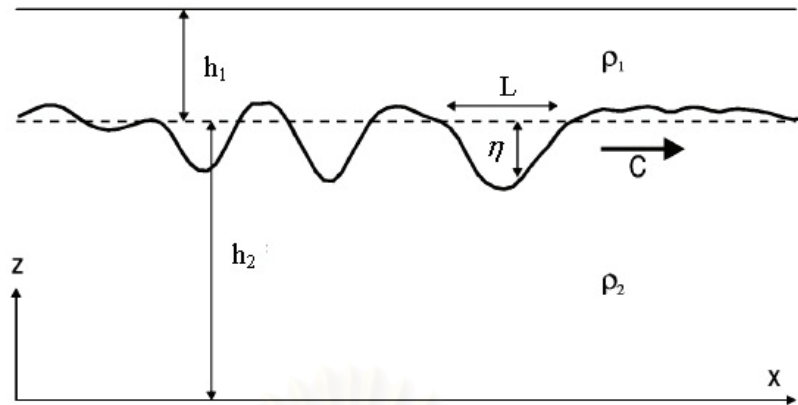
จากสมการ (2.3), (2.4) และ (2.5) จะได้ความเร็วของคลื่นใต้น้ำเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ

$$c_0 = \left(\frac{h_1 h_2 \Delta \rho g}{\rho (h_1 + h_2)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

ความยาวเฉพาะของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำมีค่าเท่ากับ

$$L = \left(-\frac{12\beta}{\alpha \eta_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

ลักษณะของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำขณะเคลื่อนที่ไปตามรอยต่อระหว่างชั้นน้ำแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยที่สมการ KdV ได้ถูกนำมาอธิบายพฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในบริเวณที่น้ำตื้น ($h/L \ll 1$) และ $\eta \ll h$ (Osborne and Burch, 1980; Hyder et al., 2005; Jeans and Sherwin, 2001; Inall et al., 2001; and Susanto et al., 2005)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (ดัดแปลงจาก Inall et al., 2001)

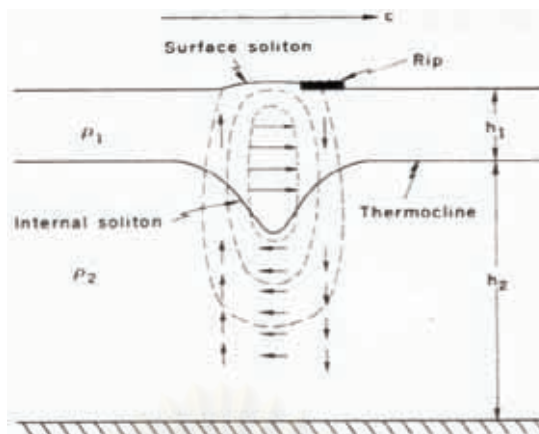
จากการศึกษาทางทฤษฎีของ Osborne and Burch (1980) โดยอาศัยสมการ KdV สามารถหาความเร็วของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำแนวราบในทิศทางตะวันออก-ตกของน้ำชั้นบน

$$U_{upper}(x, t) = \frac{c_0 \eta_0}{h_2} \operatorname{sech}^2 \left[\frac{(x - ct)}{L} \right] \quad (2.14)$$

และชั้นล่าง

$$U_{lower}(x, t) = -\frac{c_0 \eta_0}{h_1} \operatorname{sech}^2 \left[\frac{(x - ct)}{L} \right] \quad (2.15)$$

โดยที่ความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นชนิดนี้จะเป็นค่าคงที่ที่ไม่มีการลดทอนตามความลึก ซึ่งกระแสน้ำแนวราบในทิศทางตะวันออก-ตกของน้ำชั้นบนมีทิศเข้าสู่ชายฝั่งและมีทิศตรงข้ามกับน้ำชั้นล่างโดยที่ชั้นเทอร์โมไคลน์ (thermocline) ซึ่งเป็นชั้นที่กั้นระหว่างน้ำชั้นบนและล่างถูกกดลง หรือเรียกคลื่นชนิดว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดกดลง (internal soliton of depression) (รูปที่ 2.2) ในกรณีที่น้ำชั้นล่างหนากว่าน้ำชั้นบนในบริเวณที่เกิดคลื่น อย่างไรก็ตามเมื่อคลื่นเดี่ยวใต้น้ำเคลื่อนที่สู่บริเวณน้ำตื้นการแบ่งชั้นของกระแสน้ำของน้ำชั้นบนอาจจะมีค่ามากกว่าน้ำชั้นล่างได้โดยที่ยังคงไว้ซึ่งการกดลงของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (Osborne and Burch, 1980) ในขณะเดียวกันหากคลื่นชนิดนี้เกิดขึ้นในบริเวณที่น้ำชั้นบนมีความหนากว่าน้ำชั้นล่าง ชั้น thermocline จะมีลักษณะถูกยกขึ้น (elevation) หรือเรียกว่าการยกขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (internal soliton of elevation) (Hyder et al., 2005) นอกจากนั้นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำยังทำให้เกิดคลื่นเดี่ยวผิวน้ำ (surface solitary wave) อีกด้วย

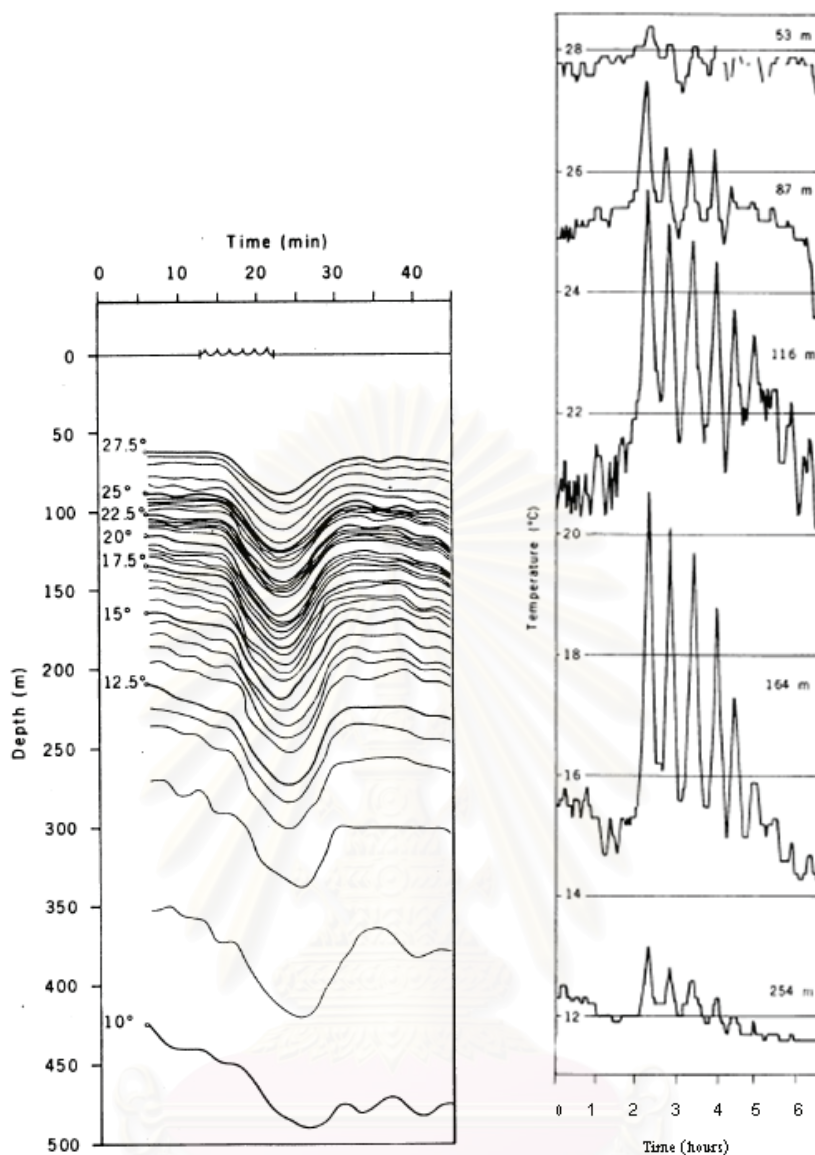


รูปที่ 2.2 คลื่นเดี่ยวใต้น้ำ กระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำและคลื่นเดี่ยวผิวน้ำ
(Osborne and Burch, 1980)

2.3 การตรวจวัดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในทะเลอันดามัน

2.3.1 การตรวจวัดโดยการสำรวจภาคสนาม

Osborne and Burch (1980) ได้ตรวจพบคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในทะเลอันดามันได้จากการสำรวจภาคสนามบริเวณที่ห่างจากตอนเหนือสุดของเกาะสุมาตราทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ประมาณ 200 กิโลเมตร โดยตรวจพบกลุ่มคลื่นใต้น้ำเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเข้าสู่ชายฝั่ง ซึ่งการศึกษาค้นคว้าครั้งนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นชนิดนี้ก่อนที่จะมีการปฏิบัติการขุดเจาะน้ำมัน จากการสำรวจพบว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำแต่ละลูกมีระยะเวลาประมาณ 10 นาที โดยมีแอมพลิจูดของคลื่นสูงสุดประมาณ 60 เมตร (รูปที่ 2.3) โดยวัดจากการกระจัดของเส้นไอโซเทิร์ม (isotherm) ซึ่งเป็นการหย่อนเครื่องบันทึกความนำไฟฟ้า-อุณหภูมิ-ความลึก (Conductivity-Temperature-Depth recorder) ทุกๆ 90 วินาที และได้ตรวจพบกลุ่มคลื่นประกอบด้วยคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ 5-6 ลูก (รูปที่ 2.4) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาที่หลายระดับความลึกซึ่งตอบสนองกับการปรากฏของกลุ่มคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ โดยกลุ่มคลื่นจะปรากฏขึ้นโดยเฉลี่ยทุกๆ 12 ชั่วโมง 26 นาที ตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงชนิดน้ำคู่ ซึ่งในกลุ่มคลื่นเดี่ยวใต้น้ำแต่ละกลุ่ม คลื่นแต่ละลูกมีการกระจายตัวตามแอมพลิจูดของคลื่น กล่าวคือคลื่นที่มีแอมพลิจูดมากกว่าจะนำหน้าคลื่นที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่า และได้คำนวณระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำกับบริเวณที่ตรวจวัดตามกฎของ Gardner et. al. (1967) มีค่าประมาณ 300 กิโลเมตร ซึ่งคาดการณ์บริเวณแหล่งกำเนิดคลื่นว่าอยู่ในบริเวณหมู่เกาะนิโคบาร์จนถึงส่วนเหนือสุดของเกาะสุมาตรา



รูปที่ 2.3 (ซ้าย) คลื่นเดี่ยวใต้น้ำในวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่ละติจูด $6^{\circ} 53'$ เหนือและลองจิจูด $97^{\circ} 4'$ ตะวันตก (Osborne and Burch, 1980)

รูปที่ 2.4 (ขวา) กลุ่มคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่ละติจูด $6^{\circ} 53'$ เหนือและลองจิจูด $97^{\circ} 4'$ ตะวันตก (Osborne and Burch, 1980)

ในปี พ.ศ. 2541 ได้มีการตรวจวัดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในทะเลอันดามันเหนือโดย Hyder et. al. (2005) บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของส่วนเหนือสุดของหมู่เกาะอันดามันซึ่งมีความลึก 440 เมตร ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำจะปรากฏขึ้นเมื่อพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลง (tidal range) ณ จุดที่สำรวจเกิน 1.5 เมตรและปรากฏขึ้นหลังน้ำขึ้นสูงสุดประมาณ 4.5 ถึง 7.5 ชั่วโมงและความเร็วของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำของน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างมีความเร็วสูงสุด

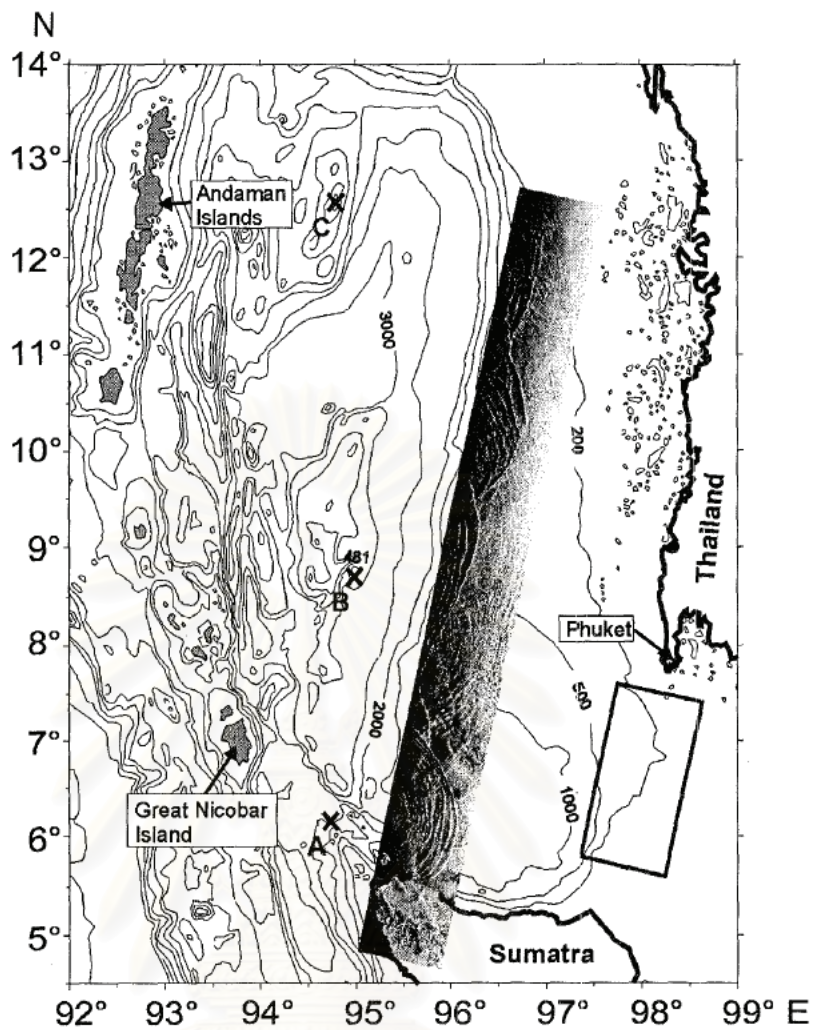
เท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาทีและ 0.4 เมตรต่อวินาทีในทิศทางเข้าสู่ชายฝั่งและออกจากชายฝั่งตามลำดับ

