

---

อิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำ และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ  
ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ

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

นิทัศน์ ลิ้มผ่องใส และ ปราโมทย์ โสจิศุภกร\*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Nitas Limpongsai and Pramot Sojisuorn\*

Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

---

**บทคัดย่อ**

ชายฝั่งทะเลบ้านขุนสมุทรจีนตั้งอยู่ในพื้นที่กั้นอ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะเป็นแนวป่าชายเลนผสมกับหาดเลนน้ำตื้น ชายฝั่งมีความลาดชันน้อยทำให้พลังงานคลื่นและกระแสน้ำมีอิทธิพลต่อการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำอย่างมาก จึงนำมาสู่การศึกษาอิทธิพลของพลังงานคลื่นและกระแสน้ำต่อค่าตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำชายฝั่งโดยพิจารณาจากความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำ ดำเนินการสำรวจ 7 ครั้งตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่งโดยมีความลึกอยู่ระหว่าง 1.5-5 เมตร ข้อมูลที่ตรวจวัดคือความลึกน้ำ ความเร็วกระแสน้ำใกล้ท้องน้ำ ความสูงและคาบคลื่น และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย กระแสน้ำใกล้ท้องน้ำพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตรต่อวินาที ความสูงคลื่นนัยสำคัญอยู่ในช่วง 0.01-0.45 เมตร คาบคลื่น 3-5 วินาที ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำมีค่ามากที่สุดประมาณ 0.28 เมตร/วินาทีซึ่งสามารถทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำได้เมื่อ  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.0153 มิลลิเมตร ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำมีค่าระหว่าง 10-285 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อใช้สมการความสามารถในการอุ้มตะกอนแขวนลอยของ Zhang ร่วมกับการใช้ค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนที่แปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยพบว่าสามารถคำนวณค่าตะกอนแขวนลอยได้ใกล้เคียงกับผลตรวจวัด (ค่าสหสัมพันธ์ = 0.62)

**คำสำคัญ :** บ้านขุนสมุทรจีน อ่าวไทยตอนบน ความสามารถในการอุ้มตะกอน คลื่น กระแสน้ำ

---

\*Corresponding author. E-mail: pramot.s@chula.ac.th

Ban Khunsamutchin coast is located at the inner coast of the upper gulf of Thailand. Where remnant mangrove forest and wide, shallow mudflat are feature of the coast. Because of the coast's gentle slope, 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 was influence by wave and current energies. Seven field trips 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 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. Finally, using the sediment carrying capacity formula proposed by Zhang and the values of sediment settling velocity varying with the TSS concentration, the computed TSS concentration matched up nicely with the measured ones ( $R^2 = 0.62$ ).

**Keywords :** Ban Khunsamutchin, the upper Gulf of Thailand, sediment carrying capacity, wave, current

## บทนำ

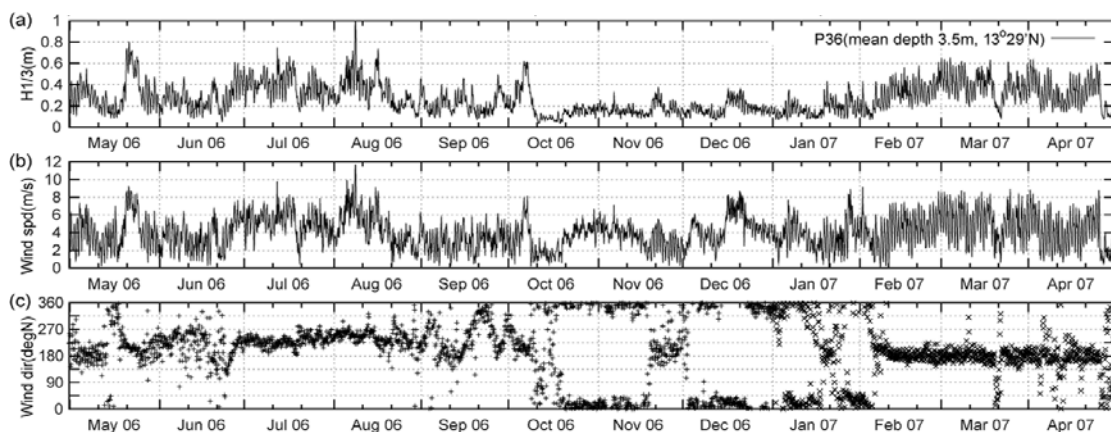
ในบริเวณชายฝั่งที่น้ำตื้นหรือบริเวณเอสทูรี การพังกระจายของตะกอนท้องน้ำ เป็นกระบวนการที่สำคัญและซับซ้อนเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปัจจัยทางกายภาพที่หลากหลายและมีความแปรผันมาก เช่น การผสมกันของตะกอนหลายขนาด การไหลล้นน้ำหรือจมน้ำของผิวหน้าตะกอนเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง หรือแม้กระทั่งสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะพวกที่อาศัยอยู่บนพื้นดิน (benthos) เป็นต้น สำหรับการพังกระจายของตะกอนท้องน้ำจะขึ้นกับแรงคลื่นและกระแสน้ำเป็นหลักเนื่องจากบริเวณชายฝั่งเป็นเขตที่มีน้ำตื้นทำให้พลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำส่งผ่านลงไปถึงชั้นตะกอนพื้นท้องน้ำ แรงเฉือนจากแรงคลื่นและกระแสน้ำที่ท้องน้ำทำให้ตะกอนท้องน้ำพังกระจายกลับขึ้นมาในมวลน้ำ (Postma, 1967 ; Schubel, 1972) เกิดการเคลื่อนย้ายตะกอนไปยังบริเวณอื่น หรือเกิดการตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำเมื่อพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำมีค่าน้อยลง สำหรับบริเวณที่ความลึกน้ำต่ำกว่า 6 เมตรจะมีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยสูง ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของคลื่นลม (Wind wave) ทำให้เกิดการพังกระจายของตะกอนท้องน้ำ กลับขึ้นมาในมวลน้ำ

ตะกอนแขวนลอยบางส่วนจะถูกเคลื่อนย้ายออกนอกชายฝั่ง (Larry, 1985) ซึ่งทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำ (bed erosion)

