

อิทธิพลของพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำ  
และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ

นายนิทัศน์ ลิ้มผ่องใส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

Influence of Wave and Current Energies on the Re-suspension of Bottom Sediment  
and Suspended Sediment Concentration in the Water Column  
at Ban Khunsamutchin Coast, Samutprakan Province

Mr. Nitat Limpongsai

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำต่อการ  
ฟังก์ชันของตะกอนท้องน้ำ และความเข้มข้น  
ตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน  
จังหวัดสมุทรปราการ

โดย

นายนิทัศน์ ลิ้มผ่องใส

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชจิศุภร

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชจิศุภร)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. อนุวัฒน์ จารุพงษ์สกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย อวยพรประเสริฐ)

นิทัศน์ ลิ้มผ่องใส : อิทธิพลของพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำและความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ. (Influence of Wave and Current Energies on the Re-suspension of Bottom Sediment and Suspended Sediment Concentration in the Water Column at Ban Khunsamutchin Coast, Samutprakan Province) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ปราโมทย์ ไศจุศกร, 76 หน้า.

ชายฝั่งทะเลบ้านขุนสมุทรจีนตั้งอยู่ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะเป็นหาดเลนน้ำตื้นและความลาดชันน้อยทำให้พลังงานคลื่นและกระแสน้ำมีอิทธิพลต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำอย่างมาก จึงนำมาสู่การศึกษาอิทธิพลของพลังงานคลื่นและกระแสน้ำต่อความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำชายฝั่งโดยใช้เป็นตัวแปรความสามารถในการกักตะกอนของมวลน้ำ ดำเนินการสำรวจ 7 ครั้งตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่งโดยมีความลึกอยู่ระหว่าง 1.5-5 เมตร ข้อมูลที่ตรวจวัดคือความลึกน้ำ ความเร็วกระแสน้ำใกล้ท้องน้ำ ความสูงและคาบคลื่น และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย กระแสน้ำใกล้ท้องน้ำพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตรต่อวินาที ความสูงคลื่นน้อยสำคัญอยู่ในช่วง 0.01-0.45 เมตร คาบคลื่น 3-5 วินาที ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำมีค่ามากที่สุดประมาณ 0.28 เมตรต่อวินาทีซึ่งสามารถทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำได้เมื่อ  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.0153 มิลลิเมตร ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำมีค่าระหว่าง 10 - 285 มิลลิกรัม/ลิตร การฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำเกิดจากกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำเป็นหลัก เมื่อใช้สมการความสามารถในการกักตะกอนแขวนลอยร่วมกับการใช้ค่าอัตราการตกตะกอนของอนุภาคตะกอนที่แปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยพบว่าสามารถคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยได้ใกล้เคียงกับผลตรวจวัด ( $R^2 = 0.62$ ) ในขณะที่การใช้ค่าอัตราการตกตะกอนของอนุภาคตะกอนที่แปรผันตามขนาดอนุภาคจะคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยได้ไม่ดีนัก ( $R^2 = 0.44$ )

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2554.....

# #5272667023 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS : BAN KHUNSAMUTCHIN, THE UPPER GULF OF THAILAND, SEDIMENT CARRYING CAPACITY, WAVE, CURRENT, SEDIMENT CONCENTRATION

NITAT LIMPONGSAI: INFLUENCE OF WAVE AND CURRENT ENERGIES ON THE RE-SUSPENSION OF BOTTOM SEDIMENT AND SUSPENDED SEDIMENT CONCENTRATION IN THE WATER COLUMN AT BAN KHUNSAMUTCHIN COAST, SAMUTPRAKAN PROVINCE

ADVISOR: ASST. PROF. PRAMOT SOJISUPORN, Ph.D., 76 pp.

Ban Khunsamutchin coast is located at the inner coast of the upper gulf of Thailand. The coast consists of remnant mangrove forest and wide, gentle slope mudflat. The re-suspension of bottom sediment and the total suspended sediment (TSS) concentration in the water column near the coast are typically influenced by tidal current and wave action. In this study we used sediment carrying capacity concept to estimate the TSS concentration that being sustained in the water column by wave and current energies. Seven field observations were carried out to collect water depth, wave height, wave period, bottom tidal current and total suspended solid concentration at 4-6 stations along a transect. Sampling was done at 1.5 - 5 m water depth. The calculated bottom tidal current was in the range of 0.0 – 0.19 m/s. The computed significant wave height from measured wave height was in the range of 0.01 - 0.45 m and the wave period was in the range of 3-5 s. The maximum bottom wave orbital velocity was 0.28 m/s. With the median bottom sediment diameter ( $D_{50}$ ) of 0.0153 mm, the wave energy can stir up the bottom sediment. The TSS concentrations varied between 10-258 mg/l. The bottom sediment are re-suspended mainly by bottom wave orbital velocity. Finally, using the sediment carrying capacity formula and the values of sediment settling velocity varying with the TSS concentration, the computed TSS concentration matched up nicely with the measured ones ( $R^2 = 0.62$ ). While, using values of sediment settling velocity varying with the grain size, the computed TSS concentration is poorly matched with measured TSS concentration ( $R^2 = 0.44$ ).

Department : MARINE SCIENCE..... Student's Signature .....

Field of Study : MARINE SCIENCE..... Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชยจิสุภกร ที่คอยให้คำแนะนำ เอาใจใส่ ให้กำลังใจทั้งเรื่องเรียนและเรื่องการทำวิจัย รวมทั้งการแนะนำเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต (CU.Graduate School Thesis Grant) จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ พี่ๆน้องๆในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ในเรือสำรวจภาคสนามที่ได้มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กลศาสตร์ของคลื่น.....	3
2.2 ความสามารถในการก่อกองตะกอนของมวลน้ำ (Sediment carrying capacity)...	8
2.3 กระบวนการกัดเซาะและสะสมของตะกอนท้องน้ำในบริเวณหาดโคลนปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	14
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 สถานที่ทำการศึกษา.....	18
3.2 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล.....	18
- การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตะกอนท้องน้ำ.....	19
- การตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสน้ำที่บริเวณท้องน้ำ.....	23
- การตรวจวัดและการวิเคราะห์คุณสมบัติคลื่นตามความลึกน้ำ.....	24
- การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย.....	26
- การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสามารถในการก่อกองตะกอน....	27

4. ผลการศึกษา.....	28
4.1 ขนาดของอนุภาคตะกอนท้องน้ำ.....	28
4.2 กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่บริเวณท้องน้ำ.....	30
4.3 คุณสมบัติคลื่นตามความลึกน้ำ.....	38
4.4 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ.....	44
4.5 อิทธิพลของคุณสมบัติคลื่นต่อความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ.....	49
4.6 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสามารถในการอุ้มตะกอน แขวนลอย.....	53
5. สรุปผลการศึกษา วิจาร์ณผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกประเภทคลื่นตามความลึกน้ำสัมพัทธ์ (relative depth, d/L).....	4
2.2	คุณสมบัติของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านความลึกต่างกัน.....	5
2.3	ข้อมูลความสูงคลื่นเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2499 – 2503 บริเวณสถานีนำร่อง จ.สมุทรปราการ โดย H คือความสูงคลื่น และ f คือความถี่หรือโอกาสในการเกิด (NEDECO, 1963).....	16
3.1	วัน เวลา น้ำขึ้นน้ำลง และสภาพคลื่น จากการเก็บข้อมูลทั้ง 7 ครั้ง.....	19
3.2	การแบ่งขนาดอนุภาคตะกอนและวิธีการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน.....	22
3.3	ตารางเวลาและอุณหภูมิสำหรับทำการปีเปิด.....	22
3.4	ค่า epsilon (E), $H_{1/3}/a_{rms}$ และ $H_{1/10}/a_{rms}$ .....	25
4.1	ค่ากลางของขนาดอนุภาคในแต่ละสถานี.....	28
4.2	ข้อมูลตรวจวัดกระแสน้ำโดยรวมทั้ง 7 ครั้ง.....	30
4.3	ข้อมูลลม คลื่น และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการออกสำรวจภาคสนาม ทั้ง 7 ครั้ง.....	39
ก-1	องค์ประกอบของอนุภาคตะกอนขนาดต่างๆ ในแต่ละสถานี.....	62
ก-2	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูล (Latitude, Longitude) ในแต่ละครั้ง.....	62
ก-3	ความลึกน้ำในการตรวจวัดข้อมูลแต่ละครั้ง.....	70
ก-4	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553.....	70
ก-5	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553.....	70
ก-6	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 3 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554.....	71
ก-7	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 4 วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554.....	71
ก-8	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 5 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า).....	71
ก-9	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 6 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (บ่าย).....	72
ก-10	ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 7 วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 .....	72
ก-11	ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมในการตรวจวัดข้อมูลแต่ละครั้ง ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา.....	72
ก-12	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (m).....	73
ก-13	คาบคลื่น (s) .....	73
ก-14	ความยาวคลื่น (m).....	73
ก-15	ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำเนื่องจากคลื่น (m/s).....	74

ตารางที่		หน้า
ก-16	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด (mg/l).....	74
ก-17	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากกระแสน้ำจากการคำนวณ (mg/l).....	74
ก-18	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากคลื่นจากการคำนวณ (mg/l).....	75
ก-19	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำจากการคำนวณ (mg/l).....	75

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะคลื่นแบบฟังก์ชัน sine และองค์ประกอบของคลื่น และความหมายของตัวแปร.....	4
2.2	ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) จากการหมุนเป็นวงของอนุภาคเนื่องจากคลื่นที่ผิวน้ำตามสมการที่ (2.1), (2.2), (2.3) และ (2.4).....	6
2.3	ลักษณะการหมุนเป็นวงของอนุภาคเนื่องจากคลื่นสำหรับคลื่นในน้ำลึกปานกลางและคลื่นน้ำตื้น (ชาย) และคลื่นน้ำลึก (ขวา).....	7
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางกายภาพต่อการกัดเซาะและสะสมของตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ.....	14
2.5	อัตราการสลายตัวของพลังงานคลื่นจากเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2551 โดย a คือบริเวณ intertidal zone และอยู่ด้านหลังโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง b คือบริเวณ lower intertidal zone และ c คือบริเวณ subtidal zone.....	15
2.6	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $H_{1/3}$ ) (a) ความเร็วลม (b) และทิศทางลม (b) ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนที่ละติจูด 13°30' N ความลึกน้ำเฉลี่ย 3.5 เมตร (Uehara et al., 2010)	16
2.7	กราฟการกัดเซาะและตกตะกอนสำหรับอนุภาคตะกอนใดๆ ในรูปแสดงตัวอย่างอนุภาคตะกอนทรายขนาด 0.1 มิลลิเมตรจะเริ่มขยับตัวเมื่อความเร็วกระแสน้ำเกินกว่า A เซนติเมตรต่อวินาที และจะเคลื่อนที่ไปได้จนกว่าความเร็วจะลดลงต่ำกว่า C เซนติเมตรต่อวินาทีซึ่งต่ำกว่า A .....	17
3.1	A อ่าวไทยแสดงพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสี่เหลี่ยม และ B ภาพขยายบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ พื้นที่เก็บตัวอย่างในกรอบสี่เหลี่ยม	18
3.2	เครื่องวัดกระแสน้ำ Valeport model 106.....	23
3.3	โครงเหล็กสำหรับติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำ เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำใกล้ท้องน้ำ	23
3.4	เครื่องวัดระดับน้ำ ยี่ห้อ Solinst รุ่น 3001.....	26
4.1	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคตะกอนที่ongตามความลึกน้ำ (เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง) บริเวณพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จากการสำรวจในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553 เวลา 15:30 – 16:40 น. ....	29

4.2	ตำแหน่งจุดตรวจวัดขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ เส้นสีขาวยคือจุดแบ่งมวลน้ำชายฝั่งและมวลน้ำทะเลอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูแล้ง โดยการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ.....	29
4.3	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553.....	31
4.4	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553.....	32
4.5	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 3 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554.....	33
4.6	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 4 วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554.....	34
4.7	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 5 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า).....	35
4.8	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 6 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (บ่าย).....	36
4.9	ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 7 วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554.....	37
4.10	ความเร็วและทิศทางลมในขณะเก็บข้อมูลคลื่นในแต่ละครั้ง ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย.....	40
4.11	ความสูงคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ.....	40
4.12	ความเร็วกลุ่มของคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ.....	41
4.13	คาบคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ.....	42
4.14	ความยาวคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ.....	42
4.15	ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ.....	43
4.16	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความลึกน้ำ.....	44
4.17	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553.....	45
4.18	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553.....	45
4.19	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554.....	46

4.20	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554.....	46
4.21	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า).....	47
4.22	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (บ่าย).....	47
4.23	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554.....	48
4.24	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำ.....	50
4.25	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความสูงคลื่นนัยสำคัญ..	50
4.26	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความเร็วคลื่น.....	51
4.27	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความยาวคลื่น.....	51
4.28	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับคาบคลื่น.....	52
4.29	การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม (Measured S.) และจากการคำนวณ (Calculated S.) โดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย.....	53
4.30	การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม (Measured S.) และจากการคำนวณ (Calculated S.) โดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ.....	54
ก-1	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553.....	63
ก-2	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553.....	64
ก-3	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554.....	65
ก-4	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554.....	66
ก-5	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า).....	67

ก-6	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (ป้าย).....	68
ก-7	ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ในวันที่ 7 วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554.....	69

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

$A_x$	แกนหลักของรูปวงรีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ หรือการขจัดไกลที่สุดในการเคลื่อนตัวของตะกอนไกลที่ท้องน้ำเนื่องจากคลื่น (m)
$A$	ความสูงสันคลื่นสูงสุด (m)
$a$	แอมพลิจูดคลื่น (m)
$a_{rms}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงคลื่น (m)
$B_y$	แกนรองของรูปวงรีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ (m)
$B$	ความสูงสันคลื่นรองลงมา (m)
$C$	ท้องคลื่นต่ำสุด (m)
$C_w$	ความเร็วคลื่น (m/s)
$C_0$	ความเร็วคลื่นในบริเวณน้ำลึก (m/s)
$C_g$	ความเร็วกลุ่มของคลื่น (m/s)
$c$	สัมประสิทธิ์เซซซี
$c_g$	ความเร็วกลุ่มของคลื่น (m/s)
$D$	ท้องคลื่นถัดขึ้นมา (m)
$D_{50}$	ค่ากลางของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ หรือ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ (mm)
$D_{B1}$	การกระจายตัวของพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ
$D_{B2}$	การกระจายตัวของพลังงานคลื่นเนื่องจากคลื่นแตกตัว
$d$	ความลึกน้ำ (m)
E หรือ epsilon	ดัชนีชี้วัดว่าคลื่นที่ตรวจวัดนั้นเป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น (wind wave) หรือเป็นคลื่นที่เดินทางมาจากพื้นที่ห่างไกลในรูปของ swell
$f_w$	แฟคเตอร์แรงเสียดทาน
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m/s^2$ )
$H_1$	ความสูงคลื่นสูงสุด (m)
$H_2$	ความสูงคลื่นรองลงมา (m)
$H_{1/3}$	ความสูงคลื่นที่สูงที่สุด 1 ส่วน จากทั้งหมด 3 ส่วน (m)
$H_{1/10}$	ความสูงคลื่นที่สูงที่สุด 1 ส่วน จากทั้งหมด 10 ส่วน (m)
$H_b$	ความสูงคลื่นหัวแตก (m)
$H_{max}$	ความสูงคลื่นสูงสุดภายใน 10 นาที (m)
$H'_{max}$	ความสูงคลื่นที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นได้ภายใน 1 ชั่วโมง (m)

$H_{rms}$	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นกำลังสอง (m)
$k_{s,w}$	ความขรุขระท้องน้ำภายใต้อิทธิพลของคลื่น
$L$	ความยาวคลื่น (m)
$L_0$	ความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึก (m)
$m$	ค่าเฉลี่ยความชันของท้องน้ำ
$N_z$	จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านเส้นระดับน้ำนิ่ง
$N_c$	จำนวนลูกคลื่นทั้งหมด
$n_m$	สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง มีค่าเท่ากับ 0.02
$n$	จำนวนข้อมูล
$p$	ความดัน ( $N/m^2$ )
$Q_B$	เฟคเตอร์แรงเสียดทานขณะคลื่นแตกตัว
$r$	สหสัมพันธ์ (correlation)
$R^2$	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination)
$s$	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำทะเล ( $\rho_s / \rho_w$ )
$S_*$	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ( $kg/m^3$ )
$S_{*C}$	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากกระแสน้ำ ( $kg/m^3$ )
$S_{*W}$	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากคลื่น ( $kg/m^3$ )
$T$	คาบคลื่นเฉลี่ย (s)
$Te$	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเล (องศาเซลเซียส)
$T_{max}$	คาบคลื่นที่มากที่สุดที่เกิดขึ้น (s)
$t$	เวลา (s)
$u$	ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนในแนวราบ (m/s)
$V$	ความเร็วกระแสน้ำ (m/s)
$\nu$	kinematic viscosity ของน้ำทะเล ( $m^2/s$ )
$w$	ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนในแนวตั้ง (m/s)
$w_s$	ความเร็วในการตกตะกอน (m/s)
$z$	ระยะจากท้องน้ำถึงความลึกใดๆ (m)
$\alpha$	สัมประสิทธิ์ของความสามารถในการขุ่นตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ มีค่าประมาณ 0.023
$\alpha_x$	ความเร่งในแนวราบ ( $m/s^2$ )
$\alpha_z$	ความเร่งในแนวตั้ง ( $m/s^2$ )



$\beta_1$	สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ 0.04
$\beta_2$	สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ $50 \times 10^{-6}$
$\rho$	ความหนาแน่นน้ำทะเล ( $\text{kg/m}^3$ )
$\gamma$	ความหนาแน่นจำเพาะของน้ำทะเล ( $\text{kg/m}^3$ )
$\gamma_s$	ความหนาแน่นจำเพาะของอนุภาคตะกอน ( $\text{kg/m}^3$ )
$\eta$	ระดับน้ำ (m)
$\omega$	ความถี่คลื่น ( $\text{s}^{-1}$ )

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนมีสำคัญทั้งในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และทรัพยากรธรรมชาติ แต่ในขณะเดียวกันก็ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งทำการประมง และระบบนิเวศน์วิทยาในพื้นที่ป่าชายเลนที่ผ่านมามาตรการการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งจะเน้นไปที่การสร้างโครงสร้างในการลดพลังงานคลื่น เช่น การปักแนวไม้ไผ่รวก การสร้างถุงทรายกันคลื่น การปักเสาไฟฟ้าและสวมด้วยยางรถยนต์ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษากระบวนการกัดเซาะชายฝั่งจากลักษณะทางพลศาสตร์ของน้ำในพื้นที่ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการและป้องกันชายฝั่งในอนาคต

ในบริเวณชายฝั่งที่น้ำตื้นหรือบริเวณเอสตูรีการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำ เป็นกระบวนการที่สำคัญและซับซ้อนเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปัจจัยทางกายภาพที่หลากหลายและมีความแปรผันมาก เช่น การผสมกันของตะกอนหลายขนาด การไหลพื้นน้ำหรือจมน้ำของผิวหน้าตะกอนเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง หรือแม้กระทั่งสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะพวกที่อาศัยอยู่หน้าดิน (benthos) เป็นต้น สำหรับการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำจะขึ้นกับแรงคลื่นและกระแสน้ำเป็นหลัก เนื่องจากบริเวณชายฝั่งเป็นเขตที่มีน้ำตื้นทำให้พลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำส่งผ่านลงไปถึงชั้นตะกอนพื้นท้องน้ำ แรงเฉือนจากแรงคลื่นและกระแสน้ำที่ท้องน้ำทำให้ตะกอนท้องน้ำฟุ้งกระจายกลับขึ้นมาในมวลน้ำ (Postma, 1967 และ Schubel, 1972) เกิดการเคลื่อนย้ายตะกอนไปยังบริเวณอื่น หรือเกิดการตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำเมื่อพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำมีค่าน้อยลง สำหรับบริเวณที่ความลึกน้ำต่ำกว่า 6 เมตรจะมีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยสูง ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของคลื่นลม (Wind wave) ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำ กลับขึ้นมาในมวลน้ำ ตะกอนแขวนลอยบางส่วนจะถูกเคลื่อนย้ายออกนอกชายฝั่ง (Larry, 1985) ซึ่งทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำ (bed erosion)

การศึกษานี้เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยกับพลังงานคลื่นและกระแสน้ำ พร้อมทั้งประเมินความแม่นยำของสมการคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากพลังงานคลื่นและกระแสน้ำซึ่งเสนอโดย Zhang (2009) ที่บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนโดยมีการสำรวจเก็บข้อมูลคลื่น กระแสน้ำและความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ชายฝั่งทะเลในพื้นที่แล้วนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยเลือกพื้นที่ชายฝั่งทะเลบ้านขุนสมุทรจีนเป็นพื้นที่ศึกษา พื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนตั้งอยู่ในเขตตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นพื้นที่กั้นอ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะเป็นหาดเลนที่มีความลาดต่ำ (~ 1:1000)

เป็นบริเวณที่ชายฝั่งเกิดการถอยร่นกว่า 1 กิโลเมตรในรอบ 20 ปี โดยสาเหตุของการถอยร่นอาจเกิดจากการกระทำของแรงคลื่นร่วมกับแผ่นดินทรุด และขาดตะกอนแขวนลอยจากแผ่นดิน

### 1.2 วัตถุประสงค์

- ศึกษาคุณสมบัติของคลื่น กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย และตะกอนท้องน้ำ บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน
- ศึกษาอิทธิพลของพลังงานคลื่นและกระแสน้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำ
- ประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ฟุ้งขึ้นมาจากท้องน้ำเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นและกระแสน้ำ ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ ขนาดตะกอนท้องน้ำ ที่ความลึกระหว่าง 1.5-5 เมตร และประเมินความแม่นยำของสมการคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากพลังงานคลื่นและกระแสน้ำ บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อธิบายกระบวนการกัดเซาะพื้นที่ท่องเที่ยวที่เกิดจากคลื่นและกระแสน้ำ และเป็นข้อมูลช่วยในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในอนาคต

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

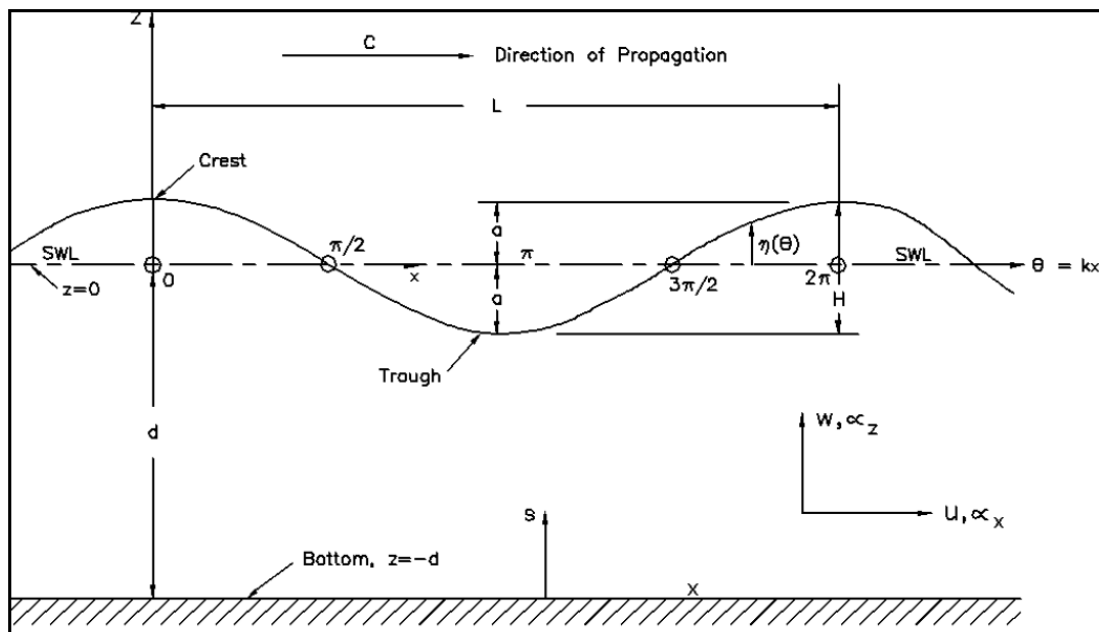
#### 2.1 กลศาสตร์ของคลื่น

คลื่นผิวน้ำเป็นการส่งผ่านพลังงานโดยการเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นวงของอนุภาคน้ำตั้งฉากกับทิศทางการส่งผ่านพลังงานหรือทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นที่ผิวน้ำในทะเลมีคาบคลื่นในช่วง 5 ถึง 25 วินาที ส่วนใหญ่เกิดจากลมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีคลื่นชนิดอื่น ๆ ซึ่งไม่ได้เกิดจากลม เช่น คลื่นใต้น้ำ (Internal wave) คลื่นขอบชายฝั่ง (Edge wave) น้ำขึ้นน้ำลงก็ถือว่าเป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งมีความถี่ต่ำ เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ องค์ความรู้เกี่ยวกับคลื่นเป็นสิ่งสำคัญต่อการพิจารณาหรือวางแผนการทำงานในบริเวณชายฝั่ง เนื่องจากคลื่นเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมลักษณะของชายฝั่ง

การคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นเมื่อเคลื่อนตัวผ่านความลึกที่แตกต่างกันมีหลายทฤษฎีแต่ทฤษฎีที่ใช้กันแพร่หลายในการคำนวณนั้นคือทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย (small amplitude wave theory or linear wave theory) เสนอขึ้นโดย Airy (1845) ซึ่งกำหนดให้คลื่นมีลักษณะแบบ Sine wave ทำให้ทฤษฎีดังกล่าวนำมาประยุกต์ได้ง่าย สามารถอธิบายคุณสมบัติของคลื่นได้สมเหตุสมผล แต่ยังคงมีเงื่อนไขบางประการซึ่งถูกสมมุติขึ้นในการพัฒนาทฤษฎี คือ ลักษณะมวลน้ำเหมือนกันทั้งคอลัมน์ (Homogeneous) และ ไม่สามารถถูกบีบอัดได้ (Incompressible) ส่งผลให้ความหนาแน่นคงที่ แรงตึงผิวของน้ำและแรงโคลิโอริสส่งผลต่อคลื่นน้อยมาก มวลน้ำมีความหนืดน้อยมาก (Lacks viscosity) คลื่นไม่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของมวลน้ำ ลักษณะพื้นท้องน้ำราบเรียบ ไม่สามารถถูกแทรกซึมได้ (Impermeable boundary) ดังนั้นความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ท้องน้ำมีค่าเป็นศูนย์ แอมพลิจูดคลื่นมีค่าน้อย รูปแบบคลื่น (Wave form) ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและพื้นที่