2.2.3 การตรวจวัดจากภาพถ่ายดาวเทียม

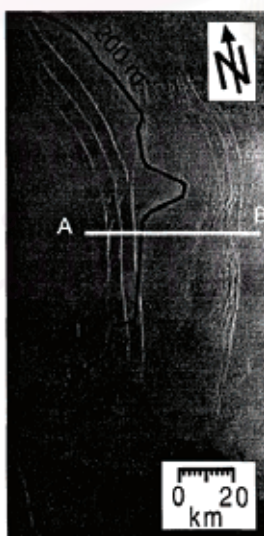
การวิเคราะห์ภาพถ่ายเรดาร์ในทะเลอันดามันเพื่อศึกษาคุณลักษณะของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ โดย Alper et al. (1997) โดยแถบสีดำในรูปที่ 2.5 แสดงกลุ่มคลื่นใต้น้ำ (internal wave packet) แถบดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 900 กิโลเมตร \times 100 กิโลเมตร โดยภาพถ่ายดังกล่าวได้มาจากดาวเทียม ERS-2 ในวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 เวลา 3.58 น. ถึง 3.60 น. นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรดาร์ยังได้ทำนายว่าจุดที่ก่อให้เกิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำมีอย่างน้อย 3 จุด (รูปที่ 2.5) ได้แก่

- จุด A: ละติจูด $6^{\circ} 10'$ เหนือและลองจิจูด $95^{\circ} 0'$ ตะวันออก ซึ่งรอบๆจุดนี้เป็นแนวปะการังน้ำตื้น (ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 30 เมตร) โดยอยู่ใกล้แนวที่มีความลึก 1 กิโลเมตร
- จุด B: ละติจูด $8^{\circ} 50'$ เหนือและลองจิจูด $94^{\circ} 56'$ ตะวันออก ที่ความลึก 481 เมตร , ละติจูด $9^{\circ} 04'$ เหนือและลองจิจูด $94^{\circ} 34'$ E ที่ความลึก 671 เมตร และละติจูด $8^{\circ} 42'$ เหนือและลองจิจูด $94^{\circ} 30'$ E ที่ความลึก 680 เมตร ซึ่งจุดเหล่านี้เป็นภูเขาใต้น้ำโดยรอบๆจุดเหล่านี้มีความลึกมากกว่า 2.5 กิโลเมตร
- จุด C: ละติจูด $12^{\circ} 34'$ เหนือและลองจิจูด $94^{\circ} 40'$ E ซึ่งจุดนี้เป็นโขดหินน้ำตื้น ซึ่งอยู่เหนือพื้นท้องทะเล 1800 เมตรถึง 2500 เมตร (ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 88 เมตร)

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปฏิกริยาระหว่างกลุ่มคลื่นใต้น้ำที่เคลื่อนที่สู่ไหล่ทวีปบริเวณด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายูแสดงในรูปที่ 2.6 (ครอบคลุมพื้นที่ในกรอบในรูปที่ 2.5) ภาพถ่ายครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 200 กิโลเมตร \times 100 กิโลเมตร ซึ่งเส้นความลึกกึ่งกลางรูปแสดงความลึก 200 เมตรซึ่งเป็นบริเวณไหล่ทวีปด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายู โดยภาพถ่ายดังกล่าวได้มาจากดาวเทียม ERS-2 ในวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2539 เวลา 3.51 น. จากภาพจะเห็นกลุ่มคลื่นใต้น้ำ 2 กลุ่มซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน แต่เกิดต่างวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงกัน 1 รอบ โดยกลุ่มคลื่นที่อยู่ด้านตะวันออกของเส้นความลึก 200 เมตรถูกรบกวนจากความตื้นของพื้นท้องทะเลในบริเวณนี้ ทำให้ความเร็วของกลุ่มคลื่นลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกลุ่มคลื่น และระยะห่างระหว่างคลื่นแต่ละลูกในกลุ่มคลื่นก็ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามกลุ่มคลื่นก็ยังคงสภาพการลดลงของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ



รูปที่ 2.5 กลุ่มคลื่นใต้น้ำ (ในแถบดำ) และจุดที่ก่อกำเนิดคลื่นใต้น้ำ 3 จุด อันได้แก่ จุด A B และ C (Alper et al., 1997)



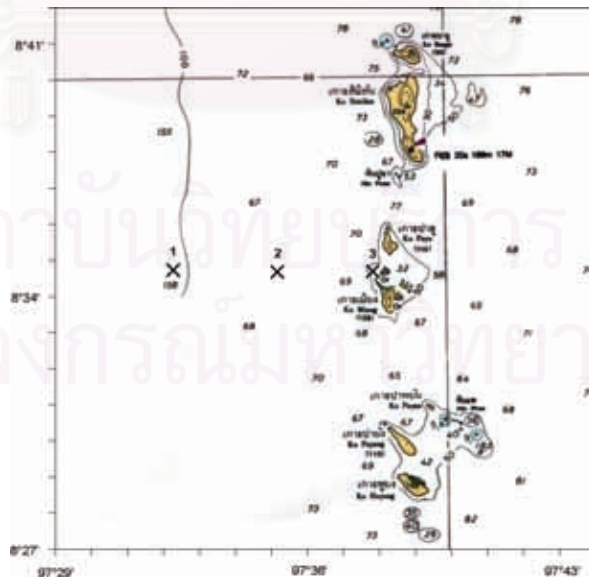
รูปที่ 2.6 อันตรกิริยาระหว่างกลุ่มคลื่นใต้น้ำกับไหล่ทวีปบริเวณด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายู (Alper et al., 1997)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มงานสมุทรศาสตร์และสิ่งแวดล้อมทางทะเล สถาบันวิจัยและทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน จังหวัดภูเก็ต และ Center for Tropical Marine Ecology, University of Bremen โดยทำการติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำแบบ Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Temperature recorder) บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน การเก็บข้อมูลช่วงที่ 1 นั้นติดตั้งเครื่องมือที่จุดตรวจวัดที่ 1, 2 และ 3 (รูปที่ 3.1) ซึ่งมีความลึกประมาณ 148 เมตร, 82 เมตรและ 40 เมตรตามลำดับระหว่างวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2550 และในการเก็บข้อมูลภาคสนามครั้งที่ 2 นั้นทำการติดตั้งเครื่องมือที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1 ซึ่งมีความลึกประมาณ 155 เมตรเพียงจุดเดียวระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เครื่องวัดกระแสน้ำถูกติดตั้งที่ใกล้พื้นท้องน้ำโดยมีเครื่องบันทึกอุณหภูมิติดตั้งตลอดแนวความลึกทุกๆ 10 เมตร (รูปที่ 3.2) เครื่องบันทึกอุณหภูมิถูกติดตั้งที่ระดับความลึกจากพื้นท้องน้ำตามตารางที่ 3.1 โดยที่เครื่องวัดกระแสน้ำและเครื่องบันทึกอุณหภูมิถูกตั้งค่าให้บันทึกข้อมูลความเร็วกระแสน้ำและอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ซึ่งเครื่องวัดกระแสน้ำถูกตั้งค่าให้วัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 8 เมตรตลอดแนวความลึก



รูปที่ 3.1 จุดตรวจวัดทั้ง 4 จุด (กากบาท) บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน โดยตัวเลขแสดงความลึก (เมตร) (ดัดแปลงจากแผนที่ของกรมอุทกศาสตร์ ระบุว่าที่ 307)



รูปที่ 3.2 ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดกระแสและเครื่องบันทึกอุณหภูมิจากทุ่น

ตารางที่ 3.1 ระดับความลึกที่ติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิจากทุ่น

จุดตรวจวัด	ความลึก (เมตร) จากพื้นท้องน้ำที่ติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิจากทุ่น
1	15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 143
2	27, 37, 47, 57, 67, 77
3	20, 30, 40

นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดโปรไฟล์ (profile) อุณหภูมิ ความเค็มและความลึกโดยใช้เครื่อง CTD ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 2 ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 15.00 น. และที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1 ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 16.30 และ ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2551 เวลา 12.30 น.ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

3.2.1 การปรากฏขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

การปรากฏขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำวิเคราะห์จากข้อมูลความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตกโดยมีหลักเกณฑ์คือ มวลน้ำตามแนวตั้งแบ่งเป็น 2 ชั้นโดยที่มวลน้ำชั้นบนมีทิศทางการกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตกอยู่ในทิศตะวันออกและมวลน้ำชั้นล่างมีทิศทางการกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตกอยู่ในทิศตะวันตก

แอมพลิจูดของคลื่นเดี่ยวได้นำวัดได้จากเส้นไอโซเทิร์มที่มีการกระเพื่อมเนื่องจากคลื่นเดี่ยวได้นำมากที่สุด ระยะเวลาของคลื่น (หรือคาบ) วิเคราะห์จากระยะเวลาที่มวลน้ำในแนวตั้งแบ่งเป็น 2 ชั้น และขนาดของความเร็วกระแสน้ำสูงสุดและต่ำสุดในแนวราบเนื่องจากคลื่นชนิดนี้สังเกตจากความเร็วกระแสน้ำขณะเกิดคลื่นที่ระดับความลึกต่ำที่สุด (127 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 1 และ 132 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 2) เนื่องจากคาดว่ากระแสน้ำที่ใกล้พื้นท้องน้ำได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำเนื่องจากลม (wind-induced current) และความหนาแน่น (density-induced current) น้อยที่สุด

คำนวณคาบ Brunt-Väisälä จากสมการ (3.1) (Knauss, 1997) จากข้อมูลโพรไฟล์อุณหภูมิ ความเค็มและความลึกที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 2 ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 15.00 น. และที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1 ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 16.30 และ ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2551 เวลา 12.30 น.

$$T_N = \frac{2\pi}{N} \quad (3.1)$$

โดยที่ N คือความถี่ Brunt-Väisälä คำนวณจากสมการ (3.2)

$$N = (gE)^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

ซึ่ง E คือค่าเสถียรภาพ (stability) คำนวณจากสมการ (3.3)

$$E = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) \quad (3.3)$$

3.2.2 แหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวได้นำ

การวางตัวของบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวได้นำในทะเลอันดามันซึ่งให้กำเนิดคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันพิจารณาจากทิศทางของความเร็วกระแสน้ำสูงสุดเนื่องจากคลื่นชนิดนี้ที่ระดับความลึกต่ำที่สุด (127 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 1 และ 132 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 2) เนื่องจากทิศทางของความเร็วกระแสน้ำชั้นล่างเนื่องจากคลื่นชนิดนี้มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น (สมการที่ 2.15)

3.2.3 การฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำที่คาดว่าเกิดจากคลื่นเดี่ยวได้นำ

การฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำ (resuspension) ที่คาดว่าเกิดจากคลื่นเดี่ยวได้นำสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของเสียงสะท้อนจากมวลน้ำบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำที่ตอบสนองของคลื่นเดี่ยวได้นำแต่ละลูกปรากฏ และสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสะท้อนกับแอมพลิจูดของคลื่นเดี่ยวได้นำ และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงสะท้อนกับ

ความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ เพื่อพิจารณาว่าแอมพลิจูดของคลื่นและความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นมีผลต่อปริมาณการตะกอนที่ฟุ้งกระจายบริเวณพื้นที่ตอไม้หรือไม่