คลื่นบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนจะมีความสูงคลื่นมากในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนและในช่วงปลายฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1) (NEDECO, 1963 ; Uehara *et al.*, 2010) โดยความสูงคลื่นจะสัมพันธ์กับความเร็วและทิศทางลม กล่าวคือหากความเร็วลมมากจะทำให้เกิดคลื่นที่มีความสูงมากและลมที่พัดมาจากทิศใต้จะทำให้เกิดการพัฒนาตัวของความสูงคลื่นได้มากกว่าลมที่พัดมาจากทิศอื่น เนื่องจากบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนมีระยะทางพัฒนาตัวของคลื่น (fetch-length) มากที่สุดในทิศใต้ (ปราโมทย์ ไชจิสุกร และคณะ, 2555) แต่สำหรับในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนตุลาคมและช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ทิศทางลมพัดมาจากทิศเหนือทำให้เกิดคลื่นพัฒนาตัวออกจากชายฝั่งถึงแม้ในบางช่วงความเร็วลมจะมากแต่ระยะทางพัฒนาตัวของคลื่นน้อยทำให้ความสูงคลื่นมีค่าน้อย

**ตารางที่ 1** ข้อมูลความสูงคลื่นเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2499-2503 บริเวณสถานีน้ำร่อง จ.สมุทรปราการ โดย H คือความสูงคลื่น และ f คือความถี่หรือโอกาสในการเกิด (NEDECO, 1963)

เดือน	H (m)	f (%)	Hxf (m)	เดือน	H (m)	f (%)	Hxf (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



**ภาพที่ 1** ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (H1/3) (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)

ชายฝั่งทะเลบ้านขุนสมุทรจีนตั้งอยู่ในเขตตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ พื้นที่ดังกล่าวอยู่ที่ก้นอ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะเป็นหาดเลนที่มีความลาดต่ำ (~ 1:1000) เป็นบริเวณที่ชายฝั่งเกิดการถอยร่นกว่า 1 กิโลเมตรในรอบ 20 ปี โดยสาเหตุของการถอยร่นอาจเกิดจากการกระทำของแรงคลื่นร่วมกับแผ่นดินทรุด และขาดตะกอนแขวนลอยจากแม่น้ำเนื่องจากการสร้างเขื่อน

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคตะกอน ( $D_{50}$ ) ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยกับพลังงานคลื่นและกระแสน้ำ พร้อมทั้งประเมินความแม่นยำของสมการคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากพลังงานคลื่นและกระแสน้ำที่บริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนโดยมีการสำรวจเก็บข้อมูลคลื่น กระแสน้ำและความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ชายฝั่งทะเลในพื้นที่แล้วนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

## วัตถุประสงค์และวิธีการวิจัย

1) เก็บข้อมูลภาคสนามบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนจำนวน 7 ครั้ง (ภาพที่ 2) ในแต่ละครั้งเก็บตัวอย่าง 4-6 สถานี แต่ละสถานีเก็บข้อมูลทุกๆความลึกน้ำประมาณ 0.5-1 เมตร จากผิวน้ำ เริ่มเก็บข้อมูลที่ความลึกน้ำประมาณ 1.5 เมตร ที่สถานีสุดท้ายความลึกน้ำประมาณ 4-6 เมตร ครอบคลุมวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงและสภาพคลื่น โดยในแต่ละสถานีจะทำการเก็บข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลคลื่นเก็บโดยใช้เครื่องวัดระดับน้ำยี่ห้อ Solinst รุ่น 3001 โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีต่อเนื่องกันเป็นเวลา 10 นาที นำเครื่องวัดคลื่นมาติดตั้งไว้กับลำไม้ไผ่และปักลงพื้นตะกอนในบริเวณสถานีเก็บตัวอย่างโดยให้เครื่องอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 1 เมตร นำข้อมูลจากเครื่องวัดคลื่นมาวิเคราะห์หาคาบคลื่น ความสูงคลื่นนัยสำคัญ และรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นกำลังสองด้วยวิธี parametric method (Silvester, 1974) ต่อจากนั้นนำคาบคลื่นและความสูงคลื่นนัยสำคัญมาคำนวณความยาวคลื่นและกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำ (bottom orbital velocity) วิเคราะห์ทิศทางคลื่นโดยอ้างอิงจากทิศทางของลม (ใช้ข้อมูลลมจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีนำร่อง จ.สมุทรปราการ ในช่วงเวลาเดียวกับที่ทำการเก็บข้อมูลคลื่น)

- ข้อมูลกระแสน้ำตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดกระแสน้ำ VALEPORT 105 ติดตั้งกับโครงเหล็กและวางบนท้องน้ำ ตรวจวัดกระแสน้ำเฉลี่ยทุกๆ 15 วินาที ต่อเนื่องกัน 10 นาที

- ข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตรวจวัดโดยใช้กระบอกเก็บน้ำขนาด 1 ลิตร เก็บน้ำทุกๆความลึก 0.5 เมตร และนำมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C (filtration method) ในห้องปฏิบัติการ (John, 2000)

- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแบบตัก (grab sampler) แล้วนำตะกอนมาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและอัตราส่วนของตะกอนขนาดต่างๆ ด้วยการร่อนผ่านตะแกรง (sieve method) และรอให้ตกตะกอน (pipette method) (Day, 1965 ; Franzmeier *et al.*, 1977) เลือกเก็บข้อมูลในช่วงฤดูแล้งเพื่อหลีกเลี่ยงตะกอนแขวนลอยที่มา กับน้ำท่าหรือเก็บข้อมูลในช่วงน้ำขึ้น หลีกเลี่ยงช่วงฝนตกหรือขณะเกิด การสะสมของแพลงก์ตอน (Plankton bloom)

2) วิเคราะห์ข้อมูลสำรวจโดยหาค่ากลางของขนาดอนุภาค ( $D_{50}$ ) จากกราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคตะกอนท้องน้ำตามภาพที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลคลื่น และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเทียบกับความลึกน้ำ คำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามสมการที่ (2) (3) และ (4) ในหัวข้อที่ 3 โดยใช้ข้อมูลนำเข้าคือ คาบคลื่น รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่น กำลังสอง ความลึกน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ และ  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำ จากนั้นนำค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ได้จากคำนวณมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

3) การคำนวณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย สมการความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเสนอโดย Dou *et al.* (1995) มีสมมติฐานว่าความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำเป็นผลรวมของความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำตามสมการที่ (1)

$$S_c = S_{c'} + S_{w'} \quad (1)$$

เมื่อ  $S_c$  คือความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย  $S_{c'}$  และ  $S_{w'}$  คือความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำและคลื่นตามลำดับ

สมการความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ ( $S_{c'}$ ) ได้รับการตรวจสอบจากข้อมูลหลายชุดทั้งจากห้องทดลองและจากภาคสนาม (Dou *et al.*, 1995 อ้างถึงใน Zhang *et al.*, 2009) ตามในสมการที่ 2

$$S_{c'} = \alpha \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} \frac{V^3}{c^2 g h w_s} \quad (2)$$

เมื่อ  $\alpha$  คือสัมประสิทธิ์ของความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำ มีค่าประมาณ 0.023,  $\gamma$  คือ ความหนาแน่นจำเพาะ

ของน้ำทะเล (specific density of sea water) มีค่าประมาณ  $1.028 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_s$  คือ ความหนาแน่นจำเพาะของอนุภาคตะกอน (specific density of sediment particle) มีค่าประมาณ  $2.65 \text{ kg/m}^3$ ,  $h$  คือ ความลึกน้ำ (depth),  $c$  คือ สัมประสิทธิ์เชซี (Chezy coefficient) มีค่าประมาณ 50,  $w_s$  คือ ความเร็วในการตกตะกอน (settling velocity, m/s),  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (acceleration of gravity,  $\text{m/s}^2$ ),  $V$  คือ ความเร็วกระแส (current velocity, m/s)

Zhang *et al.* (2009) ได้ปรับแก้สมการความสามารถในการอุ้มตะกอนเนื่องจากคลื่น ( $S_{*w}$ ) ให้มีความถูกต้องและสมเหตุสมผลมากขึ้นจากเดิม โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วนคือ 1) บริเวณคลื่นไม่แตกตัว (outside the surf zone) และ 2) บริเวณในเขตที่คลื่นแตกตัว (inside the surf zone)

1) บริเวณที่คลื่นไม่แตกตัวพลังงานคลื่นจะถูกลดทอนด้วยแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ ซึ่งอธิบายได้ตามสมการที่ (3)

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

เมื่อ  $\beta_1$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ 0.04),  $T$  คือ คาบคลื่น (s)  $f_w$  คือ แฟคเตอร์แรงเสียดทาน (friction factor),  $H_{rms}$  คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นกำลังสอง (m),  $h$  คือ ความลึกน้ำ (depth, m),  $k$  คือ wave number

2) บริเวณที่คลื่นแตกตัวการกระจายตัวของพลังงานจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำและการแตกตัวของคลื่นสามารถเขียนสมการแสดงการกระจายตัวของพลังงานคลื่นในเขตคลื่นแตกตัวได้ตามสมการที่ (4)

$$S_{*w} = \beta_1 \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{f_w H_{rms}^3}{T^3 g^2 h w_s \sinh^3(kh)} + \beta_2 \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{D_{B2}}{ghw_s} \quad (4)$$

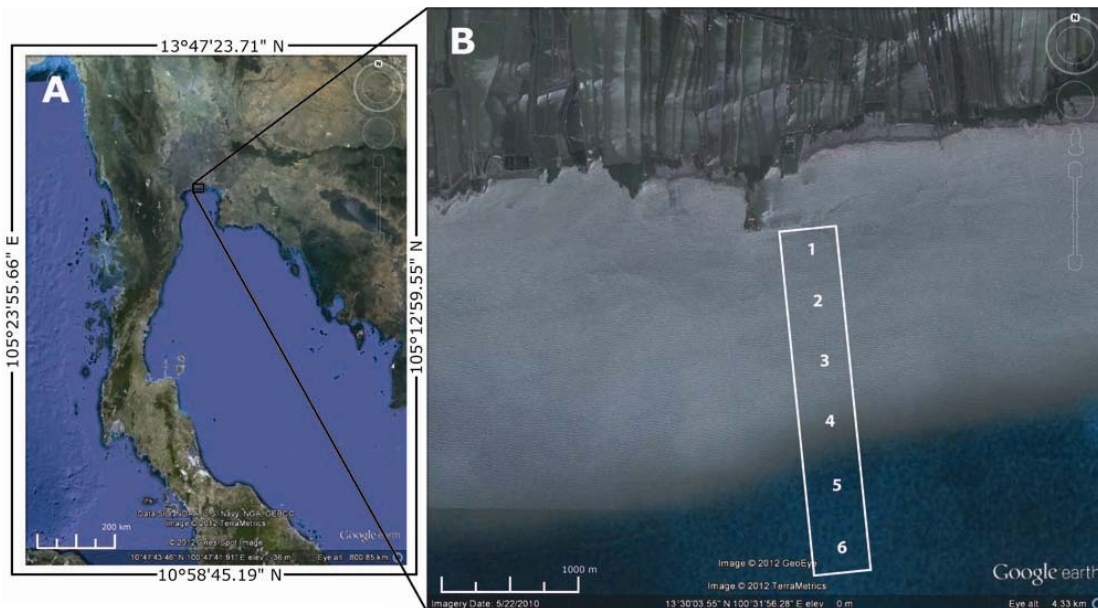
เมื่อ  $\beta_2$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ  $50 \times 10^{-6}$ ),  $D_{B2}$  คือ การกระจายตัวของพลังงานคลื่นเนื่องจากคลื่นแตกตัวสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (5) (Rattanapitikon and Shibayama, 1995; Zhang *et al.*, 2009)

$$D_{B2} = K Q_B \frac{c_g \rho g}{8h} \left\{ H_{rms}^2 - \left[ \text{hexp} \left( -0.58 - 2.0 \frac{h}{\sqrt{LH_{rms}}} \right) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