#### ลักษณะของคลื่น (Wave characteristic)

คลื่นสามารถจัดแบ่งตามลักษณะต่างๆของคลื่น (รูปที่ 2.1) คือ คาบคลื่น (Wave period,  $T$ ) ความยาวคลื่น (Wave length,  $L$ ) ความเร็วคลื่น (Wave celerity,  $C_w$ ) ความเร็วกลุ่มของคลื่น (Wave group velocity,  $C_g$ ) ความสูงคลื่น (Wave height,  $H$ ) แอมพลิจูดคลื่น (Wave amplitude,  $a$ )



รูปที่ 2.1 ลักษณะคลื่นแบบฟังก์ชัน sine และองค์ประกอบของคลื่น และความหมายของตัวแปร (Resio et al., 2002)

ความยาวคลื่น คือระยะทางระหว่างยอดคลื่นสองยอดที่อยู่ติดกัน ความสูงคลื่นนับจากยอดคลื่น (Crest) ถึงท้องคลื่น (Trough) มีค่าเป็นสองเท่าของแอมพลิจูด คาบคลื่นคือระยะเวลาที่ผ่านไประหว่างที่ยอดคลื่นสองยอดเคลื่อนที่ผ่านจุดสังเกตภายในเวลา 1 วินาที ความเร็วของคลื่น (Phase speed) มีค่าเท่ากับ  $C = L/T$  นอกจากนี้มีการกำหนดตัวแปรเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการคำนวณ คือ Wave number ( $\kappa = 2\pi / L$ ) angular frequency ( $\omega = 2\pi / T$ )

คลื่นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท (ตารางที่ 2.1) โดยใช้ความลึกสัมพัทธ์ (relative depth,  $d/L$ ) คือ คลื่นเคลื่อนตัวในน้ำลึก (Deep water) คลื่นเคลื่อนตัวในน้ำลึกปานกลาง (Transitional) และคลื่นเคลื่อนตัวในน้ำตื้น (Shallow water) ซึ่งคุณสมบัติของคลื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งความลึกน้ำลดลง (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทคลื่นตามความลึกน้ำสัมพัทธ์ (relative depth,  $d/L$ ) (Resio et al., 2002)

Classification	$d/L$	$\kappa d$	$\tanh(\kappa d)$
Deep water	1/2 to $\infty$	$\pi$ to $\infty$	$\approx 1$
Transitional	1/20 to 1/2	$\pi/10$ to $\pi$	$\tanh(kd)$
Shallow water	0 to 1/20	0 to $\pi/10$	$\approx kd$

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านความลึกต่างกัน (Resio et al., 2002)

Wave property	Shallow water	Transitional	Deep water
Wave profile	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$		
Wave celerity	$C_w = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C_w = \frac{L}{T} = \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C_w = \frac{L}{T} = \frac{gL}{2\pi}$
Wave length	$L = C_w T = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gL T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = L_0 = \frac{g T^2}{2\pi} = C_0 T$
Wave group velocity	$C_g = C_w = \sqrt{gd}$	$C_g = n C_w = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right) C_w$	$C_g = \frac{1}{2} C_w = \frac{gT}{4\pi}$
Subsurface pressure	$p = \rho g (\eta - z)$	$p = \rho g \eta \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} - \rho g z$	$p = \rho g \eta e^{\left(\frac{2\pi z}{L}\right)} - \rho g z$

การเคลื่อนที่ผ่านไปบนผิวน้ำของคลื่นจะทำให้อนุภาคน้ำและอนุภาคอื่น ๆ ในมวลน้ำเกิดการเคลื่อนที่หมุนเป็นวงกลม (รูปที่ 2.2) โดยความเร็วในแนวราบ ( $u$ ) และความเร็วในแนวตั้ง ( $w$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) ความเร็วในแนวราบจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเฟสของคลื่นมีค่าเท่ากับ  $n\pi$  โดย  $n$  มีค่าเท่ากับ  $0, 1, 2, \dots, n$  และ ความเร็วในแนวตั้งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเฟสของคลื่นมีค่าเท่ากับ  $m\pi$  โดย  $m$  มีค่าเท่ากับ  $0.5, 1.5, 2.5, \dots, m$

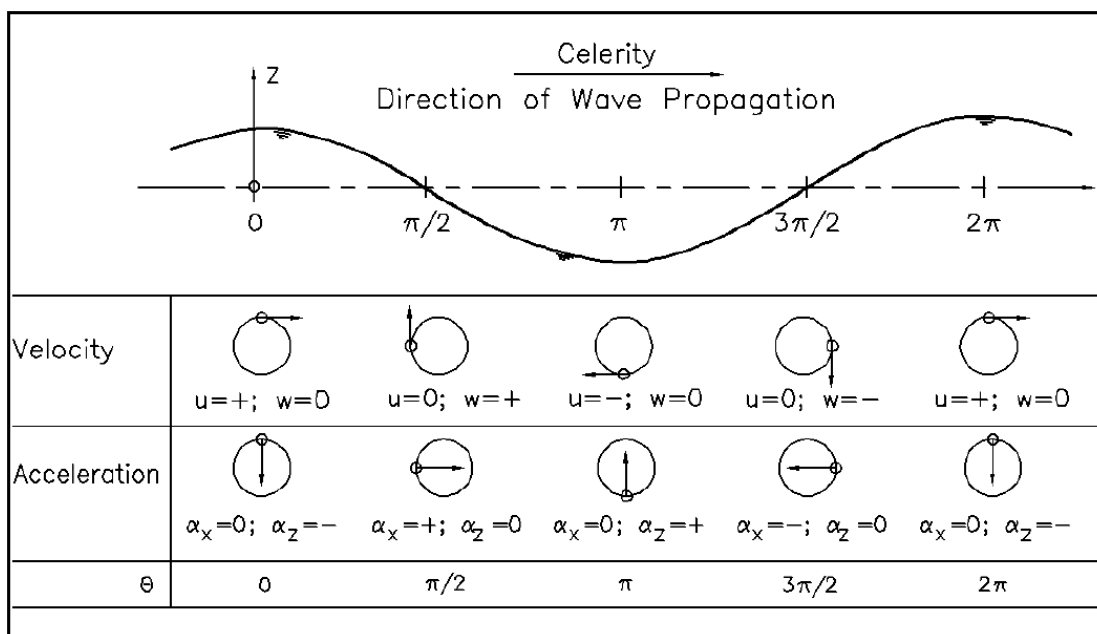
$$u = \frac{H_{1/3}}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta \quad (2.1)$$

$$w = \frac{H_{1/3}}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta \quad (2.2)$$

ความเร่งของอนุภาคสามารถหาได้จากการนำสมการ (2.1) และ (2.2) มาหาอนุพันธ์เทียบกับเวลา ดังนั้นจะได้ความเร่งตามสมการ (2.3) และ (2.4) โดยความเร่งในแนวราบ ( $\alpha_x$ ) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเฟสของคลื่นมีค่าเท่ากับ  $m\pi$  โดย  $m$  มีค่าเท่ากับ  $0.5, 1.5, 2.5, \dots, m$  และความเร่งในแนวตั้ง ( $\alpha_z$ ) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเฟสของคลื่นมีค่าเท่ากับ  $n\pi$  โดย  $n$  มีค่าเท่ากับ  $0, 1, 2, \dots, n$

$$\alpha_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\theta = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\alpha_z = -\frac{g\pi H}{L} \frac{\sinh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\theta = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (2.4)$$

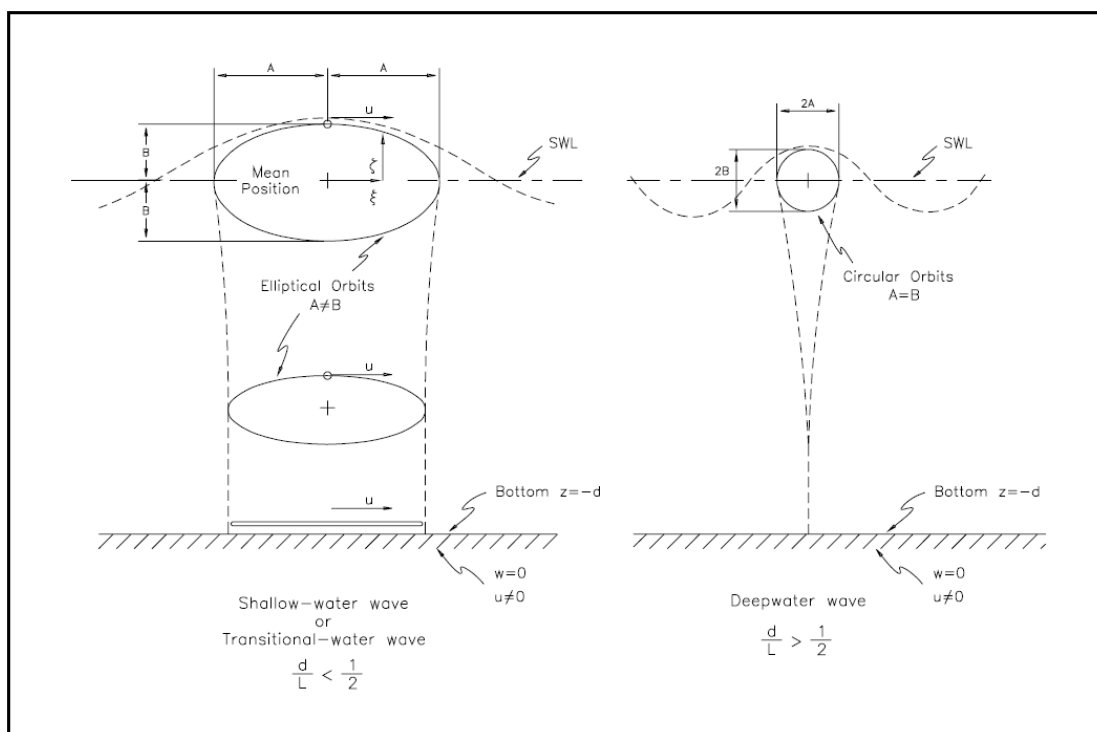


รูปที่ 2.2 ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) จากการหมุนเป็นวงของอนุภาค เนื่องจากคลื่นที่ผิวน้ำตามสมการที่ (2.1), (2.2), (2.3) และ (2.4) (Resio et al., 2002)

ลักษณะการหมุนเป็นวงของอนุภาคเนื่องจากคลื่น (Orbital trajectory) สำหรับคลื่นน้ำลึกที่บริเวณผิวน้ำอนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับความสูงคลื่น ที่ระดับความลึกน้ำเพิ่มขึ้นเส้นผ่านศูนย์กลางจะลดลงจนกระทั่งความลึกเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น อนุภาคน้ำจะไม่มีเคลื่อนที่ แต่สำหรับคลื่นในน้ำลึกปานกลางและคลื่นน้ำตื้นอนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นวงรีรอบแกนหลัก (major axis,  $A_x$ ) ที่ขนานกับท้องน้ำ และแกนรอง (minor axis,  $B_y$ ) ที่ตั้งฉากกับท้องน้ำ เมื่อระดับความลึกน้ำเพิ่มขึ้นการเคลื่อนที่ในทิศทางของแกนรองสั้นลงและเป็นศูนย์กลางที่ท้องน้ำ เหลือเพียงการเคลื่อนที่ไปกลับในทิศทางของแกนหลัก (รูปที่ 2.3) โดยค่าของแกนหลัก ( $A_x$ ) และแกนรอง ( $B_y$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5) และ (2.6)

$$A_x = -\frac{H \cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{2 \sinh(2\pi d/L)} \sin \theta \quad (2.5)$$

$$B_y = \frac{H \sinh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{2 \sinh(2\pi d/L)} \cos \theta \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.3 ลักษณะการหมุนเป็นวงของอนุภาคเนื่องจากคลื่นสำหรับคลื่นในน้ำลึกปานกลางและคลื่นน้ำตื้น (ซ้าย) และคลื่นน้ำลึก (ขวา) (Resio et al., 2002)



## 2.2 ความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำ (Sediment carrying capacity)

ความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำ เป็นความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยกับลักษณะทางพลศาสตร์ของน้ำ (คลื่น และกระแสน้ำ) วิธีการนี้มีข้อดีคือเรียบง่ายประการของไหลและลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอน เช่น การกระจายตัวในแนวตั้งของความเร็วและความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ค่าความเร็ววิกฤตที่ทำให้เกิดการกัดเซาะหรือทับถมของตะกอน เป็นต้น การประมาณค่าความสามารถในการอุ้มตะกอนตั้งอยู่บนทฤษฎีพลังงาน (energy theory) ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้องการความถูกต้องอย่างมากในการคำนวณพลังงานที่จะทำให้ตะกอนสามารถฟุ้งขึ้นมาและสามารถอุ้มตะกอนให้ลอยอยู่ในมวลน้ำได้ แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดคือมีสมมุติฐานว่าตะกอนสามารถถูกกัดเซาะได้ภายใต้ลักษณะของพลศาสตร์ของน้ำใดๆ และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจะแปรตามความแรงของกระแสน้ำเท่านั้นโดยไม่พิจารณาถึงความหนืดของชั้นตะกอนและปริมาณตะกอนที่พร้อมจะฟุ้งขึ้นมา สมมุติฐานนี้จะเกิดความผิดพลาดอยู่เล็กน้อยเมื่อกระแสน้ำมีค่าไม่มากพอที่จะกัดเซาะท้องน้ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสน้ำมีค่าน้อยลงมากๆ จะทำให้มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยน้อยลงมาก เนื่องจากปริมาณตะกอนแขวนลอยจะแปรผันตามความเร็วกระแสน้ำยกกำลังสาม สมการความสามารถในการอุ้มตะกอนได้ถูกเสนอขึ้นโดย Dou et al. (1995) ซึ่งสมมุติว่าความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำเป็นผลรวมของความสามารในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำตามสมการที่ (2.7) คือ

$$S_* = S_{*C} + S_{*W} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2.7)$$

โดย  $S_{*C}$  คือ ความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ และ  $S_{*W}$  คือ ความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่น

2.2.1 ความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ ( $S_{*C}$ ) สมการนี้ได้รับการตรวจสอบจากข้อมูลหลายชุดทั้งจากห้องทดลองและจากภาคสนาม (Dou et al., 1995 อ้างถึงใน Zhang et al., 2009)

$$S_{*C} = \alpha \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} \frac{V^3}{c^2 g d w_s} \quad (2.8)$$

โดย  $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ของความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ มีค่าประมาณ 0.023

$\gamma$  คือ ความหนาแน่นจำเพาะของน้ำทะเล (specific density of sea water,  $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_s$	คือ	ความหนาแน่นจำเพาะของอนุภาคตะกอน (specific density of sediment particle, kg/m <sup>3</sup> )
$d$	คือ	ความลึกน้ำ (depth, m)
$c$	คือ	สัมประสิทธิ์เชซี (Chezy coefficient)
$w_s$	คือ	ความเร็วในการตกตะกอน (settling velocity, m/s)
$g$	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (acceleration of gravity, m/s <sup>2</sup> )
$V$	คือ	ความเร็วกระแสน้ำ (streamwise velocity, m/s)

สัมประสิทธิ์เชซีที่มีความสัมพันธ์กับความลึกน้ำโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$c = \frac{d^{\frac{1}{6}}}{n_m} \quad (2.9)$$

โดย	$d$	คือ	ความลึกน้ำ (m)
	$n_m$	คือ	สัมประสิทธิ์แมนนิง (Manning coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.02

ความเร็วในการตกตะกอน (settling velocity) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.10) โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตะกอนกับความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยซึ่งดัดแปลงมาจาก Wu et al. (2008)

$$w_s = 1.777 \times 10^{-5} S_* \quad (2.10)$$

โดย	$w_s$	คือ	ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค (m/s)
	$S_*$	คือ	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (kg/m <sup>3</sup> )

นอกจากนี้ความเร็วในการตกตะกอนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตะกอนกับขนาดอนุภาคยกกำลังสาม (Van, 1989 อ้างถึงใน Nielsen, 2000)

$$w_s = \frac{10\nu \sqrt{\frac{1 + 0.01(s-1)gD_{50}^3}{\nu^2} - 1}}{D_{50}} \quad (2.11)$$

$$\nu = \left[ 1.14 - 0.031(Te - 15) + 0.00068(Te - 15)^2 \right] \times 10^{-6} \quad (2.12)$$

โดย	$w_s$	คือ	ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับ $D_{50}$
	$s$	คือ	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำทะเล ( $\rho_s / \rho_w$ )
	$\nu$	คือ	kinematic viscosity ของน้ำทะเล
	$Te$	คือ	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)

2.2.2 ความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่น ( $S_{sw}$ ) Zhang et al. (2009) ได้ปรับแก้สมการให้มีความถูกต้องและสมเหตุสมผลมากขึ้นจากเดิม โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วนคือ บริเวณที่คลื่นไม่แตกตัว (outside the surf zone) และ บริเวณที่คลื่นแตกตัว (inside the surf zone)

บริเวณที่คลื่นไม่แตกตัว (outside the surf zone)

ในบริเวณนี้พลังงานคลื่นจะถูกลดทอนด้วยแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ โดยการลดทอนพลังงานสุทธิ ( $D_{B1}$ ) ต่อพื้นที่และเวลาสามารถอธิบายได้โดยสมการที่ (2.13) (Horikawa, 1988 อ้างถึงใน Zhang et al., 2009)

$$D_{B1} = \frac{2\pi^2}{3} \rho f_w \frac{H_{rms}^3}{T^3 \sinh^3(kd)} \quad (2.13)$$

โดย	$f_w$	คือ	แฟคเตอร์แรงเสียดทาน (friction factor)
	$H_{rms}$	คือ	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นกำลังสอง (m)
	$T$	คือ	คาบคลื่นเฉลี่ย (s)
	$k$	คือ	wave number
	$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของน้ำทะเล ( $\text{kg/m}^3$ )

สำหรับ friction factor ( $f_w$ ) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ในบริเวณที่พื้นที่ขรุขระ (สมการที่ 2.14) และในบริเวณพื้นเรียบ (สมการที่ 2.15)

$$f_w = \exp \left[ -6 + 5.2 \left( \frac{A_x}{k_{s,w}} \right)^{-0.19} \right] \quad (2.14)$$

$$f_w = \frac{0.09}{\sqrt{U_\delta A / \nu}} \quad (2.15)$$

โดย	$u$	คือ	ความเร็วกระแส น้ำหนึนวนสูงสุดใกล้ท้องน้ำที่เกิดจากคลื่น (m/s)
	$A_x$	คือ	การขจัดไกลที่สุดในการเคลื่อนตัวของตะกอนใกล้ท้องน้ำเนื่องจากคลื่น (m)
	$k_{s,w}$	คือ	ความขรุขระท้องน้ำภายใต้อิทธิพลของคลื่น

ค่าของความเร็วกระแส น้ำหนึนวนสูงสุดใกล้ท้องน้ำ ( $u$ ) ที่เกิดจากคลื่นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.16) โดยกำหนดให้  $\theta$  มีค่าเท่ากับ 0

$$u = \frac{H_{1/3}}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta \quad (2.16)$$

โดย	$H_{1/3}$	คือ	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (m)
	$T$	คือ	คาบคลื่น ( $s^{-1}$ )
	$L$	คือ	ความยาวคลื่น (m)
	$d$	คือ	ความลึกน้ำ (m)
	$z$	คือ	ระยะจากท้องน้ำถึงความลึกใดๆ (m)

ค่าความยาวคลื่น ( $L$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.17)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.17)$$

โดย	$T$	คือ	คาบคลื่น ( $s^{-1}$ )
	$d$	คือ	ความลึกน้ำ (m)

สมการนี้มี  $L$  อยู่ทั้งสองด้านของสมการและไม่สามารถจัดให้อยู่ในฝั่งเดียวกันของสมการ จึงต้องหาค่าเฉลยด้วยการแทนค่าซ้ำ (McCormick, 2007)

Dou et al. (1995) (อ้างโดย Zhang et al., 2009) ได้เสนอสมการ (2.18) แสดงพลังงาน ( $R$ ) ที่ใช้ในการขุดตะกอนไว้ในมวลน้ำ ( $S_*$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับงานที่ทำให้ตะกอนลอยอยู่ในมวลน้ำ

$$R = \frac{(\gamma_s - \gamma) h S_* w_s g}{\gamma_s} \quad (2.18)$$

พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้ตะกอนลอยอยู่ในมวลน้ำสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการลดทอนพลังงานสุทธิตามสมการที่ (2.19)

$$R = \beta_1 D_{B1} \quad (2.19)$$

โดย  $\beta_1$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ 0.04)

จากสมการที่ (2.13) (2.18) และ (2.19) สามารถเขียนสมการความสามารถในการขุดตะกอนเนื่องจากคลื่นในเขตคลื่นไม่แตกตัวได้ตามสมการที่ (2.20)

$$S_{*w} = \beta_1 \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{f_w H_{rms}^3}{T^3 g^2 h w_s \sinh^3(kd)} \quad (2.20)$$

บริเวณที่คลื่นแตกตัว (inside the surf zone)

ในบริเวณนี้การลดทอนตัวของพลังงานจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำและการแตกตัวของคลื่น สำหรับในหาดทรายจะมีความชันค่อนข้างมากทำให้เกิดการแตกตัวของคลื่นอย่างรุนแรง สำหรับในหาดเลนการแตกตัวของคลื่นจะเป็นอิทธิพลหลักต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วชายหาดที่มีขนาดตะกอนเล็กจะมีความชันน้อยกว่า 1/1,000 มีผลทำให้การแตกตัวของคลื่นเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป และอาจจะครอบคลุมบริเวณชายหาดทั้งหมด ดังนั้นสามารถเขียนสมการแสดงการลดทอนของพลังงานคลื่นในเขตคลื่นแตกตัวได้ตามสมการ (2.21)

$$D_B = D_{B1} + D_{B2} \quad (2.21)$$

โดย  $D_{B2}$  คือ การลดทอนของพลังงานคลื่นเนื่องจากคลื่นแตกตัว

การลดทอนของพลังงานคลื่นเนื่องจากคลื่นแตกตัวสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2.22) (Rattanapitikon and Shibayama, 1995 อ้างถึงใน Zhang et al., 2009)

$$D_{B2} = K Q_B \frac{c_g \rho g}{8d} \left\{ H_{rms}^2 - \left[ d \exp \left( -0.58 - 2.0 \frac{d}{\sqrt{LH_{rms}}} \right) \right]^2 \right\} \quad (2.22)$$

โดย  $K$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ 0.1)

$c_g$  คือ ความเร็วกลุ่มของคลื่น (wave group velocity)

$L$  คือ ความยาวคลื่น  
 $Q_B$  คือ เฟคเตอร์แรงเสียดทานขณะคลื่นแตกตัว  
 (fraction of wave which break)

ค่าของ  $Q_B$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.23) และ (2.24)

$$Q_B = 0, \quad \frac{H_{rms}}{H_b} \leq 0.43 \quad (2.23)$$

$$Q_B = 0.235 - 0.738 \left( \frac{H_{rms}}{H_b} \right) - 0.280 \left( \frac{H_{rms}}{H_b} \right)^2 + 1.785 \left( \frac{H_{rms}}{H_b} \right)^3, \quad \frac{H_{rms}}{H_b} > 0.43 \quad (2.24)$$

ความสูงคลื่นหัวแตก ( $H_b$ ) คำนวณโดยใช้เกณฑ์ของ Goda (1970) ตามสมการที่ (2.25) (Goda, 1970 อ้างถึงใน Zhang et al., 2009)

$$H_b = 0.1L_0 \left\{ 1 - \exp \left[ -1.5 \frac{\pi d}{L_0} (1 + 15m^{4/3}) \right] \right\} \quad (2.25)$$

โดย  $m$  คือ ค่าเฉลี่ยความชันของท้องน้ำ  
 $L_0$  คือ ความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึก

สามารถเขียนการลดทอนของพลังงานและกระบวนการแขวนลอยของตะกอนเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำและการแตกตัวของคลื่นได้ตามสมการที่ (2.26)

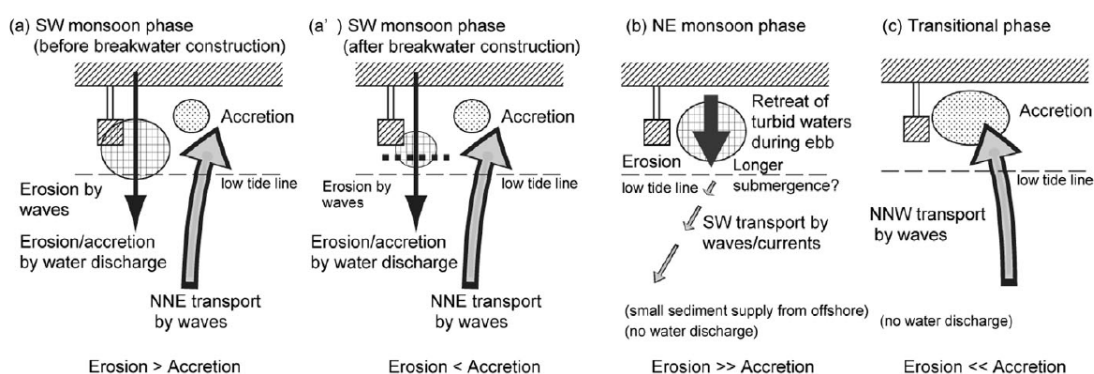
$$R = \beta_1 D_{B1} + \beta_2 D_{B2} \quad (2.26)$$

โดย  $\beta_2$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ  $50 \times 10^{-6}$ )  
 ดังนั้น จะสามารถเขียนสมการความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่นในเขตคลื่นแตกตัวได้ตามสมการที่ (2.27)

$$S_{*w} = \beta_1 \frac{\mathcal{N}_1}{\gamma_s - \gamma} \frac{f_w H_{rms}^3}{T^3 g^2 dw_s \sinh^3(kd)} + \beta_2 \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{D_{B2}}{gd\omega} \quad (2.27)$$

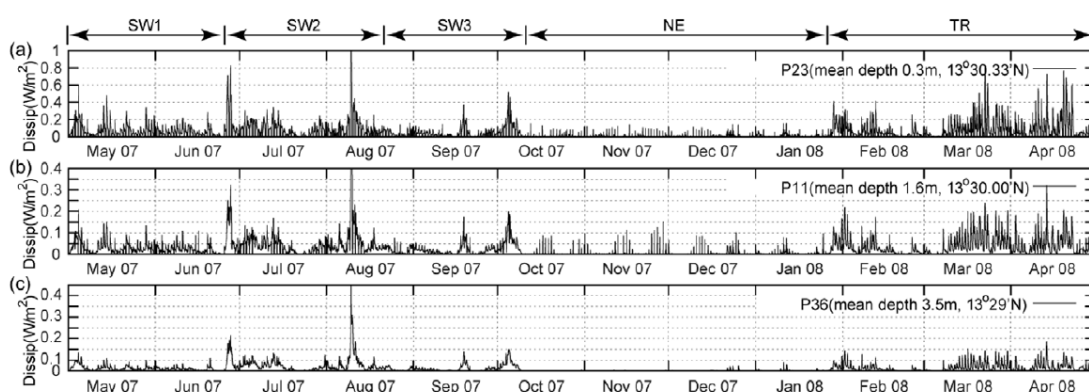
## 2.3 กระบวนการกัดเซาะและสะสมของตะกอนท้องน้ำในบริเวณหาดโคลนปากแม่น้ำเจ้าพระยา