3.3 การคำนวณโอกาสการปรากฏคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

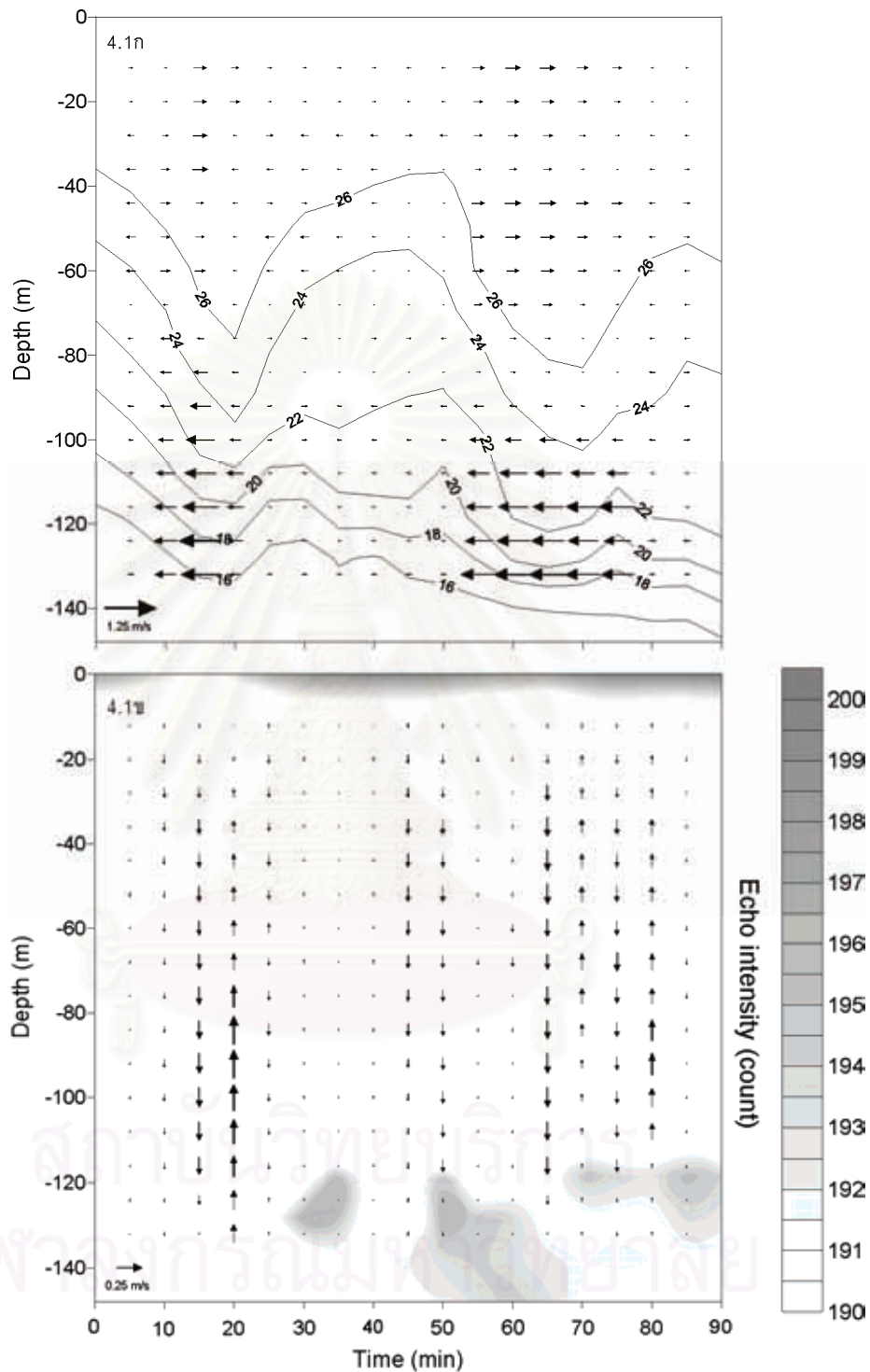
คำนวณความน่าจะเป็นของการปรากฏคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ โดยนับจำนวนครั้งที่ปรากฏคลื่นในแต่ละพิสัยของน้ำขึ้นน้ำที่จุดตรวจวัดที่ 1 โดยตั้งสมมติฐานว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าสู่จุดตรวจวัดที่ 1 มาถึงหลังจากน้ำขึ้นสูงสุดที่จุดตรวจวัดดังกล่าว 59.78 ชั่วโมงซึ่งคำนวณจากผลหารระหว่างระยะเวลาที่คลื่นใช้เคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดคลื่น B (Alper et al., 1997) กับความเร็วของคลื่นเท่ากับ 1.43 เมตรต่อวินาที (Alper et al., 1997) โดยระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่น B กับจุดตรวจวัดที่ 1 ประมาณ 307.77 กิโลเมตร

บทที่ 4

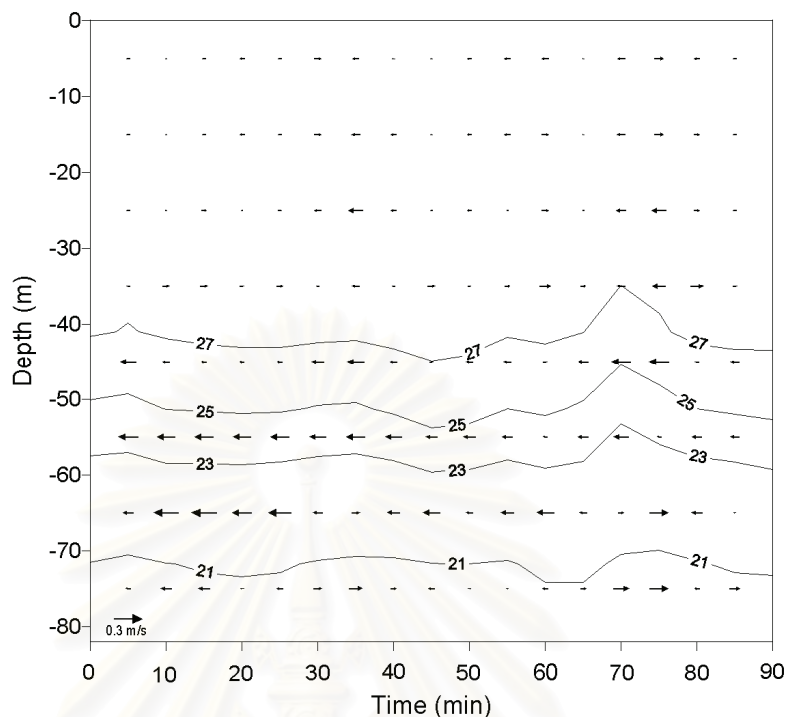
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การปรากฏของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

จากการวิเคราะห์ความเร็วกระแสในแนวทิศตะวันออก-ตก ผลปรากฏว่าพบคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนจากแหล่งกำเนิดคลื่นในทะเลอันดามัน (เขตนํ้าลึก) เข้าสู่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันที่จุดตรวจวัดที่ 1 เพียงจุดเดียว โดยเป็นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดตกลง สังเกตได้จากเส้นคอนทัวร์ของหมุมิถูกกดลง (รูปที่ 4.1ก) โดยที่เส้นไอโซเทิร์มที่ 24 องศาเซลเซียสมีการกดลงมากที่สุด การปรากฏของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดตกลงในบริเวณนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมของ Alper et al. (1997) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อคลื่นเดี่ยวใต้น้ำเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดคลื่นในทะเลอันดามันเข้าสู่ไหล่ทวีปยังคงรักษารูปร่างเดิมของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดตกลง คลื่นดังกล่าวยังเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในแนวราบ (รูปที่ 4.1ก) และแนวตั้ง (รูปที่ 4.1ข) กระแสในแนวราบเนื่องจากคลื่นดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ชั้น กระแสในแนวทิศตะวันออก-ตกของน้ำชั้นบนมีทิศทางไหลเข้าสู่ชายฝั่งไหลสวนทางกับกระแสในแนวทิศตะวันออก-ตกของน้ำชั้นล่างซึ่งมีทิศทางไหลออกจากชายฝั่งซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี โดยที่ความเร็วกระแสน้ำของน้ำทั้ง 2 ชั้นไม่คงที่ตามความลึก อีกทั้งจากรูปที่ 4.1ก จะเห็นได้ว่าคลื่นลูกนำและลูกตาม มีกระแสน้ำชั้นบนบางกว่ากระแสน้ำชั้นล่างและชั้นบนหนากว่ากระแสน้ำชั้นล่างตามลำดับ จากผลดังกล่าวทำให้คาดการณ์ได้ว่าเมื่อคลื่นดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่ในเขตนํ้าลึกนั้นกระแสน้ำชั้นล่างมีความหนากว่ากระแสน้ำชั้นบนเนื่องจากบริเวณที่ก่อให้เกิดคลื่นนั้นมีการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากความหนาแน่นซึ่งน้ำชั้นบนบางกว่าน้ำชั้นล่าง จากนั้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ไหล่ทวีปแล้วคลื่นยังคงพยายามรักษาสภาพของชั้นน้ำเอาไว้ อย่างไรก็ตามความหนาของน้ำชั้นล่างนั้นลดลงตามความลึกขณะเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณไหล่ทวีป และพบว่าคลื่นชนิดนี้ทำให้เกิดกระแสในแนวตั้งโดยแสดงให้เห็นว่ามวลน้ำมีการไหลลงและไหลขึ้น โดยมีความเร็วกระแสน้ำในแนวตั้งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความเร็วกระแสน้ำในแนวราบ จากรูปที่ 4.1ข จะเห็นว่าคลื่นลูกตามทำให้เกิดกระแสในแนวตั้งในทิศไหลลงและไหลขึ้นสลับกันตลอดระยะเวลาการเกิดคลื่น นอกจากนี้ยังคาดว่าคลื่นดังกล่าวมีการแตกตัวไปก่อนที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่จุดตรวจวัดที่ 2 เนื่องจากไม่มีการตรวจพบความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตกเนื่องจากคลื่น (รูปที่ 4.2)



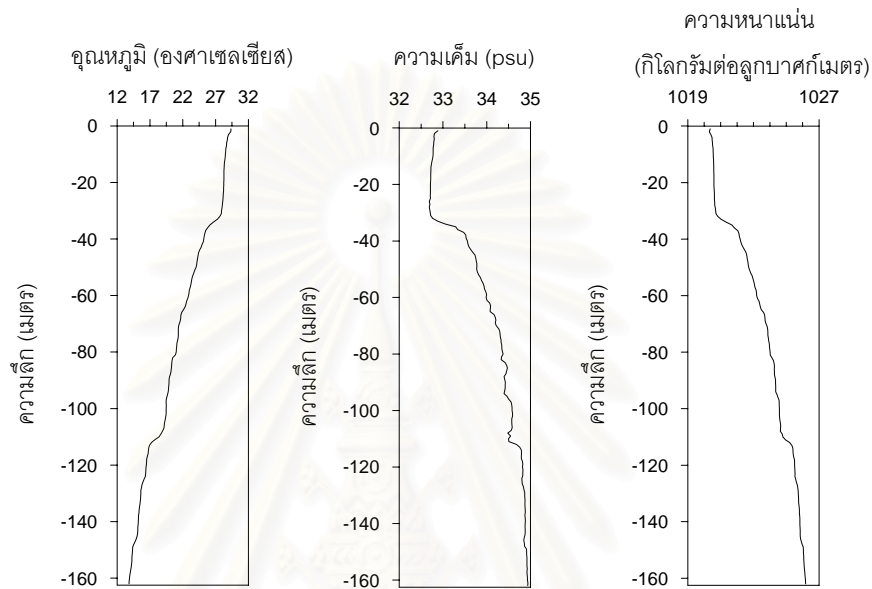
รูปที่ 4.1ก (บน) คอนทัวร์อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็ว กระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) และรูปที่ 4.1ข (ล่าง) คอนทัวร์ความเข้มเสียงสะท้อน (count) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวตั้ง (เซนติเมตรต่อวินาที) ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เวลา 2.40 น. ถึง 4.10 น. (ช่วงน้ำเกิด) ที่จุดตรวจวัดที่ 1



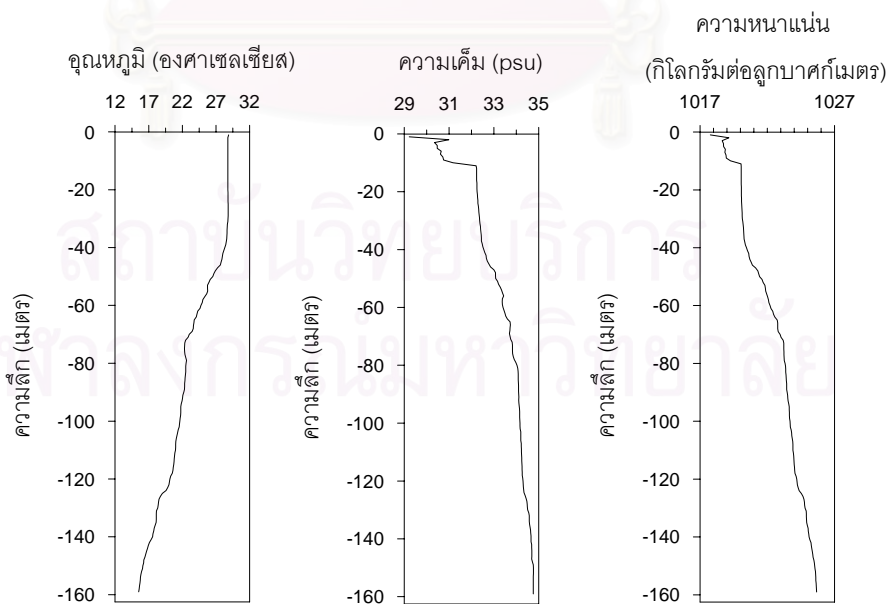
รูปที่ 4.2 คอนทัวร์อุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เวลา 3.40 น. ถึง 5.10 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 2