โดย  $K$  คือ สัมประสิทธิ์ (มีค่าประมาณ 0.1),  $c_g$  คือ ความเร็วกลุ่มของคลื่น (wave group velocity, m/s),  $L$  คือ ความยาวคลื่น (wave length, m),  $Q_B$  คือ แรงเสียดทานขณะคลื่นแตกตัว (fraction of wave which break)

## ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ตะกอนท้องน้ำบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวถึงทรายหยาบ อนุภาคส่วนใหญ่เป็น



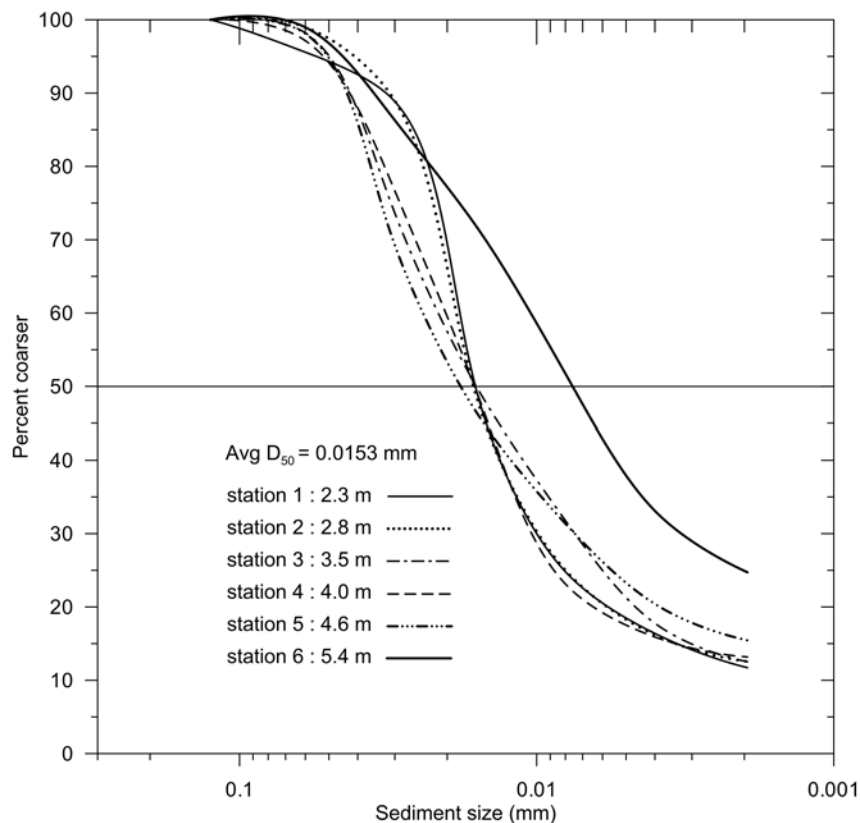
ภาพที่ 2 อ่าวไทยแสดงพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสี่เหลี่ยม (A) และภาพถ่ายบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างในกรอบสี่เหลี่ยม (B)

ทรายแป้งละเอียด สถานีที่ 1 ถึง 5 (ภาพที่ 3) มีค่า  $D_{50}$  ของตะกอนที่อึ่งใกล้เคียงกันประมาณ 0.017 มิลลิเมตร (สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ (2552) ได้ค่า  $D_{50}$  ของตะกอนที่อึ่งน้ำประมาณ 0.02 มิลลิเมตร) ส่วนสถานีที่ 6 มีค่า  $D_{50}$  เท่ากับ 0.0075 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3) การที่ขนาดตะกอนที่สถานี 6 มีค่าน้อยกว่าสถานีอื่นๆ เป็นไปได้ว่าพื้นที่น้ำลึกพลังงานคลื่นที่ผิวน้ำสามารถส่งลงไปถึงที่อึ่งน้ำได้น้อยอนุภาคตะกอนขนาดเล็กจึงสามารถตกตะกอนลงไปสะสมที่ที่อึ่งน้ำได้มากกว่าในบริเวณที่ตื้น เป็นไปได้ว่าที่สถานีที่ 6 ความลึก 5.4 เมตร (เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง) จะเป็นรอยต่อของมวลน้ำชายฝั่งซึ่งได้รับอิทธิพลของคลื่นและตะกอนจากน้ำท่ากับมวลน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

จากภาพที่ 3 ขนาดอนุภาคตะกอนที่อึ่งน้ำมากกว่าร้อยละ 95 มีขนาดเล็กกว่า 0.0625 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว เป็นไปได้ว่าแหล่งที่มาของตะกอนที่อึ่งน้ำในบริเวณนี้มาจากแม่น้ำเป็นหลักซึ่งเกิดการชะล้างเอาตะกอนจากแผ่นดินลงมาสะสมบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ดังนั้นสาเหตุของการกักเซาะชายฝั่งที่สำคัญอีกประการอาจมาจากปริมาณตะกอนจากแม่น้ำ

ลดลงทำให้ชายฝั่งขาดตะกอนเข้าสะสมและเกิดการกัดเซาะในที่สุด

กระแสน้ำที่ที่อึ่งน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนในเขตใกล้ชายฝั่งที่มีความลึกน้ำ 1.5-5.4 เมตร จากข้อมูลการตรวจวัดพบว่ามีความเร็วอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที (ตารางที่ 2) โดยทิศทางกระแสน้ำมีความแปรปรวนตามความลึกน้ำค่อนข้างมากซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น สถานีตรวจวัดอาจอยู่ใกล้ร่องน้ำ กระแสน้ำเปลี่ยนทิศทางเนื่องจากสิ่งกีดขวางทางน้ำ (แปลงหอย) ข้อมูลกระแสน้ำได้มาจากการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น อิทธิพลเด่นจึงมาจากน้ำขึ้นน้ำลงในลักษณะที่เป็น Instantaneous current นอกจากนี้การตรวจวัดกระแสน้ำบางครั้งอยู่ในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดหรือลดต่ำสุดทำให้ความเร็วกระแสน้ำมีค่าใกล้ศูนย์ โดยรวมแล้วกระแสน้ำในพื้นที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเป็นหลัก โดยกระแสน้ำไหลแรงสุดในช่วงน้ำกำลังขึ้นหรือกำลังลงในทิศเหนือได้และเป็นช่วงน้ำเกิดซึ่งพิสัยน้ำมีค่ามาก กระแสน้ำจะนิ่งในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดตามลักษณะของ Standing wave กระแสน้ำที่ที่อึ่งน้ำมีความเร็วต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วกระแสน้ำในระดับความลึกอื่นๆ เนื่องจากเกิดการเสียดทานกับพื้นที่อึ่งน้ำ