ระดับความสูงต่ำของพื้นทะเลในบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยการแตกตัวของคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่คือปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและทับถมของตะกอนท้องน้ำ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลบ้านขุนสมุทรจีนจะเกิดทั้งการกัดเซาะและสะสมของตะกอน โดยก่อนการสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจะเกิดการกัดเซาะตะกอนท้องน้ำมากกว่าการสะสม (รูปที่ 2.4 a) แต่หลังจากมีการโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจะเกิดการสะสมของตะกอนท้องน้ำมากกว่าการกัดเซาะ (รูปที่ 2.4 a') โดยการสะสมของตะกอนจะเกิดจากการเคลื่อนย้ายตะกอนจากนอกชายฝั่งเข้าสู่บริเวณชายฝั่งหลังโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจากคลื่นในทิศ NNE และการสะสมของตะกอนที่ถูกพัดพามากับน้ำท่าจากแผ่นดิน ในขณะที่การกัดเซาะท้องน้ำจะเกิดจากแรงกระทำของน้ำท่าซึ่งมีมากในช่วงนั้น ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นช่วงที่คลื่นมีพลังงานต่ำจะเกิดการกัดเซาะตะกอนท้องน้ำมาก (รูปที่ 2.4 b) โดยเกิดจากการแตกตัวของคลื่นในบริเวณน้ำตื้นทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำขึ้นมาในมวลน้ำและถูกกระแสน้ำพัดพาดอกนอกชายฝั่งไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่น้ำลง นอกจากนี้ในช่วงดังกล่าวน้ำท่ามีปริมาณน้อยทำให้มีปริมาณตะกอนจากแผ่นดินมาสะสมในบริเวณชายฝั่งน้อยตามไปด้วย สำหรับในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (รูปที่ 2.4 c) จะเกิดสะสมของตะกอนท้องน้ำอย่างมากเนื่องจากเกิดจากพัดพาของตะกอนจากทิศ NNW บริเวณนอกชายฝั่งเข้ามาสะสมในบริเวณใกล้ชายฝั่งโดยคลื่น (Uehara et al., 2010)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางกายภาพต่อการกัดเซาะและสะสมของตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ (Uehara et al., 2010)

อัตราการลดทอน (dissipate) พลังงานคลื่นในบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนเกิดจากปัจจัยหลักสองปัจจัยด้วยกันคือ แรงเสียดทานที่ท้องน้ำ และการแตกตัวของคลื่นเมื่อความลึกน้ำลดลง จากรูปที่ 2.5 ในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลง (intertidal zone) จะเกิดการลดทอนของพลังงานคลื่นมากกว่าในเขตต่ำกว่าน้ำขึ้นน้ำลง (lower intertidal zone และ subtidal zone) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่า จะเกิดการลดทอนพลังงานคลื่นมากในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (transition period) ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน รองลงมาคือช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และน้อยที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Uehara et al., 2010) นอกจากนี้การลดทอนของพลังงานคลื่นจะสัมพันธ์กับความสูงคลื่นและความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 ดังนั้นในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนจึงเป็นช่วงที่มีการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำมากที่สุด



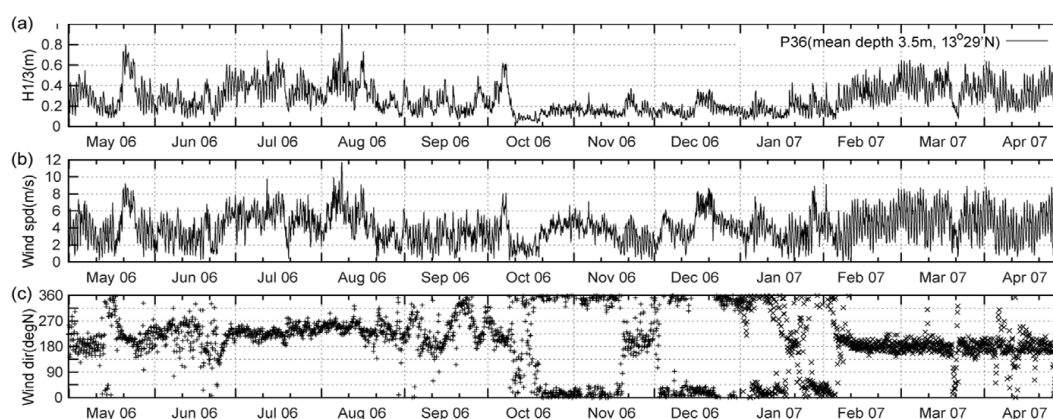
รูปที่ 2.5 อัตราการสลายตัวของพลังงานคลื่นจากเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2551 โดย a คือบริเวณ intertidal zone และอยู่ด้านหลังโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง b คือบริเวณ lower intertidal zone และ c คือบริเวณ subtidal zone (Uehara et al., 2010)

คลื่นบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนจะมีความสูงคลื่นมากในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคมและในช่วงปลายฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (ตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.6) โดยความสูงคลื่นจะสัมพันธ์กับความเร็วและทิศทางลม กล่าวคือหากความเร็วลมมากจะทำให้เกิดคลื่นที่มีความสูงมากและลมที่พัดมาจากทิศใต้จะทำให้เกิดการพัฒนาตัวของความสูงคลื่น ได้มากกว่าลมที่พัดมาจากทิศอื่น เนื่องจากบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนมีระยะทางพัฒนาตัวของคลื่น (fetch-length) มากที่สุดในทิศใต้ (ปราโมทย์ โสจิศุภร และคณะ, 2555) แต่สำหรับในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนตุลาคมและช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ทิศทางลมพัดมาจากทิศเหนือทำให้เกิดคลื่นพัฒนาตัวออกจากชายฝั่งถึงแม้ในบางช่วงความเร็วลมจะมากแต่ระยะทางพัฒนาตัวของคลื่นน้อยทำให้ความสูงคลื่นมีค่าน้อย



ตารางที่ 2.3 ข้อมูลความสูงคลื่นเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2499 – 2503 บริเวณสถานีน้ำร่อง จ.สมุทรปราการ โดย H คือความสูงคลื่น และ f คือความถี่หรือโอกาสในการเกิด (NEDECO, 1963)

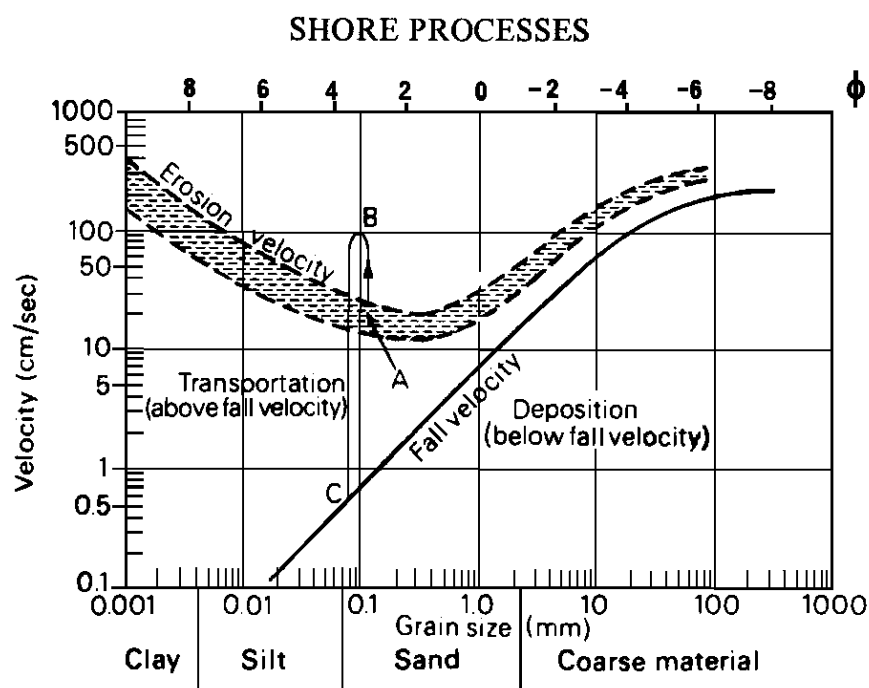
เดือน	H (m)	f (%)	H×f (m)	เดือน	H (m)	f (%)	H×f (m)
มกราคม	0.30	49	0.15	กรกฎาคม	0.30	64	0.20
กุมภาพันธ์	0.55	79	0.45	สิงหาคม	0.40	63	0.25
มีนาคม	0.50	82	0.40	กันยายน	0.40	53	0.25
เมษายน	0.55	75	0.40	ตุลาคม	0.30	29	0.10
พฤษภาคม	0.45	71	0.30	พฤศจิกายน	0.35	12	0.05
มิถุนายน	0.35	73	0.25	ธันวาคม	0.30	15	0.05



รูป 2.6 ความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $H_{1/3}$ ) (a) ความเร็วลม (b) และทิศทางลม (b) ระหว่างเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนที่ละติจูด  $13^{\circ}30' N$  ความลึกน้ำเฉลี่ย 3.5 เมตร (Uehara et al., 2010)

หากพิจารณาการสะสมหรือกัดเซาะตะกอนท้องน้ำซึ่งขึ้นกับความเร็วกะแสน้ำร่วมกับขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำและความเร็วในการตกของอนุภาคตะกอน (Fall velocity หรือ Settling velocity) จากรูปที่ 2.7 ความเร็วในการตกของอนุภาคตะกอนจะมีค่าลดลงตามขนาดอนุภาคตะกอนที่เล็กลง หากความเร็วกะแสน้ำมีค่าน้อยกว่าความเร็วในการตกของอนุภาคตะกอนจะเกิดการสะสมของอนุภาคตะกอนที่ท้องน้ำ ถ้าความเร็วกะแสน้ำมีค่าอยู่ระหว่างความเร็วในการตกของอนุภาคตะกอนและความเร็วในการกัดเซาะอนุภาคตะกอนท้องน้ำ (Erosion velocity) อนุภาคตะกอนจะถูกอุ้มเอาไว้ในมวลน้ำและถูกเคลื่อนย้ายไปตามกระแสน้ำ และถ้าความเร็วกะแสน้ำมากกว่าความเร็วในการกัดเซาะอนุภาคตะกอนท้องน้ำ ตะกอนท้องน้ำจะฟุ้งกระจายขึ้นมาในมวลน้ำและเกิดการกัดเซาะท้องน้ำ

ในส่วนองความเร็วในการกัดเซาะอนุภาคตะกอนท้องน้ำของทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (Clay) มีมากกว่าทราย (Sand) เนื่องจากอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวมีขนาดเล็กทำให้พื้นที่ผิวมากแรงดึงดูดที่ผิวของอนุภาคระหว่างประจุบวกและลบบนพื้นผิวของอนุภาคจึงมีค่ามากตามไปด้วย นอกจากนี้การอัดตัวของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กสามารถเกิดขึ้นได้มากทำให้ชั้นตะกอนมีความแข็งแรงมากขึ้น และในบางครั้งอาจมีสารอินทรีย์เข้ามาช่วยยึดเกาะระหว่างอนุภาค

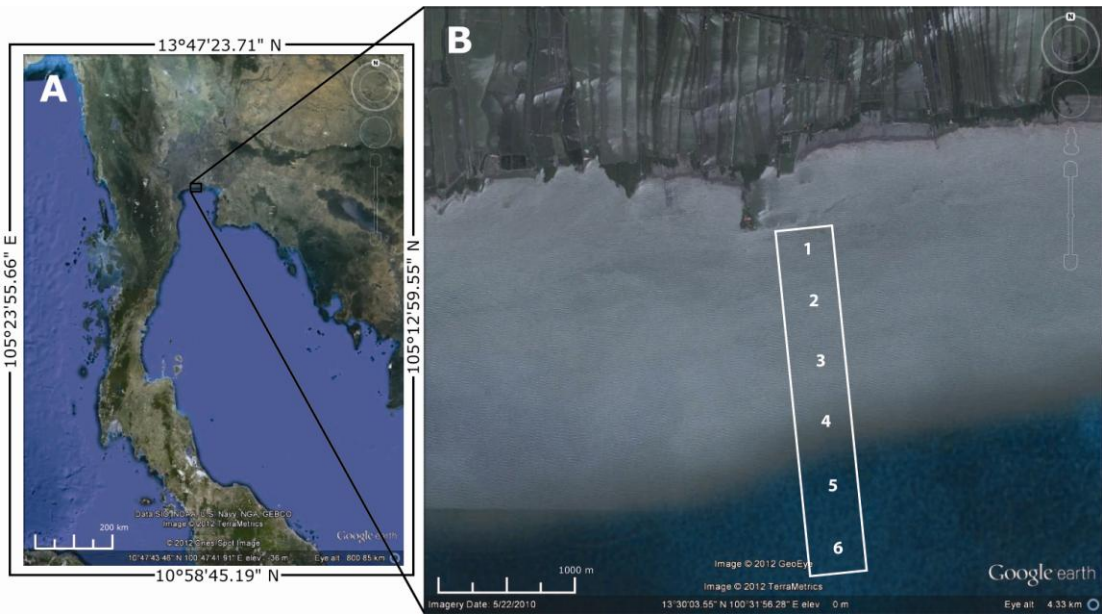


รูปที่ 2.7 กราฟการกัดเซาะและตกตะกอนสำหรับอนุภาคตะกอนใดๆ ในรูปแสดงตัวอย่างอนุภาคตะกอนทรายขนาด 0.1 มิลลิเมตรจะเริ่มขยับตัวเมื่อความเร็วกระแสน้ำเกินกว่า A เซนติเมตรต่อวินาที และจะเคลื่อนที่ไปได้จนกว่าความเร็วจะลดลงต่ำกว่า C เซนติเมตรต่อวินาทีซึ่งต่ำกว่า A (Beer, 1983)

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สถานที่ทำการศึกษา

หาดเลนบริเวณบ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ จุดเก็บตัวอย่างอยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมตามรูปที่ 3.1 ในแต่ละครั้งมีจุดเก็บตัวอย่าง 4-6 จุด เริ่มเก็บข้อมูลจุดแรกที่มีความลึกน้ำประมาณ 1.5 เมตร ที่จุดสุดท้ายความลึกน้ำประมาณ 4-6 เมตร



รูปที่ 3.1 A อ่าวไทยแสดงพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสี่เหลี่ยม และ B ภาพขยายบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ พื้นที่เก็บตัวอย่างในกรอบสี่เหลี่ยม

#### 3.2 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เลือกเก็บข้อมูลในช่วงฤดูแล้งหรือในช่วงน้ำขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงมากับน้ำท่าในลักษณะของ river plume ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 7 ครั้ง ครอบคลุมวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงและสภาพคลื่น ดังตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงอ้างอิงตามมาตราน้ำ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานี สภาพคลื่นได้จากการสอบถามชาวประมงในพื้นที่ก่อนการออกเก็บตัวอย่างประมาณ 2-3 วัน

ตารางที่ 3.1 วัน เวลา น้ำขึ้นน้ำลง และสภาพคลื่น จากการเก็บข้อมูลทั้ง 7 ครั้ง

ครั้งที่	วัน	เวลา	น้ำขึ้นน้ำลง		สภาพคลื่น
			น้ำเกิด	น้ำขึ้น	
1	22 ก.ย. 53	14:30 – 16:30	น้ำเกิด	น้ำขึ้น	เบา
2	19 ธ.ค. 53	15:30 – 16:40	น้ำเกิด	น้ำลง	เบามาก
3	20 ก.พ. 54	11:50 – 12:45	น้ำเกิด	น้ำลงต่ำสุด	แรง
4	30 มี.ค. 54	11:30 – 13:20	น้ำตาย	น้ำนิ่ง	ปานกลาง
5	2 เม.ย. 54	7:30 – 9:30	น้ำตาย	น้ำลง	เบา
6	2 เม.ย. 54	13:30 – 15:10	น้ำตาย	น้ำขึ้น	เบา
7	8 พ.ค. 54	10:15 – 11:25	น้ำเกิด	น้ำลง	แรงมาก

### การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตะกอนท้องน้ำ

เก็บตะกอนท้องน้ำโดยใช้ grab sampler จากนั้นนำมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคทรายโดยวิธี Sieve analysis และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวโดยวิธี pipette method (McManus, 1988) ใช้เกณฑ์การแบ่งขนาดอนุภาคตาม Wentworth scale ดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำมาวาดกราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคตะกอนโดยให้แกน X เป็น Sediment size (mm) และแกน Y เป็น Percent coarser หลังจากนั้นวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่ากลางของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ ( $D_{50}$ ) เทียบกับความลึกน้ำ

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยวิธี sand sieve analysis และ pipette method

ในการการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน (Grain size analysis) จะแบ่งตะกอนเป็น 2 ประเภทคือ non-cohesive sediment ซึ่งเป็นอนุภาคตะกอนขนาดใหญ่ที่ไม่เกาะตัวกันคือ อนุภาคทรายและกรวด และ cohesive sediment ซึ่งอนุภาคตะกอนขนาดเล็ก (ทรายแป้งและดินเหนียว) โดยอนุภาคตะกอนเดี่ยวๆ ของตะกอนขนาดเล็กจะเกาะตัวกันจนเป็นขนาดอนุภาค ตะกอนใหญ่ขึ้น ทำการแยกตะกอนทั้ง 2 ชนิดออกจากกันโดยการร่อนตะกอนผ่านตะแกรงขนาด 63  $\mu\text{m}$  อนุภาคตะกอนขนาดใหญ่ นั้นนำไปอบแห้งแล้วแยกขนาดด้วยการร่อนผ่านตะแกรง ขนาดต่างๆ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า Sieve analysis สำหรับอนุภาคตะกอนขนาดเล็กนำไปแยก ตะกอนขนาดต่างๆด้วยวิธี Pipette method เนื่องจากตะกอนบริเวณบ้านขุนสมุทรจีนเป็นตะกอน ขนาดทรายแป้งและดินเหนียวเป็นหลัก มีตะกอนทรายน้อยมากซึ่งมักจะเป็นเปลือกหอยหรือซาก ฟีซ ดังนั้นในการวิเคราะห์ขนาดตะกอนจะเป็นการจำแนกขนาดของทรายแป้งและดินเหนียวโดยใช้ pipette method เป็นหลัก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดตะกอนด้วยวิธี Sieve analysis และ Pipette method มีดังนี้

1. นำตะกอนที่ได้จากกระบอกตักตะกอน นำไปชั่งน้ำหนักเปียก จากนั้นคนตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จากนั้นแบ่งตะกอนออกมาประมาณ 300 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 ml
2. นำตะกอนที่แบ่งออกมา เติม 30 ml ของ 30% hydrogen Peroxide ( $H_2O_2$ ) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์
3. ร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดตา 125  $\mu m$  (จะได้ fine sand) และ 63  $\mu m$  (จะได้ very fine sand) เพื่อแยกอนุภาคทราย (coarse fraction) ออกมาจากองค์ประกอบที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (fine fraction) ที่เป็นทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) รong ตะกอนที่ไหลผ่านลงมาด้วยอ่างน้ำขนาดเล็กสีขาวเพื่อให้เห็นตะกอนได้ง่าย
4. ใช้น้ำกลั่นล้างทรายที่ติดอยู่บนตะแกรงจนกระทั่งน้ำที่ไหลลงมาใส เพื่อให้อนุภาคขนาดเล็กที่ติดอยู่ด้านบนถูกชะลงมาให้หมด
5. นำทรายที่ติดอยู่บนตะแกรงขนาดตา 125  $\mu m$  และ 63  $\mu m$  ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส หลังจากแห้งนำไปตั้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 แล้วบันทึกผล
6. ตะกอนที่ผ่านตะแกรงร่อนนำมาใส่ลงในกระบอกขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Calgon เข้มข้น 10% w/v จำนวน 20 ml ถ้าหากมีปริมาตรน้อยกว่า 1,000 มิลลิลิตร ให้ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร ก่อนโดยใช้น้ำกลั่น ถ้าหากมีความเข้มข้นของตะกอนมากเกินไป ให้ทำการเจือจางโดยใช้น้ำกลั่น และวัดปริมาตรทั้งหมดเพื่อนำมาคำนวณกลับเป็นปริมาตรรวมทั้งหมดในภายหลัง หลังจากนั้นแบ่งออกมา 1,000 มิลลิลิตร เพื่อใส่ลงในกระบอกตวง
7. วัดอุณหภูมิและความเค็ม หลังจากนั้นคนตะกอนในกระบอกตวงให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแล้วทำการปิเปตตัวอย่างขึ้นมา 10 มิลลิลิตร ตามตารางที่ 3.3
8. นำตัวอย่างที่ปิเปตไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากแห้งนำไปตั้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 แล้วบันทึกผล

## 9. การคำนวณ

- a. คำนวณน้ำหนักของตะกอนที่ทำการบีบอัดขึ้นมา 10 มิลลิเมตร
- i. คำนวณน้ำหนักตะกอนที่ได้ให้เป็นน้ำหนักจริงในปริมาตร 1,000 ลิตร หรือมากกว่าหากทำการเจาะจง
  - ii. นำมาลบน้ำหนักเกลือออกโดยใช้สูตร (น้ำหนัก ที่ได้จากข้อ C ที่คำนวณเป็น ปริมาตร 1,000 ลิตร )  

$$\text{น้ำหนักจริง} = \text{น้ำหนักที่วัดได้} - (\text{ความเค็ม(ppt)} \times \text{ปริมาตรน้ำทั้งหมด(ลิตร)})$$
  - iii. น้ำหนักจริงที่คำนวณได้ นำไปคำนวณเทียบกลับไปยังน้ำหนักเริ่มต้น
- b. การบีบอัดครั้งที่ 1 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/16 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 2 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/32 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 3 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/64 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 4 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/128 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 5 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/128 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 6 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/256 มิลลิเมตร  
 การบีบอัดครั้งที่ 7 จะได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1/512 มิลลิเมตร
- c. นำน้ำหนักที่วัดได้จากการบีบอัดครั้งแรก ลบด้วยน้ำหนักจากการบีบอัดครั้งที่สอง จะได้น้ำหนักของ Coarse silt และน้ำหนักที่วัดได้จากการบีบอัดครั้งที่สองลบด้วยครั้งที่สาม จะได้ Medium silt ทำการลบไปตามลำดับจนกระทั่งลำดับสุดท้ายจะได้น้ำหนักของ Fine clay รวมกับ Very fine clay

ตารางที่ 3.2 การแบ่งขนาดอนุภาคตะกอนตาม Wentworth scale และวิธีการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน

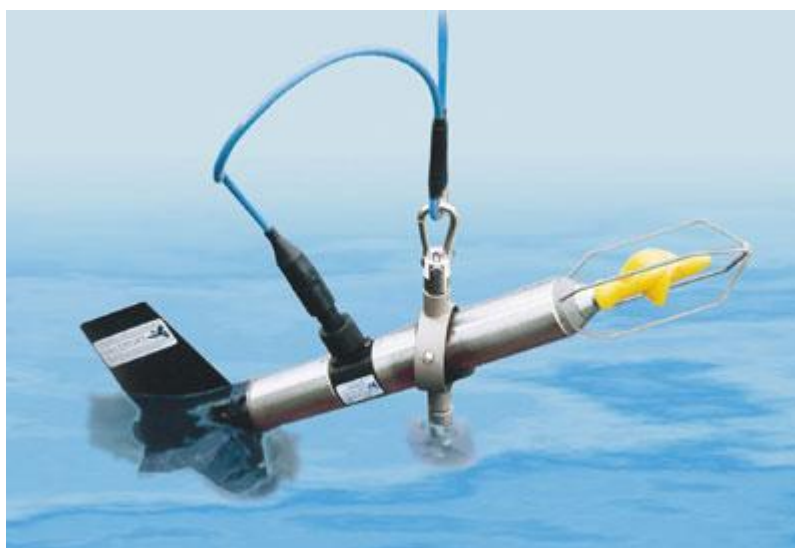
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ชนิดอนุภาค	วิธีการวิเคราะห์
1 – 2	Very coarse sand	sand sieve analysis
1/2 – 1	Coarse sand	sand sieve analysis
1/4 – 1/2	Medium sand	sand sieve analysis
1/8 – 1/4	Fine sand	sand sieve analysis
1/16 – 1/8	Very fine sand	sand sieve analysis
1/32 – 1/16	Coarse silt	pipette method
1/64 – 1/32	Medium silt	pipette method
1/128 – 1/64	Fine silt	pipette method
1/256 – 1/128	Very fine silt	pipette method
1/512 – 1/256	Coarse clay	pipette method
1/2048 – 1/512	Fine clay & Very fine clay	pipette method

ตารางที่ 3.3 ตารางเวลาและอุณหภูมิสำหรับการปิเปต

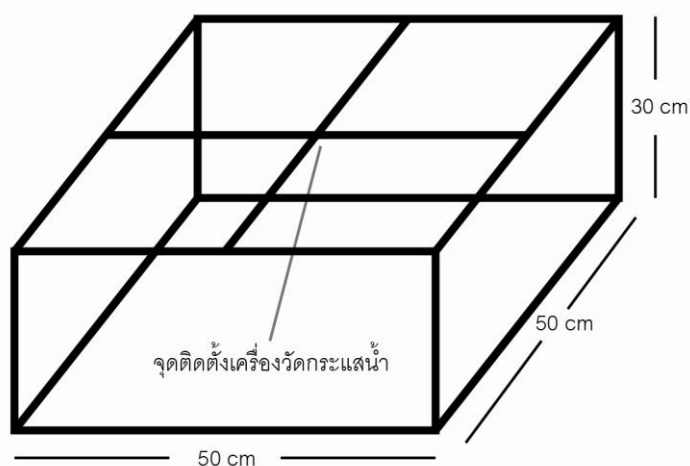
Diameter of particle (mm)	< 0.625	< 0.031	< 0.016	< 0.008	< 0.004	< 0.002	< 0.0005
Depth of withdrawal (cm)	10	10	10	10	5	5	3
Time of withdrawal	seconds	min : sec	min : sec	min : sec	min : sec	hour : min	hour : min
Temperature (Celsius)							
20	29	1:55	7:40	30:40	61:19	4:05	37:21
21	28	1:52	7:29	29:58	59:50	4:00	
22	27	1:50	7:18	29:13	58:22	3:54	
23	27	1:47	7:08	28:34	57:05	3:48	
24	26	1:45	6:58	27:52	55:41	3:43	33:56
25	25	1:42	6:48	27:14	54:25	3:38	
26	25	1:40	6:39	26:38	53:12	3:33	
27	24	1:38	6:31	26:02	52:02	3:28	
28	24	1:35	6:22	25:28	50:52	3:24	31:00
29	23	1:33	6:12	24:53	49:42	3:10	
30	23	1:31	6:06	24:22	48:42	3:05	

### การตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสน้ำที่บริเวณท้องน้ำ

เก็บข้อมูลกระแสน้ำโดยใช้เครื่องวัดกระแสน้ำ Valeport model 106 (รูปที่ 3.2) ติดตั้งกับกับโครงเหล็ก (รูปที่ 3.3) แล้ววางลงที่ท้องน้ำ โดยเครื่องวัดกระแสน้ำอยู่สูงจากพื้น 16 เซนติเมตร ในแต่ละสถานีเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 10-15 นาที และเฉลี่ยความเร็วกระแสน้ำทุกๆ 15 วินาที เพื่อตัดกระแสน้ำหมุนเป็นวงเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำออกให้เหลือกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำเพียงอย่างเดียว ถ่ายข้อมูลกระแสน้ำลงบนคอมพิวเตอร์จัดเรียงข้อมูลด้วยโปรแกรม Excel ตัดข้อมูลช่วงต้นและช่วงปลายซึ่งเป็นความเร็วกระแสน้ำในขณะที่ติดตั้งและเก็บกู้เครื่องวัดกระแสน้ำออก ทำการเฉลี่ยความเร็วและทิศทางกระแสน้ำในแต่ละสถานี หลังจากนั้นนำข้อมูลที่เฉลี่ยแล้วมาพลอตแบบเวกเตอร์ด้วยโปรแกรม Grapher 8 โดยพลอตความเร็วและทิศทางกระแสน้ำเทียบกับระดับน้ำ ความลึกน้ำ และระยะทางจากชายฝั่ง



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดกระแสน้ำ Valeport model 106



รูปที่ 3.3 โครงเหล็กสำหรับติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำ เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำใกล้ท้องน้ำ



### การตรวจวัดและการวิเคราะห์คุณสมบัติคลื่นตามความลึกน้ำ

เก็บข้อมูลคลื่นโดยใช้เครื่องวัดระดับน้ำ ยี่ห้อ Solinst รุ่น 3001 (รูปที่ 3.4) นำมาติดตั้งกับไม้ไผ่ความยาว 8 เมตร ปักลงบริเวณจุดตรวจวัดโดยให้เครื่องอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 1 เมตร เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลา 10-15 นาที หลังจากนั้นถ่ายข้อมูลลงคอมพิวเตอร์แยกน้ำขึ้นน้ำลงออกจากคลื่นโดยวิธี Moving average แล้วนำข้อมูลคลื่นมาทำการคำนวณหาความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นโดยใช้วิธี parametric method (Silvester, 1974) นำคาบคลื่นและความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้มาคำนวณหาความยาวคลื่น ความเร็วคลื่น (ตารางที่ 2.2) และความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำ (สมการที่ 2.1) ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นตามความลึกน้ำและทิศทางคลื่น

การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นด้วยวิธี Parametric method

การวิเคราะห์คลื่นเริ่มจากการบันทึกกราฟคลื่นเป็นตัวเลขความสูงคลื่นความยาว 10 นาที (กรณีบันทึกความสูงคลื่นลงบนกระดาษกราฟ) หรือถ่ายข้อมูลจากเครื่องบันทึกระดับน้ำแบบดิจิทัล ทำการพล็อตกราฟผิวน้ำเพื่อหาค่าระดับน้ำนิ่ง (still water level) หรือค่าระดับน้ำเฉลี่ยซึ่งแต่เดิมจะสังเกตด้วยสายตาก็ปัจจุบันสามารถหาค่าเฉลี่ยได้ง่ายเมื่อใช้แผ่นงาน Excel หรือโปรแกรมอื่นที่ทำงานคล้ายกัน เมื่อได้ระดับน้ำนิ่งแล้วจึงอ่านความสูงคลื่นทุกคาบเวลาที่ต้องการ (เดิมเมื่อใช้กระดาษกราฟจะอ่านค่าทุกคาบเวลา 5 วินาทีได้ข้อมูลคลื่น 120 ค่า เมื่อใช้เครื่องวัดระดับน้ำดิจิทัลจะอ่านค่าทุก ๆ 1-2 วินาทีทำให้ได้ข้อมูลคลื่นจำนวนมาก) แล้วคำนวณค่า  $a_{rms}$  ซึ่งก็คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สมมุติค่าความสูงคลื่นเป็น  $y$  และจำนวนข้อมูลคลื่นเท่ากับ  $n$  สูตรการคำนวณค่า  $a_{rms}$  เป็นดังสมการที่ 3.1

$$a_{rms} = ((\sum y^2 - n(\sum y)^2) / n)^{1/2} \quad (3.1)$$

จากเส้นระดับน้ำนิ่งให้นับจำนวนลูกคลื่นที่ผ่านเส้นระดับน้ำนิ่ง ( $N_z$ ) จำนวนลูกคลื่นทั้งหมด ( $N_c$ ) ความสูงสันคลื่นสูงสุด (A) ความสูงสันคลื่นรองลงมา (B) ท้องคลื่นต่ำสุด (C) และท้องคลื่นถัดขึ้นมา (D) คำนวณคลื่นลูกใหญ่สุด (A+C) และคลื่นลูกรองลงมา (B+D) เพื่อคำนวณหา  $H_1 a_{rms}$  และ  $H_2 a_{rms}$  ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$H_1 a_{rms} = \frac{0.5 * (A + C) * (1 + \frac{0.289}{\ln(N_z)} - \frac{0.247}{\ln(N_z)^2})}{2 * \ln(N_z)^{1/2}} \quad (3.1)$$

$$H_2 a_{rms} = \frac{0.5 * (B + D) * (1 - \frac{0.211}{\ln(N_z)} - \frac{0.103}{\ln(N_z)^2})}{2 * \ln(N_z)^{1/2}} \quad (3.2)$$

ค่าเฉลี่ย  $a_{rms}$  ได้จากการเฉลี่ยค่าของ  $a_{rms}$ ,  $H_1 a_{rms}$  และ  $H_2 a_{rms}$

ค่า epsilon (E) เป็นดัชนีชี้วัดว่าคลื่นที่ตรวจวัดนั้นเป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น (wind wave) หรือเป็นคลื่นที่เดินทางมาจากพื้นที่ห่างไกลในรูปของ swell ค่า epsilon คำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$E = (1 - (\frac{N_z}{N_c})^2)^{1/2} \quad (3.3)$$

ค่า  $H_{1/3}$  และ  $H_{1/10}$  หาได้จากการเปิดตารางหรืออ่านได้จากกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนคลื่นที่ผ่านระดับน้ำนิ่ง,  $N_z$  ค่า epsilon และค่า  $a_{rms}$  เฉลี่ยดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่า epsilon (E),  $H_{1/3}/a_{rms}$  และ  $H_{1/10}/a_{rms}$

E	0	0.2	0.4	0.6	0.8
$H_{1/3}/a_{rms}$	4.00	4.03	4.10	4.17	4.17
$H_{1/10}/a_{rms}$	5.09	5.09	5.24	5.45	5.73

หาค่าสัดส่วนสำหรับค่า epsilon ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วง (interpolation) จากค่าสัดส่วนในแต่ละช่วง แล้วแทนค่า  $a_{rms}$  เฉลี่ยก็จะได้ค่า  $H_{1/3}$  และ  $H_{1/10}$  ค่า  $H_{max}$  เป็นความสูงคลื่นสูงสุดใน 10 นาที ซึ่งก็คือค่า A+C ส่วนค่า  $H'_{max}$  คือค่าความสูงคลื่นที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นได้ภายในหนึ่งชั่วโมง เดิมต้องใช้สูตรคำนวณ แต่เมื่อใช้เครื่องบันทึกต่อเนื่องแบบดิจิทัลก็สามารถอ่านค่าได้จากข้อมูลทันที ค่าคาบเฉลี่ยของลูกคลื่นที่ผ่านเส้นระดับน้ำนิ่งจากข้อมูลภายใน 10 นาที คำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$T = \frac{10 \times 60}{N_z} \quad (\text{sec}) \quad (3.4)$$

และค่าคาบคลื่นที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$T_{max} = 2.43 \times (H_{1/3})^{1/3} \quad (\text{sec}) \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดระดับน้ำ ยี่ห้อ Solinst รุ่น 3001

นำข้อมูลความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำและค่ากลางของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับความเร็วกระแสที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและตกตะกอนสำหรับอนุภาคตะกอน ซึ่งเสนอโดย Beer (1983)

#### การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย

เก็บข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยโดยใช้กระบอกเก็บน้ำขนาด 1 ลิตร ผิวน้ำถึงกลางน้ำเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆระดับความลึก 1 เมตร ที่ระดับกลางน้ำถึงท้องน้ำเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆระดับความลึก 0.5 เมตร และนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ซึ่งได้ทำการอบและชั่งน้ำหนักความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 หลังจากนั้นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำมาพักไว้ให้เย็นในเดสซิเคเตอร์และนำไปชั่งน้ำหนัก ทำการหักกลับน้ำหนักกระดาษกรองออกและนำข้อมูลน้ำหนักตะกอนแขวนลอยมาคำนวณเป็นความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย หาความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยโดยนำข้อมูลมาทำการประมาณค่าภายในช่วงทุก ๆ ระดับความลึก 0.1 m หลังจากนั้นนำมาเฉลี่ยเป็นความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยทั้งคอลัมน์น้ำ ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเทียบความลึกน้ำ คลื่น และกระแสน้ำที่บริเวณท้องน้ำ

### **การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสามารถในการอุ้มตะกอน**

นำข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยมาวาดกราฟเทียบกับความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ (2.8) (2.18) และ (2.25) ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดนำมาหักลบค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของคลื่นหรือกระแสน้ำ (Ambient suspended sediment concentration) ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการคำนวณสามารถปรับเพิ่มลดได้โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ และความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค

## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 ขนาดของอนุภาคตะกอนท้องน้ำ

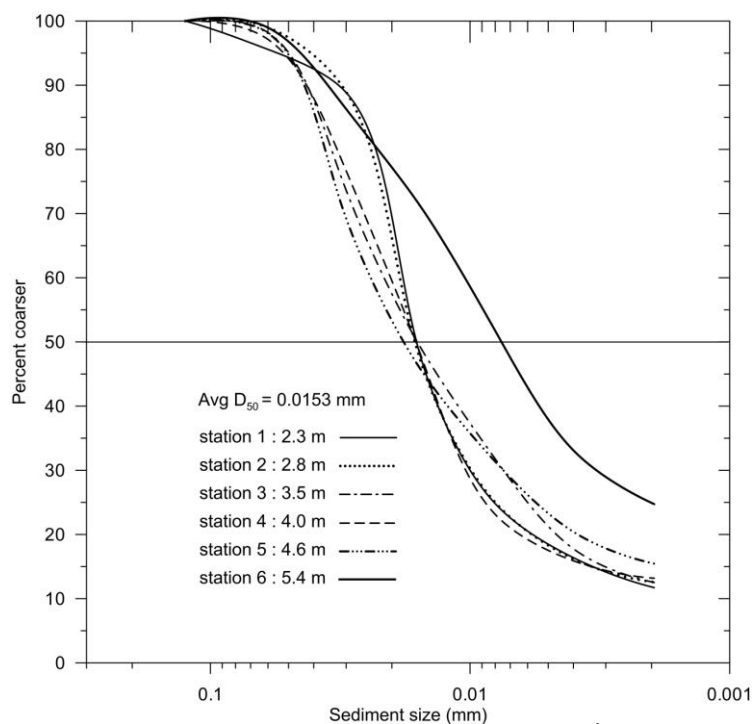
ตะกอนท้องน้ำบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวถึงทรายหยาบ อนุภาคส่วนใหญ่เป็นทรายแป้งละเอียด ค่า  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำเฉลี่ย 0.0153 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดของทรายแป้ง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ (2552) ซึ่งได้ค่า  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำประมาณ 0.02 มิลลิเมตร จากภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 สถานีที่ 1 ถึง 5 มีค่า  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำใกล้เคียงกันประมาณ 0.0175 มิลลิเมตร ส่วนสถานีที่ 6 มีค่า  $D_{50}$  เท่ากับ 0.0075 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1) การที่ขนาดตะกอนที่สถานี 6 มีค่าน้อยกว่าสถานีอื่นๆ เนื่องจากเป็นพื้นที่น้ำลึกพลังงานคลื่นที่ผิวน้ำสามารถส่งลงไปถึงท้องน้ำได้น้อยอนุภาคตะกอนขนาดเล็กจึงสามารถตกตะกอนลงไปที่ท้องน้ำได้มากกว่าในบริเวณที่ตื้น ดังนั้นหากพิจารณาตาม  $D_{50}$  เป็นไปได้ว่าที่สถานีที่ 5 ห่างจากชายฝั่ง 2.4 กิโลเมตร (รูปที่ 4.2) ความลึก 4.6 เมตร (เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง) จะเป็นจุดแบ่งของมวลน้ำชายฝั่งซึ่งได้รับอิทธิพลของคลื่นและตะกอนจากน้ำท่ากับมวลน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูแล้ง (ข้อมูลจากการสำรวจในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553 เวลา 15:30 – 16:40 น.)

ขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำมากกว่าร้อยละ 95 มีขนาดเล็กกว่า 0.0625 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว เป็นไปได้ว่าแหล่งที่มาของตะกอนท้องน้ำในบริเวณนี้มาจากแม่น้ำเป็นหลักซึ่งเกิดการชะล้างเอาตะกอนจากแผ่นดินลงมาสะสมบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ดังนั้นสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งที่สำคัญอีกประการอาจมาจากปริมาณตะกอนจากแม่น้ำลดลงทำให้ชายฝั่งขาดตะกอนเข้าสะสมและเกิดการกัดเซาะในที่สุด

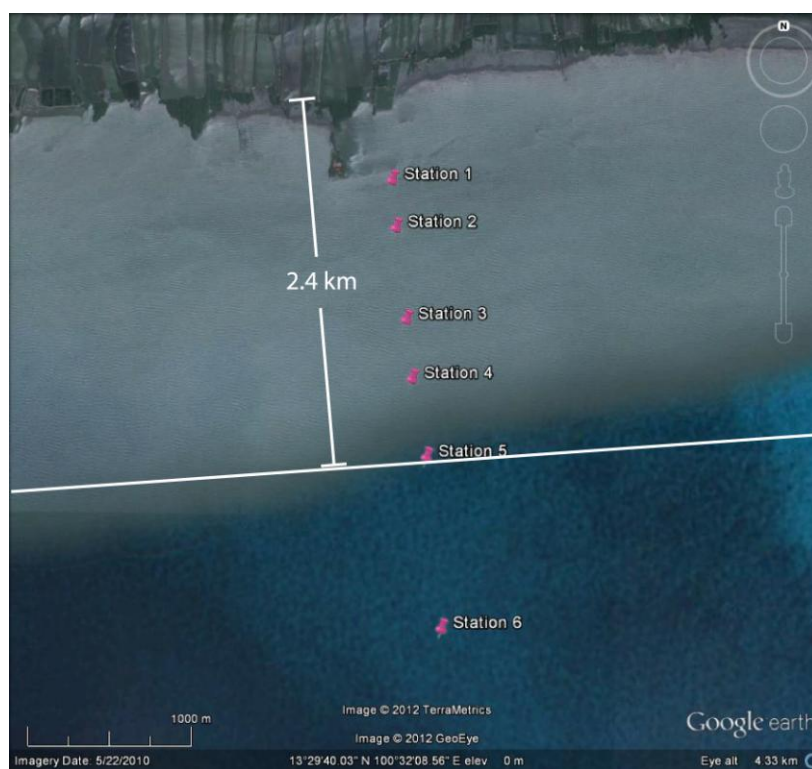
#### ตารางที่ 4.1 ค่ากลางของขนาดอนุภาคในแต่ละสถานี

สถานี	ความลึกน้ำ (m)	ค่ากลางขนาดอนุภาค ( $D_{50}$ , mm.)	ระยะทางจากชายฝั่ง (km)	ตำแหน่งจุดตรวจวัด (latitude, longitude)
1	2.3	0.0175	0.53	13°30'20.53" N, 100°32'2.49" E
2	2.8	0.0173	0.84	13°30'10.70" N, 100°32'3.60" E
3	3.5	0.0176	1.40	13°29'52.50" N, 100°32'5.70" E
4	4.0	0.0175	1.77	13°29'40.80" N, 100°32'6.90" E
5	4.6	0.0195	2.25	13°29'25.30" N, 100°32'9.80" E
6	5.4	0.0075	3.30	13°28'51.40" N, 100°32'12.80" E

หมายเหตุ : ข้อมูลได้จากการเก็บตัวอย่างสถานีละ 1 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคตะกอนท้องตามความลึกน้ำ (เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง) บริเวณพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จากการสำรวจในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553 เวลา 15:30 – 16:40 น.



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งจุดตรวจวัดขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ เส้นสีขาวคือจุดแบ่งมวลน้ำชายฝั่งและมวลน้ำทะเลอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูแล้ง โดยการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ

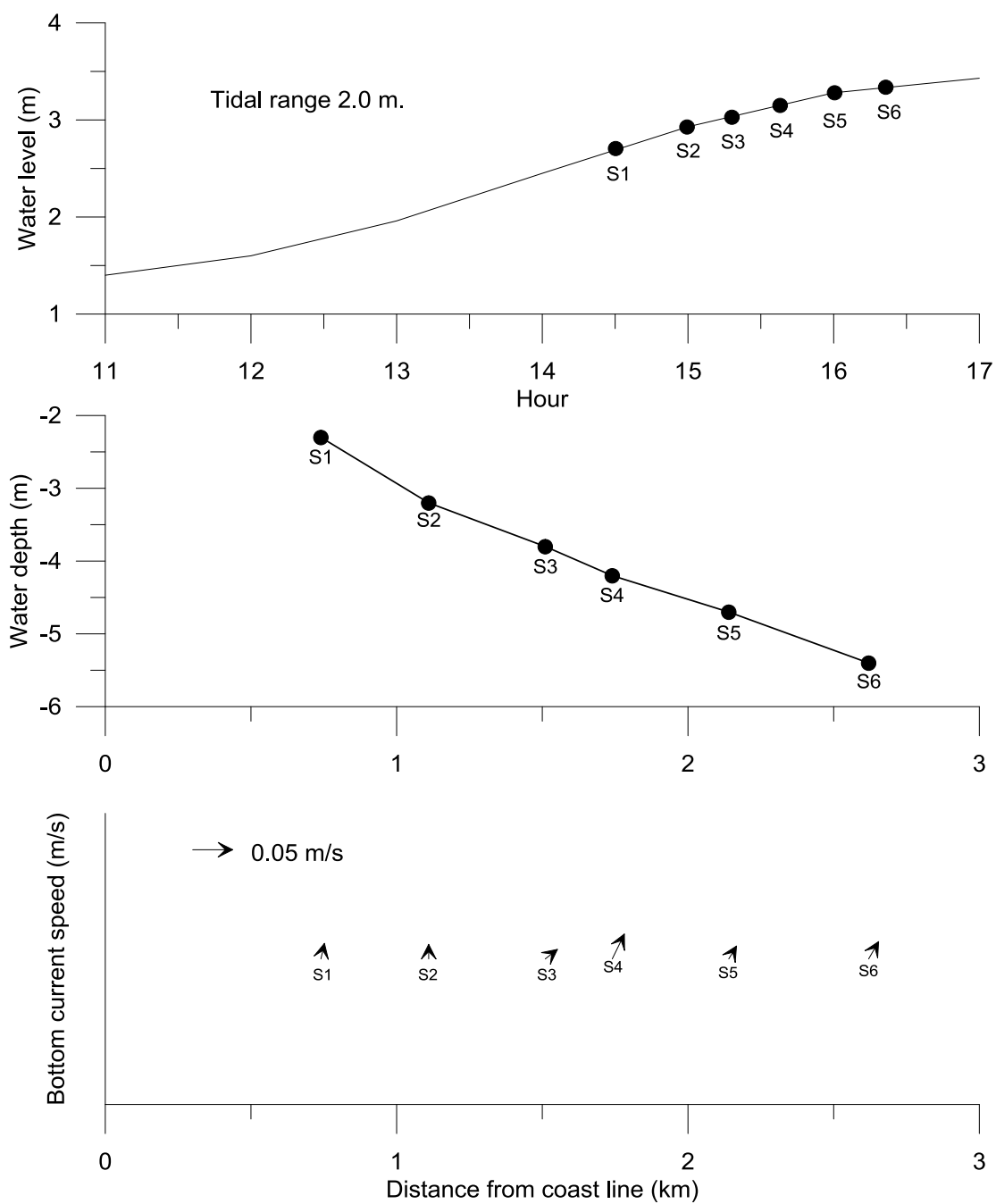
#### 4.2 กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่บริเวณท้องน้ำ

กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนในเขตใกล้ชายฝั่งที่มีความลึกน้ำ 1.5- 5.4 เมตร เท่าที่ตรวจวัดได้มีความเร็วอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที (ตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 ถึง 4.9) ความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณนี้มีค่าค่อนข้างน้อยเนื่องจากบริเวณพื้นที่สำรวจเป็นพื้นที่ก้นอ่าวและน้ำตื้นทำให้กระแสน้ำเกิดการเสียดทานกับท้องน้ำมาก ส่งผลให้กระแสน้ำเกือบจะหยุดนิ่ง ความเร็วและทิศทางกระแสน้ำค่อนข้างความแปรปรวนเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับความลึกน้ำหรือระยะทางจากชายฝั่ง ความแปรปรวนดังกล่าวสามารถเกิดจากหลายปัจจัยตามลักษณะเฉพาะในพื้นที่ศึกษา เช่น จุดตรวจวัดอยู่ใกล้ร่องน้ำซึ่งเป็นเส้นทางการแล่นเรือขนานกับชายฝั่งของชาวประมงในพื้นที่ หรือกระแสน้ำเกิดการเปลี่ยนทิศทางเนื่องจากสิ่งกีดขวางทางน้ำ (แปลงหอย) ข้อมูลกระแสน้ำได้มาจากการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น อิทธิพลเด่นจึงมาจากน้ำขึ้นน้ำลงในลักษณะที่เป็น instantaneous current นอกจากนี้การตรวจวัดบางครั้งอยู่ใกล้ช่วงน้ำกำลังขึ้นสูงสุดหรือกำลังลงต่ำสุดซึ่งความเร็วกระแสน้ำมีค่าใกล้ศูนย์ โดยรวมแล้วกระแสน้ำในพื้นที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเป็นหลัก โดยกระแสน้ำไหลแรงสุดในช่วงน้ำกำลังขึ้นหรือกำลังลงในทิศเหนือใต้ (กระแสน้ำอาจเบี่ยงออกในทิศตะวันออกและตะวันตกเล็กน้อยเนื่องจากอิทธิพลของลม) และเป็นช่วงน้ำเกิดซึ่งเรณัจน้ำมีค่ามาก กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงจะนิ่งในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตามในช่วงนี้ยังคงมีกระแสน้ำเนื่องลมเกิดขึ้นได้ซึ่งส่งผลให้ทิศทางของกระแสน้ำไม่อยู่ในแนวเหนือใต้ กระแสน้ำที่ท้องน้ำมีความเร็วต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วกระแสน้ำในระดับความลึกอื่นๆ เนื่องจากเกิดการเสียดทานกับพื้นท้องน้ำ ทำให้การตรวจวัดกระแสน้ำในช่วงที่เรณัจน้ำน้อยกว่า 1.7 เมตร กระแสน้ำที่ท้องน้ำมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลตรวจวัดกระแสน้ำโดยรวมทั้ง 7 ครั้ง

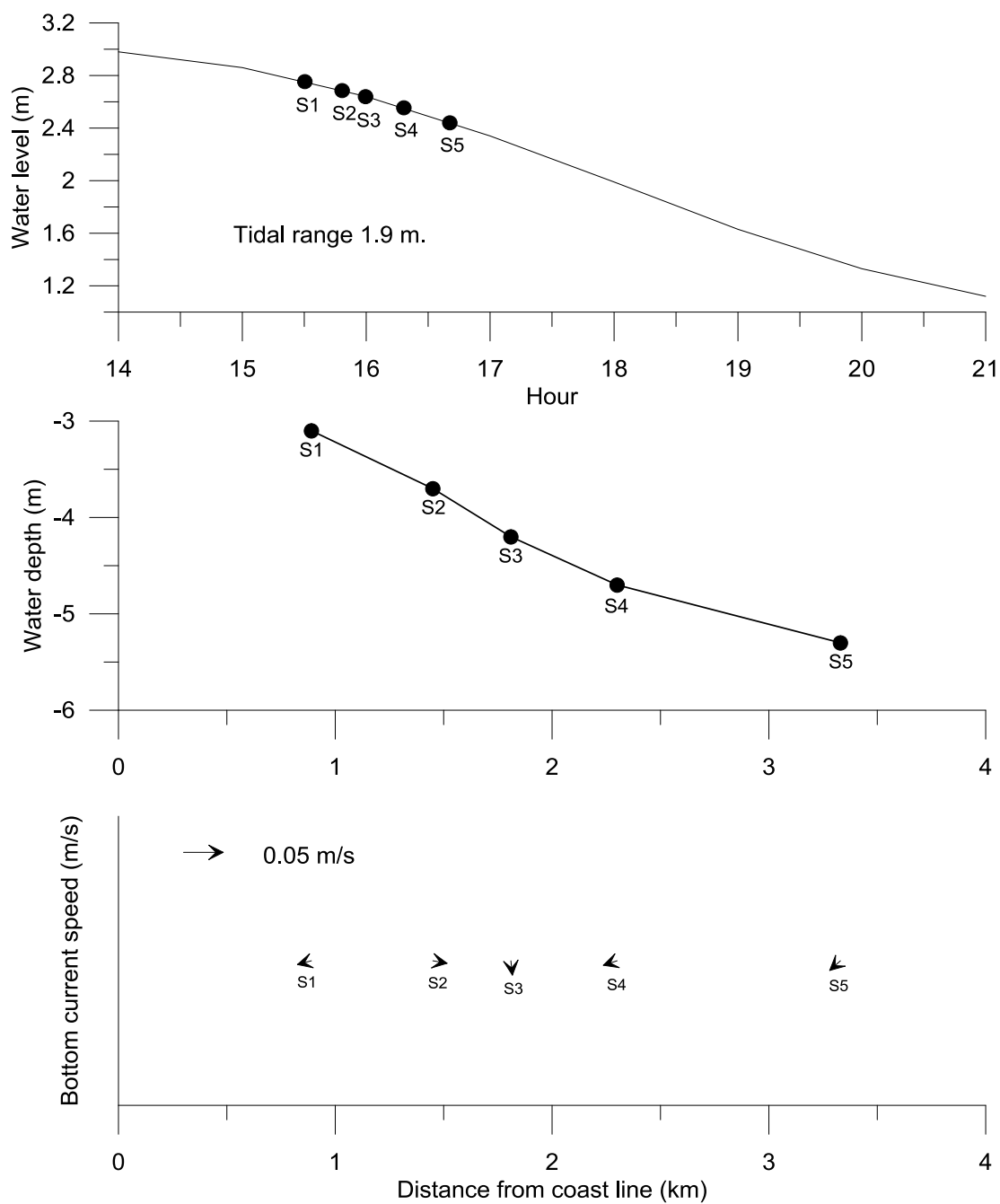
ครั้งที่	วันที่	เวลา	เรณัจน้ำ (m)	ความลึกน้ำ (m)	ความเร็ว(m/s)	ทิศทาง
1	22 ก.ย. 53	14:30 – 16:30	2.0	2.3-5.4	0 – 0.026	13 – 52
2	19 ธ.ค. 53	15:30 – 16:40	1.9	3.1-5.3	~0	100 – 255
3	20 ก.พ. 54	11:50 – 12:45	1.7	1.5-4.2	0.016 – 0.149	147 – 220
4	30 มี.ค. 54	11:30 – 13:20	0	2.3-5.3	~0	17 – 327
5	2 เม.ย. 54	7:30 – 9:30	1.6	2.2-4.7	~0	93 – 236
6	2 เม.ย. 54	13:30 – 15:10	1.4	1.8-5.1	~0	98 – 267
7	8 พ.ค. 54	10:15 – 11:25	2.4	2.0-3.2	0.006 – 0.190	145 – 264