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนจากแหล่งกำเนิดคลื่นในทะเลอันดามัน (เขตนํ้าลึก) เข้าสู่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันที่ปรากฏขึ้นตลอดการตรวจวัดช่วงที่ 1 และ 2 มีระยะเวลาเฉลี่ยของคลื่นแต่ละลูกมีค่าเท่ากับ 11.38 นาที โดยปรากฏขึ้นของคลื่นแต่ละครั้งโดยเฉลี่ยทุกๆ 12 ชั่วโมง 25 นาทีตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงแบบน้ำคู่ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำสูงสุดและต่ำสุดในแนวราบเนื่องจากคลื่นชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 1.33 และ 0.20 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ (ซึ่งมีอิทธิพลของกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงรวมอยู่ด้วย) โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 เมตรต่อวินาที โดยการตรวจวัดช่วงที่ 1 มีคลื่นปรากฏจำนวนทั้งหมด 39 ลูกใน 10 วัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง และในการตรวจวัดช่วงที่ 2 พบกลุ่มคลื่นเดี่ยวใต้น้ำทั้งหมด 420 ลูกใน 116 วัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นเฉลี่ยที่ตรวจพบในการตรวจวัดช่วงที่ 1 และ 2 เท่ากับ 37.13 และ 33.39 เมตรตามลำดับ ขณะที่ความหนาของน้ำชั้นบนและชั้นล่างเฉลี่ยเท่ากับ 78 และ 70 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 1 และเท่ากับ 91 และ 64 เมตรในการตรวจวัดช่วงที่ 2 ตามลำดับ ความแตกต่างของคุณลักษณะของคลื่นในการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้งอาจมีสาเหตุเนื่องจากสภาพของชั้นน้ำทะเลที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้งนั้นจะอยู่ในช่วงฤดูกาลเดียวกันแต่ก็มีความแตกต่างกันของสภาพชั้นน้ำระหว่างปี สังเกตได้จากโปรไฟล์อุณหภูมิจากความเค็มและความหนาแน่นที่แตกต่าง

กัน (รูปที่ 4.3 และ 4.4) ส่งผลให้พฤติกรรมของคลื่นมีความแตกต่างกันตามไปด้วย นอกจากนี้ ความเร็วกระแสน้ำในแนวราบเนื่องจากคลื่นชนิดนี้เฉลี่ยตามความลึกของน้ำทั้ง 2 ชั้น (ดูข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข) ทำให้คาดการณ์ได้ว่าอาจเกิดการขนส่งมวล (mass transport) ของน้ำชั้นบน (\bar{u}_1) และน้ำชั้นล่าง (\bar{u}_2) ชั้นซึ่งมีทิศทางการสวนทางกันโดยชั้นบนมีทิศเข้าสู่ชายฝั่งและชั้นล่างมีทิศออกนอกชายฝั่ง (Inall et al., 2001)



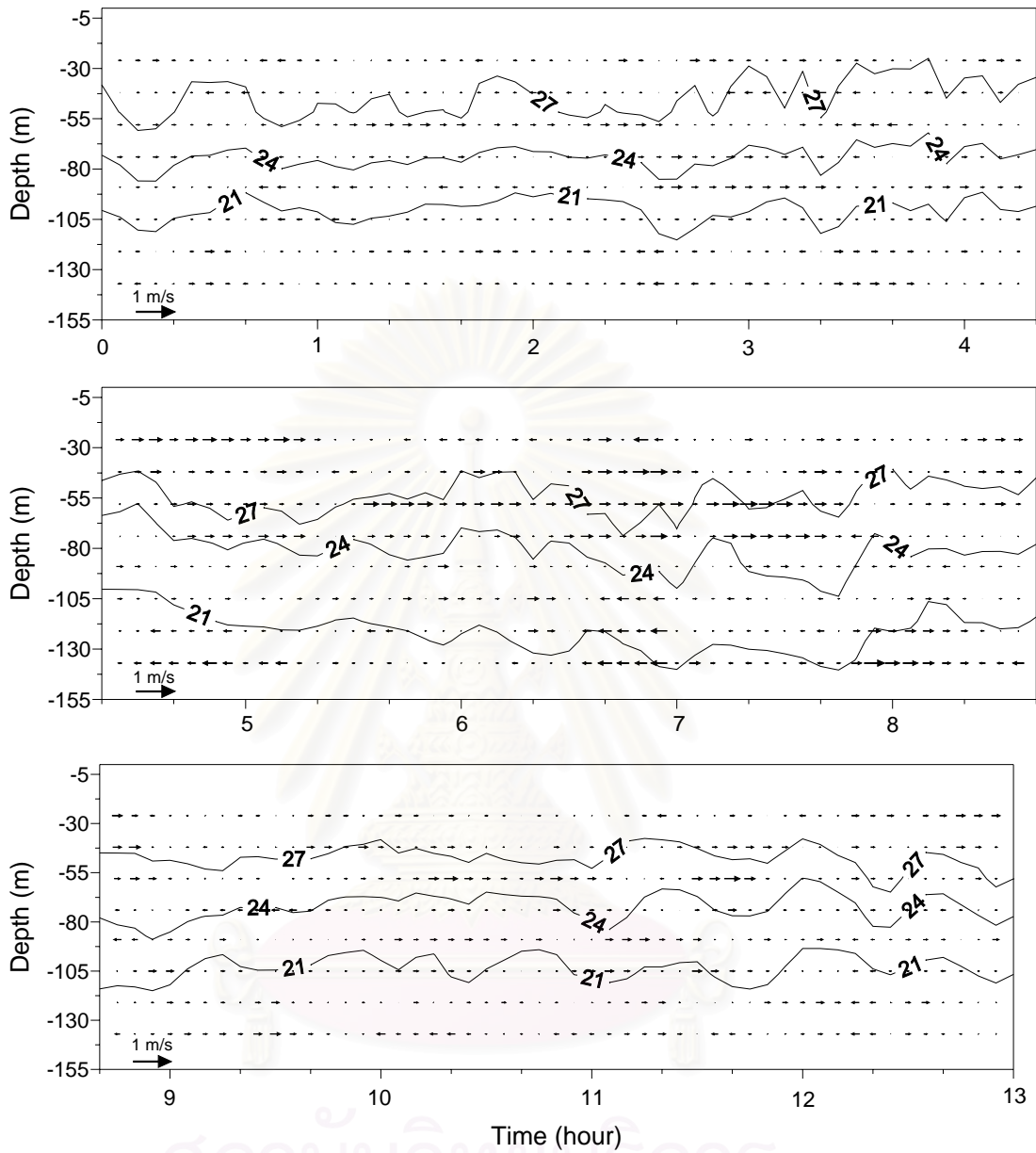
รูปที่ 4.3 โปรไฟล์อุณหภูมิ (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 16.30 น. ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1



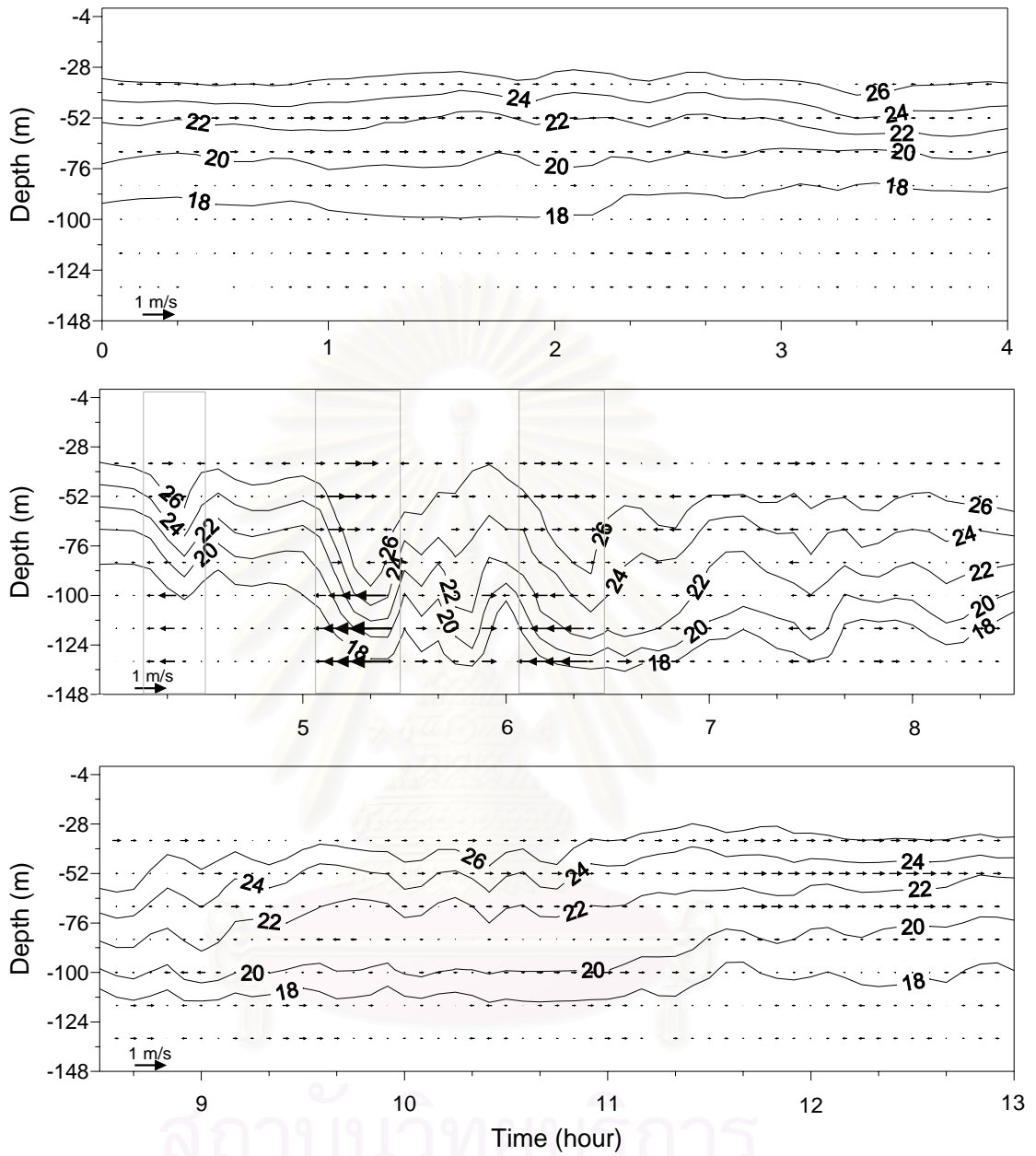
รูปที่ 4.4 โปรไฟล์อุณหภูมิ (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2551 เวลา 12.30 น. ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1

นอกจากนี้ยังพบการกระเพื่อมขึ้นและลงของเส้นไอโซเทิร์มที่จุดตรวจวัดที่ 1 ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้นไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลา และไม่พบกระแสน้ำเนื่องจากการเหนี่ยวนำของคลื่นเดี่ยวได้นำ (รูปที่ 4.5) เปรียบเทียบกับคลื่นที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสน้ำ (รูปที่ 4.6) อีกทั้งคาบ Brunt-Väisälä ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 5.63 นาทีที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 1 ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นการกระเพื่อมเนื่องจากการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากความหนาแน่นในบริเวณดังกล่าว ก็เป็นไปได้ว่าการกระเพื่อมขึ้นและลงของเส้นไอโซเทิร์มดังกล่าวนี้เป็นคลื่นเดี่ยวได้นำทั้งชนิดกดลงและยกขึ้นที่มีสาเหตุมาจาก 2 ประเด็นคือ อาจเกิดจากการแตกตัวของคลื่นบางลูกซึ่งเกิดอันตรกิริยากับความชันของไหล่ทวีป อีกทั้งยังมีแนวโน้มค่อนข้างสอดคล้องกับการศึกษาเชิงตัวเลข (numerical study) ของอันตรกิริยาระหว่างคลื่นเดี่ยวได้นำกับความชันของไหล่ทวีปโดย Saffarinia and Kao (1996) แสดงให้เห็นว่าคลื่นเดี่ยวได้นำแต่ละลูกจะเกิดการแตกตัวก่อให้เกิดคลื่นเดี่ยวได้นำชนิดยกขึ้นในจำนวนเท่าเดิมหรือเพิ่มจำนวนมากขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาเชิงตัวเลขดังกล่าวไม่ได้กำหนดกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวได้นำเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง อีกทั้งเป็นเพียงการจำลองใน 2 มิติซึ่งในสภาพที่แท้จริงในธรรมชาติมีความซับซ้อนของสภาพภูมิศาสตร์ ด้วยสาเหตุเหล่านี้ อาจทำให้การจำลองคลาดเคลื่อนจากปรากฏการณ์ที่แท้จริง อีกประเด็นคืออาจเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงกับความชันของไหล่ทวีป หรือเป็นไปได้ว่ามีการเกิดทั้ง 2 กระบวนการ โดยที่คลื่นเดี่ยวได้นำชนิดกดลงเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงกับความชันของไหล่ทวีป และคลื่นเดี่ยวได้นำชนิดยกขึ้นเกิดจากการแตกตัวของคลื่นบางลูกซึ่งเกิดอันตรกิริยากับความชันของไหล่ทวีป