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคตามความลึกน้ำบริเวณพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน

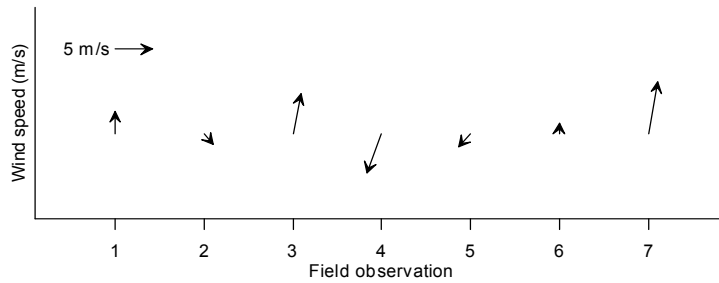
ตารางที่ 2 ข้อมูลจากการออกสำรวจภาคสนามทั้ง 7 ครั้ง

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
เวลา	14:30-16:21	15:30-16:41	11:51-12:39	11:27-13:21	7:28-9:05	13:34-15:07	10:11-11:25
ความลึกน้ำ (เมตร)	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
พิสัยน้ำ (เมตร)	2.0	1.9	1.7	0	1.6	1.4	2.4
ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)	0 - 0.026	0	0.016-0.149	0	0	0	0.006-0.190
ทิศทางการกระแสน้ำ (องศา)	13 - 52	-	147-220	-	-	-	145-264
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	3.1	1.5	6.2	6.2	2.1	1.0	8.2
ทิศทางลม (องศา)	180	320	190	20	40	180	190
ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)	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 (วินาที)	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 (เมตร)	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
ความเร็วกลุ่มของคลื่น (เมตร/วินาที)	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 (เมตร/วินาที)	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 (มิลลิกรัม/ลิตร)	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

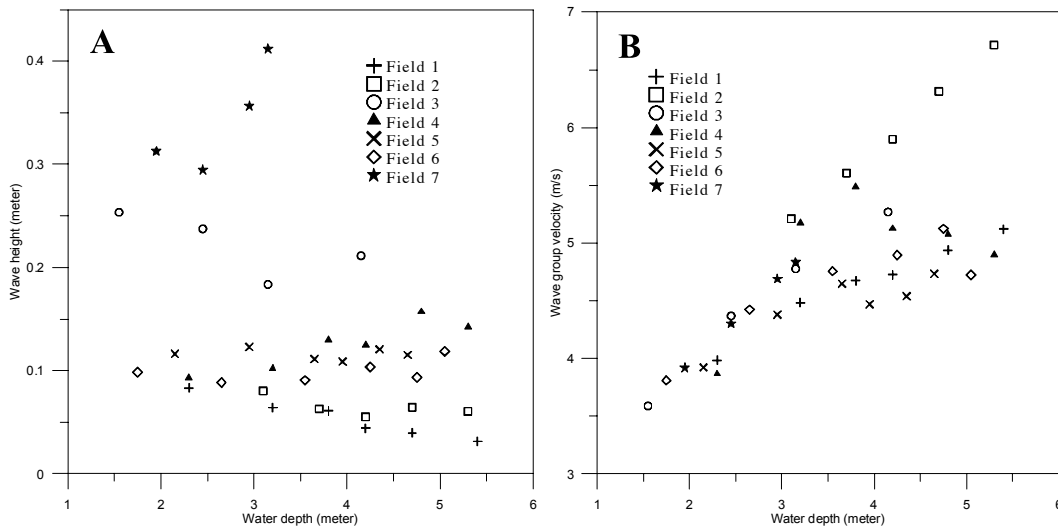
ทำให้ในบางครั้งที่พิสัยน้ำน้อยกระแสน้ำที่ท้องน้ำมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

จากตารางที่ 2 ความสูงคลื่นในพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนอยู่ในช่วง 0.01-0.45 เมตร คาบคลื่นประมาณ 3.01-5.56 วินาที ความเร็วกลุ่มของคลื่นประมาณ 3.6-5.5 เมตร/วินาที ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10-30 เมตร ยกเว้นการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ลักษณะผิวน้ำเกือบจะนิ่งทำให้คำนวณคาบคลื่นมากถึง 5.2-6.7 วินาที เมื่อนำคาบคลื่นไปคำนวณความยาวคลื่นจึงได้ความยาวคลื่นมีค่ามากกว่า 30 เมตร ข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 แสดงให้เห็นว่าคลื่นเคลื่อนที่มาจากทิศใต้ตามทิศทางของลม (ภาพที่ 4) เมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งความลึกน้ำตื้น ลดลง ความสูงคลื่นนัยสำคัญจะเพิ่มขึ้นและความเร็วกลุ่มของคลื่นลดลงตามหลักของ Shoaling effect ข้อมูลครั้งที่ 7 คลื่นเคลื่อนที่มาจากทิศใต้เช่นเดียวกับข้อมูลครั้งที่

1 และ 3 แต่ความสูงคลื่นนัยสำคัญลดลงตามความลึก (ภาพที่ 5A) โดยอาจเกิดจากความสูงคลื่นมีค่ามาก (ประมาณ 0.30-0.45 เมตร) ทำให้เกิดการเสียดทานกับท้องน้ำมาก เกิดการแตกตัวเป็นฟองเล็กน้อยที่ยอดคลื่น (spilling breakers) และค่อยๆ สูญเสียพลังงานเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปใกล้ชายฝั่งมากขึ้น แต่คลื่นยังไม่เกิดการแตกตัวอย่างรุนแรง (surging) เนื่องจากพื้นท้องน้ำมีความชันน้อย (Beer, 1983) อย่างไรก็ตามความเร็วกลุ่มของคลื่นยังคงลดลงตามความลึกน้ำเช่นเดียวกับข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 สำหรับข้อมูลครั้งที่ 4 เป็นช่วงที่คลื่นเคลื่อนตัวจากทิศเหนือออกสู่ทะเลตามทิศทางของลม (ภาพที่ 4) ความสูงคลื่นนัยสำคัญเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำ (ภาพที่ 5A) เนื่องจากเกิดการสะสมพลังงานคลื่นตามระยะทางออกจากชายฝั่ง ในขณะที่ความเร็วกลุ่มของคลื่นเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่หลังจากคลื่นเคลื่อนตัวผ่านความลึกน้ำ 3.8 เมตร