หมายเหตุ : เรณัจน้ำอ้างอิงตามมาตรฐานน้ำ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีสำนัดอนเจ้าพระยา (สมุทรปราการ)

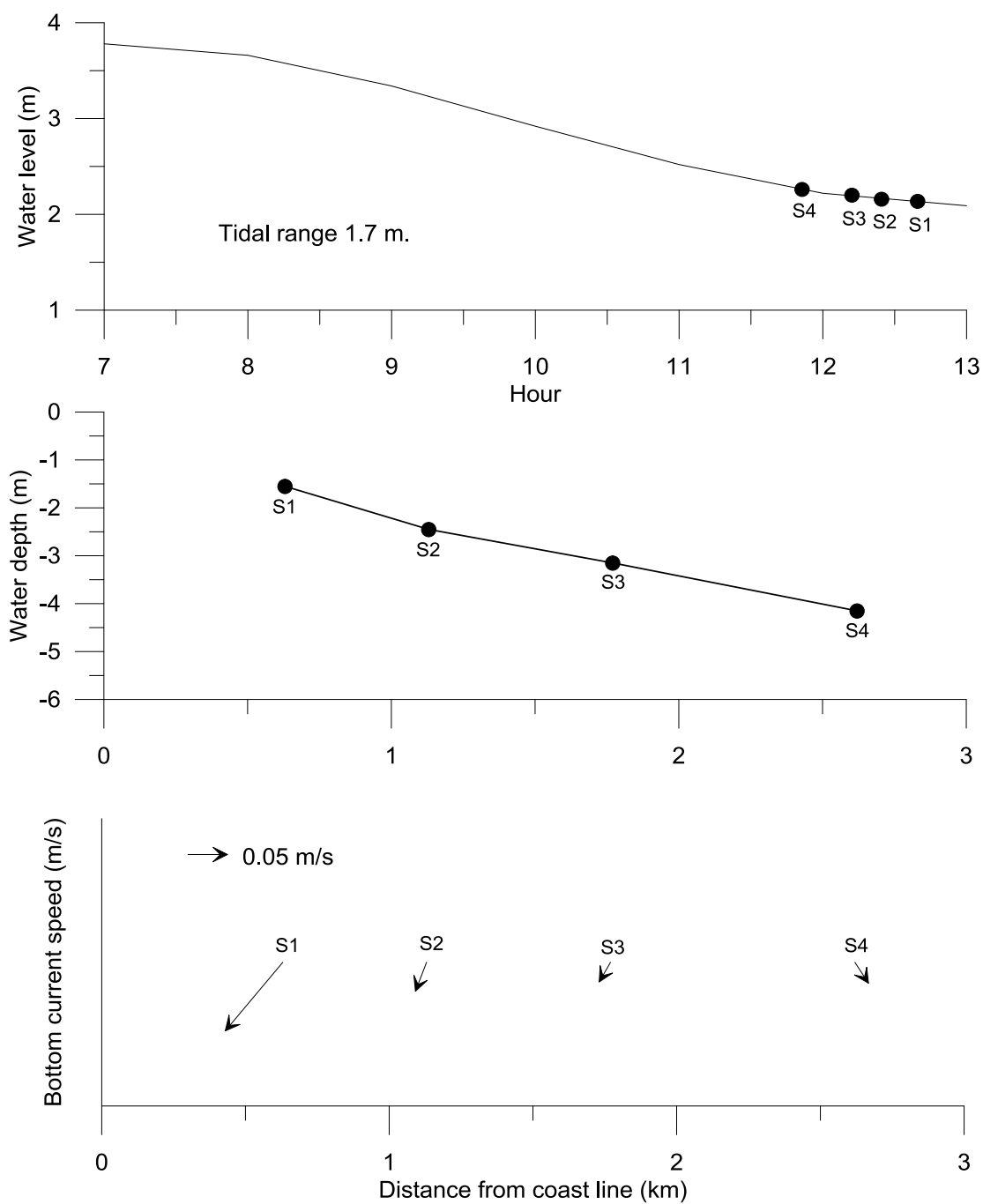


รูปที่ 4.3 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากการขึ้นน้ำลงที่ห้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553

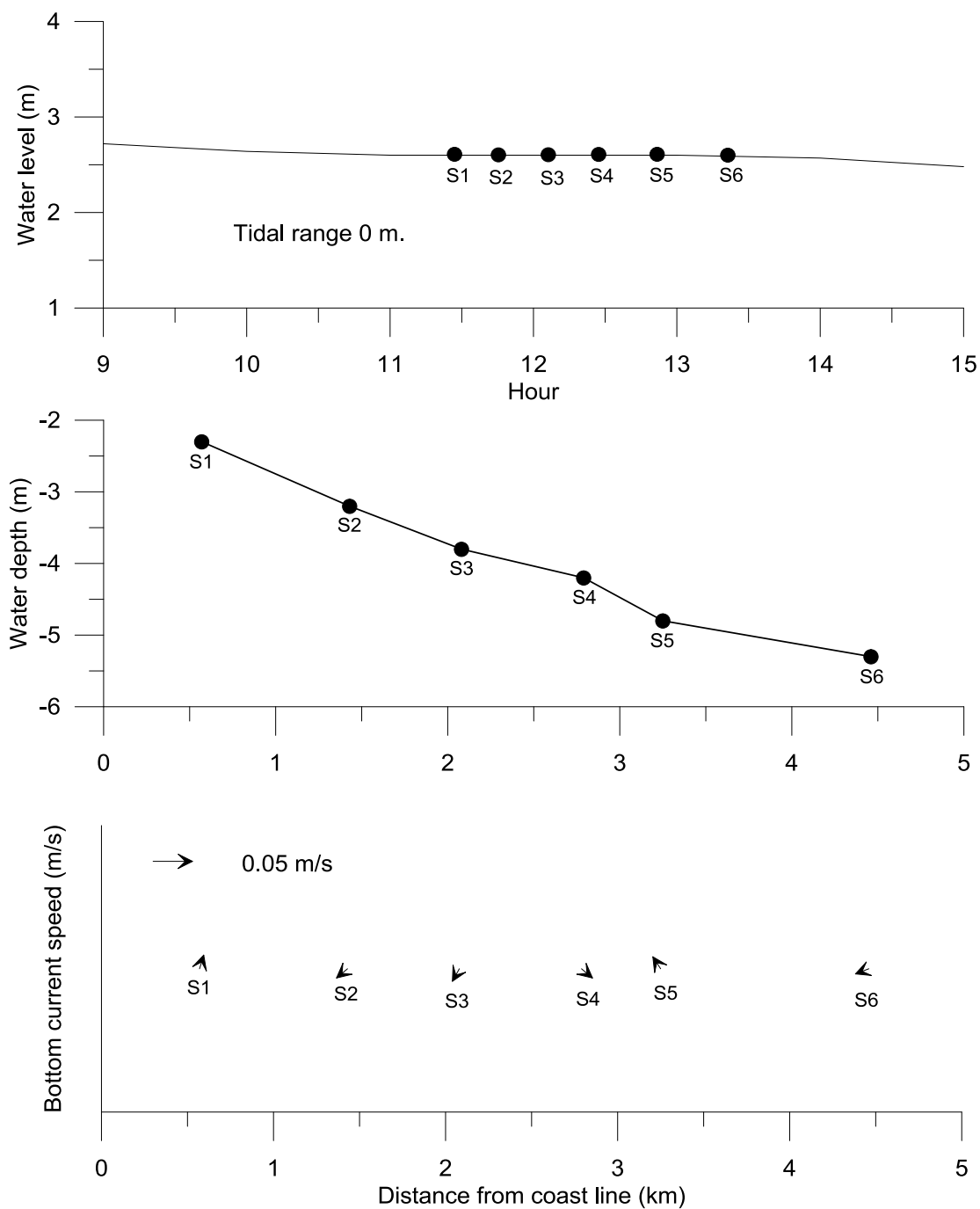




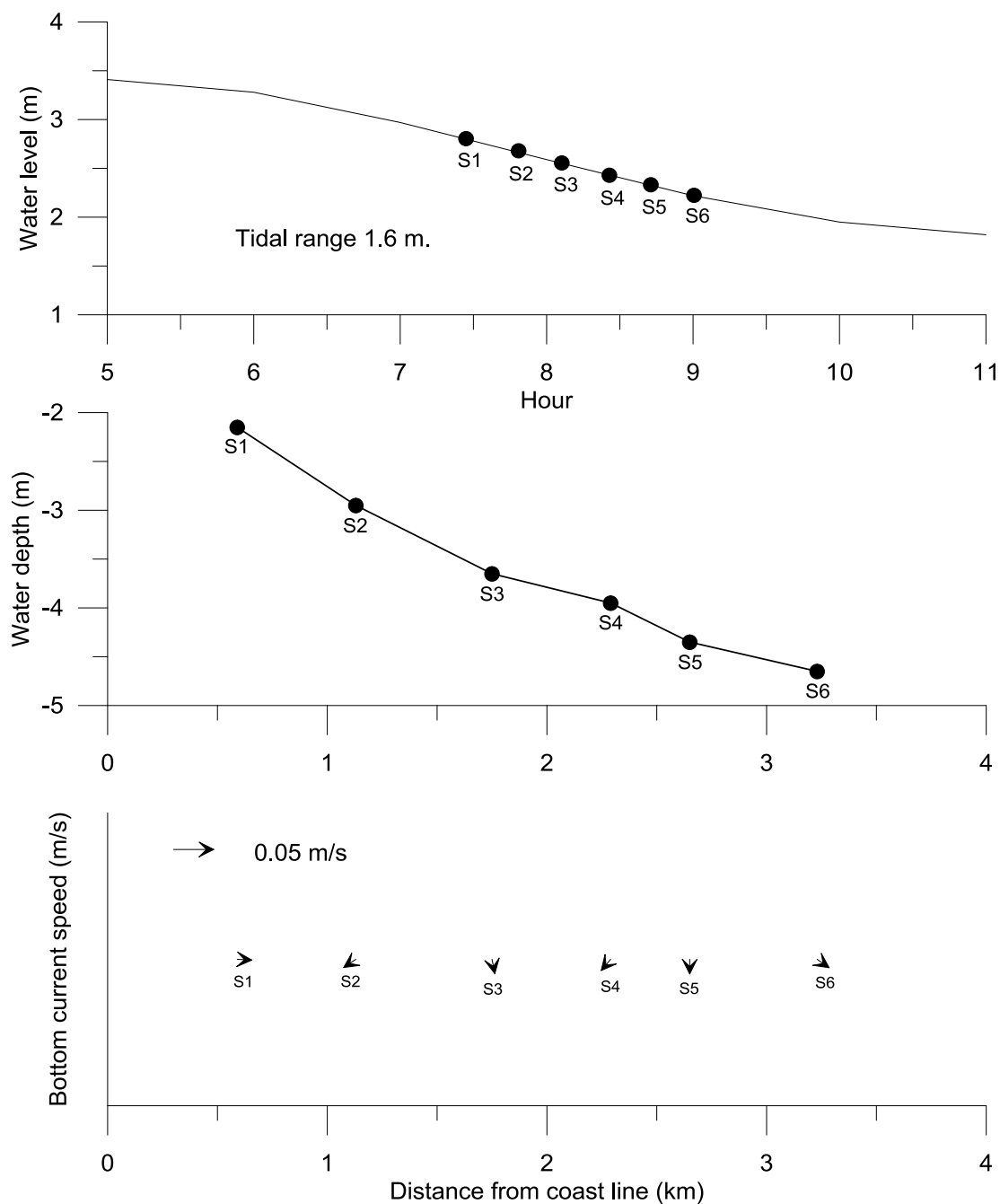
รูปที่ 4.4 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ห้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553



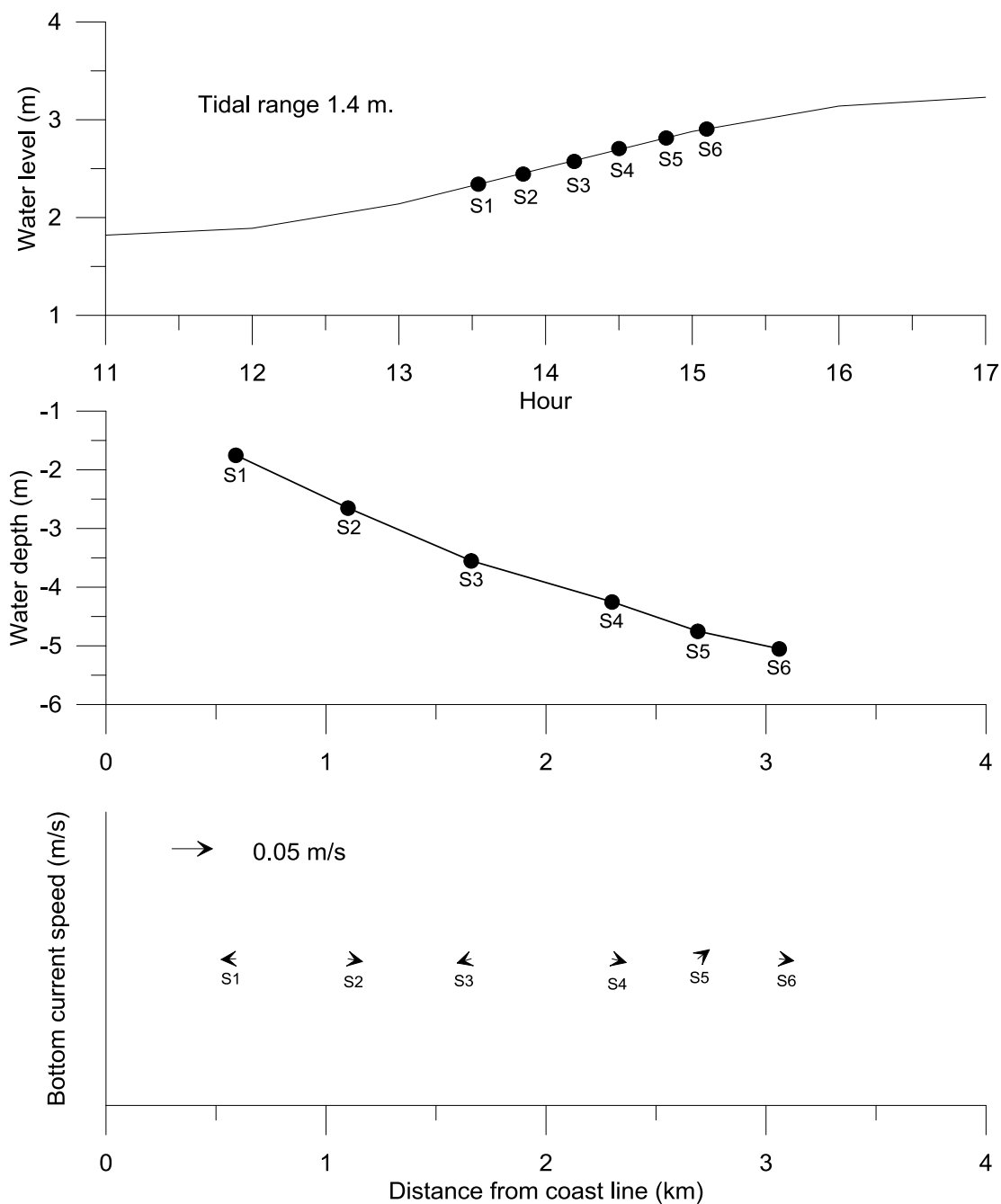
รูปที่ 4.5 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 3 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554



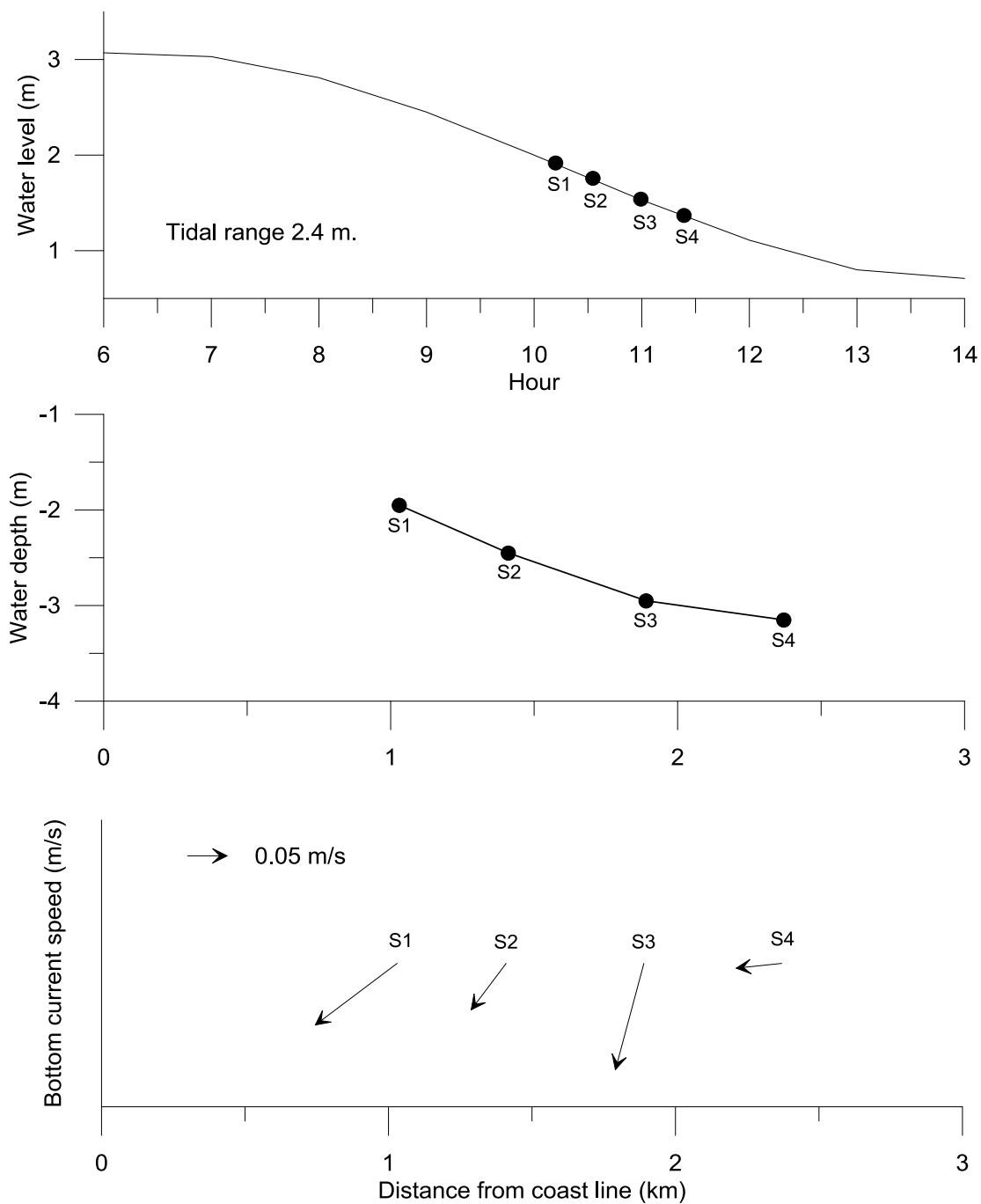
รูปที่ 4.6 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 4 วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554



รูปที่ 4.7 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ห้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 5 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า)



รูปที่ 4.8 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ห้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 6 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (บาย)



รูปที่ 4.9 ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ห้องน้ำตามความลึกน้ำ ครั้งที่ 7 วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554

#### 4.3 คุณสมบัติคลื่นตามความลึกน้ำ

จากตารางที่ 4.3 ความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $H_{1/3}$ ) ในพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนอยู่ในช่วง 0.01 - 0.45 เมตร คาบคลื่นประมาณ 3.01 – 7.23 วินาที ความเร็วคลื่นประมาณ 3.6 – 5.5 เมตร/วินาที ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10 - 48 เมตร ข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 แสดงให้เห็นว่าคลื่นเคลื่อนที่มาจากทิศใต้ตามทิศทางของลม (รูปที่ 4.10) เมื่อคลื่นตัวเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งความลึกน้ำค่อยๆลดลง ความสูงคลื่นนัยสำคัญจะเพิ่มขึ้นและความเร็วคลื่นลดลงตามหลักของ Shoaling effect ข้อมูลครั้งที่ 7 คลื่นเคลื่อนที่มาจากทิศใต้เช่นเดียวกับข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 แต่ความสูงคลื่นนัยสำคัญลดลงตามความลึก (รูปที่ 4.11) ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะของ Shoaling effect การลดลงของความสูงคลื่นนัยสำคัญตามความลึกอาจเกิดจากที่ความสูงคลื่นนัยสำคัญในการตรวจวัดครั้งที่ 7 มีค่ามาก (ประมาณ 0.30-0.45 เมตร) ทำให้เกิดการเสียดทานกับท้องน้ำมาก เกิดการแตกตัวเป็นฟองเล็กน้อยที่ยอดคลื่น (spilling breakers) และค่อยๆสูญเสียพลังงานเมื่อคลื่นที่เข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น แต่คลื่นยังไม่เกิดการแตกตัวอย่างรุนแรง (surging) เนื่องจากพื้นท้องน้ำมีความชันน้อย (Beer, 1983) อย่างไรก็ตามความเร็วกลุ่มของคลื่นยังคงลดลงตามความลึกน้ำเช่นเดียวกับข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 สำหรับข้อมูลครั้งที่ 4 เป็นช่วงที่คลื่นเคลื่อนตัวจากทิศเหนือออกสู่ทะเล (รูปที่ 4.10) ความสูงคลื่นนัยสำคัญเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำ (รูปที่ 4.11) เนื่องจากเกิดการสะสมพลังงานของคลื่นจากลมตามระยะทางออกจากชายฝั่ง ในขณะที่ความเร็วกลุ่มของคลื่นเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่หลังจากคลื่นเคลื่อนตัวผ่านความลึกน้ำ 3.8 เมตร ความเร็วคลื่นมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.12) สำหรับครั้งที่ 2 ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 เป็นช่วงที่ลมอ่อนมีความเร็วเพียง 1-2 เมตร/วินาที (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10) ความสูงคลื่นนัยสำคัญค่อนข้างคงที่ตามความลึกน้ำ (รูปที่ 4.11) ในขณะที่ความเร็วคลื่นยังคงลดลงตามความลึกน้ำที่ลดลง (รูปที่ 4.12)

อนึ่ง ตลอดจนการเก็บข้อมูลคลื่นที่ความลึกน้ำมากกว่า 1.5 เมตร ไม่พบการแตกตัวอย่างรุนแรงของคลื่น ตามความสัมพันธ์  $H < 0.8 * d$  ( $H$  = ความสูงคลื่น,  $d$  = ความลึกน้ำ) (McCormick, 2007) แต่จะพบคลื่นแตกตัวเป็นฟองเล็กน้อยที่ยอดคลื่น

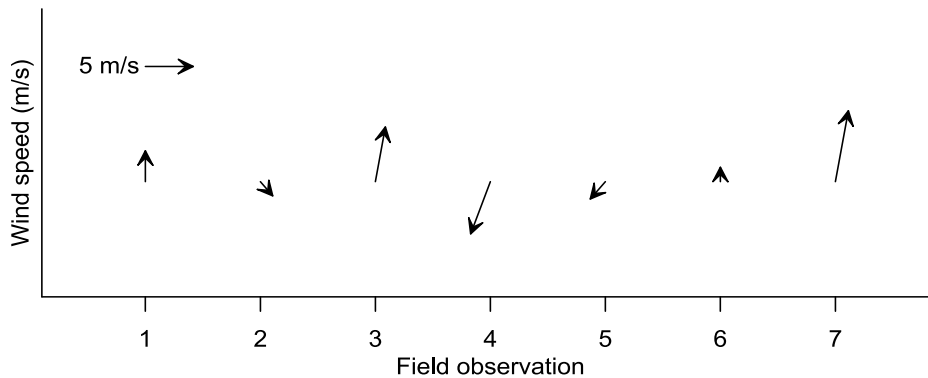
เมื่อนำข้อมูลความสูงคลื่นจากตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.6 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีค่ามากกว่าข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาของ NEDECO (1963) และ Uehara et al. (2010) ได้มาจากการคำนวณโดยข้อมูลลมซึ่งปกติแล้วจะได้ค่ามากกว่าข้อมูลจากการตรวจวัดเสมอ (ปราโมทย์ ไชจิศุภร และคณะ, 2555)

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลลม คลื่น และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการออกสำรวจภาคสนามทั้ง 7 ครั้ง