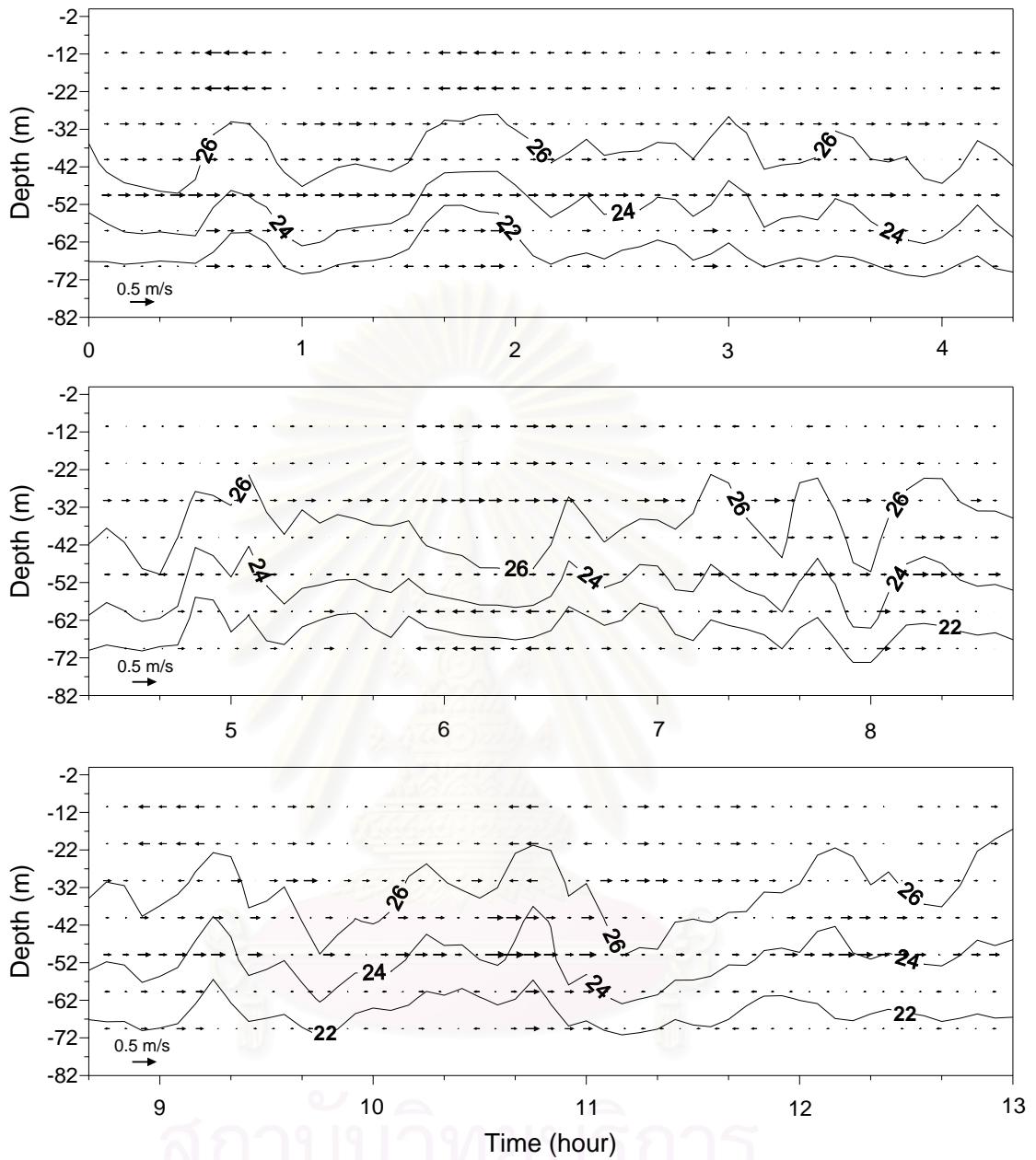
นอกจากนี้ที่จุดตรวจวัดที่ 2 ยังมีการตรวจพบกระเพื่อมขึ้นและลงของเส้นไอโซเทิร์มเช่นเดียวกัน แต่เป็นการปรากฏขึ้นตลอดเวลา แม้กระทั่งช่วงที่ไม่เกิดการปรากฏคลื่นเดี่ยวได้นำที่จุดตรวจวัดที่ 1 (รูปที่ 4.7) ดังนั้นจึงคาดการณ์ว่าไม่น่าจะเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างคลื่นเดี่ยวได้นำกับความชันของไหล่ทวีป และไม่ได้เป็นคลื่นเดี่ยวได้นำที่กำเนิดขึ้นในบริเวณดังกล่าวเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงกับไหล่ทวีปเนื่องจากเกิดขึ้นตลอดเวลาแม้กระทั่งช่วงน้ำลง อาจสันนิษฐานได้ว่ากระเพื่อมขึ้นและลงของเส้นไอโซเทิร์มในบริเวณดังกล่าวนี้เป็น การกระเพื่อมเนื่องจากการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากความหนาแน่นในบริเวณดังกล่าว ซึ่งคาบ Brunt-Väisälä ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 5.06 นาทีที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 2 ซึ่งโพรไฟล์อุณหภูมิ ความเค็ม และความหนาแน่นแสดงดังรูปที่ 4.8 ซ้าย กลาง และขวาตามลำดับ แต่จากการตรวจวัดพบว่าการกระเพื่อมของเส้นไอโซเทิร์มมีระยะเวลาการเกิด เท่ากับ 10-20 นาที อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าเกิดการกระเพื่อมด้วยคาบดังกล่าวก็ไม่อาจตรวจวัดได้เนื่องจากทำการบันทึกอุณหภูมิทุก 5 นาที และที่จุดตรวจวัดที่ 3 เครื่องบันทึกอุณหภูมิเสีย 1 เครื่องจึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดกระเพื่อมของเส้นไอโซเทิร์มที่จุดตรวจวัดดังกล่าว



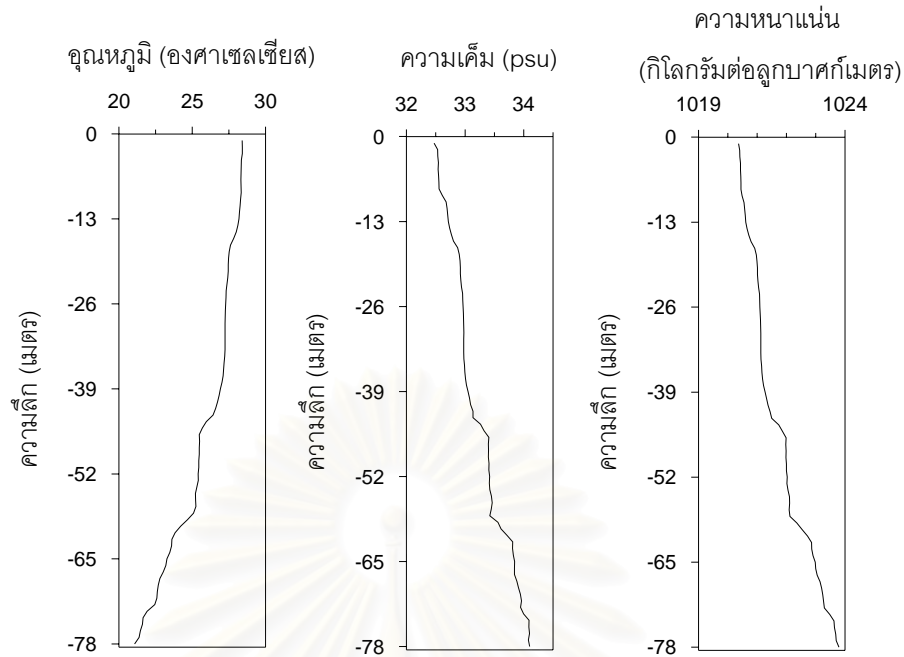
รูปที่ 4.5 คอนทัวร์อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 20.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 1



รูปที่ 4.6 คอนทัวร์ของอนุกรมภูมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เวลา 20.00 น. ถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 1



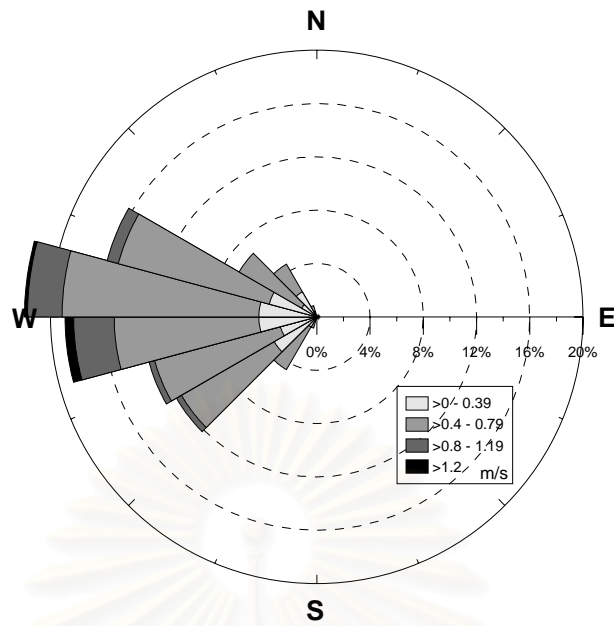
รูปที่ 4.7 คอนทัวร์ลวดหนุมิ (องศาเซลเซียส) ลูกศรแสดงเวกเตอร์ความเร็วกระแสน้ำในแนวทิศตะวันออก-ตก (เมตรต่อวินาที) ในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เวลา 3.00 น. ถึง 16.00 น. ที่จุดตรวจวัดที่ 2



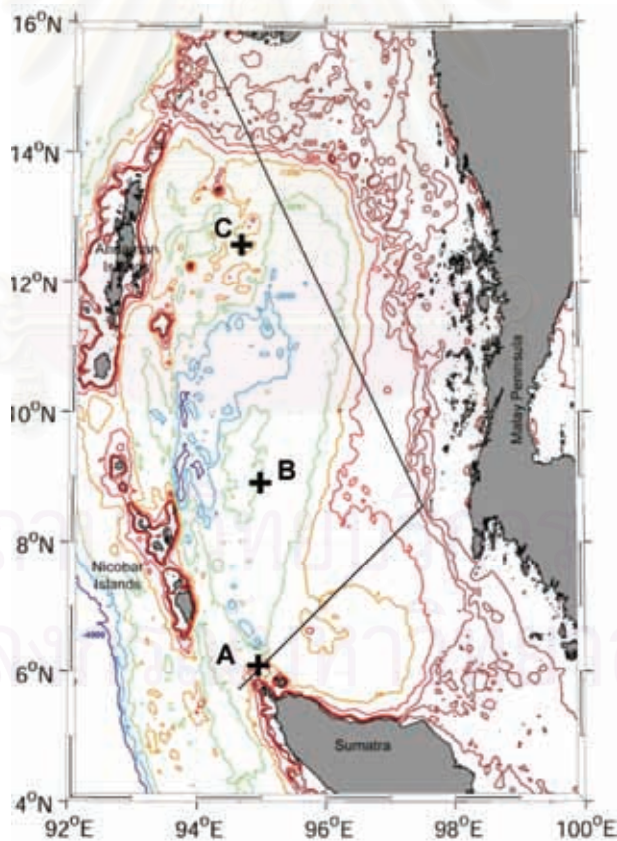
รูปที่ 4.8 โพรไฟล์อุณหภูมิ (ซ้าย) ความเค็ม (กลาง) และความหนาแน่น (ขวา) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เวลา 15.00 น. ที่ใกล้จุดตรวจวัดที่ 2

4.2 แหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

การแจกแจงความถี่ของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ (soliton current pulses distribution frequency) ของน้ำชั้นล่าง (รูปที่ 4.9) ซึ่งกระแสของน้ำชั้นล่างเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วงมีทิศทางอยู่ในช่วง 200.8° ถึง 335.7° อย่างไรก็ตามการวางตัวของแหล่งกำเนิดคลื่นกับจุดตรวจวัดที่ 1 ไม่สามารถอยู่ในช่วง 200.8° ถึง 224.9° ได้เนื่องจากเป็นบริเวณเกาะสุมาตรา ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดเนื่องจากการเบี่ยงเบนของกระแสเนื่องจากคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณไหล่ทวีปซึ่งเป็นเขตน้ำตื้น ดังนั้นถ้าไม่คำนึงถึงการเบี่ยงเบนของกระแสแล้วการวางตัวของแหล่งกำเนิดคลื่นกับจุดตรวจวัดที่ 1 อยู่ในช่วง 224.9° ถึง 335.7° (รูปที่ 4.9) เพราะฉะนั้นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะซิมิเลียนั้นเกิดมาจากหลายแหล่งกำเนิดคลื่น ซึ่งกระแสของน้ำชั้นล่างเนื่องจากคลื่นดังกล่าวครอบคลุมบริเวณที่คาดว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นตามการศึกษาของ Alper et al. (1997) อีกด้วย โดยที่ Alper et al. (1997) คาดการณ์ว่าแหล่งกำเนิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำมีอย่างน้อย 3 บริเวณ ได้แก่ แหล่งกำเนิดคลื่น A, B และ C (รูปที่ 4.10) ดังนั้นสามารถคาดการณ์ได้ว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะซิมิเลียนั้นเกิดมาจากอย่างน้อย 3 แหล่งกำเนิด ได้แก่ แหล่งกำเนิดคลื่น A, B และ C นอกจากนี้ยังคาดการณ์ว่าคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะซิมิเลียนมาจากแหล่งกำเนิดคลื่น B มากที่สุด