ภาพที่ 4 ความเร็วและทิศทางลมในขณะที่เก็บข้อมูลคลื่นในแต่ละครั้ง (ข้อมูลจากการมอดูนิยมหาวิทยาลัย)



ภาพที่ 5 ความสูงคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ (A) ความเร็วกลุ่มของคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ (B)

ความเร็วกลุ่มของคลื่นมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5B) สำหรับครั้งที่ 2 ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 เป็นช่วงที่ลมอ่อนมีความเร็วเพียง 1-2 เมตร/วินาที (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4) ความสูงคลื่นนัยสำคัญค่อนข้างคงที่ตามความลึกน้ำ (ภาพที่ 5A) ในขณะที่ความเร็วกลุ่มของคลื่นยังคงลดลงตามความลึกน้ำที่ลดลง (ภาพที่ 5B)

อนึ่ง ตลอดการเก็บข้อมูลคลื่นที่ความลึกน้ำมากกว่า 1.5 เมตร ไม่พบการแตกตัวของแรงของคลื่น ตามความสัมพันธ์  $H \geq 0.8 \times d$  ( $H$  = ความสูงคลื่น,  $d$  = ความลึกน้ำ) (McCormick, 2007) แต่จะพบคลื่นแตกตัวเป็นฟองเล็กน้อยที่ยอดคลื่น

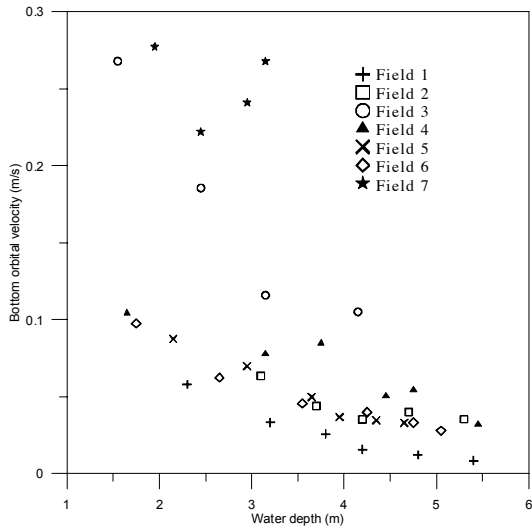
เมื่อนำข้อมูลความสูงคลื่นจากตารางที่ 1 และภาพที่ 1 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีค่ามากกว่าข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาของ NEDECO (1963) และ Uehara *et al.* (2010) ได้มาจากการคำนวณโดยข้อมูลลมซึ่งปกติแล้วจะได้ค่ามากกว่าข้อมูลจากการตรวจวัดเสมอ (ปราโมทย์ ไชจิศุภร และคณะ, 2555)

เมื่อนำข้อมูลความสูงคลื่นจากตารางที่ 1 และภาพที่ 1 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีค่ามากกว่าข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาของ NEDECO (1963) และ Uehara *et al.* (2010) ได้มาจากการคำนวณโดยข้อมูลลมซึ่งปกติแล้วจะได้ค่ามากกว่าข้อมูลจากการตรวจวัดเสมอ (ปราโมทย์ ไชจิศุภร และคณะ, 2555)

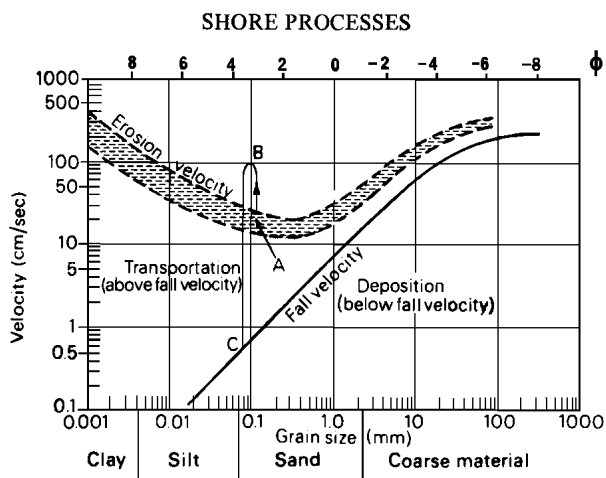
ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำในบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนมีค่ามากที่สุดประมาณ 0.28 เมตร/วินาที (ภาพที่ 5B) ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนจะเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่ลดลง ยกเว้นในช่วงที่มีความสูงคลื่นนัยสำคัญมากกว่า 0.3 เมตร และความลึกมากกว่า 2.5 เมตร ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงคลื่นมากกว่าความลึกน้ำ โดยจะมีค่าลดลงตามความสูงคลื่นที่ลดลง (ภาพที่ 5A และ 6) จากภาพที่ 7 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับความเร็วในการกัดเซาะและตกตะกอนของอนุภาคพบว่าสำหรับในพื้นที่ชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนที่



มีค่า  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำประมาณ 0.0153 มิลลิเมตร ชั้นตะกอนจะถูกกัดเซาะเมื่อความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำมีค่ามากกว่า 0.2 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.0153 มิลลิเมตร ก็อาจถูกกัดเซาะได้ที่ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนที่ท้องน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.2 เมตร/วินาที

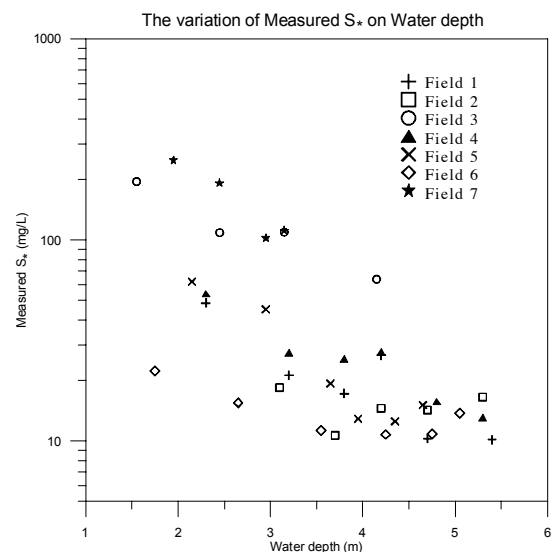


ภาพที่ 6 ความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นเทียบกับความลึกน้ำ