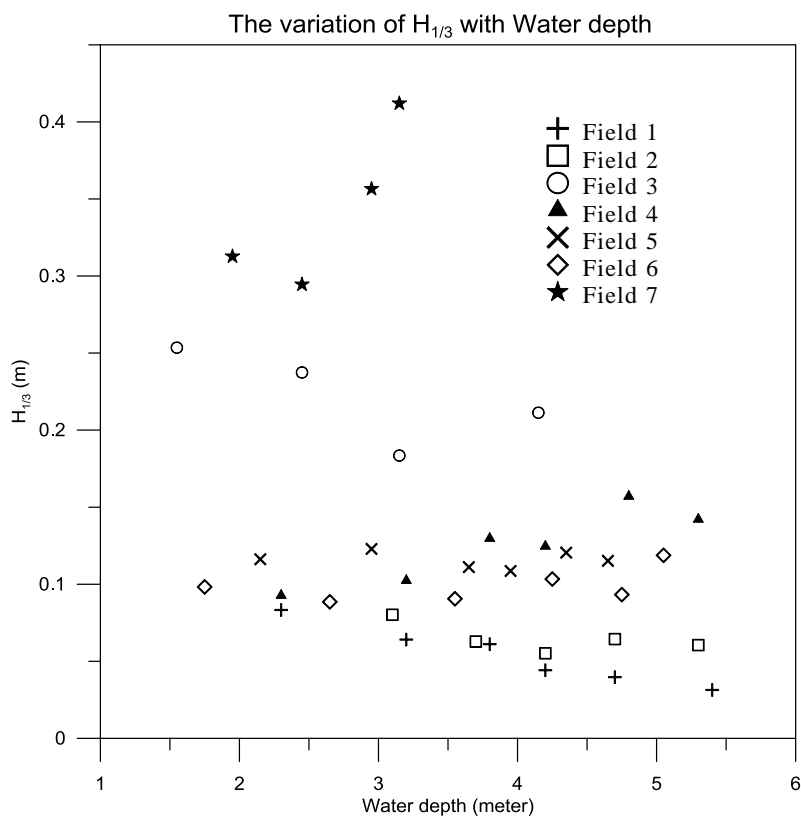
ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7
วันที่	22/09/10	19/12/10	20/02/11	30/03/11	20/04/11	20/04/11	8/05/11
ความลึกน้ำ (m)	2.3-5.4	3.1-5.3	1.5-4.2	2.3-5.3	2.2-4.7	1.8-5.1	2.0-3.2
ความเร็วลม (m/s)	3.1	1.5	6.2	6.2	2.1	1.0	8.2
ทิศทางลม (degree)	180	320	190	20	40	180	190
ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (m)	0.03-0.08	0.06-0.08	0.18-0.25	0.09-0.16	0.11-0.12	0.09-0.12	0.29-0.41
คาบคลื่น (s)	3.10-3.42	6.19-7.23	3.64-4.00	3.23-5.56	3.01-3.29	3.11-3.85	3.56-4.04
ความยาวคลื่น (m)	12.4-17.5	32.2-48.5	13.1-21.1	15.8-28.7	12.4-15.3	14.7-18.1	14.0-19.5
ความเร็วคลื่น (m/s)	4.0-5.1	5.2-6.7	3.6-5.3	3.9-5.5	3.9-4.7	3.8-5.1	3.9-4.8
ความเร็วหมุนวนที่ท้องน้ำ (m/s)	0.01-0.06	0.04-0.06	0.11-0.27	0.03-0.09	0.03-0.09	0.03-0.10	0.22-0.27
ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (mg/l)	10.2-48.6	10.7-18.5	64.0-195.5	13.1-54.2	12.5-62.1	10.8-22.4	102.4-285.3

หมายเหตุ : ข้อมูลความยาวคลื่น ความเร็วคลื่น และความเร็วหมุนวนที่ท้องน้ำ ได้จากการคำนวณโดยสมการในตารางที่ 2.2

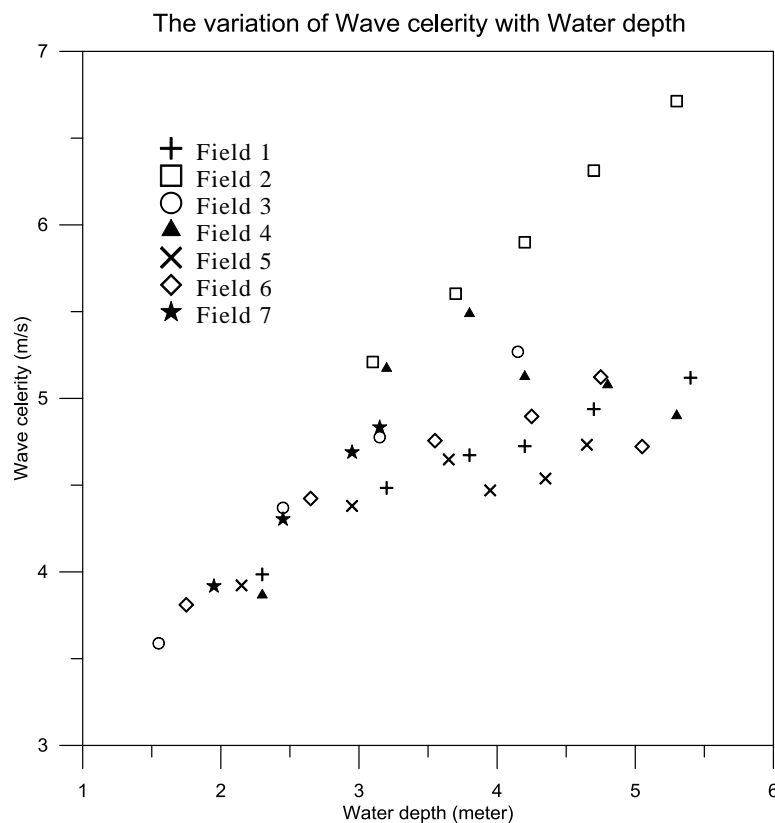




รูปที่ 4.10 ความเร็วและทิศทางลมในขณะที่เก็บข้อมูลคลื่นในแต่ละครั้ง ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีนำร่อง จ.สมุทรปราการ

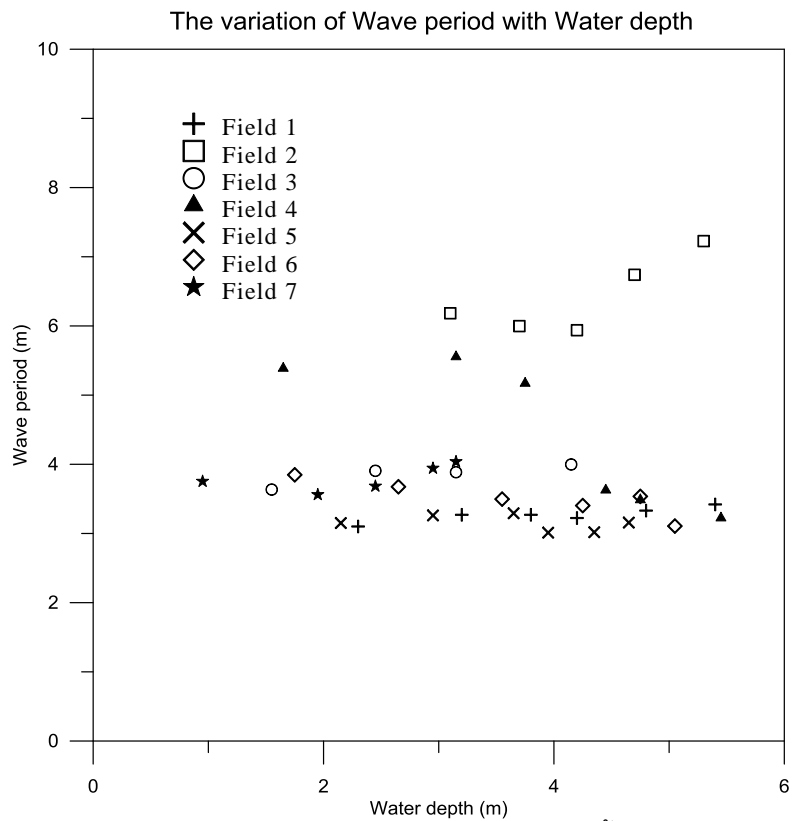


รูปที่ 4.11 ความสูงคลื่นนัยสำคัญเทียบกับความลึกน้ำ

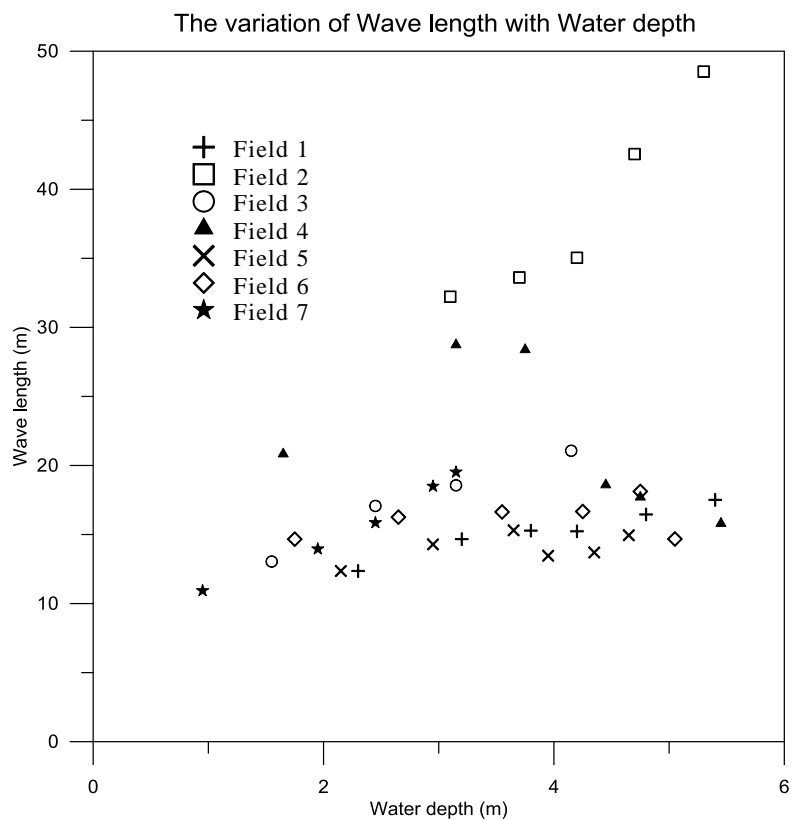


รูปที่ 4.12 ความเร็วกลุ่มของคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ

จากรูปที่ 4.13 คาบคลื่นในช่วงปกติจะมีค่าประมาณ 3 – 4 วินาที แต่หากผิวน้ำทะเลเรียบจะทำให้คาบคลื่นมีค่ามากขึ้นเช่นข้อมูลการตรวจวัดในครั้งที่ 2 นอกจากนี้ข้อมูลการตรวจวัดครั้งที่ 4 ยังชี้ให้เห็นว่าหากลมพัดมาจากทิศเหนือออกสู่ทะเล (รูปที่ 4.10) จะทำให้ผิวน้ำบริเวณใกล้ชายฝั่ง (ความลึกไม่เกิน 4 เมตร) เรียบเนื่องจากกระยะทางในการพัฒนาตัวของคลื่นน้อย แต่เมื่อคลื่นพัฒนาตัวมากขึ้นคาบคลื่นจะลดลงมาอยู่ในช่วง 3-4 วินาที โดยปกติคาบคลื่นจะมีค่าคงที่สำหรับลูกคลื่นนั้น ๆ แต่เมื่อสังเกตจากข้อมูลจากการสำรวจ (ยกเว้นครั้งที่ 2 และ 4) คาบคลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อคลื่นตัวเข้าสู่ชายฝั่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคลื่นในบริเวณนี้ยังไม่เกิดการพัฒนาตัวเต็มที่ด้วยความเร็วลมในขณะนั้น (fully arisen sea) และลมยังคงมีอิทธิพลต่อคลื่นในบริเวณนี้ และจากรูปที่ 4.14 ความยาวคลื่นในช่วงปกติมีค่าไม่เกิน 20 เมตร แต่ถ้าหากคลื่นลมสงบจะทำให้ผิวน้ำทะเลเรียบ ส่งผลให้ความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นได้ในช่วง 30 - 50 เมตร โดยปกติแล้วความยาวคลื่นจะลดลงเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งซึ่งความลึกน้ำลดลง

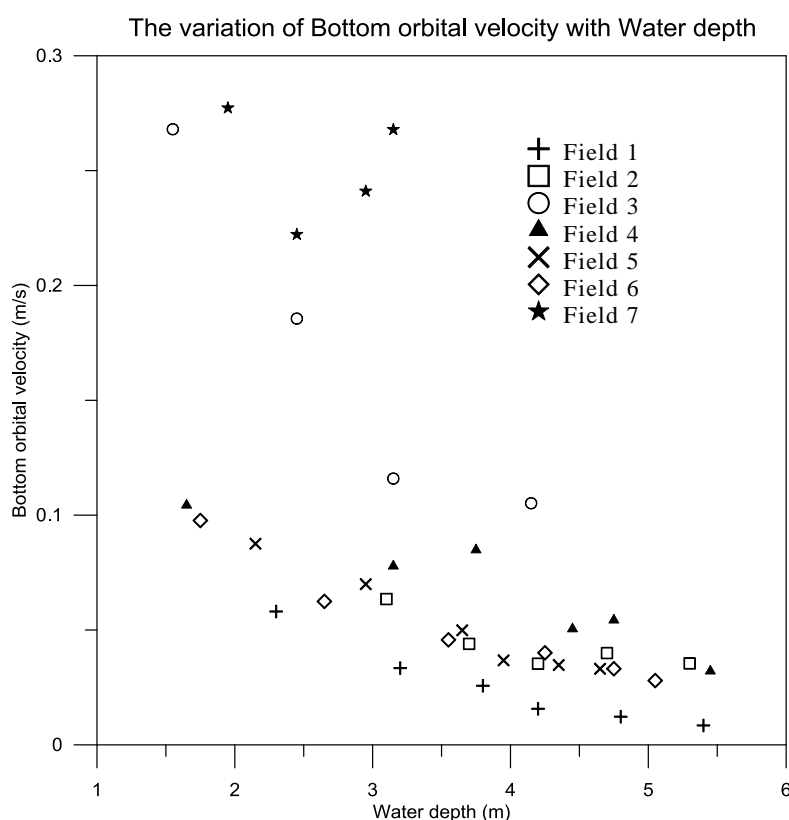


รูปที่ 4.13 คาบคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ



รูปที่ 4.14 ความยาวคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ

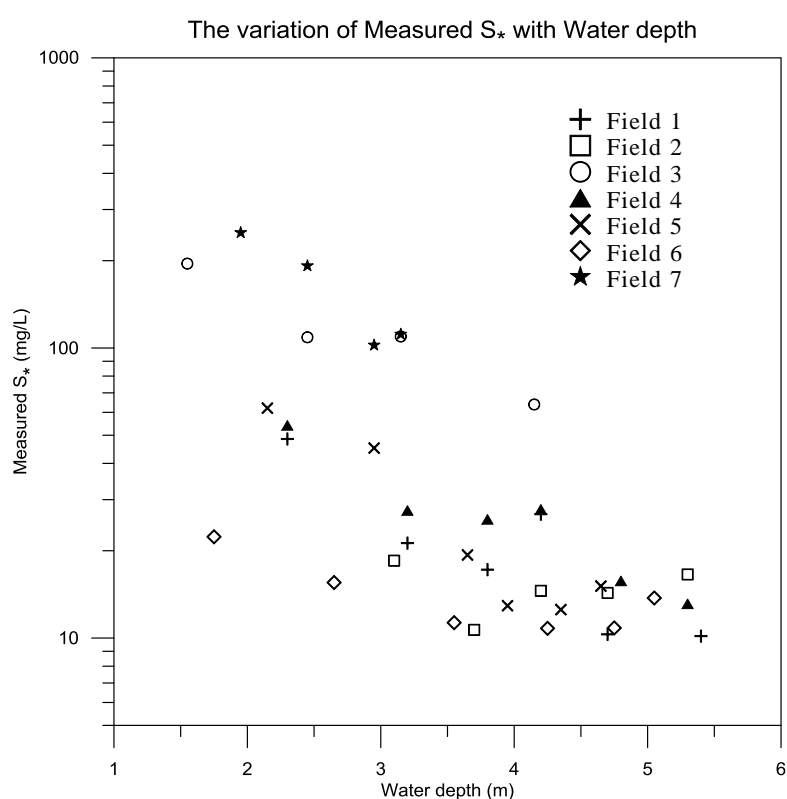
ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำในบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนมีค่ามากที่สุดประมาณ 0.28 เมตร/วินาที (รูปที่ 4.15) ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนจะเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่ลดลง ยกเว้นในช่วงที่มีความสูงคลื่นน้อยสำคัญมากกว่า 0.3 เมตร และความลึกมากกว่า 2.5 เมตร ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงคลื่นมากกว่าความลึกน้ำ โดยจะมีค่าลดลงตามความสูงคลื่นที่ลดลง (รูปที่ 4.11 และ 4.15) จากรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับความเร็วในการกัดเซาะและตกตะกอนของอนุภาคพบว่าสำหรับในพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนที่มีค่า  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำประมาณ 0.0153 มิลลิเมตร ชั้นตะกอนจะถูกกัดเซาะเมื่อความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำมีค่ามากกว่า 0.2 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.0153 มิลลิเมตร ก็อาจถูกกัดเซาะได้ที่ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.2 เมตร/วินาที



รูปที่ 4.15 ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำเทียบกับความลึกน้ำ

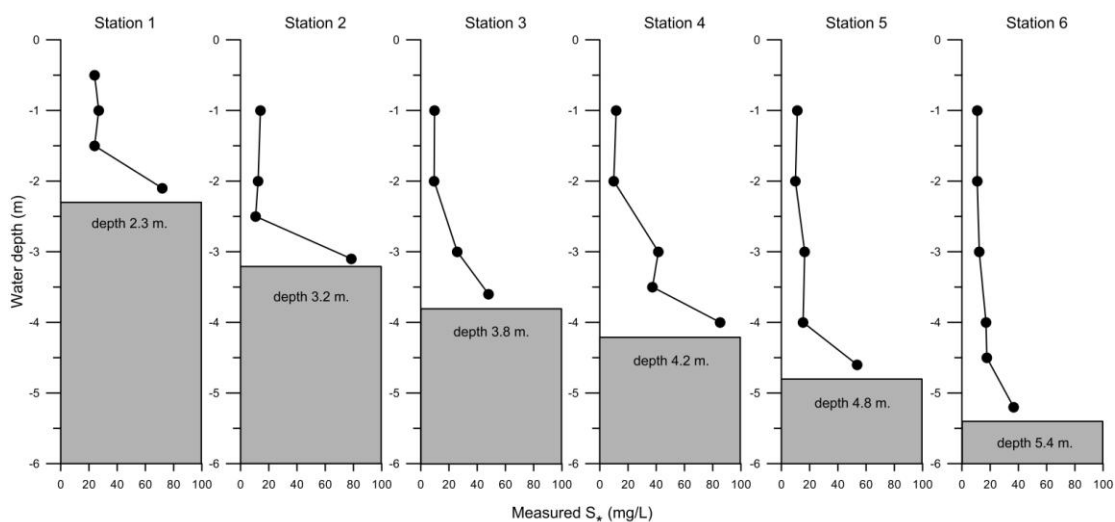
#### 4.4 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ

ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในมวลน้ำจากการวิเคราะห์หิมิค่าอยู่ในช่วง 10 - 285 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยมีค่ามากในช่วงที่ความสูงคลื่นนัยสำคัญมาก ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่ลดลงหรือเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น (รูปที่ 4.16) สอดคล้องกับความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ลดลงตามความลึก ในส่วนของกระแสน้ำจากการสำรวจพบว่ากระแสน้ำที่ท้องน้ำจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อเรณัจของน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่า 1.7 เมตร ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำที่เกิดขึ้นค่อนข้างแปรปรวน ดังนั้นข้อมูลค่าตะกอนแขวนลอยแสดงให้เห็นว่าการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนเกิดจากอิทธิพลของคลื่นมากกว่ากระแสน้ำ

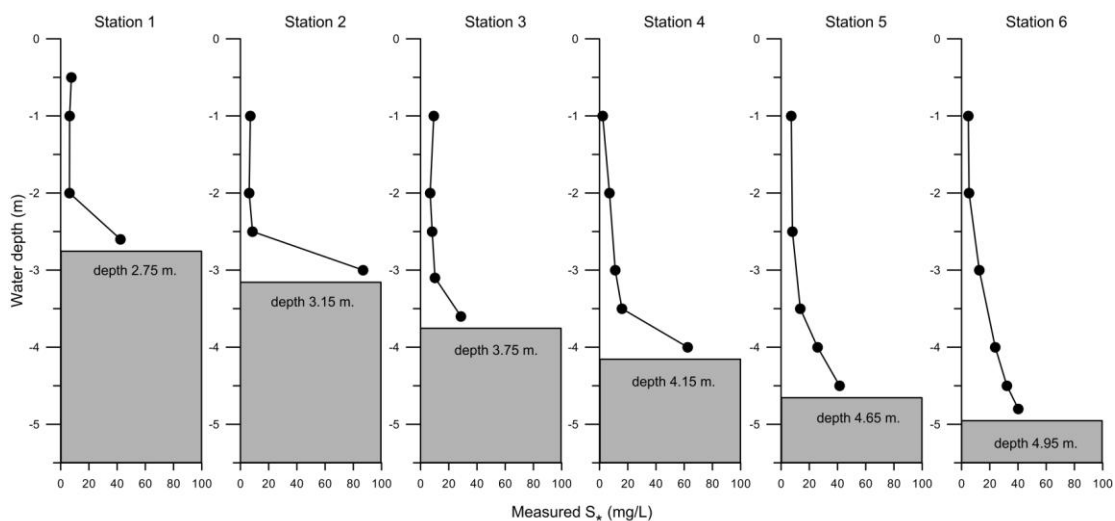


รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความลึกน้ำ

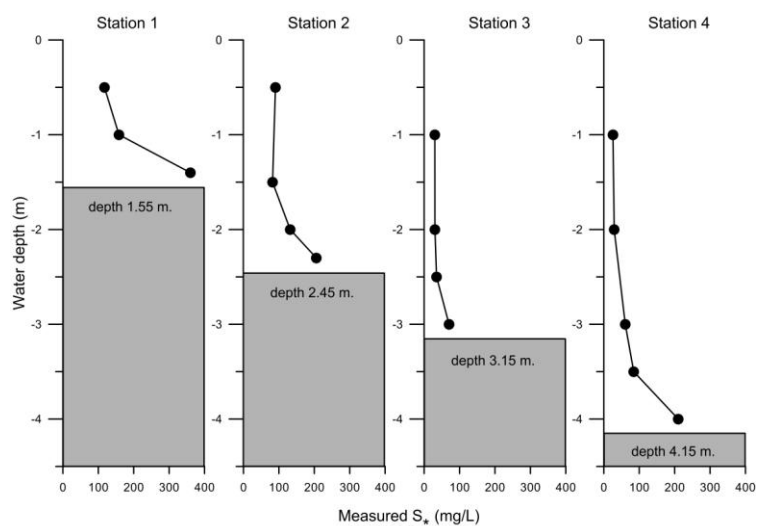
หากพิจารณาความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึก (รูปที่ 4.17 ถึง 4.23) จะสังเกตเห็นชัดเจนว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นและที่ท้องน้ำเกิดเป็นชั้นน้ำขุ่น (Turbidity layer) หนาไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งเกิดจากการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำเนื่องจากแรงคลื่นและกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง แต่หากคลื่นมีความแรงมาก (ความสูงคลื่นนัยสำคัญประมาณ 0.3 - 0.45 เมตร) เช่นการเก็บตัวอย่างในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.23) ตะกอนท้องน้ำจะฟุ้งกระจายไปทั่วคอลัมน์น้ำหากน้ำลึกไม่เกิน 3 เมตร โดยประมาณ



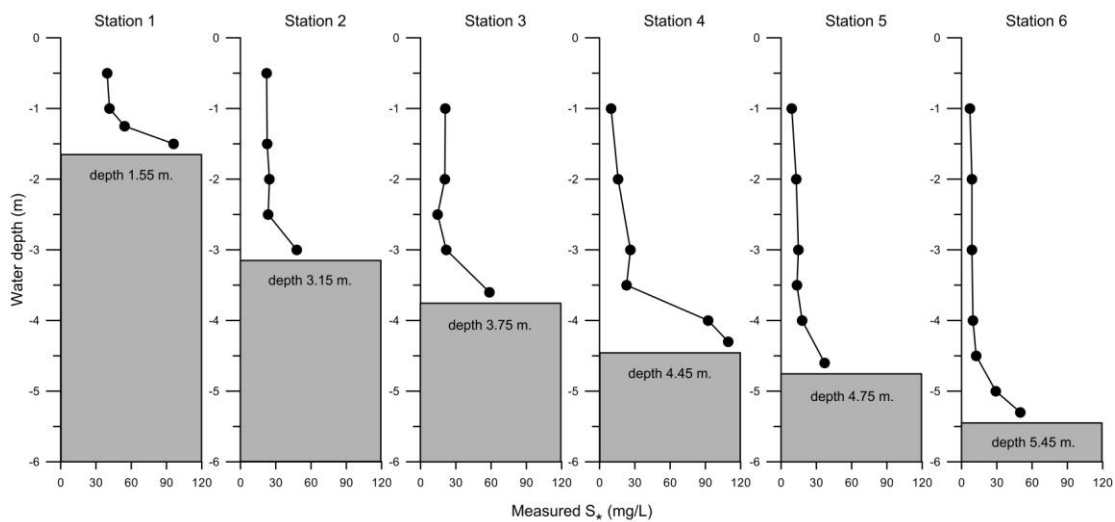
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553



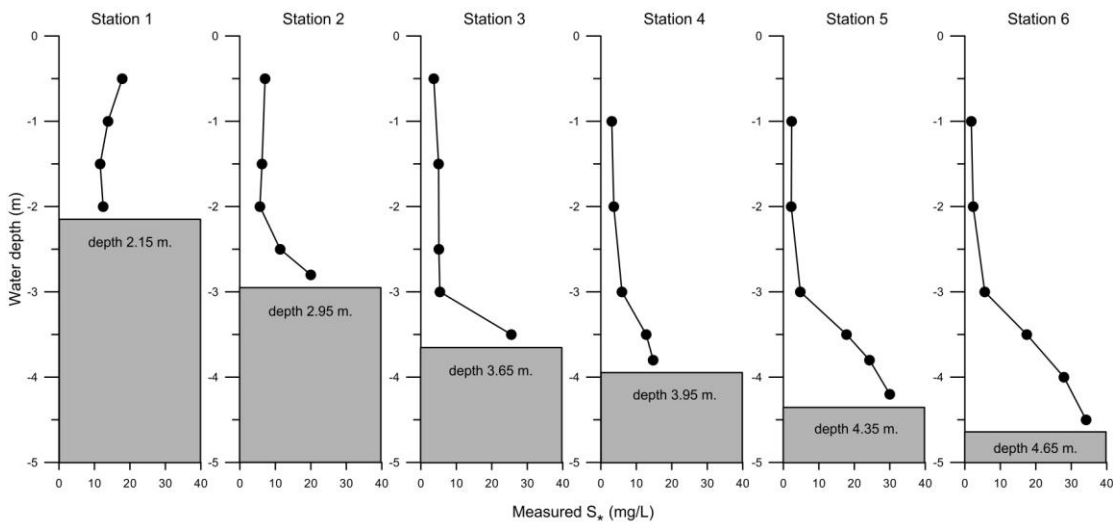
รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553