รูปที่ 4.9 การแจกแจงความถี่ของกระแสน้ำชั้นล่างเนื่องจากคลื่นเดี่ยวได้นำที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง

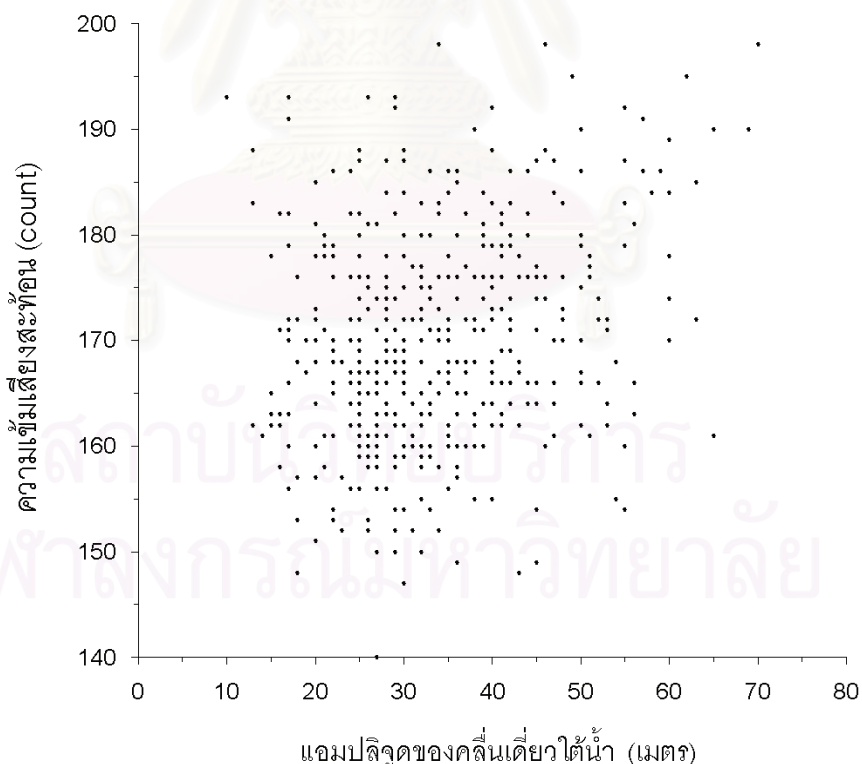


รูปที่ 4.10 แผนที่ทะเลอันดามัน (ดัดแปลงจาก Global Ocean Associates, 2002) เส้นตรงแสดงขอบเขตของทิศทางการกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวได้นำที่เคลื่อนที่สู่จุดตรวจวัดที่ 1 โดยที่จุด A, B และ C เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นตามผลการศึกษาของ Alper et al. (1997)

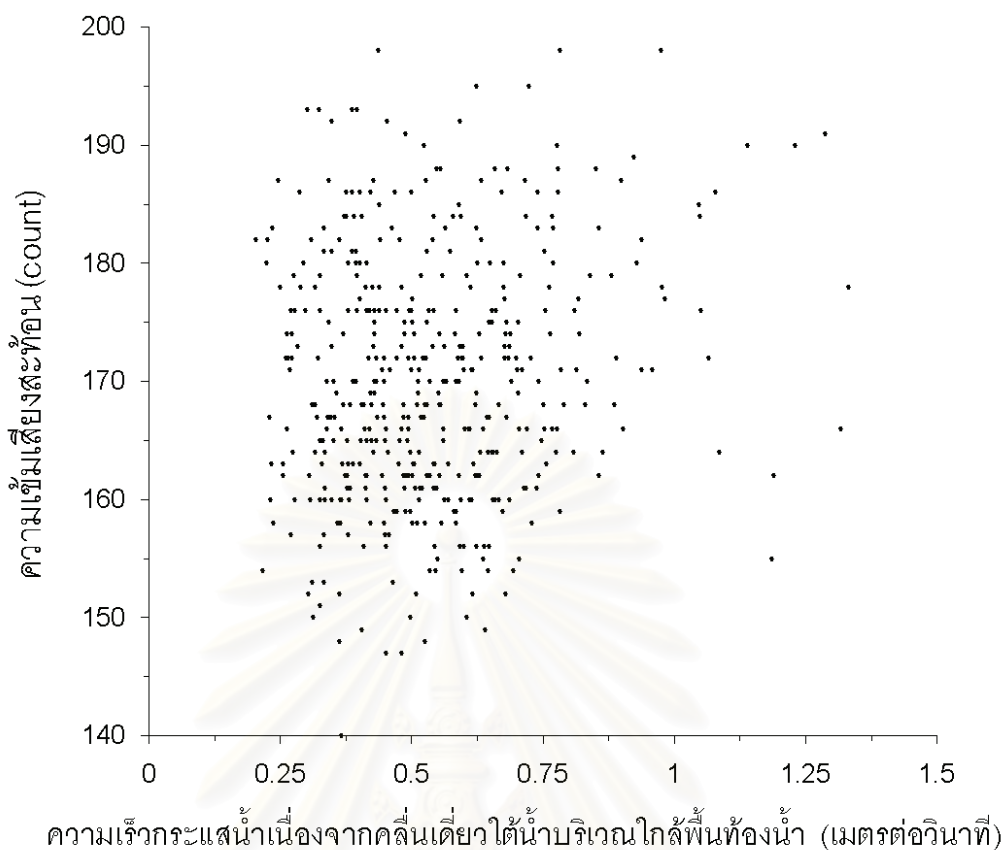
4.3 ผลกระทบของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนพื้นท้องน้ำ

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนจากแหล่งกำเนิดคลื่นในทะเลอันดามันเข้าสู่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโพรไฟล์ความเข้มเสียงสะท้อนอย่างฉับพลัน (รูปที่ 4.1ข) โดยที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำจำนวน 74.73 % ของคลื่นทั้งหมดทำให้ความเข้มเสียงสะท้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มเสียงสะท้อนแสดงถึงจำนวนอนุภาคในมวลน้ำที่เพิ่มมากขึ้น คาดว่าอนุภาคบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากตะกอนที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาจากตะกอนที่อยู่บนพื้นท้องน้ำ การฟุ้งกระจายของตะกอนบริเวณพื้นท้องน้ำนั้นน่าจะเกิดจากกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นชนิดนี้ที่บริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (Quaresma et al., 2007)

จากกราฟความเข้มเสียงสะท้อนบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำกับแอมพลิจูดของคลื่น (รูปที่ 4.11) และกราฟความเข้มเสียงสะท้อนบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำกับความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นที่บริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (รูปที่ 4.12) ที่จุดตรวจวัดที่ 1 แสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูดของคลื่นและความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นไม่น่าจะมีผลต่อปริมาณการตะกอนที่ฟุ้งกระจายบริเวณพื้นท้องน้ำ อย่างไรก็ตามควรมีการเก็บตัวอย่างน้ำขณะคลื่นเดี่ยวใต้น้ำปรากฏเพื่อนำมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณตะกอนเพื่อยืนยันว่าคลื่นชนิดนี้ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนบริเวณพื้นท้องน้ำจริง



รูปที่ 4.11 ความเข้มเสียงสะท้อนกับแอมพลิจูดของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง



รูปที่ 4.12 ความเข้มเสียงสะท้อนกับความเร็วกะแสน้ำเนื่องจากคลื่นเดี่ยวใต้น้ำบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (เมตรต่อวินาที) ที่จุดตรวจวัดที่ 1 ตลอดการตรวจวัดทั้ง 2 ช่วง

4.4 ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำปรากฏของ

ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำจะปรากฏขึ้นบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลัน เทียบกับพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงที่จุดตรวจวัดที่ 1 (ตารางที่ 4.1) ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำจะปรากฏสูงสุด (80.65 %) ระหว่างน้ำเกิด ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำจะปรากฏต่ำสุด (28.57 %) ระหว่างน้ำตาย โดยความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำปรากฏเพิ่มตามพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hyder et. al. (2005) โดยทำการตรวจวัดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำในทะเลอันดามันเหนือ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดเพื่อคำนวณความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวใต้น้ำจะปรากฏขึ้นบริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นที่เกิดขึ้นในบางวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงอาจแตกตัวไปทั้งหมดก่อนที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่จุดตรวจวัด เนื่องจากจะเห็นว่าในบางวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงนั้นมีคลื่นปรากฏขึ้นเพียง 1 ลูกเท่านั้น ซึ่ง Osborne and Burch (1980) ได้ตรวจพบกลุ่มคลื่นประกอบด้วยคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ 5-6 ลูกในแต่ละวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง ส่งผลให้การนับคลื่นที่ปรากฏเกิดความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.1 ความน่าจะเป็นที่คลื่นเดี่ยวได้น้ำปรากฏในแต่ละช่วงพิสัยของ
น้ำขึ้นน้ำลงที่จุดตรวจวัดที่ 1

พิสัยของน้ำขึ้น น้ำลง (เมตร)	จำนวนวัฏจักรน้ำขึ้น น้ำลงที่ปรากฏ (ครั้ง)	การปรากฏของคลื่น เดี่ยวได้น้ำ (ครั้ง)	ความน่าจะเป็นที่คลื่น เดี่ยวได้น้ำปรากฏ (%)
< 0.60	7	2	28.57
0.60 – 0.99	39	18	46.15
1.00 – 1.39	39	21	53.85
1.40 – 1.79	69	45	65.22
1.80 – 2.19	69	48	69.57
2.20 – 2.60	31	25	80.65
รวม	254	159	62.6

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

คลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำชนิดกดลงซึ่งเกิดจากหลายแหล่งกำเนิดคลื่นที่อยู่ในทะเลอันดามันโดยน้ำขึ้นน้ำลงแบบน้ำคู่โดยมีแอมพลิจูดอยู่ในช่วง 10-70 เมตร ระยะเวลาการเกิด 5-20 นาที ขนาดของความเร็วกระแสน้ำสูงสุดและต่ำสุดในแนวราบเนื่องจากคลื่นชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 1.33 และ 0.20 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงโพธิ์ไฟส์ความเข้มเสียงสะท้อนแสดงให้เห็นว่าอาจเกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนบริเวณพื้นที่ตื้นน้ำซึ่งคาดการณ์ว่าเกิดจากกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นชนิดนี้ที่บริเวณใกล้พื้นที่ตื้นน้ำ นอกจากนี้ยังตรวจพบการกระเพื่อมขึ้นและลงของเส้นไอโซเทิร์มซึ่งคาดว่าเป็นคลื่นเดี่ยวใต้น้ำทั้งชนิดกดลงและยกขึ้นที่อาจมีสาเหตุมาจากการแตกตัวของคลื่นบางลูกซึ่งเกิดอันตรกิริยากับความชันของไหล่ทวีป หรือเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงกับความชันของไหล่ทวีป หรือเป็นไปได้ว่ามีการเกิดทั้ง 2 กระบวนการ

ในการศึกษาพฤติกรรมและคำนวณโอกาสการปรากฏขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่เกิดขึ้นในทะเลอันดามันและเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งตะวันตกของหมู่เกาะสิมิลันโดยการตรวจวัดครั้งนี้นั้นเป็นเพียงการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงอาจทำให้การขึ้นน้ำเนื่องจากความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมและโอกาสการปรากฏขึ้นของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำด้วย ดังนั้นในอนาคตอาจต้องทำการตรวจวัดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ด้วย นอกจากนี้การเก็บข้อมูลบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดคลื่นก็เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อนำมาวิเคราะห์และนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการทดลองเชิงตัวเลขเพื่อที่จะทำให้เข้าใจกลไกการเกิดคลื่นเดี่ยวใต้น้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- Apel, J.R., Holbrook, J.R., Liu, A.K., and Tsai, J.J. 1985. The Sulu Sea Internal Soliton Experiment. Journal of Physical Oceanography 15: 1625-1651.
- Alper, W., Wang-Chen, H., and Hock, L. 1997. Observation of internal waves in the Andaman Sea by ERS SAR. The third proceeding ERS Symposium on Space at the Service of our Environment. 17-21 March 1997 Florence, Italy
- Hyder, P., Jeans, D.R.G., Cauquil, E., and Nerzic, R. 2005. Observation and predictability of internal solitons in the northern Andaman Sea. Applied Ocean Research 27: 1-11.
- Inall, M.E., Shapiro, G.I., and Sherwin, T.J. 2001. Mass transport by non-linear internal waves on the Malin Shelf. Continental Shelf Research 21: 1449-1472.
- Jeans, D.R.G., and Sherwin, T.J. 2001. The variability of strongly non-linear solitary internal waves observed during an upwelling season on Portuguese shelf. Continental Shelf Research 21: 1855-1878.
- Knauss, J.A. 1997. Introduction to Physical Oceanography. United States of America: Prentice-Hall. 309 pp.
- Maxworthy, T. 1979. A note on the internal solitary waves produced by tidal flow over a three-dimensional ridge. Journal of Geophysical Research 84: 338-346.
- Osborne, A.R., and Burch, T.L. 1980. Internal solitons in the Andaman Sea. Science 208: 451-460.
- Global Ocean Associates. 2002. The Andaman Sea. Available From: http://www.internalwaveatlas.com/Atlas_PDF/IWAtlas_Pg207_AndamanSea.pdf
- Pingree, R.D., Mardell G.T., and New, A.L. 1986. Propagation of internal tide from the upper slopes of the Bay of Biscay. Nature 321: 154-158.
- Quaresma, L.S., Vitorino, J., Oliveira, A., and Silva, J. 2007. Evidence of sediment resuspension by nonlinear internal waves on the western Portuguese mid-shelf 246: 123-143
- Saffarinia, K., and Kao, T.W. 1996. A numerical study of the breaking of an internal soliton and its interaction with a slope. Dynamics of Atmospheres and Oceans 23: 379-391