ภาพที่ 7 กราฟการกัดเซาะและตกตะกอนสำหรับอนุภาคตะกอนใดๆ ในภาพแสดงตัวอย่างอนุภาคตะกอนทรายขนาด 0.1 มิลลิเมตรจะเริ่มขยับตัวเมื่อความเร็วกระแสน้ำเกินกว่า A เซนติเมตรต่อวินาที และจะเคลื่อนที่ไปได้จนกว่าความเร็วจะลดลงต่ำกว่า C เซนติเมตรต่อวินาทีซึ่งต่ำกว่า A (Beer, 1983)

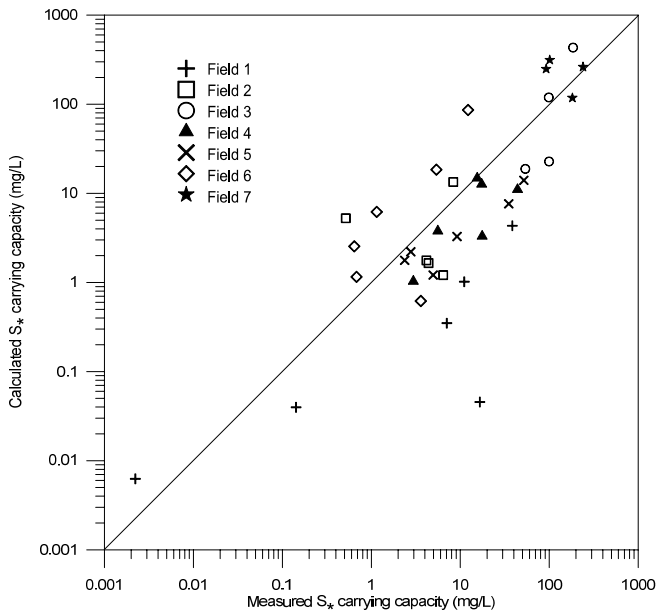
ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำจากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 10-285 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 2 และภาพที่ 8) ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกน้ำที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ลดลงตามความลึก ในส่วนของกระแสน้ำจากการสำรวจพบว่ากระแสน้ำที่ท้องน้ำจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่า 1.7 เมตร เมื่อพิจารณาความเร็วกระแสน้ำตามสมการ Standing wave พบว่าความลึกน้ำมากขึ้นกระแสน้ำจะไหลแรงขึ้นสวนทางกับข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ดังนั้นข้อมูลค่าตะกอนแขวนลอยแสดงให้เห็นว่าการฟุ้งกระจายของตะกอนท้องน้ำบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีนเกิดจากอิทธิพลของคลื่นมากกว่ากระแสน้ำ



ภาพที่ 8 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดเทียบกับความลึกน้ำ

จากข้อมูลทั้งหมด 38 ชุด ครอบคลุมความสูงคลื่นนัยสำคัญในช่วง 0.01-0.45 เมตร ความเร็วกระแสน้ำที่ท้องน้ำในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที  $D_{50}$  ของเส้นผ่านศูนย์กลางตะกอนท้องน้ำ 0.0153 มิลลิเมตร ความลึกน้ำ 1.5-5.5 เมตร อัตราการตกของอนุภาคตะกอนแปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย หักลบค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของคลื่นหรือกระแสน้ำ (Ambient suspended sediment concentration) ออกจากความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด 10 มิลลิกรัม/ลิตร  $\alpha$  เท่ากับ 0.01 และ  $\beta_1$  เท่ากับ 0.0025 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัด (measurement  $S^*$ ) และความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการคำนวณ (Calculation  $S^*$ ) ตามภาพที่ 9 ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ )

เท่ากับ 0.62 ค่าสหสัมพันธ์ยังต่ำเนื่องจากข้อมูลที่ใช้จำกัดอยู่ในช่วงคลื่นต่ำและความเร็วกระแสน้ำน้อย ทำให้ปัจจัยอื่นๆ ส่งผลมากกว่าอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำ ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกัดเซาะ (Erodibility) หรือ ปริมาณตะกอนที่พร้อมจะฟุ้งขึ้นมา (Availability) เป็นต้น (Zhang *et al.*, 2009) นอกจากนี้ที่ก้นอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากน้ำท่าค่อนข้างมาก (Wattayakorn, 2006) ความลึกน้ำค่อนข้างน้อยทำให้กระแสน้ำเกือบจะหยุดนิ่งเนื่องจากเกิดการเสียดทานกับพื้นท้องน้ำ 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 & Green, 2009)



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดภาคสนามและจากการคำนวณ

ภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าสามารถประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยบริเวณบ้านขุนสมุทรจีนได้หากทราบความเร็วกระแสน้ำ สภาวะคลื่น และขนาดอนุภาคตะกอนแขวนลอย

ท้องน้ำ โดยความเร็วกระแสน้ำ(เนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง ลม หรือน้ำท่า) ส่งผลต่อค่าตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษาเนื่องจากอยู่ก้นอ่าว น้ำตื้นจึงมีความเร็วกระแสน้ำต่ำ ดังนั้นความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในบริเวณนี้จึงขึ้นอยู่กับสภาพคลื่น (ความสูง คลื่นสำคัญ ความลึกท้องน้ำ และกระแสน้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่น) อย่างไรก็ตามผลการคำนวณจากสมการ (2) และ (3) มีความอ่อนไหวต่อค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนค่อนข้างมากโดยหากใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนคงที่ตามขนาดอนุภาคตะกอนจะให้ผลการคำนวณไม่สอดคล้องกับผลการตรวจวัด จำเป็นต้องใช้อัตราการตกของอนุภาคตะกอนที่แปรผันตามความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ซึ่งมีการใช้งานในทะเลและแม่น้ำ (Wu *et al.*, 2008) ปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง อาทิเช่นตะกอนแขวนลอยที่มากับน้ำท่า การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเก็บข้อมูลในช่วงฤดูแล้งหรือในขณะน้ำขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลจากน้ำท่า

การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์ในการออกภาคสนาม อาทิเช่น ขาดเครื่องวัดกระแสน้ำแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic current meter) ซึ่งสามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำได้แม่นยำถึงแม้ค่าความเร็วกระแสน้ำจะต่ำ ควรใช้เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยแบบบันทึกอัตโนมัติจะช่วยให้ช่วยเก็บข้อมูลได้จำนวนมากและต่อเนื่องซึ่งจะช่วยให้เปรียบเทียบผลการได้แม่นยำมากขึ้น เป็นต้น ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้คือสภาพคลื่น เรามักจะได้ข้อมูลในช่วงคลื่นไม่แรงมากเนื่องจากในช่วงที่คลื่นมีความรุนแรงมากจะไม่สามารถออกปฏิบัติการในทะเลได้ ส่งผลให้ขาดข้อมูลค่าตะกอนแขวนลอยสูงที่จะนำไปเปรียบเทียบในสมการความสามารถในการอุ้มตะกอนแขวนลอย อย่างไรก็ตามอาจใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอัตโนมัติซึ่งมีความแข็งแรงสามารถทนทานต่อสภาพคลื่นที่รุนแรงและสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ควรมีการศึกษาในช่วงน้ำท่ามากซึ่งจะเกิดลักษณะของ river plume ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ จะทำให้สามารถศึกษาและอธิบายกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชายฝั่งได้ครอบคลุมมากขึ้น

### สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจภาคสนามบริเวณชายฝั่งบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการพบว่าความเร็วกระแสน้ำต่ำเนื่องจากอยู่ก้นอ่าว ความเร็วกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0-0.19 เมตร/วินาที ทิศทางของกระแสน้ำค่อนข้างแปรปรวนมาก ความสูงคลื่นสำคัญประมาณ 0.01-0.45 เมตร โดยแปรผันตามความลึกน้ำ ความเร็วลมและทิศทางลม กล่าวคือความสูงคลื่นจะมากในช่วงที่ลมพัดมาจาก

ทิศใต้ ความเร็วกระแส น้ำหมุนวนเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำมีค่ามากที่สุด ประมาณ 0.28 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถทำให้เกิดการกัดเซาะท้องน้ำได้เมื่อ  $D_{50}$  ของตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.0153 มิลลิเมตร ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำมีค่าระหว่าง 10-285 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถประเมินความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของมวลน้ำบ้านขุนสมุทรจีนได้หากทราบความเร็วกระแส น้ำและสภาพคลื่น โดยความสามารถในการอุ้มตะกอนของมวลน้ำชายฝั่งจะขึ้นกับพลังงานคลื่นมากกว่าพลังงานจากกระแส น้ำ อีกทั้งความแม่นยำของการประเมินขึ้นอยู่กับค่าอัตราการตกของอนุภาคตะกอนซึ่งแปรผันตามค่าตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต (CU.GRADUATE SCHOOL THESIS GRANT) จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### เอกสารอ้างอิง

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ. (2552). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาบูรณาการเชิงพื้นที่เพื่อการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล จังหวัดสมุทรปราการ: กรณีศึกษานำร่องเพื่อการออกแบบ ณ บ้านขุนสมุทรจีน ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์. 813 หน้า.

ปราโมทย์ ไชยศิริ, ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และบุศราศิริ ธนะ. (2555). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการ “การประเมินประสิทธิผลของการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งด้วยโครงสร้างและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องทะเลและแนวชายฝั่งในพื้นที่นำร่อง บ้านขุนสมุทรจีน บริเวณอ่าวไทยตอนบน”. 295 หน้า.

Beer, T. (1983). Environmental Oceanography, An Introduction to the Behavior of Coastal Waters. Pergamon Press. 262 pp.

Day, P.R. (1965). Particle fractionation and particle-size analysis, in Black, C.A., ed., Method of soil analysis. Part 1: American Society of Agronomy, Inc. 545-567.

Dolphin, T.J. & Green, M.O. (2009). Pattern of Wave-orbital Speed and Skin Friction Under Estuarine (Fetch-limit) Wave. *Journal of Coastal Research*. 178-182.

Dou, G.R., Dong, F.W., & Dou, X.B. (1995). Sediment transport capacity of tidal current and wave. *Chinese Bulletin of Science*, 40, 1096-1101.

Franzmeier, D.P., G.C. Steinhardt, J.F. Crum & L.D. Norton. (1977). Soil Characterization in Indiana. *Field and Laboratory Procedures: Research Bulletin* No. 943, 13-14.

John R. Gray, G. Douglas Glysson, Lisa M. Turcios & Gregory E. Schwarz. (2000). Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data. Water-Resources Investigations Report 00-4191. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 14 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, M.E. (2007). Ocean Wave Energy Conversion. *Dover publication, Inc.* Mineola, New York. 233 pp.

NEDECO. (1963). A Study on the siltation of the Bangkok port channel. *Netherlands Engineering Consultants, The Hague, Holland*, 2, 474 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., & Shibayama, T. (1998). Energy dissipation model for irregular breaking waves. *Proceeding of 26<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference*. 112-125.

Schubel, JR. (1972). Distribution and transportation of suspended sediment in upper Chesapeake Bay. Nelson BW 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. & 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.
- Vongvisessomjai, S. (2006). Physical Environment in the Gulf of Thailand with Emphasis on Three Important Ports. *The Environment in Asia Pacific Harbours*. 229-247.
- 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
- Wattayakorn, G. (2006). Environmental issues in the Gulf of Thailand. *The Environment in Asia Pacific Harbours*. 249-259.
- Wu, Dean, Yixin Yan, & 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)*. 24-30.
- Zhang, Q.H., Yan, B., & Wai, O.W.H. (2009). Fine sediment carrying capacity of combined wave and current flows. *International Journal of Sediment Research*, 24, 425-438.