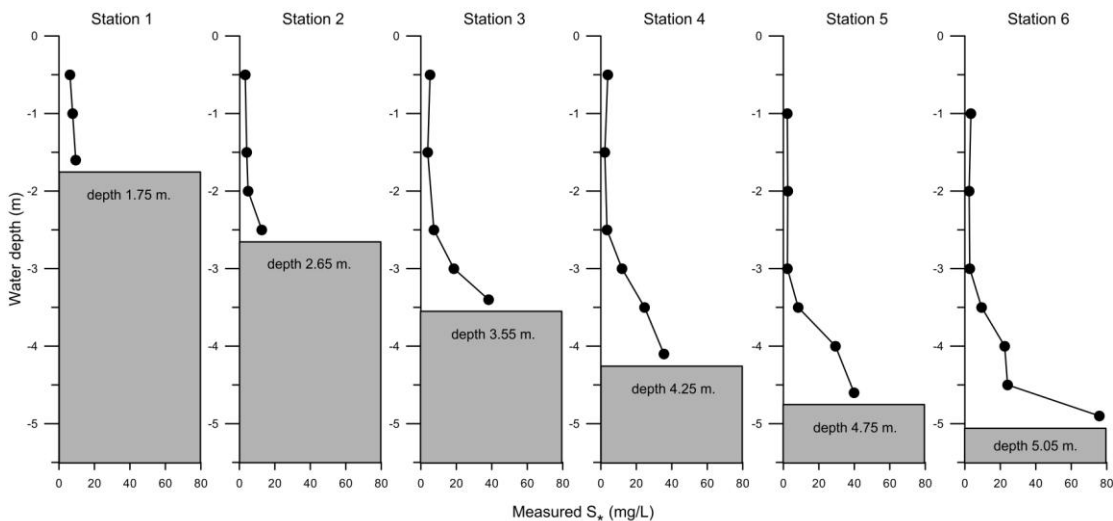
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554



รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554

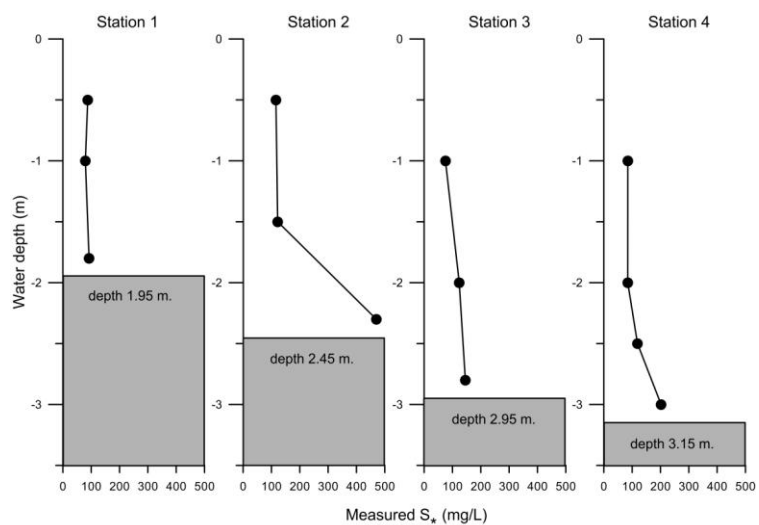


รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า)



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (บ่าย)



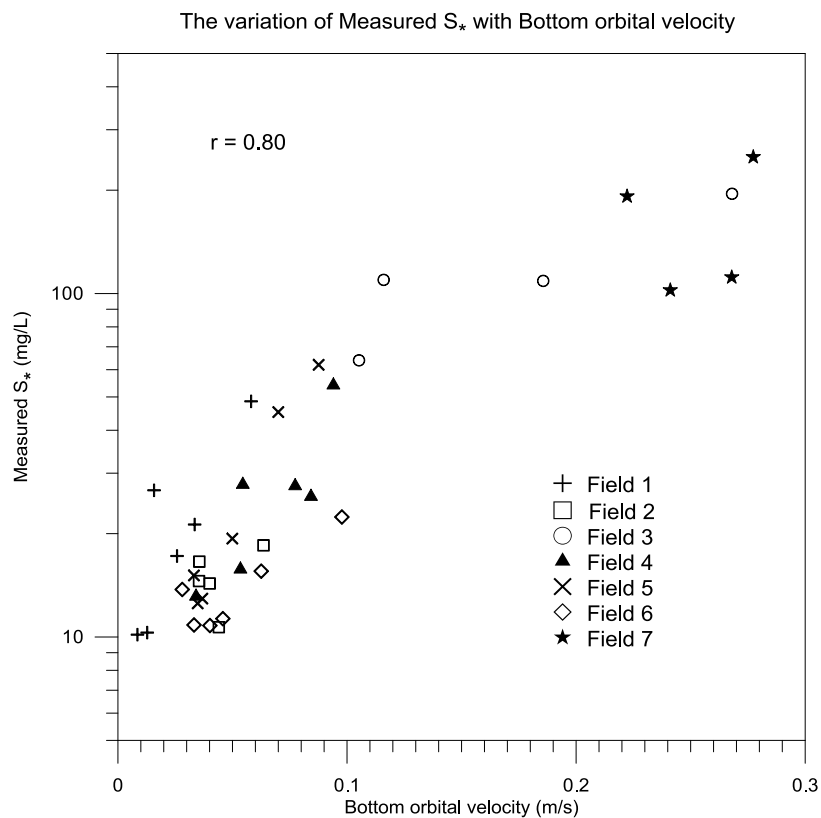


รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามระดับความลึกในแต่ละสถานี ข้อมูลจากการตรวจวัดในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554

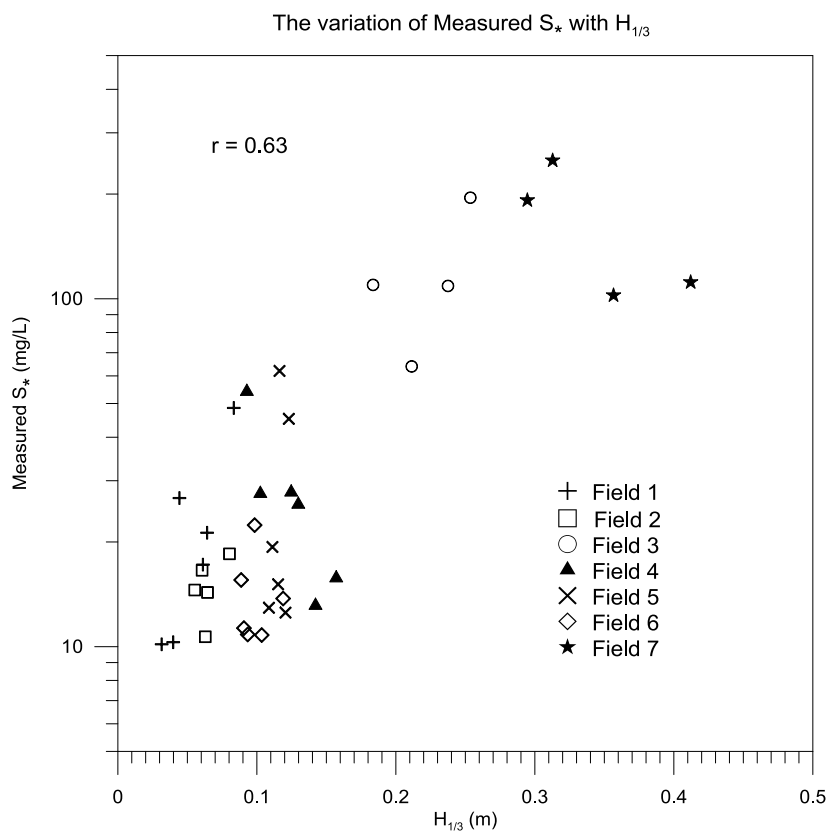
#### 4.5 อิทธิพลของคุณสมบัติคลื่นต่อความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ

จากหัวข้อที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำอย่างมาก หลังจากได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง (รูปที่ 4.24) พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์มากถึง 0.80 นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยกับคุณสมบัติอื่น ๆ ของคลื่น คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (รูปที่ 4.25) ความเร็วคลื่น (รูปที่ 4.26) ความยาวคลื่น (รูปที่ 4.27) และคาบคลื่น (รูปที่ 4.28) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยกับความสูงคลื่นนัยสำคัญให้ค่าสหสัมพันธ์ รองลงมาคือ 0.63 ในขณะที่ความเร็วคลื่นให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.24 ความยาวคลื่นให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.055 และคาบคลื่นให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.008 ดังนั้นทั้งสามตัวแปรนี้จึงมีความเกี่ยวข้องต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำน้อยมาก

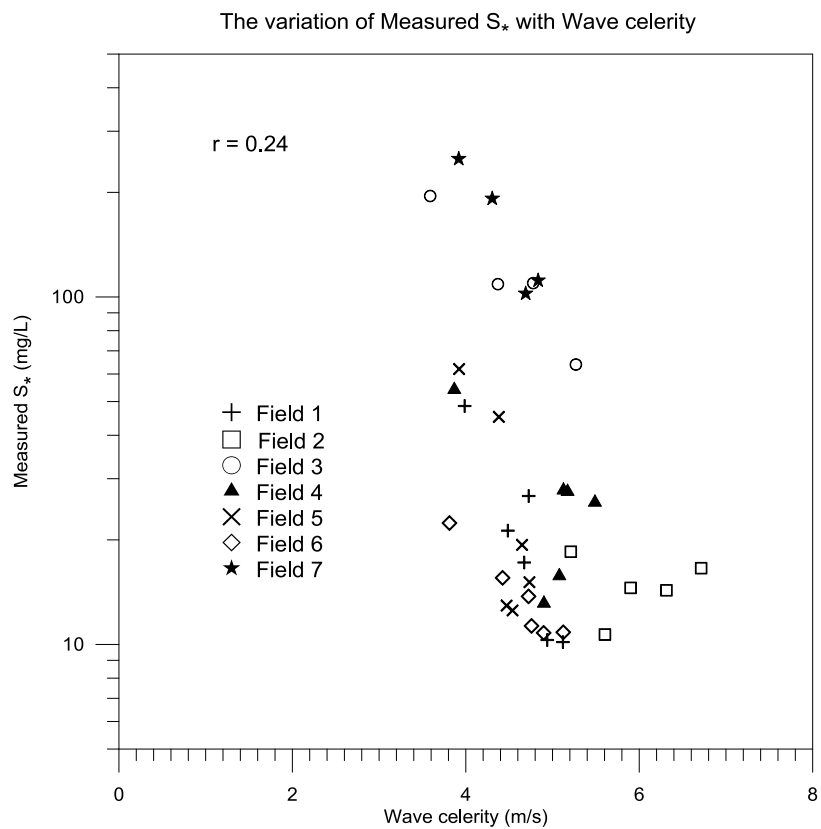
จากความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งให้เห็นว่าตะกอนท้องน้ำจะฟุ้งกระจายขึ้นมาในมวลน้ำโดยอาศัยแรงเสียดทานของกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำเป็นหลัก เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้นจะทำให้ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำมีค่ามากขึ้นทำให้เกิดการเสียดทานที่ท้องน้ำมากขึ้นตะกอนที่ท้องน้ำจึงฟุ้งขึ้นมา ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของความสูงคลื่นนัยสำคัญจะส่งผลโดยตรงต่อความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำ โดยความสูงคลื่นนัยสำคัญที่มีค่ามากจะทำให้ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำมีค่ามากตามไปด้วย อย่างไรก็ตามหากความสูงคลื่นนัยสำคัญมากกว่า 0.3 เมตร ที่ความลึกน้ำน้อยกว่า 2.5 เมตร โดยประมาณ ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำจะลดลงตามความลึกในขณะที่ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำ ซึ่งความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นมานี้อาจเป็นผลมาจากความปั่นป่วนของมวลน้ำ (Turbulence) ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อความลึกน้ำมีค่าน้อยและความสูงคลื่นมีค่ามาก



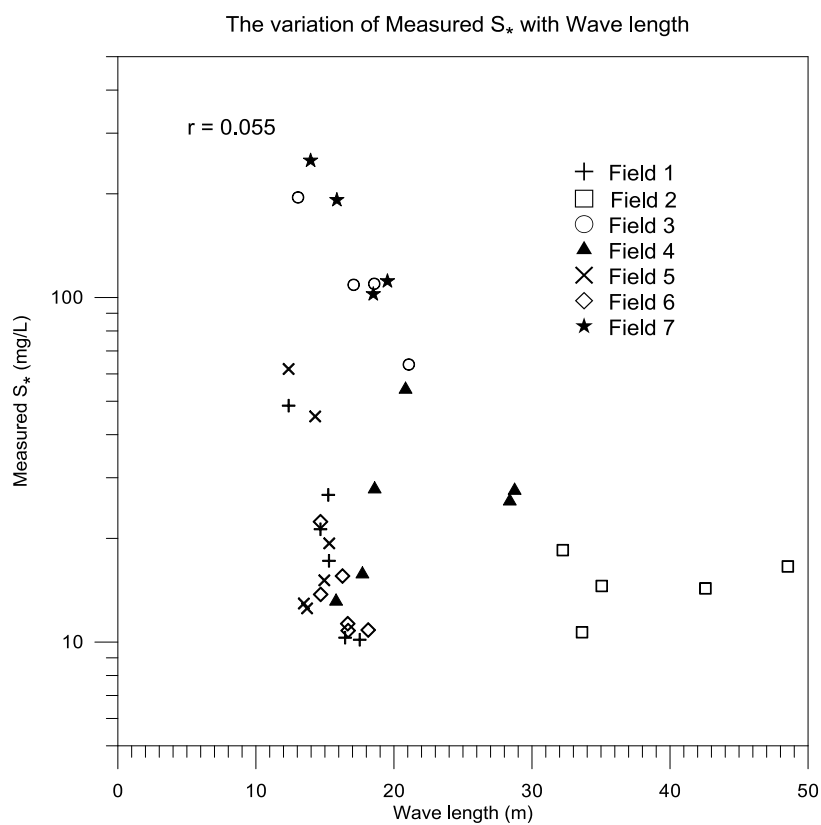
รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความเร็วกระแสน้ำหมุนวน เนื่องจากคลื่นที่ตื้นน้ำ



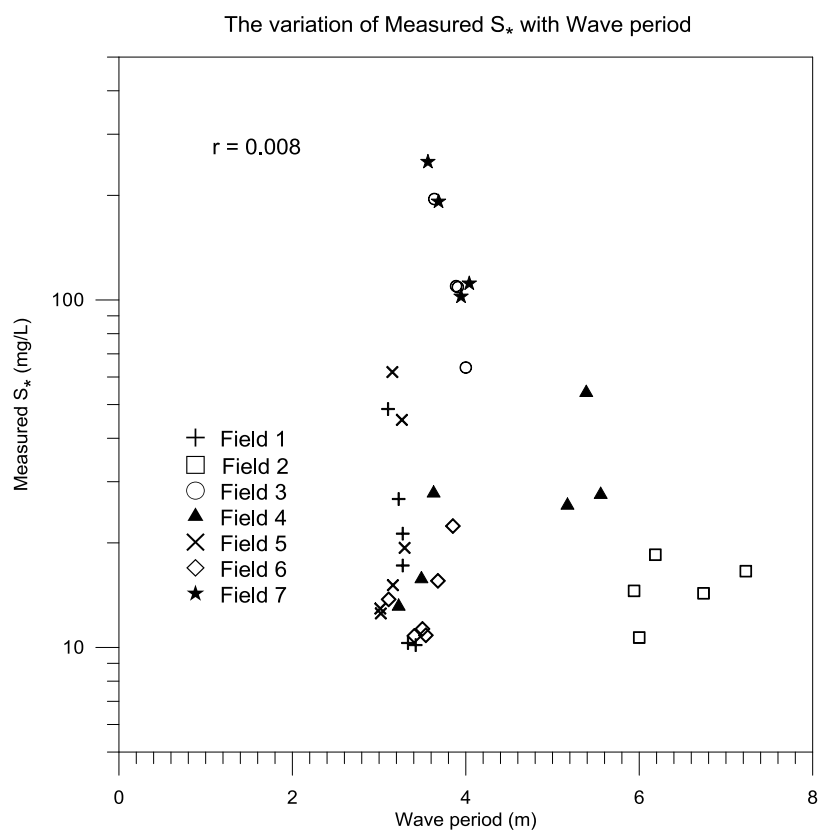
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความสูงคลื่นน้ำสำคัญ



รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความเร็วคลื่น



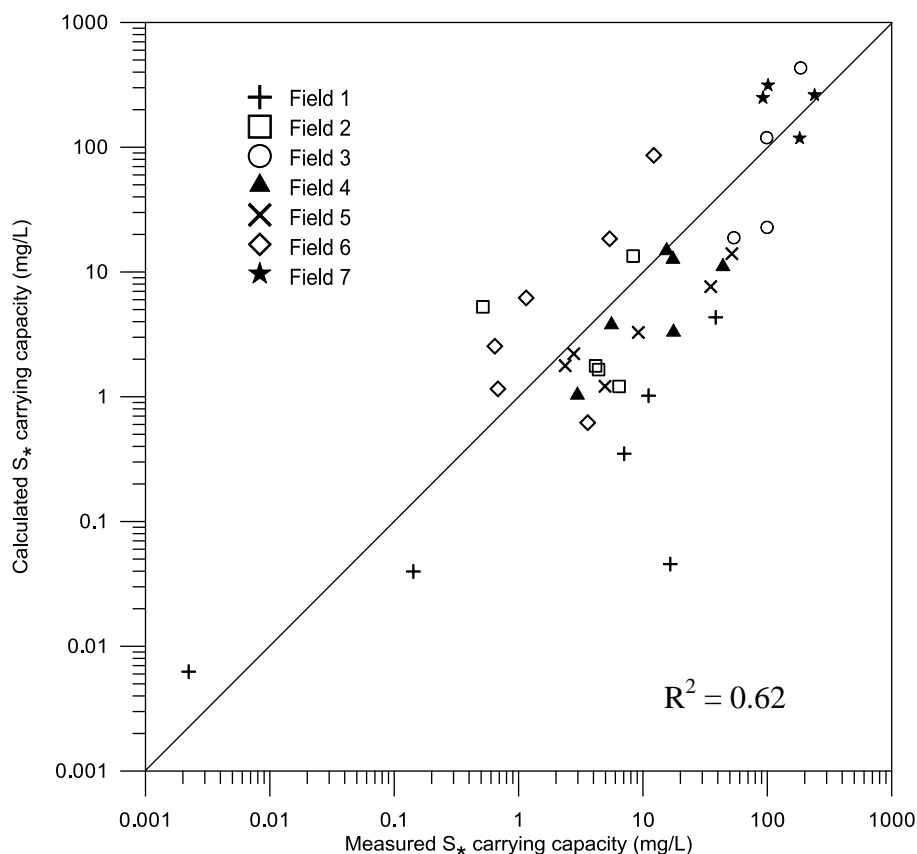
รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความยาวคลื่น



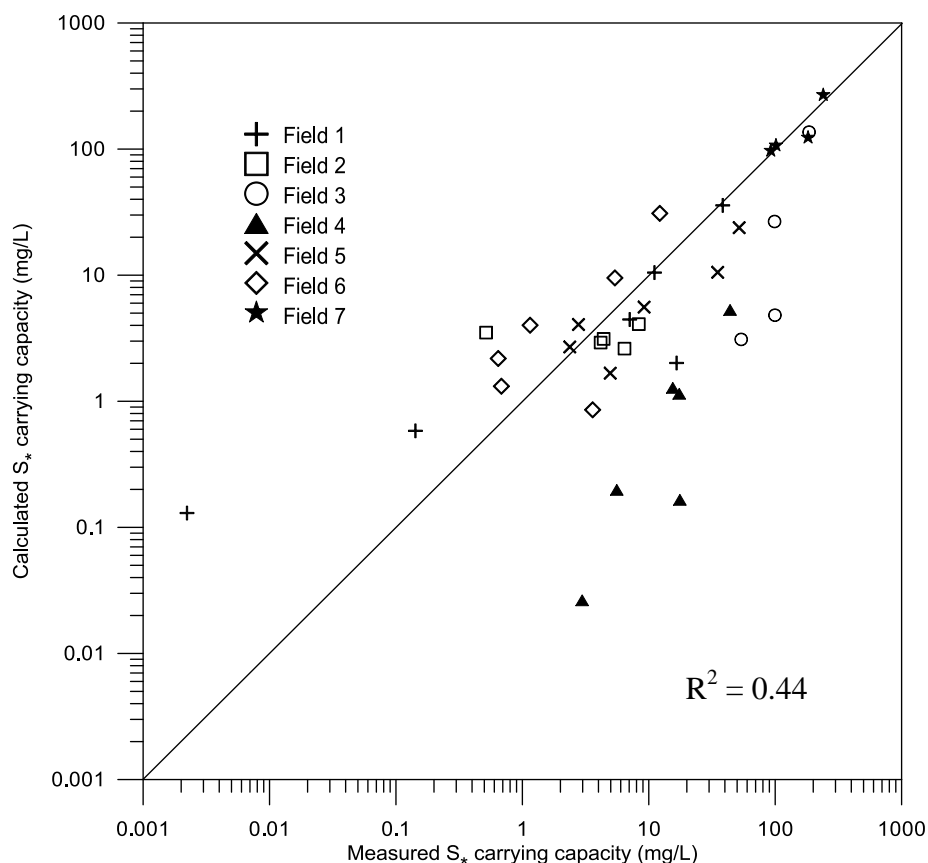
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับคาบคลื่น

#### 4.6 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสามารถในการอุ้มตะกอนแขวนลอย

จากข้อมูลทั้งหมด 38 ชุด ครอบคลุมความสูงคลื่นนัยสำคัญในช่วง 0.01-0.45 เมตร ความเร็วกระแสน้ำที่ท้องน้ำในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที ความลึกน้ำ 1.5-5.5 เมตร อัตราการตกของอนุภาคตะกอนตามสมการที่ 2.10 และ 2.11 หักลบค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของคลื่นหรือกระแสน้ำ (Ambient suspended sediment concentration) ออกจากความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด 10 มิลลิกรัม/ลิตร  $\alpha$  เท่ากับ 0.01 และ  $\beta_1$  เท่ากับ 0.0025 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด (measurement  $S^*$ ) และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการคำนวณ (Calculation  $S^*$ ) (ดูรูปที่ 4.30 และ 4.24) โดยการใช้ค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.62 และหากใช้มีค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.44 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำเนื่องจากข้อมูลที่ใช้จำกัดอยู่ในช่วงคลื่นต่ำและความเร็วกระแสน้ำน้อย ทำให้ปัจจัยอื่นๆ ส่งผลมากกว่าอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำ



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม (Measured  $S^*$ ) และจากการคำนวณ (Calculated  $S^*$ ) โดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม (Measured  $S_x$ ) และจากการคำนวณ (Calculated  $S_x$ ) โดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ

จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 การคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยโดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มากกว่าการคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยโดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม การคำนวณโดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยยังให้แนวโน้มของความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการคำนวณใกล้เคียงกับความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม ในขณะที่การคำนวณโดยใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำจะให้แนวโน้มจากการคำนวณน้อยกว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนามซึ่งเกิดจากการคำนวณอัตราการตกของอนุภาคตะกอนใช้ค่า  $D_{50}$  เป็นตัวแทนของขนาดอนุภาคทั้งหมดในมวลน้ำ ทำให้การคำนวณอัตราการตกตะกอนได้ค่ามากเกินไป เนื่องจากในมวลน้ำยังคงมีตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า  $D_{50}$  ลอยอยู่ในมวลน้ำ จึงส่งผลให้การคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยได้ค่าน้อยกว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม

รูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าเราสามารถประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยบริเวณบ้าน ชุมสมุทรจีนได้หากเราทราบความเร็วกระแส น้ำ สภาพวะคลื่น และขนาดอนุภาคตะกอนแขวนลอย ที่องน้ำ โดยความเร็วกระแส น้ำ (เนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง ลม หรือน้ำท่า) ส่งผลต่อค่าตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษาน้อยเนื่องจากอยู่กันอ่าวและน้ำตื้นจึงมีความเร็วกระแส น้ำต่ำ ดังนั้นความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในบริเวณนี้จึงขึ้นอยู่กับสภาพคลื่น (ความสูงนัยสำคัญ ความลึกที่องน้ำ และกระแส น้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่น) อย่างไรก็ตามยังผลการคำนวณตามสมการ (2.8) และ (2.20) มีความอ่อนไหวต่อค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนค่อนข้างมากโดยหากใช้อัตราการตกคงที่ตามขนาดอนุภาคตะกอนจะทำให้ผลการคำนวณไม่สอดคล้องกับผลการตรวจวัด จึงจำเป็นต้องใช้อัตราการตกที่แปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยซึ่งมีการใช้งานในทะเลและแม่น้ำ (Wu et al., 2008) และปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง อาทิเช่นตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงมากับน้ำท่า



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจภาคสนามบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการพบว่าค่ากลางของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำเฉลี่ย 0.0153 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดทรายแป้ง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่ากลางขนาดอนุภาคจะพบว่าที่ความลึกน้ำ 4.6 เมตร เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ห่างจากชายฝั่ง 2.4 กิโลเมตร จะเป็นจุดแบ่งมวลน้ำชายฝั่งกับมวลน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูแล้ง ความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้องน้ำต่ำ เนื่องจากเป็นพื้นที่กั้นอ่าวและน้ำตื้น ความเร็วกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที ทิศทางของกระแสน้ำค่อนข้างแปรปรวนมากซึ่งเป็นอันเนื่องมาจากลักษณะเฉพาะในพื้นที่ ความสูงคลื่นนัยสำคัญประมาณ 0.01-0.45 เมตรโดยแปรผันตามความลึกน้ำ ความเร็วลมและทิศทางลม กล่าวคือความสูงคลื่นจะมากในช่วงที่ลมพัดมาจากทิศใต้ ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำมีค่ามากที่สุดประมาณ 0.28 เมตร/วินาทีซึ่งสามารถทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำได้ เมื่อ  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.0153 มิลลิเมตร ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำมีค่าระหว่าง 10 - 285 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นหรือเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ที่ท้องน้ำเกิดเป็นชั้นน้ำขุ่น (Turbidity layer) หนาไม่เกิน 1 เมตร แต่หากความสูงคลื่นนัยสำคัญมาก (ประมาณ 0.3 - 0.45 เมตร) ตะกอนท้องน้ำจะฟุ้งกระจายไปทั่วคอลัมน์น้ำหากน้ำลึกไม่เกิน 3 เมตร โดยประมาณ การฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนเกิดจากอิทธิพลของคลื่นมากกว่ากระแส

การฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำเกิดเนื่องจากคลื่นมากกว่ากระแสเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง เพราะการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำจากกระแสเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงจะเกิดขึ้นได้เมื่อเรณัจน์มีค่ามากกว่า 1.7 เมตร การฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำเนื่องจากคลื่นจะเกิดขึ้นจากกระแสหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำเป็นหลัก โดยความสูงคลื่นที่มากขึ้นจะทำให้ความเร็วหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำเพิ่มมากขึ้นและเกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำมากขึ้น

การประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของน้ำชายฝั่งสามารถทำได้หากทราบความเร็วกระแสและสภาพคลื่น สามารถในการอุมตะกอนของมวลน้ำชายฝั่งจะขึ้นกับพลังงานคลื่นมากกว่าพลังงานจากกระแส ความแม่นยำของการประเมินขึ้นอยู่กับค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอน หากใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.62 และถ้าใช้อัตราการตกของ

อนุภาคตะกอนแปรผันตามขนาดอนุภาคจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลงเหลือ 0.44 อย่างไรก็ตามการประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยอาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวังเสมอไปเนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกัดเซาะ (Erodibility) หรือ ปริมาณตะกอนที่พร้อมจะฟุ้งขึ้นมา (Availability) เป็นต้น (Zhang et al., 2009) นอกจากนี้ที่ก้นอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากน้ำท่าค่อนข้างมาก (Wattayakorn, 2006) มีลักษณะเป็นพื้นที่ก้นอ่าวกึ่งปิดทำให้กระแสน้ำในแนวราบเกือบจะหยุดนิ่งตามลักษณะของ Standing wave (Knauss, 1997) และความสูงคลื่นค่อนข้างน้อย (Vongvisessomjai, 2006 ; Uehara et al., 2010) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นที่เคยมีการศึกษามาก่อนเช่น Bohai Bay ซึ่งติดกับมหาสมุทรแปซิฟิก ทำให้มีความสูงคลื่นมากและกระแสน้ำไหลแรง ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจึงมากถึง  $2 \times 10^5$  มิลลิกรัม/ลิตร (Zhang et al., 2009) หรือท่าเรือ Manukau ประเทศนิวซีแลนด์ในช่วงที่ฝนตกหนักจะเกิดการพัดพาอนุภาคทรายแบ่งขนาด 0.01-0.03 มิลลิเมตร ไหลลงมากับน้ำท่าในลักษณะของ River plume ทำให้มีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำสูงมากในขณะคลื่นเบาและกระแสน้ำอ่อนตะกอนแขวนลอยมีค่าต่ำ (Dolphin และ Green, 2009)

หากพิจารณาอัตราการกัดเซาะชายฝั่งในรอบปีจะพบว่าเกิดการกัดเซาะน้อยที่สุดในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (Uehara et al., 2010) ซึ่งเป็นช่วงที่ความสูงคลื่นมากที่สุดในรอบปี ทั้งนี้ในช่วงดังกล่าวอาจเกิดการเคลื่อนย้ายตะกอน (Sediment transport) น้อยกว่าช่วงอื่น ๆ ของปี ทำให้เกิดการกัดเซาะน้อยถึงแม้ตะกอนจะถูกกวาดให้ฟุ้งขึ้นมาในมวลน้ำมากกว่าช่วงอื่น ๆ ของปี ดังนั้นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญซึ่งทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนอาจมาจากการเคลื่อนย้ายตะกอนขนาดทับชายฝั่ง (Longshore transport)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์ในการออกภาคสนาม อาทิเช่น ขาดเครื่องวัดกระแสน้ำแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (electro-magnetic current meter) ซึ่งสามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำได้แม่นยำถึงแม้ค่าความเร็วกระแสน้ำจะต่ำ ควรใช้เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยแบบบับที่อัตโนมัติจะช่วยให้ช่วยให้เก็บข้อมูลได้จำนวนมากและต่อเนื่อง ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งจะช่วยให้เปรียบเทียบสมการได้แม่นยำมากขึ้น ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้คือสภาพคลื่น เรามักจะได้ข้อมูลเฉพาะคลื่นเบาเพราะเรือไม่สามารถแล่นออกไปได้หากคลื่นรุนแรง ส่งผลให้ขาดข้อมูลค่าตะกอนแขวนลอยสูงที่จะนำไปเปรียบเทียบในสมการความสามารถในการกักตะกอนแขวนลอย และหากเป็นไปได้ควรมีการศึกษาในช่วงน้ำท่ามากซึ่งจะเกิดลักษณะของ river plume ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ จะทำให้สามารถศึกษาและอธิบายกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชายฝั่งได้ครอบคลุมมากขึ้น

## รายการอ้างอิง

- ธนวัฒน์ จารูพงษ์สกุล และคณะ. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาบูรณาการเชิงพื้นที่เพื่อการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล จังหวัดสมุทรปราการ: กรณีศึกษานำร่องเพื่อการออกแบบ ณ บ้านขุนสมุทรจีน ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์. 813 หน้า.
- ปราโมทย์ ไชยศิริ, ธนวัฒน์ จารูพงษ์สกุล และบุศราศิริ ธนะ. 2555. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการ “การประเมินประสิทธิผลของการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งด้วยโครงสร้างและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องทะเลและแนวชายฝั่งในพื้นที่นำร่อง บ้านขุนสมุทรจีน บริเวณอ่าวไทยตอนบน”. 295 หน้า.
- Airy, G.B. 1845. Tide and Wave, Encyc. Metrop. Article 192: 241-396.
- Beer, T. 1983. Environmental Oceanography, An Introduction to the Behavior of Coastal Waters. Pergamon Press. 262 pp.
- Dolphin, T.J. and Green, M.O. 2009. Pattern of Wave-orbital Speed and Skin Friction Under Estuarine (Fetch-limit) Wave. Journal of Coastal Research. SI 56 (Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Coastal Symposium). 178-182.
- Dou, G. R., Dong, F.W., and Dou, X.B. 1995. Sediment transport capacity of tidal current and wave. Chinese Bulletin of Science 40: 1096-1101.
- Goda, Y. 1970. A synthesis of breaking indices. Transactions of Japan Society of Civil Engineers 2: 227-230.
- Horikawa, K. 1988. Nearshore dynamic and coastal process: Theory, measurement, and predictive models. University of Tokyo Press. Tokyo. 522 pp.
- Knauss, J. A., 1997. Introduction to Physical Oceanography. Prentice-Hall, Inc. 309 pp.
- Larry G., Ward. 1985. The influence of wind waves and tidal currents on sediment resuspension in middle Chesapeake bay. Geo-Marine Letters 5:71-75.
- McCormick, Michael E. 2007. Ocean Wave Energy Conversion. Dover publication, Inc. Mineola, New York. 233 pp.

- McManus J. 1988. Grain size determination and interpretation. In Techniques in Sedimentology, Tucker M (ed.). Blackwell: Oxford; 63–85.
- NEDECO. 1963. A Study on the siltation of the Bangkok port channel.
- Nielsen, A. F. 2000. Sediment Transport Modelling. Isotope Tracer Demonstration at the Port of Songkhla, Thailand. IAEA/RCA/UNDP Project No. RAS/8/071-60. Technical Report 99/65, The University of New South Wales, Water Research Laboratory. 43 pp.
- Postma, H. 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: Lauff GH (ed) Estuaries. American Association for the Advancement of sciences 83:158-159.
- Rattanapitikon, W., and Shibayama, T. 1998. Energy dissipation model for irregular breaking waves. Proceeding of 26<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference. 112-125.
- Resio, D., Bratos, S., and Thompson, E. 2002. Coastal Engineering Manual, Part II, Hydrodynamics, Chapter II-1, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Schubel, JR. 1972. Distribution and transportation of suspended sediment in upper Chesapeake Bay. In: Nelson BW (ed) Environmental Framework of coastal Plain Estuaries. Geological Society of America Memoir 133:151-167.
- Silvester, R. 1974. Coastal Engineering 1. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York. 457 pp.
- Uehara, K., Sojisuporn, P., Saito, Y., and Jarupongsakul, T. 2010. Erosion and accretion process in a muddy dissipative coast, the Chao Phraya River delta, Thailand. Earth surface processes and landforms. 35:1701-1711.
- Van Rijn, L.C. 1989. "Handbook, Sediment Transport by Currents and Waves". Delft Hydraulics Report H 461.

- Vongvisessomjai, S. 2006. Physical Environment in the Gulf of Thailand with Emphasis on Three Important Ports. The Environment in Asia Pacific Harbours. 229-247.
- Wattayakorn, G. 2006. Environmental issues in the Gulf of Thailand. The Environment in Asia Pacific Harbours. 249–259.
- Wu, Dean, Yixin Yan, and Rui Xie. 2008. Tide harmonic analysis and suspended sediment carrying capacity modeling in Jiangsu Radia sand sea area. Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering (JOINT2008), August 24-30, 2008. Darmstadt, Germany. 229-232.
- Zhang, Q.H., Yan, B., and Wai, O.W.H. 2009. Fine sediment carrying capacity of combined wave and current flows. International Journal of Sediment Research 24 4:425-438.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก-1 องค์ประกอบของอนุภาคตะกอนขนาดต่างๆ ในแต่ละสถานี

ขนาดอนุภาค	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
Fine sand	4.15	0.76	1.37	2.40	1.46	0.70
Very fine sand	6.26	9.22	23.08	19.22	27.20	12.08
coarse silt	41.39	42.55	26.18	29.95	25.39	15.92
Median silt	23.84	22.92	18.19	25.74	15.05	20.32
Fine silt	8.18	8.57	13.71	6.94	10.75	18.29
Very fine silt	4.46	3.43	4.95	2.57	4.70	7.96
Coarse clay	3.89	4.00	5.43	4.13	5.78	12.19
Fine clay & Very fine clay	7.83	8.57	7.10	9.05	9.67	12.53

ตารางที่ ก-2 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูล (Latitude, Longitude) ในแต่ละครั้ง

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	13°30'14.4"N	13°30'02.2"N	13°29'50.2"N	13°29'42.9"N	13°29'29.8"N	13°29'13.3"N
	100°31'55.5"E	100°31'54.6"E	100°31'57.5"E	100°31'59.3"E	100°32'00.8"E	100°32'00.3"E
2	13°30'10.7"N	13°29'52.5"N	13°29'40.8"N	13°29'25.3"N	13°28'51.4"N	-
	100°32'05.7"E	100°32'05.7"E	100°32'06.9"E	100°32'09.8"E	100°32'12.8"E	-
3	13°30'17.9"N	13°30'02.4"N	13°29'42.1"N	13°29'13.3"N	-	-
	100°31'52.9"E	100°32'01.2"E	100°31'59.3"E	100°31'58.1"E	-	-
4	13°30'20.0"N	13°29'52.6"N	13°29'31.9"N	13°29'06.5"N	13°28'51.7"N	13°28'11.5"N
	100°32'02.4"E	100°32'03.9"E	100°32'04.3"E	100°31'57.7"E	100°31'57.6"E	100°31'54.0"E
5	13°30'20.2"N	13°30'03.1"N	13°29'40.9"N	13°29'25.0"N	13°29'12.2"N	13°28'52.6"N
	100°32'03.9"E	100°32'05.5"E	100°31'54.7"E	100°32'04.7"E	100°31'58.5"E	100°31'56.8"E
6	13°30'19.6"N	13°30'02.2"N	13°29'45.1"N	13°29'23.4"N	13°29'09.5"N	13°28'58.5"N
	100°32'05.4"E	100°32'05.3"E	100°32'10.7"E	100°32'04.9"E	100°32'03.0"E	100°32'04.8"E
7	13°30'06.4"N	13°29'52.8"N	13°29'37.9"N	13°29'23.4"N	-	-
	100°31'99.2"E	100°31'55.9"E	100°32'01.0"E	100°32'50.9"E	-	-



รูปที่ ก-1 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ในวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553

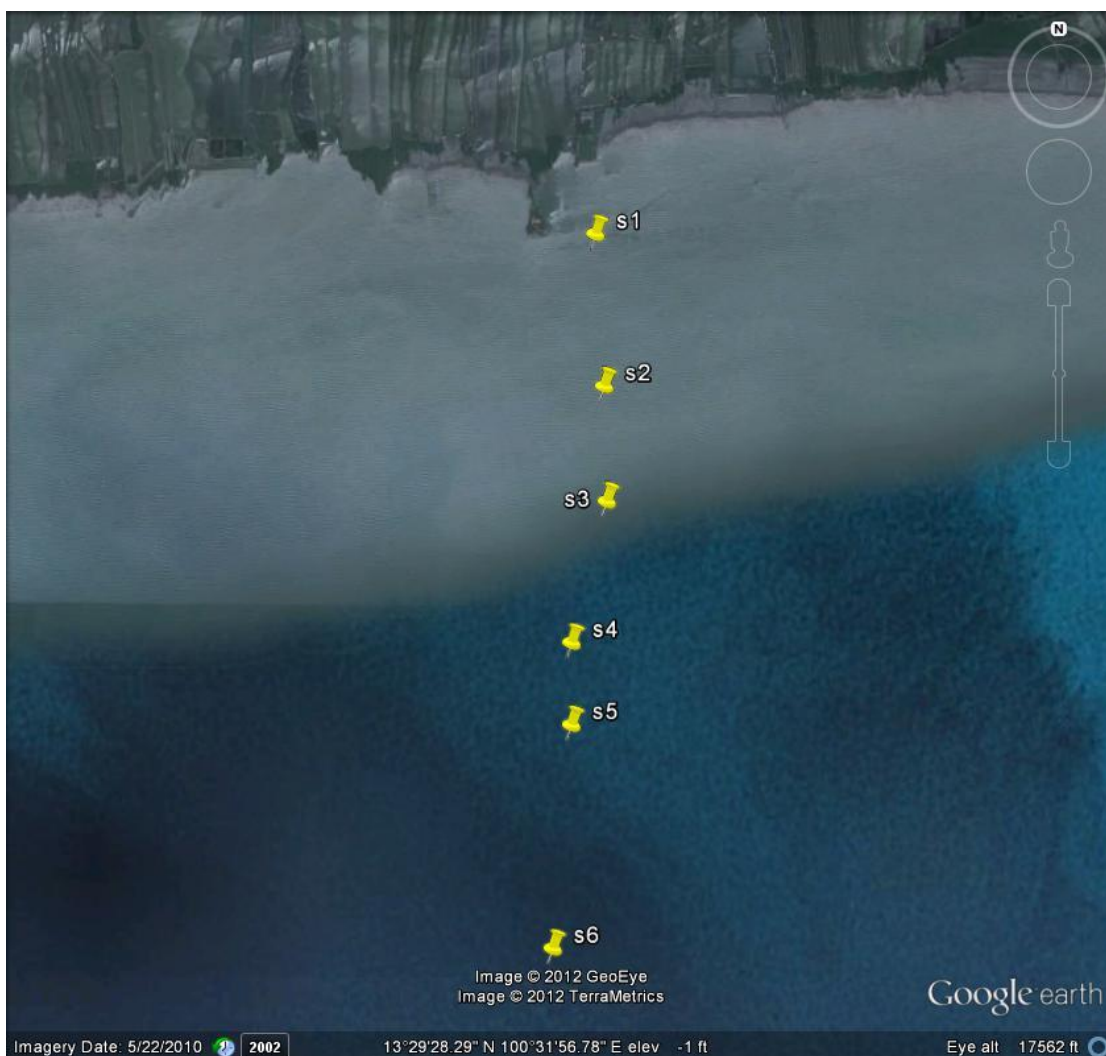




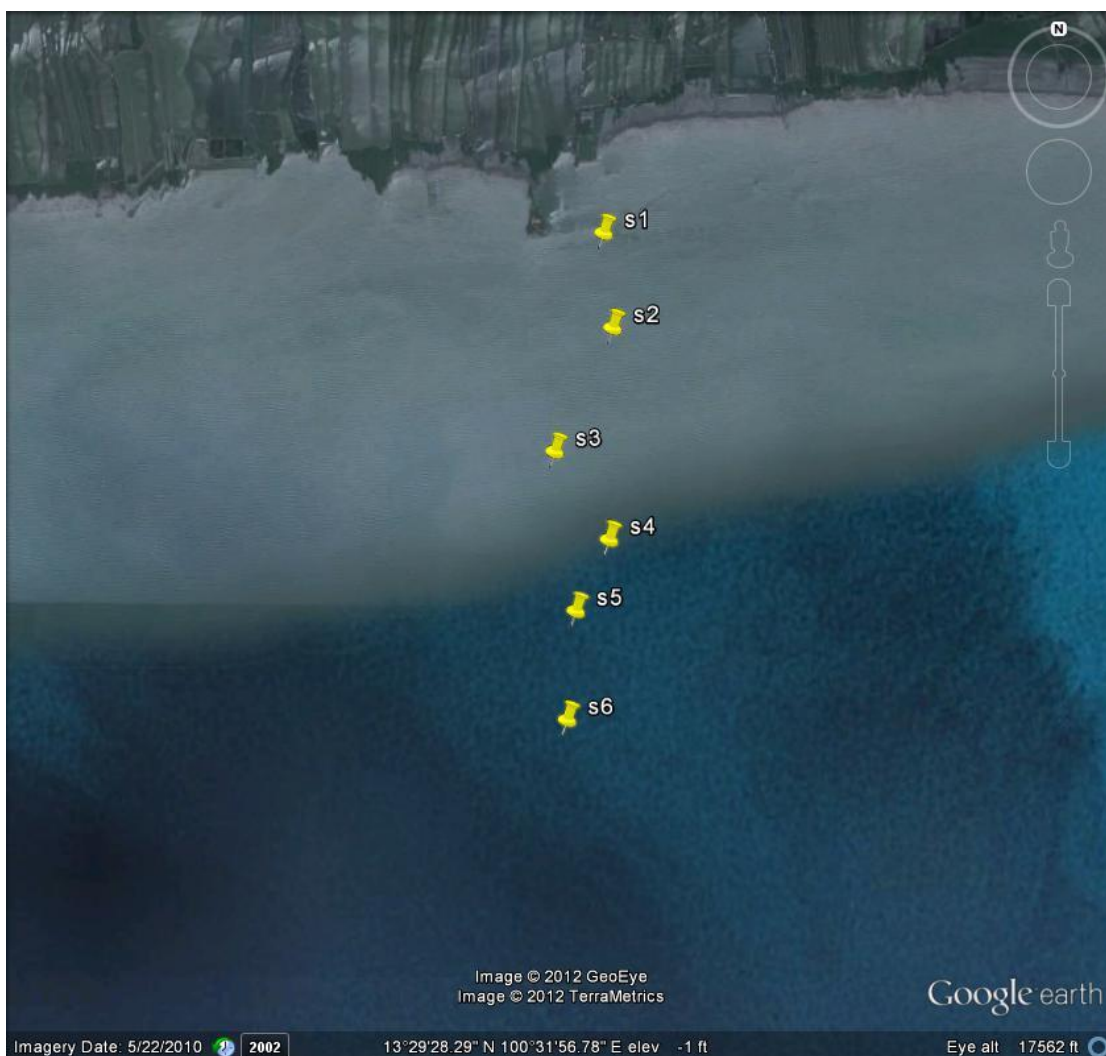
รูปที่ ก-2 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553



รูปที่ ก-3 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554



รูปที่ ก-4 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554



รูปที่ ก-5 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า)



รูปที่ ก-6 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (ป้าย)





รูปที่ ก-7 ตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  
ในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554

ตารางที่ ก-3 ความลึกน้ำในการตรวจวัดข้อมูลแต่ละครั้ง

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	2.3	3.2	3.8	4.2	4.7	5.4
2	3.1	3.7	4.2	4.7	5.3	-
3	1.55	2.45	3.15	4.15	-	-
4	2.3	3.2	3.8	4.2	4.8	5.3
5	2.15	2.95	3.65	3.95	4.35	4.65
6	1.75	2.65	3.55	4.25	4.75	5.05
7	1.95	2.45	2.95	3.15	-	-

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2553

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	0.003	13	2.3	0.74
2	~0	0	3.2	1.11
3	0.002	52	3.8	1.51
4	0.026	26	4.2	1.74
5	0.001	31	4.7	2.14
6	0.011	30	5.4	2.62

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2553

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	~0	255	3.1	0.89
2	~0	100	3.7	1.45
3	~0	174	4.2	1.81
4	~0	252	4.7	2.3
5	~0	228	5.3	3.33

ตารางที่ ก-6 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ครั้งที่ 3 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	0.149	220	1.55	0.63
2	0.033	201	2.45	1.13
3	0.016	210	3.15	1.77
4	0.021	147	4.15	2.62

ตารางที่ ก-7 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ครั้งที่ 4 วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	~0	17	2.3	0.57
2	~0	230	3.2	1.43
3	~0	209	3.8	2.08
4	~0	130	4.2	2.79
5	~0	327	4.8	3.25
6	~0	249	5.3	4.46

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ครั้งที่ 5 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 (เช้า)

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	~0	93	2.15	0.59
2	~0	236	2.95	1.13
3	~0	169	3.65	1.75
4	~0	220	3.95	2.29
5	~0	180	4.35	2.65
6	~0	125	4.65	3.23



ตารางที่ ก-9 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 6 วันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2554 (ป่าย)

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	~0	267	1.75	0.59
2	~0	101	2.65	1.1
3	~0	253	3.55	1.66
4	~0	105	4.25	2.3
5	~0	52	4.75	2.69
6	~0	98	5.05	3.06

ตารางที่ ก-10 ข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำ ครั้งที่ 7 วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2554

สถานี	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)	ความลึก (m)	ระยะจากชายฝั่ง (km)
1	0.175	233	1.95	1.03
2	0.087	217	2.45	1.41
3	0.191	195	2.95	1.89
4	0.062	264	3.15	2.37

ตารางที่ ก-11 ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมในการตรวจวัดข้อมูลแต่ละครั้ง ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ครั้งที่	ความเร็ว (knot)	ความเร็ว (m/s)	ทิศทาง (degree)
1	6	3.09	180
2	3	1.54	320
3	12	6.17	190
4	12	6.17	20
5	4	2.06	40
6	2	1.03	180
7	16	8.23	190

ตารางที่ ก-12 ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (m)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	0.083	0.064	0.061	0.044	0.040	0.032
2	0.080	0.063	0.055	0.065	0.061	-
3	0.254	0.238	0.184	0.211	-	-
4	0.093	0.103	0.130	0.125	0.157	0.142
5	0.116	0.123	0.111	0.109	0.121	0.115
6	0.098	0.089	0.091	0.104	0.093	0.119
7	0.313	0.295	0.357	0.412	-	-

ตารางที่ ก-13 คาบคลื่น (s)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	3.10	3.27	3.27	3.23	3.33	3.42
2	6.19	6.00	5.94	6.74	7.23	-
3	3.64	3.91	3.89	4.00	-	-
4	5.39	5.56	5.17	3.63	3.49	3.23
5	3.15	3.26	3.29	3.01	3.02	3.16
6	3.85	3.68	3.50	3.41	3.54	3.11
7	3.56	3.69	3.95	4.04	-	-

ตารางที่ ก-14 ความยาวคลื่น (m)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	12.37	14.68	15.30	15.24	16.46	17.52
2	32.23	33.63	35.05	42.56	48.54	-
3	13.05	17.08	18.57	21.08	-	-
4	20.84	28.74	28.39	18.60	17.72	15.81
5	12.37	14.30	15.31	13.47	13.71	14.96
6	14.68	16.27	16.65	16.68	18.14	14.69
7	13.96	15.86	18.50	19.53	-	-

ตารางที่ ก-15 ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำเนื่องจากคลื่น (m/s)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	0.058	0.033	0.026	0.016	0.013	0.009
2	0.064	0.044	0.035	0.040	0.036	-
3	0.268	0.186	0.116	0.105	-	-
4	0.094	0.077	0.084	0.055	0.053	0.034
5	0.088	0.070	0.050	0.037	0.035	0.033
6	0.098	0.063	0.046	0.040	0.033	0.028
7	0.277	0.222	0.241	0.268	-	-

ตารางที่ ก-16 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด (mg/l)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	48.61	21.27	17.23	26.77	10.31	10.17
2	18.51	10.69	14.57	14.33	16.59	-
3	195.48	108.96	109.72	63.96	-	-
4	54.17	27.57	25.67	27.81	15.76	13.14
5	62.10	45.21	19.36	12.95	12.54	15.12
6	22.38	15.57	11.32	10.81	10.85	13.77
7	285.00	192.14	102.38	111.65	-	-

ตารางที่ ก-17 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากกระแสน้ำจากการคำนวณ (mg/l)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	$5.41 \times 10^{-7}$	~0	$3.52 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^{-4}$	$4.54 \times 10^{-8}$	$9.24 \times 10^{-5}$
2	~0	~0	~0	~0	~0	-
3	$2.41 \times 10^{-2}$	$3.14 \times 10^{-4}$	$2.76 \times 10^{-5}$	$8.30 \times 10^{-5}$	-	-
4	~0	~0	~0	~0	~0	~0
5	~0	~0	~0	~0	~0	~0
6	~0	~0	~0	~0	~0	~0
7	$2.05 \times 10^{-2}$	$2.67 \times 10^{-3}$	$5.16 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-3}$	-	-

ตารางที่ ก-18 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากโคลนจากการคำนวณ (mg/l)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	4.345	1.023	0.351	0.045	0.040	0.006
2	13.445	5.272	1.656	1.775	1.214	-
3	433.499	119.573	22.844	18.885	-	-
4	11.092	12.712	14.877	3.308	3.794	1.036
5	14.075	7.656	3.292	2.218	1.777	1.215
6	86.567	18.549	6.229	2.551	1.163	0.622
7	262.959	118.197	249.347	315.095	-	-

ตารางที่ ก-19 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเนื่องจากโคลนและกระแสน้ำจากการคำนวณ (mg/l)

ครั้งที่	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
1	4.345	1.023	0.351	0.046	0.040	0.006
2	13.445	5.272	1.656	1.775	1.214	-
3	433.523	119.573	22.844	18.885	-	-
4	11.092	12.712	14.877	3.308	3.794	1.036
5	14.075	7.656	3.292	2.218	1.777	1.215
6	86.567	18.549	6.229	2.551	1.163	0.622
7	262.979	118.200	249.399	315.096	-	-

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิทัศน์ ลิ้มผ่องใส เกิดวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนอู่ทอง ในปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจาก ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552