Susanto, R.D., Mitnik, L., and Zheng, Q. 2005. Ocean internal waves observed in the Lombok Strait. Oceanography 18: 80-87.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำแต่ละลูกตลอดการตรวจวัดทั้งช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
19/2/2550	0:17	5	25	63	85	0.18	0.40
	1:07	15	51	85	63	0.38	0.92
	2:07	10	46	86	62	0.32	0.45
	13:22	5	22	75	73	0.14	0.35
	13:57	5	34	84	64	0.11	0.52
	14:42	10	24	80	68	0.17	0.36
20/2/2550	01:47	10	45	86	62	0.13	0.72
	04:02	10	28	73	75	0.33	0.32
	14:12	10	38	77	71	0.15	0.49
	15:37	5	25	84	64	0.16	0.26
21/2/2550	02:47	5	40	65	83	0.28	0.62
	03:32	20	46	81	67	0.22	0.60
	14:22	5	17	68	80	0.15	0.23
	14:42	10	18	71	77	0.22	0.27
	15:42	10	35	69	79	0.20	0.41
	16:52	15	40	66	82	0.25	0.31
	17:32	10	39	76	72	0.35	0.38
	18:12	5	20	65	83	0.33	0.20
22/2/2550	02:07	15	54	86	62	0.36	0.63
	03:32	10	69	92	56	0.25	0.61
	14:37	10	54	95	53	0.31	0.71

ตารางที่ ข1 คุณสมบัติของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่ปรากฏขึ้นที่จุดตรวจวัดที่ 1 ในการตรวจวัดทั้งช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
23/2/2550	03:37	10	51	74	74	0.36	0.69
	05:02	5	44	76	73	0.24	0.51
	05:37	5	50	77	71	0.42	0.52
	06:12	10	25	74	74	0.30	0.40
	07:07	10	21	76	73	0.30	0.38
	16:57	15	57	77	71	0.27	0.59
	18:12	10	48	86	62	0.43	0.52
24/2/2550	4:37	10	47	80	68	0.37	0.61
	5:47	10	36	75	73	0.31	0.46
	14:02	10	32	91	57	0.52	0.45
	15:07	10	25	91	57	0.37	0.38
	16:27	15	39	76	72	0.40	0.50
	25/2/2550	04:12	10	27	68	80	0.44
05:07		10	41	74	74	0.49	0.72
14:27		5	36	88	60	0.38	0.36
16:07		10	32	80	68	0.32	0.39
17:17		10	33	77	71	0.36	0.40
18:32		10	38	96	52	0.32	0.31

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

คุณสมบัติของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำแต่ละลูกตลอดการตรวจวัดทั้งช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
1/11/2550	1:13	10	35	68	87	0.26	0.33
	2:38	10	32	89	66	0.18	0.50
	3:53	10	30	99	56	0.07	0.24
	12:18	10	24	77	78	0.23	0.39
	14:13	5	17	69	86	0.40	0.49
	15:33	20	31	71	84	0.22	0.32
2/11/2550	0:48	15	33	79	76	0.40	0.34
	1:53	5	27	71	84	0.46	0.39
	3:18	10	43	86	69	0.43	0.56
	4:18	10	28	86	69	0.40	0.41
	13:03	15	25	84	71	0.37	0.40
	14:43	10	36	85	70	0.42	0.46
	15:33	20	24	87	68	0.21	0.23
3/11/2550	1:38	15	32	75	80	0.40	0.45
	3:18	15	30	83	72	0.37	0.43
	4:23	10	30	79	76	0.34	0.36
	5:28	10	26	95	60	0.15	0.20
	6:18	10	28	72	83	0.21	0.36
	7:13	5	17	73	82	0.16	0.24
	16:08	15	30	85	70	0.30	0.48
	7:13	15	33	86	69	0.19	0.34

ตารางที่ ข2 คุณสมบัติของคลื่นเดี่ยวใต้น้ำที่ปรากฏขึ้นที่จุดตรวจวัดที่ 1 ในการตรวจวัดทั้งช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
3/11/2550 (ต่อ)	18:03	15	35	87	68	0.11	0.30
	18:43	10	44	83	72	0.18	0.56
	19:18	10	23	84	71	0.03	0.26
4/11/2550	4:23	20	36	87	68	0.26	0.49
	5:18	15	16	70	85	0.24	0.28
	5:53	10	42	87	68	0.16	0.46
	6:38	10	25	94	61	0.26	0.17
	18:03	10	25	73	82	0.28	0.29
	18:23	15	29	62	93	0.09	0.13
5/11/2550	6:33	10	28	93	62	0.24	0.42
	7:48	15	18	104	51	0.07	0.20
6/11/2550	8:08	15	37	89	66	0.36	0.47
	8:53	5	17	95	60	0.10	0.23
7/11/2550	10:08	15	34	96	59	0.19	0.48
8/11/2550	9:38	5	26	95	60	0.18	0.41
	10:28	10	30	77	78	0.09	0.20
	21:23	20	38	89	66	0.37	0.43
9/11/2550	8:23	20	36	93	62	0.33	0.44
	22:23	15	14	49	106	0.12	0.15
10/11/2550	8:13	20	21	83	72	0.22	0.25
	22:23	20	40	91	64	0.27	0.43

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
11/11/2550	10:08	15	30	83	72	0.25	0.44
	10:43	10	29	77	78	0.03	0.12
	21:38	10	39	57	98	0.11	0.34
12/11/2550	8:33	15	22	98	57	0.13	0.26
	10:43	20	32	92	63	0.01	0.16
	20:13	10	27	91	64	0.09	0.28
	23:18	15	55	102	53	0.04	0.32
13/11/2550	0:23	20	20	107	48	0.07	0.30
	1:18	10	30	75	80	0.12	0.18
17/11/2550	2:08	20	48	116	39	0.21	0.38
25/11/2550	16:48	15	24	57	98	0.29	0.09
26/11/2550	5:53	15	29	118	37	0.11	0.17
28/11/2550	5:33	15	42	113	42	0.07	0.26
	19:03	10	60	44	111	0.06	0.20
29/11/2550	6:43	20	36	74	81	0.09	0.21
	20:13	20	70	75	80	0.07	0.31
	22:33	10	17	104	51	0.15	0.27
30/11/2550	8:23	10	21	46	109	0.03	0.11
	9:33	10	25	111	44	0.04	0.18
	10:53	10	16	103	52	0.04	0.12
	21:03	20	62	84	71	0.06	0.20

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
2/12/2550	10:48	20	32	79	76	0.13	0.16
	22:33	20	45	69	86	0.08	0.16
	23:03	15	34	81	74	0.06	0.13
3/12/2550	10:28	10	39	114	41	0.11	0.31
	11:23	15	41	115	40	0.08	0.37
4/12/2550	9:28	15	27	103	52	0.07	0.25
8/12/2550	17:13	15	32	89	66	0.21	0.34
	17:38	10	28	91	64	0.18	0.31
9/12/2550	6:23	10	17	105	50	0.13	0.28
	7:03	10	15	117	38	0.15	0.25
	18:58	10	29	100	55	0.09	0.43
	19:13	10	29	101	54	0.10	0.31
	19:58	10	25	121	34	0.13	0.20
10/12/2550	18:13	15	25	87	68	0.16	0.22
	18:43	10	30	106	49	0.14	0.20
	19:28	5	34	95	60	0.26	0.39
	20:08	15	33	107	48	0.20	0.26
11/12/2550	5:58	15	38	108	47	0.27	0.55
	6:48	10	46	97	58	0.32	0.28
	7:33	15	34	105	50	0.25	0.35
	17:53	10	18	81	74	0.14	0.20

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
11/12/2550	18:23	10	32	97	58	0.13	0.19
	19:08	10	41	103	52	0.31	0.40
	19:48	10	35	109	46	0.20	0.41
	20:08	10	26	97	58	0.18	0.17
12/12/2550	6:43	10	32	98	57	0.24	0.39
	7:48	10	48	92	63	0.24	0.28
	19:43	10	18	97	58	0.10	0.24
13/12/2550	9:03	10	19	121	34	0.28	0.39
	9:48	10	28	113	42	0.16	0.15
	20:03	15	26	91	64	0.12	0.25
	22:13	10	25	107	48	0.23	0.24
	23:18	10	40	95	60	0.30	0.20
14/12/2550	8:33	5	20	89	66	0.21	0.17
	9:08	5	37	99	56	0.17	0.13
	9:48	10	50	102	53	0.43	0.52
	10:18	15	50	112	43	0.26	0.38
	21:38	5	26	90	65	0.40	0.31
	22:23	10	63	115	40	0.49	0.76
15/12/2550	0:08	15	43	115	40	0.24	0.14
	0:33	15	38	111	44	0.34	0.21
	10:53	20	58	111	44	0.20	0.70

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
15/12/2550	11:28	10	34	118	37	0.24	0.35
	22:08	5	18	88	67	0.27	0.22
	23:33	20	60	112	43	0.38	0.50
16/12/2550	0:33	15	40	99	56	0.37	0.43
	1:08	10	30	104	51	0.30	0.27
	10:23	5	26	98	57	0.39	0.32
	11:28	10	53	118	37	0.55	0.69
	12:08	15	40	114	41	0.34	0.38
	12:38	10	30	98	57	0.33	0.23
	13:23	10	50	103	52	0.33	0.21
	13:38	5	38	97	58	0.37	0.23
	22:38	20	17	98	57	0.21	0.19
17/12/2550	0:03	10	52	105	50	0.57	0.59
	0:43	10	38	99	56	0.37	0.31
	1:08	10	22	115	40	0.25	0.17
	1:38	5	10	116	39	0.33	0.26
	11:38	10	27	89	66	0.39	0.33
	12:08	10	35	95	60	0.35	0.37
	13:38	10	34	91	64	0.39	0.32
	14:23	10	15	82	73	0.35	0.30
	23:28	10	32	81	74	0.39	0.31

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
18/12/2550	0:43	5	40	104	51	0.49	0.50
	1:53	10	17	98	57	0.37	0.14
	13:08	15	45	97	58	0.40	0.36
	14:28	10	30	87	68	0.48	0.34
19/12/2550	1:38	10	39	107	48	0.41	0.37
	2:23	15	37	115	40	0.39	0.39
	3:13	5	25	120	35	0.34	0.04
	14:08	15	30	107	48	0.31	0.38
	16:13	10	21	75	80	0.39	0.29
	18:18	10	17	119	36	0.16	0.10
20/12/2550	1:53	10	24	91	64	0.35	0.35
	14:28	15	22	99	56	0.22	0.31
	15:48	15	30	98	57	0.32	0.24
	16:33	5	42	83	72	0.32	0.23
21/12/2550	2:48	15	25	100	55	0.22	0.41
	3:23	20	50	114	41	0.24	0.38
	14:58	15	47	99	56	0.25	0.39
	15:58	15	63	96	59	0.41	0.37
	16:48	20	26	91	64	0.42	0.35
	17:43	15	29	93	62	0.45	0.32
22/12/2550	2:08	10	15	95	60	0.09	0.17

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
22/12/2550	3:53	15	20	115	40	0.17	0.25
	4:28	10	40	119	36	0.24	0.27
23/12/2550	2:48	10	30	81	74	0.05	0.22
	6:08	15	32	106	49	0.32	0.20
	14:23	15	28	117	38	0.10	0.32
	18:33	20	42	105	50	0.29	0.23
24/12/2550	3:18	15	29	122	33	0.05	0.24
	5:48	10	25	99	56	0.32	0.24
26/12/2550	5:43	5	32	106	49	0.05	0.13
	6:43	10	17	115	40	0.01	0.05
	9:03	20	19	99	56	0.11	0.21
	10:23	10	15	109	46	0.05	0.10
	21:03	15	25	67	88	0.30	0.30
	21:53	10	43	76	79	0.32	0.40
	23:58	10	34	69	86	0.35	0.21
27/12/2550	6:38	10	29	56	99	0.07	0.13
	7:48	15	17	68	87	0.34	0.30
	9:13	20	30	89	66	0.40	0.33
	17:33	10	22	75	80	0.07	0.14
	20:08	10	33	73	82	0.35	0.26
	21:18	10	28	71	84	0.28	0.14

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
27/12/2550	22:13	10	28	93	62	0.41	0.32
28/12/2550	0:38	5	42	65	90	0.24	0.13
	8:13	10	27	89	66	0.26	0.31
	9:18	15	31	87	68	0.27	0.30
	18:23	5	31	60	95	0.03	0.24
	19:28	10	28	55	100	0.01	0.24
	21:18	5	26	85	70	0.27	0.34
	22:33	10	26	78	77	0.28	0.39
29/12/2550	9:43	15	53	91	64	0.41	0.51
	10:38	10	20	76	79	0.39	0.32
	22:08	10	36	76	79	0.23	0.26
	22:58	10	47	93	62	0.30	0.29
	23:43	10	28	79	76	0.31	0.22
30/12/2550	0:13	5	41	87	68	0.39	0.43
	9:23	10	40	94	61	0.37	0.43
	21:18	15	33	103	52	0.06	0.11
	22:23	10	48	88	67	0.38	0.47
	23:13	5	55	97	58	0.42	0.44
31/12/2550	0:08	5	25	79	76	0.37	0.32
	10:38	10	53	93	62	0.22	0.41
	12:03	5	35	85	70	0.46	0.43

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
31/12/2550	12:43	5	35	91	64	0.25	0.26
	13:28	5	30	92	63	0.25	0.29
	23:28	15	60	79	76	0.36	0.42
1/1/2551	0:43	15	41	75	80	0.42	0.31
	1:28	5	24	91	64	0.31	0.25
3/1/2551	1:28	10	36	84	71	0.29	0.26
4/1/2551	2:08	5	35	78	77	0.30	0.35
8/1/2551	3:43	10	29	84	71	0.30	0.36
11/1/2551	7:33	15	29	79	76	0.20	0.24
	8:13	10	25	75	80	0.25	0.22
	20:03	10	30	91	64	0.31	0.30
12/1/2551	8:03	20	27	99	56	0.08	0.30
	9:18	10	41	100	55	0.20	0.30
	10:33	10	34	100	55	0.18	0.13
	14:28	15	29	60	95	0.07	0.07
	16:18	10	30	120	35	0.02	0.12
14/1/2551	0:03	15	24	88	67	0.18	0.22
	1:18	20	13	127	28	0.07	0.15
	3:48	10	20	130	25	0.03	0.15
	13:13	15	37	63	92	0.13	0.29
	16:18	10	25	107	48	0.02	0.21

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
15/1/2551	0:28	15	36	99	56	0.10	0.10
	2:18	10	44	107	48	0.12	0.15
	10:13	15	35	77	78	0.04	0.17
	11:48	10	37	105	50	0.10	0.25
	12:18	5	24	95	60	0.04	0.16
	14:28	10	28	95	60	0.03	0.12
16/1/2551	1:43	10	26	85	70	0.15	0.18
	2:38	10	27	77	78	0.10	0.20
	7:58	15	28	119	36	0.04	0.16
	15:48	10	35	78	77	0.19	0.17
	21:48	10	38	97	58	0.18	0.14
17/1/2551	0:28	10	40	104	51	0.12	0.24
	3:53	10	27	83	72	0.18	0.12
	5:38	5	35	121	34	0.20	0.11
	6:58	10	25	123	32	0.14	0.11
	7:43	10	16	126	29	0.03	0.19
	10:58	10	42	102	53	0.09	0.24
	14:18	10	43	65	90	0.11	0.15
	22:53	5	27	101	54	0.09	0.28
18/1/2551	1:18	10	37	110	45	0.04	0.28
	2:23	10	47	108	47	0.12	0.33

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
18/1/2551	3:13	15	32	107	48	0.06	0.18
	14:53	15	34	113	42	0.09	0.33
	17:03	15	42	105	50	0.08	0.17
19/1/2551	16:38	15	22	101	54	0.05	0.23
20/1/2551	5:38	10	23	87	68	0.18	0.18
	6:08	5	27	110	45	0.06	0.11
	18:33	10	32	85	70	0.17	0.27
	19:28	10	34	112	43	0.17	0.22
21/1/2551	7:58	20	42	105	50	0.22	0.36
	8:33	15	56	121	34	0.09	0.25
	20:33	10	32	95	60	0.13	0.17
	21:28	10	49	105	50	0.23	0.34
22/1/2551	10:38	15	25	95	60	0.04	0.21
	11:33	10	27	64	91	0.06	0.21
	12:43	5	39	69	86	0.01	0.15
	23:08	10	40	67	88	0.12	0.24
	23:53	10	44	86	69	0.21	0.37
23/1/2551	11:23	10	30	95	60	0.03	0.36
	12:33	10	22	93	62	0.07	0.17
	21:58	10	25	96	59	0.19	0.29
24/1/2551	0:03	10	33	85	70	0.17	0.31

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
24/1/2551	9:33	10	20	97	58	0.11	0.16
	10:13	10	30	106	49	0.14	0.21
	11:23	10	41	109	46	0.09	0.23
	11:43	5	26	79	76	0.13	0.19
	12:53	15	40	107	48	0.14	0.32
	23:58	10	55	114	41	0.29	0.40
25/1/2551	0:48	15	40	82	73	0.41	0.36
	1:58	10	29	107	48	0.11	0.23
	10:48	10	35	93	62	0.34	0.41
	11:43	10	56	96	59	0.42	0.51
	12:33	15	41	93	62	0.37	0.38
	13:33	10	35	101	54	0.24	0.31
	14:23	15	20	69	86	0.21	0.11
	22:13	10	43	100	55	0.40	0.44
	23:08	5	37	98	57	0.22	0.16
	23:18	5	28	114	41	0.20	0.14
26/1/2551	0:18	10	27	93	62	0.30	0.27
	1:03	10	57	89	66	0.35	0.42
	11:53	10	13	90	65	0.23	0.22
	13:53	10	27	109	46	0.08	0.30
	19:03	5	27	47	108	0.07	0.13

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
26/1/2551	21:28	10	29	79	76	0.12	0.31
	22:28	20	40	90	65	0.22	0.28
27/1/2551	0:08	15	36	101	54	0.11	0.20
	0:43	10	35	105	50	0.11	0.09
	11:03	5	40	99	56	0.25	0.25
	11:53	15	45	93	62	0.32	0.47
	14:48	5	45	72	83	0.26	0.28
	20:58	15	31	92	63	0.17	0.40
	22:23	10	29	79	76	0.15	0.25
	22:58	15	46	82	73	0.16	0.16
	23:38	15	41	109	46	0.17	0.27
28/1/2551	0:43	15	60	87	68	0.30	0.24
	2:08	15	32	108	47	0.04	0.25
	9:53	15	32	94	61	0.17	0.35
	12:43	10	22	73	82	0.17	0.35
	14:33	10	39	105	50	0.37	0.22
	16:53	15	44	98	57	0.25	0.24
	22:03	10	48	115	40	0.22	0.46
	23:08	10	25	93	62	0.15	0.27
	23:23	10	50	103	52	0.21	0.25
29/1/2551	0:03	10	55	100	55	0.36	0.52

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
29/1/2551	1:38	10	59	90	65	0.40	0.34
	3:03	20	31	76	79	0.24	0.34
	4:28	15	45	88	67	0.24	0.23
	11:08	15	39	93	62	0.47	0.47
30/1/2551	1:33	15	40	120	35	0.14	0.39
	3:08	20	47	78	77	0.24	0.26
	13:18	10	46	91	64	0.29	0.33
	13:43	5	39	101	54	0.11	0.19
31/1/2551	2:08	15	55	87	68	0.36	0.35
	15:13	5	40	105	50	0.17	0.23
	15:43	20	60	91	64	0.36	0.56
	16:33	5	32	86	69	0.12	0.24
8/2/2551	10:53	10	34	73	82	0.54	0.42
	22:28	15	20	91	64	0.32	0.30
	23:18	5	16	97	58	0.22	0.06
9/2/2551	11:33	10	37	72	83	0.25	0.30
	13:03	20	40	73	82	0.31	0.34
	23:18	10	34	81	74	0.47	0.51
10/2/2551	1:38	20	16	87	68	0.38	0.54
	3:43	10	32	82	73	0.14	0.22
	5:43	5	25	56	99	0.23	0.16

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
10/2/2551	6:38	5	18	83	72	0.16	0.16
	11:08	10	38	83	72	0.40	0.51
	13:23	10	37	69	86	0.15	0.24
	14:03	5	26	72	83	0.14	0.19
	15:18	5	25	107	48	0.01	0.15
	22:23	20	38	86	69	0.37	0.55
11/2/2551	0:48	15	52	86	69	0.51	0.57
	2:03	10	33	85	70	0.34	0.44
	3:53	5	28	87	68	0.10	0.28
	5:03	10	40	92	63	0.18	0.46
	6:08	5	23	82	73	0.32	0.30
	10:43	15	29	71	84	0.44	0.49
	12:28	5	42	81	74	0.39	0.54
	22:23	15	38	71	84	0.52	0.48
	23:43	15	36	71	84	0.54	0.52
12/2/2551	0:38	5	22	67	88	0.45	0.35
	3:03	5	21	74	81	0.47	0.34
	4:43	5	29	99	56	0.07	0.32
	6:28	10	33	78	77	0.31	0.35
	8:23	5	32	67	88	0.24	0.08
	10:13	15	53	97	58	0.56	0.85

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
12/2/2551	11:48	20	50	89	66	0.50	0.55
	17:28	5	32	72	83	0.28	0.26
	21:38	5	25	88	67	0.32	0.26
	22:53	20	47	94	61	0.59	0.68
13/2/2551	0:43	15	24	73	82	0.49	0.41
	2:03	20	50	91	64	0.53	0.71
	5:18	20	26	78	77	0.32	0.31
	6:38	5	26	91	64	0.35	0.31
	11:48	20	32	85	70	0.49	0.51
	13:08	20	40	93	62	0.32	0.43
	14:28	20	42	92	63	0.39	0.37
	16:43	15	28	83	72	0.29	0.28
14/2/2551	0:13	20	45	97	58	0.37	0.50
	0:53	5	52	97	58	0.31	0.19
	1:58	15	24	76	79	0.33	0.36
	2:48	5	51	96	59	0.19	0.38
	4:33	10	41	81	74	0.33	0.41
	4:58	10	35	88	67	0.35	0.52
	11:53	10	56	100	55	0.50	0.94
	13:03	20	35	82	73	0.62	0.56
	14:23	10	35	105	50	0.38	0.30

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
14/2/2551	14:48	5	27	83	72	0.31	0.31
	16:03	10	18	75	80	0.27	0.27
	18:08	10	27	74	81	0.46	0.32
	23:33	10	43	80	75	0.44	0.43
15/2/2551	0:08	10	45	66	89	0.35	0.14
	2:33	15	32	79	76	0.42	0.30
	5:03	5	35	85	70	0.36	0.34
	5:58	10	26	84	71	0.35	0.29
	11:48	15	69	101	54	0.67	0.84
	12:58	15	50	94	61	0.55	0.70
	13:53	5	25	88	67	0.41	0.29
	23:48	10	33	91	64	0.28	0.41
16/2/2551	0:58	15	33	100	55	0.31	0.38
	3:38	5	36	104	51	0.19	0.21
	7:13	5	13	109	46	0.19	0.27
	9:33	5	15	79	76	0.32	0.23
	12:13	10	30	120	35	0.22	0.29
	12:33	15	47	87	68	0.44	0.41
	13:48	10	21	89	66	0.34	0.31
17/2/2551	1:43	10	27	71	84	0.41	0.31
	2:38	10	25	85	70	0.25	0.24

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
21/2/2551	15:28	10	27	76	79	0.17	0.31
	15:53	15	30	83	72	0.14	0.18
	18:48	15	33	97	58	0.52	0.52
22/2/2551	17:08	15	27	87	68	0.13	0.21
	18:03	10	50	101	54	0.43	0.57
	19:18	10	28	94	61	0.42	0.29
23/2/2551	5:38	15	24	101	54	0.04	0.23
	16:58	15	17	43	112	0.06	0.15
	17:38	20	28	81	74	0.19	0.16
24/2/2551	5:08	10	28	102	53	0.08	0.26
	6:08	15	42	67	88	0.18	0.18
	11:03	5	20	116	39	0.17	0.20
	12:18	5	22	63	92	0.18	0.16
	13:03	5	26	50	105	0.25	0.22
	18:28	5	53	103	52	0.24	0.51
	21:08	5	26	86	69	0.33	0.25
25/2/2551	19:33	20	35	101	54	0.14	0.32
	21:33	10	43	88	67	0.34	0.36
26/2/2551	7:53	10	44	87	68	0.29	0.32
	10:58	10	25	80	75	0.25	0.18
	11:38	15	51	95	60	0.35	0.34

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่เริ่มเกิดคลื่น (นาฬิกา)	d (min)	η_0 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	\bar{u}_1 (m/s)	\bar{u}_2 (m/s)
26/2/2551	13:58	5	20	84	71	0.02	0.16
	14:38	5	28	93	62	0.09	0.32
	19:43	10	30	73	82	0.28	0.31
	22:58	20	35	87	68	0.33	0.38
27/2/2551	0:28	10	22	87	68	0.27	0.30
	2:08	20	33	83	72	0.13	0.22
	10:53	10	26	83	72	0.32	0.31
	12:23	20	31	75	80	0.33	0.31
	14:13	5	40	76	79	0.21	0.25
	14:43	5	36	91	64	0.18	0.14
	21:33	15	22	77	78	0.26	0.30
	23:03	15	21	73	82	0.30	0.30
28/2/2551	0:13	5	20	87	68	0.21	0.18
	1:13	5	30	67	88	0.29	0.21
	12:23	10	55	93	62	0.22	0.33
	13:18	20	65	89	66	0.47	0.50
	22:08	15	33	87	68	0.14	0.28
	23:33	5	25	99	56	0.19	0.25
29/2/2551	0:13	15	45	93	62	0.40	0.58
	0:58	10	41	95	60	0.30	0.29
	2:03	10	38	95	60	0.39	0.44

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชาติ ครองศักดิ์ศิริ เกิดเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526 จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ จากนั้นได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม) สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2547 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย